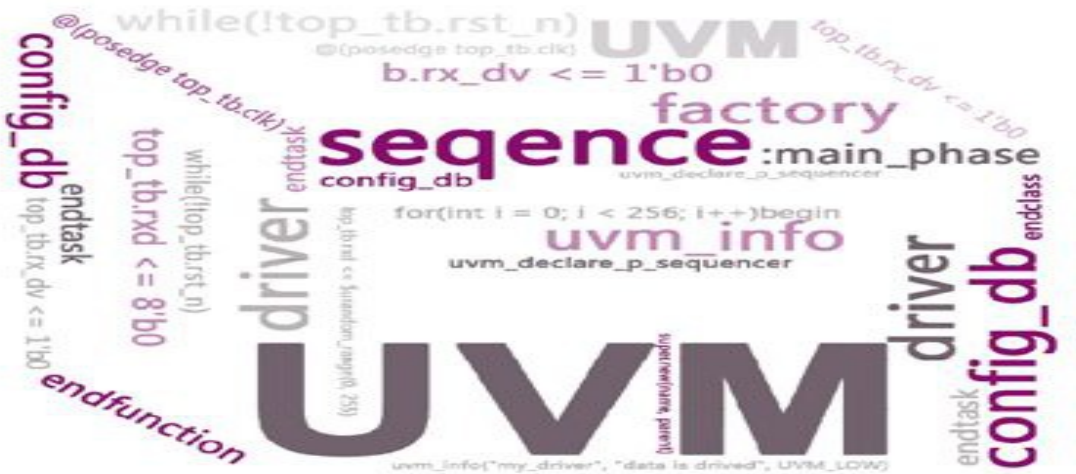
目前唯一一本用研究的眼光解读如何基于UVM搭建验证平台的著作。
作者历时3年钻研UVM源代码和使用UVM经验的系统总结。
实例丰富，步步清晰地引导读者掌握UVM的精髓和实用技巧。
本书脱胎于网络上广为流传的《UVM1.1应用指南及源代码分析》，内容愈加炉火纯青。

EDA与IC设计



卷 I

UVM实战

张强 编著

机械工业出版社
China Machine Press

电子与嵌入式系统设计丛书

UVM实战

张强　著

ISBN：978-7-111-47019-9

本书纸版由机械工业出版社于2014年出版，电子版由华章分社（北京华章图文信息有限公司）全球范围内制作与发行。

版权所有，侵权必究

客服热线：+ 86-10-68995265

客服信箱：service@bbbvip.com

官方网址：www.hzmedia.com.cn

新浪微博 @研发书局

腾讯微博 @yanfabook

目录

前言

第1章 与UVM的第一次接触

1.1 UVM是什么

1.1.1 验证在现代IC流程中的位置

1.1.2 验证的语言

1.1.3 何谓方法学

1.1.4 为什么是UVM

1.1.5 UVM的发展史

1.2 学了UVM之后能做什么

1.2.1 验证工程师

1.2.2 设计工程师

第2章 一个简单的UVM验证平台

2.1 验证平台的组成

2.2 只有driver的验证平台

*2.2.1 最简单的验证平台

*2.2.2 加入factory机制

*2.2.3 加入objection机制
*2.2.4 加入virtual interface
2.3 为验证平台加入各个组件
*2.3.1 加入transaction
*2.3.2 加入env
*2.3.3 加入monitor
*2.3.4 封装成agent
*2.3.5 加入reference model
*2.3.6 加入scoreboard
*2.3.7 加入field_automation机制
2.4 UVM的终极大作：sequence
*2.4.1 在验证平台中加入sequencer
*2.4.2 sequence机制
*2.4.3 default_sequence的使用
2.5 建造测试用例
*2.5.1 加入base_test
*2.5.2 UVM中测试用例的启动
第3章 UVM基础

3.1 uvm_component与uvm_object

3.1.1 uvm_component派生自uvm_object

3.1.2 常用的派生自uvm_object的类

3.1.3 常用的派生自uvm_component的类

3.1.4 与uvm_object相关的宏

3.1.5 与uvm_component相关的宏

3.1.6 uvm_component的限制

3.1.7 uvm_component与uvm_object的二元结构

3.2 UVM的树形结构

3.2.1 uvm_component中的parent参数

3.2.2 UVM树的根

3.2.3 层次结构相关函数

3.3 field automation机制

3.3.1 field automation机制相关的宏

3.3.2 field automation机制的常用函数

*3.3.3 field automation机制中标志位的使用

*3.3.4 field automation中宏与if的结合

3.4 UVM中打印信息的控制

*3.4.1 设置打印信息的冗余度阈值
*3.4.2 重载打印信息的严重性
*3.4.3 UVM_ERROR到达一定数量结束仿真
*3.4.4 设置计数的目标
*3.4.5 UVM的断点功能
*3.4.6 将输出信息导入文件中
*3.4.7 控制打印信息的行为
3.5 config_db机制
3.5.1 UVM中的路径
3.5.2 set与get函数的参数
*3.5.3 省略get语句
*3.5.4 跨层次的多重设置
*3.5.5 同一层次的多重设置
*3.5.6 非直线的设置与获取
*3.5.7 config_db机制对通配符的支持
*3.5.8 check_config_usage
3.5.9 set_config与get_config
3.5.10 config_db的调试

第4章 UVM中的TLM1.0通信
4.1 TLM1.0
4.1.1 验证平台内部的通信
4.1.2 TLM的定义
4.1.3 UVM中的PORT与EXPORT
4.2 UVM中各种端口的互连
*4.2.1 PORT与EXPORT的连接
*4.2.2 UVM中的IMP
*4.2.3 PORT与IMP的连接
*4.2.4 EXPORT与IMP的连接
*4.2.5 PORT与PORT的连接
*4.2.6 EXPORT与EXPORT的连接
*4.2.7 blocking_get端口的使用
*4.2.8 blocking_transport端口的使用
4.2.9 nonblocking端口的使用
4.3 UVM中的通信方式
*4.3.1 UVM中的analysis端口
*4.3.2 一个component内有多个IMP

*4.3.3 使用FIFO通信
4.3.4 FIFO上的端口及调试
*4.3.5 用FIFO还是用IMP
第5章 UVM验证平台的运行
5.1 phase机制
*5.1.1 task phase与function phase
5.1.2 动态运行phase
*5.1.3 phase的执行顺序
*5.1.4 UVM树的遍历
5.1.5 super.phase的内容
*5.1.6 build阶段出现UVM_ERROR停止仿真
*5.1.7 phase的跳转
5.1.8 phase机制的必要性
5.1.9 phase的调试
5.1.10 超时退出
5.2 objection机制
*5.2.1 objection与task phase
*5.2.2 参数phase的必要性

5.2.3 控制objection的最佳选择
5.2.4 set_drain_time的使用
*5.2.5 objection的调试
5.3 domain的应用
5.3.1 domain简介
*5.3.2 多domain的例子
*5.3.3 多domain中phase的跳转
第6章 UVM中的sequence
6.1 sequence基础
6.1.1 从driver中剥离激励产生功能
*6.1.2 sequence的启动与执行
6.2 sequence的仲裁机制
*6.2.1 在同一sequencer上启动多个sequence
*6.2.2 sequencer的lock操作
*6.2.3 sequencer的grab操作
6.2.4 sequence的有效性
6.3 sequence相关宏及其实现
6.3.1 uvm_do系列宏

*6.3.2 uvm_create与uvm_send
*6.3.3 uvm_rand_send系列宏
*6.3.4 start_item与finish_item
*6.3.5 pre_do、mid_do与post_do
6.4 sequence进阶应用
*6.4.1 嵌套的sequence
*6.4.2 在sequence中使用rand类型变量
*6.4.3 transaction类型的匹配
*6.4.4 p_sequencer的使用
*6.4.5 sequence的派生与继承
6.5 virtual sequence的使用
*6.5.1 带双路输入输出端口的DUT
*6.5.2 sequence之间的简单同步
*6.5.3 sequence之间的复杂同步
6.5.4 仅在virtual sequence中控制objection
*6.5.5 在sequence中慎用fork join_none
6.6 在sequence中使用config_db
*6.6.1 在sequence中获取参数

*6.6.2 在sequence中设置参数
*6.6.3 wait_modified的使用
6.7 response的使用
*6.7.1 put_response与get_response
6.7.2 response的数量问题
*6.7.3 response handler与另类的response
*6.7.4 rsp与req类型不同
6.8 sequence library
6.8.1 随机选择sequence
6.8.2 控制选择算法
6.8.3 控制执行次数
6.8.4 使用sequence_library_cfg
第7章 UVM中的寄存器模型
7.1 寄存器模型简介
*7.1.1 带寄存器配置总线的DUT
7.1.2 需要寄存器模型才能做的事情
7.1.3 寄存器模型中的基本概念
7.2 简单的寄存器模型

*7.2.1 只有一个寄存器的寄存器模型
*7.2.2 将寄存器模型集成到验证平台中
*7.2.3 在验证平台中使用寄存器模型
7.3 后门访问与前门访问
*7.3.1 UVM中前门访问的实现
7.3.2 后门访问操作的定义
*7.3.3 使用interface进行后门访问操作
7.3.4 UVM中后门访问操作的实现：DPI+VPI
*7.3.5 UVM中后门访问操作接口
7.4 复杂的寄存器模型
*7.4.1 层次化的寄存器模型
*7.4.2 reg_file的作用
*7.4.3 多个域的寄存器
*7.4.4 多个地址的寄存器
*7.4.5 加入存储器
7.5 寄存器模型对DUT的模拟
7.5.1 期望值与镜像值
7.5.2 常用操作及其对期望值和镜像值的影响

7.6 寄存器模型中一些内建的sequence
*7.6.1 检查后门访问中hdl路径的sequence
*7.6.2 检查默认值的sequence
*7.6.3 检查读写功能的sequence
7.7 寄存器模型的高级用法
*7.7.1 使用reg_predictor
*7.7.2 使用UVM_PREDICT_DIRECT功能与mirror操作
*7.7.3 寄存器模型的随机化与update
7.7.4 扩展位宽
7.8 寄存器模型的其他常用函数
7.8.1 get_root_blocks
7.8.2 get_reg_by_offset函数
第8章 UVM中的factory机制
8.1 SystemVerilog对重载的支持
*8.1.1 任务与函数的重载
*8.1.2 约束的重载
8.2 使用factory机制进行重载
*8.2.1 factory机制式的重载

*8.2.2 重载的方式及种类
*8.2.3 复杂的重载
*8.2.4 factory机制的调试
8.3 常用的重载
*8.3.1 重载transaction
*8.3.2 重载sequence
*8.3.3 重载component
8.3.4 重载driver以实现所有的测试用例
8.4 factory机制的实现
8.4.1 创建一个类的实例的方法
*8.4.2 根据字符串来创建一个类
8.4.3 用factory机制创建实例的接口
8.4.4 factory机制的本质
第9章 UVM中代码的可重用性
9.1 callback机制
9.1.1 广义的callback函数
9.1.2 callback机制的必要性
9.1.3 UVM中callback机制的原理

*9.1.4 callback机制的使用
*9.1.5 子类继承父类的callback机制
9.1.6 使用callback函数/任务来实现所有的测试用例
9.1.7 callback机制、sequence机制和factory机制
9.2 功能的模块化：小而美
9.2.1 Linux的设计哲学：小而美
9.2.2 小而美与factory机制的重载
9.2.3 放弃建造强大sequence的想法
9.3 参数化的类
9.3.1 参数化类的必要性
*9.3.2 UVM对参数化类的支持
9.4 模块级到芯片级的代码重用
*9.4.1 基于env的重用
*9.4.2 寄存器模型的重用
9.4.3 virtual sequence与virtual sequencer
第10章 UVM高级应用
10.1 interface
10.1.1 interface实现driver的部分功能

*10.1.2 可变时钟
10.2 layer sequence
*10.2.1 复杂sequence的简单化
*10.2.2 layer sequence的示例
*10.2.3 layer sequence与try_next_item
*10.2.4 错峰技术的使用
10.3 sequence的其他问题
*10.3.1 心跳功能的实现
10.3.2 只将virtual_sequence设置为default_sequence
10.3.3 disable fork语句对原子操作的影响
10.4 DUT参数的随机化
10.4.1 使用寄存器模型随机化参数
*10.4.2 使用单独的参数类
10.5 聚合参数
10.5.1 聚合参数的定义
10.5.2 聚合参数的优势与问题
10.6 config_db
10.6.1 换一个phase使用config_db

*10.6.2 config_db的替代者
*10.6.3 set函数的第二个参数的检查
第11章 OVM到UVM的迁移
11.1 对等的迁移
11.2 一些过时的用法
*11.2.1 sequence与sequencer的factory机制实现
11.2.2 sequence的启动与uvm_test_done
*11.2.3 手动调用build_phase
11.2.4 纯净的UVM环境
附录A SystemVerilog使用简介
附录B DUT代码清单
附录C UVM命令行参数汇总
附录D UVM常用宏汇总

前言

从我参加工作开始，就一直在使用OVM/UVM，最初是OVM，后来当UVM1.0发布后，我所在的公司迅速切换到UVM。在学习的过程中，自己尝遍艰辛。当时资料非常匮乏（其实今天依然比较匮乏），能够参考的只有两份，一是《OVM Cookbook》（这本英文资料一直没有在国内出版过），二是OVM/UVM官方的英文参考文档。这两份资料所采用的行文方式都是硬生生地不断引入某些概念，并附加一定的代码来阐述这些概念。在这些前后引入的概念之间，几乎没有逻辑关系。有时候看完一整章都不知道该章介绍的内容有何用处，看完整本书也不知道如何搭建一个验证平台。虽然OVM/UVM的发行包中附带了一个例子，但是这个例子对于初学者来说实在太复杂，这种复杂使很多用户望而生畏。身边的同事虽然对OVM/UVM有一定了解，但是并不深入，知其然却不知其所以然。在这种情况下，我只能通过查看源代码的形式来学习OVM/UVM。这个过程非常艰苦，但是使得我对整个UVM的运行了如指掌，同时在这个过程中我充分领悟到了OVM/UVM的设计理念，也为其中的实现拍案叫绝。

我非常渴望将OVM/UVM中的美妙实现分享给所有OVM/UVM用户，这种想法一直在我脑海盘旋。当时，国内没有任何中文的UVM学习文档，同时自己在学习OVM/UVM过程中的痛苦记忆犹新。为了使得后来者能够更加容易地学习OVM/UVM，减轻学习的痛苦，2011年8月初，我忽然有了将我对OVM/UVM的理解记录成一份文档的想法。这个想法在诞生后就迅速壮大，我很快列出了提纲，根据这些提纲，经过4个多月的写作与完善，终于完成了名为《UVM1.1应用指南及源代码解析》的文档，并将其放到网上供广大用户免费下载。

在这份文档中，我一开始就尝试着为广大读者呈现出一个完整的UVM验证平台。这种行文方式主要是为了避免《OVM Cookbook》及OVM/UVM官方参考文档的那种看完整本书都不知道如何搭建验证平台的情况出现。虽然在写作时曾经犹豫过这种

方式会有一些激进，但是通过后来读者的反馈证明这种方式是完全可以接受的。

在网上发布这份文档后，我收到了众多用户发来的邮件。有很多用户对我的无私表示感谢，这让我非常欣慰：至少我做的事情帮助了一些人；还有众多的用户指出了整份文档中的一些笔误；除此之外，还有一些用户建议文档的某些部分应该阐述得更加清楚些，并增加某些部分的内容。在这里我衷心地向这些用户表示感谢，由于人数众多，这里不再一一列举出他们的名字。

2013年，当我重新审视自己两年前写的文档时，发现了其中诸多的不足。大量的笔误自不必提，更多的不足来自于内容上。2011年的文档中分为明显的前后两部分，前9章讲述如何使用UVM，后10章讲述UVM的源代码。在给我发来邮件的众多用户中，99%都是只看前9章的。我最初的想法是与广大OVM/UVM用户分享读UVM源代码的心得，所以后10章是我花费大量精力写的，而前9章则是顺手而为。这造成了前9章太简单，同时里面问题较多，而后10章太难、太复杂，没有太多人能看懂。至于介于简单和复杂之间的那部分中等难度的内容，却没有在整本书中覆盖。

恰在此时，机械工业出版社华章公司的张国强编辑联系到我，询问我是否考虑把整份文档出版。在此之前，已经有众多的读者通过邮件询问关于文档的出版情况。在和张编辑沟通并去除某些疑虑后，我和张编辑达成了出版意向。经过几个月的修改，并增添了大量内容后，形成了本书。与电子版的《UVM1.1应用指南及源代码解析》相比，这本书有如下特点：

1）增加了一些中等难度的内容，消除了《UVM1.1应用指南及源代码解析》中太简单内容与太复杂内容之间的空白。比如加入了大量factory模式的内容，详细阐述了寄存器模型中的后门（BACKDOOR）访问等。新增加的内容及例子几乎占据整本书的2/3篇幅。

2）在《UVM1.1应用指南及源代码解析》中，一开始就给出一个验证平台的例子，但是这个例子是以一个整体的形式呈现在读者面前，而没有说明白这个例子为什么会是这样，这好比从0直接跳到了1，中间没有任何过渡。而在本书中，我将此例一步步拆解，从0到0.1，再到0.2，一直慢慢增加到1。在增加每一步时，都尽量讲述明白为什么会这样增加，以方便用户的学习。

3）书中的每一个例子都经过了验证，这些例子都能在本书附带的源代码中找到。用户可以登录华章网站（http：//www.hzbook.com）下载这些源代码并在自己的电脑上运行它们，这会极大提高学习的速度。

4）本书第11章专门讲述了从OVM到UVM的迁移。UVM是从OVM迁移来的，虽然很多公司现在使用的是UVM，但是由于一些历史遗留问题，在它们的代码库中依然有很多OVM式的已经被UVM丢弃的用法。通过这一章的学习，用户可以迅速适应这些过时的用法。

这本书能够出版，首先感谢机械工业出版社华章公司给我这样一个机会，特别感谢华章公司的张国强编辑和李燕编辑，没有他们的辛苦工作，这本书不可能与广大读者见面。

我要感谢我的父母和姐姐，是他们一直在背后默默地支持我、鼓励我，无论是高潮和低谷，他们都一直在我的身边。

我要感谢我在上海工作期间的领导和同事：魏斌、向伟、孙唐、宋亚平、王勇、王天、陈晨、赖琳晖、沈晓、胡晓飞、何刚、鲍敏祺、林健、龙进凯、汪永威、常勇。他们给了我很多写作的灵感和素材。

我还要感谢我在杭州工作期间的领导和同事：袁锦辉、吴洪涛、陈国华、梁力、高世超、王旭霞、王兆明、乐东坡、陆礼红、甘滔、潘永斌、陈钰飞、朱明鉴，他们在我写《UVM1.1应用指南及源代码解析》期间给了我各种各样的帮助。

由于时间仓促，同时作者水平所限，书中难免存在错误，恳请广大读者批评指正！

张强

2014年4月

第1章　与UVM的第一次接触

1.1　UVM是什么

1.1.1　验证在现代IC流程中的位置

现代IC（Integrated circuit，集成电路）前端的设计流程如图1-1所示。通常的IC设计是从一份需求说明书开始的，这份需求说明书一般来自于产品经理（有些公司可能没有单独的职位，而是由其他职位兼任）。从需求说明书开始，IC工程师会把它们细化为特性列表。设计工程师根据特性列表，将其转化为设计规格说明书，在这份说明书中，设计工程师会详细阐述自己的设计方案，描述清楚接口时序信号，使用多少RAM资源，如何进行异常处理等。验证工程师根据特性列表，写出验证规格说明书。在验证规格说明书中，将会说明如何搭建验证平台，如何保证验证完备性，如何测试每一条特性，如何测试异常的情况等。

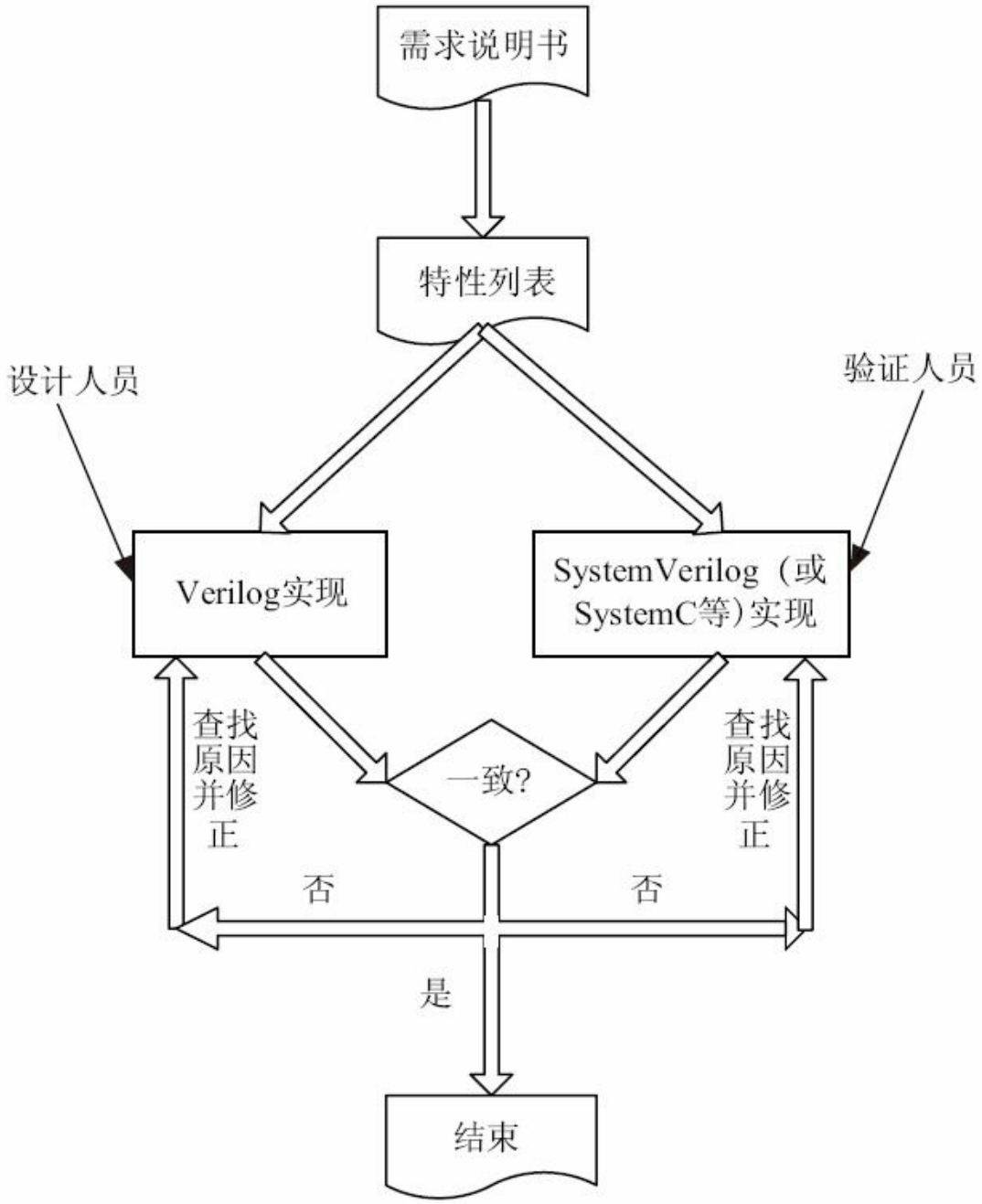

需求说明书
特性列表
设计人员
验证人员
Verilog实现
SystemVerilog（或SystemC等）实现
查找原因并修正
一致?
查找原因并修正
否
否
是
结束

图1-1　现代IC前端设计流程

当设计说明书完成后，设计人员开始使用Verilog（或者VHDL，这里以Verilog为例）将特性列表转换成RTL代码，而验证人员则开始使用验证语言（这里以SystemVerilog为例）搭建验证平台，并且着手建造第一个测试用例（test case）。当RTL代码完成后，验证人员开始验证这些代码（通常被称为DUT（Design Under Test），也可以称为DUV（Design Under Verification），本书统一使用DUT）的正确性。

验证主要保证从特性列表到RTL转变的正确性，包括但不限于以下几点：

· DUT的行为表现是否与特性列表中要求的一致。

· DUT是否实现了所有特性列表中列出的特性。

· DUT对于异常状况的反应是否与特性列表和设计规格说明书中的一致，如中断是否置起。

· DUT是否足够稳健，能够从异常状态中恢复到正常的工作模式。

1.1.2 验证的语言

验证使用的语言五花八门，很难统计出到底有多少种语言曾经被用于验证，且验证这个词是从什么时候开始独立出现的也有待考证。验证是服务于设计的，目前来说，有两种通用的设计语言：Verilog和VHDL。伴随着IC的发展，Verilog由于其易用性，在IC设计领域占据了主流地位，使用VHDL的人越来越少。基于Verilog的验证语言主要有如下三种。

1）Verilog：Verilog是针对设计的语言。Verilog起源于20世纪80年代中期，并在1995年正式成为IEEE标准，即IEEE Standard 1364^{TM}—1995。其后续版本是2001年推出的，与1995版差异比较大。很多Verilog仿真器中都会提供一个选项来决定使用1995版还是2001版。目前最新的标准是2005年推出的，即IEEE Standard 1364^{TM}—2005，它与2001版的差距不大。验证起源于设计，在最初的时候是没有专门的验证的，验证与设计合二为一。考虑到这种现状，Verilog在其中还包含了一个用于验证的子集，其中最典型的语句就是initial、task和function。纯正的设计几乎是用不到这些语句的。通过这些语句的组合，可以给设计施加激励，并观测输出结果是否与期望的一致，达到验证的目的。Verilog在验证方面最大的问题是功能模块化、随机化验证上的不足，这导致更多的是直接测试用例（即direct test case，激励是固定的，其行为也是固定的），而不是随机的测试用例（即random test case，激励在一定范围内是随机的，可以在几种行为间选择一种）。笔者亲身经历过一个使用Verilog编写的设计，包含有6000多个测试用例。假如使用SystemVerilog，这个数字至少可以除以10。

2）SystemC：IC行业按照摩尔定律快速发展，晶体管的数量越来越多，整个系统越来越复杂。此时，单纯的Verilog验证已经难以满足条件。1999年，OSCI（Open SystemC Initiative）成立，致力于SystemC的开发。通常来说，可以笼统地把IC分为两类，一类是算法需求比较少的，如网络通信协议；另一类是算法需求非常复杂的，如图形图像处理等。那些对算法要求非常高的设计

在使用Verilog编写代码之前，会使用C或者C++建立一个算法模型，即参考模型（reference model），在验证时需要把此参考模型的输出与DUT的输出相比，因此需要在设计中把基于C++/C的模型集成到验证平台中。SystemC本质上是一个C++的库，这种天然的特性使得它在算法类的设计中如鱼得水。当然，在非算法类的设计中，SystemC也表现得相当良好。SystemC最大的优势在于它是基于C++的，但这也是它最大的劣势。在C++中，用户需要自己管理内存，指针会把所有人搞得头大，内存泄露是所有C++用户的噩梦。除了内存泄露的问题外，SystemC在构建异常的测试用例时显得力不从心，因此现在很多公司已经转向使用SystemVerilog。

3）SystemVerilog：它是一个Verilog的扩展集，可以完全兼容Verilog。它起源于2002年，并在2005年成为IEEE的标准，即IEEE 1800^{TM}—2005，目前最新的版本是IEEE 1800^{TM}—2012。SystemVerilog刚一推出就受到了热烈欢迎，它具有所有面向对象语言的特性：封装、继承和多态，同时还为验证提供了一些独有的特性，如约束（constraint）、功能覆盖率（functional coverage）。由于其与Verilog完全兼容，很多使用Verilog的用户可以快速上手，且其学习曲线非常短，因此很多原先使用Verilog做验证的工程师们迅速转到SystemVerilog。在与SystemC的对比中，SystemVerilog也不落下风，它提供了DPI接口，可以把C/C++的函数导入SystemVerilog代码中，就像这个函数是用SystemVerilog写成的一样。与C++相比，SystemVerilog语言本身提供内存管理机制，用户不用担心内存泄露的问题。除此之外，它还支持系统函数$system，可以直接调用外部的可执行程序，就像在Linux的shell下直接调用一样。用户可以把使用C++写成的参考模型编译成可执行文件，使用$system函数调用。因此，对于那些用Verilog写成的设计来说，SystemVerilog比SystemC更受欢迎，这就类似于用C++来测试C写成的代码显然比用Java测试更方便、更受欢迎。无论是对算法类或者非算法类的设计，SystemVerilog都能轻松应付。

1.1.3 何谓方法学

有了SystemVerilog之后，是不是足以搭建一个验证平台呢？这个问题的答案是肯定的，只是很难。就像汉语是很优秀的语言一样，自古以来，无数的名人基于它创作出很多优秀的篇章。有很多篇章经过后人的浓缩，变成了一个又一个的成语和典故。在这些篇章的基础上，作家写作的时候稍微引用几句就会让作品增色不少。而如果一个成语都不用，一点语句都不引用，也能写出优秀的文章，但是相对来说比较困难。这些优秀的作品就是汉语的库。同样，SystemVerilog是一门优秀的语言，但是如果仅仅使用SystemVerilog来进行验证显然不够，有很多直接的问题需要考虑，比如：

- 验证平台中都有哪些基本的组件，每个组件的行为有哪些?
- 验证平台中各个组件之间是如何通信的?
- 验证中要组建很多测试用例，这些测试用例如何建立、组织的?
- 在建立测试用例的过程中，哪些组件是变的，哪些组件是不变的?

同时，也有一些更高层次的问题需要考虑：

- 验证平台中数据流与控制流如何分离?
- 验证平台中的寄存器方案如何解决?

· 验证平台如何保证是可重用的?

读者可以尝试自己回答这些问题，回答的时候不要空想，要把真正的代码写出来。

何谓方法学？方法学这个词是一个很抽象、很宽泛的概念，很难用简单的词语把它描绘出来。当然了，即使是一本专业讲述方法学的书籍，几百多页，看过之后可能依然会觉得不知所云。

在对方法学的理解上，有三个层次：

第一个层次，在刚刚接触到这个概念时，很容易把方法学和世界观、人生观、价值观等词语联系到一起，认为它是一个哲学的词汇。这种想法是不可避免的，而且，从根本上来说，它是正确的。只是这种理解太过浅显，因为方法学的真谛不在于概念本身，而在于其背后所表示的东西。

第二个层次，当初步学习完本书后，读者会觉得自己以前的想法太天真：方法学怎么会有那么神秘？至少从UVM的角度来说，方法学只是一个库。这种理解基本上没错。无论任何抽象的概念，一个程序员要使用它，唯一的方法是把其用代码实现。就如同上面的那些问题，如果能够把它们都完整地规划清楚，那么这就是属于读者自己的验证方法学；如果把思考结果用代码实现，那就是一个包含了验证方法学的库，是读者自己的UVM！

第三个层次，当读者从事验证工作几年之后，对UVM的各种用法信手拈来，就会发现方法学又不仅仅是一个库，库只是方法学的具体实现。从理论上来说，用一个东西表达另外一个东西的时候，只要两者不是一一对应的关系，那么一般会有很多遗漏。自然语言尚且无法完全地表述清楚方法学，而比自然语言更加简单的编程语言，则更加不可能表述清楚了。所以，一个库不能完

全地表述清楚一种方法学。在这个阶段，读者再回过头来仔细想想上面的那些问题，想想它们在UVM中的实现，就会为UVM的优秀而拍案叫绝。

关于什么是方法学这个问题，读者可以不必太过于纠结，因为它属于相对高级的东西，在开始的时候追究这个问题只会增加自己学习UVM的难度。把这个问题放在一边，只把它当成一个库，等初步学完本书后再来回味这个问题。

1.1.4 为什么是UVM

在基于SystemVerilog的验证方法学中，目前市面上主要有三种。

VMM（Verification Methodology Manual），这是Synopsys在2006年推出的，在初期是闭源的。当OVM出现后，面对OVM的激烈竞争，VMM开源了。VMM中集成了寄存器解决方案RAL（Register Abstraction Layer）。

OVM（Open Verification Methodology），这是Candence和Mentor在2008年推出的，从一开始就是开源的。它引进了factory机制，功能非常强大，但是它里面没有寄存器解决方案，这是它最大的短板。针对这一情况，Candence推出了RGM，补上了这一短板。只是很遗憾的是，RGM并没有成为OVM的一部分，要想使用RGM，需要额外下载。现在OVM已经停止更新，完全被UVM代替。

UVM（Universal Verification Methodology），其正式版是在2011年2月由Accellera推出的，得到了Sysnopsys、Mentor和Cadence的支持。UVM几乎完全继承了OVM，同时又采纳了Synopsys在VMM中的寄存器解决方案RAL。同时，UVM还吸收了VMM中的一些优秀的实现方式。可以说，UVM继承了VMM和OVM的优点，克服了各自的缺点，代表了验证方法学的发展方向。

在决定一种验证方法学的命运时，有三个主要的问题：

1）EDA厂商支持吗？得到EDA厂商的支持是最重要的。在IC设计中，必然要使用一些EDA工具，因此，EDA厂商支持什么，什么就可能获得成功。目前，三大EDA厂商synopsys、Mentor、Cadence都完美地支持UVM。UVM本身就是这三家厂商联合

推出的，读者打开任意一个UVM的源文件，都能在开头看到这三家公司关于版权的联合声明。

2）现在用的公司多了吗？一种方法学，如果本身比较差，不方便使用，那么即使得到了EDA厂商的支持，也不会受到广大验证工程师的欢迎。因此，当方法学刚开始推出时，第一个用户是要冒着很大风险的。但是幸运的是，读者肯定不是这样的“小白鼠”。因为现在市面上很多IC设计公司都已经在使用UVM，并且越来越多的公司开始转向使用UVM，UVM已经得到了市场的验证。

3）有更好的验证方法学出现了吗？没有。UVM是2011年推出的，非常年轻，非常有活力。

1.1.5 UVM的发展史

UVM的前身是OVM，由Mentor和Cadence于2008年联合发布。2010年，Accellera（SystemVerilog语言标准最初的制定者）把OVM采纳为标准，并在此基础上着手推出新一代验证方法学UVM。为了能够让用户提前适应UVM，Accellera于2010年5月推出了UVM1.0EA，EA的全拼是early adoption，在这个版本里，几乎没有对OVM做任何改变，只是单纯地把ovm_*前缀变为了uvm_*。

2011年2月，备受瞩目的UVM1.0正式版本发布。此版本加入了源自Synopsys的寄存器解决方案。但是，由于发布仓促，此版本中有大量bug存在，所以仅仅时隔四个月就又发布了新的版本。

2011年6月，UVM1.1版发布，这个版本修正了1.0中的大量问题，与1.0相比有较大差异。

2011年12月，UVM1.1a发布。

2012年5月，UVM1.1b发布。

2012年10月，UVM1.1c发布。

2013年3月，UVM1.1d发布。

从UVM1.1到UVM1.1d，从版本命名上就可以看出并没有太多的改动。本书所有的例子均基于UVM1.1d。

1.2 学了UVM之后能做什么

1.2.1 验证工程师

验证工程师能够从本书学会如下内容：

· 如何用UVM搭建验证平台，包括如何使用sequence机制、factory机制、callback机制、寄存器模型（register model）等。

· 一些验证的基本常识，将会散落在各个章节之间。

· UVM的一些高级功能，如何灵活地使用sequence机制、factory机制等。

· 如何编写代码才能保证可重用性。可重用性是目前IC界提及最多的几个词汇之一，它包含很多层次。对于个人来说，如何保证自己在这个项目写的代码在下一个项目中依然可以使用，如何保证自己写出来的东西别人能够重用，如何保证子系统级的代码在系统级别依然可以使用；对于同一公司来说，如何保证下一代的产品在验证过程中能最大程度使用前一代产品的代码。

· 同样的一件事情有多种实现方式，这多种方式之间分别都有哪些优点和缺点，在权衡利弊之下哪种是最合理的。

· 一些OVM用法的遗留问题。

可以说，本书特别适合欲使用UVM作为平台的广大验证工程师阅读。当前众多IC公司在招聘验证人员时，最基本的一条是懂

得UVM，学完本书并熟练使用其中的例子后，读者可以满足绝大多数公司对UVM的要求。

1.2.2 设计工程师

在IC设计领域，有一句很有名的话是“验证与设计不分家”。甚至目前在一些IC公司里，依然存在着同一个人兼任设计人员与验证人员的情况。验证与设计只是从不同的角度来做同一件事情而已。验证工程师应该更多地学习些设计的知识，从项目的早期就参与进去，而不要抱着“只搭平台只建测试用例，调试都交给设计人员”的想法。同样，设计工程师也有必要学习一点验证的知识。一个一点不懂验证的设计工程师不是一个好的设计工程师。考虑到设计人员可能没有任何的SystemVerilog基础，本书在附录A中专门讲述SystemVerilog的使用。设计人员可以在读本书之前学习一下附录A，以更好地理解本书。另外，本书与其他书最大的不同在于，本书开始就提供了一个完整的、用UVM搭建的例子，设计人员只要学习完第2章的例子，再把它和自己公司的验证环境结合一下，就可以搭建简单的测试用例了。而其他书，则通常需要看完整本书才能达到同样的目的。

第2章　一个简单的UVM验证平台

2.1　验证平台的组成

验证用于找出DUT中的bug，这个过程通常是把DUT放入一个验证平台中来实现的。一个验证平台要实现如下基本功能：

· 验证平台要模拟DUT的各种真实使用情况，这意味着要给DUT施加各种激励，有正常的激励，也有异常的激励；有这种模式的激励，也有那种模式的激励。激励的功能是由driver来实现的。

· 验证平台要能够根据DUT的输出来判断DUT的行为是否与预期相符合，完成这个功能的是记分板（scoreboard，也被称为checker，本书统一以scoreboard来称呼）。既然是判断，那么牵扯到两个方面：一是判断什么，需要把什么拿来判断，这里很明显是DUT的输出；二是判断的标准是什么。

· 验证平台要收集DUT的输出并把它们传递给scoreboard，完成这个功能的是monitor。

· 验证平台要能够给出预期结果。在记分板中提到了判断的标准，判断的标准通常就是预期。假设DUT是一个加法器，那么当在它的加数和被加数中分别输入1，即输入1+1时，期望DUT输出2。当DUT在计算1+1的结果时，验证平台也必须相应完成同样的过程，也计算一次1+1。在验证平台中，完成这个过程的是参考模型（reference model）。

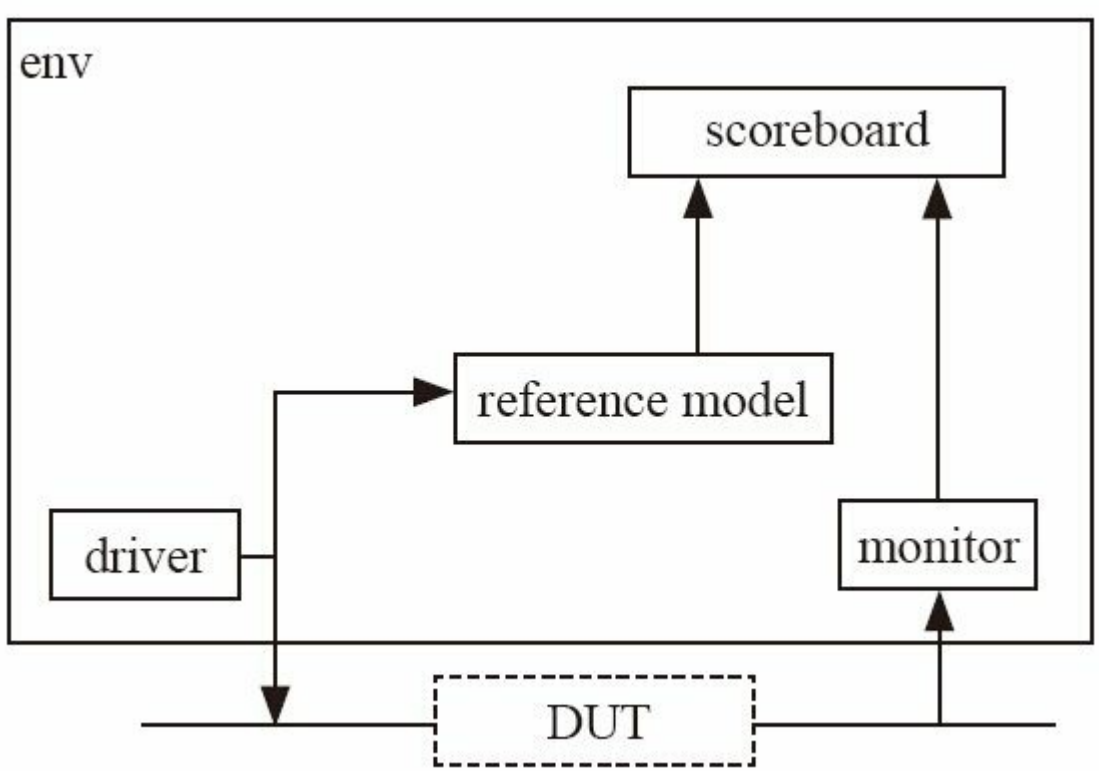


图2-1　简单验证平台框图

一个简单的验证平台框图如图2-1所示。在UVM中，引入了agent和sequence的概念，因此UVM中验证平台的典型框图如图2-2所示。

从下一节开始，将从只有一个driver的最简单的验证平台开始，一步一步搭建如图2-2所示的验证平台。

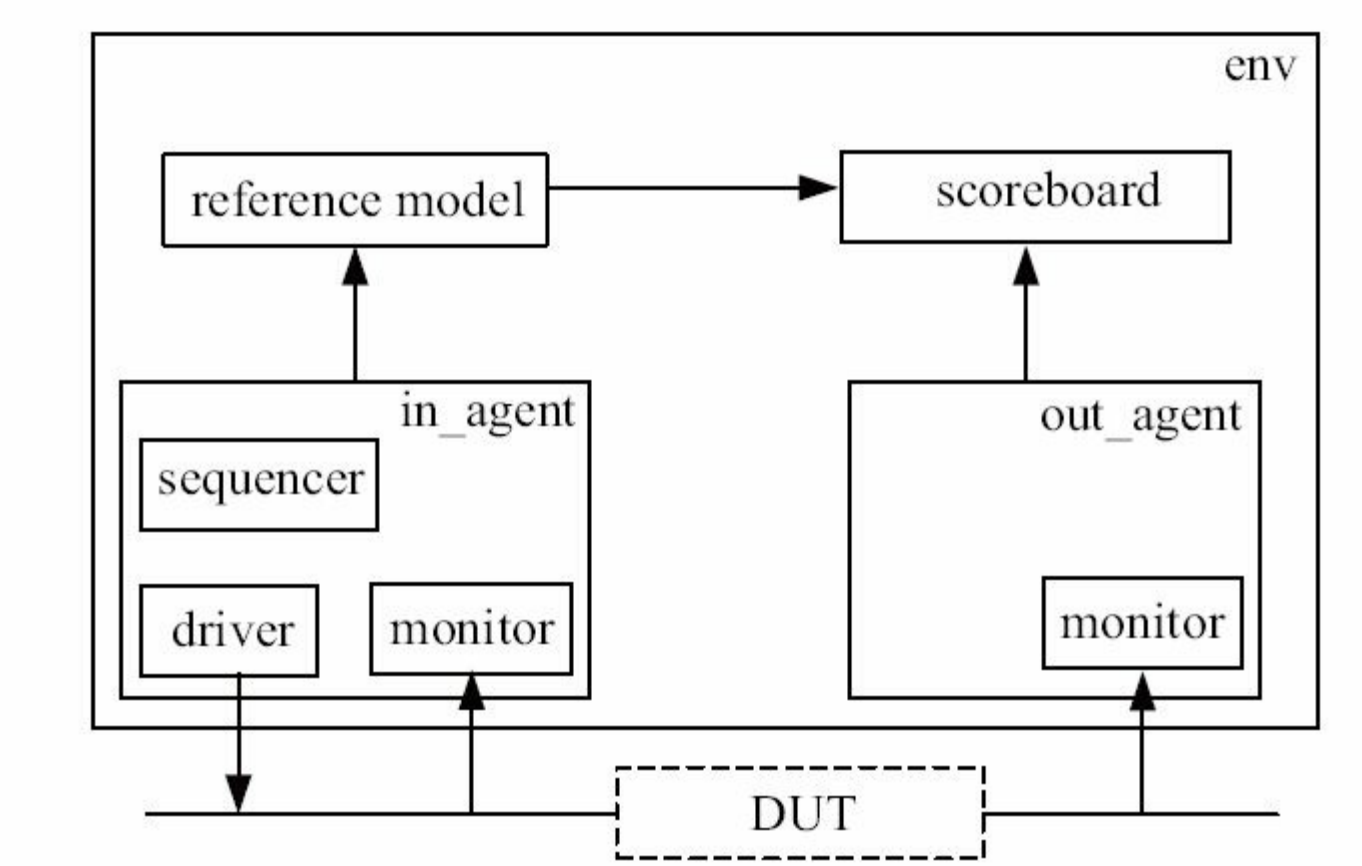


图2-2　典型UVM验证平台框图

2.2 只有driver的验证平台

driver是验证平台最基本的组件，是整个验证平台数据流的源泉。本节以一个简单的DUT为例，说明一个只有driver的UVM验证平台是如何搭建的。

*2.2.1 最简单的验证平台[1]

在本章中，假设有如下的DUT定义：

代码清单 2-1

文件：src/ch2/dut/dut.sv[2]

```
 1 module dut(clk,
 2            rst_n,
 3            rxd,
 4            rx_dv,
 5            txd,
 6            tx_en);
 7 input clk;
 8 input rst_n;
 9 input[7:0] rxd;
10 input rx_dv;
11 output [7:0] txd;
12 output tx_en;
13
14 reg[7:0] txd;
15 reg tx_en;
16
17 always @(posedge clk) begin
18    if(!rst_n) begin
19       txd <= 8'b0;
20       tx_en <= 1'b0;
21    end
22    else begin
23       txd <= rxd;
```

```
24        tx_en <= rx_dv;
25    end
26 end
27 endmodule
```

这个DUT的功能非常简单，通过rxd接收数据，再通过txd发送出去。其中rx_dv是接收的数据有效指示，tx_en是发送的数据有效指示。本章中所有例子都是基于这个DUT。

UVM中的driver应该如何搭建？UVM是一个库，在这个库中，几乎所有的东西都是使用类（class）来实现的。driver、monitor、reference model、scoreboard等组成部分都是类。类是像SystemVerilog这些面向对象编程语言中最伟大的发明之一，是面向对象的精髓所在。类有函数（function），另外还可以有任务（task），通过这些函数和任务可以完成driver的输出激励功能，完成monitor的监测功能，完成参考模型的计算功能，完成scoreboard的比较功能。类中可以有成员变量，这些成员变量可以控制类的行为，如控制driver的行为等。当要实现一个功能时，首先应该想到的是从UVM的某个类派生出一个新的类，在这个新的类中实现所期望的功能。所以，使用UVM的第一条原则是：验证平台中所有的组件应该派生自UVM中的类。

UVM验证平台中的driver应该派生自uvm_driver，一个简单的driver如下例所示：

代码清单　2-2

文件：src/ch2/section2.2/2.2.1/my_driver.sv

```
3 class my_driver extends uvm_driver;
4
5     function new(string name = "my_driver", uvm_component parent = null);
6         super.new(name, parent);
```

```
 7    endfunction
 8    extern virtual task main_phase(uvm_phase phase);
 9 endclass
10
11 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
12    top_tb.rxd <= 8'b0;
13    top_tb.rx_dv <= 1'b0;
14    while(!top_tb.rst_n)
15       @(posedge top_tb.clk);
16    for(int i = 0; i < 256; i++)begin
17       @(posedge top_tb.clk);
18       top_tb.rxd <= $urandom_range(0, 255);
19       top_tb.rx_dv <= 1'b1;
20       `uvm_info("my_driver", "data is drived", UVM_LOW)
21    end
22    @(posedge top_tb.clk);
23    top_tb.rx_dv <= 1'b0;
24 endtask
```

这个driver的功能非常简单，只是向rxd上发送256个随机数据，并将rx_dv信号置为高电平。当数据发送完毕后，将rx_dv信号置为低电平。在这个driver中，有两点应该引起注意：

· 所有派生自uvm_driver的类的new函数有两个参数，一个是string类型的name，一个是uvm_component类型的parent。关于name参数，比较好理解，就是名字而已；至于parent则比较难以理解，读者可暂且放在一边，下文会有介绍。事实上，这两个参数是由uvm_component要求的，每一个派生自uvm_component或其派生类的类在其new函数中要指明两个参数：name和parent，这是uvm_component类的一大特征。而uvm_driver是一个派生自uvm_component的类，所以也会有这两个参数。

· driver所做的事情几乎都在main_phase中完成。UVM由phase来管理验证平台的运行，这些phase统一以xxxx_phase来命名，且都有一个类型为uvm_phase、名字为phase的参数。main_phase是uvm_driver中预先定义好的一个任务。因此几乎可以简单地认为，实现一个driver等于实现其main_phase。

上述代码中还出现了uvm_info宏。这个宏的功能与Verilog中display语句的功能类似，但是它比display语句更加强大。它有三个参数，第一个参数是字符串，用于把打印的信息归类；第二个参数也是字符串，是具体需要打印的信息；第三个参数则是冗余级别。在验证平台中，某些信息是非常关键的，这样的信息可以设置为UVM_LOW，而有些信息可有可无，就可以设置为UVM_HIGH，介于两者之间的就是UVM_MEDIUM。UVM默认只显示UVM_MEDIUM或者UVM_LOW的信息，本书3.4.1节会讲述如何显示UVM_HIGH的信息。本节中uvm_info宏打印的结果如下：

```
UVM_INFO my_driver.sv
(20
)@48500000
:drv[my_driver]data is drived
```

在uvm_info宏打印的结果中有如下几项：

· UVM_INFO关键字：表明这是一个uvm_info宏打印的结果。除了uvm_info宏外，还有uvm_error宏、uvm_warning宏，后文中将会介绍。

· my_driver.sv（20）：指明此条打印信息的来源，其中括号里的数字表示原始的uvm_info打印语句在my_driver.sv中的行号。

· 48500000：表明此条信息的打印时间。

· drv：这是driver在UVM树中的路径索引。UVM采用树形结构，对于树中任何一个结点，都有一个与其相应的字符串类型的路径索引。路径索引可以通过get_full_name函数来获取，把下列代码加入任何UVM树的结点中就可以得知当前结点的路径索引：

代码清单　2-3

```
$display("the full name of current component is: %s", get_full_name());
```

· [my_driver]：方括号中显示的信息即调用uvm_info宏时传递的第一个参数。

· data is drived：表明宏最终打印的信息。

可见，uvm_info宏非常强大，它包含了打印信息的物理文件来源、逻辑结点信息（在UVM树中的路径索引）、打印时间、对信息的分类组织及打印的信息。读者在搭建验证平台时应该尽量使用uvm_info宏取代display语句。

定义my_driver后需要将其实例化。这里需要注意类的定义与类的实例化的区别。所谓类的定义，就是用编辑器写下：

代码清单　2-4

```
classs A;
…
endclass
```

而所谓类的实例化指的是通过new创造出A的一个实例。如：

代码清单　2-5

```
A a_inst;
a_inst = new();
```

类的定义类似于在纸上写下一纸条文，然后把这些条文通知给SystemVerilog的仿真器：验证平台可能会用到这样的一个类，请做好准备工作。而类的实例化在于通过new（）来通知SystemVerilog的仿真器：请创建一个A的实例。仿真器接到new的指令后，就会在内存中划分一块空间，在划分前，会首先检查是否已经预先定义过这个类，在已经定义过的情况下，按照定义中所指定的“条文”分配空间，并且把这块空间的指针返回给a_inst，之后就可以通过a_inst来查看类中的各个成员变量，调用成员函数/任务等。对大部分的类来说，如果只定义而不实例化，是没有任何意义的 [3]；而如果不定义就直接实例化，仿真器将会报错。

对my_driver实例化并且最终搭建的验证平台如下：

代码清单　2-6

文件：src/ch2/section2.2/2.2.1/top_tb.sv

```
1 `timescale 1ns/1ps
2 `include "uvm_macros.svh"
3
4 import uvm_pkg::*;
```

```
 5 `include "my_driver.sv"
 6
 7 module top_tb;
 8
 9 reg clk;
10 reg rst_n;
11 reg[7:0] rxd;
12 reg rx_dv;
13 wire[7:0] txd;
14 wire tx_en;
15
16 dut my_dut(.clk(clk),
17            .rst_n(rst_n),
18            .rxd(rxd),
19            .rx_dv(rx_dv),
20            .txd(txd),
21            .tx_en(tx_en));
22
23 initial begin
24    my_driver drv;
25    drv = new("drv", null);
26    drv.main_phase(null);
27    $finish();
28 end
29
30 initial begin
31    clk = 0;
32    forever begin
33       #100 clk = ~clk;
34    end
35 end
36
37 initial begin
38    rst_n = 1'b0;
```

```
39     #1000;
40     rst_n = 1'b1;
41 end
42
43 endmodule
```

第2行把uvm_macros.svh文件通过include语句包含进来。这是UVM中的一个文件，里面包含了众多的宏定义，只需要包含一次。

第4行通过import语句将整个uvm_pkg导入验证平台中。只有导入了这个库，编译器在编译my_driver.sv文件时才会认识其中的uvm_driver等类名。

第24和25行定义一个my_driver的实例并将其实例化。注意这里调用new函数时，其传入的名字参数为drv，前文介绍uvm_info宏的打印信息时出现的代表路径索引的drv就是在这里传入的参数drv。另外传入的parent参数为null，在真正的验证平台中，这个参数一般不是null，这里暂且使用null。

第26行显式地调用my_driver的main_phase。在main_phase的声明中，有一个uvm_phase类型的参数phase，在真正的验证平台中，这个参数是不需要用户理会的。本节的验证平台还算不上一个完整的UVM验证平台，所以暂且传入null。

第27行调用finish函数结束整个仿真，这是一个Verilog中提供的函数。

运行这个例子，可以看到“data is drived”被输出了256次。

[1] 所有带星号（*）的章节表示本节提供源代码，可登录华章网站（http://www.hzbook.com）获取。

[2] 本书各章节中有大量源代码。如果在“文件”关键字后有相应的文件名及路径，表明此段代码可以从本书的源码包中找到。

[3] 这里的例外是一些静态类，其成员变量都是静态的，不实例化也可以正常使用。

*2.2.2 加入factory机制

上一节给出了一个只有driver、使用UVM搭建的验证平台。严格来说这根本就不算是UVM验证平台，因为UVM的特性几乎一点都没有用到。像上节中my_driver的实例化及drv.main_phase的显式调用，即使不使用UVM，只使用简单的SystemVerilog也可以完成。本节将会为读者展示在初学者看来感觉最神奇的一点：自动创建一个类的实例并调用其中的函数（function）和任务（task）。

要使用这个功能，需要引入UVM的factory机制：

代码清单 2-7

文件：src/ch2/section2.2/2.2.2/my_driver.sv

```
  3 class my_driver extends uvm_driver;
  4
  5     `uvm_component_utils(my_driver)
  6     function new(string name = "my_driver", uvm_component parent = null);
  7        super.new(name, parent);
  8        `uvm_info("my_driver", "new is called", UVM_LOW);
  9     endfunction
 10     extern virtual task main_phase(uvm_phase phase);
 11 endclass
 12
 13 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
 14     `uvm_info("my_driver", "main_phase is called", UVM_LOW);
 15     top_tb.rxd <= 8'b0;
 16     top_tb.rx_dv <= 1'b0;
```

```
17    while(!top_tb.rst_n)
18       @(posedge top_tb.clk);
19    for(int i = 0; i < 256; i++)begin
20       @(posedge top_tb.clk);
21       top_tb.rxd <= $urandom_range(0, 255);
22       top_tb.rx_dv <= 1'b1;
23       `uvm_info("my_driver", "data is drived", UVM_LOW);
24    end
25    @(posedge top_tb.clk);
26    top_tb.rx_dv <= 1'b0;
27 endtask
```

---

factory机制的实现被集成在了一个宏中：uvm_component_utils。这个宏所做的事情非常多，其中之一就是将my_driver登记在UVM内部的一张表中，这张表是factory功能实现的基础。只要在定义一个新的类时使用这个宏，就相当于把这个类注册到了这张表中。那么factory机制到底是什么？这个宏还做了哪些事情呢？这些属于UVM中的高级问题，本书会在后文一一展开。

在给driver中加入factory机制后，还需要对top_tb做一些改动：

代码清单　2-8

文件：src/ch2/section2.2/2.2.2/top_tb.sv

```
  7 module top_tb;
…
 36 initial begin
 37    run_test("my_driver");
 38 end
 39
 40 endmodule
```

这里使用一个run_test语句替换掉了代码清单2-6中第23到28行的my_driver实例化及main_phase的显式调用。运行这个新的验证平台，会输出如下语句：

```
new is called
main_phased is called
```

一个run_test语句会创建一个my_driver的实例，并且会自动调用my_driver的main_phase。仔细观察run_test语句，会发现传递给它的是一个字符串。UVM根据这个字符串创建了其所代表类的一个实例。如果没有UVM，读者自己能够实现同样的功能吗？

根据类名创建一个类的实例，这是uvm_component_utils宏所带来的效果，同时也是factory机制给读者的最初印象。只有在类定义时声明了这个宏，才能使用这个功能。所以从某种程度上来说，这个宏起到了注册的作用。只有经过注册的类，才能使用这个功能，否则根本不能使用。请记住一点：所有派生自uvm_component及其派生类的类都应该使用uvm_component_utils宏注册。

除了根据一个字符串创建类的实例外，上述代码中另外一个神奇的地方是main_phase被自动调用了。在UVM验证平台中，只要一个类使用uvm_component_utils注册且此类被实例化了，那么这个类的main_phase就会自动被调用。这也就是为什么上一节中会强调实现一个driver等于实现其main_phase。所以，在driver中，最重要的就是实现main_phase。

上面的例子中，只输出到“main_phase is called”。令人沮丧的是，根本没有输出“data is drived”，而按照预期，它应该输出256次。关于这个问题，牵涉UVM的objection机制。

*2.2.3 加入objection机制

在上一节中，虽然输出了“main_phase is called”，但是“data is drived”并没有输出。而main_phase是一个完整的任务，没有理由只执行第一句，而后面的代码不执行。看上去似乎main_phase在执行的过程中被外力“杀死”了，事实上也确实如此。

UVM中通过objection机制来控制验证平台的关闭。细心的读者可能发现，在上节的例子中，并没有如2.2.1节所示显式地调用finish语句来结束仿真。但是在运行上节例子时，仿真平台确实关闭了。在每个phase中，UVM会检查是否有objection被提起（raise_objection），如果有，那么等待这个objection被撤销（drop_objection）后停止仿真；如果没有，则马上结束当前phase。

加入了objection机制的driver如下所示：

代码清单 2-9

文件：src/ch2/section2.2/2.2.3/my_driver.sv

```
13 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
14   phase.raise_objection(this);
15   `uvm_info("my_driver", "main_phase is called", UVM_LOW);
16   top_tb.rxd <= 8'b0;
17   top_tb.rx_dv <= 1'b0;
18   while(!top_tb.rst_n)
19     @(posedge top_tb.clk);
20   for(int i = 0; i < 256; i++)begin
21     @(posedge top_tb.clk);
22     top_tb.rxd <= $urandom_range(0, 255);
23     top_tb.rx_dv <= 1'b1;
24     `uvm_info("my_driver", "data is drived", UVM_LOW);
```

```
25    end
26    @(posedge top_tb.clk);
27    top_tb.rx_dv <= 1'b0;
28    phase.drop_objection(this);
29  endtask
```

在开始学习时，读者可以简单地将drop_objection语句当成是finish函数的替代者，只是在drop_objection语句之前必须先调用raise_objection语句，raise_objection和drop_objection总是成对出现。加入objection机制后再运行验证平台，可以发现“data is drived”按照预期输出了256次。

raise_objection语句必须在main_phase中第一个消耗仿真时间[1]的语句之前。如$display语句是不消耗仿真时间的，这些语句可以放在raise_objection之前，但是类似@（posedge top.clk）等语句是要消耗仿真时间的。按照如下的方式使用raise_objection是无法起到作用的：

代码清单　2-10

```
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
   @(posedge top_tb.clk);
   phase.raise_objection(this);
   `uvm_info("my_driver", "main_phase is called", UVM_LOW);
   top_tb.rxd <= 8'b0;
   top_tb.rx_dv <= 1'b0;
   while(!top_tb.rst_n)
      @(posedge top_tb.clk);
   for(int i = 0; i < 256; i++)begin
      @(posedge top_tb.clk);
```

```
            top_tb.rxd <= $urandom_range(0, 255);
            top_tb.rx_dv <= 1'b1;
            `uvm_info("my_driver", "data is drived", UVM_LOW);
        end
        @(posedge top_tb.clk);
        top_tb.rx_dv <= 1'b0;
        phase.drop_objection(this);
    endtask
```

---

[1] 所谓仿真时间，是指$time函数打印出的时间。与之相对的还有实际仿真中所消耗的CPU时间，通常说一个测试用例的运行时间即指CPU 时间，为了与仿真时间相区分，本书统一把这种时间称为运行时间。

*2.2.4 加入virtual interface

在前几节的例子中，driver中等待时钟事件（@posedge top.clk）、给DUT中输入端口赋值（top.rx_dv<=1'b1）都是使用绝对路径，绝对路径的使用大大减弱了验证平台的可移植性。一个最简单的例子就是假如clk信号的层次从top.clk变成了top.clk_inst.clk，那么就需要对driver中的相关代码做大量修改。因此，从根本上来说，应该尽量杜绝在验证平台中使用绝对路径。

避免绝对路径的一个方法是使用宏：

代码清单 2-11

```
`define TOP top_tb
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
   phase.raise_objection(this);
   `uvm_info("my_driver", "main_phase is called", UVM_LOW);
   `TOP.rxd <= 8'b0;
   `TOP.rx_dv <= 1'b0;
   while(!`TOP.rst_n)
      @(posedge `TOP.clk);
   for(int i = 0; i < 256; i++)begin
      @(posedge `TOP.clk);
      `TOP.rxd <= $urandom_range(0, 255);
      `TOP.rx_dv <= 1'b1;
      `uvm_info("my_driver", "data is drived", UVM_LOW);
   end
   @(posedge `TOP.clk);
   `TOP.rx_dv <= 1'b0;
   phase.drop_objection(this);
```

```
endtask
```

这样，当路径修改时，只需要修改宏的定义即可。但是假如clk的路径变为了top_tb.clk_inst.clk，而rst_n的路径变为了top_tb.rst_inst.rst_n，那么单纯地修改宏定义是无法起到作用的。

避免绝对路径的另外一种方式是使用interface。在SystemVerilog中使用interface来连接验证平台与DUT的端口。interface的定义比较简单：

代码清单　2-12

```
文件：src/ch2/section2.2/2.2.4/my_if.sv
  4 interface my_if(input clk, input rst_n);
  5
  6   logic [7:0] data;
  7   logic valid;
  8 endinterface
```

定义了interface后，在top_tb中实例化DUT时，就可以直接使用：

代码清单　2-13

```
文件：src/ch2/section2.2/2.2.4/top_tb.sv
 17 my_if input_if(clk, rst_n);
 18 my_if output_if(clk, rst_n);
```

```
19
20 dut my_dut(.clk(clk),
21             .rst_n(rst_n),
22             .rxd(input_if.data),
23             .rx_dv(input_if.valid),
24             .txd(output_if.data),
25             .tx_en(output_if.valid));
```

那么如何在driver中使用interface呢？一种想法是在driver中声明如下语句，然后再通过赋值的形式将top_tb中的input_if传递给它：

代码清单　2-14

```
class my_driver extends uvm_driver;
  my_if  drv_if;
…
endclass
```

读者可以试一下，这样的使用方式是会报语法错误的，因为my_driver是一个类，在类中不能使用上述方式声明一个interface，只有在类似top_tb这样的模块（module）中才可以。在类中使用的是virtual interface：

代码清单　2-15

文件：src/ch2/section2.2/2.2.4/my_driver.sv

```
3 class my_driver extends uvm_driver;
```

```
4
5    virtual my_if vif;
```

在声明了vif后，就可以在main_phase中使用如下方式驱动其中的信号：

代码清单　2-16

文件：src/ch2/section2.2/2.2.4/my_driver.sv

```
23 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
24    phase.raise_objection(this);
25    `uvm_info("my_driver", "main_phase is called", UVM_LOW);
26    vif.data <= 8'b0;
27    vif.valid <= 1'b0;
28    while(!vif.rst_n)
29       @(posedge vif.clk);
30    for(int i = 0; i < 256; i++)begin
31       @(posedge vif.clk);
32       vif.data <= $urandom_range(0, 255);
33       vif.valid <= 1'b1;
34       `uvm_info("my_driver", "data is drived", UVM_LOW);
35    end
36    @(posedge vif.clk);
37    vif.valid <= 1'b0;
38    phase.drop_objection(this);
39 endtask
```

可以清楚看到，代码中的绝对路径已经消除了，大大提高了代码的可移植性和可重用性。

剩下的最后一个问题就是，如何把top_tb中的input_if和my_driver中的vif对应起来呢？最简单的方法莫过于直接赋值。此时一个新的问题又摆在了面前：在top_tb中，通过run_test语句建立了一个my_driver的实例，但是应该如何引用这个实例呢？不可能像引用my_dut那样直接引用my_driver中的变量：top_tb.my_dut.xxx是可以的，但是top_tb.my_driver.xxx是不可以的。这个问题的终极原因在于UVM通过run_test语句实例化了一个脱离了top_tb层次结构的实例，建立了一个新的层次结构。

对于这种脱离了top_tb层次结构，同时又期望在top_tb中对其进行某些操作的实例，UVM引进了config_db机制。在config_db机制中，分为set和get两步操作。所谓set操作，读者可以简单地理解成是“寄信”，而get则相当于是“收信”。在top_tb中执行set操作：

代码清单　2-17

文件：src/ch2/section2.2/2.2.4/top_tb.sv

```
 44 initial begin
 45   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top", "vif", input_if);
 46 end
```

在my_driver中，执行get操作：

代码清单　2-18

文件：src/ch2/section2.2/2.2.4/my_driver.sv

```
 13   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 14     super.build_phase(phase);
 15     `uvm_info("my_driver", "build_phase is called", UVM_LOW);
```

```
16      if(!uvm_config_db#(virtual my_if)::get(this, "", "vif", vif))
17          `uvm_fatal("my_driver", "virtual interface must be set for vif!!!")
18    endfunction
```

这里引入了build_phase。与main_phase一样，build_phase也是UVM中内建的一个phase。当UVM启动后，会自动执行build_phase。build_phase在new函数之后main_phase之前执行。在build_phase中主要通过config_db的set和get操作来传递一些数据，以及实例化成员变量等。需要注意的是，这里需要加入super.build_phase语句，因为在其父类的build_phase中执行了一些必要的操作，这里必须显式地调用并执行它。build_phase与main_phase不同的一点在于，build_phase是一个函数phase，而main_phase是一个任务phase，build_phase是不消耗仿真时间的。build_phase总是在仿真时间（$time函数打印出的时间）为0时执行。

在build_phase中出现了uvm_fatal宏，uvm_fatal宏是一个类似于uvm_info的宏，但是它只有两个参数，这两个参数与uvm_info宏的前两个参数的意义完全一样。与uvm_info宏不同的是，当它打印第二个参数所示的信息后，会直接调用Verilog的finish函数来结束仿真。uvm_fatal的出现表示验证平台出现了重大问题而无法继续下去，必须停止仿真并做相应的检查。所以对于uvm_fatal来说，uvm_info中出现的第三个参数的冗余度级别是完全没有意义的，只要是uvm_fatal打印的信息，就一定是非常关键的，所以无需设置第三个参数。

config_db的set和get函数都有四个参数，这两个函数的第三个参数必须完全一致。set函数的第四个参数表示要将哪个interface通过config_db传递给my_driver，get函数的第四个参数表示把得到的interface传递给哪个my_driver的成员变量。set函数的第二个参数表示的是路径索引，即在2.2.1节介绍uvm_info宏时提及的路径索引。在top_tb中通过run_test创建了一个my_driver的实例，那么这个实例的名字是什么呢？答案是uvm_test_top：UVM通过run_test语句创建一个名字为uvm_test_top的实例。读者可以通过把代码

清单2-3中的语句插入my_driver（build_phase或者main_phase）中来验证。

无论传递给run_test的参数是什么，创建的实例的名字都为uvm_test_top。由于set操作的目标是my_driver，所以set函数的第二个参数就是uvm_test_top。set函数的第一个参数null以及get函数的第一和第二个参数可以暂时放在一边，后文会详细说明。

set函数与get函数让人疑惑的另外一点是其古怪的写法。使用双冒号是因为这两个函数都是静态函数，而uvm_config_db#（virtual my_if）则是一个参数化的类，其参数就是要寄信的类型，这里是virtual my_if。假如要向my_driver的var变量传递一个int类型的数据，那么可以使用如下方式：

代码清单　2-19

```
initial begin
   uvm_config_db#(int)::set(null, "uvm_test_top", "var", 100);
end
```

而在my_driver中应该使用如下方式：

代码清单　2-20

```
class my_driver extends uvm_driver;
   int var;
   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
      super.build_phase(phase);
      `uvm_info("my_driver", "build_phase is called", UVM_LOW);
```

```
    if(!uvm_config_db#(virtual my_if)::get(this, "", "vif", vif))
      `uvm_fatal("my_driver", "virtual interface must be set for vif!!!")
    if(!uvm_config_db#(int)::get(this, "", "var", var))
      `uvm_fatal("my_driver", "var must be set!!!")
  endfunction
```

从这里可以看出，可以向my_driver中“寄”许多信。上文列举的两个例子是top_tb向my_driver传递了两个不同类型的数据，其实也可以传递相同类型的不同数据。假如my_driver中需要两个my_if，那么可以在top_tb中这么做：

代码清单　2-21

```
initial begin
   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top", "vif", input_if);
   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top", "vif2", output_if);
end
```

在my_driver中这么做：

代码清单　2-22

```
virtual my_if vif;
virtual my_if vif2;
virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
  super.build_phase(phase);
  `uvm_info("my_driver", "build_phase is called", UVM_LOW);
  if(!uvm_config_db#(virtual my_if)::get(this, "", "vif", vif))
```

```
    `uvm_fatal("my_driver", "virtual interface must be set for vif!!!")
  if(!uvm_config_db#(virtual my_if)::get(this, "", "vif2", vif2))
    `uvm_fatal("my_driver", "virtual interface must be set for vif2!!!")
endfunction
```

2.3 为验证平台加入各个组件

*2.3.1 加入transaction

在2.2节中，所有的操作都是基于信号级的。从本节开始将引入reference model、monitor、scoreboard等验证平台的其他组件。在这些组件之间，信息的传递是基于transaction的，因此，本节将先引入transaction的概念。

transaction是一个抽象的概念。一般来说，物理协议中的数据交换都是以帧或者包为单位的，通常在一帧或者一个包中要定义好各项参数，每个包的大小不一样。很少会有协议是以bit或者byte为单位来进行数据交换的。以以太网为例，每个包的大小至少是64byte。这个包中要包括源地址、目的地址、包的类型、整个包的CRC校验数据等。transaction就是用于模拟这种实际情况，一笔transaction就是一个包。在不同的验证平台中，会有不同的transaction。一个简单的transaction的定义如下：

代码清单 2-23

文件：src/ch2/section2.3/2.3.1/my_transaction.sv

```
 4 class my_transaction extends uvm_sequence_item;
 5
 6     rand bit[47:0] dmac;
 7     rand bit[47:0] smac;
 8     rand bit[15:0] ether_type;
 9     rand byte      pload[];
10     rand bit[31:0] crc;
11
12     constraint pload_cons{
```

```
13       pload.size >= 46;
14       pload.size <= 1500;
15    }
16
17    function bit[31:0] calc_crc();
18       return 32'h0;
19    endfunction
20
21    function void post_randomize();
22       crc = calc_crc;
23    endfunction
24
25    `uvm_object_utils(my_transaction)
26
27    function new(string name = "my_transaction");
28       super.new(name);
29    endfunction
30 endclass
```

其中dmac是48bit的以太网目的地址，smac是48bit的以太网源地址，ether_type是以太网类型，pload是其携带数据的大小，通过pload_cons约束可以看到，其大小被限制在46～1500byte，CRC是前面所有数据的校验值。由于CRC的计算方法稍显复杂，且其代码在网络上随处可见，因此这里只是在post_randomize中加了一个空函数calc_crc，有兴趣的读者可以将其补充完整。post_randomize是SystemVerilog中提供的一个函数，当某个类的实例的randomize函数被调用后，post_randomize会紧随其后无条件地被调用。

在transaction定义中，有两点值得引起注意：一是my_transaction的基类是uvm_sequence_item。在UVM中，所有的transaction都要从uvm_sequence_item派生，只有从uvm_sequence_item派生的transaction才可以使用后文讲述的UVM中强大的sequence机制。二

是这里没有使用uvm_component_utils宏来实现factory机制，而是使用了uvm_object_utils。从本质上来说，my_transaction与my_driver是有区别的，在整个仿真期间，my_driver是一直存在的，my_transaction不同，它有生命周期。它在仿真的某一时间产生，经过driver驱动，再经过reference model处理，最终由scoreboard比较完成后，其生命周期就结束了。一般来说，这种类都是派生自uvm_object或者uvm_object的派生类，uvm_sequence_item的祖先就是uvm_object。UVM中具有这种特征的类都要使用uvm_object_utils宏来实现。

当完成transaction的定义后，就可以在my_driver中实现基于transaction的驱动：

代码清单　2-24

文件：src/ch2/section2.3/2.3.1/my_driver.sv

```
 22 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
 23    my_transaction tr;
…
 29    for(int i = 0; i < 2; i++) begin
 30       tr = new("tr");
 31       assert(tr.randomize() with {pload.size == 200;});
 32       drive_one_pkt(tr);
 33    end
…
 36 endtask
 37
 38 task my_driver::drive_one_pkt(my_transaction tr);
 39    bit [47:0] tmp_data;
 40    bit [7:0] data_q[$];
 41
 42    //push dmac to data_q
```

```
 43    tmp_data = tr.dmac;
 44    for(int i = 0; i < 6; i++) begin
 45       data_q.push_back(tmp_data[7:0]);
 46       tmp_data = (tmp_data >> 8);
 47    end
 48    //push smac to data_q
…
 54    //push ether_type to data_q
…
 60    //push payload to data_q
…
 64    //push crc to data_q
 65    tmp_data = tr.crc;
 66    for(int i = 0; i < 4; i++) begin
 67       data_q.push_back(tmp_data[7:0]);
 68       tmp_data = (tmp_data >> 8);
 69    end
 70
 71    `uvm_info("my_driver", "begin to drive one pkt", UVM_LOW);
 72    repeat(3) @(posedge vif.clk);
 73
 74    while(data_q.size() > 0) begin
 75       @(posedge vif.clk);
 76       vif.valid <= 1'b1;
 77       vif.data <= data_q.pop_front();
 78    end
 79
 80    @(posedge vif.clk);
 81    vif.valid <= 1'b0;
 82    `uvm_info("my_driver", "end drive one pkt", UVM_LOW);
 83 endtask
```

在main_phase中，先使用randomize将tr随机化，之后通过drive_one_pkt任务将tr的内容驱动到DUT的端口上。在drive_one_pkt中，先将tr中所有的数据压入队列data_q中，之后再将data_q中所有的数据弹出并驱动。将tr中的数据压入队列data_q中的过程相当于打包成一个byte流的过程。这个过程还可以使用SystemVerlog提供的流操作符实现。具体请参照SystemVerilog语言标准IEEE Std 1800 ^{TM}—2012（IEEE Standard for SystemVerilog—Unified Hardware Design，Specification，and Verification Language）的11.4.14节。

*2.3.2 加入env

在验证平台中加入reference model、scoreboard等之前，思考一个问题：假设这些组件已经定义好了，那么在验证平台的什么位置对它们进行实例化呢？在top_tb中使用run_test进行实例化显然是不行的，因为run_test函数虽然强大，但也只能实例化一个实例；如果在top_tb中使用2.2.1节中实例化driver的方式显然也不可行，因为run_test相当于在top_tb结构层次之外建立一个新的结构层次，而2.2.1节的方式则是基于top_tb的层次结构，如果基于此进行实例化，那么run_test的引用也就没有太大的意义了；如果在driver中进行实例化则更加不合理。

这个问题的解决方案是引入一个容器类，在这个容器类中实例化driver、monitor、reference model和scoreboard等。在调用run_test时，传递的参数不再是my_driver，而是这个容器类，即让UVM自动创建这个容器类的实例。在UVM中，这个容器类称为uvm_env：

代码清单 2-25

文件：src/ch2/section2.3/2.3.2/my_env.sv

```
 4 class my_env extends uvm_env;
 5
 6   my_driver drv;
 7
 8   function new(string name = "my_env", uvm_component parent);
 9     super.new(name, parent);
10   endfunction
11
12   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
```

```
13      super.build_phase(phase);
14      drv = my_driver::type_id::create("drv", this);
15    endfunction
16
17    `uvm_component_utils(my_env)
18  endclass
```

所有的env应该派生自uvm_env，且与my_driver一样，容器类在仿真中也是一直存在的，使用uvm_component_utils宏来实现factory的注册。

在my_env的定义中，最让人难以理解的是第14行drv的实例化。这里没有直接调用my_driver的new函数，而是使用了一种古怪的方式。这种方式就是factory机制带来的独特的实例化方式。只有使用factory机制注册过的类才能使用这种方式实例化；只有使用这种方式实例化的实例，才能使用后文要讲述的factory机制中最为强大的重载功能。验证平台中的组件在实例化时都应该使用type_name：：type_id：：create的方式。

在drv实例化时，传递了两个参数，一个是名字drv，另外一个是this指针，表示my_env。回顾一下my_driver的new函数：

代码清单　2-26

```
function new(string name = "my_driver", uvm_component parent = null);
   super.new(name, parent);
endfunctio
```

这个new函数有两个参数，第一个参数是实例的名字，第二个则是parent。由于my_driver在uvm_env中实例化，所以my_driver的父结点（parent）就是my_env。通过parent的形式，UVM建立起了树形的组织结构。在这种树形的组织结构中，由run_test创建的实例是树根（这里是my_env），并且树根的名字是固定的，为uvm_test_top，这在前文中已经讲述过；在树根之后会生长出枝叶（这里只有my_driver），长出枝叶的过程需要在my_env的build_phase中手动实现。无论是树根还是树叶，都必须由uvm_component或者其派生类继承而来。整棵UVM树的结构如图2-3所示。

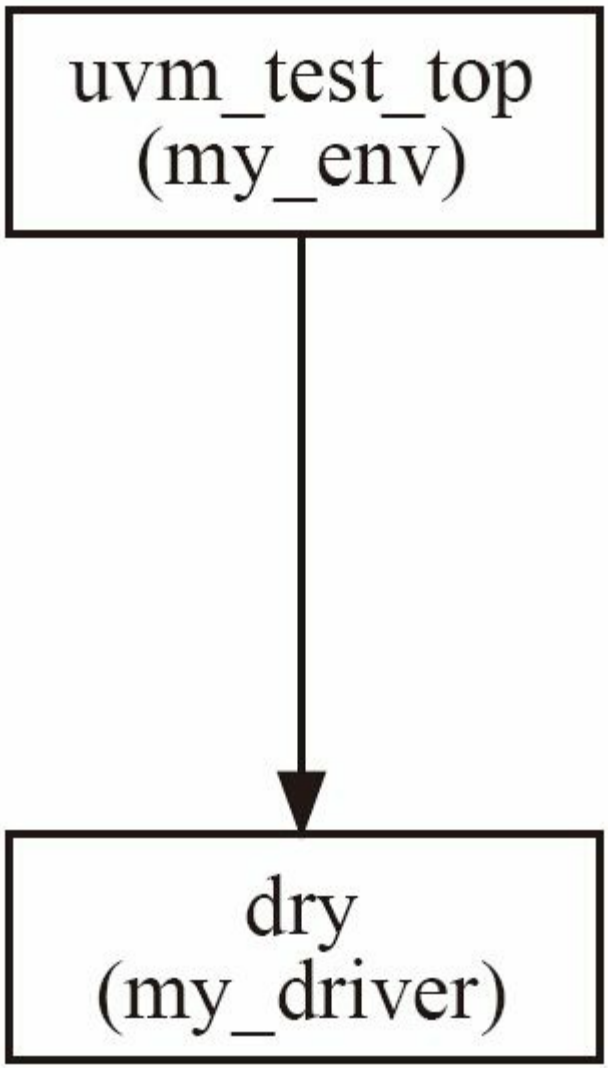


图2-3　UVM树的生长：加入env

当加入了my_env后，整个验证平台中存在两个build_phase，一个是my_env的，一个是my_driver的。那么这两个build_phase按照何种顺序执行呢？在UVM的树形结构中，build_phase的执行遵照从树根到树叶的顺序，即先执行my_env的build_phase，再执行my_driver的build_phase。当把整棵树的build_phase都执行完毕后，再执行后面的phase。

my_driver在验证平台中的层次结构发生了变化，它一跃从树根变成了树叶，所以在top_tb中使用config_db机制传递virtual my_if时，要改变相应的路径；同时，run_test的参数也从my_driver变为了my_env：

代码清单　2-27

文件：src/ch2/section2.3/2.3.2/top_tb.sv

```
 42 initial begin
 43   run_test("my_env");
 44 end
 45
 46 initial begin
 47   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.drv", "vif", inp ut_if);
 48 end
```

set函数的第二个参数从uvm_test_top变为了uvm_test_top.drv，其中uvm_test_top是UVM自动创建的树根的名字，而drv则是在my_env的build_phase中实例化drv时传递过去的名字。如果在实例化drv时传递的名字是my_drv，那么set函数的第二个参数中也应该是my_drv：

代码清单　2-28

```
class my_env extends uvm_env
…
  drv = my_driver::type_id::create("my_drv", this);
…
endclass
module top_tb;
…
initial begin
  uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.my_drv", "vif", inpu t_if);
end
endmodule
```

*2.3.3 加入monitor

验证平台必须监测DUT的行为，只有知道DUT的输入输出信号变化之后，才能根据这些信号变化来判定DUT的行为是否正确。

验证平台中实现监测DUT行为的组件是monitor。driver负责把transaction级别的数据转变成DUT的端口级别，并驱动给DUT，monitor的行为与其相对，用于收集DUT的端口数据，并将其转换成transaction交给后续的组件如reference model、scoreboard等处理。

一个monitor的定义如下：

代码清单 2-29

文件：src/ch2/section2.3/2.3.3/my_monitor.sv

```
 3 class my_monitor extends uvm_monitor;
 4
 5    virtual my_if vif;
 6
 7    `uvm_component_utils(my_monitor)
 8    function new(string name = "my_monitor", uvm_component parent = null);
 9       super.new(name, parent);
10    endfunction
11
12    virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
13       super.build_phase(phase);
14       if(!uvm_config_db#(virtual my_if)::get(this, "", "vif", vif))
```

```
15          `uvm_fatal("my_monitor", "virtual interface must be set for vif!!!")
16    endfunction
17
18    extern task main_phase(uvm_phase phase);
19    extern task collect_one_pkt(my_transaction tr);
20 endclass
21
22 task my_monitor::main_phase(uvm_phase phase);
23    my_transaction tr;
24    while(1) begin
25       tr = new("tr");
26       collect_one_pkt(tr);
27    end
28 endtask
29
30 task my_monitor::collect_one_pkt(my_transaction tr);
31    bit[7:0] data_q[$];
32    int psize;
33    while(1) begin
34      @(posedge vif.clk);
35      if(vif.valid) break;
36    end
37
38    `uvm_info("my_monitor", "begin to collect one pkt", UVM_LOW);
39    while(vif.valid) begin
40       data_q.push_back(vif.data);
41       @(posedge vif.clk);
42    end
43    //pop dmac
44    for(int i = 0; i < 6; i++) begin
45       tr.dmac = {tr.dmac[39:0], data_q.pop_front()};
46    end
47    //pop smac
```
…

```
 51     //pop ether_type
…
 58     //pop payload
…
 62     //pop crc
 63     for(int i = 0; i < 4; i++) begin
 64        tr.crc = {tr.crc[23:0], data_q.pop_front()};
 65     end
 66     `uvm_info("my_monitor", "end collect one pkt, print it:", UVM_LOW);
 67     tr.my_print();
 68 endtask
```

有几点需要注意的是：第一，所有的monitor类应该派生自uvm_monitor；第二，与driver类似，在my_monitor中也需要有一个virtual my_if；第三，uvm_monitor在整个仿真中是一直存在的，所以它是一个component，要使用uvm_component_utils宏注册；第四，由于monitor需要时刻收集数据，永不停歇，所以在main_phase中使用while（1）循环来实现这一目的。

在查阅collect_one_pkt的代码时，可以与my_driver的drv_one_pkt对比来看，两者代码非常相似。当收集完一个transaction后，通过my_print函数将其打印出来。my_print在my_transaction中定义如下：

代码清单　2-30

文件：src/ch2/section2.3/2.3.3/my_transaction.sv

```
 31     function void my_print();
 32       $display("dmac = %0h", dmac);
 33       $display("smac = %0h", smac);
 34       $display("ether_type = %0h", ether_type);
 35       for(int i = 0; i < pload.size; i++) begin
```

```
 36         $display("pload[%0d] = %0h", i, pload[i]);
 37       end
 38       $display("crc = %0h", crc);
 39     endfunction
```

当完成monitor的定义后，可以在env中对其进行实例化：

代码清单　2-31

```
文件：src/ch2/section2.3/2.3.3/my_env.sv
  4 class my_env extends uvm_env;
  5
  6   my_driver drv;
  7   my_monitor i_mon;
  8
  9   my_monitor o_mon;
…
 15   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 16     super.build_phase(phase);
 17     drv = my_driver::type_id::create("drv", this);
 18     i_mon = my_monitor::type_id::create("i_mon", this);
 19     o_mon = my_monitor::type_id::create("o_mon", this);
 20   endfunction
…
 23 endclass
```

需要引起注意的是这里实例化了两个monitor，一个用于监测DUT的输入口，一个用于监测DUT的输出口。DUT的输出口设置一个monitor没有任何疑问，但是在DUT的输入口设置一个monitor有必要吗？由于transaction是由driver产生并输出到DUT的端口

上，所以driver可以直接将其交给后面的reference model。在2.1节所示的框图中，也是使用这样的策略。所以是否使用monitor，这个答案仁者见仁，智者见智。这里还是推荐使用monitor，原因是：第一，在一个大型的项目中，driver根据某一协议发送数据，而monitor根据这种协议收集数据，如果driver和monitor由不同人员实现，那么可以大大减少其中任何一方对协议理解的错误；第二，在后文将会看到，在实现代码重用时，使用monitor是非常有必要的。

现在，整棵UVM树的结构如图2-4所示。

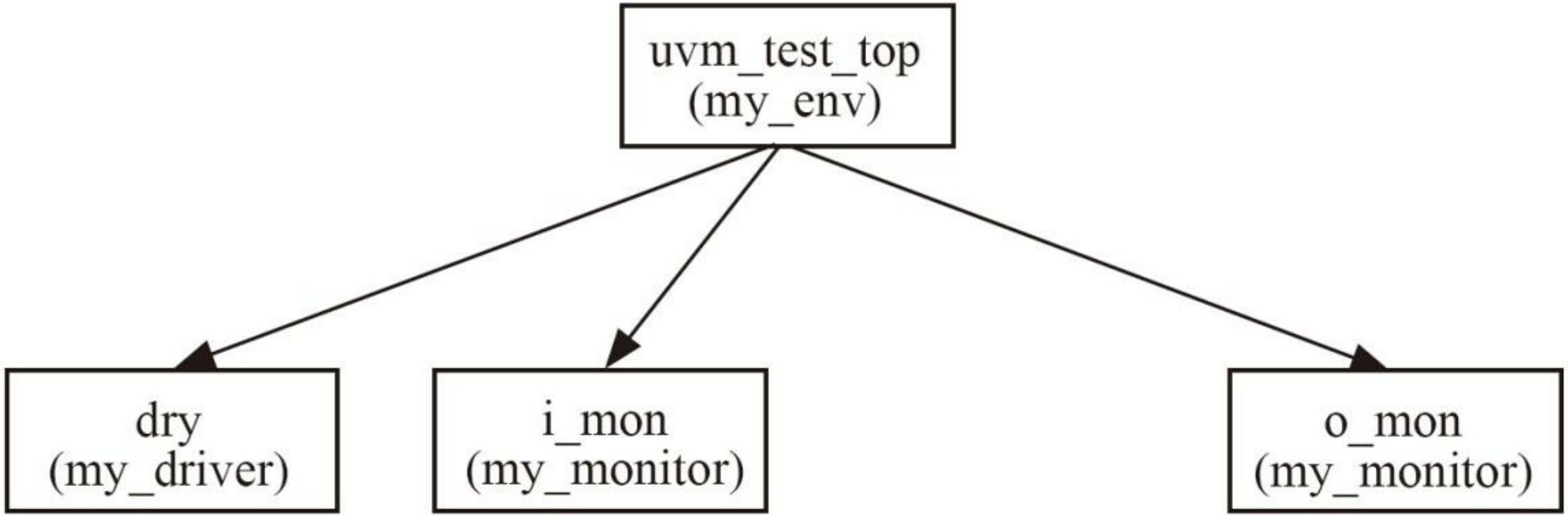


图2-4　UVM树的生长：加入monitor

在env中实例化monitor后，要在top_tb中使用config_db将input_if和output_if传递给两个monitor：

代码清单　2-32

文件：src/ch2/section2.3/2.3.3/top_tb.sv

```
47 initial begin
48    uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.drv", "vif", input_if);
49    uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.i_mon", "vif", input_if);
50    uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.o_mon", "vif", output_if);
51 end
```

*2.3.4 封装成agent

上一节在验证平台中加入monitor时，读者看到了driver和monitor之间的联系：两者之间的代码高度相似。其本质是因为二者处理的是同一种协议，在同样一套既定的规则下做着不同的事情。由于二者的这种相似性，UVM中通常将二者封装在一起，成为一个agent。因此，不同的agent就代表了不同的协议。

代码清单 2-33

文件：src/ch2/section2.3/2.3.4/my_agent.sv

```
 4 class my_agent extends uvm_agent ;
 5   my_driver     drv;
 6   my_monitor    mon;
 7
 8   function new(string name, uvm_component parent);
 9     super.new(name, parent);
10   endfunction
11
12   extern virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
13   extern virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
14
15   `uvm_component_utils(my_agent)
16 endclass
17
18
19 function void my_agent::build_phase(uvm_phase phase);
20   super.build_phase(phase);
21   if (is_active == UVM_ACTIVE) begin
22    drv = my_driver::type_id::create("drv", this);
```

```
23    end
24    mon = my_monitor::type_id::create("mon", this);
25  endfunction
26
27  function void my_agent::connect_phase(uvm_phase phase);
28    super.connect_phase(phase);
29  endfunction
```

所有的agent都要派生自uvm_agent类，且其本身是一个component，应该使用uvm_component_utils宏来实现factory注册。

这里最令人困惑的可能是build_phase中为何根据is_active这个变量的值来决定是否创建driver的实例。is_active是uvm_agent的一个成员变量，从UVM的源代码中可以找到它的原型如下：

代码清单　2-34

来源：UVM
源代码

```
  uvm_active_passive_enum is_active = UVM_ACTIVE;
```

而uvm_active_passive_enum是一个枚举类型变量，其定义为：

代码清单　2-35

来源：UVM
源代码

```
typedef enum bit { UVM_PASSIVE=0, UVM_ACTIVE=1 } uvm_active_passive_enum;
```

这个枚举变量仅有两个值：UVM_PASSIVE和UVM_ACTIVE。在uvm_agent中，is_active的值默认为UVM_ACTIVE，在这种模式下，是需要实例化driver的。那么什么是UVM_PASSIVE模式呢？以本章的DUT为例，如图2-5所示，在输出端口上不需要驱动任何信号，只需要监测信号。在这种情况下，端口上是只需要monitor的，所以driver可以不用实例化。

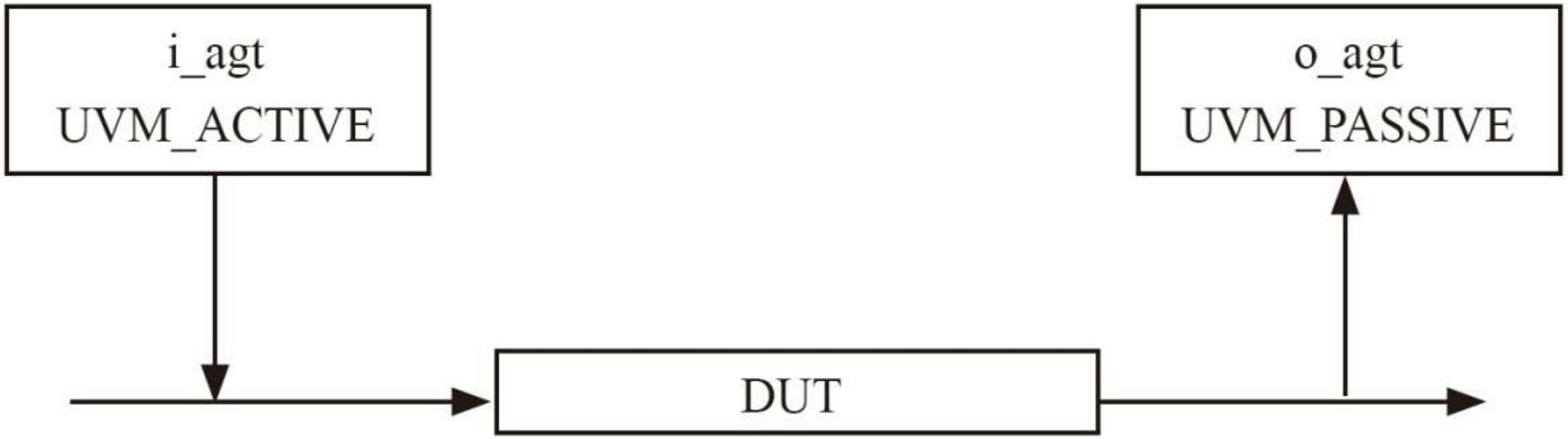


图2-5　DUT输入和输出端的agent

在把driver和monitor封装成agent后，在env中需要实例化agent，而不需要直接实例化driver和monitor了：

代码清单　2-36

文件：src/ch2/section2.3/2.3.4/my_env.sv

```
  4 class my_env extends uvm_env;
  5
  6   my_agent  i_agt;
  7   my_agent  o_agt;
…
 13   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 14     super.build_phase(phase);
 15     i_agt = my_agent::type_id::create("i_agt", this);
 16     o_agt = my_agent::type_id::create("o_agt", this);
 17     i_agt.is_active = UVM_ACTIVE;
 18     o_agt.is_active = UVM_PASSIVE;
 19   endfunction
…
 22 endclass
```

完成i_agt和o_agt的声明后，在my_env的build_phase中对它们进行实例化后，需要指定各自的工作模式是active模式还是passive模式。现在，整棵UVM树变为了如图2-6所示形式。

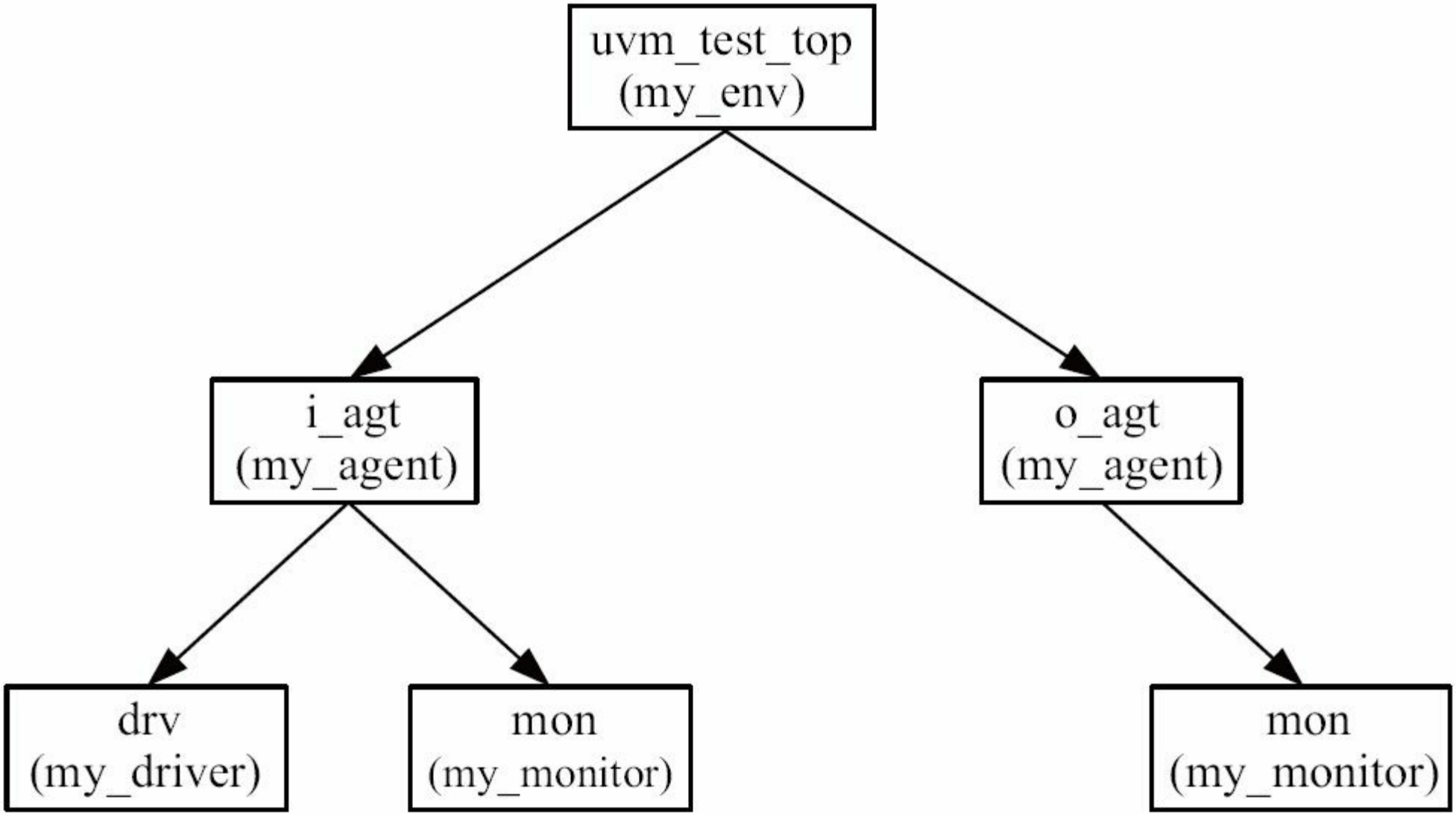


图2-6　UVM树的生长：加入agent

由于agent的加入，driver和monitor的层次结构改变了，在top_tb中使用config_db设置virtual my_if时要注意改变路径：

代码清单　2-37

```
文件：src/ch2/section2.3/2.3.4/top_tb.sv
 48 initial begin
 49    uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.i_agt.drv", "vif", input_if);
 50    uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.i_agt.mon", "vif", input_if);
 51    uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.o_agt.mon", "vif", output_if);
 52 end
```

在加入了my_agent后，UVM的树形结构越来越清晰。首先，只有uvm_component才能作为树的结点，像my_transaction这种使用uvm_object_utils宏实现的类是不能作为UVM树的结点的。其次，在my_env的build_phase中，创建i_agt和o_agt的实例是在build_phase中；在agent中，创建driver和monitor的实例也是在build_phase中。按照前文所述的build_phase的从树根到树叶的执行顺序，可以建立一棵完整的UVM树。UVM要求UVM树最晚在build_phase时段完成，如果在build_phase后的某个phase实例化一个component：

代码清单　2-38

```
class my_env extends uvm_env;
…
  virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
    super.build_phase(phase);
  endfunction
  virtual task main_phase(uvm_phase phase);
    i_agt = my_agent::type_id::create("i_agt", this);
```

```
    o_agt = my_agent::type_id::create("o_agt", this);
    i_agt.is_active = UVM_ACTIVE;
    o_agt.is_active = UVM_PASSIVE;
  endtask
endclass
```

如上所示，将在my_env的build_phase中的实例化工作移动到main_phase中，UVM会给出如下错误提示：

```
UVM_FATAL @ 0: i_agt [ILLCRT] It is illegal to create a component ('i_agt' under 'uvm_test_top') a
```

那么是不是只能在build_phase中执行实例化的动作呢？答案是否定的。其实还可以在new函数中执行实例化的动作。如可以在my_agent的new函数中实例化driver和monitor：

代码清单　2-39

```
function new(string name, uvm_component parent);
   super.new(name, parent);
   if (is_active == UVM_ACTIVE) begin
      drv = my_driver::type_id::create("drv", this);
   end
   mon = my_monitor::type_id::create("mon", this);
endfunction
```

这样引起的一个问题是无法通过直接赋值的方式向uvm_agent传递is_active的值。在my_env的build_phase（或者new函数）中，

向i_agt和o_agt的is_active赋值，根本不会产生效果。因此i_agt和o_agt都工作在active模式（is_active的默认值是UVM_ACTIVE），这与预想差距甚远。要解决这个问题，可以在my_agent实例化之前使用config_db语句传递is_active的值：

代码清单　2-40

```
class my_env extends uvm_env;
  virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
    super.build_phase(phase);
    uvm_config_db#(uvm_active_passive_enum)::set(this, "i_agt", "is_active", UVM_ACTIVE);
    uvm_config_db#(uvm_active_passive_enum)::set(this, "o_agt", "is_active", UVM_PASSIVE);
    i_agt = my_agent::type_id::create("i_agt", this);
    o_agt = my_agent::type_id::create("o_agt", this);
  endfunction
endclass
class my_agent extends uvm_agent ;
  function new(string name, uvm_component parent);
    super.new(name, parent);
    uvm_config_db#(uvm_active_passive_enum)::get(this, "", "is_active", is_active);
    if (is_active == UVM_ACTIVE) begin
     drv = my_driver::type_id::create("drv", this);
    end
    mon = my_monitor::type_id::create("mon", this);
  endfunction
endclass
```

只是UVM中约定俗成的还是在build_phase中完成实例化工作。因此，强烈建议仅在build_phase中完成实例化。

*2.3.5 加入reference model

在2.1节中讲述验证平台的框图时曾经说过，reference model用于完成和DUT相同的功能。reference model的输出被scoreboard接收，用于和DUT的输出相比较。DUT如果很复杂，那么reference model也会相当复杂。本章的DUT很简单，所以reference model也相当简单：

代码清单 2-41

文件：src/ch2/section2.3/2.3.5/my_model.sv

```
 4 class my_model extends uvm_component;
 5
 6    uvm_blocking_get_port #(my_transaction)  port;
 7    uvm_analysis_port #(my_transaction)  ap;
 8
 9    extern function new(string name, uvm_component parent);
10    extern function void build_phase(uvm_phase phase);
11    extern virtual  task main_phase(uvm_phase phase);
12
13    `uvm_component_utils(my_model)
14 endclass
15
16 function my_model::new(string name, uvm_component parent);
17    super.new(name, parent);
18 endfunction
19
20 function void my_model::build_phase(uvm_phase phase);
21    super.build_phase(phase);
22    port = new("port", this);
```

```
23    ap = new("ap", this);
24 endfunction
25
26 task my_model::main_phase(uvm_phase phase);
27    my_transaction tr;
28    my_transaction new_tr;
29    super.main_phase(phase);
30    while(1) begin
31       port.get(tr);
32       new_tr = new("new_tr");
33       new_tr.my_copy(tr);
34       `uvm_info("my_model", "get one transaction, copy and print it:", UVM_LOW)
35       new_tr.my_print();
36       ap.write(new_tr);
37    end
38 endtask
```

在my_model的main_phase中，只是单纯地复制一份从i_agt得到的tr，并传递给后级的scoreboard中。my_copy是一个在my_transaction中定义的函数，其代码为：

代码清单　2-42

文件：src/ch2/section2.3/2.3.5/my_transaction.sv

```
41   function void my_copy(my_transaction tr);
42      if(tr == null)
43        `uvm_fatal("my_transaction", "tr is null!!!!")
44      dmac = tr.dmac;
45      smac = tr.smac;
46      ether_type = tr.ether_type;
47      pload = new[tr.pload.size()];
```

```
48      for(int i = 0; i < pload.size(); i++) begin
49        pload[i] = tr.pload[i];
50      end
51      crc = tr.crc;
52    endfunction
```

这里实现了两个my_transaction的复制。

完成my_model的定义后，需要将其在my_env中实例化。其实例化方式与agent、driver相似，这里不具体列出代码。在加入my_model后，整棵UVM树变成了如图2-7所示的形式。

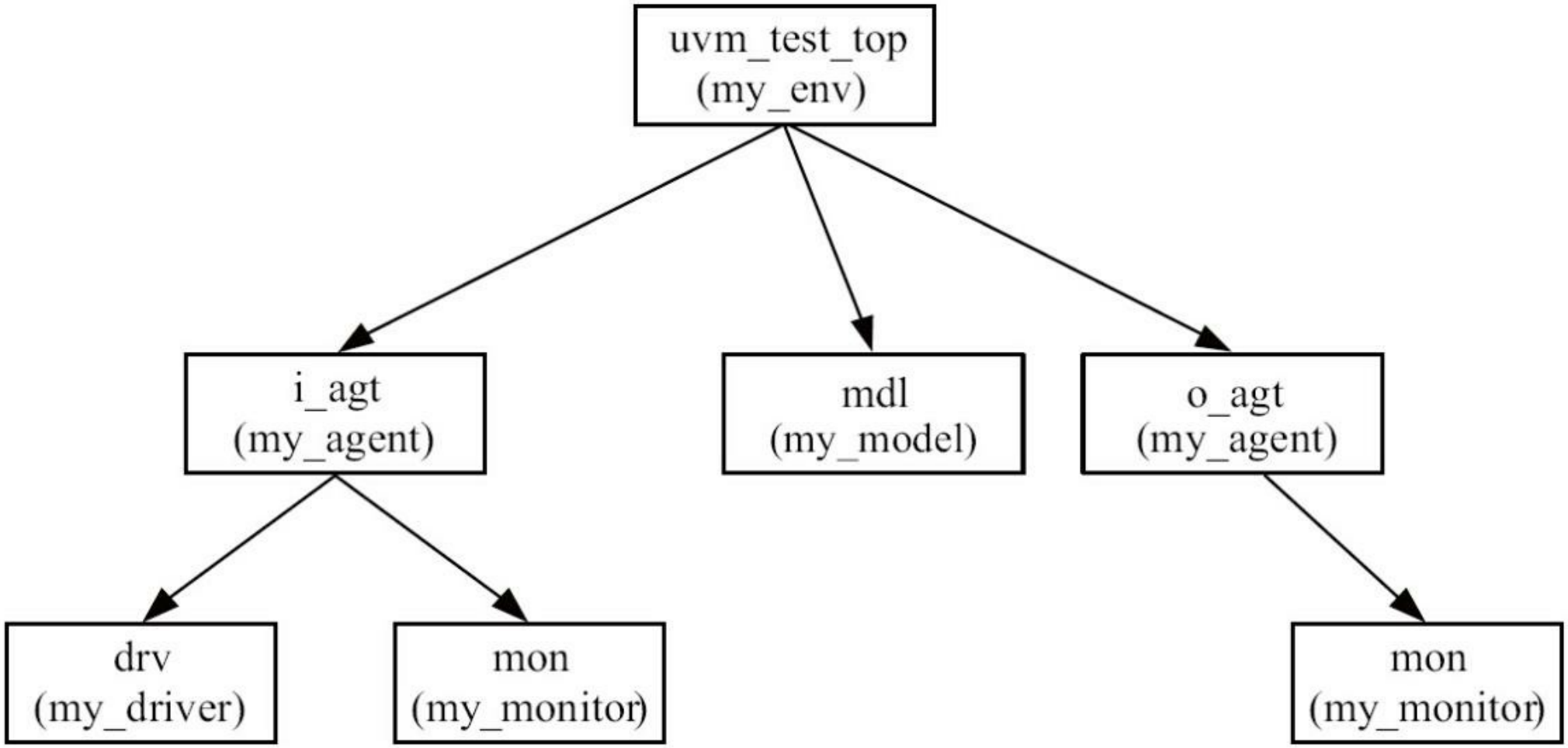


图2-7　UVM树的生长：加入reference model

my_model并不复杂，这其中令人感兴趣的是my_transaction的传递方式。my_model是从i_agt中得到my_transaction，并把my_transaction传递给my_scoreboard。在UVM中，通常使用TLM（Transaction Level Modeling）实现component之间transaction级别的通信。

要实现通信，有两点是值得考虑的：第一，数据是如何发送的？第二，数据是如何接收的？在UVM的transaction级别的通信中，数据的发送有多种方式，其中一种是使用uvm_analysis_port。在my_monitor中定义如下变量：

代码清单　2-43

```
文件：src/ch2/section2.3/2.3.5/my_monitor.sv
  7     uvm_analysis_port #(my_transaction)   ap;
```

uvm_analysis_port是一个参数化的类，其参数就是这个analysis_port需要传递的数据的类型，在本节中是my_transaction。

声明了ap后，需要在monitor的build_phase中将其实例化：

代码清单　2-44

```
文件：src/ch2/section2.3/2.3.5/my_monitor.sv
 14     virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
…
 18         ap = new("ap", this);
 19     endfunction
```

在main_phase中，当收集完一个transaction后，需要将其写入ap中：

代码清单　2-45

```
task my_monitor::main_phase(uvm_phase phase);
  my_transaction tr;
  while(1) begin
    tr = new("tr");
    collect_one_pkt(tr);
    ap.write(tr);
  end
endtask
```

write是uvm_analysis_port的一个内建函数。到此，在my_monitor中需要为transaction通信准备的工作已经全部完成。

UVM的transaction级别通信的数据接收方式也有多种，其中一种就是使用uvm_blocking_get_port。这也是一个参数化的类，其参数是要在其中传递的transaction的类型。在my_model的第6行中，定义了一个端口，并在build_phase中对其进行实例化。在main_phase中，通过port.get任务来得到从i_agt的monitor中发出的transaction。

在my_monitor和my_model中定义并实现了各自的端口之后，通信的功能并没有实现，还需要在my_env中使用fifo将两个端口联系在一起。在my_env中定义一个fifo，并在build_phase中将其实例化：

代码清单　2-46

```
文件：src/ch2/section2.3/2.3.5/my_env.sv
 10    uvm_tlm_analysis_fifo #(my_transaction) agt_mdl_fifo;
…
 23      agt_mdl_fifo = new("agt_mdl_fifo", this);
```

fifo的类型是uvm_tlm_analysis_fifo，它本身也是一个参数化的类，其参数是存储在其中的transaction的类型，这里是my_transaction。

之后，在connect_phase中将fifo分别与my_monitor中的analysis_port和my_model中的blocking_get_port相连：

代码清单　2-47

```
文件：src/ch2/section2.3/2.3.5/my_env.sv
 31 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
 32   super.connect_phase(phase);
 33   i_agt.ap.connect(agt_mdl_fifo.analysis_export);
 34   mdl.port.connect(agt_mdl_fifo.blocking_get_export);
 35 endfunction
```

这里引入了connect_phase。与build_phase及main_phase类似，connect_phase也是UVM内建的一个phase，它在build_phase执行完成之后马上执行。但是与build_phase不同的是，它的执行顺序并不是从树根到树叶，而是从树叶到树根——先执行driver和monitor的connect_phase，再执行agent的connect_phase，最后执行env的connect_phase。

为什么这里需要一个fifo呢？不能直接把my_monitor中的analysis_port和my_model中的blocking_get_port相连吗？由于analysis_port是非阻塞性质的，ap.write函数调用完成后马上返回，不会等待数据被接收。假如当write函数调用时，blocking_get_port正在忙于其他事情，而没有准备好接收新的数据时，此时被write函数写入的my_transaction就需要一个暂存的位置，这就是fifo。

在如上的连接中，用到了i_agt的一个成员变量ap，它的定义与my_monitor中ap的定义完全一样：

代码清单　2-48

```
文件：src/ch2/section2.3/2.3.5/my_agent.sv
  8    uvm_analysis_port #(my_transaction)   ap;
```

与my_monitor中的ap不同的是，不需要对my_agent中的ap进行实例化，而只需要在my_agent的connect_phase中将monitor的值赋给它，换句话说，这相当于是一个指向my_monitor的ap的指针：

代码清单　2-49

```
文件：src/ch2/section2.3/2.3.5/my_agent.sv
 29 function void my_agent::connect_phase(uvm_phase phase);
 30     super.connect_phase(phase);
 31     ap = mon.ap;
 32 endfunction
```

根据前面介绍的connect_phase的执行顺序，my_agent的connect_phase的执行顺序早于my_env的connect_phase的执行顺序，从而可以保证执行到i_agt.ap.connect语句时，i_agt.ap不是一个空指针。

*2.3.6 加入scoreboard

在验证平台中加入了reference model和monitor之后，最后一步是加入scoreboard。my_scoreboard的代码如下：

代码清单 2-50

文件：src/ch2/section2.3/2.3.6/my_scoreboard.sv

```
 3 class my_scoreboard extends uvm_scoreboard;
 4   my_transaction  expect_queue[$];
 5   uvm_blocking_get_port #(my_transaction)  exp_port;
 6   uvm_blocking_get_port #(my_transaction)  act_port;
 7   `uvm_component_utils(my_scoreboard)
 8
 9   extern function new(string name, uvm_component parent = null);
10   extern virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
11   extern virtual task main_phase(uvm_phase phase);
12 endclass
13
14 function my_scoreboard::new(string name, uvm_component parent = null);
15   super.new(name, parent);
16 endfunction
17
18 function void my_scoreboard::build_phase(uvm_phase phase);
19   super.build_phase(phase);
20   exp_port = new("exp_port", this);
21   act_port = new("act_port", this);
22 endfunction
23
24 task my_scoreboard::main_phase(uvm_phase phase);
25   my_transaction  get_expect,  get_actual, tmp_tran;
```

```
26   bit result;
27
28   super.main_phase(phase);
29   fork
30     while (1) begin
31       exp_port.get(get_expect);
32       expect_queue.push_back(get_expect);
33     end
34     while (1) begin
35       act_port.get(get_actual);
36       if(expect_queue.size() > 0) begin
37         tmp_tran = expect_queue.pop_front();
38         result = get_actual.my_compare(tmp_tran);
39         if(result) begin
40            `uvm_info("my_scoreboard", "Compare SUCCESSFULLY", UVM_LOW);
41         end
42         else begin
43            `uvm_error("my_scoreboard", "Compare FAILED");
44            $display("the expect pkt is");
45            tmp_tran.my_print();
46            $display("the actual pkt is");
47            get_actual.my_print();
48         end
49       end
50       else begin
51         `uvm_error("my_scoreboard", "Received from DUT, while Expect Que ue is empty");
52         $display("the unexpected pkt is");
53         get_actual.my_print();
54       end
55    end
56  join
57 endtask
```

my_scoreboard要比较的数据一是来源于reference model，二是来源于o_agt的monitor。前者通过exp_port获取，而后者通过act_port获取。在main_phase中通过fork建立起了两个进程，一个进程处理exp_port的数据，当收到数据后，把数据放入expect_queue中；另外一个进程处理act_port的数据，这是DUT的输出数据，当收集到这些数据后，从expect_queue中弹出之前从exp_port收到的数据，并调用my_transaction的my_compare函数。采用这种比较处理方式的前提是exp_port要比act_port先收到数据。由于DUT处理数据需要延时，而reference model是基于高级语言的处理，一般不需要延时，因此可以保证exp_port的数据在act_port的数据之前到来。

act_port和o_agt的ap的连接方式及exp_port和reference model的ap的连接方式与2.3.5节讲述的i_agt的ap和reference model的端口的连接方式类似，这里不再赘述。

代码清单2-50中的第38行用到了my_compare函数，这是一个在my_transaction中定义的函数，其原型为：

代码清单　2-51

文件：src/ch2/section2.3/2.3.6/my_scoreboard.sv

```
54    function bit my_compare(my_transaction tr);
55       bit result;
56
57       if(tr == null)
58          `uvm_fatal("my_transaction", "tr is null!!!!")
59       result = ((dmac == tr.dmac) &&
60                 (smac == tr.smac) &&
61                 (ether_type == tr.ether_type) &&
62                 (crc == tr.crc));
63       if(pload.size() != tr.pload.size())
```

```
64          result = 0;
65       else
66          for(int i = 0; i < pload.size(); i++) begin
67             if(pload[i] != tr.pload[i])
68               result = 0;
69          end
70       return result;
71    endfunction
```

它逐字段比较两个my_transaction，并给出最终的比较结果。

完成my_scoreboard的定义后，也需要在my_env中将其实例化。此时，整棵UVM树变为如图2-8所示的形式。

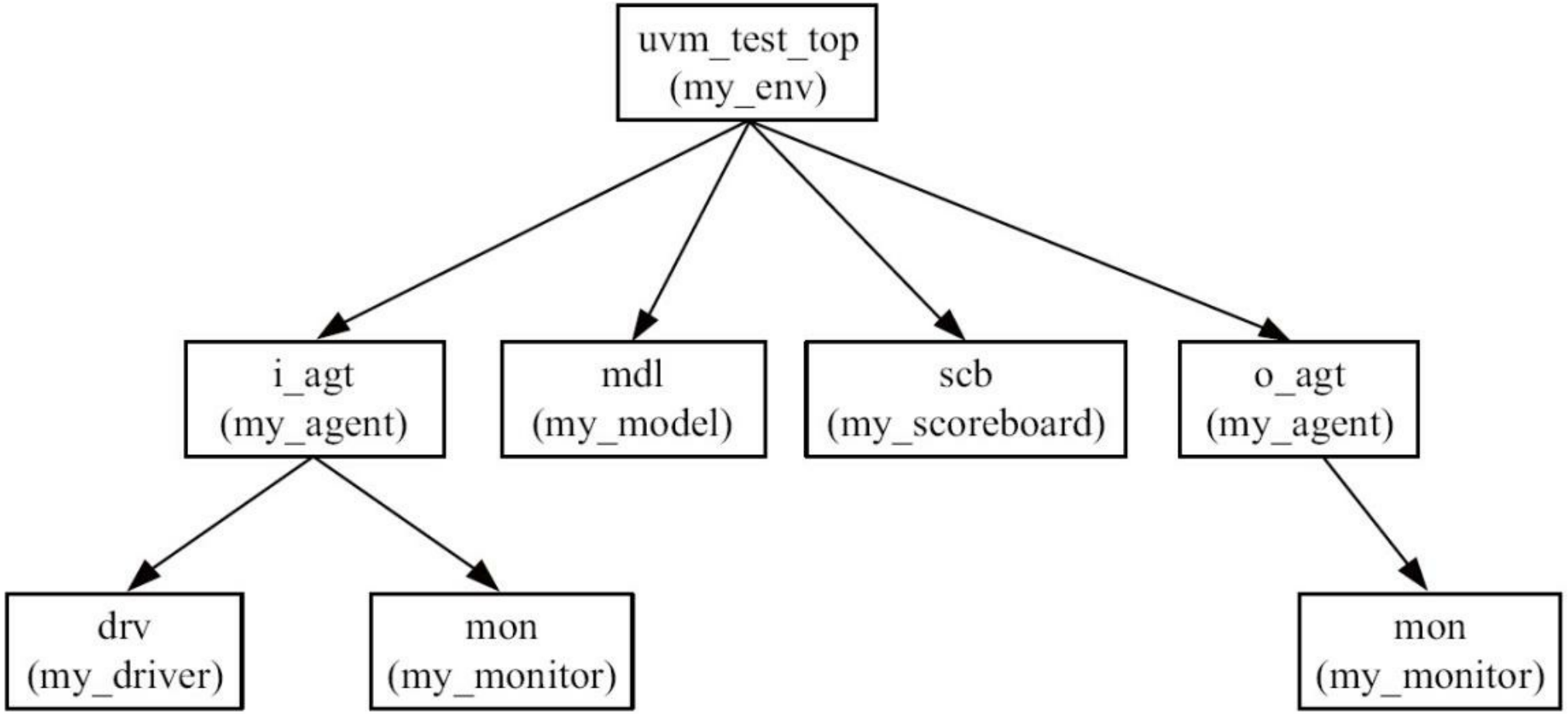


图2-8　UVM树的生长：加入scoreboard

*2.3.7 加入field_automation机制

在2.3.3节中引入my_mointor时，在my_transaction中加入了my_print函数；在2.3.5节中引入reference model时，加入了my_copy函数；在2.3.6节引入scoreboard时，加入了my_compare函数。上述三个函数虽然各自不同，但是对于不同的transaction来说，都是类似的：它们都需要逐字段地对transaction进行某些操作。

那么有没有某种简单的方法，可以通过定义某些规则自动实现这三个函数呢？答案是肯定的。这就是UVM中的field_automation机制，使用uvm_field系列宏实现：

代码清单 2-52

```
文件：src/ch2/section2.3/2.3.7/my_transaction.sv
  4 class my_transaction extends uvm_sequence_item;
  5
  6   rand bit[47:0] dmac;
  7   rand bit[47:0] smac;
  8   rand bit[15:0] ether_type;
  9   rand byte      pload[];
 10   rand bit[31:0] crc;
…
 25   `uvm_object_utils_begin(my_transaction)
 26     `uvm_field_int(dmac, UVM_ALL_ON)
 27     `uvm_field_int(smac, UVM_ALL_ON)
 28     `uvm_field_int(ether_type, UVM_ALL_ON)
 29     `uvm_field_array_int(pload, UVM_ALL_ON)
 30     `uvm_field_int(crc, UVM_ALL_ON)
```

```
 31    `uvm_object_utils_end
…
 37 endclass
```

这里使用uvm_object_utils_begin和uvm_object_utils_end来实现my_transaction的factory注册，在这两个宏中间，使用uvm_field宏注册所有字段。uvm_field系列宏随着transaction成员变量的不同而不同，如上面的定义中出现了针对bit类型的uvm_field_int及针对byte类型动态数组的uvm_field_array_int。3.3.1节列出了所有的uvm_field系列宏。

当使用上述宏注册之后，可以直接调用copy、compare、print等函数，而无需自己定义。这极大地简化了验证平台的搭建，提高了效率：

代码清单　2-53

文件：src/ch2/section2.3/2.3.7/my_model.sv

```
 26 task my_model::main_phase(uvm_phase phase);
 27   my_transaction tr;
 28   my_transaction new_tr;
 29   super.main_phase(phase);
 30   while(1) begin
 31     port.get(tr);
 32     new_tr = new("new_tr");
 33     new_tr.copy(tr);
 34     `uvm_info("my_model", "get one transaction, copy and print it:", UVM_LOW)
 35     new_tr.print();
 36     ap.write(new_tr);
 37   end
 38 endtask
```

代码清单　2-54

文件：src/ch2/section2.3/2.3.7/my_scoreboard.sv

```
…
 34      while (1) begin
 35        act_port.get(get_actual);
 36        if(expect_queue.size() > 0) begin
 37          tmp_tran = expect_queue.pop_front();
 38          result = get_actual.compare(tmp_tran);
 39          if(result) begin
 40            `uvm_info("my_scoreboard", "Compare SUCCESSFULLY", UVM_LOW);
 41          end
…
```

引入field_automation机制的另外一大好处是简化了driver和monitor。在2.3.1节及2.3.3节中，my_driver的drv_one_pkt任务和my_monitor的collect_one_pkt任务代码很长，但是几乎都是一些重复性的代码。使用field_automation机制后，drv_one_pkt任务可以简化为：

代码清单　2-55

文件：src/ch2/section2.3/2.3.7/my_driver.sv

```
 38 task my_driver::drive_one_pkt(my_transaction tr);
 39   byte unsigned     data_q[];
 40   int  data_size;
 41
 42   data_size = tr.pack_bytes(data_q) / 8;
```

```
43    `uvm_info("my_driver", "begin to drive one pkt", UVM_LOW);
44    repeat(3) @(posedge vif.clk);
45    for ( int i = 0; i < data_size; i++ ) begin
46       @(posedge vif.clk);
47       vif.valid <= 1'b1;
48       vif.data <= data_q[i];
49    end
50
51    @(posedge vif.clk);
52    vif.valid <= 1'b0;
53    `uvm_info("my_driver", "end drive one pkt", UVM_LOW);
54 endtask
```

第42行调用pack_bytes将tr中所有的字段变成byte流放入data_q中，在2.3.1节中是手工地将所有字段放入data_q中的。pack_bytes极大地减少了代码量。在把所有的字段变成byte流放入data_q中时，字段按照uvm_field系列宏书写的顺序排列。在上述代码中是先放入dmac，再依次放入smac、ether_type、pload、crc。假如my_transaction定义时各个字段的顺序如下：

代码清单　2-56

```
`uvm_object_utils_begin(my_transaction)
   `uvm_field_int(smac, UVM_ALL_ON)
   `uvm_field_int(dmac, UVM_ALL_ON)
   `uvm_field_int(ether_type, UVM_ALL_ON)
   `uvm_field_array_int(pload, UVM_ALL_ON)
   `uvm_field_int(crc, UVM_ALL_ON)
`uvm_object_utils_end
```

那么将会先放入smac，再依次放入dmac、ether_type、pload、crc。

my_monitor的collect_one_pkt可以简化成：

代码清单　2-57

文件：src/ch2/section2.3/2.3.7/my_monitor.sv

```
 34 task my_monitor::collect_one_pkt(my_transaction tr);
 35   byte unsigned data_q[$];
 36   byte unsigned data_array[];
 37   logic [7:0] data;
 38   logic valid = 0;
 39   int data_size;
…
 46   `uvm_info("my_monitor", "begin to collect one pkt", UVM_LOW);
 47   while(vif.valid) begin
 48      data_q.push_back(vif.data);
 49      @(posedge vif.clk);
 50   end
 51   data_size  = data_q.size();
 52   data_array = new[data_size];
 53   for ( int i = 0; i < data_size; i++ ) begin
 54      data_array[i] = data_q[i];
 55   end
 56   tr.pload = new[data_size - 18]; //da sa, e_type, crc
 57   data_size = tr.unpack_bytes(data_array) / 8;
 58   `uvm_info("my_monitor", "end collect one pkt", UVM_LOW);
 59 endtask
```

这里使用unpack_bytes函数将data_q中的byte流转换成tr中的各个字段。unpack_bytes函数的输入参数必须是一个动态数组，所以需要先把收集到的、放在data_q中的数据复制到一个动态数组中。由于tr中的pload是一个动态数组，所以需要在调用unpack_bytes之前指定其大小，这样unpack_bytes函数才能正常工作。

2.4 UVM的终极大作：sequence

*2.4.1 在验证平台中加入sequencer

sequence机制用于产生激励，它是UVM中最重要的机制之一。在本书前面所有的例子中，激励都是在driver中产生的，但是在一个规范化的UVM验证平台中，driver只负责驱动transaction，而不负责产生transaction。sequence机制有两大组成部分，一是sequence，二是sequencer。本节先介绍如何在验证平台中加入sequencer。一个sequencer的定义如下：

代码清单 2-58

```
文件：src/ch2/section2.4/2.4.1/my_sequencer.sv
  4 class my_sequencer extends uvm_sequencer #(my_transaction);
  5
  6    function new(string name, uvm_component parent);
  7       super.new(name, parent);
  8    endfunction
  9
 10    `uvm_component_utils(my_sequencer)
 11 endclass
```

sequencer的定义非常简单，派生自uvm_sequencer，并且使用uvm_component_utils宏来注册到factory中。uvm_sequencer是一个参数化的类，其参数是my_transaction，即此sequencer产生的transaction的类型。

sequencer产生transaction，而driver负责接收transaction。在前文的例子中，定义my_driver时都是直接从uvm_driver中派生：

代码清单　2-59

```
class my_driver extends uvm_driver;
```

但实际上，这种定义方法并不多见，由于uvm_driver也是一个参数化的类，应该在定义driver时指明此driver要驱动的transaction的类型：

代码清单　2-60

```
文件：src/ch2/section2.4/2.4.1/my_driver.sv
 3 class my_driver extends uvm_driver#(my_transaction);
```

这样定义的好处是可以直接使用uvm_driver中的某些预先定义好的成员变量，如uvm_driver中有成员变量req，它的类型就是传递给uvm_driver的参数，在这里就是my_transaction，可以直接使用req：

代码清单　2-61

```
文件：src/ch2/section2.4/2.4.1/my_driver.sv
 22 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
 23     phase.raise_objection(this);
```

```
24     vif.data <= 8'b0;
25     vif.valid <= 1'b0;
26     while(!vif.rst_n)
27        @(posedge vif.clk);
28     for(int i = 0; i < 2; i++) begin
29        req = new("req");
30        assert(req.randomize() with {pload.size == 200;});
31        drive_one_pkt(req);
32     end
33     repeat(5) @(posedge vif.clk);
34     phase.drop_objection(this);
35  endtask
```

这里依然是在driver中产生激励，下一节中将会把激励产生的功能从driver中移除。

在完成sequencer的定义后，由于sequencer与driver的关系非常密切，因此要把其加入agent中：

代码清单　2-62

文件：src/ch2/section2.4/2.4.1/my_agent.sv

```
  4 class my_agent extends uvm_agent ;
  5    my_sequencer  sqr;
  6    my_driver     drv;
  7    my_monitor    mon;
  8
  9    uvm_analysis_port #(my_transaction)  ap;
…
 19 endclass
 20
 21
```

```
22 function void my_agent::build_phase(uvm_phase phase);
23    super.build_phase(phase);
24    if (is_active == UVM_ACTIVE) begin
25       sqr = my_sequencer::type_id::create("sqr", this);
26       drv = my_driver::type_id::create("drv", this);
27    end
28    mon = my_monitor::type_id::create("mon", this);
29 endfunction
30
31 function void my_agent::connect_phase(uvm_phase phase);
32    super.connect_phase(phase);
33    ap = mon.ap;
34 endfunction
```

在加入sequencer后，整个UVM树的结构变成如图2-9所示的形式。

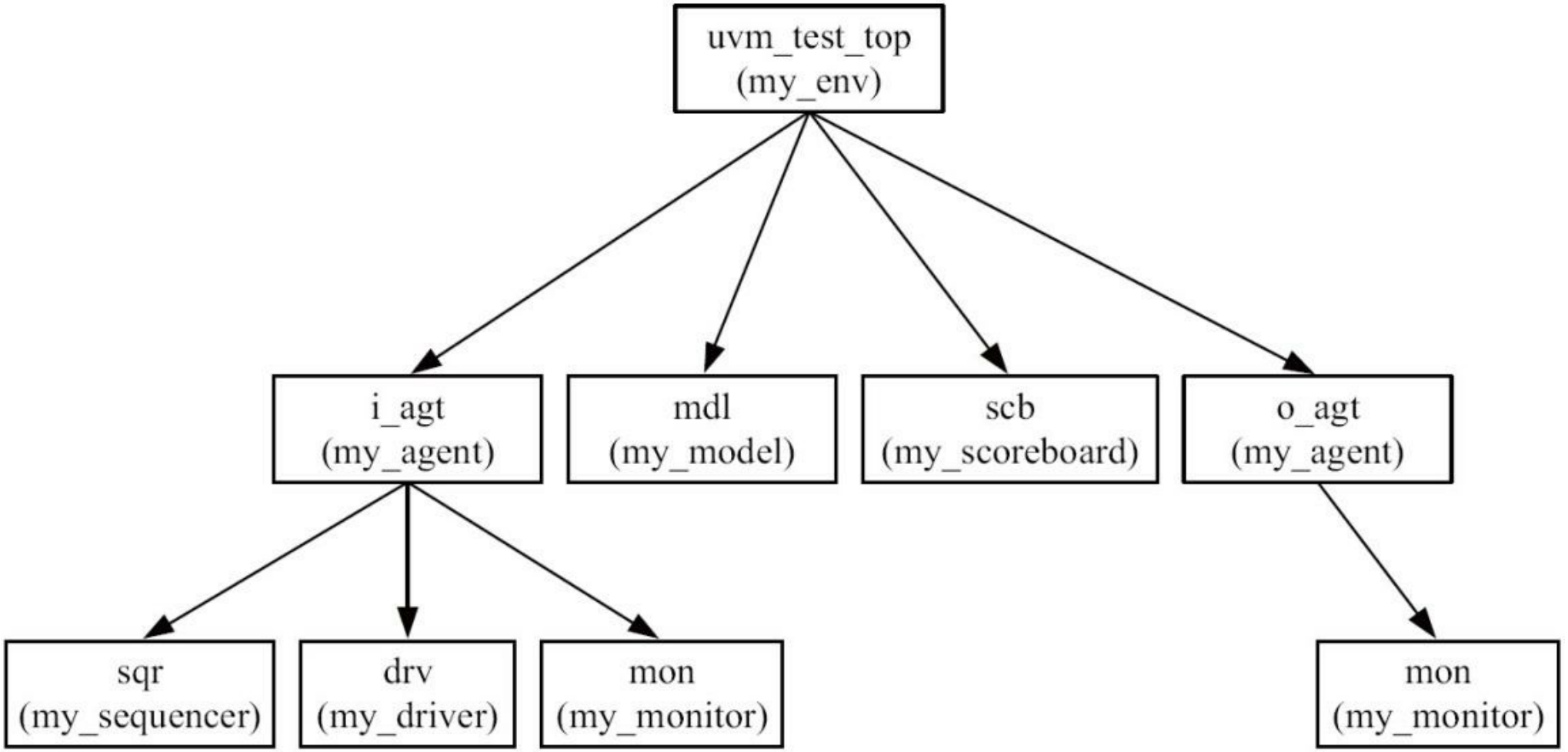


图2-9　UVM树的生长：加入sequencer

*2.4.2 sequence机制

在加入sequencer后，整棵UVM树如图2-9所示，验证平台如图2-2所示，是一个完整的验证平台。但是在这个验证平台框图中，却找不到sequence的位置。相对于图2-2所示的验证平台来说，sequence处于一个比较特殊的位置，如图2-10所示。

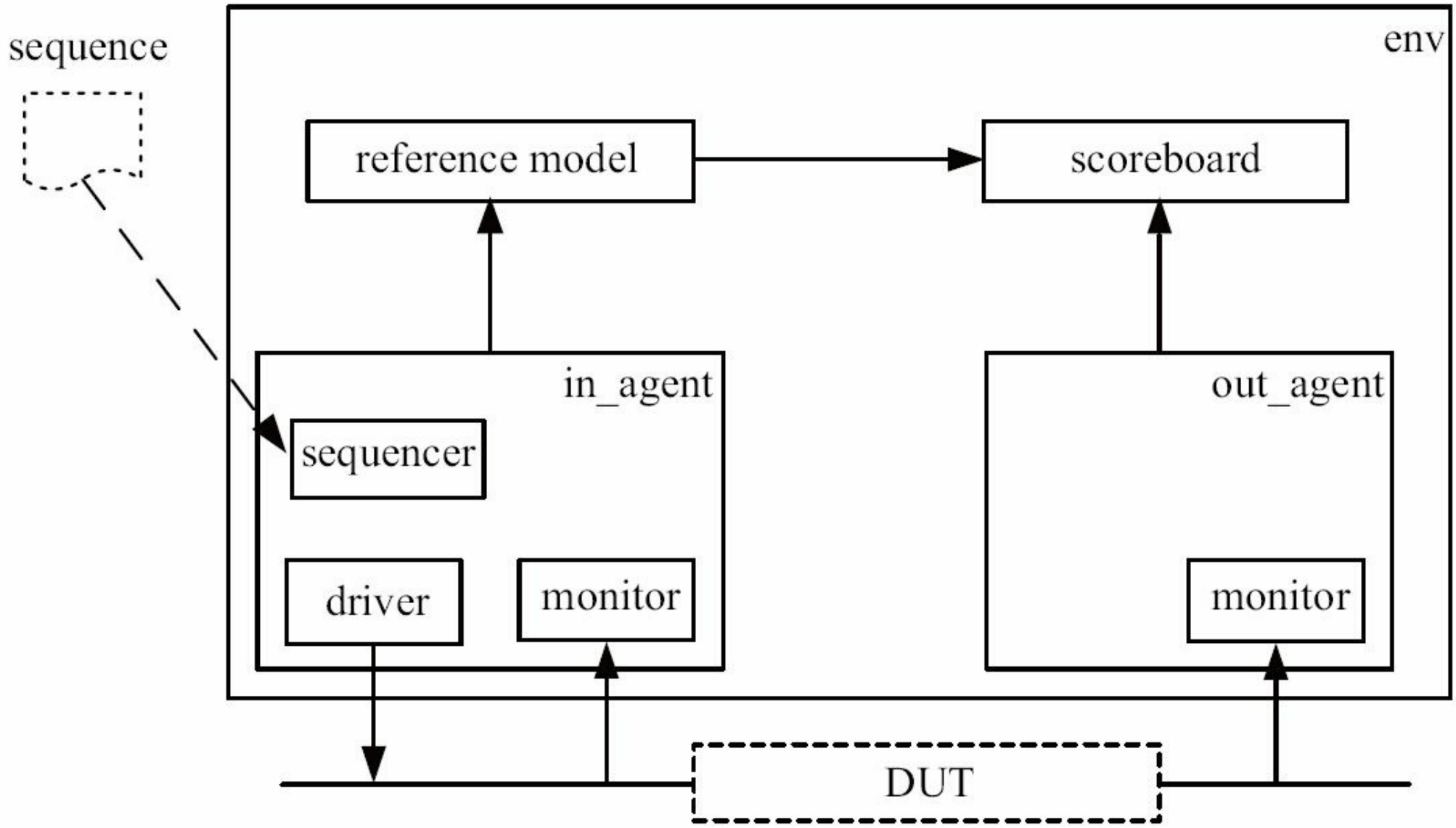


图2-10　带sequence的UVM验证平台

sequence不属于验证平台的任何一部分，但是它与sequencer之间有密切的联系，这点从二者的名字就可以看出来。只有在sequencer的帮助下，sequence产生出的transaction才能最终送给driver；同样，sequencer只有在sequence出现的情况下才能体现其价值，如果没有sequence，sequencer就几乎没有任何作用。sequence就像是一个弹夹，里面的子弹是transaction，而sequencer是一把枪。弹夹只有放入枪中才有意义，枪只有在放入弹夹后才能发挥威力。

除了联系外，sequence与sequencer还有显著的区别。从本质上来说，sequencer是一个uvm_component，而sequence是一个uvm_object。与my_transaction一样，sequence也有其生命周期。它的生命周期比my_transaction要更长一些，其内的transaction全部发送完毕后，它的生命周期也就结束了。这就好比一个弹夹，其里面的子弹用完后就没有任何意义了。因此，一个sequence应该使用uvm_object_utils宏注册到factory中：

代码清单　2-63

文件：src/ch2/section2.4/2.4.2/my_sequence.sv

```
 4 class my_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
 5   my_transaction m_trans;
 6
 7   function new(string name= "my_sequence");
 8     super.new(name);
 9   endfunction
10
11   virtual task body();
12     repeat (10) begin
13       `uvm_do(m_trans)
14     end
15     #1000;
```

```
16    endtask
17
18    `uvm_object_utils(my_sequence)
19 endclass
```

每一个sequence都应该派生自uvm_sequence，并且在定义时指定要产生的transaction的类型，这里是my_transaction。每一个sequence都有一个body任务，当一个sequence启动之后，会自动执行body中的代码。在上面的例子中，用到了一个全新的宏：uvm_do。这个宏是UVM中最常用的宏之一，它用于：①创建一个my_transaction的实例m_trans；②将其随机化；③最终将其送给sequencer。如果不使用uvm_do宏，也可以直接使用start_item与finish_item的方式产生transaction，6.3.4节将讲述这种方式。对于初学者来说，使用uvm_do宏即可。

一个sequence在向sequencer发送transaction前，要先向sequencer发送一个请求，sequencer把这个请求放在一个仲裁队列中。作为sequencer，它需做两件事情：第一，检测仲裁队列里是否有某个sequence发送transaction的请求；第二，检测driver是否申请transaction。

1）如果仲裁队列里有发送请求，但是driver没有申请transaction，那么sequencer将会一直处于等待driver的状态，直到driver申请新的transaction。此时，sequencer同意sequence的发送请求，sequence在得到sequencer的批准后，产生出一个transaction并交给sequencer，后者把这个transaction交给driver。

2）如果仲裁队列中没有发送请求，但是driver向sequencer申请新的transaction，那么sequencer将会处于等待sequence的状态，一直到有sequence递交发送请求，sequencer马上同意这个请求，sequence产生transaction并交给sequencer，最终driver获得这个

transaction。

3）如果仲裁队列中有发送请求，同时driver也在向sequencer申请新的transaction，那么将会同意发送请求，sequence产生transaction并交给sequencer，最终driver获得这个transaction。

driver如何向sequencer申请transaction呢？在uvm_driver中有成员变量seq_item_port，而在uvm_sequencer中有成员变量seq_item_export，这两者之间可以建立一个“通道”，通道中传递的transaction类型就是定义my_sequencer和my_driver时指定的transaction类型，在这里是my_transaction，当然了，这里并不需要显式地指定“通道”的类型，UVM已经做好了。在my_agent中，使用connect函数把两者联系在一起：

代码清单　2-64

文件：src/ch2/section2.4/2.4.2/my_agent.sv

```
31 function void my_agent::connect_phase(uvm_phase phase);
32   super.connect_phase(phase);
33   if (is_active == UVM_ACTIVE) begin
34     drv.seq_item_port.connect(sqr.seq_item_export);
35   end
36   ap = mon.ap;
37 endfunction
```

当把二者连接好之后，就可以在driver中通过get_next_item任务向sequencer申请新的transaction：

代码清单　2-65

文件：src/ch2/section2.4/2.4.2/my_driver.sv

```
 22 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
 23    vif.data <= 8'b0;
 24    vif.valid <= 1'b0;
 25    while(!vif.rst_n)
 26       @(posedge vif.clk);
 27    while(1) begin
 28       seq_item_port.get_next_item(req);
 29       drive_one_pkt(req);
 30       seq_item_port.item_done();
 31    end
 32 endtask
```

在如上的代码中，一个最显著的特征是使用了while（1）循环，因为driver只负责驱动transaction，而不负责产生，只要有transaction就驱动，所以必须做成一个无限循环的形式。这与monitor、reference model和scoreboard的情况非常类似。

通过get_next_item任务来得到一个新的req，并且驱动它，驱动完成后调用item_done通知sequencer。这里为什么会有一个item_done呢？当driver使用get_next_item得到一个transaction时，sequencer自己也保留一份刚刚发送出的transaction。当出现sequencer发出了transaction，而driver并没有得到的情况时，sequencer会把保留的这份transaction再发送出去。那么sequencer如何知道driver是否已经成功得到transaction呢？如果在下次调用get_next_item前，item_done被调用，那么sequencer就认为driver已经得到了这个transaction，将会把这个transaction删除。换言之，这其实是一种为了增加可靠性而使用的握手机制。

在sequence中，向sequencer发送transaction使用的是uvm_do宏。这个宏什么时候会返回呢？uvm_do宏产生了一个transaction并交给sequencer，driver取走这个transaction后，uvm_do并不会立刻返回执行下一次的uvm_do宏，而是等待在那里，直到driver返回

item_done信号。此时，uvm_do宏才算是执行完毕，返回后开始执行下一个uvm_do，并产生新的transaction。

在实现了driver后，接下来的问题是：sequence如何向sequencer中送出transaction呢？前面已经定义了sequence，只需要在某个component（如my_sequencer、my_env）的main_phase中启动这个sequence即可。以在my_env中启动为例：

代码清单　2-66

```
文件：src/ch2/section2.4/2.4.2/my_env.sv
 48 task my_env::main_phase(uvm_phase phase);
 49   my_sequence seq;
 50   phase.raise_objection(this);
 51   seq = my_sequence::type_id::create("seq");
 52   seq.start(i_agt.sqr);
 53   phase.drop_objection(this);
 54 endtask
```

首先创建一个my_sequence的实例seq，之后调用start任务。start任务的参数是一个sequencer指针，如果不指明此指针，则sequence不知道将产生的transaction交给哪个sequencer。

这里需要引起关注的是objection，在UVM中，objection一般伴随着sequence，通常只在sequence出现的地方才提起和撤销objection。如前面所说，sequence是弹夹，当弹夹里面的子弹用光之后，可以结束仿真了。

也可以在sequencer中启动sequence：

代码清单　2-67

```
task my_sequencer::main_phase(uvm_phase phase);
  my_sequence seq;
  phase.raise_objection(this);
  seq = my_sequence::type_id::create("seq");
  seq.start(this);
  phase.drop_objection(this);
endtask
```

在sequencer中启动与在my_env中启动相比，唯一区别是seq.start的参数变为了this。

另外，在代码清单2-65的第28行使用了get_next_item。其实，除get_next_item之外，还可以使用try_next_item。get_next_item是阻塞的，它会一直等到有新的transaction才会返回；try_next_item则是非阻塞的，它尝试着询问sequencer是否有新的transaction，如果有，则得到此transaction，否则就直接返回。

使用try_next_item的driver的代码如下：

代码清单　2-68

```
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
  vif.data <= 8'b0;
  vif.valid <= 1'b0;
  while(!vif.rst_n)
    @(posedge vif.clk);
```

```
    while(1) begin
      seq_item_port.try_next_item(req);
      if(req == null)
        @(posedge vif.clk);
      else begin
        drive_one_pkt(req);
        seq_item_port.item_done();
      end
    end
  endtask
```

相比于get_next_item，try_next_item的行为更加接近真实driver的行为：当有数据时，就驱动数据，否则总线将一直处于空闲状态。

*2.4.3 default_sequence的使用

在上一节的例子中，sequence是在my_env的main_phase中手工启动的，作为示例使用这种方式足够了，但是在实际应用中，使用最多的还是通过default_sequence的方式启动sequence。

使用default_sequence的方式非常简单，只需要在某个component（如my_env）的build_phase中设置如下代码即可：

代码清单 2-69

```
文件：src/ch2/section2.4/2.4.3/my_env.sv
 19   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 20      super.build_phase(phase);
…
 30      uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 31                                              "i_agt.sqr.main_phase",
 32                                              "default_sequence",
 33                                              my_sequence::type_id::get());
 34
 35   endfunction
```

这是除了在top_tb中通过config_db设置virtual interface后再一次用到config_db的功能。与在top_tb中不同的是，这里set函数的第一个参数由null变成了this，而第二个代表路径的参数则去除了uvm_test_top。事实上，第二个参数是相对于第一个参数的相对路径，由于上述代码是在my_env中，而my_env本身已经是uvm_test_top了，且第一个参数被设置为了this，所以第二个参数中就不需要uvm_test_top了。在top_tb中设置virtual interface时，由于top_tb不是一个类，无法使用this指针，所以设置set的第一个参数为

null，第二个参数使用绝对路径uvm_test_top.xxx。

另外，在第二个路径参数中，出现了main_phase。这是UVM在设置default_sequence时的要求。由于除了main_phase外，还存在其他任务phase，如configure_phase、reset_phase等，所以必须指定是哪个phase，从而使sequencer知道在哪个phase启动这个sequence。

至于set的第三个和第四个参数，以及uvm_config_db#（uvm_object_wrapper）中为什么是uvm_object_wrapper而不是uvm_sequence或者其他，则纯粹是由于UVM的规定，用户在使用时照做即可。

其实，除了在my_env的build_phase中设置default_sequence外，还可以在其他地方设置，比如top_tb：

代码清单　2-70

```
module top_tb;
…
initial begin
   uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(null,
                                           "uvm_test_top.i_agt.sqr.main_phase",
                                           "default_sequence",
                                           my_sequence::type_id::get());
end
endmodule
```

这种情况下set函数的第一个参数和第二个参数应该改变一下。另外，还可以在其他的component里设置，如my_agent的

build_phase里：

代码清单　2-71

```
function void my_agent::build_phase(uvm_phase phase);
  super.build_phase(phase);
…
  uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
                                          "sqr.main_phase",
                                          "default_sequence",
                                          my_sequence::type_id::get());
endfunction
```

只需要正确地设置set的第二个参数即可。

config_db通常都是成对出现的。在top_tb中通过set设置virtual interface，而在driver或者monitor中通过get函数得到virtual interface。那么在这里是否需要在sequencer中手工写一些get相关的代码呢？答案是否定的。UVM已经做好了这些，读者无需再把时间花在这上面。

使用default_sequence启动sequence的方式取代了上一节代码清单2-66中在sequencer的main_phase中手工启动sequence的相关语句，但是新的问题出现了：在上一节启动sequence前后，分别提起和撤销objection，此时使用default_sequence又如何提起和撤销objection呢？

在uvm_sequence这个基类中，有一个变量名为starting_phase，它的类型是uvm_phase，sequencer在启动default_sequence时，会

自动做如下相关操作：

代码清单　2-72

```
task my_sequencer::main_phase(uvm_phase phase);
…
  seq.starting_phase = phase;
  seq.start(this);
…
endtask
```

因此，可以在sequence中使用starting_phase进行提起和撤销objection：

代码清单　2-73 [1]

```
文件：src/ch2/section2.4/2.4.3/my_sequence.sv
  4 class my_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
  5   my_transaction m_trans;
…
 11   virtual task body();
 12     if(starting_phase != null)
 13       starting_phase.raise_objection(this);
 14     repeat (10) begin
 15       `uvm_do(m_trans)
 16     end
 17     #1000;
 18     if(starting_phase != null)
 19       starting_phase.drop_objection(this);
```

```
20    endtask
21
22    `uvm_object_utils(my_sequence)
23 endclass
```

从而，objection完全与sequence关联在了一起，在其他任何地方都不必再设置objection。

[1] 在本书即将出版时，UVM1.2发布，优化了starting_phase的功能，其使用方式也有所变更，读者可以参考UVM1.2的文档。

2.5 建造测试用例

*2.5.1 加入base_test

UVM使用的是一种树形结构，在本书的例子中，最初这棵树的树根是my_driver，后来由于要放置其他component，树根变成了my_env。但是在一个实际应用的UVM验证平台中，my_env并不是树根，通常来说，树根是一个基于uvm_test派生的类。本节先讲述base_test，真正的测试用例都是基于base_test派生的一个类。

代码清单 2-74

文件：src/ch2/section2.5/2.5.1/base_test.sv

```
 4 class base_test extends uvm_test;
 5
 6    my_env       env;
 7
 8    function new(string name = "base_test", uvm_component parent = null);
 9       super.new(name,parent);
10    endfunction
11
12    extern virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
13    extern virtual function void report_phase(uvm_phase phase);
14    `uvm_component_utils(base_test)
15 endclass
16
17
18 function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
```

```
19    super.build_phase(phase);
20    env  =  my_env::type_id::create("env", this);
21    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
22                                    "env.i_agt.sqr.main_phase",
23                                    "default_sequence",
24                                    my_sequence::type_id::get());
25 endfunction
26
27 function void base_test::report_phase(uvm_phase phase);
28    uvm_report_server server;
29    int err_num;
30    super.report_phase(phase);
31
32    server = get_report_server();
33    err_num = server.get_severity_count(UVM_ERROR);
34
35    if (err_num != 0) begin
36       $display("TEST CASE FAILED");
37    end
38    else begin
39       $display("TEST CASE PASSED");
40    end
41 endfunction
```

base_test派生自uvm_test，使用uvm_component_utils宏来注册到factory中。在build_phase中实例化my_env，并设置sequencer的default_sequence。需要注意的是，这里设置了default_sequence，其他地方就不需要再设置了。

除了实例化env外，base_test中做的事情在不同的公司各不相同。上面的代码中出现了report_phase，在report_phase中根据UVM_ERROR的数量来打印不同的信息。一些日志分析工具可以根据打印的信息来判断DUT是否通过了某个测试用例的检查。

report_phase也是UVM内建的一个phase，它在main_phase结束之后执行。

除了上述操作外，还通常在base_test中做如下事情：第一，设置整个验证平台的超时退出时间；第二，通过config_db设置验证平台中某些参数的值。这些根据不同的验证平台及不同的公司而不同，没有统一的答案。

在把my_env放入base_test中之后，UVM树的层次结构变为如图2-11所示的形式。

top_tb中run_test的参数从my_env变成了base_test，并且config_db中设置virtual interface的路径参数要做如下改变：

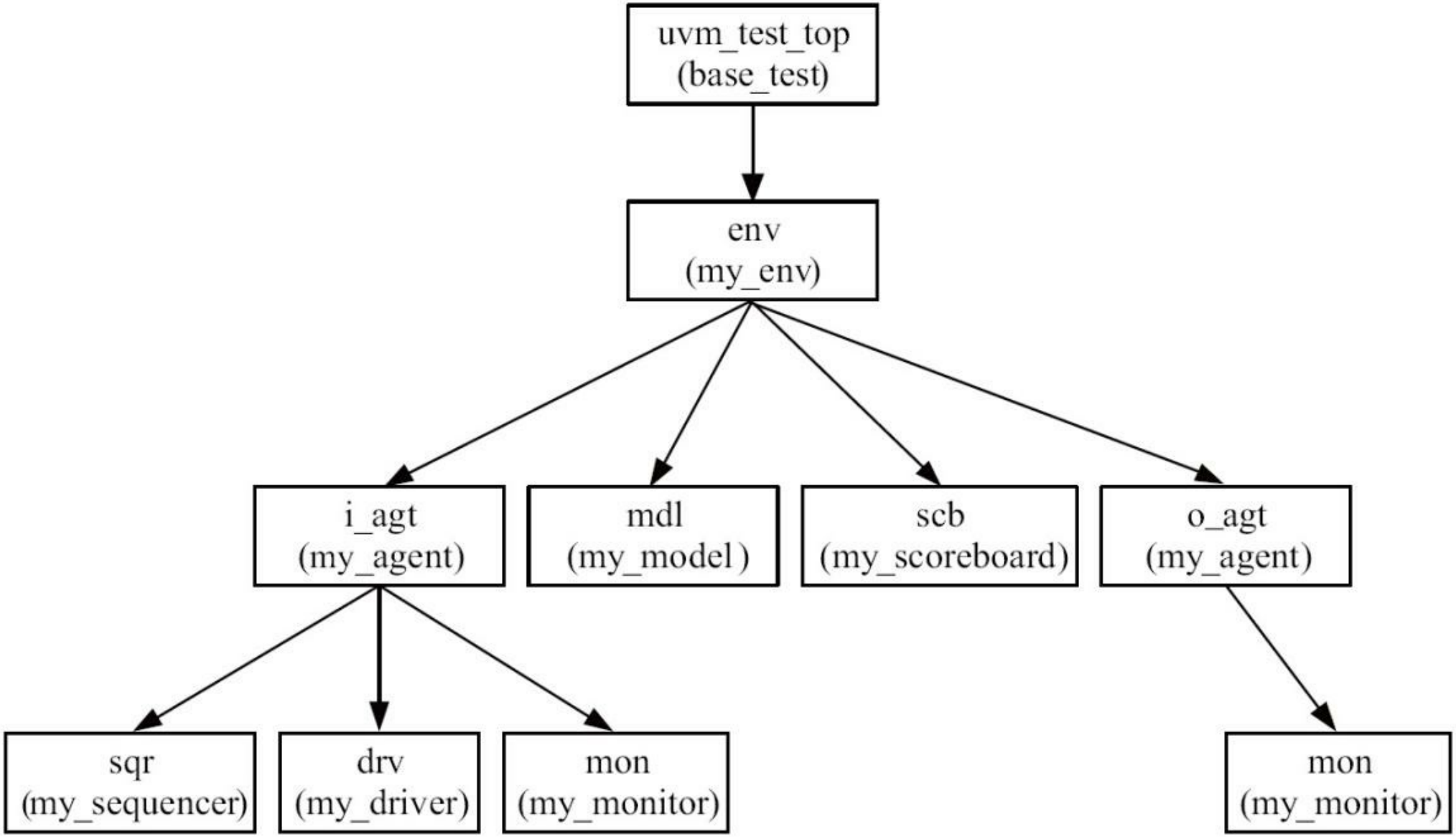


图2-11　UVM树的生长：加入base_test

代码清单　2-75

文件：src/ch2/section2.5/2.5.1/top_tb.sv

```
 49 initial begin
 50   run_test("base_test");
 51 end
 52
 53 initial begin
 54   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env.i_agt.drv", "vif",
input_if);
 55   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env.i_agt.mon","vif", input_if);
 56   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env.o_agt.mon","vif", output_if);
 57 end
```

*2.5.2 UVM中测试用例的启动

要测试一个DUT是否按照预期工作，需要对其施加不同的激励，这些激励被称为测试向量或pattern。一种激励作为一个测试用例，不同的激励就是不同的测试用例。测试用例的数量是衡量验证人员工作成果的最直接目标。

伴随着验证的进行，测试用例的数量一直在增加，在增加的过程中，很重要的一点是保证后加的测试用例不影响已经建好的测试用例。在前面所有的例子中，通过设置default_sequence的形式启动my_sequence。假如现在有另外一个my_sequence2，如何在不影响my_sequence的前提下将其启动呢？最理想的办法是在命令行中指定参数来启动不同的测试用例。

无论是在my_env中设置default_sequence，还是在base_test中或者top_tb中设置，都必须修改相关的设置代码才能启动my_sequence2，这与预期相去甚远。为了解决这个问题，先来看两个不同的测试用例。my_case0的定义如下：

代码清单 2-76

```
文件：src/ch2/section2.5/2.5.2/my_case0.sv
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
  4   my_transaction m_trans;
…
 10   virtual task body();
 11     if(starting_phase != null)
 12       starting_phase.raise_objection(this);
 13     repeat (10) begin
 14       `uvm_do(m_trans)
 15     end
 16     #100;
```

```
 17     if(starting_phase != null)
 18       starting_phase.drop_objection(this);
 19   endtask
…
 22 endclass
 23
 24
 25 class my_case0 extends base_test;
 26
 27   function new(string name = "my_case0", uvm_component parent = null);
 28     super.new(name,parent);
 29   endfunction
 30   extern virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 31   `uvm_component_utils(my_case0)
 32 endclass
 33
 34
 35 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 36   super.build_phase(phase);
 37
 38   uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 39                                           "env.i_agt.sqr.main_phase",
 40                                           "default_sequence",
 41                                           case0_sequence::type_id::get());
 42 endfunction
```

my_case1的定义如下：

代码清单　2-77

文件：src/ch2/section2.5/2.5.2/my_case1.sv

```
  3 class case1_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
  4    my_transaction m_trans;
…
 10    virtual task body();
 11       if(starting_phase != null)
 12          starting_phase.raise_objection(this);
 13       repeat (10) begin
 14          `uvm_do_with(m_trans, { m_trans.pload.size() == 60;})
 15       end
 16       #100;
 17       if(starting_phase != null)
 18          starting_phase.drop_objection(this);
 19    endtask
…
 22 endclass
 23
 24 class my_case1 extends base_test;
 25
 26    function new(string name = "my_case1", uvm_component parent = null);
 27       super.new(name,parent);
 28    endfunction
 29
 30    extern virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 31    `uvm_component_utils(my_case1)
 32 endclass
 33
 34
 35 function void my_case1::build_phase(uvm_phase phase);
 36    super.build_phase(phase);
 37
 38    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 39                                    "env.i_agt.sqr.main_phase",
 40                                    "default_sequence",
 41                                    case1_sequence::type_id::get());
```

```
 42 endfunction
```

在case1_sequence中出现了uvm_do_with宏，它是uvm_do系列宏中的一个，用于在随机化时提供对某些字段的约束。

要启动my_case0，需要在top_tb中更改run_test的参数：

代码清单　2-78

```
initial begin
  run_test("my_case0");
end
```

而要启动my_case1，也需要更改：

代码清单　2-79

```
initial begin
  run_test("my_case1");
end
```

当my_case0运行的时候需要修改代码，重新编译后才能运行；当my_case1运行时也需如此，这相当不方便。事实上，UVM提供对不加参数的run_test的支持：

代码清单　2-80

```
文件：src/ch2/section2.5/2.5.2/top_tb.sv
 50 initial begin
 51   run_test();
 52 end
```

在这种情况下，UVM会利用UVM_TEST_NAME从命令行中寻找测试用例的名字，创建它的实例并运行。如下所示的代码可以启动my_case0：

代码清单　2-81

```
<sim command>
… +UVM_TEST_NAME=my_case0
```

而如下所示的代码可以启动my_case1：

代码清单　2-82

```
<sim command>
… +UVM_TEST_NAME=my_case1
```

整个启动及执行的流程如图2-12所示。

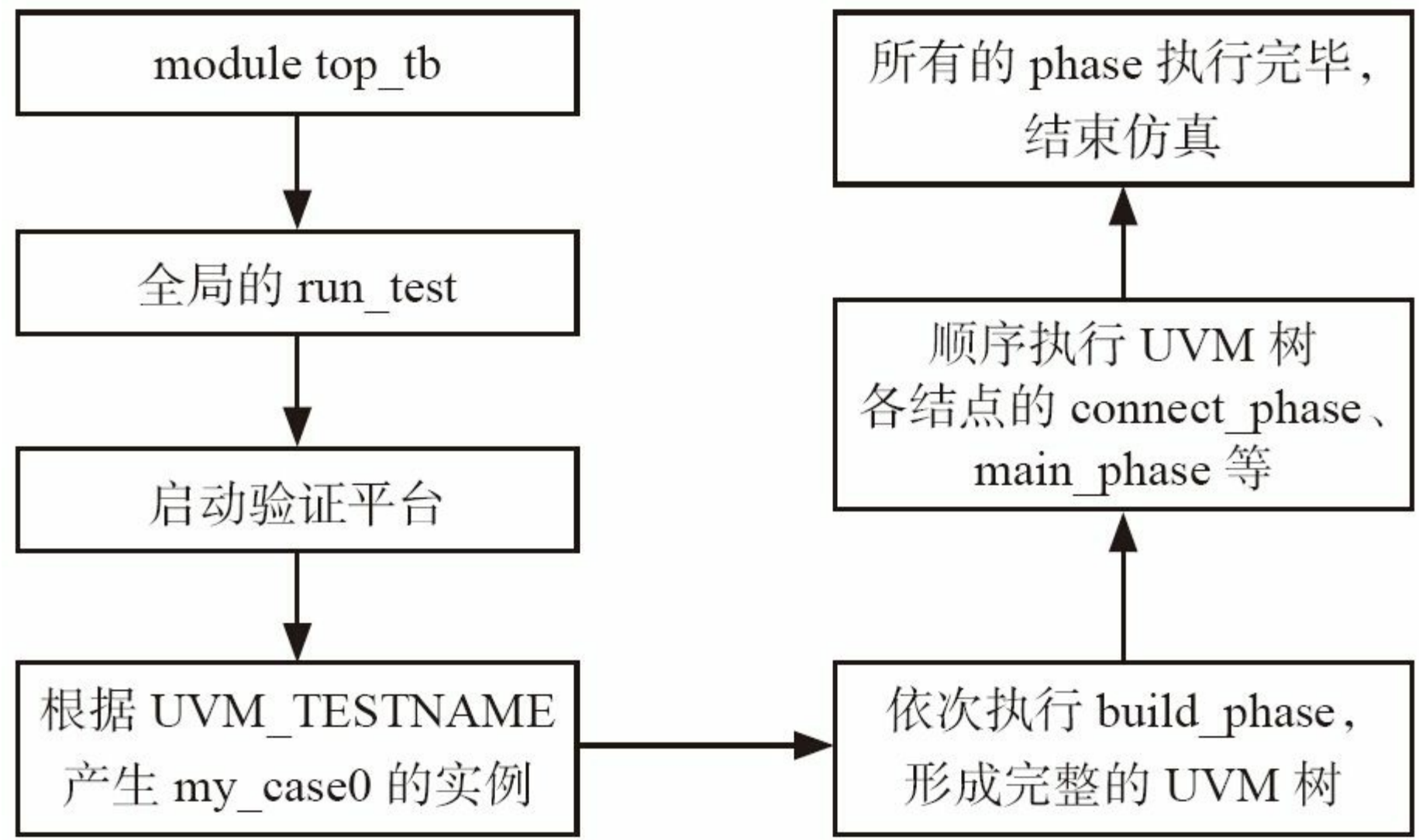


图2-12　测试用例的启动及执行流程

启动后，整棵UVM树的结构如图2-13所示。

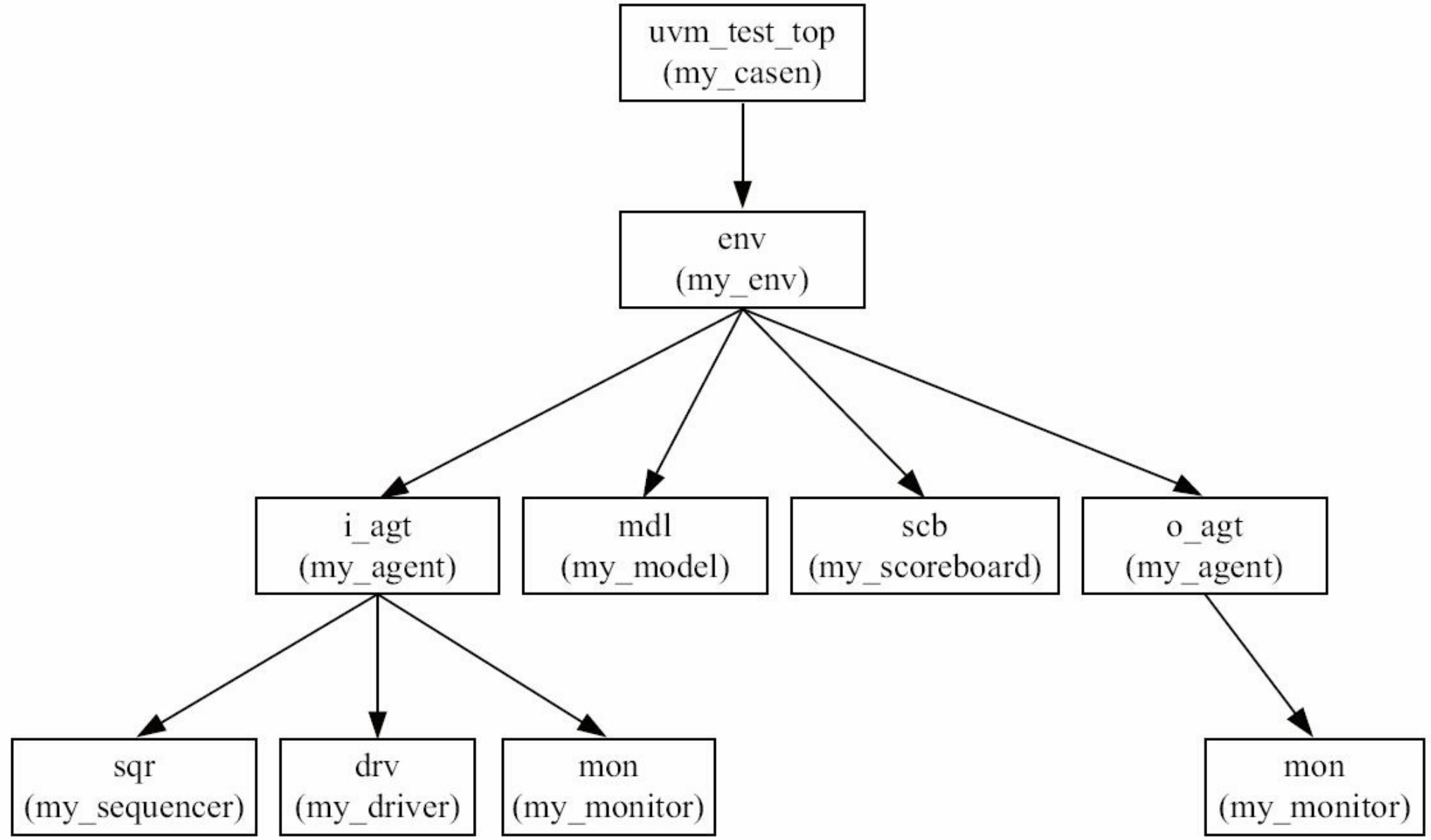


图2-13　每个测试用例建立的UVM树

图2-13与图2-11的唯一区别在于树根的类型从base_test变成了my_casen。

第3章　UVM基础

3.1　uvm_component与uvm_object

component与object是UVM中两大最基本的概念，也是初学者最容易混淆的两个概念。本节将介绍uvm_object与uvm_component的区别和联系。

3.1.1 uvm_component派生自uvm_object

通过对第2章搭建的验证平台的学习，读者应对UVM有了较直观的认识，不少读者会认为uvm_component与uvm_object是两个对等的概念。当创建一个类的时候，比如定义一个sequence类，一个driver类，要么这个类派生自uvm_component（或者uvm_component的派生类，如uvm_driver），要么这个类派生自uvm_object（或者uvm_object的派生类，如uvm_sequence），似乎uvm_object与uvm_component是对等的概念，其实不然。

uvm_object是UVM中最基本的类，读者能想到的几乎所有的类都继承自uvm_object，包括uvm_component。uvm_component派生自uvm_object这个事实会让很多人惊讶，而这个事实说明了uvm_component拥有uvm_object的特性，同时又有自己的一些特质。但是uvm_component的一些特性，uvm_object则不一定具有。这是面向对象编程中经常用到的一条规律。

uvm_component有两大特性是uvm_object所没有的，一是通过在new的时候指定parent参数来形成一种树形的组织结构，二是有phase的自动执行特点。图3-1列出了UVM中常用类的继承关系。

从图中可以看出，从uvm_object派生出了两个分支，所有的UVM树的结点都是由uvm_component组成的，只有基于uvm_component派生的类才可能成为UVM树的结点；最左边分支的类或者直接派生自uvm_object的类，是不可能以结点的形式出现在UVM树上的。

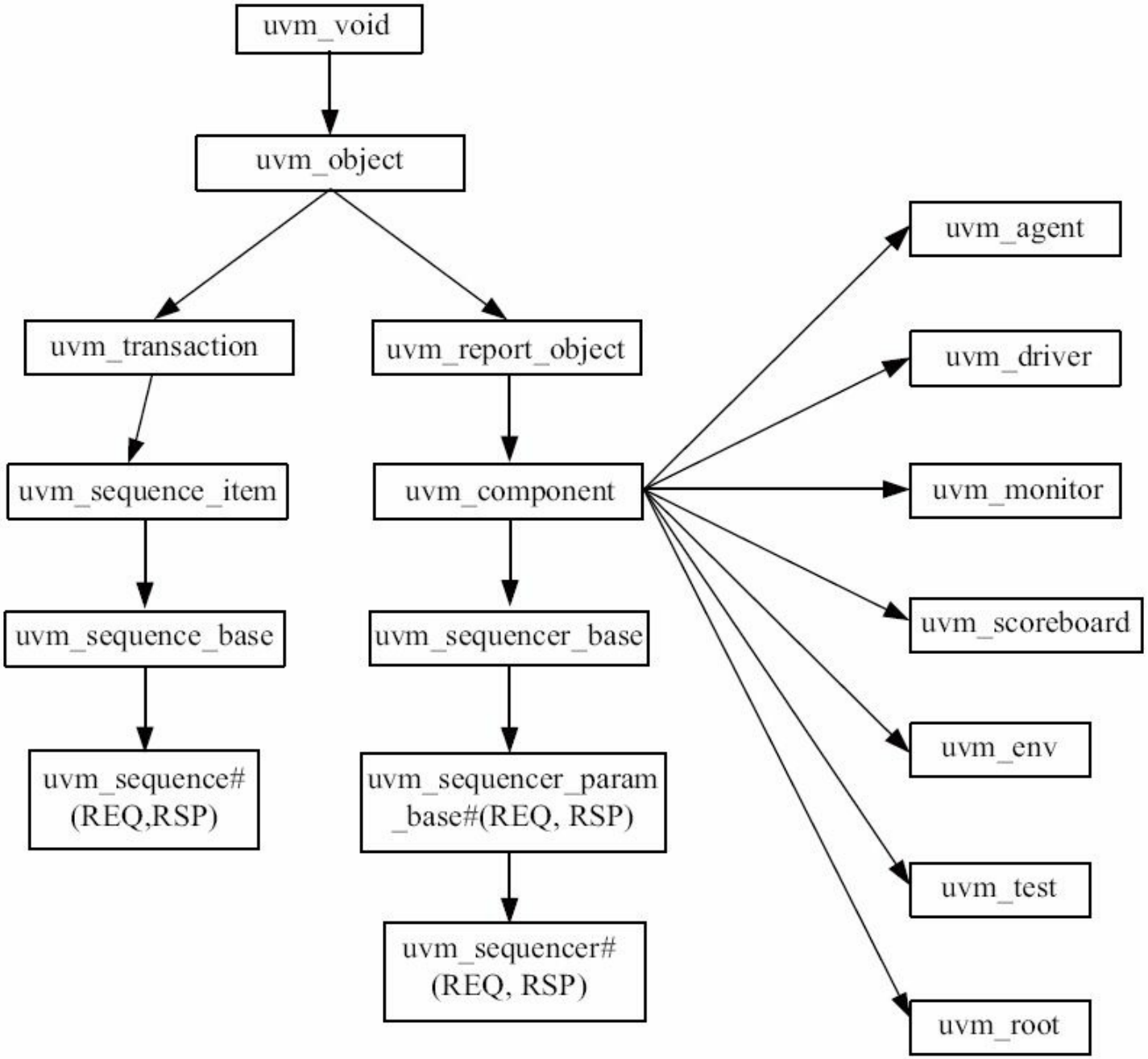

uvm_void
uvm_object
uvm_transaction
uvm_report_object
uvm_sequence_item
uvm_component
uvm_sequence_base
uvm_sequencer_base
uvm_sequence#
(REQ,RSP)
uvm_sequencer_param
_base#(REQ, RSP)
uvm_sequencer#
(REQ, RSP)
uvm_agent
uvm_driver
uvm_monitor
uvm_scoreboard
uvm_env
uvm_test
uvm_root

图3-1　UVM中常用类的继承关系

3.1.2 常用的派生自uvm_object的类

既然uvm_object是最基本的类，那么其能力恰恰也是最差的，当然了，其扩展性也是最好的。恰如一个婴儿，其能力很差，但是可以把其尽量培养成书法家、艺术家等。

到目前为止uvm_object依然是一个相当抽象的类。验证平台中用到的哪些类会派生自uvm_object？答案是除了派生自uvm_component类之外的类，几乎所有的类都派生自uvm_object。换个说法，除了driver、monitor、agent、model、scoreboard、env、test之外的几乎所有的类，本质上都是uvm_object，如sequence、sequence_item、transaction、config等。

如果读者现在依然对uvm_object很迷茫的话，那么举一个更加通俗点的例子，uvm_object是一个分子，用这个分子可以搭建成许许多多的东西，如既可以搭建成动物，还可以搭建成植物，更加可以搭建成没有任何意识的岩石、空气等。uvm_component就是由其搭建成的一种高级生命，而sequence_item则是由其搭建成的血液，它流通在各个高级生命（uvm_component）之间，sequence则是众多sequence_item的组合，config则是由其搭建成的用于规范高级生命（uvm_component）行为方式的准则。

在验证平台中经常遇到的派生自uvm_object的类有：

uvm_sequence_item：读者定义的所有的transaction要从uvm_sequence_item派生。transaction就是封装了一定信息的一个类，本书中的my_transaction就是将一个mac帧中的各个字段封装在了一起，包括目的地址、源地址、帧类型、帧的数据、FCS校验和等。driver从sequencer中得到transaction，并且把其转换成端口上的信号。从图3-1中可以看出，虽然UVM中有一个uvm_transaction类，但是在UVM中，不能从uvm_transaction派生一个transaction，而要从uvm_sequence_item派生。事实上，uvm_sequence_item是

从uvm_transaction派生而来的，因此，uvm_sequence_item相比uvm_transaction添加了很多实用的成员变量和函数/任务，从uvm_sequence_item直接派生，就可以使用这些新增加的成员变量和函数/任务。

uvm_sequence：所有的sequence要从uvm_sequence派生一个。sequence就是sequence_item的组合。sequence直接与sequencer打交道，当driver向sequencer索要数据时，sequencer会检查是否有sequence要发送数据。当发现有sequence_item待发送时，会把此sequence_item交给driver。

config：所有的config一般直接从uvm_object派生。config的主要功能就是规范验证平台的行为方式。如规定driver在读取总线时地址信号要持续几个时钟，片选信号从什么时候开始有效等。这里要注意config与config_db的区别。在上一章中已经见识了使用config_db进行参数配置，这里的config其实指的是把所有的参数放在一个object中，如10.5节所示。然后通过config_db的方式设置给所有需要这些参数的component。

除了上面几种类是派生自uvm_object外，还有下面几种：

uvm_reg_item：它派生自uvm_sequence_item，用于register model中。

uvm_reg_map、uvm_mem、uvm_reg_field、uvm_reg、uvm_reg_file、uvm_reg_block等与寄存器相关的众多的类都是派生自uvm_object，它们都是用于register model。

uvm_phase：它派生自uvm_object，其主要作用为控制uvm_component的行为方式，使得uvm_component平滑地在各个不同的phase之间依次运转。

除了这些之外，其实还有很多。不过其他的一些并不那么重要，这里不再一一列出。

3.1.3 常用的派生自uvm_component的类

与uvm_object相比，派生自uvm_component的类比较少，且在上一章的验证平台中已经全部用到过。

uvm_driver：所有的driver都要派生自uvm_driver。driver的功能主要就是向sequencer索要sequence_item（transaction），并且将sequence_item里的信息驱动到DUT的端口上，这相当于完成了从transaction级别到DUT能够接受的端口级别信息的转换。与uvm_component相比，uvm_driver多了如下几个成员变量：

代码清单 3-1

```
来源：UVM
源代码
  uvm_seq_item_pull_port #(REQ, RSP) seq_item_port;
  uvm_seq_item_pull_port #(REQ, RSP) seq_item_prod_if; // alias
  uvm_analysis_port #(RSP) rsp_port;
  REQ req;
  RSP rsp;
```

在函数/任务上，uvm_driver并没有做过多的扩展。

uvm_monitor：所有的monitor都要派生自uvm_monitor。monitor做的事情与driver相反，driver向DUT的pin上发送数据，而monitor则是从DUT的pin上接收数据，并且把接收到的数据转换成transaction级别的sequence_item，再把转换后的数据发送给scoreboard，供其比较。与uvm_component相比，uvm_monitor几乎没有做任何扩充。uvm_monitor的定义如下：

代码清单　3-2

来源：UVM
源代码

```
 34 virtual class uvm_monitor extends uvm_component;
…
 42   function new (string name, uvm_component parent);
 43     super.new(name, parent);
 44   endfunction
 45
 46   const static string type_name = "uvm_monitor";
 47
 48   virtual function string get_type_name ();
 49     return type_name;
 50   endfunction
 51
 52 endclass
```

虽然从理论上来说所有的monitor要从uvm_monitor派生。但是实际上如果从uvm_component派生，也没有任何问题。

uvm_sequencer：所有的sequencer都要派生自uvm_sequencer。sequencer的功能就是组织管理sequence，当driver要求数据时，它就把sequence生成的sequence_item转发给driver。与uvm_component相比，uvm_sequencer做了相当多的扩展，具体的会在第6章中介绍。

uvm_scoreboard：一般的scoreboard都要派生自uvm_scoreboard。scoreboard的功能就是比较reference model和monitor分别发送来的数据，根据比较结果判断DUT是否正确工作。与uvm_monitor类似，uvm_scoreboard也几乎没有在uvm_component的基础上做

扩展：

代码清单　3-3

来源：UVM
源代码

```
 36 virtual class uvm_scoreboard extends uvm_component;
…
 44   function new (string name, uvm_component parent);
 45     super.new(name, parent);
 46   endfunction
 47
 48   const static string type_name = "uvm_scoreboard";
 49
 50   virtual function string get_type_name ();
 51     return type_name;
 52   endfunction
 53
 54 endclass
```

所以，当定义自己的scoreboard时，可以直接从uvm_component派生。

reference model：UVM中并没有针对reference model定义一个类。所以通常来说，reference model都是直接派生自uvm_component。reference model的作用就是模仿DUT，完成与DUT相同的功能。DUT是用Verilog写成的时序电路，而reference model则可以直接使用SystemVerilog高级语言的特性，同时还可以通过DPI等接口调用其他语言来完成与DUT相同的功能。

uvm_agent：所有的agent要派生自uvm_agent。与前面几个比起来，uvm_agent的作用并不是那么明显。它只是把driver和monitor封装在一起，根据参数值来决定是只实例化monitor还是要同时实例化driver和monitor。agent的使用主要是从可重用性的角度来考虑的。如果在做验证平台时不考虑可重用性，那么agent其实是可有可无的。与uvm_component相比，uvm_agent的最大改动在于引入了一个变量is_active：

代码清单　3-4

来源：UVM
源代码

```
 39 virtual class uvm_agent extends uvm_component;
 40   uvm_active_passive_enum is_active = UVM_ACTIVE;
…
 58   function void build_phase(uvm_phase phase);
 59     int active;
 60     super.build_phase(phase);
 61    if(get_config_int("is_active", active)) is_active = uvm_active_passive_enum' (active);
 62   endfunction
```

get_config_int是uvm_config_db#（int）：：get的另一种写法，这种写法最初出现在OVM中，本书将在3.5.9节详细地讲述这种写法。由于is_active是一个枚举变量，从代码清单2-35可以看出，其两个取值为固定值0或者1。所以在上面的代码中可以以int类型传递给uvm_agent，并针对传递过来的数据做强制类型转换。

uvm_env：所有的env（environment的缩写）要派生自uvm_env。env将验证平台上用到的固定不变的component都封装在一起。这样，当要运行不同的测试用例时，只要在测试用例中实例化此env即可。uvm_env也并没有在uvm_component的基础上做过

多扩展：

代码清单　3-5

来源：UVM
源代码

```
 33 virtual class uvm_env extends uvm_component;
…
 41   function new (string name="env", uvm_component parent=null);
 42     super.new(name,parent);
 43   endfunction
 44
 45   const static string type_name = "uvm_env";
 46
 47   virtual function string get_type_name ();
 48     return type_name;
 49   endfunction
 50
 51 endclass
```

uvm_test：所有的测试用例要派生自uvm_test或其派生类，不同的测试用例之间差异很大，所以从uvm_test派生出来的类各不相同。任何一个派生出的测试用例中，都要实例化env，只有这样，当测试用例在运行的时候，才能把数据正常地发给DUT，并正常地接收DUT的数据。uvm_test也几乎没有做任何扩展：

代码清单　3-6

来源：UVM
源代码

```
 62 virtual class uvm_test extends uvm_component;
…
 70   function new (string name, uvm_component parent);
 71     super.new(name,parent);
 72   endfunction
 73
 74   const static string type_name = "uvm_test";
 75
 76   virtual function string get_type_name ();
 77     return type_name;
 78   endfunction
 79
 80 endclass
```

3.1.4 与uvm_object相关的宏

在UVM中与uvm_object相关的factory宏有如下几个：

uvm_object_utils：它用于把一个直接或间接派生自uvm_object的类注册到factory中。

uvm_object_param_utils：它用于把一个直接或间接派生自uvm_object的参数化的类注册到factory中。所谓参数化的类，是指类似于如下的类：

代码清单 3-7

```
class A#(int WIDTH=32) extends uvm_object;
```

参数化的类在代码可重用性中经常用到。如果允许，尽可能使用参数化的类，它可以提高代码的可移植性。

uvm_object_utils_begin：这个宏在第2章介绍my_transaction时出现过，当需要使用field_automation机制时，需要使用此宏。如果使用了此宏，而又没有把任何字段使用uvm_field系列宏实现，那么会出现什么情况呢？

代码清单 3-8

```
`uvm_object_utils_begin(my_object)
`uvm_object_utils_end
```

答案是不会出现任何问题，这样的写法完全正确，可以尽情使用。

uvm_object_param_utils_begin：与uvm_object_utils_begin宏一样，只是它适用于参数化的且其中某些成员变量要使用field_automation机制实现的类。

uvm_object_utils_end：它总是与uvm_object_*_begin成对出现，作为factory注册的结束标志。

3.1.5 与uvm_component相关的宏

在UVM中与uvm_component相关的factory宏有如下几个：

uvm_component_utils：它用于把一个直接或间接派生自uvm_component的类注册到factory中。

uvm_component_param_utils：它用于把一个直接或间接派生自uvm_component的参数化的类注册到factory中。

uvm_component_utils_begin：这个宏与uvm_object_utils_begin相似，它用于同时需要使用factory机制和field_automation机制注册的类。在类似于my_transaction这种类中使用field_automation机制可以让人理解，可是在component中使用field_automation机制有必要吗？uvm_component派生自uvm_object，所以对于object拥有的如compare、print函数都可以直接使用。但是filed_automation机制对于uvm_component来说最大的意义不在于此，而在于可以自动地使用config_db来得到某些变量的值。具体的可以参考3.5.3节的介绍。

uvm_component_param_utils_begin：与uvm_component_utils_begin宏一样，只是它适用于参数化的，且其中某些成员变量要使用field_automation机制实现的类。

uvm_component_utils_end：它总是与uvm_component_*_begin成对出现，作为factory注册的结束标志。

3.1.6 uvm_component的限制

uvm_component是从uvm_object派生来的。从理论上来说，uvm_component应该具有uvm_object的所有的行为特征。但是，由于uvm_component是作为UVM树的结点存在的，这一特性使得它失去了uvm_object的某些特征。

在uvm_object中有clone函数，它用于分配一块内存空间，并把另一个实例复制到这块新的内存空间中。clone函数的使用方式如下：

代码清单 3-9

```
class A extends uvm_object;
…
endclass
class my_env extends uvm_env;
  virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
    A a1;
    A a2;
    a1 = new("a1");
    a1.data = 8'h9;
    $cast(a2, a1.clone());
  endfunction
endclass
```

上述的clone函数无法用于uvm_component中，因为一旦使用后，新clone出来的类，其parent参数无法指定。

copy函数也是uvm_object的一个函数，在使用copy前，目标实例必须已经使用new函数分配好了内存空间，而使用clone函数时，目标实例可以只是一个空指针。换言之，clone=new+copy。

虽然uvm_component无法使用clone函数，但是可以使用copy函数。因为在调用copy之前，目标实例已经完成了实例化，其parent参数已经指定了。

uvm_component的另外一个限制是，位于同一个父结点下的不同的component，在实例化时不能使用相同的名字。如下的方式中都使用名字“a1”是会出错的：

代码清单　3-10

```
class A extends uvm_component;
…
endclass
class my_env extends uvm_env;
  virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
    A a1;
    A a2;
    a1 = new("a1", this);
    a2 = new("a1", this);
  endfunction
endclass
```

3.1.7 uvm_component与uvm_object的二元结构

为什么UVM中会分成uvm_component与uvm_object两大类呢？从古至今，人类在探索世界的时候，总是在不断寻找规律，并且通过寻找到的规律来把所遇到的事物、所看到的现象分类。因为世界太复杂，只有把有共性的万物分类，从而按照类别来认识万物，这样才能大大降低人类认识世界的难度。比如世界的生命有千万种，但是只有动物和植物两类。遇到一个生命的时候，人们会不自觉地判断它是一个动物还是植物，并且把动物或植物的特性预加到这种生命的身上，接下来用动物或者植物的方法来研究这个生命，从而加快对于这个生命的认知过程。

UVM很明显吸收了这种哲学，先分类，然后分别管理。想像一下，假如UVM中不分uvm_object与uvm_component，所有的东西都是uvm_object，那是多么恐怖的一件事情？这相当于直接与分子打交道！废时废力，不易于使用。

SystemVerilog作为一门编程语言，相当于提供了最基本的原子，其使用起来相当麻烦。为了减少这种麻烦，UVM出现了。但是假如UVM中全部都是uvm_object的话，也就是全部都是分子，分子虽然比原子好用一些，但是依然处于普通人的承受范围之外。只有把分子组合成一个又一个生命体的时候，用起来才会比较顺手。

uvm_component那么好用，为什么不把所有的东西都做成uvm_component的形式呢？因为uvm_component是高级生命体，有其自己鲜明的特征。验证平台中并不是所有的东西都有这种鲜明的特征。一个简单的例子：uvm_component在整个仿真中是一直存在的，但是假如要发送一个transaction（激励）给DUT，此transaction（激励）可能只需要几毫秒就可以发送完。发送完了，此transaction（激励）的生命周期几乎就结束了，根本没有必要在整个仿真中一直持续下去。生命是多样化的，要既允许

uvm_component这样的高级生命存在，也要允许transaction这种如流星一闪而逝的东西存在。

3.2 UVM的树形结构

在第2章中曾经提到过，UVM采用树形的组织结构来管理验证平台的各个部分。sequencer、driver、monitor、agent、model、scoreboard、env等都是树的一个结点。为什么要用树的形式来组织呢？因为作为一个验证平台，它必须能够掌握自己治下的所有“人口”，只有这样做了，才利于管理大家统一步伐做事情，而不会漏掉谁。树形结构是实现这种管理的一种比较简单的方式。

3.2.1 uvm_component中的parent参数

UVM通过uvm_component来实现树形结构。所有的UVM树的结点本质上都是一个uvm_component。每个uvm_component都有一个特点：它们在new的时候，需要指定一个类型为uvm_component、名字是parent的变量：

代码清单 3-11

```
function new(string name, uvm_component parent);
```

一般在使用时，parent通常都是this。假设A和B均派生自uvm_component，在A中实例化一个B：

代码清单 3-12

```
class B extends uvm_component;
…
endclass
class A extends uvm_component;
  B b_inst;
  virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
    b_inst = new("b_inst", this);
  endfunction
endclass
```

在b_inst实例化的时候，把this指针传递给了它，代表A是b_inst的parent。为什么要指定这么一个parent呢？一种常见的观点是，b_inst是A的成员变量，自然而然的，A就是b_inst的parent了，无需再在调用new函数的时候指定，即b_inst在实例化时可以这样写：

代码清单　3-13

```
b_inst = new("b_inst");
```

这种写法看似可行，其实忽略了一点，b_inst是A的成员变量，那么在SystemVerilog仿真器一级，这种关系是确定的、可知的。假定有下面的类：

代码清单　3-14

```
class C extends uvm_component;
   A a_inst;
   function void test();
…
      a_inst.b_inst =
…;
      a_inst.d_inst =
…;
…
   endfunction
endclass
```

可以在C类的test函数中使用a_inst.b_inst来得到B的值或者给B赋值，但是不能用a_inst.d_inst来给D赋值。因为D根本就不存在于A里面。SystemVerilog仿真器会检测这种成员变量的从属关系，但是关键问题是它即使检测到了后也不会告诉A：你有一个成员变量b_inst，没有一个成员变量d_inst。A是属于用户写出来的代码，仿真器只负责检查这些代码的合理性，它不会主动发消息给代码，所以A根本就没有办法知道自己有这么一个孩子。

换个角度来说，如果在test中想得到A中所有孩子的指针，应该怎么办？读者可能会说，因为A是自己写出的，它就只有一个孩子，并且孩子的名字叫b_inst，所以可以直接使用a_inst.b_inst就可以了。问题是，假设要把整棵UVM树遍历一下（参照5.1.4节UVM树的遍历），即要找到每个结点及结点的孩子的指针，那如何写呢？似乎根本就没有办法实现。

解决这个问题的方法是，当b_inst实例化的时候，指定一个parent的变量，同时在每一个component的内部维护一个数组m_children，当b_inst实例化时，就把b_inst的指针加入到A的m_children数组中。只有这样才能让A知道b_inst是自己的孩子，同时也才能让b_inst知道A是自己的父母。当b_inst有了自己的孩子时，即在b_inst的m_children中加入孩子的指针。

3.2.2 UVM树的根

UVM是以树的形式组织在一起的，作为一棵树来说，其树根在哪里？其树叶又是哪些呢？从第2章的例子来看，似乎树根应该就是uvm_test。在测试用例里实例化env，在env里实例化scoreboard、reference model、agent、在agent里面实例化sequencer、driver和monitor。scoreboard、reference model、sequencer、driver和monitor都是树的叶子，树到此为止，没有更多的叶子了。

关于叶子的判断是正确的，但是关于树根的推断是错误的。UVM中真正的树根是一个称为uvm_top的东西，完整的UVM树如图3-2所示。

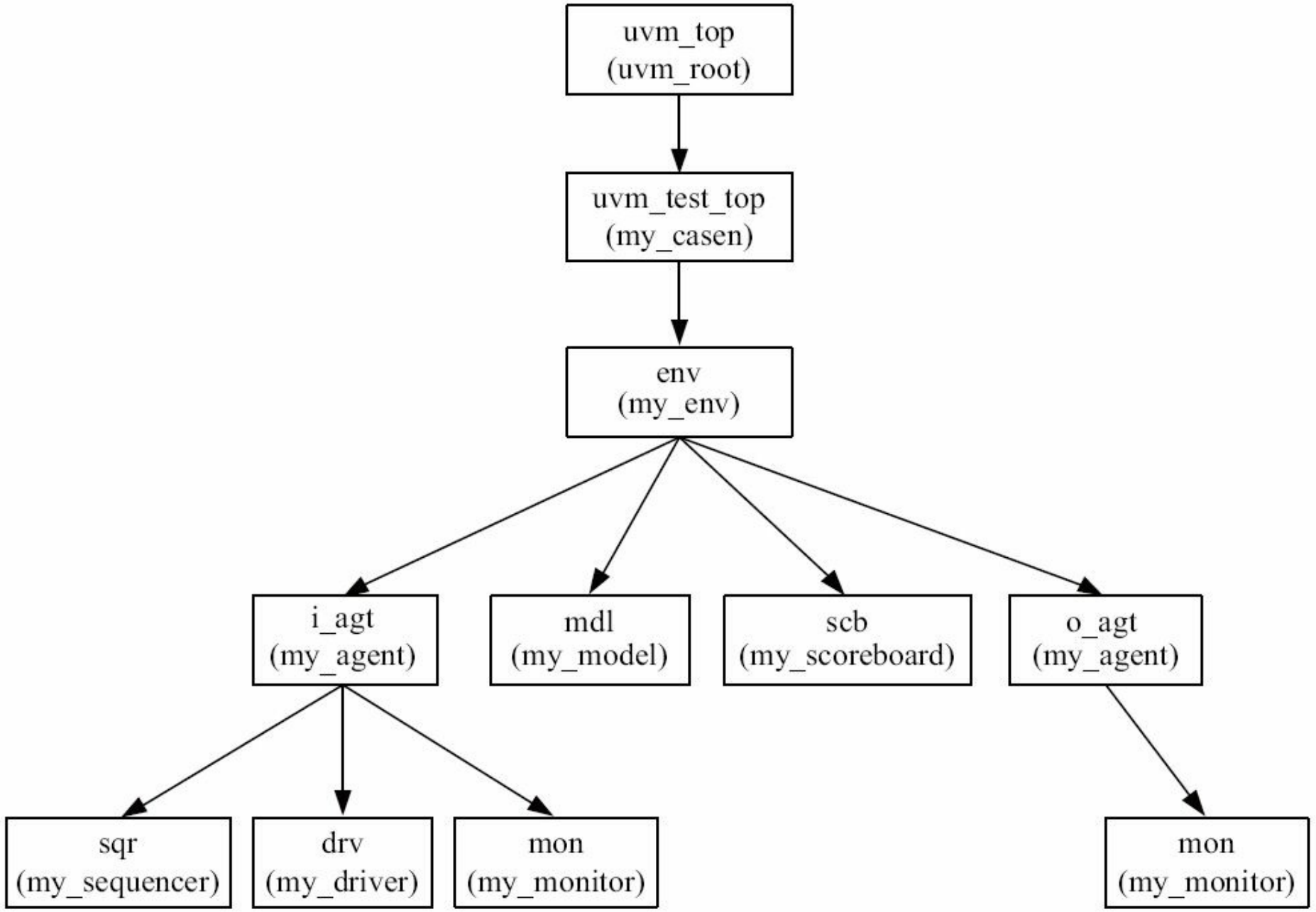

uvm_top
(uvm_root)
uvm_test_top
(my_casen)
env
(my_env)
i_agt
(my_agent)
mdl
(my_model)
scb
(my_scoreboard)
o_agt
(my_agent)
sqr
(my_sequencer)
drv
(my_driver)
mon
(my_monitor)
mon
(my_monitor)

图3-2　完整的UVM树

uvm_top是一个全局变量，它是uvm_root的一个实例（而且也是唯一的一个实例[1]，它的实现方式非常巧妙），而uvm_root派生自uvm_component，所以uvm_top本质上是一个uvm_component，它是树的根。uvm_test_top的parent是uvm_top，而uvm_top的parent则是null。UVM为什么不以uvm_test派生出来的测试用例（即uvm_test_top）作为树根，而是搞了这么一个奇怪的东西作为树根呢？

在之前的例子中，所有的component在实例化时将this指针传递给parent参数，如my_env在base_test中的实例化：

代码清单　3-15

```
env  =  my_env::type_id::create("env", this);
```

但是，假如不按照上面的写法，向parent参数传递一个null会如何呢？

代码清单　3-16

```
env  =  my_env::type_id::create("env", null);
```

如果一个component在实例化时，其parent被设置为null，那么这个component的parent将会被系统设置为系统中唯一的uvm_root

的实例uvm_top，如图3-3所示。

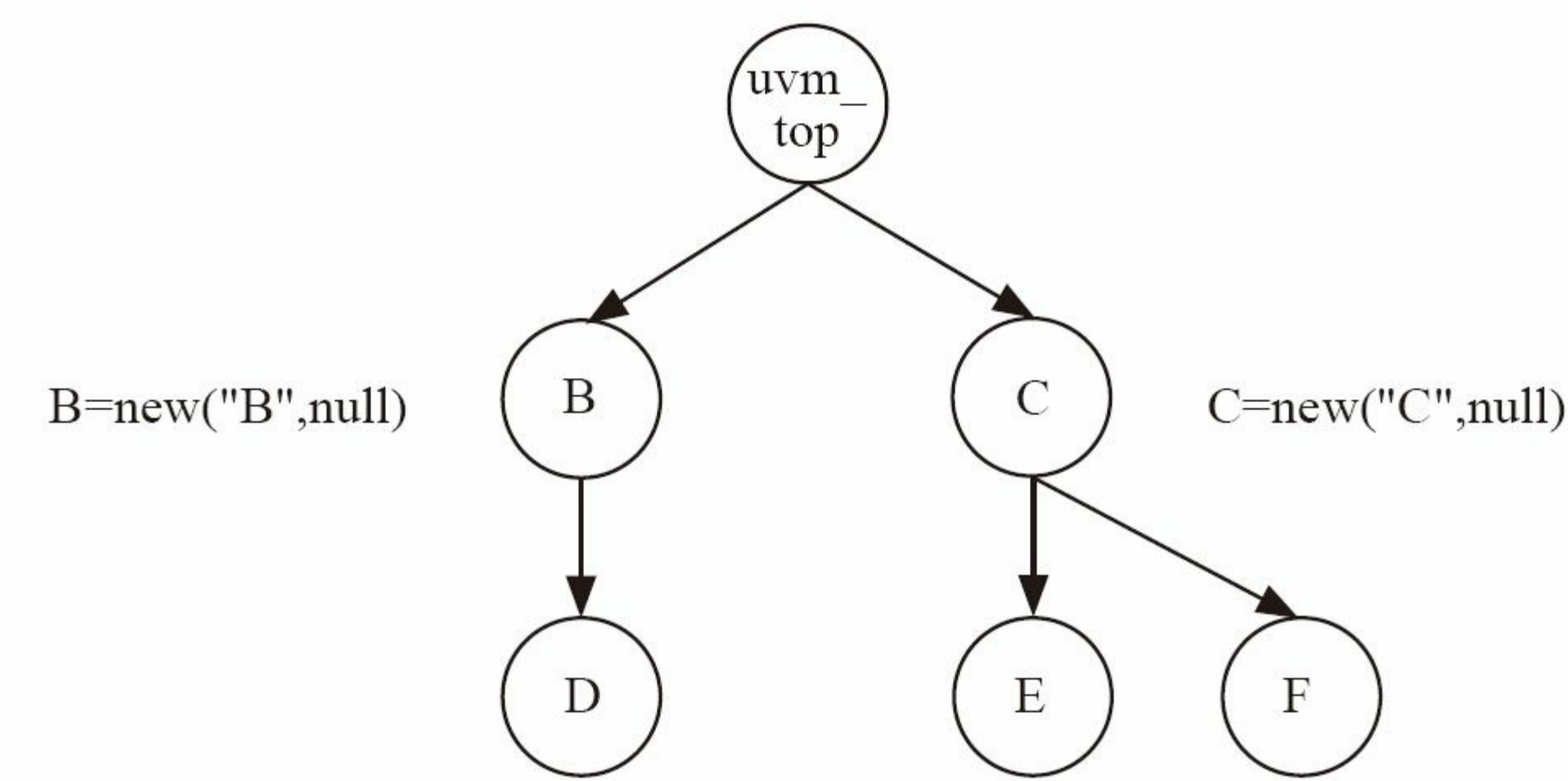


图3-3　parent为null的UVM树

可见，uvm_root的存在可以保证整个验证平台中只有一棵树，所有结点都是uvm_top的子结点。

在验证平台中，有时候需要得到uvm_top，由于uvm_top是一个全局变量，可以直接使用uvm_top。除此之外，还可以使用如下的方式得到它的指针：

代码清单　3-17

```
uvm_root top;
top=uvm_root::get();
```

[1] 设计模式中鼎鼎大名的singleton单态模式。

3.2.3 层次结构相关函数

UVM提供了一系列的接口函数用于访问UVM树中的结点。这其中最主要的是以下几个：

get_parent函数，用于得到当前实例的parent，其函数原型为：

代码清单 3-18

```
来源：UVM
源代码
extern virtual function uvm_component get_parent ();
```

与get_parent相对的就是get_child函数：

代码清单 3-19

```
来源：UVM
源代码
extern function uvm_component get_child (string name);
```

与get_parent不同的是，get_child需要一个string类型的参数name，表示此child实例在实例化时指定的名字。因为一个component只有一个parent，所以get_parent不需要指定参数；而可能有多个child，所以必须指定name参数。

为了得到所有的child，可以使用get_children函数：

代码清单　3-20

```
来源：UVM
源代码
extern function void get_children(ref uvm_component children[$]);
```

它的使用方式为：

代码清单　3-21

```
uvm_component array[$];
my_comp.get_children(array);
foreach(array[i])
  do_something(array[i]);
```

除了一次性得到所有的child外，还可以使用get_first_child和get_next_child的组合依次得到所有的child：

代码清单　3-22

```
string name;
uvm_component child;
if (comp.get_first_child(name))
```

```
  do begin
    child = comp.get_child(name);
    child.print();
  end while (comp.get_next_child(name));
```

这两个函数的使用依赖于一个string类型的name。在这两个函数的原型中，name是作为ref类型传递的：

代码清单　3-23

来源：UVM
源代码

```
extern function int get_first_child (ref string name);
extern function int get_next_child (ref string name);
```

name只是用于get_first_child和get_next_child之间及不同次调用get_next_child时互相之间传递信息。读者无需为name赋任何初始值，也没有必要在使用这两个函数过程中对其做任何赋值操作。

get_num_children函数用于返回当前component所拥有的child的数量：

代码清单　3-24

来源：UVM
源代码

```
extern function int get_num_children ();
```

3.3 field automation机制

3.3.1 field automation机制相关的宏

在第2章介绍filed_automation机制时出现了uvm_field系列宏，这里系统地把它们介绍一下。最简单的uvm_field系列宏有如下几种：

代码清单 3-25

来源：UVM
源代码

```
`define uvm_field_int(ARG,FLAG)
`define uvm_field_real(ARG,FLAG)
`define uvm_field_enum(T,ARG,FLAG)
`define uvm_field_object(ARG,FLAG)
`define uvm_field_event(ARG,FLAG)
`define uvm_field_string(ARG,FLAG)
```

上述几个宏分别用于要注册的字段是整数、实数、枚举类型、直接或间接派生自uvm_object的类型、事件及字符串类型。这里除了枚举类型外，都是两个参数。对于枚举类型来说，需要有三个参数。假如有枚举类型tb_bool_e，同时有变量tb_flag，那么在使用field automation机制时应该使用如下方式实现：

代码清单 3-26

```
typedef enum {TB_TRUE, TB_FALSE} tb_bool_e;
…
tb_bool_e tb_flag;
…
`uvm_field_enum(tb_bool_e, tb_flag, UVM_ALL_ON)
```

与动态数组有关的uvm_field系列宏有：

代码清单　3-27

```
来源：UVM
源代码
`define uvm_field_array_enum(ARG,FLAG)
`define uvm_field_array_int(ARG,FLAG)
`define uvm_field_array_object(ARG,FLAG)
`define uvm_field_array_string(ARG,FLAG)
```

这里只有4种，相比于前面的uvm_field系列宏少了event类型和real类型。另外一个重要的变化是enum类型的数组里也只有两个参数。

与静态数组相关的uvm_field系列宏有：

代码清单　3-28

来源：UVM
源代码

```
`define uvm_field_sarray_int(ARG,FLAG)
`define uvm_field_sarray_enum(ARG,FLAG)
`define uvm_field_sarray_object(ARG,FLAG)
`define uvm_field_sarray_string(ARG,FLAG)
```

与队列相关的uvm_field系列宏有：

代码清单　3-29

来源：UVM
源代码

```
`define uvm_field_queue_enum(ARG,FLAG)
`define uvm_field_queue_int(ARG,FLAG)
`define uvm_field_queue_object(ARG,FLAG)
`define uvm_field_queue_string(ARG,FLAG)
```

同样的，这里也是4种，且对于enum类型来说，也只需要两个参数。

联合数组是SystemVerilog中定义的一种非常有用的数据类型，在验证平台中经常使用。UVM对其提供了良好的支持，与联合数组相关的uvm_field宏有：

代码清单　3-30

来源：UVM
源代码
```
`define uvm_field_aa_int_string(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_string_string(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_object_string(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_int_int(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_int_int_unsigned(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_int_integer(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_int_integer_unsigned(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_int_byte(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_int_byte_unsigned(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_int_shortint(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_int_shortint_unsigned(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_int_longint(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_int_longint_unsigned(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_string_int(ARG, FLAG)
`define uvm_field_aa_object_int(ARG, FLAG)
```

这里一共出现了15种。联合数组有两大识别标志，一是索引的类型，二是存储数据的类型。在这一系列uvm_field系列宏中，出现的第一个类型是存储数据类型，第二个类型是索引类型，如uvm_field_aa_int_string用于声明那些存储的数据是int，而其索引是string类型的联合数组。

3.3.2 field automation机制的常用函数

field automation功能非常强大，它主要提供了如下函数。

copy函数用于实例的复制，其原型为：

代码清单 3-31

```
来源：UVM
源代码
extern function void copy (uvm_object rhs);
```

如果要把某个A实例复制到B实例中，那么应该使用B.copy（A）。在使用此函数前，B实例必须已经使用new函数分配好了内存空间。

compare函数用于比较两个实例是否一样，其原型为：

代码清单 3-32

```
来源：UVM
源代码
extern function bit compare (uvm_object rhs, uvm_comparer comparer=null);
```

如果要比较A与B是否一样，可以使用A.compare（B），也可以使用B.compare（A）。当两者一致时，返回1；否则为0。

pack_bytes函数用于将所有的字段打包成byte流，其原型为：

代码清单　3-33

来源：UVM
源代码

```
extern function int pack_bytes (ref byte unsigned bytestream[],
                                input uvm_packer packer=null);
```

在第2章的例子中已经用过这个函数，这里不多做介绍。

unpack_bytes函数用于将一个byte流逐一恢复到某个类的实例中，其原型为：

代码清单　3-34

来源：UVM
源代码

```
extern function int unpack_bytes (ref byte unsigned bytestream[],
                                  input uvm_packer packer=null);
```

pack函数用于将所有的字段打包成bit流，其原型为：

代码清单　3-35

来源：UVM
源代码
```
extern function int pack (ref bit bitstream[],
                          input uvm_packer packer=null);
```

pack函数的使用与pack_bytes类似。

unpack函数用于将一个bit流逐一恢复到某个类的实例中，其原型为：

代码清单　3-36

来源：UVM
源代码
```
extern function int unpack (ref bit bitstream[],
                            input uvm_packer packer=null);
```

unpack的使用与unpack_bytes类似。

pack_ints函数用于将所有的字段打包成int（4个byte，或者dword）流，其原型为：

代码清单　3-37

来源：UVM
源代码

```
extern function int pack_ints (ref int unsigned intstream[],
                       input uvm_packer packer=null);
```

unpack_ints函数用于将一个int流逐一恢复到某个类的实例中，其原型为：

代码清单　3-38

来源：UVM
源代码

```
extern function int unpack_ints (ref int unsigned intstream[],
                         input uvm_packer packer=null);
```

print函数用于打印所有的字段。

clone函数，3.1.6节中有过介绍，其原型是：

代码清单　3-39

来源：UVM
源代码

```
extern virtual function uvm_object clone ();
```

它的使用方式可以参考3.1.6节。

除了上述函数之外，field automation机制还提供自动得到使用config_db：：set设置的参数的功能，这点请参照3.5.3节。

*3.3.3 field automation机制中标志位的使用

考虑实现这样一种功能：给DUT施加一种CRC错误的异常激励。实现这个功能的一种方法是在my_transaction中添加一个crc_err的标志位：

代码清单 3-40

文件：src/ch3/section3.3/3.3.3/my_transaction.sv

```
  4 class my_transaction extends uvm_sequence_item;
  5
  6   rand bit[47:0] dmac;
  7   rand bit[47:0] smac;
  8   rand bit[15:0] ether_type;
  9   rand byte      pload[];
 10   rand bit[31:0] crc;
 11   rand bit       crc_err;
…
 22   function void post_randomize();
 23     if(crc_err)
 24       ;//do nothing
 25     else
 26       crc = calc_crc;
 27   endfunction
…
 42 endclass
```

这样，在post_randomize中计算CRC前先检查一下crc_err字段，如果为1，那么直接使用随机值，否则使用真实的CRC。

在sequence中可以使用如下方式产生CRC错误的激励：

代码清单　3-41

```
`uvm_do_with(tr, {tr.crc_err == 1;})
```

只是，对于多出来的这个字段，是不是也应该用uvm_field_int宏来注册呢？如果不使用宏注册的话，那么当调用print函数时，在显示结果中就看不到其值，但是如果使用了宏，结果就是这个根本就不需要在pack和unpack操作中出现的字段出现了。这会带来极大的问题。

UVM考虑到了这一点，它采用在后面的控制域中加入UVM_NOPACK的形式来实现：

代码清单　3-42

```
文件：src/ch3/section3.3/3.3.3/my_transaction.sv
 29    `uvm_object_utils_begin(my_transaction)
 30       `uvm_field_int(dmac, UVM_ALL_ON)
 31       `uvm_field_int(smac, UVM_ALL_ON)
 32       `uvm_field_int(ether_type, UVM_ALL_ON)
 33       `uvm_field_array_int(pload, UVM_ALL_ON)
 34       `uvm_field_int(crc, UVM_ALL_ON)
 35       `uvm_field_int(crc_err, UVM_ALL_ON | UVM_NOPACK)
 36    `uvm_object_utils_end
```

使用上述语句后，当执行pack和unpack操作时，UVM就不会考虑这个字段了。这种写法比较奇怪，是用了一个或（|）来实现的。UVM的这些标志位本身其实是一个17bit的数字：

代码清单　3-43

来源：UVM
源代码

```
//A=ABSTRACT Y=PHYSICAL
//F=REFERENCE, S=SHALLOW, D=DEEP
//K=PACK, R=RECORD, P=PRINT, M=COMPARE, C=COPY
//--------------------------- AYFSD K R P M C
parameter UVM_ALL_ON      = 'b000000101010101;
parameter UVM_COPY        = (1<<0);
parameter UVM_NOCOPY      = (1<<1);
parameter UVM_COMPARE     = (1<<2);
parameter UVM_NOCOMPARE   = (1<<3);
parameter UVM_PRINT       = (1<<4);
parameter UVM_NOPRINT     = (1<<5);
parameter UVM_RECORD      = (1<<6);
parameter UVM_NORECORD    = (1<<7);
parameter UVM_PACK        = (1<<8);
parameter UVM_NOPACK      = (1<<9);
```

在这个17bit的数字中，bit0表示copy，bit1表示no_copy，bit2表示compare，bit3表示no_compare，bit4表示print，bit5表示no_print，bit6表示record，bit7表示no_record，bit8表示pack，bit9表示no_pack。剩余的7bit则另有它用，这里不做讨论。UVM_ALL_ON的值是'b000000101010101，表示打开copy、compare、print、record、pack功能。record功能是UVM提供的另外一个

功能，但是其应用并不多，所以在上节中并没有介绍。UVM_ALL_ON|UVM_NOPACK的结果就是‘b000001101010101。这样UVM在执行pack操作时，首先检查bit9，发现其为1，直接忽略bit8所代表的UVM_PACK。

除了UVM_NOPACK之后，还有UVM_NOCOMPARE、UVM_NOPRINT、UVM_NORECORD、UVM_NOCOPY等选项，分别对应compare、print、record、copy等功能。

*3.3.4 field automation中宏与if的结合

在以太网中，有一种帧是VLAN帧，这种帧是在普通以太网帧基础上扩展而来的。而且并不是所有的以太网帧都是VLAN帧，如果一个帧是VLAN帧，那么其中就会有vlan_id等字段（具体可以详见以太网的相关协议），否则不会有这些字段。类似vlan_id等字段是属于帧结构的一部分，但是这个字段可能有，也可能没有。由于读者已经习惯了使用uvm_field系列宏来进行pack和unpack操作，那么很直观的想法是使用动态数组的形式来实现：

代码清单 3-44

```
class my_transaction extends uvm_sequence_item;
  rand bit[47:0] smac;
  rand bit[47:0] dmac;
  rand bit[31:0]  vlan[];
  rand bit[15:0] eth_type;
  rand byte    pload[];
  rand bit[31:0] crc;
  `uvm_object_utils_begin(my_transaction)
     `uvm_field_int(smac, UVM_ALL_ON)
     `uvm_field_int(dmac, UVM_ALL_ON)
     `uvm_field_array_int(vlan, UVM_ALL_ON)
     `uvm_field_int(eth_type, UVM_ALL_ON)
     `uvm_field_array_int(pload, UVM_ALL_ON)
  `uvm_object_utils_end
endclass
```

在随机化普通以太网帧时，可以使用如下的方式：

代码清单　3-45

```
my_transaction tr;
tr = new();
assert(tr.randomize() with {vlan.size() == 0;});
```

协议中规定vlan的字段固定为4个字节，所以在随机化VLAN帧时，可以使用如下的方式：

代码清单　3-46

```
my_transaction tr;
tr = new();
assert(tr.randomize() with {vlan.size() == 1;});
```

协议中规定vlan的4个字节各自有其不同的含义，这4个字节分别代表4个不同的字段。如果使用上面的方式，问题虽然解决了，但是这4个字段的含义不太明确。

一个可行的解决方案是：

代码清单　3-47

文件：src/ch3/section3.3/3.3.4/my_transaction.sv

```
  4 class my_transaction extends uvm_sequence_item;
  5
  6   rand bit[47:0] dmac;
  7   rand bit[47:0] smac;
  8   rand bit[15:0] vlan_info1;
  9   rand bit[2:0]  vlan_info2;
 10   rand bit       vlan_info3;
 11   rand bit[11:0] vlan_info4;
 12   rand bit[15:0] ether_type;
 13   rand byte      pload[];
 14   rand bit[31:0] crc;
 15
 16   rand bit       is_vlan;
…
 31   `uvm_object_utils_begin(my_transaction)
 32     `uvm_field_int(dmac, UVM_ALL_ON)
 33     `uvm_field_int(smac, UVM_ALL_ON)
 34     if(is_vlan)begin
 35       `uvm_field_int(vlan_info1, UVM_ALL_ON)
 36       `uvm_field_int(vlan_info2, UVM_ALL_ON)
 37       `uvm_field_int(vlan_info3, UVM_ALL_ON)
 38       `uvm_field_int(vlan_info4, UVM_ALL_ON)
 39     end
 40     `uvm_field_int(ether_type, UVM_ALL_ON)
 41     `uvm_field_array_int(pload, UVM_ALL_ON)
 42     `uvm_field_int(crc, UVM_ALL_ON | UVM_NOPACK)
 43     `uvm_field_int(is_vlan, UVM_ALL_ON | UVM_NOPACK)
 44   `uvm_object_utils_end
…
 50 endclass
```

在随机化普通以太网帧时，可以使用如下的方式：

代码清单　3-48

```
my_transaction tr;
tr = new();
assert(tr.randomize() with {is_vlan == 0;});
```

在随机化VLAN帧时，可以使用如下的方式：

代码清单　3-49

```
my_transaction tr;
tr = new();
assert(tr.randomize() with {is_vlan == 1;});
```

使用这种方式的VLAN帧，在执行print操作时，4个字段的信息将会非常明显；在调用compare函数时，如果两个transaction不同，将会更加明确地指明是哪个字段不一样。

3.4 UVM中打印信息的控制

*3.4.1 设置打印信息的冗余度阈值

UVM通过冗余度级别的设置提高了仿真日志的可读性。在打印信息之前，UVM会比较要显示信息的冗余度级别与默认的冗余度阈值，如果小于等于阈值，就会显示，否则不会显示。默认的冗余度阈值是UVM_MEDIUM，所有低于等于UVM_MEDIUM（如UVM_LOW）的信息都会被打印出来。

可以通过get_report_verbosity_level函数得到某个component的冗余度阈值：

代码清单 3-50

```
virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
  $display("env.i_agt.drv's verbosity level is %0d", env.i_agt.drv.get_report_verbosity_level());
endfunction
```

这个函数得到的是一个整数，它代表的含义如下所示：

代码清单 3-51

来源：UVM
源代码

```
typedef enum
{
  UVM_NONE   = 0,
  UVM_LOW    = 100,
  UVM_MEDIUM = 200,
  UVM_HIGH   = 300,
  UVM_FULL   = 400,
  UVM_DEBUG  = 500
} uvm_verbosity;
```

UVM提供set_report_verbosity_level函数来设置某个特定component的默认冗余度阈值。在base_test中将driver的冗余度阈值设置为UVM_HIGH（UVM_LOW、UVM_MEDIUM、UVM_HIGH的信息都会被打印）代码为：

代码清单　3-52

```
文件：src/ch3/section3.4/3.4.1/base_test.sv
 16   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 17      env.i_agt.drv.set_report_verbosity_level(UVM_HIGH);
…
 21   endfunction
```

由于需要牵扯到层次引用，所以需要在connect_phase及以后的phase才能调用这个函数。如果不牵扯到任何层次引用，如设置当前component的冗余度阈值，那么可以在connect_phase之前调用。

set_report_verbosity_level只对某个特定的component起作用。UVM同样提供递归的设置函数set_report_verbosity_level_hier，如

把env.i_agt及其下所有的component的冗余度阈值设置为UVM_HIGH的代码为：

代码清单　3-53

```
env.i_agt.set_report_verbosity_level_hier(UVM_HIGH);
```

set_report_verbosity_level会对某个component内所有的uvm_info宏显示的信息产生影响。如果这些宏在调用时使用了不同的ID：

代码清单　3-54

```
`uvm_info("ID1", "ID1 INFO", UVM_HIGH)
`uvm_info("ID2", "ID2 INFO", UVM_HIGH)
```

那么可以使用set_report_id_verbosity函数来区分不同的ID的冗余度阈值：

代码清单　3-55

```
env.i_agt.drv.set_report_id_verbosity("ID1", UVM_HIGH);
```

经过上述设置后“ID1INFO”会显示，但是“ID2INFO”不会显示。

这个函数同样有其相应的递归调用函数，其调用方式为：

代码清单　3-56

```
env.i_agt.set_report_id_verbosity_hier("ID1", UVM_HIGH);
```

除了在代码中设置外，UVM支持在命令行中设置冗余度阈值：

代码清单　3-57

```
<sim command> +UVM_VERBOSITY=UVM_HIGH
或者：
<sim command> +UVM_VERBOSITY=HIGH
```

这两个命令行参数是等价的，即可以把冗余度级别的前缀“UVM_”省略。

上述的命令行参数会把整个验证平台的冗余度阈值设置为UVM_HIGH。它几乎相当于是在base_test中调用set_report_verbosity_level_hier函数，把base_test及以下所有component的冗余度级别设置为UVM_HIGH：

代码清单　3-58

```
set_report_verbosity_level_hier(UVM_HIGH)
```

对不同的component设置不同的冗余度阈值非常有用。在芯片级别验证时，重用了不同模块（block）的env。由于个人习惯的不同，每个人对信息冗余度的容忍度也不同，有些人把所有信息设置为UVM_MEDIUM，也有另外一些人喜欢把所有的信息都设置为UVM_HIGH。通过设置不同env的冗余度级别，可以更好地控制整个芯片验证环境输出信息的质量。

*3.4.2 重载打印信息的严重性

重载是深入到UVM骨子里的一个特性。UVM默认有四种信息严重性：UVM_INFO、UVM_WARNING、UVM_ERROR、UVM_FATAL。这四种严重性可以互相重载。如果要把driver中所有的UVM_WARNING显示为UVM_ERROR，可以使用如下的函数：

代码清单 3-59

```
文件：src/ch3/section3.4/3.4.2/base_test.sv
 16   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 17     env.i_agt.drv.set_report_severity_override(UVM_WARNING, UVM_ERROR);
 18      //env.i_agt.drv.set_report_severity_id_override(UVM_WARNING, "my_driver", UVM_ERROR);
 19   endfunction
```

假如在my_driver中有如下语句：

代码清单 3-60

```
文件：src/ch3/section3.4/3.4.2/my_driver.sv
29    `uvm_warning("my_driver", "this information is warning, but prints as UVM_ERROR")
```

如果不加任何设置，那么输出应该是：

```
UVM_WARNING my_driver.sv(29) @ 1100000: uvm_test_top.env.i_agt.drv [my_driver]this information is w
```

但是经过代码清单3-58的设置后，输出变为：

```
UVM_ERROR my_driver.sv(29) @ 1100000: uvm_test_top.env.i_agt.drv [my_driver] this information is wa
```

重载严重性可以只针对某个component内的某个特定的ID起作用：

代码清单　3-61

```
env.i_agt.drv.set_report_severity_id_override(UVM_WARNING, "my_driver", UVM_ERROR);
```

与设置冗余度不同，UVM不提供递归的严重性重载函数。严重性重载用的较少，一般的只会对某个component内使用，不会递归的使用。

重载严重性也可以在命令行中实现，其调用方式为：

代码清单　3-62

```
<sim command> +uvm_set_severity=<comp>,<id>,<current severity>,<new severity>
```

如代码清单3-60可以使用如下的命令行参数代替：

代码清单　3-63

```
<sim command> +uvm_set_severity="uvm_test_top.env.i_agt.drv,my_driver,UVM_WARNING,UVM_ERROR"
```

若要设置所有的ID，可以在id处使用_ALL_：

代码清单　3-64

```
<sim command> +uvm_set_severity="uvm_test_top.env.i_agt.drv,_ALL_,UVM_WARNING,UVM_ERROR"
```

*3.4.3 UVM_ERROR到达一定数量结束仿真

当uvm_fatal出现时，表示出现了致命错误，仿真会马上停止。UVM同样支持UVM_ERROR达到一定数量时结束仿真。这个功能非常有用。对于某个测试用例，如果出现了大量的UVM_ERROR，根据这些错误已经可以确定bug所在了，再继续仿真下去意义已经不大，此时就可以结束仿真，而不必等到所有的objection被撤销。

实现这个功能的是set_report_max_quit_count函数，其调用方式为：

代码清单 3-65

```
文件：src/ch3/section3.4/3.4.3/base_test.sv
 21 function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
 22   super.build_phase(phase);
 23   env  =  my_env::type_id::create("env", this);
 24   set_report_max_quit_count(5);
 25 endfunction
```

上述代码把退出阈值设置为5。当出现5个UVM_ERROR时，会自动退出，并显示如下的信息：

```
# --- UVM Report Summary ---
#
# Quit count reached!
# Quit count :      5 of      5
```

在测试用例中的设置方式与base_test中类似。如果测试用例与base_test中同时设置了，则以测试用例中的设置为准。此外，除了在build_phase之外，在其他phase设置也是可以的。

与set_max_quit_count相对应的是get_max_quit_count，可以用于查询当前的退出阈值。如果返回值为0则表示无论出现多少个UVM_ERROR都不会退出仿真：

代码清单　3-66

```
function int get_max_quit_count();
```

除了在代码中使用set_max_quit_count设置外，还可以在命令行中设置退出阈值：

代码清单　3-67

```
<sim command> +UVM_MAX_QUIT_COUNT=6,NO
```

其中第一个参数6表示退出阈值，而第二个参数NO表示此值是不可以被后面的设置语句重载，其值还可以是YES。

*3.4.4 设置计数的目标

在上一节中，当UVM_ERROR达到一定数量时，可以自动退出仿真。在计数当中，是不包含UVM_WARNING的。可以通过设置set_report_severity_action函数来把UVM_WARNING加入计数目标：

代码清单 3-68

```
文件：src/ch3/section3.4/3.4.4/base_test.sv
 16   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 17      set_report_max_quit_count(5);
 18    env.i_agt.drv.set_report_severity_action(UVM_WARNING, UVM_DISPLAY|UVM_COUNT);
…
 24    endfunction
```

通过上述代码，可以把env.i_agt.drv的UVM_WARNING加入到计数目标中。set_report_severity_action有相应的递归调用方式：

代码清单 3-69

```
env.i_agt.set_report_severity_action_hier(UVM_WARNING, UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
```

上述代码把env.i_agt及其下所有结点的UVM_WARNING加入到计数目标中。

set_report_severity_action及set_report_severity_action_hier的第一个参数除了是UVM_WARNING外，还可以是UVM_INFO，

UVM_ERROR。在默认情况下，UVM_ERROR已经加入了统计计数。如果要把其从统计计数目标中移除，可以：

代码清单　3-70

```
env.i_agt.drv.set_report_severity_action(UVM_ERROR, UVM_DISPLAY);
```

除了针对严重性进行计数外，还可以对某个特定的ID进行计数：

代码清单　3-71

```
env.i_agt.drv.set_report_id_action("my_drv", UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
```

上述代码把ID为my_drv的所有信息加入到计数中，无论是UVM_INFO，还是UVM_WARNING或者是UVM_ERROR、UVM_FATAL。

set_report_id_action同样有其递归调用方式：

代码清单　3-72

```
env.i_agt.set_report_id_action_hier("my_drv", UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
```

除了分别对严重性和ID进行设置外，UVM还支持把它们联合起来进行设置：

代码清单　3-73

```
env.i_agt.drv.set_report_severity_id_action(UVM_WARNING, "my_driver", UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
```

这种设置方式同样有其递归调用函数：

代码清单　3-74

```
env.i_agt.set_report_severity_id_action_hier(UVM_WARNING, "my_driver", UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
```

UVM支持在命令行中设置计数目标，设置方式为：

代码清单　3-75

```
<sim command> +uvm_set_action=<comp>,<id>,<severity>,<action>
```

如代码清单3-73可以使用如下的命令行参数代替：

代码清单　3-76

```
<sim command> +uvm_set_action="uvm_test_top.env.i_agt.drv,my_driver,UVM_NG,UVM_DISPLAY|UVM_COUNT"
```

若要针对所有的ID设置，可以使用_ALL_代替ID：

代码清单　3-77

```
<sim command> +uvm_set_action="uvm_test_top.env.i_agt.drv,_ALL_,UVM_WARNING,UVM_DISPLAY|UVM_COUNT"
```

*3.4.5 UVM的断点功能

在程序调试时，断点功能是非常有用的一个功能。在程序运行时，预先在某语句处设置一断点。当程序执行到此处时，停止仿真，进入交互模式，从而进行调试。

断点功能需要从仿真器的角度进行设置，不同仿真器的设置方式不同。为了消除这些设置方式的不同，UVM支持内建的断点功能，当执行到断点时，自动停止仿真，进入交互模式：

代码清单 3-78

```
文件：src/ch3/section3.4/3.4.5/base_test.sv
 16   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 17      env.i_agt.drv.set_report_severity_action(UVM_WARNING, UVM_DISPLAY| UVM_STOP);
…
 23   endfunction
```

使用上述设置语句，当env.i_agt.drv中出现UVM_WARNING时，立即停止仿真，进入交互模式。这里用到了set_report_severity_action函数，与3.4.4节类似。事实上，3.4.4节介绍的下列函数：

代码清单 3-79

```
env.i_agt.drv.set_report_severity_action(UVM_WARNING, UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
env.i_agt.set_report_severity_action_hier(UVM_WARNING, UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
```

```
env.i_agt.drv.set_report_id_action("my_drv", UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
env.i_agt.set_report_id_action_hier("my_drv", UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
env.i_agt.drv.set_report_severity_id_action(UVM_WARNING, "my_driver", UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
env.i_agt.set_report_severity_id_action_hier(UVM_WARNING, "my_driver", UVM_DISPLAY| UVM_COUNT);
```

只要将其中的UVM_COUNT替换为UVM_STOP，就可以实现相应的断点功能，这里不多做介绍。

同样的，也可以在命令行中设置UVM断点：

代码清单　3-80

```
<sim command> +uvm_set_action="uvm_test_top.env.i_agt.drv,my_driver,UVM_WARNING,UVM_DISPLAY|UVM_STO
```

*3.4.6 将输出信息导入文件中

默认情况下，UVM会将UVM_INFO等信息显示在标准输出（终端屏幕）上。各个仿真器提供将显示在标准输出的信息同时输出到一个日志文件中的功能。但是这个日志文件混杂了所有的UVM_INFO、UVM_WARNING、UVM_ERROR及UVM_FATAL。UVM提供将特定信息输出到特定日志文件的功能：

代码清单 3-81

文件：src/ch3/section3.4/3.4.6/severity/base_test.sv

```
 16   UVM_FILE info_log;
 17   UVM_FILE warning_log;
 18   UVM_FILE error_log;
 19   UVM_FILE fatal_log;
 20   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 21      info_log = $fopen("info.log", "w");
 22      warning_log = $fopen("warning.log", "w");
 23      error_log = $fopen("error.log", "w");
 24      fatal_log = $fopen("fatal.log", "w");
 25      env.i_agt.drv.set_report_severity_file(UVM_INFO,    info_log);
 26      env.i_agt.drv.set_report_severity_file(UVM_WARNING, warning_log);
 27      env.i_agt.drv.set_report_severity_file(UVM_ERROR,   error_log);
 28      env.i_agt.drv.set_report_severity_file(UVM_FATAL,   fatal_log);
 29      env.i_agt.drv.set_report_severity_action(UVM_INFO, UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
 30      env.i_agt.drv.set_report_severity_action(UVM_WARNING, UVM_DISPLAY|UVM_LOG);
 31      env.i_agt.drv.set_report_severity_action(UVM_ERROR, UVM_DISPLAY| UVM_COUNT | UVM_LOG);
 32      env.i_agt.drv.set_report_severity_action(UVM_FATAL, UVM_DISPLAY|UVM_EXIT | UVM_LOG);
…
 42   endfunction
```

上述代码将env.i_agt.drv的UVM_INFO输出到info.log，UVM_WARNING输出到warning.log，UVM_ERROR输出到error.log，UVM_FATAL输出到fatal.log。这里用到了set_report_severity_file函数。这个函数同样有其递归调用的方式：

代码清单　3-82

```
env.i_agt.set_report_severity_file_hier(UVM_INFO,    info_log);
env.i_agt.set_report_severity_file_hier(UVM_WARNING, warning_log);
env.i_agt.set_report_severity_file_hier(UVM_ERROR,   error_log);
env.i_agt.set_report_severity_file_hier(UVM_FATAL,   fatal_log);
env.i_agt.set_report_severity_action_hier(UVM_INFO, UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
env.i_agt.set_report_severity_action_hier(UVM_WARNING, UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
env.i_agt.set_report_severity_action_hier(UVM_ERROR, UVM_DISPLAY| UVM_COUNT |UVM_LOG);
env.i_agt.set_report_severity_action_hier(UVM_FATAL, UVM_DISPLAY| UVM_EXIT | UVM_LOG);
```

上述代码将env.i_agt及其下所有结点的输出信息分类输出到不同的日志文件中。

除了根据严重性设置不同的日志文件外，UVM中还可以根据不同的ID来设置不同的日志文件：

代码清单　3-83

文件：src/ch3/section3.4/3.4.6/id/base_test.sv

```
 16   UVM_FILE driver_log;
 17   UVM_FILE drv_log;
 18   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 19      driver_log = $fopen("driver.log", "w");
```

```
 20       drv_log = $fopen("drv.log", "w");
 21       env.i_agt.drv.set_report_id_file("my_driver", driver_log);
 22       env.i_agt.drv.set_report_id_file("my_drv", drv_log);
 23       env.i_agt.drv.set_report_id_action("my_driver", UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
 24       env.i_agt.drv.set_report_id_action("my_drv", UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
…
 29    endfunction
 30    virtual function void final_phase(uvm_phase phase);
 31       $fclose(driver_log);
 32       $fclose(drv_log);
 33    endfunction
```

这里用到了set_report_id_file函数，这个函数同样也有递归调用的方式：

代码清单　3-84

```
env.i_agt.set_report_id_file_hier("my_driver", driver_log);
env.i_agt.set_report_id_file_hier("my_drv", drv_log);
env.i_agt.set_report_id_action_hier("my_driver", UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
env.i_agt.set_report_id_action_hier("my_drv", UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
```

上述代码将env.i_agt及其下所有结点的输出信息中ID为my_driver的输出到driver.log中，把ID为my_drv的输出到drv.log中。

UVM还可以根据严重性和ID的组合来设置不同的日志文件：

代码清单　3-85

文件：src/ch3/section3.4/3.4.6/id_severity/base_test.sv

```
 16   UVM_FILE driver_log;
 17   UVM_FILE drv_log;
 18   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 19      driver_log = $fopen("driver.log", "w");
 20      drv_log = $fopen("drv.log", "w");
 21    env.i_agt.drv.set_report_severity_id_file(UVM_WARNING, "my_driver",driver_
log);
 22      env.i_agt.drv.set_report_severity_id_file(UVM_INFO, "my_drv", drv_log);
 23      env.i_agt.drv.set_report_id_action("my_driver", UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
 24      env.i_agt.drv.set_report_id_action("my_drv", UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
…
 29   endfunction
```

这里用到了set_report_severity_id_file，它同样也有其递归调用的方式：

代码清单　3-86

```
env.i_agt.set_report_severity_id_file_hier(UVM_WARNING, "my_driver", driver_log);
env.i_agt.set_report_severity_id_file_hier(UVM_INFO, "my_drv", drv_log);
env.i_agt.set_report_id_action_hier("my_driver", UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
env.i_agt.set_report_id_action_hier("my_drv", UVM_DISPLAY| UVM_LOG);
```

*3.4.7 控制打印信息的行为

3.4.4、3.4.5、3.4.6三节是控制打印信息行为系列函数set_*_action的典型应用。无论是UVM_DISPLAY，还是UVM_COUNT或者是UVM_LOG，都是UVM内部定义的一种行为。

UVM共定义了如下几种行为：

代码清单 3-87

```
typedef enum
{
  UVM_NO_ACTION = 'b000000,
  UVM_DISPLAY   = 'b000001,
  UVM_LOG       = 'b000010,
  UVM_COUNT     = 'b000100,
  UVM_EXIT      = 'b001000,
  UVM_CALL_HOOK = 'b010000,
  UVM_STOP      = 'b100000
} uvm_action_type;
```

与field automation机制中定义UVM_ALL_ON类似，这里也把UVM_DISPLAY等定义为一个整数。不同的行为有不同的位偏移，所以不同的行为可以使用“或”的方式组合在一起：

代码清单 3-88

```
UVM_DISPLAY| UVM_COUNT | UVM_LOG
```

其中UVM_NO_ACTION是不做任何操作；UVM_DISPLAY是输出到标准输出上；UVM_LOG是输出到日志文件中，它能工作的前提是设置好了日志文件；UVM_COUNT是作为计数目标；UVM_EXIT是直接退出仿真；UVM_CALL_HOOK是调用一个回调函数；UVM_STOP是停止仿真，进入命令行交互模式。

在默认的情况下，UVM设置了如下的行为：

代码清单　3-89

来源：UVM
源代码

```
set_severity_action(UVM_INFO,    UVM_DISPLAY);
set_severity_action(UVM_WARNING, UVM_DISPLAY);
set_severity_action(UVM_ERROR,   UVM_DISPLAY | UVM_COUNT);
set_severity_action(UVM_FATAL,   UVM_DISPLAY | UVM_EXIT);
```

从UVM_INFO到UVM_FATAL，都会输出到标准输出中；UVM_ERROR会作为仿真退出计数器的计数目标；出现UVM_FATAL时会自动退出仿真。

通过设置不同的行为，可以实现强大的功能。如3.4.1节中通过设置默认的冗余度级别来关闭某些信息的输出，这个功能可以通过设置为UVM_NO_ACTION来实现：

代码清单　3-90

```
文件：src/ch3/section3.4/3.4.7/base_test.sv
 16   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 17      env.i_agt.drv.set_report_severity_action(UVM_INFO, UVM_NO_ACTION);
 18   endfunction
```

无论原本的冗余度是什么，经过上述设置后，env.i_agt.drv的所有的uvm_info信息都不会输出。

3.5 config_db机制

3.5.1 UVM中的路径

在代码清单2-3中已经介绍过，一个component（如my_driver）内通过get_full_name（）函数可以得到此component的路径：

代码清单 3-91

```
function void my_driver::build_phase();
  super.build_phase(phase);
  $display("%s", get_full_name());
endfunction
```

上述代码如果是在图3-4所示的层次结构中的my_driver中，那么打印出来的值是uvm_test_top.env.i_agt.drv。

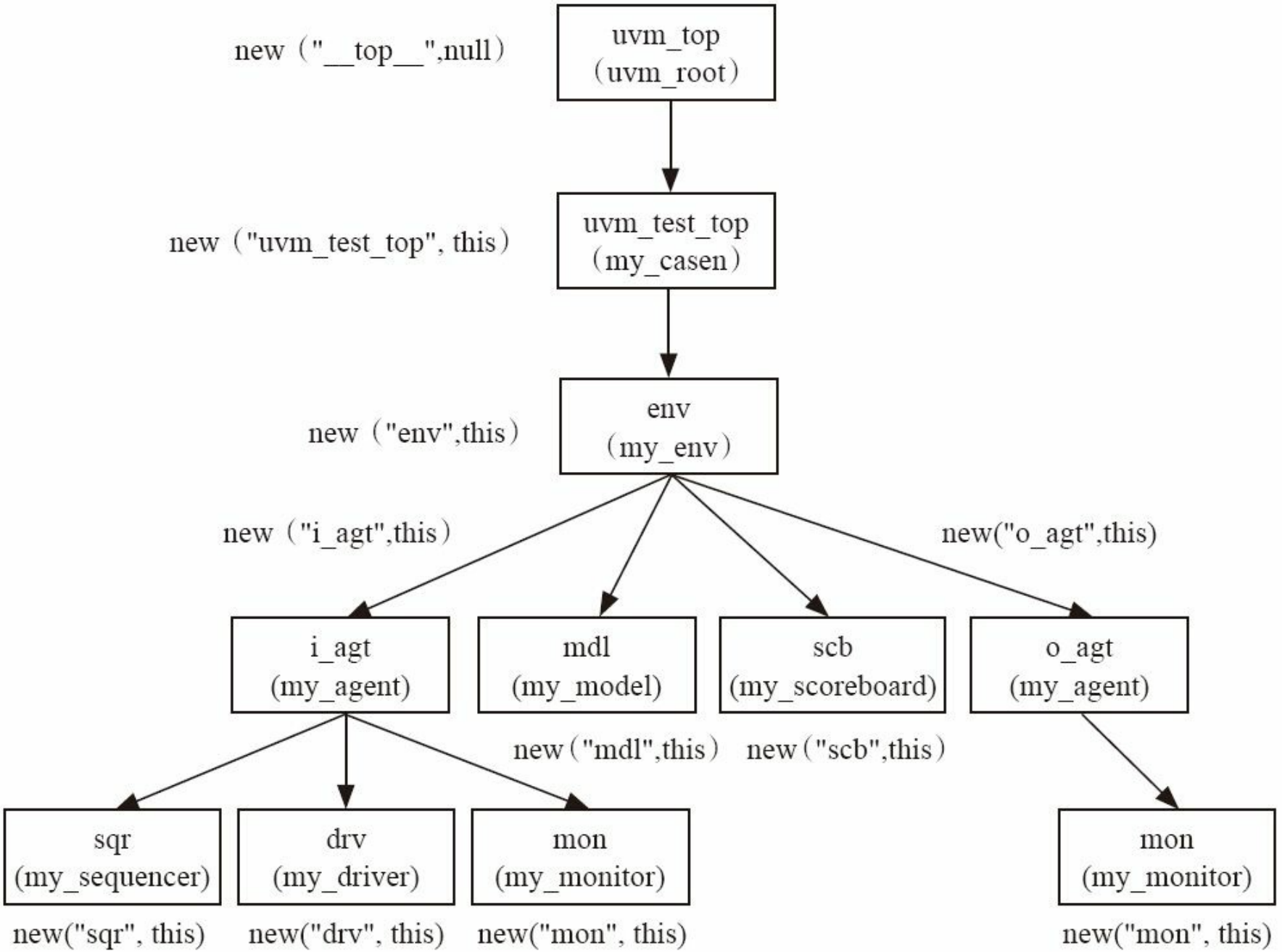

new（"__top__",null）
uvm_top
（uvm_root）
new（"uvm_test_top", this）
uvm_test_top
（my_casen）
new（"env",this）
env
（my_env）
new（"i_agt",this）
new("o_agt",this)
i_agt
(my_agent)
mdl
(my_model)
scb
(my_scoreboard)
o_agt
(my_agent)
new（"mdl",this）
new（"scb",this）
sqr
(my_sequencer)
drv
(my_driver)
mon
(my_monitor)
mon
(my_monitor)
new("sqr", this)
new("drv", this)
new("mon", this)
new("mon", this)

图3-4　UVM中的路径

为了方便，图3-4中使用了new函数而不是factory式的create方式来创建实例。在这幅图中，uvm_test_top实例化时的名字是uvm_test_top，这个名字是由UVM在run_test时自动指定的。uvm_top的名字是__top__，但是在显示路径的时候，并不会显示出这个名字，而只显示从uvm_test_top开始的路径。

路径的概念与通常的层次结构不太一样，虽然基本上它们是一样的。从图3-4中的my_casen看来，drv的层次结构是env.i_agt.drv，其相对于my_casen的相对路径是env.i_agt.drv。如果drv在new时指定的名字不是drv，而是driver，即：

代码清单　3-92

```
drv = my_driver::type_id::create("driver");
```

那么drv在my_casen看来，层次结构依然是env.i_agt.drv，但其路径变为了env.i_agt.driver。在好的编码习惯中，这种变量名与其实例化时传递的名字不一致的情况应该尽量避免。

3.5.2 set与get函数的参数

config_db机制用于在UVM验证平台间传递参数。它们通常都是成对出现的。set函数是寄信，而get函数是收信。如在某个测试用例的build_phase中可以使用如下方式寄信：

代码清单 3-93

```
uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", "pre_num", 100);
```

其中第一个和第二个参数联合起来组成目标路径，与此路径符合的目标才能收信。第一个参数必须是一个uvm_component实例的指针，第二个参数是相对此实例的路径。第三个参数表示一个记号，用以说明这个值是传给目标中的哪个成员的，第四个参数是要设置的值。

在driver中的build_phase使用如下方式收信：

代码清单 3-94

```
uvm_config_db#(int)::get(this, "", "pre_num", pre_num);
```

get函数中的第一个参数和第二个参数联合起来组成路径。第一个参数也必须是一个uvm_component实例的指针，第二个参数

是相对此实例的路径。一般的，如果第一个参数被设置为this，那么第二个参数可以是一个空的字符串。第三个参数就是set函数中的第三个参数，这两个参数必须严格匹配，第四个参数则是要设置的变量。

第2章的例子中，在top_tb中通过config_db机制的set函数设置virtual interface时，set函数的第一个参数为null。在这种情况下，UVM会自动把第一个参数替换为uvm_root：：get（），即uvm_top。换句话说，以下两种写法是完全等价的：

代码清单　3-95

```
initial begin
  uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env.i_agt.drv", "vif", input_if);
end
initial begin
  uvm_config_db#(virtual my_if)::set(uvm_root::get(), "uvm_test_top.env.i_ag t. drv", "vif", input_
end
```

既然set函数的第一个和第二个参数联合起来组成路径，那么在某个测试用例的build_phase中可以通过如下的方式设置env.i_agt.drv中pre_num_max的值：

代码清单　3-96

```
uvm_config_db#(int)::set(this.env, "i_agt.drv", "pre_num_max", 100);
```

把this替换为了this.env，第二个参数是my_driver相对于env的路径。

set函数的参数可以使用这种灵活的方式设置，同样的，get函数的参数也可以。在driver的build_phase中：

代码清单　3-97

```
uvm_config_db#(int)::get(this.parent, "drv", "pre_num_max", pre_num_max);
或者：
uvm_config_db#(int)::get(null, "uvm_test_top.env.i_agt.drv", "pre_num_max", p re_num_max);
```

这些写法都是可以的，只是它们相对于本节最开始的写法没有任何优势。所以还是提倡使用最开始的写法。但是这种写法也并不是一无是处，在3.5.6节中会介绍它们的一种应用。

set及get函数中第三个参数可以与get函数中第四个参数不一样。如第四个参数是pre_num，那么第三个参数可以是p_num，只要保持set和get中第三个参数一致即可：

代码清单　3-98

```
uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", "p_num", 100);
uvm_config_db#(int)::get(this, "", "p_num", pre_num);
```

之所以可以如此，可以这样理解：张三给李四寄了一封信，信上写了李四的名字，这样李四可以收到信。但是呢，由于保密

的需要，张三只是在信上写了“四”这一个字，只要张三跟李四事先约定好了，那么李四一看到上面写着“四”的信就会收下来。

*3.5.3 省略get语句

set与get函数一般都是成对出现，但是在某些情况下，是可以只有set而没有get语句，即省略get语句。

在3.1.5节介绍到与uvm_component相关的宏时，曾经提及field automation机制与uvm_component机制的结合。假设在my_driver中有成员变量pre_num，把其使用uvm_field_int实现field automation机制：

代码清单 3-99

文件：src/ch3/section3.5/3.5.3/my_driver.sv

```
 7   int pre_num;
 8   `uvm_component_utils_begin(my_driver)
 9     `uvm_field_int(pre_num, UVM_ALL_ON)
10   `uvm_component_utils_end
11
12   function new(string name = "my_driver", uvm_component parent = null);
13     super.new(name, parent);
14     pre_num = 3;
15   endfunction
16
17   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
18    `uvm_info("my_driver", $sformatf("before super.build_phase, the pre_num is %0d", pre_num), U
19     super.build_phase(phase);
20     `uvm_info("my_driver", $sformatf("after super.build_phase, the pre_num is %0d", pre_num), U
21     if(!uvm_config_db#(virtual my_if)::get(this, "", "vif", vif))
22        `uvm_fatal("my_driver", "virtual interface must be set for vif!!!")
23   endfunction
```

只要使用uvm_field_int注册，并且在build_phase中调用super.build_phase（），就可以省略在build_phase中的如下get语句：

代码清单　3-100

```
uvm_config_db#(int)::get(this, "", "pre_num", pre_num);
```

这里的关键是build_phase中的super.build_phase语句，当执行到driver的super.build_phase时，会自动执行get语句。这种做法的前提是：第一，my_driver必须使用uvm_component_utils宏注册；第二，pre_num必须使用uvm_field_int宏注册；第三，在调用set函数的时候，set函数的第三个参数必须与要get函数中变量的名字相一致，即必须是pre_num。所以上节中，虽然说这两个参数可以不一致，但是最好的情况下还是一致。李四的信就是给李四的，不要打什么暗语，用一个“四”来代替李四。

这就是省略get语句的情况。但是对于set语句，则没有办法省略。

*3.5.4 跨层次的多重设置

在前面的所有例子中，都是设置一次，获取一次。但是假如设置多次，而只获取一次，最终会得到哪个值呢？

在现实生活中，这可以理解成有好多人都给李四发了一封信，要求李四做某件事情，但是这些信是相互矛盾的。那么李四有两种方法来决定听谁的：一是以收到的时间为准，最近收到的信具有最高的权威，当同时收到两封信时，则看发信人的权威性，也即时间的优先级最高，发信人的优先级次之；二是先看发信人，哪个发信人最权威就听谁的，当同一个发信人先后发了两封信时，那么最近收到的一封权威高，也就是发信人的优先级最高，而时间的优先级低。UVM中采用类似第二种方法的机制。

在图3-4中，假如uvm_test_top和env中都对driver的pre_num的值进行了设置，在uvm_test_top中的设置语句如下：

代码清单 3-101

```
文件：src/ch3/section3.5/3.5.4/normal/my_case0.sv
 32 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 33   super.build_phase(phase);
…
 39   uvm_config_db#(int)::set(this,
 40                            "env.i_agt.drv",
 41                            "pre_num",
 42                            999);
 43   `uvm_info("my_case0", "in my_case0, env.i_agt.drv.pre_num is set to 999",UVM_LOW)
```

在env的设置语句如下：

代码清单　3-102

```
文件：src/ch3/section3.5/3.5.4/normal/my_env.sv
 19   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 20     super.build_phase(phase);
…
 31     uvm_config_db#(int)::set(this,
 32                              "i_agt.drv",
 33                              "pre_num",
 34                              100);
 35     `uvm_info("my_env", "in my_env, env.i_agt.drv.pre_num is set to 100",UVM_LOW)
 36   endfunction
```

那么driver中获取到的值是100还是999呢？答案是999。UVM规定层次越高，那么它的优先级越高。这里的层次指的是在UVM树中的位置，越靠近根结点uvm_top，则认为其层次越高。uvm_test_top的层次是高于env的，所以uvm_test_top中的set函数的优先级高。

UVM这样设置是有其内在道理的。相对于env来说，uvm_test_top（my_case）更接近用户。用户会在uvm_test_top中设置不同的default_sequence，从而衍生出很多不同的测试用例来。而对于env，它在uvm_test_top中实例化。有时候，这个env根本就不是用户自己开发的，很可能是别人已经开发好的一个非常成熟的可重用的模块。对于这种成熟的模块，如果觉得其中某些参数不合要求，那么难道要到env中去修改相关的参数吗？显然这是不合理的。比较合理的就是在uvm_test_top的build_phase中通过set函数的方式修改。所以说，UVM这种看似势利的行为其实极大方便了用户的使用。

上述结论在set函数的第一个参数为this时是成立的，但是假如set函数的第一个参数不是this会如何呢？假设uvm_test_top的set

语句是：

代码清单　3-103

```
文件：src/ch3/section3.5/3.5.4/abnormal/my_case0.sv
 32 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 33    super.build_phase(phase);
…
 39    uvm_config_db#(int)::set(uvm_root::get(),
 40                             "uvm_test_top.env.i_agt.drv",
 41                             "pre_num",
 42                             999);
 43    `uvm_info("my_case0", "in my_case0, env.i_agt.drv.pre_num is set to 999", UVM_LOW)
```

而env的set语句是：

代码清单　3-104

```
文件：src/ch3/section3.5/3.5.4/normal/my_env.sv
 19    virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 20      super.build_phase(phase);
…
 31      uvm_config_db#(int)::set(uvm_root::get(),
 32                               "uvm_test_top.env.i_agt.drv",
 33                               "pre_num",
 34                               100);
 35      `uvm_info("my_env", "in my_env, env.i_agt.drv.pre_num is set to 100",UVM_LOW)
 36    endfunction
```

这种情况下，driver得到的pre_num的值是100。由于set函数的第一个参数是uvm_root：：get（），所以寄信人变成了uvm_top。在这种情况下，只能比较寄信的时间。UVM的build_phase是自上而下执行的，my_case0的build_phase先于my_env的build_phase执行。所以my_env对pre_num的设置在后，其设置成为最终的设置。

假如uvm_test_top中set函数的第一个参数是this，而env中set函数的第一个参数是uvm_root：：get（），那么driver得到的pre_num的值也是100。这是因为env中set函数的寄信人变成了uvm_top，在UVM树中具有最高的优先级。

因此，无论如何，在调用set函数时其第一个参数应该尽量使用this。在无法得到this指针的情况下（如在top_tb中），使用null或者uvm_root：：get（）。

*3.5.5 同一层次的多重设置

当跨层次来看待问题时，是高层次的set设置优先；当处于同一层次时，上节已经提过，是时间优先。

代码清单 3-105

```
uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", "pre_num", 100);
uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", "pre_num", 109);
```

当上面两个语句同时出现在测试用例的build_phase中时，driver最终获取到的值将会是109。像上面的这种用法看起来完全是胡闹，没有任何意义。但是考虑这种情况：

pre_num在99%的测试用例中的值都是7，只有在1%的测试用例中才会是其他值。那么是不是要这么写呢？

代码清单 3-106

```
class case1 extends base_test;
  function void build_phase(uvm_phase phase);
    super.build_phase(phase);
    uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", pre_num_max, 7);
  endfunction
endclass
…
class case99 extends base_test;
  function void build_phase(uvm_phase phase);
```

```
    super.build_phase(phase);
    uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", pre_num_max, 7);
  endfunction
endclass
class case100 extends base_test;
  function void build_phase(uvm_phase phase);
    super.build_phase(phase);
    uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", pre_num_max, 100);
  endfunction
endclass
```

前面99个测试用例的build_phase里面都是相同的语句，这种代码维护起来非常困难。因为可能忽然有一天，99%的测试用例中，pre_num_max的值要变成6，那么就需要把99个测试用例中所有的set语句都改变。这是相当耗时间的，而且是极易出错的。验证中写代码的一个原则是同样的语句只在一个地方出现，尽量避免在多个地方出现。解决这个问题的办法就是在base_test的build_phase中使用config_db：：set进行设置，这样，当由base_test派生而来的case1～case99在执行super.build_phase（phase）时，都会进行设置：

代码清单　3-107

```
classs base_test extends uvm_test;
  function void build_phase(uvm_phase phase);
    super.build_phase(phase);
    uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", pre_num_max, 7);
  endfunction
endclass
class case1 extends base_test;
  function void build_phase(uvm_phase phase);
```

```
    super.build_phase(phase);
  endfunction
endclass
…
class case99 extends base_test;
  function void build_phase(uvm_phase phase);
    super.build_phase(phase);
  endfunction
endclass
```

但是对于第100个测试用例，则依然需要这么写：

代码清单　3-108

```
class case100 extends base_test;
  function void build_phase(uvm_phase phase);
    super.build_phase(phase);
    uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", pre_num_max, 100);
  endfunction
endclass
```

case100的build_phase相当于如下所示连续设置了两次：

代码清单　3-109

```
uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", "pre_num", 7);
uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", "pre_num", 100);
```

按照时间优先的原则，后面config_db：：set的值将最终被driver得到。

*3.5.6 非直线的设置与获取

在图3-4所示的UVM树中，driver的路径为uvm_test_top.env.i_agt.drv。在uvm_test_top，env或者i_agt中，对driver中的某些变量通过config_db机制进行设置，称为直线的设置。但是若在其他component，如scoreboard中，对driver的某些变量使用config_db机制进行设置，则称为非直线的设置。

在my_driver中使用config_db：：get获得其他任意component设置给my_driver的参数，称为直线的获取。假如要在其他的component，如在reference model中获取其他component设置给my_driver的参数的值，称为非直线的获取。

要进行非直线的设置，需要仔细设置set函数的第一个和第二个参数。以在scoreboard中设置driver中的pre_num为例：

代码清单 3-110

文件：src/ch3/section3.5/3.5.6/set/my_scoreboard.sv

```
 18 function void my_scoreboard::build_phase(uvm_phase phase);
…
 22   uvm_config_db#(int)::set(this.m_parent,
 23                          "i_agt.drv",
 24                          "pre_num",
 25                          200);
 26  `uvm_info("my_scoreboard", "in my_scoreboard, uvm_test_top.env.i_agt.drv.pre_num is set to 20(
 27 endfunction
```

或者：

代码清单　3-111

```
function void my_scoreboard::build_phase(uvm_phase phase);
  super.build_phase(phase);
  uvm_config_db#(int)::set(uvm_root::get(),
                           "uvm_test_top.env.i_agt.drv",
                           "pre_num",
                           200);
endfunction
```

无论哪种方式，都带来了一个新的问题。在UVM树中，build_phase是自上而下执行的，但是对于图3-4所示的UVM树来说，scb与i_agt处于同一级别中，UVM并没有明文指出同一级别的build_phase的执行顺序。所以当my_driver在获取参数值时，my_scoreboard的build_phase可能已经执行了，也可能没有执行。所以，这种非直线的设置，会有一定的风险，应该避免这种情况的出现。

非直线的获取也只需要设置其第一和第二个参数。假如要在reference model中获取driver的pre_num的值：

代码清单　3-112

```
文件：src/ch3/section3.5/3.5.6/get/my_model.sv
 21 function void my_model::build_phase(uvm_phase phase);
 22   super.build_phase(phase);
 23   port = new("port", this);
 24   ap = new("ap", this);
 25  `uvm_info("my_model", $sformatf("before get, the pre_num is %0d", drv_pre_num), UVM_LOW)
```

```
26  void'(uvm_config_db#(int)::get(this.m_parent, "i_agt.drv", "pre_num", drv_pre_num));
27  `uvm_info("my_model", $sformatf("after get, the pre_num is %0d", drv_pre_num), UVM_LOW)
28 endfunction
```

或者：

代码清单　3-113

```
void'(uvm_config_db#(int)::get(uvm_root::get(), "uvm_test_top.env.i_agt.drv",
 "pre_num", drv_pre_num));
```

这两种方式都可以正确地得到设置的pre_num的值。

非直线的获取可以在某些情况下避免config_db：：set的冗余。上面的例子在reference model中获取driver的pre_num的值，如果不这样做，而采用直线获取的方式，那么需要在测试用例中通过cofig_db：：set分别给reference model和driver设置pre_num的值。同样的参数值设置出现在不同的两条语句中，这大大增加了出错的可能性。因此，非直线的获取可以在验证平台中多个组件（UVM树结点）需要使用同一个参数时，减少config_db：：set的冗余。

*3.5.7 config_db机制对通配符的支持

在以前所有的例子中，在config_db：：set操作时，其第二个参数都提供了完整的路径，但实际上也可以不提供完整的路径。config_db机制提供对通配符的支持。

2.5.2节的top_tb.sv中，使用完整路径设置virtual interface的代码如下：

代码清单 3-114

```
initial begin
  uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env.i_agt.drv",
"vif",input_if);
  uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env.i_agt.mon",
"vif",input_if);
  uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env.o_agt.mon",
"vif",output_if);
end
```

使用通配符，可以把第一和第二个set语句合并为一个set：

代码清单 3-115

文件：src/ch3/section3.5/3.5.7/top_tb.sv

```
 53 initial begin
 54   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env.i_agt*", "vif", input_if);
```

```
55  uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env.o_agt*", "vif", output_if);
56   `uvm_info("top_tb", "use wildchar in top_tb's config_db::set!", UVM_LOW)
57 end
```

可以进一步简化为：

代码清单　3-116

```
initial begin
  uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "*i_agt*", "vif", input_if);
  uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "*o_agt*", "vif", output_if);
end
```

这种写法极大简化了代码，用起来非常方便。但是，并不推荐使用通配符。通配符的存在使得原本非常清晰的设置路径变得扑朔迷离。除非是对整个验证平台的结构有非常明确的了解，否则根本不清楚最终是设置给哪个目标的。在一个项目组中，有时候验证人员A因为种种原因需要把自己写的验证平台交给B维护，使用通配符会延长B用户的学习曲线。另外，即使不存在移交验证平台的情况，如果在间隔较长一段时间后A用户再来看自己写的验证平台，有时候也会非常迷茫。所以，尽量避免使用通配符；即使要用，也尽可能不要过于“省略”。在如下的两种方式中，第一种要比第二种好很多：

代码清单　3-117

```
uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env.i_agt*", "vif", input_if);
uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "*i_agt*", "vif", input_if);
```

*3.5.8 check_config_usage

config_db机制功能非常强大，能够在不同层次对同一参数实现配置。但它的一个致命缺点是，其set函数的第二个参数是字符串，如果字符串写错，那么根本就不能正确地设置参数值。假设要对driver的pre_num进行设置，但是在写第二个参数时，错把i_agt写成了i_atg：

代码清单 3-118

```
uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_atg.drv", "pre_num", 7);
```

这个问题经常会使验证工作人员感到非常困扰，很多有经验的验证人员也深受其害。对于这种情况，UVM不会提供任何错误提示。同时由于第二个参数是字符串，虽然错了，但是也还是一个字符串，所以SystemVerilog的仿真器也不会给出任何参数错误提示。

针对这种情况，UVM提供了一个函数check_config_usage，它可以显示出截止到此函数调用时有哪些参数是被设置过但是却没有被获取过。由于config_db的set及get语句一般都用于build_phase阶段，所以此函数一般在connect_phase被调用：

代码清单 3-119

文件：src/ch3/section3.5/3.5.8/my_case0.sv

```
 29   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
```

```
 30      super.connect_phase(phase);
 31      check_config_usage();
 32    endfunction
```

当然了，它也可以在connect_phase后的任一phase被调用。

假如在测试用例中有如下的三个设置语句：

代码清单　3-120

```
文件：src/ch3/section3.5/3.5.8/my_case0.sv
 37 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 40    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 41                                            "env.i_agt.sqr.main_phase",
 42                                            "default_sequence",
 43                                            case0_sequence::type_id::get());
 44    uvm_config_db#(int)::set(this,
 45                             "env.i_atg.drv",
 46                             "pre_num",
 47                             999);
 48    uvm_config_db#(int)::set(this,
 49                             "env.mdl",
 50                             "rm_value",
 51                             10);
 52 endfunction
```

第一个是设置default_sequence，第二个是设置driver中pre_num的值，但是不小心把i_agt写成了i_atg，第三个是设置reference

model中rm_value的值。

在my_driver和my_model中分别获取pre_num和rm_value的值，这里不列出相关代码。调用check_config_usage的运行结果是：

```
# UVM_INFO @ 0: uvm_test_top [CFGNRD]  ::: The following resources have at least one write and no r
# default_sequence [/^uvm_test_top\.env\.i_agt\.sqr\.main_phase$/] : (class uvm_pkg::uvm_object_wra
# -
#   --------
#   uvm_test_top reads: 0 @ 0  writes: 1 @ 0
#
# pre_num [/^uvm_test_top\.env\.i_atg\.drv$/] : (int) 999
# -
#   --------
#   uvm_test_top reads: 0 @ 0  writes: 1 @ 0
#
```

上述结果显示有两条设置信息分别被写过（set）1次，但是一次也没有被读取（get）。其中pre_num未被读取是因为错把i_agt写成了i_atg。default sequence的设置也没有被读取，是因为default sequence是设置给main_phase的，它在main_phase的时候被获取，而main_phase是在connect_phase之后执行的。

3.5.9 set_config与get_config

在3.1.3节代码清单3-4中出现了get_config_int。这种写法最初来自OVM中，UVM继承了这种写法，并在此基础上发展出了config_db。与将在第11章介绍的那些过时的OVM用法不同，set_config与get_config依然是UVM标准的一部分，并没有过时[1]。

使用set_config_int来代替uvm_config_db#（int）：：set的代码为：

代码清单 3-121

```
文件：src/ch3/section3.5/3.5.9/my_case0.sv
 37 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 40   uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 41                                           "env.i_agt.sqr.main_phase",
 42                                           "default_sequence",
 43                                           case0_sequence::type_id::get());
 44   set_config_int("env.i_agt.drv", "pre_num", 999);
 45   set_config_int("env.mdl", "rm_value", 10);
 46 endfunction
```

在my_model中使用get_config_int来获取参数值：

代码清单 3-122

```
文件：src/ch3/section3.5/3.5.9/my_model.sv
```

```
 20 function void my_model::build_phase(uvm_phase phase);
 21   int rm_value;
 22   super.build_phase(phase);
…
 25   void'(get_config_int("rm_value", rm_value));
 26   `uvm_info("my_model", $sformatf("get the rm_value %0d", rm_value), UVM_LOW)
 27 endfunction
```

set_config_int与uvm_config_db#（int）：：set是完全等价的，而get_config_int与uvm_config_db#（int）：：get是完全等价的。参数可以使用set_config_int设置，而使用uvm_config_db#（int）：：get来获取；或者使用uvm_config_db#（int）：：set来设置，而使用get_config_int来获取。

除了set/get_config_int外，还有set/get_config_string和set/get_config_object。它们分别对应uvm_config_db#（string）：：set/get和uvm_config_db#（uvm_object）：：set/get。

config_db比set/get_config强大的地方在于，它设置的参数类型并不局限于以上三种。常见的枚举类型、virtual interface、bit类型、队列等都可以成为config_db设置的数据类型。

在这些所有的类型中，最常见的无疑是int类型和string类型。UVM提供命令行参数来对它们进行设置：

代码清单　3-123

```
<sim command> +uvm_set_config_int=<comp>,<field>,<value>
<sim command> +uvm_set_config_string=<comp>,<field>,<value>
```

如可以使用如下的方式对pre_num进行设置：

代码清单　3-124

```
<sim command> +uvm_set_config_int="uvm_test_top.env.i_agt.drv,pre_num,'h8"
```

在设置int型参数时，可以在其前加上如下的前缀：'b、'o、'd、'h，分别表示二进制、八进制、十进制和十六进制的数据。如果不加任何前缀，则默认为十进制。

[1] 在本书即将出版时，UVM1.2发布，set_config与get_config被从UVM标准中移除，成为过时的用法。

3.5.10 config_db的调试

3.5.8节介绍了check_config_usage函数，它能显示出截止到函数调用时，系统中有哪些参数被设置过但是没有被读取过。这是config_db调试中最重要的一个函数。除了这个函数外，UVM还提供了print_config函数：

代码清单 3-125

```
文件：src/ch3/section3.5/3.5.10/my_case0.sv
 29   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 30     super.connect_phase(phase);
 31     print_config(1);
 32   endfunction
```

其中参数1表示递归的查询，若为0，则只显示当前component的信息。print_config的输出结果中有很多的冗余信息。其运行结果大致如下：

```
# UVM_INFO @ 0: uvm_test_top [CFGPRT] visible resources:
# <none>
# UVM_INFO @ 0: uvm_test_top.env [CFGPRT] visible resources:
# <none>
# UVM_INFO @ 0: uvm_test_top.env.agt_mdl_fifo [CFGPRT] visible resources:
# <none>
…
```

它会遍历整个验证平台的所有结点，找出哪些被设置过的信息对于它们是可见的。以3.5.8节在my_caseo.sv中的三个设置为例（这里改正了i_atg的拼写错误），其中会有如下几条信息：

```
# UVM_INFO @ 0: uvm_test_top.env.i_agt.drv [CFGPRT] visible resources:
# vif [/^uvm_test_top\.env\.i_agt\.drv$/] : (virtual my_if) X X x x
# -
# pre_num [/^uvm_test_top\.env\.i_agt\.drv$/] : (int) 999
# -
…
# UVM_INFO @ 0: uvm_test_top.env.i_agt.mon [CFGPRT] visible resources:
# vif [/^uvm_test_top\.env\.i_agt\.mon$/] : (virtual my_if) X X x x
# -
…
# UVM_INFO @ 0: uvm_test_top.env.mdl [CFGPRT] visible resources:
# rm_value [/^uvm_test_top\.env\.mdl$/] : (int) 10
# -
…
# UVM_INFO @ 0: uvm_test_top.env.o_agt.mon [CFGPRT] visible resources:
# vif [/^uvm_test_top\.env\.o_agt\.mon$/] : (virtual my_if) X X x x
# -
```

这里依然不会列出default sequence的相关信息。

UVM还提供了一个命令行参数UVM_CONFIG_DB_TRACE来对config_db进行调试：

代码清单　3-126

```
<sim command>  +UVM_CONFIG_DB_TRACE
```

但是，无论哪种方式，如果set函数的第二个参数设置错误，都不会给出错误信息。本书会在10.6.3节提供一个函数，它会检查set函数的第二个参数，如果不可达，将会给出UVM_ERROR的信息。

第4章　UVM中的TLM1.0通信

4.1　TLM1.0

4.1.1　验证平台内部的通信

如果要在两个uvm_component之间通信，如一个monitor向一个scoreboard传递一个数据（如图4-1所示）有哪些方法呢？

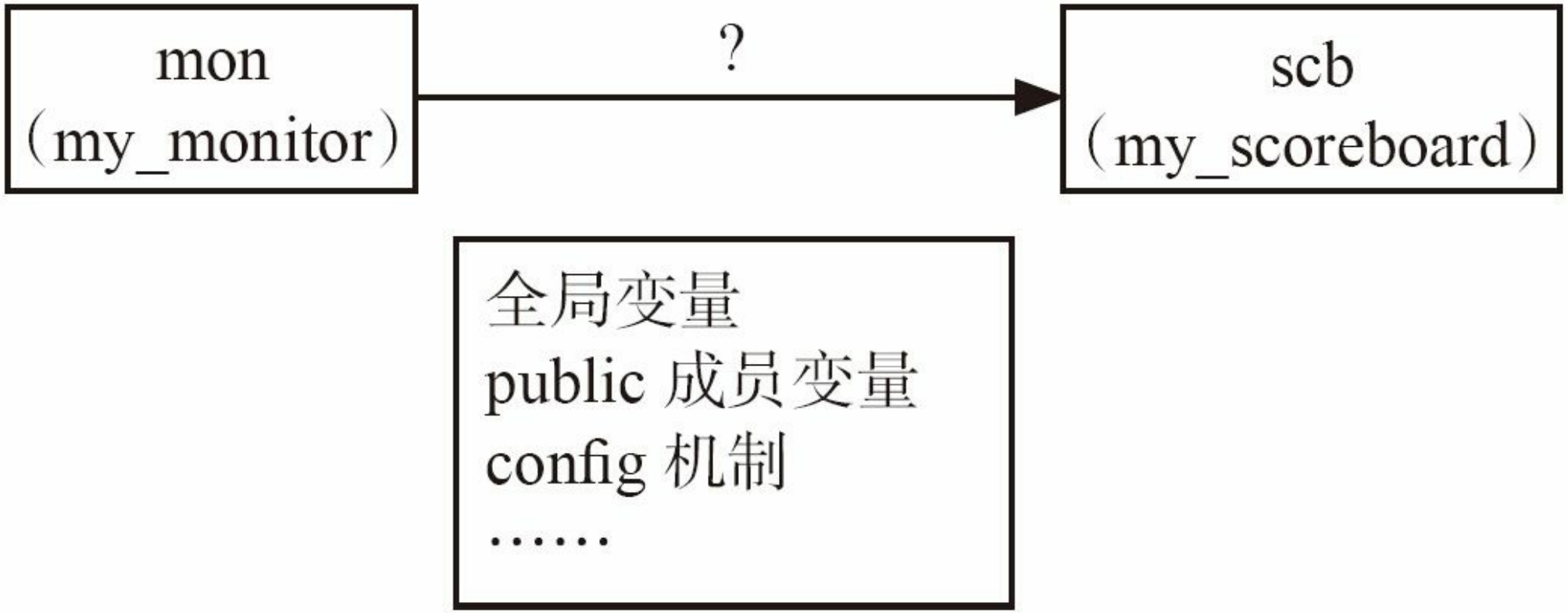


图4-1　monitor与scoreboard的通信

最简单的方法就是使用全局变量，在monitor里对此全局变量进行赋值，在scoreboard里监测此全局变量值的改变。这种方法简单、直接，不过要避免使用全局变量，滥用全局变量只会造成灾难性的后果。

稍微复杂一点的方法，在scoreboard中有一个变量，这个变量设置为外部可以直接访问的，即public类型的，在monitor中对此变量赋值，如图4-2所示。要完成这个任务，那么要在monitor中有一个指向scoreboard的指针，否则虽然scoreboard把这个变量设置

为非local类型的，但是monitor依然无法改变。

这种方法的问题就在于，整个scoreboard里面的所有非local类型的变量都对monitor是可见的，而假如monitor的开发人员不小心改变了scoreboard中的一些变量，那么后果将可能会是致命的。

由config机制的特性可以想出第三种方法来，即从uvm_object派生出一个参数类config_object，在此类中有monitor要传给scoreboard的变量。在base_test中，实例化这个config_object，并将其指针通过config_db#（config_object）：：set传递给scoreboard和monitor。当monitor要和scoreboard通信时，只要把此config_object中相应变量的值改变即可。scoreboard中则监测变量值的改变，监测到之后做相应动作。这种方法比上面的两种方法都要好，但是仍然显得有些笨拙。一是要引入一个专门的config_object类，二是一定要有base_test这个第三方的参与。在大多数情况下，这个第三方是不会惹麻烦的。但是永远不能保证某一个从base_test派生而来的类会不会改变这个config_object类中某些变量的值。也就是说，依然存在一定的风险。

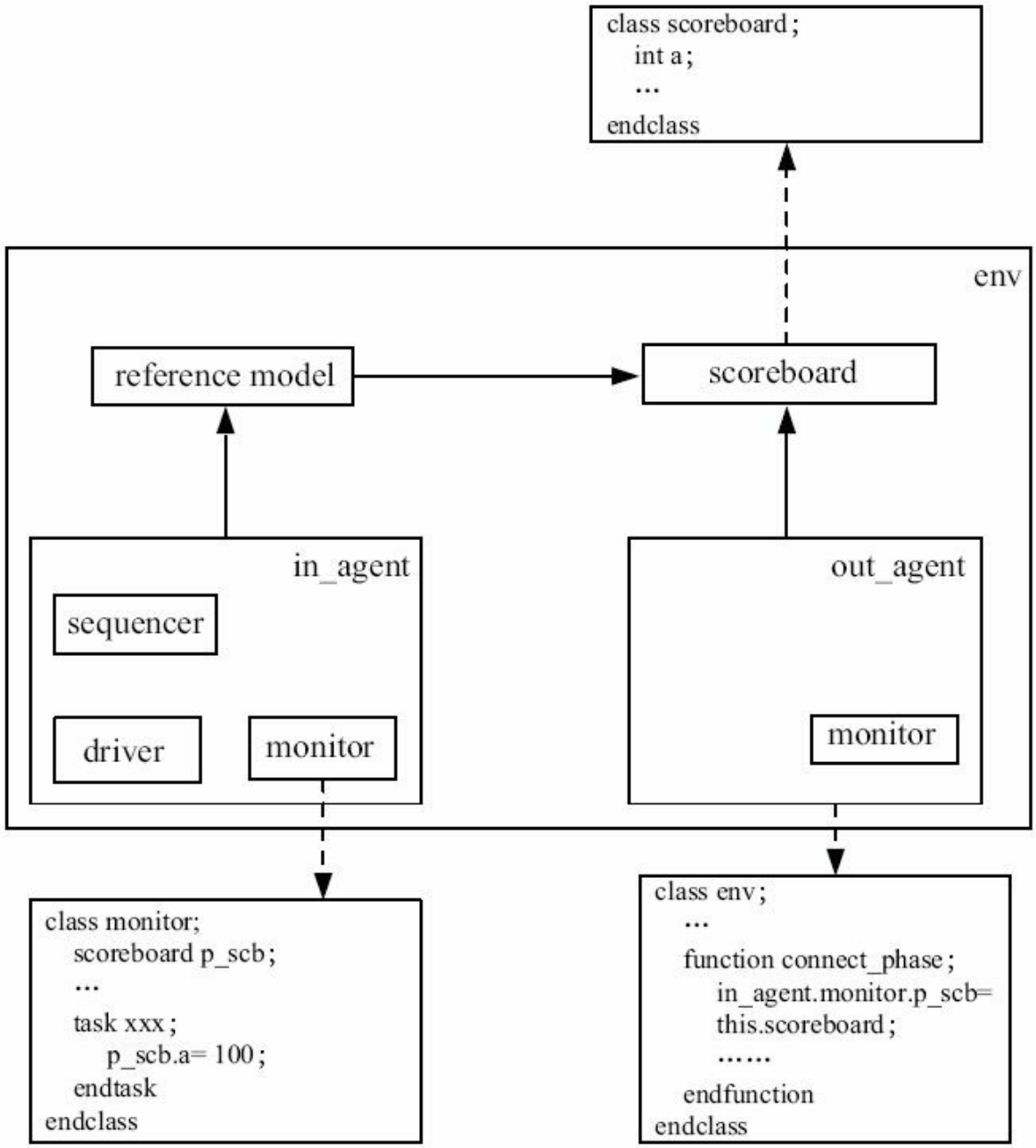

class scoreboard;
int a;
...
endclass
env
reference model
scoreboard
in_agent
sequencer
driver
monitor
out_agent
monitor
class monitor;
scoreboard p_scb;
...
task xxx;
p_scb.a= 100;
endtask
endclass
class env;
...
function connect_phase;
in_agent.monitor.p_scb=
this.scoreboard;
.....
endfunction
endclass

图4-2　使用public变量通信

上述问题只是最简单的一种情况，如果加入阻塞（blocking）和非阻塞（non-blocking）的概念，则会更加复杂。阻塞和非阻塞这两个术语对于有Verilog代码编写经验的人来说是比较熟悉的，因为Verilog中就有阻塞赋值和非阻塞赋值。当monitor向scoreboard传递数据时，scoreboard可能并不一定有时间立刻接收这些数据。此时对于monitor来说有两种处理方法，一种方法是等在那里，一直等到scoreboard处理完事情，然后接收新的数据，另外一种方法是不等待，直接返回，至于后面是过一段时间继续发还是直接放弃不发了，则要看代码编写者的行为。前面一种想法相应的就是阻塞操作，而后一种方法就是非阻塞操作。

除了阻塞及非阻塞外，还存在的一个问题是如果scoreboard主动要求向monitor请求数据，这样的行为方式如何实现？

这些问题使用现行的SystemVerilog中的一些机制，如Semaphore、Mailbox，再结合其他的一些技术等都能实现，但是这其中的问题在于这种通信显得非常复杂，用户需要浪费大量时间编写通信相关的代码。解决这些问题最好的办法就是在monitor和scoreboard之间专门建立一个通道，让信息只能在这个通道内流动，scoreboard也只能从这个通道中接收信息，这样几乎就可以保证scoreboard中的信息只能从monitor中来，而不能从别的地方来；同时赋予这个通道阻塞或者非阻塞等特性。UVM中的各种端口就可以实现这种功能。

4.1.2 TLM的定义

TLM是Transaction Level Modeling（事务级建模）的缩写，它起源于SystemC的一种通信标准。所谓transaction level是相对DUT中各个模块之间信号线级别的通信来说的。简单来说，一个transaction就是把具有某一特定功能的一组信息封装在一起而成为的一个类。如my_transaction就是把一个MAC帧里的各个字段封装在了一起。

UVM中的TLM共有两个版本，分别是TLM1.0和TLM2.0，后者在前者的基础上做了扩展。使用TLM1.0足以搭建起一个功能强大的验证平台，本章将只讲述TLM1.0。

TLM通信中有如下几个常用的术语：

1）put操作，如图4-3所示，通信的发起者A把一个transaction发送给B。在这个过程中，A称为“发起者”，而B称为“目标”。A具有的端口（用方框表示）称为PORT，而B的端口（用圆圈表示）称为EXPORT。这个过程中，数据流是从A流向B的。

2）get操作，如图4-4所示，A向B索取一个transaction。在这个过程中，A依然是“发起者”，B依然是“目标”，A上的端口依然是PORT，而B上的端口依然是EXPORT。这个过程中，数据流是从B流向A的。到这里，读者应该意识到，PORT和EXPORT体现的是控制流而不是数据流。因为在put操作中，数据流是从PORT流向EXPORT的，而在get操作中，数据是从EXPORT流向PORT的。但是无论是get还是put操作，其发起者拥有的都是PORT端口，而不是EXPORT。作为一个EXPORT来说，只能被动地接收PORT的命令。



图4-3　put操作



图4-4　get操作

3）transport操作，如图4-5所示，transport操作相当于一次put操作加一次get操作，这两次操作的“发起者”都是A，目标都是B。A上的端口依然是PORT，而B上的端口依然是EXPORT。在这个过程中，数据流先从A流向B，再从B流向A。在现实世界中，相当于是A向B提交了一个请求（request），而B返回给A一个应答（response）。所以这种transport操作也常常被称做request-response操作。

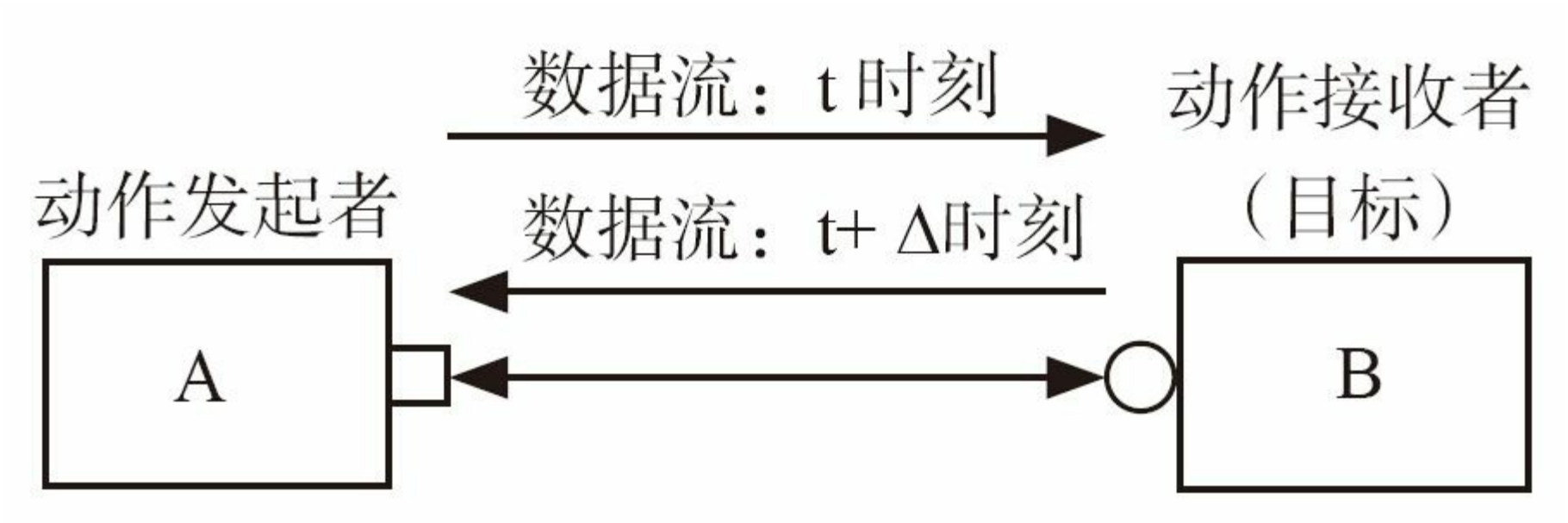


图4-5　transport操作

put、get和transport操作都有阻塞和非阻塞之分。

4.1.3 UVM中的PORT与EXPORT

UVM提供对TLM操作的支持，在其中实现了PORT与EXPORT。对应于不同的操作，有不同的PORT，UVM中常用的PORT有：

代码清单 4-1

来源：UVM
源代码

```
uvm_blocking_put_port#(T);
uvm_nonblocking_put_port#(T);
uvm_put_port#(T);
uvm_blocking_get_port#(T);
uvm_nonblocking_get_port#(T);
uvm_get_port#(T);
uvm_blocking_peek_port#(T);
uvm_nonblocking_peek_port#(T);
uvm_peek_port#(T);
uvm_blocking_get_peek_port#(T);
uvm_nonblocking_get_peek_port#(T);
uvm_get_peek_port#(T);
uvm_blocking_transport_port#(REQ, RSP);
uvm_nonblocking_transport_port#(REQ, RSP);
uvm_transport_port#(REQ, RSP);
```

三个put系列端口对应的是TLM中的put操作，三个get系列端口对应的是get操作，三个transport系列端口对应的是则是transport

操作（request-response操作）。另外，上述端口中还有三个peek系列端口，它们与get系列端口类似，用于主动获取数据，它与get操作的区别将在4.3.4节中看到。除此之外，还有三个get_peek系列端口，它集合了get操作和peek操作两者的功能。这15个端口中前12个定义中的参数就是这个PORT中的数据流类型，而最后3个定义中的参数则表示transport操作中发起请求时传输的数据类型和返回的数据类型。这几种PORT对应TLM中的操作，同时以blocking和nonblocking关键字区分。对于名称中不含这两者的，则表示这个端口既可以用作是阻塞的，也可以用作是非阻塞的，否则只能用于阻塞的或者只能用于非阻塞的。由这种划分方法可以看出，UVM把一个端口固定为只能执行某种操作，如对于uvm_blocking_put_port#（T），它只能执行阻塞的put操作，想要执行非阻塞的put操作是不行的，想要执行get操作，也是不行的，更不用提执行transport操作了。所以在使用前用户一定要想清楚了，这个端口将会用于什么操作。如果想要其执行另外的操作，那么最好的方式是再另外使用一个端口。

UVM中常用的EXPORT有：

代码清单　4-2

来源：UVM
源代码

```
uvm_blocking_put_export#(T);
uvm_nonblocking_put_export#(T);
uvm_put_export#(T);
uvm_blocking_get_export#(T);
uvm_nonblocking_get_export#(T);
uvm_get_export#(T);
uvm_blocking_peek_export#(T);
uvm_nonblocking_peek_export#(T);
uvm_peek_export#(T);
uvm_blocking_get_peek_export#(T);
```

```
uvm_nonblocking_get_peek_export#(T);
uvm_get_peek_export#(T);
uvm_blocking_transport_export#(REQ, RSP);
uvm_nonblocking_transport_export#(REQ, RSP);
uvm_transport_export#(REQ, RSP);
```

这15种EXPORT定义与前面的15种PORT一一对应。

PORT和EXPORT体现的是一种控制流，在这种控制流中，PORT具有高优先级，而EXPORT具有低优先级。只有高优先级的端口才能向低优先级的端口发起三种操作。

4.2 UVM中各种端口的互连

本节介绍UVM中各种端口的连接。4.2.1节至4.2.6节以blocking_put系列端口为例介绍PORT，EXPORT及IMP之间的互相连接；4.2.7节介绍blocking_get系列端口的连接；4.2.8节介绍blocking_transport系列端口的连接。

*4.2.1 PORT与EXPORT的连接

如图4-6所示，ABCD四个端口，要在A和B之间、C和D之间通信。为了实现这个目标，必须要在A和B之间、C和D之间建立一种连接关系，否则的话，A如何知道是和B通信而不是和C或者D通信呢？所以一定要在通信前建立连接关系。

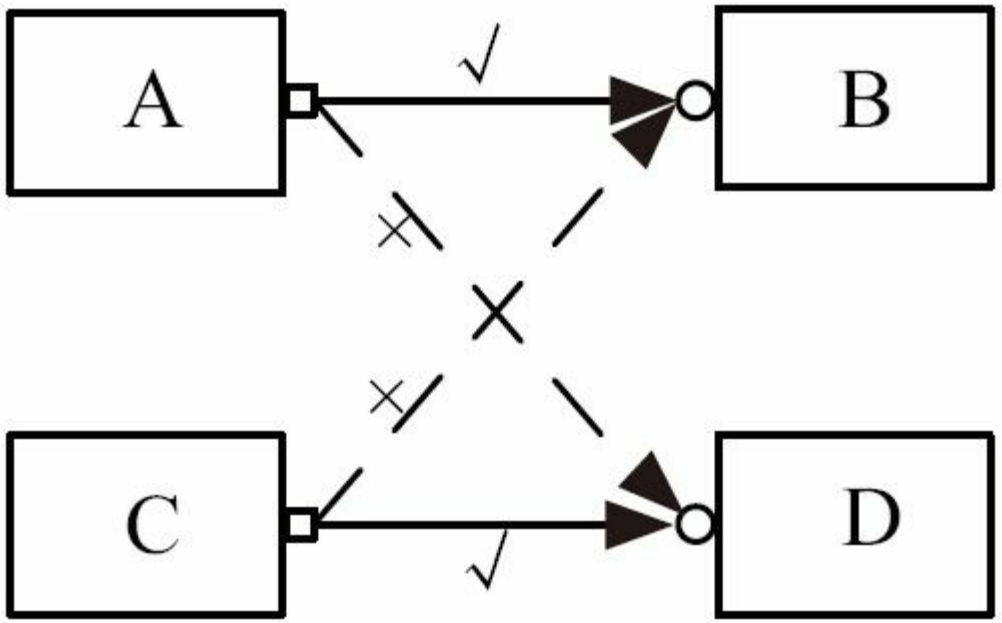


图4-6 ABCD的通信

UVM中使用connect函数来建立连接关系。如A要和B通信（A是发起者），那么可以这么写：A.port.connect（B.export），但是不能写成B.export.connect（A.port）。因为在通信的过程中，A是发起者，B是被动承担者。这种通信时的主次顺序也适用于连接时，只有发起者才能调用connect函数，而被动承担者则作为connect的参数。

使用上述方式建立A.PORT和B.EXPORT之间的连接关系。A的代码为：

代码清单　4-3

```
文件：src/ch4/section4.2/4.2.1/A.sv
  3 class A extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(A)
  5
  6   uvm_blocking_put_port#(my_transaction) A_port;
…
 13 endclass
 14
 15 function void A::build_phase(uvm_phase phase);
 16   super.build_phase(phase);
 17   A_port = new("A_port", this);
 18 endfunction
 19
 20 task A::main_phase(uvm_phase phase);
 21 endtask
```

其中A_port在实例化的时候比较奇怪，第一个参数是名字，而第二个参数则是一个uvm_component类型的父结点变量。事实上，一个uvm_blocking_put_port的new函数的原型如下：

代码清单　4-4

```
来源：UVM
源代码
```

```
function new(string name,
             uvm_component parent,
             int min_size = 1;
             int max_size = 1);
```

如果不看后两个参数，那么这个new函数其实就是一个uvm_component的new函数。new函数中的min_size和max_size指的是必须连接到这个PORT的下级端口数量的最小值和最大值，也即这一个PORT应该调用的connect函数的最小值和最大值。如果采用默认值，即min_size=max_size=1，则只能连接一个EXPORT。

B的代码为：

代码清单　4-5

文件：src/ch4/section4.2/4.2.1/B.sv

```
  3 class B extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(B)
  5
  6   uvm_blocking_put_export#(my_transaction) B_export;
…
 13 endclass
 14
 15 function void B::build_phase(uvm_phase phase);
 16   super.build_phase(phase);
 17   B_export = new("B_export", this);
 18 endfunction
 19
 20 task B::main_phase(uvm_phase phase);
 21 endtask
```

在env中建立两者之间的连接：

代码清单　4-6

文件：src/ch4/section4.2/4.2.1/my_env.sv

```
  4 class my_env extends uvm_env;
  5
  6   A   A_inst;
  7   B   B_inst;
…
 14   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
…
 17     A_inst = A::type_id::create("A_inst", this);
 18     B_inst = B::type_id::create("B_inst", this);
 19
 20   endfunction
…
 25 endclass
 26
 27 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
 28   super.connect_phase(phase);
 29   A_inst.A_port.connect(B_inst.B_export);
 30 endfunction
```

运行上述代码，可以看到仿真器给出如下的错误提示：

```
# UVM_ERROR @ 0: uvm_test_top.env.B_inst.B_export [Connection Error] connection count of 0 does not
# UVM_ERROR @ 0: uvm_test_top.env.A_inst.A_port [Connection Error] connection count of 0 does not r
```

```
# UVM_FATAL @ 0: reporter [BUILDERR] stopping due to build errors
```

connect函数的使用是没有什么问题的，A_port与B_export的连接也是没有问题的，那么问题出在什么地方？

反思上述的put操作，A通过其端口A_port把一个transaction传送给B，这个A_port在transaction传输的过程中起了什么作用呢？PORT恰如一道门，EXPORT也如此。既然是一道门，那么它们也就只是一个通行的作用，它不可能把一笔transaction存储下来，因为它只是一道门，没有存储作用，除了转发操作之外不作其他操作。因此，这笔transaction一定要由B_export后续的某个组件进行处理。在UVM中，完成这种后续处理的也是一种端口：IMP。

*4.2.2 UVM中的IMP

除了TLM中定义的PORT与EXPORT外，UVM中加入了第三种端口：IMP。IMP才是UVM中的精髓，承担了UVM中TLM的绝大部分实现代码。UVM中的IMP如下所示：

代码清单 4-7

来源：UVM
源代码

```
uvm_blocking_put_imp#(T, IMP);
uvm_nonblocking_put_imp#(T, IMP);
uvm_put_imp#(T, IMP);
uvm_blocking_get_imp#(T, IMP);
uvm_nonblocking_get_imp#(T, IMP);
uvm_get_imp#(T, IMP);
uvm_blocking_peek_imp#(T, IMP);
uvm_nonblocking_peek_imp#(T, IMP);
uvm_peek_imp#(T, IMP);
uvm_blocking_get_peek_imp#(T, IMP);
uvm_nonblocking_get_peek_imp#(T, IMP);
uvm_get_peek_imp#(T, IMP);
uvm_blocking_transport_imp#(REQ, RSP, IMP);
uvm_nonblocking_transport_imp#(REQ, RSP, IMP);
uvm_transport_imp#(REQ, RSP, IMP);
```

这15种IMP与代码清单4-1和代码清单4-2中的15种PORT和15种EXPORT分别一一对应。

IMP定义中的blocking、nonblocking、put、get、peek、get_peek、transport等关键字的意思并不是它们发起做相应类型的操作，而只意味着它们可以和相应类型的PORT或者EXPORT进行通信，且通信时作为被动承担者。按照控制流的优先级排序，UVM中三种端口顺序为：PORT、EXPORT、IMP。IMP的优先级最低，一个PORT可以连接到一个IMP，并发起三种操作，反之则不行。

前六个IMP定义中的第一个参数T是这个IMP传输的数据类型。第二个参数IMP，UVM文档中把其解释为实现这个接口的一个component。这句话怎么理解呢？

以blocking_put端口为例，在图4-7中，A_port被连接到B_export，而B_export被连接到B_imp。当写下A.A_port.put（transaction）时，此时B.B_imp会通知B有transaction过来了，这个过程是如何进行的呢？可以简单理解成A.A_port.put（transaction）这个任务会调用B.B_export的put，B.B_export的put（transaction）又会调用B.B_imp的put（transaction），而B_imp.put最终又会调用B的相关任务，如B.put（transaction）。所以关于A_port的操作最终会落到B.put这个任务上，这个任务是属于B的一个任务，与A无关，与A的PORT无关，也与B的EXPORT和IMP无关。也就是说，这些put操作最终还是要由B这个component来实现，即要由一个component来实现接口的操作。所以每一个IMP要和一个component相对应。

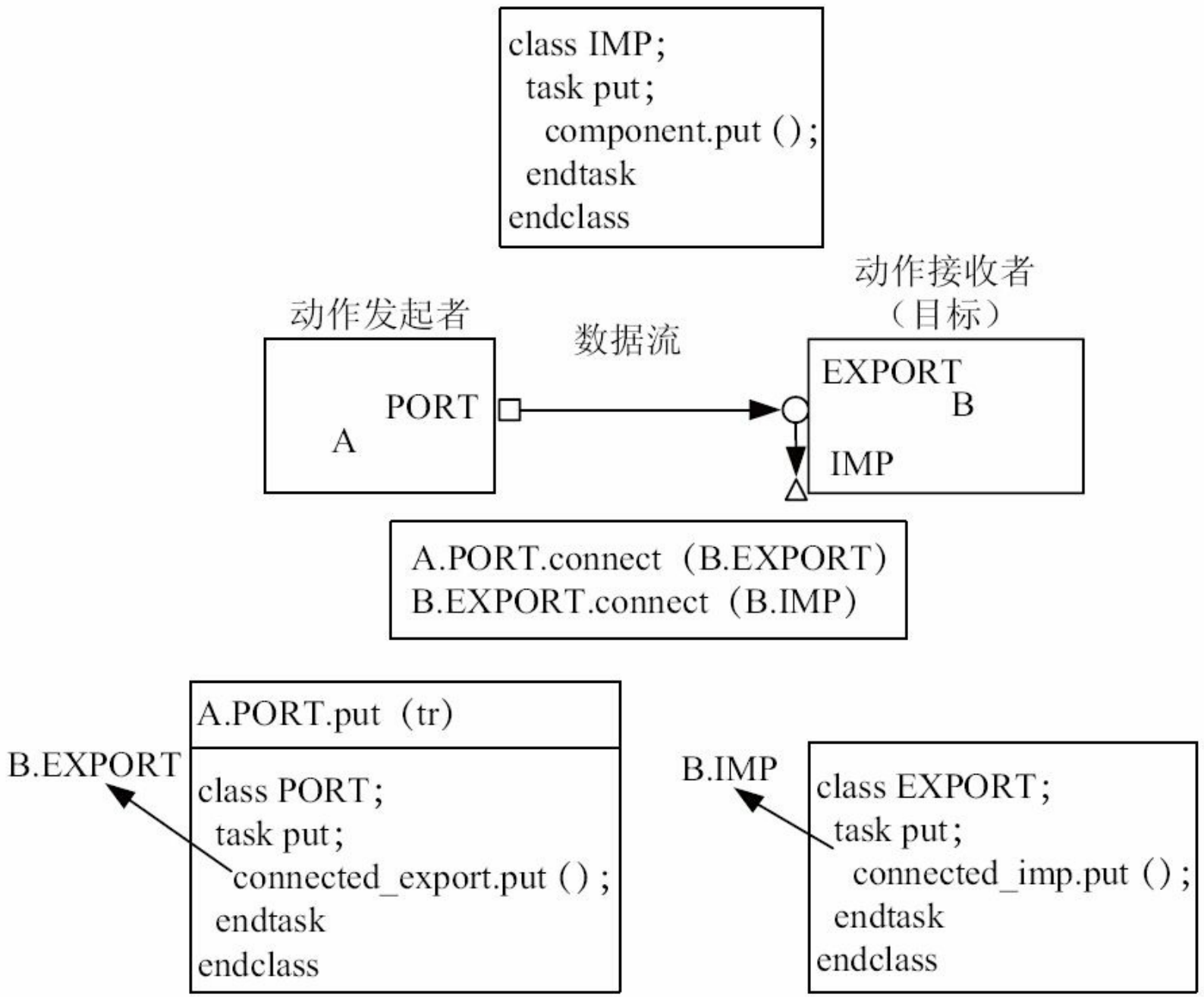

class IMP;
task put;
component.put ();
endtask
endclass
动作发起者
数据流
动作接收者
（目标）
PORT
A
EXPORT
B
IMP
A.PORT.connect（B.EXPORT）
B.EXPORT.connect（B.IMP）
A.PORT.put（tr）
B.EXPORT
class PORT;
task put;
connected_export.put ();
endtask
endclass
B.IMP
class EXPORT;
task put;
connected_imp.put ();
endtask
endclass

图4-7　component在连接中的作用

有了IMP之后，4.2.1节中PORT与EXPORT之间的连接就可以实现了。A的代码为：

代码清单　4-8

```
文件：src/ch4/section4.2/4.2.2/A.sv
  3 class A extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(A)
  5
  6   uvm_blocking_put_port#(my_transaction) A_port;
…
 13 endclass
…
 20 task A::main_phase(uvm_phase phase);
 21   my_transaction tr;
 22   repeat(10) begin
 23     #10;
 24     tr = new("tr");
 25     assert(tr.randomize());
 26     A_port.put(tr);
 27   end
 28 endtask
```

B的代码为：

代码清单　4-9

文件：src/ch4/section4.2/4.2.2/B.sv

```
  3 class B extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(B)
  5
  6   uvm_blocking_put_export#(my_transaction) B_export;
  7   uvm_blocking_put_imp#(my_transaction, B) B_imp;
…
 16 endclass
…
 24 function void B::connect_phase(uvm_phase phase);
 25   super.connect_phase(phase);
 26   B_export.connect(B_imp);
 27 endfunction
 28
 29 function void B::put(my_transaction tr);
 30   `uvm_info("B", "receive a transaction", UVM_LOW)
 31   tr.print();
 32 endfunction
```

在B的代码中，关键是要实现一个put函数/任务。如果不实现，将会给出如下的错误提示：

```
# ** Error: /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/tlm1/uvm_imps.svh(85): No field named 'put'.
#        Region: /uvm_pkg::uvm_blocking_put_imp #(top_tb_sv_unit::my_transact
ion, top_tb_sv_unit::B)
```

env的代码与代码清单4-6的my_env的代码相同。

运行上述代码，可以见到B正确地收到了A发出的transaction。在上述连接关系中，IMP是作为连接的终点。在UVM中，只有

IMP才能作为连接关系的终点。如果是PORT或者EXPORT作为终点，则会报错。

*4.2.3 PORT与IMP的连接

在UVM三种端口按控制流优先级排列中，PORT优先级最高，IMP的最低。理所当然的，一个PORT可以调用connect函数并把IMP作为函数调用时的参数。假如有三个component：A、B和env，其中env是A和B的父结点，现在要把A中的PORT和B中的IMP连接起来实现通信，如图4-8所示。

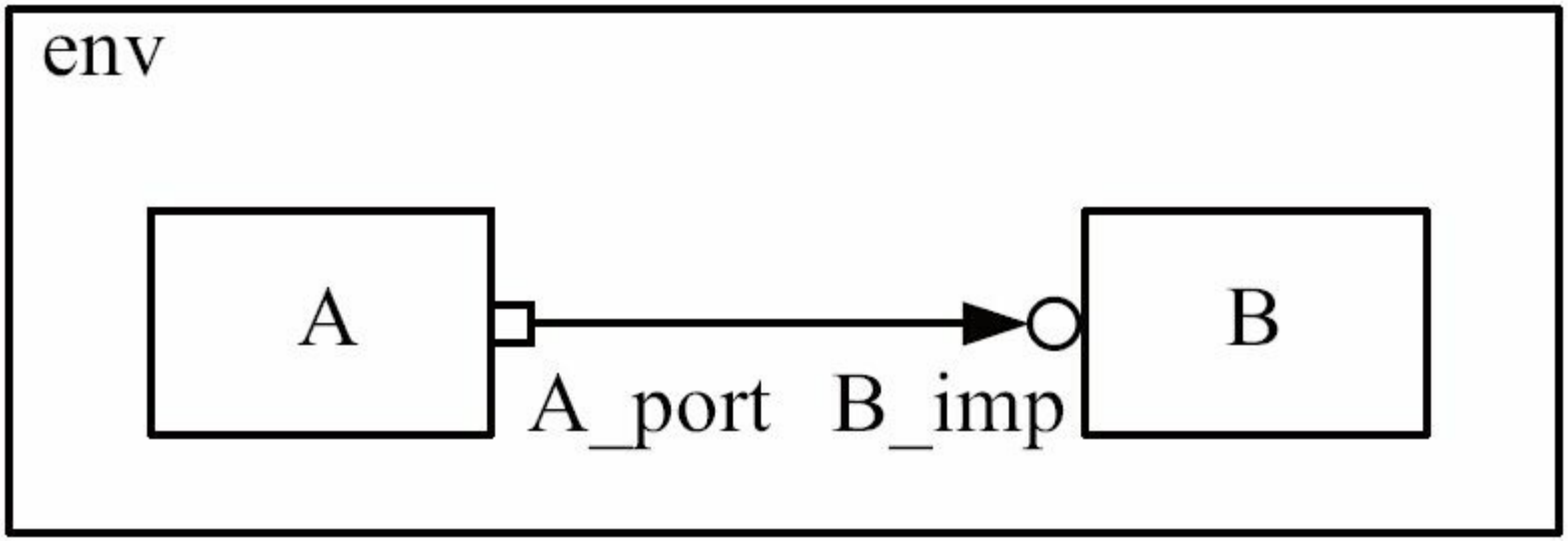


图4-8 PORT与IMP的连接

A的代码与代码清单4-8相同，B的定义如下：

代码清单 4-10

文件：src/ch4/section4.2/4.2.3/B.sv

```
  3 class B extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(B)
  5
  6   uvm_blocking_put_imp#(my_transaction, B) B_imp;
…
 15 endclass
…
 26 function void B::put(my_transaction tr);
 27   `uvm_info("B", "receive a transaction", UVM_LOW)
 28   tr.print();
 29 endfunction
```

由于A中采用了blocking_put类型的PORT，所以在B中IMP相应的类型是uvm_blocking_put_imp。同时，这个IMP有两个参数，第一个参数是将要传输的transaction，第二个参数前面说过，就是实现接口的uvm_component，在这里就是B_imp所在的uvm_component B。IMP的new函数与PORT的相似，第一个参数是名字，第二个参数是一个uvm_component的变量，一般填写this即可。

B中的关键是定义一个任务/函数put。回顾一下，上节中在介绍IMP的时候，A_port的put操作最终要落到B的put上。所以在B中要定义一个名字为put的任务/函数。这里有如下的规律：

当A_port的类型是nonblocking_put（为了方便，省略了前缀uvm_和后缀_port，下同），B_imp的类型是nonblocking_put（为了方便，省略了前缀uvm_和后缀_imp，下同）时，那么就要在B中定义一个名字为try_put的函数和一个名为can_put的函数。

当A_port的类型是put，B_imp的类型是put时，那么就要在B中定义3个接口，一个是put任务/函数，一个是try_put函数，一个

是can_put函数。

当A_port的类型是blocking_get，B_imp的类型是blocking_get时，那么就要在B中定义一个名字为get的任务/函数。

当A_port的类型是nonblocking_get，B_imp的类型是nonblocking_get时，那么就要在B中定义一个名字为try_get的函数和一个名为can_get的函数。

当A_port的类型是get，B_imp的类型是get时，那么就要在B中定义3个接口，一个是get任务/函数，一个是try_get函数，一个是can_get函数。

当A_port的类型是blocking_peek，B_imp的类型是blocking_peek时，那么就要在B中定义一个名字为peek的任务/函数。

当A_port的类型是nonblocking_peek，B_imp的类型是nonblocking_peek时，那么就要在B中定义一个名字为try_peek的函数和一个名为can_peek的函数。

当A_port的类型是peek，B_imp的类型是peek时，那么就要在B中定义3个接口，一个是peek任务/函数，一个是try_peek函数，一个是can_peek函数。

当A_port的类型是blocking_get_peek，B_imp的类型是blocking_get_peek时，那么就要在B中定义一个名字为get的任务/函数，一个名字为peek的任务/函数。

当A_port的类型是nonblocking_get_peek，B_imp的类型是nonblocking_get_peek时，那么就要在B中定义一个名字为try_get的函

数，一个名为can_get的函数，一个名字为try_peek的函数和一个名为can_peek的函数。

当A_port的类型是get_peek，B_imp的类型是get_peek时，那么就要在B中定义6个接口，一个是get任务/函数，一个是try_get函数，一个是can_get函数，一个是peek任务/函数，一个是try_peek函数，一个是can_peek函数。

当A_port的类型是blocking_transport，B_imp的类型是blocking_transport时，那么就要在B中定义一个名字为transport的任务/函数。

当A_port的类型是nonblocking_transport，B_imp的类型是nonblocking_transport时，那么就要在B中定义一个名字为nb_transport的函数。

当A_port的类型是transport，B_imp的类型是transport时，那么就要在B中定义两个接口，一个是transport任务/函数，一个是nb_transport函数。

在前述的这些规律中，对于所有blocking系列的端口来说，可以定义相应的任务或函数，如对于blocking_put端口来说，可以定义名字为put的任务，也可以定义名字为put的函数。这是因为A会调用B中名字为put的接口，而不管这个接口的类型。由于A中的put是个任务，所以B中的put可以是任务，也可以是函数。但是对于nonblocking系列端口来说，只能定义函数。

回到前面的例子中来，当B中完成B_imp和put的定义后，在env的connect_phase就需要把A_port和B_imp连接在一起了：

代码清单　4-11

文件：src/ch4/section4.2/4.2.3/my_env.sv

```
27 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
28   super.connect_phase(phase);
29   A_inst.A_port.connect(B_inst.B_imp);
30 endfunction
```

---

connect函数一定要在connect_phase调用。连接完成后，当在A中通过put向A_port写入一个transaction时，B的put马上会被调用，并执行其中的代码。A的代码与4.2.2节代码清单4-8相同，在此段代码中，A向A_port写入了10个transaction，因此B的put会被调用10次。

*4.2.4 EXPORT与IMP的连接

PORT可以与IMP相连接，同样的EXPORT也可以与IMP相连接，其连接方法与PORT和IMP的连接完全一样。在4.2.2节中已经看到了EXPORT与IMP的连接，不过在那个连接中EXPORT只是作为中间环节，这里把EXPORT作为连接的起点。

要实现A中的EXPORT与B中的IMP连接，A的代码为：

代码清单 4-12

文件：src/ch4/section4.2/4.2.4/A.sv

```
  3 class A extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(A)
  5
  6   uvm_blocking_put_export#(my_transaction) A_export;
…
 13 endclass
…
 20 task A::main_phase(uvm_phase phase);
 21   my_transaction tr;
 22   repeat(10) begin
 23     #10;
 24     tr = new("tr");
 25     assert(tr.randomize());
 26     A_export.put(tr);
 27   end
 28 endtask
```

B的代码与代码清单4-10完全相同。my_env中的连接关系为：

代码清单　4-13

文件：src/ch4/section4.2/4.2.4/my_env.sv

```
 27 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
 28   super.connect_phase(phase);
 29   A_inst.A_export.connect(B_inst.B_imp);
 30 endfunction
```

如上述代码所示，就可以实现一个EXPORT和一个IMP的连接。与上一小节中的例子对比可以发现，除了A_port变成B_export之外，其他没有任何改变。在B中也必须定义一个名字为put的任务。上一节中罗列的那些规律，对于EXPORT依然适用。

*4.2.5 PORT与PORT的连接

在前面的连接中，都是不同类型的端口之间连接（PORT与IMP、PORT与EXPORT、EXPORT与IMP），且不存在层次的关系。在UVM中，支持带层次的连接关系，如图4-9所示。

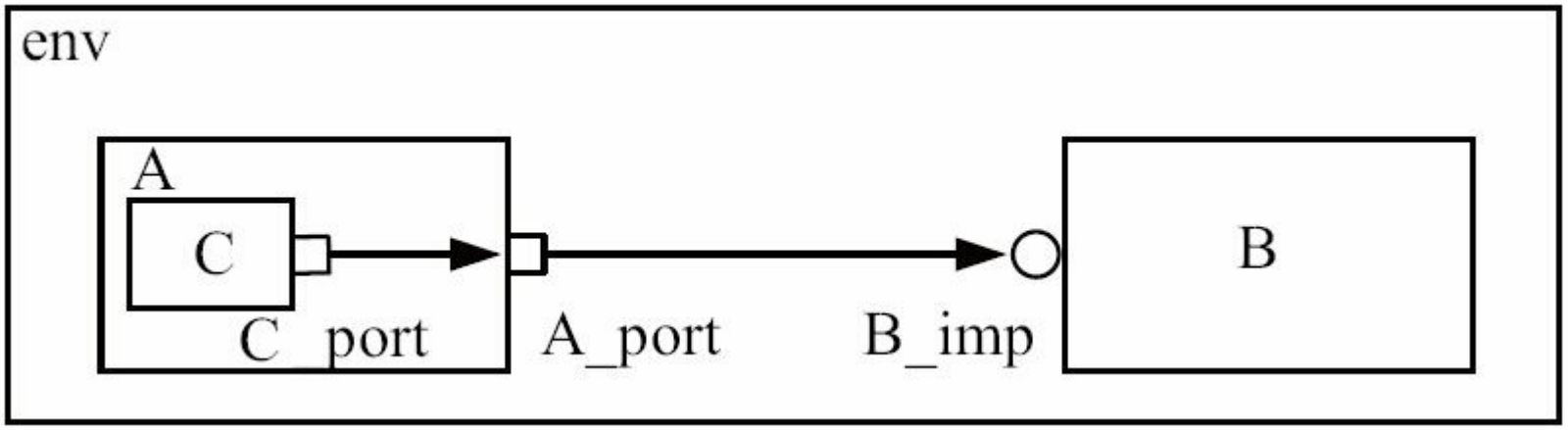


图4-9 PORT与PORT的连接

在上图中，A与C中是PORT，B中是IMP。UVM支持C的PORT连接到A的PORT，并最终连接到B的IMP。

C的代码为：

代码清单 4-14

文件：src/ch4/section4.2/4.2.5/C.sv

```
  3 class C extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(C)
  5
  6   uvm_blocking_put_port#(my_transaction) C_port;
…
 13 endclass
…
 20 task C::main_phase(uvm_phase phase);
 21   my_transaction tr;
 22   repeat(10) begin
 23     #10;
 24     tr = new("tr");
 25     assert(tr.randomize());
 26     C_port.put(tr);
 27   end
 28 endtask
```

A的代码为：

代码清单　4-15

文件：src/ch4/section4.2/4.2.5/A.sv

```
  3 class A extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(A)
  5
  6   C C_inst;
  7   uvm_blocking_put_port#(my_transaction) A_port;
…
 15 endclass
 16
 17 function void A::build_phase(uvm_phase phase);
```

```
18   super.build_phase(phase);
19   A_port = new("A_port", this);
20   C_inst = C::type_id::create("C_inst", this);
21 endfunction
22
23 function void A::connect_phase(uvm_phase phase);
24   super.connect_phase(phase);
25   C_inst.C_port.connect(this.A_port);
26 endfunction
27
28 task A::main_phase(uvm_phase phase);
29
30 endtask
```

B的代码与代码清单4-10完全相同，env的代码与代码清单4-11完全相同。

PORT与PORT之间的连接不只局限于两层，可以有无限多层。

*4.2.6 EXPORT与EXPORT的连接

除了支持PORT与PORT之间的连接外，UVM同样支持EXPORT与EXPORT之间的连接，如图4-10所示。

在右图中，A中是PORT，B与C中是EXPORT，B中还有一个IMP。UVM支持C的EXPORT连接到B的EXPORT，并最终连接到B的IMP。

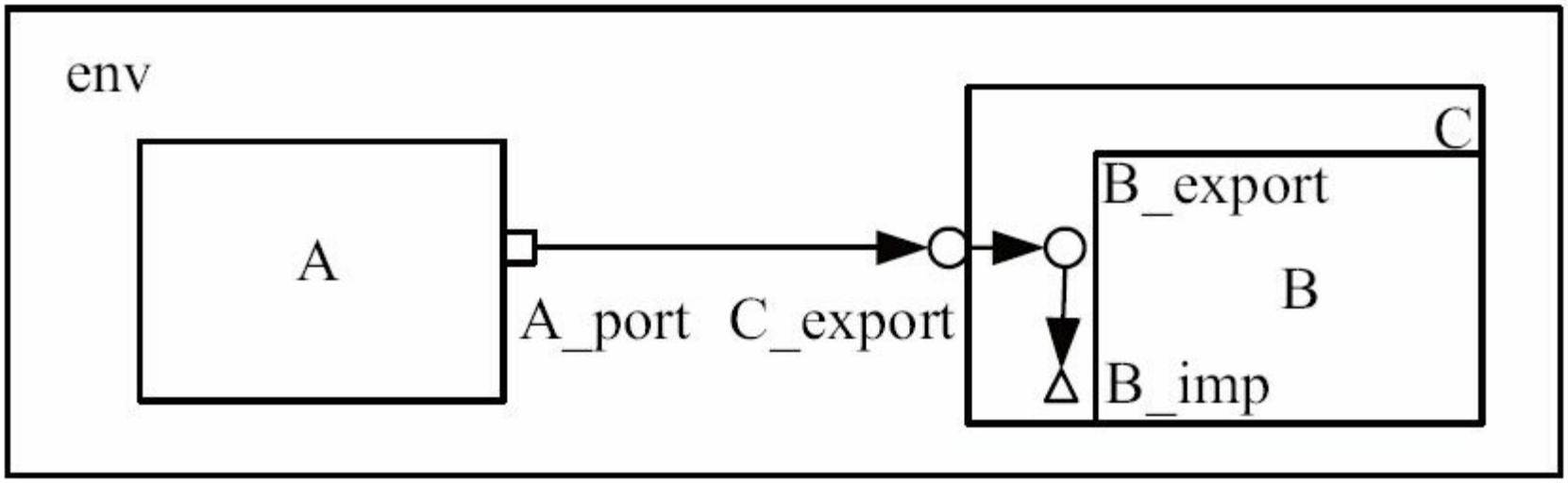


图4-10 EXPORT与EXPORT的连接

A的代码与代码清单4-8相同，B的代码与代码清单4-9相同。C的代码为：

代码清单 4-16

文件：src/ch4/section4.2/4.2.6/C.sv

```
  3 class C extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(C)
  5
  6   B B_inst;
  7
  8   uvm_blocking_put_export#(my_transaction) C_export;
…
 16 endclass
 17
 18 function void C::build_phase(uvm_phase phase);
 19   super.build_phase(phase);
 20   C_export = new("C_export", this);
 21   B_inst = B::type_id::create("B_inst", this);
 22 endfunction
 23
 24 function void C::connect_phase(uvm_phase phase);
 25   super.connect_phase(phase);
 26   this.C_export.connect(B_inst.B_export);
 27 endfunction
 28
 29 task C::main_phase(uvm_phase phase);
 30
 31 endtask
```

---

env中的连接关系为：

代码清单　4-17

文件：src/ch4/section4.2/4.2.6/my_env.sv

```
 27 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
```

```
28    super.connect_phase(phase);
29    A_inst.A_port.connect(C_inst.C_export);
30  endfunction
```

同样的，EXPORT与EXPORT之间的连接也不只局限于两层，也可以有无限多层。

*4.2.7 blocking_get端口的使用

前面几节中都是以blocking_put系列端口为例进行介绍，本节介绍blocking_get系列端口的应用。

get系列端口与put系列端口在某些方面完全相反。若要实现图4-7从A到B的通信，使用blocking_get系列端口的框图如图4-11所示。

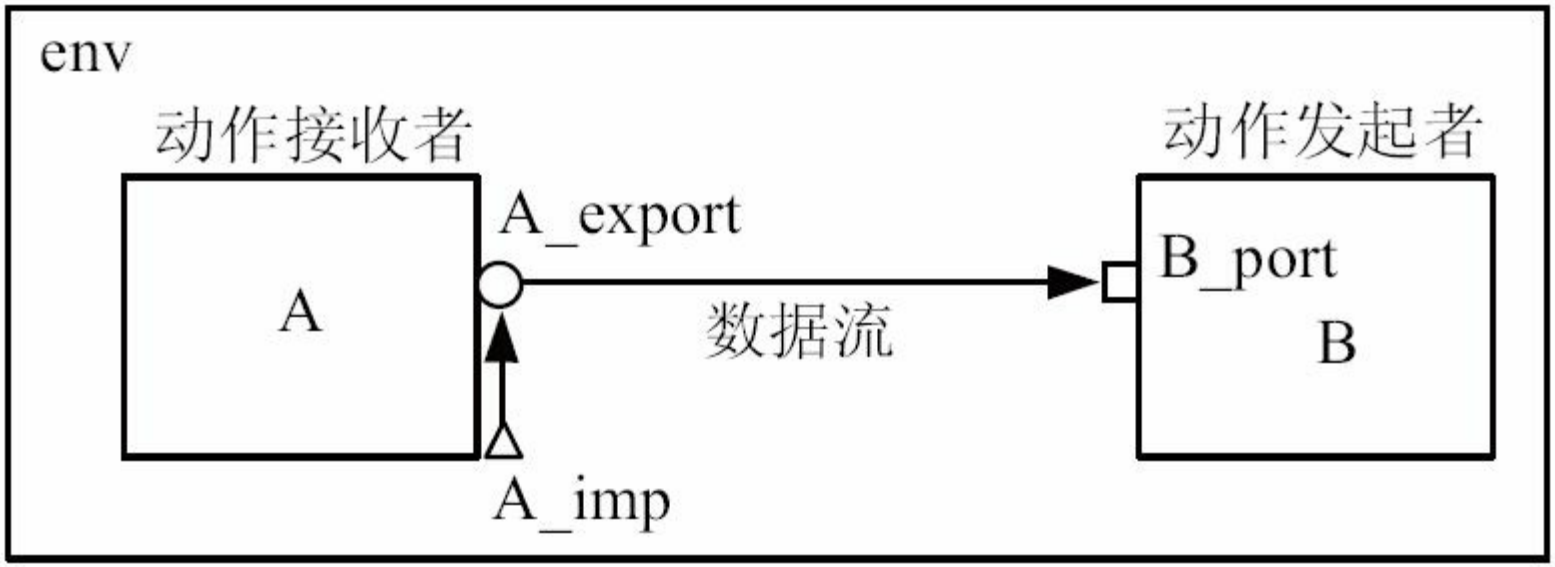


图4-11 使用blocking_get端口实现A与B的通信

在这种连接关系中，数据流依然是从A到B，但是A由动作发起者变成了动作接收者，而B由动作接收者变成了动作发起者。

B_port的类型为uvm_blocking_get_port，A_export的类型为uvm_blocking_get_export，A_imp的类型为uvm_blocking_get_imp。与

uvm_blocking_put_imp所在的component要实现一个put的函数/任务类似，uvm_blocking_get_imp所在的component要实现一个名字为get的函数/任务。A的代码为：

代码清单　4-18

文件：src/ch4/section4.2/4.2.7/A.sv

```
  3 class A extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(A)
  5
  6   uvm_blocking_get_export#(my_transaction) A_export;
  7   uvm_blocking_get_imp#(my_transaction, A) A_imp;
  8   my_transaction tr_q[$];
…
 17 endclass
 18
 19 function void A::build_phase(uvm_phase phase);
 20   super.build_phase(phase);
 21   A_export = new("A_export", this);
 22   A_imp = new("A_imp", this);
 23 endfunction
 24
 25 function void A::connect_phase(uvm_phase phase);
 26   super.connect_phase(phase);
 27   A_export.connect(A_imp);
 28 endfunction
 29
 30 task A::get(output my_transaction tr);
 31   while(tr_q.size() == 0) #2;
 32   tr = tr_q.pop_front();
 33 endtask
 34
```

```
35 task A::main_phase(uvm_phase phase);
36   my_transaction tr;
37   repeat(10) begin
38     #10;
39     tr = new("tr");
40     tr_q.push_back(tr);
41   end
42 endtask
```

在A的get任务中，每隔2个时间单位检查tr_q中是否有数据，如果有则发送出去。当B在其main_phase调用get任务时，会最终执行A的get任务。在A的connect_phase，需要把A_export和A_imp连接起来。

B的代码为：

代码清单　4-19

文件：src/ch4/section4.2/4.2.7/B.sv

```
  3 class B extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(B)
  5
  6   uvm_blocking_get_port#(my_transaction) B_port;
…
 13 endclass
 14
 15 function void B::build_phase(uvm_phase phase);
 16   super.build_phase(phase);
 17   B_port = new("B_port", this);
 18 endfunction
 19
```

```
20 task B::main_phase(uvm_phase phase);
21   my_transaction tr;
22   while(1) begin
23     B_port.get(tr);
24     `uvm_info("B", "get a transaction", UVM_LOW)
25     tr.print();
26   end
27 endtask
```

env中的连接关系变为：

代码清单　4-20

文件：src/ch4/section4.2/4.2.7/my_env.sv

```
27 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
28   super.connect_phase(phase);
29   B_inst.B_port.connect(A_inst.A_export);
30 endfunction
```

仔细对比这个连接关系与4.2.2节的连接关系，读者会对这些连接关系中的数据流、控制流有更深刻的了解。

上面介绍了blocking_get_port与blocking_get_export及blocking_get_imp的连接。与blocking_put系列端口类似，blocking_get_port也可以直接连接到blocking_get_imp，同时blocking_get_port也可以连接到blocking_get_port，blocking_get_export也可以连接到blocking_get_export。在这些连接关系中，需要谨记的是连接的终点必须是一个IMP。

*4.2.8 blocking_transport端口的使用

transport系列端口与put和get系列端口都不一样。在put和get系列端口中，所有的通信都是单向的，而在transport系列端口中，通信变成了双向的。

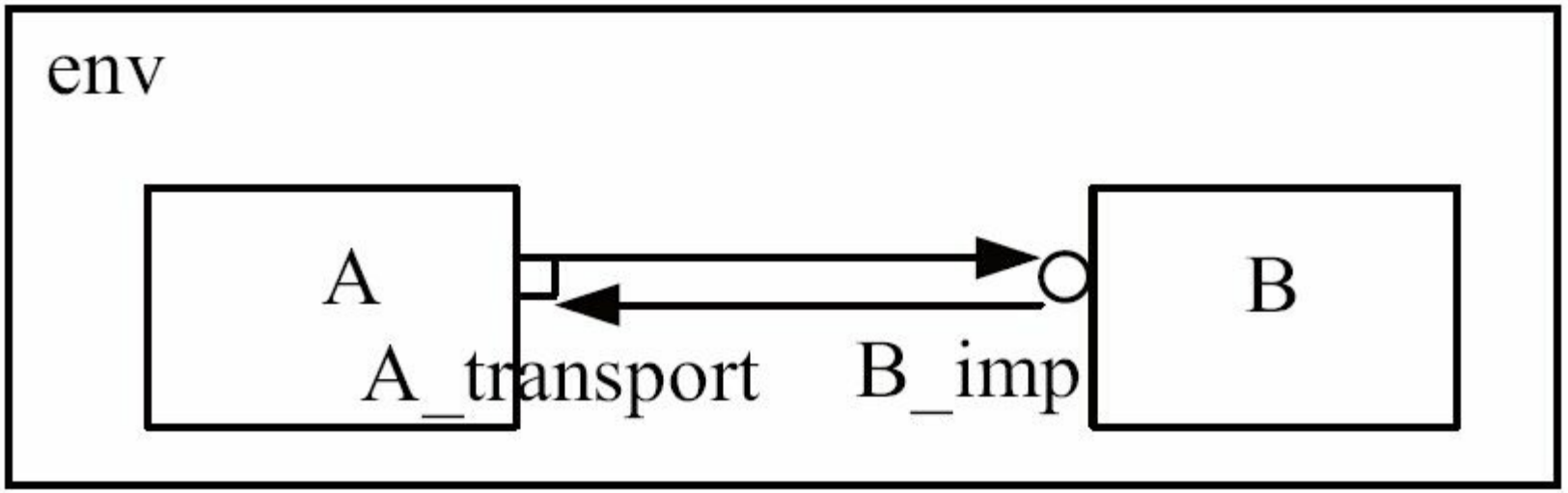


图4-12 blocking_transport的连接

若要实现图4-12所示的连接关系，需要在A中定义一个transport：

代码清单 4-21

文件：src/ch4/section4.2/4.2.8/A.sv

```
  3 class A extends uvm_component;
```

```
  4    `uvm_component_utils(A)
  5
  6    uvm_blocking_transport_port#(my_transaction, my_transaction) A_transport;
…
 13 endclass
…
 20 task A::main_phase(uvm_phase phase);
 21   my_transaction tr;
 22   my_transaction rsp;
 23   repeat(10) begin
 24     #10;
 25     tr = new("tr");
 26     assert(tr.randomize());
 27     A_transport.transport(tr, rsp);
 28     `uvm_info("A", "received rsp", UVM_MEDIUM)
 29     rsp.print();
 30   end
 31 endtask
```

B中需要定义一个类型为uvm_blocking_transport_imp的IMP：

代码清单　4-22

文件：src/ch4/section4.2/4.2.8/B.sv

```
  3 class B extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(B)
  5
  6   uvm_blocking_transport_imp#(my_transaction, my_transaction, B) B_imp;
…
 13 endclass
…
```

```
20 task B::transport(my_transaction req, output my_transaction rsp);
21   `uvm_info("B", "receive a transaction", UVM_LOW)
22   req.print();
23   //do something according to req
24   #5;
25   rsp = new("rsp");
26 endtask
```

env中的连接关系为：

代码清单　4-23

文件：src/ch4/section4.2/4.2.8/my_env.sv

```
27 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
28   super.connect_phase(phase);
29   A_inst.A_transport.connect(B_inst.B_imp);
30 endfunction
```

在A中调用transport任务，并把生成的transaction作为第一个参数。B中的transaport任务接收到这笔transaction，根据这笔transaction做某些操作，并把操作的结果作为transport的第二个参数发送出去。A根据接收到的rsp来决定后面的行为。

在本例中，是blocking_transport_port直接连接到blocking_transport_imp，前者还可以连接到blocking_transport_export，这三者之间的连接关系与blocking_put系列端口类似。

4.2.9 nonblocking端口的使用

nonblocking端口的所有操作都是非阻塞的，换言之，必须用函数实现，而不能用任务实现。本节以nonblocking_put端口为例介绍nonblocking端口的使用。

以用nonblocking端口实现图4-8所示的连接关系为例，需要在A中定义一个nonblocking_put_port端口：

代码清单 4-24

文件：src/ch4/section4.2/4.2.9/A.sv

```
  3 class A extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(A)
  5
  6   uvm_nonblocking_put_port#(my_transaction) A_port;
…
 13 endclass
…
 20 task A::main_phase(uvm_phase phase);
 21   my_transaction tr;
 22   repeat(10) begin
 23     tr = new("tr");
 24     assert(tr.randomize());
 25     while(!A_port.can_put()) #10;
 26     void'(A_port.try_put(tr));
 27   end
 28 endtask
```

由于端口变为了非阻塞的，所以在送出transaction之前需要调用can_put函数来确认是否能够执行put操作。can_put最终会调用B中的can_put：

代码清单　4-25

文件：src/ch4/section4.2/4.2.9/B.sv

```
  3 class B extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(B)
  5
  6   uvm_nonblocking_put_imp#(my_transaction, B) B_imp;
  7   my_transaction tr_q[$];
…
 16 endclass
…
 23 function bit B::can_put();
 24   if(tr_q.size() > 0)
 25     return 0;
 26   else
 27     return 1;
 28 endfunction
 29
 30 function bit B::try_put(my_transaction tr);
 31   `uvm_info("B", "receive a transaction", UVM_LOW)
 32   if(tr_q.size() > 0)
 33     return 0;
 34   else begin
 35     tr_q.push_back(tr);
 36     return 1;
 37   end
 38 endfunction
 39
```

```
40 task B::main_phase(uvm_phase phase);
41    my_transaction tr;
42    while(1) begin
43      if(tr_q.size() > 0)
44         tr = tr_q.pop_front();
45      else
46         #25;
47    end
48 endtask
```

在A中使用can_put来判断是否可以发送，其实这里还可以不用can_put，而直接使用try_put：

代码清单　4-26

```
task A::main_phase(uvm_phase phase);
  my_transaction tr;
  repeat(10) begin
    tr = new("tr");
    assert(tr.randomize());
    while(!A_port.try_put(tr)) #10;
  end
endtask
```

如果不使用can_put，在B中依然需要定义一个名字为can_put的函数，这个函数里可以没有任何内容，纯粹是一个空函数。

env中的连接关系为：

代码清单　4-27

文件：src/ch4/section4.2/4.2.9/my_env.sv

```
 27 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
 28   super.connect_phase(phase);
 29   A_inst.A_export.connect(B_inst.B_imp);
 30 endfunction
```

这个连接关系与4.2.3节中env的连接关系完全一样。仔细对比本节代码与4.2.3节的代码，可以更深刻的了解blocking系列端口和nonblocking系列端口的区别。

nonblocking_get系列端口和nonblocking_transport系列端口的使用与nonblocking_put类似，这里不再一一举例。

4.3 UVM中的通信方式

*4.3.1 UVM中的analysis端口

4.2节以blocking_put和blocking_get系列端口为例介绍了相关的PORT、EXPORT、IMP。除了这几种端口外，UVM中还有两种特殊的端口：analysis_port和analysis_export。这两者其实与put和get系列端口类似，都用于传递transaction。它们的区别是：

第一，默认情况下，一个analysis_port（analysis_export）可以连接多个IMP，也就是说，analysis_port（analysis_export）与IMP之间的通信是一对多的通信，而put和get系列端口与相应IMP的通信是一对一的通信（除非在实例化时指定可以连接的数量，参照4.2.1节A_port的new函数原型代码清单4-4）。analysis_port（analysis_export）更像是一个广播。

第二，put与get系列端口都有阻塞和非阻塞的区分。但是对于analysis_port和analysis_export来说，没有阻塞和非阻塞的概念。因为它本身就是广播，不必等待与其相连的其他端口的响应，所以不存在阻塞和非阻塞。

一个analysis_port可以和多个IMP相连接进行通信，但是IMP的类型必须是uvm_analysis_imp，否则会报错。

对于put系列端口，有put、try_put、can_put等操作，对于get系列端口，有get、try_get和can_get等操作。对于analysis_port和analysis_export来说，只有一种操作：write。在analysis_imp所在的component，必须定义一个名字为write的函数。

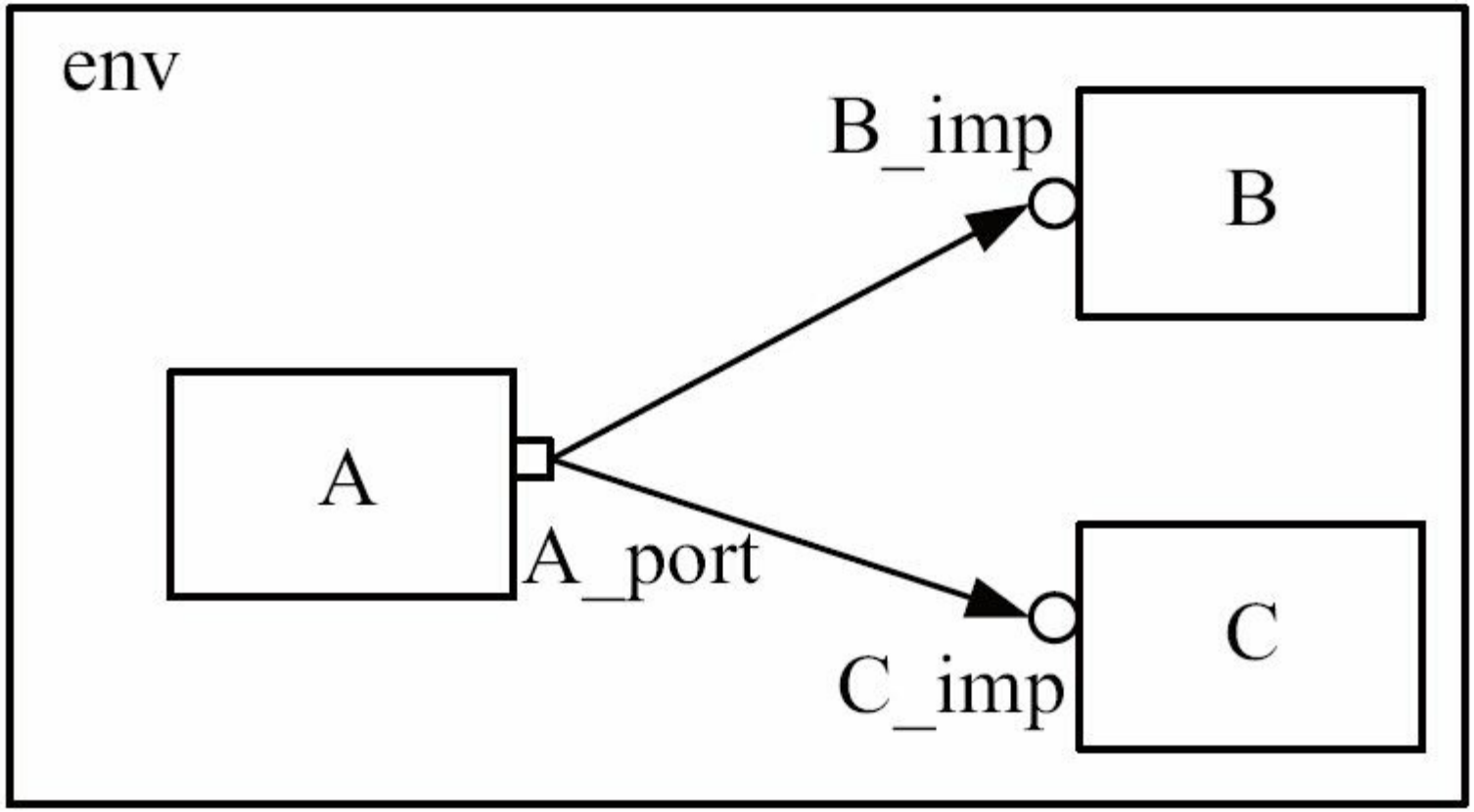


图4-13　analysis_port与imp的连接

要实现图4-13中所示的连接关系，A的代码为：

代码清单　4-28

```
文件：src/ch4/section4.3/4.3.1/analysis_port/A.sv
  3 class A extends uvm_component;
```

```
  4    `uvm_component_utils(A)
  5
  6    uvm_analysis_port#(my_transaction) A_ap;
…
 13 endclass
…
 20 task A::main_phase(uvm_phase phase);
 21   my_transaction tr;
 22   repeat(10) begin
 23     #10;
 24     tr = new("tr");
 25     assert(tr.randomize());
 26     A_ap.write(tr);
 27   end
 28 endtask
```

A的代码很简单，只是简单地定义一个analysis_port，并在main_phase中每隔10个时间单位写入一个transaction。

B的代码为：

代码清单　4-29

文件：src/ch4/section4.3/4.3.1/analysis_port/B.sv

```
  3 class B extends uvm_component;
  4   `uvm_component_utils(B)
  5
  6   uvm_analysis_imp#(my_transaction, B) B_imp;
…
 15 endclass
…
```

```
26 function void B::write(my_transaction tr);
27   `uvm_info("B", "receive a transaction", UVM_LOW)
28   tr.print();
29 endfunction
```

如前所述，B是B_imp所在的component，因此要在B中定义一个名字为write的函数。在B的main_phase中不需要做任何操作。

C的代码与B完全相似，只要把相应的B替换为C即可。

env中的连接关系为：

代码清单　4-30

文件：src/ch4/section4.3/4.3.1/analysis_port/my_env.sv

```
29 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
30   super.connect_phase(phase);
31   A_inst.A_ap.connect(B_inst.B_imp);
32   A_inst.A_ap.connect(C_inst.C_imp);
33 endfunction
```

在env中，可以看到A_ap分别与B和C中相应的imp连接到了一起。这种一对二的连接方式在4.2节中是没有出现过的。

上面只是一个analysis_port与IMP相连的例子。analysis_export和IMP也可以这样相连接，只需将上面例子中的uvm_analysis_port改为uvm_analysis_export就可以。

与put系列端口的PORT和EXPORT直接相连会出错的情况一样，analysis_port如果和一个analysis_export直接相连也会出错。只有在analysis_export后面再连接一级uvm_analysis_imp，才不会出错。

*4.3.2 一个component内有多个IMP

考虑图2-13中o_agt的monitor与scoreboard之间的通信，使用analysis_port实现。在monitor中：

代码清单 4-31

```
class monitor extends uvm_monitor;
  uvm_analysis_port#(my_transaction) ap;
  task main_phase(uvm_phase phase);
    super.main_phase(phase);
    my_transaction tr;
…
    ap.write(tr);
…
  endtask
endclass
```

在scoreboard中：

代码清单 4-32

```
class scoreboard extends uvm_scoreboard;
  uvm_analysis_imp#(my_transaction, scoreboard) scb_imp;
  task write(my_transaction tr);
    //do something on tr
  endtask
```

```
endclass
```

之后在env中可以使用connect连接。由于monitor与scoreboard在UVM树中并不是平等的兄妹关系，其中间还间隔了o_agt，所以这里有三种连接方式，第一种是直接在env中跨层次引用monitor中的ap：

代码清单　4-33

```
function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
  o_agt.mon.ap.connect(scb.scb_imp);
…
endfunction
```

第二种是在agent中声明一个ap并实例化它，在connect_phase将其与monitor的ap相连，并可以在env中把agent的ap直接连接到scoreboard的imp：

代码清单　4-34

```
class my_agent extends uvm_agent ;
  uvm_analysis_port #(my_transaction)  ap;
…
  function void build_phase(uvm_phase phase);
    super.build_phase(phase);
    ap = new("ap", this);
…
  endfunction
```

```
  function void my_agent::connect_phase(uvm_phase phase);
    mon.ap.connect(this.ap);
…
  endfunction
endclass
function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
  o_agt.ap.connect(scb.scb_imp);
…
endfunction
```

第三种是在agent中声明一个ap，但是不实例化它，让其指向monitor中的ap。在env中可以直接连接agent的ap到scoreboard的imp：

代码清单　4-35

```
class my_agent extends uvm_agent ;
  uvm_analysis_port #(my_transaction)  ap;
…
  function void my_agent::connect_phase(uvm_phase phase);
    ap = mon.ap;
…
  endfunction
endclass
function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
  o_agt.ap.connect(scb.scb_imp);
…
endfunction
```

如上所述的三种方式中，第一种最简单，但是其层次关系并不好，第二种稍显麻烦，第三种既具有明显的层次关系，同时其实现也较简单。

上面的monitor和scoreboard之间的通信是通过采用一个analysis_port和一个anslysis_imp相连的方式实现的。对于一个analysis_imp来说，必须在其实例化的uvm_component中定义一个write的函数。在上面的例子中，scoreboard只接收一路数据，但在现实情况中，scoreboard除了接收monitor的数据之外，还要接收reference model的数据。相应的scoreboard就要再添加一个uvm_analysis_imp的IMP，如model_imp。此时问题就出现了，由于接收到的两路数据应该做不同的处理，所以这个新的IMP也要有一个write任务与其对应。但是write只有一个，怎么办？

UVM考虑到了这种情况，它定义了一个宏uvm_analysis_imp_decl来解决这个问题，其使用方式为：

代码清单　4-36

文件：src/ch4/section4.3/4.3.3/my_scoreboard.sv

```
  4 `uvm_analysis_imp_decl(_monitor)
  5 `uvm_analysis_imp_decl(_model)
  6 class my_scoreboard extends uvm_scoreboard;
  7   my_transaction  expect_queue[$];
  8
  9   uvm_analysis_imp_monitor#(my_transaction, my_scoreboard) monitor_imp;
 10   uvm_analysis_imp_model#(my_transaction, my_scoreboard) model_imp;
…
 15   extern function void write_monitor(my_transaction tr);
 16   extern function void write_model(my_transaction tr);
 17   extern virtual task main_phase(uvm_phase phase);
```

```
18 endclass
```

上述代码通过宏uvm_analysis_imp_decl声明了两个后缀_monitor和_model。UVM会根据这两个后缀定义两个新的IMP类：uvm_analysis_imp_monitor和uvm_analysis_imp_model，并在my_scoreboard中分别实例化这两个类：monitor_imp和model_imp。当与monitor_imp相连接的analysis_port执行write函数时，会自动调用write_monitor函数，而与model_imp相连接的analysis_port执行write函数时，会自动调用write_model函数。所以，只要完成后缀的声明，并在write后面添加上相应的后缀就可以正常工作了：

代码清单　4-37

文件：src/ch4/section4.3/4.3.3/my_scoreboard.sv

```
30 function void my_scoreboard::write_model(my_transaction tr);
31   expect_queue.push_back(tr);
32 endfunction
33
34 function void my_scoreboard::write_monitor(my_transaction tr);
35   my_transaction  tmp_tran;
36   bit result;
37   if(expect_queue.size() > 0) begin
…
55   end
56
57 endfunction
```

*4.3.3 使用FIFO通信

在上一小节中实现monitor和scoreboard之间的通信时先声明了两个后缀，然后再写相应的函数，这种方法看起来有些麻烦，而且对于初学者来说有些难以理解。那么有没有简单的方法呢？另外上节中monitor和scoreboard的通信，monitor占据主动地位，而scoreboard只能被动地接收，那么有没有方法也让scoreboard实现主动的接收呢？这两个问题的答案都是肯定的，那就是使用第2章使用的方式：利用FIFO来实现monitor和scoreboard的通信。

如图4-14b所示，在agent和scoreboard之间添加一个uvm_analysis_fifo。FIFO的本质是一块缓存加两个IMP。在monitor与FIFO的连接关系中，monitor中依然是analysis_port，FIFO中是uvm_analysis_imp，数据流和控制流的方向相同。在scoreboard与FIFO的连接关系中，scoreboard中使用blocking_get_port端口：

代码清单 4-38

文件：src/ch4/section4.3/4.3.4/my_scoreboard.sv

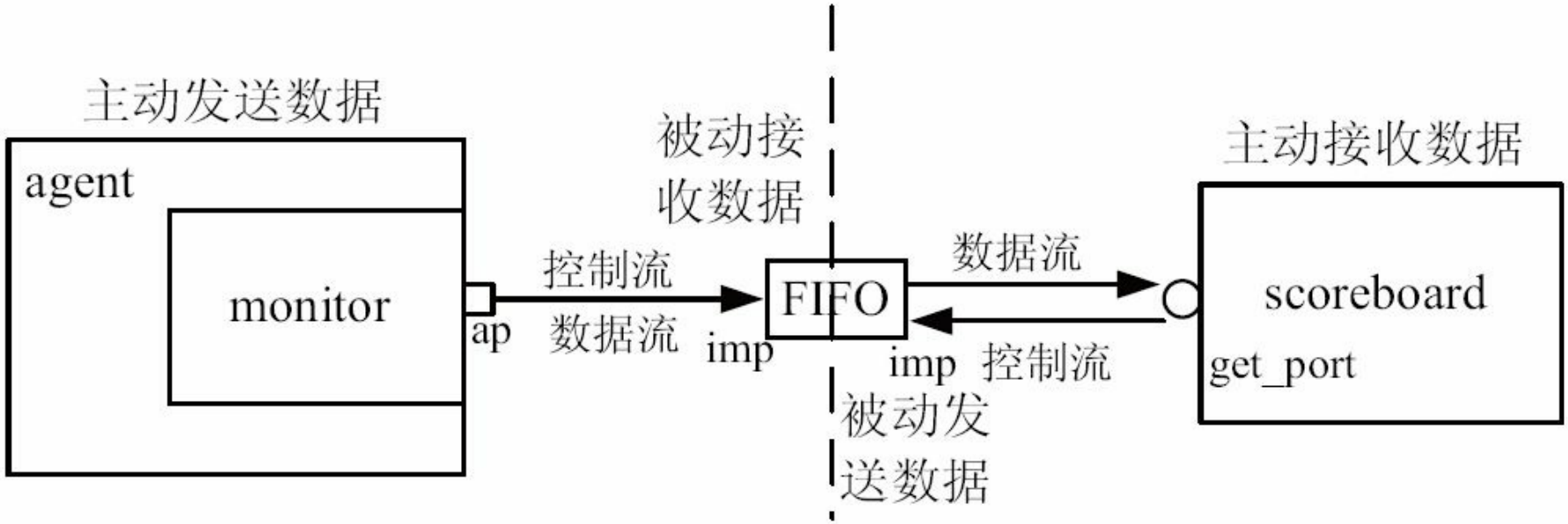
```
  3 class my_scoreboard extends uvm_scoreboard;
  4   my_transaction  expect_queue[$];
  5   uvm_blocking_get_port #(my_transaction)  exp_port;
  6   uvm_blocking_get_port #(my_transaction)  act_port;
…
 12 endclass
…
 24 task my_scoreboard::main_phase(uvm_phase phase);
…
 29   fork
 30     while (1) begin
```

```
 31        exp_port.get(get_expect);
 32        expect_queue.push_back(get_expect);
 33      end
 34      while (1) begin
 35        act_port.get(get_actual);
…
 55      end
 56    join
 57 endtask
```

而FIFO中使用的是一个get端口的IMP。在这种连接关系中，控制流是从scoreboard到FIFO，而数据流是从FIFO到scoreboard。



a）使用ap与imp直接通信



b）使用FIFO通信

图4-14　monitor与scoreboard的两种通信方式

在env里面以如下方式连接：

代码清单　4-39

文件：src/ch4/section4.3/4.3.4/my_env.sv

```
  4 class my_env extends uvm_env;
  5
  6   my_agent   i_agt;
  7   my_agent   o_agt;
  8   my_model   mdl;
  9   my_scoreboard scb;
 10
 11   uvm_tlm_analysis_fifo #(my_transaction) agt_scb_fifo;
 12   uvm_tlm_analysis_fifo #(my_transaction) agt_mdl_fifo;
 13   uvm_tlm_analysis_fifo #(my_transaction) mdl_scb_fifo;
…
 36 endclass
 37
 38 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
 39   super.connect_phase(phase);
 40   i_agt.ap.connect(agt_mdl_fifo.analysis_export);
 41   mdl.port.connect(agt_mdl_fifo.blocking_get_export);
 42   mdl.ap.connect(mdl_scb_fifo.analysis_export);
 43   scb.exp_port.connect(mdl_scb_fifo.blocking_get_export);
 44   o_agt.ap.connect(agt_scb_fifo.analysis_export);
 45   scb.act_port.connect(agt_scb_fifo.blocking_get_export);
 46 endfunction
```

如图4-14b所示，FIFO中有两个IMP，但是在上面的连接关系中，FIFO中却是EXPORT，这是为什么呢？实际上，FIFO中的analysis_export和blocking_get_export虽然名字中有关键字export，但是其类型却是IMP。UVM为了掩饰IMP的存在，在它们的命名中加入了export关键字。如analysis_export的原型如下：

代码清单　4-40

来源：UVM
源代码

```
uvm_analysis_imp #(T, uvm_tlm_analysis_fifo #(T)) analysis_export;
```

使用FIFO连接之后，第一个好处是不必在scoreboard中再写一个名字为write的函数。scoreboard可以按照自己的节奏工作，而不必跟着monitor的节奏。第二个好处是FIFO的存在隐藏了IMP，这对于初学者来说比较容易理解。第三个好处是可以轻易解决上一节讲到的当reference model和monitor同时连接到scoreboard应如何处理的问题。事实上，FIFO的存在自然而然地解决了它，这根本就不是一个问题了。

4.3.4 FIFO上的端口及调试

上一节中介绍了uvm_tlm_analysis_fifo，并介绍了它的两个端口：blocking_get_export和analysis_export。事实上，FIFO上的端口并不局限于上述两个，一个FIFO中有众多的端口，如图4-15所示。

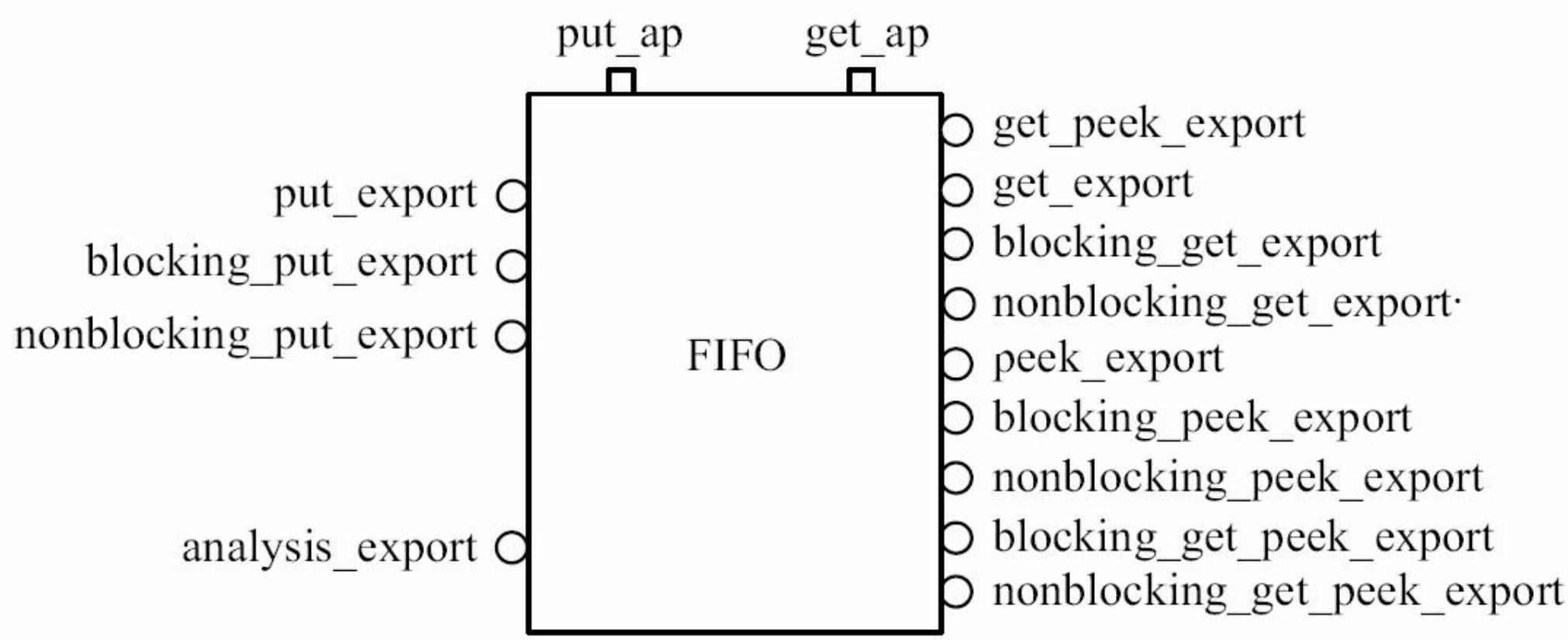


图4-15 FIFO上的端口

上图中所有以圆圈表示的EXPORT虽然名字中有export，但是本质上都是IMP。这里面包含了代码清单4-7中除transport系列外的12种IMP，用于分别和相应的PORT及EXPORT连接。前文已经介绍了put和get系列端口，这里简要地说明一下peek系列端口。peek端口与get相似，其数据流、控制流都相似，唯一的区别在于当get任务被调用时，FIFO内部缓存中会少一个transaction，而peek被调用时，FIFO会把transaction复制一份发送出去，其内部缓存中的transaction数量并不会减少。

除了这12个IMP外，上图中还有两个analysis_port：put_ap和get_ap。当FIFO上的blocking_put_export或者put_export被连接到一个blocking_put_port或者put_port上时，FIFO内部被定义的put任务被调用，这个put任务把传递过来的transaction放在FIFO内部的缓存里，同时，把这个transaction通过put_ap使用write函数发送出去。FIFO的put任务定义如下：

代码清单　4-41

来源：UVM
源代码

```
  virtual task put( input T t );
    m.put( t );
    put_ap.write( t );
  endtask
```

上述代码中的m即是FIFO内部的缓存，使用SystemVerilog中的mailbox来实现。

与put_ap相似，当FIFO的get任务被调用时，同样会有一个transaction从get_ap上发出：

代码清单　4-42

来源：UVM
源代码

```
  virtual task get( output T t );
    m_pending_blocked_gets++;
    m.get( t );
    m_pending_blocked_gets--;
    get_ap.write( t );
  endtask
```

什么时候会触发FIFO中的这个get任务呢？在上一节中，一个blocking_get_port连接到了FIFO上，当它调用get任务获取transaction时就会调用FIFO的get任务。除此之外，FIFO的get_export、get_peek_export和blocking_get_peek_export被相应的PORT或者EXPORT连接时，也能会调用FIFO的get任务。

FIFO的类型有两种，一种是上节介绍的uvm_tlm_analysis_fifo，另外一种是uvm_tlm_fifo。这两者的唯一差别在于前者有一个analysis_export端口，并且有一个write函数，而后者没有。除此之外，本节上面介绍的所有端口同时适用于这两者。

FIFO中的众多端口方便了用户的使用，同样的，UVM也提供了几个函数用于FIFO的调试。

used函数用于查询FIFO缓存中有多少transaction。is_empty函数用于判断当前FIFO缓存是否为空。与is_empty对应的是is_full，用于判断当前FIFO缓存是否已经满了。作为一个缓存来说，其能存储的transaction是有限的。那么这个最大值是在哪里定义的呢？FIFO的new函数原型如下：

代码清单　4-43

```
function new(string name, uvm_component parent = null, int size = 1);
```

FIFO在本质上是一个component，所以其前两个参数是uvm_component的new函数中的两个参数。第三个参数是size，用于设定FIFO缓存的上限，在默认的情况下为1。若要把缓存设置为无限大小，将传入的size参数设置为0即可。通过size函数可以返回这个上限值。

除了上述的函数外，FIFO中还有一个flush函数，其原型为：

代码清单　4-44

```
virtual function void flush();
```

这个函数用于清空FIFO缓存中的所有数据，它一般用于复位等操作。

*4.3.5 用FIFO还是用IMP

用FIFO还是直接用IMP来实现通信呢？

每个人对于这个问题都有各自不同的答案。在用FIFO通信的方法中，完全隐藏了IMP这个UVM中特有、而TLM中根本就没有的东西。用户可以完全不关心IMP。因此，对于用户来说，只需要知道analysis_port、blocking_get_port即可。这大大简化了初学者的工作量。尤其是在scoreboard面临多个IMP，且需要为IMP声明一个后缀时，这种优势更加明显。

FIFO连接的方式增加了env中代码的复杂度，满满的看上去似乎都是与FIFO相关的代码。尤其是当要连接的端口数量众多时，这个缺点更加明显。

不过对于使用端口数组的情况，FIFO要优于IMP。假如参考模型中有16个类似端口要和scoreboard中相应的端口相互通信，如此多数量的端口，在参考模型中可以使用端口数组来实现：

代码清单 4-45

文件：src/ch4/section4.3/4.3.5/imp/my_model.sv

```
  4 class my_model extends uvm_component;
  5
  6   uvm_blocking_get_port #(my_transaction)  port;
  7   uvm_analysis_port #(my_transaction)  ap[16];
…
 14 endclass
…
```

```
 20 function void my_model::build_phase(uvm_phase phase);
 21   super.build_phase(phase);
 22   port = new("port", this);
 23   for(int i = 0; i < 16; i++)
 24     ap[i] = new($sformatf("ap_%0d", i), this);
 25 endfunction
```

如果连接关系使用IMP加后缀的方式，那么在scoreboard中的代码如下：

代码清单　4-46

文件：src/ch4/section4.3/4.3.5/imp/my_scoreboard.sv

```
  4 `uvm_analysis_imp_decl(_model0)
…
 19 `uvm_analysis_imp_decl(_modelf)
 20 `uvm_analysis_imp_decl(_monitor)
 21 class my_scoreboard extends uvm_scoreboard;
 22   my_transaction  expect_queue[$];
 23   uvm_analysis_imp_monitor#(my_transaction, my_scoreboard) monitor_imp;
 24   uvm_analysis_imp_model0#(my_transaction, my_scoreboard) model0_imp;
…
 39   uvm_analysis_imp_modelf#(my_transaction, my_scoreboard) modelf_imp;
 40   `uvm_component_utils(my_scoreboard)
 41
 42   extern function new(string name, uvm_component parent = null);
 43   extern virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 44   extern virtual task main_phase(uvm_phase phase);
 45   extern function void write_monitor(my_transaction tr);
 46   extern function void write_model0(my_transaction tr);
…
 61   extern function void write_modelf(my_transaction tr);
```

```
 62 endclass
 63
…
 68 function void my_scoreboard::build_phase(uvm_phase phase);
 69   super.build_phase(phase);
 70   monitor_imp = new("monitor_imp", this);
 71   model0_imp = new("model0_imp", this);
…
 86   modelf_imp = new("modelf_imp", this);
 87 endfunction
 88
 89 function void my_scoreboard::write_model0(my_transaction tr);
 90   expect_queue.push_back(tr);
 91 endfunction
…
149 function void my_scoreboard::write_modelf(my_transaction tr);
150   expect_queue.push_back(tr);
151 endfunction
152
153
154 function void my_scoreboard::write_monitor(my_transaction tr);
…
177 endfunction
```

并且在env中，需要：

代码清单　4-47

文件：src/ch4/section4.3/4.3.5/imp/my_env.sv

```
 34 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
 35   super.connect_phase(phase);
```

```
 36    i_agt.ap.connect(agt_mdl_fifo.analysis_export);
 37    mdl.port.connect(agt_mdl_fifo.blocking_get_export);
 38    o_agt.ap.connect(scb.monitor_imp);
 39    mdl.ap[0].connect(scb.model0_imp);
 40    mdl.ap[1].connect(scb.model1_imp);
…
 53    mdl.ap[14].connect(scb.modele_imp);
 54    mdl.ap[15].connect(scb.modelf_imp);
 55  endfunction
```

在如上列出的代码中使用了很多省略号，但是即使这样，相信读者也能感受到其中代码的冗余到了多么严重的程度。这一切都是因为ap与imp直接相连而不能使用for循环引起的。

假如使用FIFO连接，那么在scoreboard中可以：

代码清单　4-48

文件：src/ch4/section4.3/4.3.5/fifo/my_scoreboard.sv

```
  3  class my_scoreboard extends uvm_scoreboard;
  4    my_transaction  expect_queue[$];
  5    uvm_blocking_get_port #(my_transaction)  exp_port[16];
  6    uvm_blocking_get_port #(my_transaction)  act_port;
…
 12  endclass
…
 18  function void my_scoreboard::build_phase(uvm_phase phase);
 19    super.build_phase(phase);
 20    for(int i = 0; i < 16; i++)
 21       exp_port[i] = new($sformatf("exp_port_%0d", i), this);
```

```
 22   act_port = new("act_port", this);
 23 endfunction
 24
 25 task my_scoreboard::main_phase(uvm_phase phase);
…
 30   for(int i = 0; i < 16; i++)
 31     fork
 32        automatic int k = i;
 33        while (1) begin
 34           exp_port[k].get(get_expect);
 35           expect_queue.push_back(get_expect);
 36        end
 37     join_none
 38   while (1) begin
 39     act_port.get(get_actual);
…
 59   end
 60 endtask
```

在env中也可以使用for循环：

代码清单　4-49

文件：src/ch4/section4.3/4.3.5/fifo/my_env.sv

```
  4 class my_env extends uvm_env;
…
 11   uvm_tlm_analysis_fifo #(my_transaction) agt_scb_fifo;
 12   uvm_tlm_analysis_fifo #(my_transaction) agt_mdl_fifo;
 13   uvm_tlm_analysis_fifo #(my_transaction) mdl_scb_fifo[16];
…
 19   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
```

```
…
 27     agt_scb_fifo = new("agt_scb_fifo", this);
 28     agt_mdl_fifo = new("agt_mdl_fifo", this);
 29     for(int i = 0; i < 16; i++)
 30        mdl_scb_fifo[i] = new($sformatf("mdl_scb_fifo_%0d", i), this);
 31
 32   endfunction
…
 37 endclass
 38
 39 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
 40   super.connect_phase(phase);
 41   i_agt.ap.connect(agt_mdl_fifo.analysis_export);
 42   mdl.port.connect(agt_mdl_fifo.blocking_get_export);
 43   for(int i = 0; i < 16; i++) begin
 44     mdl.ap[i].connect(mdl_scb_fifo[i].analysis_export);
 45     scb.exp_port[i].connect(mdl_scb_fifo[i].blocking_get_export);
 46   end
 47   o_agt.ap.connect(agt_scb_fifo.analysis_export);
 48   scb.act_port.connect(agt_scb_fifo.blocking_get_export);
 49 endfunction
```

无论使用FIFO还是使用IMP，都能实现同样的目标，两者各有其优势与劣势。在实际应用中，读者可以根据自己的习惯来选择合适的连接方式。

第5章　UVM验证平台的运行

5.1　phase机制

*5.1.1　task phase与function phase

UVM中的phase，按照其是否消耗仿真时间（$time打印出的时间）的特性，可以分成两大类，一类是function phase，如build_phase、connect_phase等，这些phase都不耗费仿真时间，通过函数来实现；另外一类是task phase，如run_phase等，它们耗费仿真时间，通过任务来实现。给DUT施加激励、监测DUT的输出都是在这些phase中完成的。在图5-1中，灰色背景所示的是task phase，其他为function phase。

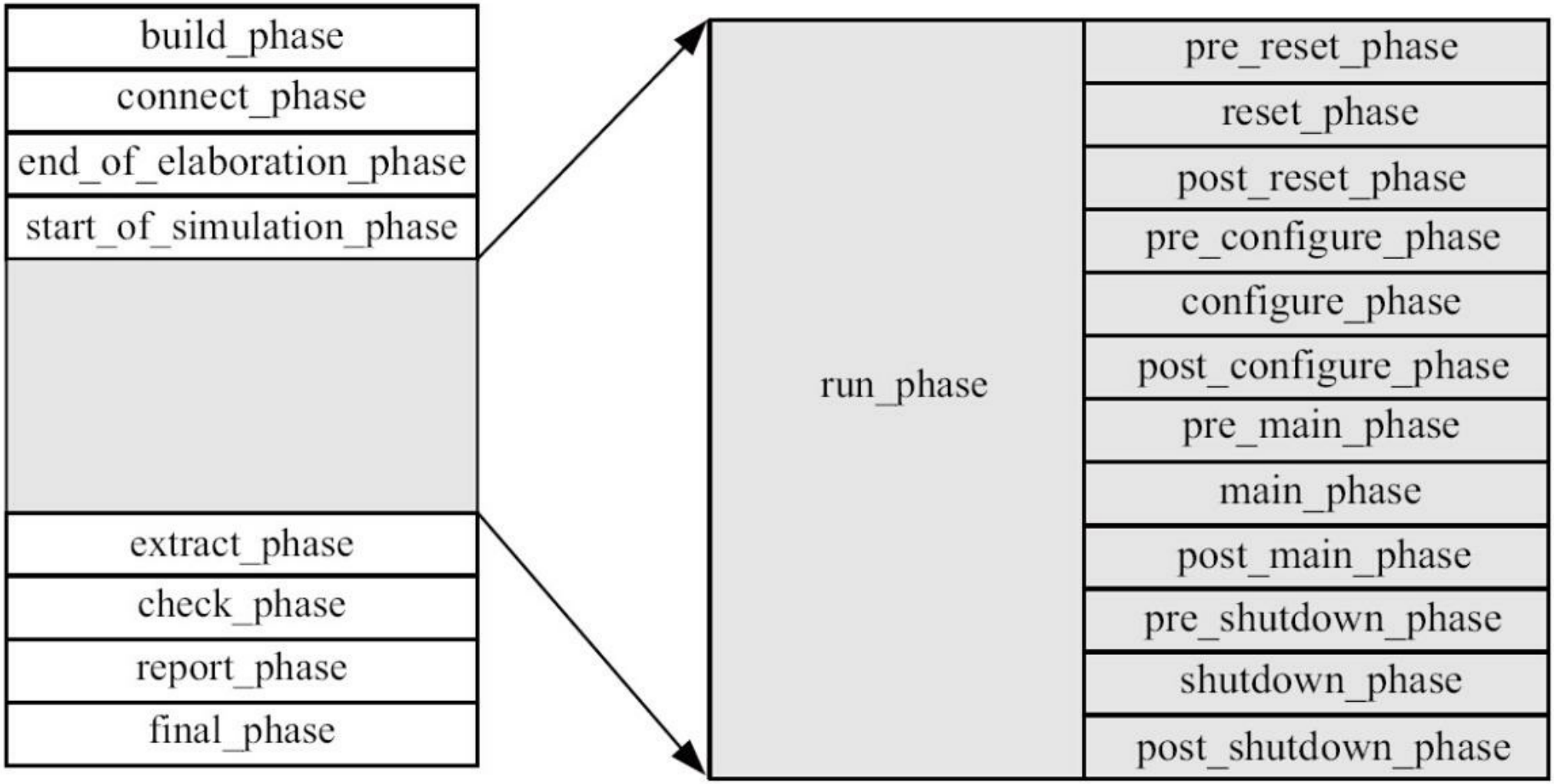


图5-1　UVM中的phase

上述所有的phase都会按照图中的顺序自上而下自动执行：

代码清单　5-1

文件：src/ch5/section5.1/5.1.1/my_case0.sv

```
  4 class my_case0 extends base_test;
  5   string tID = get_type_name();
…
 11   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 12     super.build_phase(phase);
 13     `uvm_info(tID, "build_phase is executed", UVM_LOW)
 14   endfunction
 15
…
 26   virtual function void start_of_simulation_phase(uvm_phase phase);
 27     super.start_of_simulation_phase(phase);
 28     `uvm_info(tID, "start_of_simulation_phase is executed", UVM_LOW)
 29   endfunction
 30
 31   virtual task run_phase(uvm_phase phase);
 32     `uvm_info(tID, "run_phase is executed", UVM_LOW)
 33   endtask
 34
 35   virtual task pre_reset_phase(uvm_phase phase);
 36     `uvm_info(tID, "pre_reset_phase is executed", UVM_LOW)
 37   endtask
…
 79   virtual task post_shutdown_phase(uvm_phase phase);
 80     `uvm_info(tID, "post_shutdown_phase is executed", UVM_LOW)
 81   endtask
 82
 83   virtual function void extract_phase(uvm_phase phase);
 84     super.extract_phase(phase);
 85     `uvm_info(tID, "extract_phase is executed", UVM_LOW)
```

```
 86   endfunction
…
 98    virtual function void final_phase(uvm_phase phase);
 99      super.final_phase(phase);
100      `uvm_info(tID, "final_phase is executed", UVM_LOW)
101    endfunction
102
103
104 endclass
```

运行上述代码，可以看到各phase被依次执行。在这些phase中，令人疑惑的是task phase。对于function phase来说，在同一时间只有一个phase在执行；但是task phase中，run_phase和pre_reset_phase等12个小的phase并行运行。后者称为动态运行（run-time）的phase。对于task phase，从全局的观点来看其顺序大致如下：

代码清单　5-2

```
fork
  begin
    run_phase();
  end
  begin
    pre_reset_phase();
    reset_phase();
    post_reset_phase();
    pre_configure_phase();
    configure_phase();
    post_configure_phase();
    pre_main_phase();
    main_phase();
```

```
      post_main_phase();
      pre_shutdown_phase();
      shutdown_phase();
      post_shutdown_phase();
    end
  join
```

UVM提供了如此多的phase，在一般的应用中，无论是function phase还是task phase都不会将它们全部用上。使用频率最高的是build_phase、connect_phase和main_phase。这么多phase除了方便验证人员将不同的代码写在不同的phase外，还有利于其他验证方法学向UVM迁移。一般的验证方法学都会把仿真分成不同的阶段，但是这些阶段的划分通常没有UVM分得这么多、这么细致。所以一般来说，当其他验证方法学向UVM迁移的时候，总能找到一个phase来对应原来方法学中的仿真阶段，这为迁移提供了便利。

5.1.2 动态运行phase

动态运行（run-time）phase是UVM1.0引入的新的phase，其他phase则在UVM1.0之前（即UVM1.0EA版和OVM中）就已经存在了。

UVM为什么引入这12个小的phase呢？分成小的phase是为了实现更加精细化的控制。reset、configure、main、shutdown四个phase是核心，这四个phase通常模拟DUT的正常工作方式，在reset_phase对DUT进行复位、初始化等操作，在configure_phase则进行DUT的配置，DUT的运行主要在main_phase完成，shutdown_phase则是做一些与DUT断电相关的操作。通过细分实现对DUT更加精确的控制。假设要在运行过程中对DUT进行一次复位（reset）操作，在没有这些细分的phase之前，这种操作要在scoreboard、reference model等加入一些额外的代码来保证验证平台不会出错。但是有了这些小的phase之后，分别在scoreboard、reference model及其他部分（如driver、monitor等）的reset_phase写好相关代码，之后如果想做一次复位操作，那么只要通过phase的跳转，就会自动跳转回reset_phase。

关于跳转的内容，请参考5.1.7节。

*5.1.3 phase的执行顺序

5.1.1节笼统地说明了phase是自上而下执行的，而在3.5.4节时曾经提到过，build_phase是一种自上而下执行的。但这两种“自上而下”是有不同含义的。

5.1.1节中的自上而下是时间的概念，不同的phase按照图5-1中所示的phase顺序自上而下执行。而3.5.4节所说的自上而下是空间的概念，即在图3-2中，先执行的是my_case的build_phase，其次是env的build_phase，一层层往下执行。这种自上而下的顺序其实是唯一的选择。

对于UVM树来说，共有三种顺序可以选择，一是自上而下，二是自下而上，三是随机序。最后一种方式是不受人控制的，在编程当中，这种不受控制的代码越少越好。因此可以选择的无非就是自上而下或者自下而上。

假如UVM不使用自上而下的方式执行build_phase，那会是什么情况呢？UVM的设计哲学就是在build_phase中做实例化的工作，driver和monitor都是agent的成员变量，所以它们的实例化都要在agent的build_phase中执行。如果在agent的build_phase之前执行driver的build_phase，此时driver还根本没有实例化，所以调用driver.build_phase只会引发错误。

UVM是在build_phase中做实例化工作，这里的实例化指的是uvm_component及其派生类变量的实例化，假如在其他phase实例化一个uvm_component，那么系统会报错。如果是uvm_object的实例化，则可以在任何phase完成，当然也包括build_phase了。

除了自上而下的执行方式外，UVM的phase还有一种执行方式是自下而上。事实上，除了build_phase之外，所有不耗费仿真时

间的phase（即function phase）都是自下而上执行的。如对于connect_phase即先执行driver和monitor的connect_phase，再执行agent的connect_phase。

无论是自上而下还是自下而上，都只适应于UVM树中有直系关系的component。对于同一层次的、具有兄弟关系的component，如driver与monitor，它们的执行顺序如何呢？一种猜测是按照实例化的顺序。如代码清单5-3中，A_inst0到A_inst3的build_phase是顺序执行的，这种猜测是错误的。通过分析源代码，读者可以发现执行顺序是按照字典序的。这里的字典序的排序依据new时指定的名字。假如monitor在new时指定的名字为aaa，而driver的名字为bbb，那么将会先执行monitor的build_phase。反之若monitor为mon，driver为drv，那么将会先执行driver的build_phase。如下面的代码：

代码清单　5-3

```
文件：ch5/section5.1/5.1.3/brother/my_env.sv
  4 class my_env extends uvm_env;
  5
  6   A   A_inst0;
  7   A   A_inst1;
  8   A   A_inst2;
  9   A   A_inst3;
…
 16   virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 17     super.build_phase(phase);
 18
 19     A_inst0 = A::type_id::create("dddd", this);
 20     A_inst1 = A::type_id::create("zzzz", this);
 21     A_inst2 = A::type_id::create("jjjj", this);
 22     A_inst3 = A::type_id::create("aaaa", this);
```

```
 23
 24    endfunction
 25
 26    `uvm_component_utils(my_env)
 27 endclass
```

其中A的代码为：

代码清单　5-4

```
文件：ch5/section5.1/5.1.3/brother/A.sv
  3 class A extends uvm_component;
…
 12 endclass
 13
 14 function void A::build_phase(uvm_phase phase);
 15   super.build_phase(phase);
 16   `uvm_info("A", "build_phase", UVM_LOW)
 17 endfunction
 18
 19 function void A::connect_phase(uvm_phase phase);
 20   super.connect_phase(phase);
 21   `uvm_info("A", "connect_phase", UVM_LOW)
 22 endfunction
```

输出的结果将会是：

```
# UVM_INFO A.sv(16) @ 0: uvm_test_top.env.aaaa [A] build_phase
```

```
# UVM_INFO A.sv(16) @ 0: uvm_test_top.env.dddd [A] build_phase
# UVM_INFO A.sv(16) @ 0: uvm_test_top.env.jjjj [A] build_phase
# UVM_INFO A.sv(16) @ 0: uvm_test_top.env.zzzz [A] build_phase
# UVM_INFO A.sv(21) @ 0: uvm_test_top.env.aaaa [A] connect_phase
# UVM_INFO A.sv(21) @ 0: uvm_test_top.env.dddd [A] connect_phase
# UVM_INFO A.sv(21) @ 0: uvm_test_top.env.jjjj [A] connect_phase
# UVM_INFO A.sv(21) @ 0: uvm_test_top.env.zzzz [A] connect_phase
```

这里可以清晰地看出无论是自上而下（build_phase）还是自下而上（connect_phase）的phase，其执行顺序都与实例化的顺序无关，而是严格按照实例化时指定名字的字典序。

只是这个顺序是在UVM1.1d源代码中找到的，UVM并未保证一直会是这个顺序。如果代码的执行必须依赖于这种顺序，例如要求必须先执行driver的build_phase，再执行monitor的build_phase，那么应该立即修改代码，杜绝这种依赖性在代码中出现。

类似run_phase、main_phase等task_phase也都是按照自下而上的顺序执行的。但是与前面function phase自下而上执行不同的是，这种task phase是耗费时间的，所以它并不是等到“下面”的phase（如driver的run_phase）执行完才执行“上面”的phase（如agent的run_phase），而是将这些run_phase通过fork…join_none的形式全部启动。所以，更准确的说法是自下而上的启动，同时在运行。

对于同一component来说，其12个run-time的phase是顺序执行的，但是它们也仅仅是顺序执行，并不是说前面一个phase执行完就立即执行后一个phase。以main_phase和post_main_phase为例，对于A component来说，其main_phase在0时刻开始执行，100时刻执行完毕：

代码清单　5-5

文件：src/ch5/section5.1/5.1.3/phase_wait/A.sv

```
19 task A::main_phase(uvm_phase phase);
20   phase.raise_objection(this);
21   `uvm_info("A", "main phase start", UVM_LOW)
22   #100;
23   `uvm_info("A", "main phase end", UVM_LOW)
24   phase.drop_objection(this);
25 endtask
26
27 task A::post_main_phase(uvm_phase phase);
28   phase.raise_objection(this);
29   `uvm_info("A", "post main phase start", UVM_LOW)
30   #300;
31   `uvm_info("A", "post main phase end", UVM_LOW)
32   phase.drop_objection(this);
33 endtask
```

对于B component来说，其main_phase在0时刻开始执行，200时刻执行完毕：

代码清单　5-6

文件：src/ch5/section5.1/5.1.3/phase_wait/B.sv

```
13 task B::main_phase(uvm_phase phase);
14   phase.raise_objection(this);
15   `uvm_info("B", "main phase start", UVM_LOW)
16   #200;
17   `uvm_info("B", "main phase end", UVM_LOW)
```

```
18   phase.drop_objection(this);
19 endtask
20
21 task B::post_main_phase(uvm_phase phase);
22   phase.raise_objection(this);
23   `uvm_info("B", "post main phase start", UVM_LOW)
24   #200;
25   `uvm_info("B", "post main phase end", UVM_LOW)
26   phase.drop_objection(this);
27 endtask
```

此时整个验证平台的main_phase才执行完毕，接下来执行post_main_phase，即A和B的post_main_phase都是在200时刻开始执行。假设A的post_main_phase执行完毕需要300个时间单位，而B只需要200个时间单位，无论是A或者B，其后续都没有其他耗时间的phase了，整个验证平台会在500时刻关闭。上述代码的执行结果如下：

```
# UVM_INFO B.sv(15) @ 0: uvm_test_top.env.B_inst [B] main phase start
# UVM_INFO A.sv(21) @ 0: uvm_test_top.env.A_inst [A] main phase start
# UVM_INFO A.sv(23) @ 100: uvm_test_top.env.A_inst [A] main phase end
# UVM_INFO B.sv(17) @ 200: uvm_test_top.env.B_inst [B] main phase end
# UVM_INFO B.sv(23) @ 200: uvm_test_top.env.B_inst [B] post main phase start
# UVM_INFO A.sv(29) @ 200: uvm_test_top.env.A_inst [A] post main phase start
# UVM_INFO B.sv(25) @ 400: uvm_test_top.env.B_inst [B] post main phase end
# UVM_INFO A.sv(31) @ 500: uvm_test_top.env.A_inst [A] post main phase end
```

可以看到对于A来说，main_phase在100时刻结束，其post_main_phase在200时刻开始执行。在100～200时刻，A处于等待B的状态，除了等待不做任何事情。B的post_main_phase在400时刻结束，之后就处于等待A的状态。

这个过程如图5-2所示。

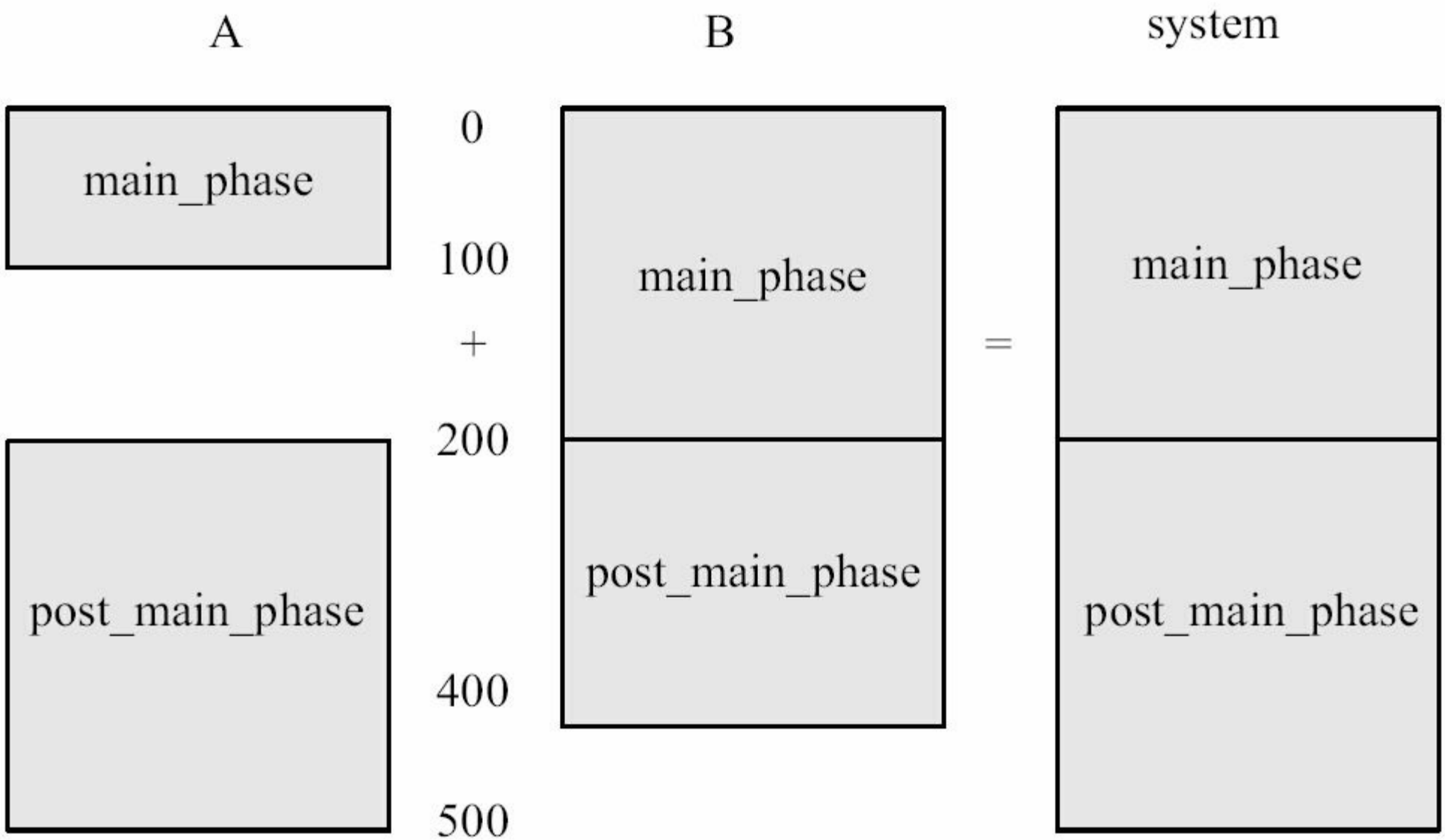

A
B
system
main_phase
post_main_phase
0
100
+
200
400
500
main_phase
post_main_phase
=
main_phase
post_main_phase

图5-2　phase的同步

无论从A还是B的角度来看，都存在一段空白等待时间。但是从整个验证平台的角度来看，各个task phase之间是没有任何空白的。

上述的这种同步不仅适用于不同component的动态运行（run-time）phase之间，还适用于run_phase与run_phase之间。这两种同步都是不同component之间的相同phase之间的同步。除了这两种同步外，还存在一种run_phase与post_shutdown_phase之间的同步。这种同步的特殊之处在于，它是同一个component的不同类型phase（两类task phase，即run_phase与run-time phase）之间的同步，即同一个component的run_phase与其post_shutdown_phase全部完成才会进入下一个phase（extract_phase）。例如，假设整个验证平台中只在A中控制objection：

代码清单　5-7

文件：src/ch5/section5.1/5.1.3/phase_wait2/A.sv

```
19 task A::post_shutdown_phase(uvm_phase phase);
20   phase.raise_objection(this);
21   `uvm_info("A", "post shutdown phase start", UVM_LOW)
22   #300;
23   `uvm_info("A", "post shutdown phase end", UVM_LOW)
24   phase.drop_objection(this);
25 endtask
26
27 task A::run_phase(uvm_phase phase);
28   phase.raise_objection(this);
29   `uvm_info("A", "run phase start", UVM_LOW)
```

```
30    #200;
31    `uvm_info("A", "run phase end", UVM_LOW)
32    phase.drop_objection(this);
33  endtask
```

在上述代码中，post_shutdown_phase在300时刻完成，而run_phase在200时刻完成。验证平台进入extract_phase的时刻是300。

从整个验证平台的角度来说，只有所有component的run_phase和post_shutdown_phase都完成才能进入extract_phase。

无论是run-time phase之间的同步，还是run_phase与post_shutdown_phase之间的同步，或者是run_phase与run_phase之间的同步，它们都与objection机制密切相关。关于这一点，请参考5.2.1节。

*5.1.4 UVM树的遍历

在图3-2中，除了兄弟关系的component，还有一种叔侄关系的component，如my_scoreboard与my_driver，从树的层次结构上来说，scoreboard级别是高于driver的，但是，这两者build_phase的执行顺序其实也是不确定的。这两者的执行顺序除了上节提到的字典序外，还用到了图论中树的遍历方式：广度优先或是深度优先。

所谓广度优先，指的是如果i_agt的build_phase执行完毕后，接下来执行的是其兄弟component的build_phase，当所有兄弟的build_phase执行完毕后，再执行其孩子的build_phase。

所谓深度优先，指的是如果i_agt的build_phase执行完毕后，它接下来执行的是其孩子的build_phase，如果孩子还有孩子，那么再继续执行下去，一直到整棵以i_agt为树根的UVM子树的build_phase执行完毕，之后再执行i_agt的兄弟的build_phase。

UVM中采用的是深度优先的原则，对于图3-2中的scoreboard及driver的build_phase的执行顺序，i_agt实例化时名字为“i_agt”，而scb为“scb”，那么i_agt的build_phase先执行，在执行完毕后，接下来执行driver、monitor及sequencer的build_phase。当全部执行完毕后再执行scoreboard的build_phase：

```
# UVM_INFO my_agent.sv(29) @ 0: uvm_test_top.env.i_agt [agent] build_phase
# UVM_INFO my_driver.sv(16) @ 0: uvm_test_top.env.i_agt.drv [driver] build_phase
# UVM_INFO my_agent.sv(29) @ 0: uvm_test_top.env.o_agt [agent] build_phase
# UVM_INFO my_scoreboard.sv(23) @ 0: uvm_test_top.env.scb [scb] build_phase
```

反之，如果i_agt实例化时是bbb，而scb为aaa，则会先执行scb的build_phase，再执行i_agt的build_phase，接下来是driver、monitor及sequencer的build_phase。

如果读者的代码中要求scoreboard的build_phase先于driver的build_phase执行，或者要求两者的顺序反过来，那么应该立即修改这种代码，去除这种对顺序的要求。

5.1.5 super.phase的内容

在前文的代码中，有时候出现super.xxxx_phase语句，有些时候又不会出现。如在main_phase中，有时出现super.main_phase，有时又不会；在build_phase中，则一般会出现super.build_phase。那么uvm_component在其各个phase中都默认做了哪些事情呢？哪些phase应该加上super.xxxx_phase，哪些又可以不加呢？

对于build_phase来说，uvm_component对其做的最重要的事情就是3.5.3节所示的自动获取通过config_db：：set设置的参数。如果要关掉这个功能，可以在自己的build_phase中不调用super.build_phase。

除了build_phase外，UVM在其他phase中几乎没有做任何相关的事情：

代码清单 5-8

来源：UVM
源代码

```
function void uvm_component::connect_phase(uvm_phase phase);
  connect();
  return;
endfunction
function void uvm_component::start_of_simulation_phase(uvm_phase phase);
  start_of_simulation();
  return;
endfunction
function void uvm_component::end_of_elaboration_phase(uvm_phase phase);
  end_of_elaboration();
  return;
```

```
endfunction
task          uvm_component::run_phase(uvm_phase phase);
  run();
  return;
endtask
function void uvm_component::extract_phase(uvm_phase phase);
  extract();
  return;
endfunction
function void uvm_component::check_phase(uvm_phase phase);
  check();
  return;
endfunction
function void uvm_component::report_phase(uvm_phase phase);
  report();
  return;
endfunction
function void uvm_component::connect();              return; endfunction
function void uvm_component::start_of_simulation(); return; endfunction
function void uvm_component::end_of_elaboration();  return; endfunction
task          uvm_component::run();                  return; endtask
function void uvm_component::extract();              return; endfunction
function void uvm_component::check();                return; endfunction
function void uvm_component::report();               return; endfunction
function void uvm_component::final_phase(uvm_phase phase);           return; endfunction
task uvm_component::pre_reset_phase(uvm_phase phase);      return; endtask
task uvm_component::reset_phase(uvm_phase phase);         return; endtask
task uvm_component::post_reset_phase(uvm_phase phase);     return; endtask
task uvm_component::pre_configure_phase(uvm_phase phase);  return; endtask
task uvm_component::configure_phase(uvm_phase phase);      return; endtask
task uvm_component::post_configure_phase(uvm_phase phase); return; endtask
task uvm_component::pre_main_phase(uvm_phase phase);       return; endtask
task uvm_component::main_phase(uvm_phase phase);           return; endtask
task uvm_component::post_main_phase(uvm_phase phase);      return; endtask
```

```
task uvm_component::pre_shutdown_phase(uvm_phase phase);   return; endtask
task uvm_component::shutdown_phase(uvm_phase phase);       return; endtask
task uvm_component::post_shutdown_phase(uvm_phase phase);  return; endtask
```

由如上代码可以看出，除build_phase外，在写其他phase时，完全可以不必加上super.xxxx_phase语句，如第2章中所有的super.main_phase都可以去掉。当然，这个结论只适用于直接扩展自uvm_component的类。如果是扩展自用户自定义的类，如base_test类，且在其某个phase，如connect_phase中定义了一些重要内容，那么在具体测试用例的connect_phase中就不应该省略super.connect_phase。

*5.1.6 build阶段出现UVM_ERROR停止仿真

在2.2.4节的代码清单2-18中，如果使用config_db：：get无法得到virtual interface，就会直接调用uvm_fatal结束仿真。由于virtual interface对于一个driver来说是必须的，所以这种uvm_fatal直接退出的使用方式是非常常见的。

但是，事实上，如果这里使用uvm_error，也会退出：

代码清单 5-9

```
文件：src/ch5/section5.1/5.1.6/my_driver.sv
 12    virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 13       super.build_phase(phase);
 14       if(!uvm_config_db#(virtual my_if)::get(this, "", "vif", vif))
 15          `uvm_fatal("my_driver", "virtual interface must be set for vif!!!")
 16       `uvm_error("my_driver", "UVM_ERROR test")
 17    endfunction
```

如上所示的代码运行时会给出如下错误提示：

```
# UVM_ERROR my_driver.sv(16) @ 0: uvm_test_top.env.i_agt.drv [my_driver] UVM_ERROR test
# UVM_FATAL @ 0: reporter [BUILDERR] stopping due to build errors
```

这里给出的uvm_fatal是UVM内部自定义的。在end_of_elaboration_phase及其前的phase中，如果出现了一个或多个

UVM_ERROR，那么UVM就认为出现了致命错误，会调用uvm_fatal结束仿真。

UVM的这个特性在小型设计中体现不出优势，但是在大型设计中，这一特性非常有用。大型设计中，真正仿真前的编译、优化可能会花费一个多小时的时间。完成编译、优化后开始仿真，几秒钟后，出现一个uvm_fatal就停止仿真。当修复了这个问题后，再次重新运行，发现又有一个uvm_fatal出现。如此反复，可能会耗费大量时间。但是如果将这些uvm_fatal替换为uvm_error，将所有类似的问题一次性暴露出来，一次性修复，这会极大缩减时间，提高效率。

*5.1.7 phase的跳转

在之前的所有表述中，各个phase都是顺序执行的，前一个phase执行完才执行后一个。但是并没有介绍过当后一个phase执行后还可以再执行一次前面的phase。而“跳转”这个词则完全打破了这种观念：phase之间可以互相跳来跳去。

phase的跳转是比较高级的功能，这里仅举一个最简单的例子，实现main_phase到reset_phase的跳转。

假如在验证平台中监测到reset_n信号为低电平，则马上从main_phase跳转到reset_phase。driver的代码如下：

代码清单 5-10

文件：src/ch5/section5.1/5.1.7/my_driver.sv

```
23 task my_driver::reset_phase(uvm_phase phase);
24   phase.raise_objection(this);
25   `uvm_info("driver", "reset phase", UVM_LOW)
26   vif.data <= 8'b0;
27   vif.valid <= 1'b0;
28   while(!vif.rst_n)
29     @(posedge vif.clk);
30   phase.drop_objection(this);
31 endtask
32
33 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
34   `uvm_info("driver", "main phase", UVM_LOW)
35   fork
36     while(1) begin
37       seq_item_port.get_next_item(req);
```

```
38        drive_one_pkt(req);
39        seq_item_port.item_done();
40      end
41      begin
42        @(negedge vif.rst_n);
43        phase.jump(uvm_reset_phase::get());
44      end
45    join
46  endtask
```

reset_phase主要做一些清理工作，并等待复位完成。main_phase中一旦监测到reset_n为低电平，则马上跳转到reset_phase。

在top_tb中，控制复位信号代码如下：

代码清单　5-11

文件：src/ch5/section5.1/5.1.7/top_tb.sv

```
43 initial begin
44   rst_n = 1'b0;
45   #1000;
46   rst_n = 1'b1;
47   #3000;
48   rst_n = 1'b0;
49   #3000;
50   rst_n = 1'b1;
51 end
```

在my_case中控制objection代码如下：

代码清单　5-12

文件：src/ch5/section5.1/5.1.7/my_case0.sv

```
 14 task my_case0::reset_phase(uvm_phase phase);
 15   `uvm_info("case0", "reset_phase", UVM_LOW)
 16 endtask
 17
 18 task my_case0::main_phase(uvm_phase phase);
 19   phase.raise_objection(this);
 20   `uvm_info("case0", "main_phase", UVM_LOW)
 21   #10000;
 22   phase.drop_objection(this);
 23 endtask
```

运行上述的例子，则显示：

```
# UVM_INFO my_case0.sv(15) @ 0: uvm_test_top [case0] reset_phase
# UVM_INFO my_driver.sv(25) @ 0: uvm_test_top.env.i_agt.drv [driver] reset phase
# UVM_INFO my_case0.sv(20) @ 1100: uvm_test_top [case0] main_phase
# UVM_INFO my_driver.sv(34) @ 1100: uvm_test_top.env.i_agt.drv [driver] main phase
# UVM_INFO /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_phase.svh(1314) @ 4000: repo-rter[PH_JUMP] phase r
# UVM_WARNING @ 4000: main_objection [OBJTN_CLEAR] Object 'uvm_top' cleared
ob jection counts for main_objection
# UVM_INFO my_case0.sv(15) @ 4000: uvm_test_top [case0] reset_phase
# UVM_INFO my_driver.sv(25) @ 4000: uvm_test_top.env.i_agt.drv [driver] reset phase
# UVM_INFO my_case0.sv(20) @ 7100: uvm_test_top [case0] main_phase
# UVM_INFO my_driver.sv(34) @ 7100: uvm_test_top.env.i_agt.drv [driver] main phase
```

很明显，整个验证平台都从main_phase跳转到了reset_phase。在上述运行结果中，出现了一个UVM_WARNING。这是因为在my_driver中调用jump时，并没有把my_case0中提起的objection进行撤销。加入跳转后，整个验证平台phase的运行图实现变为如图5-3所示形式。

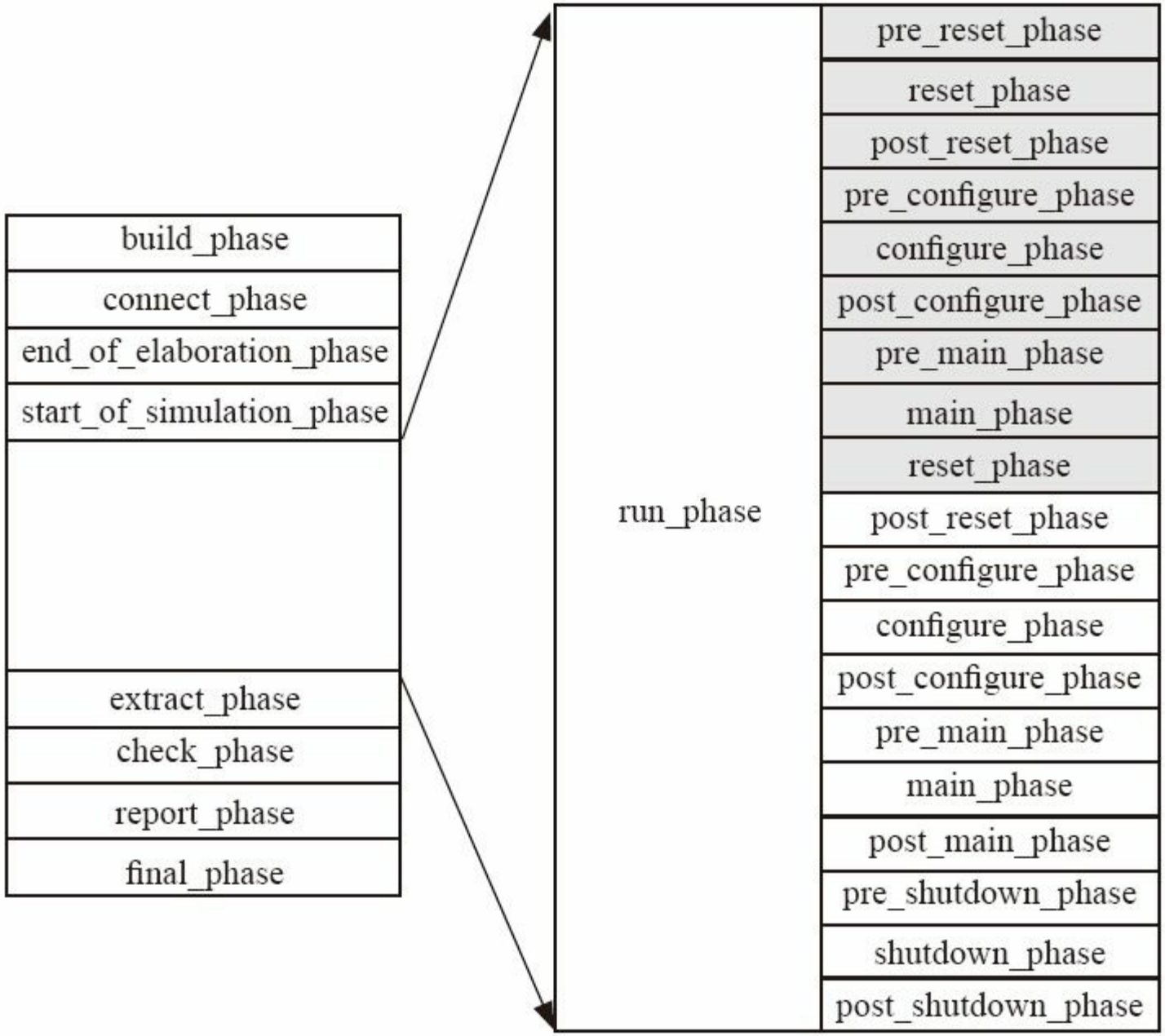

build_phase
connect_phase
end_of_elaboration_phase
start_of_simulation_phase
extract_phase
check_phase
report_phase
final_phase
run_phase
pre_reset_phase
reset_phase
post_reset_phase
pre_configure_phase
configure_phase
post_configure_phase
pre_main_phase
main_phase
reset_phase
post_reset_phase
pre_configure_phase
configure_phase
post_configure_phase
pre_main_phase
main_phase
post_main_phase
pre_shutdown_phase
shutdown_phase
post_shutdown_phase

图5-3　向前跳转后的phase运行图

图中灰色区域的phase在整个运行图中出现了两次。

跳转中最难的地方在于跳转前后的清理和准备工作。如上面的运行结果中的警告信息就是因为没有及时对objection进行清理。对于scoreboard来说，这个问题可能尤其严重。在跳转前，scoreboard的expect_queue中的数据应该清空，同时要容忍跳转后DUT可能输出一些异常数据。

在my_driver中使用了jump函数，它的原型是：

代码清单　5-13

来源：UVM
源代码
```
function void uvm_phase::jump(uvm_phase phase);
```

jump函数的参数必须是一个uvm_phase类型的变量。在UVM中，这样的变量共有如下几个：

代码清单　5-14

来源：UVM
源代码
```
uvm_build_phase::get();
uvm_connect_phase::get();
```

```
uvm_end_of_elaboration_phase::get();
uvm_start_of_simulation_phase::get();
uvm_run_phase::get();
uvm_pre_reset_phase::get();
uvm_reset_phase::get();
uvm_post_reset_phase::get();
uvm_pre_configure_phase::get();
uvm_configure_phase::get();
uvm_post_configure_phase::get();
uvm_pre_main_phase::get();
uvm_main_phase::get();
uvm_post_main_phase::get();
uvm_pre_shutdown_phase::get();
uvm_shutdown_phase::get();
uvm_post_shutdown_phase::get();
uvm_extract_phase::get();
uvm_check_phase::get();
uvm_report_phase::get();
uvm_final_phase::get();
```

但并不是所有的phase都可以作为jump的参数。如代码清单5-10中将jump的参数替换为uvm_build_phase：：get（），那么运行验证平台后会给出如下结果：

```
UVM_FATAL /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_root.svh(922) @ 4000: reporte r [RUNPHSTIME] The ru
```

所以往前跳转到从build到start_of_simulation的function phase是不可行的。如果把参数替换为uvm_run_phase：：get（），也是不可行的：

```
UVM_FATAL /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_phase.svh(1697) @ 4000: reporte r [PH_BADJUMP] phas
```

UVM会提示出run_phase不是main_phase的先驱phase或者后继phase。这非常容易理解。在图5-1中，run_phase是与12个动态运行的phase并行运行的，不存在任何先驱或者后继的关系。

那么哪些phase可以作为jump的参数呢？在代码清单5-14中，uvm_pre_reset_phase：：get（）后的所有phase都可以。代码清单5-10中从main_phase跳转到reset_phase是一种向前跳转，这种向前跳转中，只能是main_phase前的动态运行phase中的一个。除了向前跳转外，还可以向后跳转。如从main_phase跳转到shutdown_phase。在向后跳转中，除了动态运行的phase外，还可以是函数phase，如可以从main_phase跳转到final_phase。

5.1.8 phase机制的必要性

Verilog中有非阻塞赋值和阻塞赋值，相对应的，在仿真器中要实现分为NBA区域和Active区域[1]，这样在不同的区域做不同的事情，可以避免因竞争关系导致的变量值不确定的情况。同样的，验证平台是很复杂的，要搭建一个验证平台是一件相当繁杂的事情，要正确地掌握并理顺这些步骤是一个相当艰难的过程。

举一个最简单的例子，一个env下面会实例化agent、scoreboard、reference model等，agent下面又会有sequencer、driver、monitor。并且，这些组件之间还有连接关系，如agent中monitor的输出要送给scoreboard或reference model，这种通信的前提是要先将reference model和scoreboard连接在一起。那么可以：

代码清单 5-15

```
scoreboard = new;
reference_model = new;
reference_model.connect(scoreboard);
agent = new;
agent.driver = new;
agent.monitor = new;
agent.monitor.connect(scoreboard);
```

这里面反应出来的问题就是最后一句话一定要放在最后写，因为连接的前提是所有的组件已经实例化。但是，reference_model.connect（scoreboard）的要求则没有那么高，只需要在上述代码中reference_model=new之后任何一个地方编写即

可。可以看出，代码的书写顺序会影响代码的实现。

若要将代码顺序的影响降低到最低，可以按照如下方式编写：

代码清单　5-16

```
scoreboard = new;
reference_model = new;
agent = new;
agent.driver = new;
agent.monitor = new;
reference_model.connect(scoreboard);
agent.monitor.connect(scoreboard);
```

只要将连接语句放在最后两行写就没有关系了。UVM采用了这种方法，它将前面实例化的部分都放在build_phase来做，而连接关系放在connect_phase来做，这就是phase最初始的来源。

在不同时间做不同的事情，这就是UVM中phase的设计哲学。但是仅仅划分成phase是不够的，phase的自动执行功能才极大方便了用户。在代码清单5-16中，当new语句执行完成后，后面的connect语句肯定就会自动执行。现引入phase的概念，将前面new的部分包裹进build_phase里面，把后面的connect语句包裹进connect_phase里面，很自然的，当build_phase执行结束就应该自动执行connect_phase。

phase的引入在很大程度上解决了因代码顺序杂乱可能会引发的问题。遵循UVM的代码顺序划分原则（如build_phase做实例化

工作，connect_phase做连接工作等），可以在很大程度上减少验证平台开发者的工作量，使其从一部分杂乱的工作中解脱出来。

[1] 可以参照《IEEE Std 1364—2005 IEEE Standard Verilog® Hardware Description Language》。

5.1.9 phase的调试

UVM的phase机制是如此的复杂，如果碰到问题后每次都使用uvm_info在每个phase打印不同的信息显然是不能满足要求的。UVM提供命令行参数UVM_PHASE_TRACE来对phase机制进行调试，其使用方式为：

代码清单 5-17

```
<sim command> +UVM_PHASE_TRACE
```

这个命令的输出非常直观，下面列出了部分输出信息：

```
# UVM_INFO /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_phase.svh(1124) @ 0: reporter [PH/TRC/STRT] Phase
# UVM_INFO /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_phase.svh(1203) @ 0: reporter [PH/TRC/SKIP] Phase
# UVM_INFO /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_phase.svh(1381) @ 0: reporter [PH/TRC/DONE] Phase
# UVM_INFO /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_phase.svh(1403) @ 0: reporter [PH/TRC/SCHEDULED] I
# UVM_INFO /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_phase.svh(1124) @ 0: reporter [PH/TRC/STRT] Phase
# UVM_INFO /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_phase.svh(1203) @ 0: reporter [PH/TRC/SKIP] Phase
# UVM_INFO /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_phase.svh(1381) @ 0: reporter [PH/TRC/DONE] Phase
```

5.1.10 超时退出

在验证平台运行时，有时测试用例会出现挂起（hang up）的情况。在这种状态下，仿真时间一直向前走，driver或者monitor并没有发出或者收到transaction，也没有UVM_ERROR出现。一个测试用例的运行时间是可以预计的，如果超出了这个时间，那么通常就是出错了。在UVM中通过uvm_root的set_timeout函数可以设置超时时间：

代码清单 5-18

```
文件：src/ch5/section5.1/5.1.10/base_test.sv
 18 function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
 19     super.build_phase(phase);
 20     env  =  my_env::type_id::create("env", this);
 21     uvm_top.set_timeout(500ns, 0);
 22 endfunction
```

set_timeout函数有两个参数，第一个参数是要设置的时间，第二个参数表示此设置是否可以被其后的其他set_timeout语句覆盖。如上的代码将超时的时间定为500ns。如果达到500ns时，测试用例还没有运行完毕，则会给出一条uvm_fatal的提示信息，并退出仿真。

默认的超时退出时间是9200s，是通过宏UVM_DEFAULT_TIMEOUT来指定的：

代码清单 5-19

来源：UVM
源代码

```
`define UVM_DEFAULT_TIMEOUT 9200s
```

除了可以在代码中设置超时退出时间外，还可以在命令行中设置：

代码清单　5-20

```
<sim command> +UVM_TIMEOUT=<timeout>,<overridable>
```

其中timeout是要设置的时间，overridable表示能否被覆盖，其值可以是YES或者NO。如将超时退出时间设置为300ns，且可以被覆盖，代码如下：

代码清单　5-21

```
<sim command> +UVM_TIMEOUT="300ns, YES"
```

5.2 objection机制

*5.2.1 objection与task phase

objection字面的意思就是反对、异议。在验证平台中，可以通过drop_objection来通知系统可以关闭验证平台。当然，在撤销之前首先要raise_objection。想象一下，如果读者与别人交流时事先并没有提出异议，然后忽然说：我撤销刚才的反对意见（objection）。那么，事先并没有提出任何反对意见的你一定会令对方迷惑不已，所以，为了良好的沟通，在drop_objection之前，一定要先raise_objection：

代码清单 5-22

```
task main_phase(uvm_phase phase);
   phase.raise_objection(this);
…
   phase.drop_objection(this);
endtask
```

在进入到某一phase时，UVM会收集此phase提出的所有objection，并且实时监测所有objection是否已经被撤销了，当发现所有都已经撤销后，那么就会关闭此phase，开始进入下一个phase。当所有的phase都执行完毕后，就会调用$finish来将整个的验证平台关掉。

如果UVM发现此phase没有提起任何objection，那么将会直接跳转到下一个phase中。假如验证平台中只有（注意“只有”两个字）driver中提起了异议，而monitor等都没有提起，代码如下所示：

代码清单　5-23

```
task driver::main_phase(uvm_phase phase);
  phase.raise_objection(this);
  #100;
  phase.drop_objection(this);
endtask
task monitor::main_phase(uvm_phase phase);
  while(1) begin
…
  end
endtask
```

很显然，driver中的代码是可以执行的，那么monitor中的代码能够执行吗？答案是肯定的。当进入到monitor后，系统会监测到已经有objection被提起了，所以会执行monitor中的代码。当过了100个单位时间之后，driver中的objection被撤销。此时，UVM监测发现所有的objection都被撤销了（因为只有driver raise_objection），于是UVM会直接“杀死”monitor中的无限循环进程，并跳到下一个phase，即post_main_phase（）。假设进入main_phase的时刻为0，那么进入post_main_phase的时刻就为100。

如果driver根本就没有raise_objection，并且所有其他component的main_phase里面也没有raise_objection，即driver变成如下情况：

代码清单　5-24

```
task driver::main_phase(uvm_phase phase);
  #100;
endtask
```

那么在进入main_phase时，UVM发现没有任何objection被提起，于是虽然driver中有一个延时100个单位时间的代码，monitor中有一个无限循环，UVM也都不理会，它会直接跳转到post_main_phase，假设进入main_phase的时刻为0，那么进入post_main_phase的时刻还是为0。UVM用户一定要注意：如果想执行一些耗费时间的代码，那么要在此phase下任意一个component中至少提起一次objection。

上述结论只适用于12个run-time的phase。对于run_phase则不适用。由于run_phase与动态运行的phase是并行运行的，如果12个动态运行的phase有objection被提起，那么run_phase根本不需要raise_objection就可以自动执行，代码如下：

代码清单　5-25

文件：src/ch5/section5.2/5.2.1/objection1/my_case0.sv

```
 14 task my_case0::main_phase(uvm_phase phase);
 15   phase.raise_objection(this);
 16   #100;
 17   phase.drop_objection(this);
 18 endtask
 19
 20 task my_case0::run_phase(uvm_phase phase);
```

```
21    for(int i = 0; i < 9; i++) begin
22      #10;
23      `uvm_info("case0", "run_phase is executed", UVM_LOW)
24    end
25  endtask
```

在上述代码运行结果中，可以看到“run_phase is executed”被输出了9次。

反之，如果上述run_phase与main_phase中的内容互换：

代码清单　5-26

文件：src/ch5/section5.2/5.2.1/objection2/my_case0.sv

```
14  task my_case0::main_phase(uvm_phase phase);
15    for(int i = 0; i < 9; i++) begin
16      #10;
17      `uvm_info("case0", "main_phase is executed", UVM_LOW)
18    end
19  endtask
20
21  task my_case0::run_phase(uvm_phase phase);
22    phase.raise_objection(this);
23    #100;
24    phase.drop_objection(this);
25  endtask
```

由运行结果中可以看到，没有任何“main_phase is executed”输出。因此对于run_phase来说，有两个选择可以使其中的代码运

行：第一是其他动态运行的phase中有objection被提起。在这种情况下，运行时间受其他动态运行phase中objection控制，run_phase只能被动地接受。第二是在run_phase中raise_objection。这种情况下运行时间完全受run_phase控制。

component、phase与objection是UVM运行的基础，其相互关系也是比较难以理解的。如果读者看了上面的例子依然对这三者的关系很迷惑，那么可以参照接下来这个有趣的例子。

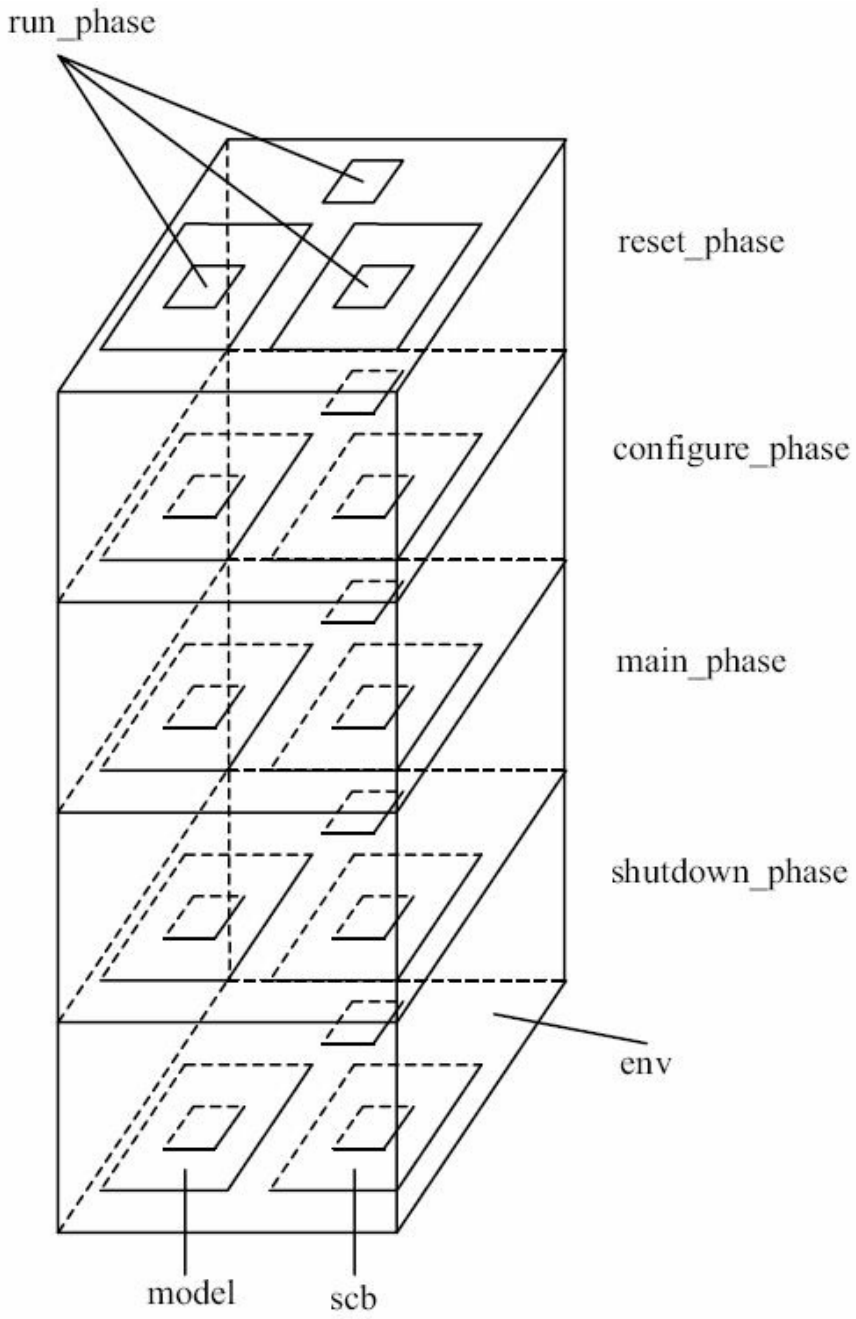

run_phase
reset_phase
configure_phase
main_phase
shutdown_phase
env
model
scb

图5-4　component与phase

如图5-4所示为一个env与model、scb组成的大楼，每一层就是一个phase（为了方便起见，图中并没有将12个动态运行的phase全部列出，而只列出了reset_phase等4个phase）。这个建筑物的每一层都有三个房间，其中最外层最大的就是env，而其中又包含了model与scb两个房间，换句话说，由于env是model和scb的父结点，所以model与scb房间其实是房中房。在env、model、scb三个房间中，分别有一个历史遗留的井run_phase（OVM遗留的），可以直通楼顶。

在每层的每个房间及各个房间的井中，都有可能存在着僵尸（objection）及需要通电才能运转的机器（在每个phase中写的代码）。整大楼处于断电的状态。

有一棵叫UVM的植物，在经历start_of_simulation_phase之后，于0时刻进入到最顶层（12层）：pre_reset_phase。在进入后，它首先为本层所有房间及所有井（run_phase）通电，如果房间及井中有机器，那么这些机器就会运转起来。

这棵植物在通电完毕后开始检测各个房间中有没有僵尸（是否raise_objection），如果任意一个房间中有僵尸，那么就开始消灭这些僵尸，一直到所有僵尸消失（drop_objection）。当所有的僵尸被消灭后，它就断掉这一层各个房间的电，所有正在运转的机器将会停止运转，然后这棵UVM植物进入下一层。需要注意的是，它只断掉所有房间的电，而没有断掉所有的井（run_phase）中的电，所以各个井中如果有机器，那么它们依然在正常运转。

如果所有的房间中都没有僵尸，那么它直接断电并进入下一层，在这种情况下，所有的机器只发出一声轰鸣声，便被紧急终止了。

这棵UVM植物一层一层地消灭僵尸，一直到消灭完底层post_shutdown_phase中的僵尸。此时，12个动态运行phase全部结束，它们中的僵尸全部被消灭完毕。这棵UVM植物并不是立即进入到extract_phase，而是开始查看所有的井（run_phase）中是否有僵尸，如果有那么就开始消灭它们，一直到所有的僵尸消失，否则直接断掉井中的电，所有井中正在运转的机器停止运转。当run_phase中的僵尸也被消灭完毕后，开始进入extract_phase。

所以，欲使每一层中的机器（代码）运转起来，只要在这一层的任何一个房间（任意一个component）中加入一个僵尸（raise_objection）即可。如果僵尸永远不能消失（phase.raise_objection与phase.drop_objection之间是一个无限循环），那么就会一直停留在这一层。

*5.2.2 参数phase的必要性

在UVM中所有phase的函数/任务参数中，都有一个phase：

代码清单 5-27

```
task main_phase(uvm_phase phase);
```

这个输入参数中的phase是什么意思？为什么要加入这样一个东西？看了上一小节的例子，应该能够回答这个问题了。因为要便于在任何component的main_phase中都能raise_objection，而要raise_objection则必须通过phase.raise_objection来完成，所以必须将phase作为参数传递到main_phase等任务中。可以想象，如果没有这个phase参数，那么想要提起一个objection就会比较麻烦了。

这里比较有意思的一个问题是：类似build_phase等function phase是否可以提起和撤销objection呢？

代码清单 5-28

```
文件：src/ch5/section5.2/5.2.2/my_case0.sv
 35 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 36   phase.raise_objection(this);
 37   super.build_phase(phase);
 38   phase.drop_objection(this);
 39 endfunction
```

运行上述代码后系统并不会报错。不过，一般不会这么用。phase的引入是为了解决何时结束仿真的问题，它更多面向main_phase等task phase，而不是面向function phase。

5.2.3 控制objection的最佳选择

在整棵UVM树中，树的结点是如此之多，那么在什么地方控制objection最合理呢？driver中、monitor中、agent中、scoreboard中抑或是env中？

在第2章的例子中，最初是在driver中raise_objection，但是事实上，在driver中raise_objection的时刻并不多。这是因为driver中通常都是一个无限循环的代码，如下所示：

代码清单 5-29

```
task driver::main_phase(uvm_phase phase);
  while(1) begin
    seq_item_port.get_next_item(req);
…//drive the interface according to the information in req
  end
endtask
```

如果是在while（1）的前面raise_objection，在while循环的end后面drop_objection：

代码清单 5-30

```
task driver::main_phase(uvm_phase phase);
  phase.raise_objection(this);
  while(1) begin
```

```
    seq_item_port.get_next_item(req);
…//drive the interface according to the information in req
  end
  phase.drop_objection(this);
endtask
```

由于无限循环的特性，phase.drop_objection永远不会被执行到。

一种常见的思维是将raise_objection放在get_next_item之后，这样的话，就可以避免无限循环的问题：

代码清单　5-31

```
task driver::main_phase(uvm_phase phase);
  while(1) begin
    seq_item_port.get_next_item(req);
    phase.raise_objection(this);
…//drive the interface according to the information in req
    phase.drop_objection(this);
  end
endtask
```

但是关键问题是如果其他地方没有raise_objection的话，那么如前面所言，UVM不等get_next_item执行完成就已经跳转到了post_main_phase。

在monitor和reference model中，都有类似的情况，它们都是无限循环的。因此一般不会在driver和monitor中控制objection。

一般来说，在一个实际的验证平台中，通常会在以下两种objection的控制策略中选择一种：

第一种是在scoreboard中进行控制。在2.3.6节中，scoreboard的main_phase被做成一个无限循环。如果要在scoreboard中控制objection，则需要去除这个无限循环，通过config_db：：set的方式设置收集到的transaction的数量pkt_num，当收集到足够数量的transaction后跳出循环：

代码清单　5-32

```
task my_scoreboard::main_phase(uvm_phase phase);
  phase.raise_objection(this);
  fork
    while (1) begin
      exp_port.get(get_expect);
      expect_queue.push_back(get_expect);
    end
    for(int i = 0; i < pkt_num; i++) begin
      act_port.get(get_actual);
…
    end
  join_any
  phase.drop_objection(this);
endtask
```

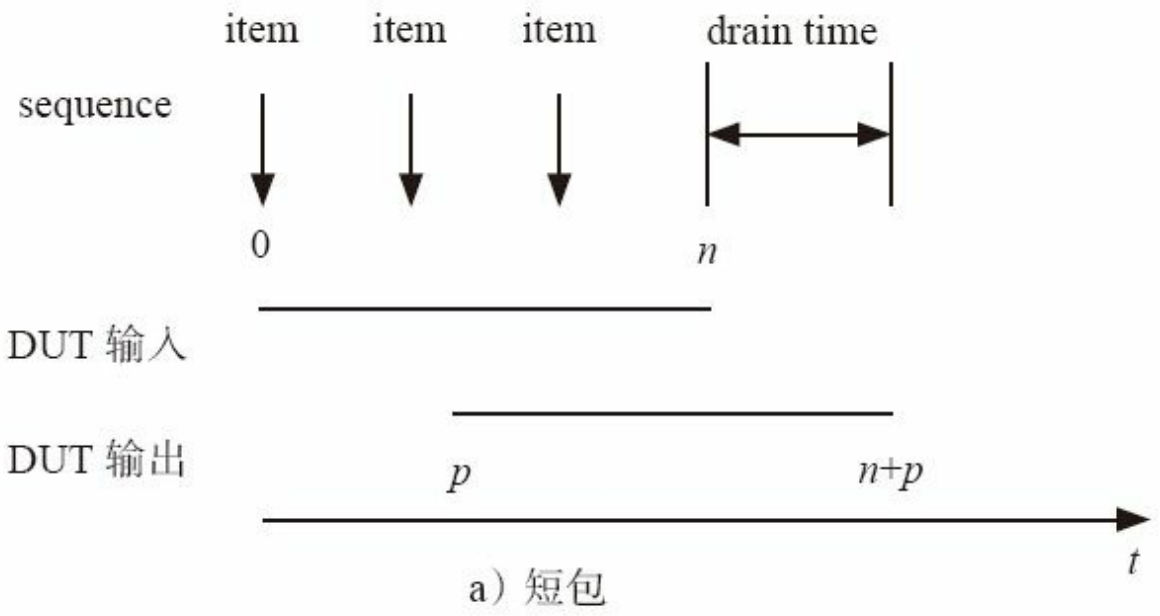
上述代码中将原本的fork...join语句改为了fork...join_any。当收集到足够的transaction后，第二个进程终结，从而跳出fork...join_any，执行drop_objection语句。

第二种，如在第2章中介绍的例子那样，在sequence中提起sequencer的objection，当sequence完成后，再撤销此objection。

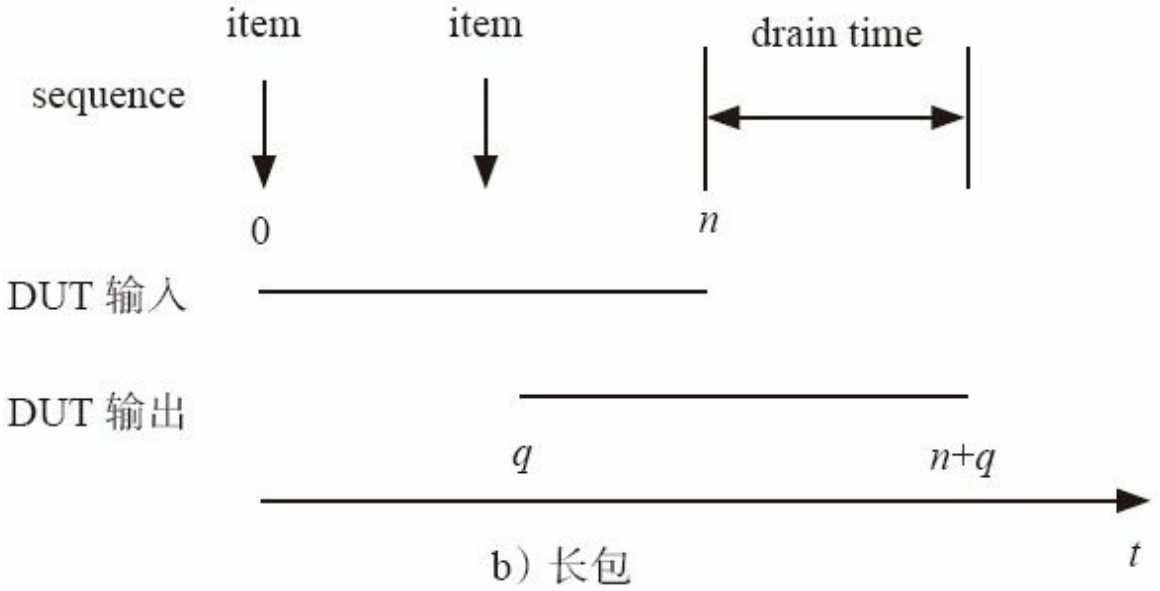
以上两种方式在验证平台中都有应用。其中用得最多的是第二种，这种方式是UVM提倡的方式。UVM的设计哲学就是全部由sequence来控制激励的生成，因此一般情况下只在sequence中控制objection。

5.2.4 set_drain_time的使用

无论任何功能的模块，都有其处理延时。如图5-5a所示，0时刻DUT开始接收输入，直到p时刻才有数据输出。


item
item
item
drain time
sequence
0
n
DUT 输入
DUT 输出
p
n+p
t

a）短包


item
item
drain time
sequence
0
n
DUT 输入
DUT 输出
q
n+q
t

b）长包

图5-5　drain time

在sequence中，n时刻发送完毕最后一个transaction，如果此时立刻drop_objection，那么最后在n+p时刻DUT输出的包将无法接收到。因此，在sequence中，最后一个包发送完毕后，要延时p时间才能drop_objection：

代码清单　5-33

```
virtual task body();
  if(starting_phase != null)
    starting_phase.raise_objection(this);
  repeat (10) begin
    `uvm_do(m_trans)
  end
  #100;
  if(starting_phase != null)
    starting_phase.drop_objection(this);
endtask
```

要延时的时间与激励有很大关系。图5-5a中处理的是短包，所以延时只有p；图5-5b中处理的是长包，延时的时间大于图5-5a。在随机发送激励时，延时的大小也是随机的。所以无法精确地控制延时，只能根据激励选择一个最大的延时。

这种延时对于所有sequence来说都是必须的，如果在每个sequence中都这样延时，显然是不合理的。如果某一天，DUT对于同样的激励，其处理延时变大，那就要修改所有的延时大小。

考虑到这种情况，UVM为所有的objection设置了drain_time这一属性。所谓drain_time，用5.2.1节中最后的例子来说，就是当所有的僵尸都被消灭后，UVM植物并不马上进入下一层，而是等待一段时间，在这段时间内，那些正在运行的机器依然在正常地运转，时间一到才会进入下一层。drain_time的设置方式为：

代码清单　5-34

```
文件：src/ch5/section5.2/5.2.4/base_test.sv
 24 task base_test::main_phase(uvm_phase phase);
 25   phase.phase_done.set_drain_time(this, 200);
 26 endtask
```

phase_done是uvm_phase内定义的一个成员变量：

代码清单　5-35

```
来源：UVM
源代码
uvm_objection phase_done; // phase done objection
```

当调用phase.raise_objection或者phase.drop_objection时，其实质是调用phase_done的raise_objection和drop_objection。当UVM在main_phase检测到所有的objection被撤销后，接下来会检查有没有设置drain_time。如果没有设置，则马上进入到post_main_phase，否则延迟drain_time后再进入post_main_phase。如果在post_main_phase及其后都没有提起objection，那么最终会

前进到final_phase，结束仿真。

为了检测drain_time的效果，在case0_sequence中使用uvm_info打印出drop_objection：

代码清单　5-36

```
文件：src/ch5/section5.2/5.2.4/my_case0.sv
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 10   virtual task body();
…
 13     #10000;
 14     `uvm_info("case0_sequence", "drop objection",  UVM_LOW)
…
 17   endtask
…
 20 endclass
```

同时在my_case0中打印出进入post_main_phase和final_phase的时间：

代码清单　5-37

```
文件：src/ch5/section5.2/5.2.4/my_case0.sv
 44 task my_case0::post_main_phase(uvm_phase phase);
 45    `uvm_info("my_case0", "enter post_main phase", UVM_LOW)
 46 endtask
 47
```

```
48 function void my_case0::final_phase(uvm_phase phase);
49     `uvm_info("my_case0", "enter final phase", UVM_LOW)
50 endfunction
```

运行上述代码，可以得到如下结果：

```
# UVM_INFO my_case0.sv(14) @ 10000: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@case0_sequence [case0_sequence] dro
# UVM_INFO my_case0.sv(45) @ 10200: uvm_test_top [my_case0] enter post_main phase
# UVM_INFO my_case0.sv(49) @ 10200: uvm_test_top [my_case0] enter final phase
```

可以看到在10000时刻drop_objection，但是直到10200时刻才进入post_main_phase，两者之间的时间差200恰恰就是在base_test中设置的drain_time。

drain_time属于uvm_objection的一个特性。如果只在main_phase中调用set_drain_time函数设置drain_time，但是在其他phase，如configure_phase中没有设置，那么在configure_phase中所有的objection被撤销后，会立即进入post_configure_phase。换言之，一个phase对应一个drain_time，并不是所有的phase共享一个drain_time。在没有设置的情况下，drain_time的默认值为0。

*5.2.5 objection的调试

与phase的调试一样，UVM同样提供了命令行参数来进行objection的调试：

代码清单 5-38

```
<sim command> +UVM_OBJECTION_TRACE
```

对上一节的例子加入此命令行参数后的部分输出如下：

```
# UVM_INFO @ 0: main_objection [OBJTN_TRC] Object uvm_test_top.env.i_agt.sqr.case0_sequence raised
# UVM_INFO @ 10000: main_objection [OBJTN_TRC] Object uvm_test_top.env.i_agt.sqr.case0_sequence dro
```

在调用raise_objection时，count=1表示此次只提起了这一个objection。可以使用如下的方式一次提起两个objection：

代码清单 5-39

文件：src/ch5/section5.2/5.2.5/my_case0.sv

```
 10   virtual task body();
 11     if(starting_phase != null)
 12       starting_phase.raise_objection(this, "case0 objection", 2);
 13     #10000;
 14     if(starting_phase != null)
```

```
15        starting_phase.drop_objection(this, "case0 objection", 2);
16    endtask
```

raise_objection的第二个参数是字符串，可以为空，第三个参数为objection的数量。drop_objection的后两个参数与此类似。此时，加入UVM_OBJECTION_TRACE命令行参数的输出结果变为：

```
# UVM_INFO @ 0: main_objection [OBJTN_TRC] Object uvm_test_top.env.i_agt.sqr.case0_sequence raised
# UVM_INFO @ 10000: main_objection [OBJTN_TRC] Object uvm_test_top.env.i_agt.sqr.case0_sequence dro
```

除了上述有用信息外，还会输出一些冗余的信息：

```
# UVM_INFO @ 0: main_objection [OBJTN_TRC] Object uvm_test_top.env.i_agt.sqr added 2 objection(s) t
# UVM_INFO @ 0: main_objection [OBJTN_TRC] Object uvm_test_top.env.i_agt added 2 objection(s) to it
…
# UVM_INFO @ 10000: main_objection [OBJTN_TRC] Object uvm_test_top.env.i_agt.sqr subtracted 2 objec
# UVM_INFO @ 10000: main_objection [OBJTN_TRC] Object uvm_test_top.env.i_agt subtracted 2 objectior
```

这是因为UVM采用的是树形结构来管理所有的objection。当有一个objection被提起后，会检查从当前component一直到最顶层的uvm_top的objection的数量。上述输出结果中的total就是整个验证平台中所有活跃的（被提起且没有被撤销的）objection的数量。

5.3 domain的应用

5.3.1 domain简介

domain是UVM中一个用于组织不同组件的概念。先来看一个例子，假设DUT分成两个相对独立的部分，这两个独立的部分可以分别复位、配置、启动，但如果没有domain的概念，那么这两块独立的部分则必须同时在reset_phase复位，同时在configure_phase配置，同时进入main_phase开始正常工作。这种协同性当然是没有问题的，但是没有体现出独立性。图5-6中画出了这两个部分的driver位于同一domain的情况。

在默认情况下，验证平台中所有component都位于一个名字为common_domain的domain中。若要体现出独立性，那么两个部分的reset_phase、configure_phae、main_phase等就不应该同步。此时就应该让其中的一部分从common_domain中独立出来，使其位于不同的domain中。图5-7中列出了两个driver位于不同domain的情况。

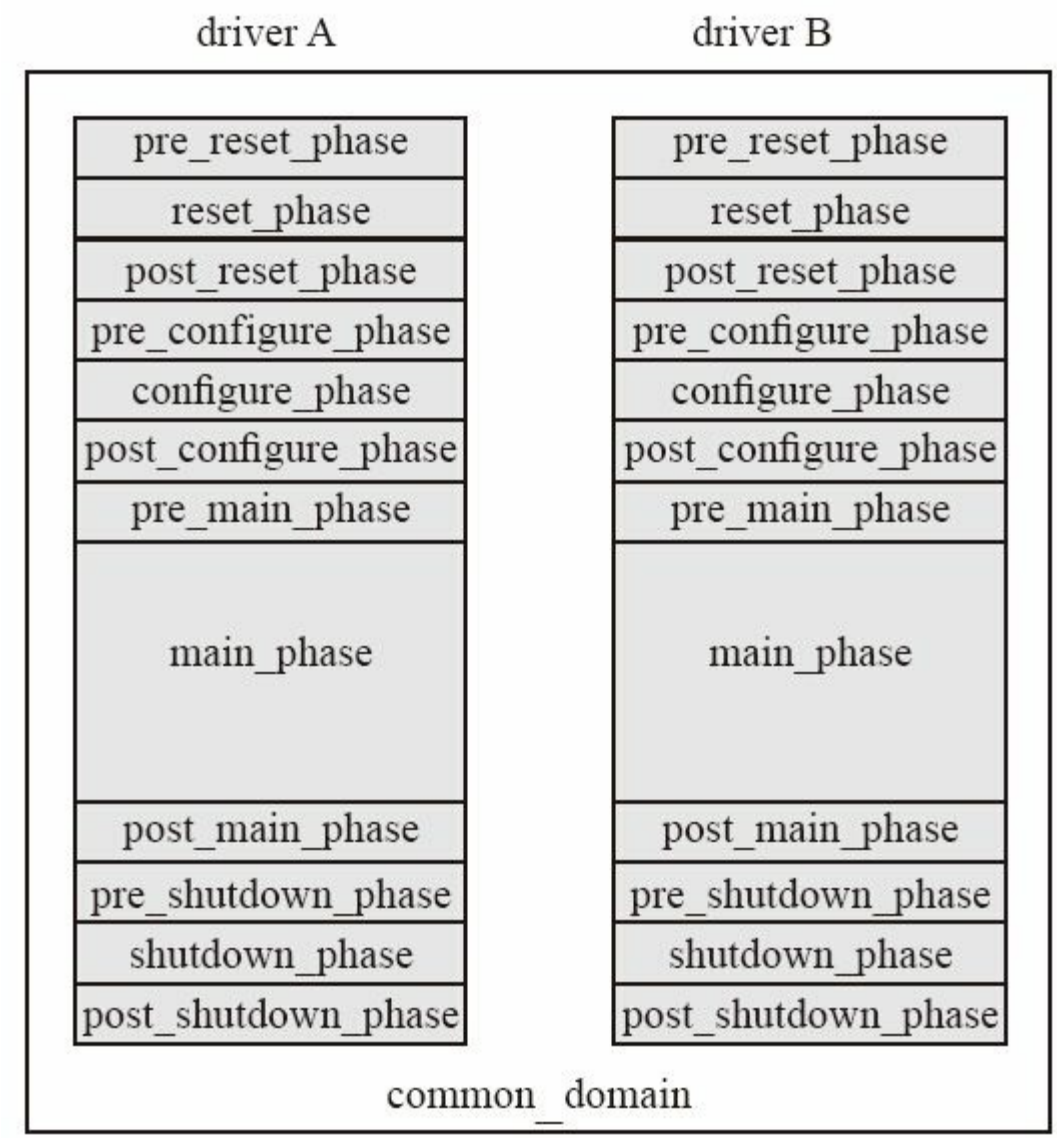


图5-6　两个driver位于同一domain

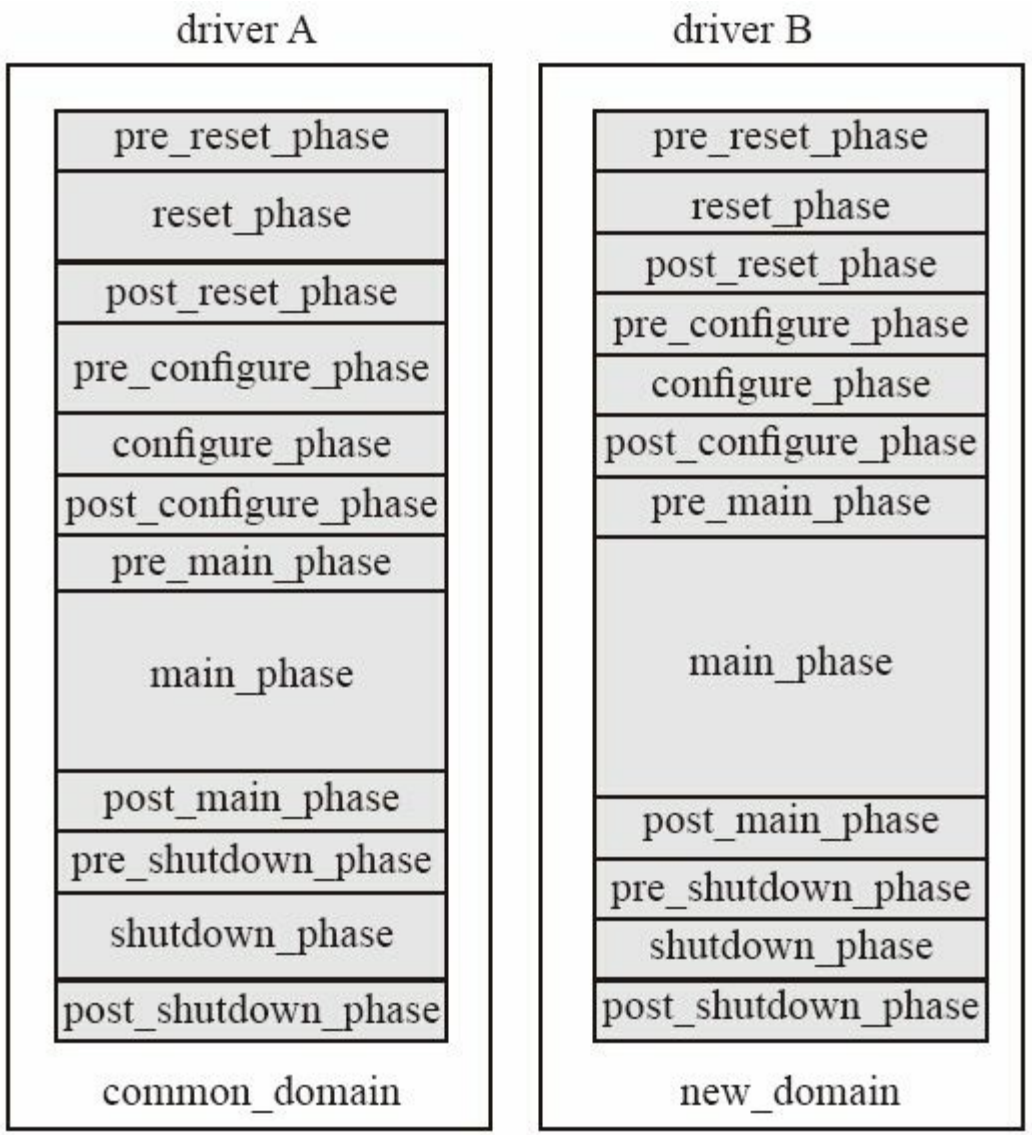


图5-7　两个driver位于不同domain

domain把两块时钟域隔开，之后两个时钟域内的各个动态运行（run_time）的phase就可以不必同步。注意，这里domain只能隔离run-time的phase，对于其他phase，其实还是同步的，即两个domain的run_phase依然是同步的，其他的function phase也是同步的。

*5.3.2 多domain的例子

若将某个component置于某个新的domain中，可以使用如下的方式：

代码清单 5-40

```
文件：src/ch5/section5.3/5.3.2/B.sv
  3 class B extends uvm_component;
  4   uvm_domain new_domain;
  5   `uvm_component_utils(B)
  6
  7   function new(string name, uvm_component parent);
  8     super.new(name, parent);
  9     new_domain = new("new_domain");
 10   endfunction
 11
 12   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 13     set_domain(new_domain);
 14   endfunction
…
 20 endclass
```

在上述代码中，新建了一个domain，并将其实例化。在connect_phase中通过set_domain将B加入到此domain中。set_domain函数的原型是：

代码清单 5-41

来源：UVM
源代码
```
function void uvm_component::set_domain(uvm_domain domain, int hier=1);
```

其第二个参数表示是否递归调用，如果为1，则B及其子孙都将全部加入到new_domain中。由于子孙的实例化一般在build_phase中完成，所以这里一般在connect_phase中调用set_domain。

当B加入到new_domain后，它与其他component（默认位于common domain中）的动态运行phase异步了。在B中：

代码清单　5-42

文件：src/ch5/section5.3/5.3.2/B.sv
```
 22 task B::reset_phase(uvm_phase phase);
 23   phase.raise_objection(this);
 24   `uvm_info("B", "enter into reset phase", UVM_LOW)
 25   #100;
 26   phase.drop_objection(this);
 27 endtask
 28
 29 task B::post_reset_phase(uvm_phase phase);
 30   `uvm_info("B", "enter into post reset phase", UVM_LOW)
 31 endtask
 32
 33 task B::main_phase(uvm_phase phase);
 34   phase.raise_objection(this);
 35   `uvm_info("B", "enter into main phase", UVM_LOW)
 36   #500;
 37   phase.drop_objection(this);
```

```
38 endtask
39
40 task B::post_main_phase(uvm_phase phase);
41   `uvm_info("B", "enter into post main phase", UVM_LOW)
42 endtask
43
```

在A中：

代码清单　5-43

文件：src/ch5/section5.3/5.3.2/A.sv

```
16 task A::reset_phase(uvm_phase phase);
17   phase.raise_objection(this);
18   `uvm_info("A", "enter into reset phase", UVM_LOW)
19   #300;
20   phase.drop_objection(this);
21 endtask
22
23 task A::post_reset_phase(uvm_phase phase);
24   `uvm_info("A", "enter into post reset phase", UVM_LOW)
25 endtask
26
27 task A::main_phase(uvm_phase phase);
28   phase.raise_objection(this);
29   `uvm_info("A", "enter into main phase", UVM_LOW)
30   #200;
31   phase.drop_objection(this);
32 endtask
33
34 task A::post_main_phase(uvm_phase phase);
```

```
 35    `uvm_info("A", "enter into post main phase", UVM_LOW)
 36 endtask
 37
```

在base_test中将A和B实例化：

代码清单　5-44

```
文件：src/ch5/section5.3/5.3.2/base_test.sv
  4 class base_test extends uvm_test;
  5
  6   A   A_inst;
  7   B   B_inst;
…
 16 endclass
 17
 18
 19 function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
 20   super.build_phase(phase);
 21   A_inst = A::type_id::create("A_inst", this);
 22   B_inst = B::type_id::create("B_inst", this);
 23 endfunction
```

运行上述代码后，可以得到如下结果：

```
# UVM_INFO B.sv(20) @ 0: uvm_test_top.B_inst [B] enter into reset phase
# UVM_INFO A.sv(18) @ 0: uvm_test_top.A_inst [A] enter into reset phase
# UVM_INFO B.sv(26) @ 100: uvm_test_top.B_inst [B] enter into post reset phase
```

```
# UVM_INFO B.sv(31) @ 100: uvm_test_top.B_inst [B] enter into main phase
# UVM_INFO A.sv(24) @ 300: uvm_test_top.A_inst [A] enter into post reset phase
# UVM_INFO A.sv(29) @ 300: uvm_test_top.A_inst [A] enter into main phase
# UVM_INFO A.sv(35) @ 500: uvm_test_top.A_inst [A] enter into post main phase
# UVM_INFO B.sv(37) @ 600: uvm_test_top.B_inst [B] enter into post main phase
```

可以清晰地看到，A和B的动态运行phase已经完全异步了。

*5.3.3 多domain中phase的跳转

上节中的A和B分别位于不同的domain中，在此种情况下，phase的跳转将只局限于某一个domain中。

A和base_test的代码与上节相同，B的代码变更为：

代码清单 5-45

```
文件：src/ch5/section5.3/5.3.3/B.sv
  3 class B extends uvm_component;
  4   uvm_domain new_domain;
  5   bit has_jumped;
  6   `uvm_component_utils(B)
  7
  8   function new(string name, uvm_component parent);
  9     super.new(name, parent);
 10     new_domain = new("new_domain");
 11     has_jumped = 0;
 12   endfunction
 13
 14   virtual function void connect_phase(uvm_phase phase);
 15     set_domain(new_domain);
 16   endfunction
…
 20 endclass
 21
 22 task B::reset_phase(uvm_phase phase);
 23   phase.raise_objection(this);
 24   `uvm_info("B", "enter into reset phase", UVM_LOW)
```

```
25    #100;
26    phase.drop_objection(this);
27  endtask
28
29  task B::main_phase(uvm_phase phase);
30    phase.raise_objection(this);
31    `uvm_info("B", "enter into main phase", UVM_LOW)
32    #500;
33    if(!has_jumped) begin
34       phase.jump(uvm_reset_phase::get());
35       has_jumped = 1'b1;
36    end
37    phase.drop_objection(this);
38  endtask
```

由B的main_phase中跳转至reset_phase。has_jumped控制着跳转只进行一次。运行上述代码后，可以得到如下结果：

```
# UVM_INFO B.sv(24) @ 0: uvm_test_top.B_inst [B] enter into reset phase
# UVM_INFO A.sv(18) @ 0: uvm_test_top.A_inst [A] enter into reset phase
# UVM_INFO B.sv(31) @ 100: uvm_test_top.B_inst [B] enter into main phase
# UVM_INFO A.sv(24) @ 300: uvm_test_top.A_inst [A] enter into post reset phase
# UVM_INFO A.sv(29) @ 300: uvm_test_top.A_inst [A] enter into main phase
# UVM_INFO A.sv(35) @ 500: uvm_test_top.A_inst [A] enter into post main phase
# UVM_INFO /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/base/uvm_phase.svh(1314) @ 600: reporter [PH_JUMP] phase ma
# UVM_INFO B.sv(24) @ 600: uvm_test_top.B_inst [B] enter into reset phase
# UVM_INFO B.sv(31) @ 700: uvm_test_top.B_inst [B] enter into main phase
```

可以看到B两次进入了reset_phase和main_phase，而A只进入了一次。domain的应用使得phase的跳转可以只局限于验证平台的一部分。

第6章　UVM中的sequence

6.1　sequence基础

6.1.1　从driver中剥离激励产生功能

在第2章的例子中，激励最初产生在driver中，后来产生在sequence中。为什么会有这个过程呢？

最开始时，driver的main_phase是这样的：

代码清单　6-1

```
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
  my_transaction tr;
  phase.raise_objection(this);
  for(int i = 0; i < 10; i++) begin
    tr = new;
    assert(tr.randomize);
    drive_one_pkt(tr);
  end
  phase.drop_objection(this);
endtask
```

如果只是施加上述一种激励，这样是可以的。但当要对DUT施加不同的激励时，那应该怎么办呢？上述代码中是施加了正确的包，而下一次测试中要在第9个transaction中加入CRC错误的包，那么可以这么写：

代码清单　6-2

```
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
  my_transaction tr;
  phase.raise_objection(this);
  for(int i = 0; i < 10; i++) begin
    tr = new;
    if(i == 8)
      assert(tr.randomize with {tr.crc_err == 1;});
    else
      assert(tr.randomize);
    drive_one_pkt(tr);
  end
  phase.drop_objection(this);
endtask
```

这就相当于将整个main_phase重新写了一遍。如果现在有了新的需求，需要再测一个超长包。那么，则需要再次改写main_phase，也就是说，每多测一种情况，就要多改写一次main_phase。如果经常改写某个任务或者函数，那么就很容易将之前对的地方改错。所以说，这种方法是不可取的，因为它的可扩展性太差，会经常带来错误。

仔细观察main_phase，其实只有从tr=new语句至drive_one_pkt之间的语句在变。有没有什么方法可以将这些语句从main_phase中独立出来呢？最好的方法就是在不同的测试用例中决定这几行语句的内容。这种想法中已经包含了激励的产生与驱动的分离这

个观点。drive_one_pkt是驱动，这是driver应该做的事情，但是像产生什么样的包、如何产生等这些事情应该从driver中独立出去。

要实现上述目标，可以使用一个函数来实现：

代码清单　6-3

```
function void gen_pkt(ref my_transaction tr);
  tr = new;
  assert(tr.randomize);
endfunction
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
  my_transaction tr;
  bit send_crc_err = 0;
  phase.raise_objection(this);
  for(int i = 0; i < 10; i++) begin
    gen_pkt(tr);
    drive_one_pkt(tr);
  end
  phase.drop_objection(this);
endtask
```

如上所示，可以定义一个产生正常包的gen_pkt函数，但是如何定义一个CRC错误包的函数呢？难道像下面这样吗？

代码清单　6-4

```
function void gen_pkt(ref my_transaction tr);
  tr = new;
```

```
  assert(tr.randomize with {crc_err == 1;});
endfunction
```

这样带来的一个最大的问题就是gen_pkt函数的重复定义，显然这样是不允许的。为了避免重复定义，有两种策略：第一种是使用虚函数。将代码清单6-3中的gen_pkt定义为virtual类型，然后在建造CRC错误的测试用例时，从my_driver派生一个新的crc_err_driver，并重载gen_pkt函数。但是这样新的问题又出现了，如何在这个测试用例中实例化这个新的driver呢？似乎只能重新定义一个my_agent [1]，为了实例化这个新的agent，又只能重新定义一个my_env。这种解决方式显然是不可取的。第二种解决方式是使定义的函数的名字是不一样的，但是在driver的main_phase中又无法执行这种具有不同名字的函数。

这是一个相当难的问题，单纯用SystemVerilog提供的一些接口是根本无法实现的。UVM为了解决这个问题，引入了sequence机制，在解决的过程中还使用了factory机制、config机制。使用sequence机制之后，在不同的测试用例中，将不同的sequence设置成sequencer的main_phase的default_sequence。当sequencer执行到main_phase时，发现有default_sequence，那么它就启动sequence。

仔细回想上面的过程，sequencer启动sequence并执行的过程就相当于之前的gen_pkt，只是调用的位置从driver变到sequencer。sequencer将sequence产生的transaction交给driver，这其实与在driver里面调用gen_pkt没有本质的区别。

[1] 读者在第8章中可以看到另外一种解决方式

*6.1.2 sequence的启动与执行

当完成一个sequence的定义后，可以使用start任务将其启动：

代码清单 6-5

```
my_sequence my_seq;
my_seq = my_sequence::type_id::create("my_seq");
my_seq.start(sequencer);
```

除了直接启动之外，还可以使用default_sequence启动。事实上default_sequence会调用start任务，它有两种调用方式，其中一种是前文已经介绍过的：

代码清单 6-6

```
uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
                                        "env.i_agt.sqr.main_phase",
                                        "default_sequence",
                                        case0_sequence::type_id::get());
```

另外一种方式是先实例化要启动的sequence，之后再通过default_sequence启动：

代码清单 6-7

文件：src/ch6/section6.1/6.1.2/my_case0.sv

```
 41 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 42   case0_sequence cseq;
 43   super.build_phase(phase);
 44
 45   cseq = new("cseq");
 46   uvm_config_db#(uvm_sequence_base)::set(this,
 47                                          "env.i_agt.sqr.main_phase",
 48                                          "default_sequence",
 49                                          cseq);
 50 endfunction
```

当一个sequence启动后会自动执行sequence的body任务。其实，除了body外，还会自动调用sequence的pre_body与post_body：

代码清单　6-8

文件：src/ch6/section6.1/6.1.2/my_case0.sv

```
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 10   virtual task pre_body();
 11     `uvm_info("sequence0", "pre_body is called!!!", UVM_LOW)
 12   endtask
 13
 14   virtual task post_body();
 15     `uvm_info("sequence0", "post_body is called!!!", UVM_LOW)
 16   endtask
 17
 18   virtual task body();
…
 21     #100;
```

```
 22      `uvm_info("sequence0", "body is called!!!", UVM_LOW)
…
 25    endtask
 26
 27    `uvm_object_utils(case0_sequence)
 28 endclass
```

上述的sequence在执行时，会打印出：

```
# UVM_INFO my_case0.sv(11) @ 0: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@cseq [sequence0] pre_body is called!!!
# UVM_INFO my_case0.sv(22) @ 100000: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@cseq [sequence0] body is called!!!
# UVM_INFO my_case0.sv(15) @ 100000: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@cseq [sequence0] post_body is cal
```

6.2 sequence的仲裁机制

*6.2.1 在同一sequencer上启动多个sequence

在前文所有的例子中，同一时刻，在同一sequencer上只启动了一个sequence。事实上，UVM支持同一时刻在同一sequencer上启动多个sequence。

在my_sequencer上同时启动了两个sequence：sequence1和sequence2，代码如下所示：

代码清单 6-9

文件：src/ch6/section6.2/6.2.1/no_pri/my_case0.sv

```
57 task my_case0::main_phase(uvm_phase phase);
58   sequence0 seq0;
59   sequence1 seq1;
60
61   seq0 = new("seq0");
62   seq0.starting_phase = phase;
63   seq1 = new("seq1");
64   seq1.starting_phase = phase;
65   fork
66     seq0.start(env.i_agt.sqr);
67     seq1.start(env.i_agt.sqr);
68   join
69 endtask
```

其中sequence0的定义为：

代码清单　6-10

```
文件：src/ch6/section6.2/6.2.1/no_pri/my_case0.sv
  3 class sequence0 extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 10   virtual task body();
…
 13     repeat (5) begin
 14       `uvm_do(m_trans)
 15       `uvm_info("sequence0", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 16     end
 17     #100;
…
 20   endtask
 21
 22   `uvm_object_utils(sequence0)
 23 endclass
```

sequence1的定义为：

代码清单　6-11

```
文件：src/ch6/section6.2/6.2.1/no_pri/my_case0.sv
 25 class sequence1 extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 32   virtual task body();
```

```
…
 35      repeat (5) begin
 36        `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.pload.size < 500;})
 37        `uvm_info("sequence1", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 38      end
 39      #100;
…
 42    endtask
 43
 44    `uvm_object_utils(sequence1)
 45  endclass
```

运行如上代码后，会显示两个sequence交替产生transaction：

```
# UVM_INFO my_case0.sv(15) @ 85900: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@seq0 [sequence0] send one transacti
# UVM_INFO my_case0.sv(37) @ 112500: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@seq1 [sequence1] send one transact
# UVM_INFO my_case0.sv(15) @ 149300: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@seq0 [sequence0] send one transact
# UVM_INFO my_case0.sv(37) @ 200500: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@seq1 [sequence1] send one transact
# UVM_INFO my_case0.sv(15) @ 380700: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@seq0 [sequence0] send one transact
# UVM_INFO my_case0.sv(37) @ 436500: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@seq1 [sequence1] send one transact
```

sequencer根据什么选择使用哪个sequence的transaction呢？这是UVM的sequence机制中的仲裁问题。对于transaction来说，存在优先级的概念，通常来说，优先级越高越容易被选中。当使用uvm_do或者uvm_do_with宏时，产生的transaction的优先级是默认的优先级，即-1。可以通过uvm_do_pri及uvm_do_pri_with改变所产生的transaction的优先级：

代码清单　6-12

文件：src/ch6/section6.2/6.2.1/item_pri/my_case0.sv

```
  3 class sequence0 extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 10   virtual task body();
…
 13     repeat (5) begin
 14       `uvm_do_pri(m_trans, 100)
 15       `uvm_info("sequence0", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 16     end
 17     #100;
…
 20   endtask
…
 23 endclass
 24
 25 class sequence1 extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 32   virtual task body();
…
 35     repeat (5) begin
 36       `uvm_do_pri_with(m_trans, 200, {m_trans.pload.size < 500;})
 37       `uvm_info("sequence1", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 38     end
…
 42   endtask
…
 45 endclass
```

---

uvm_do_pri与uvm_do_pri_with的第二个参数是优先级，这个数值必须是一个大于等于-1的整数。数字越大，优先级越高。

由于sequence1中transaction的优先级较高，所以按照预期，先选择sequence1产生的transaction。当sequence1的transaction全部

生成完毕后，再产生sequence0的transaction。但是运行上述代码，发现并没有如预期的那样，而是sequence0与sequence1交替产生transaction。这是因为sequencer的仲裁算法有很多种：

代码清单　6-13

来源：UVM
源代码

```
  SEQ_ARB_FIFO,
  SEQ_ARB_WEIGHTED,
  SEQ_ARB_RANDOM,
  SEQ_ARB_STRICT_FIFO,
  SEQ_ARB_STRICT_RANDOM,
  SEQ_ARB_USER
```

在默认情况下sequencer的仲裁算法是SEQ_ARB_FIFO。它会严格遵循先入先出的顺序，而不会考虑优先级。SEQ_ARB_WEIGHTED是加权的仲裁；SEQ_ARB_RANDOM是完全随机选择；SEQ_ARB_STRICT_FIFO是严格按照优先级的，当有多个同一优先级的sequence时，按照先入先出的顺序选择；SEQ_ARB_STRICT_RANDOM是严格按照优先级的，当有多个同一优先级的sequence时，随机从最高优先级中选择；SEQ_ARB_USER则是用户可以自定义一种新的仲裁算法。

因此，若想使优先级起作用，应该设置仲裁算法为SEQ_ARB_STRICT_FIFO或者SEQ_ARB_STRICT_RANDOM：

代码清单　6-14

文件：src/ch6/section6.2/6.2.1/item_pri/my_case0.sv

```
 57 task my_case0::main_phase(uvm_phase phase);
…
 65    env.i_agt.sqr.set_arbitration(SEQ_ARB_STRICT_FIFO);
 66    fork
 67      seq0.start(env.i_agt.sqr);
 68      seq1.start(env.i_agt.sqr);
 69    join
 70 endtask
```

经过如上的设置后，会发现直到sequence1发送完transaction后，sequence0才开始发送。

除transaction有优先级外，sequence也有优先级的概念。可以在sequence启动时指定其优先级：

代码清单　6-15

文件：src/ch6/section6.2/6.2.1/sequence_pri/my_case0.sv

```
 57 task my_case0::main_phase(uvm_phase phase);
…
 65    env.i_agt.sqr.set_arbitration(SEQ_ARB_STRICT_FIFO);
 66    fork
 67      seq0.start(env.i_agt.sqr, null, 100);
 68       seq1.start(env.i_agt.sqr, null, 200);
 69    join
 70 endtask
```

start任务的第一个参数是sequencer，第二个参数是parent sequence，可以设置为null，第三个参数是优先级，如果不指定则此

值为-1，它同样不能设置为一个小于-1的数字。

使用代码清单6-10中的sequence0和代码清单6-11中的sequence1，即不在uvm_do系列宏中指定优先级。运行上述代码，会发现sequence1中的transaction完全发送完后才发送sequence0中的transaction。所以，对sequence设置优先级的本质即设置其内产生的transaction的优先级。

*6.2.2 sequencer的lock操作

当多个sequence在一个sequencer上同时启动时，每个sequence产生出的transaction都需要参与sequencer的仲裁。那么考虑这样一种情况，某个sequence比较奇特，一旦它要执行，那么它所有的transaction必须连续地交给driver，如果中间夹杂着其他sequence的transaction，就会发生错误。要解决这个问题，可以像上一节一样，对此sequence赋予较高的优先级。

但是假如有其他sequence有更高的优先级呢？所以这种解决方法并不科学。在UVM中可以使用lock操作来解决这个问题。

所谓lock，就是sequence向sequencer发送一个请求，这个请求与其他sequence发送transaction的请求一同被放入sequencer的仲裁队列中。当其前面的所有请求被处理完毕后，sequencer就开始响应这个lock请求，此后sequencer会一直连续发送此sequence的transaction，直到unlock操作被调用。从效果上看，此sequencer的所有权并没有被所有的sequence共享，而是被申请lock操作的sequence独占了。一个使用lock操作的sequence为：

代码清单 6-16

文件：src/ch6/section6.2/6.2.2/one_lock/my_case0.sv

```
 25 class sequence1 extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 32   virtual task body();
…
 35     repeat (3) begin
 36       `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.pload.size < 500;})
 37       `uvm_info("sequence1", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 38     end
```

```
 39      lock();
 40      `uvm_info("sequence1", "locked the sequencer ", UVM_MEDIUM)
 41      repeat (4) begin
 42        `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.pload.size < 500;})
 43        `uvm_info("sequence1", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 44      end
 45      `uvm_info("sequence1", "unlocked the sequencer ", UVM_MEDIUM)
 46      unlock();
 47      repeat (3) begin
 48        `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.pload.size < 500;})
 49        `uvm_info("sequence1", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 50      end
…
 54    endtask
…
 57 endclass
```

将此sequence1与代码清单6-10中的sequence0使用代码清单6-9的方式在env.i_agt.sqr上启动，会发现在lock语句前，sequence0和seuquence1交替产生transaction；在lock语句后，一直发送sequence1的transaction，直到unlock语句被调用后，sequence0和seuquence1又开始交替产生transaction。

如果两个sequence都试图使用lock任务来获取sequencer的所有权则会如何呢？答案是先获得所有权的sequence在执行完毕后才会将所有权交还给另外一个sequence。

代码清单　6-17

文件：src/ch6/section6.2/6.2.2/dual_lock/my_case0.sv

```
  3 class sequence0 extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 10   virtual task body();
…
 13     repeat (2) begin
 14       `uvm_do(m_trans)
 15       `uvm_info("sequence0", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 16     end
 17     lock();
 18     repeat (5) begin
 19       `uvm_do(m_trans)
 20       `uvm_info("sequence0", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 21     end
 22     unlock();
 23     repeat (2) begin
 24       `uvm_do(m_trans)
 25       `uvm_info("sequence0", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 26     end
 27     #100;
…
 30   endtask
 31
 32   `uvm_object_utils(sequence0)
 33 endclass
```

将上述sequence0与代码清单6-16中的sequence1同时在env.i_agt.sqr上启动，会发现sequence0先获得sequencer的所有权，在unlock函数被调用前，一直发送sequence0的transaction。在unlock被调用后，sequence1获得sequencer的所有权，之后一直发送sequence1的transaction，直到unlock函数被调用。

*6.2.3 sequencer的grab操作

与lock操作一样，grab操作也用于暂时拥有sequencer的所有权，只是grab操作比lock操作优先级更高。lock请求是被插入sequencer仲裁队列的最后面，等到它时，它前面的仲裁请求都已经结束了。grab请求则被放入sequencer仲裁队列的最前面，它几乎是一发出就拥有了sequencer的所有权：

代码清单 6-18

文件：src/ch6/section6.2/6.2.3/my_case0.sv

```
 25 class sequence1 extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 32   virtual task body();
…
 35     repeat (3) begin
 36       `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.pload.size < 500;})
 37       `uvm_info("sequence1", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 38     end
 39     grab();
 40     `uvm_info("sequence1", "grab the sequencer ", UVM_MEDIUM)
 41     repeat (4) begin
 42       `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.pload.size < 500;})
 43       `uvm_info("sequence1", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 44     end
 45     `uvm_info("sequence1", "ungrab the sequencer ", UVM_MEDIUM)
 46     ungrab();
 47     repeat (3) begin
 48       `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.pload.size < 500;})
 49       `uvm_info("sequence1", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
```

```
 50      end
…
 54    endtask
 55
 56    `uvm_object_utils(sequence1)
 57 endclass
```

如果两个sequence同时试图使用grab任务获取sequencer的所有权将会如何呢？这种情况与两个sequence同时试图调用lock函数一样，在先获得所有权的sequence执行完毕后才会将所有权交还给另外一个试图所有权的sequence。

如果一个sequence在使用grab任务获取sequencer的所有权前，另外一个sequence已经使用lock任务获得了sequencer的所有权则会如何呢？答案是grab任务会一直等待lock的释放。grab任务还是比较讲文明的，虽然它会插队，但是绝不会打断别人正在进行的事情。

6.2.4 sequence的有效性

当有多个sequence同时在一个sequencer上启动时，所有的sequence都参与仲裁，根据算法决定哪个sequence发送transaction。仲裁算法是由sequencer决定的，sequence除了可以在优先级上进行设置外，对仲裁的结果无能为力。

通过lock任务和grab任务，sequence可以独占sequencer，强行使sequencer发送自己产生的transaction。同样的，UVM也提供措施使sequence可以在一定时间内不参与仲裁，即令此sequence失效。

sequencer在仲裁时，会查看sequence的is_relevant函数的返回结果。如果为1，说明此sequence有效，否则无效。因此可以通过重载is_relevant函数来使sequence失效：

代码清单 6-19

文件：src/ch6/section6.2/6.2.4/is_relevant/my_case0.sv

```
  3 class sequence0 extends uvm_sequence #(my_transaction);
  4   my_transaction m_trans;
  5   int num;
  6   bit has_delayed;
…
 14   virtual function bit is_relevant();
 15     if((num >= 3)&&(!has_delayed)) return 0;
 16     else return 1;
 17   endfunction
 18
 19   virtual task body();
…
```

```
 22      fork
 23        repeat (10) begin
 24            num++;
 25            `uvm_do(m_trans)
 26            `uvm_info("sequence0", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 27          end
 28          while(1) begin
 29            if(!has_delayed) begin
 30              if(num >= 3) begin
 31                  `uvm_info("sequence0", "begin to delay", UVM_MEDIUM)
 32                  #500000;
 33                  has_delayed = 1'b1;
 34                  `uvm_info("sequence0", "end delay", UVM_MEDIUM)
 35                  break;
 36                end
 37                else
 38                  #1000;
 39            end
 40          end
 41      join
…
 45    endtask
…
 48 endclass
```

这个sequence在发送了3个transaction后开始变为无效，延时500000时间单位后又开始有效。将此sequence与代码清单6-11中的sequence1同时启动，会发现在失效前sequence0和sequence1交替发送transaction；而在失效的500000时间单位内，只有sequence1发送transaction；当sequence0重新变有效后，sequence0和sequence1又开始交替发送transaction。从某种程度上来说，is_relevant与grab任务和lock任务是完全相反的。通过设置is_relevant，可以使sequence主动放弃sequencer的使用权，而grab任务和lock任务则强占

sequencer的所有权。

除了is_relevant外，sequence中还有一个任务wait_for_relevant也与sequence的有效性相关：

代码清单　6-20

```
文件：src/ch6/section6.2/6.2.4/wait_for_relevant/my_case0.sv
  3 class sequence0 extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 14    virtual function bit is_relevant();
 15       if((num >= 3)&&(!has_delayed)) return 0;
 16       else return 1;
 17    endfunction
 18
 19    virtual task wait_for_relevant();
 20       #10000;
 21       has_delayed = 1;
 22    endtask
 23
 24    virtual task body();
…
 27       repeat (10) begin
 28          num++;
 29          `uvm_do(m_trans)
 30          `uvm_info("sequence0", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 31       end
…
 35    endtask
…
 38 endclass
```

当sequencer发现在其上启动的所有sequence都无效时，此时会调用wait_for_relevant并等待sequence变有效。当此sequence与代码清单6-11中的sequence1同时启动，并发送了3个transaction后，sequence0变为无效。此后sequencer一直发送sequence1的transaction，直到全部的transaction都发送完毕。此时，sequencer发现sequence0无效，会调用其wait_for_relevant。换言之，sequence0失效是自己控制的，但是重新变得有效却是受其他sequence的控制。如果其他sequence永远不结束，那么sequence0将永远处于失效状态。这里与代码清单6-19中例子的区别是，代码清单6-19例子中sequence0并不是等待着sequence1的transaction全部发送完毕，而是自己主动控制着自己何时有效何时无效。

在wait_for_relevant中，必须将使sequence无效的条件清除。在代码清单6-20中，假如wait_for_relevant只是如下定义：

代码清单　6-21

```
virtual task wait_for_relevant();
  #10000;
endtask
```

那么当wait_for_relevant返回后，sequencer会继续调用sequence0的is_relevant，发现依然是无效状态，则继续调用wait_for_relevant。系统会处于死循环的状态。

在代码清单6-19的例子中，通过控制延时（500000）单位时间来使sequence0重新变得有效。假如在这段时间内，sequence1的transaction发送完毕后，而sequence0中又没有重载wait_for_relevant任务，那么将会给出如下错误提示：

```
UVM_FATAL @ 1166700: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@seq0 [RELMSM] is_relevant()was implemented without
```

因此，is_relevant与wait_for_relevant一般应成对重载，不能只重载其中的一个。代码清单6-19的例子中没有重载wait_for_relevant，是因为巧妙地设置了延时，可以保证不会调用到wait_for_relevant。读者在使用时应该重载wait_for_relevant这个任务。

6.3 sequence相关宏及其实现

6.3.1 uvm_do系列宏

uvm_do系列宏主要有以下8个：

代码清单 6-22

```
来源：UVM
源代码
`uvm_do(SEQ_OR_ITEM)o
`uvm_do_pri(SEQ_OR_ITEM, PRIORITY)
`uvm_do_with(SEQ_OR_ITEM, CONSTRAINTS)
`uvm_do_pri_with(SEQ_OR_ITEM, PRIORITY, CONSTRAINTS)
`uvm_do_on(SEQ_OR_ITEM, SEQR)
`uvm_do_on_pri(SEQ_OR_ITEM, SEQR, PRIORITY)
`uvm_do_on_with(SEQ_OR_ITEM, SEQR, CONSTRAINTS)
`uvm_do_on_pri_with(SEQ_OR_ITEM, SEQR, PRIORITY, CONSTRAINTS)
```

其中uvm_do、uvm_do_with、uvm_do_pri、uvm_do_pri_with在前面已经提到过了，这里只介绍另外4个。

uvm_do_on用于显式地指定使用哪个sequencer发送此transaction。它有两个参数，第一个是transaction的指针，第二个是sequencer的指针。当在sequence中使用uvm_do等宏时，其默认的sequencer就是此sequence启动时为其指定的sequencer，sequence将

这个sequencer的指针放在其成员变量m_sequencer中。事实上，uvm_do等价于：

代码清单　6-23

```
`uvm_do_on(tr, this.m_sequencer)
```

在这里看起来指定使用哪个sequencer似乎并没有用，它的真正作用要在6.5节virtual sequence中得到体现。

uvm_do_on_pri，它有三个参数，第一个参数是transaction的指针，第二个是sequencer的指针，第三个是优先级：

代码清单　6-24

```
`uvm_do_on(tr, this, 100)
```

uvm_do_on_with，它有三个参数，第一个参数是transaction的指针，第二个是sequencer的指针，第三个是约束：

代码清单　6-25

```
`uvm_do_on_with(tr, this, {tr.pload.size == 100;})
```

uvm_do_on_pri_with，它有四个参数，是所有uvm_do宏中参数最多的一个。第一个参数是transaction的指针，第二个是

sequencer的指针，第三个是优先级，第四个是约束：

代码清单　6-26

```
`uvm_do_on_pri_with(tr, this, 100, {tr.pload.size == 100;})
```

uvm_do系列的其他七个宏其实都是用uvm_do_on_pri_with宏来实现的。如uvm_do宏：

代码清单　6-27

```
来源：UVM
源代码
`define uvm_do(SEQ_OR_ITEM) \
  `uvm_do_on_pri_with(SEQ_OR_ITEM, m_sequencer, -1, {})
```

*6.3.2 uvm_create与uvm_send

除了使用uvm_do宏产生transaction，还可以使用uvm_create宏与uvm_send宏来产生：

代码清单 6-28

文件：src/ch6/section6.3/6.3.2/my_case0.sv

```
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 10    virtual task body();
 11       int num = 0;
 12       int p_sz;
…
 15       repeat (10) begin
 16          num++;
 17          `uvm_create(m_trans)
 18          assert(m_trans.randomize());
 19          p_sz = m_trans.pload.size();
 20          {m_trans.pload[p_sz - 4],
 21           m_trans.pload[p_sz - 3],
 22           m_trans.pload[p_sz - 2],
 23           m_trans.pload[p_sz - 1]}
 24           = num;
 25          `uvm_send(m_trans)
 26       end
…
 30    endtask
…
 33 endclass
```

uvm_create宏的作用是实例化transaction。当一个transaction被实例化后，可以对其做更多的处理，处理完毕后使用uvm_send宏发送出去。这种使用方式比uvm_do系列宏更加灵活。如在上例中，就将pload的最后4个byte替换为此transaction的序号。

事实上，在上述的代码中，也完全可以不使用uvm_create宏，而直接调用new进行实例化：

代码清单　6-29

```
virtual task body();
…
  m_trans = new("m_trans");
  assert(m_trans.randomize());
  p_sz = m_trans.pload.size();
  {m_trans.pload[p_sz - 4],
   m_trans.pload[p_sz - 3],
   m_trans.pload[p_sz - 2],
   m_trans.pload[p_sz - 1]}
   = num;
  `uvm_send(m_trans)
…
endtask
```

除了uvm_send外，还有uvm_send_pri宏，它的作用是在将transaction交给sequencer时设定优先级：

代码清单　6-30

```
virtual task body();
```

```
…
  m_trans = new("m_trans");
  assert(m_trans.randomize());
  p_sz = m_trans.pload.size();
  {m_trans.pload[p_sz - 4],
   m_trans.pload[p_sz - 3],
   m_trans.pload[p_sz - 2],
   m_trans.pload[p_sz - 1]}
   = num;
  `uvm_send_pri(m_trans, 200)
…
endtask
```

*6.3.3 uvm_rand_send系列宏

uvm_rand_send系列宏有如下几个：

代码清单 6-31

```
来源：UVM
源代码
`uvm_rand_send(SEQ_OR_ITEM)
`uvm_rand_send_pri(SEQ_OR_ITEM, PRIORITY)
`uvm_rand_send_with(SEQ_OR_ITEM, CONSTRAINTS)
`uvm_rand_send_pri_with(SEQ_OR_ITEM, PRIORITY, CONSTRAINTS)
```

uvm_rand_send宏与uvm_send宏类似，唯一的区别是它会对transaction进行随机化。这个宏使用的前提是transaction已经被分配了空间，换言之，即已经实例化了：

代码清单 6-32

```
m_trans = new("m_trans");
`uvm_rand_send(m_trans)
```

uvm_rand_send_pri宏用于指定transaction的优先级。它有两个参数，第一个是transaction的指针，第二个是优先级：

代码清单　6-33

```
m_trans = new("m_trans");
`uvm_rand_send_pri(m_trans, 100)
```

uvm_rand_send_with宏，用于指定使用随机化时的约束，它有两个参数，第一个是transaction的指针，第二个是约束：

代码清单　6-34

```
m_trans = new("m_trans");
`uvm_rand_send_with(m_trans, {m_trans.pload.size == 100;})
```

uvm_rand_send_pri_with宏，用于指定优先级和约束，它有三个参数，第一个是transaction的指针，第二个是优先级，第三个是约束：

代码清单　6-35

```
m_trans = new("m_trans");
`uvm_rand_send_pri_with(m_trans, 100, {m_trans.pload.size == 100;})
```

uvm_rand_send系列宏及uvm_send系列宏的意义主要在于，如果一个transaction占用的内存比较大，那么很可能希望前后两次

发送的transaction都使用同一块内存，只是其中的内容可以不同，这样比较节省内存。

*6.3.4 start_item与finish_item

在前面的章节中一直使用宏来产生transaction。宏隐藏了细节，方便了用户的使用，但是也给用户带来了困扰：宏到底做了什么事情？

不使用宏产生transaction的方式要依赖于两个任务：start_item和finish_item。在使用这两个任务前，必须要先实例化transaction后才可以调用这两个任务：

代码清单 6-36

```
tr = new("tr");
start_item(tr);
finish_item(tr);
```

完整使用如上两个任务构建的一个sequence如下：

代码清单 6-37

```
virtual task body();
  repeat(10) begin
    tr = new("tr");
    start_item(tr);
    finish_item(tr);
  end
```

```
endtask
```

上述代码中并没有对tr进行随机化。可以在transaction实例化后、finish_item调用前对其进行随机化：

代码清单　6-38

```
文件：src/ch6/section6.3/6.3.4/my_case0.sv
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
  9    virtual task body();
…
 13       repeat (10) begin
 14          tr = new("tr");
 15          assert(tr.randomize() with {tr.pload.size == 200;});
 16          start_item(tr);
 17          finish_item(tr);
 18       end
…
 22    endtask
…
 25 endclass
```

上述assert语句也可以放在start_item之后、finish_item之前。uvm_do系列宏其实是将下述动作封装在了一个宏中：

代码清单　6-39

```
virtual task body();
```

```
…
  tr = new("tr");
  start_item(tr);
  assert(tr.randomize() with {tr.pload.size() == 200;});
  finish_item(tr);
…
endtask
```

如果要指定transaction的优先级，那么要在调用start_item和finish_item时都要加入优先级参数：

代码清单　6-40

```
virtual task body();
…
  start_item(tr, 100);
  finish_item(tr, 100);
…
endtask
```

如果不指定优先级参数，默认的优先级为-1。

*6.3.5 pre_do、mid_do与post_do

uvm_do宏封装了从transaction实例化到发送的一系列操作，封装的越多，则其灵活性越差。为了增加uvm_do系列宏的功能，UVM提供了三个接口：pre_do、mid_do与post_do。

pre_do是一个任务，在start_item中被调用，它是start_item返回前执行的最后一行代码，在它执行完毕后才对transaction进行随机化。mid_do是一个函数，位于finish_item的最开始。在执行完此函数后，finish_item才进行其他操作。post_do也是一个函数，也位于finish_item中，它是finish_item返回前执行的最后一行代码。它们的执行顺序大致为：

代码清单 6-41

```
sequencer.wait_for_grant(prior)   (task) \ start_item \
parent_seq.pre_do(1)              (task) /             \
                                                        `uvm_do* macros
parent_seq.mid_do(item)           (func) \             /
sequencer.send_request(item)      (func)  \finish_item /
sequencer.wait_for_item_done()    (task)  /
parent_seq.post_do(item)          (func) /
```

wait_for_grant、send_request及wait_for_item_done都是UVM内部的一些接口。

这三个接口函数/任务的使用示例如下：

代码清单　6-42

文件：src/ch6/section6.3/6.3.5/my_case0.sv

```
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
  4    my_transaction m_trans;
  5    int num;
…
 11    virtual task pre_do(bit is_item);
 12       #100;
 13       `uvm_info("sequence0", "this is pre_do", UVM_MEDIUM)
 14    endtask
 15
 16    virtual function void mid_do(uvm_sequence_item this_item);
 17       my_transaction tr;
 18       int p_sz;
 19       `uvm_info("sequence0", "this is mid_do", UVM_MEDIUM)
 20       void'($cast(tr, this_item));
 21       p_sz = tr.pload.size();
 22       {tr.pload[p_sz - 4],
 23        tr.pload[p_sz - 3],
 24        tr.pload[p_sz - 2],
 25        tr.pload[p_sz - 1]} = num;
 26       tr.crc = tr.calc_crc();
 27       tr.print();
 28    endfunction
 29
 30    virtual function void post_do(uvm_sequence_item this_item);
 31       `uvm_info("sequence0", "this is post_do", UVM_MEDIUM)
 32    endfunction
 33
 34    virtual task body();
…
```

```
 37        repeat (10) begin
 38           num++;
 39           `uvm_do(m_trans)
 40        end
…
 44     endtask
…
 47 endclass
```

pre_do有一个参数，此参数用于表明uvm_do宏是在对一个transaction还是在对一个sequence进行操作，关于这一点请参考6.4.1节。mid_do和post_do的两个参数是正在操作的sequence或者item的指针，但是其类型是uvm_sequence_item类型。通过cast可以转换成目标类型（示例中为my_transaction）。

6.4 sequence进阶应用

*6.4.1 嵌套的sequence

假设一个产生CRC错误包的sequence如下：

代码清单 6-43

```
文件：src/ch6/section6.4/6.4.1/start/my_case0.sv
  4 class crc_seq extends uvm_sequence#(my_transaction);
…
 10    virtual task body();
 11       my_transaction tr;
 12       `uvm_do_with(tr, {tr.crc_err == 1;
 13                         tr.dmac == 48'h980F;})
 14    endtask
 15 endclass
```

另外一个产生长包的sequence如下：

代码清单 6-44

```
文件：src/ch6/section6.4/6.4.1/start/my_case0.sv
 17 class long_seq extends uvm_sequence#(my_transaction);
```

```
…
 23   virtual task body();
 24     my_transaction tr;
 25     `uvm_do_with(tr, {tr.crc_err == 0;
 26                       tr.pload.size() == 1500;
 27                       tr.dmac == 48'hF675;})
 28   endtask
 29 endclass
```

现在要写一个新的sequence，它可以交替产生上面的两种包。那么在新的sequence里面可以这样写：

代码清单　6-45

```
class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
   virtual task body();
      my_transaction tr;
      repeat (10) begin
         `uvm_do_with(tr, {tr.crc_err == 1;
                           tr.dmac == 48'h980F;})
         `uvm_do_with(tr, {tr.crc_err == 0;
                           tr.pload.size() == 1500;
                           tr.dmac == 48'hF675;})
      end
   endtask
endclass
```

似乎这样写起来显得特别麻烦。产生的两种不同的包中，第一个约束条件有两个，第二个约束条件有三个。但是假如约束条件有十个呢？如果整个验证平台中有30个测试用例都用到这样的两种包，那就要在这30个测试用例的sequence中加入这些代码，

这是一件相当恐怖的事情，而且特别容易出错。既然已经定义好crc_seq和long_seq，那么有没有简单的方法呢？答案是肯定的。在一个sequence的body中，除了可以使用uvm_do宏产生transaction外，其实还可以启动其他的sequence，即一个sequence内启动另外一个sequence，这就是嵌套的sequence：

代码清单　6-46

文件：src/ch6/section6.4/6.4.1/start/my_case0.sv

```
 31 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 37     virtual task body();
 38         crc_seq cseq;
 39         long_seq lseq;
…
 42         repeat (10) begin
 43             cseq = new("cseq");
 44             cseq.start(m_sequencer);
 45             lseq = new("lseq");
 46             lseq.start(m_sequencer);
 47         end
…
 51     endtask
…
 54 endclass
```

直接在新的sequence的body中调用定义好的sequence，从而实现sequence的重用。这个功能是非常强大的。在上面代码中，m_sequencer是case0_sequence在启动后所使用的sequencer的指针。但通常来说并不用这么麻烦，可以使用uvm_do宏来完成这些事

情：

代码清单　6-47

```
文件：src/ch6/section6.4/6.4.1/uvm_do/my_case0.sv
 31 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 38    virtual task body();
 39       crc_seq cseq;
 40       long_seq lseq;
…
 43       repeat (10) begin
 44          `uvm_do(cseq)
 45          `uvm_do(lseq)
 46       end
…
 50    endtask
…
 53 endclass
```

uvm_do系列宏中，其第一个参数除了可以是transaction的指针外，还可以是某个sequence的指针。当第一个参数是transaction时，它如6.3.4节代码清单6-39中所示，调用start_item和finish_item；当第一个参数是sequence时，它调用此sequence的start任务。

除了uvm_do宏外，前面介绍的uvm_send宏、uvm_rand_send宏、uvm_create宏，其第一个参数都可以是sequence的指针。唯一例外的是start_item与finish_item，这两个任务的参数必须是transaction的指针。

*6.4.2 在sequence中使用rand类型变量

在transaction的定义中，通常使用rand来对变量进行修饰，说明在调用randomize时要对此字段进行随机化。其实在sequence中也可以使用rand修饰符。有如下的sequence，它有成员变量ldmac：

代码清单 6-48

文件：src/ch6/section6.4/6.4.2/rand/my_case0.sv

```
  4 class long_seq extends uvm_sequence#(my_transaction);
  5     rand bit[47:0] ldmac;
…
 11     virtual task body();
 12         my_transaction tr;
 13         `uvm_do_with(tr, {tr.crc_err == 0;
 14                           tr.pload.size() == 1500;
 15                           tr.dmac == ldmac;})
 16         tr.print();
 17     endtask
 18 endclass
```

这个sequence可以作为底层的sequence被顶层的sequence调用：

代码清单 6-49

文件：src/ch6/section6.4/6.4.2/rand/my_case0.sv

```
 20 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 27    virtual task body();
 28       long_seq lseq;
…
 31       repeat (10) begin
 32          `uvm_do_with(lseq, {lseq.ldmac == 48'hFFFF;})
 33       end
…
 37    endtask
…
 40 endclass
```

sequence里可以添加任意多的rand修饰符，用以规范它产生的transaction。sequence与transaction都可以调用randomize进行随机化，都可以有rand修饰符的成员变量，从某种程度上来说，二者的界限比较模糊。这也就是为什么uvm_do系列宏可以接受sequence作为其参数的原因。

在sequence中定义rand类型变量时，要注意变量的命名。很多人习惯于变量的名字和transaction中相应字段的名字一致：

代码清单　6-50

文件：src/ch6/section6.4/6.4.2/name/my_case0.sv

```
  4 class long_seq extends uvm_sequence#(my_transaction);
  5    rand bit[47:0] dmac;
…
 11    virtual task body();
 12      my_transaction tr;
 13      `uvm_do_with(tr, {tr.crc_err == 0;
```

```
14                      tr.pload.size() == 1500;
15                      tr.dmac == dmac;})
16        tr.print();
17    endtask
18 endclass
```

在case0_sequence中启动上述sequence，并将dmac地址约束为48'hFFFF，此时将会发现产生的transaction的dmac并不是48'hFFFF，而是一个随机值！这是因为，当运行到上述代码的第15行时，编译器会首先去my_transaction寻找dmac，如果找到了，就不再继续寻找。换言之，上述代码第13到第15行等价于：

代码清单　6-51

```
`uvm_do_with(tr, {tr.crc_err == 0;
                  tr.pload.size() == 1500;
                  tr.dmac == tr.dmac;})
```

tr.dmac == local::dmac

long_seq中的dmac并没有起到作用。所以，在sequence中定义rand类型变量以向产生的transaction传递约束时，变量的名字一定要与transaction中相应字段的名字不同。

*6.4.3 transaction类型的匹配

一个sequencer只能产生一种类型的transaction，一个sequence如果要想在此sequencer上启动，那么其所产生的transaction的类型必须是这种transaction或者派生自这种transaction。

如果一个sequence中产生的transaction的类型不是此种transaction，那么将会报错：

代码清单 6-52

```
class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
   your_transaction y_trans;
   virtual task body();
      repeat (10) begin
         `uvm_do(y_trans)
      end
   endtask
endclass
```

嵌套sequence的前提是，在套里面的所有sequence产生的transaction都可以被同一个sequencer所接受。

那么有没有办法将两个截然不同的transaction交给同一个sequencer呢？可以，只是需要将sequencer和driver能够接受的数据类型设置为uvm_sequence_item：

代码清单 6-53

```
class my_sequencer extends uvm_sequencer #(uvm_sequence_item);
class my_driver extends uvm_driver#(uvm_sequence_item);
```

在sequence中可以交替发送my_transaction和your_transaction：

代码清单　6-54

```
文件：src/ch6/section6.4/6.4.3/my_case0.sv
 12 class case0_sequence extends uvm_sequence;
 13    my_transaction m_trans;
 14    your_transaction y_trans;
…
 20    virtual task body();
…
 23       repeat (10) begin
 24          `uvm_do(m_trans)
 25          `uvm_do(y_trans)
 26       end
…
 30    endtask
 31
 32    `uvm_object_utils(case0_sequence)
 33 endclass
```

这样带来的问题是，由于driver中接收的数据类型是uvm_sequence_item，如果它要使用my_transaction或者your_transaction中的成员变量，必须使用cast转换：

代码清单　6-55

文件：src/ch6/section6.4/6.4.3/my_driver.sv

```
 24 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
 25    my_transaction m_tr;
 26    your_transaction y_tr;
…
 31    while(1) begin
 32       seq_item_port.get_next_item(req);
 33       if($cast(m_tr, req)) begin
 34          drive_my_transaction(m_tr);
 35        `uvm_info("driver", "receive a transaction whose type is my_transaction", UVM_MEDIUM)
 36       end
 37       else if($cast(y_tr, req)) begin
 38          drive_your_transaction(y_tr);
 39       `uvm_info("driver", "receive a transaction whose type is your_transaction", UVM_MEDIUM)
 40       end
 41       else begin
 42          `uvm_error("driver", "receive a transaction whose type is unknown")
 43       end
 44       seq_item_port.item_done();
 45    end
 46 endtask
```

*6.4.4 p_sequencer的使用

考虑如下一种情况，在sequencer中存在如下成员变量：

代码清单 6-56

文件：src/ch6/section6.4/6.4.4/my_sequencer.sv

```
  4 class my_sequencer extends uvm_sequencer #(my_transaction);
  5     bit[47:0] dmac;
  6     bit[47:0] smac;
…
 12     virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 13         super.build_phase(phase);
 14         void'(uvm_config_db#(bit[47:0])::get(this, "", "dmac", dmac));
 15         void'(uvm_config_db#(bit[47:0])::get(this, "", "smac", smac));
 16     endfunction
 17
 18     `uvm_component_utils(my_sequencer)
 19 endclass
```

在其build_phase中，使用config_db：：get得到这两个成员变量的值。之后sequence在发送transaction时，必须将目的地址设置为dmac，源地址设置为smac。现在的问题是，如何在sequence的body中得到这两个变量的值呢？

在6.4.1节中介绍嵌套的sequence时，引入了m_sequencer这个属于每个sequence的成员变量，但是如果直接使用m_sequencer得到这两个变量的值：

代码清单　6-57

```
virtual task body();
…
    repeat (10) begin
       `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.dmac == m_sequencer.dmac;
                              m_trans.smac == m_sequencer.smac;})
    end
…
endtask
```

如上写法会引起编译错误。其根源在于m_sequencer是uvm_sequencer_base（uvm_sequencer的基类）类型的，而不是my_sequencer类型的。m_sequencer的原型为：

代码清单　6-58

```
来源：UVM
源代码
protected  uvm_sequencer_base m_sequencer;
```

但是由于case0_sequence在my_sequencer上启动，其中的m_sequencer本质上是my_sequencer类型的，所以可以在my_sequence中通过cast转换将m_sequencer转换成my_sequencer类型，并引用其中的dmac和smac：

代码清单　6-59

```
virtual task body();
   my_sequencer x_sequencer;
…
   $cast(x_sequencer, m_sequencer);
   repeat (10) begin
      `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.dmac == x_sequencer.dmac;
                             m_trans.smac == x_sequencer.smac;})
   end
…
endtask
```

上述过程稍显麻烦。在实际的验证平台中，用到sequencer中成员变量的情况非常多。UVM考虑到这种情况，内建了一个宏：uvm_declare_p_sequencer（SEQUENCER）。这个宏的本质是声明了一个SEQUENCER类型的成员变量，如在定义sequence时，使用此宏声明sequencer的类型：

代码清单　6-60

```
文件：src/ch6/section6.4/6.4.4/my_case0.sv
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
  4   my_transaction m_trans;
  5   `uvm_object_utils(case0_sequence)
  6   `uvm_declare_p_sequencer(my_sequencer)
…
 24 endclass
```

则相当于声明了如下的成员变量：

代码清单　6-61

```
class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
  my_sequencer p_sequencer;
…
endclass
```

UVM之后会自动将m_sequencer通过cast转换成p_sequencer。这个过程在pre_body（）之前就完成了。因此在sequence中可以直接使用成员变量p_sequencer来引用dmac和smac：

代码清单　6-62

```
文件：src/ch6/section6.4/6.4.4/my_case0.sv
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 12    virtual task body();
…
 15        repeat (10) begin
 16           `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.dmac == p_sequencer.dmac;
 17                                  m_trans.smac == p_sequencer.smac;})
 18        end
…
 22    endtask
 23
 24 endclass
```

*6.4.5 sequence的派生与继承

sequence作为一个类，是可以从其中派生其他sequence的：

代码清单 6-63

```
文件：src/ch6/section6.4/6.4.5/my_case0.sv
  4 class base_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
  5   `uvm_object_utils(base_sequence)
  6   `uvm_declare_p_sequencer(my_sequencer)
  7   function  new(string name= "base_sequence");
  8      super.new(name);
  9   endfunction
 10   //define some common function and task
 11 endclass
 12
 13 class case0_sequence extends base_sequence;
…
 31 endclass
```

由于在同一个项目中各sequence都是类似的，所以可以将很多公用的函数或者任务写在base sequence中，其他sequence都从此sequence派生。

普通的sequence这样使用没有任何问题，但对于那些使用了uvm_declare_p_sequence声明p_sequencer的base sequence，在派生的sequence中是否也要调用此宏声明p_sequencer？这个问题的答案是否定的，因为uvm_declare_p_sequence的实质是在base

sequence中声明了一个成员变量p_sequencer。当其他的sequence从其派生时，p_sequencer依然是新的sequence的成员变量，所以无须再声明一次了。

当然了，如果再声明一次，系统也并不会报错：

代码清单　6-64

```
class base_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
  `uvm_object_utils(base_sequence)
  `uvm_declare_p_sequencer(my_sequencer)
…
endclass
class case0_sequence extends base_sequence;
  `uvm_object_utils(case0_sequence)
  `uvm_declare_p_sequencer(my_sequencer)
…
endclass
```

虽然这相当于连续声明了两个成员变量p_sequencer，但是由于这两个成员变量一个是属于父类的，一个是属于子类的，所以并不会出错。

6.5 virtual sequence的使用

*6.5.1 带双路输入输出端口的DUT

在本书以前所有的例子中，使用的DUT几乎都是基于2.2.1节中所示的最简单的DUT。为了说明virtual sequence，本节引入附录B的代码B-1所示的DUT。

这个DUT相当于在2.2.1节所示的DUT的基础上增加了一组数据口，这组新的数据口与原先的数据口功能完全一样。新的数据端口增加后，由于这组新的数据端口与原先的一模一样，所以可以在test中再额外实例化一个my_env：

代码清单 6-65

```
文件：src/ch6/section6.5/6.5.1/base_test.sv
  4 class base_test extends uvm_test;
  5
  6   my_env          env0;
  7   my_env          env1;
…
 16 endclass
 17
 18
 19 function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
 20   super.build_phase(phase);
 21   env0  =  my_env::type_id::create("env0", this);
 22   env1  =  my_env::type_id::create("env1", this);
```

```
 23 endfunction
```

在top_tb中做相应更改，多增加一组my_if，并通过config_db将其设置为新的env中的driver和monitor：

代码清单　6-66

文件：src/ch6/section6.5/6.5.1/top_tb.sv

```
 17 module top_tb;
…
 22 my_if input_if0(clk, rst_n);
 23 my_if input_if1(clk, rst_n);
 24 my_if output_if0(clk, rst_n);
 25 my_if output_if1(clk, rst_n);
 26
 27 dut my_dut(.clk(clk),
 28            .rst_n(rst_n),
 29            .rxd0(input_if0.data),
 30            .rx_dv0(input_if0.valid),
 31            .rxd1(input_if1.data),
 32            .rx_dv1(input_if1.valid),
 33            .txd0(output_if0.data),
 34            .tx_en0(output_if0.valid),
 35            .txd1(output_if1.data),
 36            .tx_en1(output_if1.valid));
…
 55 initial begin
 56   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env0.i_agt.drv", "vif", input_if0);
 57   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env0.i_agt.mon","vif", input_if0);
 58   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env0.o_agt.mon", "vif", output_if0);
 59   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env1.i_agt.drv", "vif", input_if1);
 60   uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env1.i_agt.mon", "vif", input_if1);
```

```
61    uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.env1.o_agt.mon", "vif", output_if1);
62  end
63
64  endmodule
```

通过在测试用例中设置两个default sequence，可以分别向两个数据端口施加激励：

代码清单　6-67

文件：src/ch6/section6.5/6.5.1/my_case0.sv

```
36  function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
37    super.build_phase(phase);
38
39    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
40                                            "env0.i_agt.sqr.main_phase",
41                                            "default_sequence",
42                                            case0_sequence::type_id::get());
43    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
44                                            "env1.i_agt.sqr.main_phase",
45                                            "default_sequence",
46                                            case0_sequence::type_id::get());
47  endfunction
```

*6.5.2 sequence之间的简单同步

在这个新的验证平台中有两个driver，它们原本是完全等价的，但是出于某些原因的考虑，如DUT要求driver0必须先发送一个最大长度的包，在此基础上driver1才可以发送包。这是一个sequence之间同步的过程，一种很自然的想法是，将这个同步的过程使用一个全局的事件来完成：

代码清单 6-68

文件：src/ch6/section6.5/6.5.2/my_case0.sv

```
  3 event send_over;//global event
  4 class drv0_seq extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 12   virtual task body();
…
 15     `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.pload.size == 1500;})
 16     ->send_over;
 17     repeat (10) begin
 18        `uvm_do(m_trans)
 19        `uvm_info("drv0_seq", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 20     end
…
 24   endtask
 25 endclass
 26
 27 class drv1_seq extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 35   virtual task body();
…
```

```
 38      @send_over;
 39      repeat (10) begin
 40          `uvm_do(m_trans)
 41          `uvm_info("drv1_seq", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 42      end
…
 46    endtask
 47 endclass
```

之后，通过uvm_config_db的方式分别将这两个sequence作为env0.i_agt.sqr和env1.i_agt.sqr的default_sequence：

代码清单　6-69

文件：src/ch6/section6.5/6.5.2/my_case0.sv

```
 60 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 61   super.build_phase(phase);
 62
 63   uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 64                                           "env0.i_agt.sqr.main_phase",
 65                                           "default_sequence",
 66                                           drv0_seq::type_id::get());
 67   uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 68                                           "env1.i_agt.sqr.main_phase",
 69                                           "default_sequence",
 70                                           drv1_seq::type_id::get());
 71 endfunction
```

当进入到main_phase时，这两个sequence会同步启动，但是由于drv1_seq要等待send_over事件的到来，所以它并不会马上产生

transaction，而drv0_seq则会直接产生transaction。当drv0_seq发送完一个最长包后，send_over事件被触发，于drv1_seq开始产生transaction。

*6.5.3 sequence之间的复杂同步

上节中解决同步的方法看起来非常简单、实用。不过这里有两个问题，第一个问题是使用了一个全局的事件send_over。全局变量对于初写代码的人来说是非常受欢迎的，但是几乎所有的老师及书本中都会这么说：除非有必要，否则尽量不要使用全局变量。使用全局变量的主要问题即它是全局可见的，本来只是打算在drv0_seq和drv1_seq中使用这个全局变量，但是假如其他的某个sequence也不小心使用了这个全局变量，在drv0_seq触发send_over事件之前，这个sequence已经触发了此事件，这是不允许的。所以应该尽量避免全局变量的使用。

第二个问题是上面只是实现了一次同步，如果是有多次同步怎么办？如sequence A要先执行，之后是B，B执行后才能是C，C执行后才能是D，D执行后才能是E。这依然可以使用上面的全局方法解决，只是这会显得相当笨拙。

实现sequence之间同步的最好的方式就是使用virtual sequence。从字面上理解，即虚拟的sequence。虚拟的意思就是它根本就不发送transaction，它只是控制其他的sequence，起统一调度的作用。

如图6-1所示，为了使用virtual sequence，一般需要一个virtual sequencer。virtual sequencer里面包含指向其他真实sequencer的指针：

代码清单 6-70

文件：src/ch6/section6.5/6.5.3/uvm_do_on/my_vsqr.sv

```
  4 class my_vsqr extends uvm_sequencer;
```

```
  5
  6   my_sequencer p_sqr0;
  7   my_sequencer p_sqr1;
…
 14 endclass
```

在base_test中，实例化vsqr，并将相应的sequencer赋值给vsqr中的sequencer的指针：

代码清单　6-71

文件：src/ch6/section6.5/6.5.3/uvm_do_on/base_test.sv

```
  4 class base_test extends uvm_test;
  5
  6   my_env          env0;
  7   my_env          env1;
  8   my_vsqr         v_sqr;
…
 18 endclass
 19
 20
 21 function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
 22   super.build_phase(phase);
 23   env0  =  my_env::type_id::create("env0", this);
 24   env1  =  my_env::type_id::create("env1", this);
 25   v_sqr =  my_vsqr::type_id::create("v_sqr", this);
 26 endfunction
 27
 28 function void base_test::connect_phase(uvm_phase phase);
 29   v_sqr.p_sqr0 = env0.i_agt.sqr;
 30   v_sqr.p_sqr1 = env1.i_agt.sqr;
 31 endfunction
```

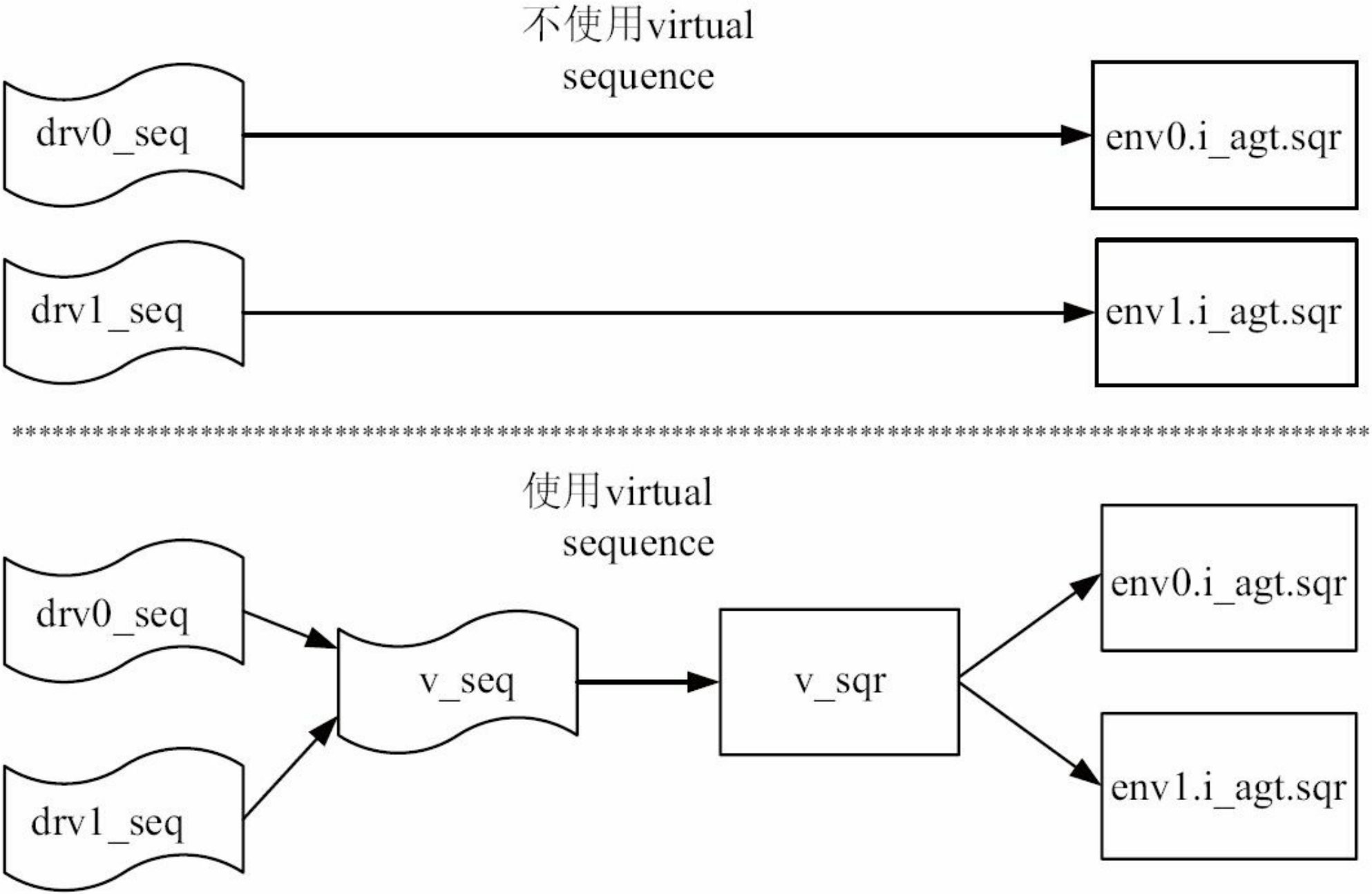

不使用virtual
sequence
drv0_seq
drv1_seq
env0.i_agt.sqr
env1.i_agt.sqr
使用virtual
sequence
drv0_seq
drv1_seq
v_seq
v_sqr
env0.i_agt.sqr
env1.i_agt.sqr

图6-1　virtual sequence示意图

在virtual sequene中则可以使用uvm_do_on系列宏来发送transaction：

代码清单　6-72

```
文件：src/ch6/section6.5/6.5.3/uvm_do_on/my_case0.sv
 35 class case0_vseq extends uvm_sequence;
 36     `uvm_object_utils(case0_vseq)
 37     `uvm_declare_p_sequencer(my_vsqr)
…
 42     virtual task body();
 43        my_transaction tr;
 44        drv0_seq seq0;
 45        drv1_seq seq1;
…
 48        `uvm_do_on_with(tr, p_sequencer.p_sqr0, {tr.pload.size == 1500;})
 49        `uvm_info("vseq", "send one longest packet on p_sequencer.p_sqr0", UVM_MEDIUM)
 50        fork
 51           `uvm_do_on(seq0, p_sequencer.p_sqr0);
 52           `uvm_do_on(seq1, p_sequencer.p_sqr1);
 53        join
…
 57     endtask
 58 endclass
```

在6.3.1节介绍uvm_do_on宏时，读者对其用处感到非常迷茫，现在终于找到答案了。virtual sequence是uvm_do_on宏用得最多的地方。

在case0_vseq中，先使用uvm_do_on_with在p_sequencer.sqr0上发送一个最长包，当其发送完毕后，再启动drv0_seq和drv1_seq。这里的drv0_seq和drv1_seq非常简单，两者之间不需要为同步做任何事情：

代码清单　6-73

```
文件：src/ch6/section6.5/6.5.3/uvm_do_on/my_case0.sv
  3 class drv0_seq extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 11    virtual task body();
 12       repeat (10) begin
 13          `uvm_do(m_trans)
 14          `uvm_info("drv0_seq", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 15       end
 16    endtask
 17 endclass
 18
 19 class drv1_seq extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 27    virtual task body();
 28       repeat (10) begin
 29          `uvm_do(m_trans)
 30          `uvm_info("drv1_seq", "send one transaction", UVM_MEDIUM)
 31       end
 32    endtask
 33 endclass
```

在使用uvm_do_on宏的情况下，虽然seq0是在case0_vseq中启动，但是它最终会被交给p_sequencer.p_sqr0，也即env0.i_agt.sqr而不是v_sqr。这个就是virtual sequence和virtual sequencer中virtual的来源。它们各自并不产生transaction，而只是控制其他的

sequence为相应的sequencer产生transaction。virtual sequence和virtual sequencer只是起一个调度的作用。由于根本不直接产生transaction，所以virtual sequence和virtual sequencer在定义时根本无需指明要发送的transaction数据类型。

如果不使用uvm_do_on宏，那么也可以手工启动sequence，其效果完全一样。手工启动sequence的一个优势是可以向其中传递一些值：

代码清单　6-74

```
文件：src/ch6/section6.5/6.5.3/start/my_case0.sv
  3 class read_file_seq extends uvm_sequence #(my_transaction);
  4   my_transaction m_trans;
  5   string file_name;
…
 19 endclass
…
 37 class case0_vseq extends uvm_sequence;
…
 44   virtual task body();
 45     my_transaction tr;
 46     read_file_seq seq0;
 47     drv1_seq seq1;
…
 50     `uvm_do_on_with(tr, p_sequencer.p_sqr0, {tr.pload.size == 1500;})
 51     `uvm_info("vseq", "send one longest packet on p_sequencer.p_sqr0", UVM_MEDIUM)
 52     seq0 = new("seq0");
 53     seq0.file_name = "data.txt";
 54     seq1 = new("seq1");
 55     fork
 56       seq0.start(p_sequencer.p_sqr0);
```

```
 57         seq1.start(p_sequencer.p_sqr1);
 58     join
…
 62   endtask
 63 endclass
```

在read_file_seq中，需要一个字符串的文件名字，在手工启动时可以指定文件名字，但是uvm_do系列宏无法实现这个功能，因为string类型变量前不能使用rand修饰符。这就是手工启动sequence的优势。

在case0_vseq的定义中，一般都要使用uvm_declare_p_sequencer宏。这个在前文已经讲述过了，通过它可以引用sequencer的成员变量。

回顾一下，为了解决sequence的同步，之前使用send_over这个全局变量的方式来解决。那么在virtual sequence中是如何解决的呢？事实上这个问题在virtual sequence中根本就不是个问题。由于virtual sequence的body是顺序执行，所以只需要先产生一个最长的包，产生完毕后再将其他的sequence启动起来，没有必要去刻意地同步。这只是virtual sequence强大的调度功能的一个小小的体现。

virtual sequence的使用可以减少config_db语句的使用。由于config_db：：set函数的第二个路径参数是字符串，非常容易出错，所以减少config_db语句的使用可以降低出错的概率。在上节中，使用了两个uvm_config_db语句将两个sequence送给了相应的sequencer作为default_sequence。假如验证平台中的sequencer有多个，如10个，那么就需要写10个uvm_config_db语句，这是一件很令人厌烦的事情。使用virtual sequence后可以将这10句只压缩成一句：

代码清单　6-75

```
文件：src/ch6/section6.5/6.5.3/uvm_do_on/my_case0.sv
 70 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 73   uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 74                                           "v_sqr.main_phase",
 75                                           "default_sequence",
 76                                           case0_vseq::type_id::get());
 77 endfunction
```

virtual sequence作为一种特殊的sequence，也可以在其中启动其他的virtual sequence：

代码清单　6-76

```
文件：src/ch6/section6.5/6.5.3/multi_vseq/my_case0.sv
 55 class case0_vseq extends uvm_sequence;
…
 62    virtual task body();
 63       cfg_vseq cvseq;
…
 66       `uvm_do(cvseq)
…
 70    endtask
 71 endclass
```

其中cfg_vseq是另外一个已经定义好的virtual sequence。

6.5.4 仅在virtual sequence中控制objection

在sequence中可以使用starting_phase来控制验证平台的关闭。除了手工启动sequence时为starting_phase赋值外，只有将此sequence作为sequencer的某动态运行phase的default_sequence时，其starting_phase才不为null。如果将某sequence作为uvm_do宏的参数，那么此sequence中的starting_phase是为null的。在此sequence中使用starting_phase.raise_objection是没有任何用处的：

代码清单 6-77

```
文件：src/ch6/section6.5/6.5.3/my_case0.sv
  3 class drv0_seq extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 11    virtual task body();
 12       if(starting_phase != null) begin
 13          starting_phase.raise_objection(this);
 14          `uvm_info("drv0_seq", "raise objection", UVM_MEDIUM)
 15       end
 16       else begin
 17         `uvm_info("drv0_seq", "starting_phase is null, can't raise objection", UVM_MEDIUM)
 18       end
…
 29    endtask
 30 endclass
 31
 32 class case0_vseq extends uvm_sequence;
…
 39    virtual task body();
 40       drv0_seq seq0;
 41       if(starting_phase != null)
```

```
42          starting_phase.raise_objection(this);
43       `uvm_do_on(seq0, p_sequencer.p_sqr0);
44       #100;
45       if(starting_phase != null)
46          starting_phase.drop_objection(this);
47    endtask
48 endclass
```

运行上述代码，会发现drv0_seq中的starting_phase为null，从而不会对objection进行操作。

若使drv0_seq中的starting_phase不为null其实比较容易解决，只要将父sequence的starting_phase赋值给子sequence的starting_phase即可。只是可惜uvm_do系列宏并不提供starting_phase的传递功能。

5.2.3节中提过要么在scoreboard中控制objection，要么在sequence中控制。关于在sequence中控制objection，在没有virtual sequence之前，这没有什么疑问。但是当virtual sequence存在时，尤其是virtual sequence中又可以启动其他的virtual sequence时，有三个地方可以控制objection：一是普通的sequence，二是中间层的virtual sequence（如代码清单6-76中的cfg_vseq），三是最顶层的virtual sequence（代码清单6-76中的case0_vseq）。那么应该在何处控制objection来最终控制验证平台的关闭呢？

一般来说，只在最顶层的virtual sequence中控制objection。因为virtual sequence是起统一调度作用的，这种统一调度不只体现在transaction上，也应该体现在objection的控制上。在验证平台中使用objection时，经常会出现没有按照预期结束仿真的情况。这种情况下就需要层层地查找哪里有objection被提起了，哪里有objection被撤销了。虽然可以通过5.2.5节提及的objection调试手段来辅助进行，但它终归是一件比较麻烦的事情。如果大家约定俗成都只在最顶层的virtual sequence中控制objection，那么在遇到这样的问题时，只查找最顶层的virtual sequence即可，从而大大提高效率。

*6.5.5 在sequence中慎用fork join_none

将6.5.1节中的DUT的数据口扩展为4路，那么相应的验证平台中也要有4个完全相同的driver、sequencer。那么my_vsqr可以这样定义：

代码清单 6-78

```
文件：src/ch6/section6.5/6.5.5/my_vsqr.sv
  4 class my_vsqr extends uvm_sequencer;
  5
  6   my_sequencer p_sqr[4];
…
 12   `uvm_component_utils(my_vsqr)
 13 endclass
```

当DUT上电复位后，需要4个my_driver同时发送数据。在virtual sequence中可以使用fork来启动4个sequence：

代码清单 6-79

```
class case0_vseq extends uvm_sequence;
   virtual task body();
      drv_seq dseq[4];
      for(int i = 0; i < 4; i++)
         fork
            automatic int j = i;
```

```
            uvm_do_on(dseq[j], p_sequencer.p_sqr[j]);
         join_none
   endtask
endclass
```

这里使用了join_none，由于join_none的特性，系统并不等fork起来的进程结束就进入下一次的for循环，因此上面的for循环的展开后如下：

代码清单　6-80

```
class case0_vseq extends uvm_sequence;
   virtual task body();
      drv_seq dseq[4];
      fork
         uvm_do_on(dseq[0], p_sequencer.p_sqr[0]);
      join_none
      fork
         uvm_do_on(dseq[1], p_sequencer.p_sqr[1]);
      join_none
      fork
         uvm_do_on(dseq[2], p_sequencer.p_sqr[2]);
      join_none
      fork
         uvm_do_on(dseq[3], p_sequencer.p_sqr[3]);
      join_none
    endtask
endclass
```

这样会有什么问题？

当sequence启动后会自动执行它的body任务。当body执行完成时，那么这个sequence就相当于已经完成了其使命，已经结束了。如果使用fork join_none，由于join_none的特性，当使用uvm_do_on宏将四个dseq分别放在四个p_sqr上执行时，系统会新启动4个进程，但是并不等待这4个mseq执行完毕就直接返回了。返回之后就到了endtask，此时系统认为这个sequence已经执行完成了。执行完成之后，系统将会清理这个sequence之前占据的内存空间，“杀死”掉由其启动的进程，于是这4个启动的dseq还没有完成就直接被“杀死”掉了。也就是说，看似分别往4个p_sqr分别丢了一个sequence，但是事实上这个sequence根本没有执行。这是关键所在！

要避免这个问题有多种方法，一是使用wait fork语句：

代码清单　6-81

文件：src/ch6/section6.5/6.5.5/my_case0.sv

```
 19 class case0_vseq extends uvm_sequence;
…
 26    virtual task body();
 27       my_transaction tr;
 28       drv_seq dseq[4];
…
 31       for(int i = 0; i < 4; i++)
 32          fork
 33             automatic int j = i;
 34             `uvm_do_on(dseq[j], p_sequencer.p_sqr[j]);
 35          join_none
```

```
 36        wait fork;
…
 40     endtask
 41 endclass
```

wait fork语句将会等待前面被fork起来的进程执行完毕。

另外一种方法是使用fork join：

代码清单　6-82

```
class case0_vseq extends uvm_sequence;
   virtual task body();
      drv_seq dseq[4];
      fork
         uvm_do_on(dseq[0], p_sequencer.p_sqr[0]);
         uvm_do_on(dseq[1], p_sequencer.p_sqr[1]);
         uvm_do_on(dseq[2], p_sequencer.p_sqr[2]);
         uvm_do_on(dseq[3], p_sequencer.p_sqr[3]);
      join
   endtask
endclass
```

只是这样就无法使用for循环了。

6.6 在sequence中使用config_db

*6.6.1 在sequence中获取参数

在3.5节中介绍config_db机制时，set函数的目标都是一个component，或者说，之前所有获取参数的操作都是在一个component中进行的。sequence机制是UVM中最强大的机制之一，config_db机制也对sequence机制提供了支持，可以在sequence中获取参数。

能够调用config_db：：get的前提是已经进行了设置。sequence本身是一个uvm_object，它无法像uvm_component那样出现在UVM树中，从而很难确定在对其进行设置时的第二个路径参数。所以在sequence中使用config_db：：get函数得到参数的最大障碍是路径问题。

在UVM中使用get_full_name（）可以得到一个component的完整路径，同样的，此函数也可以在一个sequence中被调用，尝试着在一个sequence的body中调用此函数，并打印出返回值，其结果大体如下：

```
uvm_test_top.env.i_agt.sqr.case0_sequence
```

这个路径是由两个部分组成：此sequence的sequencer的路径，及实例化此sequence时传递的名字。因此，可以使用如下的方式为一个sequence传递参数：

代码清单 6-83

文件：src/ch6/section6.6/6.6.1/my_case0.sv

```
 43 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 46    uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.sqr.*", "count", 9);
…
 52 endfunction
```

set函数的第二个路径参数里面出现了通配符，这是因为sequence在实例化时名字一般是不固定的，而且有时是未知的（比如使用default_sequence启动的sequence的名字就是未知的），所以使用通配符。

在sequence中以如下的方式调用config_db：：get函数：

代码清单　6-84

文件：src/ch6/section6.6/6.6.1/my_case0.sv

```
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 11    virtual task pre_body();
 12       if(uvm_config_db#(int)::get(null, get_full_name(), "count", count))
 13          `uvm_info("seq0", $sformatf("get count value %0d via config_db", count), UVM_MEDIUM)
 14       else
 15          `uvm_error("seq0", "can't get count value!")
 16    endtask
…
 30 endclass
```

这里需要引起关注的是第一个参数。在get函数原型中，第一个参数必须是一个component，而sequence不是一个component，所以这里不能使用this指针，只能使用null或者uvm_root：：get（）。前文已经提过，当使用null时，UVM会自动将其替换为uvm_root：：get（），再加上第二个参数get_full_name（），就可以完整地得到此sequence的路径，从而得到参数。

*6.6.2 在sequence中设置参数

与获取参数相比，在sequence中使用config_db：：set设置参数就比较简单。有了在top_tb中设置virtual interface的经验，读者在这里可以使用类似的方式为UVM树中的任意结点传递参数：

代码清单 6-85

```
文件：src/ch6/section6.6/6.6.2/component/my_case0.sv
 33 class case0_vseq extends uvm_sequence;
…
 40     virtual task body();
…
 46         fork
 47            `uvm_do_on(seq0, p_sequencer.p_sqr0);
 48            `uvm_do_on(seq1, p_sequencer.p_sqr1);
 49           begin
 50              #10000;
 51                 uvm_config_db#(bit)::set(uvm_root::get(), "uvm_test_top.env0.scb",
"cmp_en", 0);
 52              #10000;
 53             uvm_config_db#(bit)::set(uvm_root::get(), "uvm_test_top.env0.scb",
"cmp_en", 1);
 54           end
 55         join
…
 59     endtask
 60 endclass
```

上例中是向scoreboard中传递了一个cmp_en的参数。除了向component中传递参数外，也可以向sequence中传递参数：

代码清单　6-86

文件：src/ch6/section6.6/6.6.2/sequence/my_case0.sv

```
  3 class drv0_seq extends uvm_sequence #(my_transaction);
  4   my_transaction m_trans;
  5   bit first_start;
  6   `uvm_object_utils(drv0_seq)
  7
  8   function  new(string name= "drv0_seq");
  9     super.new(name);
 10     first_start = 1;
 11   endfunction
 12
 13   virtual task body();
 14    void'(uvm_config_db#(bit)::get(uvm_root::get(), get_full_name(), "first_start", first_start)
 15     if(first_start)
 16       `uvm_info("drv0_seq", "this is the first start of the sequence", UVM_MEDIUM)
 17     else
 18        `uvm_info("drv0_seq", "this is not the first start of the sequence",UVM_MEDIUM)
 19     uvm_config_db#(bit)::set(uvm_root::get(), "uvm_test_top.v_sqr.*", "first_start", 0);
…
 23   endtask
 24 endclass
```

这个sequence向自己传递了一个参数：first_start。在一次仿真中，当此sequence第一次启动时，其first_start值为1；当后面再次启动时，其first_start为0。根据first_start值的不同，可以在body中有不同的行为。

这里需要注意的是，由于此sequence在virtual sequence中被启动，所以其get_full_name的结果应该是uvm_test_top.v_sqr.*，而不是uvm_test_top.env0.i_agt.sqr.*，所以在设置时，第二个参数应该是前者。

*6.6.3 wait_modified的使用

在上一节的例子中，向scoreboard传递了一个cmp_en的参数，scoreboard可以根据此参数决定是否对收到的transaction进行检查。在做一些异常用例测试的时候，经常用到这种方式。但是关键是如何在scoreboard中获取这个参数。

在前面的章节中，scoreboard都是在build_phase中调用get函数，并且调用的前提是参数已经被设置过。一个sequence是在task phase中运行的，当其设置一个参数的时候，其时间往往是不固定的。

针对这种不固定的设置参数的方式，UVM中提供了wait_modified任务，它的参数有三个，与config_db：：get的前三个参数完全一样。当它检测到第三个参数的值被更新过后，它就返回，否则一直等待在那里。其调用方式如下：

代码清单 6-87

```
文件：src/ch6/section6.6/6.6.3/component/my_scoreboard.sv
 24 task my_scoreboard::main_phase(uvm_phase phase);
…
 30   fork
 31      while(1) begin
 32         uvm_config_db#(bit)::wait_modified(this, "", "cmp_en");
 33         void'(uvm_config_db#(bit)::get(this, "", "cmp_en", cmp_en));
 34        `uvm_info("my_scoreboard", $sformatf("cmp_en value modified, the new value is %0d", cmp_
 35      end
…
 62   join
 63 endtask
```

在上述代码中，wait_modified与main_phase中的其他进程在同一时刻被fork起来，当检测到参数值被设置后，立刻调用config_db：：get得到新的参数。其他进程可以根据新的参数值决定后续的比对策略。

与get函数一样，除了可以在一个component中使用外，还可以在一个sequence中调用wait_modified任务：

代码清单　6-88

文件：src/ch6/section6.6/6.6.3/sequence/my_case0.sv

```
  3 class drv0_seq extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 11    virtual task body();
 12       bit send_en = 1;
 13       fork
 14          while(1) begin
 15             uvm_config_db#(bit)::wait_modified(null, get_full_name(), "send_en");
 16             void'(uvm_config_db#(bit)::get(null, get_full_name, "send_en", send_en));
 17             `uvm_info("drv0_seq", $sformatf("send_en value modified, the new value is %0d", ser
 18          end
 19       join_none
…
 23    endtask
 24 endclass
```

6.7 response的使用

*6.7.1 put_response与get_response

sequence机制提供了一种sequence→sequencer→driver的单向数据传输机制。但是在复杂的验证平台中，sequence需要根据driver对transaction的反应来决定接下来要发送的transaction，换言之，sequence需要得到driver的一个反馈。sequence机制提供对这种反馈的支持，它允许driver将一个response返回给sequence。

如果需要使用response，那么在sequence中需要使用get_response任务：

代码清单 6-89

```
文件：src/ch6/section6.7/6.7.1/my_case0.sv
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 10    virtual task body();
…
 13       repeat (10) begin
 14          `uvm_do(m_trans)
 15          get_response(rsp);
 16          `uvm_info("seq", "get one response", UVM_MEDIUM)
 17          rsp.print();
 18       end
…
 22    endtask
```

```
23
24     `uvm_object_utils(case0_sequence)
25 endclass
```

在driver中，则需要使用put_response任务：

代码清单　6-90

```
文件：src/ch6/section6.7/6.7.1/my_driver.sv
 22 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
…
 27     while(1) begin
 28         seq_item_port.get_next_item(req);
 29         drive_one_pkt(req);
 30         rsp = new("rsp");
 31         rsp.set_id_info(req);
 32         seq_item_port.put_response(rsp);
 33         seq_item_port.item_done();
 34     end
 35 endtask
```

这里的关键是设置set_id_info函数，它将req的id等信息复制到rsp中。由于可能存在多个sequence在同一个sequencer上启动的情况，只有设置了rsp的id等信息，sequencer才知道将response返回给哪个sequence。

除了使用put_response外，UVM还支持直接将response作为item_done的参数：

代码清单　6-91

```
while(1) begin
   seq_item_port.get_next_item(req);
   drive_one_pkt(req);
   rsp = new("rsp");
   rsp.set_id_info(req);
   seq_item_port.item_done(rsp);
end
```

6.7.2 response的数量问题

通常来说，一个transaction对应一个response，但是事实上，UVM也支持一个transaction对应多个response的情况，在这种情况下，在sequence中需要多次调用get_response，而在driver中，需要多次调用put_response：

代码清单 6-92

```
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
   while(1) begin
      seq_item_port.get_next_item(req);
      drive_one_pkt(req);
      rsp = new("rsp");
      rsp.set_id_info(req);
      seq_item_port.put_response(rsp);
      seq_item_port.put_response(rsp);
      seq_item_port.item_done();
   end
endtask
class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
   virtual task body();
      repeat (10) begin
         `uvm_do(m_trans)
         get_response(rsp);
         rsp.print();
         get_response(rsp);
         rsp.print();
      end
   endtask
endclass
```

当存在多个response时，将response作为item_done参数的方式就不适用了。由于一个transaction只能对应一个item_done，所以使用多次item_done（rsp）是会出错的。

response机制的原理是driver将rsp推送给sequencer，而sequencer内部维持一个队列，当有新的response进入时，就推入此队列。但是此队列的大小并不是无限制的，在默认情况下，其大小为8。当队列中有8个response时，如果driver再次向此队列推送新的response，UVM就会给出如下错误提示：

```
UVM_ERROR @ 1753500000: uvm_test_top.env.i_agt.sqr@@case0_sequence [uvm_test_top.env.i_agt.sqr.case
```

因此，如果在driver中每个transaction后都发送一个response，而sequence又没能及时get_response，sequencer中的response队列就存在溢出的风险。

*6.7.3 response handler与另类的response

前面讲述的get_response和put_response是一一对应的。当在sequence中启动get_response时，进程就会阻塞在那里，一直到response_queue中被放入新的记录。如果driver能够马上将response通过put_response的方式传回sequence，那么sequence被阻塞的进程就会得到释放，可以接着发送下一个transaction给driver。但是假如driver需要延时较长的一段时间才能将transaction传回，在此期间，driver希望能够继续从sequence得到新的transaction并驱动它，但是由于sequence被阻塞在了那里，根本不可能发出新的transaction。

启动一个新的线程，等待rep。主线程继续get_next_item().
如果是多个seq在一个sqr上启动的话，此时就会拿到别的seq。

发生上述情况的主要原因为sequence中发送transaction与get_response是在同一个进程中执行的，假如将二者分离开来，在不同的进程中运行将会得到不同的结果。在这种情况下需要使用response_handler：

代码清单 6-93

文件：src/ch6/section6.7/6.7.3/rsp_handler/my_case0.sv

```
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 10     virtual task pre_body();
 11         use_response_handler(1);
 12     endtask
 13
 14     virtual function void response_handler(uvm_sequence_item response);
 15         if(!$cast(rsp, response))
 16             `uvm_error("seq", "can't cast")
 17         else begin
 18             `uvm_info("seq", "get one response", UVM_MEDIUM)
```

```
19          rsp.print();
20       end
21    endfunction
22
23    virtual task body();
24       if(starting_phase != null)
25          starting_phase.raise_objection(this);
26       repeat (10) begin
27          `uvm_do(m_trans)
28       end
29       #100;
30       if(starting_phase != null)
31          starting_phase.drop_objection(this);
32    endtask
33
34    `uvm_object_utils(case0_sequence)
35 endclass
```

由于response handler功能默认是关闭的，所以要使用response_handler，首先需要调用use_response_handler函数，打开sequence的response handler功能。

当打开response handler功能后，用户需要重载虚函数response_handler。此函数的参数是一个uvm_sequence_item类型的指针，需要首先将其通过cast转换变成my_transaction类型，之后就可以根据rsp的值来决定后续sequence的行为。

无论是put/get_response或者response_handler，都是新建了一个transaction，并将其返回给sequence。事实上，当一个uvm_do语句执行完毕后，其第一个参数并不是一个空指针，而是指向刚刚被送给driver的transaction。利用这一点，可以实现一种另类的response：

代码清单　6-94

文件：src/ch6/section6.7/6.7.3/smart/my_driver.sv

```
 22 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
…
 27     while(1) begin
 28         seq_item_port.get_next_item(req);
 29         drive_one_pkt(req);
 30         req.frm_drv = "this is information from driver";
 31         seq_item_port.item_done();
 32     end
 33 endtask
```

driver中向req中的成员变量赋值，而sequence则检测这个值：

代码清单　6-95

文件：src/ch6/section6.7/6.7.3/smart/my_case0.sv

```
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 10     virtual task body();
…
 13         repeat (10) begin
 14             `uvm_do(m_trans)
 15           `uvm_info("seq", $sformatf("get information from driver: %0s", m_trans.frm_drv), UVM_MI
 16         end
…
 20     endtask
 21
```

```
22     `uvm_object_utils(case0_sequence)
23 endclass
```

这种另类的response在很多总线的driver中用到。读者可以参考7.1.1节的内容。

*6.7.4 rsp与req类型不同

前面所有的例子中，response的类型都与req的类型完全相同。UVM也支持response与req类型不同的情况。

uvm_driver、uvm_sequencer与uvm_sequence的原型分别是：

代码清单 6-96

```
来源：UVM
源代码
class uvm_driver #(type REQ=uvm_sequence_item,
                   type RSP=REQ) extends uvm_component;
class uvm_sequencer #(type REQ=uvm_sequence_item, RSP=REQ)
                              extends uvm_sequencer_param_base #(REQ, RSP);
virtual class uvm_sequence #(type REQ = uvm_sequence_item,
                             type RSP = REQ) extends uvm_sequence_base;
```

在前面章节的例子中只向它们传递了一个参数，因此response与req的类型是一样的。如果要使用不同类型的rsp与req，那么driver、sequencer与sequence在定义时都要传入两个参数：

代码清单 6-97

```
                                                  req              rsp
class my_driver extends uvm_driver#(my_transaction, your_transaction);
class my_sequencer extends uvm_sequencer #(my_transaction, your_transaction);
class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction, your_transaction);
```

之后，可以使用put_response来发送response：

代码清单　6-98

文件：src/ch6/section6.7/6.7.4/my_driver.sv

```
 22 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
…
 27     while(1) begin
 28         seq_item_port.get_next_item(req);
 29         drive_one_pkt(req);
 30         rsp = new("rsp");
 31         rsp.set_id_info(req);
 32         rsp.information = "driver information";
 33         seq_item_port.put_response(rsp);
 34         seq_item_port.item_done();
 35     end
 36 endtask
```

使用get_response来接收response：

代码清单　6-99

文件：src/ch6/section6.7/6.7.4/my_case0.sv

```
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction, your_transaction);
…
 10     virtual task body();
…
```

```
 13        repeat (10) begin
 14           `uvm_do(m_trans)
 15           get_response(rsp);
 16        `uvm_info("seq", $sformatf("response information is: %0s", rsp.information), UVM_MEDIUM)
 17        end
…
 21     endtask
 22
 23     `uvm_object_utils(case0_sequence)
 24 endclass
```

除了put/get_response外，也可以使用response handler，这与req及rsp类型相同时完全一样。

6.8 sequence library

6.8.1 随机选择sequence

所谓sequence library，就是一系列sequence的集合。sequence_library类的原型为：

代码清单 6-100

```
来源：UVM
源代码
class uvm_sequence_library #(type REQ=uvm_sequence_item,RSP=REQ) extends uvm_sequence #(REQ,RSP);
```

由上述代码可以看出sequence library派生自uvm_sequence，从本质上说它是一个sequence。它根据特定的算法随机选择注册在其中的一些sequence，并在body中执行这些sequence。

一个sequence library的定义如下：

代码清单 6-101

```
文件：src/ch6/section6.8/6.8.1/my_case0.sv
  4 class simple_seq_library extends uvm_sequence_library#(my_transaction);
  5     function  new(string name= "simple_seq_library");
```

```
 6        super.new(name);
 7        init_sequence_library();
 8    endfunction
 9
10    `uvm_object_utils(simple_seq_library)
11    `uvm_sequence_library_utils(simple_seq_library);
12
13 endclass
```

在定义sequence library时有三点要特别注意：一是从uvm_sequence派生时要指明此sequence library所产生的transaction类型，这点与普通的sequence相同；二是在其new函数中要调用init_sequence_library，否则其内部的候选sequence队列就是空的；三是要调用uvm_sequence_library_utils注册。

一个sequence library在定义之后，如果没有其他任何的sequence注册到其中，是没有任何意义的。一个sequence在定义时使用宏uvm_add_to_seq_lib来将其加入某个sequence library中：

代码清单　6-102

文件：src/ch6/section6.8/6.8.1/my_case0.sv

```
 15 class seq0 extends uvm_sequence#(my_transaction);
…
 20    `uvm_object_utils(seq0)
 21    `uvm_add_to_seq_lib(seq0, simple_seq_library)
 22    virtual task body();
 23       repeat(10) begin
 24          `uvm_do(req)
 25          `uvm_info("seq0", "this is seq0", UVM_MEDIUM)
```

```
26        end
27     endtask
28 endclass
```

uvm_add_to_seq_lib有两个参数，第一个是此sequence的名字，第二个是要加入的sequence library的名字。一个sequence可以加入多个不同的sequence library中：

代码清单　6-103

```
class seq0 extends uvm_sequence#(my_transaction);
   `uvm_object_utils(seq0)
   `uvm_add_to_seq_lib(seq0, simple_seq_library)
   `uvm_add_to_seq_lib(seq0, hard_seq_library)
   virtual task body();
      repeat(10) begin
         `uvm_do(req)
         `uvm_info("seq0", "this is seq0", UVM_MEDIUM)
      end
   endtask
endclass
```

同样的，可以有多个sequence加入同一sequence library中：

代码清单　6-104

文件：src/ch6/section6.8/6.8.1/my_case0.sv

```
 30 class seq1 extends uvm_sequence#(my_transaction);
…
 35     `uvm_object_utils(seq1)
 36     `uvm_add_to_seq_lib(seq1, simple_seq_library)
 37     virtual task body();
 38        repeat(10) begin
 39           `uvm_do(req)
 40           `uvm_info("seq1", "this is seq1", UVM_MEDIUM)
 41        end
 42     endtask
 43 endclass
```

当sequence与sequence library定义好后，可以将sequence library作为sequencer的default sequence：

代码清单　6-105

文件：src/ch6/section6.8/6.8.1/my_case0.sv

```
 85 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 86     super.build_phase(phase);
 87
 88     uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 89                                             "env.i_agt.sqr.main_phase",
 90                                             "default_sequence",
 91                                              simple_seq_library::type_id::get());
 92 endfunction
```

执行上述代码，将发现UVM会随机从加入simple_seq_library的sequence中选择几个，并顺序启动它们。

6.8.2 控制选择算法

在上节中，sequence library随机从其sequence队列中选择几个执行。这是由其变量selection_mode决定的，这个变量的定义为：

代码清单 6-106

```
来源：UVM
源代码
uvm_sequence_lib_mode selection_mode;
```

uvm_sequence_lib_mode是一个枚举类型，共有四个值：

代码清单 6-107

```
来源：UVM
源代码
typedef enum
{
  UVM_SEQ_LIB_RAND,
  UVM_SEQ_LIB_RANDC,
  UVM_SEQ_LIB_ITEM,
  UVM_SEQ_LIB_USER
} uvm_sequence_lib_mode;
```

UVM_SEQ_LIB_RAND就是完全的随机，上节中的例子使用的就是这种算法。

UVM_SEQ_LIB_RANDC就是将加入其中的sequence随机排一个顺序，然后按照此顺序执行。这可以保证每个sequence执行一遍，在所有的sequence被执行完一遍之前，不会有sequence被执行第二次，其配置方式如下：

代码清单　6-108

```
文件：src/ch6/section6.8/6.8.2/randc/my_case0.sv
 85 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 92    uvm_config_db#(uvm_sequence_lib_mode)::set(this,
 93                                               "env.i_agt.sqr.main_phase",
 94                                                "default_sequence.selection_mode",
 95                                               UVM_SEQ_LIB_RANDC);
 96 endfunction
```

UVM_SEQ_LIB_ITEM的意思是sequence library并不执行其sequence队列中的sequence，而是自己产生transaction。换言之，sequence library在此种情况下就是一个普通的sequence，只是其产生的transaction除了定义时施加的约束外，没有任何额外的约束。

UVM_SEQ_LIB_USER是用户自定义选择的算法。此时需要用户重载select_sequence参数：

代码清单　6-109

文件：src/ch6/section6.8/6.8.2/user/my_case0.sv

```
 4 class simple_seq_library extends uvm_sequence_library#(my_transaction);
 5    function  new(string name= "simple_seq_library");
 6       super.new(name);
 7       init_sequence_library();
 8    endfunction
 9
10    `uvm_object_utils(simple_seq_library)
11    `uvm_sequence_library_utils(simple_seq_library);
12
13    virtual function int unsigned select_sequence(int unsigned max);
14       static int unsigned index[$];
15       static bit inited;
16       int value;
17       if(!inited) begin
18          for(int i = 0; i <= max; i++) begin
19             if((sequences[i].get_type_name() == "seq0") ||
20                (sequences[i].get_type_name() == "seq1") ||
21                (sequences[i].get_type_name() == "seq3"))
22                index.push_back(i);
23          end
24          inited = 1;
25       end
26       value = $urandom_range(0, index.size() - 1);
27       return index[value];
28    endfunction
29 endclass
```

假设有4个sequence加入了sequence library中：seq0、seq1、seq2和seq3。现在由于各种原因，不想使用seq2了。上述代码的select_sequence第一次被调用时初始化index队列，把seq0、seq1和seq3在sequences中的索引号存入其中。之后，从index中随机选择一个值返回，相当于是从seq0、seq1和seq3随机选一个执行。sequences是sequence library中存放候选sequence的队列。

select_sequence会传入一个参数max，select_sequence函数必须返回一个介于0到max之间的数值。如果sequences队列的大小为4，那么传入的max的数值是3，而不是4。

6.8.3 控制执行次数

在6.8.1节及6.8.2节中，执行的次数都是10次，这是由sequence library内部的两个变量控制的：

代码清单 6-110

```
来源：UVM
源代码
int unsigned min_random_count=10;
int unsigned max_random_count=10;
```

sequence library会在min_random_count和max_random_count之间随意选择一个数来作为执行次数。这里只能选择10。当selection_mode为UVM_SEQ_LIB_ITEM时，将会产生10个item；为其他模式时，将会顺序启动10个sequence。可以设置这两个值为其他值来改变迭代次数：

代码清单 6-111

```
文件：src/ch6/section6.8/6.8.3/my_case0.sv
 85 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 88   uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 89                                           "env.i_agt.sqr.main_phase",
 90                                           "default_sequence",
 91                                           simple_seq_library::type_id::get());
```

```
 92   uvm_config_db#(uvm_sequence_lib_mode)::set(this,
 93                                      "env.i_agt.sqr.main_phase",
 94                                      "default_sequence.selection_mode",
 95                                      UVM_SEQ_LIB_ITEM);
 96   uvm_config_db#(int unsigned)::set(this,
 97                                      "env.i_agt.sqr.main_phase",
 98                                      "default_sequence.min_random_count",
 99                                      5);
100   uvm_config_db#(int unsigned)::set(this,
101                                      "env.i_agt.sqr.main_phase",
102                                      "default_sequence.max_random_count",
103                                      20);
104 endfunction
```

上述设置将会产生最多20个，最少5个transaction。

6.8.4 使用sequence_library_cfg

在代码清单6-111中使用3个config_db设置迭代次数和选择算法稍显麻烦。UVM提供了一个类uvm_sequence_library_cfg来对sequence library进行配置。它一共有三个成员变量：

代码清单 6-112

```
来源：UVM
源代码
class uvm_sequence_library_cfg extends uvm_object;
  `uvm_object_utils(uvm_sequence_library_cfg)
  uvm_sequence_lib_mode selection_mode;
  int unsigned min_random_count;
  int unsigned max_random_count;
…
endclass
```

通过配置如上三个成员变量，并将其传递给sequence library就可对sequence library进行配置：

代码清单 6-113

```
文件：src/ch6/section6.8/6.8.4/cfg/my_case0.sv
 85 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 86    uvm_sequence_library_cfg cfg;
 87    super.build_phase(phase);
```

```
88
89      cfg = new("cfg", UVM_SEQ_LIB_RANDC, 5, 20);
90
91      uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
92                                              "env.i_agt.sqr.main_phase",
93                                              "default_sequence",
94                                              simple_seq_library::type_id::get());
95      uvm_config_db#(uvm_sequence_library_cfg)::set(this,
96                                              "env.i_agt.sqr.main_phase",
97                                              "default_sequence.config",
98                                              cfg);
99  endfunction
```

除了使用专门的cfg外，还有一种简单的配置方法是使用代码清单6-7的方式启动sequence，在对sequence library进行实例化后，对其中的变量进行赋值：

代码清单　6-114

文件：src/ch6/section6.8/6.8.4/start/my_case0.sv

```
85  function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
86    simple_seq_library seq_lib;
87    super.build_phase(phase);
88
89    seq_lib = new("seq_lib");
90    seq_lib.selection_mode = UVM_SEQ_LIB_RANDC;
91    seq_lib.min_random_count = 10;
92    seq_lib.max_random_count = 15;
93    uvm_config_db#(uvm_sequence_base)::set(this,
94                                           "env.i_agt.sqr.main_phase",
95                                           "default_sequence",
```

```
96                                      seq_lib);
97 endfunction
```

第7章　UVM中的寄存器模型

7.1　寄存器模型简介

*7.1.1　带寄存器配置总线的DUT

在本书以前所有的例子中，使用的DUT几乎都是基于2.2.1节中所示的最简单的DUT，只有一组数据输入输出口，而没有行为控制口，这样的DUT几乎是没有任何价值的。通常来说，DUT中会有一组控制端口，通过控制端口，可以配置DUT中的寄存器，DUT可以根据寄存器的值来改变其行为。这组控制端口就是寄存器配置总线。这样的DUT的一个示例如附录B的代码清单B-2所示。

在这个DUT中，只有一个1bit的寄存器invert，为其分配地址16'h9。如果它的值为1，那么DUT在输出时会将输入的数据取反；如果为0，则将输入数据直接发送出去。invert可以通过总线bus_*进行配置。这组总线的行为比较简单，bus_op为1时表示写操作，为0表示读操作。bus_addr表示地址，bus_rd_data表示读取的数据，bus_wr_data表示要写入的数据。bus_cmd_valid为1时表示总线数据有效，只持续一个时钟，DUT应该在其为1期间采样总线数据；如果是读操作，应该在下一个时钟给出读数据，如果是写操作，应该在下一个时钟把数据写入。当在此总线上对16'h9（即invert寄存器）的地址进行读写操作时，会得到结果，对其他地址进行操作则不会有任何结果。这个总线模型非常简单，不支持burst操作，不支持延时响应等，但是用于这里说明问题足够了。

针对此总线，有如下的transaction定义：

代码清单　7-1

文件：src/ch7/section7.1/7.1.1/bus_transaction.sv

```
  4 typedef enum{BUS_RD, BUS_WR} bus_op_e;
  5
  6 class bus_transaction extends uvm_sequence_item;
  7
  8    rand bit[15:0] rd_data;
  9    rand bit[15:0] wr_data;
 10    rand bit[15:0] addr;
 11
 12    rand bus_op_e  bus_op;
…
 25 endclass
```

有如下的driver定义：

代码清单　7-2

文件：src/ch7/section7.1/7.1.1/bus_driver.sv

```
 22 task bus_driver::run_phase(uvm_phase phase);
…
 29    while(1) begin
 30       seq_item_port.get_next_item(req);
 31       drive_one_pkt(req);
 32       seq_item_port.item_done();
```

```
33    end
34 endtask
35
36 task bus_driver::drive_one_pkt(bus_transaction tr);
37    `uvm_info("bus_driver", "begin to drive one pkt", UVM_LOW);
38    repeat(1) @(posedge vif.clk);
39
40    vif.bus_cmd_valid <= 1'b1;
41    vif.bus_op <= ((tr.bus_op == BUS_RD)   0 : 1);
42    vif.bus_addr = tr.addr;
43    vif.bus_wr_data <= ((tr.bus_op == BUS_RD)   0 : tr.wr_data);
44
45    @(posedge vif.clk);
46    vif.bus_cmd_valid <= 1'b0;
47    vif.bus_op <= 1'b0;
48    vif.bus_addr <= 16'b0;
49    vif.bus_wr_data <= 16'b0;
50
51    @(posedge vif.clk);
52    if(tr.bus_op == BUS_RD) begin
53       tr.rd_data = vif.bus_rd_data;
54       //$display("@%0t, rd_data is %0h", $time, tr.rd_data);
55    end
56
57    `uvm_info("bus_driver", "end drive one pkt", UVM_LOW);
58 endtask
```

需要说明的是，如果是读操作，这里直接将读到的数据赋值给rd_data。在sequence中，可以使用如下方式进行读操作：

代码清单　7-3

```
文件：src/ch7/section7.1/7.1.1/my_case0.sv
 26   virtual task body();
 27      `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.addr == 16'h9;
 28                             m_trans.bus_op == BUS_RD;})
 29      `uvm_info("case0_bus_seq", $sformatf("invert's initial value is %0h",m_trans.rd_data), UVM
…
 36    endtask
```

这里用到了6.7.3节中介绍的另类的response，在sequence中直接引用m_trans.rd_data可以得到读取数据的值。

以如下的方式进行写操作：

代码清单　7-4

```
文件：src/ch7/section7.1/7.1.1/my_case0.sv
 26    virtual task body();
…
 30      `uvm_do_with(m_trans, {m_trans.addr == 16'h9;
 31                             m_trans.bus_op == BUS_WR;
 32                             m_trans.wr_data == 16'h1;})
…
 36    endtask
```

现在，整个验证平台的框图变为如图7-1所示的形式。

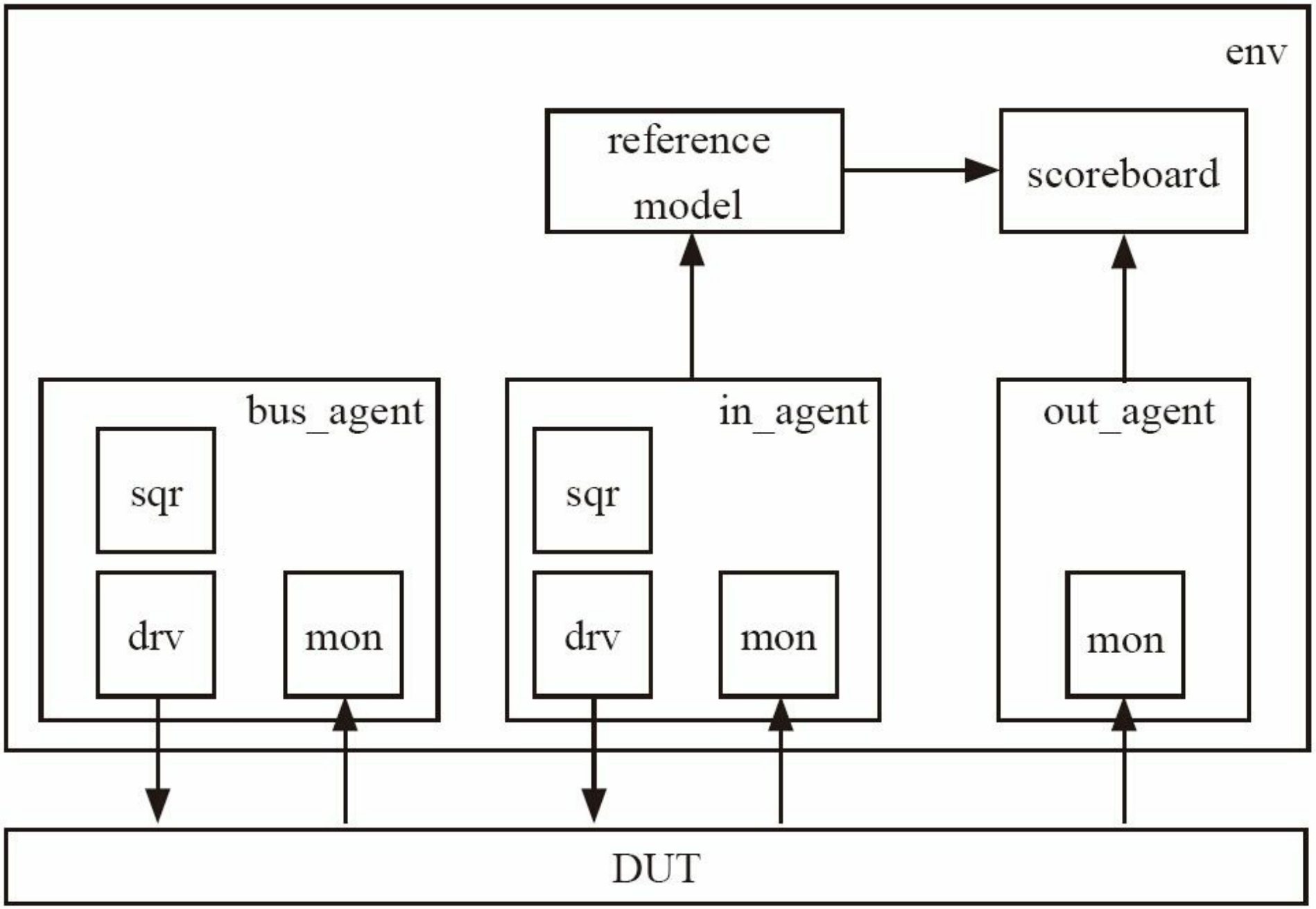

env
reference
model
scoreboard
bus_agent
sqr
drv
mon
in_agent
sqr
drv
mon
out_agent
mon
DUT

图7-1　新验证平台框图

7.1.2 需要寄存器模型才能做的事情

考虑如下一个问题，在上节所示的DUT中，invert寄存器用于控制DUT是否将输入的激励按位取反。在取反的情况下，参考模型需要读取此寄存器的值，如果为1，那么其输出transaction也需要进行反转。可是如何在参考模型中读取一个寄存器的值呢？

就目前读者所掌握的知识来说，只能先通过使用bus_driver向总线上发送读指令，并给出要读的寄存器地址来查看一个寄存器的值。要实现这个过程，需要启动一个sequence，这个sequence会发送一个transaction给bus_driver。所以第一个问题是如何在参考模型的控制下来启动一个sequence以读取寄存器。第二个问题是，sequence读取的寄存器的值如何传递给参考模型。

对于第一个问题，一个简单的想法是设置一个全局事件（又是全局变量！），然后在参考模型中触发这个事件。在virtual sequence中等待这个事件的到来，等到了，则启动sequence。这里用到了全局变量，这是相当忌讳的。

如果不使用全局变量，那么可以用一个非全局事件来代替。利用config机制分别为virtual sequencer和scoreboard设置一个config_object，在此object中设置一个事件，如rd_reg_event，然后在scoreboard中触发这个事件，而在virtual sequence中则要等待这个事件的到来：

代码清单 7-5

```
@p_sequencer.config_object.rd_reg_event;
```

这个事件等到后就启动一个sequence，开始读寄存器。

对于第二个问题，当sequence读取到寄存器后，可以再通过6.6.2节所示的config_db传递给参考模型，在参考模型中使用6.6.3节所示的wait_modified来更新数据。

从上面可以看出这个过程相当麻烦。在一个大的设计中，其寄存器有成百上千个。为了区分这么多的寄存器，又需要许多其他额外的设置。其实，这个读取过程可以使用寄存器模型来实现。如果有了寄存器模型，那么这个过程就可以简化为：

代码清单　7-6

```
task my_model::main_phase(uvm_phase phase);
…
    reg_model.INVERT_REG.read(status, value, UVM_FRONTDOOR);
…
endtask
```

只要一条语句就可以实现上述复杂的过程。像启动sequence及将读取结果返回这些事情，都会由寄存器模型来自动完成。

图7-2示出了读取寄存器的过程，其中左图为不使用寄存器模型，右图为使用寄存器模型的读取方式。

在没有寄存器模型之前，只能启动sequence通过前门（FRONTDOOR）访问的方式来读取寄存器，局限较大，在scoreboard（或者其他component）中难以控制。而有了寄存器模型之后，scoreboard只与寄存器模型打交道，无论是发送读的指令还是获取读操作的返回值，都可以由寄存器模型完成。有了寄存器模型后，可以在任何耗费时间的phase中使用寄存器模型以前门

访问或后门（BACKDOOR）访问的方式来读取寄存器的值，同时还能在某些不耗费时间的phase（如check_phase）中使用后门访问的方式来读取寄存器的值。

前门访问与后门访问是两种寄存器的访问方式。所谓前门访问，指的是通过模拟cpu在总线上发出读指令，进行读写操作。在这个过程中，仿真时间（$time函数得到的时间）是一直往前走的。

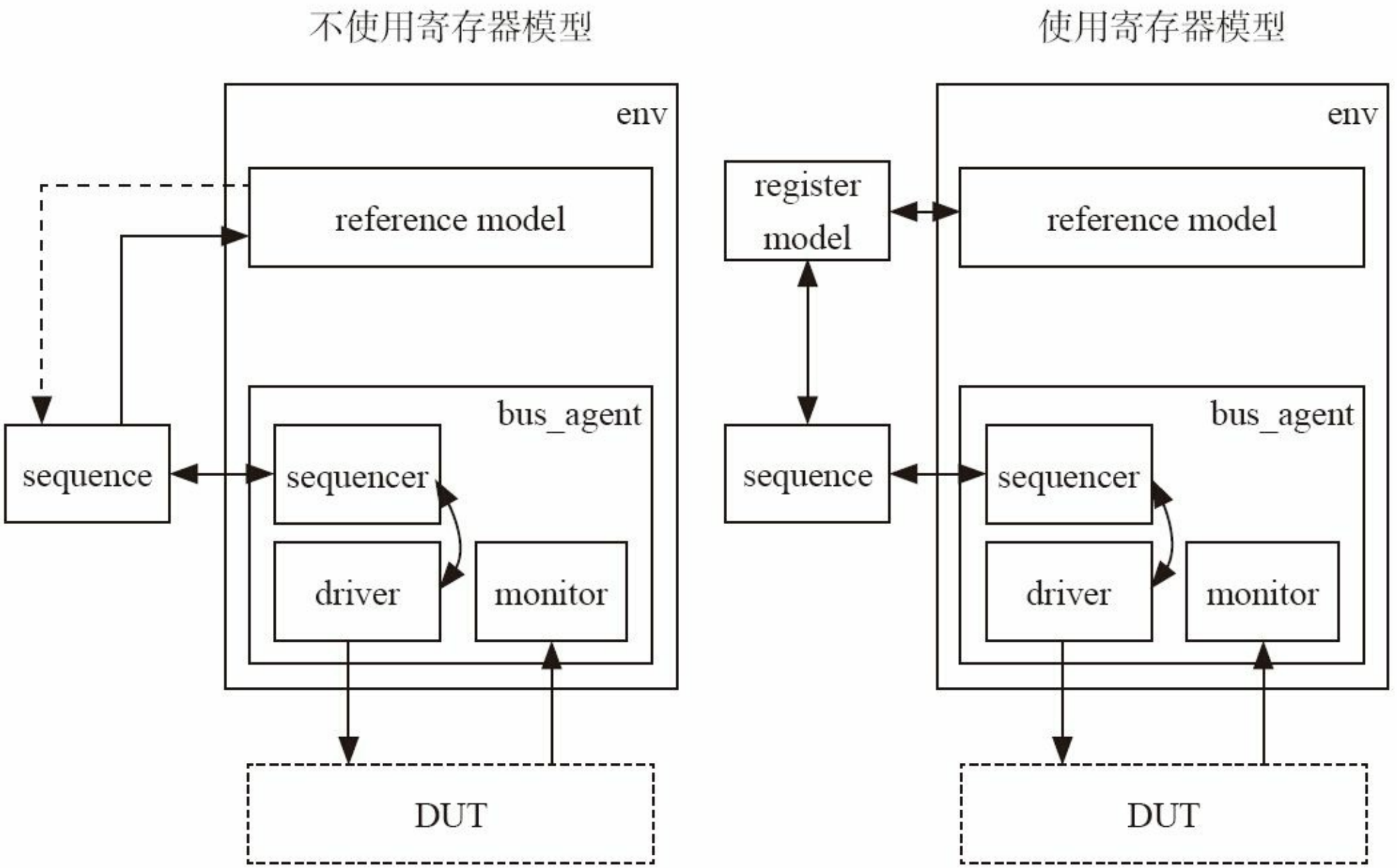

不使用寄存器模型
env
reference model
bus_agent
sequence
sequencer
driver
monitor
DUT
使用寄存器模型
env
register
model
reference model
bus_agent
sequence
sequencer
driver
monitor
DUT

图7-2　两种寄存器读取方式

而后门访问是与前门访问相对的概念。它并不通过总线进行读写操作，而是直接通过层次化的引用来改变寄存器的值。关于前门访问与后门访问的问题，将会在7.3节中详细说明。

另外，寄存器模型还提供一些任务，如mirror、update，它们可以批量完成寄存器模型与DUT中相关寄存器的交互。

可见，UVM寄存器模型的本质就是重新定义了验证平台与DUT的寄存器接口，使验证人员更好地组织及配置寄存器，简化流程、减少工作量。

7.1.3 寄存器模型中的基本概念

uvm_reg_field：这是寄存器模型中的最小单位。什么是reg_field？假如有一个状态寄存器，它各个位的含义如图7-3所示。

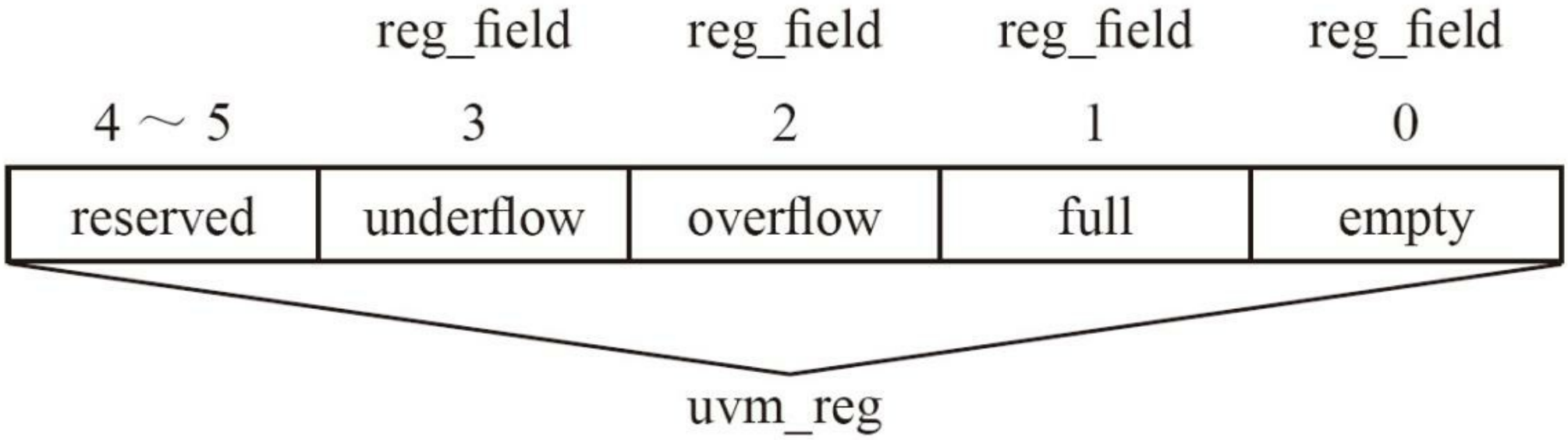


图7-3 uvm_reg与uvm_reg_field示意

如上的状态寄存器共有四个域，分别是empty、full、overflow、underflow。这四个域对应寄存器模型中的uvm_reg_field。名字为“reserved”的并不是一个域。

uvm_reg：它比uvm_reg_field高一个级别，但是依然是比较小的单位。一个寄存器中至少包含一个uvm_reg_field。

uvm_reg_block：它是一个比较大的单位，在其中可以加入许多的uvm_reg，也可以加入其他的uvm_reg_block。一个寄存器模型中至少包含一个uvm_reg_block。

uvm_reg_map：每个寄存器在加入寄存器模型时都有其地址，uvm_reg_map就是存储这些地址，并将其转换成可以访问的物理地址（因为加入寄存器模型中的寄存器地址一般都是偏移地址，而不是绝对地址）。当寄存器模型使用前门访问方式来实现读或写操作时，uvm_reg_map就会将地址转换成绝对地址，启动一个读或写的sequence，并将读或写的结果返回。在每个reg_block内部，至少有一个（通常也只有一个）uvm_reg_map。

7.2 简单的寄存器模型

*7.2.1 只有一个寄存器的寄存器模型

本节为7.1.1节所示的DUT建立寄存器模型。这个DUT非常简单，它只有一个寄存器invert。要为其建造寄存器模型，首先要从uvm_reg派生一个invert类：

代码清单 7-7

文件：src/ch7/section7.2/reg_model.sv

```
 4 class reg_invert extends uvm_reg;
 5
 6     rand uvm_reg_field reg_data;
 7
 8     virtual function void build();
 9         reg_data = uvm_reg_field::type_id::create("reg_data");
10         // parameter: parent, size, lsb_pos, access, volatile, reset value, has_reset, is_rand,
11         reg_data.configure(this, 1, 0, "RW", 1, 0, 1, 1, 0);
12     endfunction
13
14     `uvm_object_utils(reg_invert)
15
16     function new(input string name="reg_invert");
17         //parameter: name, size, has_coverage
18         super.new(name, 16, UVM_NO_COVERAGE);
19     endfunction
20 endclass
```

在new函数中，要将invert寄存器的宽度作为参数传递给super.new函数。这里的宽度并不是指这个寄存器的有效宽度，而是指这个寄存器中总共的位数。如对于一个16位的寄存器，其中可能只使用了8位，那么这里要填写的是16，而不是8。这个数字一般与系统总线的宽度一致。super.new中另外一个参数是是否要加入覆盖率的支持，这里选择UVM_NO_COVERAGE，即不支持。

每一个派生自uvm_reg的类都有一个build，这个build与uvm_component的build_phase并不一样，它不会自动执行，而需要手工调用，与build_phase相似的是所有的uvm_reg_field都在这里实例化。当reg_data实例化后，要调用data.configure函数来配置这个字段。

configure的第一个参数就是此域（uvm_reg_field）的父辈，也即此域位于哪个寄存器中，这里当然是填写this了。

第二个参数是此域的宽度，由于DUT中invert的宽度为1，所以这里为1。

第三个参数是此域的最低位在整个寄存器中的位置，从0开始计数。假如一个寄存器如图7-4所示，其低3位和高5位没有使用，其中只有一个字段，此字段的有效宽度为8位，那么在调用configure时，第二个参数就要填写8，第三个参数则要填写3，因为此reg_field是从第4位开始的。

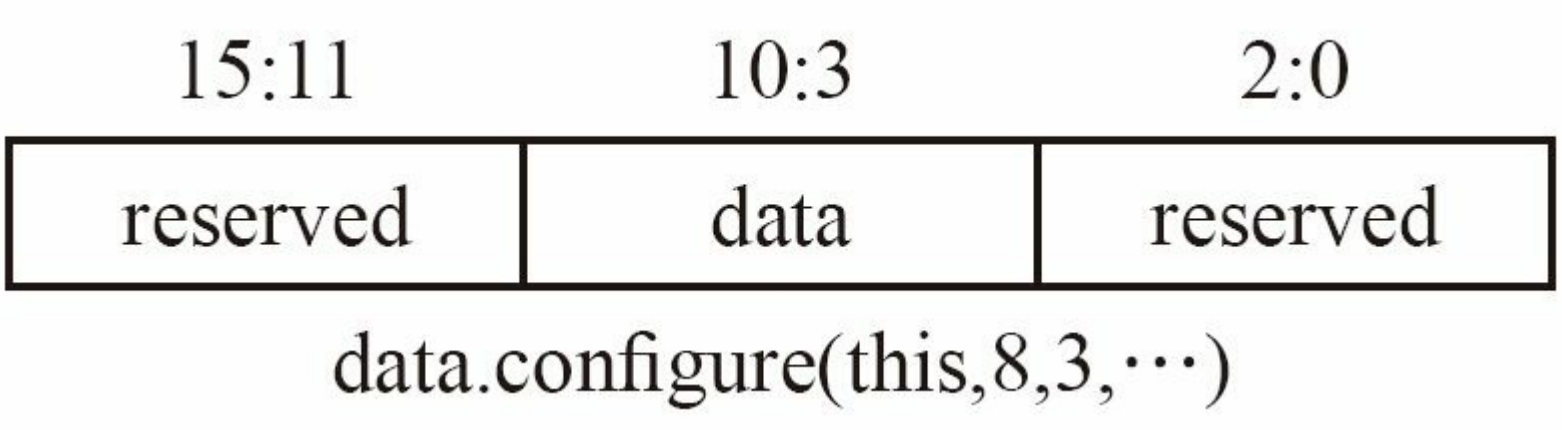


图7-4　reg_field的lsb

第四个参数表示此字段的存取方式。UVM共支持如下25种存取方式：

1）RO：读写此域都无影响。

2）RW：会尽量写入，读取时对此域无影响。

3）RC：写入时无影响，读取时会清零。

4）RS：写入时无影响，读取时会设置所有的位。

5）WRC：尽量写入，读取时会清零。

6）WRS：尽量写入，读取时会设置所有的位。

7）WC：写入时会清零，读取时无影响。

8）WS：写入时会设置所有的位，读取时无影响。

9）WSRC：写入时会设置所有的位，读取时会清零。

10）WCRS：写入时会清零，读取时会设置所有的位。

11）W1C：写1清零，写0时无影响，读取时无影响。

12）W1S：写1设置所有的位，写0时无影响，读取时无影响。

13）W1T：写1入时会翻转，写0时无影响，读取时无影响。

14）W0C：写0清零，写1时无影响，读取时无影响。

15）W0S：写0设置所有的位，写1时无影响，读取时无影响。

16）W0T：写0入时会翻转，写1时无影响，读取时无影响。

17）W1SRC：写1设置所有的位，写0时无影响，读清零。

18）W1CRS：写1清零，写0时无影响，读设置所有位。

19）W0SRC：写0设置所有的位，写1时无影响，读清零。

20）W0CRS：写0清零，写1时无影响，读设置所有位。

21）WO：尽可能写入，读取时会出错。

22）WOC：写入时清零，读取时出错。

23）WOS：写入时设置所有位，读取时会出错。

24）W1：在复位（reset）后，第一次会尽量写入，其他写入无影响，读取时无影响。

25）WO1：在复位后，第一次会尽量写入，其他的写入无影响，读取时会出错。

事实上，寄存器的种类多种多样，如上25种存取方式有时并不能满足用户的需求，这时就需要自定义寄存器的模型。

第五个参数表示是否是易失的（volatile），这个参数一般不会使用。

第六个参数表示此域上电复位后的默认值。

第七个参数表示此域是否有复位，一般的寄存器或者寄存器的域都有上电复位值，因此这里一般也填写1。

第八个参数表示这个域是否可以随机化。这主要用于对寄存器进行随机写测试，如果选择了0，那么此域将不会随机化，而

一直是复位值，否则将会随机出一个数值来。这一个参数当且仅当第四个参数为RW、WRC、WRS、WO、W1、WO1时才有效。

第九个参数表示这个域是否可以单独存取。

定义好此寄存器后，需要在一个由reg_block派生的类中将其实例化：

代码清单　7-8

文件：src/ch7/section7.2/reg_model.sv

```
 22 class reg_model extends uvm_reg_block;
 23    rand reg_invert invert;
 24
 25    virtual function void build();
 26       default_map = create_map("default_map", 0, 2, UVM_BIG_ENDIAN, 0);
 27
 28       invert = reg_invert::type_id::create("invert", , get_full_name());
 29       invert.configure(this, null, "");
 30       invert.build();
 31       default_map.add_reg(invert, 'h9, "RW");
 32    endfunction
 33
 34    `uvm_object_utils(reg_model)
 35
 36    function new(input string name="reg_model");
 37       super.new(name, UVM_NO_COVERAGE);
 38    endfunction
 39
 40 endclass
```

同uvm_reg派生的类一样，每一个由uvm_reg_block派生的类也要定义一个build函数，一般在此函数中实现所有寄存器的实例化。

一个uvm_reg_block中一定要对应一个uvm_reg_map，系统已经有一个声明好的default_map，只需要在build中将其实例化。这个实例化的过程并不是直接调用uvm_reg_map的new函数，而是通过调用uvm_reg_block的create_map来实现，create_map有众多的参数，其中第一个参数是名字，第二个参数是基地址，第三个参数则是系统总线的宽度，这里的单位是byte而不是bit，第四个参数是大小端，最后一个参数表示是否能够按照byte寻址。

随后实例化invert并调用invert.configure函数。这个函数的主要功能是指定寄存器进行后门访问操作时的路径。其第一个参数是此寄存器所在uvm_reg_block的指针，这里填写this，第二个参数是reg_file的指针（7.4.2节将会介绍reg_file的概念）这里暂时填写null，第三个参数是此寄存器的后门访问路径，关于这点请参考7.3节，这里暂且为空。当调用完configure时，需要手动调用invert的build函数，将invert中的域实例化。

最后一步则是将此寄存器加入default_map中。uvm_reg_map的作用是存储所有寄存器的地址，因此必须将实例化的寄存器加入default_map中，否则无法进行前门访问操作。add_reg函数的第一个参数是要加入的寄存器，第二个参数是寄存器的地址，这里是16’h9，第三个参数是此寄存器的存取方式。

到此为止，一个简单的寄存器模型已经完成。

回顾一下前面介绍过的寄存器模型中的一些常用概念。uvm_reg_field是最小的单位，是具体存储寄存器数值的变量，可以直

接用这个类。uvm_reg则是一个“空壳子”，或者用专业名词来说，它是一个纯虚类，因此是不能直接使用的，必须由其派生一个新类，在这个新类中至少加入一个uvm_reg_field，然后这个新类才可以使用。uvm_reg_block则是用于组织大量uvm_reg的一个大容器。打个比方说，uvm_reg是一个小瓶子，其中必须装上药丸（uvm_reg_field）才有意义，这个装药丸的过程就是定义派生类的过程，而uvm_reg_block则是一个大箱子，它中可以放许多小瓶子（uvm_reg），也可以放其他稍微小一点的箱子（uvm_reg_block）。整个寄存器模型就是一个大箱子（uvm_reg_block）。

*7.2.2 将寄存器模型集成到验证平台中

寄存器模型的前门访问方式工作流程如图7-5所示，其中图a为读操作，图b为写操作：

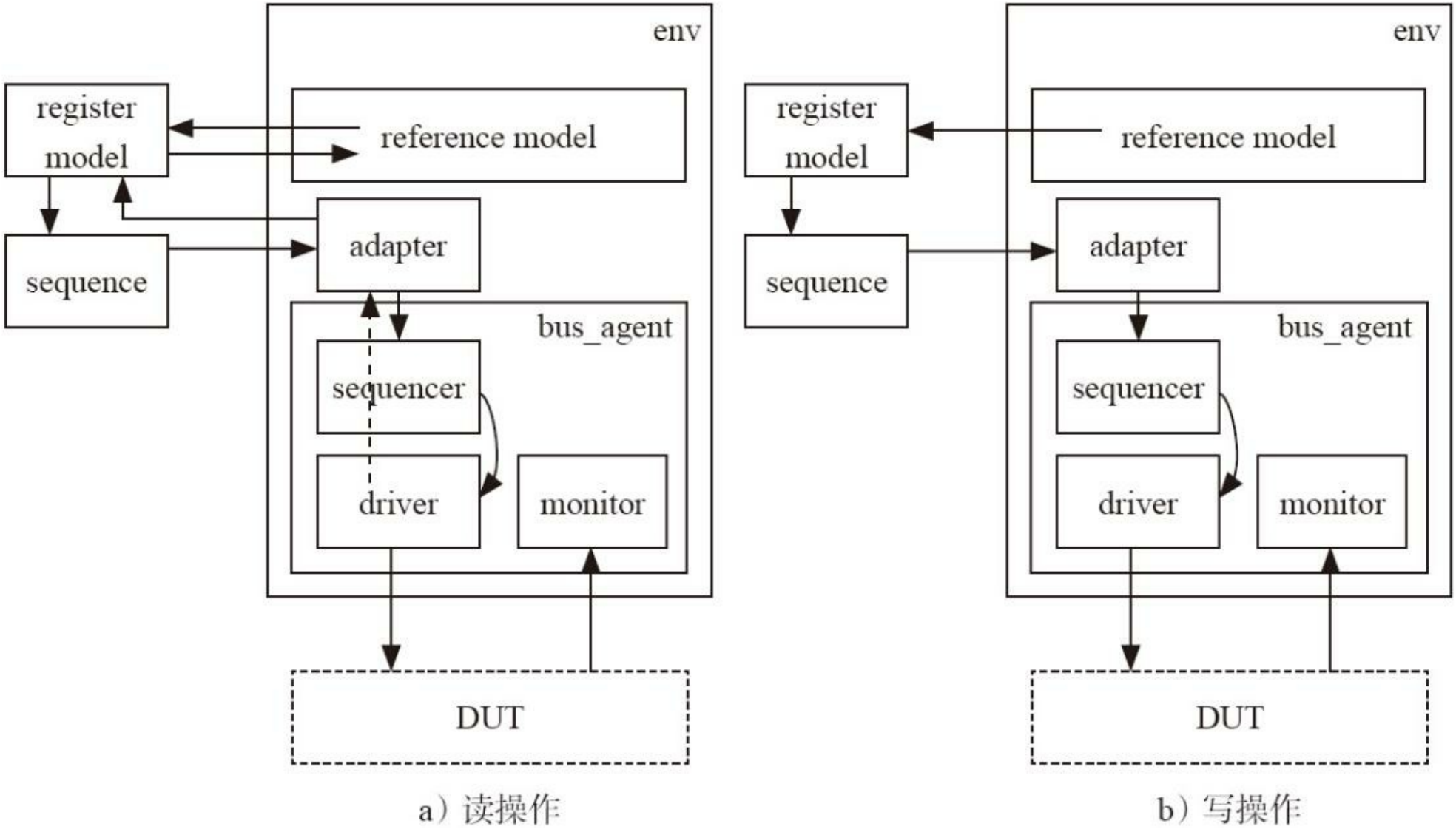


图7-5　前门访问工作流程

寄存器模型的前门访问操作可以分成读和写两种。无论是读或写，寄存器模型都会通过sequence产生一个uvm_reg_bus_op的变量，此变量中存储着操作类型（读还是写）和操作的地址，如果是写操作，还会有要写入的数据。此变量中的信息要经过一个转换器（adapter）转换后交给bus_sequencer，随后交给bus_driver，由bus_driver实现最终的前门访问读写操作。因此，必须要定义好一个转换器。如下例为一个简单的转换器的代码：

代码清单　7-9

文件：src/ch7/section7.2/my_adapter.sv

```
 3 class my_adapter extends uvm_reg_adapter;
 4    string tID = get_type_name();
 5
 6    `uvm_object_utils(my_adapter)
 7
 8    function new(string name="my_adapter");
 9       super.new(name);
10    endfunction : new
11
12    function uvm_sequence_item reg2bus(const ref uvm_reg_bus_op rw);
13       bus_transaction tr;
14       tr = new("tr");
15       tr.addr = rw.addr;
16       tr.bus_op = (rw.kind == UVM_READ)   BUS_RD: BUS_WR;
17       if (tr.bus_op == BUS_WR)
18          tr.wr_data = rw.data;
19       return tr;
20    endfunction : reg2bus
21
22    function void bus2reg(uvm_sequence_item bus_item, ref uvm_reg_bus_op rw);
23       bus_transaction tr;
```

```
24        if(!$cast(tr, bus_item)) begin
25           `uvm_fatal(tID,
26            "Provided bus_item is not of the correct type. Expecting bus_trans action")
27            return;
28        end
29        rw.kind = (tr.bus_op == BUS_RD)   UVM_READ : UVM_WRITE;
30        rw.addr = tr.addr;
31        rw.byte_en = 'h3;
32        rw.data = (tr.bus_op == BUS_RD)   tr.rd_data : tr.wr_data;
33        rw.status = UVM_IS_OK;
34     endfunction : bus2reg
35
36 endclass : my_adapter
```

一个转换器要定义好两个函数，一是reg2bus，其作用为将寄存器模型通过sequence发出的uvm_reg_bus_op型的变量转换成bus_sequencer能够接受的形式，二是bus2reg，其作用为当监测到总线上有操作时，它将收集来的transaction转换成寄存器模型能够接受的形式，以便寄存器模型能够更新相应的寄存器的值。

说到这里，不得不考虑寄存器模型发起的读操作的数值是如何返回给寄存器模型的？由于总线的特殊性，bus_driver在驱动总线进行读操作时，它也能顺便获取要读的数值，如果它将此值放入从bus_sequencer获得的bus_transaction中时，那么bus_transaction中就会有读取的值，此值经过adapter的bus2reg函数的传递，最终被寄存器模型获取，这个过程如图7-5a所示。由于并没有实际的transaction的传递，所以从driver到adapter使用了虚线。

转换器写好之后，就可以在base_test中加入寄存器模型了：

代码清单　7-10

文件：src/ch7/section7.2/base_test.sv

```
  4 class base_test extends uvm_test;
  5
  6    my_env          env;
  7    my_vsqr         v_sqr;
  8    reg_model       rm;
  9    my_adapter      reg_sqr_adapter;
…
 19 endclass
 20
 21
 22 function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
 23    super.build_phase(phase);
 24    env  =  my_env::type_id::create("env", this);
 25    v_sqr =  my_vsqr::type_id::create("v_sqr", this);
 26    rm = reg_model::type_id::create("rm", this);
 27    rm.configure(null, "");
 28    rm.build();
 29    rm.lock_model();
 30    rm.reset();
 31    reg_sqr_adapter = new("reg_sqr_adapter");
 32    env.p_rm = this.rm;
 33 endfunction
 34
 35 function void base_test::connect_phase(uvm_phase phase);
 36    super.connect_phase(phase);
 37    v_sqr.p_my_sqr = env.i_agt.sqr;
 38    v_sqr.p_bus_sqr = env.bus_agt.sqr;
 39    v_sqr.p_rm = this.rm;
 40    rm.default_map.set_sequencer(env.bus_agt.sqr, reg_sqr_adapter);
```

```
41     rm.default_map.set_auto_predict(1);
42 endfunction
```

要将一个寄存器模型集成到base_test中，那么至少需要在base_test中定义两个成员变量，一是reg_model，另外一个就是reg_sqr_adapter。将所有用到的类在build_phase中实例化。在实例化后reg_model还要做四件事：第一是调用configure函数，其第一个参数是parent block，由于是最顶层的reg_block，因此填写null，第二个参数是后门访问路径，请参考7.3节，这里传入一个空的字符串。第二是调用build函数，将所有的寄存器实例化。第三是调用lock_model函数，调用此函数后，reg_model中就不能再加入新的寄存器了。第四是调用reset函数，如果不调用此函数，那么reg_model中所有寄存器的值都是0，调用此函数后，所有寄存器的值都将变为设置的复位值。

寄存器模型的前门访问操作最终都将由uvm_reg_map完成，因此在connect_phase中，需要将转换器和bus_sequencer通过set_sequencer函数告知reg_model的default_map，并将default_map设置为自动预测状态。

*7.2.3 在验证平台中使用寄存器模型

当一个寄存器模型被建立好后，可以在sequence和其他component中使用。以在参考模型中使用为例，需要在参考模型中有一个寄存器模型的指针：

代码清单 7-11

```
文件：src/ch7/section7.2/my_model.sv
  4 class my_model extends uvm_component;
…
  9     reg_model p_rm;
…
 16 endclass
```

在代码清单7-10中已经为env的p_rm赋值，因此只需要在env中将p_rm传递给参考模型即可：

代码清单 7-12

```
文件：src/ch7/section7.2/my_env.sv
 43 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
…
 51     mdl.p_rm = this.p_rm;
 52 endfunction
```

对于寄存器，寄存器模型提供了两个基本的任务：read和write。若要在参考模型中读取寄存器，使用read任务：

代码清单　7-13

文件：src/ch7/section7.2/my_model.sv

```
37 task my_model::main_phase(uvm_phase phase);
38    my_transaction tr;
39    my_transaction new_tr;
40    uvm_status_e status;
41    uvm_reg_data_t value;
42    super.main_phase(phase);
43    p_rm.invert.read(status, value, UVM_FRONTDOOR);
44    while(1) begin
45       port.get(tr);
46       new_tr = new("new_tr");
47       new_tr.copy(tr);
48       //`uvm_info("my_model", "get one transaction, copy and print it:", UV M_LOW)
49       //new_tr.print();
50       if(value)
51          invert_tr(new_tr);
52       ap.write(new_tr);
53    end
54 endtask
```

read任务的原型如下所示：

代码清单　7-14

来源：UVM
源代码

```
   extern virtual task read(output uvm_status_e      status,
                            output uvm_reg_data_t     value,
                            input  uvm_path_e         path = UVM_DEFAULT_PATH,
                            input  uvm_reg_map        map = null,
                            input  uvm_sequence_base parent = null,
                            input  int              prior = -1,
                            input  uvm_object         extension = null,
                            input  string           fname = "",
                            input  int              lineno = 0);
```

它有多个参数，常用的是其前三个参数。其中第一个是uvm_status_e型的变量，这是一个输出，用于表明读操作是否成功；第二个是读取的数值，也是一个输出；第三个是读取的方式，可选UVM_FRONTDOOR和UVM_BACKDOOR。

由于参考模型一般不会写寄存器，因此对于write任务，以在virtual sequence进行写操作为例说明。在sequence中使用寄存器模型，通常通过p_sequencer的形式引用。需要首先在sequencer中有一个寄存器模型的指针，代码清单7-10中已经为v_sqr.p_rm赋值了。因此可以直接以如下方式进行写操作：

代码清单　7-15

文件：src/ch7/section7.2/my_case0.sv

```
 19 class case0_cfg_vseq extends uvm_sequence;
…
 28    virtual task body();
 29       uvm_status_e   status;
 30       uvm_reg_data_t value;
```

```
…
 35        p_sequencer.p_rm.invert.write(status, 1, UVM_FRONTDOOR);
…
 40     endtask
 41
 42 endclass
```

write任务的原型为：

代码清单　7-16

```
来源：UVM
源代码
   extern virtual task write(output uvm_status_e      status,
                             input  uvm_reg_data_t     value,
                             input  uvm_path_e         path = UVM_DEFAULT_PATH,
                             input  uvm_reg_map        map = null,
                             input  uvm_sequence_base  parent = null,
                             input  int                prior = -1,
                             input  uvm_object           extension = null,
                             input  string             fname = "",
                             input  int                lineno = 0);
```

它的参数也有很多个，但是与read类似，常用的也只有前三个。其中第一个为uvm_status_e型的变量，这是一个输出，用于表明写操作是否成功。第二个要写的值，是一个输入，第三个是写操作的方式，可选UVM_FRONTDOOR和UVM_BACKDOOR。

寄存器模型对sequence的transaction类型没有任何要求。因此，可以在一个发送my_transaction的sequence中使用寄存器模型对

寄存器进行读写操作。

7.3 后门访问与前门访问

*7.3.1 UVM中前门访问的实现

所谓前门访问操作就是通过寄存器配置总线（如APB协议、OCP协议、I2C协议等）来对DUT进行操作。无论在任何总线协议中，前门访问操作只有两种：读操作和写操作。前门访问操作是比较正统的用法。对一块实际焊接在电路板上正常工作的芯片来说，此时若要访问其中的某些寄存器，前门访问操作是唯一的方法。

在7.1.2节中介绍寄存器模型时曾经讲过，对于参考模型来说，最大的问题是如何在其中启动一个sequence，当时列举了全局变量和config_db的两种方式。除了这两种方式之外，如果能够在参考模型中得到一个sequencer的指针，也可以在此sequencer上启动一个sequence。这通常比较容易实现，只要在其中设置一个p_sqr的变量，并在env中将sequencer的指针赋值给此变量即可。

接下来的关键就是分别写一个读写的sequence：

代码清单 7-17

文件：src/ch7/section7.2/7.3.1/reg_access_sequence.sv

```
4 class reg_access_sequence extends uvm_sequence#(bus_transaction);
5     string tID = get_type_name();
6
7     bit[15:0] addr;
8     bit[15:0] rdata;
9     bit[15:0] wdata;
```

```
 10    bit       is_wr;
…
 17    virtual task body();
 18       bus_transaction tr;
 19       tr = new("tr");
 20       tr.addr = this.addr;
 21       tr.wr_data = this.wdata;
 22       tr.bus_op = (is_wr   BUS_WR : BUS_RD);
 23       `uvm_info(tID, $sformatf("begin to access register: is_wr = %0d, addr  = %0h", is_wr, ad
 24       `uvm_send(tr)
 25       `uvm_info(tID, "successfull access register", UVM_MEDIUM)
 26       this.rdata = tr.rd_data;
 27    endtask
 28 endclass
```

之后，在参考模型中使用如下的方式来进行读操作：

代码清单　7-18

文件：src/ch7/section7.2/7.3.1/my_model.sv

```
 37 task my_model::main_phase(uvm_phase phase);
…
 40    reg_access_sequence reg_seq;
 41    super.main_phase(phase);
 42    reg_seq = new("reg_seq");
 43    reg_seq.addr = 16'h9;
 44    reg_seq.is_wr = 0;
 45    reg_seq.start(p_sqr);
 46    while(1) begin
…
 52       if(reg_seq.rdata)
```

```
53           invert_tr(new_tr);
54         ap.write(new_tr);
55     end
56 endtask
```

sequence是自动执行的，但是在其执行完毕后（body及post_body调用完成），为此sequence分配的内存依然是有效的，所以可以使用reg_seq继续引用此sequence。上述读操作正是用到了这一点。

对UVM来说，其在寄存器模型中使用的方式也与此类似。上述操作方式的关键是在参考模型中有一个sequencer的指针，而在寄存器模型中也有一个这样的指针，它就是7.2.2节中，在base_test的connect_phase为default map设置的sequencer指针。

当然，对于UVM来说，它是一种通用的验证方法学，所以要能够处理各种transaction类型。幸运的是，这些要处理的transaction都非常相似，在综合了它们的特征后，UVM内建了一种transaction：uvm_reg_item。通过adapter的bus2reg及reg2bus，可以实现uvm_reg_item与目标transaction的转换。以读操作为例，其完整的流程为：

· 参考模型调用寄存器模型的读任务。

· 寄存器模型产生sequence，并产生uvm_reg_item：rw。

· 产生driver能够接受的transaction：bus_req=adapter.reg2bus（rw）。

· 把bus_req交给bus_sequencer。

· driver得到bus_req后驱动它，得到读取的值，并将读取值放入bus_req中，调用item_done。

· 寄存器模型调用adapter.bus2reg（bus_req，rw）将bus_req中的读取值传递给rw。

· 将rw中的读数据返回参考模型。

在6.7.2节中介绍sequence的应答机制时提到过，如果driver一直发送应答而sequence不收集应答，那么将会导致sequencer的应答队列溢出。UVM考虑到这种情况，在adapter中设置了provide_responses选项：

代码清单　7-19

```
来源：UVM
源代码
virtual class uvm_reg_adapter extends uvm_object;
…
  bit provides_responses;
…
endclass
```

在设置了此选项后，寄存器模型在调用bus2reg将目标transaction转换成uvm_reg_item时，其传入的参数是rsp，而不是req。使用应答机制的操作流程为：

· 参考模型调用寄存器模型的读任务。

· 寄存器模型产生sequence，并产生uvm_reg_item：rw。

· 产生driver能够接受的transaction：bus_req=adapter.reg2bus（rw）。

· 将bus_req交给bus_sequencer。

· driver得到bus_req，驱动它，得到读取的值，并将读取值放入rsp中，调用item_done。

· 寄存器模型调用adapter.bus2reg（rsp，rw）将rsp中的读取值传递给rw。

· 将rw中的读数据返回参考模型。

7.3.2 后门访问操作的定义

为了讲述后门访问操作，从本节开始，将在7.1.1节的DUT的基础上引入一个新的DUT，如附录B的代码清单B-3所示。这个DUT中加入了寄存器counter。它的功能就是统计rx_dv为高电平的时钟数。

在通信系统中，有大量计数器用于统计各种包裹的数量，如超长包、长包、中包、短包、超短包等。这些计数器的一个共同的特点是它们是只读的，DUT的总线接口无法通过前门访问操作对其进行写操作。除了是只读外，这些寄存器的位宽一般都比较宽，如32位、48位或者64位等，它们的位宽超过了设计中对加法器宽度的上限限制。计数器在计数过程中需要使用加法器，对于加法器来说，在同等工艺下，位宽越宽则其时序越差，因此在设计中一般会规定加法器的最大位宽。在上述DUT中，加法器的位宽被限制在16位。要实现32位的counter的加法操作，需要使用两个叠加的16位加法器。

为counter分配16‘h5和16’h6的地址，采用大端格式将高位数据存放在低地址。此计数器是可读的，另外可以对其进行写1清0操作。如果对其写入其他数值，则不会起作用。

后门访问是与前门访问相对的操作，从广义上来说，所有不通过DUT的总线而对DUT内部的寄存器或者存储器进行存取的操作都是后门访问操作。如在top_tb中可以使用如下方式对counter赋初值：

代码清单　7-20

文件：src/ch7/section7.3/7.3.2/top_tb.sv

```
 50 initial begin
```

```
51     @(posedge rst_n);
52     my_dut.counter = 32'hFFFD;
53 end
```

所有后门访问操作都是不消耗仿真时间（即$time打印的时间）而只消耗运行时间的。这是后门访问操作的最大优势。既然有了前门访问操作，那么为什么还需要后门访问操作呢？后门访问操作存在的意义在于：

· 后门访问操作能够更好地完成前门访问操作所做的事情。后门访问不消耗仿真时间，与前门访问操作相比，它消耗的运行时间要远小于前门访问操作的运行时间。在一个大型芯片的验证中，在其正常工作前需要配置众多的寄存器，配置时间可能要达到一个或几个小时，而如果使用后门访问操作，则时间可能缩短为原来的1/100。

· 后门访问操作能够完成前门访问操作不能完成的事情。如在网络通信系统中，计数器通常都是只读的（有一些会附加清零功能），无法对其指定一个非零的初值。而大部分计数器都是多个加法器的叠加，需要测试它们的进位操作。本节DUT的counter使用了两个叠加的16位加法器，需要测试当计数到32‘hFFFF时能否顺利进位成为32’h1_0000，这可以通过延长仿真时间来使其计数到32‘hFFFF，这在本节的DUT中是可以的，因为计数器每个时钟都加1。但是在实际应用中，可能要几万个或者更多的时钟才会加1，因此需要大量的运行时间，如几天。这只是32位加法器的情况，如果是48位的计数器，情况则会更坏。这种情况下，后门访问操作能够完成前门访问操作完成的事情，给只读的寄存器一个初值。

当然，与前门访问操作相比，后门访问操作也有其劣势。如所有的前门访问操作都可以在波形文件中找到总线信号变化的波形及所有操作的记录。但是后门访问操作则无法在波形文件中找到操作痕迹。其操作记录只能仰仗验证平台编写者在进行后门访问操作时输出的打印信息，这样便增加了调试的难度。

*7.3.3 使用interface进行后门访问操作

上一节中提到过在top_tb中使用绝对路径对寄存器进行后门访问操作，这需要更改top_tb.sv文件，但是这个文件一般是固定的，不会因测试用例的不同而变化，所以这种方式的可操作性不强。在driver等组件中也可以使用这种绝对路径的方式进行后门访问操作，但强烈建议不要在driver等验证平台的组件中使用绝对路径。这种方式的可移植性不强。

如果想在driver或monitor中使用后门访问，一种方法是使用接口。可以新建一个后门interface：

代码清单 7-21

文件：src/ch7/section7.3/7.3.3/backdoor_if.sv

```
 4 interface backdoor_if(input clk, input rst_n);
 5
 6     function void poke_counter(input bit[31:0] value);
 7         top_tb.my_dut.counter = value;
 8     endfunction
 9
10     function void peek_counter(output bit[31:0] value);
11         value = top_tb.my_dut.counter;
12     endfunction
13 endinterface
```

poke_counter为后门写，而peek_counter为后门读。在测试用例（或者drvier、scoreboard）中，若要对寄存器赋初值可以直接调用此函数：

代码清单　7-22

```
文件：src/ch7/section7.3/7.3.3/my_case0.sv
103 task my_case0::configure_phase(uvm_phase phase);
104     phase.raise_objection(this);
105     @(posedge vif.rst_n);
106     vif.poke_counter(32'hFFFD);
107     phase.drop_objection(this);
108 endtask
```

如果有n个寄存器，那么需要写n个poke函数，同时如果有读取要求的话，还要写n个peek函数，这限制了其使用，且此文件完全没有任何移植性。

这种方式在实际中是有应用的，它适用于不想使用寄存器模型提供的后门访问或者根本不想建立寄存器模型，同时又必须要对DUT中的一个寄存器或一块存储器（memory）进行后门访问操作的情况。

7.3.4 UVM中后门访问操作的实现：DPI+VPI

在7.3.2节和7.3.3节提供了两种广义的后门访问方式，它们的共同点即都是在SystemVerilog中实现的。但是在实际的验证平台中，还有在C/C++代码中对DUT中的寄存器进行读写的需求。Verilog提供VPI接口，可以将DUT的层次结构开放给外部的C/C++代码。

常用的VPI接口有如下两个：

代码清单 7-23

```
vpi_get_value(obj, p_value);
vpi_put_value(obj, p_value, p_time, flags);
```

其中vpi_get_value用于从RTL中得到一个寄存器的值。vpi_put_value用于将RTL中的寄存器设置为某个值。

但是如果单纯地使用VPI进行后门访问操作，在SystemVerilog与C/C++之间传递参数时将非常麻烦。VPI是Verilog提供的接口，为了调用C/C++中的函数，提供更好的用户体验，SystemVerilog提供了一种更好的接口：DPI。如果使用DPI，以读操作为例，在C/C++中定义如下一个函数：

代码清单 7-24

来源：UVM
源代码
```
int uvm_hdl_read(char *path, p_vpi_vecval value);
```

在这个函数中通过最终调用vpi_get_value得到寄存器的值。

在SystemVerilog中首先需要使用如下的方式将在C/C++中定义的函数导入：

代码清单　7-25

来源：UVM
源代码
```
import "DPI-C" context function int uvm_hdl_read(string path, output uvm_hdl_d ata_t value);
```

以后就可以在SystemVerilog中像普通函数一样调用uvm_hdl_read函数了。这种方式比单纯地使用VPI的方式简练许多。它可以直接将参数传递给C/C++中的相应函数，省去了单纯使用VPI时繁杂的注册系统函数的步骤。

整个过程如图7-6所示。

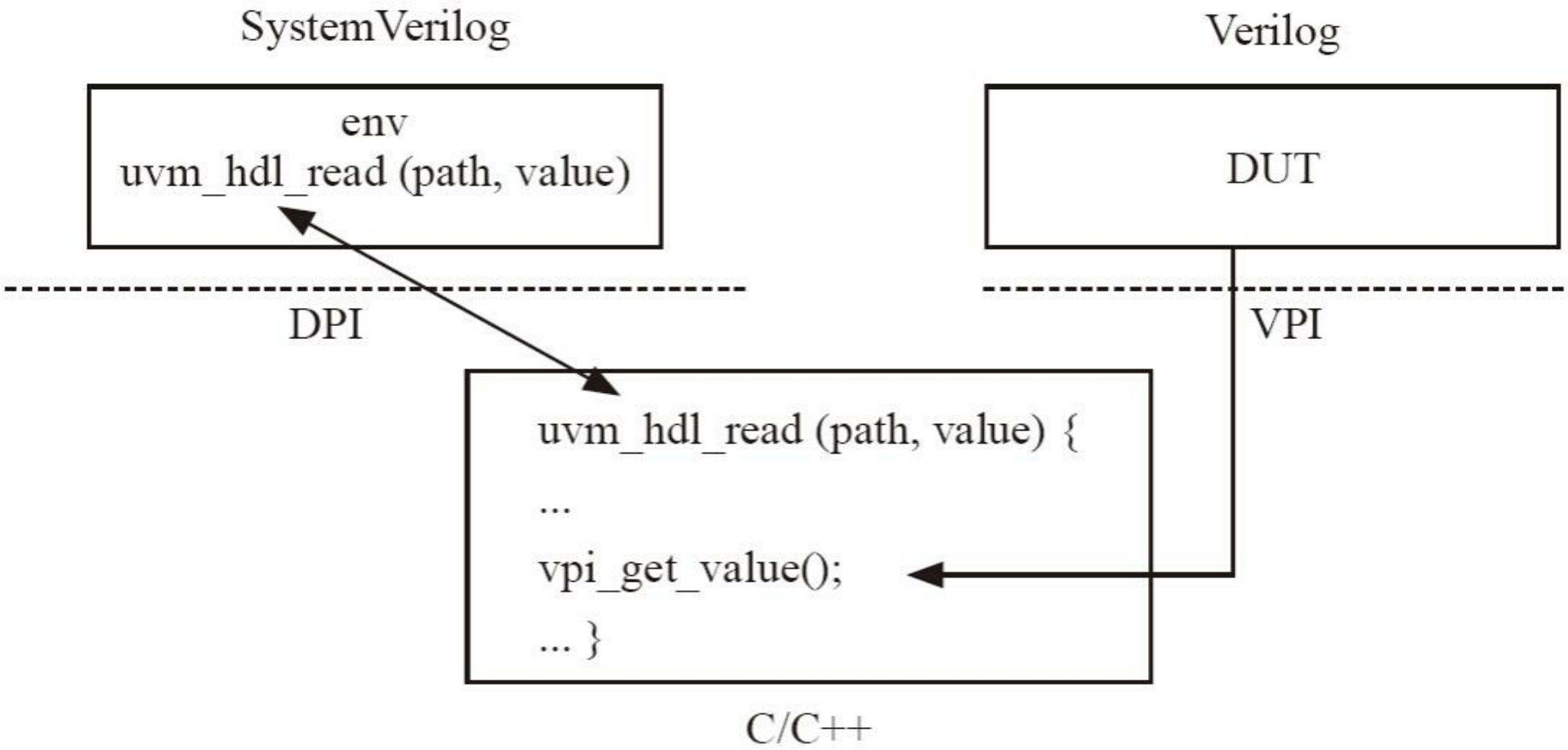


图7-6　后门访问操作原理

在这种DPI+VPI的方式中，要操作的寄存器的路径被抽像成了一个字符串，而不再是一个绝对路径：

代码清单　7-26

```
uvm_hdl_read("top_tb.my_dut.counter", value);
```

与代码清单7-21相比，可以发现这种方式的优势：路径被抽像成了一个字符串，从而可以以参数的形式传递，并可以存储，这为建立寄存器模型提供了可能。一个单纯的Verilog路径，如top_tb.my_dut.counter，它是不能被传递的，也是无法存储的。

UVM中使用DPI+VPI的方式来进行后门访问操作，它大体的流程是：

1）在建立寄存器模型时将路径参数设置好。

2）在进行后门访问的写操作时，寄存器模型调用uvm_hdl_deposit函数：

代码清单　7-27

来源：UVM
源代码

```
import "DPI-C" context function int uvm_hdl_deposit(string path, uvm_hdl_data_t value);
```

在C/C++侧，此函数内部会调用vpi_put_value函数来对DUT中的寄存器进行写操作。

3）进行后门访问的读操作时，调用uvm_hdl_read函数，在C/C++侧，此函数内部会调用vpi_get_value函数来对DUT中的寄存器进行读操作，并将读取值返回。

*7.3.5 UVM中后门访问操作接口

在掌握UVM中后门访问操作的原理后，就可以使用寄存器模型的后门访问功能。要使用这个功能，需要做如下的准备：

在reg_block中调用uvm_reg的configure函数时，设置好第三个路径参数：

代码清单 7-28

```
文件：src/ch7/section7.3/7.3.5/reg_model.sv
 58 class reg_model extends uvm_reg_block;
 59    rand reg_invert invert;
 60    rand reg_counter_high counter_high;
 61    rand reg_counter_low counter_low;
 62
 63    virtual function void build();
…
 67       invert.configure(this, null, "invert");
…
 71       counter_high.configure(this, null, "counter[31:16]");
…
 75       counter_low.configure(this, null, "counter[15:0]");
…
 78    endfunction
…
 86 endclass
```

由于counter是32bit，占据两个地址，因此在寄存器模型中它是作为两个寄存器存在的。7.4.4节将会介绍使它们作为一个寄存

器的方法。

当上述工作完成后，在将寄存器模型集成到验证平台时，需要设置好根路径hdl_root：

代码清单　7-29

```
文件：src/ch7/section7.3/7.3.5/base_test.sv
 22 function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
…
 26     rm = reg_model::type_id::create("rm", this);
 27     rm.configure(null, "");
 28     rm.build();
 29     rm.lock_model();
 30     rm.reset();
 31     rm.set_hdl_path_root("top_tb.my_dut");
…
 34 endfunction
```

UVM提供两类后门访问的函数：一是UVM_BACKDOOR形式的read和write，二是peek和poke。这两类函数的区别是，第一类会在进行操作时模仿DUT的行为，第二类则完全不管DUT的行为。如对一个只读的寄存器进行写操作，那么第一类由于要模拟DUT的只读行为，所以是写不进去的，但是使用第二类可以写进去。

poke函数用于第二类写操作，其原型为：

代码清单　7-30

来源：UVM
源代码

```
task uvm_reg::poke(output uvm_status_e      status,
                   input  uvm_reg_data_t    value,
                   input  string            kind = "",
                   input  uvm_sequence_base parent = null,
                   input  uvm_object        extension = null,
                   input  string            fname = "",
                   input  int               lineno = 0);
```

peek函数用于第二类的读操作，其原型为：

代码清单　7-31

来源：UVM
源代码

```
task uvm_reg::peek(output uvm_status_e      status,
                   output uvm_reg_data_t    value,
                   input  string            kind = "",
                   input  uvm_sequence_base parent = null,
                   input  uvm_object        extension = null,
                   input  string            fname = "",
                   input  int               lineno = 0);
```

无论是peek还是poke，其常用的参数都是前两个。各自的第一个参数表示操作是否成功，第二个参数表示读写的数据。

在sequence中，可以使用如下的方式来调用这两个任务：

代码清单　7-32

文件：src/ch7/section7.3/7.3.5/my_case0.sv

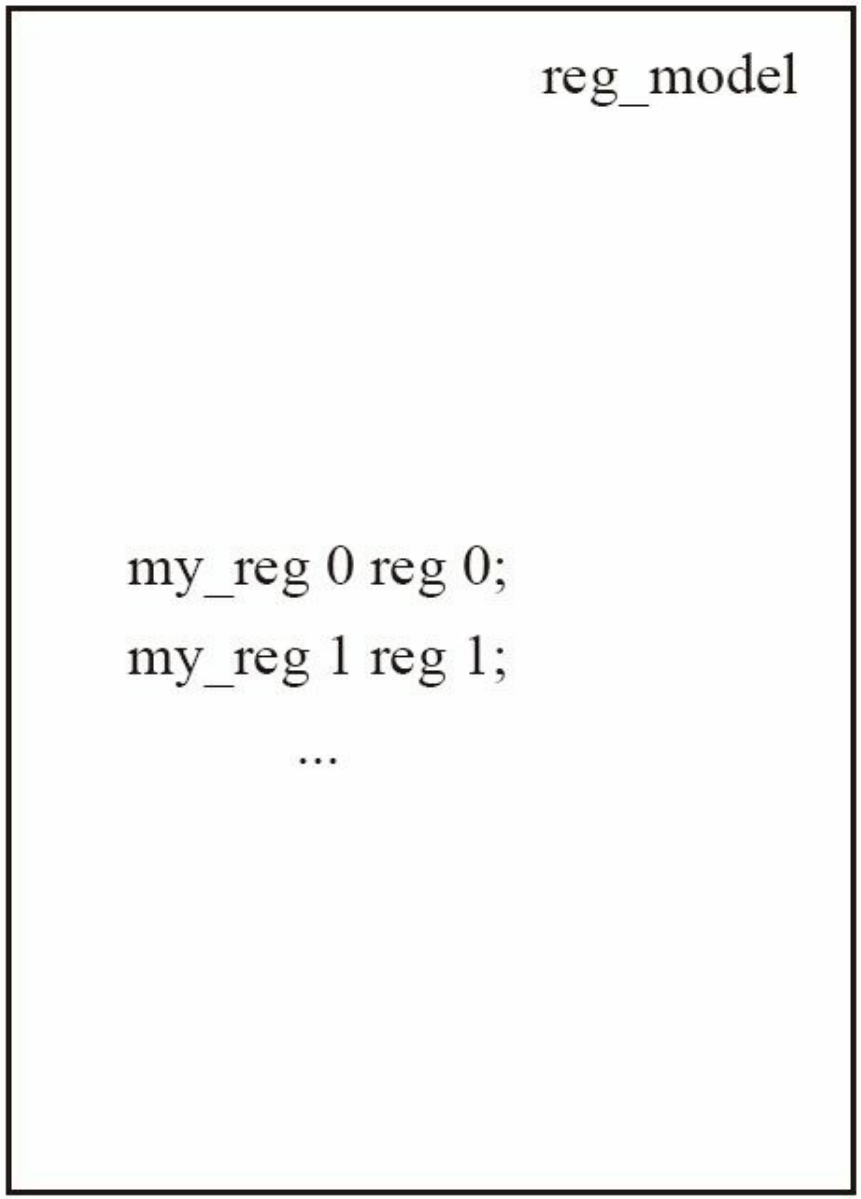
```
 19 class case0_cfg_vseq extends uvm_sequence;
…
 28    virtual task body();
…
 44       p_sequencer.p_rm.counter_low.poke(status, 16'hFFFD);
…
 50       p_sequencer.p_rm.counter_low.peek(status, value);
 51       counter[15:0] = value[15:0];
 52       p_sequencer.p_rm.counter_high.peek(status, value);
 53       counter[31:16] = value[15:0];
 54       `uvm_info("case0_cfg_vseq", $sformatf("after poke, counter's value(B ACKDOOR) is %0h", co
…
 57    endtask
 58
 59 endclass
```

7.4 复杂的寄存器模型

*7.4.1 层次化的寄存器模型

7.2节的例子中的寄存器模型是一个最小、最简单的寄存器模型。在整个实现过程中，只是将一个寄存器加入了uvm_reg_block中，并在最后的base_test中实例化此reg_block。这个例子之所以这么做是因为只有一个寄存器。在现实应用中，一般会将uvm_reg_block再加入一个uvm_reg_block中，然后在base_test中实例化后者。从逻辑关系上看，呈现出的是两级的寄存器模型，如图7-7所示。

一级


reg_model
my_reg 0 reg 0;
my_reg 1 reg 1;
...

两级

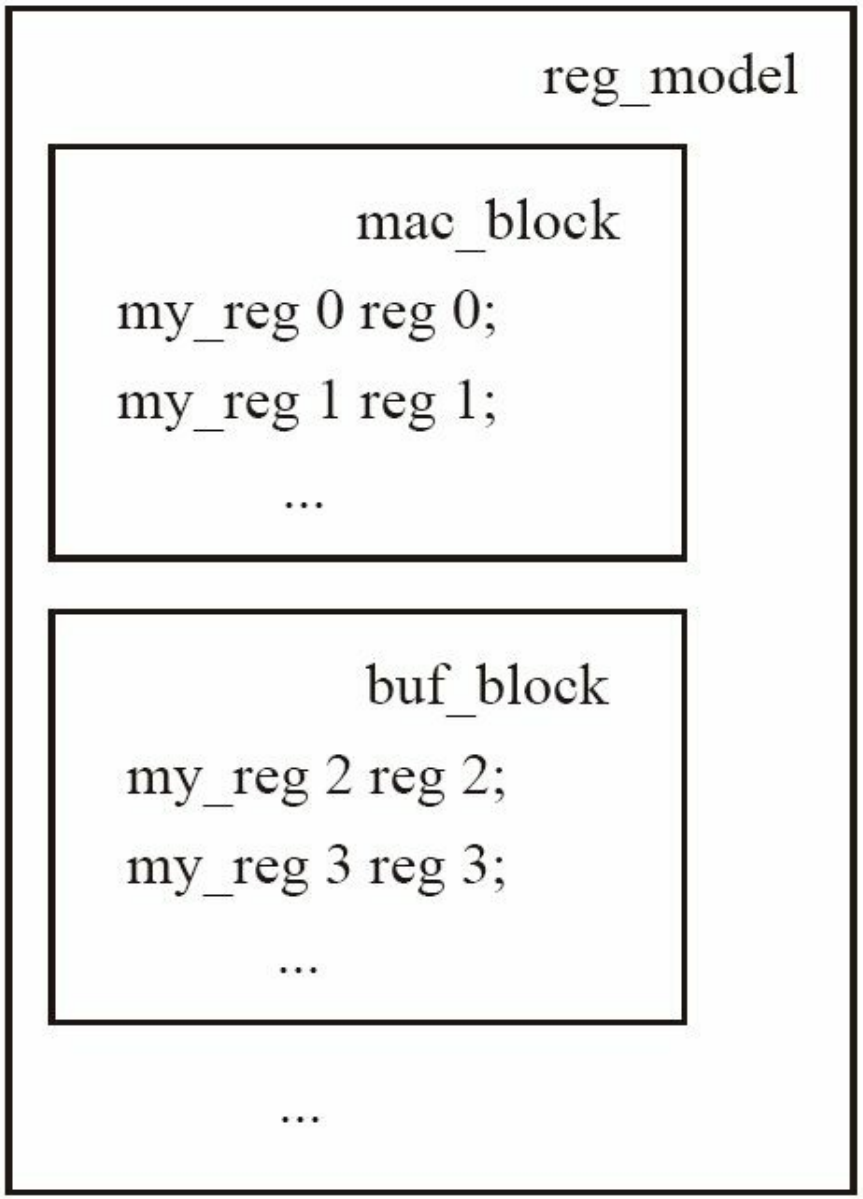

reg_model
mac_block
my_reg 0 reg 0;
my_reg 1 reg 1;
...
buf_block
my_reg 2 reg 2;
my_reg 3 reg 3;
...
...

图7-7　层次化的寄存器模型

一般的，只会在第一级的uvm_reg_block中加入寄存器，而第二级的uvm_reg_block通常只添加uvm_reg_block。这样从整体上呈现出一个比较清晰的结构。假如一个DUT分了三个子模块：用于控制全局的global模块、用于缓存数据的buf模块、用于接收发送以太网帧的mac模块。global模块寄存器的地址为0x0000～0x0FFF，buf部分的寄存器地址为0x1000～0x1FFF，mac部分的寄存器地址为0x2000～0x2FFF，那么可以按照如下方式定义寄存器模型：

代码清单　7-33

文件：src/ch7/section7.4/7.4.1/reg_model.sv

```
 58 class global_blk extends uvm_reg_block;
…
 76 endclass
 77
 78 class buf_blk extends uvm_reg_block;
…
 96 endclass
 97
 98 class mac_blk extends uvm_reg_block;
…
116 endclass
117
118 class reg_model extends uvm_reg_block;
119
120    rand global_blk gb_ins;
121    rand buf_blk    bb_ins;
122    rand mac_blk    mb_ins;
123
```

```
124    virtual function void build();
125       default_map = create_map("default_map", 0, 2, UVM_BIG_ENDIAN, 0);
126       gb_ins = global_blk::type_id::create("gb_ins");
127       gb_ins.configure(this, "");
128       gb_ins.build();
129       gb_ins.lock_model();
130       default_map.add_submap(gb_ins.default_map, 16'h0);
131
132       bb_ins = buf_blk::type_id::create("bb_ins");
133       bb_ins.configure(this, "");
134       bb_ins.build();
135       bb_ins.lock_model();
136       default_map.add_submap(bb_ins.default_map, 16'h1000);
137
138       mb_ins = mac_blk::type_id::create("mb_ins");
139       mb_ins.configure(this, "");
140       mb_ins.build();
141       mb_ins.lock_model();
142       default_map.add_submap(mb_ins.default_map, 16'h2000);
143
144    endfunction
145
146    `uvm_object_utils(reg_model)
147
148     function new(input string name="reg_model");
149         super.new(name, UVM_NO_COVERAGE);
150     endfunction
151
152 endclass
```

要将一个子reg_block加入父reg_block中，第一步是先实例化子reg_block。第二步是调用子reg_block的configure函数。如果需要使用后门访问，则在这个函数中要说明子reg_block的路径，这个路径不是绝对路径，而是相对于父reg_block来说的路径（简单起

见，上述代码中的路径参数设置为空字符串，不能发起后门访问操作）。第三步是调用子reg_block的build函数。第四步是调用子reg_block的lock_model函数。第五步则是将子reg_block的default_map以子map的形式加入父reg_block的default_map中。这是可以理解的，因为一般在子reg_block中定义寄存器时，给定的都是寄存器的偏移地址，其实际物理地址还要再加上一个基地址。寄存器前门访问的读写操作最终都要通过default_map来完成。很显然，子reg_block的default_map并不知道寄存器的基地址，它只知道寄存器的偏移地址，只有将其加入父reg_block的default_map，并在加入的同时告知子map的偏移地址，这样父reg_block的default_map就可以完成前门访问操作了。

因此，一般将具有同一基地址的寄存器作为整体加入一个uvm_reg_block中，而不同的基地址对应不同的uvm_reg_block。每个uvm_reg_block一般都有与其对应的物理地址空间。对于本节介绍的子reg_block，其里面还可以加入小的reg_block，这相当于将地址空间再次细化。

*7.4.2 reg_file的作用

到目前为止，引入了uvm_reg_field、uvm_reg、uvm_reg_block的概念，这三者的组合已经能够组成一个可以使用的寄存器模型了。然而，UVM的寄存器模型中还有一个称为uvm_reg_file的概念。这个类的引入主要是用于区分不同的hdl路径。

假设有两个寄存器regA和regB，它们的hdl路径分别为top_tb.mac_reg.fileA.regA和top_tb.mac_reg.fileB.regB，延续上一节的例子，设top_tb.mac_reg下面所有寄存器的基地址为0x2000，这样，在最顶层的reg_block中加入mac模块时，其hdl路径要写成：

代码清单 7-34

```
mb_ins.configure(this, "mac_reg");
```

相应的，在mac_blk的build中，要通过如下方式将regA和regB的路径告知寄存器模型：

代码清单 7-35

```
regA.configure(this, null, "fileA.regA");
…
regB.configure(this, null, "fileB.regB");
```

当fileA中的寄存器只有一个regA时，这种写法是没有问题的，但是假如fileA中有几十个寄存器时，那么很显然，fileA.*会几十

次地出现在这几十个寄存器的configure函数里。假如有一天，fileA的名字忽然变为filea_inst，那么就需要把这几十行中所有fileA替换成filea_inst，这个过程很容易出错。

为了适应这种情况，在UVM的寄存器模型中引入了uvm_reg_file的概念。uvm_reg_file同uvm_reg相同是一个纯虚类，不能直接使用，而必须使用其派生类：

代码清单　7-36

```
文件：src/ch7/section7.4/7.4.2/reg_model.sv
 94 class regfile extends uvm_reg_file;
 95    function new(string name = "regfile");
 96       super.new(name);
 97    endfunction
 98
 99    `uvm_object_utils(regfile)
100 endclass
…
142 class mac_blk extends uvm_reg_block;
143
144    rand regfile file_a;
145    rand regfile file_b;
146    rand reg_regA regA;
147    rand reg_regB regB;
148    rand reg_vlan vlan;
149
150    virtual function void build();
151       default_map = create_map("default_map", 0, 2, UVM_BIG_ENDIAN, 0);
152
153       file_a = regfile::type_id::create("file_a", , get_full_name());
```

```
154         file_a.configure(this, null, "fileA");
155         file_b = regfile::type_id::create("file_b", , get_full_name());
156         file_b.configure(this, null, "fileB");
…
159         regA.configure(this, file_a, "regA");
…
164         regB.configure(this, file_b, "regB");
…
172     endfunction
…
180 endclass
```

如上所示，先从uvm_reg_file派生一个类，然后在my_blk中实例化此类，之后调用其configure函数，此函数的第一个参数是其所在的reg_block的指针，第二个参数是假设此reg_file是另外一个reg_file的父文件，那么这里就填写其父reg_file的指针。由于这里只有这一级reg_file，因此填写null。第三个参数则是此reg_file的hdl路径。当把reg_file定义好后，在调用寄存器的configure参数时，就可以将其第二个参数设为reg_file的指针。

加入reg_file的概念后，当fileA变为filea_inst时，只需要将file_a的configure参数值改变一下即可，其他则不需要做任何改变。这大大减少了出错的概率。

*7.4.3 多个域的寄存器

前面所有例子中的寄存器都是只有一个域的，如果一个寄存器有多个域时，那么在建立模型时会稍有改变。

设某个寄存器有三个域，其中最低两位为filedA，接着三位为filedB，接着四位为filedC，其余位未使用。

这个寄存器从逻辑上来看是一个寄存器，但是从物理上来看，即它的DUT实现中是三个寄存器，因此这一个寄存器实际上对应着三个不同的hdl路径：fieldA、fieldB、fieldC。对于这种情况，前面介绍的模型建立方法已经不适用了。

代码清单 7-37

文件：src/ch7/section7.4/7.4.3/reg_model.sv

```
 98 class three_field_reg extends uvm_reg;
 99    rand uvm_reg_field fieldA;
100    rand uvm_reg_field fieldB;
101    rand uvm_reg_field fieldC;
102
103    virtual function void build();
104       fieldA = uvm_reg_field::type_id::create("fieldA");
105       fieldB = uvm_reg_field::type_id::create("fieldB");
106       fieldC = uvm_reg_field::type_id::create("fieldC");
107    endfunction
…
115 endclass
116
117 class mac_blk extends uvm_reg_block;
…
```

```
120     rand three_field_reg tf_reg;
121
122     virtual function void build();
…
130        tf_reg = three_field_reg::type_id::create("tf_reg", , get_full_name());
131        tf_reg.configure(this, null, "");
132        tf_reg.build();
133        tf_reg.fieldA.configure(tf_reg, 2, 0, "RW", 1, 0, 1, 1, 1);
134        tf_reg.add_hdl_path_slice("fieldA", 0, 2);
135        tf_reg.fieldB.configure(tf_reg, 3, 2, "RW", 1, 0, 1, 1, 1);
136        tf_reg.add_hdl_path_slice("fieldA", 2, 3);
137        tf_reg.fieldC.configure(tf_reg, 4, 5, "RW", 1, 0, 1, 1, 1);
138        tf_reg.add_hdl_path_slice("fieldA", 5, 4);
139        default_map.add_reg(tf_reg, 'h41, "RW");
140     endfunction
…
148 endclass
```

这里要先从uvm_reg派生一个类，在此类中加入3个uvm_reg_field。在reg_block中将此类实例化后，调用tf_reg.configure时要注意，最后一个代表hdl路径的参数已经变为了空的字符串，在调用tf_reg.build之后要调用tf_reg.fieldA的configure函数。

调用完fieldA的configure函数后，需要将fieldA的hdl路径加入tf_reg中，此时用到的函数是add_hdl_path_slice。这个函数的第一个参数是要加入的路径，第二个参数则是此路径对应的域在此寄存器中的起始位数，如fieldA是从0开始的，而fieldB是从2开始的，第三个参数则是此路径对应的域的位宽。

上述fieldA.configure和tf_reg.add_hdl_path_slice其实也可以如7.2.1节那样在three_field_reg的build中被调用。这两者有什么区别呢？如果是在所定义的uvm_reg类中调用，那么此uvm_reg其实就已经定型了，不能更改了。例如7.2.1节中定义了具有一个域的

uvm_reg派生类，现在假如有一个新的寄存器，它也是只有一个域，但是这个域并不是如7.2.1节中那样占据了1bit，而只占据了8bit，那么此时就需要重新从uvm_reg派生一个类，然后再重新定义。如果7.2.1节中的reg_invert在定义时并没有在其build中调用reg_data的configure函数，那么就不必重新定义。因为没有调用configure之前，这个域是不确定的。

*7.4.4 多个地址的寄存器

实际的DUT中，有些寄存器会同时占据多个地址。如7.3.2节DUT中的counter是32bit的，而系统的数据位宽是16位的，所以就占据了两个地址。

在7.3.5节中，是以代码清单7-28的方式将一个寄存器分割成两个寄存器的方式加入寄存器模型中的。因其每次要读取counter的值时，都需要对counter_low和counter_high各进行一次读取操作，然后再将两次读取的值合成一个counter的值，所以这种方式使用起来非常不方便。

UVM提供另外一种方式，可以使一个寄存器占据多个地址：

代码清单 7-38

文件：src/ch7/section7.4/7.4.4/reg_model.sv

```
22 class reg_counter extends uvm_reg;
23
24    rand uvm_reg_field reg_data;
25
26    virtual function void build();
27        reg_data = uvm_reg_field::type_id::create("reg_data");
28        // parameter: parent, size, lsb_pos, access, volatile, reset value, has_reset, is_rand,
29       reg_data.configure(this, 32, 0, "W1C", 1, 0, 1, 1, 0);
30    endfunction
31
32    `uvm_object_utils(reg_counter)
33
```

```
 34    function new(input string name="reg_counter");
 35       //parameter: name, size, has_coverage
 36       super.new(name, 32, UVM_NO_COVERAGE);
 37    endfunction
 38 endclass
 39
 40 class reg_model extends uvm_reg_block;
 41    rand reg_invert invert;
 42    rand reg_counter counter;
 43
 44    virtual function void build();
…
 52       counter= reg_counter::type_id::create("counter", , get_full_name());
 53       counter.configure(this, null, "counter");
 54       counter.build();
 55       default_map.add_reg(counter, 'h5, "RW");
 56    endfunction
…
 64 endclass
```

这种方法相对简单，可以定义一个reg_counter，并在其构造函数中指明此寄存器的大小为32位，此寄存器中只有一个域，此域的宽度也为32bit，之后在reg_model中将其实例化即可。在调用default_map的add_reg函数时，要指定寄存器的地址，这里只需要指明最小的一个地址即可。这是因为在前面实例化default_map时，已经指明了它使用UVM_LITTLE_ENDIAN形式，同时总线的宽度为2byte，即16bit，UVM会自动根据这些信息计算出此寄存器占据两个地址。当使用前门访问的形式读写此寄存器时，寄存器模型会进行两次读写操作，即发出两个transaction，这两个transaction对应的读写操作的地址从0x05一直递增到0x06。

当将counter作为一个整体时，可以一次性地访问它：

代码清单　7-39

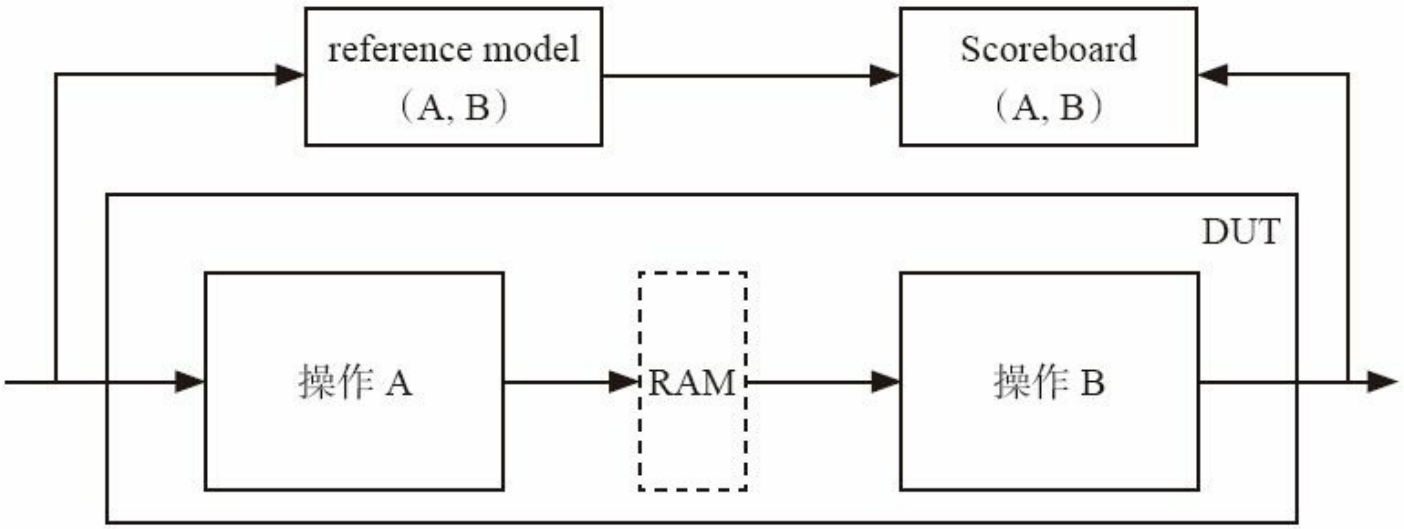
文件：src/ch7/section7.4/7.4.4/my_case0.sv

```
 19 class case0_cfg_vseq extends uvm_sequence;
…
 28    virtual task body();
…
 38       p_sequencer.p_rm.counter.read(status, value, UVM_FRONTDOOR);
 39       `uvm_info("case0_cfg_vseq", $sformatf("counter's initial value(FRONT DOOR) is %0h", value
 40       p_sequencer.p_rm.counter.poke(status, 32'h1FFFD);
 41       p_sequencer.p_rm.counter.read(status, value, UVM_FRONTDOOR);
 42       `uvm_info("case0_cfg_vseq", $sformatf("after poke, counter's value(F RONTDOOR) is %0h", v
 43       p_sequencer.p_rm.counter.peek(status, value);
 44       `uvm_info("case0_cfg_vseq", $sformatf("after poke, counter's value(B ACKDOOR) is %0h", va
…
 47    endtask
 48
 49 endclass
```

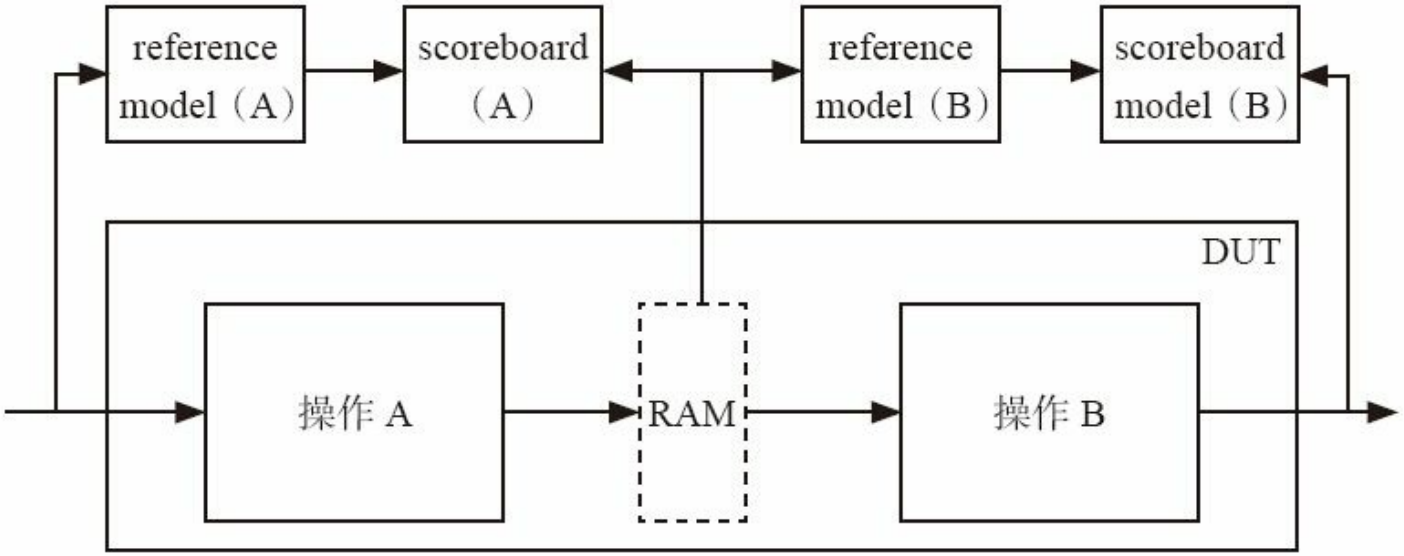
*7.4.5 加入存储器

除了寄存器外，DUT中还存在大量的存储器。这些存储器有些被分配了地址空间，有些没有。验证人员有时需要在仿真过程中得到存放在这些存储器中数据的值，从而与期望的值比较并给出结果。

例如，一个DUT的功能是接收一种数据，它经过一些相当复杂的处理（操作A）后将数据存储在存储器中，这块存储器是DUT内部的存储器，并没有为其分配地址。当存储器中的数据达到一定量时，将它们读出，并再另外做一些复杂处理（如封装成另外一种形式的帧，操作B）后发送出去。在验证平台中如果只是将DUT输出接口的数据与期望值相比较，当数据不匹配情况出现时，则无法确定问题是出在操作A还是操作B中，如图7-8a所示。此时，如果在输出接口之前再增加一级比较，就可以快速地定位问题所在了，如图7-8b所示。



a）不使用后门访问方式的一级检查



b）使用后门访问方式的两级检查

图7-8　一级检查与两级检查

要在寄存器模型中加入存储器非常容易。在一个16位的系统中加入一块1024×16（深度为1024，宽度为16）的存储器的代码如下：

代码清单　7-40

```
文件：src/ch7/section7.4/7.4.5/ram1024x16/reg_model.sv
 40 class my_memory extends uvm_mem;
 41    function new(string name="my_memory");
 42       super.new(name, 1024, 16);
 43    endfunction
 44
 45    `uvm_object_utils(my_memory)
 46 endclass
 47
 48 class reg_model extends uvm_reg_block;
…
 51    rand my_memory mm;
 52
 53    virtual function void build();
…
 66       mm = my_memory::type_id::create("mm", , get_full_name());
 67       mm.configure(this, "stat_blk.ram1024x16_inst.array");
 68       default_map.add_mem(mm, 'h100);
 69    endfunction
…
 77 endclass
```

首先由uvm_mem派生一个类my_memory，在其new函数中调用super.new函数。这个函数有三个参数，第一个是名字，第二个是存储器的深度，第三个是宽度。在reg_model的build函数中，将存储器实例化，调用其configure函数，第一个参数是所在reg_block的指针，第二个参数是此块存储器的hdl路径。最后调用default_map.add_mem函数，将此块存储器加入default_map中，从而可以对其进行前门访问操作。如果没有对此块存储器分配地址空间，那么这里可以不将其加入default_map中。在这种情况下，只能使用后门访问的方式对其进行访问。

要对此存储器进行读写，可以通过调用read、write、peek、poke实现。相比uvm_reg来说，这四个任务/函数在调用的时候需要额外加入一个offset的参数，说明读取此存储器的哪个地址。

代码清单　7-41

来源：UVM
源代码

```
task uvm_mem::read(output uvm_status_e       status,
                   input  uvm_reg_addr_t     offset,
                   output uvm_reg_data_t     value,
                   input  uvm_path_e         path = UVM_DEFAULT_PATH,
…);
task uvm_mem::write(output uvm_status_e      status,
                    input  uvm_reg_addr_t    offset,
                    input  uvm_reg_data_t    value,
                    input  uvm_path_e        path = UVM_DEFAULT_PATH,
…);
task uvm_mem::peek(output uvm_status_e      status,
                   input  uvm_reg_addr_t    offset,
                   output uvm_reg_data_t    value,
```

```
…);
task uvm_mem::poke(output uvm_status_e      status,
                   input  uvm_reg_addr_t    offset,
                   input  uvm_reg_data_t    value,
…);
```

上面存储器的宽度与系统总线位宽恰好相同。假如存储器的宽度大于系统总线位宽时，情况会略有不同。如在一个16位的系统中加入512×32的存储器：

代码清单　7-42

```
文件：src/ch7/section7.4/7.4.5/ram512x32/reg_model.sv
 40 class my_memory extends uvm_mem;
 41    function new(string name="my_memory");
 42       super.new(name, 512, 32);
 43    endfunction
 44
 45    `uvm_object_utils(my_memory)
 46 endclass
```

在派生my_memory时，就要在其new函数中指明其宽度为32bit，在my_block中加入此memory的方法与前面的相同。很明显，这里加入的存储器的一个单元占据两个物理地址，共占据1024个地址。那么当使用read、write、peek、poke时，输入的参数offset代表实际的物理地址偏移还是某一个存储单元偏移呢？答案是存储单元偏移。在访问这块512×32的存储器时，offset的最大值是511，而不是1023。当指定一个offset，使用前门访问操作读写时，由于一个offset对应的是两个物理地址，所以寄存器模型会在总

线上进行两次读写操作。

7.5 寄存器模型对DUT的模拟

7.5.1 期望值与镜像值

由于DUT中寄存器的值可能是实时变更的，寄存器模型并不能实时地知道这种变更，因此，寄存器模型中的寄存器的值有时与DUT中相关寄存器的值并不一致。对于任意一个寄存器，寄存器模型中都会有一个专门的变量用于最大可能地与DUT保持同步，这个变量在寄存器模型中称为DUT的镜像值（mirrored value）。

除了DUT的镜像值外，寄存器模型中还有期望值（desired value）。如目前DUT中invert的值为'h0，寄存器模型中的镜像值也为'h0，但是希望向此寄存器中写入一个'h1，此时一种方法是直接调用前面介绍的write任务，将'h1写入，期望值与镜像值都更新为'h1；另外一种方法是通过set函数将期望值设置为'h1（此时镜像值依然为0），之后调用update任务，update任务会检查期望值和镜像值是否一致，如果不一致，那么将会把期望值写入DUT中，并且更新镜像值。

代码清单 7-43

文件：src/ch7/section7.5/7.5.1/my_case0.sv

```
 19 class case0_cfg_vseq extends uvm_sequence;
…
 28     virtual task body();
…
 38         p_sequencer.p_rm.invert.set(16'h1);
 39         value = p_sequencer.p_rm.invert.get();
 40         `uvm_info("case0_cfg_vseq", $sformatf("invert's desired value is %0h ", value), UVM_LOW)
```

```
41        value = p_sequencer.p_rm.invert.get_mirrored_value();
42        `uvm_info("case0_cfg_vseq", $sformatf("invert's mirrored value is %0h ", value), UVM_LOW)
43        p_sequencer.p_rm.invert.update(status, UVM_FRONTDOOR);
44        value = p_sequencer.p_rm.invert.get();
45        `uvm_info("case0_cfg_vseq", $sformatf("invert's desired value is %0h ", value), UVM_LOW)
46        value = p_sequencer.p_rm.invert.get_mirrored_value();
47        `uvm_info("case0_cfg_vseq", $sformatf("invert's mirrored value is %0h ", value), UVM_LOW)
48        p_sequencer.p_rm.invert.peek(status, value);
49        `uvm_info("case0_cfg_vseq", $sformatf("invert's actual value is %0h", value), UVM_LOW)
50        if(starting_phase != null)
51           starting_phase.drop_objection(this);
52    endtask
```

通过get函数可以得到寄存器的期望值，通过get_mirrored_value可以得到镜像值。其使用方式分别见上述代码。

对于存储器来说，并不存在期望值和镜像值。寄存器模型不对存储器进行任何模拟。若要得到存储器中某个存储单元的值，只能使用7.4.5节中的四种操作。

7.5.2 常用操作及其对期望值和镜像值的影响

read&write操作：这两个操作在前面已经使用过了。无论通过后门访问还是前门访问的方式从DUT中读取或写入寄存器的值，在操作完成后，寄存器模型都会根据读写的结果更新期望值和镜像值（二者相等）。

peek&poke操作：前文中也讲述过这两个操作的示例。在操作完成后，寄存器模型会根据操作的结果更新期望值和镜像值（二者相等）。

get&set操作：set操作会更新期望值，但是镜像值不会改变。get操作会返回寄存器模型中当前寄存器的期望值。

update操作：这个操作会检查寄存器的期望值和镜像值是否一致，如果不一致，那么就会将期望值写入DUT中，并且更新镜像值，使其与期望值一致。每个由uvm_reg派生来的类都会有update操作，其使用方式在上一节中已经介绍过。每个由uvm_reg_block派生来的类也有update操作，它会递归地调用所有加入此reg_block的寄存器的update任务。

randomize操作：寄存器模型提供randomize接口。randomize之后，期望值将会变为随机出的数值，镜像值不会改变。但是并不是寄存器模型中所有寄存器都支持此函数。如果不支持，则randomize调用后其期望值不变。若要关闭随机化功能，如7.2.1节所示，在reg_invert的build中调用reg_data.configure时将其第八个参数设置为0即可。一般的，randomize不会单独使用而是和update一起。如在DUT上电复位后，需要配置一些寄存器的值。这些寄存器的值通过randomize获得，并使用update任务配置到DUT中。关于randomize和update，请参考7.7.3节。

7.6 寄存器模型中一些内建的sequence

*7.6.1 检查后门访问中hdl路径的sequence

UVM提供了一系列的sequence，可以用于检查寄存器模型及DUT中的寄存器。其中uvm_reg_mem_hdl_paths_seq即用于检查hdl路径的正确性。这个sequence的原型为：

代码清单 7-44

```
来源：UVM
源代码
class uvm_reg_mem_hdl_paths_seq extends uvm_reg_sequence #(uvm_sequence #(uvm
_reg_item)
```

这个sequence的运行依赖于在基类uvm_sequence中定义的一个变量：

代码清单 7-45

```
来源：UVM
源代码
uvm_reg_block model
```

在启动此sequence时必须给model赋值。在任意的sequence中，可以启动此sequence：

代码清单　7-46

```
文件：src/ch7/section7.6/7.6.1/my_case0.sv
 19 class case0_cfg_vseq extends uvm_sequence;
…
 28    virtual task body();
 ..
 31       uvm_reg_mem_hdl_paths_seq ckseq;
…
 34       ckseq = new("ckseq");
 35       ckseq.model = p_sequencer.p_rm;
 36       ckseq.start(null);
…
 39    endtask
 40
 41 endclass
```

在调用这个sequence的start任务时，传入的sequencer参数为null。因为它正常工作不依赖于这个sequencer，而依赖于model变量。这个sequence会试图读取hdl所指向的寄存器，如果无法读取，则给出错误提示。

由这个sequence的名字也可以看出，它除了检查寄存器外，还检查存储器。如果某个寄存器/存储器在加入寄存器模型时没有指定其hdl路径，那么此sequence在检查时会跳过这个寄存器/存储器。

*7.6.2 检查默认值的sequence

uvm_reg_hw_reset_seq用于检查上电复位后寄存器模型与DUT中寄存器的默认值是否相同，它的原型为：

代码清单 7-47

```
来源：UVM
源代码
class uvm_reg_hw_reset_seq extends uvm_reg_sequence #(uvm_sequence #(uvm_reg_item));
```

对于DUT来说，在复位完成后，其值就是默认值。但是对于寄存器模型来说，如果只是将它集成在验证平台上，而不做任何处理，那么它所有寄存器的值为0，此时需要调用reset函数来使其内寄存器的值变为默认值（复位值）：

代码清单 7-48

```
function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
…
    rm = reg_model::type_id::create("rm", this);
…
    rm.reset();
…
endfunction
```

这个sequence在其检查前会调用model的reset函数，所以即使在集成到验证平台时没有调用reset函数，这个sequence也能正常工作。除了复位（reset）外，这个sequence所做的事情就是使用前门访问的方式读取所有寄存器的值，并将其与寄存器模型中的值比较。这个sequence在启动时也需要指定其model变量。

如果想跳过某个寄存器的检查，可以在启动此sequence前使用resource_db设置不检查此寄存器。resource_db机制与config_db机制的底层实现是一样的，uvm_config_db类就是从uvm_resource_db类派生而来的。由于在寄存器模型的sequence中，get操作是通过resource_db来进行的，所以这里使用resource_db来进行设置：

代码清单　7-49

文件：src/ch7/section7.6/7.6.2/my_case0.sv

```
 77 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 88    uvm_resource_db#(bit)::set({"REG::",rm.invert.get_full_name(),".*"},
 89                               "NO_REG_TESTS", 1, this);
…
 93 endfunction
```

或者使用：

代码清单　7-50

文件：src/ch7/section7.6/7.6.2/my_case0.sv

```
 77 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 90    uvm_resource_db#(bit)::set({"REG::",rm.invert.get_full_name(),".*"},
 91                               "NO_REG_HW_RESET_TEST", 1, this);
 92
 93 endfunction
```

*7.6.3 检查读写功能的sequence

UVM提供两个sequence分别用于检查寄存器和存储器的读写功能。uvm_reg_access_seq用于检查寄存器的读写，它的原型为：

代码清单 7-51

```
来源：UVM
源代码
class uvm_reg_access_seq extends uvm_reg_sequence #(uvm_sequence #(uvm_reg_it em))
```

使用此sequence也需要指定其model变量。

这个sequence会使用前门访问的方式向所有寄存器写数据，然后使用后门访问的方式读回，并比较结果。最后把这个过程反过来，使用后门访问的方式写入数据，再用前门访问读回。这个sequence要正常工作必须为所有的寄存器设置好hdl路径。

如果要跳过某个寄存器的读写检查，则可以在启动sequence前使用如下的两种方式之一进行设置：

代码清单 7-52

```
文件：src/ch7/section7.6/7.6.3/my_case0.sv
 81 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 92     //set for reg access sequence
 93     uvm_resource_db#(bit)::set({"REG::",rm.invert.get_full_name(),".*"},
```

```
 94                                    "NO_REG_TESTS", 1, this);
 95     uvm_resource_db#(bit)::set({"REG::",rm.invert.get_full_name(),".*"},
 96                                    "NO_REG_ACCESS_TEST", 1, this);
…
106 endfunction
```

uvm_mem_access_seq用于检查存储器的读写，它的原型为：

代码清单　7-53

来源：UVM
源代码

```
class uvm_mem_access_seq extends uvm_reg_sequence #(uvm_sequence #(uvm_reg_it em)
```

启动此sequence同样需要指定其model变量。这个sequence会通过使用前门访问的方式向所有存储器写数据，然后使用后门访问的方式读回，并比较结果。最后把这个过程反过来，使用后门访问的方式写入数据，再用前门访问读回。这个sequence要正常工作必须为所有的存储器设置好HDL路径。

如果要跳过某块存储器的检查，则可以使用如下的三种方式之一进行设置：

代码清单　7-54

文件：src/ch7/section7.6/7.6.3/my_case0.sv

```
 81 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
```

```
…
 98    //set for mem access sequence
 99    uvm_resource_db#(bit)::set({"REG::",rm.get_full_name(),".*"},
100                               "NO_REG_TESTS", 1, this);
101    uvm_resource_db#(bit)::set({"REG::",rm.get_full_name(),".*"},
102                               "NO_MEM_TESTS", 1, this);
103    uvm_resource_db#(bit)::set({"REG::",rm.invert.get_full_name(),".*"},
104                               "NO_MEM_ACCESS_TEST", 1, this);
105
106 endfunction
```

7.7 寄存器模型的高级用法

*7.7.1 使用reg_predictor

在7.2.2节讲述读操作的返回值时，介绍了图7-9中的左图的方式，这种方式要依赖于driver。当driver将读取值返回后，寄存器模型会更新寄存器的镜像值和期望值。这个功能被称为寄存器模型的auto predict功能。在建立寄存器模型时使用如下的语句打开此功能：

代码清单 7-55

```
rm.default_map.set_auto_predict(1);
```

除了左图使用driver的返回值更新寄存器模型外，还存在另外一种形式，如图7-9中的右图所示。在这种形式中，是由monitor将从总线上收集到的transaction交给寄存器模型，后者更新相应寄存器的值。

要使用这种方式更新数据，需要实例化一个reg_predictor，并为这个reg_predictor实例化一个adapter：

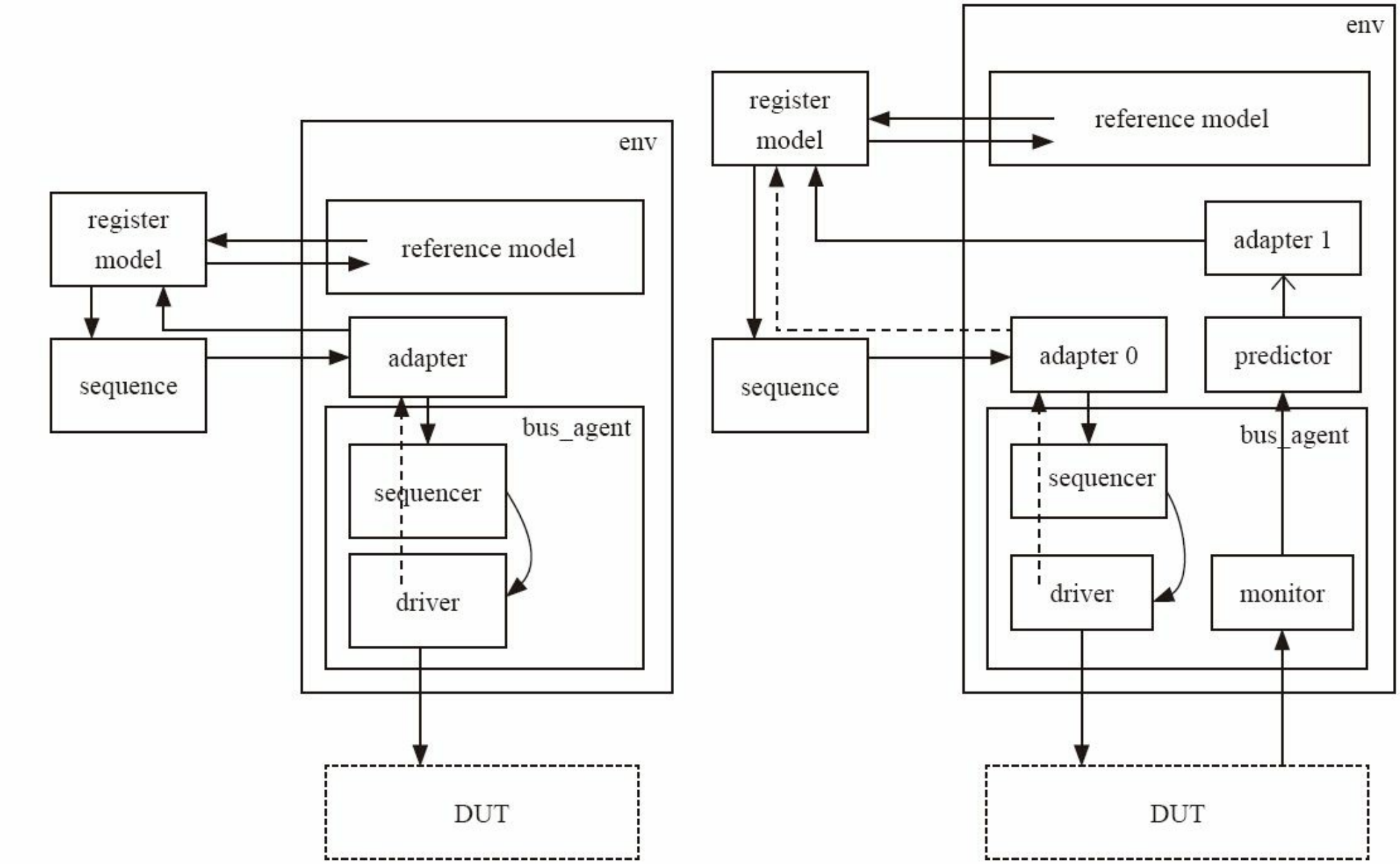

env
register model
reference model
sequence
adapter
bus_agent
sequencer
driver
DUT
env
register model
reference model
adapter 1
sequence
adapter 0
predictor
bus_agent
sequencer
driver
monitor
DUT

图7-9　reg_predictor的工作流程

代码清单　7-56

文件：src/ch7/section7.7/7.7.1/base_test.sv

```
  4 class base_test extends uvm_test;
…
  8    reg_model      rm;
  9    my_adapter     reg_sqr_adapter;
 10    my_adapter     mon_reg_adapter;
 11
 12    uvm_reg_predictor#(bus_transaction) reg_predictor;
…
 22 endclass
 23
 24 function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
…
 28    rm = reg_model::type_id::create("rm", this);
 29    rm.configure(null, "");
 30    rm.build();
 31    rm.lock_model();
 32    rm.reset();
 33    reg_sqr_adapter = new("reg_sqr_adapter");
 34    mon_reg_adapter = new("mon_reg_adapter");
 35    reg_predictor = new("reg_predictor", this);
 36    env.p_rm = this.rm;
 37 endfunction
 38
 39 function void base_test::connect_phase(uvm_phase phase);
…
 44    rm.default_map.set_sequencer(env.bus_agt.sqr, reg_sqr_adapter);
 45    rm.default_map.set_auto_predict(1);
```

```
46     reg_predictor.map = rm.default_map;
47     reg_predictor.adapter = mon_reg_adapter;
48     env.bus_agt.ap.connect(reg_predictor.bus_in);
49  endfunction
```

在connect_phase中，需要将reg_predictor和bus_agt的ap口连接在一起，并设置reg_predictor的adapter和map。只有设置了map后，才能将predictor和寄存器模型关联在一起。

当总线上只有一个主设备（master）时，则图7-9的左图和右图是完全等价的。如果有多个主设备，则左图会漏掉某些trasaction。

经过代码清单7-56的设置，事实上存在着两条更新寄存器模型的路径：一是图7-9右图虚线所示的自动预测途径，二是经由predictor的途径。如果要彻底关掉虚线的更新路径，则需要：

代码清单　7-57

```
rm.default_map.set_auto_predict(0);
```

*7.7.2 使用UVM_PREDICT_DIRECT功能与mirror操作

UVM提供mirror操作，用于读取DUT中寄存器的值并将它们更新到寄存器模型中。它的函数原型为：

代码清单 7-58

```
来源：UVM
源代码
task uvm_reg::mirror(output uvm_status_e        status,
                     input  uvm_check_e         check = UVM_NO_CHECK,
                     input  uvm_path_e          path = UVM_DEFAULT_PATH,
…);
```

它有多个参数，但是常用的只有前三个。其中第二个参数指的是如果发现DUT中寄存器的值与寄存器模型中的镜像值不一致，那么在更新寄存器模型之前是否给出错误提示。其可选的值为UVM_CHECK和UVM_NO_CHECK。

它有两种应用场景，一是在仿真中不断地调用它，使得到整个寄存器模型的值与DUT中寄存器的值保持一致，此时check选项是关闭的。二是在仿真即将结束时，检查DUT中寄存器的值与寄存器模型中寄存器的镜像值是否一致，这种情况下，check选项是打开的。

mirror操作会更新期望值和镜像值。同update操作类似，mirror操作既可以在uvm_reg级别被调用，也可以在uvm_reg_block级别被调用。当调用一个uvm_reg_block的mirror时，其实质是调用加入其中的所有寄存器的mirror。

前文已经说过，在通信系统中存在大量的计数器。当网络出现异常时，借助这些计数器能够快速地找出问题所在，所以必须要保证这些计数器的正确性。一般的，会在仿真即将结束时使用mirror操作检查这些计数器的值是否与预期值一致。

在DUT中的计数器是不断累加的，但是寄存器模型中的计数器则保持静止。参考模型会不断统计收到了多少包，那么怎么将这些统计数据传递给寄存器模型呢？

前文中介绍的所有的操作都无法完成这个事情，无论是set，还是write，或是poke；无论是后门访问还是前门访问。这个问题的实质是想人为地更新镜像值，但是同时又不要对DUT进行任何操作。

UVM提供predict操作来实现这样的功能：

代码清单　7-59

```
来源：UVM
源代码
function bit uvm_reg::predict (uvm_reg_data_t    value,
                               uvm_reg_byte_en_t be = -1,
                               uvm_predict_e     kind = UVM_PREDICT_DIRECT,
                               uvm_path_e        path = UVM_FRONTDOOR,
…);
```

其中第一个参数表示要预测的值，第二个参数是byte_en，默认-1的意思是全部有效，第三个参数是预测的类型，第四个参数是后门访问或者是前门访问。第三个参数预测类型有如下几种可以选择：

代码清单　7-60

来源：UVM
源代码

```
   typedef enum {
      UVM_PREDICT_DIRECT,
      UVM_PREDICT_READ,
      UVM_PREDICT_WRITE
   } uvm_predict_e;
```

read/peek和write/poke操作在对DUT完成读写后，也会调用此函数，只是它们给出的参数是UVM_PREDICT_READ和UVM_PREDICT_WRITE。要实现在参考模型中更新寄存器模型而又不影响DUT的值，需要使用UVM_PREDICT_DIRECT，即默认值：

代码清单　7-61

文件：src/ch7/section7.7/7.7.2/my_model.sv

```
 37 task my_model::main_phase(uvm_phase phase);
…
 45    p_rm.invert.read(status, value, UVM_FRONTDOOR);
 46    while(1) begin
 47       port.get(tr);
…
 52       if(value)
 53          invert_tr(new_tr);
 54       counter = p_rm.counter.get();
 55       length = new_tr.pload.size() + 18;
```

```
 56        counter = counter + length;
 57        p_rm.counter.predict(counter);
 58        ap.write(new_tr);
 59     end
 60 endtask
```

在my_model中，每得到一个新的transaction，就先从寄存器模型中得到counter的期望值（此时与镜像值一致），之后将新的transaction的长度加到counter中，最后使用predict函数将新的counter值更新到寄存器模型中。predict操作会更新镜像值和期望值。

在测试用例中，仿真完成后可以检查DUT中counter的值是否与寄存器模型中的counter值一致：

代码清单　7-62

文件：src/ch7/section7.7/7.7.2/my_case0.sv

```
 44 class case0_vseq extends uvm_sequence;
…
 53     virtual task body();
…
 60         dseq = case0_sequence::type_id::create("dseq");
 61         dseq.start(p_sequencer.p_my_sqr);
 62         #100000;
 63         p_sequencer.p_rm.counter.mirror(status, UVM_CHECK, UVM_FRONTDOOR);
…
 69     endtask
 70
 71 endclass
```

*7.7.3 寄存器模型的随机化与update

前文中在向uvm_reg中加入uvm_reg_field时，是将加入的uvm_reg_field定义为rand类型：

代码清单 7-63

```
class reg_invert extends uvm_reg;
    rand uvm_reg_field reg_data;
…
endclass
```

在将uvm_reg加入uvm_reg_block中时，同样定义为rand类型：

代码清单 7-64

```
class reg_model extends uvm_reg_block;
   rand reg_invert invert;
…
endclass
```

由此可以判断对register_model来说，支持randomize操作。可以在uvm_reg_block级别调用randomize函数，也可以在uvm_reg级别，甚至可以在uvm_reg_field级别调用：

代码清单　7-65

```
assert(rm.randomize());
assert(rm.invert.randomize());
assert(rm.invert.reg_data.randomize());
```

但是，要使某个field能够随机化，只是将其定义为rand类型是不够的。在每个reg_field加入uvm_reg时，要调用其configure函数：

代码清单　7-66

```
// parameter: parent, size, lsb_pos, access, volatile, reset value, has_reset,
is_rand, individually accessible
reg_data.configure(this, 1, 0, "RW", 1, 0, 1, 1, 0);
```

这个函数的第八个参数即决定此field是否会在randomize时被随机化。但是即使此参数为1，也不一定能够保证此field被随机化。当一个field的类型中没有写操作时，此参数设置是无效的。换言之，此参数只在此field类型为RW、WRC、WRS、WO、W1、WO1时才有效。

因此，要避免一个field被随机化，可以在以下三种方式中任选其一：

1）当在uvm_reg中定义此field时，不要设置为rand类型。

2）在调用此field的configure函数时，第八个参数设置为0。

3）设置此field的类型为RO、RC、RS、WC、WS、W1C、W1S、W1T、W0C、W0S、W0T、W1SRC、W1CRS、W0SRC、W0CRS、WSRC、WCRS、WOC、WOS中的一种。

其中第一种方式也适用于关闭某个uvm_reg或者某个uvm_reg_block的randomize功能。

既然存在randomize，那么也可以为它们定义constraint：

代码清单　7-67

```
class reg_invert extends uvm_reg;
   rand uvm_reg_field reg_data;
   constraint cons{
      reg_data.value == 0;
   }
…
endclass
```

在施加约束时，要深入reg_field的value变量。

randomize会更新寄存器模型中的预期值：

代码清单　7-68

来源：UVM
源代码

```
function void uvm_reg_field::post_randomize();
   m_desired = value;
endfunction: post_randomize
```

这与set函数类似。因此，可以在randomize完成后调用update任务，将随机化后的参数更新到DUT中。这特别适用于在仿真开始时随机化并配置参数。

7.7.4 扩展位宽

在7.2.1节代码清单7-7的new函数中，调用super.new时的第二个参数是16，这个数字一般表示系统总线的宽度，它可以是32、64、128等。但是在寄存器模型中，这个数字的默认最大值是64，它是通过一个宏来控制的：

代码清单 7-69

来源：UVM
源代码

```
`ifndef UVM_REG_DATA_WIDTH
 `define UVM_REG_DATA_WIDTH 64
`endif
```

如果想要扩展系统总线的位宽，可以通过重新定义这个宏来扩展。

与数据位宽相似的是地址位宽也有默认最大值限制，其默认值也是64：

代码清单 7-70

来源：UVM
源代码

```
`ifndef UVM_REG_ADDR_WIDTH
 `define UVM_REG_ADDR_WIDTH 64
`endif
```

在默认情况下，字选择信号的位宽等于数据位宽除以8，它通过如下的宏来控制：

代码清单　7-71

来源：UVM
源代码

```
`ifndef UVM_REG_BYTENABLE_WIDTH
  `define UVM_REG_BYTENABLE_WIDTH ((`UVM_REG_DATA_WIDTH-1)/8+1)
`endif
```

如果想要使用一个其他值，也可以重新定义这个宏。

7.8 寄存器模型的其他常用函数

7.8.1 get_root_blocks

在本章以前的例子中，若某处要使用寄存器模型，则必须将寄存器模型的指针传递过去，如在virtual sequence中使用，需要传递给virtual sequencer：

代码清单 7-72

```
function void base_test::connect_phase(uvm_phase phase);
…
   v_sqr.p_rm = this.rm;
endfunction
```

除了这种指针传递的形式外，UVM还提供其他函数，使得可以在不使用指针传递的情况下得到寄存器模型的指针：

代码清单 7-73

```
来源：UVM
源代码
function void uvm_reg_block::get_root_blocks(ref uvm_reg_block blks[$]);
```

get_root_blocks函数得到验证平台上所有的根块（root block）。根块指最顶层的reg_block。如7.4.1节中的reg_model是root block，但是global_blk、buf_blk和mac_blk不是。

一个get_root_blocks函数的使用示例如下：

代码清单　7-74

文件：src/ch7/section7.8/7.8.1/my_case0.sv

```
 19 class case0_cfg_vseq extends uvm_sequence;
…
 28    virtual task body();
 29       uvm_status_e   status;
 30       uvm_reg_data_t value;
 31       bit[31:0] counter;
 32       uvm_reg_block blks[$];
 33       reg_model p_rm;
…
 36       uvm_reg_block::get_root_blocks(blks);
 37       if(blks.size() == 0)
 38          `uvm_fatal("case0_cfg_vseq", "can't find root blocks")
 39       else begin
 40          if(!$cast(p_rm, blks[0]))
 41             `uvm_fatal("case0_cfg_vseq", "can't cast to reg_model")
 42       end
 43
 44       p_rm.invert.read(status, value, UVM_FRONTDOOR);
…
 67    endtask
 68
 69 endclass
```

在使用get_root_blocks函数得到reg_block的指针后，要使用cast将其转化为目标reg_block形式（示例中为reg_model）。以后就可以直接使用p_rm来进行寄存器操作，而不必使用p_sequencer.p_rm。

7.8.2 get_reg_by_offset函数

在建立了寄存器模型后，可以直接通过层次引用的方式访问寄存器：

代码清单 7-75

```
rm.invert.read(...);
```

但是出于某些原因，如果依然要使用地址来访问寄存器模型，那么此时可以使用get_reg_by_offset函数通过寄存器的地址得到一个uvm_reg的指针，再调用此uvm_reg的read或者write就可以进行读写操作：

代码清单 7-76

文件：src/ch7/section7.8/7.8.2/my_case0.sv

```
 28    virtual task read_reg(input bit[15:0] addr, output bit[15:0] value);
 29       uvm_status_e   status;
 30       uvm_reg target;
 31       uvm_reg_data_t data;
 32       uvm_reg_addr_t addrs[];
 33       target = p_sequencer.p_rm.default_map.get_reg_by_offset(addr);
 34       if(target == null)
 35          `uvm_error("case0_cfg_vseq", $sformatf("can't find reg in register model with address
 36       target.read(status, data, UVM_FRONTDOOR);
 37       void'(target.get_addresses(null,addrs));
 38       if(addrs.size() == 1)
```

```
39          value = data[15:0];
40       else begin
41          int index;
42          for(int i = 0; i < addrs.size(); i++) begin
43             if(addrs[i] == addr) begin
44                data = data >> (16*(addrs.size() - i));
45                value = data[15:0];
46                break;
47             end
48          end
49       end
50    endtask
```

通过调用最顶层的reg_block的get_reg_by_offset，即可以得到任一寄存器的指针。如果如7.4.1节那样使用了层次的寄存器模型，从最顶层的reg_block的get_reg_by_offset也可以得到子reg_block中的寄存器。即假如buf_blk的地址偏移是'h1000，其中有偏移为'h3的寄存器（即此寄存器的实际物理地址是'h1003），那么可以直接由p_rm.get_reg_by_offset（'h1003）得到此寄存器，而不必使用p_rm.buf_blk.get_reg_by_offset（'h3）。

如果没有使用7.4.4节所示的多地址寄存器，那么情况比较简单，上述代码会运行第39行的分支。当存在多个地址的情况下，通过get_addresses函数可以得到这个函数的所有地址，其返回值是一个动态数组addrs。其中无论是大端还是小端，addrs[0]是LSB对应的地址。即对于7.3.2节DUT中的counter（此DUT是大端），那么addrs[0]中存放的是‘h6。而假如是小端，两个地址分别是'h1005和'h1006，那么addrs[0]中存放的是'h1005。第41到48行通过比较addrs中的地址与目标地址，最终得到要访问的数据。

写寄存器与读操作类似，这里不再列出。

第8章　UVM中的factory机制

8.1　SystemVerilog对重载的支持

*8.1.1　任务与函数的重载

SystemVerilog是一种面向对象的语言。面向对象语言都有一大特征：重载。当在父类中定义一个函数/任务时，如果将其设置为virtual类型，那么就可以在子类中重载这个函数/任务：

代码清单　8-1

文件：src/ch8/section8.1/8.1.1/my_case0.sv

```
 24 class bird extends uvm_object;
 25    virtual function void hungry();
 26       $display("I am a bird, I am hungry");
 27    endfunction
 28    function void hungry2();
 29       $display("I am a bird, I am hungry2");
 30    endfunction
…
 36 endclass
 37
 38 class parrot extends bird;
 39    virtual function void hungry();
 40       $display("I am a parrot, I am hungry");
```

```
 41     endfunction
 42     function void hungry2();
 43        $display("I am a parrot, I am hungry2");
 44     endfunction
…
 50 endclass
```

上述代码中的hungry就是虚函数，它可以被重载。但是hungry2不是虚函数，不能被重载。重载的最大优势是使得一个子类的指针以父类的类型传递时，其表现出的行为依然是子类的行为：

代码清单　8-2

```
文件：src/ch8/section8.1/8.1.1/my_case0.sv
 62 function void my_case0::print_hungry(bird b_ptr);
 63    b_ptr.hungry();
 64    b_ptr.hungry2();
 65 endfunction
 66
 67 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 68    bird bird_inst;
 69    parrot parrot_inst;
 70    super.build_phase(phase);
 71
 72    bird_inst = bird::type_id::create("bird_inst");
 73    parrot_inst = parrot::type_id::create("parrot_inst");
 74    print_hungry(bird_inst);
 75    print_hungry(parrot_inst);
 76 endfunction
```

如上所示的print_hungry函数，它能接收的函数类型是bird。所以在第74行的第一个调用时，对应第62行中b_ptr指向的实例是bird类型的，b_ptr本身是bird类型的，所以显示的是：

```
"I am a bird, I am hungry"
"I am a bird, I am hungry2"
```

而对于第75行的第二个调用，则显示的是：

```
"I am a parrot, I am hungry"
"I am a bird, I am hungry2"
```

在这个调用中，对应第62行b_ptr指向的实例是parrot类型的，而b_ptr本身虽然是parrot类型的，但是在调用hungry函数时，它被隐式地转换成了bird类型。hungry是虚函数，所以即使转换成了bird类型，打印出来的还是parrot。但是hungry2不是虚函数，打印出来的就是bird了。

这种函数/任务重载的功能在UVM中得到了大量的应用。其实最典型的莫过于各个phase。当各个phase被调用时，以build_phase为例，实际上系统是使用如下的方式调用：

代码清单　8-3

```
c_ptr.build_phase();
```

其中c_ptr是uvm_component类型的，而不是其他类型，如my_driver（但是c_ptr指向的实例却是my_driver类型的）。在一个验证平台中，UVM树上的结点是各个类型的，UVM不必理会它们具体是什么类型，统一将它们当作uvm_component来对待，这极大方便了管理。

*8.1.2 约束的重载

在测试一个接收MAC功能的DUT时，有多种异常情况需要测试，如preamble错误、sfd错误、CRC错误等。针对这些错误，在transaction中分别加入标志位：

代码清单 8-4

文件：src/ch8/section8.1/8.1.2/rand_mode/my_transaction.sv

```
  4 class my_transaction extends uvm_sequence_item;
  5
  6     rand bit[47:0] dmac;
  7     rand bit[47:0] smac;
  8     rand bit[15:0] ether_type;
  9     rand byte      pload[];
 10     rand bit[31:0] crc;
 11
 12     rand bit       crc_err;
 13     rand bit       sfd_err;
 14     rand bit       pre_err;
 15
…
 40     `uvm_object_utils_begin(my_transaction)
 41         `uvm_field_int(dmac, UVM_ALL_ON)
 42         `uvm_field_int(smac, UVM_ALL_ON)
 43         `uvm_field_int(ether_type, UVM_ALL_ON)
 44         `uvm_field_array_int(pload, UVM_ALL_ON)
 45         `uvm_field_int(crc, UVM_ALL_ON)
 46         `uvm_field_int(crc_err, UVM_ALL_ON | UVM_NOPACK)
 47         `uvm_field_int(sfd_err, UVM_ALL_ON | UVM_NOPACK)
```

```
 48         `uvm_field_int(pre_err, UVM_ALL_ON | UVM_NOPACK)
 49     `uvm_object_utils_end
…
 55 endclass
```

这些错误都是异常的情况，在大部分测试用例中，它们的值都应该为0。如果在每次产生transaction时进行约束会非常麻烦：

代码清单　8-5

```
uvm_do_with(tr, {tr.crc_err == 0; sfd_err == 0; pre_err == 0;})
```

由于它们出现的概率非常低，因此结合SystemVerilog中的dist，在定义transaction时指定如下的约束：

代码清单　8-6

```
constraint default_cons{
   crc_err dist{0 := 999_999_999, 1 := 1};
   pre_err dist{0 := 999_999_999, 1 := 1};
   sfd_err dist{0 := 999_999_999, 1 := 1};
}
```

上述语句的意思是，在随机化时，crc_err、pre_err和sfd_err只有1/1_000_000_000的可能性取值会为1，其余均为0。这看似非常令人满意，但是其中最大的问题是其何时取1、何时取0是无法控制的。如果某个测试用例用于测试正常的功能，里面则不能有

错误产生，换句话说，crc_err、pre_err和sfd_err的值要一定为0。上面的constraint明显不能满足这种要求，因为虽然只有1/1_000_000_000的可能性，但是这种可能性依然存在。在运行特别长的测试用例时，如发送了1_000_000_000个包，那么这其中有非常大的可能性会产生一个crc_err、pre_err或sfd_err值为1的包。

要解决上述问题，有两种解决方案。

第一种方式是在定义transaction时，使用如下的方式定义constraint：

代码清单　8-7

文件：src/ch8/section8.1/8.1.2/rand_mode/my_transaction.sv

```
  4 class my_transaction extends uvm_sequence_item;
…
 17     constraint crc_err_cons{
 18         crc_err == 1'b0;
 19     }
 20     constraint sfd_err_cons{
 21         sfd_err == 1'b0;
 22     }
 23     constraint pre_err_cons{
 24         pre_err == 1'b0;
 25     }
…
 55 endclass
```

在正常的测试用例中，可以使用如下方式随机化：

代码清单　8-8

```
my_transaction tr;
`uvm_do(tr)
```

在异常的测试用例中，可以使用如下方式随机化：

代码清单　8-9

```
文件：src/ch8/section8.1/8.1.2/rand_mode/my_case0.sv
 10    virtual task body();
…
 14        m_trans = new();
 15        `uvm_info("sequence", "turn off constraint", UVM_MEDIUM)
 16        m_trans.crc_err_cons.constraint_mode(0);
 17        `uvm_rand_send_with(m_trans, {crc_err dist {0 := 2, 1 := 1};})
…
 22    endtask
```

能够使用这种方式的前提是m_trans已经实例化。如果不实例化，直接使用uvm_do宏：

代码清单　8-10

```
my_transaction m_trans;
m_trans.crc_err_cons.constraint_mode(0);
```

```
`uvm_do(m_trans)
```

这样会报空指针的错误。

sfd_err与pre_err的情况也可以使用类似的方式实现。上述语句中只是单独地关闭了某一个约束，也可以使用如下的语句关闭所有的约束：

代码清单　8-11

```
m_trans.constraint_mode(0);
```

在这种情况下，随机化时就需要分别对crc_err、pre_err及sfd_err进行约束。

第二种方式，SystemVerilog中一个非常有用的特性是支持约束的重载。因此，依然使用第一种方式中my_transaction的定义，在其基础上派生一个新的transaction：

代码清单　8-12

文件：src/ch8/section8.1/8.1.2/override/my_case0.sv

```
4 class new_transaction extends my_transaction;
5    `uvm_object_utils(new_transaction)
6    function  new(string name= "new_transaction");
7       super.new(name);
```

```
 8     endfunction
 9
10     constraint crc_err_cons{
11        crc_err dist {0 := 2, 1 := 1};
12     }
13 endclass
```

在这个新的transaction中将crc_err_cons重载了。因此，在异常的测试用例中，可以使用如下的方式随机化：

代码清单　8-13

文件：src/ch8/section8.1/8.1.2/override/my_case0.sv

```
 22     virtual task body();
 23        new_transaction ntr;
…
 26        repeat (10) begin
 27           `uvm_do(ntr)
 28           ntr.print();
 29        end
…
 33     endtask
```

8.2 使用factory机制进行重载

*8.2.1 factory机制式的重载

factory机制最伟大的地方在于其具有重载功能。重载并不是factory机制的发明，前面已经介绍过的所有面向对象的语言都支持函数/任务重载，另外，SystemVerilog还额外支持对约束的重载。只是factory机制的重载与这些重载都不一样。

以8.1.1节的代码清单8-1和代码清单8-2为例，定义好bird与parrot，并在测试用例中调用print_hungry函数。只是与8.1.1节代码不同的地方在于，其将代码清单8-2的build_phase中改为如下语句：

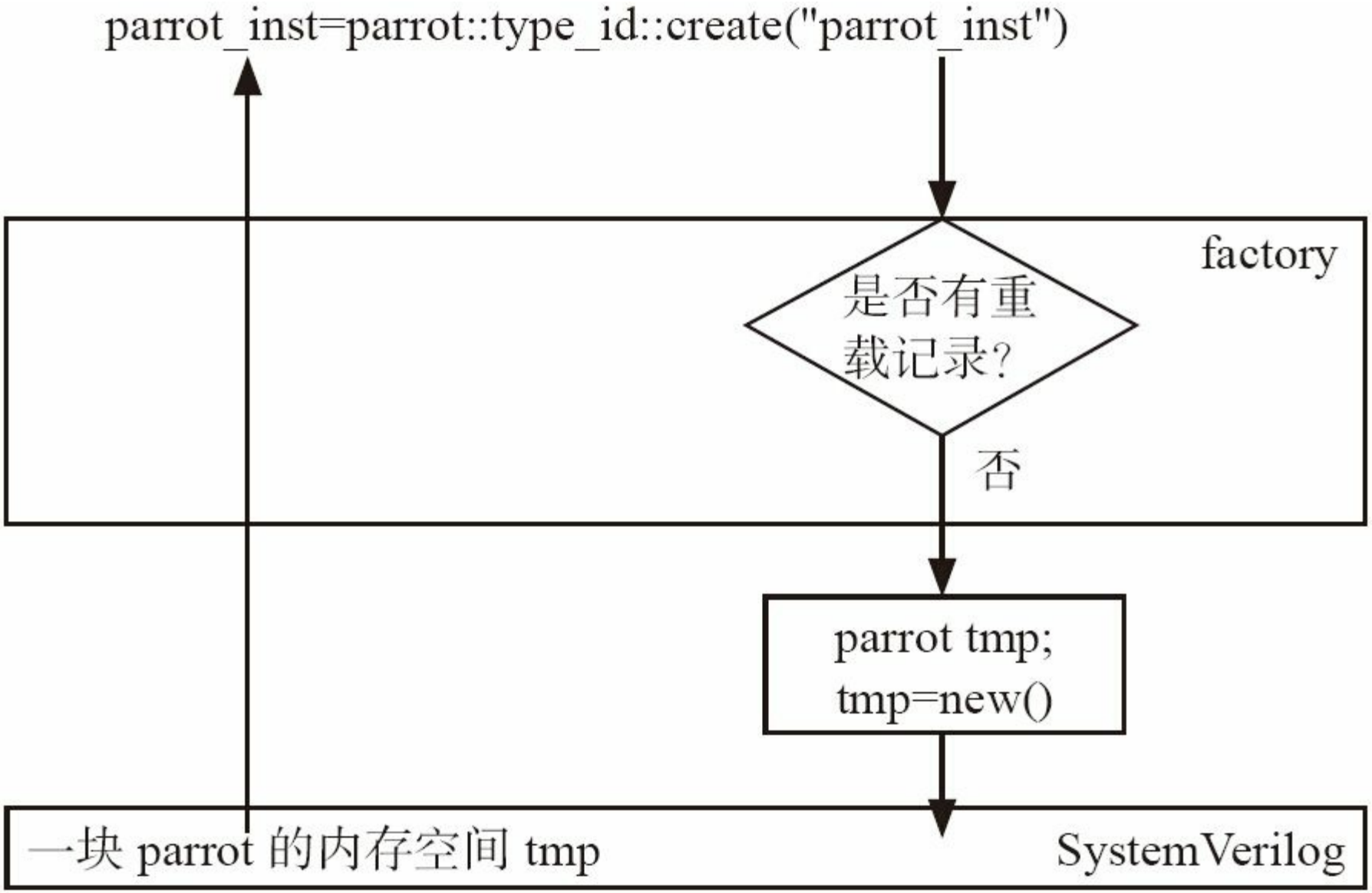
代码清单 8-14

```
文件：src/ch8/section8.2/8.2.1/correct/my_case0.sv
 67 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 72    set_type_override_by_type(bird::get_type(), parrot::get_type());
 73
 74    bird_inst = bird::type_id::create("bird_inst");
 75    parrot_inst = parrot::type_id::create("parrot_inst");
 76    print_hungry(bird_inst);
 77    print_hungry(parrot_inst);
 78 endfunction
```

那么运行的结果将会是：

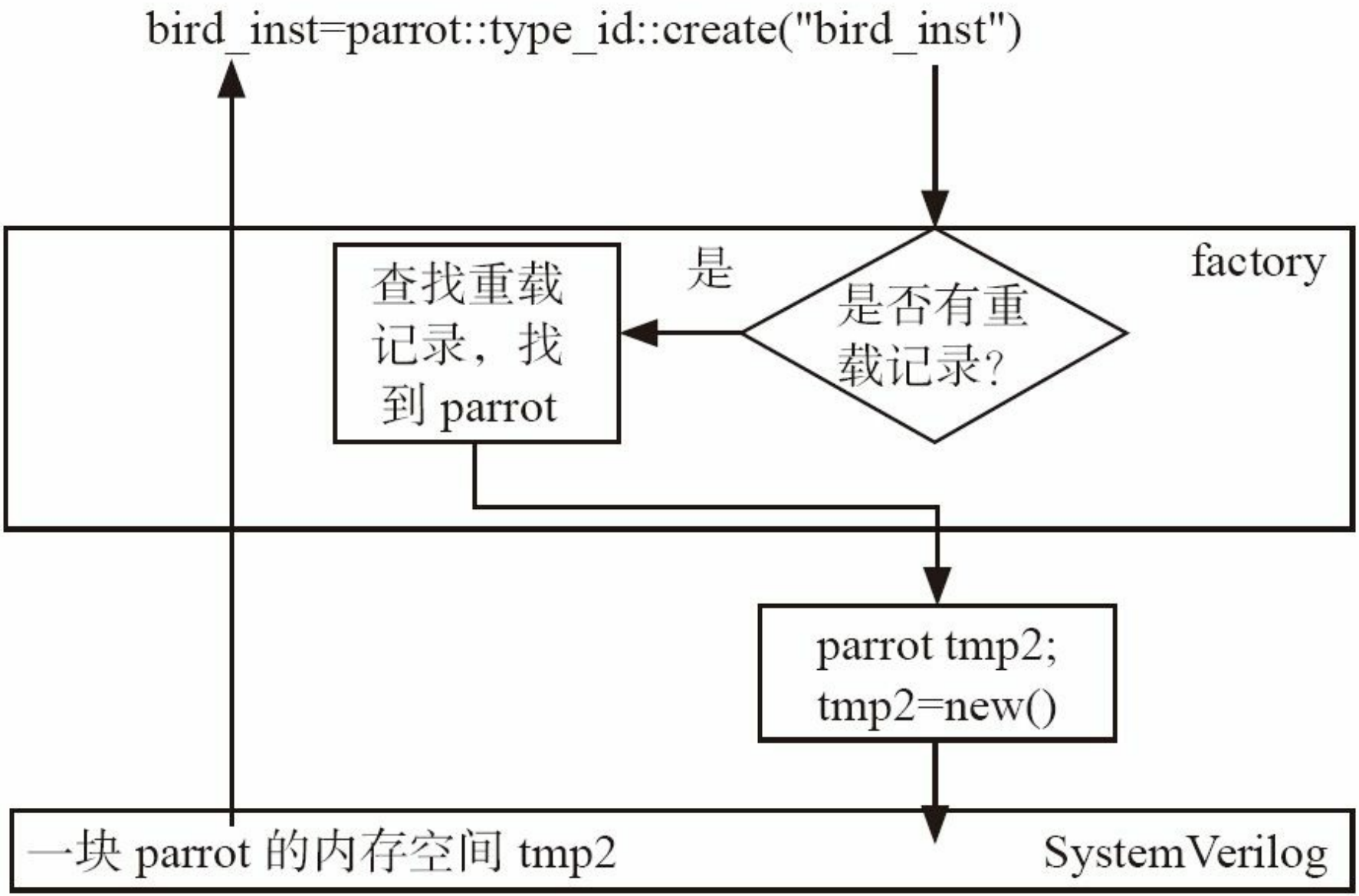
```
"I am a parrot, I am hungry"
"I am a bird, I am hungry2"
"I am a parrot, I am hungry"
"I am a bird, I am hungry2"
```

虽然print_hungry接收的是bird类型的参数，但是从运行结果可以推测出来，无论是第一次还是第二次调用print_hungry，传递的都是类型为bird但是指向parrot的指针。对于第二次调用，可以很好理解，但第一次却使人很难接受。这就是factory机制的重载功能，其原理如图8-1所示。



a）parrot_inst 的实例化

图8-1　factory机制的原理



b）bird inst 的实例化

图8-1 （续）

虽然bird_inst在实例化以及传递给hungry的过程中，没有过与parrot的任何接触，但是它最终指向了一个parrot的实例。这是因为bird_inst使用了UVM的factory机制式的实例化方式：

代码清单 8-15

```
bird_inst = bird::type_id::create("bird_inst");
```

在实例化时，UVM会通过factory机制在自己内部的一张表格中查看是否有相关的重载记录。set_type_override_by_type语句相当于在factory机制的表格中加入了一条记录。当查到有重载记录时，会使用新的类型来替代旧的类型。所以虽然在build_phase中写明创建bird的实例，但是最终却创建了parrot的实例。

使用factory机制的重载是有前提的，并不是任意的类都可以互相重载。要想使用重载的功能，必须满足以下要求：

· 第一，无论是重载的类（parrot）还是被重载的类（bird），都要在定义时注册到factory机制中。

· 第二，被重载的类（bird）在实例化时，要使用factory机制式的实例化方式，而不能使用传统的new方式。

如果在这个bird与parrot的例子中，bird在实例化时使用下述的方式：

代码清单　8-16

```
bird_inst = new("bird_inst");
```

那么上述的重载语句是不会生效的，最终得到的结果与8.1.1节完全一样。

· 第三，最重要的是，重载的类（parrot）要与被重载的类（bird）有派生关系。重载的类必须派生自被重载的类，被重载的类必须是重载类的父类。

如果没有派生关系，假如有bear定义如下：

代码清单　8-17

文件：src/ch8/section8.2/8.2.1/wrong/my_case0.sv

```
24 class bear extends uvm_object;
25    virtual function void hungry();
26       $display("I am a bear, I am hungry");
27    endfunction
28    function void hungry2();
29       $display("I am a bear, I am hungry2");
30    endfunction
31
32    `uvm_object_utils(bear)
33    function new(string name = "bear");
34       super.new(name);
35    endfunction
```

```
 36 endclass
```

在build_phase中使用bear重载bird：

代码清单　8-18

```
文件：src/ch8/section8.2/8.2.1/wrong/my_case0.sv
 81 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 86     set_type_override_by_type(bird::get_type(), bear::get_type());
…
 92 endfunction
```

则会给出如下错误提示：

```
UVM_FATAL @ 0: reporter [FCTTYP] Factory did not return an object of type 'bird'.A component of typ
```

如果重载的类与被重载的类之间有派生关系，但是顺序颠倒了，即重载的类是被重载类的父类，那么也会出错。尝试着以bird重载parrot：

代码清单　8-19

```
set_type_override_by_type(parrot::get_type(), bird::get_type());
```

那么也会给出错误提示：

```
UVM_FATAL @ 0: reporter [FCTTYP] Factory did not return an object of type 'parrot'. A component of
```

· 第四，component与object之间互相不能重载。虽然uvm_component是派生自uvm_object，但是这两者的血缘关系太远了，远到根本不能重载。从两者的new参数的函数就可以看出来，二者互相重载时，多出来的一个parent参数会使factory机制无所适从。

*8.2.2 重载的方式及种类

上节介绍了使用set_type_override_by_type函数可以实现两种不同类型之间的重载。这个函数位于uvm_component中，其原型是：

代码清单 8-20

来源：UVM
源代码

```
  extern static function void set_type_override_by_type
                                          (uvm_object_wrapper original_type,
                                          uvm_object_wrapper override_type,
                                          bit replace=1);
```

这个函数有三个参数，其中第三个参数是replace，将会在下节讲述这个参数。在实际应用中一般只用前两个参数，第一个参数是被重载的类型，第二个参数是重载的类型。

但是有时候可能并不是希望把验证平台中的A类型全部替换成B类型，而只是替换其中的某一部分，这种情况就要用到set_inst_override_by_type函数。这个函数的原型如下：

代码清单 8-21

来源：UVM

源代码

```
  extern function void set_inst_override_by_type(string relative_inst_path,
                                                 uvm_object_wrapper original_type,
                                                 uvm_object_wrapper override_type);
```

其中第一个参数是相对路径，第二个参数是被重载的类型，第三个参数是要重载的类型。

假设有如下的monitor定义：

代码清单　8-22

文件：src/ch8/section8.2/8.2.2/my_case0.sv

```
 24 class new_monitor extends my_monitor;
 25     `uvm_component_utils(new_monitor)
…
 30     virtual task main_phase(uvm_phase phase);
 31         fork
 32             super.main_phase(phase);
 33         join_none
 34         `uvm_info("new_monitor", "I am new monitor", UVM_MEDIUM)
 35     endtask
 36 endclass
```

以3.2.2节中的UVM树为例，要将env.o_agt.mon替换成new_monitor：

代码清单　8-23

```
set_inst_override_by_type("env.o_agt.mon", my_monitor::get_type(), new_monito
r::get_type());
```

经过上述替换后，当运行到main_phase时，会输出下列语句：

```
I am new_monitor
```

无论是set_type_override_by_type还是set_inst_override_by_type，它们的参数都是一个uvm_object_wrapper型的类型参数，这种参数通过xxx：：get_type（）的形式获得。UVM还提供了另外一种简单的方法来替换这种晦涩的写法：字符串。

与set_type_override_by_type相对的是set_type_override，它的原型是：

代码清单　8-24

来源：UVM
源代码

```
  extern static function void set_type_override(string original_type_name,
                                                string override_type_name,
                                                bit    replace=1);
```

要使用parrot替换bird，只需要添加如下语句：

代码清单　8-25

```
set_type_override("bird", "parrot")
```

与set_inst_override_by_type相对的是set_inst_override，它的原型是：

代码清单　8-26

```
来源：UVM
源代码
  extern function void set_inst_override(string relative_inst_path,
                                         string original_type_name,
                                         string override_type_name);
```

对于上面使用new_monitor重载my_monitor的例子，可以使用如下语句：

代码清单　8-27

```
set_inst_override("env.o_agt.mon", "my_driver", "new_monitor");
```

上述的所有函数都是uvm_component的函数，但是如果在一个无法使用component的地方，如在top_tb的initial语句里，就无法使用。UVM提供了另外四个函数来替换上述的四个函数，这四个函数的原型是：

代码清单　8-28

```
extern function
   void set_type_override_by_type (uvm_object_wrapper original_type,
                                   uvm_object_wrapper override_type,
                                   bit replace=1);
extern function
   void set_inst_override_by_type (uvm_object_wrapper original_type,
                                   uvm_object_wrapper override_type,
                                   string full_inst_path);
extern function
   void set_type_override_by_name (string original_type_name,
                                   string override_type_name,
                                   bit replace=1);
extern function
   void set_inst_override_by_name (string original_type_name,
                                   string override_type_name,
                                   string full_inst_path);
```

这四个函数都位于uvm_factory类中，其中第一个函数与uvm_component中的同名函数类似，传递的参数相同。第二个对应uvm_component中的同名函数，只是其输入参数变了，这里需要输入一个字符串类型的full_inst_path。这个full_inst_path就是要替换的实例中使用get_full_name（）得到的路径值。第三个与uvm_component中的set_type_override类似，传递的参数相同。第四个函数对应uvm_component中的set_inst_override，也需要一个full_inst_path。

如何使用这四个函数呢？系统中存在一个uvm_factory类型的全局变量factory。可以在initial语句里使用如下的方式调用这四个函数：

代码清单　8-29

```
initial begin
   factory.set_type_override_by_type(bird::get_type(), parrot::get_type());
end
```

在一个component内也完全可以直接调用factory机制的重载函数：

代码清单　8-30

```
factory.set_type_override_by_type(bird::get_type(), parrot::get_type());
```

事实上，uvm_component的四个重载函数直接调用了factory的相应函数。

除了可以在代码中进行重载外，还可以在命令行中进行重载。对于实例重载和类型重载，分别有各自的命令行参数：

代码清单　8-31

```
<sim command> +uvm_set_inst_override=<req_type>,<override_type>,<full_inst_path>
<sim command> +uvm_set_type_override=<req_type>,<override_type>[,<replace>]
```

这两个命令行参数分别对应于set_inst_override_by_name和set_type_override_by_name。对于实例重载：

代码清单　8-32

```
<sim command> +uvm_set_inst_override="my_monitor,new_monitor,uvm_test_top.en
v.o_agt.mon"
```

对于类型重载：

代码清单 8-33

```
<sim command> +uvm_set_type_override="my_monitor,new_monitor"
```

类型重载的命令行参数中有三个选项，其中最后一个replace表示是否可以被后面的重载覆盖。它的含义与代码清单8-20中的replace一样，将会在下节讲述。

*8.2.3 复杂的重载

8.2.1节与8.2.2节的例子中讲述了简单的重载功能，即只使用一种类型重载另外一种类型。事实上，UVM支持连续的重载。

依然以bird与parrot的例子讲述，现在从parrot又派生出了一个新的类big_parrot：

代码清单 8-34

文件：src/ch8/section8.2/8.2.3/consecutive/my_case0.sv

```
 52 class big_parrot extends parrot;
 53       virtual function void hungry();
 54       $display("I am a big_parrot, I am hungry");
 55       endfunction
 56       function void hungry2();
 57       $display("I am a big_parrot, I am hungry2");
 58       endfunction
 59
 60       `uvm_object_utils(big_parrot)
 61       function new(string name = "big_parrot");
 62       super.new(name);
 63       endfunction
 64 endclass
```

在build_phase中设置如下的连续重载，并调用print_hungry函数：

代码清单 8-35

文件：src/ch8/section8.2/8.2.3/consecutive/my_case0.sv

```
 81 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 82       bird bird_inst;
 83       parrot parrot_inst;
 84       super.build_phase(phase);
 85
 86       set_type_override_by_type(bird::get_type(), parrot::get_type());
 87       set_type_override_by_type(parrot::get_type(), big_parrot::get_type());
 88
 89       bird_inst = bird::type_id::create("bird_inst");
 90       parrot_inst = parrot::type_id::create("parrot_inst");
 91       print_hungry(bird_inst);
 92       print_hungry(parrot_inst);
 93 endfunction
```

最终输出的都是：

```
# I am a big_parrot, I am hungry
# I am a bird, I am hungry2
```

除了这种连续的重载外，还有一种是替换式的重载。假如从bird派生出了新的鸟sparrow：

代码清单　8-36

文件：src/ch8/section8.2/8.2.3/replace/my_case0.sv

```
 52 class sparrow extends bird;
 53       virtual function void hungry();
```

```
54          $display("I am a sparrow, I am hungry");
55       endfunction
56       function void hungry2();
57          $display("I am a sparrow, I am hungry2");
58       endfunction
59
60       `uvm_object_utils(sparrow)
61       function new(string name = "sparrow");
62          super.new(name);
63       endfunction
64 endclass
```

在build_phase中设置如下重载：

代码清单　8-37

文件：src/ch8/section8.2/8.2.3/replace/my_case0.sv

```
81 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
82       bird bird_inst;
83       parrot parrot_inst;
84       super.build_phase(phase);
85
86       set_type_override_by_type(bird::get_type(), parrot::get_type());
87       set_type_override_by_type(bird::get_type(), sparrow::get_type());
88
89       bird_inst = bird::type_id::create("bird_inst");
90       parrot_inst = parrot::type_id::create("parrot_inst");
91       print_hungry(bird_inst);
92       print_hungry(parrot_inst);
93 endfunction
```

那么最终的输出结果是：

```
# I am a sparrow, I am hungry
# I am a bird, I am hungry2
# I am a parrot, I am hungry
# I am a bird, I am hungry2
```

这种替换式重载的前提是调用set_type_override_by_type时，其第三个replace参数被设置为1（默认情况下即为1）。如果为0，那么最终得到的结果将会是：

```
# I am a parrot, I am hungry
# I am a bird, I am hungry2
# I am a parrot, I am hungry
# I am a bird, I am hungry2
```

在创建bird的实例时，factory机制查询到两条相关的记录，它并不会在看完第一条记录后即直接创建一个parrot的实例，而是最终看完第二条记录后才会创建sparrow的实例。由于是在读取完最后的语句后才可以创建实例，所以其实下列的重载方式也是允许的：

代码清单　8-38

文件：src/ch8/section8.2/8.2.3/strange/my_case0.sv

```
 81 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
```

```
82    bird bird_inst;
83    super.build_phase(phase);
84
85    set_type_override_by_type(bird::get_type(), parrot::get_type());
86    set_type_override_by_type(parrot::get_type(), sparrow::get_type(), 0);
87
88    bird_inst = bird::type_id::create("bird_inst");
89    print_hungry(bird_inst);
90 endfunction
```

最终输出的结果是：

```
# I am a sparrow, I am hungry
# I am a bird, I am hungry2
```

代码清单8-38中第86行的重载语句与在8.2.1节中总结的重载四前提中的第三条相违背，sparrow并没有派生自parrot，但是依然可以重载parrot。但是这样使用依然是有条件的，最终创建出的实例是sparrow类型的，而最初是bird类型的，这两者之间依然有派生关系。代码清单8-38与代码清单8-37相比，去掉了对parrot_inst的实例化。因为在代码清单8-38中第86行存在的情况下，再实例化一个parrot_inst会出错。所以，8.2.1节中的重载四前提的第三条应该改为：

在有多个重载时，最终重载的类要与最初被重载的类有派生关系。最终重载的类必须派生自最初被重载的类，最初被重载的类必须是最终重载类的父类。

*8.2.4 factory机制的调试

factory机制的重载功能很强大，UVM提供了print_override_info函数来输出所有的打印信息，以上节中的new_monitor重载my_monitor为例：

代码清单 8-39

```
set_inst_override_by_type("env.o_agt.mon", my_monitor::get_type(), new_monito r::get_type());
```

验证平台中仅仅有这一句重载语句，那么调用print_override_info函数打印的方式为：

代码清单 8-40

```
文件：src/ch8/section8.2/8.2.4/my_case0.sv
 60 function void my_case0::connect_phase(uvm_phase phase);
 61     super.connect_phase(phase);
 62     env.o_agt.mon.print_override_info("my_monitor");
 63 endfunction
```

最终输出的信息为：

```
# Given a request for an object of type 'my_monitor' with an instance
```

```
# path of 'uvm_test_top.env.o_agt.mon', the factory encountered
# the following relevant overrides. An 'x' next to a match indicates a
# match that was ignored.
#
#   Original Type  Instance Path                Override Type
#   -------------  --------------------------   -------------
#   my_monitor     uvm_test_top.env.o_agt.mon   new_monitor
#
# Result:
#
#   The factory will produce an object of type 'new_monitor'
```

这里会明确地列出原始类型和新类型。在调用print_override_info时，其输入的类型应该是原始的类型，而不是新的类型。

print_override_info是一个uvm_component的成员函数，它实质上是调用uvm_factory的debug_create_by_name。除了这个函数外，uvm_factory还有debug_create_by_type，其原型为：

代码清单　8-41

来源：UVM
源代码

```
  extern function
      void debug_create_by_type (uvm_object_wrapper requested_type,
                                 string parent_inst_path="",
                                 string name="");
```

使用它对new_monitor进行调试的代码为：

代码清单　8-42

```
factory.debug_create_by_type(my_monitor::get_type(), "uvm_test_top.env.o_agt.
mon");
```

其输出与使用print_override_info相同。

除了上述两个函数外，uvm_factory还提供print函数：

代码清单　8-43

```
来源：UVM
源代码
extern function void print (int all_types=1);
```

这个函数只有一个参数，其取值可能为0、1或2。当为0时，仅仅打印被重载的实例和类型，其打印出的信息大体如下：

```
#### Factory Configuration (*)
#
# Instance Overrides:
#
#   Requested Type  Override Path               Override Type
#   --------------  --------------------------  -------------
#   my_monitor      uvm_test_top.env.o_agt.mon  new_monitor
#
```

```
# No type overrides are registered with this factory
```

当为1时，打印参数为0时的信息，以及所有用户创建的、注册到factory的类的名称。当为2时，打印参数为1时的信息，以及系统创建的、所有注册到factory的类的名称（如uvm_reg_item）。

除了上述这些函数外，还有另外一个重要的工具可以显示出整棵UVM树的拓扑结构，这个工具就是uvm_root的print_topology函数。UVM树在build_phase执行完成后才完全建立完成，因此，这个函数应该在build_phase之后调用：

代码清单　8-44

```
uvm_top.print_topology();
```

最终显示的结果（部分）为：

```
----------------------------------------------------------------
Name                          Type                      Size  Value
----------------------------------------------------------------
<unnamed>                     uvm_root                  -     @158
  uvm_test_top                my_case0                  -     @455
    env                       my_env                    -     @469
…
    i_agt                     my_agent                  -     @481
…
    mon                       my_monitor                -     @822
…
```

```
    o_agt                       my_agent                    -       @489
    mon                         new_monitor                 -       @865
…
```

从这个拓扑结构中可以清晰地看出，env.o_agt.mon被重载成了new_monitor类型。print_topology这个函数非常有用，即使在不进行factory机制调试的情况下，也可以通过调用它来显示整个验证平台的拓扑结构是否与自己预期的一致。因此可以把其放在所有测试用例的基类base_test中。

8.3 常用的重载

*8.3.1 重载transaction

在有了factory机制的重载功能后，构建CRC错误的测试用例就多了一种选择。假设有如下的正常sequence，此sequence被作为某个测试用例的default_sequence：

代码清单 8-45

```
文件：src/ch8/section8.3/8.3.1/my_case0.sv
  4 class normal_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 20    virtual task body();
 21       repeat (10) begin
 22          `uvm_do(m_trans)
 23       end
 24       #100;
 25    endtask
 26
 27    `uvm_object_utils(normal_sequence)
 28 endclass
```

这里的my_transaction使用8.1.2节中代码清单8-7的定义。现在要构建一个新的测试用例，这是一个异常的测试用例，要测试CRC错误的情况。可以从这个transaction派生一个新的transaction：

代码清单　8-46

```
文件：src/ch8/section8.3/8.3.1/my_case0.sv
 31 class crc_err_tr extends my_transaction;
…
 37    constraint crc_err_cons{
 38       crc_err == 1;
 39    }
 40 endclass
```

如果使用8.1.2节代码清单8-13的方法，那么需要新建一个sequence，然后将这个sequence作为新的测试用例的default_sequence：

代码清单　8-47

```
class abnormal_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
   crc_err_tr tr;
   virtual task body();
      repeat(10) begin
        `uvm_do(tr)
      end
   endtask
endclass
function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
   uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
                                           "env.i_agt.sqr.main_phase",
                                           "default_sequence",
```

```
                                        abnormal_sequence::type_id::get());
endfunction
```

但是有了factory机制的重载功能后，可以不用重新写一个abnormal_sequence，而继续使用normal_sequence作为新的测试用例的default_sequence，只是需要将my_transaction使用crc_err_tr重载：

代码清单　8-48

```
文件：src/ch8/section8.3/8.3.1/my_case0.sv
 52 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 53    super.build_phase(phase);
 54
 55    factory.set_type_override_by_type(my_transaction::get_type(), crc_err_tr::get_type());
 56    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 57                                            "env.i_agt.sqr.main_phase",
 58                                            "default_sequence",
 59                                            normal_sequence::type_id::get());
 60 endfunction
```

经过这样的重载后，normal_sequence产生的transaction就是CRC错误的transaction。这比新建一个CRC错误的sequence的方式简练了很多。

*8.3.2 重载sequence

transaction可以重载，同样的，sequence也可以重载。上节使用的transaction重载能工作的前提是约束也可以重载。但是很多人可能并不习惯于这种用法，而习惯于最原始的如8.1.2节中代码清单8-9的方法。

在其他测试用例中已经定义了如下的两个sequence：

代码清单 8-49

文件：src/ch8/section8.3/8.3.2/my_case0.sv

```
  4 class normal_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 20    virtual task body();
 21       `uvm_do(m_trans)
 22       m_trans.print();
 23    endtask
 24
 25    `uvm_object_utils(normal_sequence)
 26 endclass
 27
 28 class case_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 43    virtual task body();
 44       normal_sequence nseq;
 45       repeat(10) begin
 46          `uvm_do(nseq)
 47       end
 48    endtask
```

```
 49 endclass
```

这里使用了嵌套的sequence。case_sequence被作为default_sequence。现在新建一个测试用例时，可以依然将case_sequence作为default_sequence，只需要从normal_sequence派生一个异常的sequence：

代码清单　8-50

```
文件：src/ch8/section8.3/8.3.2/my_case0.sv
 51 class abnormal_sequence extends normal_sequence;
…
 57    virtual task body();
 58       m_trans = new("m_trans");
 59       m_trans.crc_err_cons.constraint_mode(0);
 60       `uvm_rand_send_with(m_trans, {crc_err == 1;})
 61       m_trans.print();
 62    endtask
 63 endclass
```

并且在build_phase中将normal_sequence使用abnormal_sequence重载掉：

代码清单　8-51

```
文件：src/ch8/section8.3/8.3.2/my_case0.sv
 76 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 79    factory.set_type_override_by_type(normal_sequence::get_type(), abnorma l_sequence::get_type
```

```
80    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
81                                            "env.i_agt.sqr.main_phase",
82                                            "default_sequence",
83                                            case_sequence::type_id::get());
84 endfunction
```

本节讲述的内容其实与上节的类似，都能实现同样的目的。这就是UVM的强大之处，对于同样的事情，它提供多种方式完成，用户可以自由选择。

*8.3.3 重载component

8.3.1节和8.3.2节分别使用重载transaction和重载sequence的方式产生异常的测试用例。其实，还可以使用重载driver的方式产生。

假设某个测试用例使用8.3.1节代码清单8-45的normal_sequence作为其default_sequence。这是一个只产生正常transaction的sequence，使用它构造的测试用例是一个正常的用例。现在假如要产生一个CRC错误的测试用例，可以依然使用这个sequence作为default_sequence，只是需要定义如下的driver：

代码清单 8-52

```
文件：src/ch8/section8.3/8.3.3/my_case0.sv
 31 class crc_driver extends my_driver;
…
 37     virtual function void inject_crc_err(my_transaction tr);
 38       tr.crc = $urandom_range(10000000, 0);
 39     endfunction
 40
 41     virtual task main_phase(uvm_phase phase);
 42       vif.data <= 8'b0;
 43       vif.valid <= 1'b0;
 44       while(!vif.rst_n)
 45          @(posedge vif.clk);
 46       while(1) begin
 47          seq_item_port.get_next_item(req);
 48          inject_crc_err(req);
```

```
 49          drive_one_pkt(req);
 50          seq_item_port.item_done();
 51        end
 52      endtask
 53 endclass
```

然后在build phase中将my_driver使用crc_driver重载：

代码清单　8-53

```
文件：src/ch8/section8.3/8.3.3/my_case0.sv
 65 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 68    factory.set_type_override_by_type(my_driver::get_type(), crc_driver::g et_type());
 69    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 70                                            "env.i_agt.sqr.main_phase",
 71                                            "default_sequence",
 72                                            normal_sequence::type_id::get());
 73 endfunction
```

在本节所举的例子中看不出重载driver的优势，因为CRC错误是一个非常普通的异常测试用例。对于那些特别异常的测试用例，异常到使用sequence实现起来非常麻烦的情况，重载driver就会显示出其优势。

除了driver可以重载外，scoreboard与参考模型等都可以重载。尤其对于参考模型来说，处理异常的激励源是相当耗时的一件事情。可能对于一个DUT来说，其80%的代码都是用于处理异常情况，作为模拟DUT的参考模型来说，更是如此。如果将所有的

异常情况都用一个参考模型实现，那么这个参考模型代码量将会非常大。但是如果将其分散为数十个参考模型，每一个处理一种异常情况，当建立相应异常的测试用例时，将正常的参考模型由它替换掉。这样，可使代码清晰，并增加了可读性。

8.3.4 重载driver以实现所有的测试用例

重载driver使得一些在sequence中比较难实现的测试用例轻易地在driver中实现。那么如果放弃sequence，只使用factory机制实现测试用例可能吗？答案确实是可能的。当不用sequence时，那么要在driver中控制发送包的种类、数量，对于objection的控制又要从sequence中回到driver中，恰如2.2.3节那样，似乎一切都回到了起点。

但是不推荐这么做：

· 引入sequence的原因是将数据流产生的功能从driver中独立出来。取消sequence相当于一种倒退，会使得driver的职能不明确，与现代编程中模块化、功能化的趋势不合。

· 虽然用driver实现某些测试用例比sequence更加方便，但是对于另外一些测试用例，在sequence里做起来会比driver中更加方便。

· sequence的强大之处在于，它可以在一个sequence中启动另外的sequence，从而可以最大程度地实现不同测试用例之间sequence的重用。但是对于driver来说，要实现这样的功能，只能将一些基本的产生激励的函数写在基类driver中。用户会发现到最后这个driver的代码量非常恐怖。

· 使用virtual sequence可以协调、同步不同激励的产生。当放弃sequence时，在不同的driver之间完成这样的同步则比较难。

基于以上原因，请不要将所有的测试用例都使用driver重载实现。只有将driver的重载与sequence相结合，才与UVM的最初设

计初衷相符合，也才能构建起可重用性高的验证平台。完成同样的事情有很多种方式，应综合考虑选择最合理的方式。

8.4 factory机制的实现

8.4.1 创建一个类的实例的方法

在2.2.2节中，UVM根据run_test的参数my_driver创建了一个my_driver的实例，这是factory机制的一大功能。

在一般的面向对象的编程语言中，要创建一个类的实例有两种方法，一种是在类的可见的作用范围之内直接创建：

代码清单 8-54

```
class A
…
endclass
class B;
     A a;
     function new();
       a = new();
     endfunction
endclass
```

另外一种是使用参数化的类：

代码清单 8-55

```
class parameterized_class # (type T)
   T t;
   function new();
      t = new();
   endfunction
endclass
class A;
…
endclass
class B;
   parameterized_classs#(A) pa;
   function new();
      pa = new();
   endfunction
endclass
```

这样pa实例化的时候，其内部就创建了一个属于A类型的实例t。但是，如何通过一个字符串来创建一个类？当然了，这里的前提是这个字符串代表一个类的名字。

代码清单　8-56

```
class A;
…
endclass
class B;
   string type_string;
   function new();
      type_string = "A";
      //how to create an instance of A according to type_string
   endfunction
```

```
endclass
```

没有任何语言会内建一种如上的机制：即通过一个字符串来创建此字符串所代表的类的一个实例。如果要实现这种功能，需要自己做，factory机制正是用于实现上述功能。

*8.4.2 根据字符串来创建一个类

factory机制根据字符串创建类的实例是如此强大，那么它是如何实现的呢？要实现这个功能，需要用到参数化的类。假设有如下的类：

代码清单 8-57

```
class registry#(type T=uvm_object, string Tname="");
   T inst;
   string name = Tname;
endclass
```

在定义一个类（如my_driver）时，同时声明一个相应的registry类及其成员变量：

代码清单 8-58

```
class my_driver
   typedef registry#(my_driver, "my_driver") this_type;
   local static this_type me = get();
   static function this_type get();
       if(me != null) begin
       me = new();
       global_tab[me.name] = me;
       end
       return me;
```

```
    endfunction
```

向这个registry类传递了新定义类的类型及类的名称，并创建了这个registry类的一个实例。在创建实例时，把实例的指针和“my_driver”的名字放在一个联合数组global_tab中。上述的操作基本就是uvm_*_utils宏所实现的功能，只是uvm_*_utils宏做得更多、更好。

当要根据类名“my_driver”创建一个my_driver的实例时，先从global_tab中找到“my_driver”索引对应的registry#（my_driver，“my_driver”）实例的指针me_ptr，然后调用me_ptr.inst=new（）函数，最终返回me_ptr.inst。整个过程如下：

代码清单　8-59

```
function uvm_component create_component_by_name(string name)
     registry#(uvm_object, "") me_ptr;
     me_ptr = global_tab[name];
     me_ptr.inst = new("uvm_test_top", null);
     return me_ptr.inst;
endfunction
```

基本上使用factory机制根据类名创建一个类的实例的方式就是这样。真正的factory机制实现起来会复杂很多，这里只是为了说明而将它们简化到了极致。

8.4.3 用factory机制创建实例的接口

factory机制提供了一系列接口来创建实例。

create_object_by_name，用于根据类名字创建一个object，其原型为：

代码清单 8-60

```
来源：UVM
源代码
function uvm_object uvm_factory::create_object_by_name (string
                                                         requested_type_name,
                                                         string parent_inst_path="",
                                                         string name="");
```

一般只使用第一个参数：

代码清单 8-61

```
my_transaction tr;
void'($cast(tr, factory.create_object_by_name("my_transaction")));
```

create_object_by_type，根据类型创建一个object，其原型为：

代码清单　8-62

```
来源：UVM
源代码
function uvm_object uvm_factory::create_object_by_type (uvm_object_wrapper
                                                         requested_type,
                                                         string parent_inst_path="",
                                                         string name="");
```

一般也只使用第一个参数：

代码清单　8-63

```
my_transaction tr;
void'($cast(tr, factory.create_object_by_type(my_transaction::get_type())));
```

create_component_by_name，根据类名创建一个component，其原型为：

代码清单　8-64

```
来源：UVM
源代码
function uvm_component uvm_factory::create_component_by_name (string
                                                               requested_type_name,
                                                               string parent_inst_path="",
```

```
                                                    string name,
                                                    uvm_component parent);
```

有四个参数，第一个参数是字符串类型的类名，第二个参数是父结点的全名，第三个参数是为这个新的component起的名字，第四个参数是父结点的指针。在调用这个函数时，这四个参数都要使用：

代码清单　8-65

```
my_scoreboard scb;
void' ($cast(scb, factory.create_component_by_name("my_transaction", get_full
_name(), "scb", this)));
```

这个函数一般只在一个component的new或者build_phase中使用。如果是在一个object中被调用，则很难确认parent参数；如果是在connect_phase之后调用，由于UVM要求component在build_phase及之前实例化完毕，所以会调用失败。

uvm_component内部有一个函数是create_component，就是调用的这个函数：

代码清单　8-66

```
来源：UVM
源代码
function uvm_component uvm_component::create_component (
                                                    string requested_type_name,
                                                    string name);
```

只有两个参数，factory.create_component_by_name中剩余的两个参数分别就是this和this.get_full_name（）。

create_component_by_type，根据类型创建一个component，其原型为：

代码清单　8-67

来源：UVM
源代码

```
function uvm_component uvm_factory::create_component_by_type (uvm_object_wrap per
                                                               requested_type,
                                                               string parent_inst_path="",
                                                               string name,
                                                               uvm_component parent);
```

其参数与create_component_by_name类似，也需要四个参数齐全：

代码清单　8-68

```
my_scoreboard scb;
void' ($cast(scb, factory.create_component_by_type(my_transaction::get_type(),
get_full_name(), "scb", this)));
```

8.4.4 factory机制的本质

在没有factory机制之前，要创建一个类的实例，只能如8.4.1节所示使用new函数。

但是有了factory机制之后，除了使用new函数外，还可以根据类名创建这个类的一个实例；另外，还可以在创建类的实例时根据是否有重载记录来决定是创建原始的类，还是创建重载的类的实例。

所以，从本质上来看，factory机制其实是对SystemVerilog中new函数的重载。因为这个原始的new函数实在是太简单了，功能太少了。经过factory机制的改良之后，进行实例化的方法多了很多。这也体现了UVM编写的一个原则，一个好的库应该提供更多方便实用的接口，这种接口一方面是库自己写出来并开放给用户的，另外一方面就是改良语言原始的接口，使得更加方便用户的使用。

第9章　UVM中代码的可重用性

9.1　callback机制

在UVM验证平台中，callback机制的最大用处就是提高验证平台的可重用性。很多情况下，验证人员期望在一个项目中开发的验证平台能够用于另外一个项目。但是，通常来说，完全的重用是比较难实现的，两个不同的项目之间或多或少会有一些差异。如果把两个项目不同的地方使用callback函数来做，而把相同的地方写成一个完整的env，这样重用时，只要改变相关的callback函数env可完全的重用。

除了提高可重用性外，callback机制还用于构建异常的测试用例，VMM用户会非常熟悉这一点。只是在UVM中，构建异常的测试用例有很多种方式，如factory机制的重载，callback机制只是其中的一种。

9.1.1 广义的callback函数

在前文中介绍my_transaction时，曾经在其post_randomize中调用calc_crc函数：

代码清单 9-1

```
function void post_randomize();
   crc = calc_crc;
endfunction
```

my_transaction的最后一个字段是CRC校验信息。假如没有post_randomize（），那么CRC必须在整个transaction的数据都固定之后才能计算出来。

代码清单 9-2

```
my_transaction tr;
assert(tr.randomize());
tr.crc = tr.calc_crc();
```

执行前两句之后，tr中的crc字段的值是一个随机的值，要将其设置成真正反映这个transaction数据的CRC信息，需要在randoimize（）之后调用一个calc_crc，calc_crc是一个自定义的函数。

调用calc_crc的过程有点繁琐，因为每次执行randomize函数之后都要调用一次，如果忘记调用，将很可能成为验证平台的一个隐患，非常隐蔽且不容易发现。期望有一种方法能够在执行randomize函数之后自动调用calc_crc函数。randomize是SystemVerilog提供的一个函数，同时SystemVerilog还提供了一个post_randomize（）函数，当randomize（）之后，系统会自动调用post_randomize函数，像如上的三句话，执行时实际如下：

代码清单　9-3

```
my_transaction tr;
assert(tr.randomize());
tr.post_randomize();
tr.crc=tr.calc_crc();
```

其中tr.post_randomize是自动调用的，所以如果能够重载post_randomize函数，在其中执行calc_crc函数，那么就可以达到目的了：

代码清单　9-4

```
function void my_transaction::post_randomize();
   super.post_randomize();
   crc=this.calc_crc();
endfunction
```

post_randomize就是SystemVerilog提供的一个callback函数。这也是最简单的callback函数。

post_randomize的例子似乎与本节引语中提到的callback机制不同，引语中强调两个项目之间。不过如果将SystemVerilog语言的开发过程作为一个项目A，验证人员使用SystemVerilog开发的是项目B。A的开发者预料到B可能会在randomize函数完成后做一些事情，于是A给SystemVerilog添加了post_randomize函数。B如A所料，使用了这个callback函数。

post_randomize函数是SystemVerilog提供的广义的callback函数。UVM也为用户提供了广义的callback函数/任务：pre_body和post_body，除此之外还有pre_do、mid_do和post_do。相信很多用户已经从中受益了。

9.1.2 callback机制的必要性

世界是丰富多彩的，而程序又是固定的。程序的设计者有时不是程序的使用者，所以作为程序的使用者来说，总是希望程序的设计者能够提供一些接口来满足自己的应用需求。作为这两者之间的一个协调，callback机制出现了。如上面所示的例子，如果SystemVerilog的设计者一意孤行，他将会只提供randomize函数，此函数执行完成之后就完成任务了，不做任何事情。幸运的是，他听取了用户的意见，加入了一个post_randomize的callback函数，这样可以使用户实现各自的想法。

由上面的例子可以看出，第一，程序的开发者其实是不需要callback机制的，它完全是由程序的使用者要求的。第二，程序的开发者必须能够准确地获取使用者的需求，知道使用者希望在程序的什么地方提供callback函数接口，如果无法获取使用者的需求，那么程序的开发者只能尽可能地预测使用者的需求。

对于VIP（Verification Intellectual Property）来说，一个很容易预测到的需求是在driver中，在发送transaction之前，用户可能会针对transaction做某些动作，因此应该提供一个pre_tran的接口，如用户A可能在pre_tran中将要发送内容的最后4个字节设置为发送的包的序号，这样在包出现比对错误时，可以快速地定位，B用户可能在整个包发送之前先在线路上发送几个特殊的字节，C用户可能将整个包的长度截去一部分，D用户……总之不同的用户会有不同的需求。正是callback机制的存在，满足了这种需求，扩大了VIP的应用范围。

除了上述情形外，还存在构建异常测试用例的需求。在前面已经展示过多种构建异常测试用例的方式。如果在driver中实现测试用例，那么需要使用多个分支来处理这些异常情况。在有callback机制的情况下，把异常测试用例的代码使用callback函数实现，

而正常测试用例则正常处理。使用这种方式，可以让driver的代码看上去非常简洁。在没有factory机制的重载功能之前，使用callback函数构建异常测试用例是最好的实现方式。

9.1.3 UVM中callback机制的原理

9.1.1节讲述了广义上的callback函数。但是callback这个字眼对于UVM来说有其特定的含义。考虑如下的callback函数/任务：

代码清单 9-5

```
task my_driver::main_phase();
…
    while(1) begin
        seq_item_port.get_next_item(req);
        pre_tran(req);
…
    end
endtask
```

假设这是一个成熟的VIP中的driver，那么考虑如何实现pre_tran的callback函数/任务呢？它应该是my_driver的一个函数/任务。如果按照上面post_randomize的经验，那么应该从my_driver派生一个类new_driver，然后重写pre_tran这个函数/任务。但这种想法是行不通的，因为这是一个完整的VIP，虽然从my_driver派生了new_driver，但是这个VIP中正常运行时使用的依然是my_driver，而不是new_driver。new_driver这个派生类根本就没有实例化过，所以pre_tran从来不会运行。当然，这里可以使用factory机制的重载功能，但是那样是factory机制的功能，而不是callback机制的功能，所以暂不考虑factory机制的重载功能。

为了解决这个问题，尝试新引入一个类：

代码清单　9-6

```
task my_driver::main_phase();
…
    while(1) begin
       seq_item_port.get_next_item(req);
       A.pre_tran(req);
…
    end
endtask
```

这样可以避免重新定义一次my_driver，只需要重新定义A的pre_tran即可。重新派生A的代价是要远小于my_driver的。

在使用的时候，只要从A派生一个类并将其实例化，然后重新定义其pre_tran函数，此时callback机制的目的就达到了。虽然看起来似乎一切顺利，但实际却忽略了一点。因为从A派生了一个类，并实例化，但是作为my_driver来说，怎么知道A派生了一个类呢？又怎么知道A实例化了呢？为了应付这个问题，UVM中又引入了一个类，假设这个类称为A_pool，意思就是专门存放A或者A的派生类的一个池子。UVM约定会执行这个池子中所有实例的pre_tran函数/任务，即：

代码清单　9-7

```
task my_driver::main_phase();
…
    while(1) begin
       seq_item_port.get_next_item(req);
       foreach(A_pool[i]) begin
```

```
            A_pool[i].pre_tran(req);
        end
…
    end
endtask
```

这样，在使用的时候，只要从A派生一个类并将其实例化，然后加入到A_pool中，那么系统运行到上面的foreach（A_pool[i]）语句时，将会知道加入了一个实例，于是就会调用其pre_tran函数（任务）。

有了A和A_pool，真正的callback机制就可以实现了。UVM中的callback机制与此类似，不过其代码实现非常复杂。

*9.1.4 callback机制的使用

要实现真正的pre_tran，需要首先定义上节所说的类A：

代码清单 9-8

文件：src/ch9/section9.1/9.1.4/callbacks.sv

```
4 class A extends uvm_callback;
5     virtual task pre_tran(my_driver drv, ref my_transaction tr);
6     endtask
7 endclass
```

A类一定要从uvm_callback派生，另外还需要定义一个pre_tran的任务，此任务的类型一定要是virtual的，因为从A派生的类需要重载这个任务。

接下来声明一个A_pool类：

代码清单 9-9

文件：src/ch9/section9.1/9.1.4/callbacks.sv

```
9 typedef uvm_callbacks#(my_driver, A) A_pool;
```

A_pool的声明相当简单，只需要一个typedef语句即可。另外，在这个声明中除了要指明这是一个A类型的池子外，还要指明

这个池子将会被哪个类使用。在本例中，my_driver将会使用这个池子，所以要将此池子声明为my_driver专用的。之后，在my_driver中要做如下声明：

代码清单　9-10

```
文件：src/ch9/section9.1/9.1.4/my_driver.sv
  4 typedef class A;
  5
  6 class my_driver extends uvm_driver#(my_transaction);
…
 10     `uvm_component_utils(my_driver)
 11     `uvm_register_cb(my_driver, A)
…
 24 endclass
```

这个声明与A_pool的类似，要指明my_driver和A。在my_driver的main_phase中调用pre_tran时并不如上节所示的那么简单，而是调用了一个宏来实现：

代码清单　9-11

```
文件：src/ch9/section9.1/9.1.4/my_driver.sv
 26 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
…
 31     while(1) begin
 32        seq_item_port.get_next_item(req);
 33        `uvm_do_callbacks(my_driver, A, pre_tran(this, req))
```

```
34        drive_one_pkt(req);
35        seq_item_port.item_done();
36    end
37 endtask
```

uvm_do_callbacks宏的第一个参数是调用pre_tran的类的名字，这里自然是my_driver，第二个参数是哪个类具有pre_tran，这里是A，第三个参数是调用的是函数/任务，这里是pre_tran，在指明是pre_tran时，要顺便给出pre_tran的参数。

到目前为止是VIP的开发者应该做的事情，作为使用VIP的用户来说，需要做如下事情：

首先从A派生一个类：

代码清单　9-12

文件：src/ch9/section9.1/9.1.4/my_case0.sv

```
24 class my_callback extends A;
25
26    virtual task pre_tran(my_driver drv, ref my_transaction tr);
27       `uvm_info("my_callback", "this is pre_tran task", UVM_MEDIUM)
28    endtask
29
30    `uvm_object_utils(my_callback)
31 endclass
```

其次，在测试用例中将my_callback实例化，并将其加入A_pool中：

代码清单　9-13

```
文件：src/ch9/section9.1/9.1.4/my_case0.sv
 53 function void my_case0::connect_phase(uvm_phase phase);
 54     my_callback my_cb;
 55     super.connect_phase(phase);
 56
 57     my_cb = my_callback::type_id::create("my_cb");
 58     A_pool::add(env.i_agt.drv, my_cb);
 59 endfunction
```

my_callback的实例化是在connect_phase中完成的，实例化完成后需要将my_cb加入A_pool中。同时，在加入时需要指定是给哪个my_driver使用的。因为很可能整个base_test中实例化了多个my_env，从而有多个my_driver的实例，所以要将my_driver的路径作为add函数的第一个参数。

至此，一个简单的callback机制示例就完成了。这个示例几乎涵盖UVM中所有可能用到的callback机制的知识，大部分callback机制的使用都与这个例子相似。

总结一下，对于VIP的开发者来说，预留一个callback函数/任务接口时需要做以下几步：

· 定义一个A类，如代码清单9-8所示。

· 声明一个A_pool类，如代码清单9-9所示。

· 在要预留callback函数/任务接口的类中调用uvm_register_cb宏，如代码清单9-10所示。

· 在要调用callback函数/任务接口的函数/任务中，使用uvm_do_callbacks宏，如代码清单9-11所示。

对于VIP的使用者来说，需要做如下几步：

· 从A派生一个类，在这个类中定义好pre_tran，如代码清单9-12所示。

· 在测试用例的connect_phase（或者其他phase，但是一定要在代码清单9-11使用此callback函数/任务的phase之前）中将从A派生的类实例化，并将其加入A_pool中，如代码清单9-13所示。

本节的my_driver是自己写的，my_case0也是自己写的。完全不存在VIP与VIP使用者的情况。不过换个角度来说，可能有两个验证人员共同开发一个项目，一个负责搭建测试平台（testbench）及my_driver等的代码，另外一位负责创建测试用例。负责搭建测试平台的验证人员为搭建测试用例的人员留下了callback函数/任务接口。即使my_driver与测试用例都由同一个人来写，也是完全可以接受的。因为不同的测试用例肯定会引起不同的driver的行为。这些不同的行为差异可以在sequence中实现，也可以在driver中实现。在driver中实现时既可以用driver的factory机制重载，也可以使用本节所讲的callback机制。9.1.6节将探讨只使用callback机制来搭建所有测试用例的可能。

*9.1.5 子类继承父类的callback机制

考虑如下一种情况，某公司有前后两代产品。其中第一代产品已经成熟，有一个已经搭建好的验证平台，现在要在此基础上开发第二代产品，需要搭建一个新的验证平台。这个新的验证平台大部分与旧的验证平台一致，只是需要扩展my_driver的功能，即需要从原来的driver中派生一个新的类new_driver。另外，需要保证第一代产品的所有测试用例在尽量不改动的前提下能在新的验证平台上通过。在第一代产品的测试用例中，大量使用了callback机制，类似代码清单9-12和代码清单9-13所示。由于一个callback池（即A_pool）在声明的时候指明了这个池子只能装载用于my_driver的callback，如代码清单9-9所示。那么怎样才能使原来的callback函数/任务能够用于new_driver中呢？

这就牵扯到了子类继承父类的callback函数/任务问题。my_driver使用上节中的定义，在此基础上派生新的类new_driver：

代码清单 9-14

```
文件：src/ch9/section9.1/9.1.5/my_driver.sv
 57 class new_driver extends my_driver;
 58     `uvm_component_utils(new_driver)
 59     `uvm_set_super_type(new_driver, my_driver)
…
 65 endclass
 66
 67 task new_driver::main_phase(uvm_phase phase);
…
 72     while(1) begin
 73         seq_item_port.get_next_item(req);
 74         `uvm_info("new_driver", "this is new driver", UVM_MEDIUM)
```

```
75        `uvm_do_callbacks(my_driver, A, pre_tran(this, req))
76        drive_one_pkt(req);
77        seq_item_port.item_done();
78     end
79  endtask
```

这里使用了uvm_set_super_type宏，它把子类和父类关联在一起。其第一个参数是子类，第二个参数是父类。在main_phase中调用uvm_do_callbacks宏时，其第一个参数是my_driver，而不是new_driver，即调用方式与在my_driver中一样。

在my_agent中实例化此new_driver：

代码清单　9-15

文件：src/ch9/section9.1/9.1.5/my_agent.sv

```
22  function void my_agent::build_phase(uvm_phase phase);
23     super.build_phase(phase);
24     if (is_active == UVM_ACTIVE) begin
25        sqr = my_sequencer::type_id::create("sqr", this);
26        drv = new_driver::type_id::create("drv", this);
27     end
28     mon = my_monitor::type_id::create("mon", this);
29  endfunction
```

这样，上节中的my_case0不用经过任何修改就可以在新的验证平台上通过。

9.1.6 使用callback函数/任务来实现所有的测试用例

从9.1.4节中得知，可以在pre_tran中做很多事情，那么是否可以将driver中的drive_one_pkt也移到pre_tran中呢？答案是可以的。更进一步，将seq_item_port.get_nex_item移到pre_tran中也是可以的。

其实完全可以不用sequence，只用callback函数/任务就可以实现所有的测试用例。假设A类定义如下：

代码清单 9-16

文件：src/ch9/section9.1/9.1.6/callbacks.sv

```
 4 class A extends uvm_callback;
 5    my_transaction tr;
 6
 7    virtual function bit gen_tran();
 8    endfunction
 9
10    virtual task run(my_driver drv, uvm_phase phase);
11       phase.raise_objection(drv);
12
13       drv.vif.data <= 8'b0;
14       drv.vif.valid <= 1'b0;
15       while(!drv.vif.rst_n)
16          @(posedge drv.vif.clk);
17
18       while(gen_tran()) begin
19          drv.drive_one_pkt(tr);
20       end
21       phase.drop_objection(drv);
```

```
22     endtask
23 endclass
```

在my_driver的main_phase中，去掉所有其他代码，只调用A的run：

代码清单　9-17

文件：src/ch9/section9.1/9.1.6/my_driver.sv

```
26 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
27     `uvm_do_callbacks(my_driver, A, run(this, phase))
28 endtask
```

在建立新的测试用例时，只需要从A派生一个类，并重载其gen_tran函数：

代码清单　9-18

文件：src/ch9/section9.1/9.1.6/my_case0.sv

```
 4 class my_callback extends A;
 5    int pkt_num = 0;
 6
 7    virtual function bit gen_tran();
 8       `uvm_info("my_callback", "gen_tran", UVM_MEDIUM)
 9       if(pkt_num < 10) begin
10          tr = new("tr");
11          assert(tr.randomize());
12          pkt_num++;
13          return 1;
```

```
14        end
15        else
16           return 0;
17     endfunction
18
19     `uvm_object_utils(my_callback)
20  endclass
```

在这种情况下，新建测试用例相当于重载gen_tran。如果不满足要求，还可以将A类的run任务重载。

在这个示例中完全丢弃了sequence机制，在A类的run任务中进行控制objection，激励产生在gen_tran中。

9.1.7 callback机制、sequence机制和factory机制

上一节使用callback函数/任务实现所有的测试用例，几乎完全颠覆了这本书从头到尾一直在强调的sequence机制。在8.3.4节也见识到了使用factory机制重载driver来实现所有测试用例的情况。

callback机制、sequence机制和factory机制在某种程度上来说很像：它们都能实现搭建测试用例的目的。只是sequence机制是UVM一直提倡的生成激励的方式，UVM为此做了大量的工作，如构建了许多宏、嵌套的sequence、virtual sequence、可重用性等。

8.3.4节中列出的那四条理由，依然适用于callback机制。虽然callback机制能够实现所有的测试用例，但是某些测试用例用sequence来实现则更加方便。virtual sequence的协调功能在callback机制中就很难实现。

callback机制、sequence机制和factory机制并不是互斥的，三者都能分别实现同一目的。当这三者互相结合时，又会产生许多新的解决问题的方式。如果在建立验证平台和测试用例时，能够择优选择其中最简单的一种实现方式，那么搭建出来的验证平台一定是足够强大、足够简练的。实现同一事情有多种方式，为用户提供了多种选择，高扩展性是UVM取得成功的一个重要原因。

9.2 功能的模块化：小而美

9.2.1 Linux的设计哲学：小而美

在广大IC开发者中，使用Linux的用户占据了绝大部分，尤其对于验证人员来说更是如此。Linux如此受欢迎的部分原因之一是它提供了众多的小工具，如ls命令、grep命令、wc命令、echo命令等，使用这些命令的组合可以达到多种多样的目的。这些小工具的共同点是每个都非常小，但是功能清晰。它们是Linux设计哲学中小而美的典型代表。

与小而美相对的就是大而全。比如下述命令就完全可以使用一个命令实现：

代码清单 9-19

```
ls | grep "aaa" | wc
```

这个命令组合起来相当于集合了ls、grep、wc三个命令的参数，将这个命令命名为lsgrepwc。当查看这个命令的用法时，很多用户会被冗长的参数列表吓坏。当看到一个参数时，用户要自己判断这个参数属于三个功能中的哪一个。这多出来的判断时间就是用户为大而全付出的时间。

小而美的本质是功能模块化、标准化，但是小不一定意味着美。以前面的ls与grep命令为例，如果当初命令设计者取了ls一半的功能和grep一半的功能组成命令lgr，剩下的功能再拼凑成sep，这两个是什么命令？恐怕没有几个人会知道，这样的设计不知道

会令多少用户崩溃。所以小而美的前提是功能模块划分要合理，一个不合理的划分是谈不上美的。

同时，小而美也不能无限制地追求小。以ls为例，如果将ls、ls-a、ls-l分别当成三个不同的命令，那么也是一种不合理的划分。这三个新的命令有太多共同的参数，比如--color参数等。拆分的同时，参数却是原样拷贝到三个新的命令中，造成了参数的冗余。

在验证平台的设计中，要尽量做到小而美，避免大而全。

9.2.2 小而美与factory机制的重载

factory机制重要的一点是提供重载功能。一般来说，如果要用B类重载A类，那么B类是要派生自A类的。在派生时，要保留A类的大部分代码，只改变其中一小部分。

假设原始A_driver的drive_one_pkt任务如下：

代码清单 9-20

```
task A_driver::drive_one_pkt;
     drive_preamble();
     drive_sfd();
     drive_data();
endtask
```

上述代码将一个drive_one_pkt任务又分成了三个子任务。现在如果要构造一个sfd错误的例子，那么只需要从A_driver派生一个B_driver，并且重载其drive_sfd任务即可。

如果上述代码不是分成三个子任务，而是一个完整的任务：

代码清单 9-21

```
task A_driver::drive_one_pkt;
```

```
      //drive preamble
…
      //drive sfd
…
      //drive data
…
endtask
```

那么在B_driver中需要重载的是drive_one_pkt这个任务：

代码清单　9-22

```
task B_driver::drive_one_pkt;
      //drive preamble
…
      //drive new sfd
…
      //drive data
…
endtask
```

此时，drive preamble和drive data部分代码需要复制到新的drive_one_pkt中。对于程序员来说，要尽量避免复制的使用：

· 在复制中由于不小心，很容易出现各种各样的错误。虽然这些错误只是短期的，马上就能修订，但是毕竟要为此花费额外的时间。

· 从长远来看，如果drive data相关的代码稍微有一点变动，此时A_driver和B_driver的drive_one_pkt都需要修改，这又需要额外花费时间。同样的代码只在验证平台上出现一处，如果要重用，将它们封装成可重载的函数/任务或者类。

9.2.3 放弃建造强大sequence的想法

UVM的sequence功能非常强大，很多用户喜欢将他们的sequence写得非常完美，他们的目的是建造通用的sequence，有些用户甚至执着于一个sequence解决验证平台中所有的问题，在使用时，只需要配置参数即可。

以一个my_sequence为例，有些用户可能希望这个sequence具有下列功能：

- 能够产生正常的以太网包
- 通过配置参数产生CRC错误的包
- 通过配置参数产生sfd错误的包
- 通过配置参数产生preamble错误的包
- 通过配置参数产生CRC与sfd同时错误的包
- 通过配置参数产生CRC与preamble同时错误的包
- 通过配置参数产生sfd与preamble同时错误的包
- 通过配置参数产生CRC、sfd与preamble同时错误的包

· 通过配置参数控制错误的概率

· 通过配置参数选择要发送的数据是随机化的还是从文件读取

· 通过配置参数选择如果从文件读取，那么是多文件还是单文件

· 通过配置参数选择如果从文件读取，那么使用哪一种文件格式

· 通过配置参数选择是否将发送出去的包写入文件中

· 通过配置参数选择长包、中包、短包各自的阈值长度

· 通过配置参数选择长包、中包、短包的发送比例

· 通过配置参数选择是否在包的负载中加入当前要发送的包的序号，以便于调试

……

上述sequence确实是一个非常通用、强悍的sequence。但是这个sequence存在两个问题：

第一，这个sequence的代码量非常大，分支众多，后期维护相当麻烦。如果代码编写者与维护者不是同一个人，那么对于维护者来说，简直就是灾难。即使代码编写者与维护者是同一个人，那么在一段时间之后，自己也可能被自己以前写的东西感到迷惑不已。

第二，使用这个sequence的人面对如此多的参数，他要如何选择呢？他有时只想使用其中最基本的一个功能，但是却不知道怎么配置，只能所有的参数都看一遍。如果看一遍能看懂还好，但是有时候即使看两三遍也看不懂。

如果用户非常坚持上述超级强大的sequence，那么请一定要做到以下两点之一：

· 有一份完整的文档介绍它

· 有较多的代码注释

文档的重视程度因各个公司而异，目前国内外的IC公司对于验证文档重视的普遍不够，很少有公司会为一个sequence建立专门的文档。当代码完成后，很少会有代码编写者愿意再写文档。即使公司制度规定必须写，文档的质量也有高低之分，且存在文档的后期维护问题。当sequence建立后，为其建了一个文档，但是后来sequence升级，文档却没有升级。文档与代码不一致，这也是目前IC公司中经常存在的问题。

代码的注释则与代码编写者的编码习惯有关。就目前来说，仅有少数编码习惯好的人能够做到质量较好的注释。验证人员编写的代码通常比较灵活，并且更新频率较快。当设计变更时，相关的验证代码就要变更。很多验证人员并没有写注释的习惯，即使有写注释，但是当后来代码变更时，注释可能已经落伍了。

因此，还是强烈建议不要使用强大的sequence。可以将一个强大的sequence拆分成小的sequence，如：

· normal_sequence

· crc_err_sequence

· rd_from_txt_sequence

……

尽量做到一看名字就知道这个sequence的用处，这样可以最大程度上方便自己，方便大家。

9.3 参数化的类

9.3.1 参数化类的必要性

代码的重用分为很多层次。凡是在某个项目中开发的代码用于其他项目，都可以称为重用，如：

A用户在项目P中的代码被A用户自己用于项目P

A用户在项目P中的代码被A用户自己用于项目Q

A用户在项目P中的代码被B用户用于项目Q

A用户在项目P中开发的代码被B用户或者更多的用户用于项目P或项目Q

以上四种应用场景对代码可重用性的要求逐渐提高。在第一种中，可能只是几个sequence被几个不同的测试用例使用；在最后一种中，可能A用户开发的是一个总线功能模型，大家都会重用这些代码。

为了增加代码的可重用性，参数化的类是一个很好的选择。UVM中广泛使用了参数化的类。对用户来说，使用最多的参数化的类莫过于uvm_sequence了，其原型为：

代码清单　9-23

来源：UVM
源代码
```
virtual class uvm_sequence #(type REQ = uvm_sequence_item,
                              type RSP = REQ) extends uvm_sequence_base;
```

在派生uvm_sequence时指定参数的类型，即transaction的类型，可以方便地产生transaction并建立测试用例。除了uvm_sequence外，还有uvm_analysis_port等，不再一一列举。

相比普通的类，参数化的类在定义时会有些复杂，其古怪的语法可能会使人望而却步。并不是说所有的类一定要定义成参数化的类。对于很多类来说，根本没有参数可言，如果定义成参数化的类，根本没有任何优势可言。所以，定义成参数化的类的前提是，这个参数是有意义的、可行的。2.3.1节的my_transaction是没有任何必要定义成一个参数化的类的。相反，一个总线transaction（如7.1.1节的bus_transaction）可能需要定义成参数化的类，因为总线位宽可能是16位的、32位的或64位的。

*9.3.2 UVM对参数化类的支持

UVM对参数化类的支持首先体现在factory机制注册上。在3.1.4节和3.1.5节已经提到了uvm_object_param_utils和uvm_component_param_utils这两个用于参数化的object和参数化的component注册的宏。

UVM的config_db机制可以用于传递virtual interface。SystemVerilog支持参数化的interface：

代码清单 9-24

文件：src/ch9/section9.3/9.3.2/bus_if.sv

```
 4 interface bus_if#(int ADDR_WIDTH=16, int DATA_WIDTH=16)(input clk, input rst_n);
 5
 6     logic         bus_cmd_valid;
 7     logic         bus_op;
 8     logic [ADDR_WIDTH-1:0]  bus_addr;
 9     logic [DATA_WIDTH-1:0]  bus_wr_data;
10     logic [DATA_WIDTH-1:0]  bus_rd_data;
11
12 endinterface
```

config_db机制同样支持传递参数化的interface：

代码清单 9-25

```
uvm_config_db#(virtual bus_if#(16, 16))::set(null, "uvm_test_top.env.bus_agt.mon", "vif" bif);
```

```
uvm_config_db#(virtual bus_if#(ADDR_WIDTH, DATA_WIDTH))::get(this, "", "vif", vif)
```

sequence机制同样支持参数化的transaction：

代码清单　9-26

```
class bus_sequencer#(int ADDR_WIDTH=16, int DATA_WIDTH=16) extends uvm_sequen cer #(bus_transactior
```

很多参数化的类都有默认的参数，用户在使用时经常会使用默认的参数。但是UVM的factory机制不支持参数化类中的默认参数。换言之，假如有如下的agent定义：

代码清单　9-27

```
class bus_agent#(int ADDR_WIDTH=16, int DATA_WIDTH=16) extends uvm_agent ;
```

在声明agent时可以按照如下写法来省略参数：

代码清单　9-28

```
bus_agent  bus_agt;
```

但是在实例化时，必须将省略的参数加上：

代码清单　9-29

```
bus_agt = bus_agent#(16, 16)::type_id::create("bus_agt", this);
```

9.4 模块级到芯片级的代码重用

*9.4.1 基于env的重用

现代芯片的验证通常分为两个层次，一是模块级别（block level，也称为IP级别、unit级别）验证，二是芯片级别（也称为SOC级别）验证。一个大的芯片在开发时，是分成多个小的模块来开发的。每个模块开发一套独立的验证环境，通常每个模块有一个专门的验证人员负责。当在模块级别验证完成后，需要做整个系统的验证。

为了简单起见，假设某芯片分成了三个模块，如图9-1所示。

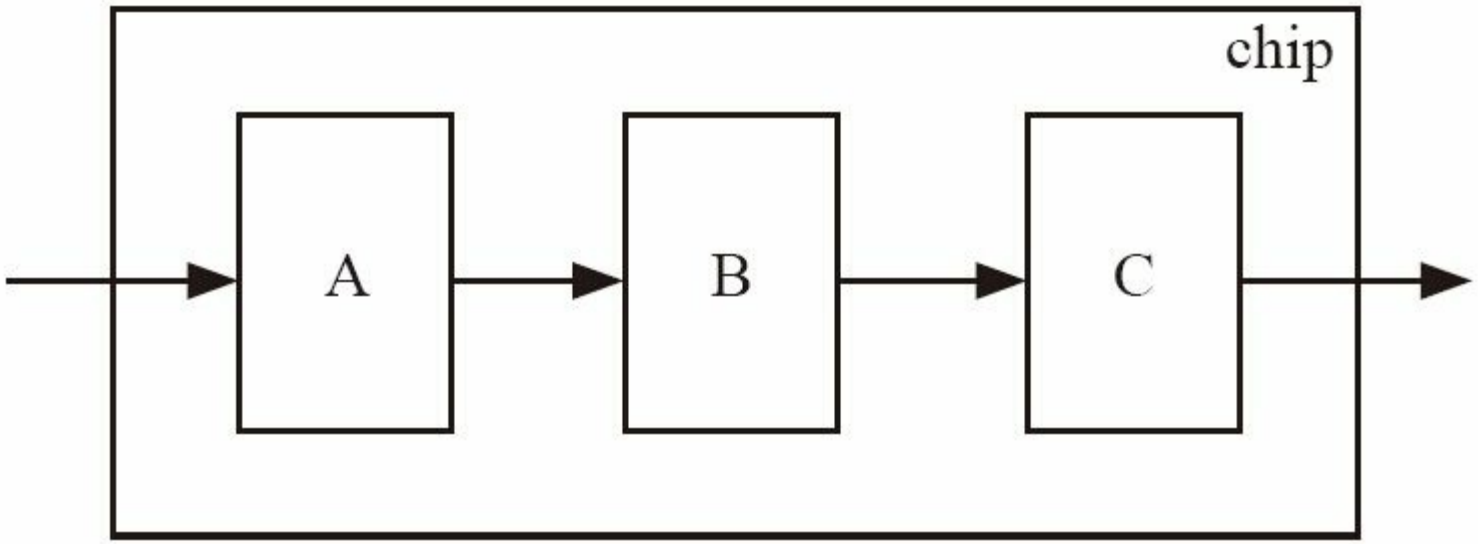


图9-1　具有三个模块的简单芯片

这三个模块在模块级别验证时，分别有自己的driver和sequencer，如图9-2所示。

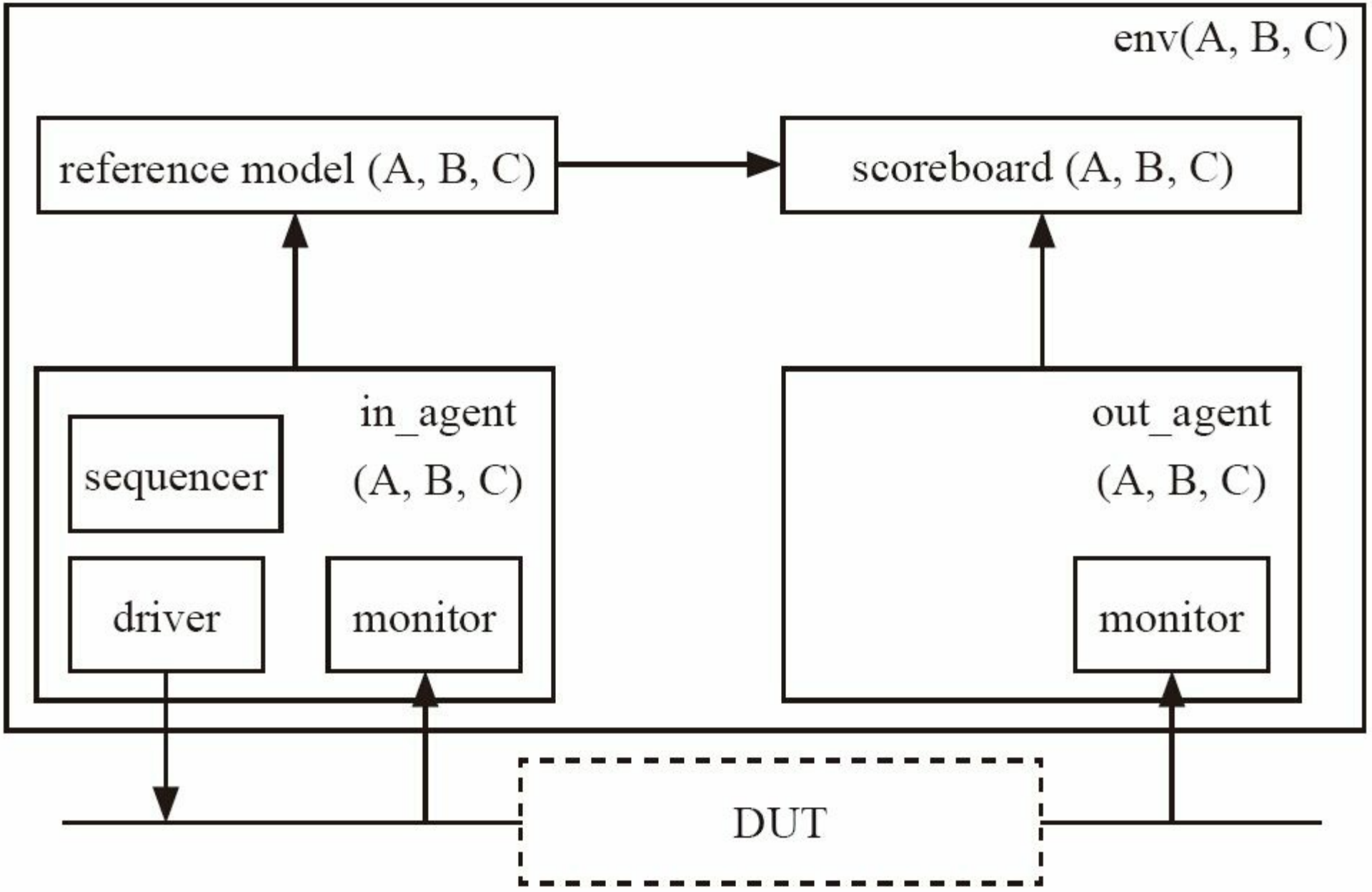

env(A, B, C)
reference model (A, B, C)
scoreboard (A, B, C)
in_agent
(A, B, C)
sequencer
driver
monitor
out_agent
(A, B, C)
monitor
DUT

图9-2　模块级别验证平台

当在芯片级别验证时，如果采用env级别的重用，那么B和C中的driver分别取消，这可以通过设置各自i_agt的is_active来控制，如图9-3所示。

仔细观察图9-3，发现o_agt（A）和i_agt（B）两者监测的是同一接口，换言之，二者应该是同一个agent。在模块级别验证时，i_agt（B）被配置为active模式，在图9-3中被配置为passive模式。被配置为passive模式的i_agt（B）其实和o_agt（A）完全一样，二者监测同一接口，对外发出同样的transaction。或者说，其实可以将i_agt（B）取消，model（B）的数据来自o_agt（A）。o_agt（B）和i_agt（C）也是同样的情况。取消了i_agt（B）和i_agt（C）的芯片级别验证平台如图9-4所示。

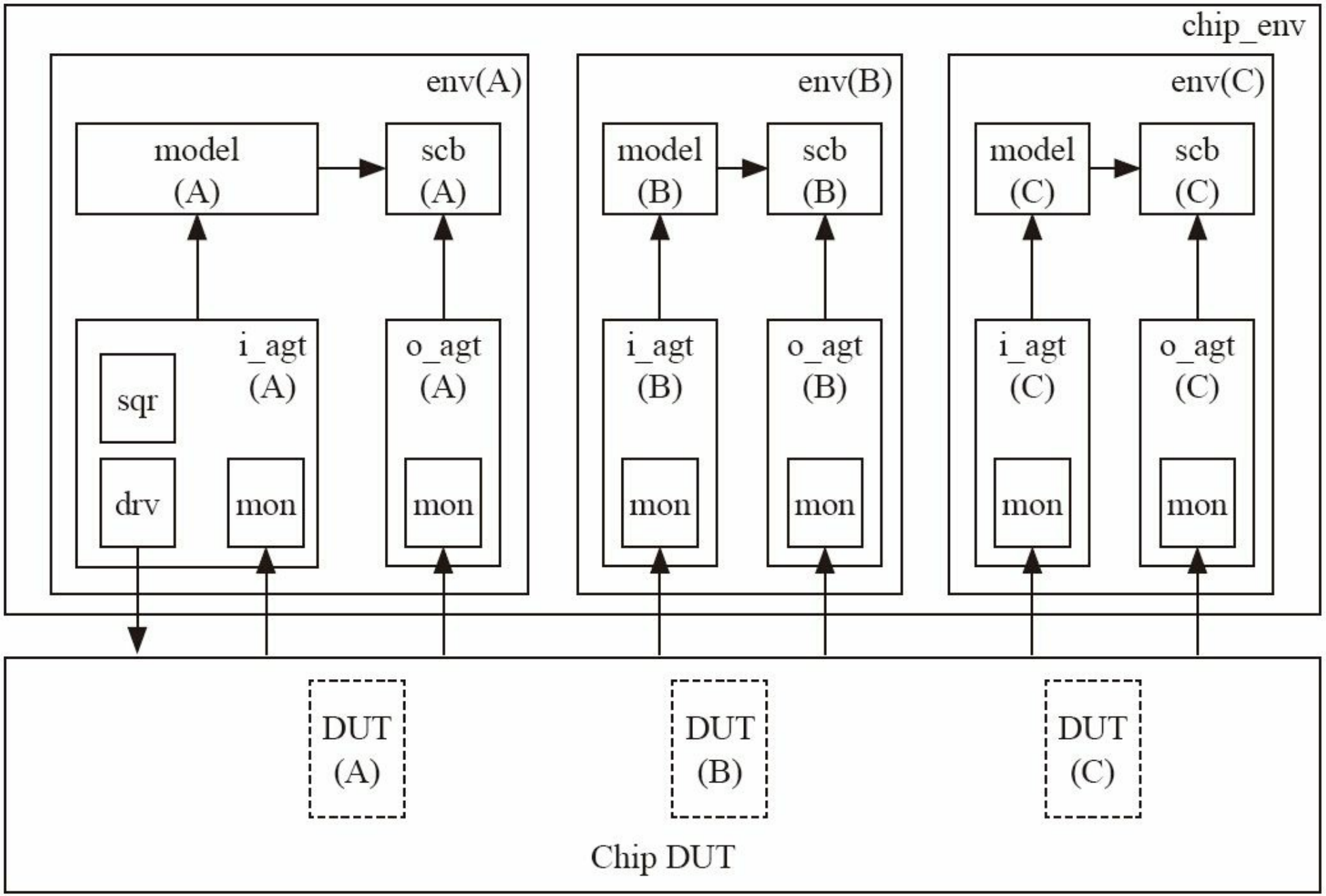

chip_env
env(A)
model
(A)
scb
(A)
i_agt
(A)
sqr
drv
mon
o_agt
(A)
mon
env(B)
model
(B)
scb
(B)
i_agt
(B)
mon
o_agt
(B)
mon
env(C)
model
(C)
scb
(C)
i_agt
(C)
mon
o_agt
(C)
mon
DUT
(A)
DUT
(B)
DUT
(C)
Chip DUT

图9-3　芯片级别验证平台一

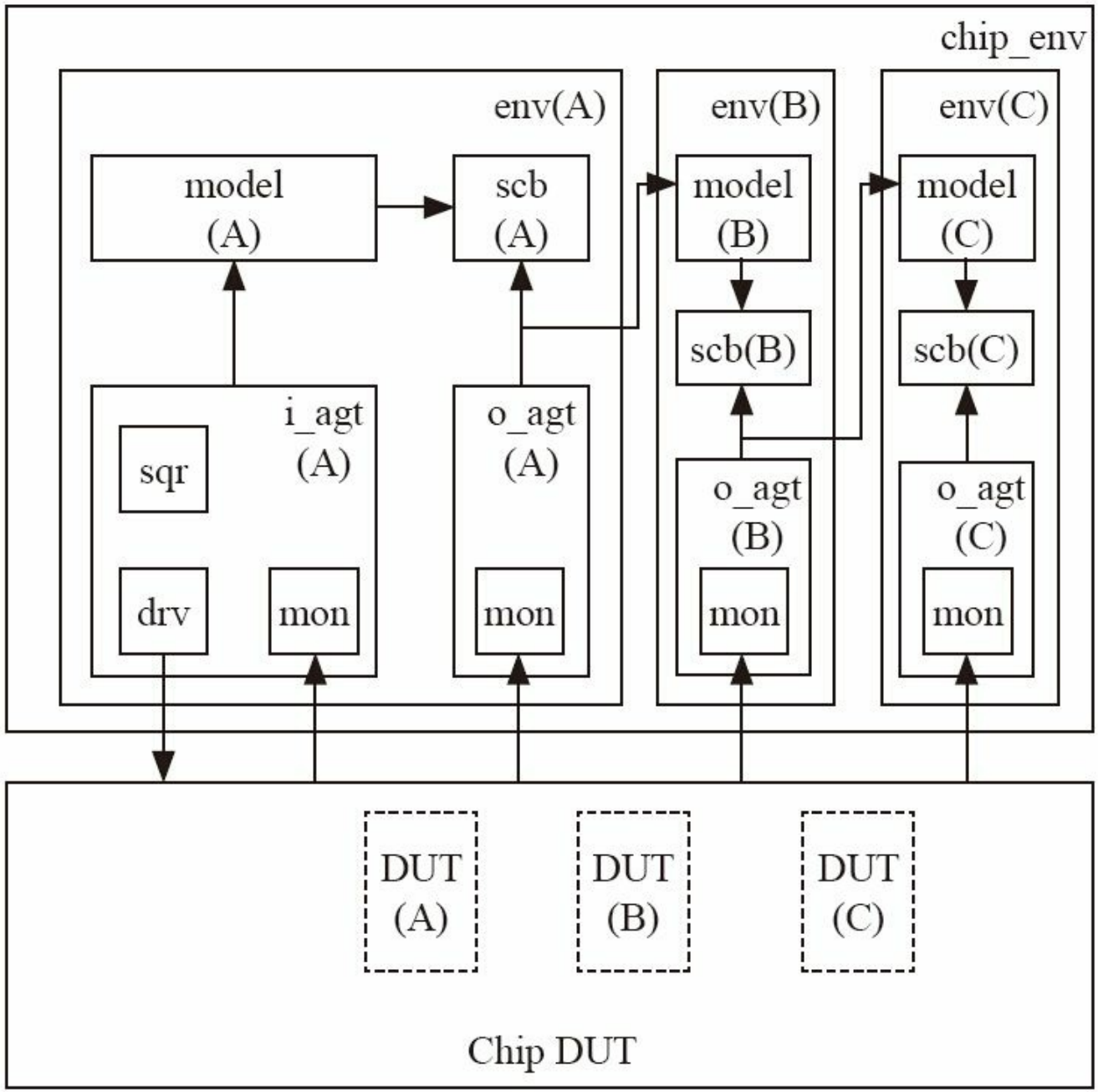

chip_env
env(A)
env(B)
env(C)
model
(A)
scb
(A)
model
(B)
model
(C)
scb(B)
scb(C)
i_agt
(A)
o_agt
(A)
sqr
drv
mon
mon
o_agt
(B)
o_agt
(C)
mon
mon
DUT
(A)
DUT
(B)
DUT
(C)
Chip DUT

图9-4　芯片级别验证平台二

在验证平台中，每个模块验证环境需要在其env中添加一个analysis_port用于数据输出；添加一个analysis_export用于数据输入；在env中设置in_chip用于辨别不同的数据来源：

代码清单　9-30

```
文件：src/ch9/section9.4/9.4.1/ip/my_env.sv
  4 class my_env extends uvm_env;
…
 11    bit in_chip;
 12    uvm_analysis_port#(my_transaction) ap;
 13    uvm_analysis_export#(my_transaction) i_export;
…
 24    virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
 25       super.build_phase(phase);
 26       if(!in_chip) begin
 27          i_agt = my_agent::type_id::create("i_agt", this);
 28          i_agt.is_active = UVM_ACTIVE;
 29       end
…
 38       if(in_chip)
 39          i_export = new("i_export", this);
 40    endfunction
…
 45 endclass
 46
 47 function void my_env::connect_phase(uvm_phase phase);
 48    super.connect_phase(phase);
```

```
 49     ap = o_agt.ap;
 50     if(in_chip) begin
 51        i_export.connect(agt_mdl_fifo.analysis_export);
 52     end
 53     else begin
 54        i_agt.ap.connect(agt_mdl_fifo.analysis_export);
 55     end
…
 61 endfunction
```

在chip_env中，实例化env_A、env_B、env_C，将env_B和env_C的in_chip设置为1，并将env_A的ap口与env_B的i_export相连，将env_B的ap与env_C的i_export相连接：

代码清单　9-31

文件：src/ch9/section9.4/9.4.1/chip/chip_env.sv

```
  3 class chip_env extends uvm_env;
  4       `uvm_component_utils(chip_env)
  5
  6       my_env          env_A;
  7       my_env          env_B;
  8       my_env          env_C;
  9
…
 16 endclass
 17
 18 function void chip_env::build_phase(uvm_phase phase);
 19     super.build_phase(phase);
 20     env_A  =  my_env::type_id::create("env_A", this);
 21     env_B  =  my_env::type_id::create("env_B", this);
```

```
22    env_B.in_chip = 1;
23    env_C  =  my_env::type_id::create("env_C", this);
24    env_C.in_chip = 1;
25 endfunction
26
27 function void chip_env::connect_phase(uvm_phase phase);
28    super.connect_phase(phase);
29    env_A.ap.connect(env_B.i_export);
30    env_B.ap.connect(env_C.i_export);
31 endfunction
```

图9-3与图9-4所示的两种芯片级别验证平台各有其优缺点。在图9-3所示的验证平台上，各个env之间没有数据交互，从而各个env不必设置analysis_port及analysis_export，在连接上简单些。但是，还是推荐使用图9-4所示的验证平台。

· 整个验证平台中消除了冗余的monitor，这在一定程度上可以加快仿真速度。

· 不同模块的验证环境之间有数据交互时，可以互相检查对方接口数据是否合乎规范。如A的数据送给了B，而B无法正常工作，那么要么是A收集的数据是错的，不符合B的要求，要么就是A收集的数据是对的，但是B对接口数据理解有误。

*9.4.2 寄存器模型的重用

在上一节的重用中，并没有考虑总线的重用。一般来说，每个模块会有自己的寄存器配置总线。在集成到芯片时，芯片有自己的配置总线，这些配置总线经过仲裁之后分别连接到各个模块，如图9-5所示。

在图7-1中，bus_agt是作为env的一部分的。但是从图9-5可以看出，这样的一个env是不可重用的。因此，为了提高可重用性，在模块级别时，图7-1的bus_agt应该从env中移到base_test中，如图9-6所示。

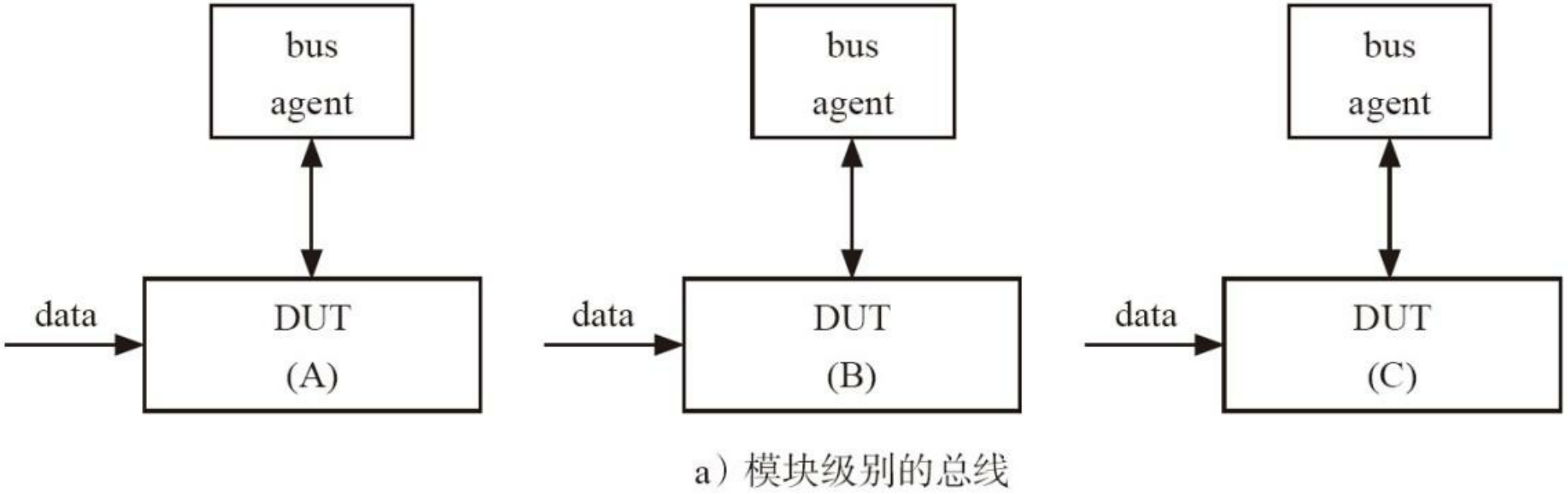
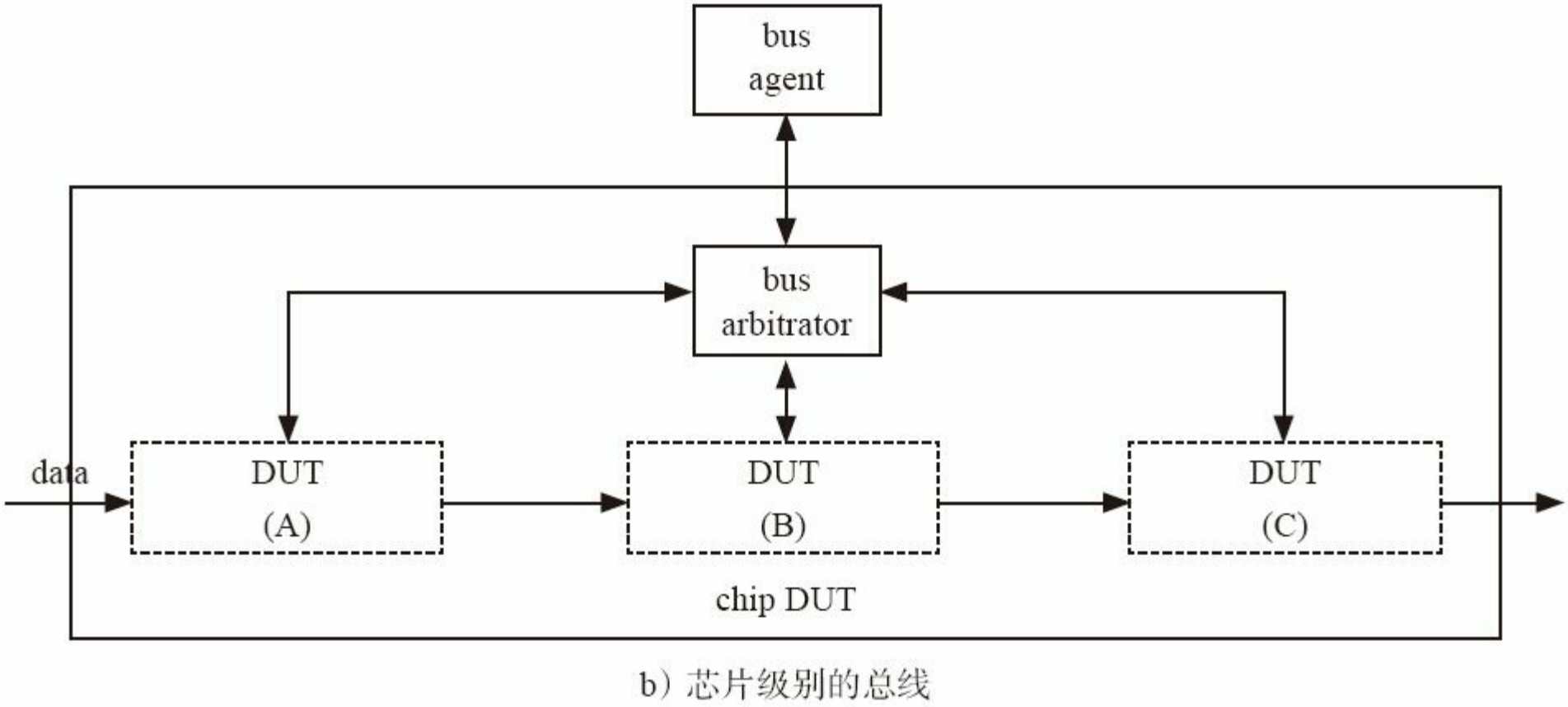


图9-5 从模块到芯片的总线连接变换



b）芯片级别的总线

图9-5 （续）

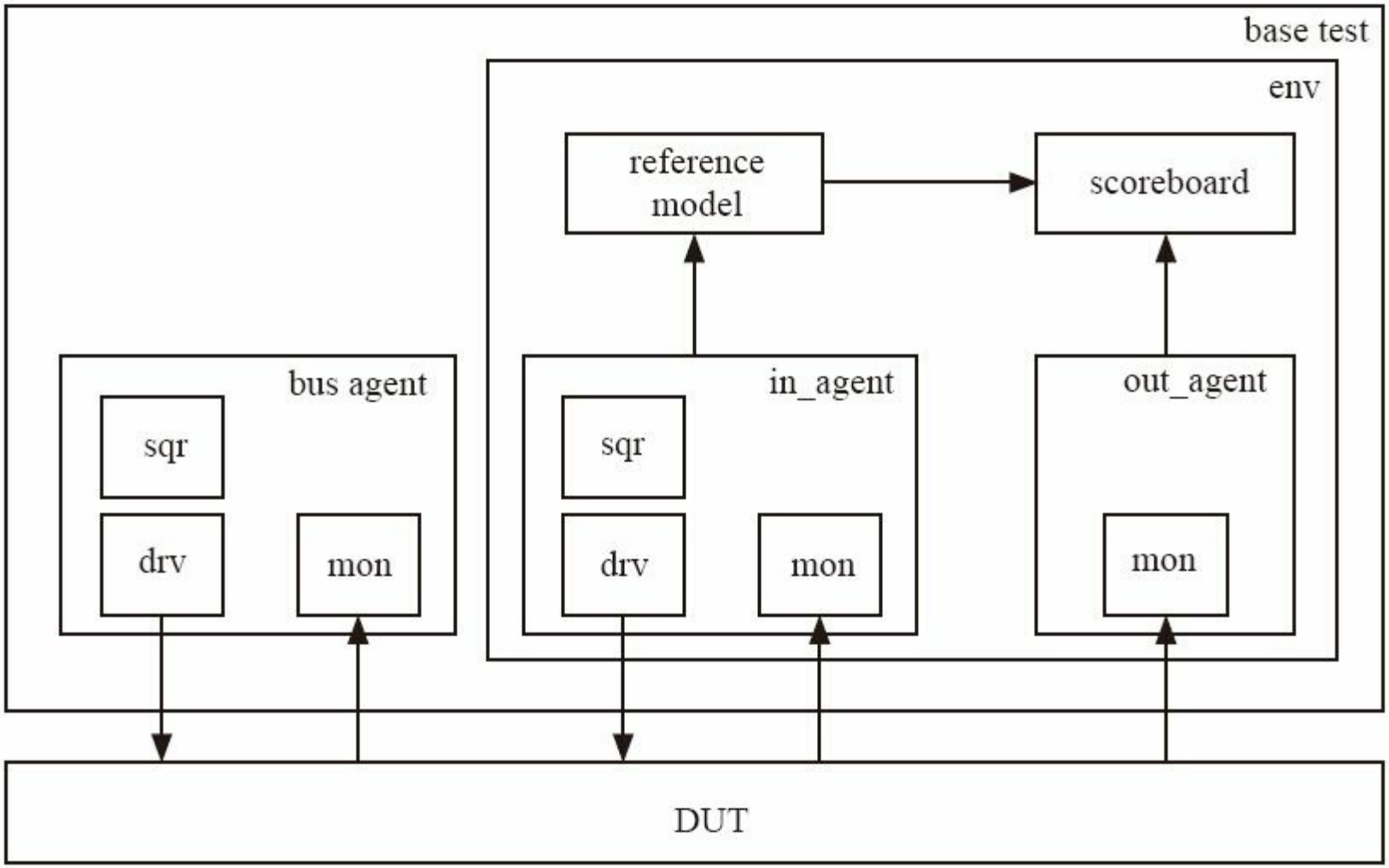


图9-6　把bus_agt从env中移到base_test

与bus_agt对应的是寄存器模型。在模块级别验证时，每个模块有各自的寄存器模型。很多用户习惯于在env中实例化寄存器模型：

代码清单　9-32

```
class my_env extends uvm_env;
   reg_model      rm;
…
endclass
function void my_env::build_phase(uvm_phase phase);
   super.build_phase(phase);
   rm = reg_model::type_id::create("rm", this);
…
endfunction
```

但是如果要实现env级别的重用，是不能在env中实例化寄存器模型的。每个模块都有各自的偏移地址，如A的偏移地址可能是'h0000，而B的偏移地址是'h4000，C的偏移地址是'h8000（即16位地址的高两位用于辨识不同模块）。如果在env级别例化了寄存器模型，那么在芯片级时，是不能指定其偏移地址的。因此，在模块级别验证时，需要如7.2.3节那样，在base_test中实例化寄存器模型，在env中设置一个寄存器模型的指针，在base_test中对它赋值。

为了在芯片级别使用寄存器模型，需要建立一个新的寄存器模型：

代码清单　9-33

文件：src/ch9/section9.4/9.4.2/chip/chip_reg_model.sv

```
  4 class chip_reg_model extends uvm_reg_block;
  5     rand reg_model A_rm;
  6     rand reg_model B_rm;
```

```
  7    rand reg_model C_rm;
  8
  9    virtual function void build();
 10       default_map = create_map("default_map", 0, 2, UVM_BIG_ENDIAN, 0);
…
 15       default_map.add_submap(A_rm.default_map, 16'h0);
…
 21       default_map.add_submap(B_rm.default_map, 16'h4000);
…
 27       default_map.add_submap(C_rm.default_map, 16'h8000);
 28    endfunction
…
 31 endclass
```

这个新的寄存器模型中只需要加入各个不同模块的寄存器模型并设置偏移地址和后门访问路径。建立芯片级寄存器模型的方式与7.4.1节建立多层次的寄存器模型一致。上面代码中的reg_model即7.2.3节中的寄存器模型。

在chip_env中实例化此寄存器模型，并将各个模块的寄存器模型的指针赋值给各个env的p_rm：

代码清单　9-34

文件：src/ch9/section9.4/9.4.2/chip/chip_env.sv

```
 21 function void chip_env::build_phase(uvm_phase phase);
 22    super.build_phase(phase);
 23    env_A  =  my_env::type_id::create("env_A", this);
 24    env_B  =  my_env::type_id::create("env_B", this);
 25    env_B.in_chip = 1;
 26    env_C  =  my_env::type_id::create("env_C", this);
 27    env_C.in_chip = 1;
```

```
28    bus_agt = bus_agent::type_id::create("bus_agt", this);
29    bus_agt.is_active = UVM_ACTIVE;
30    chip_rm = chip_reg_model::type_id::create("chip_rm", this);
31    chip_rm.configure(null, "");
32    chip_rm.build();
33    chip_rm.lock_model();
34    chip_rm.reset();
35    reg_sqr_adapter = new("reg_sqr_adapter");
36    env_A.p_rm = this.chip_rm.A_rm;
37    env_B.p_rm = this.chip_rm.B_rm;
38    env_C.p_rm = this.chip_rm.C_rm;
39 endfunction
```

加入寄存器模型后，整个验证平台的框图变为图9-7所示的形式。

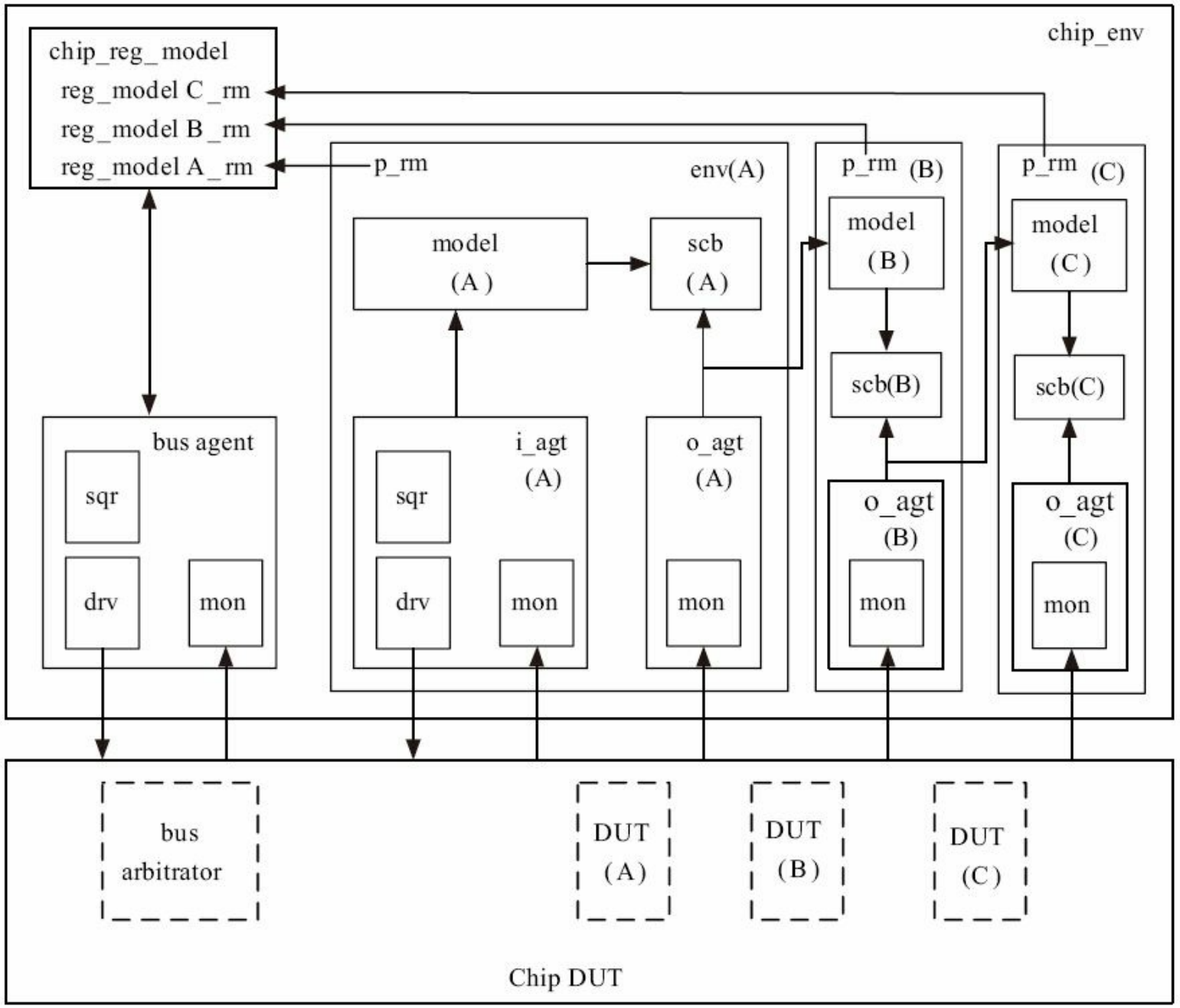

chip_env
chip_reg_model
reg_model C _rm
reg_model B _rm
reg_model A _rm
p_rm
env(A)
model
(A)
scb
(A)
p_rm (B)
model
(B)
scb(B)
p_rm (C)
model
(C)
scb(C)
bus agent
sqr
drv
mon
i_agt
(A)
sqr
drv
mon
o_agt
(A)
mon
o_agt
(B)
mon
o_agt
(C)
mon
bus
arbitrator
DUT
(A)
DUT
(B)
DUT
(C)
Chip DUT

图9-7　加入寄存器模型的芯片级别验证平台

9.4.3 virtual sequence与virtual sequencer

对于9.4.1节的例子来说，每个模块的virtual sequencer分为两种情况，一种是只适用于模块级别，不能用于芯片级别；另外一种是适用于模块和芯片级别。前者的代表是B和C的virtual sequencer，后者的代表是A中的virtual sequencer。B和C的virtual sequencer不能出现在芯片级的验证环境中，所以，不应该在env中实例化virtual sequencer，而应该在base_test中实例化。A模块比较特殊，它是一个边界模块，所以它的virtual sequence可以用于芯片级别验证中。

但是，9.4.1节是一个简单的例子。现代的大型芯片可能不只一个边界输入，如图9-8所示。

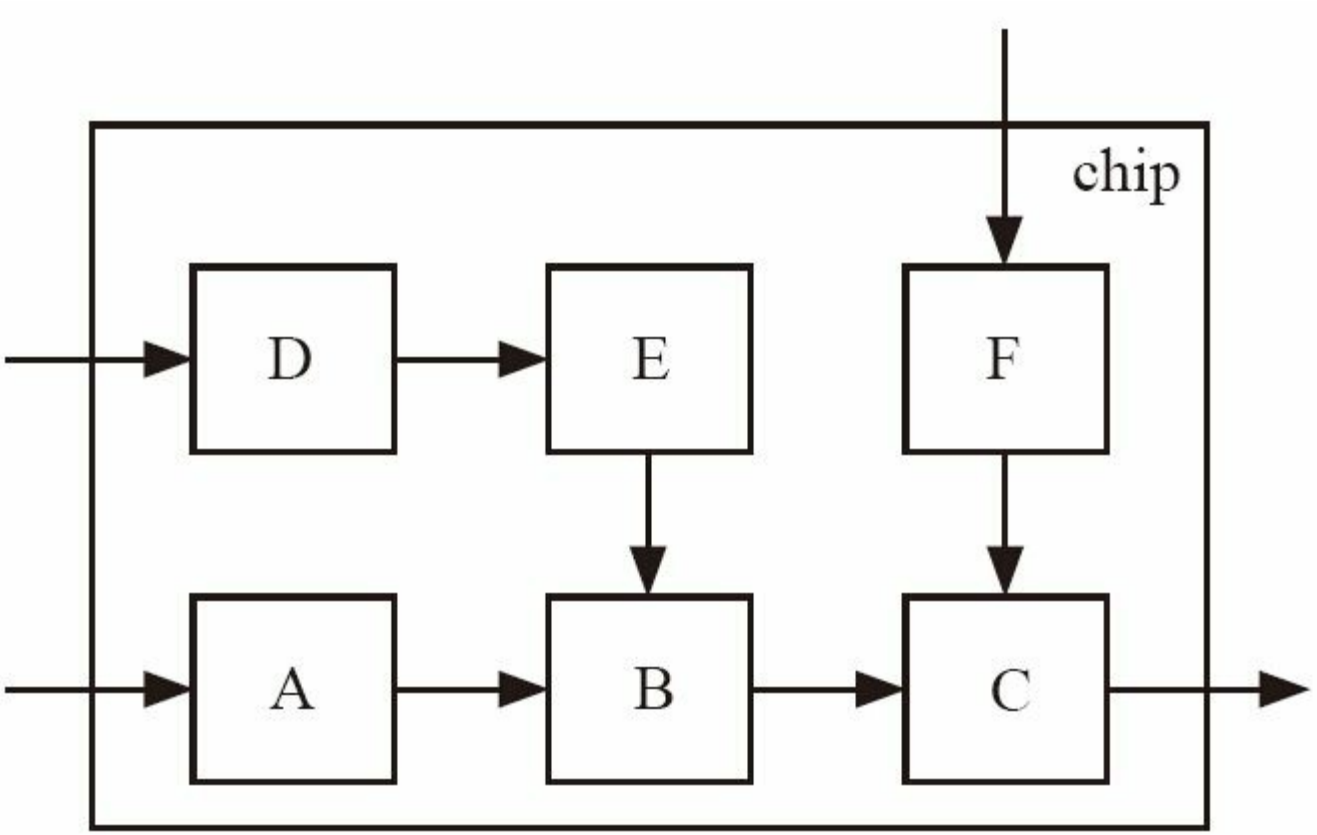


图9-8　具有多个输入的芯片

D和F分别是边界输入模块。在整个芯片的virtual sequencer中，应该包含A、D和F的sequencer。因此A、D和F的virtual sequencer是不能直接用于芯片级验证的。无论是像B、C、E这样的内部模块还是A、D、F这样的边界输入模块，统一推荐其virtual sequencer在base_test中实例化。在芯片级别建立自己的virtual sequencer。

与virtual sequencer相对应的是virtual sequence，通常来说，virtual sequence都使用uvm_declare_p_sequencer宏来指定sequencer。

这些sequencer在模块级别是存在的，但是在芯片级根本不存在，所以这些virtual sequence无法用于芯片级别验证。

有两种模块级别的sequence可以直接用于芯片级别的验证。

一种如A、D和F这样的边界输入端的普通的sequence（不是virtual sequence），以A的某sequence为例，在模块级别可以这样使用它：

代码清单　9-35

```
class A_vseq extends uvm_sequence;
  virtual task body();
    A_seq aseq;
    `uvm_do_on(aseq, p_sequencer.p_sqr)
…
  endtask
endclass
```

在芯片级别这样使用它：

代码清单　9-36

```
class chip_vseq extends uvm_sequence;
  virtual task body();
    A_seq aseq;
    D_seq dseq;
```

```
    F_seq fseq;
    fork
      `uvm_do_on(aseq, p_sequencer.p_a_sqr)
      `uvm_do_on(aseq, p_sequencer.p_d_sqr)
      `uvm_do_on(aseq, p_sequencer.p_f_sqr)
    join
…
  endtask
endclass
```

另外一种是寄存器配置的sequence。这种sequence一般在定义时不指定transaction类型。如果这些sequence做成如下的形式，也是无法重用的：

代码清单　9-37

```
class A_cfg_seq extends uvm_sequence;
  virtual task body();
    p_sequencer.p_rm.xxx.write();
…
  endtask
endclass
```

要想能够在芯片级别重用，需要使用如下的方式定义：

代码清单　9-38

```
class A_cfg_seq extends uvm_sequence;
  A_reg_model  p_rm;
  virtual task body();
    p_rm.xxx.write();
…
  endtask
endclass
```

在模块级别以如下的方式启动它：

代码清单　9-39

```
class A_vseq extends uvm_sequence;
   virtual task body();
      A_cfg_seq c_seq;
      c_seq = new("c_seq");
      c_seq.p_rm = p_sequencer.p_rm;
      c_seq.start(null);
   endtask
endclass
```

在芯片级别以如下的方式启动：

代码清单　9-40

```
class chip_vseq extends uvm_sequence;
   virtual task body();
```

```
        A_cfg_seq A_c_seq;
        A_c_seq = new("A_c_seq");
        A_c_seq.p_rm = p_sequencer.p_rm.A_rm;
        A_c_seq.start(null);
…
    endtask
endclass
```

除了这种指针传递的形式外，还可以如7.8.1节那样通过get_root_blocks来获得。在芯片级时，root block已经和模块级别不同，单纯靠get_root_blocks已经无法满足要求。此时需要find_blocks、find_block、get_blocks和get_block_by_name等函数，这里不再一一介绍。

第10章　UVM高级应用

10.1　interface

10.1.1　interface实现driver的部分功能

在之前所有的例子中，interface的定义都非常简单，只是单纯地定义几个logic类型变量而已：

代码清单　10-1

```
interface my_if(input clk, input rst_n);
   logic [7:0] data;
   logic valid;
endinterface
```

但是实际上interface能做的事情远不止如此。在interface中可以定义任务与函数。除此之外，还可以在interface中使用always语句和initial语句。

在现代高速数据接口中，如USB3.0、1394b、Serial ATA、PCI Express、HDMI、DisplayPort，数据都是以串行的方式传输的。以传输一个8bit的数据为例，出于多种原因的考虑，这些串行传输的数据并不是简单地将这8bit从bit0到bit7轮流发送出去，而是要经过一定的编码，如8b10b编码，这种编码技术将8bit的数据以10bit来表示，从而可以增加数据传输的可靠性。

从8bit到10bit的转换有专门的算法完成。通常来说，可以在driver中完成这种转换，并将串行的数据驱动到接口上：

代码清单　10-2

```
task my_driver::drive_one_pkt(my_transaction tr);
     byte unsigned     data_q[];
     bit[9:0]  data10b_q[];
     int  data_size;
     data_size = tr.pack_bytes(data_q) / 8;
     data10b_q = new[data_size];
     for(int i = 0; i < data_size; i++)
        data10b_q[i] = encode_8b10b(data_q[i]);
     for ( int i = 0; i < data_size; i++ ) begin
        @(posedge vif.p_clk);
        for(int j = 0; j < 10; j++) begin
          @(posedge vif.s_clk);
          vif.sdata <= data10b_q[i][j];
     end
     end
endtask
```

上述代码中p_clk为并行的时钟，而s_clk为串行的时钟，后者是前者的10倍频率。

这些事情完全可以在interface中完成。由于8b10b转换的动作适用于任意要驱动的数据，换言之，这是一个“always”的动作，因此可以在interface中使用always语句：

代码清单　10-3

```
interface my_if(input p_clk, input s_clk, input rst_n);
     logic      sdata;
     logic[7:0] data_8b;
     logic[9:0] data_10b;
     always@(posedge p_clk) begin
     data_10b <= encode_8b10b(data_8b);
     end
     always@(posedge p_clk) begin
        for(int i = 0; i < 10; i++) begin
        @(posedge s_clk);
        sdata <= data_10b[i];
        end
     end
endinterface
```

相应的，数据在driver中可以只驱动到interface的并行接口上即可：

代码清单　10-4

```
task my_driver::drive_one_pkt(my_transaction tr);
     byte unsigned     data_q[];
     int  data_size;
     data_size = tr.pack_bytes(data_q) / 8;
     for ( int i = 0; i < data_size; i++ ) begin
     @(posedge vif.p_clk);
     vif.data_8b <= data_q[i];
     end
endtask
```

除了在interface中使用always语句外，类似assign等语句也都可以在interface中使用：

代码清单　10-5

```
interface my_if(input p_clk, input s_clk, input rst_n);
   assign data_10b = (err_8b10b ? data_10b_wrong : data_10b_right);
…
endinterface
```

在interface中还可以实例化其他interface，如对于上例，由于8b10b转换是一个比较独立的功能，可以将它们放在一个interface中：

代码清单　10-6

```
interface if_8b10b();
   function bit[9:0] encode(bit[7:0] data_8b);
…
   endfunction
   function bit[7:0] decode(bit[9:0] data_10b);
…
   endfunction
endinterface
```

然后在interface中实例化这个新的interface，并调用其中的函数：

代码清单　10-7

```
interface my_if(input p_clk, input s_clk, input rst_n);
…
    if_8b10b encode_if();
    always@(posedge p_clk) begin
       data_10b <= encode_if.encode(data_8b);
    end
…
endinterface
```

这个新加入的interface与DUT根本没有任何接触，它只是为了提高代码的可重用性，单纯起到了一个封装的作用。在项目中可以实例化这个interface用于编码，在其他项目中，如一个需要10b到8b解码的项目中，可以实例化它用于解码。

interface可以代替driver做很多事情，但是并不能代替driver做所有的事情。interface只适用于做一些低层次的转换，如上述的8b10b转换、曼彻斯特编码等。这些转换动作是与transaction完全无关的。

使用interface代替driver的第一个好处是可以让driver从底层繁杂的数据处理中解脱出来，更加专注于处理高层数据。第二个好处是有更多的数据出现在interface中，这会对调试起到很大的帮助。代码清单10-3中interface内sdata、data10b、data8b的信号是在波形文件中有记录的，因此可以使用查看波形的软件查看其中的信号。如果8b10b编码的工作是在driver中完成的，换言之，interface中只有data10b或者sdata，那么最后的波形文件中一般不会有data8b的信息（除非根据仿真工具做某些特殊的、复杂的设置，否则driver中的变量很难记录在波形文件中），这会增加调试的难度。这种调试既包括对RTL的调试，也包括driver的调试。

不过，当使用interface完成这些转换后，如果想构造这些转换异常的测试用例，则稍显麻烦。如构造一个8b10b转换的错误，需要在interface中加入一个标志位err_8b10b，根据此标志位的数据决定向数据线上发送何种数据。

而如果这种转换是在driver完成的，有两种选择，一是在正常的driver中加入异常driver的处理代码；二是重新编写一个全新的异常driver，将原来的driver使用factory机制重载掉。

无论是哪种方式都能实现其目的。相比来说，在interface上实现转换能够更有助于调试，这一优势完全可以弥补其劣势。

*10.1.2 可变时钟

有时在验证平台中需要频率变化的时钟。可变时钟有三种，第一种是在不同测试用例之间时钟频率不同，但是在同一测试用例中保持不变。在一些应用中，如HDMI协议中，其图像的时钟信号就根据发送（接收）图像的分辨率的变化而变化。当不同的测试用例测试不同分辨率的图像时，就需要在不同测试用例中设置不同的时钟频率。

第二种是在同一个测试用例中存在时钟频率变换的情况。芯片上的时钟是由PLL产生的。但是PLL并不是一开始就会产生稳定的时钟，而是会有一段过渡期，在这段过渡期内，其时钟频率是一直变化的。有时候不关心这段过渡期时，而只关心过渡期前和过渡期后的时钟频率。

第三种可变时钟和第二种很像，但是它既关心过渡期前后的时钟，也关心PLL在过渡期的行为。为了模仿这段过渡期内频率对芯片的影响，就需要一个可变时钟模型。除此之外，在正常工作时，理论上PLL会输出稳定的时钟，但是在实际使用中，PLL的时钟频率总是在某个范围内以某种方式（如正弦）变化，如设置为27M的时钟可能在26.9M～27.1M变换。为了模仿这种变化，也需要一个可变时钟模型。

在通常的验证平台中，时钟都是在top_tb中实现的：

代码清单 10-8

```
initial begin
  clk = 0;
```

```
  forever begin
    #100 clk = ~clk;
  end
end
```

这种时钟都是固定的。在传统的实现方式中，如果要实现第一种可变时钟，可以将上述模块独立成一个文件：

代码清单　10-9

```
`ifndef TEST_CLK
`define TEST_CLK
initial begin
  clk = 0;
  forever begin
    #100 clk = ~clk;
  end
end
`endif
```

然后将上述文件通过inlude的方式包含在top_tb中：

代码清单　10-10

```
module top_tb();
…
     `include "test_clk.sv"
…
```

```
endmodule
```

当需要可变时钟时，只需要重新编写一个test_clk.v文件即可。这种方式是Verilog搭建的验证平台中经常用到的做法。

除了上述这种Verilog式的方式外，要实现第一种可变的时钟，可以使用config_db，在测试用例中设置时钟周期：

代码清单　10-11

```
文件：src/ch10/section10.1/10.1.2/simple/my_case0.sv
 35 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
 42       uvm_config_db#(real)::set(this, "", "clk_half_period", 200.0);
 43 endfunction
```

在top_tb中使用config_db：：get得到设置的周期：

代码清单　10-12

```
文件：src/ch10/section10.1/10.1.2/simple/top_tb.sv
 36 initial begin
 37   static real clk_half_period = 100.0;
 38   clk = 0;
 39   #1;
 40   if(uvm_config_db#(real)::get(uvm_root::get(), "uvm_test_top", "clk_half_period", clk_half_pe
 41      `uvm_info("top_tb", $sformatf("clk_half_period is %0f", clk_half_per iod), UVM_MEDIUM)
 42   forever begin
```

```
43      #(clk_half_period*1.0ns) clk = ~clk;
44    end
45 end
```

在这种设置的方式中，使用了3.5.6节所讲述的非直线的获取。my_case0中的config_db：：set看起来比较奇怪：这是一个设置给自己的参数。但是真正使用这个参数是在top_tb中，而不是在my_case0中。由于config_db：：set是在0时刻执行，而如果config_db：：get也在0时刻执行，那么可能无法得到设置的数值，所以在top_tb中，在config_db：：get前有1个时间单位的延迟。

这种生成可变时钟的方式只适用于第一种可变时钟。对于第二种可变时钟，可以使用如下方式：

代码清单　10-13

文件：src/ch10/section10.1/10.1.2/complex/top_tb.sv

```
36 initial begin
37    static real clk_half_period = 100.0;
38    clk = 0;
39    fork
40       forever begin
41          uvm_config_db#(real)::wait_modified(uvm_root::get(), "uvm_test_to p", "clk_half_perioc
42          void'(uvm_config_db#(real)::get(uvm_root::get(), "uvm_test_top", " clk_half_period", c
43          `uvm_info("top_tb", $sformatf("clk_half_period is %0f", clk_half_p eriod), UVM_MEDIUM)
44       end
45       forever begin
46          #(clk_half_period*1.0ns) clk = ~clk;
47       end
48    join
49 end
```

在测试用例中可以随着时间的变换而设置不同的时钟：

代码清单　10-14

```
文件：src/ch10/section10.1/10.1.2/complex/my_case0.sv
 44 task my_case0::main_phase(uvm_phase phase);
 45     #100000;
 46     uvm_config_db#(real)::set(this, "", "clk_half_period", 200.0);
 47     #100000;
 48     uvm_config_db#(real)::set(this, "", "clk_half_period", 150.0);
 49 endtask
```

但是，使用这种config_db的方式很难实现第三种可变时钟。要实现第三种时钟，可以专门编写一个时钟接口：

代码清单　10-15

```
文件：src/ch10/section10.1/10.1.2/component/clk_if.sv
  4 interface clk_if();
  5     logic clk;
  6 endinterface
```

在top_tb中实例化这个接口，并在需要时钟的地方以如下的方式引用：

代码清单　10-16

文件：src/ch10/section10.1/10.1.2/component/top_tb.sv

```
 27 clk_if cif();
…
 31 dut my_dut(.clk(cif.clk),
 32             .rst_n(rst_n),
…
```

为可变时钟从uvm_component派生一个类：

代码清单　10-17

文件：src/ch10/section10.1/10.1.2/component/clk_model.sv

```
  4 class clk_model extends uvm_component;
  5    `uvm_component_utils(clk_model)
  6
  7    virtual clk_if   vif;
  8    real  half_period = 100.0;
…
 14    function void build_phase(uvm_phase phase);
 15       super.build_phase(phase);
 16       if(!uvm_config_db#(virtual clk_if)::get(this, "", "vif", vif))
 17          `uvm_fatal("clk_model", "must set interface for vif")
 18       void'(uvm_config_db#(real)::get(this, "", "half_period", half_perio d));
 19       `uvm_info("clk_model", $sformatf("clk_half_period is %0f", half_peri od), UVM_MEDIUM)
 20    endfunction
 21
 22    virtual task run_phase(uvm_phase phase);
 23       vif.clk = 0;
 24       forever begin
 25          #(half_period*1.0ns) vif.clk = ~vif.clk;
 26       end
```

```
 27     endtask
 28 endclass
```

在env中，实例化此类：

代码清单　10-18

文件：src/ch10/section10.1/10.1.2/component/my_env.sv

```
  4 class my_env extends uvm_env;
…
 10     clk_model  clk_sys;
…
 20     virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
…
 28         clk_sys = clk_model::type_id::create("clk_sys", this);
…
 33     endfunction
…
 38 endclass
```

在这种使用方式中，时钟接口被封装在了一个component中。在需要新的时钟模型时，只需要从clk_model派生一个新的类，然后在新的类中实现时钟模型。使用factory机制的重载功能将clk_model用新的类重载掉。通过这种方式，可以将时钟设置为任意想要的行为。

10.2 layer sequence

*10.2.1 复杂sequence的简单化

在网络传输中，以太网包是最底层的包，在其上还有IP包、UDP包、TCP包等。现在只考虑IP包与mac包。my_transaction（mac包）在前文中已经定义过了，下面给出IP包的定义：

代码清单 10-19

文件：src/ch10/section10.2/10.2.1/ip_transaction.sv

```
 4 class ip_transaction extends uvm_sequence_item;
 5
 6     //ip header
 7     rand    bit [3:0]  version;//protocol version
 8     rand    bit [3:0]  ihl;// ip header length
 9     rand    bit [7:0]  diff_service; // service type, tos(type of service)
10     rand    bit [15:0] total_len;// ip telecom length, include payload, byte
11     rand    bit [15:0] iden;//identification
12     rand    bit [2:0]  flags;//flags
13     rand    bit [12:0] frag_offset;//fragment offset
14     rand    bit [7:0]  ttl;// time to live
15     rand    bit [7:0]  protocol;//protocol of data in payload
16     rand    bit [15:0] header_cks;//header checksum
17     rand    bit [31:0] src_ip; //source ip address
18     rand    bit [31:0] dest_ip;//destination ip address
19     rand    bit [31:0] other_opt[];//other options and padding
20     rand    bit [7:0]  payload[];//data
```

```
…
 60 endclass
```

在以太网的发送中，IP包整体被作为mac包的负荷。现在要求在发送的mac包中指定IP地址等数据，这需要约束mac包pload的值：

代码清单　10-20

```
    virtual task body();
       my_transaction m_tr;
       repeat (10) begin
         ip_tr.dest_ip =
= 'h10000;})
          m_tr = new("m_tr");
          assert(m_tr.randomize());
          {m_tr.pload[15], m_tr.pload[14], m_tr.pload[13], m_tr.pload[12]} == 32 'h9999;
          {m_tr.pload[19], m_tr.pload[18], m_tr.pload[17], m_tr.pload[16]} == 32 'h10000;
          `uvm_send(m_tr)
       end
       #100;
    endtask
```

在ip_transaction如此多的域中，如果要对其中某一项进行约束，那么需要仔细计算每一项在my_transaction的pload中的位置，稍微一不小心就很容易搞错。如果需要约束多项，那么更加麻烦。既然定义了ip_transaction，这个过程完全可以简化：

代码清单　10-21

文件：src/ch10/section10.2/10.2.1/my_case0.sv

```
 19    virtual task body();
 20       my_transaction m_tr;
 21       ip_transaction ip_tr;
 22       byte unsigned     data_q[];
 23       int  data_size;
 24       repeat (10) begin
 25          ip_tr = new("ip_tr");
 26          assert(ip_tr.randomize() with {ip_tr.src_ip == 'h9999; ip_tr.dest_
ip == 'h10000;})
 27          ip_tr.print();
 28          data_size = ip_tr.pack_bytes(data_q) / 8;
 29          m_tr = new("m_tr");
 30          assert(m_tr.randomize with{m_tr.pload.size() == data_size;});
 31          for(int i = 0; i < data_size; i++) begin
 32             m_tr.pload[i] = data_q[i];
 33          end
 34          `uvm_send(m_tr)
 35       end
 36       #100;
 37    endtask
```

先将ip_tr实例化，并调用randomize令其随机化，并在随机化时施加一定的约束。随机完成后，使用pack_bytes函数将所有数据打包成一个动态数组作为my_transaction的pload。这个过程比前面的简单多了，但是这样写成的代码可重用性不高。假如现在要测一种CRC错误的情况，那么需要将上述代码改写为：

代码清单　10-22

```
virtual task body();
      my_transaction m_tr;
      ip_transaction ip_tr;
      byte unsigned     data_q[];
      int  data_size;
      repeat (10) begin
         ip_tr = new("ip_tr");
         assert(ip_tr.randomize() with {ip_tr.src_ip == 'h9999; ip_tr.dest_ip = = 'h10000;})
         ip_tr.print();
         data_size = ip_tr.pack_bytes(data_q) / 8;
         m_tr = new("m_tr");
         assert(m_tr.randomize with{m_tr.pload.size() == data_size; m_tr.crc_er r == 1});
         for(int i = 0; i < data_size; i++) begin
            m_tr.pload[i] = data_q[i];
         end
         `uvm_send(m_tr)
      end
      #100;
endtask
```

上述代码只是改变了代码清单10-21中的第30行，而与ip_transaction相关部分的第25～28行完全没有变过，变的只是my_transaction部分。同样的，如果要施加给DUT IP checksum错误的包：

代码清单　10-23

```
virtual task body();
      my_transaction m_tr;
      ip_transaction ip_tr;
      byte unsigned     data_q[];
      int  data_size;
```

```
        repeat (10) begin
           ip_tr = new("ip_tr");
           assert(ip_tr.randomize() with {ip_tr.src_ip == 'h9999; ip_tr.dest_ip = = 'h10000;})
           ip_tr.header_cks = $urandom_range(10000, 0);
           ip_tr.print();
           data_size = ip_tr.pack_bytes(data_q) / 8;
           m_tr = new("m_tr");
           assert(m_tr.randomize with{m_tr.pload.size() == data_size;});
           for(int i = 0; i < data_size; i++) begin
              m_tr.pload[i] = data_q[i];
           end
           `uvm_send(m_tr)
        end
        #100;
    endtask
```

这里只是对代码清单10-21的第26行与第27行之间插入一句对header_cks赋随机值的语句。与mac相关的代码不需要做任何变更。

代码清单10-21、代码清单10-22和代码清单10-23中的代码几乎完全相同，但却是不同的测试用例。同样的代码在不同的地方出现，这是非常不合理的。要提高代码的可重用性，一种办法是将与ip相关的代码写成一个函数，而与mac相关的代码写成另外一个函数，将这些基本的函数放在base_sequence中。在新建测试用例时，从base_sequence派生新的sequence，并调用之前写好的函数。

另外一种办法是使用layer sequence。在代码清单10-21中，同一个sequence中产生了两种不同的transaction，虽然这两种transaction之间有必然的联系（ip_transaction作为my_transaction的pload），但是将它们放在一起并不合适。最好的办法是将它们分

离，一个sequence负责产生ip_transaction，另外sequence负责产生my_transaction，前者将产生的ip_transaction交给后者。这就是layer sequence。

*10.2.2 layer sequence的示例

产生ip_transaction的sequence如下：

代码清单 10-24

```
文件：src/ch10/section10.2/10.2.2/my_case0.sv
  4 class ip_sequence extends uvm_sequence #(ip_transaction);
…
 20    virtual task body();
 21       ip_transaction ip_tr;
 22       repeat (10) begin
 23          `uvm_do_with(ip_tr, {ip_tr.src_ip == 'h9999; ip_tr.dest_ip == 'h10000;})
 24       end
 25       #100;
 26    endtask
 27
 28    `uvm_object_utils(ip_sequence)
 29 endclass
```

其相应的sequencer如下：

代码清单 10-25

```
文件：src/ch10/section10.2/10.2.2/ip_sequencer.sv
  4 class ip_sequencer extends uvm_sequencer #(ip_transaction);
```

```
 5
 6    function new(string name, uvm_component parent);
 7       super.new(name, parent);
 8    endfunction
 9
10    `uvm_component_utils(ip_sequencer)
11 endclass
```

这个sequencer需要在my_agent中实例化，在这种情况下，my_agent中有两个sequencer：

代码清单　10-26

文件：src/ch10/section10.2/10.2.2/my_agent.sv

```
23 function void my_agent::build_phase(uvm_phase phase);
24    super.build_phase(phase);
25    if (is_active == UVM_ACTIVE) begin
26       ip_sqr = ip_sequencer::type_id::create("ip_sqr", this);
27       sqr = my_sequencer::type_id::create("sqr", this);
28       drv = my_driver::type_id::create("drv", this);
29    end
30    mon = my_monitor::type_id::create("mon", this);
31 endfunction
```

要使用layer sequence，最关键的问题是如何将ip_transaction能够交给产生my_transaction的sequence。由于ip_transaction是由一个sequence产生的，模仿driver从sequencer获取transaction的方式，在my_sequencer中加入一个端口，并将其实例化：

代码清单　10-27

文件：src/ch10/section10.2/10.2.2/my_sequencer.sv

```
  4 class my_sequencer extends uvm_sequencer #(my_transaction);
  5     uvm_seq_item_pull_port #(ip_transaction) ip_tr_port;
…
 11     function void build_phase(uvm_phase phase);
 12        super.build_phase(phase);
 13        ip_tr_port = new("ip_tr_port", this);
 14     endfunction
…
 17 endclass
```

在my_agent中，将这个端口和ip_sqr的相关端口连接在一起：

代码清单　10-28

文件：src/ch10/section10.2/10.2.2/my_agent.sv

```
 33 function void my_agent::connect_phase(uvm_phase phase);
 34     super.connect_phase(phase);
 35     if (is_active == UVM_ACTIVE) begin
 36        drv.seq_item_port.connect(sqr.seq_item_export);
 37        sqr.ip_tr_port.connect(ip_sqr.seq_item_export);
 38     end
 39     ap = mon.ap;
 40 endfunction
```

之后在产生my_transaction的sequence中：

代码清单　10-29

文件：src/ch10/section10.2/10.2.2/my_case0.sv

```
 31 class my_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 37     virtual task body();
 38        my_transaction m_tr;
 39        ip_transaction ip_tr;
 40        byte unsigned     data_q[];
 41        int  data_size;
 42        while(1) begin
 43           p_sequencer.ip_tr_port.get_next_item(ip_tr);
 44           data_size = ip_tr.pack_bytes(data_q) / 8;
 45           m_tr = new("m_tr");
 46           assert(m_tr.randomize with{m_tr.pload.size() == data_size;});
 47           for(int i = 0; i < data_size; i++) begin
 48              m_tr.pload[i] = data_q[i];
 49           end
 50           `uvm_send(m_tr)
 51           p_sequencer.ip_tr_port.item_done();
 52        end
 53     endtask
 54
 55     `uvm_object_utils(my_sequence)
 56     `uvm_declare_p_sequencer(my_sequencer)
 57 endclass
```

由于需要用到sequencer中的ip_tr_port，所以要使用declare_p_sequencer宏声明sequencer。这个sequence被做成了一个无限循环的sequence，因为它需要时刻从ip_tr_port得到新的ip_transaction，这类似于driver中的无限循环。由于设置了无限循环，所以不能

在其中提起或者撤销objection。objection要在ip_sequence中控制。

之后，需要启动这两个sequence。可以使用default_sequence的形式：

代码清单　10-30

```
文件：src/ch10/section10.2/10.2.2/my_case0.sv
 70 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 71    super.build_phase(phase);
 72
 73    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 74                                            "env.i_agt.ip_sqr.main_phase",
 75                                            "default_sequence",
 76                                            ip_sequence::type_id::get());
 77    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
 78                                            "env.i_agt.sqr.main_phase",
 79                                            "default_sequence",
 80                                            my_sequence::type_id::get());
 81 endfunction
```

也可以使用default_sequence的形式，前提是vsqr中已经有成员变量指向相应的sequencer：

代码清单　10-31

```
class case0_vseq extends uvm_sequence;
   virtual task body();
      ip_sequence ip_seq;
```

```
        my_sequence my_seq;
        fork
            `uvm_do_on(my_seq, p_sequencer.p_my_sqr)
        join_none
        `uvm_do_on(ip_seq, p_sequencer.p_ip_sqr)
    endtask
endclass
```

当后面构建CRC错误包的激励时，只需要建立crc_sequence，并在my_sequecer上启动。而此时ip_sequencer上依然是ip_sequence，不受影响。

当需要构建checksum错误的激励时，也只需要建立cks_err_seq，并在ip_sequencer上启动，此时my_sequencer上启动的是my_sequence，不受影响。

layer sequence对于初学者来说会比较复杂。在上一节中，layer sequence只是解决问题的一种策略，另外一种策略是在base_sequence中写函数/任务。在这个例子中，相比base_sequence，layer sequence并没有明显的优势。但是当问题非常复杂时，layer sequence会逐渐体现出其优势。在大型的验证平台中，layer sequence的应用非常多。

*10.2.3 layer sequence与try_next_item

在上一节中，最终的my_driver使用get_next_item从my_sequencer中得到数据：

代码清单 10-32

```
文件：src/ch10/section10.2/10.2.2/my_driver.sv
 22 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
…
 27     while(1) begin
 28         seq_item_port.get_next_item(req);
 29         drive_one_pkt(req);
 30         seq_item_port.item_done();
 31     end
 32 endtask
```

在2.4.2节的末尾曾经提过，与get_next_item相比，try_next_item更加接近实际情况。在实际应用中，try_next_item用得更多。现在将get_next_item改为try_next_item：

代码清单 10-33

```
task my_driver::drive_idle();
    `uvm_info("my_driver", "item is null", UVM_MEDIUM)
    @(posedge vif.clk);
endtask
```

```
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
…
    while(1) begin
     seq_item_port.try_next_item(req);
     if(req == null) begin
         drive_idle();
     end
     else begin
         `uvm_info("my_driver", "get one pkt", UVM_MEDIUM)
         drive_one_pkt(req);
         seq_item_port.item_done();
     end
    end
endtask
```

重新运行上节的例子，会发现在前后两个有效的req之间，my_driver总会打印一句“item is null”，说明driver没有得到transaction：

```
UVM_INFO my_driver.sv(39) @ 81100000: uvm_test_top.env.i_agt.drv [my_driver] get one pkt
UVM_INFO my_driver.sv(24) @ 166300000: uvm_test_top.env.i_agt.drv [my_driver] item is null
UVM_INFO my_driver.sv(39) @ 166500000: uvm_test_top.env.i_agt.drv [my_driver] get one pkt
```

当my_driver没有得到transaction时，它只是等待一个时钟，相当于空闲一个时钟。在某些协议中，除非故意出现空闲，否则这样正常的驱动数据中出现的空闲将会导致时序错误。避免这个问题的一个办法是不用try_next_item，而使用get_next_item。但是正如一开始说的，try_next_item更接近真实的情况。使用get_next_item有两个问题：

一是某些协议并不是上电复位后马上开始发送正常数据，而是开始发送一些空闲数据sequence，这些数据有特定的要求，并不是一成不变的（即代码清单10-33中的drive_idle中应该发送具体的数据，而不只是纯粹延时）。当空闲数据sequence发送完毕后，经过某些交互开始发送正常的数据。一旦开始发送正常数据，就不能再在正常数据中间插入空闲数据。对于这种情况，如果使用get_next_item，那么将难以处理在上电复位后要求发送的空闲数据sequence。

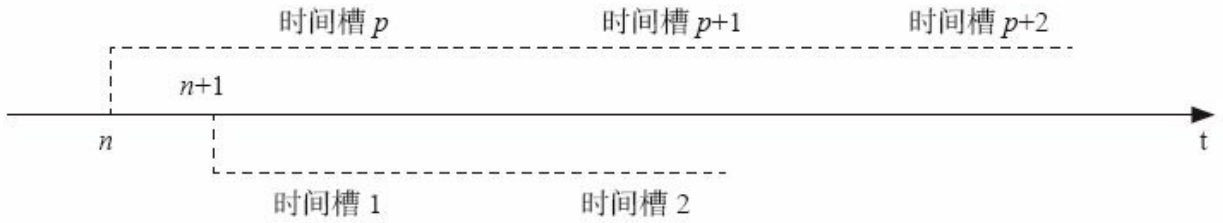
二是当drop_objection后的drain_time（请参考5.2.4节）的这段时间也要求发送空闲数据sequence。但是此时sequence已经不提供transaction了，所以my_driver无法按照要求驱动这些空闲数据sequence。

所以还是应该使用try_next_item。在代码清单10-24的ip_sequence与代码清单10-29的my_sequence并没有插入任何的时延，所以my_driver应该一直得到有效的req，而不应该出现这种得不到transaction的情况。那么问题出在什么地方？

SystemVerilog是按照事件驱动进行仿真的。在每一个时刻有很多事件。为了处理这众多的事件，SystemVerilog使用时间槽来管理它们。如图10-1所示，时间轴上方为n时刻的部分时间槽，时间轴下方为n+1时刻的部分时间槽。在n时刻的时间槽p中，driver驱动数据并调用item_done，以及调用try_next_item试图获取下一个transaction。my_sequencer一方面使try_next_item等待一个时间槽，另外一方面将item_done转发给my_sequence（事实上，并不是简单的转发，而是通知my_sequence当前的transaction已经被driver驱动完毕，可以产生下一个transaction，为了方便，可以认为转发item_done）。这里为什么要令try_next_item等待一个时间槽呢？因为my_sequence收到item_done的信息，向其sequencer递交产生下一个transaction的请求，及最后生成transaction交给sequencer是需要时间来完成的。my_sequence收到item_done后，也向ip_sequencer发出item_done信息，并使用get_next_item获取下一个item。ip_sequencer把item_done转发给ip_sequence。ip_sequence收到item_done后，结束上一个uvm_do，开始下一个uvm_do，产生新的

item。上述这一切都是在时间槽p中完成的。

driver	item_done(), try_next_item()	sequencer 的 item 缓存中没有数据，try_next_item 没有得到 item。@(posedge clk)	
my_sequencer	转发 item_done，让 try_next_item 等一个时间槽	在本时间槽开始时，其 item 缓存中依然是空的。	在本时间槽开始时，其 item 缓存中已经有了 sequence 的 item。等待 item_done。
my_sequence	上一个 uvm_do 结束，item_done(), get_next_item()	get_next_item 得到了 item，处理数据，下一个 uvm_do 生成 item	等待 item_done。
ip_sequencer	转发 item_done，让 get_next_item 处于等待状态	在本时间槽开始时，其 item 缓存中已经有了 sequence 的 item。等待 item_done。	等待 item_done。
ip_sequence	上一个 uvm_do 结束，下一个 uvm_do 开始，产生新的 item	等待 item_done	等待 item_done



driver	n 时刻的 @(posedge clk) 已经到达。开始 try_next_item()	try_next_item 得到 item，开始驱动
my_sequencer	等待 item_done。让 try_next_item 等一个时间槽	等待 item_done
my_sequence	等待 item_done	等待 item_done
ip_sequencer	等待 item_done	等待 item_done
ip_sequence	等待 item_done	等待 item_done

图10-1　layer sequence下的item生成

在时间槽p结束时（或者说时间槽p+1开始时），ip_sequencer的item缓存中已经有数据了，此时my_sequence的get_next_item得到了数据。但是此时，my_sequencer的item缓存中依然是空的。driver发出的try_next_item在这个时间槽发现my_sequencer的item缓存为空，于是直接返回null，driver得到null后，开始drive_idle，即等待下一个时钟的上升沿。

在时间槽p+1结束时（或者说时间槽p+2开始时），my_sequence已经将生成的数据送入my_sequencer的item缓存了。但是此时driver并没有向my_sequencer索要数据，而是处于@（posedge clk）的状态。

在n+1时刻，下一个时钟的上升沿到来。在n+1时刻的时间槽1，driver开始try_next_item。此时my_sequencer收到了这个请求，虽然此时它的缓存中是非空的，但是依然让try_next_item等待一个时间槽。在n+1时刻的时间槽2，driver的try_next_item如愿得到了想要的transaction。

从上述过程可以看出，主要问题在于n时刻时driver的try_next_item调用过早。如果不是在时间槽p调用，而是在时间槽p+1调用，那么在时间槽p+2时，try_next_item就可以由my_sequencer的item缓存中得到transaction了。在UVM中，这可以通过调用任务uvm_wait_for_nba_region来实现：

代码清单　10-34

文件：src/ch10/section10.2/10.2.3/my_driver.sv

```
23 task my_driver::drive_idle();
```

```
 24     `uvm_info("my_driver", "item is null", UVM_MEDIUM)
 25     @(posedge vif.clk);
 26 endtask
 27
 28 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
…
 33     while(1) begin
 34        uvm_wait_for_nba_region();
 35        seq_item_port.try_next_item(req);
 36        if(req == null) begin
 37           dirve_idle();
 38        end
 39        else begin
 40           drive_one_pkt(req);
 41           seq_item_port.item_done();
 42        end
 43     end
 44 endtask
```

*10.2.4 错峰技术的使用

上节通过增加uvm_wait_for_nba_region的方式能够解决问题，但是它并不是一个完美的解决方案。假如上述layer sequence又多了一层，如图10-2所示。

在这种情况下，从udp_seq发出item到driver的try_next_item能够检测到需要2个时间槽的延时。只增加一个uvm_wait_for_nba_region是没有用处的，需要再增加一个。当layer sequence的层数再增加时，相应的也需要再增加。这种解决方案显得非常的丑陋。

上述问题的关键在于item_done和try_next_item是在同一时刻被调用，这导致了时间槽的竞争。如果能够将它们错开调用，那么这个问题也将不会是问题：

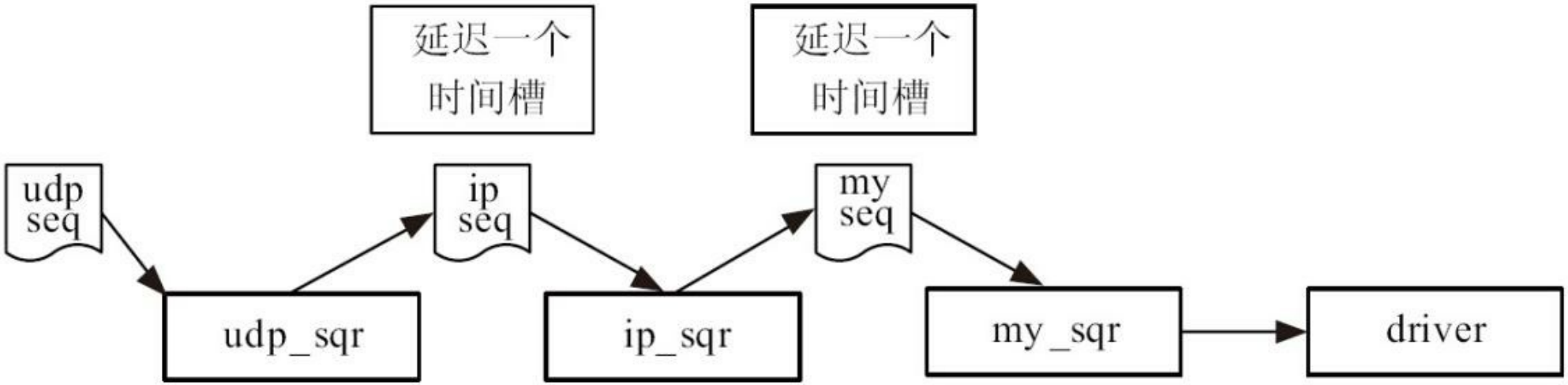


图10-2　多重layer sequence

代码清单　10-35

```
文件：src/ch10/section10.2/10.2.4/my_driver.sv
 23 task my_driver::drive_idle();
 24     `uvm_info("my_driver", "item is null", UVM_MEDIUM)
 25 endtask
 26
 27 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
…
 32     while(1) begin
 33        @(posedge vif.clk);
 34        seq_item_port.try_next_item(req);
 35        if(req == null) begin
 36           drive_idle();
```

```
37        end
38        else begin
39           drive_one_pkt(req);
40           seq_item_port.item_done();
41        end
42     end
43  endtask
```

在item_done被调用后，并不是立即调用try_next_item，而是等待下一个时钟的上升沿到来后再调用。在这种情况下，图10-1将会变为图10-3所示形式。

driver	item_done(), @(posedge clk)		
my_sequencer	转发 item_done，让 try_next_item 等一个时间槽	在本时间槽开始时，其 item 缓存中依然是空的。	在本时间槽开始时，其 item 缓存中已经有了 item。等待 item_done。
my_sequence	上一个 uvm_do 结束，item_done(), get_next_item()	get_next_item 得到了 item，处理数据，下一个 uvm_do 生成 item	等待 item_done。
ip_sequencer	转发 item_done，让 get_next_item 处于等待状态	在本时间槽开始时，其 item 缓存中已经有了 item。等待 item_done。	等待 item_done。
ip_sequence	上一个 uvm_do 结束，下一个 uvm_do 开始，产生新的 item	等待 item_done	等待 item_done

图10-3　错峰技术下transaction的生成



driver	*n* 时刻的 @(posedge clk) 已经到达。开始 try_next_item()	try_next_item 得到 item，开始驱动
my_sequencer	等待 item_done。让 try_next_item 等一个时间槽	等待 item_done
my_sequence	等待 item_done	等待 item_done
ip_sequencer	等待 item_done	等待 item_done
ip_sequence	等待 item_done	等待 item_done

图10-3 （续）

10.3 sequence的其他问题

*10.3.1 心跳功能的实现

在某些协议中，需要driver每隔一段时间向DUT发送一些类似心跳的信号。这些心跳信号的包与其他的普通的包并没有本质上的区别，其使用的transaction也都是普通的transaction。

发送这种心跳包有两种选择，一种是在driver中实现，driver负责包的产生、发送：

代码清单 10-36

```
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
    fork
       while(1) begin
       #delay;
       drive_heartbeat_pkt();
       end
       while(1) begin
       seq_item_port.get_next_item(req);
       drive_one_pkt(req);
       seq_item_port.item_done();
       end
    join
endtask
```

另外一种是在sequence中实现，这个sequence被做成一种无限循环的sequence，这个sequence精确地计时，当需要发送心跳包时，生成一个心跳包并发送出去：

代码清单　10-37

```
class heartbeat_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
   virtual task body();
      while(1) begin
        #delay;
        `uvm_do(heartbeat_tr)
      end
   endtask
endclass
```

使用sequence的实现方式需要在sequence中引入时序，这可能会让只在sequence中写uvm_do宏的用户感觉相当不习惯。虽然在上述示例代码中使用了绝对延时，但是一般在代码中最好不要使用绝对延时，而使用virtual sequence。一般在sequencer中通过config_db：：get得到virtual sequence，在sequence中使用p_sequencer.vif的形式引用：

代码清单　10-38

```
virtual task body();
   my_transaction heartbeat_tr;
   while(1) begin
      repeat(10000) @(posedge p_sequencer.vif.clk);
      grab();
```

```
        `uvm_do(heartbeat_tr)
        ungrab();
    end
endtask
```

一个driver除了发送心跳包之外，它还会发送一些其他包。这就意味着要在这个driver相应的sequener上启动多个sequence。在这些sequence产生的transaction中，心跳包优先级较高，当前正在发送的包在发送完成后应该立即发送心跳包，所以在上述sequence中应使用grab功能。

如果使用virtual sequence启动此sequence，需要使用fork join_none的方式：

代码清单　10-39

文件：src/ch10/section10.3/10.3.1/my_case0.sv

```
 43 class case0_vseq extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 59     virtual task body();
 60       case0_sequence normal_seq;
 61       heartbeat_sequence heartbeat_seq;
 62       heartbeat_seq = new("heartbeat_seq");
 63       heartbeat_seq.starting_phase = this.starting_phase;
 64       fork
 65          heartbeat_seq.start(p_sequencer.p_sqr);
 66       join_none
 67       `uvm_do_on(normal_seq, p_sequencer.p_sqr)
 68     endtask
…
 72 endclass
```

normal_seq为另外一个启动的sequence，不能使用如下的方式启动：

代码清单　10-40

```
virtual task body();
   case0_sequence normal_seq;
   heartbeat_sequence heartbeat_seq;
   fork
      `uvm_do_on(heartbeat_seq, p_sequencer.p_sqr)
      `uvm_do_on(normal_seq, p_sequencer.p_sqr)
   join
endtask
```

因为心跳sequence是无限循环的。上述的启动方式会导致整个body无法停止。

使用fork join_none的形式启动心跳sequence的一个问题是driver可能正在发送一个心跳包，但是此时virtual_sequence的objection被撤销了，main_phase停止，退出仿真。在某些DUT的实现中，这种只发送了一半的包是不允许的，可能会导致最终检查结果异常。为了避免这种情况的出现，在心跳sequence中要发送transaction前raise objection，在发送完后drop objection：

代码清单　10-41

```
文件：src/ch10/section10.3/10.3.1/my_case0.sv
  4 class heartbeat_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
```

```
10    virtual task body();
11       my_transaction heartbeat_tr;
12       while(1) begin
13          repeat(100) @(posedge p_sequencer.vif.clk);
14          grab();
15          starting_phase.raise_objection(this);
16          `uvm_do_with(heartbeat_tr, {heartbeat_tr.pload.size == 50;})
17          `uvm_info("hb_seq", "this is a heartbeat transaction", UVM_MEDIUM)
18          starting_phase.drop_objection(this);
19          ungrab();
20       end
21    endtask
…
25 endclass
```

这种方式在启动的时候要谨记如代码清单10-39所示给此心跳sequence的starting_phase赋值。

如果不使用手工方式启动此sequence，也可以使用default_sequence的方式启动。此时相当于my_sequencer上以两种不同的方式启动了两个sequence：一是以default_sequence的形式启动，二是在virtual_sequence中启动。

无论在sequence还是在driver中实现心跳包的功能，都是完全可以的。由于心跳包需要和另外的包竞争driver，所以如果使用driver实现心跳包，则需要手工实现这种仲裁功能。而如果在sequence中实现，则由于UVM的sequence机制天生具有仲裁的功能，用户可以省略仲裁的代码。

在sequence中实现的另一个好处是可以更加容易地控制心跳频率的改变。例如测试一个心跳包异常的测试用例，使其每隔5个心跳包少发一个心跳包，此时只需要重写一个sequence即可。这个新的sequence对老的心跳sequence没有任何影响，同时也不需要

对driver进行任何变更。

sequence与driver共同组合起来用于控制激励源的发送。当要控制某种特定激励源的发送时，这种控制功能既可以由driver实现，也可以由sequence实现。在某些情况下，可以将driver的一些行为移到sequence中实现，这会使得验证平台的编写更加简单。UVM提供了强大的灵活性，同样的一件事情可以使用多种方式实现。

10.3.2 只将virtual_sequence设置为default_sequence

在3.5.8节中介绍cofig_db机制时，曾经介绍config_db机制最大的问题在于其set函数的第二个参数是一个字符串，而UVM本身不对这个字符串所代表的路径是否有效做任何检查。这会导致一些莫名其妙的问题。在7.1.1节引入了bus_agt，假如在env中使用如下的代码将其实例化：

代码清单 10-42

```
virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
   super.build_phase(phase);
   bus_agt = bus_agent::type_id::create("bus_agt", this);
   i_agt   = my_agent::type_id::create ("i_agt  ", this);
…
endfunction
```

这个实例化不存在任何问题，并且充分考虑到了代码的美观性，对双引号进行了对齐。在某个测试用例中，可以使用如下的方式分别为他们设置default_sequence：

代码清单 10-43

```
function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
   super.build_phase(phase);
   uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
                                           "env.i_agt.sqr.main_phase",
```

```
                                        "default_sequence",
                                        case0_seq::type_id::get());
    uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
                                        "env.bus_agt.sqr.main_phase",
                                        "default_sequence",
                                        case0_bus_seq::type_id::get());
endfunction
```

运行上述测试用例，发现bus_agt的sequencer上设置的default_sequence启动了，但是i_agt的sequencer上设置的default_sequence则没有启动。这是为什么？

这个bug非常隐蔽。当将bus_agt和i_agt实例化的时候，为了美观，在i_agt的名字后加了空格，而UVM将双引号之间的字符串都当做i_agt的名字。假如在i_agt.sqr中调用get_full_name函数，那么得到的结果如下：

```
uvm_test_top.env.i_agt  .sqr
```

可以很清晰地看到空格是名字的一部分。这种bug让人防不胜防，如果运气好，可能马上就会发现这个bug，但是如果不好，可能要一两个小时才能发现。或许会有读者说，这一切都是由代码美观引起的。其实代码美观本身并没有错，并不能因为这一处小小的bug而放弃对代码美观的追求。

真正的问题还在于config_db机制不对set函数的第二个参数提供检查。当config_db：：set用的越多，这种bug出现的机率也就越大。因此，应该尽量避免config_db：：set的使用。在本节中，即尽量少设置default_sequence，只将virtual sequence设置为default_sequence。

如果只将virtual sequence设置为default_sequence，那么所有其他的sequence都在其中启动。其中带来的一个好处是向sequence传递参数更加方便。6.6.1节介绍了在sequence中使用config_db机制来获取运行所需要的参数。上面已经见识过config_db机制可能带来的隐患。如果使用virtual sequence启动一个sequence，那么可以使用如下的方式为其赋值：

代码清单　10-44

```
class case_vseq extends uvm_sequence;
   virtual task body();
      normal_seq nseq;
      nseq = new();
      nseq.xxx = yyy;
      nseq.start(p_sequencer.p_sqr)
   endtask
endclass
```

这在很大程度上避免了config_db的字符串引出的问题。

10.3.3 disable fork语句对原子操作的影响

在网络通信系统中有各种各样的计数器。通常来说，这些计数器的类型是7.2.1节介绍的W1C，即写1清零。由于是W1C，那么对于这个计数器来说，就存在如下的情况：总线正在对其进行写清操作，同时DUT内部正在累加此计数器。在这种极端情况下，可能会导致计数器计数错误或者直接挂起，后续完全无法再正常计数。因此需要对这种情况做测试。

在virtual sequence中开启如下两个进程：

代码清单 10-45

```
class caw_vseq extends uvm_sequence;
    caw_seq    demo_s;
    logic[31:0] rdata;
    virtual task body();
       uvm_status_e status;
       if(starting_phase != null)
          starting_phase.raise_objection(this);
       demo_s = caw_seq::type_id::create("demo_s");
       fork
          begin
            demo_s.start(p_sequencer.p_cp_sqr);
          end
          while(1) begin
            p_sequencer.p_rm.counter.write(status, 1, UVM_FRONTDOOR);
          end
       join_any
       disable fork;
```

```
        p_sequencer.p_rm.counter.read(status, rdata, UVM_FRONTDOOR);
        demo_s.start(p_sequencer.p_cp_sqr);
        p_sequencer.p_rm.counter.read(status, rdata, UVM_FRONTDOOR);
        if(starting_phase != null)
          starting_phase.drop_objection(this);
    endtask
endclass
```

上述代码看似解决了问题，但是出现了一个新的情况是程序无法终止。在此测试用例中，在运行disable fork语句之后读取计数器时，会发现此寄存器正在写，于是一直等待。究其原因在于UVM的寄存器模型的write操作是原子操作，如果只是使用disable fork语句野蛮地终止，那么此原子操作尚未完成，于是虽然进程终止了，但是其中的一些原子操作标志位并没有清除，从而出现错误。

正确的解决方法是：

代码清单　10-46

```
class caw_vseq extends uvm_sequence;
   caw_seq    demo_s;
   semaphore  m_atomic = new(1);
   logic[31:0] rdata;
   virtual task body();
      uvm_status_e status;
      if(starting_phase != null)
          starting_phase.raise_objection(this);
      demo_s = caw_seq::type_id::create("demo_s");
      fork
```

```
            begin
              demo_s.start(p_sequencer.p_cp_sqr);
              m_atomic.get(1);
            end
            while(1) begin
              if(m_atomic.try_get(1)) begin
                  p_sequencer.p_rm.counter.write(status, 1, UVM_FRONTDOOR);
                  m_atomic.put(1);
              end
              else begin
                  break;
              end
            end
         join
         p_sequencer.p_rm.counter.read(status, rdata, UVM_FRONTDOOR);
         demo_s.start(p_sequencer.p_cp_sqr);
         p_sequencer.p_rm.counter.read(status, rdata, UVM_FRONTDOOR);
        if(starting_phase != null)
           starting_phase.drop_objection(this);
    endtask
  endclass
```

通过使用semaphore，每次写counter寄存器之前都会试图从semaphore中得到一个键值，如果无法得到，则表示另外一个进程（demo_s进程）已经执行完毕，此时while循环也没有必要进行下去，直接终止。

10.4 DUT参数的随机化

验证中有两大问题：一是向DUT灌输不同的激励，二是为DUT配置不同的参数。对于前者，本书一直在介绍如何发送不同的激励，本节介绍如何在UVM中为DUT配置不同的参数。

10.4.1 使用寄存器模型随机化参数

在7.7.3节曾经介绍过可以使用寄存器模型的随机化及update来为DUT选择一组随机化的参数：

代码清单 10-47

```
assert(p_rm.randomize());
p_rm.updata(status, UVM_FRONTDOOR);
```

上述方式随机化出来的参数可能是任意组合。但是，在很多情况下用户希望的是一种特定的组合。如对于一个压缩算法来说，它可以有有损压缩、无损压缩及不压缩三种模式。在建立测试用例时，需要为这个算法模块至少建立四个测试用例：有损压缩的、无损压缩的、不压缩的及以上三种随机组合的。在建立前三个测试用例时，需要将参数随机化的范围缩小。

如何缩小随机化的范围？这里提供三种方式：

一是只将需要随机化的寄存器调用randomize函数，其他不调用。在调用时指定约束：

代码清单 10-48

```
assert(p_rm.reg1.randomize() with { reg_data.value == 5'h3;});
assert(p_rm.reg2.randomize() with { reg_data.value >= 7'h9;});
```

二是在调用整体的randomize函数时，为需要指定参数的寄存器指定约束：

代码清单　10-49

```
assert(p_rm.randomize() with {reg1.reg_data.value == 5'h3;
                              reg2.reg_data.value >= 7'h9});
```

第三种方式则是借助于factory机制的重载功能，从需要随机的寄存器中派生一个新的类，在新的类中指定约束，最后再使用重载替换掉原先寄存器模型中相应的寄存器：

代码清单　10-50

```
class dreg1 extends my_reg1;
   constraint{
     reg_data.value == 5'h3;
   }
endclass
class dreg2 extends my_reg2;
   constraint{
      reg_data.value >= 7'h9;
   }
endclass
```

*10.4.2 使用单独的参数类

上节提供了使用寄存器模型来随机化DUT参数的方式。考虑需要一种跨越寄存器的约束，如需要寄存器a中的field0的值与寄存器b中field0的值的和大于100。上节介绍的三种方式中，只有第二种能够实现：

代码清单 10-51

```
assert(p_rm.randomize() with {rega.field0.value + regb.field0.value >=100;});
```

由于这个约束对所有的测试用例都适用，因此期望它能够写在寄存器模型的constraint里：

代码清单 10-52

```
class reg_model extends uvm_reg_block;
  constraint reg_ab_cons{
    rega.field0.value + regb.field0.value >=100;
  }
endclass
```

对于寄存器模型来说，如果这个寄存器模型是自己手工创建的，那么在其中加入constraint没有任何问题。但是通常来说，在IC公司中，寄存器模型都是由一些脚本命令自动创建的。在一个验证平台中，需要用到寄存器的地方有如下三个，一是RTL代码中，二是SystemVerilog中，三是C语言中。必须时刻保持这三处的寄存器完全一致。当一处有更新时，其他两处必须相应更新。寄

存器成百上千个，如果全部手工来做这些事情，将会非常耗费时间和精力。因此一般的IC公司会将寄存器的描述放在一个源文件中，如word文档、excel文件、xml文档中，然后使用脚本从中提取寄存器信息，并分别生成相应的RTL代码、UVM中的寄存器模型及C语言中的寄存器模型。当寄存器更新时，只更新源文件即可，其他的可以自动更新。这种方式省时省力，是主流的方式。

在使用脚本创建寄存器模型的情况下，在寄存器模型中加入constraint就比较困难。因为很难在源文件（如word文档等）中描述约束，尤其是存在跨寄存器的约束时。所以有很多生成寄存器模型的工具并不支持约束。

为了解决这个问题，可以针对DUT中需要随机化的参数建立一个dut_parm类，并在其中指定默认约束：

代码清单　10-53

文件：src/ch10/section10.4/10.4.2/dut_parm.sv

```
  4 class dut_parm extends uvm_object;
  5    reg_model p_rm;
…
 12    rand bit[15:0] a_field0;
 13    rand bit[15:0] b_field0;
 14
 15    constraint ab_field_cons{
 16       a_field0 + b_field0 >= 100;
 17    }
 18
 19    task update_reg();
 20       p_rm.rega.write(status, a_field0, UVM_FROTDOOR);
 21       p_rm.regb.write(status, b_field0, UVM_FROTDOOR);
 22    endtask
 23 endclass
```

这段代码中指定了一个update_reg任务，它用于当参数随机化完成后，把相关的参数更新到DUT中。

在virtual sequence中，可以实例化这个新的类，随机化并调用update_reg任务：

代码清单　10-54

文件：src/ch10/section10.4/10.4.2/my_case0.sv

```
 19 class case0_cfg_vseq extends uvm_sequence;
…
 33    virtual task body();
 34       dut_parm pm;
 35       pm = new("pm");
 36       assert(pm.randomize());
 37       pm.p_rm = p_sequencer.p_rm;
 38       pm.update_reg();
 39    endtask
…
 46 endclass
```

这种专门的参数类的形式在跨寄存器的约束较多时特别有用。

10.5 聚合参数

10.5.1 聚合参数的定义

在验证平台中用到的参数有两大类，一类是验证环境与DUT中都要用到的参数，这些参数通常都对应DUT中的寄存器，10.4.2节中已经将这些参数组织成了一个参数类；另外一类是验证环境中独有的，比如driver中要发送的preamble数量的上限和下限。本节讲述如何组织这类参数。

对于一个大的项目来说，要配置的参数可能有千百个。如果全部使用config_db的写法，那么就会出现下面这种情况：

代码清单 10-55

```
classs base_test extends uvm_test;
   function void build_phase(uvm_phase phase);
      super.build_phase(phase);
      uvm_config_db#(int)::set(this, "path1", "var1", 7);
…
      uvm_config_db#(int)::set(this, "path1000", "var1000", 999);
   endfunction
endclass
```

可以想像，这1000句set函数写下来将会是多么壮观的一件事情。但是壮观的同时也显示出了这是多么麻烦的一件事情。

一种比较好的方法就是将这1000个变量放在一个专门的类里面来实现：

代码清单　10-56

```
class my_config extends uvm_object;
   rand int var1;
…
   rand int var1000;
   constraint default_cons{
      var1 = 7;
…
      var1000 = 999;
   }
   `uvm_object_utils_begin(my_config)
      `uvm_field_int(var1, UVM_ALL_ON)
…
      `uvm_field_int(var1000, UVM_ALL_ON)
   `uvm_object_utils_end
endclass
```

经过上述定义之后，可以在base_test中这样写：

代码清单　10-57

```
classs base_test extends uvm_test;
   my_config cfg;
   function void build_phase(uvm_phase phase);
      super.build_phase(phase);
```

```
        cfg = my_config::type_id::create("cfg");
        uvm_config_db#(my_config)::set(this, "env.i_agt.drv", "cfg", cfg);
        uvm_config_db#(my_config)::set(this, "env.i_agt.mon", "cfg", cfg);
…
    endfunction
endclass
```

这样，省略了绝大多数的set语句。在driver中以如下的方式使用这个聚合参数类：

代码清单　10-58

```
class my_driver extends uvm_driver#(my_transaction);
    my_config cfg;
    `uvm_component_utils_begin(my_driver)
        `uvm_field_object(cfg, UVM_ALL_ON | UVM_REFERENCE)
    `uvm_component_utils_end
    extern task main_phase(uvm_phase phase);
endclass
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
    while(1) begin
        seq_item_port.get_next_item(req);
        pre_num = $urand_range(cfg.pre_num_min, cfg.pre_num_max);
…//drive this pkt, and the number of preamble is pre_num
        seq_item_port.item_done();
    end
endtask
```

如果在某个测试用例中想要改变某个变量的值，可以这样做：

代码清单　10-59

```
class case100 extends base_test;
    function void build_phase(uvm_phase phase);
       super.build_phase(phase);
       cfg.pre_num_max = 100;
       cfg.pre_num_min = 8;
…
    endfunction
endclass
```

10.5.2 聚合参数的优势与问题

使用聚合参数后，可以将此参数类的指针放在virtual sequencer中：

代码清单 10-60

```
class my_vsqr extends uvm_sequencer;
    my_config cfg;
…
endclass
classs base_test extends uvm_test;
    my_config cfg;
    my_vsqr vsqr;
    function void build_phase(uvm_phase phase);
       super.build_phase(phase);
       cfg = my_config::type_id::create("cfg");
       vsqr = my_vsqr::type_id::create("vsqr", this);
       vsqr.cfg = this.cfg;
…
    endfunction
endclass
```

这样，当sequence要动态地改变某个验证平台中的变量值时，可以使用如下的方式：

代码清单 10-61

```
class vseq extends uvm_sequence;
    `uvm_object_utils(vseq)
    `uvm_declare_p_sequencer(vsequencer)
    task body();
…//send some transaction
       p_sequencer.cfg.pre_num_max = 99;
…//send other transaction
    endtask
endclass
```

聚合参数方便了在sequence中改变验证平台参数。在某些情况下，甚至可以将interface也放入此聚合参数类中：

代码清单　10-62

文件：src/ch10/section10.5/10.5.2/my_config.sv

```
  3 class my_config extends uvm_object;
  4    `uvm_object_utils(my_config)
  5    virtual my_if vif;
  6
  7    function new(string name = "my_config");
  8       super.new(name);
  9       $display("%s", get_full_name());
 10       if(!uvm_config_db#(virtual my_if)::get(null, get_full_name(), "vif", vif))
 11          `uvm_fatal("my_config", "please set interface")
 12
 13    endfunction
 14
 15 endclass
```

这样，无论是在driver中还是monitor中，都可以直接使用cfg.vif，而不必再使用config_db来得到interface：

代码清单　10-63

```
文件：src/ch10/section10.5/10.5.2/my_driver.sv
 20 task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
 21     cfg.vif.data <= 8'b0;
 22     cfg.vif.valid <= 1'b0;
 23     while(!cfg.vif.rst_n)
 24         @(posedge cfg.vif.clk);
…
 30 endtask
```

同样的，如果将这个cfg的指针赋值给普通的sequencer，那么在10.3.1节中心跳sequence的实现中，sequencer也不必再使用uvm_config_db：：get得到接口。

在代码清单10-62中，使用config_db的形式得到vif。这里出现了uvm_config_db：：get（），由于my_config是一个object，而不是component，所以get_full_name得到的结果是其实例化时指定的名字。所以，base_test中实例化cfg的名字要与top_tb中config_db：：set的路径参数一致。如：

代码清单　10-64

```
function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
…
```

```
    cfg = new("cfg");
endfunction
module top_tb;
…
initial begin
    uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "cfg", "vif", input_if);
end
endmodule
```

或者：

代码清单　10-65

```
function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
…
    cfg = new({get_full_name(), ".cfg"});
endfunction
module top_tb;
…
initial begin
    uvm_config_db#(virtual my_if)::set(null, "uvm_test_top.cfg", "vif", input_if);
end
endmodule
```

其实，这里最方便的还是使用直接赋值的形式。在top_tb中将interface通过config_db：：set的方式传递给base_test，在base_test中实例化cfg后就可以直接赋值：

代码清单　10-66

```
function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
…
   cfg = new("cfg");
   cfg.vif = this.vif.
endfunction
```

这种将所有参数聚合起来的做法可以大大方便验证平台的搭建。将这个聚合类的指针赋值给任意component，这样这些component再也不需要使用config_db：：get函数来获取参数了。当验证平台的某个组件（如driver）要增加一个参数时，只需要在这个聚合类中加入此参数，在测试用例中直接为其赋值，然后在验证平台（如driver）中就可以直接使用：

代码清单　10-67

```
class my_config extends uvm_object;
   rand int new_var;
…
endclass
function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
   cfg.new_var = 1;
endfunction
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
   if(cfg.new_var)
…
endtask
```

假如不使用聚合类，而使用config_db，那么需要在测试用例中进行设置：

代码清单　10-68

```
function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
…
   uvm_config_db#(int)::set(this, "uvm_test_top.env.i_agt.drv", "new_var", 1); endfunction
```

在driver中增加一个变量，并且使用get语句获取它：

代码清单　10-69

```
function void my_driver::build_phase(uvm_phase phase);
…
   void'(uvm_config_db#(int)::get(this, "", "new_var", new_var);
endfunction
task my_driver::main_phase(uvm_phase phase);
   if(new_var)
…
endtask
```

可以看出使用聚合类减少了config_db：：set的使用，也会大大降低出错的概率。

不过聚合参数也不是完美的。聚合参数的本质上是将一些属于某个uvm_component的变量变成对所有的uvm_component可见，

从而使得这些变量错误地被其他uvm_component修改。

另外，聚合参数整合了整个验证平台的参数，这在一定程度上降低了验证平台的可重用性。9.4节中讲述了env级别的重用，聚合参数类对于这种重用没有任何问题。但是在实际中，能够做到env级别重用的IC公司并不多。很多公司使用的是基于agent的重用。假如某个agent中需要的参数只占据聚合参数类的10%的参数，现在这个agent被其他项目重用，那么在新的项目中也需要实例化这个聚合参数类。但是在新的项目中，这个聚合参数类其中可能90%的参数是无用的。解决这个问题的方式是缩小聚合参数的粒度，将一个聚合参数类分成多个小的聚合参数类，如将agent的所有的参数定义为一个聚合参数类，在大的聚合参数类中实例化这个小的聚合参数类。只是这样一来，可能每个聚合参数类中只有一两个参数。与直接使用config_db相比，并没有方便多少。

10.6 config_db

10.6.1 换一个phase使用config_db

在本书前面的介绍中，使用config_db几乎都是在build_phase中。由于其config_db：：set的第二个参数是字符串，所以经常出错。一个component的路径可以通过get_full_name（）来获得。要想避免config_db：：set第二个参数引起的问题，一种可行的想法是把这个参数使用get_full_name（）。如在测试用例中对driver中某个参数进行设置：

代码清单 10-70

```
uvm_config_db#(int)::set(null, env.i_agt.drv.get_full_name(), "pre_num", 100);
```

若要对sequence的某个参数设置，可以：

代码清单 10-71

```
uvm_config_db#(int)::set(null, {env.i_agt.sqr.get_full_name(),
".*
"}, "pre_num", 100);
```

但是在build_phase时，整棵UVM树还没有形成，使用env.i_agt.drv的形式进行引用会引起空指针的错误。所以，要想这么使

用，有两种方法，一种是所有的实例化工作都在各自的new函数中完成：

代码清单　10-72

```
function base_test::new(string name, uvm_component parent);
   super.new(name, parent);
   env = my_env::type_id::create("env", this);
endfunction
function my_env::new(string name, uvm_component parent);
   super.new(name, parent);
   i_agt = my_agent::type_id::create("i_agt", this);
   o_agt = my_agent::type_id::create("o_agt", this);
…
endfunction
…
```

在这种情况下，当整个验证平台运行到build_phase时，UVM树已经实例化完毕，在uvm_confg_db：：set中使用get_full_name没有任何问题。

第二种方式是将uvm_config_db：：set移到connect_phase中去。由于connect_phase是由下向上执行的，base_test（或者测试用例）的connect_phase几乎是最后执行的，因此应该在end_of_elaboration_phase或者start_of_simulation_phase调用uvm_config_db：：get。

代码清单　10-73

```
function void my_case0::connect_phase(uvm_phase phase);
   uvm_config_db#(int)::set(null, env.i_agt.drv.get_full_name();, "pre_num", 100);
endfunction
function void my_driver::end_of_elaboration_phase(uvm_phase phase);
   void'(uvm_config_db#(int)::get(this, "", "pre_num", pre_num));
endfunction
```

以上介绍的两种方式，都对top_tb中的config_db：：set无效，因为在top_tb中都很难使用类似env.i_agt.sqr.get_full_name（）的方式来获得一个路径值。幸运的是，top_tb中的config_db：：set语句不多，且它们相对比较固定，通常不会出问题。

*10.6.2 config_db的替代者

在3.5.8节及10.3.2节中，读者已经见识到config_db：：set函数的第二个参数带来的不便，因此要尽量减少config_db的使用。

那么有没有可能完全不使用config_db？

这其实是完全可以的。config_db设置的参数有两种，一种是结构性的参数，如控制driver是否实例化的参数is_active：

代码清单 10-74

```
function void my_agent::build_phase(uvm_phase phase);
   super.build_phase(phase);
   if (is_active == UVM_ACTIVE) begin
      sqr = my_sequencer::type_id::create("sqr", this);
      drv = my_driver::type_id::create("drv", this);
   end
   mon = my_monitor::type_id::create("mon", this);
endfunction
```

对于这种参数，可以在实例化agent时同时指明其is_active的值：

代码清单 10-75

```
virtual function void build_phase(uvm_phase phase);
   super.build_phase(phase);
```

```
    if(!in_chip) begin
       i_agt = my_agent::type_id::create("i_agt", this);
       i_agt.is_active = UVM_ACTIVE;
    end
…
endfunction
```

这是本书一直使用的方式。对于在build_phase中设置的一些非结构性的参数，如向某个driver中传递某个参数：

代码清单　10-76

```
uvm_config_db#(int)::set(this, "env.i_agt.drv", "pre_num", 100);
```

可以完全在build_phase之后的任意phase中使用绝对路径引用进行设置：

代码清单　10-77

```
function void my_case0::connect_phase(uvm_phase phase);
   env.i_agt.drv.pre_num = 100;
endfunction
```

对于那些向sequence中传递的参数，如10.3.2节所示，可以在virtual sequence中启动sequence，并通过赋值的方式传递。

但是这样的前提是virtual sequence已经启动。那么如何启动virtual sequence呢？在本书的大部分例子中都是通过

default_sequence来启动的：

代码清单　10-78

```
function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
   super.build_phase(phase);
   uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
                                           "v_sqr.main_phase",
                                           "default_sequence",
                                           case0_vseq::type_id::get());
endfunction
```

但是其实可以在测试用例的main_phase中手工启动此sequence：

代码清单　10-79

```
task my_case0::main_phase(uvm_phase phase);
   case0_vseq vseq;
   super.main_phase(phase);
   vseq = new("vseq");
   vseq.starting_phase = phase;
   vseq.start(vsqr);
endtask
```

这样可以不用再在build_phase中设置default_sequence。

如何为6.6.2节sequence中的set语句寻找替代者呢？可以通过uvm_root：：get（）得到UVM树真正的根uvm_top，从uvm_top的孩子中找到base_test（大多数情况下uvm_top只有一个名字为uvm_test_top的孩子，不过也不能排除有多个孩子的情况）的实例，并通过绝对路径引用赋值：

代码清单　10-80

```
文件：src/ch10/section10.6/10.6.2/my_case0.sv
 33 class case0_vseq extends uvm_sequence;
…
 50    virtual task body();
 51       my_transaction tr;
 52       drv0_seq seq0;
 53       drv1_seq seq1;
 54       base_test test_top;
 55       uvm_component children[$];
 56       uvm_top.get_children(children);
 57       foreach(children[i]) begin
 58          if($cast(test_top, children[i])) ;
 59       end
 60       if(test_top == null)
 61          `uvm_fatal("case0_vseq", "can't find base_test 's instance")
 62       fork
 63          `uvm_do_on(seq0, p_sequencer.p_sqr0);
 64          `uvm_do_on(seq1, p_sequencer.p_sqr1);
 65          begin
 66             #10000;
 67             //uvm_config_db#(bit)::set(uvm_root::get(), "uvm_test_top.env0.scb", "cmp_en", 0);
 68             test_top.env0.scb.cmp_en = 0;
 69             #10000;
 70             //uvm_config_db#(bit)::set(uvm_root::get(), "uvm_test_top.env0.scb", "cmp_en", 1);
```

```
 71              test_top.env0.scb.cmp_en = 1;
 72            end
 73        join
 74        #100;
 75    endtask
 76 endclass
```

至于在top_tb中使用config_db对interface进行的传递，可以使用绝对路径的方式：

代码清单　10-81

```
unction void base_test::connect_phase(uvm_phase phase);
   env0.i_agt.drv.vif = testbench.input_if0;
…
endfunction
```

这里用到了绝对路径。如果不使用绝对路径，可以通过静态变量来实现。新建一个类，将此验证平台中所有可能用到的interface放入此类中作为成员变量：

代码清单　10-82

```
文件：src/ch10/section10.6/10.6.2/if_object.sv
  3 class if_object extends uvm_object;
…
 10    static if_object me;
 11
```

```
12    static function if_object get();
13       if(me == null) begin
14          me = new("me");
15       end
16       return me;
17    endfunction
18
19    virtual my_if input_vif0;
20    virtual my_if output_vif0;
21    virtual my_if input_vif1;
22    virtual my_if output_vif1;
23 endclass
```

在top_tb中为这个类的interface赋值：

代码清单　10-83

文件：src/ch10/section10.6/10.6.2/top_tb.sv

```
19 module top_tb;
…
57 initial begin
58     if_object if_obj;
59     if_obj = if_object::get();
60     if_obj.input_vif0 = input_if0;
61     if_obj.input_vif1 = input_if1;
62     if_obj.output_vif0 = output_if0;
63     if_obj.output_vif1 = output_if1;
64 end
65
66 endmodule
```

get函数是if_object的一个静态函数，通过它可以得到if_object的一个实例，并对此实例中的interface进行赋值。

在base_test的connect_phase（或build_phase之后的其他任一phase）对所有的interface进行赋值：

代码清单　10-84

文件：src/ch10/section10.6/10.6.2/base_test.sv

```
 28 function void base_test::connect_phase(uvm_phase phase);
 29    if_object if_obj;
 30    if_obj = if_object::get();
 31    v_sqr.p_sqr0 = env0.i_agt.sqr;
 32    v_sqr.p_sqr1 = env1.i_agt.sqr;
 33    env0.i_agt.drv.vif = if_obj.input_vif0;
 34    env0.i_agt.mon.vif = if_obj.input_vif0;
 35    env0.o_agt.mon.vif = if_obj.output_vif0;
 36    env1.i_agt.drv.vif = if_obj.input_vif1;
 37    env1.i_agt.mon.vif = if_obj.input_vif1;
 38    env1.o_agt.mon.vif = if_obj.output_vif1;
 39 endfunction
```

使用上述方式，可以在验证平台中完全避免config_db的使用。

*10.6.3 set函数的第二个参数的检查

无论如何，config_db机制是UVM中一项重要的机制，上节那样完全地不用config_db是走向了另外一个极端。config_db机制的最大问题在于不对set函数的第二个参数进行检查。本节介绍一个函数，可以在一定程度上（并不能检查所有！）实现对第二个参数有效性的检查。读者可以将这个函数加入到自己的验证平台中。

函数的代码如下：

代码清单 10-85

```
文件：src/ch10/section10.6/10.6.3/check_config.sv
112 function void check_all_config();
113     check_config::check_all();
114 endfunction
```

这个全局函数会调用check_config的静态函数check_all：

代码清单 10-86

```
文件：src/ch10/section10.6/10.6.3/check_config.sv
 77     static function void check_all();
 78         uvm_component c;
 79         uvm_resource_pool rp;
 80         uvm_resource_types::rsrc_q_t rq;
```

```
 81       uvm_resource_types::rsrc_q_t q;
 82       uvm_resource_base r;
 83       uvm_resource_types::access_t a;
 84       uvm_line_printer printer;
 85
 86
 87       c = uvm_root::get();
 88       if(!is_inited)
 89          init_uvm_nodes(c);
 90
 91       rp = uvm_resource_pool::get();
 92       q = new;
 93       printer=new();
 94
 95       foreach(rp.rtab[name]) begin
 96          rq = rp.rtab[name];
 97          for(int i = 0; i < rq.size(); ++i) begin
 98             r = rq.get(i);
 99             //$display("r.scope = %s", r.get_scope());
100             if(!path_reachable(r.get_scope)) begin
101                `uvm_error("check_config", "the following config_db::set's path is not reachable
102                r.print(printer);
103                r.print_accessors();
104             end
105          end
106       end
107    endfunction
```

这个函数先根据is_inited的值来调用init_nodes函数，将uvm_nodes联合数组初始化。is_inited和uvm_nodes是check_config的两个静态成员变量：

代码清单　10-87

文件：src/ch10/section10.6/10.6.3/check_config.sv

```
  4 class check_config extends uvm_object;
  5   static uvm_component uvm_nodes[string];
  6   static bit is_inited = 0;
```

在init_nodes函数中使用递归的方式遍历整棵UVM树，并将树上所有的结点加入到uvm_nodes中。uvm_nodes的索引是相应结点的get_full_name的值，而存放的值就是相应结点的指针：

代码清单　10-88

文件：src/ch10/section10.6/10.6.3/check_config.sv

```
 13    static function void init_uvm_nodes(uvm_component c);
 14       uvm_component children[$];
 15       string cname;
 16       uvm_component cn;
 17       uvm_sequencer_base sqr;
 18
 19       is_inited = 1;
 20       if(c != uvm_root::get()) begin
 21          cname = c.get_full_name();
 22          uvm_nodes[cname] = c;
 23          if($cast(sqr, c)) begin
 24             string tmp;
 25             $sformat(tmp, "%s.pre_reset_phase", cname);
 26             uvm_nodes[tmp] = c;
…
```

```
 39              $sformat(tmp, "%s.main_phase", cname);
 40              uvm_nodes[tmp] = c;
…
 47              $sformat(tmp, "%s.post_shutdown_phase", cname);
 48              uvm_nodes[tmp] = c;
 49           end
 50        end
 51        c.get_children(children);
 52        while(children.size() > 0) begin
 53           cn = children.pop_front();
 54           init_uvm_nodes(cn);
 55        end
 56     endfunction
```

初始化的工作只进行一次。当下一次调用此函数时将不会进行初始化。在初始化完成后，check_all函数将会遍历config_db库中的所有记录。对于任一条记录，检查其路径参数，并将这个参数与uvm_nodes中所有的路径参数对比，如果能够匹配，说明这条路径在验证平台中是可达的。这里调用了path_reachable函数：

代码清单　10-89

文件：src/ch10/section10.6/10.6.3/check_config.sv

```
 58     static function bit path_reachable(string scope);
 59        bit err;
 60        int match_num;
 61
 62        match_num = 0;
 63        foreach(uvm_nodes[i]) begin
 64           err = uvm_re_match(scope, i);
 65           if(err) begin
```

```
66              //$display("not_match: name is %s, scope is %s", i, scope);
67           end
68           else begin
69              //$display("match: name is %s, scope is %s", i, scope);
70              match_num++;
71           end
72        end
73
74        return (match_num > 0);
75     endfunction
```

config_db：：set的第二个参数支持通配符，所以path_reachable通过调用uvm_re_match函数来检查路径是否匹配。uvm_re_match是UVM实现的一个函数，它能够检查两条路径是否一样。当uvm_nodes遍历完成后，如果匹配的数量为0，说明路径根本不可达，此时将会给出一个UVM_ERROR的提示。

在UVM中使用很多的是default_sequence的设置：

代码清单　10-90

```
uvm_config_db#(uvm_object_wrapper)::set(this,
                                        "env.i_agt.sqr.main_phase",
                                        "default_sequence",
                                        case0_sequence::type_id::get());
```

在这个设置的第二个参数中出现了main_phase。如果只是将sequencer的get_full_name的结果与这个路径相比，那么

path_reachable函数认为是不匹配的。所以init_nodes函数的第23～49行对于sequencer在其中加入了对各个phase的支持。

由于要遍历整棵UVM树的结点，所以这个check_all_config函数只能在build_phase之后才能被调用，如connect_phase等。

当不匹配时，它会给出一条UVM_ERROR的提示信息，如代码清单10-90中，在i_agt后插入一个空格，它将会给出如下错误提示：

```
UVM_ERROR check_config.sv(101) @ 0: reporter [check_config] the following config_db::set's path is
default_sequence [/^uvm_test_top\.env\.i_agt \.sqr\.main_phase$/] : (class uvm_pkg::uvm_object_wrap
default_sequence: (<unknown>@478) @478
  --------
uvm_test_top reads: 0 @ 0  writes: 1 @ 0
```

这个函数可以在很多地方调用。如在sequence中使用config_db：：set函数后，就可以立即调用这个函数检查有效性。

需要说明的是，这个函数有一些局限，其中之一就是不支持config_db：：set向object传递的参数，如10.5.2节代码清单10-64和代码清单10-65中向my_config传递virtual interface出现错误就不能通过这个函数检查出来。幸运的是，这种传递参数的方式并不多见，出现错误的概率也比较低。

第11章　OVM到UVM的迁移

11.1　对等的迁移

UVM从OVM衍生而来，因此UVM几乎完全继承了OVM的所有特性。从OVM到UVM的迁移，在很大程度上只是ovm前缀到uvm前缀的变更。所有的ovm_xxx宏都可以变更到uvm_xxx宏。ovm_component变更为uvm_component，ovm_object变更为uvm_object。关于前缀的变更，UVM在其发行包中提供了一个名字为ovm2uvm.pl的perl脚本，使用它可以轻松地完成替换。不过通常来说，这个脚本并不完美，使用它替换完成后，总会或多或少的出现一些编译错误。

UVM与OVM的phase名称并不一样。UVM中都是以xxxx_phase命名，但是OVM中并没有_phase的后缀。另外，UVM中在每个phase函数/任务中都有一个类型为uvm_phase、名字为phase的参数，在OVM中则并没有相应的参数。

如3.5.9节所介绍的，OVM中配置参数使用set_config_xxx/get_config_xxx的方式，UVM中依然支持这种设置方式。不过也可以将它们升级为UVM中专用的config_db的形式。

11.2 一些过时的用法

虽然UVM继承了OVM的所有用法，但是在这些用法中，UVM对其中一些进行了升级，从而使得原先的用法过时了。本节讲述这些过时的用法。

*11.2.1 sequence与sequencer的factory机制实现

在某些UVM验证平台中，sequencer的定义采用如下的方式：

代码清单 11-1

文件：src/ch11/section11.2/11.2.1/my_sequencer.sv

```
 4 class my_sequencer extends uvm_sequencer #(my_transaction);
 5
 6     function new(string name, uvm_component parent);
 7         super.new(name, parent);
 8         `uvm_update_sequence_lib_and_item(my_transaction)
 9     endfunction
10
11     `uvm_sequencer_utils(my_sequencer)
12 endclass
```

而sequence的定义使用如下的方式：

代码清单 11-2

文件：src/ch11/section11.2/11.2.1/my_sequencer.sv

```
 3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
 4     my_transaction m_trans;
 5
 6     `uvm_sequence_utils(case0_sequence, my_sequencer)
```

```
…
 21 endclass
```

这两种方式都是继承自OVM的用法。通过使用宏uvm_sequence_utils，除了实现sequence的factory机制注册外，还把每个sequence和sequencer绑定在一起。这种绑定的本质是向my_sequencer内部的一个静态数组中加入了所有的sequence。通过绑定之后，就可以实现从所有sequence中随机选取一个进行执行的功能。这一点类似于6.8节讲述的sequence library，但是功能远远没有sequence library强大。sequence及sequencer注册方式的变更是UVM对OVM最大的改变之一。

如果采用上述的方式进行sequence及sequencer的定义，那么UVM会给出三条警告信息：

```
UVM_WARNING /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/seq/uvm_sequencer_base.svh(1436) @ 0: uvm_test_top.env.i_a
UVM_WARNING /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/seq/uvm_sequencer_base.svh(1436) @ 0: uvm_test_top.env.i_a
UVM_WARNING /home/landy/uvm/uvm-1.1d/src/seq/uvm_sequencer_base.svh(1436) @ 0: uvm_test_top.env.i_a
```

这里的uvm_random_sequence就是实现类似于6.8.2节中UVM_SEQ_LIB_RAND算法的功能。UVM明确地提出这种用法已经过时了。虽然UVM现在依然支持这种老的用法，但是UVM并不保证在将来依然会支持。所以尽量将这种方式升级为2.4节中代码清单2-58和代码清单2-62的注册方式。在这种新的方式中，去除了将sequence加入到sequencer的静态数组的功能，从而不能从所有sequence中随机选择一个进行启动。如果依然想使用这种功能，可以参考6.8节讲述的sequence library。

11.2.2 sequence的启动与uvm_test_done

OVM时代，使用如下的方式设置default_sequence：

代码清单 11-3

```
文件：src/ch11/section11.2/11.2.2/my_case0.sv
 34 function void my_case0::build_phase(uvm_phase phase);
 35     super.build_phase(phase);
 36     set_config_string("env.i_agt.sqr", "default_sequence", "case0_sequence");
 37 endfunction
```

将sequence的名字以字符串的形式传递给sequencer，sequencer根据此名字调用factory机制的creat_object_by_name函数来创建sequence的实例，并执行此sequence。这个过程是在run_phase中进行的，UVM中已经丢弃了这种启动sequence的方式。应该使用6.1.2节中代码清单6-6和代码清单6-7的方式设置default_sequence。

与这种启动sequence的方式相对应的是objection控制机制：

代码清单 11-4

```
文件：src/ch11/section11.2/11.2.2/my_case0.sv
  3 class case0_sequence extends uvm_sequence #(my_transaction);
…
 11     virtual task body();
```

```
12        uvm_test_done.raise_objection(this);
13        repeat (10) begin
14           `uvm_do(m_trans)
15        end
16        #100;
17        uvm_test_done.drop_objection(this);
18     endtask
19
20     `uvm_sequence_utils(case0_sequence, my_sequencer)
21  endclass
```

uvm_test_done是一个全局变量。在OVM时代，由于只有一个run_phase，没有其他如main_phase等动态运行的phase，所以一个uvm_test_done已经足够控制运行了。但是在UVM中，分成了多个动态运行的phase，它们各自有自己的objection控制，所以uvm_test_done已经过时了，应该改用2.4.3节代码清单2-72的starting_phase来控制objection。

*11.2.3 手动调用build_phase

UVM按照phase来控制验证平台的运行，各个phase自动执行，不需要手工的干预。但是，由于各种各样的原因，有一些从OVM继承的代码会出现手工调用build_phase的情况：

代码清单 11-5

```
文件：src/ch11/section11.2/11.2.3/base_test.sv
 18 function void base_test::build_phase(uvm_phase phase);
 19    super.build_phase(phase);
 20    env  =  my_env::type_id::create("env", this);
 21    env.build_phase(phase);
 22 endfunction
```

上述代码中，在实例化env后，手工调用env的build_phase。在OVM时代，这种用法是允许的，不会给出任何错误或者警告信息。但是在UVM环境中，会给出如下的警告信息：

```
UVM_WARNING @ 0: uvm_test_top.env [UVM_DEPRECATED] build()/build_phase() has been called explicitly
```

因此，应该明确去除这种用法。UVM的phase运行机制是自成一体的。这种用法会破坏掉这种自成一体的结构，并可能带来某些不可预知的结果。

这种用法的消除通常并不容易，其出现的原因通常是验证平台的高层（base_test）必须依赖于低层（env）中某些函数或者功能的实现。如想在base_test的build_phase中对env.i_agt中的某个成员变量进行赋值，而i_agt是在env的build_phase中实例化，所以必须在base_test中手动调用env的build_phase。要去除这种用法，需要合理规划整个验证平台中的相关函数的执行时间，没有统一的解决方案。

11.2.4 纯净的UVM环境

除了上面几节讲述的一些过时的用法外，还有另外一些过时的用法。但是那些用法的应用并不多，因此这里不再讲述。

如果想要获得一个纯净的UVM环境，完全丢弃这些过时的用法，可以在编译UVM库的时候加入一个宏UVM_NO_DEPRECATED：

代码清单 11-6

```
`define UVM_NO_DEPRECATED
```

或者使用命令行的方式：

代码清单 11-7

```
<compile command> +define+UVM_NO_DEPRECATED
```

建议读者在搭建自己的验证平台时加入这个宏，以使得自己搭建的验证平台完全符合UVM的规范。

附录A　SystemVerilog使用简介

SystemVerilog是一种面向对象的编程语言。与非面向对象的编程语言（如C语言）相比，面向对象语言最重要的特点是所有的功能都要在类（class）里实现。

A.1 结构体的使用

在非面向对象编程中，最经常使用的就是函数。要实现一个功能，那么就要实现相应的函数。当要实现的功能比较简单时，函数可以轻易地完成目标。如计算一串数据流的CRC校验值，虽然CRC的算法比较复杂，但是完全可以用一个函数实现。但是，当要实现的功能比较复杂时，仅仅使用函数实现会显得比较笨拙。

假设某动物园要实现一个简单的园内动物管理系统，这个系统要具有如下的功能：

· 统计园内所有的动物的信息，如名字、出生年月、类别（是否能飞翔）、每天进食量、是否健康等。

· 打印动物园内所有动物的信息。

要实现上述的这些功能，仅仅考虑如何写函数是不够的，需要考虑如何存储这些信息，即要考虑数据结构。程序设计=算法+数据结构。所以，在程序设计的开始阶段定一个好的数据结构就相当于成功了一半。在程序设计语言中，一般都支持结构体。以C语言为例，可以使用struct声明一个结构体（这个结构体中有些信息的定义并不完善，如生日、类别等，但是作为例子足以说明问题）：

```
struct animal {
   char name[20];
   int  birthday;/*example: 20030910*/
   char category[20];/*example: bird, non_bird*/
   int  food_weight;
   int  is_healthy;
```

```
};
```

当声明了结构体后，可以定义结构变量，并将结构变量作为函数的参数来实现上述功能：

```
void print_animal(struct animal * zoo_member){
   printf("My name is %s\n", zoo_member->name);
   printf("My birthday is %d\n", zoo_member->birthday);
   printf("I am a %s\n", zoo_member->category);
   printf("I could eat %d gram food one day\n", zoo_member->food_weight);
   printf("My healthy status is %d\n", zoo_member->is_healthy);
}
void main()
{
   struct animal members[20];
   strcpy(members[0].name, "parrot");
   members[0].birthday = 20091021;
   strcpy(members[0].category, "bird");
   members[0].food_weight = 20;
   members[0].is_healthy = 1;
   print_animal(&members[0]);
}
```

A.2 从结构体到类

结构体简单地将不同类型的几个数据放在一起，使得它们的集合体具有某种特定的意义。与这个结构体相对应的是一些函数操作（上节中只列出了print_animal函数）。对于这些函数来说，如果没有了结构体变量，它们就无法使用；对于结构体变量来说，如果没有这些函数，那么结构体也没有任何意义。

对于二者间如此亲密的关系，面向对象的开创者们开创出了类（class）的概念。类将结构体和它相应的函数集合在一起，成为一种新的数据组织形式。在这种新的数据组织形式中，有两种成分，一种是来自结构体的数据变量，在类中被称为成员变量；另外一种来自与结构体相对应的函数，被称为一个类的接口：

```
class animal;
   string name;
   int  birthday;/*example: 20030910*/
   string category;/*example: bird, non_bird*/
   int  food_weight;
   int  is_healthy;
   function void print();
      $display("My name is %s", name);
      $display("My birthday is %d", birthday);
      $display("I am a %s", category);
      $display("I could eat %d gram food one day", food_weight);
      $display("My healthy status is %d", is_healthy);
   endfunction
endclass
```

当一个类被定义好后，需要将其实例化才可以使用。当实例化完成后，可以调用其中的函数：

```
initial begin
   animal members[20];
   members[0] = new();
   members[0].name = "parrot";
   members[0].birthday = 20091021;
   members[0].category = "bird";
   members[0].food_weight = 20;
   members[0].is_healthy = 1;
   members[0].print();
end
```

这里使用了new函数。new是一个比较特殊的函数，在类的定义中，没有出现new的定义，但是却可以直接使用它。在面向对象编程的术语中，new被称为构造函数。编程语言会默认提供一个构造函数，所以这里可以不定义而直接使用它。

A.3 类的封装

如果只是将结构体和函数集合在一起，那么类的优势并不明显，面向对象编程也不会如此流行。让面向对象编程流程的原因是类还额外具有一些特征。这些特征是面向对象的精髓。通常来说，类有三大特征：封装、继承和多态。本节讲述封装。

在上节的例子中，animal中所有的成员变量对于外部来说都是可见的，所以在initial语句中可以直接使用直接引用的方式对其进行赋值。这种直接引用的方式在某种情况下是危险的。当不小心将它们改变后，那么可能会引起致命的问题，这有点类似于全局变量。由于对全局是可见的，所以全局变量的值可能被程序的任意部分改变，从而导致一系列的问题。

为了避免这种情况，面向对象的开发者们设计了私有变量（SystemVerilog中为local，其他编程语言各不相同，如private）这一类型。当一个变量被设置为local类型后，那么这个变量就会具有两大特点：

· 此变量只能在类的内部由类的函数/任务进行访问。

· 在类外部使用直接引用的方式进行访问会提示出错。

```
class animal;
   string name;
   local int  birthday;/*example: 20030910*/
   local string category;/*example: bird, non_bird*/
   local int  food_weight;
   local int  is_healthy;
endclass
```

由于不能进行直接引用式的赋值，所以需要在类内部定义一个初始化函数来对类进行初始化：

```
function void init(string iname, int ibirthday, string icategory, int ifood _weight, int iis_healt
    name = iname;
    birthday = ibirthday;
    category = icategory;
    food_weight = ifood_weight;
    is_healthy = iis_healthy;
endfunction
```

除了成员变量可以被定义为local类型外，函数/任务也可以被定义为local类型。这种情况通常用于某些底层函数，如animal有函数A，它会调用函数B。B函数不会也不应被外部调用，这种情况下，就可以将其声明为local类型的：

```
local function void B();
…
endfunction
```

A.4 类的继承

面向对象编程的第二大特征就是继承。在一个动物园中，有两种动物，一种是能飞行的鸟类，一种是不能飞行的爬行动物。假设动物园中有100只鸟类、200只爬行动物。在建立动物园的管理系统时，需要实例化100个animal变量，这100个变量的category都要设置为bird，同时需要实例化200个animal变量，这200个变量的category都要设置为non_bird。100次或者200次做同样一件事情是比较容易出错的。

考虑到这种情况，面向对象编程的开创者们提出了继承的概念。分析所要解决的问题，并找出其中的共性，用这些共性构建一个基类（或者父类）；在此基础上，将问题分类，不同的分类具有各自的共性，使用这些分类的共性构建一个派生类（或者子类）。

一个动物园中所有的动物都可以抽像成上节所示的animal类，在animal类的基础上，派生（继承）出bird类和non_bird类：

```
class bird extends animal;
   function new();
      super.new();
      category = "bird";
   endfunction
endclass
class non_bird extends animal;
   function new();
      super.new();
      category = "non_bird";
   endfunction
```

```
endclass
```

当子类从父类派生后，子类天然地具有了父类所有的特征，父类的成员变量也是子类的成员变量，父类的成员函数同时也是子类的成员函数。除了具有父类所有的特征外，子类还可以有自己额外的成员变量和成员函数，如对于bird类，可以定义自己的fly函数：

```
class bird extends animal;
   function void fly();
…
   endfunction
endclass
```

在上一节中讲述封装时，提到了local类型成员变量。如果一个变量是local类型的，那么它是不能被外部直接访问的。如果父类中某成员变量是local类型，那么子类是否可以使用这些变量？答案是否定的。对于父类来说，子类算是“外人”，只是算是比较特殊的“外人”而已。如果想访问父类中的成员变量，同时又不想让这些成员变量被外部访问，那么可以将这些变量声明为protected类型：

```
class animal;
   string name;
   protected int  birthday;/*example: 20030910*/
   protected string category;/*example: bird, non_bird*/
   protected int  food_weight;
   protected int  is_healthy;
endclass
```

与local类似，protected关键字同样可以应用于函数/任务中，这里不再举例。

A.5 类的多态

多态是面向对象编程中最神奇的一个特征，但是同时也是最难理解的一个特征。对于初学者来说，可以暂且跳过本节。当对SystemVerilog有一定使用经验时再过来看本节，效果会更好。

假设在animal中有函数print_homehown：

```
class animal;
   function void print_hometown();
      $display("my hometown is on the earth!");
   endfunction
endclass
```

同时，在bird和non_bird类中也有自己的print_hometown函数：

```
class bird extends animal;
   function void print_hometown();
      $display("my hometown is in sky!");
   endfunction
endclass
class non_bird extends animal;
   function void print_hometown();
      $display("my hometown is on the land!");
   endfunction
endclass
```

现在，有一个名字为print_animal的函数：

```
function automatic void print_animal(animal p_animal);
   p_animal.print();
   p_animal.print_hometown();
endfunction
```

print_animal的参数是一个animal类型的指针，如果实例化了一个bird，并且将其传递给print_animal函数，这样做是完全允许的，因为bird是从animal派生的，所以bird本质上是个animal：

```
initial begin
   bird members[20];
   members[0] = new();
   members[0].init("parrot", 20091021, "bird", 20, 1);
   print_animal(members[0]);
end
```

只是，这样打印出来的结果是“my hometown is on the earth！”，而期望的结果是“my hometown is in sky！”。如果要想得到正确的结果，那么在print_animal函数中调用print_hometown之前要进行类型转换：

```
function automatic void print_animal2(animal p_animal);
   bird p_bird;
   non_bird p_nbird;
   p_animal.print();
   if($cast(p_bird, p_animal))
```

```
      p_bird.print_hometown();
   else if($cast(p_nbird, p_animal))
      p_nbird.print_hometown();
endfunction
```

如果将members[0]作为参数传递给此函数，那么可以得到期待的结果。cast是一个类型转换函数。从animal向bird或者non_bird类型的转换是父类向子类的类型转换，这种类型转换必须通过cast来完成。但是反过来，子类向父类的类型转换可以由系统自动完成，如调用print_animal时，members[0]是bird类型的，系统自动将其转换成animal类型。

但是print_animal2的作法显得非常复杂，并且代码的可重用性不高。现在只有bird和non_bird类型，如果再多加一种类型，那么就需要重新修改这个函数。在调用print_animal和print_animal2时，传递给它们的members[0]本身是bird类型的，那么有没有一种方法可以自动调用bird的print_hometown函数呢？这个问题的答案就是虚函数。

在animal、bird、non_bird中分别定义print_hometown2函数，只是在定义时其前面要加上virtual关键字：

```
class animal;
   virtual function void print_hometown2();
      $display("my hometown is on the earth!");
   endfunction
endclass
class bird extends animal;
   virtual function void print_hometown2();
      $display("my hometown is in sky!");
   endfunction
endclass
class non_bird extends animal;
```

```
   virtual function void print_hometown2();
      $display("my hometown is on the land!");
   endfunction
endclass
```

在print_animal3中调用此函数：

```
function automatic void print_animal3(animal p_animal);
   p_animal.print();
   p_animal.print_hometown2();
endfunction
```

在initial语句中将members[0]传递给此函数后，打印出的结果就是“my hometown is in sky！”，这正是想要的结果。如果在initial中实例化了一个non_bird，并将其传递给print_animal3：

```
initial begin
   non_bird members[20];
   members[0] = new();
   members[0].init("tiger", 20091101, "non_bird", 2000, 1);
   print_animal(members[0]);
end
```

那么打印出的结果就是“my hometown is on the land！”。在print_animal3中，同样都是调用print_hometown2函数，但是输出的结果却不同，表现出不同的形态，这就是多态。多态的实现要依赖于虚函数，普通的函数，如print_hometown是不能实现多态

的。

A.6 randomize与constraint

SystemVerilog是一门用于验证的语言。验证中，很重要的一条是能够产生一些随机的激励。为此，SystemVerilog为所有的类定义了randomize方法：

```
class animal;
   bit [10:0] kind;
   rand bit[5:0] data;
   rand int addr;
endclass
initial begin
   animal aml;
   aml = new();
   assert(aml.randomize());
end
```

在一个类中只有定义为rand类型的字段才会在调用randomize方法时进行随机化。上面的定义中，data和addr会随机化为一个随机值，而kind在randomize被调用后，依然是默认值0。

与randomize对应的是constraint。constraint是SystemVerilog中非常有特色也是非常有用的一个功能。在不加任何约束的情况下，上述animal中的data经过随机化后，其值为0～'h3F中的任一值。可以定义一个constraint对其值进行约束：

```
class animal;
   rand bit[5:0] data;
```

```
    constraint data_cons{
      data > 10;
      data < 30;
    }
endclass
```

经过上述约束后，data在随机时，其值将会介于10～30之间。

除了在类的定义时对数据进行约束外，还可以在调用randomize时对数据进行约束：

```
initial begin
    animal aml;
    aml = new();
    assert(aml.randomize() with {data > 10; data < 30;});
end
```

附录B　DUT代码清单

带双路输入输出端口的DUT：

代码清单　B-1

文件：src/ch6/section6.5/dut/dut.sv

```
 1 module dut(clk,
 2            rst_n,
 3            rxd0,
 4            rx_dv0,
 5            rxd1,
 6            rx_dv1,
 7            txd0,
 8            tx_en0,
 9            txd1,
10            tx_en1);
11 input clk;
12 input rst_n;
13 input[7:0] rxd0;
14 input rx_dv0;
15 input[7:0] rxd1;
16 input rx_dv1;
17 output [7:0] txd0;
18 output tx_en0;
19 output [7:0] txd1;
20 output tx_en1;
21
22 reg[7:0] txd0;
23 reg tx_en0;
```

```
24 reg[7:0] txd1;
25 reg tx_en1;
26
27 always @(posedge clk) begin
28     if(!rst_n) begin
29      txd0 <= 8'b0;
30      tx_en0 <= 1'b0;
31      txd1 <= 8'b0;
32      tx_en1 <= 1'b0;
33     end
34     else begin
35      txd0 <= rxd0;
36      tx_en0 <= rx_dv0;
37      txd1 <= rxd1;
38      tx_en1 <= rx_dv1;
39     end
40 end
41 endmodule
```

带寄存器配置总线的DUT：

代码清单　B-2

文件：src/ch7/dut/dut.sv

```
  1 module dut(clk,rst_n,bus_cmd_valid,bus_op,bus_addr,bus_wr_data,bus_rd_dat a,rxd,rx_dv,txd,tx_er
  2 input         clk;
  3 input         rst_n;
  4 input         bus_cmd_valid;
  5 input         bus_op;
  6 input  [15:0] bus_addr;
  7 input  [15:0] bus_wr_data;
```

```
 8 output [15:0] bus_rd_data;
 9 input  [7:0]  rxd;
10 input        rx_dv;
11 output [7:0]  txd;
12 output       tx_en;
13
14 reg[7:0] txd;
15 reg tx_en;
16 reg invert;
17
18 always @(posedge clk) begin
19    if(!rst_n) begin
20        txd <= 8'b0;
21        tx_en <= 1'b0;
22    end
23    else if(invert) begin
24        txd <= ~rxd;
25        tx_en <= rx_dv;
26    end
27    else begin
28        txd <= rxd;
29        tx_en <= rx_dv;
30    end
31 end
32
33 always @(posedge clk) begin
34    if(!rst_n)
35       invert <= 1'b0;
36    else if(bus_cmd_valid && bus_op) begin
37       case(bus_addr)
38          16'h9: begin
39            invert <= bus_wr_data[0];
40           end
41           default: begin
```

```
42            end
43        endcase
44    end
45 end
46
47 reg [15:0]  bus_rd_data;
48 always @(posedge clk) begin
49    if(!rst_n)
50       bus_rd_data <= 16'b0;
51    else if(bus_cmd_valid && !bus_op) begin
52       case(bus_addr)
53          16'h9: begin
54             bus_rd_data <= {15'b0, invert};
55          end
56          default: begin
57             bus_rd_data <= 16'b0;
58          end
59       endcase
60    end
61 end
62
63 endmodule
```

带计数器的DUT：

代码清单　B-3

文件：src/ch7/section7.3/dut/dut.sv

```
1 module cadder(
2       input  [15:0] augend,
3       input  [15:0] addend,
```

```
 4       output [16:0] result);
 5 assign result = {1'b0, augend} + {1'b0, addend};
 6 endmodule
 7
 8 module dut(clk,
 9             rst_n,
10             bus_cmd_valid,
11             bus_op,
12             bus_addr,
13             bus_wr_data,
14             bus_rd_data,
15             rxd,
16             rx_dv,
17             txd,
18             tx_en);
19 input           clk;
20 input           rst_n;
21 input           bus_cmd_valid;
22 input           bus_op;
23 input  [15:0]    bus_addr;
24 input  [15:0]    bus_wr_data;
25 output [15:0]    bus_rd_data;
26 input  [7:0]     rxd;
27 input           rx_dv;
28 output [7:0]     txd;
29 output          tx_en;
30
31 reg[7:0] txd;
32 reg tx_en;
33 reg invert;
34
35 always @(posedge clk) begin
36     if(!rst_n) begin
37      txd <= 8'b0;
```

```
38      tx_en <= 1'b0;
39     end
40     else if(invert) begin
41      txd <= ~rxd;
42      tx_en <= rx_dv;
43     end
44     else begin
45      txd <= rxd;
46      tx_en <= rx_dv;
47     end
48 end
49
50 reg [31:0]  counter;
51 wire [16:0] counter_low_result;
52 wire [16:0] counter_high_result;
53 cadder low_adder(
54      .augend(counter[15:0]),
55      .addend(16'h1),
56      .result(counter_low_result));
57 cadder high_adder(
58      .augend(counter[31:16]),
59      .addend(16'h1),
60      .result(counter_high_result));
61
62 always @(posedge clk) begin
63    if(!rst_n)
64       counter[15:0] <= 16'h0;
65    else if(rx_dv) begin
66       counter[15:0] <= counter_low_result[15:0];
67    end
68 end
69
70 always @(posedge clk) begin
71    if(!rst_n)
```

```
 72       counter[31:16] <= 16'h0;
 73    else if(counter_low_result[16]) begin
 74      counter[31:16] <= counter_high_result[15:0];
 75    end
 76 end
 77
 78 always @(posedge clk) begin
 79    if(!rst_n)
 80      invert <= 1'b0;
 81    else if(bus_cmd_valid && bus_op) begin
 82       case(bus_addr)
 83          16'h5: begin
 84            if(bus_wr_data[0] == 1'b1)
 85               counter <= 32'h0;
 86          end
 87          16'h6: begin
 88            if(bus_wr_data[0] == 1'b1)
 89               counter <= 32'h0;
 90          end
 91          16'h9: begin
 92            invert <= bus_wr_data[0];
 93          end
 94          default: begin
 95          end
 96       endcase
 97    end
 98 end
 99
100 reg [15:0]  bus_rd_data;
101 always @(posedge clk) begin
102    if(!rst_n)
103       bus_rd_data <= 16'b0;
104    else if(bus_cmd_valid && !bus_op) begin
105      case(bus_addr)
```

```
106          16'h5: begin
107             bus_rd_data <= counter[31:16];
108          end
109          16'h6: begin
110             bus_rd_data <= counter[15:0];
111          end
112          16'h9: begin
113             bus_rd_data <= {15'b0, invert};
114          end
115          default: begin
116             bus_rd_data <= 16'b0;
117          end
118       endcase
119    end
120 end
121
122 endmodule
```

附录C　UVM命令行参数汇总

这里的命令行参数指的是运行时的命令行参数，而不是编译时的命令行参数。

打印出所有的命令行参数：

```
<sim command> +UVM_DUMP_CMDLINE_ARGS
```

指定运行测试用例的名称：

```
<sim command> +UVM_TESTNAME=<class name>
```

如：

```
<sim command> +UVM_TESTNAME=my_case0
```

在命令行中设置冗余度阈值：

```
<sim command> +UVM_VERBOSITY=<verbosity>
```

如：

```
<sim command> +UVM_VERBOSITY=UVM_HIGH
```

详见3.4.1节。

设置打印信息的不同行为：

```
<sim command> +uvm_set_action=<comp>,<id>,<severity>,<action>
```

如：

```
<sim command> +uvm_set_action="uvm_test_top.env.i_agt.drv,my_driver,UVM_WARNI NG,UVM_DISPLAY|UVM_CO
```

详见3.4.4、3.4.5节。

重载冗余度：

```
<sim command> +uvm_set_severity=<comp>,<id>,<current severity>,<new severity>
```

如：

```
<sim command> +uvm_set_severity="uvm_test_top.env.i_agt.drv,my_driver,UVM_WAR NING,UVM_ERROR"
```

详见3.4.2节。

设置全局的超时时间：

```
<sim command> +UVM_TIMEOUT=<timeout>,<overridable>~
```

如：

```
<sim command> +UVM_TIMEOUT="300ns, YES"
```

详见5.1.10节。

ERROR到达一定数量退出仿真：

```
<sim command> +UVM_MAX_QUIT_COUNT=<count>,<overridable>
```

如：

```
<sim command> +UVM_MAX_QUIT_COUNT=6,NO
```

详见3.4.3节。

打开phase的调试功能：

```
<sim command> +UVM_PHASE_TRACE
```

详见5.1.9节。

打开objection的调试功能：

```
<sim command> +UVM_OBJECTION_TRACE
```

详见5.2.5节。

打开config_db的调试功能：

```
<sim command> +UVM_CONFIG_DB_TRACE
```

详见3.5.10节。

打开resource_db的调试功能：

```
<sim command> +UVM_RESOURCE_DB_TRACE
```

使用factory机制重载某个实例：

```
<sim command> +uvm_set_inst_override=<req_type>,<override_type>,<full_inst_pa th>
```

如：

```
<sim command> +uvm_set_inst_override="my_monitor,new_monitor,uvm_test_top.en v.o_agt.mon"
```

详见8.2.3节。

类型重载：

```
<sim command> +uvm_set_type_override=<req_type>,<override_type>[,<replace>]
```

如：

```
<sim command> +uvm_set_type_override="my_monitor,new_monitor"
```

第三个参数只能为0或者1，默认情况下为1。详见8.2.3节。

在命令行中使用set_config：

```
<sim command> +uvm_set_config_int=<comp>,<field>,<value>
<sim command> +uvm_set_config_string=<comp>,<field>,<value>
```

如：

```
<sim command> +uvm_set_config_int="uvm_test_top.env.i_agt.drv,pre_num,'h8"
```

详见3.5.9节。

附录D　UVM常用宏汇总

宏与附录B介绍的运行时命令行参数不同。它有两种定义方式，一是直接在源文件中中使用define进行定义：

```
`define MACRO
```

或者：

```
`define MACRO 100
```

二是在编译时的命令行中使用如下的方式：

```
<compile command> +define+MACRO
```

或者：

```
<compile command> +define+MACRO=100
```

扩展寄存器模型中的数据位宽：

```
`define UVM_REG_DATA_WIDTH 128
```

详见7.7.4节代码清单7-68。

扩展寄存器模型中的地址位宽：

```
`define UVM_REG_ADDR_WIDTH 64
```

详见7.7.4节代码清单7-69。

自定义字选择（byteenable）位宽：

```
`define UVM_REG_BYTENABLE_WIDTH 8
```

详见7.7.4节代码清单7-70。

去除OVM中过时的用法，使用纯净的UVM环境：

```
`define UVM_NO_DEPRECATED
```

除了上述通用的宏外，针对不同的仿真工具需要定义不同的宏：QUESTA、VCS、INCA分别对应Mentor、Synopsys和Cadence

公司的仿真工具。UVM的源代码分为两部分，一部分是SystemVerilog代码，另外一部分是C/C++。这两部分代码在各自编译时需要分别定义各自的宏。