

硬件系统软件模拟的实现方法

周桂衡

(中山大学 计算机科学系 033511120 广州 510275)

摘 要：对虚拟机的概念及运行机制进行了介绍，比较了硬件与软件实现的优缺点，并给出了对硬件系统进行软件模拟的实现方法。把模拟的实现分为不同层面，分别为芯片级的模拟、指令系统的模拟以及软件界面的模拟。

关键词：软件模拟；逻辑功能等效性；虚拟机；芯片模拟

1. 引言

在日常应用中，我们经常会遇到这种情况：硬件的功能无法满足我们的需要、硬件的费用超出我们的可承受范围以及硬件系统的庞大使得其无法像一张光盘一样随身携带。也就是说，硬件系统有以下缺陷：①升级费用高；②故障率高且维护困难；③功能不易扩充。

对于硬件系统的有些不足，可以通过硬件上的一些改进来支持，但硬件实现起来成本高，使得升级费用高等不足更加突出。因此，有必要寻求一种较好的解决方案。

根据计算机软硬件逻辑功能等效性原理，使用软件模拟硬件，不失为一种可行方案。使用软件模拟，可以用很低的成本实现同样成本不可能实现的硬件功能，且软件本身不可能出故障，特别是可以根据需要增加各种功能。从软件模拟的种种优势可以看到，软件模拟技术在平常应用上特别是在教学中具有很高的实用价值。

2. 虚拟机介绍

对硬件系统的模拟最综合难度最大的是虚拟机。虚拟机（VM）是支持多操作系统并行运行在单个物理服务器上的一种系统，能够提供更加有效的底层硬件使用。在虚拟机中，中央处理器芯片从系统其它部分划分出一段存储区域，操作系统和应用程序运行在“保护模式”环境下。如果在某虚拟机中出现程序冻结现象，这并不会影响运行在虚拟机外的程序操作和操作系统的正常工作。

在真实计算机系统中，操作系统组成中的设备驱动控制硬件资源，负责将系统指令转化成特定设备控制语言。在假设设备所有权独立的情况下形成驱动，这就使得单个计算机上不能并发运行多个操作系统。虚拟机则包含了克服该局限性的技术。虚拟化过程引入了低层设备资源重定向交互作用，而不会影响高层应用层。通过虚拟机，客户可以在单个计算机上并发运行多个操作系统。

虚拟机具有四种体系结构。第一种为“一对一映射”，其中以 IBM 虚拟机最为典型。第二种由机器虚拟指令映射构成，其中以 Java 虚拟机最为典型。第三种为 Unix 虚拟机模型，第四种为 OSI 虚拟机模型。Unix 虚拟机模型和 OSI 虚拟机模型可以直接映射部分指令，而其它的可以直接调用操作系统功能。

目前最有名的 x86 虚拟机软件是 Connectix 公司的 Virtual PC（已被微软收购）和 VMware 公司的 VMware Workstation。它们都是基于 OSI 虚拟机结构，每个虚拟机由一组虚拟化设备构成，其中每个虚拟机都有对应的虚拟硬件。

3. 软件模拟的实现方法

3.1 实现方法概述

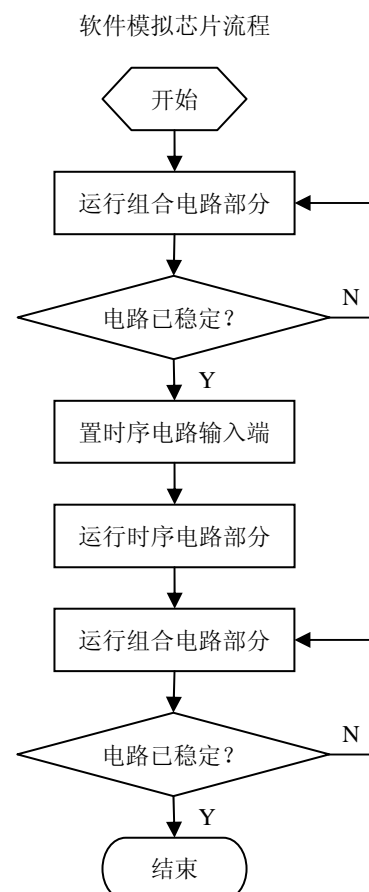
对一个硬件系统进行软件模拟，有不同的实现方法。可以只模拟最底层的功能，即芯片级的功能。这样子软件界面可以直接使用原来的软件界面，只要处理好接口问题。VMware 和 Virtual PC 都是使用这种方法，在芯片级上模拟了 CPU、显卡、声卡、主板芯片等完整的 x86 架构的计算机硬件系统，因此可以在虚拟机中直接安装操作系统。另外一种方法是软硬件一起整合模拟，这种方法可以灵活地对软件界面进行设计，并可以直接在软件部分增加一些功能而不需要改动硬件模拟部分，特别值得一提的是，这种方法速度比第一种方法要快很多。但这种方法实现起来难度大，工作量也大。在应用中，如果是对整台电脑进行虚拟，这方法是不可能的，这样相当于重写一个操作系统，显然不可能也没必要，因此只能用第一种方法。而如果只是对一些较简单的硬件进行模拟，则这种方法则有很多可取之处，因为实现起来并不难，速度又快。

3.2 芯片级的模拟

根据软硬件逻辑功能等效性原理，芯片上可以实现的功能，我们都可以用软件来实现。由于软件设计使用的是高级语言，在实现一些逻辑功能时显示尤为方便。很多时候，硬件需要很多芯片联合才能完成的功能，软件只需要一个模块就可以胜任。软件模拟低成本的优势在这里体现得淋漓尽致。

为了实现芯片级的模拟，根据电路的特性，可以得到这样一种软件设计方法：

把电路分为组合电路和时序电路部分，组合电路包括各种不需要脉冲的组合芯片（如控制器等）以及一些复杂芯片中的组合电路部分（如运算器），时序电路包括了所有需要脉冲的芯片（如寄存器）。在软件模拟时，对组合电路中的每一个芯片模块使



用变量进行数据传输（一个变量相当于一条接线）。软件运行时，每个时钟周期按以下规则运行：

- ① 把每一个组合模块都运行一次，在运行组合模块时不需要考虑各模块间的运行次序
- ② 检测这些组合模块中是否有某些模块改变了输出变量的值，如果有，则转①，否则说明所有输出变量的值已稳定，即整个电路状态已稳定。^[注]
- ③ 置所有时序电路模块的输入端为相应连线上的值
- ④ 运行所有时序电路模块一次。
- ⑤ 时序电路运行后连线上的值可能已改变，重新执行步骤①和②，使电路再次稳定。

[注]如果芯片间的连接正常，电路总是可以达到稳定的。

不论是怎样的电路，都可以使用这种方法来实现，尤其是一些很复杂的电路，如果采用这种方法，将会大大减少对芯片间关联的分析（有些复杂电路几乎不可能分析出结果）。对一些结构不是很复杂的电路，为了加快速度，可以根据组合电路模块间的逻辑关系，为组合电路模块安排了一个合理的顺序，使得各个模块的运行次数尽可能的少。

3.3 指令系统的模拟

显然，芯片的模拟已经包含了对微指令的模拟，对一条指令，我们可以使用模拟芯片来执行其对应的微指令。这种方法的好处是兼容性强，不依赖于具体的运行平台，而且实现起来简单，但这种方法速度慢。为了克服速度慢的问题，可以只映射部分指令，其它和运行平台兼容的指令可以直接调用支持模拟软件运行的硬件系统的指令系统。这种方法被大多基于 x86 架构的虚拟机所采用。

3.4 软件界面的模拟

这里的软件界面是指呈现给用户使用，与用户进行交互的界面。对于软件界面，我们可以直接利用虚拟机模拟芯片的功能，通过虚拟机中安装的软件来完成这一工作。这种方法适用对兼容性要求很高，对速度要求不高，需要可以在虚拟机上运行不同操作系统的场合，是最通用的方法。但这种方法速度很慢，当软件模拟的不是一台虚拟机而是比较简单的硬件系统，如 TEC-2 实验系统，则应该使用芯片级和软件界面一起模拟。这种方法适合软件界面固定、功能较单一的硬件系统。

对软件界面进行模拟，我们可以在软件中方便地加入自己需要的功能，可以对原硬件系统的配套软件存在的问题进行修正。为了实现软件界面的模拟，需要了解原配套软件的所有功能，根据实现这些功能时所需要呈现的界面，在模拟软件中直接整合同样的功能。

4. 模拟软件的测试

要一个刚完成的模拟软件，我们首先应该对其中的模拟芯片进行全面的逻辑功能测

试，对每一个芯片可能出现的情况都进行考虑，芯片之间的配合与数据传输也应该尽可能全面地测试。测试的过程可以根据电路图进行，特别是要处理好芯片间的连接，使得不管什么情况电路都可以正常地稳定下来。

其次，在模拟芯片正确的基础上，我们应该对其微指令系统、指令系统、出错处理、中断响应等进行全面的测试。

5. 模拟软件的应用

模拟软件可以应用在很多方面，如用于软件环境测试、整合多种服务。在教学上，利用虚拟机进行教学可以达到事半功倍的效果。软件模拟可以动态地给出各指令的内部执行过程，可以加深学生对计算机原理的理解，在不增加或很少增加现有资源的情况下获得更多的回报。

6. 结语

硬件系统软件模拟技术有着广阔的应用前景和发展空间，在这个信息化社会，软件技术的发展使得没有什么是电脑做不到的，特别是虚拟现实技术，突破了人们对世界的认识。连自身所在的环境都可以虚拟，还有什么是不可能的呢？引用博客网上的一句话：That all computers can simulate each other is an immediate consequence of the theoretical work of Alan Turing and Alonzo Church.（所有计算机能够互相模拟，这是阿兰·图林和奥隆索·乔奇理论工作的直接结论。）

[参考文献]

1. 《对虚拟机的经典介绍》http://www.xuniji.com/article_view.asp?id=13
2. 《Java 虚拟机体系结构概述》<http://www.zahui.com/html/6/12071.htm>
3. 毛速 《宁夏工程技术·虚拟机的应用》 2003/6 第二卷第二期