

# 网络虚拟实验室仪器建模分析与设计

陈爱网<sup>1</sup>, 丁振国<sup>2</sup>, 刘杰<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077;

2. 西安电子科技大学 网络与继续教育学院, 陕西 西安 710071)

**摘要:**重点分析了网络虚拟实验仪器的建模方法, 包括仪器结构模型、端口结构模型以及仪器间交互控制关系模型。仪器结构模型分为原子仪器模型和复合仪器模型两大类, 复合仪器模型由原子仪器模型通过某种特定的连接关系组合而成。端口结构模型是仪器完成自身功能的输入输出接口, 也是仪器间进行交互的信息传输通道。仪器间交互控制关系模型管理一组实验中具有关联关系仪器之间的信息交互, 协调控制整个实验的运行。

**关键词:**原子仪器模型; 复合仪器模型; 消息; 端口; 交互控制关系模型

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2009)07-0195-04

## Analysis and Design of Instrument Model in Web-Based Virtual Laboratory

CHEN Ai-wang<sup>1</sup>, DING Zhen-guo<sup>2</sup>, LIU Jie<sup>2</sup>

(1. Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China;

2. College of Network Education, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** Focuses on the analysis of the methods of instrument modeling in Web-based virtual laboratory. These models contain structural model of instrument, port and interactive control model between instruments. The structural model of instrument is divided into atomic instrument model and compound instrument model, compound instrument model is composed of atomic models by a specified connection. The structural model of port is an in-out interface to complete its own function and a channel used for transmitting information between instruments interacting. Interactive control model between instruments manages the information interaction between relative instruments in a set of experiments, coordinates and controls the run of the entire experiment.

**Key words:** atomic instrument model; compound instrument model; message; port; interactive control model

## 0 引言

随着互联网技术的成熟与发展, 有关网络虚拟实验及虚拟仪器等方面的研究层出不穷, 不断深入。虚拟实验室的开发和应用给各科研院所产品研发和实验教学等方面带来翻天覆地的变化, 大大降低了实验成本, 最大限度地摆脱了实验场地的限制, 提高了实验效率。

作为虚拟实验系统组成部分之一的虚拟仪器<sup>[1-3]</sup>无疑是整个系统中最为核心的一环。根据虚拟仪器的组成及其结构特征, 可以将虚拟仪器分为原子仪器和复合仪器两大类。复合仪器是由多个多种原子仪器所

组成的, 原子仪器是整个虚拟实验系统的基础。在虚拟实验系统中, 仪器与仪器之间的交互控制主要是通过消息传递机制<sup>[1,4,5]</sup>来完成。

文中主要是设计一种虚拟仪器建模方案, 使建立的虚拟仪器模型具备很好的独立性、可重用性及可扩展性, 同时利用消息传递机制解决仪器之间的交互问题, 大大提高虚拟实验系统的可用性及易用性。

笔者将以电类实验为基础从仪器结构模型以及仪器交互控制模型两方面进行分析并设计出相应的建模方案<sup>[6]</sup>。

## 1 原子仪器

原子仪器模型是组成虚拟实验系统的最基本的单元, 也是复合仪器的基本组成部分。

### 1.1 原子仪器结构模型

其模型结构如图1所示<sup>[1,7]</sup>。

收稿日期: 2008-11-05; 修回日期: 2009-01-23

基金项目: 国家863计划项目(2004AAS1Z2520-1)

作者简介: 陈爱网(1980-), 男, 江苏泰州人, 硕士研究生, 研究方向为计算机网络与信息处理; 丁振国, 教授, 博士, 研究方向为计算机网络与信息处理。

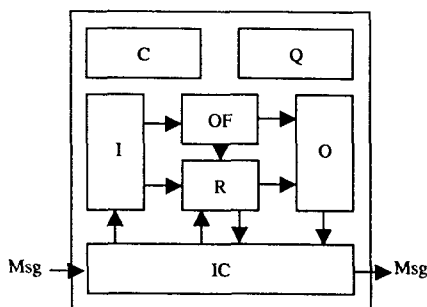


图 1 原子仪器结构模型

原子仪器模型描述如下：

$$\text{AEM} = \{C, Q, I, O, OF, R, IC\}$$

其中：

C 标识仪器外部特征，主要是描述该仪器的外形特征、端口数量等。

Q 标识仪器属性，描述该仪器所有属性。其结构为：属性名称 + 属性通用符号 + 属性描述 + 量化值 + 量化单位。如电阻的属性表示为：电阻 + R + 某些会阻碍电流效应的属性 + 50 +  $\Omega$ 。

I 标识仪器输入端口，对该仪器的所有输入端口进行描述。输入端口负责接受 IC（交互控制器）传递过来的值，交给仪器模型 OF（输入输出仿真运算功能模块）模块进行处理。输入端口的结构模型可以表示为：

I-PortID	Name	AEMID	Values
----------	------	-------	--------

其中，I-PortID 为该输入端口的端口号；Name 为该输入端口的名称；AEMID 为该输入端口所属的原子仪器编号；Values 为该输入端口值的值域范围。

O 为仪器输出端口，对该仪器的所有输出端口进行描述。输出端口负责向 IC（交互控制器）传递需要向其他仪器输入端口传递的值。输出端口的结构模型与输入端口模型基本相似，在输入端口模型的基础上增加了仿真计算表达式。输出端口的结构模型可表示为：

O-PortID	N	AEMID	Values	E
----------	---	-------	--------	---

其中，O-PortID 为该输出端口的端口号；N (Name) 为该输出端口的名称；AEMID 为该输出端口所属的原子仪器编号；Values 为该输出端口值得值域范围；E (Expression) 为该输出端口仿真计算表达式，每个输出端口对应一种或多种仿真计算表达式，仿真计算表达式可表示为： $F(O_j) = f(I_1, I_2, \dots, I_i, \dots)$ 。

OF 为输入输出仿真运算功能模块，主要是根据仪器的仿真计算关系表达式计算不同输入的相应输出，是原子仪器模型的核心模块。

R 为仪器响应控制集，根据对仪器的不同操作、不

同的仿真计算结果或者影响仪器响应规则的输入，依据响应规则，得到相应的响应，控制仪器的形态、给出容错结论以及输出其他仪器的响应控制输入等。

IC 原子仪器交互控制器，接收和发送仪器间交互控制数据，利用消息进行交互控制。

## 1.2 原子仪器交互控制器

仪器交互控制器是通过消息<sup>[1,8,9]</sup>传递机制来控制仪器之间交互控制关系的。任一时刻，一个设备对象总是处在某个状态，一个状态对应着两个连续消息到来之间的时间间隔。对象由于收到某个消息且根据一些条件而发生状态变化，对象在收到一个消息时，可能会随之产生一些操作，这称为行为，这些操作是通过一系列的设备功能来实现的。

### 1.2.1 消息格式

根据系统需求，设计如下消息格式 (Msg)：

F	S	N	D	C	T	Pr	W	Contents	F
---	---	---	---	---	---	----	---	----------	---

其中：

F 为同步域，占一个字节， $F = 01111110$ ，标识消息的起始和终止。

S 是消息发送端口，长度为两个字节。格式：发送仪器编号：发送端口编号，发送仪器编号和发送端口编号各占一个字节。

N 为该消息接收端口的数量，长度为一个字节。

D 表示消息的接收端口，长度为  $2n$  个字节， $n$  为接收端口的数量。格式：接收仪器编号：接收端口编号，接收仪器编号和接收端口编号各占一个字节。消息的接收者可以是多个仪器的多个端口。

C 为消息控制域，占一个 bit 位。0 代表响应控制消息，接收消息的原子仪器根据响应内容作出相应的响应，此时不需要启动输入输出仿真运算功能模块；1 代表参数传递消息，接收消息的原子仪器输入端口获得相应数值，提供给输入输出仿真运算功能模块进行仿真运算。

T 指消息的发送时间，长度为 3 字节。格式为：分钟：秒：毫秒，分钟占 7bit，秒占 7bit，毫秒占 10bit，系统消息处理控制引擎根据发送时间处理同级别的消息。

P 为消息的优先级，长度为 1 字节，优先级值越大其优先权越高。格式为：PPPPRRRR，PPPP 指消息的初始优先级，RRRR 为消息等待加权级别，RRRR 初始值为 0，消息的优先级为 PPPP 与 RRRR 的和。系统消息处理控制引擎根据优先级处理同时提出处理请求的消息。对于等待队列中的待处理消息，也是按照优先级考虑其处理先后顺序。

W 指等待间隔，占一个字节，单位为毫秒。消息

发送出去后,如果进入消息等待队列,当等待处理时间超过等待间隔,其优先级中消息等待加权级别就会自动+1,直到处理该消息为止,一旦该消息被处理,RRRR恢复初始设置值0。主要是防止出现某些初始优先级较低的消息长时间等待的现象。

Contents为消息传递的内容,长度为任意长,是消息的最重要的组成部分,使系统能够正确运行的基础。

### 1.2.2 交互控制关系模型

仪器之间消息的传递需要管理,可以将消息的中转交给系统消息处理控制引擎进行统一处理,这样可以大大降低仪器交互控制难度。

整个系统仪器间的交互控制过程由系统消息处理控制引擎和仪器交互控制器协同完成。仪器的交互控制器通过接收系统消息处理控制引擎传递过来的消息,将值传到相应的端口,或者将要传递给其他仪器端口的值合成消息传递给系统消息处理控制引擎处理。

仪器交互控制关系模型如图2所示。

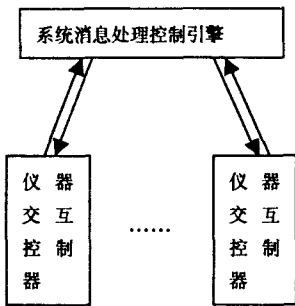


图2 仪器交互控制关系模型

交互控制关系模型工作过程分为三部分:消息的生成、消息的传递和消息的接收。

消息的生成主要是利用仪器的交互控制器将相关输出参数及接收仪器端口等信息合成需发送的信息,交由系统消息处理控制引擎处理。

消息的传递主要是系统消息处理控制引擎根据仪器发送消息的相关接收仪器的端口信息及相关消息传递规则将消息传递给接收仪器的交互控制器处理。

消息的接收主要是接收仪器交互控制器接收到消息后,将其分解,把相关信息提交给接收设备的相应端口进行处理。

## 2 复合仪器

复合仪器是由原子仪器通过特定的连接关系组合而成的,既具有原有原子仪器的某些特点及功能又具有新的组合特点及功能。

复合仪器模型建立方法有两种:一是将复合仪器模型按照原子模型方法来建立,将其看成是一种功能相对比较复杂的新的原子仪器,对其内部不进行详细

分析,只关注其输入输出关系,这种建模方法同原子仪器模型建模方法;二是将复合仪器内部结构及连接关系作为一个局部实验来管理。下面按照这种思路对虚拟复合仪器进行建模。

### 2.1 复合仪器模型

其模型结构如图3所示。

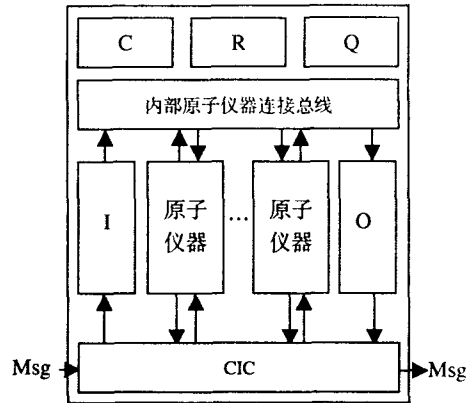


图3 复合仪器模型

复合仪器模型可以用如下表达式来描述:

$$CEM = \{C, Q, I, O, R, CIC\}$$

其中:

C标识复合仪器外部特征,主要是描述该仪器的外形特征、端口数量等。

Q为复合仪器属性,描述该复合仪器所有固有属性,不包含组成该复合仪器的原子仪器的私有属性。

I为复合仪器输入端口,对该复合仪器的所有外部输入端口进行描述。输入端口负责接受复合仪器交互控制器传递过来的值,交给复合仪器模型进行处理。复合仪器的输入端口值通过内部原子仪器连接总线与内部原子仪器端口相连,利用复合仪器内部交互控制器进行参数传递,参数值作为其内部原子仪器的输入端口数据的来源。

O为复合仪器输出端口,对该复合仪器的所有输出端口进行描述。输出端口负责向复合仪器交互控制模型传递需要向其他仪器输入端口传递的值。输出端口的输出值是其内部原子仪器共同作用的结果。

R为仪器响应控制集,根据对仪器的不同操作、不同的仿真计算结果或者影响仪器响应规则的输入,依据响应规则,得到相应的响应,控制仪器的形态,给出容错结论以及输出其他仪器的响应控制输入等。

CIC复合仪器交互控制器,接收和发送仪器间交互控制数据,同时作为其内部原子仪器的总控交互控制器使用,利用消息进行交互控制。

### 2.2 复合仪器交互控制器

复合仪器交互控制器所使用的消息格式与原子仪

器交互控制器相同,但其交互控制关系模型与原子仪器模型交互控制关系模型有所不同,其交互控制关系模型层次为三层,即系统消息处理控制引擎层、复合仪器交互控制器层及其内部原子仪器交互控制器层。

其交互控制关系模型如图 4 所示。

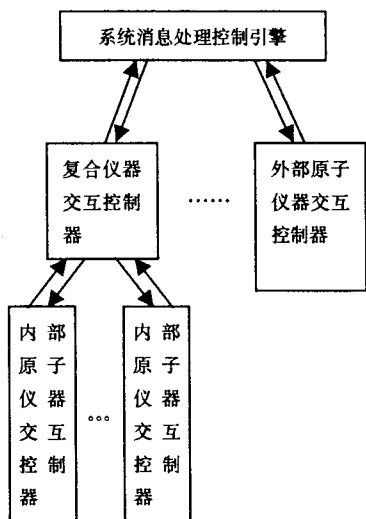


图 4 复合仪器交互控制关系模型

复合仪器交互控制关系模型工作过程分为六部分:外部消息生成、外部消息传递、外部消息接收、内部消息接收、内部消息传递及内部消息生成。

外部消息生成主要是利用仪器的复合仪器交互控制器将相关输出参数及接收仪器端口等信息合成需发送的信息,交由系统消息处理控制引擎处理。

外部消息传递主要是系统消息处理控制引擎根据仪器发送消息的相关接收仪器的端口信息及相关消息传递规则,将消息传递给接收仪器的交互控制器处理。

外部消息接收主要是接收仪器的复合仪器交互控制器接收到消息后,将其分解,把相关信息提交给接收设备的相应端口进行处理。

内部消息生成主要是复合仪器的接收端口将接收到的消息重新组合,目标接收仪器和端口为其内部与该端口相连的原子仪器端口,重新组合而成的消息发送给复合仪器交互控制器处理。

内部消息传递主要是复合仪器交互控制器根据内

部原子仪器发送消息的相关内部接收原子仪器的端口信息及相关消息传递规则,将消息传递给内部原子接收仪器的交互控制器处理。

内部消息接收主要是内部原子接收仪器的交互控制器接收到消息后,将其分解,把相关信息提交给该原子接收设备的相应端口进行处理。

### 3 结束语

通过对网络虚拟实验室仪器模型的深入分析,归纳设计出一套较为通用可行的仪器模型设计方案以及仪器之间的交互控制方法,已经在实际程序设计过程中得到应用。目前的虚拟仪器模型的设计是基于电类实验给出的,对于其他虚拟实验系统设备模型的建立还有待进行通用性验证。

#### 参考文献:

- [1] 夏晖. 基于面向对象的虚拟设备仿真模型的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2003.
- [2] Hoyer H, Jochheim A, Röhrig C, et al. A multiuser Virtual - Reality Environment for a Tele - Operated Laboratory[J]. IEEE Trans on Educ,2004,47(1):121 - 126.
- [3] 张毅,杨秀霞,周绍磊. 虚拟仪器技术分析与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [4] 李仁发,周祖德,李方敏,等. 虚拟实验室网络体系结构研究[J]. 系统仿真学报,2002,14:359 - 362.
- [5] 刘婧,刘丰,朱俊林,等. 虚拟网络实验室模型及关键技术研究[C]//第十届全国青年通信学术会议论文集. 北京:北京邮电大学出版社,2005.
- [6] Valera A, Diez J L, Vallés M, et al. Virtual and Remote Control Laboratory Development[J]. IEEE Control Systems, 2005,12:35 - 39.
- [7] 张刚,罗小华,贺利芳. 构建网络虚拟实验室技术研究[J]. 实验室研究与探索,2008,27:55 - 58.
- [8] 刘丹丹,邓文生. 基于 Web 的化工协同虚拟现实系统的研究[J]. 计算机技术与发展,2006,16(12):220 - 223.
- [9] Canessa E, Fonda C, Radicella S M. Virtual Laboratory Strategies for DataSharing, Communications and Development[J]. Data Science Journal,2002,1:248 - 256.

(上接第 194 页)

France:[s. n.],2001:51 - 64.

- [7] O'Driscoll C. Hardware Implementation Aspects of the Rijndael BlockCipher[D]. Belfield:National University of Ireland, 2001.
- [8] Morioka S, Satoh A. A 10 - Gbps Full - AES Crypto Design With a Twisted BDD S - Box Architecture[J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems,2004,

12(7):686 - 691.

- [9] Wolkerstorfer J. An ASIC implementation of the AES MixColumn operation[C]//Proceedings of Austrochip 2001. Vienna,Austria:[s. n.],2001:129 - 132.
- [10] Noo - Intara P, Chantarawong S, Choomchuay S. Architectures for MixColumn Transform for the AES[C]//Proceedings of ICEP 2004. Phuket, Thailand:[s. n.],2004:152 - 156.