

文章编号: 1000-582X(2012)04-013-06

# 以消息总线实现通信的测试系统架构

赵 玲<sup>1</sup>, 姚金宝<sup>2</sup>, 娄 路<sup>1</sup>, 王 见<sup>2</sup>

(1. 重庆交通大学 信息科学与工程学院, 重庆 400074; 2. 重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

**摘 要:** 为了减少测试仪器资源, 降低测试系统的成本, 通过对总线技术、内存数据库技术和虚拟仪器技术的研究, 提出了一种基于消息总线的测试系统架构。其核心是用消息总线代替传统测试总线, 用虚拟仪器代替硬件仪器。其原理是采用基于计算机标准总线的数据采集卡采集信号, 使用虚拟仪器进行数据处理分析以及处理结果的可视化显示, 运用消息总线操作调度虚拟仪器。基于消息总线的测试系统架构具有成本低、功能扩展性强、系统集成度高等特点。最后通过测试应用实例验证了该系统架构的可行性。

**关键词:** 消息总线; 虚拟仪器; 测试; 内存数据库**中图分类号:****文献标志码:** A

## Testing system architecture based on message bus

ZHAO Ling<sup>1</sup>, YAO Jin-bao<sup>2</sup>, LOU Lu<sup>1</sup>, WANG Jian<sup>2</sup>(1. College of Information Science and Engineering, Chongqing Jiaotong University,  
Chongqing 4000074, P. R. China;

2. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

**Abstract:** Through the study of bus technology, memory database technology, and virtual instrument technology, a new architecture of message bus based testing system is proposed to reduce the resource of testing equipment, and the cost of testing system. The core technology is using message bus instead of traditional testing bus, and using virtual instrument instead of hardware. The specific implementation is that gathering signal by computer standard bus based data acquisition card; processing, analyzing the data and illustrating the result by virtual instrument; and operating virtual instrument by message bus. The message bus based testing system architecture is characterized by low cost, strong extension and high system integration. Finally, the feasibility of the system architecture is proved by a testing application.

**Key words:** message bus; virtual instrument; testing and measurement; memory database

测试离不开测试仪器, 测试系统的成本往往由测试仪器所决定, 而昂贵的测试仪器很大程度上限制了测试系统的组建。虚拟仪器的出现摆脱了测试系统成本难以压缩的窘境, 实现了以软件代替硬件、以图形代替代码、以组态代替编程、以虚拟仪器测试代替传统仪器测试<sup>[1-4]</sup>。近年来, 彭云辉等提出了基

于 VXI 总线的虚拟仪器技术, 周鹏、尹爱军等提出了基于岩石模型的智能虚拟控件以及基于层次消息总线结构的智能虚拟控件。然而这些技术都是针对于智能虚拟控件的, 并且目前在基于虚拟仪器的测试系统研究方面, 使用单一单台虚拟仪器设备的居多, 很难满足目前测试领域需要将多台多种虚拟仪

**收稿日期:** 2011-10-20**基金项目:** 国家自然科学基金项目资助(50605065)**作者简介:** 赵玲(1979-), 女, 重庆大学博士, 主要研究方向为智能测试与虚拟仪器、数字信号处理, (Tel)023-62652571;  
(E-mail)zhao.ling@163.com。

器应用到测试系统的要求。故而将示波器、频谱仪、功率计、噪声分析仪等各类各种型号的虚拟器集成应用到测试系统的研究将是一项很有意义的研究工作。为此,提出了一种基于消息总线的测试系统架构的实现方案。

## 1 系统架构的构建

### 1.1 系统的架构

与传统使用 GPIB、VXI 和 PXI 总线控制硬件仪器的测试系统相比,文中所提出的基于消息总线的测试系统架构则是通过消息总线来控制虚拟仪器的测试系统结构。它是一种综合运用了多线程同步数据采集技术、内存数据库技术、总线技术以及虚拟仪器技术的四层体系结构,主要包括模拟信号层、数字信号层(信号采集层)、虚拟仪器层和测试应用层,如图 1 所示。

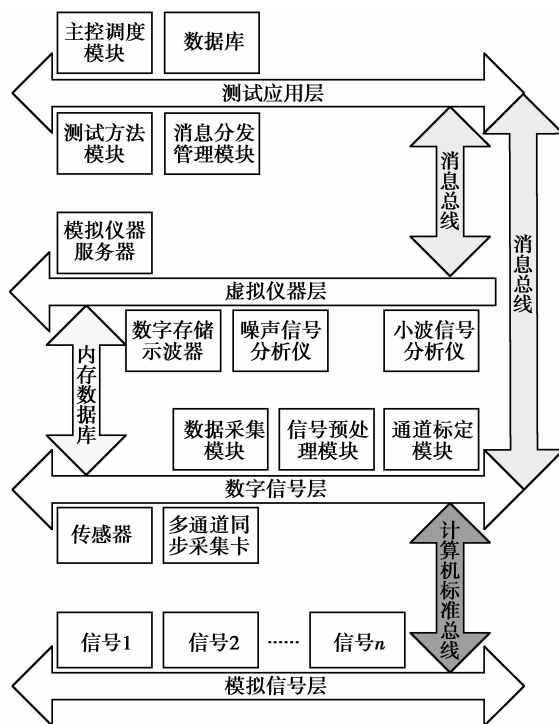


图 1 系统架构框图

模拟信号层是面向测试对象的,由各种待分析处理的电信号和非电信号组成。模拟信号层所有待分析信号都是在对测试对象和测试需求充分研究的基础上确定的。

数字信号层是面向测试信号的,主要由硬件部分(传感器和多通道同步采集卡)和软件部分(数据采集模块、信号预处理模块和通道标定模块)构成,用于采集模拟信号层所确定的信号,并对信号进行

预处理和通道标定。其中,传感器是用来将非电信号转换为电信号的模块;多通道同步采集卡是用来采集信号,将信号转化为计算机能够处理的数字信号的模块;数据采集模块是用来启动采集卡进行实时数据采集的模块;信号预处理模块是用软件实现的,负责对采集数据的去噪和去奇异点处理;通道标定模块负责对各通道信号的实际物理量纲的标定工作。信号采集层是测试输入信号的源头,决定了测试的正确性、准确性和时效性。

虚拟仪器层是面向测试信号的,主要由虚拟仪器服务器和各种型号的虚拟仪器组成,用于实现信号数据的处理分析和结果的可视化显示。其中,虚拟仪器服务器是虚拟仪器的启动加载和使用调度的引擎。

测试应用层是面向用户的,主要由主控调度模块、数据库、测试方法模块和消息分发管理模块组成,用于实现具体业务逻辑测试应用。其中主控调度模块是测试系统的控制中心,负责各种测试业务逻辑的实现。测试方法模块是一些公用的测试功能或测试动作的集合。消息分发管理模块是用于管理各种自定义消息的模块。

模拟信号层、数字信号层、仪器层和测试应用层之间的命令传递和信息交互主要是通过内存数据库技术和总线技术来实现的。其中,模拟信号层和数字信号层之间是通过 PCI、ISA、PXI 等计算机标准总线来完成数据的传递和交互。虚拟仪器层和信号采集层是通过内存数据库来实现数据共享的。而测试应用层和虚拟仪器层以及测试应用层和信号采集层则是通过消息总线来实现交互的。

### 1.2 系统的工作原理

基于消息总线的测试系统是以消息驱动为中心,消息总线是层与层间的连接件,负责消息的传递、过滤和分派,以及处理结果的返回;测试应用层、虚拟仪器层和信号采集层挂接在消息总线上,向消息总线登记感兴趣的消息类型;测试应用层根据应用需求分发消息,由消息总线负责把该消息分派到系统中所有对此消息感兴趣的层,各层接收到消息后,根据自身状态对消息进行响应,并通过总线返回处理结果。

具体工作原理如下:

测试应用层首先由测试方法模块通过消息分发管理模块向信号采集层发送信号采集的自定义消息请求,向虚拟仪器层发送使用某型号虚拟仪器的某程控指令的自定义消息。

一旦信号采集层接收到消息后,数据采集模块就被启动,数据采集模块将根据该条消息附带的参

数信息设置采集卡并启动多通道同步数据采集卡采集数据,并将采集到的数据通过内存数据库共享给虚拟仪器层分析使用。

一旦虚拟仪器层接收到自定义信号后就在虚拟仪器服务器中解析该条自定义消息,通过解析的结果加载启动所请求的虚拟仪器,一旦加载成功,就按照消息的要求调用虚拟仪器层的相应程控指令。随后,虚拟仪器对最新采集的内存数据库中的某些通道数据进行处理分析,并将处理分析结果通过消息总线返回给测试应用层。

## 2 系统的实现

基于消息总线的测试系统架构的具体实现主要体现在数字信号层(信号采集层)、虚拟仪器层和测试应用层的设计上。下面对各层进行详细设计,并通过 UML 交互图详细阐述各层之间的交互。

### 2.1 数字信号层设计

信号采集层主要由硬件部分和软件部分构成。其中硬件部分所包含的传感器和数据采集卡一般是外购器件,基于消息总线的测试架构的信号采集层的设计重点应放在软件部分的设计上。又由于软件模块中的信号预处理模块是通用的算法,通道标定模块的实现较易,故而对测试系统的测试的实时性和准确性有重大影响的数据采集模块,将毫无疑问的成为信号采集层的设计重点。

在测试领域中,数据采集的方式主要有非空查询方式、半满方式和中断方式。为了减少数据采集的 CPU 占用率,保证采集的可靠、实时和准确的进行,基于消息总线的测试系统架构的信号采集层中的数据收集模块采用半满中断组合方式进行数据采集。下面以 AD 采集设计为例进行详细分析:

半满中断方式 AD 采集流程的设计如图 2 所示,主要有以下几个步骤:

1) 创建设备对象;

2) 初始化 AD 部件,设置采样通道、频率等参数,实现所有硬件参数和设备状态的初始化;

3) 创建一个内核事件对象来接受 AD 半满中断事件的变量。

4) 启动 AD 部件,开始 AD 采样;

5) 等待 FIFO 的半满中断事件。

6) 一旦中断发生,读取一批半满长度(或半满以下)的 AD 数据。然后再进入(5)。

7) 采集完后,关闭 AD 设备,释放设备对象。

通过半满和中断两种组合方式来进行数据采集,可以有效的防止采集卡缓冲数据溢出,能够高效

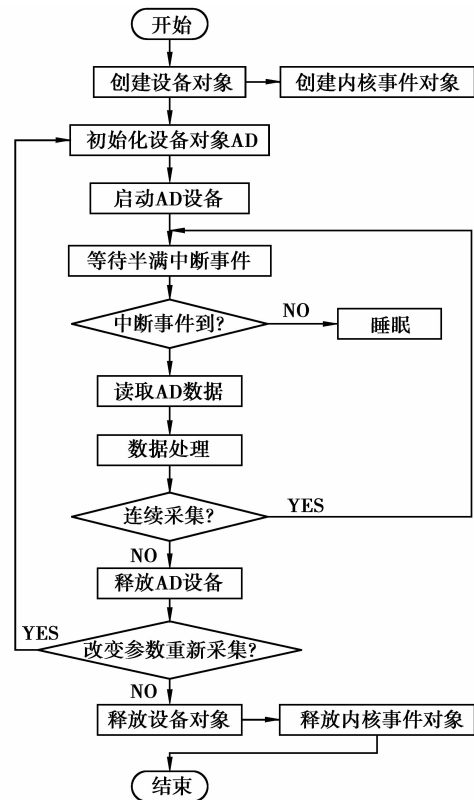


图 2 半满中断方式 AD 采集实现过程

及时的通知用户从缓冲区取走采集到的数据。

### 2.2 虚拟仪器层设计

虚拟仪器层主要由虚拟仪器服务器和各种型号的虚拟仪器组成,故而虚拟仪器层的设计主要包括虚拟仪器和虚拟仪器服务器两个部分。

#### 2.2.1 虚拟仪器的设计

虚拟仪器层中的所有型号的虚拟仪器都定制成动态链接库(DLL 库)(或 ActiveX 组件)以满足在测试中既能手动操作虚拟仪器又能程序控制其工作。基于消息总线的测试系统中所使用的虚拟仪器主要由程控功能、手动功能和公用资源组成,结构框图如图 3 所示。手动功能是通过鼠标或键盘操作软面板,触发相应的回调函数来调用公用的底层方法和底层变量来实现的;程控功能是通过程控函数来调用公用的底层方法和底层变量来实现的<sup>[5-11]</sup>。

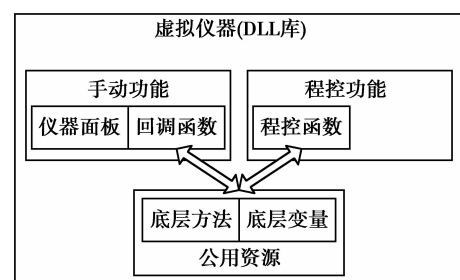


图 3 虚拟仪器结构框图

无论是手动功能中的仪器面板和回调函数,还是程控功能中的程控函数,就设计来说较易,都可通过 VC、CVI 等集成开发环境迅速实现,虚拟仪器设计的重点应为公共资源部分。公用资源是针对不同型号仪器的特定功能通过各种算法设计而成的。该部分的设计是通过软件实现,其设计工作量取决于所实现的仪器功能,设计的优劣取决于算法的成熟度,在此不再详细阐述。

### 2.2.2 虚拟仪器服务器的设计

虚拟仪器服务器是虚拟仪器启动加载和使用调度的引擎,它是针对用户自定义的消息进行消息处理,Windows 消息处理框架则是对 Windows 消息进行消息处理。由于两者类似,Windows 事件驱动模型对虚拟仪器服务器的设计存在很重要的参考价值。图 4 就是充分借鉴 Windows 事件驱动模型<sup>[1]</sup>设计而成的虚拟仪器服务器模型。

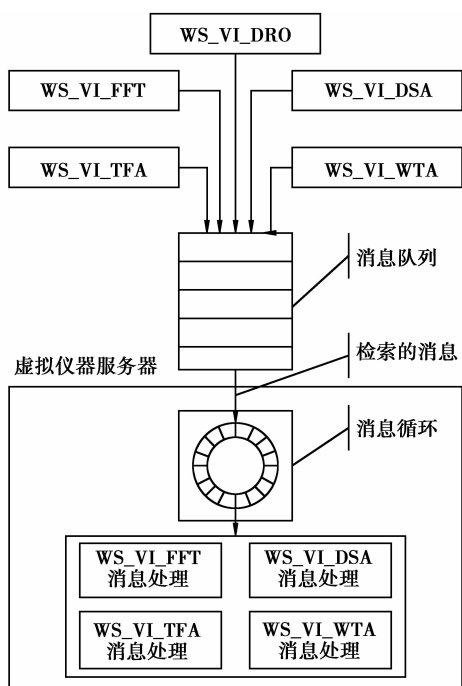


图 4 虚拟仪器服务器模型

虚拟仪器层的虚拟仪器服务器通过处理测试应用层发送来的自定义消息来响应事件。该模型处理的事件主要是测试应用层发送来的虚拟仪器程控指令消息。每种型号的虚拟仪器在测试应用层中都有唯一的一条自定义的消息与之对应。其中消息的 wPara 参数为指令码,用来标识向相应型号虚拟仪器请求的程控指令类型。lPara 参数是参数码,指向仪器参数的结构体指针,标识虚拟仪器的工作状态和运行参数的量。

虚拟仪器服务器不断地从消息队列中检索消

息,一旦发现测试层发送来的仪器程控指令消息后,就将其从消息队列中取出,并进入相应的消息处理函数。在消息处理函数中,首先根据接收到的自定义消息类别来启动加载虚拟仪器,然后解析消息的指令码,并根据解析的结果调用虚拟仪器的各种底层方法来实现对虚拟仪器的程控(底层方法的参数值可通过消息的参数码来获取),最后通过消息总线向测试应用层发送虚拟仪器测试结果。

### 2.3 测试应用层设计

测试应用层是各种测试功能的具体业务逻辑的实现部分。由于基于硬件仪器的传统测试系统是通过 GPIB、VXI、PXI 等总线来完成自动和手动测试功能,而文中所提出的基于消息总线的测试系统则是通过消息总线来采集数据并调度虚拟仪器的程控代码实现各种测试功能的,故而测试应用层的设计重点应聚焦到两点:第一,如何通过消息总线来控制采集卡采集数据;第二,怎样通过消息总线来调度虚拟仪器。

测试应用层中的消息分发管理模块所具有的功能正反映了上述两点,下面就对该模块进行详细设计。消息分发管理模块的功能主要包括发送数据采集自定义消息、发送虚拟仪器程控指令调度自定义消息以及接收虚拟仪器层发送的测试结果消息。

发送数据采集自定义消息功能的设计主要是对该功能的自定义消息的设计<sup>[10]</sup>。其设计如表 1 所示。

表 1 数据采集自定义消息

消息名	wPara 参数	lPara 参数
WS_ACQ	待采集的通道号和对 应通道的标定值	采集卡设置 参数

发送程控指令自定义消息功能是指向所有虚拟仪器发送程控指令消息。为了满足虚拟仪器应用的可扩展性,每种型号的虚拟仪器在测试应用层中都设计有唯一的一条自定义消息与之对应。表 2 即为发送程控指令消息功能而设计的消息对照表。

表 2 虚拟仪器程控指令自定义消息对照表

消息名	虚拟仪器名称	指令码	参数码
WS_VI_DRO	数字存储 示波器	CMD_XXX	pDROPara
WS_VI_FFT	FFT 分析仪	CMD_XXX	pFFTPara
.....	.....	.....	.....
WS_VI_WTA	小波信号 分析仪	CMD_XXX	pWTAPara

接收虚拟仪器层发送的测试结果消息功能的实现可参考虚拟仪器服务器的设计<sup>[11]</sup>,在此不再赘述。

#### 2.4 层之间交互

基于消息总线的测试系统架构是由模拟信号层、数字信号层、虚拟仪器层和测试应用层构成的,各层之间的命令传递和信息交互是通过内存数据库技术和总线技术来实现的。下面以用户调用虚拟数字存储示波器测试信号周期为例,通过UML交互图来对各层之间交互进行详细剖析,如图5所示。

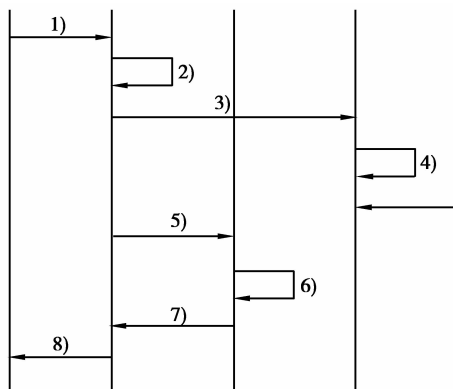


图5 系统架构各层之间交互图

1)用户发送请求。用户通过鼠标或键盘向测试应用层发送使用示波器测试某信号周期的命令。

2)发送采集数据和调用仪器消息。测试应用层收到用户发送的命令后,就调用相应的测试方法模块去启动消息分发管理模块来通过消息总线向信号采集层和虚拟仪器层发送自定义消息(3)和(5)。

3)发送采集信号消息。测试应用层向信号采集层的多通道同步数据采集卡发送某通道需要采集信号的自定义消息。

4)数据采集卡开始采集数据。信号采集层在收到测试应用层的命令后,立即启动数据采集模块,并根据收到的消息参数控制采集卡的相应通道采集信号层的信号。并将采集到的数据保存到内存数据库中以供虚拟仪器处理分析。

5)发送程控命令。测试应用层根据用户的需求向虚拟仪器层发送测试周期的自定义消息。

6)加载虚拟仪器并执行程控指令。一旦虚拟仪器层接收到消息后就通过虚拟仪器服务器启动虚拟数字存储示波器,并根据消息的参数信息调用仪器的程控指令来对4)所提供的内存数据库中某些通道数据做相应的处理。

7)返回虚拟仪器层测试的结果。虚拟仪器服务器将数字存储示波器处理的结果(信号周期)通过消

息总线返回给测试应用层。

8)显示测试结论。测试应用层根据测试判断(7)的测试结果正确性,并结论以图形界面的形式提供给用户。

### 3 应用实例

为了验证基于消息总线的测试系统架构的可行性,下面将其应用到旋转机械故障监测系统中。通过对旋转机械失效形式的分析,可知周期性冲击是导致其失效的主要原因之一。故而,设计时系统的信号层选择旋转主轴的径向振动信号作为待分析处理的信号;采集层选用8通道PCI采集卡;虚拟仪器层选用虚拟数字存储示波器对信号进行时域分析,选择虚拟动态信号分析仪对信号的频域进行动态分析;测试应用层选用Visual C++6.0工具开发。

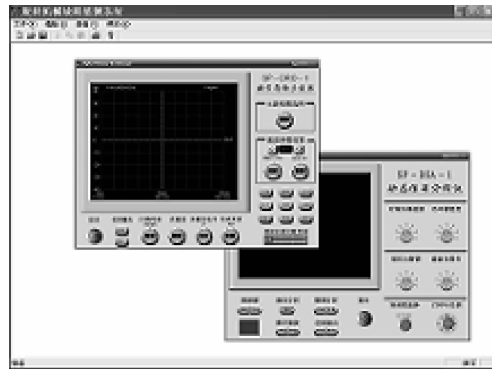


图6 应用实例

图6就是基于消息总线的测试系统架构开发而成的旋转机械故障监测系统。虚拟仪器的使用使该系统的研制费用大幅度降低、物理结构虚拟化。

### 4 结论

基于消息总线的测试系统架构是一种采用了多线程同步数据采集技术、内存数据库技术、总线技术以及虚拟仪器技术等实现的多层结构的测试系统构架。从应用实例可知,基于消息总线的测试系统与传统测试系统相比有以下几个优点<sup>[12-15]</sup>:

- 1)测试系统的研制周期缩短,研制成本降低。
- 2)测试系统物理结构更紧凑、体积更小。
- 3)测试仪器的虚拟化使测试系统的抗干扰能力更强。

但系统构架还存在以下几个待改进的地方:

1)对于信号源、脉冲源等输出激励信号的仪器设备的虚拟化条件还不够成熟。

2)目前受多通道同步数据采集卡的采样率的限

制,基于消息总线的测试系统的应用只能应用于低频段信号测试中。

3) 目前由于虚拟仪器处理能力受 PC 机的 CPU 的限制,基于消息总线的测试系统架构不能满足对实时性要求很高的应用场合。

展望未来,该测试系统构架中的层之间通信标准将成为以后研究的重点。

#### 参考文献:

- [1] 金涛,季忠,秦树人. 虚拟仪器系统中的误差分析和修正[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2004,27(12):1-4.  
JIN TAO,JI ZHONG,QIN SHU-REN. Error analysis and modification of virtual instrument system [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition,2004,27(12):1-4.
- [2] 秦树人,尹爱军,李宁.“岩石模型”大型仪器库实现原理的研究[J]. 机械工程学报,2010,46(6):51-62.  
QIN SHU-REN,YIN AI-JUN,LI NING. Research on realize principles of rock model large instrument repository[J]. Journal of Mechanical Engineering,2010,46(6):51-62.
- [3] 尹爱军,秦树人,毛永芳. 智能控件化虚拟仪器的模型化开发[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2006,29(6):7-9.  
YIN AI-JUN,QIN SHU-REN,MAO YONG-FANG. Modular developing of intelligent controls-oriented virtual instrument [J]. Journal of Chongqing University:Natural Science Edition,2006,29(6):7-9.
- [4] TANG B P, QIN S R. Research on mechanical measurement-oriented intelligent virtual controls [J]. Chinese journal of mechanical engineering,2004,17(3):356-359.
- [5] 侯俊杰. 深入浅出 MFC[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2008.
- [6] 汤宝平,程发斌,钟佑明. 构件化非平稳信号分析仪的研究[J]. 中国机械工程,2007,18(3):335-338.  
TANG BAO-PING,CHENG FA-BIN,ZHONG YOU-MING. Research on component-based non-stationary signal analyzer [J]. China Mechanical Engineering,2007,18(3):335-338.
- [7] QIN S R. Intelligent virtual contrds-the measuring instrument from whold to part[J]. The Chinese Journal of Mechanical Engineering,2002,15(Z):131-135.
- [8] WISELL D,STENVARD P,HANSEBACKE A,et al. Considerations when designing and using virtual instruments as building blocks in flexible measurement system solutions [C]// Proceedings of 2007 Instrumentation and Measurement Technology Conference,May 1-3,2007,Warsaw,Poland. [S. l.]: IEEE Press,2007:1-5.
- [9] 汤宝平,谢亭亭,周传德,等. 基于软件体系结构的秦氏模型智能虚拟控件集成框架的研究[J]. 机械工程学报,2003,39(4):83-86.  
TANG BAO-PING, XIE TING-TING, ZHOU CHUAN-DE,et al. Research on integrated framework of QIN's intelligent virtual controls based on software architecture [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,2003,39(4):83-86.
- [10] 张世龙. 基于层次消息总线的考试系统体系结构研究[J]. 信息技术,2006,30(10):147-149.  
ZHANG SHI-LONG. Research on software architecture of examination system based on hierarchy message bus [J]. Information Technology,2006,30(10):147-149.
- [11] 尹爱军,毛永芳,秦树人. 基于动态路由层次消息总线的虚拟仪器开发系统架构的研究[J]. 中国机械工程,2006,17(8):310-313.  
YIN AI-JUN,MAO YONG-FANG,QIN SHU-REN. Research on architecture of developing platform of virtual instrument based on dynamic route hierarchical message bus[J]. China Mechanical Engineering,2006,17(8):310-313.
- [12] MEI H,SHEN J R,Progress of research on software architecture [J]. Journal of Software,2006(6):1257-1275.
- [13] KRUCHTEN P,OBINK H,STAFFORD J. The past, present, and future of software architecture [J]. Software,2006,23(2):22-30.
- [14] RAK R J, GODZIEMBA-MALISZEWSKI M, MAJKOWSKI A, A proposal of virtual laboratory structure [C]// Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, April24-27, 2006, Sorrento, Italy. [S. l.]: IEEE Press,2006:847-850.
- [15] YU G J,MA H D,YANG G Z,et al. Architecture of virtual instruments test environment soft bus [J]. Computer Measurement & Control,2006(2):59-61.

(编辑 张小强)