

# 旋转机械振动与瞬时转速信号同步处理系统

张秀成, 栾军英, 杨通强, 郑海起, 张林锐

(军械工程学院 火炮工程系, 河北 石家庄 050003)

**摘要:** 旋转机械测试中, 振动信号通常是随机非稳态信号, 必须进行振动和转速信号同步分析。而目前转速测试, 硬件实现复杂, 实时性差, 且不易实现对多路信号同步高速处理。为此利用 DSP 和 PXI 总线设计了旋转机械振动与瞬时转速信号同步处理系统。MAX125 完成数据的采样及 A/D 转换; TMS320VC33 作为主控芯片, 对转速原始信号处理得到瞬时转速, 同时对振动信号重抽样, 精减数据; 处理后, 由 PXI 接口传送给主机。用三缸柴油机发动机转速原始信号和一路简单的正弦信号为实例, 说明了该系统的应用, 并得到了比较理想的结果。

**关键词:** DSP; TMS320VC33; PXI; 转速测试; 抽样率转换

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2007)11-0193-04

## System of Synchronous Processing of Vibration and Transient Rotational Speed in Rotary Machinery

ZHANG Xiu-cheng, LUAN Jun-ying, YANG Tong-qiang, ZHENG Hai-qi, ZHANG Lin-rui

(Department of Guns Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** In rotary machinery test, vibration signal is stochastic and uncertain usually, so, synchronous analysis of vibration and instantaneous rotational speed in the rotary machinery is necessary. But, the hardware of present rotational speed test system is complex, real-time performance is not good, and which can not process multi-channel signal fast. So, the system of synchronous processing of vibration and transient rotational speed based on DSP and the PXI BUS was designed in this paper. MAX125 samples the analog signal and converts them to digital signal; TMS320VC33 is used as main control chip, processes the rotational speed original signal and gets transient speed, at the same time, vibration signal is re-sampled and data will be reduced; then, data are transmitted to PC by PXI interface. And the application of this system was illuminated by the example of original signal of transient rotational speed of three-cylinders diesel and a simple sine signal, and finally the more ideal result was got.

**Key words:** DSP; TMS320VC33; PXI bus; measurement of transient rotational speed; sampling ratio conversion

## 0 引言

在旋转机械测试中, 通常对振动信号做频谱、时频、小波等各类处理, 进行机械系统的故障诊断和分析。但这些振动信号通常是随机非稳态的, 所以必须进行振动与转速信号的同步分析<sup>[1]</sup>。而目前现有的转速测试系统, 硬件实现复杂, 实时性差, 不易实现多路信号同步高速处理。其次, 由于信号的频率组成不同, 所要求的滤波频带和采样频率也不同, 要想保证测试系统的通用性, 就必须以较高频率对各类信号进行采样, 但这样又使得数据大量的冗余, 一方面占据硬件资

源, 另一方面又会影响整个系统的处理速度。因为模拟滤波器本身所固有的局限性, 所以如果想通过改变抗混滤波和采集频率来达到精减数据的目的也是不现实的。

鉴于此, 笔者利用 DSP 和 PXI 总线设计了旋转机械振动与瞬时转速信号同步处理系统。MAX125 完成数据的采样及 A/D 转换; TMS320VC33 作为主控芯片, 对转速原始信号处理得到瞬时转速, 同时对振动信号重抽样, 精减数据; 处理后, 由 PXI 接口传送给主机。这样既能实现瞬时转速与振动信号的精确同步, 实时性好, 硬件实现简单, 系统的通用性强, 又能同时对各类信号做进一步的预处理, 精减数据, 大量减轻主机的工作量, 提高整个测试系统的处理速度。

## 1 TMS320VC33 和 PXI 总线简介

TMS320VC33-150 是美国 TI 公司的性价比最

收稿日期: 2007-01-25

基金项目: 国家自然科学基金(50375157); 军械工程学院创新基金(CXJJ0504, YJJXM0621, 0622)

作者简介: 张秀成(1978-), 男, 江苏人, 硕士研究生, 从事信号处理和嵌入式微电子研究。

高的 32bit 浮点 DSP 芯片,操作速度可以达到 75MIPS,指令周期 13ns,可在单指令周期内,对整数或浮点数进行并行的乘法和 ALU 操作;16MB 的地址空间,这些特点足以满足机械测试中各种信号处理的高速实时性要求<sup>[2]</sup>。

PXI 技术是基于 CPCI 并兼容 CPCI 的测量测试规范应用,是专为测试任务而优化的 CompactPCI。PXI 的核心就是一个高性能的数据传输总线,背板是高性能的 PCI 总线,此外还结合了 PCI 的电气总线特性与 CompactPCI 的坚固性、模块化及欧式卡机械封装的特性,并增加了专门 VXI 总线的同步总线和主要软件特性。它既能满足数据的高速传输要求,又能使测试系统适应恶劣的战场环境。

## 2 系统硬件设计

整个系统的硬件主要包括电源控制电路、时钟、信号输入通道模块、存储器扩展模块、计算机接口模块和中央控制器模块<sup>[3]</sup>。系统结构框图如图 1 所示。

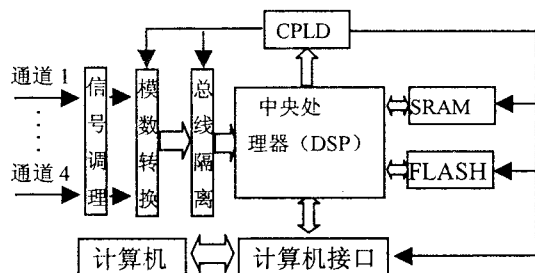


图 1 总体结构框图

### 2.1 电源控制电路

TMS320VC33 采用低电压工作,它的内核电压为 1.8V, I/O 引脚电压为 3.3V, TI 公司的电压调节器 TPS767D318 可以由 5V 产生 3.3V 和 1.8V 的电压输出,最大输出电流为 1A,可以满足需要<sup>[4,5]</sup>。

### 2.2 时钟电路

EXTCLK 是 TMS320VC33-150 外部时钟管脚,利用外部时钟给 EXTCLK 提供一个 15MHz 的时钟,通过 DSP 的一个片上锁相环(PLL),把这个时钟信号转换成 75MHz 的 TMS320VC33-150 的主频时钟<sup>[5]</sup>。

### 2.3 输入通道模块电路

信号调理模块选用 LM324,它是一个带有 4 个运算放大器的集成运放,可以去除 A/D 引脚处共模噪声的干扰,并且它能对输入的模拟信号进行限幅,从而起到保护 MAX125 的作用。

A/D 转换芯片选用 MAX125,它具有 14 位采样精度,并带有 4 个采样保持器的模数转换芯片,可以保持多个被采样信号的相位信息。它的单通道最高采样频率为 250ksps。每个采样保持器有 2 个复用输入引脚,

每片 MAX125 有 2 组共 8 个输入。

MAX125 需要一个 16MHz 的外部时钟,在本设计中该信号由图 2 的 U6 器件(晶体振荡器)的 3 管脚提供给 ADCLK。

对 MAX125 的采样模式编程后,它的采样保持器在 CONVST 的上升沿对输入信号采样。然后 ADC (模数转换器)对每个信号在 3 微秒之内进行转换并把结果保存在内部的 4 \* 14 位的存储器之中。MAX125 的管脚 CONVST 信号以 CPLD(CY37064VP100)对 DSP 的 TCLK0 转换后提供。在 MAX125 对最后一个通道信号转换完毕时,ADINT 变成低电平而采样保持器又开始保持下次要转换的信号。ADINT 信号经 CPLD 转换成边沿触发信号后提供给 DSP 的 INT0 中断,指示 DSP 可以读采样数据。DSP 总是从 MAX125 的端口地址读取采样数据,并且根据 A/D 编程通道数目去读取相同数目的采样数据。读出的第一个数据是第一通道的,第二个数据是第二通道的,其余的类推。ADCS1, ADCS2, RD 及 WE 均由 DSP 的对外控制信号经 CPLD 转换后提供。

由于 MAX125 输出的是 5V TTL 电平,而 TMS320VC33 输入输出是 3.3V TTL 电平,所以这两个器件之间必须有一个总线隔离器。74LVTH16245 是一个 16 位的总线收发器,能够承受 5V 的输入电压,而输出 3.3V 信号,能够满足本设计要求。输入模块的电路图如图 2 所示。

### 2.4 外部存储空间扩展电路

SRAM 选用 CYPRESS 公司的 CY7C1041CV33-12VC。这是出于以下两点考虑:(1)它的  $t_{AA} = 12ns$  满足  $t_{AA} < 13ns$  的条件;(2)它的输入输出电平为  $VOH_{MIN} = 2.4V$ 、 $VOL_{MAX} = 0.4V$ 、 $VIH_{MIN} = 2.0V$ 、 $VIL_{MAX} = 0.8V$ ,这些数值能满足 TMS320VC33 对输入输出电平的要求。

CY7C1041VC 的存储容量是 256k \* 16 位,写 CY7C1041 时要驱动片选信号 CE 和写使能信号 WE 为低电平。如果低字节使能信号 BLE 为低电平,则数据线的 I/O7~I/O0 上的数据被写入到地址线 A17~A0 指定的存储器单元,若高字节使能信号 BHE 为低电平,则数据线的 I/O15~I/O8 上的数据被写入到指定的存储器。读数据时要有效片选信号 CE 和输出使能信号 OE,然后根据 BLE 和 BHE 决定读出指定存储单元的是高 8 位还是低 8 位。

在本系统设计中使用了 2 片 CY7C1041,共计容量 256k \* 32 位。它们的地址分配是 0100000h ~ 013FFFFh,存储器的 BLE 和 BHE 接地,即读写存储器时,各片 CY7C1041 的指定单元的所有 16 位数据都参

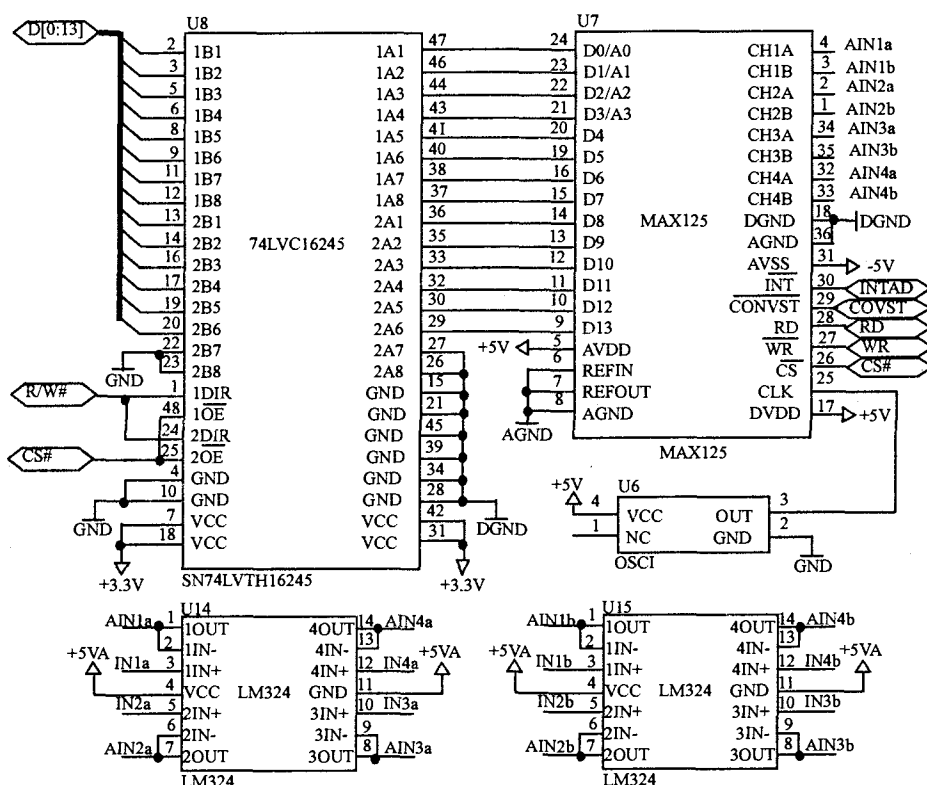


图 2 输入通道模块电路图

与了数据操作。存储器的 WE 由 DSP 的读写信号驱动,写存储器时该信号为低电平。CE 和 OE 信号由 CPLD 的 RAM1 和 RAM2 信号驱动,这个信号是存储器的片选信号。只要 DSP 的地址总线的高 6 位数据是 000100B,该片选信号就有效,而地址总线的低 18 位信号线直接连线到存储器以选定具体存储单元作为读写对象,高 6 位连接到 CPLD。原理示意图如图 3 所示。

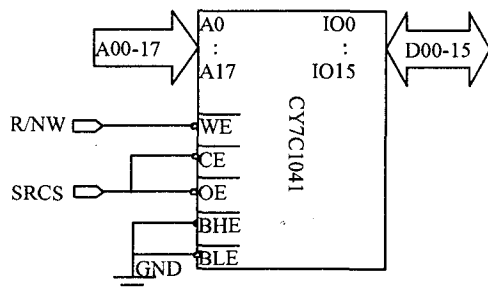


图 3 SRAM 接口电路示意图

本设计中 FLASH 选用 SST39VF400A,它是一款 256k \* 16 位的 EEPROM 芯片。它在系统中的用途是固化 DSP 的用户程序,这样系统上电时 DSP 才能重载这些程序并执行它。系统使用了两片该芯片,共计 256k \* 32 位容量。这样大容量的 EEPROM 允许固化大量的应用程序,从而增强了系统的可编程性和可扩充性。SST39VF400A 在系统上的地址范围是 0400000h ~ 043FFFFh。DSP 的四个外部中断信号在

上电复位时的状态值必须是 1011B,系统上电复位时 DSP 的重载程序才能重载 SST39VF400A 的用户程序到 DSP 的片上 RAM 或片外 SRAM 并执行它们。它的电路原理图与 SRAM 相似,在此略去。

## 2.5 硬件系统跟主机的接口电路

用 PCI 接口芯片加 CPLD 的接口方案设计的 PXI 总线接口框图如图 4 所示。由图中可以看出,采用了 PCI 接口芯片设计接口,可以大大简化设计难度,只需要将相应的地址/数据总线和控制总线接入 PCI9030 即可,所有的

的这些信号经过 PCI9030 之后,将复杂的 PCI 总线的数据传输逻辑,简化为简单的本地控制逻辑,使得所有的接口设计工作转化为本地对 CPLD 的编程。

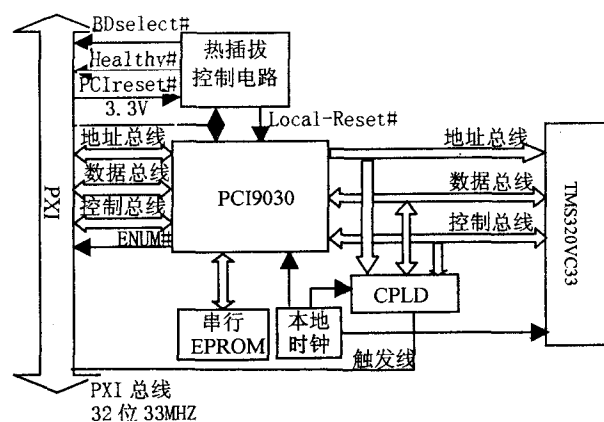


图 4 PXI 总线接口框图

## 2.6 中央控制器模块

在本设计中 CPLD 主要实现以下三个功能<sup>[6]</sup>:1)片选、读写信号。DSP 访问的器件有 MAX125, CY7C1041, SST39VF400A, PCI9030, 74LVTH16245, 这些器件涉及的读写信号和片选信号都由 CPLD 产生。2)产生 DSP 的边沿中断信号。3)产生 A/D 芯片的转换信号。

## 3 系统软件设计

根据实际需要,系统设计时的软件流程图如图 5

所示<sup>[1,4,5]</sup>。

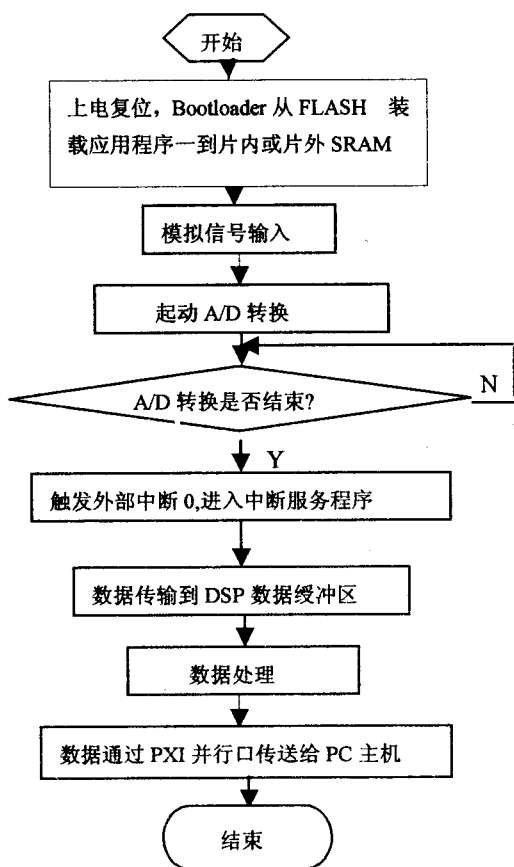


图 5 信号采集处理流程图

## 4 实验结果及结论

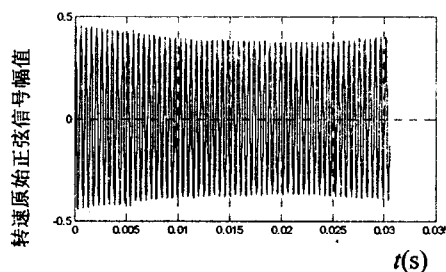
为更好说明本系统的应用, 利用一模拟的简单正

弦信号作为振动信号, A/D 每个周期采样 16 个点, 共采样三个周期 48 个点, 然后 DSP 读取, 并进行抽样率转换, 精减数据至 36 个点; 另一路信号是一台三缸柴油机发动机在稳态转动时, 利用光电传感器测得的模拟信号, A/D 采样间隔为  $1.5258789000 \times 10^{-5} \text{S}$ , 在设定的采样点数到时 INTO 置低, DSP 读取数据并进行处理, 得到瞬时转速。对两路同时进行处理, 处理结果如图 6 所示。

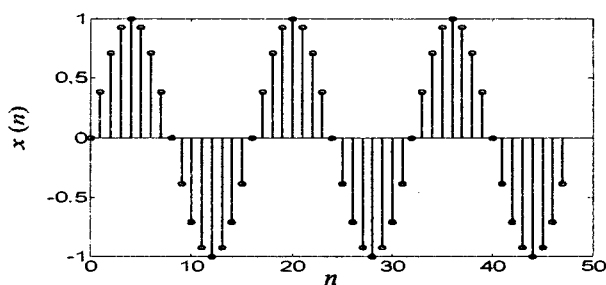
实例处理结果: 图 6(a)、(c) 是实验测取的气缸工作正常时的瞬时转速波形。瞬时转速波形中每一个工作循环有 3 个波动, 每个波动与相应气缸工作状况有关。造成内燃机瞬时转速波动的原因很多, 其主要原因是喷油定时不正常, 缸内燃油供给不足或进气压力低, 而这些原因又与配气机构、燃油供给系统、气门机构、燃烧室密封性等紧密相关。图中毛刺是由于齿面的磨损等原因所致。可见处理结果是比较精确的。

如图 6(b) 所示的正弦信号经该系统抽样率转换处理后时域图如图 6(d) 所示。从经过处理后的时域图看, 源信号由原来的 48 个点, 经抽样率转换后成 36 个点, 但相位延迟, 经分析是由于 FIR 线性相位延迟的特性所造成的, 对信号的进一步处理分析没有影响。

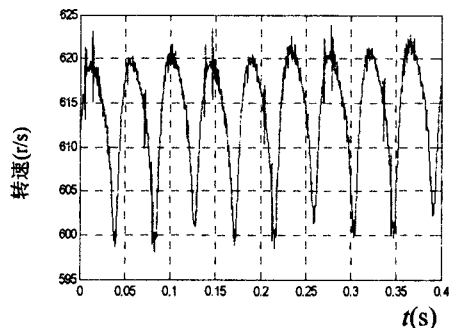
从最终的处理效果来看, 该系统较好地实现了对瞬时转速的测试和对振动信号的预处理, 较好地实现了转速和振信号的同步, 提高整个测试系统的精度和处理速度, 无论是在军用领域还是民用领域, 都具有很好的应用前景。



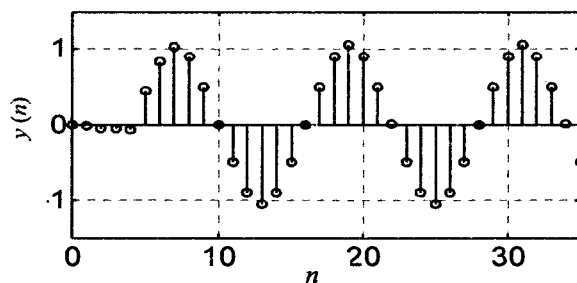
(a) 某三缸发动机原始转速信号时域图



(b) 实例信号  $x(n)$  时域图



(c) 经本系统处理后的瞬时转速图



(d) 实例信号  $x(n)$  经抽样率转换后的时域图

图 6 处理结果示意图

(下转第 204 页)

(8) 剩余电流动作保护器远程自动监控。远程设置剩余电流动作保护器的整定值, 显示低压出线零序电流值; 远程判断故障类型, 进行合闸或闭锁操作。

(9) 数据自动管理和智能评估。对低压配网系统内配变和低压出线的运行数据进行自动分类管理; 对系统的供电可靠性、电压合格率、低压线损率等进行智能分析; 对运行状态、供电质量、供电能力等作出科学评估。

(10) 与 GSM 通信网络手机用户进行交互。手机用户既可与监控中心进行信息互传, 也可充当移动式监控中心对指定的一台或多台下位管理机进行移动式管理。

## 5 结 论

讨论了低压配电网多功能无线远程监控的实现和基于 GSM 通信网络、计算机网络、客户/服务器结构与浏览/服务器结构结合的体系结构的管理信息系统的技术构成, 将管理信息系统应用于低压配电网管理自

动化中, 设计开发了低压配电网多功能无线远程监控管理信息系统。并结合实际, 介绍该系统的设计方案、实现技术和功能特点。现场运行表明, 该系统具有监控装置接线简单、配置灵活、抗干扰能力强、可靠性高, 管理信息系统技术先进成熟、运行维护方便等显著优点, 有力地促进了低压配电网自动化的发展<sup>[5]</sup>, 值得在当前电力企业低压配电网管理中大力推广运用。

## 参考文献:

- [1] 唐 涛. 国外变电站无人值班与综合自动化技术发展综述[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(10): 10-17.
- [2] 黄晓晨, 阙建飞, 周志祥, 等. 电力调度管理信息系统的研究[J]. 电力系统通信, 2001, 12(8): 21-23.
- [3] 徐 玮, 尹宝林, 李昭原. 企业信息系统业务构件设计研究[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1213-1225.
- [4] 王 敏, 李 静, 范中磊, 等. 一种虚拟化资源管理服务模型及其实现[J]. 计算机学报, 2005, 28(5): 856-863.
- [5] 唐 涛. 电力系统厂站自动化技术的发展与展望[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 92-97.

(上接第 196 页)

## 参考文献:

- [1] 胡广书. 数字信号处理——理论、算法与实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [2] Texas Instruments. TMS320VC33 Digital Signal Processor [M]. Texas: Texas Instruments Incorporated, 2000.
- [3] 姚文刚, 余国强, 孟小锁. 基于多 DSP 架构的电机控制系统

[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(6): 48-53.

- [4] Texas Instruments. TMS320C3x User's Guide[M]. Texas: Texas Instruments Incorporated, 2001.
- [5] Texas Instruments. TMS320C3x general-purpose applications user's guide[M]. Texas: Texas Instruments Incorporated, 2001.
- [6] 王金友. 用 CPLD 实现 DSP 与外设芯片的速度匹配[J]. 电子测量技术, 2006(4): 73-75.

(上接第 200 页)

- [2] Schieferdecker I, Stepien B. Automated Testing of XML/SOAP based Web Services[C]//Proceedings of the GIFachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen", KIVS. Leipzig, Germany: [s. n.], 2003: 43-54.
- [3] Patton R, 周予滨, 姚 静, 等. 软件测试[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [4] DeMillo R A. Constraint-based automatic test data generation[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1991, 17(9): 900-910.
- [5] Grabowski J, Wiles A, Willcock C, et al. On the design of the new testing language TTCN-3[C]// In: Ural H eds. Testing of Communicating Systems. Kluwer: Academic Publishers, 2000: 161-176.
- [6] Schieferdecker I, Grabowski J. Conformance testing with TTCN[J]. Elektronik, 2000, 96(4): 85-95.
- [7] Offutt J. An integrated automatic test data generation system [J]. Journal of Systems Integration, 1991, 1(3): 391-409.

- [8] Chen T Y, Lau M F. A new heuristic for test suite reduction [J]. Information and Software Technology, 1998, 40(5-6): 347-354.
- [9] Walter T, Grabowski J. A framework for the specification of test cases for realtime distributed systems[J]. Information and Software Technology, 1999, 41(11-12): 781-798.
- [10] W3C note, WSDL (Web Service Description language)[EB/OL]. 2001-03. <http://www.w3.org/TR/wsdl.html>.
- [11] Hedayat A S, Sloane N J A, Stufken J. Orthogonal Arrays: Theory and Applications[M]. New York: Springer Verlag, 1999.
- [12] Apache Software Foundation. Axis User's Guide[EB/OL]. 2004-02-08. <http://ws.apache.org/axis/java/user2guide.html/>.
- [13] Classification Tree Editor[EB/OL]. 2005-08-09. <http://www.systematic-testing.com/>.