

面向火炮火控系统的嵌入式软件测试平台

韩伟杰, 阎 慧, 董正宏

(装备指挥技术学院 信息装备系, 北京 101416)

摘 要:火炮火控系统属于软件密集型装备,其嵌入式软件对其性能有着重要影响,而软件测试是保障其效能的重要途径。从火炮火控系统鉴定的需求出发,在借鉴通用嵌入式软件测试技术的基础上,充分考虑其测试具体要求,设计了功能测试和性能评价的方法,并设计实现了一个测试平台。平台采用模块化结构交付所需的功能部件,通过从火控系统总线注入数据并采集结果的方式实施测试,有效满足了测试人员对火炮火控系统嵌入式软件鉴定的要求。应用表明,该平台具有很好的针对性和适用性。

关键词:火炮火控系统;嵌入式软件测试;数据采集;功能测试;性能评价;测试平台

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)03-0180-04

Embedded Software Testing Platform for Gun Fire Control System

HAN Wei-jie, YAN Hui, DONG Zheng-hong

(Department of Information Equipment, Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 101416, China)

Abstract: The gun fire control system belongs to the software-intensive equipment, and the inside embedded software plays an important role on its efficiency. Considering the testing demands of the embedded software of the gun fire control system fully, both the methods for functional testing and performance evaluation and the testing platform are designed and implemented by referring to the general-purpose testing technologies. The platform realizes the testing process by injecting data into and collecting results from the CAN bus, and supplies the necessary functions in modularization and satisfies the testing demands for the embedded software efficiently. The practical application shows that this platform has good pertinence and applicability.

Key words: gun fire control system; embedded software testing; data collection; function testing; performance evaluation; testing platform

0 引 言

在现代化的武器装备系统中,嵌入式软件所占的比重越来越大,很多复杂武器系统本身就是软件密集型产品,并且武器装备中的嵌入式软件对武器系统的效能有着十分重要的影响。据统计,在嵌入式设备中,由于软件所引发的故障占全部故障的70%~80%。火炮火控系统属于典型的“软件密集型”产品,其嵌入式软件的性能对其效能有着重要的影响^[1]。但是,现有的通用测试技术和测试工具因为针对性和适用性不强,尚不能对火控系统嵌入式软件进行有效的测试与评价。

目前主流的测试工具,如国外的CodeTest、Logiscope、SilkTest和SilkPerformance,以及国内的Gam-

maCP、TBrun for ASM和CRESTS等^[2,3],都是面向通用领域的测试工具,它们所提供的测试策略和测试方法并不能有效解决火炮火控系统鉴定过程中的测试问题。所以,借鉴以上的研究成果,结合火炮鉴定测试的具体需求,开发设计满足火炮鉴定要求的测试平台,为测试人员提供一个自动化的测试操作环境,具有十分重要的应用价值。

1 测试方法设计

在目前的火炮鉴定过程中,测试人员不是将单纯的软硬件作为独立的个体进行测试,而是着重强调对火控系统的整体性能进行测试,主要目标是测试火控系统软件的各项功能指标是否能够在复杂条件下正确完成功能任务,即针对火炮火控系统进行功能模块级测试。此外,因为火控系统是一个高软件密集度的嵌入式系统,其嵌入式软件要求具备可靠性、实时性和准确性等性能。

收稿日期:2009-07-11;修回日期:2009-10-20

基金项目:部委级基金项目(2007SY4108004)

作者简介:韩伟杰(1980-),男,河南周口人,硕士,讲师,研究方向为软件测试;阎 慧,博士,副教授,研究方向为软件装备。

1.1 功能测试方法的设计

测试平台作为测试人员的操作环境,目标是为测试人员提供一个自动化的测试操作和管理工具。其实现功能测试的方法步骤如下:

- (1)基于火控系统软件规格说明书和鉴定所需,确定功能测试的重点指标项目;
- (2)为测试人员提供对测试指标项目进行管理和配置的操作界面;
- (3)基于测试人员所选测试项,设计测试用例并提供参考测试方法和操作实施环境;
- (4)测试人员具体实施测试,如通过数据总线进行数据采集和处理来实现测试。

基于以上功能模块测试的结果,可以采用如下的方法来定量评价软件的综合性能。

1.2 性能评价方法的设计

依据火炮鉴定需求和软件规格说明书,火控系统嵌入式软件的性能主要由可靠度、可恢复性、响应时间、初始化/退出时间、操作等待时间和准确性等六个重点指标决定,它们与软件综合性能指标:可靠性、实时性和准确性之间的关系,以及它们的具体权重如表 1 所示。权重的求取采用 AHP^[4]方法实现。

2 测试平台的设计与实现

2.1 功能模块结构

测试平台主要包括以下六个功能模块:测试指标管理模块;测试实施操作模块;总线数据采集模块;测试报告管理模块;软件性能评价模块;用户管理模块。它们具体完成的功能如下所示:

- (1)测试指标管理模块。
 - 1)根据测试要求详细列出测试指标项,供测试人员查阅;
 - 2)测试人员可以根据需要对测试指标项进行修改、添加或者删除;
 - 3)完成对测试指标项的配置管理。
- (2)测试实施操作模块。
 - 1)根据测试人员的配置管理,为测试人员列出测试指标项供其参考;
 - 2)测试人员选择指标项进行具体测试;
 - 3)为测试人员提供参考测试方法;

- 4)为测试人员提供测试操作界面。
- (3)总线数据采集模块。

该模块系统是测试平台的关键部分,实现从火控系统总线注入和采集数据。包括:

 - 1)实现火控系统 CAN 总线与通用 PC 接口之间的互联互通;
 - 2)从 PC 接口向火控系统 CAN 总线注入测试数据;
 - 3)从火控系统 CAN 总线采集运算结果;
 - 4)将采集到的数据结果保存到数据文件之中。
- (4)测试报告管理模块。

在测试之后,测试结果被保存到数据库中。该模块基于测试结果生成测试报告并进行以下操作:

- 1)基于数据库记录生成测试报告报表;
- 2)将报表内容导入到 Word 之中,供测试人员查阅或打印。
- (5)软件性能评价模块。

根据测试的结果,采取 AHP 方法具体评价火控系统嵌入式软件的性能。具体步骤如下:

 - 1)针对专家确定的影响火控系统嵌入式软件性能的主要指标,采取 AHP 方法确定其权重;
 - 2)根据测试的结果具体评价性能指标权值;
 - 3)加权求和得到性能评价的最终结果。
- (6)用户管理模块。

该功能模块一方面负责对用户的身份进行验证,以保障系统的安全性;另一方面对测试用户进行配置管理,为用户分配权限,完成对用户的添加、修改和删除等配置操作。

2.2 测试平台工作流程设计

测试平台在功能测试的基础上对软件进行性能评价,其工作流程如图 1 所示,详细说明如下:

- (1)测试初始化;
- (2)运行功能模块 i ,测试输出是否发生异常,即是否无输出或者输出结果格式错误;
- (3)若输出发生异常,则证明该模块存在错误,其后续功能模块无法继续运行,进行故障诊断在恢复后继续执行,并记录下恢复耗时 t_0 。若不能恢复,则向工业部门反馈情况,在重启后重新开始测试;
- (4)记录输出结果和运行时间,并根据结果和时间

表 1 软件性能指标权重

可靠度指标	可恢复性指标	响应时间指标	初始化/退出时间指标	操作等待时间指标	准确性指标
0.36	0.12	0.20	0.05	0.07	0.20
可靠性综合指标		实时性综合指标			准确性综合指标
0.48		0.32			0.20

计算模块性能;

- (5)按照同样的方法对功能模块 $i+1$ 进行测试;
- (6)持续运行,测试无故障运行时间;
- (7)计算软件的综合性能评价结果;
- (8)测试结束。

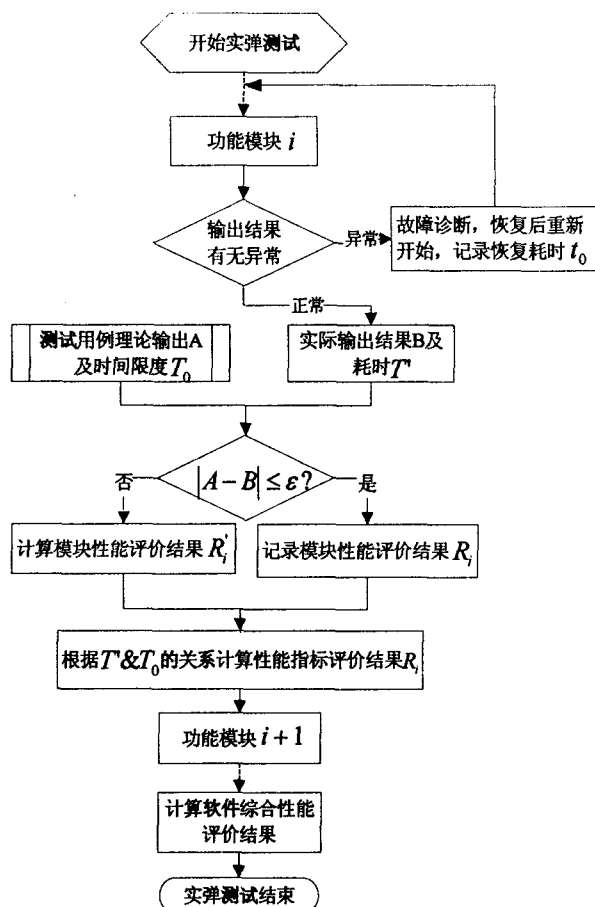


图1 火控系统功能模块级综合实弹测试方法流程

2.3 总线数据采集模块设计

总线数据采集模块是实现软件测试的关键环节,负责完成通用 PC 机与火控系统 CAN 总线之间的通信。目前,USB 是计算机较为常用的接口方式,所以确定采用 USB 与 CAN 通信的方式来实现数据采集^[5]。系统数据转换过程如图 2 所示。

- (1)数据由 USB 接口传输到 CAN 总线。

PC 机将待发送的数据以 CAN2.0 帧格式从 USB 接口发送出去,总线转换模块将从 USB 口接收到的数据从 CAN 总线接口发送出去;

- (2)数据由 CAN 总线传输到 USB 接口。

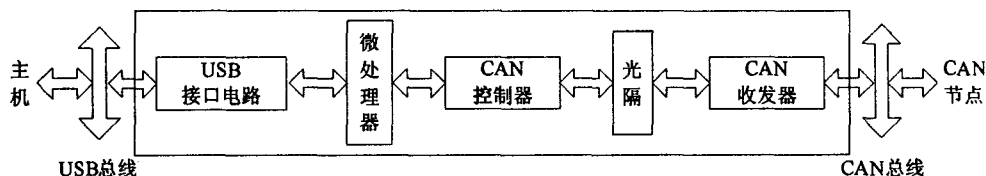


图2 USB与CAN总线转换过程示意图

总线转换模块将从 CAN 总线接口接收到的数据由 USB 接口发送出去。

2.3.1 数据包格式的定义

数据包格式的定义是实现传输的基础。因为 USB 接口的数据格式已定,所以只需将 CAN 总线接口的数据格式做定义即可,其定义如下所示:

```

typedef struct CAN_REG
{
    uchar ff; //标识扩展帧或标准帧
    uchar id0;
    uchar id1;
    uchar id2;
    uchar id3; //以上四个变量标识数据帧的识别码
    uchar buffer[8]; //保存发送或接收的数据
} mCAN_REG;
  
```

另外,为了对 CAN 总线进行配置,还定义了如下所示的结构体变量:

```

typedef struct CAN_CONFIG
{
    uchar mstx;
    uchar mcomnd;
    uchar mbtr0;
    uchar mbtr1;
    uchar macr(4);
    uchar macr(4);
} mcan_config
  
```

2.3.2 基于 CH375 的总线转换模块的设计

CH375 是一种 USB 总线通用接口芯片,屏蔽了 USB 通讯中的所有协议,可在计算机应用层与本地端控制器之间提供端对端的连接^[6]。总线转换模块的系统结构如图 3 所示。CAN 适配器用于完成 USB 接口和 CAN 总线之间的数据交换。使用微处理器统筹安排数据在 USB 接口和 CAN 总线之间的数据交换。以微处理器为界可以将总线转换模块分为两部分:一是微处理器与 USB 接口交换数据;二是微处理器控制 CAN 控制器,完成 CAN 数据包到 CAN 总线位序列协议解释。

总线转换模块软件主程序的工作流程如图 4 所示。

2.3.3 USB-CAN 数据包发送与接收关键函数

- (1)CAN 总线发送与接收数据包的过程如下:

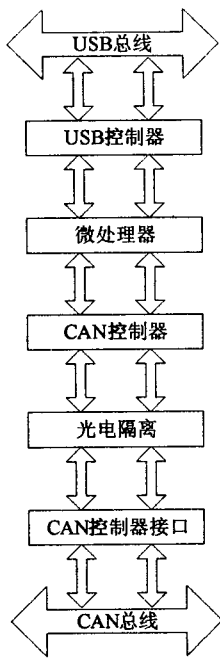


图 3 USB-CAN 总线转换模块体系结构

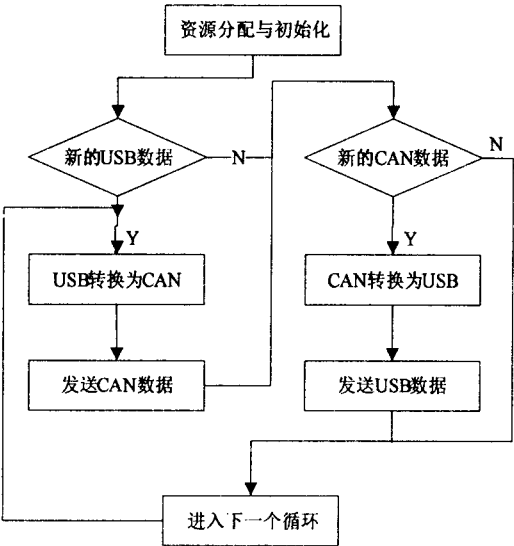


图 4 转换模块主程序工作流程图

- 1)初始化 CAN 接口,按照 CAN 总线的数据帧格式对 CAN 总线接口进行配置;
- 2)分别按照标准帧或扩展帧的格式要求发送数据包。

发送标准数据包的关键函数为:

```
BOOL WINAPI WriteData (
    ULONG iIndex, //指定接收设备序号
    PVOID iBuffer, //申请缓冲区用于放置准备写出的数据
    PULONG ioLength ); //指向长度单元,输入时为准备写出的长度,返回后为实际写出的长度
```

发送扩展帧的关键函数为:

```
BOOL WINAPI WriteRead (
    ULONG iIndex, //指定接收设备序号
    PVOID iBuffer, //指向一个缓冲区,放置准备写出的数据,长
```

度不大于设定值

PVOID oBuffer, //指向一个足够大的缓冲区,长度不小于设定值,用于保存读取的数据

PULONG ioLength); //指向长度单元,输入时为准备写出的长度,返回后为实际读取的长度

(2)USB 接口发送与接收数据包的关键函数。

USB 接口端采用 CH375 库函数实现数据包的发送与接收,其关键函数如下:

//发送数据请求命令给 USB 设备,成功发送后返回 true

```
bool CH375WriteData (iIndex, WriteBuf, &length)
//iIndex 指向设备序号
//WriteBuf 指向放置准备写出数据的缓冲区
//Length 指向长度单元,输入时为准备写出的长度,返回后为实际写出的长度
```

//从 USB 设备读取采集数据,成功读取后返回 true

```
bool CH375ReadData (iIndex, ReadBuf, &length)
//iIndex 指向设备序号
//ReadBuf 指向用于保存读取数据的缓冲区
//Length 指向长度单元,输入时为准备读取的长度,返回后为实际读取的长度
```

2.4 测试应用

基于以上设计实现的测试平台,我们针对某型号火炮火控系统软件进行了具体测试应用。在本次测试中,所测功能项为“激光信息采集与处理”,采取的测试方法为“采集数据总线结果数据”,其测试用例为“接收激光设备捕获的目标信息,计算出目标参数后输出显示到视频跟踪器”。在测试过程中,通过设备 CAN 总线注入数据 2D650C5A,采集到的处理结果为 4DCFE8B1,与理论值相符,功能耗时为 0.009s,小于理论上限阈值 0.01s。通过测试,证明该功能项功能正常。

3 结束语

针对火炮火控系统鉴定测试的需求,在借鉴通用测试技术的基础上,设计了对其嵌入式软件进行功能测试和性能评价的方法,并设计实现了一个自动化的测试平台。平台具有很好的针对性和适用性,有效满足了测试要求。

在以后的研究当中,将主要关注以下几点:优化测试方法,并完善平台功能;研究建立通用仿真测试平台^[7,8]。

参考文献:

- [1] 冯广斌. 远程火箭炮武器系统可靠性研究[D]. 南京:南京理工大学,2004.
- [2] 余盛季. 嵌入式软件系统测试平台研究[D]. 成都:电子科

(下转第 187 页)

信息,在实现上使用 java.net.MulticastSocket。

4 结束语

传统的视频会议系统一般可以分为基于 P2P 的网状结构和基于 MCU 的中心式结构,而基于 IPv6 组播的视频会议系统,如图 5 所示,则可以看作是两者的有机结合,同时融入了组播传输的特性。形成了以组播组为基础的大流量数据传输的逻辑中心;以 CCS 为控制中心的低负载的物理中心;由各客户端构成的小流量数据传输的网状结构。

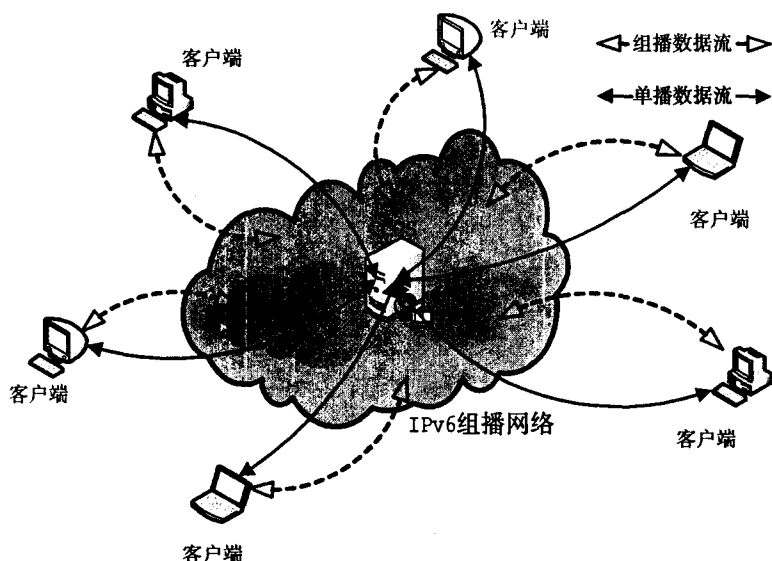


图5 基于 IPv6 组播的视频会议系统

在基于 IPv6 组播的视频会议系统中,音频、视频等高共享性、大流量的数据流使用组播的方式来传输,远程桌面和应用程序共享、文件共享等对于有序性和可靠性要求高的数据流使用单播来传输,有些同时具有高共享性和点对点交互需求的业务如公共聊天和私人之间聊天等业务,同时使用组播和单播实现。值得说明的是,虽然这一系统同样具有中心服务器 CCS,但是 CCS 只通过和客户端之间交换一些简单的会议报

文就实现了会议流程的管理和控制,因此 CCS 是一个低负载、控制性强、管理作用明显的中心服务器,不会成为系统的瓶颈,却有助于会议的管理。另外,基于 IPv6 组播的视频会议还可大量使用 IPv6 提供的优先级控制、资源预留流标签等等 QoS 技术,来提升传输性能。

参考文献:

- [1] 陈 焯,张 蓓. JDK 1.5 类库大全[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] Horstmann C S, Cornell G. Core Java 2, Volume 1 - Fundamentals [M]. Santa Clara, Calif.: Sun Microsystems Press, 2005.
- [3] Zou Y, Chen C. MCU system software in video conference network[C]//in Proceedings of the 1996 International Conference on Communication Technology Proceedings, ICCT'96. Beijing, China: IEEE,1996.
- [4] 樊 华,朱 莉,王媛妮. 在基于 H. 323 的视频会议中实现负载均衡[J]. 计算机技术与发展,2006,16(4):122-124.
- [5] Yang Z, Ma H, Zhang J. A dynamic scalable service model for SIP - based video conference[C]//in 9th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. Coventry, United Kingdom: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society,2005.
- [6] 刘 浩,胡 栋. 基于 RTP/RTCP 协议的 IP 视频系统设计与实现[J]. 计算机应用研究,2002,19(10):140-143.
- [7] 刘成德,李 祥. 基于 IPMulticast \ JMF 的多媒体网络会议系统的设计与实现[J]. 计算机与数字工程 2007,35(3):132-134.
- [8] 张书梅. 基于 JMF 的音视频实时交互及存储的具体实现[J]. 计算机工程,2006,32(21):238-240.

(上接第 183 页)

- [3] Karlesky M, Williams G. Mocking the Embedded World: Test - Driven Development, Continuous Integration, and Design Patterns[C]//Embedded Systems Conference. Silicon Valley, California:[s. n.],2007.
- [4] 吕艳辉,潘成胜. 基于 AHP 的灰色评估模型及其应用[J]. 火力与指挥控制,2005,30(8):80-82.
- [5] 吴 松,徐维开,赵志鹏. CAN 总线接入技术[J]. 光通信技术,2008(8):60-61.

- [6] 万天军,徐爱钧,李家绪. 基于 CH375A 的 CAN - USB 总线通信模块设计[J]. 计算机测量与控制,2007,15(3):360-363.
- [7] Yun Young, Choi Jaeyoung. An Embedded Software Testing Tool Supporting Multi - paradigm Views [M]. Berlin: Springer,2008.
- [8] 王铁辰,刘 斌. 嵌入式软件仿真测试环境的软件体系结构设计[J]. 计算机工程与应用,2005(16):97-99.