

基于 LabVIEW 的空间机器人通信 协议集成研究

王家顺, 邹红霞, 高永明

(装备学院 信息装备系, 北京 101416)

摘要:针对空间机器人,采用气浮台方式作为地面试验平台。空间机器人气浮式地面试验平台复杂度高、仿真性能要求严格,涉及众多仿真软硬件和多个分系统,如何实现各分系统、多个仿真软件及不同通信协议的集成将是一项极具挑战性的难题。详细分析了空间机器人气浮式地面试验平台中的集成需求,重点研究了通信协议集成,使用虚拟仪器软件框架(VISA)和数据整合等方式实现TCP/IP、CAN、RS232等不同的通信协议之间的集成。最后通过仿真试验对集成技术的运用进行验证,仿真结果表明该集成技术完全能够实现不同通信协议之间的集成,为下一步空间机器人气浮式地面试验提供支撑。

关键词:气浮式;空间机器人;LabVIEW;通信协议;集成

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)03-0157-04

Research on Communication Protocol Integrated about Space Robot Based on LabVIEW

WANG Jia-shun, ZOU Hong-xia, GAO Yong-ming

(Department of Information Equipment of Academy of Equipment, Beijing 101416, China)

Abstract: For space robot, use air-bearing table as ground test platform. Space robot air-bearing ground test platform is highly complex, simulation performance demanding, which involves a number of simulation software and hardware and multiple sub-systems. How to integrate various sub-systems, a number of simulation software and different communication protocols will be a very challenging problem. Analyse the integration requirement of the space robot air-bearing table ground test platform in detail, focus on the integration of communication protocol, use VISA and data integration, etc. to achieve TCP / IP, CAN, RS232 and other communication protocols between the different integration. Finally, through simulation to verify the use of integrated technology, simulation results show that the integrated technology can completely achieve the integration of different communication protocols, provide support for the next space robot air-bearing ground experiments.

Key words: air-bearing; space robot; LabVIEW; communication protocol; integration

0 引言

空间机器人可以看成是由飞行基座和机械臂系统构成的复合式航天器,通过飞行基座和机械臂系统的协同工作完成对目标的抓捕任务。利用空间机器人抓捕目标卫星是航天器在轨服务的主要模式之一。地面试验是确保空间机器人在轨任务成功执行的重要保证,用来验证和评估空间机器人的路径规划和控制算法^[1,2]。空间机器人气浮式地面试验通过气浮台进行重力补偿^[3,4],用于抵消空间机器人所受到的重力影响,模拟太空中的微重力环境,以验证空间机器人各关

节的活动能力、整体运动性能,结合机械臂完成对目标机器人的抓捕任务^[5]。与机器人的半物理仿真相比,气浮台仿真不需要动力学仿真计算机,机器人动力学由气浮台来模拟^[6]。飞轮、惯导设备、推力器产生的力矩直接作用于气浮台上,实现对机器人的姿态控制。空间机器人气浮式地面试验平台中,涉及LabVIEW、VC、MapleSim、Matlab/Simulink、ADAMS等多个仿真软件,以及路径规划、姿态控制、轨道控制等多个分系统,将不同的仿真软件和分系统集成起来共同完成仿真任务就显得至关重要。文中针对集成中底层数据集成进行分析,而通信协议的集成是完成数据集成的基础,利用LabVIEW工具开发TCP/IP、CAN、RSR232的集成程序,并借助整个平台程序进行试验,试验结果表明该集成程序完全能满足试验需要。

收稿日期:2011-08-10; **修回日期:**2011-11-15

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(8632010AA7090602)

作者简介:王家顺(1984-),男,硕士研究生,研究方向为空间机器人、计算机仿真;邹红霞,博士,副教授,研究方向为计算机应用。

1 空间机器人气浮式地面试验集成需求的分析

1.1 空间机器人气浮式地面试验平台结构

空间机器人气浮式地面仿真系统是一个高度复杂、仿真性能要求严格的环境,由于涉及众多仿真软硬件和多个分系统,如何实现各分系统、多种仿真软件以及不同通信协议的集成将是一项极具挑战性的难题,有迫切的现实需求。地面控制台作为空间机器人气浮式地面仿真的核心部分之一,是整个地面试验中集成的软件支撑部分。空间机器人气浮式地面试验系统硬件组成包括地面控制支撑系统、气浮台仿真控制系统、气浮台技术支持系统。仿真平台硬件结构如图 1 所示。

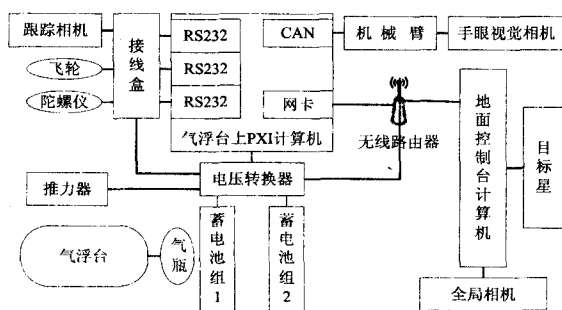


图 1 空间机器人气浮式地面仿真平台硬件图

1.2 空间机器人气浮式地面试验集成需求

目前空间机器人地面试验中仿真软件在满足集成应用方面还存在不足,比如通信方式单一,主要采用 CAN 总线形式^[7];集成方法手段不灵活;仿真软件与建模软件间的集成耦合性较强,通用性和扩展性不强;集成框架无法满足多种复杂仿真需求等。空间机器人气浮式地面试验系统从纵向的抽象逻辑层次看,根据系统的数据交互和功能结构,可划分为数据层、系统层、应用层三个集成层次。数据层由系统的数据模型组成,主要实现数据的存储和管理,并向上层提供统一的数据接口。系统层是仿真系统的核心层,主要完成系统的集成仿真任务的实现。应用层提供操作人员与系统的交互界面,根据操作人员指令调用系统层的相关接口进行仿真试验。

底层数据集成是在系统数据源级别层次上进行的集成,主要完成结构化和非结构化数据的整合工作,把不同来源、格式的数据在逻辑上和物理上进行集成,有效解决数据的异构性和分布性,为上层提供统一的数据表示^[8]。待集成的数据异质性包括:数据结构层次的不一致,指数据类型不同,数据的表达格式上的差异、各数据源的结构约束方面的冲突、接口和模式上的不同等。语义表达方面的不一致,指同一对象的描述采用了不同的编码或同一编码在不同的系统中表述的物理对象不同等。这些因素构成了复杂的数据环境,

给数据集成带来了一定的困难。

空间机器人气浮式地面试验系统中数据集成要解决的首要问题是不同通信协议间数据的互联互通。通信协议,约定了包括数据格式、同步方式、传送速度、传送步骤、检纠错方式以及控制字符定义等问题。要实现不同通信协议之间的集成,主要是完成协议间传递的数据格式的转换。哪些技术能支撑空间机器人气浮式地面集成将是研究的关键问题。数据通信方式涉及 TCP/IP、RS232、CAN 等,使用仪器软件框架(VISA)、数据解析封装等方式可以将各种通信方式进行集成,满足地面试验系统数据通信需求。只有实现不同通信协议集成,才能确保整个系统数据流通。

2 空间机器人气浮式集成技术

2.1 基于 VISA 的多功能集成

虚拟仪器软件框架(Virtual Instruments Software Architecture, VISA)目的是通过减少系统的建立时间来提高效率^[9]。随着仪器类型的不断增加和测试系统复杂化的提高,为每一种硬件接口编写不同的程序将无法满足不同系统集成的需求,因此迫切需要为用户提供一种 I/O 无关性的控制软件。编写的仪器控制程序,通过调用相同的 VISA 库函数并配置不同的设备参数,便能在各种硬件接口上工作。VISA 能与绝大多数的仪器总线连接,包括 USB、串口、以太网、GPIB、PXI、VXI。

基于 VISA 的集成的一大优点是平台的可移植性^[10,11]。由于 VISA 定义了自己的数据类型,任何调用 VISA 函数的程序都可以移植到其他平台上,同时避免了数据类型和大小的不一致性导致的不兼容问题。

需要注意的是,VISA 是通过特定的仪器驱动程序和仪器进行通信的。使用 VISA 前需要安装对应的驱动程序,并在 MAX 中进行合适的配置。并非所有的仪器驱动程序都支持 VISA,因此不要认为通过 VISA 就可以读取任何仪器设备的数据。一般而言,NI 提供的硬件驱动程序都能支持 VISA。当然,并不是非 NI 的仪器就不能够使用 VISA,NI 提供 VISA Driver Development Wizard 为用户自己的仪器编写 VISA 驱动^[12]。空间机器人气浮式地面试验系统中使用 VISA 对串口和以太网进行集成,满足地面控制台系统与空间机器人系统之间的互联互通。用户仅需要配置串口和 TCP/IP 端口,就能进行通信。使用串口和 TCP/IP 通信时,都必须明确发送接收的数据大小。TCP 端口读出的 N 个字节数据直接通过 VISA 配置的串口写入,同样串口读到的 N 个字节数据转换为字符串后写入 TCP 模块,所有操作在一个循环内完成。

2.2 基于数据整合的多应用集成

空间机器人气浮式地面试验系统中,机械臂关节之间采用 CAN 通信^[13,14]。CAN 属于现场总线的范畴,作为一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信网络^[15]。与一般的通信总线相比,CAN 总线的数据通信具有突出的可靠性、实时性和灵活性。中央控制器与其他模块之间采用的 TCP/IP 连接,TCP/IP 与 CAN 之间通信的集成就显得非常重要。机械臂控制结构框图如图 2 所示。

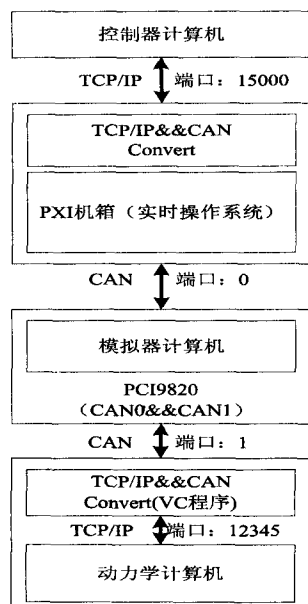


图2 机械臂控制结构图

控制器计算机——接收任务指令,根据关节电模拟器提供的机械臂当前关节角与关节角速度,进行轨迹规划,向关节电模拟器输出期望的关节角、基座的规划数据(使用无线 TCP 连接,周期为 250ms),向手爪电模拟器发出指令。

PXI 计算机——PXI 是一种由美国国家仪器公司(National Instruments, NI)发布的坚固的基于 PC 的测量和自动化平台。PXI 计算机安装实时操作系统。本设计中还使用到 PXI 的一个外设模块 PXI8461,该设备是一块高速 CAN 设备。

模拟器计算机——关节电模拟器根据空间机器人 PD 控制算法,建立电机伺服控制模型,接收中央控制计算机提供的关节的理想关节角度以及动力学计算机提供的相邻两个关节的实时实际关节角和关节角速度信息,向动力学仿真计算机提供关节驱动力矩信息。手爪电模拟器接收控制器计算机所提供的驱动指令,向动力学计算机提供手爪动作信息。

动力学计算机——建立机械臂动力学模型,计算机械臂关节角度与关节角速度,并提供机械臂手爪末端位姿数据及基座位姿数据。

由于 VISA 并不支持 CAN,所以 CAN 与 TCP/IP 集

成将不能采用 VISA。仿真试验中,使用的硬件 CAN 设备是 PCI9820 和 PXI8461。Virtual CAN Interface (VCI)函数库是专门为 ZLGCAN 设备在 PC 上使用而提供的应用程序接口。库里的函数从 ControlCAN.dll 中导出,可以直接使用。VCI 函数库中定义了一些数据结构用于数据交换,在使用 VCI 函数前应该先创建这些数据结构。在 LabVIEW 中创建这些结构时使用簇-Cluster。一个簇就是一个由若干不同的数据类型的成员组成的集合体,类似于 C 语言中的结构^[16]。成员可以是任意的数据类型,成员的逻辑顺序是由它们被放入簇的先后顺序决定的。在使用 PCI9820 卡时,需要使用 VCI_CAN_OBJ 结构体来传送 CAN 信息帧。结构体的定义如下:

```
typedef struct _VCI_CAN_OBJ
{
    UINTID;
    UINTTimeStamp;
    BYTETimeFlag;
    BYTESendType;
    BYTERemoteFlag;//是否是远程帧
    BYTEExternFlag;//是否是扩展帧
    BYTEDataLen;
    BYTEData[8];
    BYTEReserved[3];
} VCI_CAN_OBJ, *PVCI_CAN_OBJ;
```

在 LabVIEW 中使用以下簇与 VCI_CAN_OBJ 结构体——对应。在试验中统一使用 VCI_CAN_OBJ 结构体所定义的信息帧,每一帧数据是 24 个字节,同时需要将 PXI8461 所传输的信息帧重新打包成该结构体类型。

TCP/IP 至 CAN 转换程序中,每次读取 144 个字节,再将字符串数据按照簇格式强制转换后经过 6 次循环写入 CAN。CAN 至 TCP/IP 转换程序则按照相反的过程将 CAN 读取的数据写入 TCP/IP。实际运用中常常是将 CAN 与 TCP/IP 相互转换的两个程序合并在一起运行。

3 仿真试验

本试验着重验证 TCP/IP 与 CAN 之间基于数据整合的集成技术运用。试验中使用 CAN-bus 通用测试软件 ZLGCANTest 对 ZLGCAN 系列板卡进行测试,选用的 ZLGCAN 板卡为 PCI9820。将 PCI9820 设备波特率设置为 125000,设置好参数后启动 CAN。试验中 TCP/IP&&CAN 程序作为服务端监听,VC 编写客户端程序。仿真流程如下:客户端发送数据至 PXI8461,通过 TCP/IP&&CAN 转换程序将 TCP/IP 数据包转换为 CAN 数据包发送至 PCI9820,最后通过 ZLGCANTest 显

示。仿真流程示意图如图 3 所示。

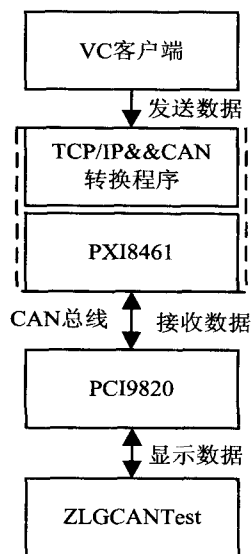


图 3 仿真流程示意图

客户端通过 senddata 函数发送 6 帧数据,每帧数据 24 个字节,共 144 个字节(24 * 6)。

```
DWORD WINAPI senddata(LPVOID lpParameter)
```

```
{
    VCI_CAN_OBJ HK_To_JC_Joint_Data[6];
```

```
ZeroMemory(HK_To_JC_Joint_Data, 6 * sizeof(VCI_CAN_OBJ));
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[0].ID = 0x62E;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[1].ID = 0x63E;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[2].ID = 0x64E;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[3].ID = 0x65E;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[4].ID = 0x66E;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[5].ID = 0x67E;
```

```
for(int i=0; i<6; i++)
```

```
{
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].SendType = 0; // 0-正常发送 (1-
    单次发送, 2-自发自收, 3-单次自发自收)
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].RemoteFlag = 0; // 0-数据帧 (1-
    远程帧)
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].ExternFlag = 0; // 0-标准帧 (1-
    扩展帧)
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].DataLen = 8; // 帧数据的有效长
    度 8 字节
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].Data[0] = 1;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].Data[1] = 2;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].Data[2] = 3;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].Data[3] = 4;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].Data[4] = 5;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].Data[5] = 9;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].Data[6] = 7;
```

```
HK_To_JC_Joint_Data[i].Data[7] = 12;
```

```
}
```

```
send(m_socketclient, (char *) HK_To_JC_Joint_Data, 6 * si-
    zeof(VCI_CAN_OBJ), 0);
```

```
return 0;
```

```
}
```

通过 ZLGCAN 测试软件显示接收到的 6 帧数据,分析数据可以发现,接收到的 6 帧数据帧 ID 从 0X62E 至 0X67E,数据内容均为 (01, 02, 03, 04, 05, 09, 07, 0C),与 VC 客户端发送数据相符。结果如图 4 所示。

4 结束语

文中首先介绍了空间机器人气浮式地面试验平台的结构,然后详细分析了空间机器人气浮式的地面试验仿真集成需求,重点关注了数据集成中的通信协议集成部分。深入探讨了基于 VISA 和数据整合的两种通信集成技术,最后通过试验实现了不同的 CAN 设备

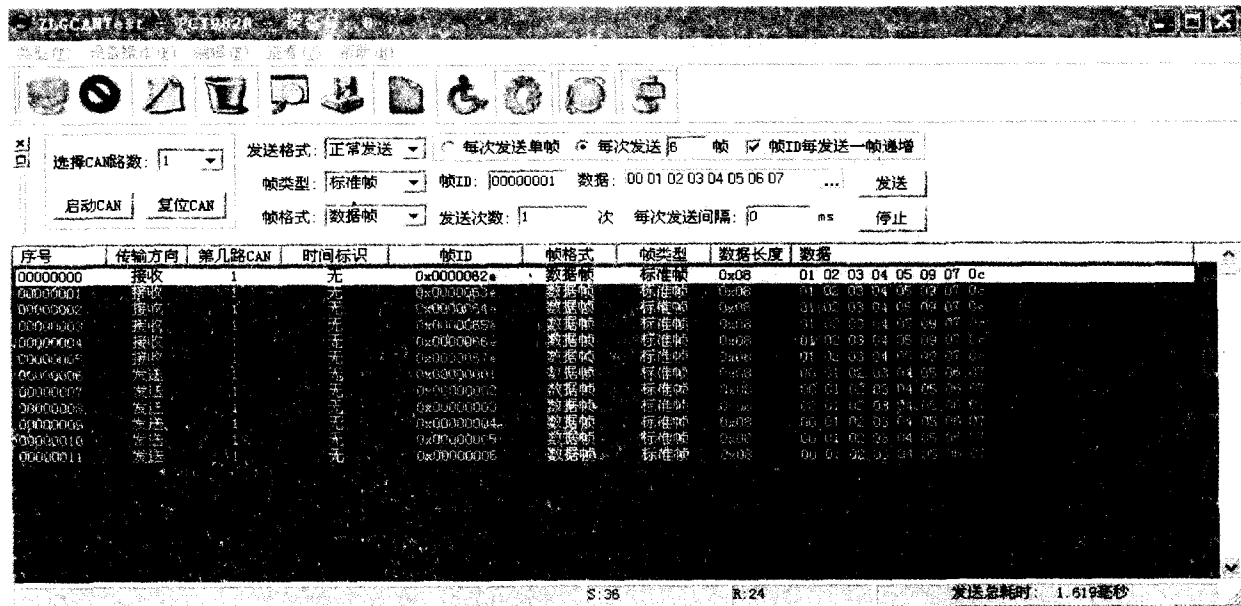


图 4 结果显示

(下转第 165 页)

和控制。

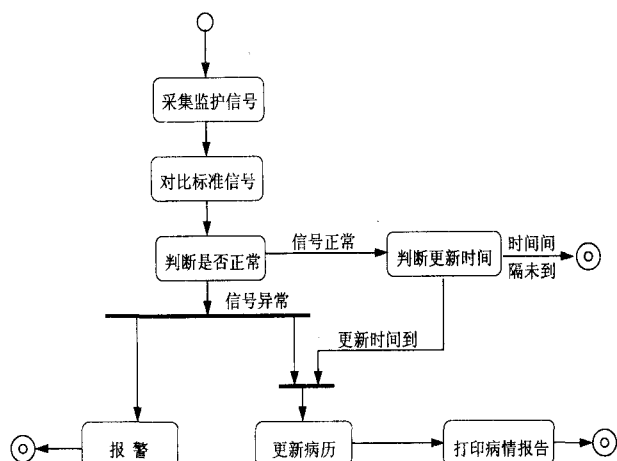


图6 监护系统的活动图

通过对ICU信息系统的开发可以看到,UML不仅仅是上述方法的简单汇合,而是扩展了现有方法的应用范围。UML是一种建模语言,不是一种方法,它独立于过程,可遵循任何类型的建模过程。基于UML的ICU信息系统在医院信息化建设中发挥着举足轻重的作用,它的应用具有很大的社会价值和经济价值,以及非常好的应用前景。

参考文献:

[1] 陈思功,秦晓,章恒.基于UML的软硬件协同设计的

模型分析方法[J].软件学报,2003,14(1):103-108.

- [2] 王晓明.运用重症监护网络提高专科护理水平[J].护士进修杂志,1999,14(5):15-17.
- [3] 张琼瑶.重症监护临床信息系统建设与应用[J].中国医学数学,2008(2):86-88.
- [4] 陈利佳,李刚荣.重症监护信息系统的临床应用[J].医学信息学杂志,2011(3):79-83.
- [5] Ng H S, Sim M L, Tan C M. Security issues of wireless sensor networks in healthcare applications[J]. BT Technology Journal, 2006, 24(2): 138-144.
- [6] Douglass B P. Real-Time UML-Developing Efficient Objects for Embedded Systems[M]. [s. l.]: Publisher, 2003.
- [7] 杨峰.基于UML的连锁经营管理系统建模研究[J].微计算机信息,2007,23(3):58-59.
- [8] 施庆平.基于UML医院病房监护系统的分析与设计[J].计算机系统应用,2007(2):70-73.
- [9] 董庆超,王智学,张爱辉,等.基于UML类图模型的一致性检查方法[J].计算机技术与发展,2008,18(10):85-88.
- [10] Kumar S, Aylor J H, Johnson B W, et al. The Codesign of Embedded Systems[M]. Boston: Kluwer Academic Publisher, 1996.
- [11] 王卫东,屈洋. C/S体系结构下医院病历数据库管理系统的建立[J].计算机技术与发展,2009,19(9):204-206.
- [12] 汪贵生,夏阳.基于UML的MIS研究与设计[J].计算机技术与发展,2009,19(4):69-72.

(上接第160页)

(PCI9820和PXI8461)数据帧格式转换后的通信,对TCP/IP与CAN的集成进行了验证。对不同网络通信协议进行了一定程度的集成,为下一步深入研究空间机器人气浮式地面试验平台的集成奠定了基础。

参考文献:

- [1] 徐文福,刘宇,强文义,等.自由漂浮空间机器人的笛卡尔连续路径规划[J].控制与决策,2008,23(3):278-282.
- [2] 徐文福,詹文法,梁斌,等.自由漂浮空间机器人系统基座姿态调整路径规划方法的研究[J].机器人,2006,28(3):291-296.
- [3] Kindel R J. Motion planning for free-flying robots in dynamic and uncertain environments[D]. Stanford: Stanford University, 2001.
- [4] Murotsu Y, Tsujio S, Mitsuya A, et al. An experimental system for free-flying space robots and its system identification[C]// Proceeding of AIAA Guidance, Navigation and Control Conference. New Orleans, LA: [s. n.], 1991:1899-1909.
- [5] 崔乃刚,王平,郭继峰.空间在轨服务技术发展综述[J].宇航学报,2007,28(4):33-39.
- [6] 徐文福,梁斌,李成,等.空间机器人微重力模拟试验系统研究综述[J].机器人,2009,31(1):88-96.

- [7] 阳宪惠.现场总线技术及其应用[M].北京:清华大学出版社,1999.
- [8] 徐立中,李臣明,王建颖.信息与系统集成技术及应用[J].计算机与信息技术,2006(1):70-72.
- [9] 陈锡辉,张银鸿. LabVIEW8.20 程序设计从入门到精通[M].北京:清华大学出版社,2008.
- [10] 杨乐平. LabVIEW 高级程序设计[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [11] 张凯. LabVIEW 虚拟仪器工程设计与开发[M].北京:国防工业出版社,2004.
- [12] Code Interface Reference Manual[M]. [s. l.]: National Instruments, 2003.
- [13] 王新升,韩建斌,梁斌,等.基于气浮台的微小卫星姿态控制实时仿真[J].北京航空航天大学学报,2010,36(7):767-770.
- [14] 颜世佐,谢箭,强文义.空间机器人地面试验系统建模与规划[J].控制工程,2009,16(2):223-226.
- [15] 史久根,张培仁,陈真勇,等. CAN 现场总线系统设计技术[M].北京:国防工业出版社,2004.
- [16] 孙鑫,余安萍. VC++深入详解[M].北京:电子工业出版社,2008.