

文章编号: 1002-0446(2002)05-0421-06

基于 CAN 总线的仿人机器人关节伺服控制系统研究*

赵建东 邵黎君 徐凯 刘莉 陈 恳

(北京清华大学精仪系制造所 北京 100084)

摘 要: 本文针对仿人机器人的结构和控制性能要求, 结合清华大学 THBIP-I 型仿人机器人样机研制, 研究提出了基于 CAN 总线的仿人机器人关节伺服分级控制体系结构. 文中详细描述了系统的总体结构方案、位置控制卡的结构原理、通讯协议和控制算法, 以及系统在 THBIP-I 仿人机器人样机上的技术实现, 并在控制实验有效性验证的基础上, 提出了进一步完善发展的思路.

关键词: 仿人机器人; 现场总线控制系统; 数字伺服; CAN 总线; 位置控制卡

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

STUDY ON HUMANOID JOINT SERVO CONTROL SYSTEM BASED ON CAN BUS

ZHAO Jian-dong SHAO Li-jun XU Kai LIU li CHEN Ken

(Institute of Manufacturing Engineering, Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Aimed at humanoid structure and requirements for control performance, and combined together with study of the prototype of THBIP-I of Tsinghua university, this paper presents a classification joint servo control system based on CAN bus. The author particularly describes the overall structure scheme for the system, structure of servo card, communication protocol and control algorithm, and realization of prototype's system. Finally, based on feasibility of control experiment, the improvement is put forward.

Keywords: humanoid robot, field control bus, digital servo, CAN bus, position servo card

1 引言(Introduction)

仿人机器人是当今世界科学技术的研究热点, 其最具代表性的成果是日本 HONDA 公司研制的 P2、P3 和 ASIMO^[1], 以及 SONY 公司生产的仿人型娱乐机器人 AIBO、SDR-3X 和 SDR-4X^[2], 但是在该领域的当前发展中, 仍存在许多理论和技术问题需要探索 and 解决, 仿人机器人关节伺服控制技术就是其中的关键问题之一. THBIP-I 是清华大学仿人机器人课题组研制的第一台样机^[3,4], 为达到“能与人共存、同人协作, 并能完成一些人所不能完成的任务”^[1], 机器人本体外型类人, 共设置了 32 个关节: 头部 2 个, 上肢 12 个, 手部 6 个, 下肢 12 个; 躯干部装有陀螺姿态传感器; 脚底和手腕部装有六维力传感器; 各关节装有位置传感器; 头部装有视觉系统和语

音识别系统. 为实现其基本动作象人, 尤其是具有步行功能, 控制器必须具有行为规划、视觉处理、语音识别、手臂运动控制、双腿运动控制、姿态控制及手足协调控制等功能, 可见清华 THBIP-I 仿人机器人系统是一多输入多输出、强耦合、非线性形的复杂多刚体双足行走动力学系统, 这些对其伺服控制技术及其系统设计提出了下述苛刻要求:

1) 伺服控制系统(包括驱动单元、伺服电机等)的集成度高, 体积小, 必须能安装在本体内, 满足机构设计优化和任务规划所要求的体积功率比、重量功率比, 满足提供任务要求的转矩和转速范围, 满足机载电源的电压和功率要求; 硬件数量和连线尽可能少, 规模尽可能简洁;

2) 伺服性能高, 适合仿人机器人关节的变参数、

* 基金项目: 清华大学“985”学科规划项目.

收稿日期: 2002-04-17

强耦合及重力作用等复杂动态控制要求,系统应具有良好的动态响应、优秀的步态跟随、以及较小的稳态误差等动静态控制品质;

3) 数字型伺服系统,参数可调,用户程序可以二次开发,以便灵活修正、提高控制性能;

4) 伺服系统与通讯系统之间应该是简单经济的硬件接口,节点之间距离较近,通信线尽量少,要求传送数据准确性和可靠性高;

5) 伺服单元协调性一致,满足各关节运动统一性和协调性高的要求,尽可能从硬件角度降低耦合,要求通信网络采用主从结构,只能有一个主站,其余为从站,数据通讯方式为命令响应型;且各单元节点信息可以有效上传,必须保证数据传送优先级,且通信应以广播方式进行,以便发布同步命令;

6) 功能模块之间数据耦合性、共享性较高,要求通信网实时性强,尽可能实现数据松耦合,可以方便组合模块个数来实现相应动作,应具有一定的开放性;

7) 某一单元自身出现故障或出现通讯故障,必须及时报警并自主实行保护,同时不能影响其他模块的正常运行,系统可靠性要高;

8) 系统运行时,尤其是伺服电机运转时,电磁干扰比较多,要求系统抗干扰能力强;

因此,为了实现清华 T HBIP-I 仿人机器人系统的有效和高性能控制,本文对仿人机器人的关节伺服控制技术及其系统设计进行了研究.

2 伺服控制系统结构 (structure of servo control system)

基于上述仿人机器人的控制和系统设计的要求,通过对现在的DCS和FCS技术的调研发现,DCS系统大多采用集中控制加模拟伺服的方式,主机功能负荷过重,单元之间数据只能通过主机才能实现数据共享;硬件规模较大,连线较多,可靠性较低,一旦某一节点出现故障,可能导致全局瘫痪;而且机器人伺服控制系统逐渐由DCS转向了FCS^[1,2].随着计算机、控制、信息、网络及微电子技术的迅速发展,现场总线以双向、串行、多节点数字通信等技术为基础构成了开放式、数字化、分散化及智能化的底层控制网络FCS(Fieldbus Control System),现已广泛地成功应用于各种控制领域^[5,6].伺服驱动技术的不断完善,基本控制单元逐步集成了电流、速度和位置三环控制,形成了高性能、抗干扰能力强、可靠性高的全数字型电机伺服驱动器.基于现场总线控制功能下载的思想,将微处理器和现场总线接口置入全数字型电机伺服驱动器,进而形成智能型独立的数字控制执行单元.将带有通讯功能的智能单元直接挂接在现场总线上,就形成了新型的控制系统网络结构:省却了传统控制系统(如DCS)中位于主控计算机和伺服驱动单元之间的位置控制卡,减少了硬件数量和连线,减少了信号的传送;各节点智能独立自主,可与外界以及相互间实现数据共享;而且可以加挂其他现场控制设备.

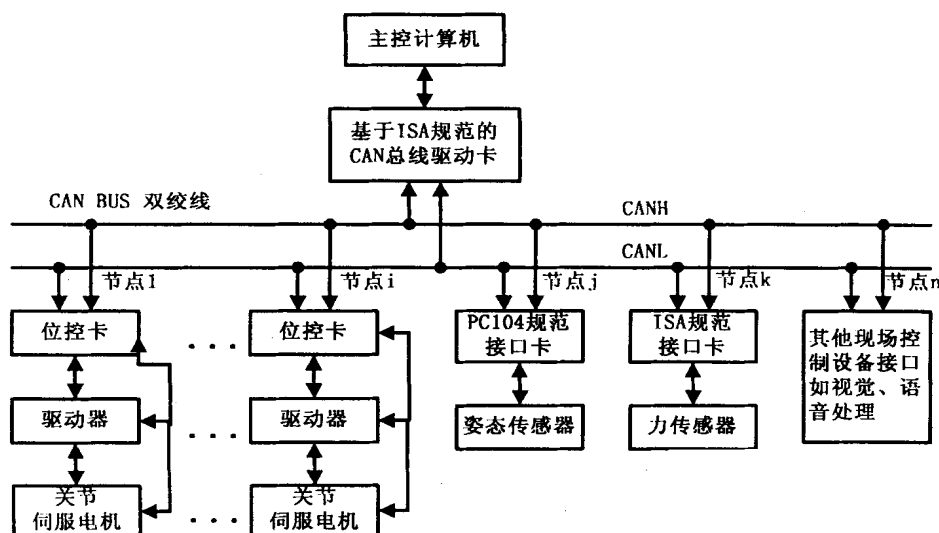


图1 基于CAN总线的仿人机器人控制体系结构原理图

Fig. 1 The configuration of humanoid control system based on CAN bus

可见整个系统的准确性、实时性、开放性和可靠性得以提高,充分体现了现场总线控制系统的优点。目前许多公司已经开发了多种基于现场总线集成通讯功能的智能伺服单元及相应控制系统^[6,7]。

尽管现场总线及相应的智能数字型驱动器种类较多,功能价格规模特色各异标准不一,或规模复杂庞大或价格昂贵,尤其随着集成度的提高,带来了功能冗余,不利于用户开发,即使离线调试后下载到驱动器中,也不能较好地满足本系统伺服控制要求。为此,笔者从系统规模节点信息的多少、工作环境、传输信号情况及现场设备情况出发^[8],提出了以 CAN 总线为基础的仿人机器人分级伺服控制系统方案,如图 1 所示,由自行设计的带 CAN 总线接口的位置控制卡、集成有电流环和速度环控制的数字型伺服驱动器及直流无刷电机组成关节伺服单元。主机完成任务规划后,根据主从通讯协议通过 CAN 总线向各个节点(位控卡、其他现场控制设备)发送指令信息,各节点解释指令后,进行相应流程。位控卡接受到运动指令后,采集当前关节位置状态向主机返回,执行控制算法,输出指令电压给伺服驱动器,驱动关节电机运动;其他规范的节点同样进行信息的采集、处理,并与主机或其他节点通讯,实现数据共享。

3 关节位置伺服卡设计(Design of joint position servo card)

CAN(Controll er A rea Netw ork)是目前唯一被批准为国际标准的现场总线,由德国的 Bosch 公司开发,现有百余家国际著名大公司,如 Intel, Motorola, Honeywell, NEC, Siemens, Philips 等支持 CAN 协议,并且在许多行业中获得成功应用^[9,10]。CAN 有如下的基本特点^[6,11]:

- 1) CAN 协议遵循 ISO/OSI 模型,采用了其中的物理层、链路层与应用层的三层结构,实现规模不复杂;
- 2) 为多主方式工作,只需通过报文滤波即可实现点对点、一点对多点及全局广播几种发送和接受数据的全分布式多机系统,任一节点均可在任意时刻主动地向网络上其他节点发送信息,不分主从,通讯方式灵活。
- 3) 采用非破坏性的总线仲裁技术,保证最高优先级节点数据传输,节省了总线冲突仲裁时间,体现了实时性和安全性;
- 4) CAN 的信号传输和控制采用短帧结构,有数据帧、远程帧、出错帧和超载帧四种;每一帧有效字

节数为 8 个,每帧信息都有 CRC 校验等检错措施,这样传输时间短,受干扰概率低,数据出错率低;

5) 当某一节点发生严重错误时,CAN 具有自动关闭节点,切断与总线联系的功能,使总线上其它节点及其通信不受影响,所以具有较强的抗干扰能力及低耦合性;

6) 通讯速率范围 5Kbps/10km ~ 1Mbps/40m,驱动节点数可达 110 个,传输介质可以是双绞线、同轴电缆或光纤等,选择灵活。

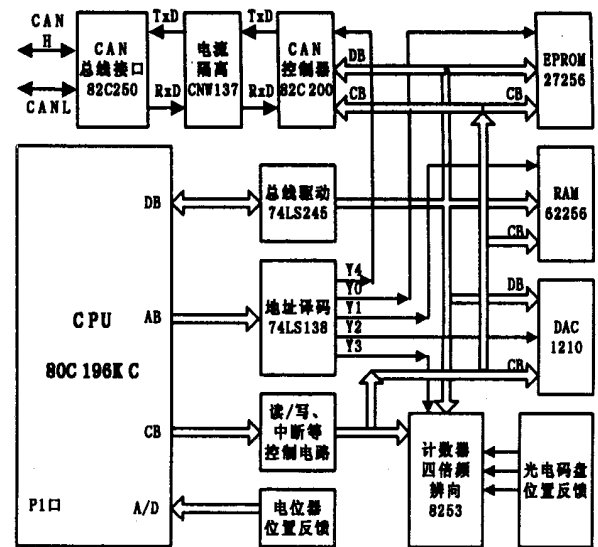


图 2 位置控制卡结构原理图

Fig. 2 The configuration of position control card

基于 CAN 独特灵活的设计思想,良好的功能特性和极高的可靠性,结合 Intel 高性能 16 位单片机 80C196KC^[12],并在 80C196KC 最小系统的基础上分别扩展了 32K 程序和数据存储空间,本文研究设计出图 1 所示系统的位置控制卡,其原理结构如图 2 所示。位控卡配合伺服驱动器的指令输入方式以及关节速比范围,数模转换选用 12 位并行 DAC1210 输出±10V,并设计跟随器提高抗干扰能力;从全闭环和半闭环考虑,关节位置反馈设计了码盘反馈和电位器反馈两种方式,码盘信号经差分驱动后进行四倍频及正反计数,电位器信号由单片机自带 10 位 AD 采样转换;P1 口用做开关量控制,控制抱闸和使用的开合,其中抱闸电压的开合通过固态继电器实现;CAN 总线接口选用了 Philips 公司生产的独立控制器 82C200^[13],其支持 CANBUS 的物理层与数据链路层的所有功能,多主结构,有成组和广播报文功能,总线访问优先权取决于报文标识符,有极强的错误处理能力,且配置灵活允许局域网扩展,选用

总线驱动接口 82C250 结合光电隔离, 提供对总线的差动发送和接受功能, 实现各节点之间的电气隔离, 以增大通信距离, 提高总线瞬间抗干扰能力。

4 通讯协议与控制算法 (Communication protocol and control algorithm)

位控卡系统软件主要由监控、通讯和控制算法三部分组成, 监控程序主要进行系统初始化, 并进入等待中断状态, 流程如图 3。

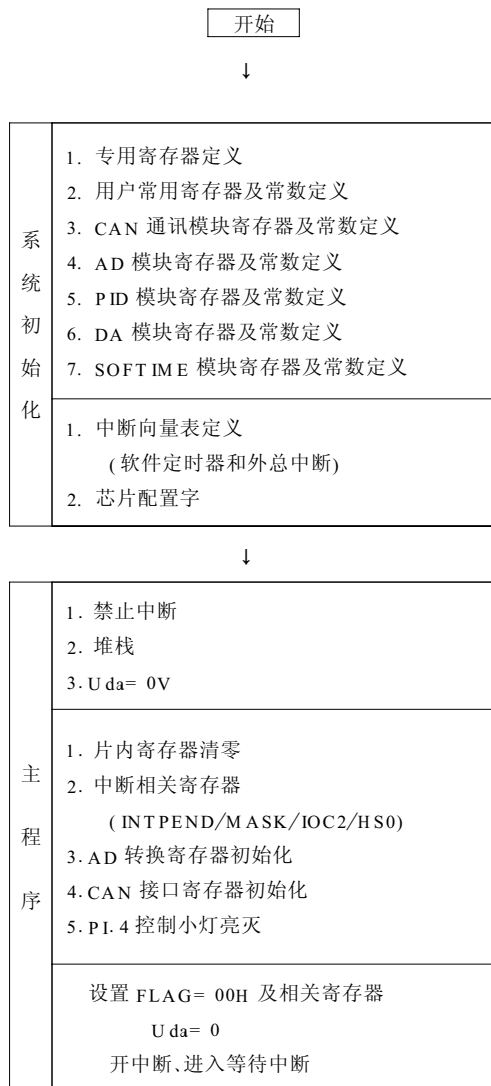


图 3 从机临控程序初始化流程

Fig. 3 The initialization flow chart of lower machine

系统主从节点之间 CAN 通讯是以中断方式进行的, 最关键的通讯协议的设计, 结合 CAN 总线和

伺服控制过程的特点, 设计了 FLAG 标志寄存器用来控制程序的流程, 具体见图 4 所示的中断服务程序流程。机器人运行中首先进行通信检测确保通讯无误后, 将协议中一些控制参数由主机调试确定好后传送至从机, 接着各关节开启抱闸和使能进行正确回零复位, 然后开始传送运动指令数据, 并执行任务。其中从系统可靠性出发, 故障处理模块较为重要且设计较为详细, 包含有 8 次采样取算术平均值滤波法、上下限位判断、最大允许速度判断、通讯是否正常判断、关节伺服状态是否正确、AD 采样是否正确、DA 输出是否正确、出错处理等子模块。其他模块跟具体情况有关限于篇幅不在赘述。

由于关节伺服控制性能各异, 控制算法根据实际情况而定, 有简单的比例控制, 也有图 5 所示的带双滞后惯性环节调节器的算法, 采样周期 4ms 由 80C196KC 的软件定时器 0 中断产生。由此可见, 位控卡的设计在程序完善及控制参数调节方面具有灵活性的选择。

5 样机实现 (Prototype of THBIP-I)

图 6 是 THBIP-I 样机单腿支撑期的后视实图, 上面的是位置伺服控制系统(因样机系统正在开展行走调试, 位控卡暂未装入本体), 驱动器和伺服电机均安装在本体内, 身体两边模拟加了双臂的配重以及机载电源的配重。目前已经完成了伺服控制系统的调试, 实现了基本的步行控制功能。图 7 为左踝关节在比例调节(a)和加双滞后环节调节(b)的跟踪正弦曲线的实验结果: 从图中可见伺服跟随性能明显改善。

6 结论 (Conclusion)

基于该 CAN 总线设计的控制系统和位置伺服卡已经在仿人机器人样机 THBIP-I 上联调成功, 能实现基本步行控制功能。主从机运行正确、可靠, 扩展性好, 控制参数可调, 控制器的可靠性和开放性提高, 系统有效可行。从进一步完善伺服控制系统和提高其控制性能考虑, 后续研究将进一步提高位控卡的集成度, 采用 DSP 实现控制 1~3 个关节的多关节控制, 并根据实际要求自行开发带现场总线节点的驱动器、开发如 SONY 的娱乐机器人 ASIMO 和 SDR-3X/4X 集总线接口、驱动器、电机、传感器于一体的智能型伺服控制系统^[2]。

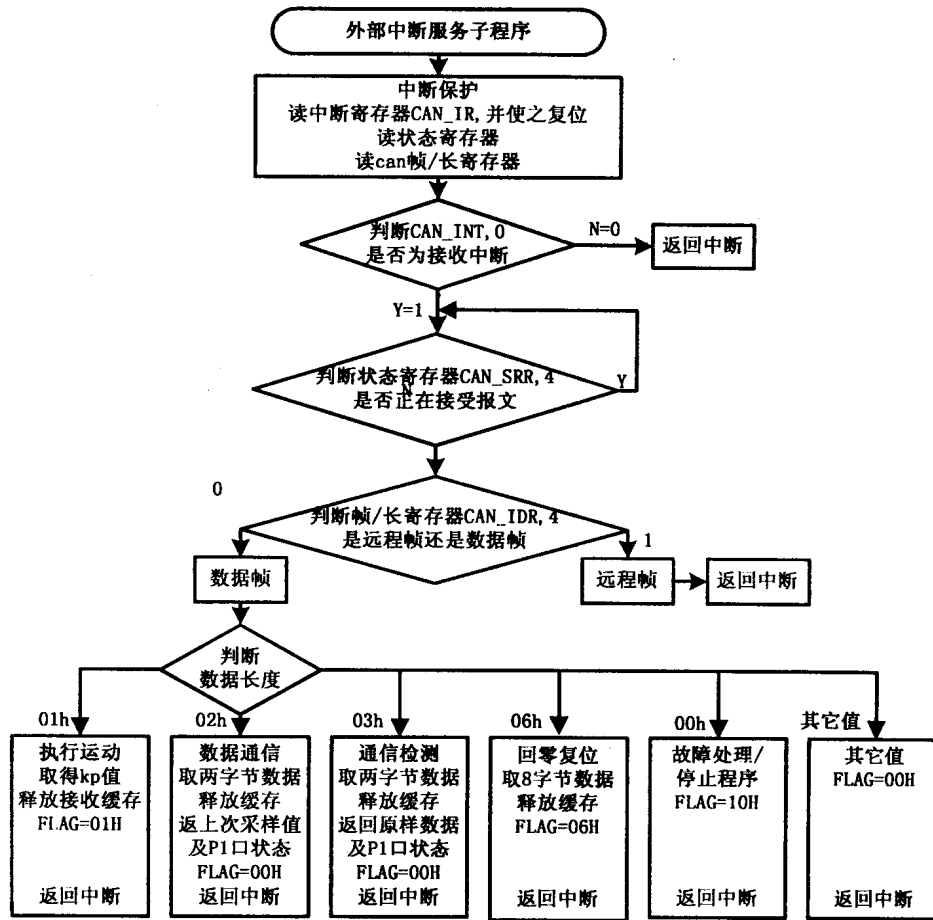


图 4 从机中断服务程序流程

Fig. 4 The ISR flow chart of lower machine

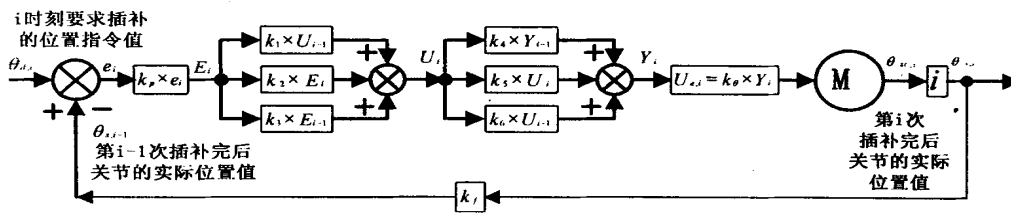


图 5 位置伺服控制算法模型图

Fig. 5 The control algorithm model of position control card

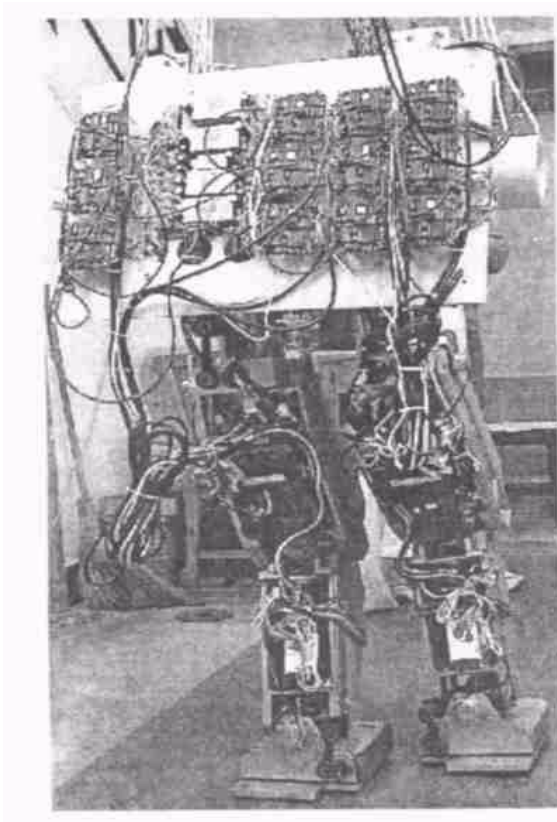


图6 THBIP-I样机实图
Fig. 6 The prototype of THBIP-I

参考文献 (References)

- [1] Kazuo Hirai, Masato Hirose, Yuji Haikawa, etc. The Development of Honda Humanoid Robot[C]. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation Leuven, Belgium May 1998: 1321- 1326
- [2] Yoshihiro Kuroki. A Small Biped Entertainment Robot[C]. Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2001: 181- 186
- [3] Li Liu, Jinsong Wang, Ken Chen, etc. The Biped Humanoid Robot THBIP-I[C]. Proceedings of 2001 International Workshop on Bio-Robotics & Teleoperation, 2001: 164- 167
- [4] Kai Xu, Ken Chen, Jinsong Wang, etc. A New Method of Gait Generation for A Biped Walking Robot[C]. Proceedings of the IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2001: 295- 302
- [5] Marcelo Luis Dutra. Fieldbus Control System [J]. Advances in Instrumentation and Control, 1996, 51
- [6] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998
- [7] 赵雁南, 孙发杰, 贾培发, 等. 现场总线和开放的机器人控制系统[J]. 机器人, 1999, 21(7): 615- 619

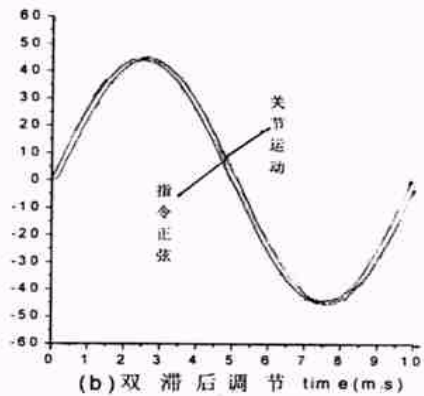
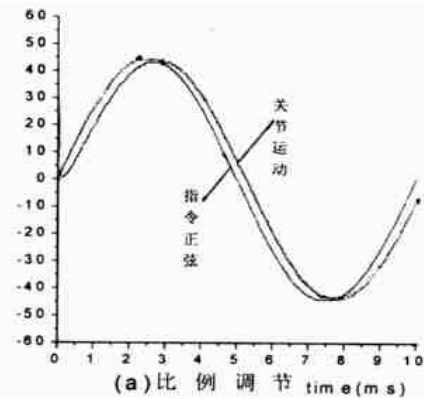


图7 两种调节器的正弦跟踪曲线
Fig. 7 The experiment curves of two adjusters

- [8] 付正军, 肖秀玲. 应用现场总线若干问题的思考[J]. 微计算机信息, 2000, 16(2): 4- 6
- [9] 周凤余. 基于CAN总线的喷浆机器人计算机控制系统的设计与实现[J]. 山东矿业学院学报, 1999, 18(2): 63- 65
- [10] 林勇. CAN总线在中央空调控制系统中的应用[J]. 电子技术应用, 2001, (7): 33- 34
- [11] 郭宽明. CAN总线原理和应用系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996
- [12] 孙涵芳. Intel 16位单片机[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996
- [13] SJA1000 Stand-alone CAN Control Application Note[Z]. Philips Semiconductor, 1997

作者简介:

赵建东 (1975-), 男, 汉族, 山西忻州人, 清华大学精密仪器及机械学制造所博士研究生。研究领域: 仿人机器人控制及关节伺服技术

陈 愚 (1954-), 男, 教授, 博士生导师。研究领域: 仿人机器人, 微操作机器人, 生物机器人, 机电一体化技术, PDM。