

文章编号:1004-9037(2004)01-0041-05

# 基于IEEE1451的机器人网络感知系统研究

宋光明<sup>1,2</sup>, 卞亦文<sup>1</sup>, 高理富<sup>1</sup>, 葛运建<sup>1</sup>, 戈瑜<sup>1</sup>

(1. 中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥, 230031;

2. 中国科学技术大学自动化系, 合肥, 230027)

**摘要:** 机器人所需要的多种传感器和执行器的兼容与接口问题日益突出, 为降低建立和维护机器人感知系统的成本与复杂度, 提高可靠性, 本文基于智能化、网络化的设计思想, 借助IEEE 1451智能变送器接口标准和现场总线技术, 搭建了一个分布式、开放的机器人网络化感知系统。并针对传感器即插即用和传感器静、动态标定与性能评估等需求, 详细介绍了感知系统的软硬件构成与网络接口设计。实测结果表明, 系统运行稳定, 实时性良好, 为机器人实现更高级智能, 完成更复杂任务提供了一个可靠的平台。

**关键词:** IEEE 1451; 感知系统; 网络接口; 即插即用

**中图分类号:** TP212; TP242.6

**文献标识码:** A

## Research on Robot Networked Perceptual System Based on IEEE 1451 Standard

SONG Guang-ming<sup>1, 2</sup>, BIAN Yi-wen<sup>1</sup>, GAO Li-fu<sup>1</sup>, GE Yun-jian<sup>1</sup>, GE Yu<sup>1</sup>

(1. Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei, 230031, China;

2. Department of Automation, University of Science &amp; Technology of China, Hefei, 230027, China)

**Abstract:** Nowadays the robot is getting smarter with increasing intelligence, and the robot requires many sensors and actuators. But they do not have interfaces compatibled with each other. It leads to high costs and a high complexity, and makes the system hard to be built and maintained. This paper presents a problem to multi-sensor system for the robot with special emphasis on standardized transducer interface and open network communication. Based on the IEEE 1451 networked smart transducer interface standard and field bus technology, a design of robot networked perceptual system is introduced. The HW/SW structure and the network interface are discussed. Experiments show robust performance and good real-time capability of the system.

**Key words:** IEEE 1451; perceptual system; networking interface; plug and play

## 引言

随着机器人在现代工业中的广泛应用, 使用多种视觉和非视觉传感器来提高机器人的智能已引起工业界的广泛关注并成为新兴的研究热点。由多种传感器组成的机器人感知系统作为机器人的五官与皮肤, 是赋予机器人更高智能, 实现机器人与人、机器人与环境交互的重要工具<sup>[1]</sup>。Ren C Luo 和 Min-Hsiung Lin 曾经在 Unimation PUMA 560

机器人上集成了多种外部传感器, 包括头顶视觉、手眼视觉、超声测距、触觉传感阵列以及腕力和指力传感器等, 并采用分段优化估计的传感器信息融合算法完成了一个简单的装配任务<sup>[2]</sup>。Yanfei Liu 等人介绍了一个机器人工作单元原型, 由六个摄像机组成的视觉传感器网络安装于铝质立方框架上, 可以进行一些 2D 实验, 比如跟踪地面移动目标等<sup>[3]</sup>。尽管国内外学者针对机器人的感知系统进行了许多行之有效的研究与尝试, 但随着机器人智能化程度的不断提高, 所需要的传感器、执行器的种

**基金项目:** 国家 863 计划 (2001AA423300) 资助项目; 国家自然科学基金 (60175027) 资助项目。

**收稿日期:** 2003-05-04; **修订日期:** 2003-09-15

类与数量也越来越多,他们之间的兼容与接口问题以及网络互操作性(Networking interoperability)问题日益突出。由此造成的高成本与高复杂度使系统难以建立和维护,而且传统采用的基于RS232, RS485等协议的通信线路,通信速率低下,实时性差,不能满足机器人系统实时控制与操作的需要。如何搭建更加简单高效的感知系统,使机器人实现更高级智能,完成更复杂任务是一个亟待解决的关键问题<sup>[4~7]</sup>。

## 1 IEEE 1451 智能变送器接口标准

开发一个标准化的传感器接口与组网协议对传感器开发者和最终用户来说都是大有裨益的。这不仅大大削减了传感器布线成本,方便实现了传感器的即插即用和与现有测量仪表、现场总线的连接,而且也将来系统升级维护和扩展打下了良好基础。从1993年9月开始,美国国家标准技术研究所和IEEE仪器与测量协会的传感技术委员会联合组织了一系列专题讨论会来商讨智能传感器通用通信接口问题和相关标准的制定,这就是被称为IEEE 1451的智能变送器接口标准(Standard for a smart transducer interface for sensors and actuators)<sup>[8]</sup>。制定IEEE 1451的目标就是要定义一整套通用的通信接口,以使变送器能够独立于网络的与现有基于微处理器的系统,仪器仪表和现场总线网络相连,并最终实现变送器到网络的互换性与互操作性<sup>[9]</sup>。

IEEE1451标准把数据获取、分布式传感与控制提升到一个更高的层面并为建立开放系统铺平了道路。它通过一系列技术手段把变送器节点设计与网络实现分隔开来,这其中包括变送器自识别、

自配置、远程自标定、长期自身文档维护、简化变送器升级维护以及增加系统与数据可靠性等<sup>[10]</sup>。IEEE1451标准定义的功能框架包含了一系列数据与对象模型,以使传感器数据能够和网络相通。其框架结构如图1所示。在图1中,IEEE1451.2标准定义了传感器数据模型,即智能变送器接口模块(Smart transducer interface module, STIM),其中包括变送器电子数据表(Transducer electronic data sheet, TEDS)和一个10线数字接口-变送器独立接口(Transducer independent interface, TII)。传感器的TEDS包含了产品相关信息比如制造商名称、传感器类型、序列号和标定数据等,并在系统上电或有命令请求时立刻发布到网络或仪器。变送器(Transducer, XDCR)数据先转换成数字格式,然后通过TII发送给网络应用处理器(Network capable application processor, NCAP)<sup>[11]</sup>。IEEE1451.1定义了智能变送器的对象模型,用面向对象语言对传感器的行为进行了描述。通过这个模型,原始传感器数据借助标定数据来进行修正并产生一个标准化的输出。这个对象模型还定义了一个独立于网络的应用编程接口(Application programming interface, API),使传感信息与任何基于网络的变送器应用程序之间的通信成为可能<sup>[12]</sup>。

## 2 感知系统工作原理

### 2.1 感知系统总体结构

机器人网络感知系统是一个分布式、开放的体系结构,它的总体结构如图2所示。整个感知系统包括中央控制器(上位机)、机器人控制器(下位机)、机器人本体、CAN总线适配器、CAN总线以

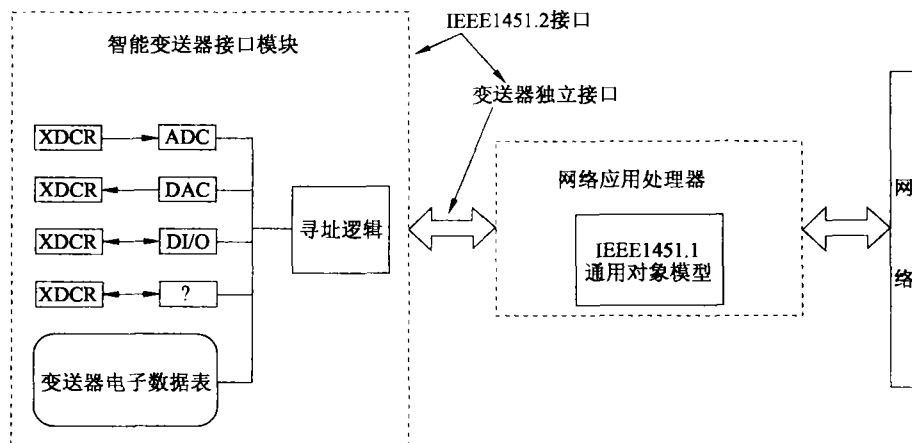


图1 IEEE 1451.1与IEEE 1451.2的框架结构

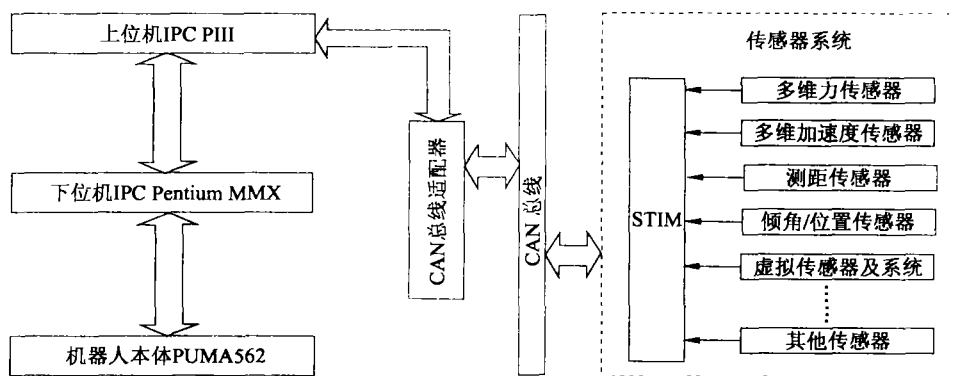


图2 机器人网络感知系统

及由各种传感器和相应的STIM模块组成的传感器系统。监控级的上位机作为中央控制器通过CAN总线适配器与CAN总线连接,下位机作为机器人控制器主要实施关节控制,驱动电机等底层操作。从图1可以看出,一个STIM模块即是一个感知节点,它通过TII接口与CAN总线相连,从而实现模块的即插即用。每个STIM模块根据不同需要可以挂接一种或多种传感器,如力传感器、加速度传感器、测距传感器、位置传感器等。上位机与CAN总线适配器共同实现NCAP模块的功能,上位机监控程序通过调用CAN总线适配器提供的API接口函数来完成与STIM各传感器通道的通信。

## 2.2 感知节点结构

每个STIM模块作为感知系统中一个独立的

节点,在中央控制器的控制下按照CAN总线协议进行数据采集等操作,并可相互通信。STIM模块的硬件原理图如图3所示。其中8051兼容的微控制器(Microcomputer control unit, MCU)作为STIM模块的核心控制器,自带多通道高精度ADC。CAN总线控制器SJA1000和相应的CAN总线驱动器82C250构成了网络接口即TII接口。根据IEEE1451.2标准的定义,TII实际上是一种基于SPI(Serial peripheral interface)的串行I/O总线,这里结合具体的应用采用4线制的结构,即CAN总线的高低电平通信线、电源线及地线。程序闪存(Program flash)存储寻址及功能程序模块,数据闪存(Data flash)存储TEDS电子数据表,与STIM自身及各传感器通道相关的信息都加载于此,并可以在线读取存储和修改,从而满足在线编程、静态标定以及系统功能扩充的需要。

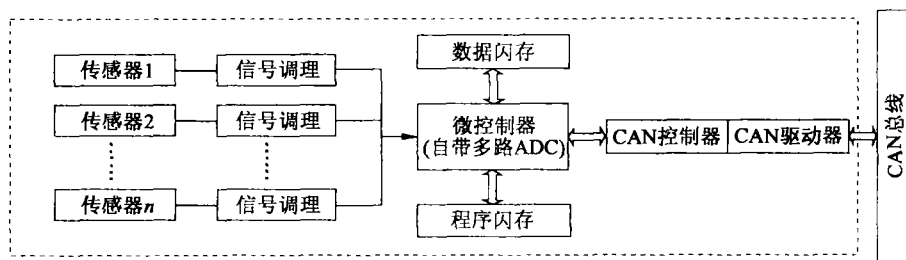


图3 STIM感知节点硬件原理

## 3 软件设计与实验

感知系统的软件设计主要包括上位机监控、下位机底层控制、上下位机通信、CAN总线通信、节点数据采集与处理、和TEDS设计等模块。这里着重介绍TEDS设计及相应的数据通信格式。描述STIM各通道与各变送器的数据都存储于TEDS

电子数据表中。上层NCAP或执行相应功能的PC都可以读取和在线修改TEDS中的参数,以及时进行设备识别与维护。

IEEE1451.2标准定义了8种不同的TEDS,它们分别是Meta-TEDS, Channel-TEDS, Calibration-TEDS, Meta-Identification TEDS, Channel-Identification TEDS, Calibration-

Identification TEDS, End Users' Application-Specific TEDS 和 Industry Extensions TEDS。其中 Meta-TEDS 和 Channel-TEDS 是必须的,其他都是可选的。本应用只增加了一个 End Users' Application-Specific TEDS。Meta-TEDS 描述 TEDS 的数据结构,STIM 的极限时间参数和通道组信息等有关 STIM 的总体信息;Channel-TEDS 主要定义每个通道的具体信息,如函数模型、校准

模型、物理单位、量程上下限、使用时限等参数;End Users Application-Specific TEDS 用来为最终用户额外提供所需要的特殊信息,比如 STIM 所处的位置,维护人员的姓名、电话等。

根据 IEEE1451.2 标准中 TEDS 的数据格式规定,结合 CAN 总线数据传输协议,设计的数据通信格式如图 4 所示。

ID 标识符	远程请求位	传感器数据	TEDS 地址	STIM 通道号	传感器编号	物理单位
--------	-------	-------	---------	----------	-------	------

图 4 STIM 数据通信格式

ID 标识符是 11 位用来标明数据的惟一 ID 号。远程请求位为 0 表示所传送的是数据帧,为 1 则表示是远程请求位,紧接着就是要传送的两个字节数据。后面 3 个字节用来存放对应的 3 个 TEDS 地址,以便需要时进行读取或修改。一个字节用来存放 STIM 通道号,采用 0~7 分别表示 8 个不同通道。一个字节用来存放传感器编号以识别传感器类型,也分别用 0~7 之间的整数表示。一个字节存放物理单位以表示不同的传感器所采集的信号物理量不同,这里用 0,1,2 等数字表示,0 表示物理量是电压,1 表示是力信息,2 表示是速度等。

我们将自主开发成功的网络化六维力传感器安装于 PUMA 562 机器人上进行了现场实验。实测表明,系统运行稳定可靠,实时性良好,结果如图 5 所示。图 5 是 PUMA 562 机器人各关节以  $30^\circ/3\text{ s}$  进行运动时六维力传感器数据的实测曲线,采样间隔为 20 ms。 $F_x, F_y, F_z$  分别为  $x, y, z$  三个方向上的力信息,而  $M_x, M_y, M_z$  分别为绕  $x, y, z$  三个方向的力矩信息。可以看出, $F_x$  和  $M_y$  都呈上升趋势,而其它几组波动较大,这与 PUMA 562 机器人的实际运动状态是一致的。

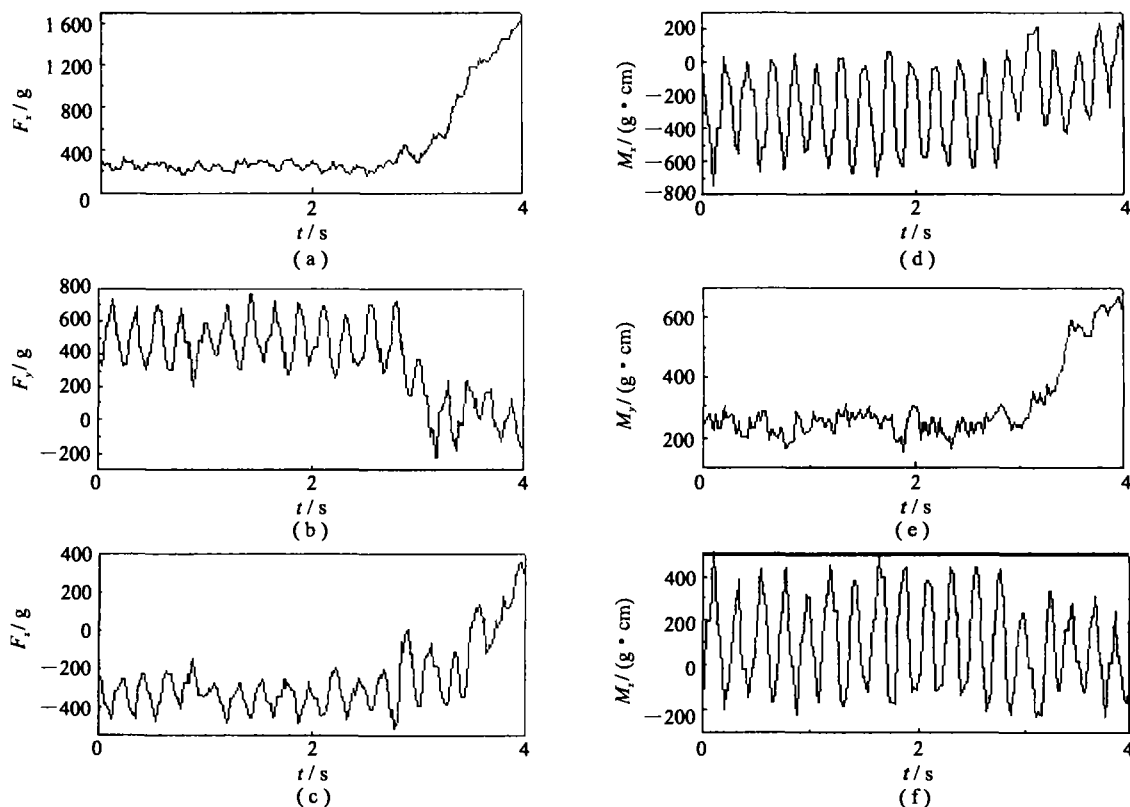


图 5 六维力传感器实测曲线

## 4 结束语

机器人网络感知系统集成了标准化的智能传感器网络接口,大大减少了电缆连线,方便实现了传感器的即插即用。分布式、开放的体系结构不但有效提升了机器人的智能水平,而且系统更容易维护与升级扩展,为实现传感器静、动态标定与性能评估及多传感器信息融合提供了有力的平台支持。

### 参考文献:

- [1] 葛运建,张建军,戈瑜,等. 无所不在的传感与机器人感知[J]. 自动化学报增刊, 2002,28(12):125~133.
- [2] Luo R C, Lin Min-Hsiung, Scherp R S. Dynamic multi-sensor data fusion system for intelligent robots [J]. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1988,4(4):386~396.
- [3] Liu Yanfei, Hoover A, Walker I. Experiments using a sensor network based workcell for industrial robots [A]. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation [C]. Washington, DC, 2002. 2988~2993.
- [4] Lee K B, Schneeman R D. Distributed measurement and control based on the IEEE 1451 smart transducer interface standards [J]. IEEE Transactions of Instrumentation and Measurement, 2000,49(3):621~627.
- [5] Burch J, Eidson J, Hamilton B. The design of distributed measurement systems based on IEEE1451 standards and distributed time services [A]. Proceedings of the Instrumentation and Measurement Conference (IMTC) 2000 [C]. Baltimore, MD, 2000. 529~534.
- [6] 宋光明,葛运建. 智能传感器网络研究与发展[J]. 传感技术学报, 2003,16(2):107~112.
- [7] 张建军,葛运健,吴仲城,等. 基于现场总线的分布式智能机器人感知系统研究[J]. 机器人, 2002,24(3):244~247.
- [8] Yang C, Yee K, Lee K B, et al. A sensor integration for open manufacturing systems[A]. Proceedings of the First Smart Sensor Interface Standard Workshop [C]. Gaithersburg, MD, 1994. 207~217.
- [9] Lee K. IEEE 1451: a standard in support of smart transducer networking [A]. Proceedings of the Instrumentation and Measurement Conference (IMTC)[C]. Baltimore, MD, 2000. 525~528.
- [10] Kang Lee, Gao R X, Schneeman R. Sensor network and information interoperability integrating IEEE 1451. with MIMOSA and OSA-CBM [A]. Proceedings of the Instrumentation and Measurement Conference (IMTC) 2002 [C]. Anchorage, Alaska, 2002. 1301~1305.
- [11] IEEE standard for a smart transducer interface for sensors and actuators-transducer to microprocessor communication protocols and transducer electronic data sheet (TEDS) formats[S]. IEEE Std 1451. 2-1997. 1998.
- [12] IEEE standard for a smart transducer interface for sensors and actuators-network capable application processor (NCAP) information model[S]. IEEE Std 1451. 1-1999, 2000.

作者简介:宋光明(1974-),男,博士研究生,研究方向:智能传感器、网络传感器、Web测控技术。E-mail:robotssensor@163.com;葛运建(1947-),男,研究员,博士生导师,研究方向:信息获取与处理、机器人感知。