

## Research on Smart Robot Sensor Network Based on Bluetooth

SONG Guangming<sup>1,2</sup> GE Yunjian<sup>2</sup> ZHANG Jianjun<sup>1,2</sup> TANG Yi<sup>1,2</sup> JIANG Jianju<sup>2</sup>

(1. Dept. of Automation, University of Science & Technology of China, Hefei 230026 P. R. China)  
(2. Institute of Intelligent Machine, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031 P. R. China)

**Abstract:** Bluetooth is now the newest open standard for short range radio. Through the upandcoming technology, this paper presents a wireless robot sensor network. Then the system architecture, network model, HW/SW design and operating principle are also discussed.

**Key words:** Bluetooth; robot sensor; wireless

## 基于蓝牙技术的智能机器人传感器网络研究

宋光明<sup>1,2</sup> 葛运建<sup>2</sup> 张建军<sup>1,2</sup> 唐毅<sup>1,2</sup> 江建举<sup>2</sup>

(1. 中国科学技术大学自动化系 合肥 230026; 2. 中国科学院合肥智能机械研究所 合肥 230031)

**摘要:** 蓝牙技术是当前最新的短程无线通信技术标准。今以蓝牙技术,构筑了机器人无线传感器网络,取代了电缆连接,给出了系统整体架构和网络模型,同时对系统软硬件设计与工作原理进行了分析。

**关键词:** 蓝牙;机器人传感器;无线

中图分类号: TP212, TP24

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2003)01-0001-05

机器人的智能化使其性能不断提高,应用范围不断扩大。伴随着计算机技术、通信技术和人工智能理论的发展,这一进程在加快。为进一步提高机器人的智能和适应性,使用多种传感器是解决问题的关键。目前智能传感器网络已发展到基于现场总线的分布式系统,虽然采用现场总线技术已大大减少了传感器与主控系统的连线,但随着机器人机构的复杂化和集成度的提高,有时走线非常困难甚至是不可能的,而且现场总线技术多种多样,通信标准各自为政,难以实现统一,使系统的开放性大打折扣。因此,开发具有无线接口的智能机器人传感器,研究无线传感器网络不但可以解决这些问题,而且对现有各种机器人传感器的通信方式也是一种必要而有益的补充<sup>[2,4]</sup>。

蓝牙技术是一种无线数据与语音通信开放性全球规范,是由 Ericsson、IBM、Intel、Nokia 和 Toshiba 等公司于 1998 年联合主推的一项最新的短距离无线通信技术,最大符号速率为 1 Mb/s,它以低成本的近距离无线连接替代了电缆连接,在小范围内将各种移动与固定通讯设备、计算机及其终端设备等连接起来,实现了无缝的资源共享。蓝牙设备工作在全球通用免申请的 2.4 GHz ISM (Industrial、Scientific、Medical) 频段,即工业、科学、医疗频段。由于 ISM 频段是对所有无线电系统都开放的频段,而如无绳电话、微波炉之类的设备也是使用这个频段,因此使用其中某个频段都会有不可预测的干扰。因此蓝牙技术使用快速确认和跳频扩频方案以确保链路稳定,把 ISM 频段划分为 79 个跳频信道,每个信道带宽 1

收稿日期: 2002-09-02

基金项目: 国家 863 计划项目(课题编号: 2001AA423300)

作者简介: 宋光明(1974-)男,博士生。研究领域: 智能传感器,智能机器人。

葛运建(1947-)男,研究员,博士生导师。研究领域: 信息获取与处理,机器人传感器。

MHz,跳频速率可以达到 1 600 jump/s。因此,蓝牙系统比其他工作在此频段下的设备稳定的多。

本文以作者实验室机器人传感器实验平台项目为背景。其传感器系统要完成多种典型机器人传感器的数据实时获取和处理、在线实验、标定、测试和评价等任务,虽然采用现场总线技术实现了传感器的即插即用,但反复的插拔布线仍不可避免,而且对实验测试的精度和系统稳定性也很不利。针对这些问题本文提出了基于蓝牙技术的无线传感器网络,并就相关问题进行了研究。

## 1 蓝牙网络模型 (Bluetooth network model)

蓝牙网络模型基于邻近组网的原则,是对等(peer to peer)通信的一种。两个彼此靠近到一定程度的设备,可以自发地建立通信链接。标准 0 dBm 蓝牙无线设备的正常通信范围是 10 m,带有功放的 20 dBm 设备可以达到 100 m 左右。

### 1.1 微微网

如果两个设备建立了蓝牙链接,其中一个设备将扮演主控角色(master),另一个则扮演从属角色(slave)。角色的分配是在微微网形成时临时确定的,主控设备通常由发起通信的设备承担,而且这种主从角色也可以互换。一个给定的主控设备最多可以和 7 个活动的(active)从属设备和 255 个休眠的(parked)从属设备通信。一个单独的主控设备和临近与之通信的所有从属设备即组成了所谓的 piconet<sup>[3]</sup>(惯称微微网<sup>①</sup>)。图 1 展示了蓝牙皮可网的一般模型。在一个皮可网中只能有一个主控设备,它的时钟和跳频序列被用来使该皮可网中的所有从属设备与之同步。这些从属设备都与主控设备保持链接和通信,共享一个公共传输信道,并处于某一特定的基带模式,比如活动从属设备就可以进入呼吸(sniff)或保持(hold)模式等低功率节能状态。在邻近区域可能还有一些处于待机(standby)状态的设备,它们未与主控设备连接,因而不是皮可网的一部分。

### 1.2 散射网

一个设备可以加入到多个皮可网中并保持多个连接,当两个或多个皮可网在时间和空间上部分重叠时,就形成了散射网(scatternet),它的一般模型如图 2 所示。所有皮可网需要遵循的原则同样适用于

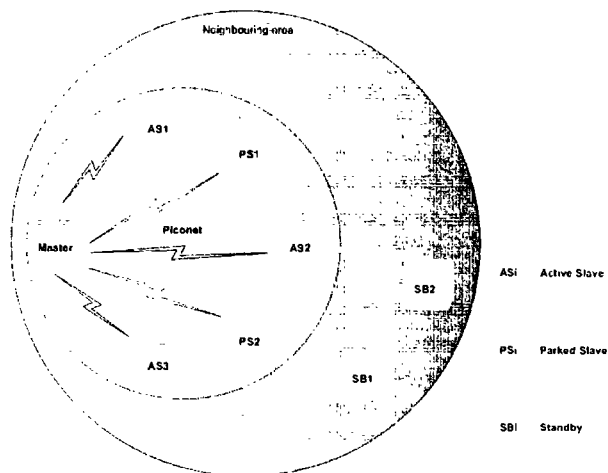


图 1 蓝牙皮可网

散射网,即每个皮可网都有一个唯一的主控设备和一系列活动或休眠的从属设备,每个皮可网的主控设备决定本网的跳频式样。通过轮流地与邻近的不同主控设备建立连接与同步,一个从属设备可以加入到多个皮可网中,如图 2 中 S14/S23。而且,一个设备可以在一个皮可网中作为主控设备,同时又在另一个皮可网作为一个从属设备,如图 2 中所示的 M2/S33。

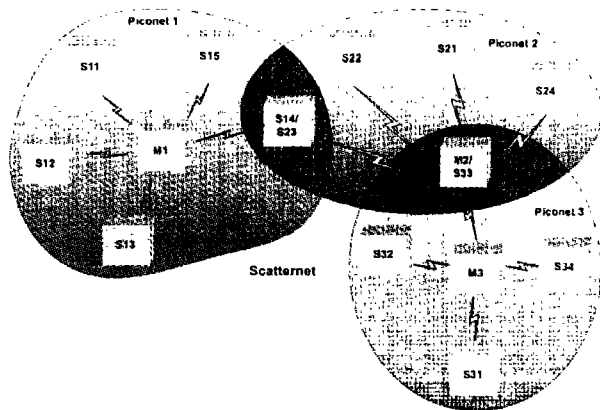


图 2 蓝牙散射网

## 2 传感器网络工作原理 (Operating principle of sensor network)

传感器网络架构在过去 50 年中发生了巨大的变化,上世纪 70 年代出现的现场总线技术利用数字通信代替了传统的 4~20 mA 模拟信号,大大降低

① 对“pico”译为“微微”有违标准,故本刊暂称“皮可”,待有正式标准,即当改正。

了成本与系统复杂度,现在机器人控制系统与传感器系统也多采用这种通信方式<sup>[2]</sup>。但这种方式仍然需要线缆把单个传感器连接到集线器,而且总线连接着所有的传感器,一旦总线出故障,整个系统也就瘫痪,这对于可靠性和实时性要求很高的机器人控制来说是不能忍受的。本实验室传感器实验平台的传

感器系统亦存在同样的问题,所以采用蓝牙技术来构建智能无线传感器网络不仅消除了现场总线单点失效的隐患,而且进一步减少了电缆连线,采用对等通信方式实现了传感器间的协同工作,有效降低了成本,并提高了系统可靠性与鲁棒性。

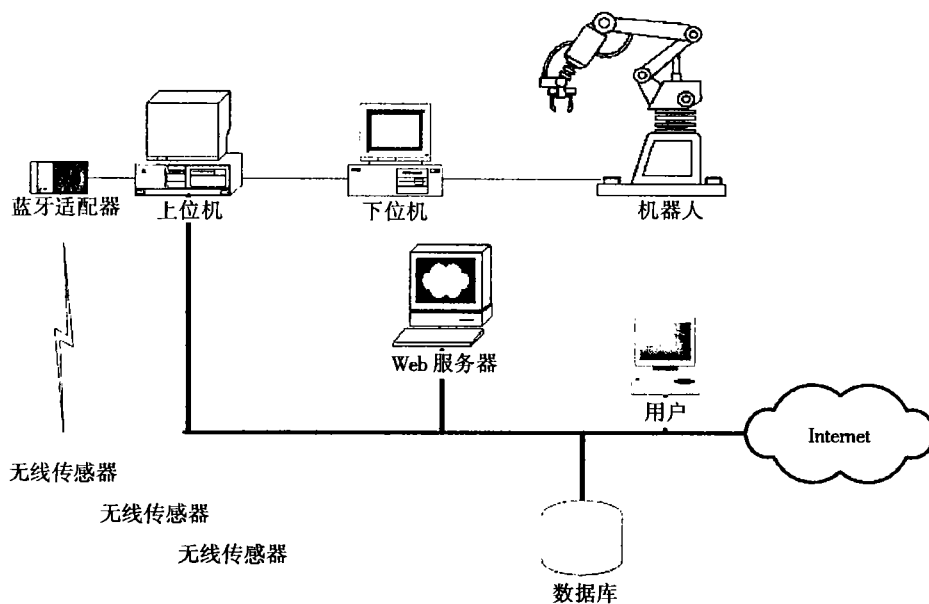


图 3 机器人无线传感器网络拓扑结构

## 2.1 网络拓扑结构

图 3 是智能机器人无线传感器网络的总体拓扑结构。这个系统由无线传感器节点、蓝牙适配器、机器人控制器(包括上位机和下位机)、机器人本体等组成。

机器人控制器采用二级计算机体系结构,下位机主要实施关节控制,驱动电机等底层操作,上位机则进行运动学、动力学计算,路径规划,并提供传感器接口,同时负责各传感器的数据采集、处理和系统上层的监控管理。蓝牙适配器是基于 RS232 或 USB 接口的网络适配器,上位机通过它实现蓝牙功能,并在有效通信范围内与各无线传感器自动组网,从而实现传感器的即联即用。所有采集的数据都存储于数据库中,以便进行历史分析。而且上位机还可以通过 TCP/IP 协议把各传感器节点的数据和状态信息等发送给异地用户,实现远程监控和远程故障诊断。

## 2.2 传感器节点结构

图 4 是蓝牙传感器节点的硬件原理图。如图 4 所示,蓝牙无线传感器节点主要组成部分包括机器人传感单元、信号调理电路、微控制器、蓝牙模块、直流电源模块以及外部存储器等。蓝牙模块由蓝牙射频芯片和基带控制器组成<sup>[5]</sup>。射频芯片主要处理空中数据的发送和接收,并进行相应的操作,如载波产生与调制、发射功率控制等。基带控制器负责链路管理与控制,执行基带通信协议和相关的处理过程,包括建立连接、频率选择、链路类型支持、媒体接入控制、功率模式和安全算法等。经过调理的传感器模拟信号经过 AD 转换后暂存于缓存中,由蓝牙模块通过无线信道发送到主控节点,再进行特征提取、信息融合等高层决策处理。整个节点可由外部直流电源供电或采用电池组,视具体情况而定。若要增加通信距离,可添加功率放大器以提高天线发射功率。

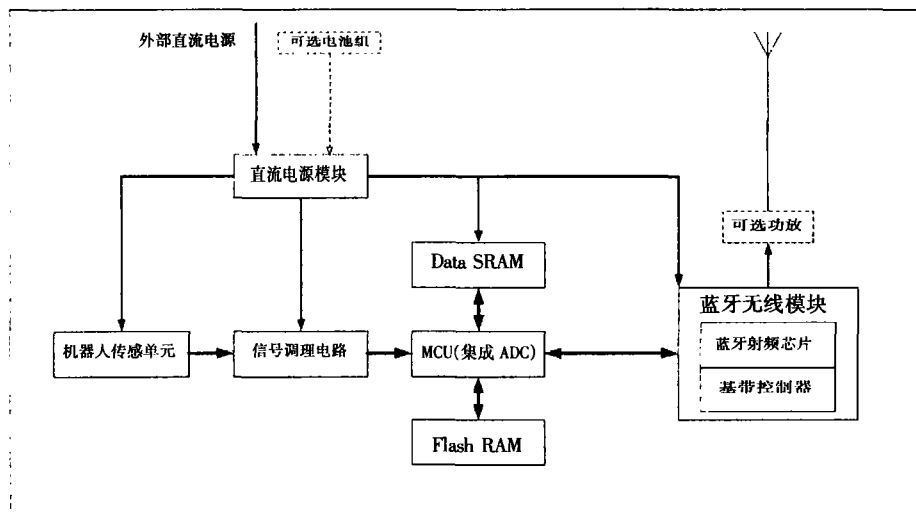


图4 蓝牙智能传感器节点

### 3 系统软件设计(System software design)

系统软件包含两个独立的部分,上位机系统管理软件和节点嵌入式软件。系统管理软件主要负责各传感器节点数据的采集、图形显示、故障诊断、数据库管理以及面向控制的传感信息融合等。各传感器节点的软件嵌入到MCU的Flash RAM中,主要完成来自传感器敏感单元的原始数据的初步处理以及数据的发送与接收。两部分软件间的通信需要通过主机控制器接口固件来实现。

#### 3.1 主机控制器接口

主机控制器接口(Host Controller Interface, HCI)是蓝牙协议中软件与硬件之间的接口,它提供了一个调用下层基带、链路管理、状态和控制寄存器等硬件的统一命令接口<sup>[1]</sup>。HCI固件加载于基带控制器的闪存中,HCI以上的协议软件实体运行于主机(各节点)上,而HCI以下的功能由蓝牙模块来完成,二者之间通过HCI传输层(RS-232、UART或USB)进行交互。

所有在主机HCI层和蓝牙模块中主机控制器之间交换的信息都被封装成协议数据单元(Protocol Data Unit, PDU)进行传输。HCI-PDU分三类,指令(command)、事件(event)和数据(data)。指令携带从HCI层发往主机控制器的控制和管理信息,事件携带从主机控制器发往HCI层的控制和管理信息,数据分为面向同步连接(Synchronous Connection-Oriented, SCO)数据和异步无连接(Asynchronous ConnectionLess, ACL)数据两种。SCO数据主要传送语音,

支持皮可网中主从节点间点对点的连接,ACL数据则是异步数据,支持皮可网中主从节点间点对多点的连接。整个接口的数据交换过程如图5所示。

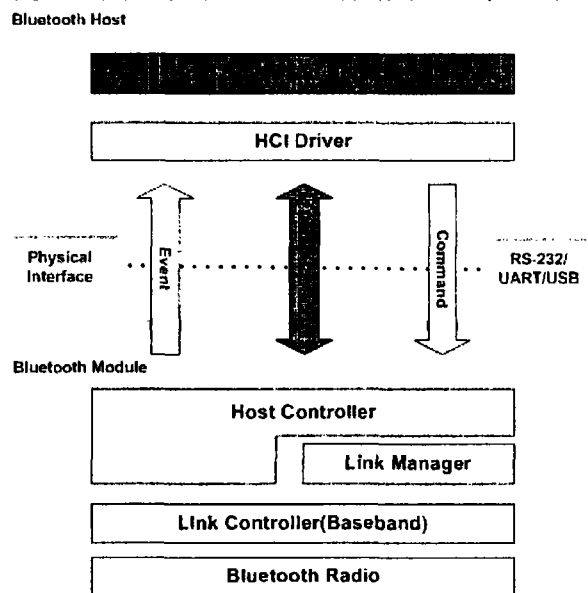


图5 HCI数据流程

#### 3.2 系统通信原理与软件结构

上位机与各传感器节点都要通过HCI协议与蓝牙模块通信,以访问基带和射频单元,整个系统的通信原理与软件结构如图6所示。各模块最底层都是物理通信接口,采用RS-232或USB,向上则是HCI层,包括HCI以及HCI协议驱动等。上位机软件通过调用Win32 API实现各项功能,并生成一个友好的图形用户接口(graphical user interface, GUI)以便进行各种操作。各传感器节点的嵌入式系统则直接调

用 HCI 命令来完成通信任务。

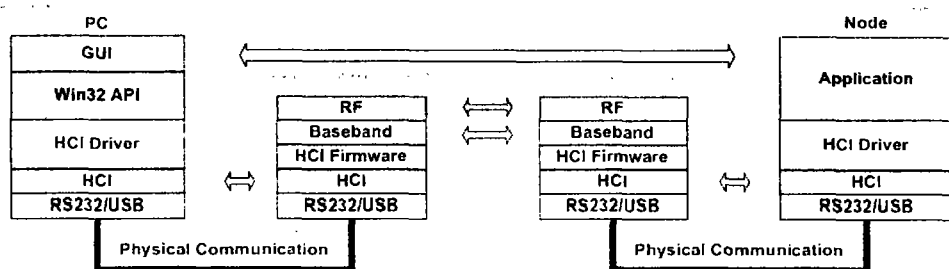


图 6 系统软件模块结构

## 5 结 论

蓝牙技术与传感技术相结合,使机器人控制和数据通信发生了巨大的变革。基于蓝牙技术的智能机器人传感器网络不仅取代了电缆连接,轻易实现了低成本与集成小型化,而且组网灵活,容易扩充。在后续的研究中,本系统将集成基于 IEEE1451 标准的智能传感器网络接口,力求达到最大的兼容性与通用性,从而真正实现机器人无线传感器的即联即用。

### 参 考 文 献

[1] Specification of the Bluetooth System, Volume 1&2, Core,

Version 1.1. Bluetooth SIG, February 22 2001,  
<http://www.bluetooth.com/>

- [2] Wayne W Manges, Glenn O Allgood, and Stephen F Smith. It's Time for Sensors to Go Wireless. Sensors Online. <http://www.sensormag.com/>
- [3] Nathan J Muller. Bluetooth Demystified[M]. McGraw-Hill Professional Publishing, Columbus, September 8, 2000
- [4] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. Wireless sensor networks: a survey. Computer Networks 38 2002: 393 - 422
- [5] Investigating Bluetooth™ Modules: The First Step in Enabling Your Device with a Wireless Link, Application Note 1333 - 2. Agilent Technologies, Inc. Printed in USA. September 30, 2001