

北京工业大学

硕士学位论文

AmI环境下蓝牙感知系统及其协议设计与实现

姓名：张丽艳

申请学位级别：硕士

专业：计算机应用技术

指导教师：黄樟钦;侯义斌

20070401

摘要

环绕智能是近年来提出的一种对未来信息社会的构想,在环绕智能中,人们将置身于一种无处不在的电子环境中,该环境能够迅速地感知人们的行为并做出相应的智能反应。因此,选用何种无线通信技术,如何构建一种能够迅速、准确地感知用户身份及位置的感知系统,便成为环绕智能中首要解决的问题。

蓝牙技术是一种工作在 2.4GHz 频段的短距离无线通信技术。由于采用了快速跳频、前向纠错和优化编码等技术,使其具有抗干扰能力强、通信质量稳定的优点,同时还具有低功耗、低成本、小体积、电磁污染小等特征。因此,蓝牙技术易于集成到嵌入式设备,主要用于代替电缆在设备之间实现数据和语音通信。

以“环绕智能与嵌入式系统”项目为依托,针对环绕智能系统中对用户身份感知的需求,将蓝牙技术作为实现用户无缝感知的手段,设计了环绕智能环境下的蓝牙身份感知协议,并在此协议基础上构建了蓝牙身份感知系统。

研究了环绕智能的核心技术以及蓝牙无线通信技术的体系结构和技术特点,探讨了环绕智能中对身份感知技术的选择。在蓝牙串口规范(Serial Port Profile, SPP)基础上提出了适合环绕智能身份感知的蓝牙感知协议,并阐述了该感知协议的详细设计方案。在该感知协议的基础上,设计了蓝牙感知系统的感知策略、安全认证策略、电源管理策略和人机交互策略。基于蓝牙单芯片解决方案设计了系统硬件,利用面向对象方法设计了蓝牙感知器、蓝牙感知适配器和主机端软件,并最终在 CSR 公司的蓝牙开发平台上实现了蓝牙感知系统。

关键词 环绕智能; 蓝牙; 感知系统; 感知协议; 串口规范

Abstract

The concept of Ambient Intelligence (AmI) is provided in recent years which presents a vision of the information society in the future. People are surrounded by intelligent intuitive interfaces that are embedded in all kinds of objects and an electronic environment which can recognize and respond to the presence of different individuals in a seamless, unobtrusive and often invisible way. So, which wireless communication technology should be chosen, and how to build a sensor system which can apperceive individual's identity and location quickly and correctly, is becoming a prerequisite in AmI.

Bluetooth is a short range wireless communication technology which uses unlicensed 2.4 GHz spectrum. Strong anti-jamming ability and good communication quality is present by using frequency hopping, forward error correction (FEC) and optimized coding techniques. And Bluetooth also gets the advantages of low power, low cost, small bulk and low radio pollution. So, it is easy to be integrated into the embedded devices to replace the cable to fulfill the data and audio communication requirement among different devices.

Supported by the "Ambient Intelligence and Embeded Systems" Project, according to the identity apperceive requirement, an identity sensor protocol which uses Bluetooth as the key technology to realize seamless sensor in user side is provided, and based on it, a Bluetooth identity sensor system is built.

The key technologies of AmI and the system architecture of Bluetooth wireless communication technology is researched, the reason for the identity apperceive technique choice in AmI is discussed. Based on Serial Port Profile (SPP), a Bluetooth based sensor protocol which fulfills the requirement of AmI is provided, and the detailed design scheme of the protocol is also presented. Based on the protocol, the sensor strategy, security authentication strategy, power management strategy and human interactions strategy of the Bluetooth Sensor System are provided. The system hardware is designed according to the Bluetooth SoC resolution, and the Bluetooth Based Sensor, Bluetooth Based Sentient Adapter and the software which is used in the host side are designed by Object Oriented way. The Bluetooth Sensor System is realized on CSR's Bluetooth development environment finally.

Keywords Ambient Intelligence (AmI); Bluetooth; Sensor System; Sensor Protocol; Serial Port Profile (SPP)

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京工业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名： 张丽艳 日期： 2007.6.8

关于论文使用授权的说明

本人完全了解北京工业大学有关保留、使用学问论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内 容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

签名： 张丽艳 导师签名： 黄樟铭 日期： 2007.6.8

第1章 绪论

1.1 课题背景

1.1.1 环绕智能系统

近年来,随着计算机行业的技术发展,“计算技术”逐渐代替“计算机技术”普遍为人们所接受。计算科学研究的重点逐渐从以主机为中心的计算机模式转化到以人为中心的第三代计算模式。环绕智能就是在第三代计算模式的兴起中出现的具有代表性的研究领域。

环绕智能最初萌芽于前 Xerox PARC 首席科学家 Mark Weiser 在 1991 年提出的“无处不在的计算 (Ubiquitous Computing)”的思想^[1],该思想强调把计算机嵌入到生活、工作环境或日常工具中去,让计算工具本身从人们的视线中“消失”,让人们注意力的中心回归到要完成的任务本身。紧接着,欧洲信息社会咨询组 ISTAG 在 2001 年提出了“环绕智能信息社会”的构想^[2],进一步提出了环绕智能构想及其实现的可行性技术路线:将环绕智能应用系统分为多个物理空间上独立的子系统,这些子系统之间具有一定的交互能力,人和各种可携带设备可以“透明地”在它们之间移动,从而实现“消失计算”的目标。另外,欧洲信息社会组织第六框架计划(IST FP6)从应用的角度给出了一个“环绕智能空间(AmI Space)”的概念^[3],将环绕智能的应用划分为面向人体、家庭、工作、车辆四个方面;并通过无缝的环境管理,将这些不同范围的应用系统连接起来。

环绕智能可以看作“无处不在计算”和“自然人机交互”概念的一种融合,其关键特性为无处不在、智能感知和自然交互。环绕智能的实质是利用各种信息传感技术,实现对用户各种行为特征的感知、理解,从而提供一种无缝的人机交互方式。在这种交互方式下,计算设备是不可见的,人机交互的模式从传统的以计算机为中心转移到以人为中心。环绕智能的主要目标之一就是根据不同用户的习惯为其提供个性化的服务,而感知用户的进入、离开和识别用户身份则是提供个性化服务的前提,因此智能感知在环绕智能系统中承担着极为重要的作用。

1.1.2 蓝牙感知系统

蓝牙 (Bluetooth)^[4]技术是一种短距离无线通信的开放性标准,1998 年由爱立信、诺基亚、东芝、IBM 和 Intel 等公司组成的蓝牙特别兴趣小组 SIG 推出,它工作在全球开放的 2.4GHz 的 ISM 频段,目的在于实现最高传输速率为 1Mbps

(有效传输速率为 721kbps)、最大传输距离为 10m 的短距离无线通信^[5], 主要用于在较小的范围内通过无线连接的方式实现固定设备以及移动设备之间的网络互连, 实现低功耗、低成本、短距离、小体积的无线语音和数据通信。

蓝牙技术自从推出以来在版本上和应用中都得到了较大的发展。自从 1999 年 7 月蓝牙 SIG 正式公布了蓝牙 1.0 版本规范, 到现在, 蓝牙标准已经发展到了 2.0 版本^[6], 蓝牙技术规范也由之前只针对点对点的无线连接扩展到了点对多点的无线连接, 并且实现了高速识别蓝牙设备、通过自适应调频技术 (AFH) 减少蓝牙网络与无线局域网 (LAN) 电波的干扰、提供的带宽是最初目标的 3 倍 (3Mb/s)、具有更高的数据传输速率^[7], 同时, 通过减少工作负载循环使蓝牙技术在大数据量文件传输时耗电量减少了一半, 更好地降低了设备功耗。在应用上, 逐渐出现了更多的蓝牙应用产品, 像蓝牙鼠标、蓝牙键盘、蓝牙耳机、蓝牙音箱、蓝牙手机、蓝牙车载系统, 等等。并且逐渐适应了目前对提升数据吞吐量的需要, 如传输 CD 音质的流媒体文件、数字相片和激光打印机, 以及基于数字音频和图像的应用^[7]。

将蓝牙技术作为感知手段应用于感知系统是蓝牙应用研究的新发展, 利用蓝牙的无线感知技术在生产、科研等领域开展了新的探索。目前, 蓝牙作为感知技术, 主要是结合无线传感技术构建蓝牙传感网络、研究蓝牙传感器设备, 并将研究成果应用到工业控制、医疗卫生、智能家居等研究领域。

1.2 国内外研究现状

“无处不在的计算 (Ubiquitous Computing)” 提出来之后很长一段时间, 它仅仅是停留在理论和原型研究阶段。直到九十年代末期, 才开始有大量的面向环绕智能的研究出现, 逐渐发展成为一个极具活力和影响力的研究领域。1999 年和 2000 年开始的 Ubicomp 国际会议和 Pervasive Computing 国际会议、2002 年 IEEE Pervasive Computing 期刊的创刊都标志着环绕智能进入了新的研究阶段。

在国外, 许多著名大学和研究机构开展了相关课题的研究, 其中: ISTAG 对未来的环绕智能技术进行了详细的描述, 并指出 AmI 应该能提供技术来支持人机交互并且用智能传感器和智能接口来环绕用户, 一个智能环境必须使得计算能够“信手拈来”, 把计算机更多地带入到真实的人类空间去, 而不是将人类带入到虚拟的世界中; Philips Research 开展了 HomeLab 项目^[8], 构建了一个适用于普通家居的环绕智能环境; 此外, 麻省理工学院 (MIT) 的 Intelligent Room 项目^[9]、佐治亚技术理工学院 (Georgia Tech.) 的 Aware Home 项目^[10]、斯坦福大学 (Stanford) 的 Interactive Workspace^[11]也都是“环绕智能空间” (AmI Space) 范畴内的研究。在环绕智能感知技术研究方面: 意大利热那亚学者研究了 AmI 下

的多传感器的信息融和问题^[12]；美国韩国学者联合研究了一种针对 Aml 网络环境中的移动传感器和智能设备的基于分布式能效调度算法^[13]，试图建立一个具有智能性的动态的传感器网络。

在国内，Aml 研究处于起步阶段。西安交通大学和北京工业大学在环绕智能领域开展了一些研究工作并取得了一定的成果，构建了局域网范围内的环绕智能环境^[14-16]。此外，其他的一些学术机构进行了与 Aml 相关的“普适计算(Ubiquitous Computing)”方面的研究，如清华大学的 Smart Classroom 项目^[17]，北京大学的 TGH^[18] 等。

由此看来，Aml 环境下的应用研究还是新兴的研究领域，距离理想的环绕智能应用系统解决方案的目标还有一定距离。

对于蓝牙作为感知技术的应用研究方面，主要是结合无线传感器网络技术，研究利用蓝牙技术组建无线传感器网络、研制蓝牙传感器设备，并结合具体的应用场合进行特定目的的应用研究。目前，在国内外有部分学者对其进行了研究和应用^[19-26]，主要是将蓝牙感知系统作为监控系统或小数据传输系统应用在煤炭生产行业^[19]、医疗监控^[23]、智能交通^[24]、工业控制^[26]等领域，而结合环绕智能技术的研究，将蓝牙技术作为身份感知手段进行的研究还很少^{[14][16]}。针对环绕智能感知的特点，对它的感知功能和感知性能优化方面还有很大的研究空间。因此，环绕智能中的蓝牙感知仍然有很高的研究和应用价值。

1.3 研究内容

论文的主要任务是针对环绕智能系统的身份感知问题，研究如何将蓝牙无线通信技术作为感知手段应用到环绕智能系统中。研究并设计蓝牙感知协议，并在此基础上构建蓝牙感知系统，将其应用到环绕智能系统中，解决身份感知问题。

论文主要工作包括：

(1) 研究环绕智能基本理论，分析环绕智能系统的核心技术，比较无线通信技术，选择合适的无线通信技术作为感知手段；

(2) 研究蓝牙技术的协议、规范体系结构和技术要点，探讨蓝牙应用软、硬件开发方案；

(3) 研究蓝牙感知协议，针对环绕智能中的身份感知系统，基于蓝牙串口应用模型 (Serial Port Profile, SPP) 设计蓝牙感知协议；

(4) 设计蓝牙感知系统，包括设计与实现蓝牙感知器、蓝牙感知适配器、主机端软件，以及分析与设计蓝牙感知器、蓝牙感知适配器的硬件方案。

1.4 论文组织结构

论文的章节结构安排如下：

第1章，绪论：介绍了环绕智能和蓝牙感知系统的研究背景，总结了国内外的研究现状，并对本文的研究内容进行了说明。

第2章，环绕智能与蓝牙技术：作为后续章节的理论基础和指导思想，分析了环绕智能的核心技术和对无线感知技术的选择；分析了蓝牙技术的体系结构，包括蓝牙协议和蓝牙规范，研究了蓝牙的技术特点，介绍了蓝牙开发平台。

第3章，蓝牙感知系统总体设计：分析了蓝牙感知系统的应用场景和系统目标，从总体上设计了蓝牙感知系统的结构，包括物理结构、网络结构以及软硬件结构，设计了系统在蓝牙感知、安全管理、电源管理、人机交互方面的策略。

第4章，蓝牙感知系统硬件设计：在系统硬件结构的基础上，设计了蓝牙感知器、蓝牙感知适配器的硬件方案，分析了蓝牙感知器在体积、功耗等方面的硬件性能。

第5章，蓝牙感知协议及其系统软件设计：在系统总体设计基础上，研究并设计了蓝牙感知协议，设计并实现了蓝牙感知器、蓝牙感知适配器和主机端软件，完成了蓝牙感知系统集成。

第6章，蓝牙感知系统测试与性能分析：从系统功能和性能两个方面对系统进行了测试，并对运行结果进行了分析。

结论：总结了论文工作，讨论了方案的不足，展望了今后的进一步工作。

第2章 环绕智能与蓝牙技术

2.1 环绕智能技术

2.1.1 环绕智能概述

从环绕智能目前研究的现状和成果可以知道,定位感知、身份识别、个性化服务和智能感知网络是 AmI 的四个核心技术。

(1) 定位感知技术。在不考虑用户个人隐私的前提下,动态获取用户的位置信息,而且得到的位置信息必须能够达到一定的精确度(一般误差控制在几个厘米以内)。蓝牙技术作为短距离定位技术其优点是容易发现设备且信号传输不受视距影响,因此,基于蓝牙的定位感知技术成为当前定位感知研究的热点。

(2) 身份识别技术。身份识别涉及用户标识与身份识别两部分。传统的身份识别方法主要基于身份标识物品(如证件等)和身份标识知识(如用户名、密码等),其缺点是标识知识容易遗忘或记错,无法区分标识物品真正的拥有者和取得标识物品的冒充者等缺陷。当前生物识别悄然兴起,并应运而生为一种新的身份识别技术。生物识别依据人类自身所固有的生理或行为特征,如指纹、眼睛虹膜、笔迹等。国内外研究人员已经对指纹识别、虹膜识别、脸像识别、签名识别、笔迹识别等展开了研究,其中,虹膜和指纹识别被公认为最可靠的两种生物识别。

(3) 个性化服务技术。个性化服务是从用户的知识结构、需求心理和行为方式差异性出发,主动向用户提供个性化的信息服务。个性化服务改变了信息资源对所有用户千篇一律的内容和组织形式,把分散、多元的网络信息有系统、有重点地呈现在用户面前,解决互联网交互中存在的信息迷航和信息过载问题。个性化服务系统根据其所采用的推荐技术可以分为两种:基于规则的系统和信息过滤系统。基于规则的系统其优点是简单、直接,缺点是规则质量很难保证,而且不能动态更新。基于内容过滤的系统其优点是简单、有效,缺点是难以区分资源内容的品质和风格,而且不能为用户发现新的感兴趣的资源,只能发现和用户已有兴趣相似的资源。

(4) 智能感知网络。智能感知网络将传感设备与智能计算嵌入到人们工作和生活环境中,通过无线网络和有线网络实现互联和通信,利用环境中的上下文信息智能判断用户行为及目的,主动提供与任务有关的信息或服务。智能感知网络涉及 IC 传感器、感知网络结构等方面。

2.1.2 环绕智能环境下感知技术

在环绕智能的应用场景中，感知的范围往往是短距离的局域网范围，要求能够穿透设备之间的物体，环绕智能要能够为多个用户同时提供服务，能够很好地保证用户个人信息不受攻击，另外，需要用户配合携带的感知设备要从成本、便携方面让用户满意。因此，在感知手段的选择上需要考虑以上因素。

目前，主要的无线通信技术的特点如下：

(1) 红外技术 (IrDA)

通过波长 850mm 的红外光传输数据，速率可达 16Mb/s^[28]，广泛应用于手机、PDA 等小型移动设备和笔记本电脑、打印机等电子设备。其优点是成本低廉，无需申请频率的使用权；数据传输率高，适合传输大容量的文件和多媒体数据；红外线发射角度小，安全性高；小体积、低功耗。但是，由于红外通信是一种视距传输，只能用于两台设备之间的点对点通信，不支持多设备之间连接，并且通信设备之间光路夹角一般在 30 度以内，不能有物体阻隔，通信距离只有 1~3m。

(2) Wi-Fi (802.11)

802.11b 协议工作在 2.4GHz 频率，速率可达 11Mb/s，覆盖范围可达 100m 左右，连接设备可达 10-100 台^[29]。随后推出的 Wi-Fi 协议新版本 802.11a 和 802.11g 使其应用更加广泛^[28]。Wi-Fi 是以太网的一种无线扩展，其最大的优点是和 Web 服务器融和起来减少企业 IT 成本^[28]，最好的应用是在家庭办公、家庭无线网络以及不方便布有线网络的场所实现网络接入。但是，由于其协议复杂、实现成本高、体积较大、功耗较高，从而限制了某些方面的应用。

(3) 蓝牙 (Bluetooth) 技术

蓝牙是 1998 年由蓝牙 SIG 提出的无线通信标准，其工作频率也是 2.4GHz 频段。目的在于实现最高传输速率为 1Mbps（有效传输速率为 721kbps）、最大传输距离为 10m 的短距离无线通信^[5]。蓝牙 2.0 规范已经将传输速率提高到了 3Mb/s^[6]，当发射功率为 1mW 时，其有效传输距离是 10m，发射功率为 100mW 时，通信距离可达 100m。蓝牙具有成本低、体积小、功耗低、辐射低、安全性好、支持点对多点网络的特点，主要用于在设备之间实现短距离无线语音和数据通信，在移动电话、笔记本电脑、传真机、打印机等多种设备上有广泛应用^[30]。

(4) ZigBee 技术

ZigBee 技术也使用 2.4GHz 波段，主要特点有：功耗低，在待机模式下两节五号干电池可持续使用六个月以上；数据传输速率低，数据传输速率在 10kb/s~250kb/s 范围之内；成本低；网络容量大，每个 ZigBee 网络最多支持 255 个设备；有效范围小，覆盖在 10m~75m^[14]。因此，ZigBee 技术主要应用在设备间距离小、数据传输量小、小体积设备、大范围覆盖、网络节点需求多的场合。

(5) UWB

超宽带技术工作在 3.1~10.6GHz 的波段，可以用极低的功率（20mW）、在极宽的频谱范围内（最高可达 7.5GHz）以极高的速率（可达 500Mbit/s 以上）传输信息^[29]。UWB 技术在传输速率、功率、带宽等方面有显著的优点，但是，该技术尚处于起步阶段，在成本和体积方面还有很大差距。

综上所述，相对于其它几种无线通信技术，将蓝牙技术作为感知技术应用到环绕智能系统中具有以下几个方面的特点：

- (1) 蓝牙无线通信技术能够构建 10m 到 100m 范围的、具有可穿透性的个人局域网环境；
- (2) 蓝牙设备具有低成本、低功耗、小体积、低电磁污染的特点；
- (3) 蓝牙技术具有自组织网络互连（Ad Hoc）能力，能够构建最多 8 个蓝牙设备的匹克网环境，多个匹克网还可以进一步构建散射网络；
- (4) 蓝牙技术具有内在的完善的安全机制来提供可靠的设备认证、授权和数据加密服务。

因此，将蓝牙技术作为环绕智能中身份感知的手段是一种很好的选择。

2.2 蓝牙无线通信技术

2.2.1 蓝牙协议

蓝牙协议栈以有层次的协议栈结构定义了蓝牙技术应该符合的技术标准，即“什么是蓝牙技术”^[14]。蓝牙协议栈的结构如图 2-1 所示^[31]：

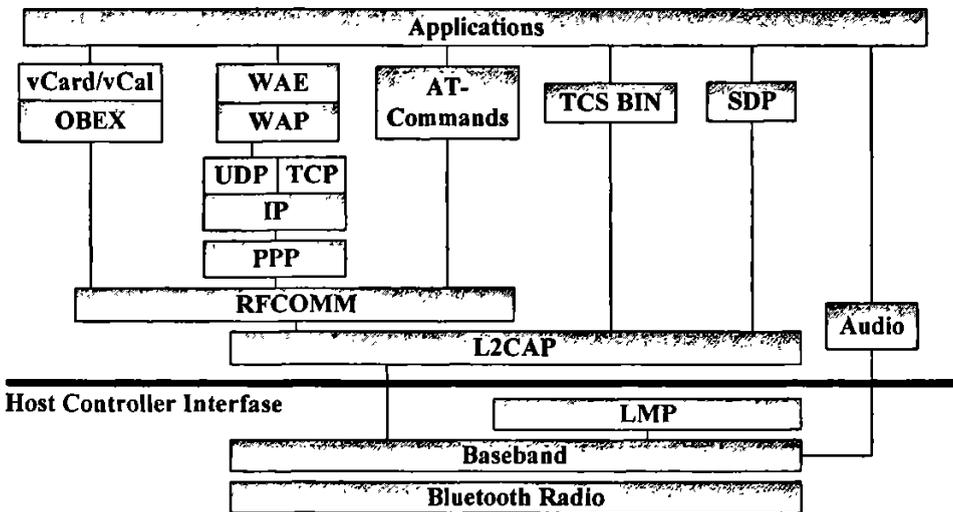


图 2-1 蓝牙协议栈结构

Figure 2-1 Bluetooth Protocol Stack

蓝牙体系结构中的协议可以分为四个层次^[5]：

- 核心协议：基带 Baseband/链路控制 LC、链路管理协议 LM、逻辑链路控制和适配协议 L2CAP、服务发现协议 SDP；
- 电缆替代协议：RFCOMM；
- 电话传送控制协议：TCS 二进制、AT 命令集；
- 可选协议：OBEX、WAP 等；

除上述蓝牙协议层以外，规范还定义了主机控制器接口（HCI）。

基带协议（Baseband）是蓝牙的物理层，它负责管理物理信道和链路，如差错恢复、包处理、数据恢复、跳频选择、对访问的蓝牙设备的寻呼和扫描，另外还负责蓝牙安全管理。

链路控制协议（LC）控制蓝牙微微网内蓝牙设备之间由射频构成物理链路。

链路管理协议（LM）负责蓝牙设备间的连接的建立和配置，包括链路建立、鉴权和加密、链路配置以及其它协议。

主机控制接口（HCI）是 SIG 所制定的一个标准命令控制接口。它为上层协议和应用访问基带控制器、链路管理器以及硬件状态寄存器、控制寄存器和事件寄存器的提供了统一的接口。同时将上层协议运行于主机中从而利用 PC 机的强大处理能力来执行高层的协议，而蓝牙设备可以用很少的资源来运行底层的协议，通过这种途径也降低了蓝牙设备的成本。

逻辑链路控制和适配协议（L2CAP）采用多路复用技术为上层提供服务，并且负责在不同的数据包大小之间进行重组，该协议只支持 ACL，不支持 SCO 链路。L2CAP 与 LMP 类似，基于基带协议并为高层协议提供服务，主要功能为：高层协议复用以允许他们共享低层链接；分段重组以允许高层可以传输更大的分组；组管理以及高层协议的 QoS 管理。L2CAP 或者将分组传送给 HCI，或者将分组直接传送给链路管理器（无主机模式）。L2CAP 具有与其他通信协议的接口，这些协议包括 SDP、RFCOMM、TCS 等。通过 L2CAP 层，许多已经开发的高层传输协议可以不用修改就在蓝牙链路上运行。

服务发现协议（SDP）使蓝牙设备可以查询到设备信息和服务类型，从而在蓝牙设备之间建立起提供相应服务的连接。受限网络中提供的服务在较长的时期内一般都具有一定的稳定性，而在蓝牙环境下，很多设备具有端对端和临时组建的性质，蓝牙微微网中的设备和服务会非常频繁的加入和离开。因此蓝牙服务发现协议的目的就是动态的发现环境中可用的服务类型，对应的也用于发布蓝牙设备所提供的服务^[7]。SDP 是基于请求/响应模式的交互性协议，采用了 Server/Client 结构。

电缆替代协议层（RFCOMM）跟 SDP 一样都是中间件协议，它的目的就是为目前广泛应用的串口提供电缆替代，它完全仿真 RS-232 串口，是一种简单可

靠的以帧为单位进行传输的通信协议，可以看作是无线领域的一个虚拟的 COM 端口^[32]。

2.2.2 蓝牙规范

蓝牙协议栈规定了蓝牙技术在每层蓝牙协议上应该符合的技术标准，但是，针对不同的蓝牙应用，并不是所有的应用都需要蓝牙协议每一层的功能。因此就出现了针对具体某类应用的蓝牙不同协议的组合，这些蓝牙协议栈的纵向剖面被称为 Profile，分别对应于一些具体的应用，比如电话应用模型、串口应用模型、文件传输应用模型等，也就是说 Profile 规定了蓝牙协议栈的使用模型，即“蓝牙协议栈是如何被使用的”^[14]。

目前，蓝牙规范已有的蓝牙应用模型主要有：通用访问应用模型（Generic Access Profile）、串口应用模型（Serial Port Profile）、个人局域网应用模型（Personal Area Network Profile）、通用对象交换应用模型（Generic Object Exchange Profile）等，蓝牙应用模型关系如图 2-2 所示^[4]：

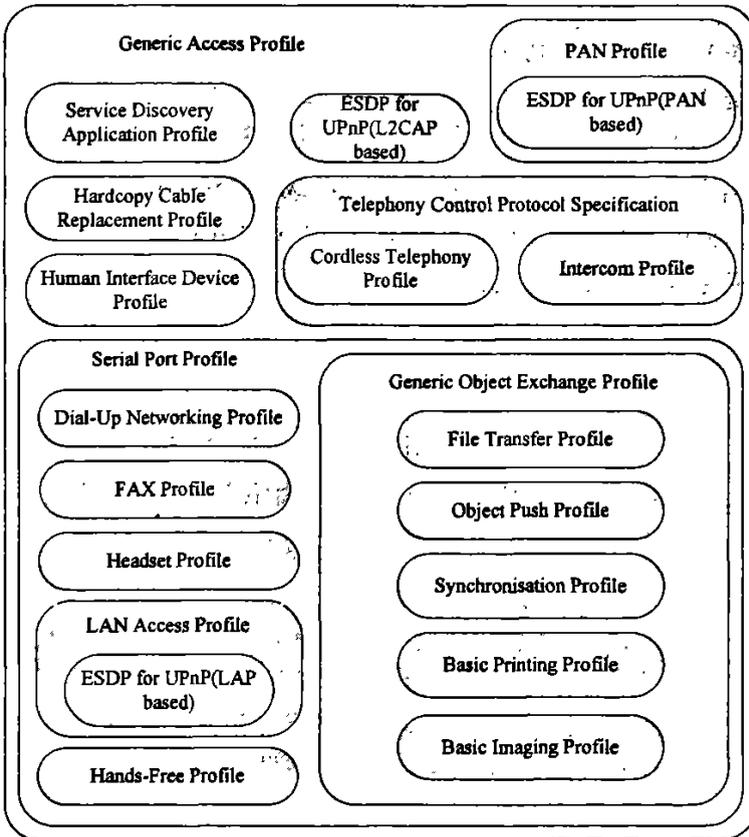


图 2-2 蓝牙应用模型

Figure 2-2 Bluetooth Profile

2.2.3 蓝牙技术特点

在蓝牙的体系结构中，射频、基带、链路管理、网络以及安全等方面都有技术上的特点，理解了这些机制和要点才可能很好的应用蓝牙技术。

(1) 蓝牙射频

➤ 蓝牙频带及射频信道

根据蓝牙发射功率的电平值，可以把蓝牙设备分为三个功率等级，见表 2-1：

表 2-1 蓝牙功率等级

Table 2-1 Bluetooth Power Classes

功率等级	最大输出功率/ P_{max} 或功率级/(dBm)	正常输出功率	最小输出功率/ P_{min} 或功率级/(dBm)	功率级控制范围
一级	100mW (20dBm)	—	1mW (0dBm)	$P_{min} < +4\text{dBm} \sim P_{max}$
二级	2.5mW(4dBm)	1mW(0dBm)	0.25mW (-6dBm)	$P_{min} \sim P_{max}$
三级	1mW(0dBm)	—	—	$P_{min} \sim P_{max}$

功率等级为一级的蓝牙设备需要功率控制来限制发射功率，它使用链路管理协议（LMP）来优化链路功率输出。目前常见的蓝牙设备是三级功率设备，有效传输距离为 10m^[7]。

➤ 蓝牙时隙

蓝牙信道用一组伪随机跳频序列经过 79 或 23 个射频跳频点的跳频序列来表示。跳频序列由主单元蓝牙设备编址确定，其相位由主单元蓝牙时钟确定，跳频序列对于蓝牙匹克网是唯一的。

蓝牙信道被划分为长度 625 μs 的时隙，且每个时隙对应一个射频跳频点，蓝牙理论跳频速率为 1600 跳/秒。

蓝牙系统中主从单元的分组采用分时双工（TDD）交替传输方式，主单元在偶时隙开始传输信息，而从单元在奇数时隙开始传输信息。由主或从单元传输的分组可以扩展到 5 个时隙，TDD 和定时工作方式如图 2-3 所示：

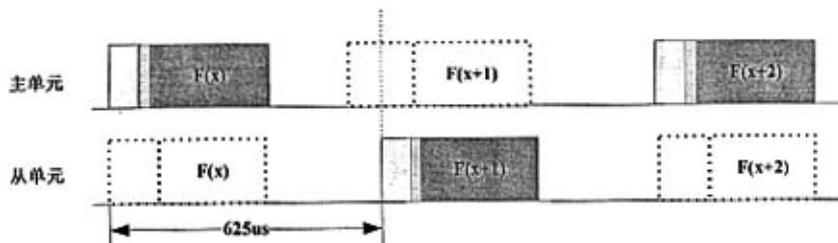


图 2-3 蓝牙主从单元传输分组时序

Figure 2-3 Slot timing for single-slot packets

➤ 蓝牙调制与比特率

蓝牙射频采用高斯二进制频移键控模式 (GFSK)，调制指数是 0.28~0.35。数据率是 1Mb/s，最小偏移不小于 115kHz，最大偏移在 140kHz~175kHz 之间。

在新的蓝牙 2.0 规范中 EDR 模式下分组采用的调制方式发生了变化^[6]。在基带规范中定义的分组头与识别码使用基本数据率下的 GFSK 调制模式，即速率为 1Mb/s；同步序列、载荷和尾序列使用增强数据率下的 PSK 调制模式（支持 2Mb/s 和 3Mb/s 的数据速率）。

(2) 蓝牙物理链路

蓝牙主设备和从设备在物理层建立的数据连接通道就是物理链路。蓝牙规范定义了两种不同的物理链路：同步面向连接链路（SCO 链路）和异步无连接链路（ACL 链路）^[5]。

➤ SCO 链路

SCO 链路是在主单元和指定的从单元之间实现的对称的点对点同步数据交换链路。该方式采用保留时隙来传输分组，可以看作时主单元和从单元之间的电路交换链接，主要用于语音等实时性强的数据传输。从主单元来说，最多可以支持三条指向相同或不同从单元的 SCO 链接；从从单元来说，对同一个主单元最多可以支持三条 SCO 链接，对于不同的主单元则最多只能支持两条 SCO 链路。其中，每条 SCO 链路的数据传输率为 64Kb/s。主单元在规则间隔上向从单元发送 SCO 分组，SCO 链路通过 LMP 协议发送 SCO 设置消息的主单元建立。

➤ ACL 链路

ACL 链路是指在非 SCO 链接保留时隙里主单元向任何从单元交换分组。ACL 链路以异步和等时两种方式向主单元和匹克网中所有活动从单元提供分组交换链接，主要用于对时间要求不敏感的数据通信，如传输文件或控制信息等。在一个主从单元之间只能存在一条 ACL 链路，双向对称的 ACL 链路传输速率为 433.9kb/s，双向非对称的数据传输速率最大可为 723.2kb/s（采用 DH5 分组），反向单时隙传输率可达 57.6kb/s。为了确保数据完整性，采用了分组重传机制。

在 ACL 链路中，主单元在由主到从的时隙内发送含有接收从单元地址的 ACL 分组，在随后的由从到主的时隙内，从单元向主单元发送 ACL 分组。

(3) 蓝牙数据分组

蓝牙信道上的数据以分组的形式传输，一般的数据分组由识别码（Access Code）、分组头（Header）、有效载荷（Payload）组成，格式如图 2-4 所示。

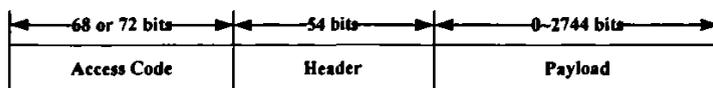


图 2-4 蓝牙分组格式

Figure 2-4 Bluetooth packet structure

➤ 识别码（Access Code）

每个蓝牙分组都以识别码作为开头，如果识别码后边是头信息，则识别码长度为 72 位，否则为 68 位，识别码主要用于同步、DC 补偿平衡和识别。

识别码有三种不同的类型：设备识别码 (Device Access Code, DAC)、信道识别码 (Channel Access Code, CAC)、查询识别码 (Inquiry Access Code, IAC)，其中，查询识别码还可以分为通用查询识别码 (General Inquiry Access Code, GIAC) 和专用查询识别码 (Dedicated Inquiry Access Code, DIAC)。设备识别码用于呼叫、呼叫扫描和呼叫应答；信道识别码用于标识匹克网信道，并构成信道上所有交换分组的头，它取自主单元的蓝牙设备地址的 LAP；查询识别码用于查询操作。识别码由头码、同步字和尾码构成。如图 2-5 所示：

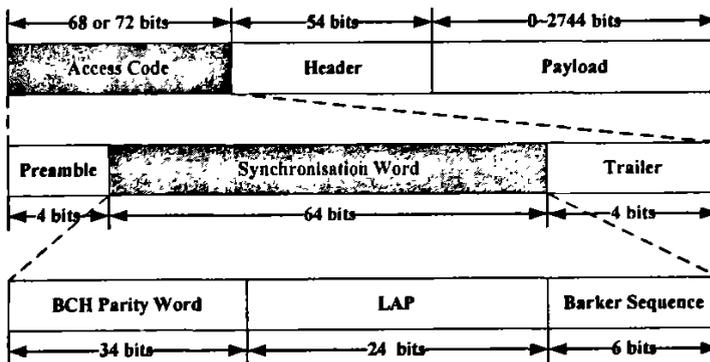


图 2-5 蓝牙分组识别码格式

Figure 2-5 Bluetooth access code structure

其中，识别码的头 (Preamble) 是用于 DC 补偿的固定 0-1 模式的 4 位标志符。同步字 (Synchronisation Word) 来自于 24 位地址 (LAP)，长度为 64 位，对于不同的识别码，同步字使用不同的 LAP，如对于 CAC 使用主单元 LAP，对于 DAC 使用从单元 LAP，对于 GIAC 和 DIAC 使用保留和专用的 LAP。

➤ 分组头 (Header)

分组头表示链路控制的信息，该头信息使用 1/3 比例向前纠错码编码 FEC 对分组头进行编码保护。分组头长 18 位，因此，头信息最后编码成 54 位编码格式。分组头分为六个部分，格式图如图 2-6 所示：

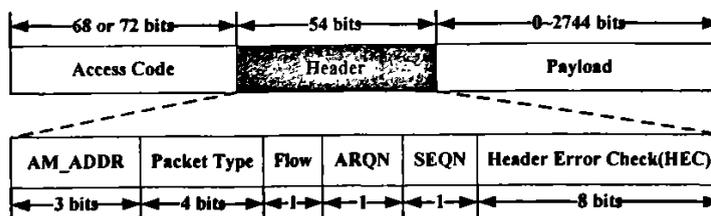


图 2-6 蓝牙分组分组头格式

Figure 2-6 Bluetooth packet header structure

其中, AM_ADDR 表示微微网中活动从设备的 3 位地址, 以便于区分一个微微网中与主设备相连的不同从设备。TYPE 用 4 位类型码表示蓝牙分组的类型, 共 16 种分组类型, 用来表示分组链路发送与接收的类型以及分组占用的时隙数目。FLOW 表示流量控制的标志, 长 1 位, 用于 ACL 链路数据分组, 当接收方 ACL 链路的 RX 缓冲区已满或非空时, 暂停数据传输。ARQN 表示无编号自动请求重发, 通过 ARQN 可以指示发送方最近一次发送的分组是否被接收方成功接收。SEQN 表示 1 位的序列编号, 提供防止分组重发的机制, 用于降低严重干扰情况下的分组重传次数。HEC 是 8 位的分组头校验位, 用于校验分组头信息完整性。

► 分组类型

根据不同的蓝牙物理链路定义了不同的分组类型, 对于 ACL 链路、SCO 链路定义了以下分组类型^{[5][7]}:

公共分组类型: ID 分组、NULL 分组、POLL 分组和 FSH 分组。

SCO 分组: HV1 分组、HV2 分组、HV3 分组和 DV 分组。

ACL 分组: DM1 分组、DH1 分组、DM3 分组、DH3 分组、DM5 分组、DH5 分组、AUX1 分组, 2.0 规范新增加了 2-DH1 分组、2-DH3 分组、2-DH5 分组、3-DH1 分组、3-DH3 分组、3-DH5 分组。

其中, ID 分组用于蓝牙设备寻呼、查询与响应; NULL 分组用于返回发送方 ARQN、FLOW 等链路信息; POLL 分组是主设备发送给从设备的, 从设备响应后主设备选择成员; FHS 分组用于指示蓝牙设备地址和时钟信息。ACL 分组用于承载携带协议信令和异步/等时用户数据的协议数据设备; SCO 分组用于承载同步用户数据。

► 有效载荷 (Payload)

有效载荷有同步语音有效载荷和异步数据有效载荷两种数据段形式。ACL 分组只有数据段, SCO 分组只有语音段, 而 DV 分组两种数据段都有。

语音有效载荷是一个定长的数据段, HV 分组的语音段长 240 位, DV 分组的语音段长 80 位, 语音有效载荷不需要有效载荷头。

数据有效载荷分为有效载荷头 (Payload Header)、有效载荷主体 (Payload Data) 和 CRC 码三部分。有效载荷头长 1~2 个字节, 用于指示逻辑信道 (两位 L_CH 表示)、控制逻辑信道中的数据流 (一位 FLOW 表示), 并包含有效载荷长度指示器。有效载荷主体包括用户主机信息, 并用于确定有效用户吞吐量, 其长度由有效载荷长度指示段指出。载荷中的 16 位循环冗余校验码用 CRC-CCITT 多项式 210041 (8 进制表示) 产生, 用一个 8 位值初始化发生器。

ACL 和 SCO 数据的有效载荷结构分别如图 2-7、2-8 所示:

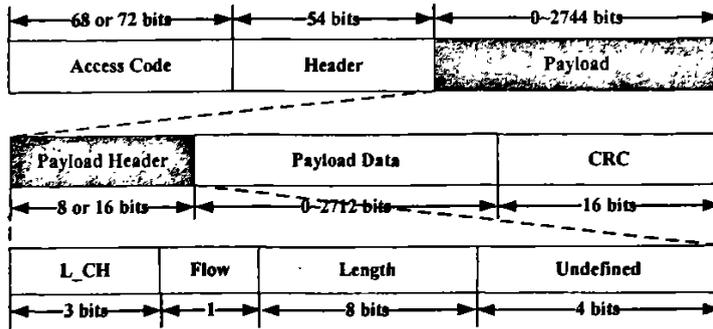


图 2-7 蓝牙 ACL 分组有效载荷结构

Figure 2-7 Bluetooth ACL payload structure

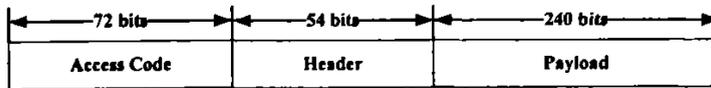


图 2-8 蓝牙 SCO 分组有效载荷结构

Figure 2-8 Bluetooth SCO payload structure

(4) 蓝牙链路管理

蓝牙链路控制器管理蓝牙链路的建立和释放。两个主要的状态是待机和连接，另外还有 7 个中间子状态：呼叫、呼叫扫描、查询扫描、查询、主应答、从应答和查询应答。当蓝牙链路控制器从一个状态改变到另外一个状态，可以使用蓝牙链路控制器命令，也可以使用蓝牙链路控制器的内部信号来实现。蓝牙链路控制器的状态图如图 2-9 所示：

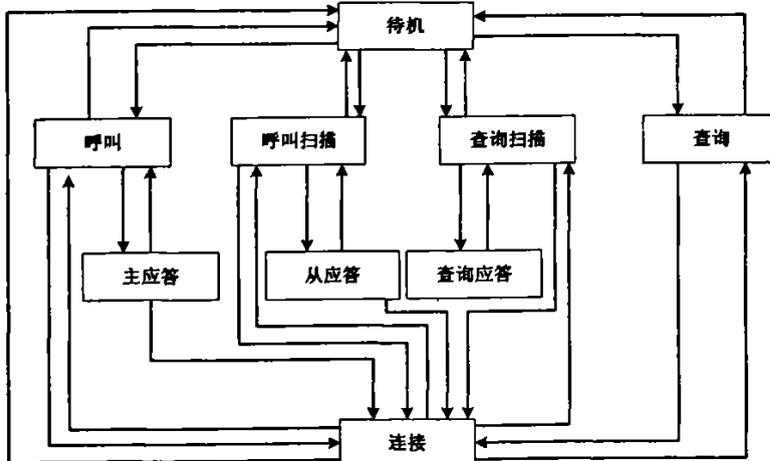


图 2-9 蓝牙链路状态

Figure 2-9 Bluetooth Link state

处于待机状态的两个蓝牙设备转化到连接状态，建立蓝牙链路的过程如图 2-10 所示：

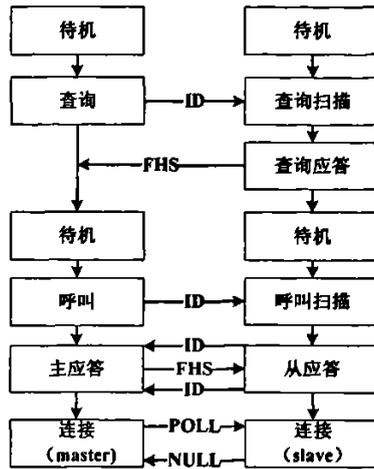


图 2-10 蓝牙链路连接过程

Figure 2-10 Bluetooth Link Process

蓝牙链路的建立过程分为蓝牙查询过程和蓝牙呼叫过程两个阶段。建立了连接的蓝牙设备可以处于如下几个连接状态^[7]:

活动模式 (Active): 处于活动模式的蓝牙设备参与正常的蓝牙通信。主设备根据需要调整发送给从设备的数据并使从设备与自己同步; 从设备检查在主到从时隙发送的数据分组, 如果其成员地址与自己的地址不匹配则进入休眠模式。

呼吸模式 (Sniff): 设备处于呼吸模式可以减少从设备监听信道的时间从而节约电能。主单元通过 LM 协议发送包含呼吸间隔和补偿值的呼吸命令, 从设备对收到的命令进行响应, 主从设备经过协商进入呼吸模式。在呼吸模式下, 主单元在特定的时隙上开始传输数据, 从设备只需要在主到从的时隙进行监听。

保持模式 (Hold): 主从设备经过协商后进入保持模式, 保持模式可以节省资源从而方便其它如扫描、寻呼等操作, 处于保持模式下的从设备保留活动成员地址并且可以进入低功耗的睡眠状态, 从设备进入保持模式后将启动定时器, 定时器到达时间后从设备将被唤醒与信道同步。

休眠模式 (Park): 当从设备不必加入匹克网通信时设备可以进入休眠模式, 此时从设备处于低功耗状态, 仅仅保持与信道同步, 设备放弃活动成员地址, 而拥有一个 8 位的休眠成员地址 (PM_ADDR) 和 8 位的接入请求地址 (AR_ADDR)。PM_ADDR 用于区分处于休眠状态的各个从设备, 主设备使用该地址发起解除休眠的进程。从设备使用 AR_ADDR 发起解除休眠的进程。

(5) 蓝牙编址

每个蓝牙收发装置都有一个全球唯一的 48 位蓝牙设备地址。该地址取自 IEEE802 标准, 分为三个部分: 24 位的低地址部分 (LAP 段)、8 位的高地址部分 (UAP 段)、16 位的非有效地址部分 (NAP 段)。LAP 和 UAP 构成 BD-ADDR, 整个地址空间为 2^{32} , 蓝牙地址格式如图 2-11 所示:

LSB						MSB					
Company_assigned						Company_id					
LAP						UAP		NAP			
0000	0001	0000	0000	0000	0000	0001	0010	0111	1011	0011	0101

图 2-11 蓝牙地址

Figure 2-11 Bluetooth Address

(6) 蓝牙网络

蓝牙系统可以提供点对点或点对多点连接。在点对多点的连接中，相连接的几个蓝牙单元共享蓝牙信道，这些共享同一个蓝牙信道的蓝牙单元共同构成了蓝牙微微网，也叫蓝牙匹克网 (picnet)。在一个蓝牙匹克网中，有一个蓝牙设备为主单元，其余的为从单元，一个匹克网中最多可以有七个活动的蓝牙从单元。多个交叉重叠的蓝牙匹克网构成的分散网叫蓝牙散射网 (scatternet)。在蓝牙散射网中，每一个匹克网只能有一个主单元，从单元可以基于时分复用参加不同的匹克网，在一个匹克网中的从单元还可以作为另一个匹克网的从单元，也可以作为另外一个匹克网的主单元。图 2-12 (1) 是具有一个主单元和一个从单元的蓝牙匹克网，图 2-12 (2) 是一个具有一个主单元和多个从单元的蓝牙匹克网，图 2-12 (3) 是一个具有三个蓝牙匹克网构成的蓝牙散射网。

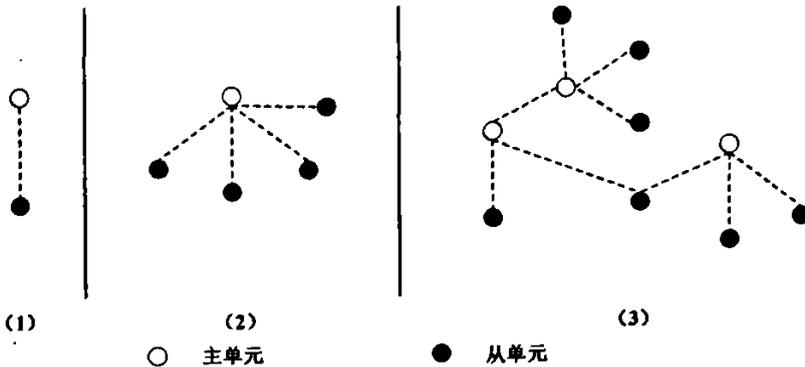


图 2-12 蓝牙网络结构

Figure 2-12 Bluetooth Network

(7) 蓝牙安全机制

蓝牙技术提供短距离的对等通信，蓝牙系统必须在应用层和链路层提供对等的安全机制，即主从双方以相同的方式实现认证与加密。蓝牙链路层使用四个实体来保证安全^[4]：公开的 48 位的蓝牙地址；128 位的认证密钥；8~128 位的加密密钥；长度为 128 位的随机数。

在蓝牙的安全机制里边随机数发生器具有重要作用，在生成认证密钥和加密密钥中以及挑战—应答方案中均采用随机数方法。

蓝牙标准定义了四种链路密钥：联合密钥 K_{AB} ，单元密钥 K_A ，临时密钥

K_{master} ，初始化密钥 K_{init} 。此外还定义了加密密钥 K_C ，该密钥由当前链路密钥生成。其中，单元密钥 K_A 在单元 A 中生成，很少改变。联合密钥由 A、B 联合生成。临时密钥 K_{master} ，也称作主单元密钥，仅在当前会话中使用。初始化密钥 K_{init} 由一个随机数、一个通常为 10 进制 PIN 码和发起单元的蓝牙设备地址产生。PIN 码可以由用户选择，也可以由蓝牙提供。目前 PIN 码通常为 4 位，蓝牙基带要求 PIN 码长度为 1~6 位，选择较长的 PIN 码来增加安全性。

蓝牙加密规程对蓝牙有效载荷通过流密码算法进行加密，流密码与有效载荷同步。流密码系统的第一部分执行初始化工作，第二部分生成密钥流，第三部分执行加密或解密。加密原理如图 2-13 所示^[7]：

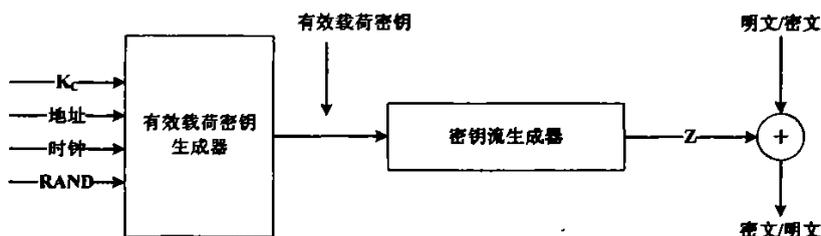


图 2-13 蓝牙有效载荷加密原理

Figure 2-13 Bluetooth Payload encrypt principle

在蓝牙规范中定义了三种安全模式^{[5][33]}：

模式一：非安全模式，用在无安全要求的设备中。他不受链路层安全功能的鉴权，两个蓝牙设备之间可以随意建立连接，适合接入非敏感信息数据库。

模式二：业务层安全，允许通用接入过程，当访问高层协议或服务时调用安全管理，是最常用的安全模式，尤其适合针对平行运行的具有不同安全要用的应用。此模式下蓝牙设备在建立 L2CAP 通道之前不会发生任何蓝牙安全过程。

模式三：链路层安全，是最安全的一种模式，链路管理员在连接开始时对所有应用实施一个通用安全措施。尽管灵活性小，但它适合实现一个通用的安全技术，在实现上比模式二容易实现。

蓝牙认证体系采用挑战-应答方案，通过“两步”协议使用对称密钥对申请者是否知道密钥进行认证。

2.2.4 蓝牙系统开发平台

蓝牙开发工具一般分为嵌入式开发工具和软件开发工具，通常由硬件开发板、软件开发包和相关开发资料等组成。目前，CSR 公司、爱立信公司、Palm 等公司都开发了蓝牙开发工具产品，在本文中，我们所用的开发工具是 CSR 公司的嵌入式蓝牙开发工具，在此，只对该工具做个简单介绍。

CSR 公司开发的蓝牙开发工具包括硬件开发工具 CASIRA 和软件开发工具

包 BlueLab:

(1) CASIRA 硬件开发工具

CASIRA 为开发者提供了使用 BlueCore 芯片进行蓝牙产品开发的平台, 它提供了运行在 BlueCore 上的完整蓝牙协议栈、Flash 存储器编程工具、固件 API 的完整描述。其电路结构图如图 2-14 所示^[7]。

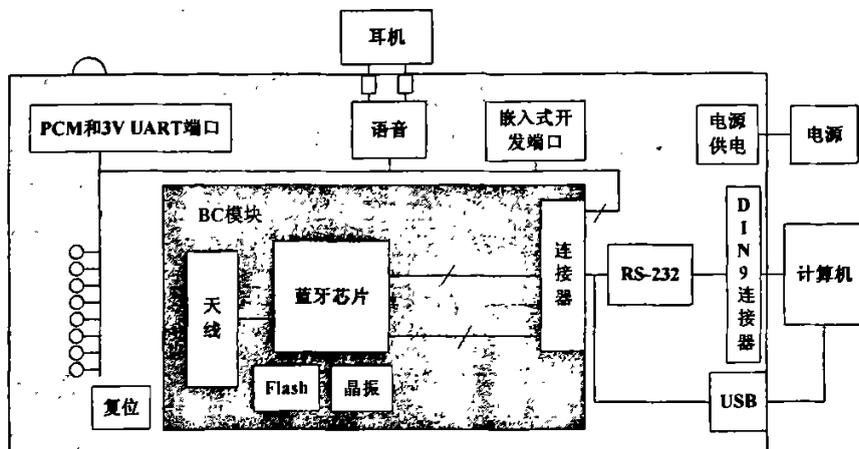


图 2-14 CASIRA 电路结构

Figure 2-14 CASIRA circuit structure

(2) BlueLab 软件开发工具包

BlueLab 是 CSR 提供的用于开发全嵌入式蓝牙应用的软件开发包, 其中包括开发者可以使用的库, 以及编译器、连接器、调试器和模拟器。而套件 BlueSuite 则提供了烧写工具、配置工具以及测试工具。

除此之外, CSR 开发工具还提供了 BlueTest、BlueFlash、PSTools、BlueChat、BTCLI、RFCLI 等辅助开发工具。

2.3 本章小结

本章作为后续章节的理论基础主要对环绕智能技术和蓝牙技术进行了介绍。在环绕智能方面, 分析了环绕智能的核心技术和对无线感知技术的选择; 在蓝牙技术方面, 主要从蓝牙协议和蓝牙规范两个方面介绍了蓝牙技术的体系结构, 介绍了蓝牙通信技术的主要技术要点以及蓝牙应用开发平台。

第3章 蓝牙感知系统总体设计

3.1 系统概述

环绕智能中的蓝牙感知系统是环绕智能系统的一个子系统,它主要完成环绕智能系统对所提供服务的用户的感知和身份识别功能。

如果把环绕智能系统看作一个人,AmI总控制中心比喻成一个人的大脑,用来分析信息做出反应,那么蓝牙感知系统就像是眼、鼻、耳等五官,用来收集各种信息。当用户进入时,系统依靠用户佩戴的带有蓝牙感知器的胸卡,自动感知到用户的存在。蓝牙感知系统的应用场景如图3-1所示:

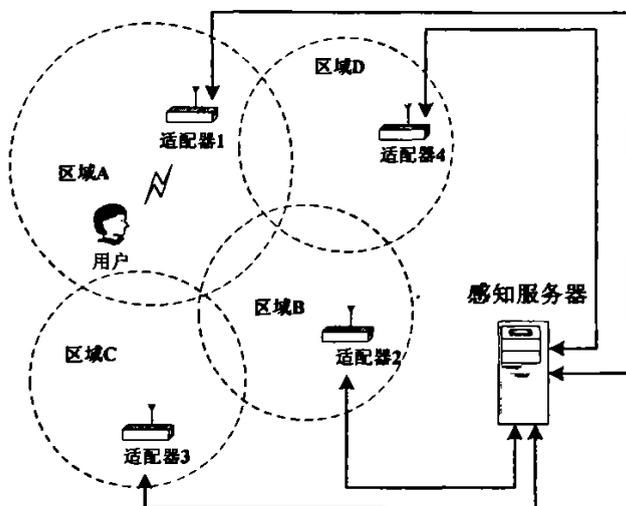


图 3-1 蓝牙感知系统应用场景

Figure 3-1 Bluetooth Sensor System Application

3.2 系统目标

3.2.1 系统功能目标

环绕智能中的蓝牙感知系统的目标是在环绕智能环境中为用户提供一种自然、可靠的用户感知方案,实现一种隐式的交互方式,完成环绕智能系统对用户身份的识别:当佩戴蓝牙感知器的用户进入智能环境后,蓝牙感知系统及时发现有佩戴蓝牙感知器的用户进入,无须用户任何干预,蓝牙感知适配器主动与蓝牙感知器交互以获取驻留在蓝牙感知器中的用户身份信息,从而根据用户的身份为

用户提供无缝的个性服务。

同时，当系统需要识别多个人时需要每个人做出及时、准确的判断，并在每个人识别出来后，及时发送给 AmI 控制中心，为 AmI 控制中心提供最及时的判断信息。

另外，系统要能够正确对每个用户的进入，离开以及身份 ID 做出区分，以方便 AmI 控制中心为用户提供适时适当的服务。

因此，在该蓝牙感知系统中，需要提供如下功能：

- (1) 当用户进入感知范围时，系统能够及时发现用户；
- (2) 系统能够向 AmI 控制中心提供用户身份识别信息，实现用户身份鉴别；
- (3) 系统能够区分不同的用户信息；
- (4) 当用户离开感知范围时，系统能够及时处理用户离开事件。

3.2.2 系统性能目标

根据环绕智能中蓝牙感知系统应用环境的特点，以及用户对便携性、安全性、方便性的实际需求，系统在性能上有以下几个方面的要求：

(1) 反应速度特性：用户佩戴蓝牙感知器在环绕智能环境中能够快速被发现，并且能够快速跟环境建立连接；用户在环绕智能环境中活动时能够根据不同的地点快速切换到不同的网络中；当用户离开环绕智能环境时能够快速处理离开事务。

(2) 便携特性：由于蓝牙感知器是由用户随身佩戴的设备，因此，从用户方便性考虑对蓝牙感知器设备硬件设计中体积参数提出了较高要求，使用户能够方便携带。

(3) 节能特性：蓝牙感知器是由电池供电的设备，在节能方面有较高要求。

(4) 安全特性：蓝牙感知系统要对传输的用户信息确保安全，防止用户隐私泄漏，对系统有设备鉴权，对发送的命令和数据进行加密，对故障处理的要求。

3.3 系统结构

3.3.1 系统物理拓扑结构

环绕智能环境中的蓝牙感知系统在物理结构上包括蓝牙感知器、蓝牙感知适配器、适配器主机、感知系统网络、感知服务器几个部分，它的物理拓扑结构如图 3-2 所示：

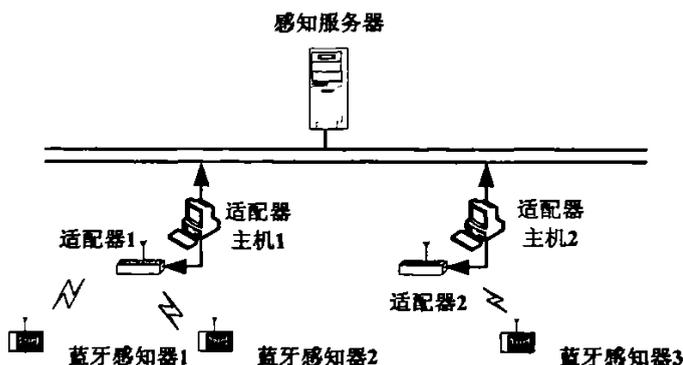


图 3-2 蓝牙感知系统物理拓扑结构

Figure 3-2 Bluetooth Sensor System physical topology

蓝牙感知器由进入环绕智能环境的用户随身佩戴，用于存储用户个人信息，并通过蓝牙感知网络和蓝牙感知适配器进行通信，提供用户信息，进行感知，蓝牙感知系统通过蓝牙感知器来发现和识别用户；

蓝牙感知适配器用于发现用户，同蓝牙感知器通信，并向蓝牙感知服务器提供用户信息；同时负责蓝牙数据和适配主机之间数据的转换；

适配器主机负责蓝牙感知适配器和感知服务器的对话，接收蓝牙感知适配器的用户数据，将用户数据通过以太网发送到感知服务器；

感知服务器负责将适配器主机收集到的用户信息进行验证分析，并将分析结果发送到 AmI 控制中心，从而为用户提供个性化服务提供依据；

感知系统网络包括蓝牙感知器和蓝牙感知适配器之间通信的蓝牙无线网络以及适配主机和感知服务器之间通信的以太网网络；主要为各部分之间通信提供平台。

3.3.2 系统网络结构

由系统物理拓扑结构可知，在蓝牙感知系统中主要涉及到两个部分的通信网络：一个是蓝牙感知器和蓝牙适配器之间的蓝牙通信网络；另一个是适配器主机和感知服务器之间的通信网络。

蓝牙感知器和感知适配器之间的蓝牙无线通信网络遵循第二章介绍的组网规则。蓝牙感知适配器作为匹克网的主设备，蓝牙感知器作为蓝牙匹克网的从设备，蓝牙感知适配器可以同时管理感知区域内的最多七个蓝牙感知器；在感知需求范围较大的地方可以设置多个感知适配器，通过多个匹克网组成蓝牙散射网来扩大感知范围。在家庭环境的环绕智能环境中，蓝牙匹克网能够覆盖的无线感知范围和能够管理的最多感知器数量基本能够满足系统要求。

为了充分利用现有的通信网络及其成熟的通信技术,在我们的蓝牙感知系统中,适配器主机和感知服务器之间的通信网络选择现有的以太网通信。这部分感知网络通信简单,网络性能稳定,并且结构易于扩展。

整个系统的网络拓扑结构如图 3-3 所示:

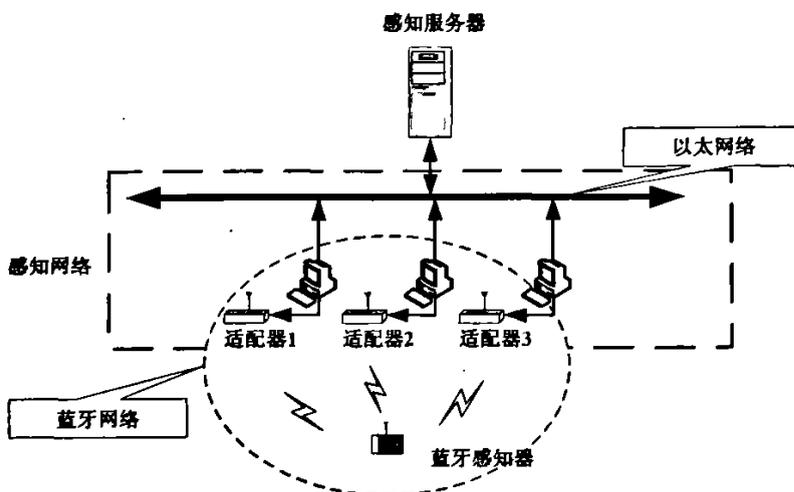


图 3-3 蓝牙感知系统网络拓扑结构

Figure 3-3 Bluetooth Sensor System network topology

3.3.3 系统硬件结构

目前,常用的蓝牙硬件方案主要有单芯片方法和芯片组方法。在单芯片方法中,蓝牙射频模块、基带控制模块、微处理模块等都集成在一个蓝牙芯片上;而在芯片组方法中,蓝牙射频模块、基带控制模块、微处理器模块等分别设计在不同的芯片上。

采用单芯片方法设计硬件具有体积小、功耗低的优点,能够满足嵌入式蓝牙设备对体积和电源功耗的要求,并且一般单芯片都具有支持完整的蓝牙协议栈的功能,能够满足各种蓝牙软件体系结构,现阶段在蓝牙嵌入式应用开发中应用更加广泛。

采用蓝牙芯片组方法设计硬件相对于单芯片来说设计灵活,比较容易根据不同的应用需求设计更加适合相应应用的硬件结构;但是,芯片组方法设计出来的蓝牙硬件在体积和功耗上较蓝牙单芯片方法有明显的不足。因此,芯片组方法更适合那种对体积和功耗不敏感的设备。

根据蓝牙感知器和蓝牙感知适配器对完整蓝牙协议栈支持的要求,以及对低功耗、小体积的要求,我们在硬件结构上选用单芯片结构。

在蓝牙单芯片方案中，其硬件结构通常由四部分组成：蓝牙射频单元、蓝牙基带控制器单元、微处理器和存储器单元。芯片还可能包括 UART（通用串行收发）接口、USB（通用串行总线）接口、PCM（脉冲编码调制）接口以及可编程 I/O 接口等基本硬件接口^[34]。蓝牙单芯片解决方案的硬件结构如图 3-4 所示^[35]：

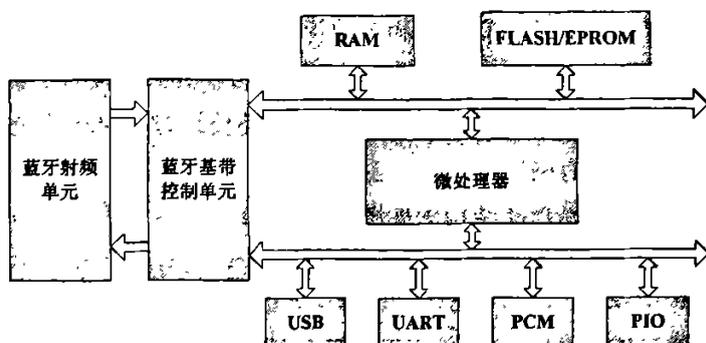


图 3-4 蓝牙单芯片的基本硬件结构

Figure 3-4 Bluetooth Single Chip System structure

(1) 蓝牙射频单元

射频单元主要由无线发送和接收模块组成，负责信号的调制/解调、帧定时恢复、跳频、发送与接收等过程的处理。该单元是蓝牙通信中的物理层，通过 2.4GHz 的微波实现了对无线数据流的过滤和传输。

(2) 蓝牙基带控制器单元

基带控制器单元是蓝牙底层协议 LMP 实现的硬件基础，通常由链路控制序列发生器、可编程序列发生器、语音处理器等单元构成。主要完成基带以及链路的管理与控制，包括 SCO 和 ACL 两种物理链接的建立、差错控制、物理层的加密与解密等工作^[35]。

(3) 微处理器

微处理器则一般采用 RISC 结构的微处理器，负责蓝牙比特流调制和解调后的所有比特级的处理，以及对蓝牙芯片的硬件接口控制。

(4) 存储器

FLASH/EPROM 用于存储完整的蓝牙协议栈和应用程序，一般可将其放置芯片内部，也可外置通过系统总线同蓝牙芯片连接。而系统运行时则将 FLASH/EPROM 中的内容调入芯片上的 RAM 中执行。

3.3.4 系统软件结构

根据蓝牙感知系统结构划分，系统软件主要分为三个部分：蓝牙感知器软件、蓝牙感知适配器软件、主机端应用软件。其中，蓝牙感知器软件和蓝牙感知适配

器软件合作完成蓝牙感知器跟蓝牙感知适配器的通信，包括建立连接、身份认证和数据通信、释放连接。除了基本的通信功能，根据相关的性能要求，蓝牙感知器端软件还要对蓝牙感知器设备的电源、用户交互、通信安全等问题进行管理；蓝牙感知适配器端软件还要对安全认证、多个设备管理等问题进行处理。因此，除了一般的通信功能以外还有一些相关的管理功能。而蓝牙感知适配器软件和主机端软件互相合作完成蓝牙协议和 PC 机数据的传输和转换功能。另外，主机端软件除了跟蓝牙感知适配器进行数据通信之外还要通过局域网跟感知服务器进行通信，因此还要具有网络通信的功能。

蓝牙感知系统软件功能结构图如图 3-5 所示：

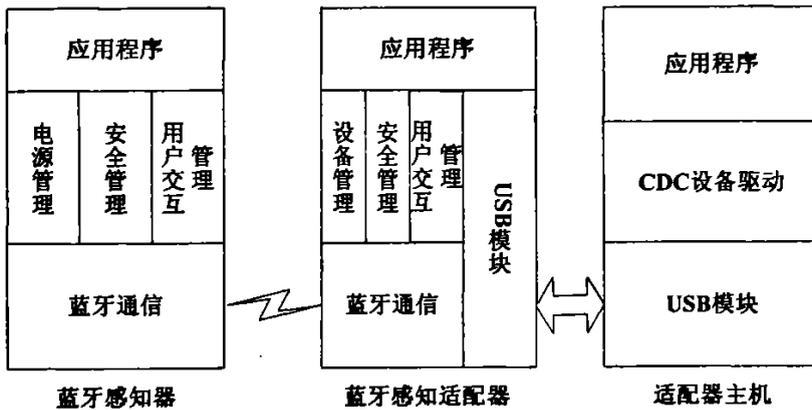


图 3-5 蓝牙感知系统软件功能结构

Figure 3-5 Bluetooth Sensor System software function

(1) 蓝牙感知器端

- 蓝牙通信模块：主要负责为应用程序模块提供蓝牙无线通信的功能。为应用程序提供控制蓝牙协议栈各层的接口，同时为应用程序模块提供了数据传输的通道和消息通道。
- 安全管理模块：负责蓝牙链路和数据通信的安全和认证问题，主要是通过蓝牙内建的安全机制利用 PIN 码的链路级安全模式实现。
- 电源管理模块：负责蓝牙感知器的节能问题，即在合适的时刻控制设备进入节能模式。
- 用户交互管理模块：主要是对蓝牙感知器设备的按钮和显示灯的控制功能。
- 应用程序模块：主要负责协调几个模块协同工作，以及控制用户信息跟蓝牙感知适配器的交互。

(2) 蓝牙感知适配器端

- 蓝牙通信模块：它是蓝牙感知器的蓝牙通信模块的一个对等实体，但是它们的功能上是有差异的：在蓝牙的 LMP 层及其以下，蓝牙感知适配

器作为主设备对蓝牙感知器进行查询。在 RFCOMM 层数据通道建立后，蓝牙感知适配器作为主设备对区域的蓝牙感知器进行管理。

- 安全管理模块：同蓝牙感知器安全管理模块共同负责蓝牙链路和数据通信的安全和认证问题，主要是通过蓝牙内建的安全机制通过 PIN 码和共享密钥实现链路级安全模式。
- 设备管理模块：负责对本设备的管理，负责管理跟蓝牙感知适配器进行通信的多个蓝牙感知器设备。
- 用户交互管理模块：对设备的按钮和显示灯事件进行管理。
- USB 模块：主要负责与计算机通信，为应用程序提供向计算机发送数据的接口。它实现了对身份信息封装成 CDC (Communication Device Class) 设备信息通过 USB 接口传送到主机端。
- 应用程序模块：主要实现对各模块的控制和协调。

(3) 适配器主机端

- USB 模块：主要是将蓝牙感知适配器发送过来的用户信息转换成串口信息加以捕捉。
- CDC 设备驱动模块：主要是完成 USB 接口的初始化，包括 CDC 描述符、接口、端点等的定义。
- 应用程序模块：主要负责监听 CDC 设备的信息，并把 CDC 设备的信息联系到用户的进入和离开上，对进入的用户进行信息上的管理等。

3.4 系统设计策略

3.4.1 系统感知策略

当用户进出环绕智能环境时，蓝牙感知系统要能够及时地搜集到用户出入状态和用户信息，并将这些信息及时传递给 AmI 控制中心，从而环绕智能系统及时采取合适措施为用户提供服务或中断服务。

在本系统中，需要感知协议考虑的几种情况是：当用户进入环绕智能感知网络覆盖范围时（用户 1、用户 5），蓝牙感知系统要很快确定有用户进入，并及时通知控制中心有用户进入，以及是哪个用户进入；当用户离开环绕智能感知网络覆盖范围时（用户 2），蓝牙感知系统要很快确定有用户离开，并及时通知控制中心有用户离开，以及是哪个用户离开；当处于环绕智能环境中的用户在蓝牙感知网络覆盖范围内移动，从一个蓝牙匹克网离开而后进入另外一个蓝牙匹克网时（用户 3），蓝牙感知系统自身要能够及时调整状态，实时定位用户位置，并及时将用户信息更新到控制中心；以及当处于环绕智能环境中的用户在蓝牙感知网

络覆盖范围内移动，同时处于两个蓝牙匹克网覆盖范围内时（用户4）也要能够准确定位用户位置。这几种情况如图 3-6 所示。

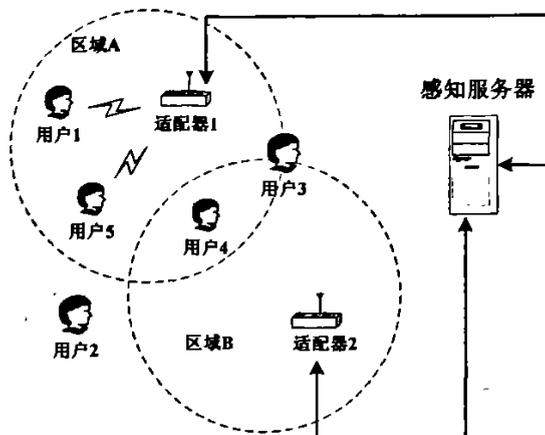


图 3-6 用户在蓝牙感知系统中的移动

Figure 3-6 Users in the Bluetooth Sensor System

在以上几种情况中，有用户进入和有用户离开要求感知的速度要快，从而使环绕智能系统迅速做出反应；而确定哪个用户进入和那个用户离开要求感知系统能够进行数据传输，即将蓝牙感知器中的身份数据传送到环绕智能系统中，从而对该用户进行身份确认。

文献[36]在蓝牙微微网的范围对蓝牙感知策略进行了讨论，即活动从设备的数量不超过 7 个的情况。本文中我们又针对蓝牙散射网范围中新的情况，在文献[36]基础上提出了我们的蓝牙感知系统的感知策略。

(1) 接入感知策略

在接入感知方面，环绕智能环境要能够及时感知进入服务区的用户并识别其身份。佩戴蓝牙感知器的用户进入蓝牙感知系统覆盖范围后，蓝牙适配器要能够快速发现该设备，并与之建立连接，接收蓝牙感知器发送的身份数据。因此，整个进入感知的过程包括查询设备、连接设备、传输数据几个部分。要加快感知速度就要考虑这几个方面的效率问题。

在这几个过程中，设备发现需要的时间是最长的，蓝牙感知器首先查询设备，查询中，主设备发送 ID 数据包给区域内的从设备，进行查询传输，处于查询扫描状态的从设备在查询扫描中接收 ID 包，如果在一次查询扫描周期内没有接收到数据包，则等待一个查询扫描间隔后再扫描下一个 ID 包，在最坏的情况下，查询状态的主设备查询到区域内所有设备需要 10 秒左右的时间^[4]，这样的延迟对于用户是无法接受的。在之后的建立连接过程中，适配器根据查询到的感知器响应信息直接发送连接请求即可建立连接，这是时间也是很短的。在感知器和适配器之间传输数据时，由于传输的用户信息数据量小，传输数据对速度的影响也

比较小。

针对上述情况，我们在感知协议中为蓝牙感知器定义了设备类别（Class of Device），在蓝牙适配器的查询中只针对该类设备进行查询，从而从一定程度上减少查询时间。另外，通过适当的状态转换策略加快感知：感知适配器在查询到一个蓝牙感知器之后立即和该设备进行连接，而不再查询其它设备，从而缩短该用户感知时间；蓝牙感知适配器和蓝牙感知器在交互过程中，在某项任务完成后或者出现异常时蓝牙适配器尽量改变到查询状态，从而去尽可能的查询到设备，蓝牙感知器改变到查询扫描状态，也能够方便适配器查询到该设备。

在数据发送方面，蓝牙感知器在收到适配器的连接请求后，发送连接响应消息，并定义较短的时间间隔后发送用户身份信息，例如 100ms，从而缩短数据请求时间。

（2）离开感知策略

在环绕智能环境中，如果佩戴蓝牙感知器的用户离开蓝牙感知系统覆盖范围，蓝牙适配器要能够快速发现该用户的离开，并将用户的离开信息告知感知服务器。因此，为了能够让蓝牙感知适配器及时了解感知区域的用户状态，系统在用户完成识别后仍然保持蓝牙链路，蓝牙感知适配器负责监控链路状态，获得用户活动信息。

在蓝牙技术规范中，基带层和链路控制层对蓝牙链路的监控提供了方案。在基带层，为了监控链路，提供了主从单元的链路监测定时器 $T_{supervision}$ ，通过定时器的 supervisionTO 值来确定断开时间；在链路控制层可以协商 supervisionTO 值，通过主单元发送 LMP_supervision_timeout 给从单元来监控超时^[5]。通过蓝牙的设备管理，主单元对从单元进行轮询，通过从单元对轮询的响应判断是否断开蓝牙链路，同时，从单元也根据是否在最大时间内收到主单元的轮询信号来确定链路保持状态。

基于以上蓝牙链路监测技术的支持和系统需求，我们在感知协议中规定，完成对用户的身份识别之活，在监测到用户离开之前一直保持本次连接，并不断监测链路状态。

（3）散射网感知策略

对于多个匹克网组成的散射网环境中的感知需求，主要有两种情况：一个是当处于环绕智能环境中的用户在服务区范围内移动，物理位置上从一个蓝牙匹克网离开而后进入另外一个蓝牙匹克网时，蓝牙感知系统自身要能够及时调整状态，实时定位用户位置，并及时将用户信息更新到控制中心；另一种情况是当处于环绕智能环境中的用户在服务区范围内移动，同时处于两个蓝牙匹克网覆盖范围内时也要能够准确提供用户信息。

因此，我们的蓝牙感知系统采取了如下的散射网感知策略：

- 在蓝牙感知器处于两个匹克网的切换点时，由切换前的匹克网继续为该用户提供服务，直到监测到用户离开事件；而另外一个匹克网中的主设备如果查询到该感知器，感知器在离开切换前的匹克网之后再响应查询请求。
- 在蓝牙感知器处于两个匹克网公有的区域时，切换前的蓝牙链路没有断开，因此，对于后者匹克网的查询请求暂时不予响应；另外，还可以根据两个匹克网在该点的信号强度来判断属于哪个匹克网，从而通过该匹克网对该用户重新进行感知或继续提供服务，但是这种方法在目前的开发层次上还有待研究比较网络信号强度的解决方法。

(4) 其它感知策略

除了以上几种功能上的感知需求外，对于系统的性能要求也要采取一定的措施进行保证。比如说保证系统的稳定性方面的要求。例如，在感知区域的边缘部分，用户频繁出入感知区域，系统反复感知用户状态，占用大量系统资源处理该用户信息，增加了系统的负担，降低了系统的性能，并且还引起了服务设备的频繁开关，减少设备寿命。因此，我们的系统针对用户的频繁进出要采取一定的处理策略。

在蓝牙感知系统中，用户要被感知，首先是蓝牙感知适配器对蓝牙感知器的查询，发现了设备才能进行下一步连接，如果我们对用户的频繁进出系统情况限制这种设备的发现就可以阻止下一步的连接，从而避免频繁连接。这样，要么限制感知适配器查询设备状态，要么限制感知器查询扫描状态，由于感知适配器还要查询发现其它设备，因此，改变感知器查询扫描状态更为合理。因此，我们通过控制蓝牙感知器离开感知区域后再进入感知区域的查询状态时间来进行用户频繁进出的控制。系统设置感知器断开连接后 3s 后再进入查询扫描状态，接收适配器的查询，这段时间用户的再进入将不被处理，这也给系统足够的时间处理用户离开引发的系统变动。

3.4.2 安全认证策略

蓝牙感知系统的安全认证管理主要有两个环节，一个是蓝牙感知器和蓝牙感知适配器之间的蓝牙通信过程，一个是蓝牙适配主机和感知服务器之间的以太网通信过程。其中，前者是蓝牙 Ad-Hoc 网络的安全认证管理，后者是以太网的安全认证管理。

蓝牙无线网络安全认证管理主要指在蓝牙感知器和蓝牙感知适配器之间的蓝牙匹克网通信过程中的安全机制。由于蓝牙技术提供了完善的安全机制，该机制包含了完整的验证、授权和加密机制^{[37][38]}。因此，在这两个设备之间我们利

用蓝牙内建的安全机制来进行安全认证。在蓝牙“挑战—应答”^[39]机制中，认证方首先发送随机序列并要求申请方使用共享密钥对该随机序列进行加密，即认证方发起挑战；申请方使用共享密钥加密随机序列并将加密后的随机序列再发送给认证方，即做出应答；认证方通过对申请方的应答结果和自己对随机序列也使用共享密钥进行加密的加密结果进行对比，从而实现认证。

另外，前边章节已经介绍过，蓝牙技术规范定义了三种安全模式，这三种安全模式分别是无安全机制、服务级安全和链路级安全，其中，模式三是链路级安全机制，即在信道建立前启动安全性过程，而模式二在信道建立以后才启动安全机制，因此，模式三有更高的安全性。在我们的系统安全方案里，为了更好地保证用户信息的安全性，在蓝牙通信安全上采用了安全模式三。

在蓝牙的链路级安全模式中，主要是利用设备的 PIN 码和设备地址来进行配对和鉴权的，BD_ADDR 是由蓝牙设备生产厂商为每一个蓝牙设备分配的唯一 IEEE 地址，认证过程中验证者通过蓝牙设备查询过程获得申请者的蓝牙设备地址。因此，需要应用程序中干预的只有 PIN 码的设置，蓝牙基带标准要求蓝牙 PIN 码长度在 1~16 位之间，选择长的 PIN 码能够更好地保证通信的安全性，对我们来说需要选择合适的 PIN 码长度。

当蓝牙感知器和蓝牙感知适配器在传输数据前，为了通信安全首先要进行鉴权以确认身份，而鉴权过程要用到两设备的共享密钥，如果感知器和适配器是第一次通讯，那么就需要在两蓝牙设备上利用 PIN 码和随机数分别生成初始化密钥来进行鉴权，这个过程也就是蓝牙认证过程中的配对。配对完成创建链路密钥，双方并交换链路密钥，作为以后通信的共享密钥进行鉴权。共享密钥可以选择联合密钥、个体密钥、主设备链路密钥^[7]，其中，联合密钥可以由两个个体密钥创建得到，作为链路密钥使用具有较高安全性。

配对完成后蓝牙感知器和蓝牙感知适配器就可以进行鉴权过程了，也就是两个设备的第二次握手。在鉴权过程中，蓝牙感知适配器作为鉴权的挑战方，首先生成随机序列，用共享密钥加密后发送挑战给蓝牙感知器；蓝牙感知器接收挑战后，将接收到的随机数用共享密钥加密，完成后再作为应答发送给适配器；适配器根据自己加密的随机序列与收到的应答进行匹配来判断是否通过认证^[40]。

蓝牙感知器和蓝牙感知适配器之间的安全模型如图 3-7 所示^[40]。认证过程中蓝牙链路上传输的是经过初始化密钥或者共享密钥加密过的分组信息，即使通过对蓝牙信道的监听获得了这些分组信息，进行强力攻击反推 PIN 码的可能性也非常小。因此只要保证 PIN 码在两端蓝牙节点中安全存储即可保证 PIN 码的安全性。同时，蓝牙感知器和蓝牙感知适配器认证过程中并没有交换用户信息，而用户信息是在安全传输通道上传递，这进一步保证了用户信息的安全。

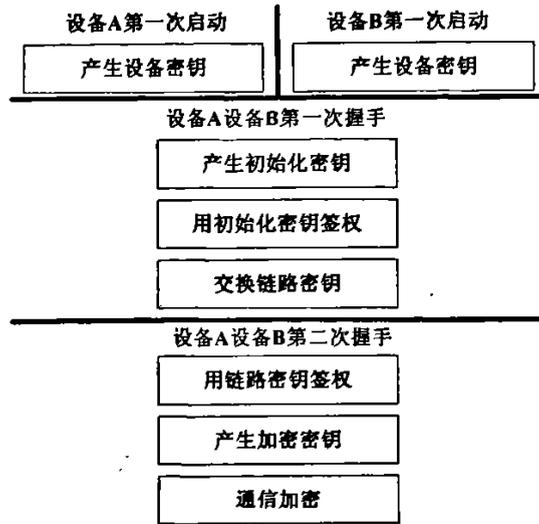


图 3-7 蓝牙感知器和感知适配器之间的安全模型

Figure 3-7 Security Model between Bluetooth Sensor and Bluetooth Adapter

3.4.3 电源管理策略

蓝牙感知系统中的蓝牙感知器是一个用户随身携带的微型嵌入式设备, 由于其具有移动性和体积小特点, 在电源供给方面该设备需要采用小体积电池供电。在这种情况下, 蓝牙感知器在设计的过程中节能管理问题也是一个必须考虑的问题。在我们的系统中, 我们通过合理调度蓝牙感知器在链路建立之后又处于空闲状态时的工作模式来降低电源消耗, 从而达到节能的目的。

在第二章介绍了蓝牙链路建立之后蓝牙设备可以存在的几种模式, 具有电源管理功能的蓝牙设备可以通过在不同的情况下适当选择合适的模式来达到节能的目的。在这几种工作模式中, 活动模式耗电最多, 是正常通信模式, 适用于高数据传输需求的系统和低延迟的系统; 保持模式要求有一定保持周期的中断数据通信, 适合于无线电子邮件等对延迟不敏感的系统; 呼吸模式减少主设备发送数据的时隙数和从设备监听的时隙数, 主从设备都可以请求退出呼吸模式, 通过设置呼吸模式参数来减少呼吸模式退出时的系统开销, 适合于小数据量应用; 休眠模式可以最大限度节约电能, 从设备在这种模式下只保持信道同步, 但不能保留已经建立的 SCO 链路, 适合于耳机规范等突发性设备。

因此, 我们在蓝牙感知器设备中定义蓝牙感知器设备在进入感知网络并完成识别后进入休眠模式, 从而降低蓝牙感知器功耗, 直到有新的链路事件发生。

3.4.4 人机交互策略

在感知过程中,感知器和适配器之间可以合作完成感知任务,无需用户干预。为了为用户提供更全面的功能,用户可以知道设备工作状态,并且在适当的时候可以改变工作流程。因此,除了以上的设备之间自动进行的过程处理之外,在这些交互过程进行的过程中还有跟用户相交互的按钮和指示灯的定义,根据这些外围设备的定义,我们的软件要设计合适的调度策略。

对于蓝牙感知器来说,它是用户随身携带的便携式蓝牙设备,需要电池供电,因此,需要有一个指示电源的显示标识,另外还需要一个显示感知器工作状态的标识。因此在蓝牙感知器设备上会定义红色和绿色两个指示灯用于监控电源和指示设备工作状态。其中,红色指示灯主要表示供电状态,绿色指示灯主要表示设备运行状态,通过不同的闪烁方式来区分不同的状态。在我们的系统中,根据系统状态,上电时,红灯慢闪烁一次;蓝牙感知器被发现时,绿灯闪烁,时间间隔是 2000ms;建立连接保持链路时,绿灯闪烁,时间间隔是 1200ms;数据通信时,绿灯快速闪烁;节能模式时,绿灯慢速闪烁,时间间隔 5000ms;设备供电不足时,红灯慢闪烁,时间间隔定义为 5000ms。

另外,蓝牙感知器还定义了一个用户操作按钮来完成电路复位和手动状态转换:当感知器处于任何一个状态时,长按该按钮设备状态都返回到可查询状态,长按时间定义为 5 秒;设备处于节能模式休眠时,按键一次可唤醒设备,处于可连接状态。

对于蓝牙感知适配器来说,由于适配器是接入到主机 USB 口进行工作的,因此在供电上不需要额外电源,我们的系统只是提供一个蓝色 LED 灯用于指示设备运行状态,定义蓝牙感知适配器处于查询设备状态时,指示灯慢闪烁,时间间隔是 2000ms;跟感知器建立连接时,指示灯闪烁,时间间隔是 1000ms;数据通信时,指示灯快速闪烁,时间间隔 200ms。

另外,为了灵活工作,蓝牙感知适配器还提供了一个按钮来手动使设备进入查询状态,即设备可重新去发现新的设备。该按钮还用于电路复位。

根据以上的这些用户操作和状态显示定义,我们在蓝牙感知系统软件中就要定义相应的枚举类型表示设备状态,并设置相关的延迟参数,同时定义相关的应用消息来进行对话。LED 显示灯和按钮都通过 PIO 口接入系统。在软件中,我们通过软件监控 PIO 端口电平值得到按键事件,从而进行相应设备状态处理;也通过系统事件发生和状态转变情况来改变 LED 显示灯接入的 PIO 口电平值来改变 LED 灯显示情况,从而给用户显示设备相应的工作状态。

3.5 本章小结

本章对蓝牙感知系统进行了总体设计。首先对蓝牙感知系统的应用场景和系统目标进行了分析，主要包括系统功能和性能上的目标；然后从总体上对蓝牙感知系统结构进行了设计，包括物理拓扑、网络结构和软硬件结构；最后提出了系统中需要考虑的感知协议、安全认证管理方案、电源管理策略以及用户交互设计，为后续章节系统的进一步设计提供了依据。

第 4 章 蓝牙感知系统硬件设计

4.1 蓝牙感知器硬件设计

蓝牙感知器硬件设计是基于 CSR 公司的蓝牙单芯片解决方案进行的, 它以 BlueCore 为核心。整个硬件平台是以选定的蓝牙模块为中心而工作的, 它包括外围的一些电路, 需要考虑天线、程序下载口、人机交互接口、电源以及相应的稳压电路几个问题。

在该硬件中, 根据蓝牙感知器的便携性特点, 设备电源采用电池供电; 为了方便用户在合适的时候参与交互操作和了解系统工作状态, 硬件上提供了按键和指示灯作为人机交互接口; 天线是设计一个蓝牙系统时一个重要的因素, 在很大程度上会影响到系统的最终性能; 系统硬件提供了存储器用于存储蓝牙协议栈和应用程序, 存储器的大小对应用程序提出了要求; 同时, 系统还提供了固件和程序下载接口。蓝牙感知器的逻辑结构如图 4-1 所示:

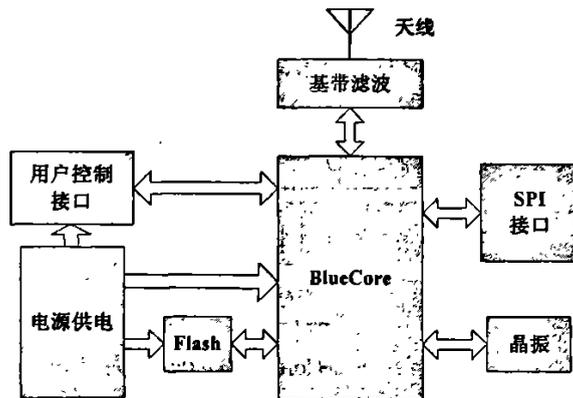


图 4-1 蓝牙感知器硬件逻辑结构

Figure 4-1 Bluetooth Sensor hardware logical structure

在以上几个部分的方案选择上:

(1) 蓝牙模块选用 BCM-03 蓝牙模块, 它支持 1.2 版本的蓝牙协议, 该模块所用蓝牙芯片为 CSR 公司的 BlueCore02-External。

BlueCore02-External^[41]是 BCM-03 的核心, 所有的蓝牙协议栈以及应用程序均运行在该芯片之上, 它是包含无线收发器和基带控制器的蓝牙单芯片系统。该芯片支持 8M 位外部闪存, 采用 96-ball VFBGA 封装, 工作电压为 1.8V。可用于 PC、手机耳机、无线耳机、个人数字助理、计算机附件 (闪存卡、PCMCIA 卡、SD 卡等)、鼠标、键盘、操纵杆、数码相机及便携式摄影机等产品。BlueCore02-External 的简化框图如图 4-2 所示^{[41][42]}。该芯片内部集成了射频 (5.4GHz Radio)、RAM、数字信号处理器 (DSP)、单片机 (MCU) 以及 I/O 接

口^[42]。其中，6 位的 RISC 微控制器（MCU）和数字信号处理器（DSP）属于基带部分，主要用于完成物理层上数据分组的编码、解码以及加密等操作；32KB 的 RAM 是共享的，用于程序运行时临时的状态存贮器；外接的 Flash 用于存储系统固件。BlueCore02-External 芯片还提供了 SPI、UART/USB、PIO、PCM 等外部接口。其中，串行外围设备接口（SPI）作为系统调试用于与其它数字设备的接口；通用异步收发接口（UART）用于同其它串行设备通信；通用串行总线接口（USB）用于用于同其它兼容的数字设备通信；可编程 I/O 接口（PIO）由运行在设备上的固件控制，用于连接用户自定义硬件；脉冲编码调制接口（PCM）用户收发蓝牙器件连续的脉冲编码形式的数据，主要是音频数据。

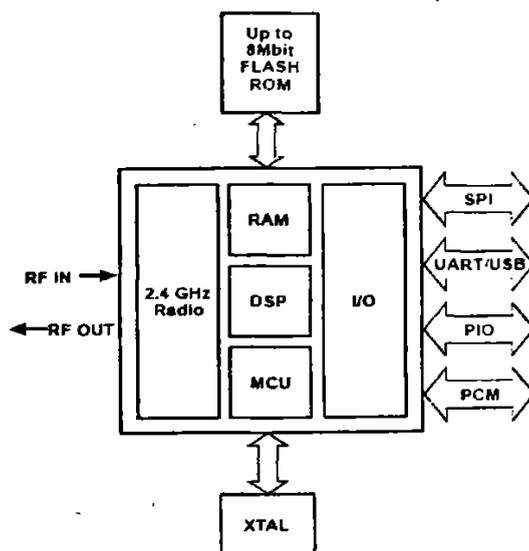


图 4-2 BlueCore02-External 芯片结构

Figure 4-2 BlueCore02-External chip structure

(2) 电源采用聚合物锂离子充电电池进行供电。相对于液态锂离子电池来说，聚合物锂离子电池不仅同样具有高电压、长循环寿命、放电电压平稳以及清洁无污染等特点，而且消除了液态锂离子电池存在的爆炸的安全隐患，具有更好的安全性，还具有超薄设计、重量轻、容量大、内阻小、形状可定制、放电性能佳等优点。因此，我们采用 TCL 公司的聚合物锂离子蓝牙专用电池，并且使用 Maxim 公司的 MAX1722EZK33 DC-DC 电压转换芯片为系统提供稳定的 3.3V 电压。

(3) 在天线的选择方面，由于陶瓷本身的介电常数较 PCB 电路板高，使用陶瓷当天线介质能有效缩小天线尺寸；在介质损耗(Dielectric Loss)方面，陶瓷介质也比 PCB 电路板的介质损耗更小，非常适合于低耗电率的蓝牙模块使用。另外，当蓝牙模块必须利用 LTCC 技术将模块体积降到最小时，LTCC 蓝牙天线可以轻易的与蓝牙模块整合在 LTCC 的多层陶瓷介质中，这将是小型化蓝牙模块的

最佳选择。因此我们采用 Yageo 公司的陶瓷天线。

(4) SPI 接口用于固件及应用程序的下载。

(5) 使用红色和绿色两个 LED 用于电量指示和设备运行状态指示，轻触式按键用于电路复位和手动状态转换，具体规定见 3.4.4。

由以上设计方案，蓝牙感知器的硬件原理如图 4-3 所示。

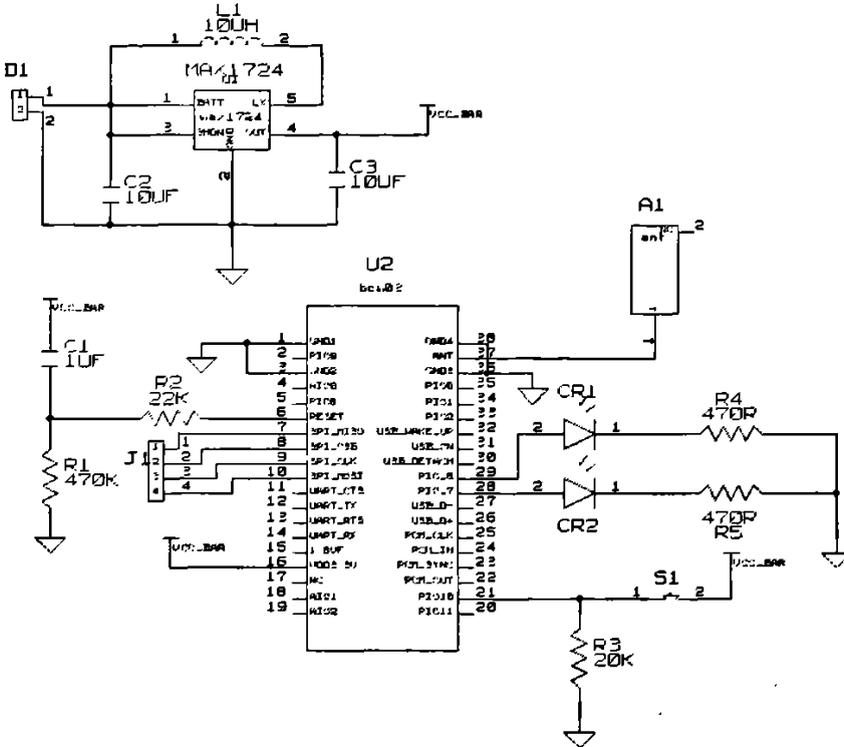


图 4-3 蓝牙感知器原理图

Figure 4-3 Bluetooth Sensor principle diagram

4.2 蓝牙感知适配器硬件设计

蓝牙感知适配器硬件方案在选型上跟感知器比较类似，在模块上也选用 BCM-03 完整蓝牙模块；天线也采用陶瓷天线；只是在电源上，对于蓝牙感知适配器的应用，主要通过 USB 接口连接至 PC 机，从功耗以及便携性等方面考虑，我们选择从 USB 总线取电。蓝牙感知器的逻辑结构设计如图 4-4 所示。

根据以上逻辑结构，蓝牙感知适配器硬件在实现上主要包括：

(1) 稳压电路：从 USB 总线得到的电压是 5V，需要转换成模块的工作电压 3.3V，我们选择 MICREL 公司的 MIC5207 低压差线性稳压器。该芯片具有超低噪声输出、高输出电压精度等特点，能够提供 150mA 的稳定电流，满足模块所需要的 42mA 工作电流。

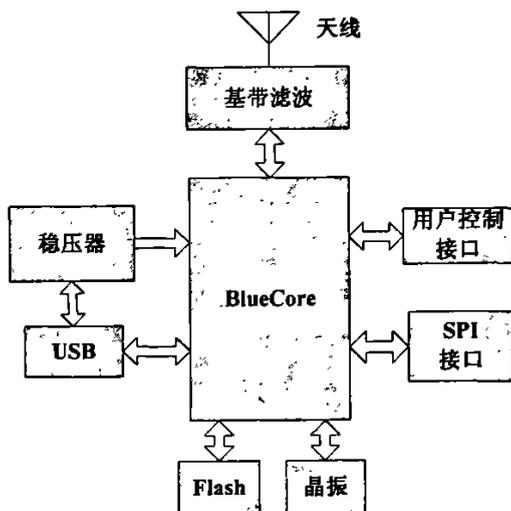


图 4-4 蓝牙适配器逻辑结构

Figure 4-4 Bluetooth Adapter hardware logical structure

- (2) 天线采用陶瓷天线。
- (3) SPI 接口用于固件及应用程序的下载。
- (4) 使用蓝色 LED 灯用于设备运行状态指示，轻触式按键用于电路复位和手动状态转换，具体规定见 3.4.4。

蓝牙感知适配器的硬件原理如图 4-5 所示。

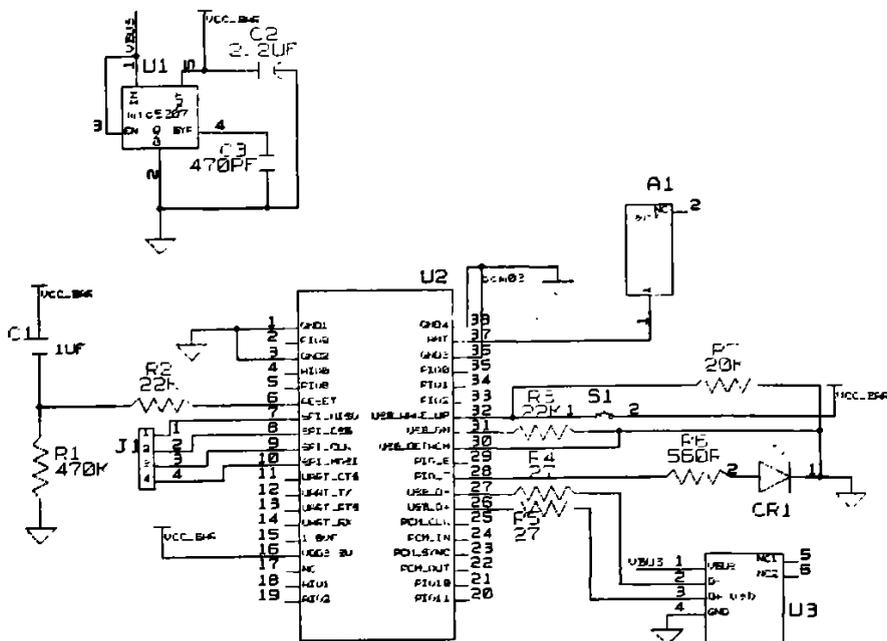


图 4-5 蓝牙适配器硬件原理图

Figure 4-5 Bluetooth Adapter principle diagram

4.3 蓝牙感知器硬件性能

通过以上方案的设计，蓝牙感知器的硬件参数如下表所示：

表 4-1 蓝牙感知器硬件参数

Table 4-1 Bluetooth Sensor hardware parameter

参数名称	参数值	参数名称	参数值
蓝牙版本	Bluetooth Version 1.2	工作电压	3.7V
频道带宽	1Mb/s	功率	90mW
发射功率	二级	工作温度	-20~75℃
有效距离	10m	工作湿度	20-80%
连接	点对多点	存储温度	-30~80℃
安全	配对加密	长度	70mm
使用环境	室内，办公场所等	高度	25mm

从上表看出，蓝牙感知器硬件能够支持蓝牙 1.2 版本规范，有效距离为 10m，连接上支持点对多点，安全上支持配对加密，适用于室内以及办公场所；感知器使用 200mAh 锂离子充电电池提供电源，具有较小的体积和系统功率。

4.4 本章小结

本章对蓝牙感知系统的硬件设计进行了介绍。基于前边设计的系统硬件结构，对蓝牙感知器和蓝牙感知适配器的硬件逻辑结构和方案选择进行了设计，介绍了它们的硬件原理；并根据感知系统的性能要求对蓝牙感知器的硬件性能进行了分析。

第 5 章 蓝牙感知协议及其系统软件设计

5.1 蓝牙软件设计流程

5.1.1 蓝牙软件体系结构

在软件体系结构方面,根据产品所具有的不同功能和资源,蓝牙嵌入式系统解决方案一般有三种类型^[33],如图 5-1 所示。

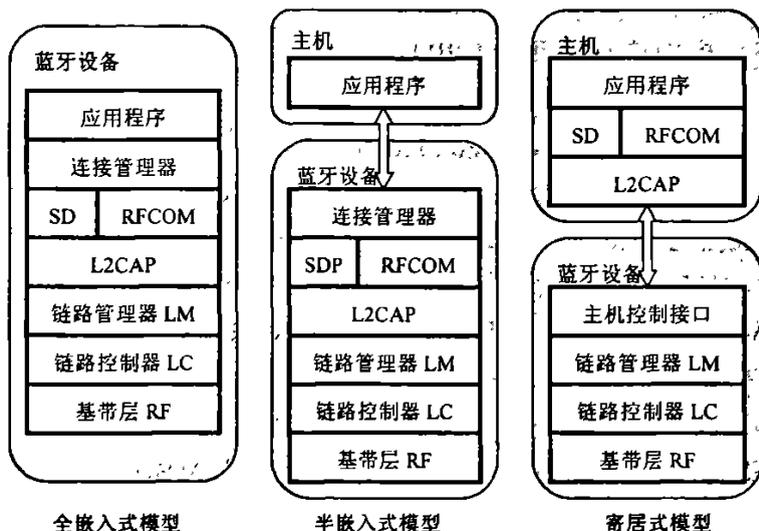


图 5-1 蓝牙协议栈软件实现体系结构

Figure 5-1 Bluetooth Software System structure

(1) 全嵌入式模型

该模型中用户的蓝牙应用程序和整个蓝牙协议栈的实现都在蓝牙设备上完成。因为蓝牙设备的内存资源是极其有限的,因此该模式实现的蓝牙应用典型的特点是蓝牙应用程序相对简单。

(2) 半嵌入式模型

该模型中整个蓝牙协议栈在蓝牙设备上,而用户的应用程序则在主机上运行。该模式对处理能力和可利用内存都有限的设备是很理想的选择方案,如移动电话(2G、3G)、售票机或贩卖机、PC 外设等。

(3) 寄居式模型

该模型中底层的蓝牙协议栈在蓝牙设备中,而高层的蓝牙协议栈工作在主机上。高层协议栈和底层协议栈之间通过主机控制接口进行通信。该模式适合于具有强大的主机处理能力和充足的内存的应用开发。

蓝牙感知器和蓝牙感知适配器的设计和实现是基于蓝牙技术的软硬件来完成的。根据两个设备的功能和性能需求，蓝牙感知器用户随身携带的便携式移动设备，因此它必须轻便小巧，并且还是自供电设备，因此它还必须节能，最后它的成本尽量低廉；蓝牙感知适配器是即插即用设备，主机供电，但在数据处理能力上要稍高于前者。在两个设备的连接通信工作过程中，通信的数据量很小，对内存要求不高，但要求有很好的反应速度。

对于以上三种结构类型，蓝牙感知器很明显适合采用全嵌入式模型；对于蓝牙感知适配器，虽然在处理能力上要求稍高，但是综合成本、性能等各方面需求，全嵌入式模型也是最佳选择。因此，我们选用全嵌入式模型进行设计和开发。

5.1.2 蓝牙串口应用模型（SPP）

蓝牙串口应用模型（Serial Port Profile, SPP）^[43]为使用蓝牙技术模拟 RS232 串口的设备定义了相关的协议和处理过程。SPP 是其它许多应用规范的基础，如头戴式设备规范（Headset Profile, HSP）、免提规范（Handsfree Profile, HFP）等。SPP 定义了建立这些规范所需要的仿真串口链路的过程以及与串口仿真协议（RFCOMM）、逻辑链路和控制协议（L2CAP）、服务发现协议（SDP）、链路管理协议（LMP）和链路控制层的互操作性要求。

其协议栈如图 5-2 所示^[43]。其中，基带、LMP 和 L2CAP 是蓝牙协议中开放式系统互联参考模型（OSI）的第一和第二层。RFCOMM 是蓝牙协议按照 GSM 中的 TS 07.10 编写的，它提供一个应用于模拟串口的传输协议。SDP 是蓝牙的服务发现协议。串口仿真层用于串口模拟，或者为用户提供 API。两边的应用都是典型的继承性应用，它们希望通过一个虚拟的数据电缆进行通信。但它们不知道蓝牙设备设置虚拟串口的流程，因此需要一些蓝牙应用帮助程序。

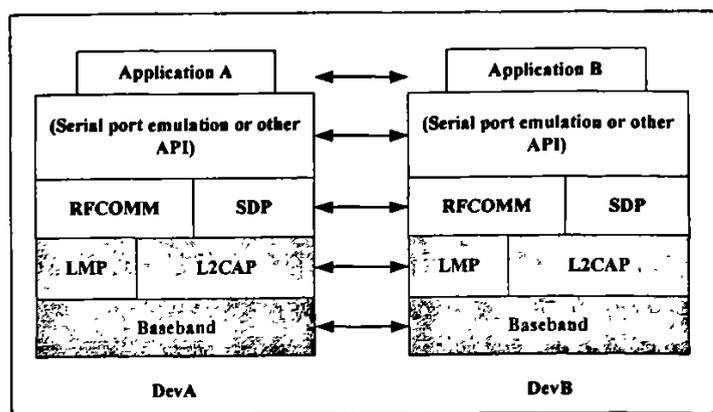


图 5-2 串口规范协议栈结构

Figure 5-2 Serial Port Profile protocol stack

在蓝牙串口规范中定义了设备 A 和设备 B 两个角色，其中，设备 A 是发起与另一设备进行连接的设备（主设备），向从设备发起初始化连接；设备 B 是等待其它设备连接的设备（从设备），在通信中接受主设备的初始化连接请求，并对该请求作出响应。

SPP 只要求支持单时隙分组，这意味着 SPP 数据传输速率最高为 128kb/s，但也可以支持更高的速率。SPP 同时只能处理一条连接，但在一台设备上能够同时运行 SPP 的多个进程，所以该设备可以同时充当两种设备角色。

SPP 可以选择使用授权、鉴权和加密等安全性特征支持，其中鉴权和加密必须支持。如果使用安全特征，在连接建立阶段就要执行设备匹配进程。要建立模拟串行电缆连接必须执行服务发现过程。RFCOMM 用来传输数据、调制解调器控制信号和配置命令。

在 SPP 链路方面，应用流程主要包括三个步骤：建立链路和配置虚拟串口连接；接收链路和设置虚拟串口连接；在本地数据库中注册服务记录。这些功能的实现步骤如下：

(1) 建立链路和配置虚拟串口连接

- 使用 SDP 得到远端设备上期望得到的 RFCOMM 服务信道号；
- 执行对远端设备的鉴权和加密（可选）；
- 请求建立新的到远端 RFCOMM 实体的 L2CAP 信道；
- 在 L2CAP 信道上发起 RFCOMM 会话；
- 使用前面得到的 RFCOMM 服务信道在会话上建立新的数据链路连接。

(2) 接收链路和设置虚拟串口连接

- 如果收到远端设备的连接请求，加入鉴权程序，更进一步地发送请求，开启加密过程；
- 在 L2CAP 接收一个新建信道指令；
- 在新信道中接收一个 RFCOMM 建立会话；
- 在 RFCOMM 会话上接收一个新的数据连接。

(3) 在本地数据库中注册服务记录

通过 RFCOMM 可获得的所有服务与应用都需要向 SDP 数据库提供服务记录，这些服务记录包括访问相应的服务与应用必要的参数。

SPP 中没有要求任何节能模式，然而应该尽可能使用低功耗节能模式。若使用呼吸（Sniff）、休眠（Park）或保持（Hold）模式，RFCOMM 的数据链路控制和 L2CAP 信道都不应释放。

若设备发现链路丢失，就认为 RFCOMM 已经关闭，就不再执行断开数据链路控制（Data Link Control, DLC）和关闭 RFCOMM 的过程。在重新进行高层通信之前，必须执行会话的过程。

蓝牙串口规范的工作过程如图 5-3 所示：

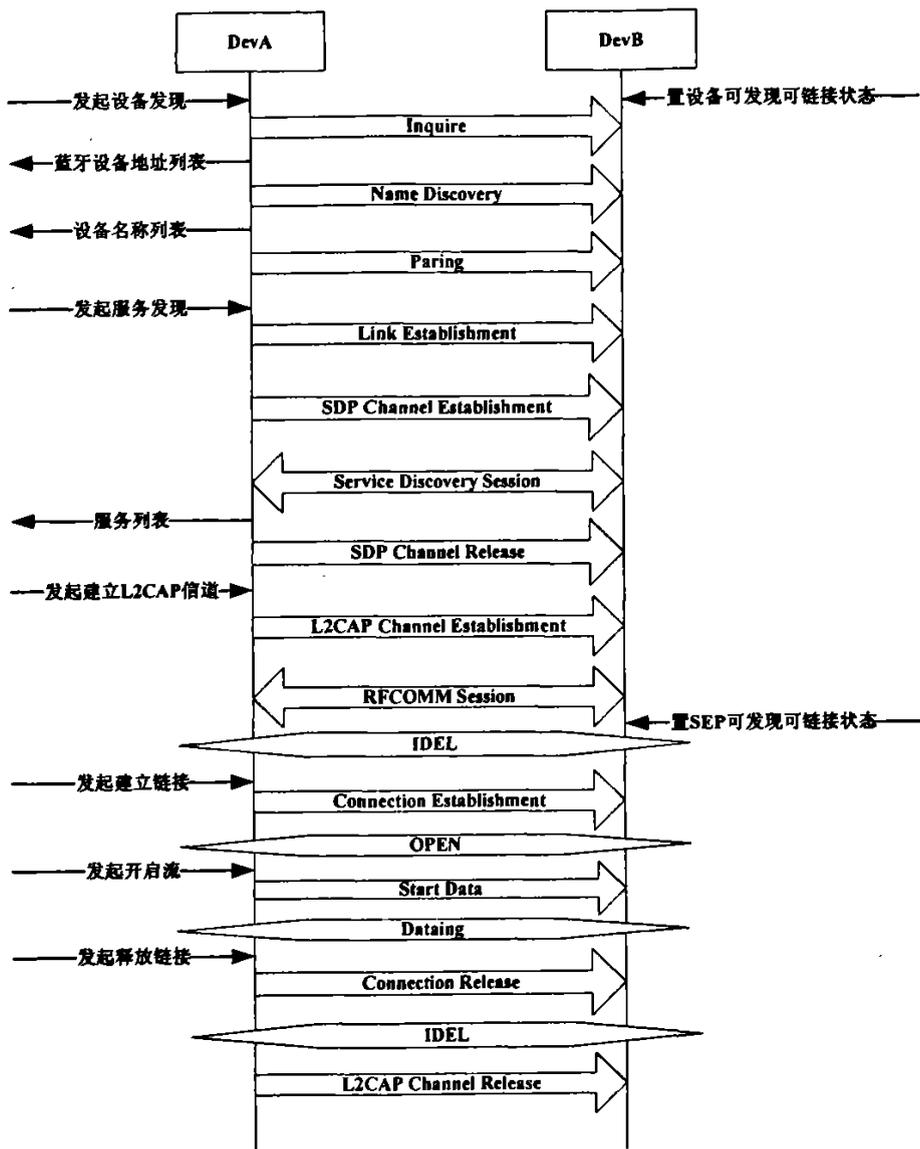


图 5-3 SPP 工作流程

Figure 5-3 Serial Port Profile communication flow

5.2 蓝牙感知协议描述

我们的蓝牙感知系统是建立在 SPP 规范之上的蓝牙应用，但是，SPP 规范只提供了通用的串口功能协议，针对蓝牙感知所特有的要求，再结合系统总体设计的策略，我们的应用程序针对蓝牙感知定义了相应的消息和交互机制，规定了感知设备之间交互的规则，这些构成了我们系统的蓝牙感知协议。其协议栈结构如图 5-4 所示：

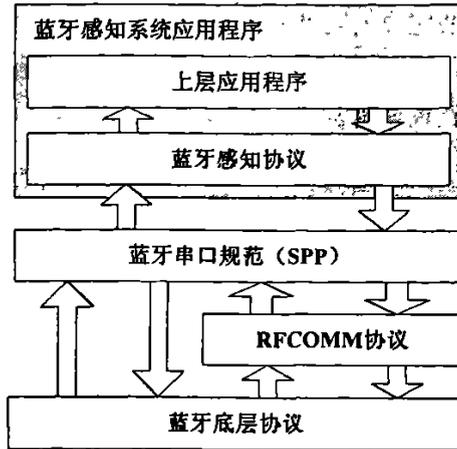


图 5-4 蓝牙感知协议栈结构

Figure 5-4 Bluetooth Sensor protocol stack

其中，应用程序负责对蓝牙连接和数据传输过程的控制，使用消息机制和蓝牙串口规范通信；RFCOMM 层主要负责对蓝牙 RFCOMM 层协议的功能实现，为上层提供通信的通道；蓝牙底层主要负责蓝牙底层的协议的功能实现，为上层提供可靠的传输通道，上层可以用原语命令对它进行控制，它用事件的方式通知上层。图 5-5 表明了应用程序和蓝牙串口规范之间的消息通信机制：

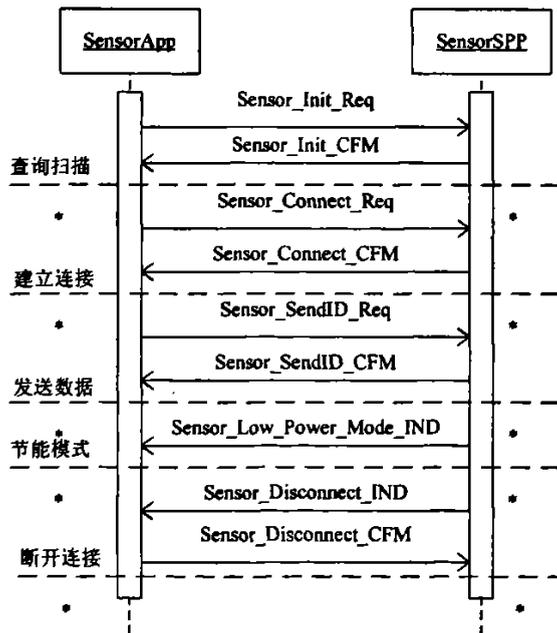


图 5-5 蓝牙感知协议和 SPP 规范消息机制

Figure 5-5 Information mechanism between Sensor Protocol and SPP

蓝牙感知协议主要完成的功能有：

- (1) 设备管理：感知设备启动时的初始化，设定蓝牙感知器为特定类别的蓝牙设备，加快查询速度。
- (2) 连接管理：对蓝牙感知器和蓝牙感知适配器之间的蓝牙链路的建立、保持和断开定义相关交互机制进行管理。
- (3) 数据传输：定义用户身份信息发送消息和发送机制完成数据传输功能。
- (4) 感知策略：对于蓝牙散射网之间移动的感知，蓝牙感知协议定义了蓝牙感知设备状态标志，监控蓝牙感知器感知状态。
- (5) 安全认证：定义了配对和鉴权消息和认证交互对蓝牙安全进行管理。
- (6) 电源管理：定义了感知设备节能模式消息和交互机制对蓝牙感知器设备进行节能管理。

5.3 蓝牙感知协议软件设计

5.3.1 蓝牙感知协议数据包

在我们的蓝牙感知协议中定义了相应的消息来完成感知协议跟上下层协议的交互功能，这些消息的格式如图 5-6 所示：

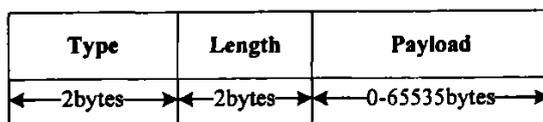


图 5-6 蓝牙感知协议消息格式

Figure 5-6 Bluetooth Sensor Protocol data packet

蓝牙感知层协议的消息主要有：

- **Sensor_Init_REQ**
设备初始化请求消息。用于初始化感知器设备类别（Class of Device, COD）。消息内容包括设备类别（COD）。
- **Sensor_Init_CFM**
设备初始化应答消息。用于设备类别初始化完成后底层向上层的确认。消息内容包括初始化结果、设备的蓝牙地址。
- **Sensor_Connect_REQ**
蓝牙连接请求消息。用于高层在查询完成后请求底层建立蓝牙连接。消息内容包括蓝牙设备地址、连接超时时间。
- **Sensor_Connect_RSP**
蓝牙连接响应消息。用于蓝牙连接建立中低层协议对高层协议连接请求

的响应。消息内容包括主机蓝牙设备地址、蓝牙连接结果。

- ▶ **Sensor_Send_ID_REQ**
用户身份信息发送请求。用于蓝牙感知器向蓝牙适配器发送用户身份信息。消息内容包括用户身份 ID、状态标志。
- ▶ **Sensor_Send_ID_CFM**
用户身份信息发送确认消息。用于蓝牙感知器向蓝牙感知适配器发送用户数据后低层协议向上层协议进行确认。消息内容包括数据发送结果。
- ▶ **Sensor_Disconnect_REQ**
断开蓝牙连接指示消息。用于下层协议对上层协议断开蓝牙连接的指示。消息内容包括断开连接原因。
- ▶ **Sensor_Disconnect_CFM**
断开蓝牙连接确认消息。用于断开连接后低层向上层的确认断开。消息内容包括断开结果。
- ▶ **Sensor_Pin_Code_RSP**
蓝牙配对响应消息。用于蓝牙连接建立过程中的安全认证指示。消息内容为空。
- ▶ **Sensor_Authorise_RSP**
蓝牙鉴权响应消息。用于蓝牙连接建立过程中的安全认证指示。消息内容为空。
- ▶ **Sensor_Low_Power_Mode_IND**
设备节能模式指示消息。用于用户数据传输完成后低层协议指示设备进入节能模式。消息内容包括节能模式类别。
- ▶ **Sensor_Add_Device_IND**
添加设备记录指示消息。用于将设备信息添加到管理的设备记录中。消息内容为设备地址。

蓝牙感知协议在跟上下层协议交互的过程中，下层与感知协议层之间的事件主要有：

- ▶ **CL_INIT_CFM**
底层协议初始化确认消息。用于底层蓝牙协议对感知协议的初始化请求进行确认。
- ▶ **SPP_INIT_CFM**
串口规范初始化确认消息。用于串口规范对感知协议的初始化请求进行确认。
- ▶ **CL_SM_PIN_CODE_IND**
用于底层协议对感知协议配对请求的相应指示消息。

- CL_SM_AUTHORISE_IND
用于底层协议对感知协议配对鉴权的相应指示消息。
- SPP_CONNECT_IND
串口规范对蓝牙感知协议连接请求的相应指示消息。
- SPP_CONNECT_CFM
串口规范对蓝牙感知协议连接请求的相应确认消息。
- SPP_DISCONNECT_IND
串口规范对蓝牙感知协议断开蓝牙连接请求的相应指示消息。
- SPP_DISCONNECT_CFM
串口规范对蓝牙感知协议断开蓝牙连接请求的相应指示消息。

5.3.2 蓝牙感知协议层间交互

有了前边定义的蓝牙感知协议消息，蓝牙感知协议跟上下层之间通过请求、确认、指示、应答的方式进行交互，它们之间的操作如图 5-7 所示，其中，来自高层的事件称作请求 (Req)，相应的答复称作确认 (Cfm)，来自低层的事件称为指示 (Ind)，相应的答复称为应答 (Rsp)。

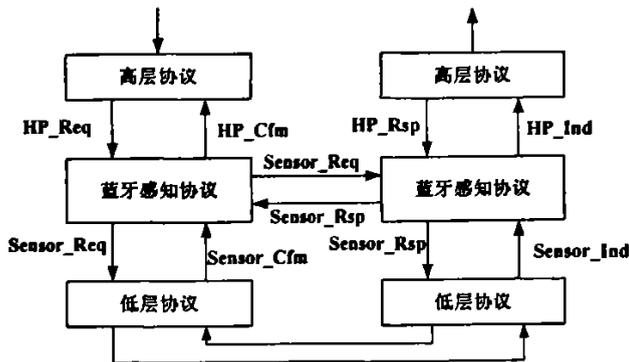


图 5-7 感知协议互操作

Figure 5-7 Bluetooth Sensor Protocol Operation

5.3.3 蓝牙感知协议状态机

无线交互和用户身份信息传输是系统的核心功能，主要包括建立蓝牙通信连接、数据传输和断开连接几个阶段。

(1) 建立蓝牙通信连接

两个蓝牙设备在进行通信的时候，首先建立蓝牙连接，这个连接包括蓝牙底层 LM 连接和 RFCOMM 层连接。在连接过程中，同时完成了安全认证的过程。

首先需要初始化蓝牙底层协议，初始化成功后就可以调用底层提供的接口了。当主设备主动发现从设备，而从设备也处于查询扫描状态时，主设备就会发现从设备。然后两个设备开始建立底层的连接，从安全方面考虑，首次连接需要进行配对鉴权操作，由主设备向 Connection 实体发起请求 PIN 码的指示，再通过蓝牙传输到从设备的对等层，报告给从设备的应用程序，由从设备的应用程序给出响应。全嵌入式设备的 PIN 码是存储在芯片里程序可用空间的，不需要用户参与就可以自动完成设备 PIN 码的匹配和鉴权，完成认证后两端设备的蓝牙地址都会被对方加入到各自的安全设备列表中，以后再进行连接时，可以不再进行配对鉴权操作，但是如果设备使用者在安全设备列表中删除了已经配对过的设备，再进行连接时，仍然需要再进行配对。认证通过后，主设备发送 RFCOMM 连接请求给从设备，从设备响应后取得 RFCOMM 信道号，从而完成 RFCOMM 连接建立。为后边数据通信提供传输通道。连接建立过程中的消息交互如图 5-8 所示。

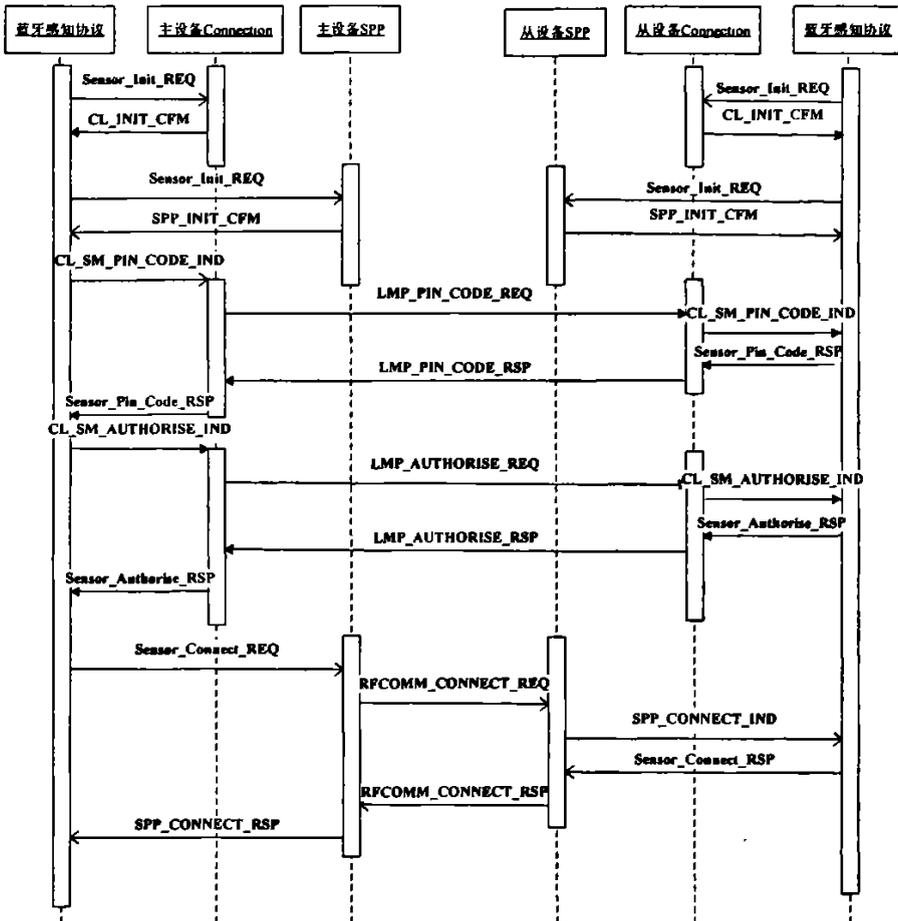


图 5-8 建立蓝牙连接交互过程

Figure 5-8 Connection set up procedure

(2) 身份数据传输

蓝牙连接建立之后，蓝牙感知协议还支持用户身份数据的传输。主要通过从设备的蓝牙感知协议向对等层协议发送 `Sensor_Send_ID_Req` 消息来实现，`Sensor_Send_ID_Req` 消息里边包括了用户身份 ID 和状态信息；接收端收到用户信息后发送 `Sensor_Send_ID_CFM` 消息来响应发送端。

(3) 断开连接

当用户离开环绕智能感知区域时将触发蓝牙链路断开过程，在这个过程中，请求断开连接的设备的应用程序操作该设备的 SPP 库向接收端发送 `RFCOMM_DISCONNECT_REQ` 请求，接收端 SPP 对等层收到断开请求后，将 `SPP_DISCONNECT_IND` 消息给应用程序，应用程序再调用 SPP 库，进而接收端 SPP 发送 `RFCOMM_DISCONNECT_RSP` 应答给请求端对等层，对等的 SPP 通知应用程序 `SPP_DISCONNECT_CFM` 消息，从而断开 RFCOMM 连接。断开连接的过程如图 5-9 所示：

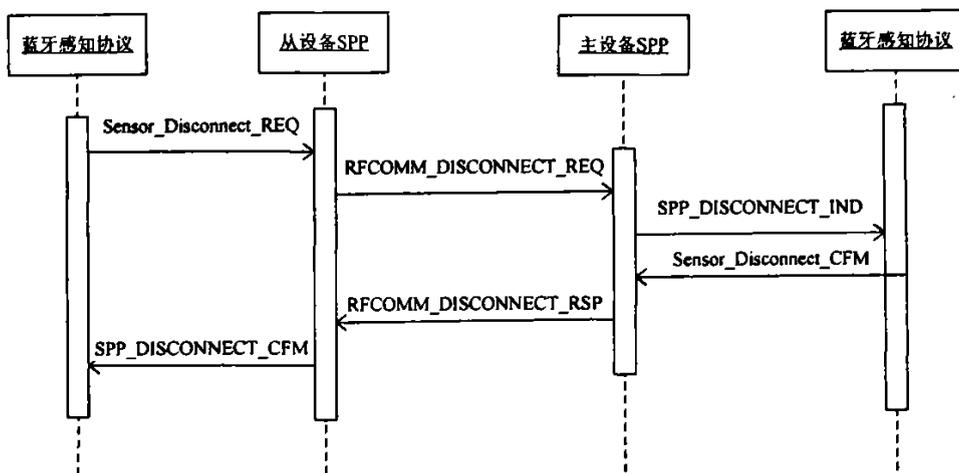


图 5-9 断开通信连接交互过程

Figure 5-9 Connection release procedure

在交互的过程中，蓝牙感知协议主要有以下几种状态：初始化 (Initializing)、就绪 (Ready)、连接 (Connecting)、链路保持 (Connected)、数据传输 (SendData)。蓝牙感知协议状态转换如图 5-10 所示：

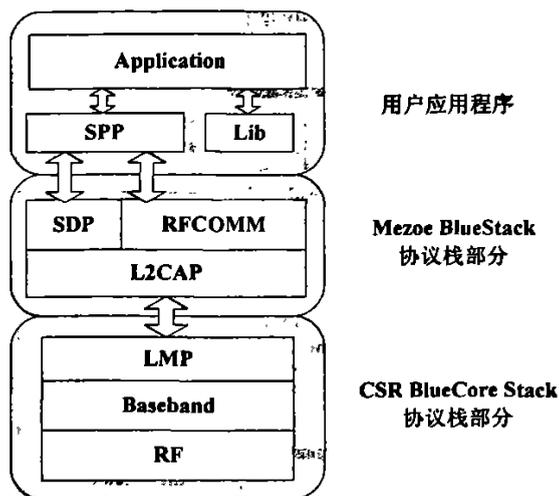


图 5-11 蓝牙感知系统软件实现体系结构

Figure 5-11 Bluetooth Sensor System software implementation structure

5.4.2 静态模型设计

根据第三章软件的功能设计，感知器端软件要实现 SPP 规范中的基本串口通信过程，同时还要满足系统对安全认证、节能以及人机交互的功能。另外，由于跟 SPP 和底层协议的支持，应用上还需要有相应的配置功能，这些都由控制模块来进行调度。在应用程序的设计上，我们采用面向对象的方法，将每个功能模块的管理器识别为相应的应用程序类，开发平台提供的底层应用库也作为相应的类共同交互完成功能。感知器端的静态结构如图 5-12 所示。其中：

- 调度类 Scheduler

负责事件处理和其它功能管理类的调度。定义了 `app_handler` 方法处理事件和调度其它类的方法。
- 连接管理类 LinkManagement

负责系统中有关蓝牙通信链路的事务，包括设备查询、建立连接、数据传输、断开连接等。定义的方法主要有：`SensorDevInquireScan` 方法处理设备查询；`sensorConnect` 管理连接建立；`handleSendData` 处理数据发送；`sensorDisconnect` 管理链路断开。
- 安全认证管理类 SecurityManagement

负责管理蓝牙通信安全方面的事务，包括配对和鉴权。方法主要有：`sppDevHandlePinCodeRequest` 管理感知器端的蓝牙配对响应；`sppDevSetTrustLevel` 管理设备安全级别；`sppDevHandleAuthoriseRequest` 处理鉴权事务。

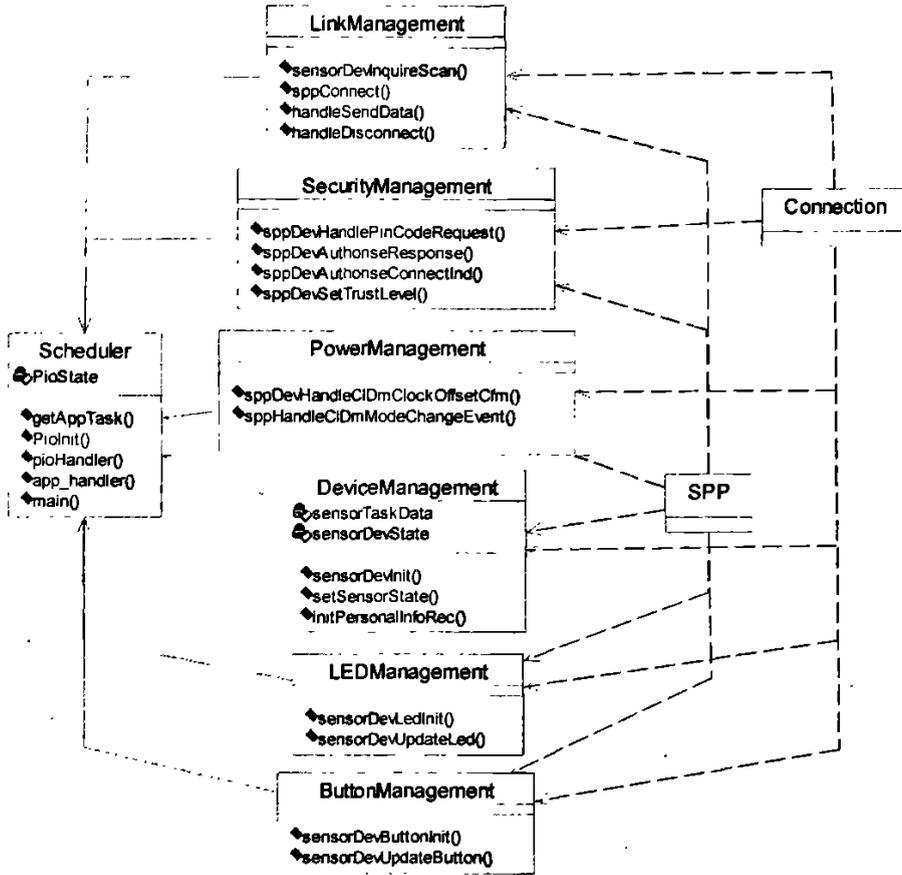


图 5-12 蓝牙感知器静态结构

Figure 5-12 Class Diagram of Bluetooth Sensor

- 能源管理类 PowerManagement
负责设备的节能管理。定义了 sppDevHandleCIDmClockOffsetCfm 和 sppHandleCIDmModeChangeEvent，在数据传输完成后调用该方法进入节能模式。
- 设备管理类 DeviceManagement
负责管理蓝牙感知器状态以及用户信息。定义了 sensorDevInit、setSensorState 管理设备状态；initPersonalInfoRec 方法初始化用户信息。
- Led 管理类 LedManagement
负责 Led 灯的控制。定义了 sensorDevLedInit、sensorDevUpdateLed 方法更改 Led 状态。
- 按钮管理类 ButtonManagemen
负责按钮引发的系统事件的处理。定义了 sensorDevButtonInit、sensorDevUpdateButton 方法处理按钮引起的系统事件。

5.4.3 动态模型设计

蓝牙感知器软件的工作状态转换如下图 5-13 所示：

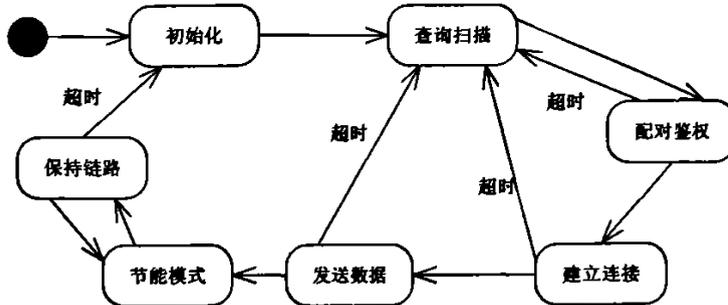


图 5-13 蓝牙感知器状态转换

Figure 5-13 Bluetooth Sensor state diagram

蓝牙感知器上电完成初始化后，快速进入查询扫描状态，等待被蓝牙适配器发现；完成设备发现后进行连接，在连接的过程中完成配对鉴权；建立连接以后，发送用户的身份信息；收到对方的信息确认以后，就进入节能模式，保持链路的连接，直到收到链路断开指示消息。在这个正常过程中如果出现异常，如鉴权配对超时、连接超时、数据发送超时等情况，蓝牙感知器都将重新开始查询扫描。

5.4.4 软件流程

蓝牙感知器端软件流程如图 5-14 所示。首先，对蓝牙感知器进行设备初始化（sensorDevInitialising），包括 LED 灯设置；蓝牙 SPP 对串口进行参数配置，包括波特率、奇偶校验位等；蓝牙协议栈对 RFCOMM 进行初始化，并注册 SDP 服务；然后，将蓝牙感知器设置状态改变为查询扫描（sensorDevReady），等待蓝牙感知适配器的设备发现；接收到适配器的查询请求后，蓝牙感知器响应该请求，处于可配对状态（sensorDevPairable），并向适配器发送 PIN 码，跟蓝牙适配器进行配对鉴权；在认证过程中，蓝牙感知器处于连接中状态（sensorDevConnecting）；认证完成后建立 RFCOMM 通信链路，完成连接（sensorDevConnected）；发送用户信息和状态标志给蓝牙适配器；当数据发送完成后蓝牙感知器自动进入休眠模式（Park）；如果在认证过程中、连接建立过程中或数据发送过程中出现异常，或者链路丢失时间发生，则蓝牙感知器进入 3 秒钟等待时间，然后重新等待被查询。

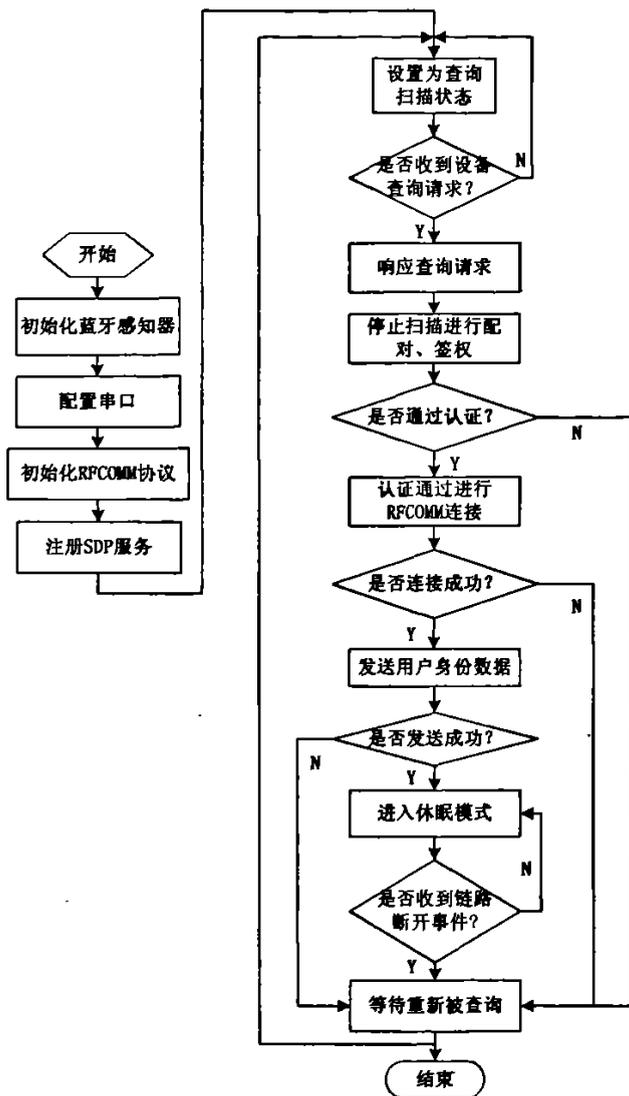


图 5-14 蓝牙感知器端软件流程

Figure 5-14 Bluetooth Sensor software flow diagram

5.5 蓝牙感知适配器端软件设计

5.5.1 静态模型设计

蓝牙感知适配器软件在功能结构上具有跟蓝牙感知器对等的一部分通信功能，还具有对蓝牙感知器的管理功能，除此之外，蓝牙感知适配器还要处理接收到的用户数据，并发送到主机端。同样，我们按照软件功能来划分软件系统的静态结构。感知适配器端的静态结构如图 5-15 所示。其中：

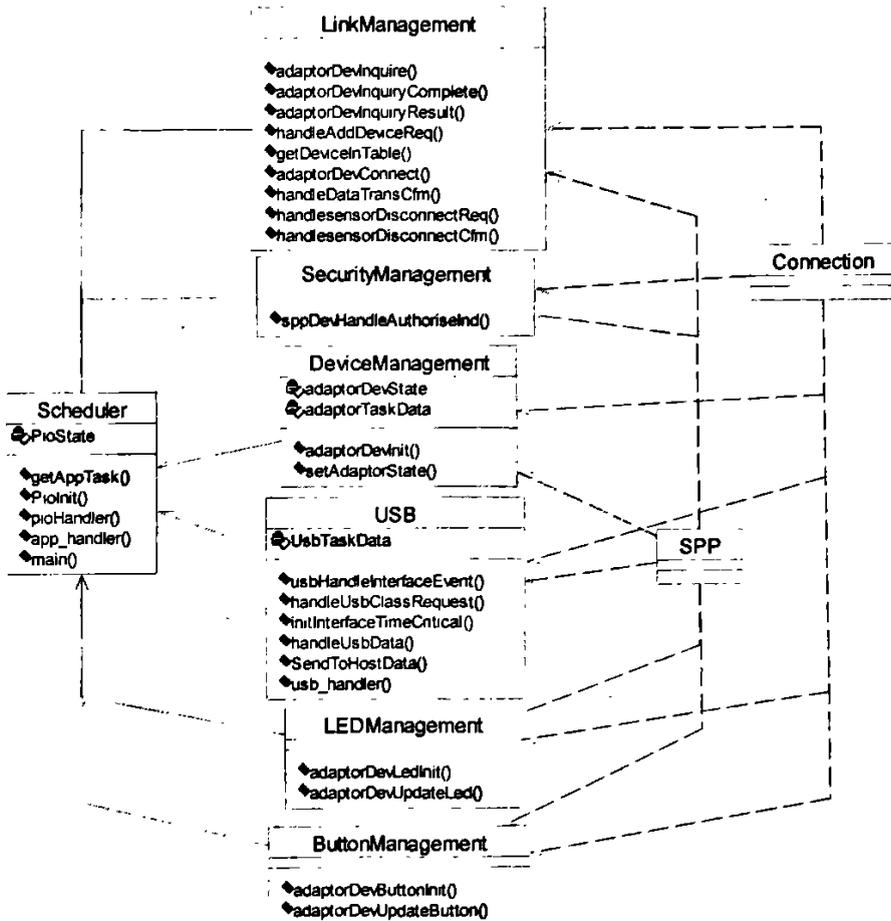


图 5-15 蓝牙感知适配器静态结构

Figure 5-15 Class Diagram of Bluetooth Adapter

- 调度类 Scheduler
跟蓝牙感知器对等的类具有类似功能，不同的是，在负责事件处理和其它功能管理类的 app_handler 方法还要处理主机端的事件。
- 连接管理类 LinkManagement
同蓝牙感知器对等类具有对等的功能，不同的是增加了对蓝牙感知器的管理方法，如 handlesensorDisconnectReq、handlesensorDisconnectCfm、GetDeviceInTable 等。
- 安全认证管理类 SecurityManagement
跟蓝牙感知器对等类共同负责管理蓝牙通信安全方面的事务。
- 设备管理类 DeviceManagement
负责管理蓝牙感知适配器器设备的初始化和状态转换。

➤ USB 模块类

该类是蓝牙感知适配器同主机端通信的管理类。定义的方法主要有：`usbHandleInterfaceEvent`、`initInterfaceTimeCritical`、`SendToHostData`、`handleUsbClassRequest`、`handleUsbData`、`usb_handler`。

➤ Led 管理类 LedManagement

负责 Led 灯的控制。定义了 `adaptorDevLedInit`、`adaptorDevUpdateLed` 方法更改 Led 状态。

➤ 按钮管理类 ButtonManagemen

负责处理按钮事件引起的系统变化。定义了 `adaptorDevButtonInit`、`adaptorDevUpdateButton` 方法处理按钮引起的系统事件。

5.5.2 动态模型设计

蓝牙感知适配器工作过程如下图 5-16 所示：

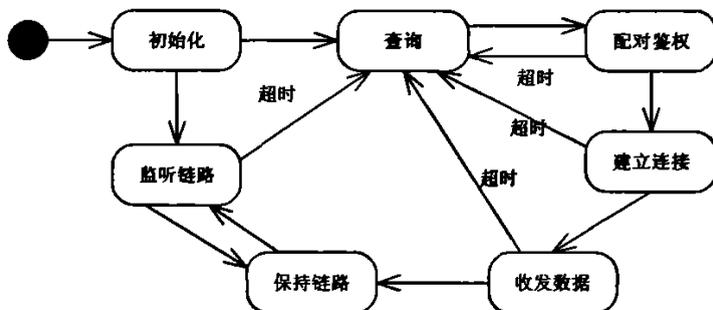


图 5-16 蓝牙感知适配器状态转换

Figure 5-16 Bluetooth Adapter state diagram

蓝牙适配器上电完成初始化后，进入查询状态，快速发现蓝牙感知器；收到对方扫描响应后要求对方进行配对鉴权；认证成功建立通信连接；接收对方数据，收到对方发送过来的信息时，把用户信息存到设备数据库中，并通过 USB 接口与主机进行通信；同时保持跟感知器的链路，并不断监听链路，一旦发生链路断开事件，适配器删除响应的用户信息，重新进入查询。在正常过程中如果出现认证超时、连接超时、收发数据超时等异常情况，设备都重新进入查询状态。

5.5.3 软件流程

蓝牙感知适配器端软件流程图如图 5-17 所示。

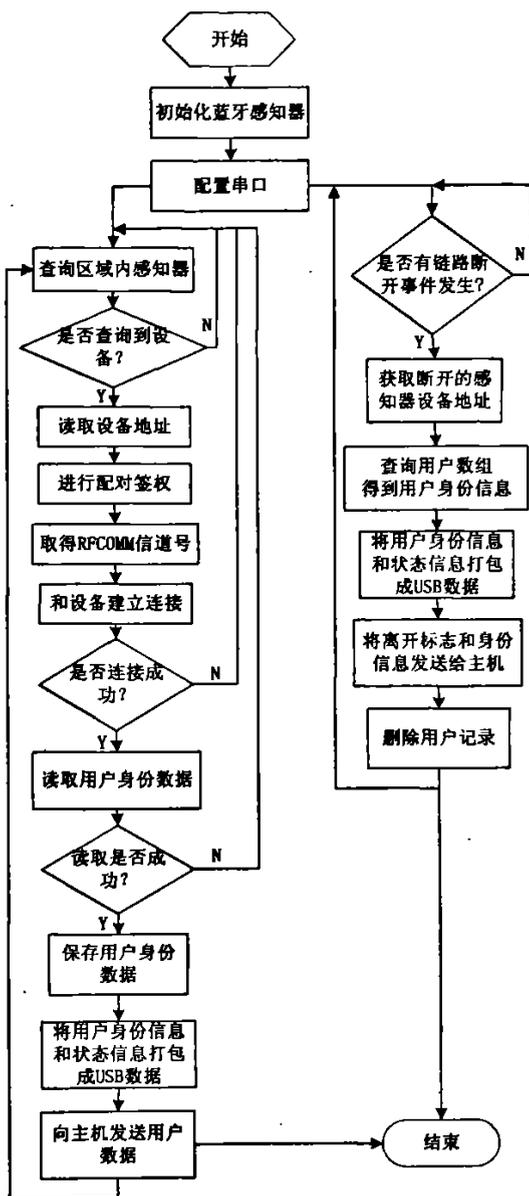


图 5-17 蓝牙感知适配器软件流程

Figure 5-17 Bluetooth Adapter software flow diagram

首先，对蓝牙感知适配器进行设备初始化（adaptorDevInitialising）；蓝牙 SPP 对串口进行参数配置；蓝牙协议栈对 RFCOMM 进行初始化；然后，我们的程序将蓝牙感知适配器设置状态改变为扫描（adaptorDevReady），蓝牙感知适配器发送查询请求，在区域内进行设备发现；当查询到新设备时（收到查询请求响应），蓝牙适配器读取所发现设备的蓝牙地址（BT_ADD），处于（adaptorDevPairable）；蓝牙感知器跟蓝牙感知适配器进行 PIN 码匹配鉴权；蓝牙感知适配器处于 adaptorDevConnecting 状态；认证通过后建立 RFCOMM 链路；链路建立后蓝牙

感知器进入 `adaptorDevConnected` 状态，可以接收用户信息；蓝牙感知适配器将接收来的用户状态和身份信息（flag，5 位身份编码）保存到用户信息数组，并发送给主机。在蓝牙感知适配器进行查询的同时，蓝牙感知适配器还不断监听蓝牙信道，看是否有链路丢失事件，如果有 RFCOMM 链路丢失，则根据设备地址查询用户数组，将用户信息和离开标志发送给主机，并删除用户记录。

5.6 主机端软件设计

适配器将用户身份和状态信息通过主机串口发送给适配器主机，适配器主机端软件主要负责监听主机串口的信息^[45]，并把串口接收到的数据联系到用户的进入和离开上，当显示用户进入进出时，适配器主机通过 Socket 程序^{[46][47]}将用户身份信息和状态标志发送给感知服务器，从而对用户进行信息上的管理。

该部分软件用面向对象方法进行设计，在 .NET 平台下通过 C# 编程实现。软件总体分为接收用户输入和身份识别两个主要部分，总体设计有三个类，分别是 `Program`、`LoginForm` 和 `MyCom`。其中，`Program` 是应用程序调度类；`LoginForm` 类主要完成操作页面的创建、对串口数据的监听、对监听到的数据的分析、跟控制中心的通信等功能；`MyCom` 是串口通信类，主要功能是对串口的基本操作。类图如图 5-18 所示：

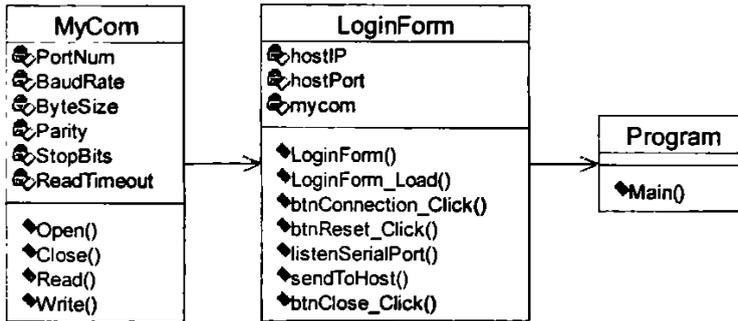


图 5-18 适配器主机端软件类图

Figure 5-18 Adapter Host software Class Diagram

其中，在 `MyCom` 类中：`Open` 方法负责打开串口，`Close` 方法负责关闭串口，`Read` 方法负责读取串口数据，`Write` 方法是写入串口数据；`LoginForm` 类中 `btnConnect_Click` 方法负责连接主机，`btnReset_Click` 方法重置主机 IP 和端口，`listenSerialPort` 方法监听串口数据，`sendToHost` 方法负责在判断用户状态为进入或离开时向感知服务器发送网络数据；在 `LoginForm` 类中主要通过调用 `MyCom` 类完成系统功能；`Program` 是 .net Windows 应用程序调度入口点，通过运行窗体启动程序运行。程序主要算法流程如图 5-19 所示：

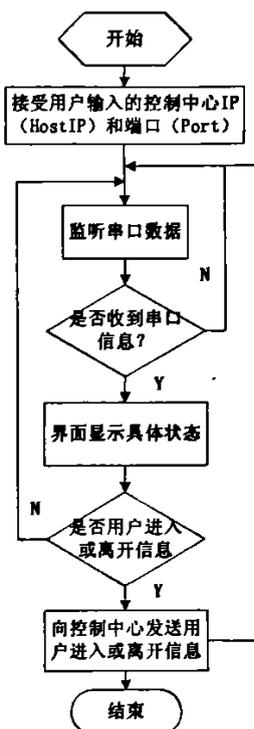


图 5-19 适配器主机端软件流程

Figure 5-19 Adapter Host software flow diagram

其中，对监听到的串口数据，如果是进入事件则将标志位设置为进入；如果是离开事件则将标志位设置为离开；然后将用户身份信息和状态标志通过 Socket 发送给 AmI 控制中心。向 AmI 控制中心发送数据过程如图 5-20 所示：

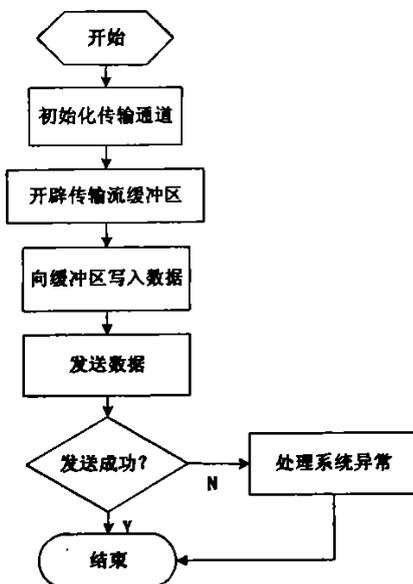


图 5-20 向控制中心发送数据流程

Figure 5-20 sending data to AmI control center flow diagram

5.7 系统集成

(1) 软硬件集成

经过前边的软硬件设计,还需要将蓝牙感知器和蓝牙感知适配器的软件下载到硬件上,Bluelab3.3提供了程序下载工具,我们利用CSR开发板和自己设计的下载电路板,通过SPI下载线将软件下载到相应硬件上进行集成。

(2) 主机端驱动设置

由于主机端是运行Windows2000/XP操作系统的PC机,蓝牙设备是Bluecore之上的设备,因此需要USB驱动,微软的Windows2000/XP操作系统提供了一个Communications Device Class (CDC)设备驱动(usbser.sys)作为标准,该驱动能够为遵守SPP规范的CSR Bluecore设备提供一个虚拟通信端口。

要想实现微软USB CDC类设备驱动和Bluecore2进行通信,还需要一个设备驱动来筛选大量端点之间传输的USB数据包。运行在Bluecore2之上的USB从设备硬件配置成自动添加和移除在Bulk In和Bulk Out终端之间收发的USB数据包的Host Controller Interface (HCI)包头。CSR提供了bc02filt.sys驱动实现该功能。我们在主机端安装了这两个驱动来支持感知适配器和主机之间的USB通信。

(3) 集成后系统数据流程

在蓝牙感知系统中,用户信息数据的流转过程主要是:蓝牙感知器和蓝牙感知适配器建立蓝牙通信链路以后,蓝牙感知器向蓝牙感知适配器发送用户身份信息;蓝牙感知适配器对接收到的信息进行处理,把蓝牙感知器的物理地址、时钟偏移代表的用户的身份信息存入数据库,同时把蓝牙感知器的身份信息和状态信息封装成CDC类设备信息发送给适配器主机;适配器主机通过USB接口接收到信息后,通过USB的总线驱动,和蓝牙感知适配器注册的USB接口信息,报数据送入CDC类驱动中,通过蓝牙感知适配器注册的报表信息,CDC把数据解析成串口数据,应用程序接受该信息,并把它转化成用户的身份和状态信息,进行管理。

蓝牙感知器和蓝牙感知适配器之间通过蓝牙RFCOMM通道进行数据传输,建立好RFCOMM通道后,在应用程序上,只需要定义函数调用消息发送接口函数MessageSendLater就可以在指定的时间间隔后将用户身份数据发送到感知器对等的应用程序层,适配器收到数据后发送响应Sensor_Send_ID_CFM给感知器,感知器改变其SensorState值进入节能模式。

在适配器接收到用户身份数据后,需要通知适配器主机用户的身份和状态信息。数据在这两个设备之间的交互是通过USB口进行的,因此,蓝牙适配器软件需要具有USB通信的功能。蓝牙串口规范(SPP)支持USB传输^[44],前边已

经在主机端安装了相应的驱动，在我们的应用程序中，在感知适配器端需要对 USB 参数进行配置，Vendor ID 和 Product ID 是区分 USB 设备的标志，在 CSR 的 Vendor ID 是 0x0A12，Product ID 是 0x1002，它们存储在 PSKEY_USB_VENDOR_ID 和 PSKEY_USB_PRODUCT_ID；在主机端应用程序中，我们无需对底层进行操作，只需要直接监听转换后的串口数据就可以了。

蓝牙感知系统集成运行的数据流图如图 5-21 所示：

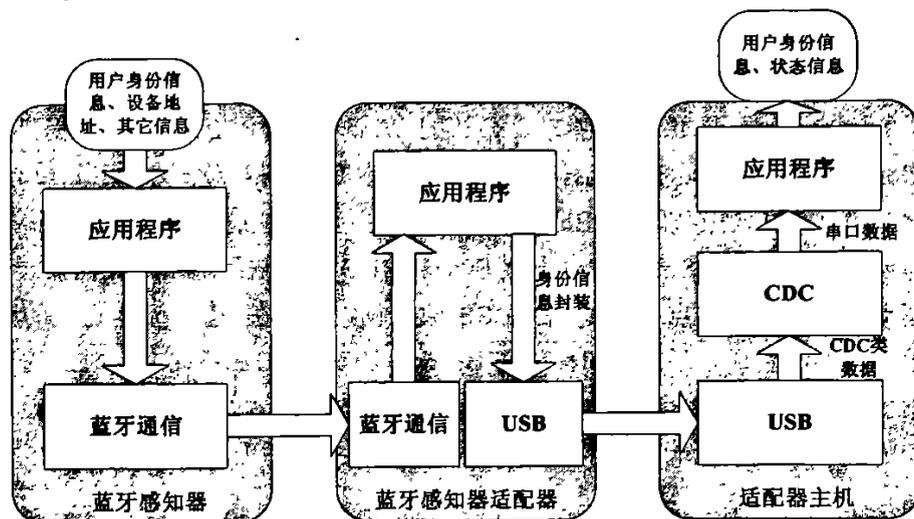


图 5-21 蓝牙感知系统数据流图

Figure 5-21 Bluetooth Sensor System data communication procedure

5.8 本章小结

本章介绍了蓝牙感知协议和感知系统的软件设计。本章首先介绍了蓝牙软件设计流程，为系统软件选择了全嵌入式体系结构和蓝牙串口应用模型（SPP）；设计了系统的感知协议，介绍了蓝牙感知协议的详细设计方案；在感知协议基础上，用面向对象方法设计了蓝牙感知器、蓝牙感知适配器和主机端软件；最后，介绍了蓝牙感知系统的系统集成方法和集成结果。

第 6 章 蓝牙感知系统测试与性能分析

6.1 系统实物

经过第四章的软硬件设计和实现, 蓝牙感知系统最终的产品有蓝牙感知器和蓝牙感知适配器两个, 产品实物如图 6-1、图 6-2 所示:

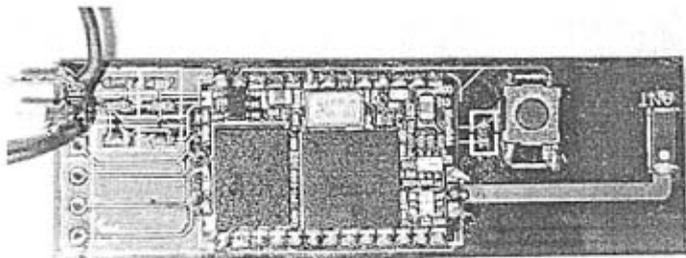


图 6-1 蓝牙感知器实物

Figure 6-1 Bluetooth Sensor



图 6-2 蓝牙感知适配器实物

Figure 6-2 Bluetooth Adapter

6.2 系统功能测试

系统软件测试的目的是检测蓝牙感知器软件、蓝牙感知适配器软件以及主机端软件是否可以协同工作, 是否可以完成通信链路建立、数据传输、链路断开等功能。

在系统软件功能测试中, 为了方便看到具体的运行过程, 我们采用开发板和蓝牙通用适配器联合进行测试, 软件上使用了 IVT 的蓝牙驱动程序和常用的串口调试软件。IVT 公司开发的 BlueSoleil 蓝牙软件工具包是基于蓝牙 1.2 标准的应用与测试工具包, 支持蓝牙耳机、文件传输、拨号上网等服务。

测试步骤如下:

- (1) 在主机 A 上连接开发板, 运行蓝牙感知器软件, 即蓝牙感知器处于上

电可查询状态;

(2) 在主机 B 上连接蓝牙通用适配器; 并运行驱动程序;

(3) 蓝牙适配器进行设备发现, 发现设备后要求输入 PIN 码; 页面如图 6-3、图 6-4 所示:

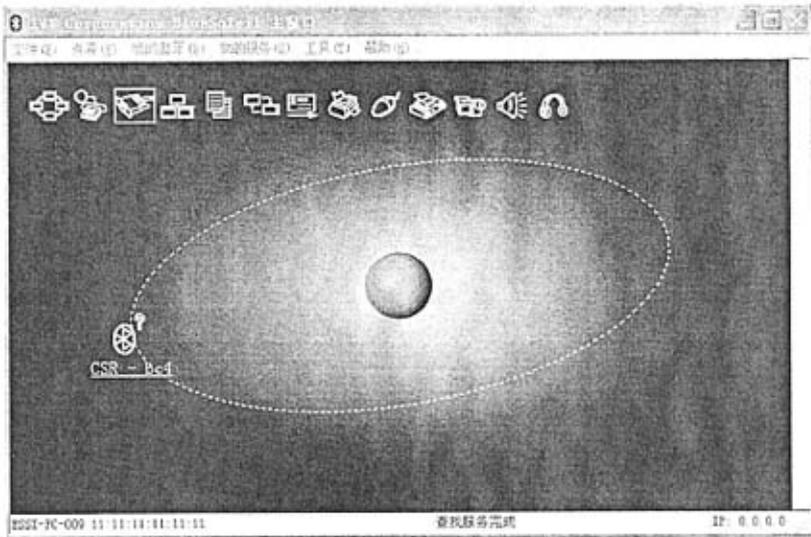


图 6-3 发现蓝牙串口设备

Figure 6-3 Discovery of the Serial Port device



图 6-4 蓝牙设备配对页面

Figure 6-4 Bluetooth device Pairing

(4) 输入 PIN 码完成配对; 从而完成连接建立; 如图 6-5 所示:

(5) 打开串口调试器, 选择 IVT 驱动提示的串口端口;

(6) 串口接收到蓝牙感知器发送的用户信息; 证明蓝牙感知软件通过串口通信正常。通信结果如图 6-6 所示:

通过上述过程测试, 结果表明我们的蓝牙感知系统软件能够正常发现设备、建立连接、传输用户信息, 系统能够正确感知用户的进入和离开并确认用户身份, 满足既定的系统功能要求。

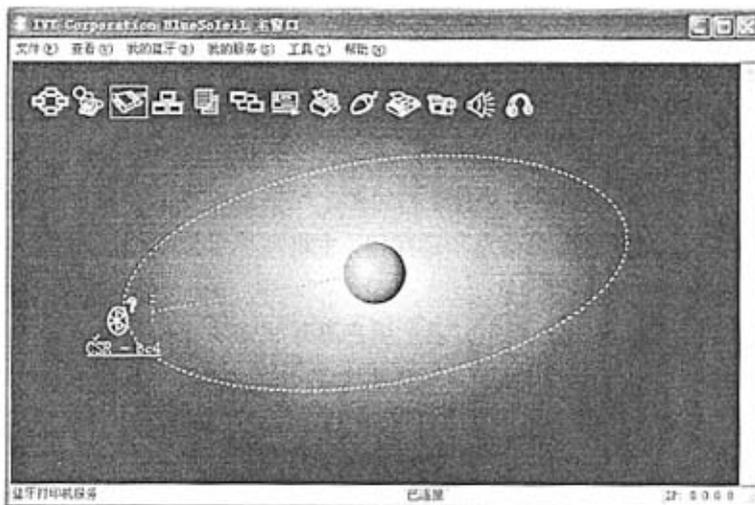


图 6-5 蓝牙设备建立连接过程

Figure 6-5 Bluetooth devices set up connection procedure



图 6-6 蓝牙适配器通过串口接收到蓝牙感知器发送的信息

Figure 6-6 Bluetooth Adapter received data from Bluetooth Sensor through Serial Port

6.3 系统性能测试

在该部分的测试中，我们将系统软件和硬件集成后进行环绕智能感知环境的实际测试。除了测试系统既定的功能目标之外，还要实测感知速度和电源使用情况等性能指标。

测试步骤如下所描述：

(1) 我们将蓝牙感知器和蓝牙感知适配器软硬件进行系统集成，即将各部分软件下载到相应的硬件中；

(2) 运行主机端程序，用户输入控制中心 IP 和端口，将蓝牙感知适配器通过 USB 口接入主机，启动蓝牙感知适配器；给蓝牙感知器通电，启动其运行；

(3) 蓝牙感知适配器和蓝牙感知器之间自动进行设备发现、配对、建立连接，蓝牙感知器发送用户信息给适配器，主机端显示接收到的用户状态并发送用户信息给控制中心；

(4) 对蓝牙感知器断电，表示用户离开感知区域；蓝牙感知适配器检测到链路断开事件后判定用户离开，在主机上显示用户离开状态信息，并通知控制中心；

(5) 通过蓝牙感知器多次上电、断电操作，测试系统稳定性能。

(6) 通过多个感知器同时进入感知区域进行感知，测量其感知响应来测试多人感知。

在以上方案的实施过程中，主机端窗口的显示界面如图 6-7 所示：

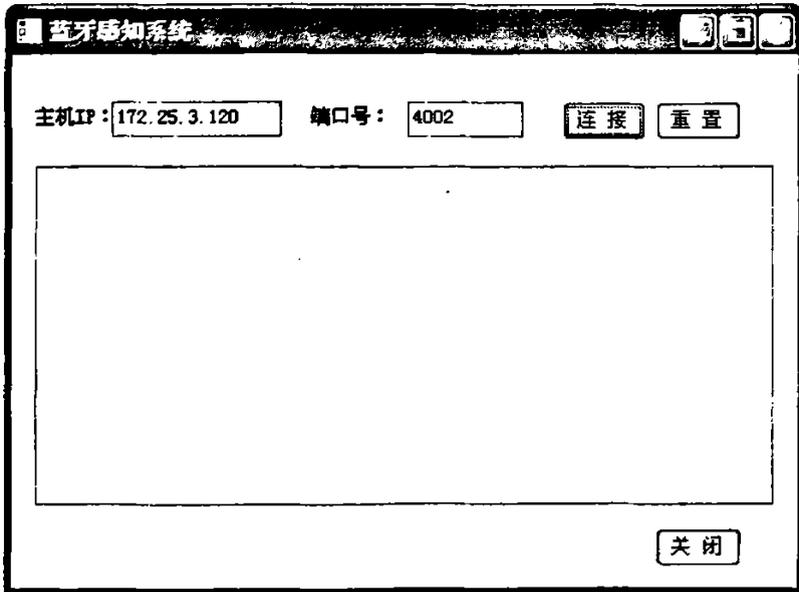


图 6-7 运行中的主机端软件界面

Figure 6-7 Adapter Host running interface

按照上述系统集成测试方案，我们对系统进行了多次测试。通过多次的数据结果，得到以下测试结果分析及结论：

(1) 感知正确性

利用以上系统集成测试方案进行实际测试，蓝牙感知系统在测试环境下能够正确感知用户的进出。

(2) 感知速度

感知速度包括发现设备速度、建立连接速度和数据传输速度。经过十五次实际测量得出图 6-8 所示的分析图：

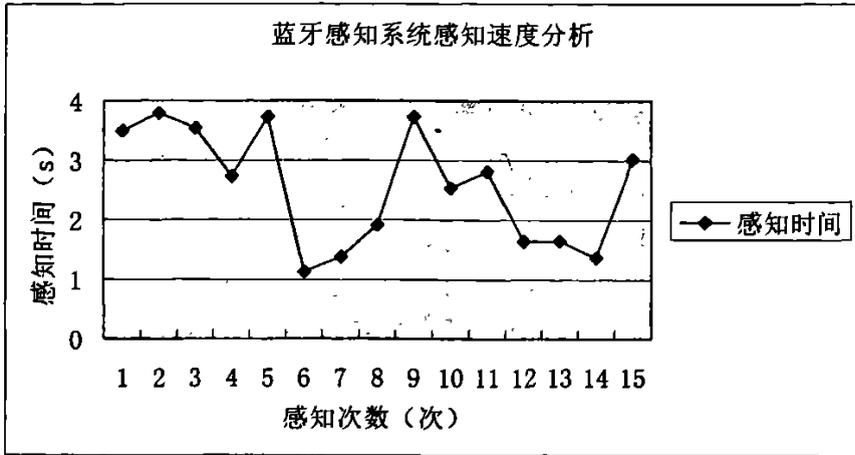


图 6-8 蓝牙感知系统感知速度分析

Figure 6-8 Analysis of Sensor speed

由以上测试数据，我们的系统准确感知用户的平均响应速度为 2.5633 秒，在用户的忍耐范围内，基本能够满足环绕智能场合的速度要求。

(3) 多用户感知

在多个用户几乎同时进入感知区域需要感知的时候，能否正确感知每个用户，并且系统延迟也在可接受范围内是蓝牙感知系统的一项指标。在本系统测试中我们通过三个蓝牙感知器同时感知，测试了三个用户同时进入时的感知效果，十次测试数据如表 6-1 所示，十次测试三个用户平均感知时间分析如图 6-9 所示。

表 6-1 多用户感知测试

Table 6-1 Test of multiple-user

测试次数 (次)	感知时间 (s)		
	设备一	设备二	设备三
1	4.39	0.65	1.37
2	3.98	6.06	4.59
3	2.81	0.49	5.96
4	4.16	5.84	5.74
5	4.30	0.83	3.51
6	5.81	6.39	1.64
7	5.77	5.85	1.32
8	6.35	1.10	4.08
9	6.45	0.56	4.72
10	1.65	0.39	6.39

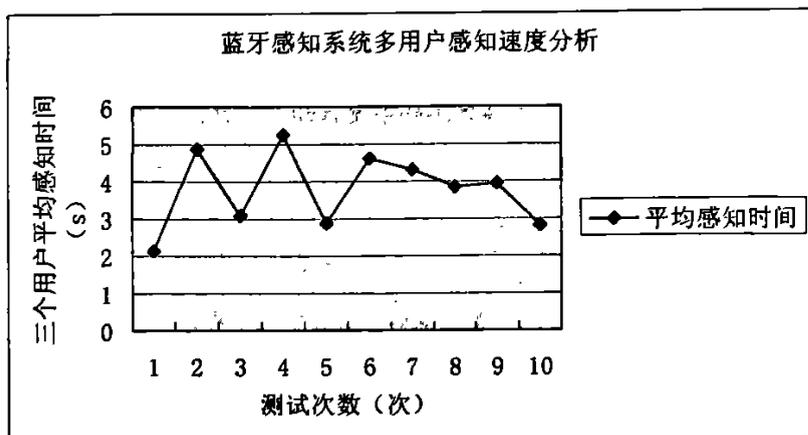


图 6-9 多用户感知分析

Figure 6-9 Analysis of multiple-user

通过上图可知,在三个用户同时感知情况下每个用户平均感知时间是 3.7746 秒,每次的平均感知时间在 2 秒到 5 秒之间,能够较稳定准确识别每个用户身份。

上述测试方案测试结果表明我们的蓝牙感知系统在环绕智能环境中能够正确感知用户的进出并识别用户身份,为环绕智能系统进一步给用户个性化服务提供依据。并且,蓝牙感知系统在感知正确率、感知速度、以及多用户感知上也基本能够满足系统延迟需求,在用户可以忍受的时间延迟范围内。但是,由于测试环境的限制,测试还不够全面,比如说多种干扰环境下的测试、散射网范围的测试等,这些有待进一步测评和分析。

6.4 本章小结

本章对蓝牙感知系统进行了测试。首先对蓝牙感知软件进行了功能测试,证明了蓝牙感知软件能够正常进行蓝牙通信,并将数据通过串口发送到主机端;在此基础上进一步进行了系统集成测试,将蓝牙感知器、蓝牙感知适配器和主机端协同测试,对实际的感知正确性、感知速度以及多用户感知进行了分析。

结 论

本论文以局域网环境的环绕智能系统为应用背景,以环绕智能环境中的用户身份感知为需求,以蓝牙短距离无线通信技术为手段,设计了蓝牙感知协议,提出了实现环绕智能系统中蓝牙身份感知系统的可行方案,并对方案进行了实现和总结。

本论文主要工作总结如下:

(1) 研究了环绕智能相关理论,分析了环绕智能系统的核心技术及其对身份感知的需求。比较了现行的无线通信技术标准,确定了蓝牙技术为感知手段。

(2) 研究了蓝牙无线通信技术,对蓝牙无线通信技术特点进行了深入讨论,分析了蓝牙协议和蓝牙应用模型,探讨了蓝牙应用软硬件开发方案,并将研究结论应用到了系统方案决策中。

(3) 基于蓝牙串口应用规范(SPP),设计了蓝牙感知协议,给出了蓝牙感知协议的详细设计方案。

(4) 设计了蓝牙感知系统。在本文设计的蓝牙感知协议基础上用面向对象的方法设计了系统软件。基于全嵌入式体系结构,在CSR公司的蓝牙开发平台上实现了蓝牙感知器和蓝牙感知适配器软件,设计和实现了适配器主机端应用软件。提出了单芯片结构的蓝牙感知系统硬件解决方案,分析和设计了蓝牙感知器和蓝牙感知适配器的硬件逻辑结构,讨论了其选型和实现,并进一步分析了蓝牙感知器的硬件性能。介绍了蓝牙感知系统集成方案和集成结果。

(5) 测试了系统的功能和性能,并对系统测试的结果进行了分析和总结。

通过本文的工作,为环绕智能中的身份感知需求提供了一种基于蓝牙无线通信技术的解决方案,解决了环绕智能中的身份感知问题,有助于环绕智能科学的进一步研究。另外,本文的研究成果也可以应用到现有的许多需要感知的局域环境,如图书馆、体育场馆、商务会议场等,大大简化现有公共场所的用户管理过程,提高用户身份识别效率。

本文在取得一定的研究成果的同时,还存在以下问题和研究工作有待进一步去完成:

(1) 对于蓝牙感知协议,本文是在应用程序中体现出来的,今后,随着蓝牙感知系统的不断推广,有必要研究在蓝牙底层协议基础上设计一层完整的协议,将蓝牙感知作为蓝牙一类应用定义相应的感知规范。

(2) 蓝牙通信软件有着灵活的设计空间,方案上稍微的变化就可能影响系统的性能,本文基于蓝牙串口规范(SPP)设计,在设计上对系统策略作出了一定的决策,但是还需要考虑更完善的方案,如感知情景和节能方案,今后,在这

些系统性能策略的补充上还有待进一步研究。

(3) 在蓝牙感知系统的设计上, 本文采用了面向对象的方法进行设计, 但是在实际应用上还不够全面, 有待研究更加规范的将面向对象技术引进到嵌入式设计中。

(4) 蓝牙感知系统采用了蓝牙内建的安全机制, 但是, 蓝牙安全机制受 PIN 码限制, 最长的 PIN 码规定为 16 位, 并且加密算法较为简单, 今后需要进一步研究更安全的管理机制, 如采用更安全的加密过程等。

(5) 在应用上本文针对环绕智能中小数据量的身份识别感知, 在这个基础可以进一步拓展应用。比如在某些场合除了需要身份信息以外, 还需要进一步提供位置信息, 这也是本文今后有待完成的一项工作。

参考文献

- 1 M. Weiser. The computer for the 21st century. Scientific American (International Edition). 1991, 265(3): 66-75
- 2 K. Ducatel, M. Bogdanowicz, F. Scapolo, J. Leijten, J-C. Burgelman. Scenarios for Ambient Intelligence in 2010. February 2001 IPTS-Selle, <http://www.cordis.lu>. 3,8
- 3 C. Braum, R. Glaser, Y. Gsottberger, M. Halik, S. Jung, H. Klauk, C. Lauterbach, G. Schmid, X. Shi, T.F. Sturm, G. Stromberg, U. Zschieschang. Ambient Intelligence-Key Technologies in the Information Age. IEEE International Electron Devices Meeting 2003, Washington, DC, USA, 2003. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Piscataway, NJ, USA: 3-10
- 4 Jennifer Bray, Charles F Sturman. Bluetooth Connect Without Cables. Second Edition. New Jersey: Prentice Hall PTR, 2002: 1-22
- 5 金纯, 许光辰, 孙睿. 蓝牙技术. 电子工业出版社, 2001: 5-6
- 6 Bluetooth SIG. Specification of the Bluetooth System, Version 2.0 + EDR, Volume 1. <http://www.bluetooth.org>. 2004: 127-131
- 7 钱志鸿, 杨帆, 周求湛. 蓝牙技术原理、开发与应用. 北京航空航天大学出版社, 2006: 27-48
- 8 Anonymous. Philips' HomeLab: Careful What You Wish For?. Wireless News. 2002 May: 191
- 9 M. Coen. The Future of Human-Computer Interaction or How I learned to Stop Worrying and Love My Intelligent Room. IEEE Intelligent System. 1999, 14(2): 8-10
- 10 Georgia Tech's Aware Home. <http://www.cc.gatech.edu/fce/ahri>
- 11 Johanson Brad, Fox Armande, Winograd Terry. The Interactive Workspaces Project: Experiences with Ubiquitous Computing Rooms. IEEE Pervasive Computing. 2002, 1(2): 67-74
- 12 M. Gandetto, L. Marchesotti, S. Sciuotto, D. Negroni, C.S. Regazzoni. From Multi-Sensor Surveillance Towards Smart Interactive Spaces. Proceedings 2003 International Conference on Multimedia and Expo, Baltimore, MD, USA, 2003. IEEE, Piscataway, NJ, USA: I-641-4 vol.1
- 13 Heo Nojeong, Varshney, Pramod K. Energy-Efficient Deployment of Intelligent Mobile Sensor Networks. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans. 2005, 35(1): 78-92
- 14 丁志彬. 基于蓝牙的环绕智能身份认证系统研究与实现. 西安交通大学工学硕士论文. 2005: 26-33

- 15 王宁, 黄樟钦等. 智能手机远程家居监控系统的设计与实现. 计算机应用, 2005, 25(9): 2212-2213, 2218
- 16 蒲进. 局域环绕智能中蓝牙感知网络的设计与实现. 西安交通大学工学硕士论文. 2005: 27-34
- 17 Yuanchun Shi, Weikai Xie, Guangyou Xu. Smart Remote Classroom: Creating a Revolutionary Real-time Interactive Distance Learning System. Proceedings of advances in Web-Based Learning. First International Conference, ICWL 2002, Hong Kong, China, 2002. Berlin, Germany, Springer-Verlag: 130-141
- 18 岳玮宁, 王悦, 汪国平等. 基于上下文感知的智能交互系统模型. 计算机辅助设计与图形学学报. 2005, 17(1): 74-79
- 19 薛永刚. 蓝牙技术在煤矿数据传输中的应用研究. 西安科技大学硕士论文. 2006: 26-28
- 20 Andrew Dursch, David C. Yen, Dong-Her Shih. Bluetooth Technology: An Exploratory Study of the Analysis and Implementation Frameworks. Computer Standards and Interfaces 2004, 26(4): 263-277
- 21 Soo-Hwan Choi, Byung-Kug Kim, Jinwoo Park, Chul-Hee Kang, Doo-Seop Eom. An Implementation of Wireless Sensor Network. IEEE Transactions on Consumer Electronics. 2004, 50(1): 236-244
- 22 Chandrashekhara Dethe, Digambar Wakde, Chandrakant Jaybhaye. Bluetooth based Sensor Networks Issues and Techniques. Proceedings of the First Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS'07). IEEE, 2007: 1-3
- 23 Vipin Mehta, Magda Elzarki. A Bluetooth Based Sensor Network for Civil Infrastructure Health Monitoring. Wireless Networks. 2004, 10(4): 401-412
- 24 Hemjit Sawant, Jindong Tan, Qingyan Yang, QiZhi Wang. Using Bluetooth and Sensor Networks for Intelligent Transportation Systems. Proceedings of IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Washington, D.C., USA, 2004. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Piscataway, United States: 767-771
- 25 毛飞, 蒋挺, 周正, 方勇. 基于蓝牙的无线传感器网络. 系统工程与电子技术. 2005, 27(6): 1142-1144
- 26 石刚, 张斌. 蓝牙无线传感器的实现. 仪器仪表学报. 2004, 25(4): 484-486
- 27 Bluetooth SIG. Core Specification of the Bluetooth System, Volume 2, Version 1.2. <http://www.bluetooth.com>, 2003: 63-77, 224-236
- 28 蔡型, 张思全. 短距离无线通信技术综述. 信息与安全. 2004, 3: 65-67
- 29 王英洲, 方旭明. 短距离无线通信主要技术与应用. 数据通信. 2004, 4: 53-56
- 30 于进才, 马岚, 任晓明. 蓝牙技术的现状及发展. 电子技术应用. 2004, 6: 1-3
- 31 Bluetooth SIG. Bluetooth Protocol Architecture. Version 1.0. 1999: 2-6

- 32 Bluetooth SIG. RFCOMM with TS 07.10 Serial Port Emulation, Bluetooth Specification Version 1.1. June,2003. 403-407
- 33 David Kammer, Gordon McNutt, Brian Senese, Jennifer Bray. 蓝牙应用开发指南. 李静, 奉继辉, 王婷, 杨莉. 科学出版社, 2003: 7-40
- 34 邹艳碧, 张为, 吴智量. 蓝牙技术硬件实现模式分析. 微计算机信息. 2003, 5: 80-81
- 35 朱伟. 基于蓝牙单芯片系统的人机接口设备研究与典型实现. 西安交通大学工学硕士论文. 2005: 31-32
- 36 郭瑞, 黄樟钦, 侯义斌. 基于蓝牙技术的环绕智能感知系统. 计算机工程. 已录用
- 37 Bluetooth SIG. Bluetooth Doc-2002 Bluetooth™ Security White Paper. <http://www.bluetooth.com>, 2002
- 38 Bluetooth SIG. 1999 Bluetooth Security Architecture, Version 1.0. <http://www.bluetooth.com>. 1999
- 39 荣新华, 杨寿保. 蓝牙安全体系结构研究及其在双向 RKE 系统中的应用. 小型微型计算机系统. 2003, 24(8): 1451-1452
- 40 白鹭. 蓝牙无线网络安全体系的研究与实现. 合肥工业大学硕士论文. 2003: 23-45
- 41 Cambridge Silicon Radio Ltd, BlueCore2-External Product Data Book, http://www.csr.com/CSR/Data_Sheets/BlueCore2-External_Data_Sheet/262_BlueCore2-External_Data_Book.pdf, 2004: 1,3
- 42 黄智伟. 蓝牙硬件电路. 北京航空航天大学出版社. 2005: 362
- 43 Bluetooth SIG. Serial Port Profile, Bluetooth Specification Version 1.1. June,2003. 175-192
- 44 CSR BlueLab. <http://www.csr.com>, 2003
- 45 聂晶, 周正. .NET 下的串口通信及其应用. 计算机时代. 2005, 7: 27-28
- 46 刘骏, 颜钢锋. 基于 Socket 的网络编程技术及其实现. 江南大学学报(自然科学版). 2004, 3(3): 249-250
- 47 马金虎. Visual C# 套接字编程. 电脑编程技巧与维护. 2004, 4: 51-57

攻读硕士学位期间发表的学术论文

- 1 张丽艳, 何坚, 黄樟钦, 侯义斌, 丁志彬. 基于蓝牙的环绕智能身份认证系统. 计算机应用研究. 已录用

致 谢

在论文即将完成之际，谨向我的导师黄樟钦教授和侯义斌教授致以最诚挚的敬意和深深的谢意！

本论文的研究工作是在黄老师的悉心指导下完成的，从论文选题到撰写完成的整个过程，都倾注着黄老师辛勤指导的心血和汗水。同时，在研究所三年的时间里，无论是从日常的工作、学习、生活还是论文的进展，黄老师都给予我最无私的关心与指导。三年中侯老师的耐心教导和谆谆教诲使我领悟到了许多做人的道理，鞭策我在人生的道路上不断进取，使我受益终生。我在学习和工作上取得的任何进步都凝聚着两位老师的心血和汗水，两位老师对我的爱护和教诲我都铭记于心，他们敏锐的学术洞察力、严谨的治学态度和勤奋的工作精神深深影响了我，这些将对我以后的工作和学习起到不可估量的指导作用。能够在研究所学习三年是我莫大的荣幸和骄傲！

感谢研究所何坚、代慧峰老师，感谢你们在课题进展、论文撰写上给予的指导和在生活上的关心。感谢王胜灵、陈锐、李辉博士，感谢你们在学习上给予我的帮助和启发。感谢同级同学郭瑞、吴迪以及盛贺斌、卢苓欣、李婧、刘宁、郭玮等师弟师妹，感谢你们对课题所付出的努力和对论文所提出的宝贵意见和建议。感谢同级一起学习的王治强、赵丽娜、郭瑞、于敬之、李倩、张强弓同学，感谢你们在三年的学习中给我的支持和鼓励。

同时，感谢关心支持我的亲人和朋友，是你们用最无私的爱为我完成学业解除了后顾之忧，而你们的期望更是我不断前进的最大动力，感谢你们对我生活和精神上无微不至的关心与支持。

最后，感谢百忙之中审阅论文的专家和参加答辩的老师，谢谢你们付出的辛勤劳动！

AmI环境下蓝牙感知系统及其协议设计与实现

作者：[张丽艳](#)
学位授予单位：[北京工业大学](#)

相似文献(0条)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1163316.aspx

下载时间：2010年1月20日