

分类号: \_\_\_\_\_

密级: \_\_\_\_\_

UDC: \_\_\_\_\_

编号: \_\_\_\_\_

## 工学硕士学位论文

# AmI 环境下基于蓝牙的感知网络 及其协议设计

硕士研究生 : 盛贺斌  
指导教师 : 黄凤岗 教授  
学位级别 : 工学硕士  
学科、专业 : 计算机应用技术  
所在单位 : 计算机科学与技术学院  
论文提交日期: 2008 年 1 月  
论文答辩日期: 2008 年 3 月  
学位授予单位: 哈尔滨工程大学

## 摘 要

环绕智能(Ambient Intelligence, AmI)是欧洲信息社会咨询组对未来信息社会提出的新构想,可对用户行为作出类似人类知觉反应的电子环境,其关键特性是无处不在、智能感知以及自然交互。而局域环绕智能系统是一个小范围具有环绕智能特性的原型系统,它具备无缝感知用户身份和位置的能力,在用户毫无察觉的情况下,完成琐碎的识别和认证过程,力求为智能环境中的用户提供自然、舒适、个性化的服务。

蓝牙技术是一种全球开放的无线通信技术标准,为用户提供低成本、低功耗的短距离无线连接。论文将蓝牙无线通信技术引入局域环绕智能系统,并将其作为实现用户无缝感知的手段。通过对蓝牙技术、蓝牙协议体系结构、蓝牙应用剖面的分析,结合局域环绕智能系统需要获取用户身份信息和区域位置信息的需求,论文从物理结构、连接策略、安全策略、节能策略四个方面设计了具有隐式交互能力的蓝牙感知网络。

同时,论文从基于 BlueCore 蓝牙单芯片的全嵌入式应用开发的特点出发,将系统分为蓝牙感知器、蓝牙接入点两个部分,结合蓝牙串口应用剖面(Bluetooth Serial Port Profile),并利用 CSR 公司提供的 BlueLab 软件开发工具对感知设备进行感知协议和软件设计。接着,对原型系统进行了测试,实验结果表明,系统运行稳定并达到了一些性能上的要求。最后,对所做的工作进行了总结,提出了需要进一步解决和研究的问题。

关键词: 环绕智能; 蓝牙; 感知网络; 蓝牙感知器; 蓝牙接入点; 感知协议

## Abstract

Ambient Intelligence (AmI) is an initiative for the future information sociality proposed by the Europe ISTAG, which can be response to user's behavior. The key characteristics of AmI are ubiquity, awareness, intelligence and natural interaction. Local Ambient Intelligence (Local-AmI) is an AmI prototype applied in a local area and have the capability of seamless sensing user's identity information as well as localization. Local-AmI can conduct fussy identification and authentication process in an automatic and user-transparent way, and let users actually enjoy the nature, comfortable and personalized services.

Bluetooth technology is a worldwide open standard of wireless communication. It supports low cost low power short distance wireless connection. Therefore, Bluetooth is introduced into Local-AmI system and regarded as a method to realize user's seamless sense. This dissertation analyzes Bluetooth technology, its protocol system architecture and profiles. Based on this analysis, Bluetooth Sentient Network is designed on the basis of the following four aspects - physical architecture, connection strategy, security strategy, low power strategy -- to achieve the goal that Local-AmI system can obtain user's identity and area position information seamlessly.

Meanwhile, Bluetooth Sentient Network, designed by Full On-chip Mode, is composed by BlueSensor and BlueAP. Additional, combined Bluetooth Serial Port Profile (SPP) and the software BlueLab, provided by CSR company, to complete sentient protocols design and software design. Then, the prototype system is evaluated. The experimental results show that the running stability of the system has reached some functional requirements. Finally, it summaries the done and undergoing research, states some facing problems and estimates the future work.

**Keywords:** Ambient Intelligence; Bluetooth; Sentient Network; BlueSensor; BlueAP; Sentient Protocols

# 哈尔滨工程大学 学位论文原创性声明

本人郑重声明：本论文的所有工作，是在导师的指导下，由作者本人独立完成的。有关观点、方法、数据和文献的引用已在文中指出，并与参考文献相对应。除文中已注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经公开发表的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者（签字）：盛贺斌

日期：2008年 3 月 7 日

# 第1章 绪论

## 1.1 课题背景

环绕智能(Ambient Intelligence)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<sup>[1]</sup>, 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。2001 年, 欧洲信息社会咨询组 ISTAG 发表了“2001 年环绕智能应用场景”的总结报告<sup>[2]</sup>, 使用四个应用场景片段向人们描述了 2010 年 AmI 构想中的信息蓝图。

场景之一的卡门正为一天的行程作计划。她想半小时后从家离开去公司上班。通过语音命令, 她向 AmI 控制中心询问是否有同路的可共享的交通工具; AmI 开始搜寻旅行数据库, 找到有个司机会在 40 分钟以后路过并且愿意与人共享。位于交通工具内部的生物传感器已经识别出司机是不吸烟者——符合卡门的需求之一。司机和卡门都佩戴了个人区域网络(PAN), 来保证相互之间的无缝通信, 如允许司机提示卡门他会晚点片刻到达。40 分钟以后, 卡门下楼, 此时司机也到了。当卡门上车时, 在车辆区域网络(VAN)上注册, 同意支付系统开始计费。当她下车时, 微型支付系统会自动将钱转移到司机的电子钱包中<sup>[2]</sup>。这个场景的实质就是卡门和司机佩戴的 PAN, 为他们提供了一种更加友好、更加高效的服务支持。

AmI 构想提出的这种无缝、隐式的感知过程, 使得身处智能环境中的人们能摆脱以往繁琐的识别和认证过程, 将自己的注意力转移到需要进行的工作中去, 从而实现真正意义上的“消失的计算”。

### 1.1.1 AmI 环境下用户的感知需求

AmI 系统的实现需要多种技术的支持, 文献<sup>[3]</sup>中提到为 AmI 系统构造复杂的模型是不现实的, 它需要系统具有类似于人的感觉能力, 并将这些感觉到的信息映射到一个智能和预先定义好的行为上。现有的开发技术还不能支持具有完整功能的 AmI 系统开发, 而通过实现具有感知用户身份和位置能力的智能系

统是实现一个小范围具有 AmI 特性原型系统的切入点。本文所设计的 AmI 就是这样一个原型系统的体现，它非常适合于家庭、会议厅、展览馆等环境中，有助于提高人们在这些环境中使用信息和服务的效率和舒适度。

论文涉及的 AmI 系统是由一组供用户佩戴的智能身份标识牌、遍布于物理环境中的监控设备、可下载个性化服务菜单的 PDA 以及背投电视、投影仪等设备构成的整体。系统通过实时探测用户进入特定物理空间的事件，并随即实施一种隐式的鉴别过程以判断进入智能环境用户的身份，并根据身份识别的结果为用户提供不同的服务。而用户在智能环境中的活动期间，AmI 系统需要跟踪捕获用户移动事件，并以区域为基础为环境用户提供基于位置的服务。最后系统还必须实时检测用户离开环境的事件，进而停止对该用户的个性化服务。例如，当用户来到一个可提供影视服务的区域，负责该区域的监控设备会及时发现有佩戴智能身份标牌的用户进入，无须用户任何干预监控设备会主动与智能身份标牌交互以获取驻留在标牌中的用户身份信息，随后监控设备将用户身份信息发往 AmI 主控中心，主控中心通过信源监控设备与具体服务区域的映射关系获知有用户进入影视服务区，于是 AmI 主控中心就可以根据用户身份打开背投电视并转到该用户喜爱收看的频道。当用户离开影视服务区后，AmI 主控中心会收到用户离开事件，背投电视随即关闭。

### 1.1.2 AmI 环境下蓝牙感知网络

由于 AmI 系统中所有服务的触发、更替、关闭都是以对用户的感知为基础的，因此系统迫切地需要借助一种有效的途径在用户无察觉的情况下实现对用户的感知。蓝牙感知网络是将蓝牙(Bluetooth)这种短距离无线通信用于感知交互领域的新型应用系统。它将蓝牙技术、网络通信和计算糅合在一起，其最终目的是为 AmI 中用户的感知提供全面支持。蓝牙无线技术自身具有的移动性、低功耗、体积小、价格低以及不受可视距离限制的特点<sup>[4]</sup>符合 AmI 无缝感知的要求。同时蓝牙短距离通信以及射频发射功率可控的特点完全可以胜任 AmI 区域定位的要求<sup>[5]</sup>。

这种融入无缝感知理念的蓝牙感知网络是一种拥有隐式交互能力的新型感知网络。与收集温度、湿度以及工控数据的传统蓝牙传感网络<sup>[6][7]</sup>最大的不同在于蓝牙感知网络是以用户为核心的智能型网络，用户的身份、用户的移动

和位置是感知网络关注的焦点。而与同样以感知用户为目的的系统(如剑桥大学 AT&T Lab 利用超声波对用户定位和环境建模的 Sentient Computing 系统<sup>[8]</sup>、微软利用 WLAN 进行室内定位的 RADAR 系统<sup>[9]</sup>)相比, AmI 系统的感知网络以蓝牙作为实现手段是一种新的尝试。

蓝牙感知网络作为 AmI 系统的一个有机整体, 在 AmI 系统中的所处的逻辑层次如图 1.1。

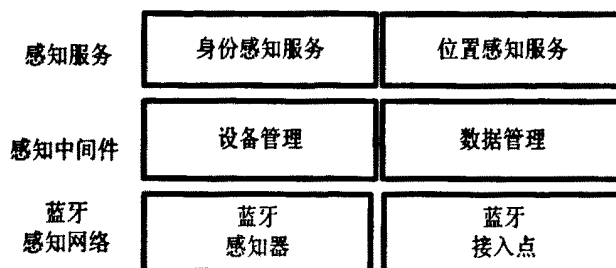


图 1.1 蓝牙感知网络在环绕智能中的逻辑层次

● 蓝牙感知网络

蓝牙感知网络是由方便用户佩带的智能身份标牌——蓝牙感知器、实时探测用户进入事件、收集用户信息并跟踪用户移动事件以及捕获用户离开事件的蓝牙接入点这两种蓝牙设备组成。其目的就是为 AmI 系统提供原始的用户感知信息, 是论文研究的重点。

● 感知中间件

AmI 系统中的感知中间件一方面负责控制和管理下层感知网络中的设备, 一方面实时收集蓝牙感知网络提供的用户感知的原始信息, 通过抽象、解释以及结构化的处理, 为其上层提供易理解的用户感知信息。

● 感知服务

感知服务负责对结构化的用户感知信息进行分类、过滤、提取以及鉴别和认证, 为 AmI 系统提供基于特定用户的信息服务。

## 1.2 国内外研究情况

自从 1998 年提出蓝牙技术以来, 蓝牙技术发展异常迅速。蓝牙作为一种新的短距离无线通信技术标准, 受到世界越来越多工业界厂家和研究机构的广泛关注。近年来, 世界上一些权威的标准化组织, 都在关注蓝牙技术标准的制

定和发展。例如, IEEE 的标准化机构, 成立了 802.15 工作组, 专门关注有关蓝牙技术标准的兼容和未来的发展等问题。IEEE802.15.1 TG1 讨论建立与蓝牙技术 1.0 版本相一致的标准; IEEE802.15.2 TG2 是探讨蓝牙如何与 IEEE820.11b 无线局域网技术共存的问题; 而 IEEE802.12.3 TG3 则是研究未来蓝牙技术向更高速率(如 10-20Mbits/s)发展的问题。

纵观国内外, 蓝牙技术应用非常普遍。它可以应用于无线设备、图像处理设备、安全产品、消费娱乐、汽车产品、家用电器、医疗健身、建筑、玩具、手机等各个领域; 同时, 可以看到很多蓝牙相关产品, 如蓝牙鼠标、蓝牙键盘、蓝牙耳机、蓝牙音响、各种蓝牙适配器等。在感知网络研究领域, 也取得了很多的成就。在国外, 哥本哈根大学的蓝牙和感知网络研究<sup>[10]</sup>课题, 指出基于蓝牙的 BTnodes 节点适用于小数据量的数据传输; 瑞士麦拉道伦大学研究的基于蓝牙的工业监控传感器<sup>[11]</sup>, 提出了三种不同的传感器网络结构, 并对其进行了仿真; 除此, 还有学者将蓝牙技术应用到感知网络的安全系统中<sup>[12]</sup>。在国内, 研究蓝牙感知网络, 有很多集中在对于蓝牙散射网的研究和仿真上<sup>[13-16]</sup>。北京工业大学嵌入式软件与系统研究所在“环绕智能与嵌入式”课题中, 对蓝牙感知网络进行了相关的研究, 并取得了一定的成果<sup>[17-18]</sup>。与一般的对温度、湿度进行感知的网络不同的是, 蓝牙感知网络需要对用户的身份和位置感知, 因此, 从某种意义上来说, 可以说是一种创新。

### 1.3 研究内容

论文研究的目标就是设计并实现符合 AmI 用户感知特点的蓝牙感知网络。为了实现这一目标, 论文需要解决三个关键问题: 一是如何将蓝牙技术和无缝感知理念有机地结合从而构成 AmI 中蓝牙感知网络既定功能目标; 二是如何根据这些功能目标来设计感知网络的系统结构。三是如何设计蓝牙感知协议以及感知实体。而解决这三个问题的基础就是对蓝牙技术本身有全面、深刻的理解。

蓝牙特殊利益组织(Special Interest Group, SIG)在 1999 年到 2007 年期间发布的 5 个版本的蓝牙规范(Specification of the Bluetooth System), 都遵循一个共有的蓝牙核心体系(Core System)<sup>[19][20][21][22][23]</sup>, 而所有蓝牙应用都以该核心体系作为基础从而搭建具体的应用。通过对蓝牙核心体系结构深入的分析有助于为 AmI 中以感知用户为目的新型蓝牙感知网络设计出更合理、更有效的功能目标。



因此论文以蓝牙核心体系结构分析为基础、以无缝用户感知为目标，设计并实现为 Aml 系统服务的蓝牙感知网络。

## 1.4 文章结构安排

论文共分 5 章，按如下结构组织：

第 1 章 绪论：概要介绍了本论文的课题背景，国内外的研究情况，论文研究的主要内容。

第 2 章 蓝牙核心体系结构：具体分析了蓝牙技术本身，内容包括蓝牙技术基本知识、蓝牙协议的体系结构、蓝牙应用剖面。本章是后续设计的理论基础。

第 3 章 蓝牙感知网络的系统结构设计：以蓝牙感知网络需要为蓝牙感知系统提供的服务为设计目标，充分利用蓝牙技术自身的特点，分别对蓝牙感知网络的网络物理结构、连接策略、安全策略和节能策略进行设计。

第 4 章 蓝牙感知网络原型系统的软件设计：针对选择的蓝牙协议栈和蓝牙开发平台，进行相关的软件设计，并结合蓝牙串口应用剖面，设计感知协议。本章和第 3 章构成了论文的重点研究部分。

第 5 章 蓝牙感知网络原型系统的测试：在上述几章的基础上，对感知网络进行运行和性能上的测试，并作了分析。

最后是结论部分，总结论文完成的工作，分析了当前系统实现的问题和研究的局限性，提出了进一步研究的方向。

## 第2章 蓝牙核心体系结构

蓝牙技术是一种无线数据与语音通信开放性全球规范，以低成本的近距离无线连接为基础，建立一个小范围无线通信连接的新技术，取代便携式设备的有线连接。随着蓝牙技术的不断发展，蓝牙正在成为构建局域网的一种方式。

### 2.1 蓝牙技术基本知识

#### 2.1.1 基本射频特性

蓝牙工作在全球范围适用的 2.4GHz 的 ISM 微波工作频率，许多国家对此频率范围做了限制，为了遵守这些限制，对这些国家定义了特殊的频率跳变法则。蓝牙采用跳频扩谱机制(Frequency-Hopping Spread-Spectrum, FHSS)，划分信道的带宽为 1MHz，信道由在 79 个射频信道上跳变的伪随机跳变序列来表示。典型的跳频速率为 1600 跳/秒，而在查询和寻呼时，跳频速率为 3200 跳/秒。根据蓝牙设备连接的不同距离，蓝牙标准定义了三种功率级别的无线发射器：Class 1 = 100mW (20dBm)；Class 2 = 2.5mW (4dBm)；Class 3 = 1mW (0dBm)。

#### 2.1.2 网络拓扑结构

每个蓝牙设备被分配一个唯一 48bit 的蓝牙设备地址(BD\_ADDR)<sup>[20]</sup>，它支持两种操作模式：主设备和从设备。其中主设备负责提供时钟同步信号和调频序列，从设备接受主设备的同步控制和调频控制。蓝牙支持点对点、点对多点的通信，最基本的组网形式是微微网(Piconets)，如图 2-2<sup>[4]</sup>，同一个微微网中的所有设备都跟随主设备的跳频序列。在图 2.1 当中，(a) 是点对点的连接；(b) 是点对多点的连接。

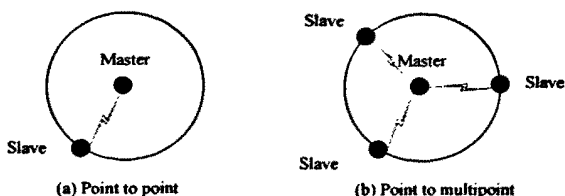


图2.1 点对点及点对多点的微微网

蓝牙规范规定，同一个微微网中只能包括有1个主设备，7个活动的从设备和255个休眠的从设备。然而，一个大型的覆盖区域将有很多的设备连入微微网，这样就不能仅存在一个微微网，如图2.2<sup>[4]</sup>。一个设备可以存在于多个微微网中，它可以同时作为一个微微网的主设备，同时也作为另一个微微网的从设备，从而形成了散射网(Scatternet)。

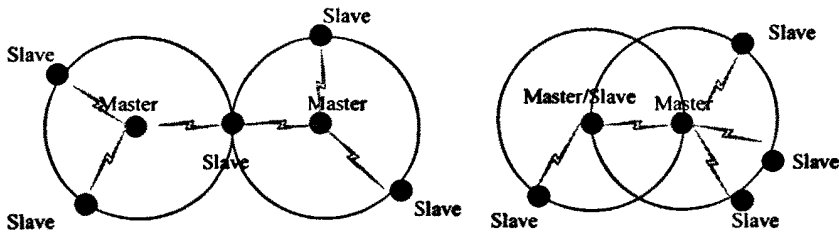


图2.2 散射网

### 2.1.3 蓝牙物理链路的建立

蓝牙主设备和从设备在物理层建立的数据通道就是物理链路。蓝牙规范可以支持两种类型的物理链路<sup>[24]</sup>：同步面向连接链路(Synchronous Connection-Oriented, SCO)和异步无连接链路(Asynchronous Connection-Less, ACL)。其中SCO链路主要用于语音等实时性强的数据传输，每条SCO链路的数据传输率为64Kb/s；而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，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，双向非对称的数据传输速率最大可为723.2kb/s。

蓝牙设备运行时有两个主状态包括：待机(Standby)和连接(Connection)。待机状态是蓝牙设备的默认状态，该状态下，设备除了本地蓝牙时钟以低功率模拟运行外，其他功能都处于空闲状态。连接状态表示该蓝牙设备已经开始参与了某个微微网的通信。而两个主状态间包含7个子状态：查询(Inquiry)、查询扫描(Inquiry Scan)、寻呼(Page)、寻呼扫描(Page Scan)、查询响应(Inquiry Response)、主设备响应(Master Response)以及从设备响应(Slave Response)，它们是蓝牙设备由待机状态到连接状态需要经历的一组状态，也体现了一条蓝牙链路建立的过程。蓝牙设备运行时的状态机如图2.3。

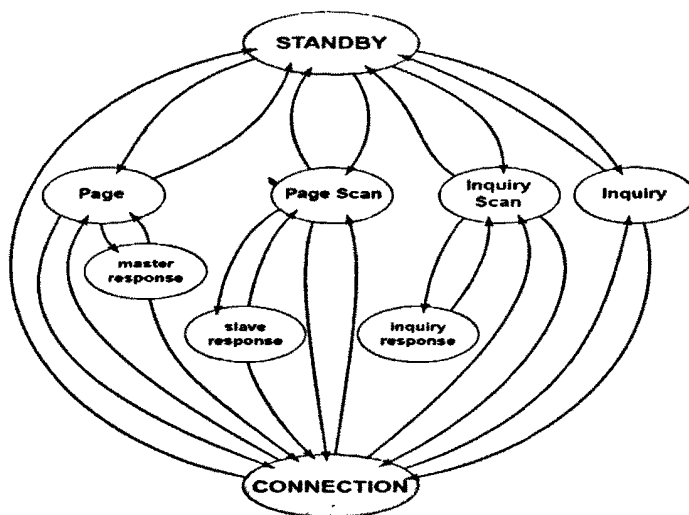


图 2.3 蓝牙设备的状态转换<sup>[20]</sup>

一个待机状态的设备可以经过查询状态、寻呼状态以及主设备响应状态，以主设备的身份进入连接状态；一个待机状态的设备也可以经过查询扫描和查询响应状态、寻呼扫描和从设备响应状态，以从设备的身份进入连接状态。另外，处于连接状态的设备，根据需求同样可以进入查询、查询扫描、寻呼或者寻呼扫描以建立另外的连接，但由于一个设备同一时刻只能处于一个特定状态，因此处于连接状态的设备希望与第三者建立新的物理链路时，原来的链路将被暂时挂起，当新链路建立完毕后，设备再分时处理两个链路上的通信。一个简单的主从设备间建立点对点蓝牙物理链路的时序图如2.4所示：

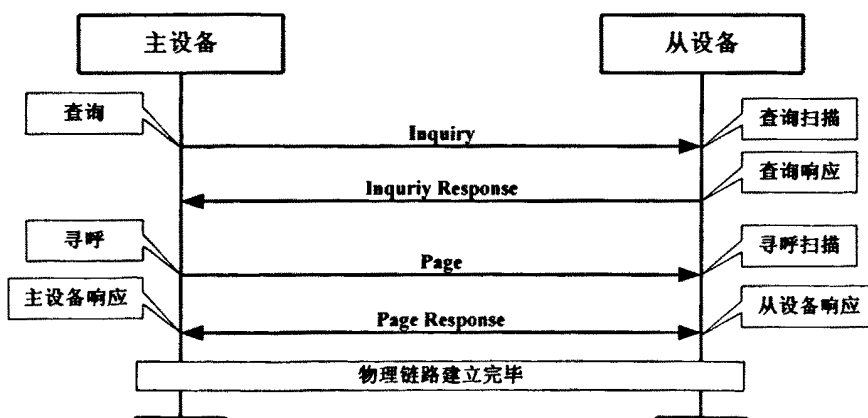


图 2.4 蓝牙物理链路的建立

## 2.2 蓝牙协议的体系结构

蓝牙 SIG 一开始就致力于将蓝牙作为一种短距离无线数据和语音通信的开放性全球规范。为保证规范的开放性和蓝牙应用的互连性，在 SIG 发布的蓝牙规范 1.0 中便引入了蓝牙协议栈模型<sup>[19]</sup>(随后的 1.1、1.2、2.0 以及 2.1 版本中都沿用了这个协议栈模型)。图 2.5 清楚地描述了蓝牙协议栈模型及其层次结构。

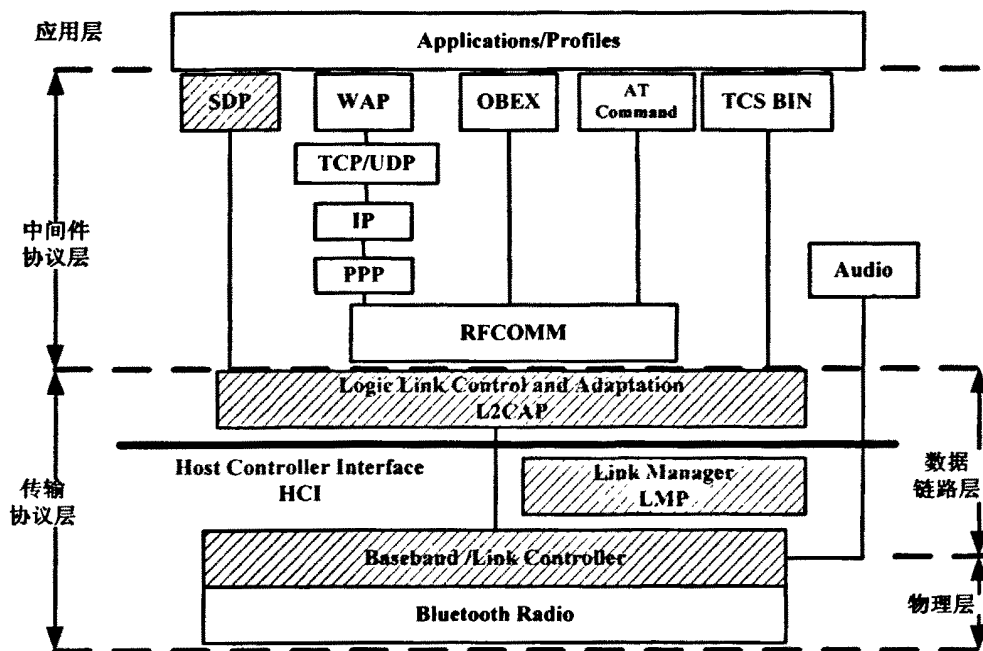


图 2.5 蓝牙协议栈层次模型

如图 2.5 所示，完整的协议栈层次模型中按照蓝牙 SIG 的需要分为四个协议层，分别是蓝牙核心协议、电缆替代协议、电话控制协议和适配协议<sup>[19]</sup>。同时协议栈还包括了蓝牙射频(Bluetooth Radio)和一个主机控制接口(Host Controller Interface,HCI)。

蓝牙协议栈的层次结构按其功能也可划分为传输协议层和中间协议层和高端应用层三个部分<sup>[25]</sup>，如图 2.5。

### 2.2.1 蓝牙核心协议

- 基带协议(Baseband)

基带协议确保各个蓝牙设备之间的物理射频连接，以形成微微网。蓝牙的

射频系统使用跳频和扩频技术,其任一分组在指定时隙通过指定频率进行发送,这层使用查询(Inquiry)和寻呼(Page)进程来同步设备间的传输跳频频率和时钟。基带相对应的基带数据分组提供了 2.1.3 中提到的 SCO 和 ACL 两种物理链路。

- 链路管理协议(LMP)

LMP 协议负责蓝牙各设备间链路的建立和设置。它通过连接的发起、交换、核实、进行身份验证和加密,通过协商确定基带数据分组大小;另外,它还控制无线部分的节能模式和工作周期、微微网内各设备的连接状态。

- 逻辑链路控制和适配协议(L2CAP)

L2CAP 属于低层的蓝牙传输协议,其侧重于语音与数据无线通信在物理链路的实现,在实际的应用开发过程中,这部分功能集成在蓝牙模块中,对于面向高层协议的应用开发人员来说,并不关心这些低层协议的细节。同时,基带层的数据分组长度较短,而高层协议为了提高频带的使用频率,通常使用较大的分组,二者很难匹配,因此,需要一个适配层来为高层协议与低层协议之间不同长度的 PDU(协议数据单元)的传输建立一座桥梁,并且为较高的协议层屏蔽低层传输协议的特性。这个适配层经过发展和丰富,就形成了现在蓝牙规范中的逻辑链路控制与适配协议层即 L2CAP 层。

- 服务发现协议(SDP)

SDP 是一种分布式的、点对点的查询机制,用于搜索设备覆盖范围内所支持的服务。

## 2.2.2 电缆替代协议

串行端口是如今计算和通信设备中最常见的通信接口之一。大多数通过串口传输数据的串行通信都需要一条电缆。而蓝牙无线通信的目标正是要代替电缆,因此在最初的一套电缆替代应用模式中,支持串行通信以及与之相关的应用便成为其最重要的特征。如:端到端的文件和对象传输、数据同步和拨号上网等都是基于串行通信最常见的应用。

为了方便在蓝牙无线链路上实现串行通信,协议栈定义了一个称为 RFCOMM 的串行抽象端口。RFCOMM 为各种应用提供了一个虚拟的串行端口,这样就可以方便地将有线串行通信中的应用搬到无线串行通信的领域中来。因此一个应用可以像使用一个标准的有线串口一样,利用 RFCOMM 实现诸如

同步、拨号上网和其他的各种功能，对于应用而言没有明显的变化。如此看来，RFCOMM 协议的目的就是要使传统的基于串口的应用可以转化为利用蓝牙传输的应用。

RFCOMM 是欧洲电信标准协会(European Telecommunication Standards Institute, ETSI) TS 07.10 标准定义的模型，这个标准定义了在一个单独的串行链路上进行多路复用串行通信的方式。蓝牙规范采用了 ETSI 07.10 标准的一个子集，同时还专门为蓝牙通信对 RFCOMM 作了一些修改。

由于串行通信在数字设备中非常流行，因此 RFCOMM 可以为应用提供的串口能力就成为协议栈中非常重要的一部分，尤其是对版本 1.0 规范要实现的那些传统应用而言更为重要。

## 2.3 蓝牙应用剖面

蓝牙协议是横向体系结构，定义了诸如基带协议、逻辑链路控制协议与适配协议等，而蓝牙应用剖面是纵向体系结构，它针对某种应用，规定了所需协议栈的结构组成。蓝牙 SIG 定义了多种应用剖面，其组成及相互关系如图 2.8 所示<sup>[4]</sup>。一个剖面若直接或间接采用另一个剖面的部分或全部功能则称该剖面依赖于另一个。图 2.6 描述的剖面关系是：所有的剖面都依赖于普通接入剖面；拨号网络、传真、耳机、局域网接入以及普通对象交换剖面不仅依赖普通接入剖面，而且依赖串行端口剖面；文件传输、对象推以及同步剖面则依赖于普通接入剖面、串行端口剖面和普通对象交换剖面。以上蓝牙剖面中的普通接入剖、服务发现应用剖面、串行端口剖面和普通对象交换剖面构成了应用模型及其对应应用剖面的基础，因而可成为通用剖面。其他剖面通称为应用剖面。

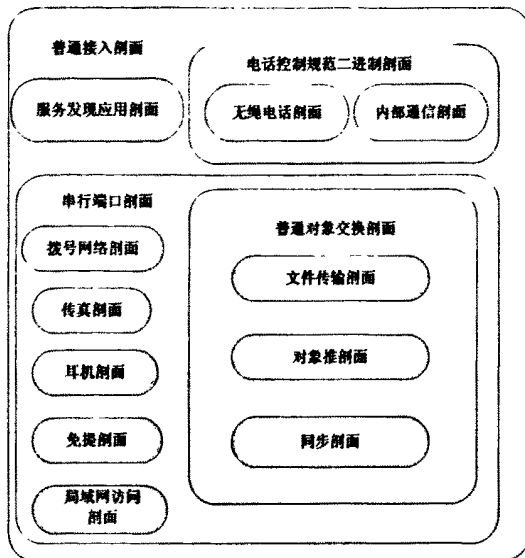


图 2.6 蓝牙应用剖面及其相互关系

## 2.4 本章小结

本章首先介绍了蓝牙技术的一些基本知识,内容包括蓝牙的基本射频特性、网络拓扑结构、物理链路的建立,接着分析了蓝牙协议的体系结构和蓝牙应用剖面,为后续章节作了理论上的准备。



## 第3章 蓝牙感知网络系统结构设计

蓝牙感知网络是由蓝牙感知器和蓝牙接入点构成的无线网络，在整个 Aml 系统中占有重要的地位。在设计之初，应改考虑网络的物理结构，在此基础上，设计相应的连接策略来保证用户的快速接入，对感知网络的安全策略进行了分析；同时，蓝牙感知器类似于移动终端设备，需要考虑其节能特性。本文对上述的几个方面进行了比较深入的分析。

### 3.1 蓝牙感知网络的物理结构设计

根据蓝牙自身特点和 Aml 系统对感知网络的需求，蓝牙感知网络物理结构设计主要包括两个方面：一个是体现感知网络中设备间的通信和组织方式的网络结构设计；另一个是蓝牙接入点的物理分布设计。

#### 3.1.1 网络拓扑结构设计

论文将蓝牙感知网络按照不同设备间的通信分为两种通信网络：区域网和基本网。区域网是指蓝牙感知器和蓝牙接入点形成的微微网，并且定义蓝牙接入点作为各自微微网的主设备从而成为微微网通信的控制者。基本网是由蓝牙接入点和感知服务器组成的通信网络，它们组网方式相对复杂，因为它们既可以利用蓝牙作为通信的手段，也可以利用现有结构化网络来通信。图 3.1 分别展示了两不同的网络结构设计。

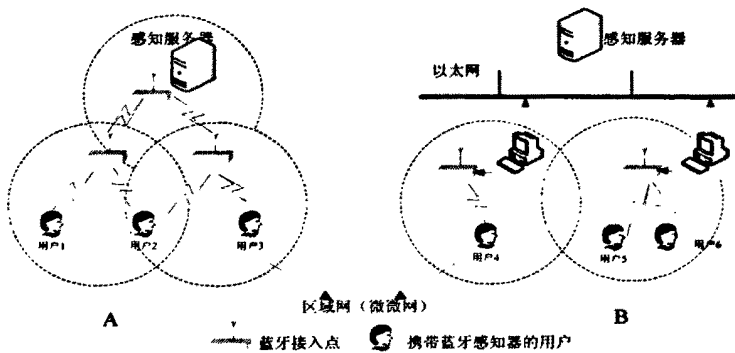


图 3.1 两种蓝牙网络结构

图 3.1(A)是利用蓝牙散射网的特点形成分级集中式的纯 Ad-Hoc 网络结构。它将蓝牙接入点分级,由下级接入点构成基本网络单元,而上级接入点再和下级接入点以微微网的方式组网从而分级级联形成多级散射网,最后由蓝牙主控接入点汇集,而该主控接入点直接驻留于感知服务器。这种网络结构的特点就是完全利用蓝牙无线技术进行通信,有着很好的移动性、灵活性,摆脱固定线路,减少了需要重新物理布线而带来的开销和不便。但多跳的蓝牙散射网的通信非常复杂,蓝牙 SIG 至今尚未对其组网和通信方式做出具体描述。另一方面,由于各级接入点同时参与两个微微网的通信,它的通信负载加重,并且随着它负责的微微网内的蓝牙感知器或者下级接入点数目增多,通信质量会急剧下降,同一区域交叠微微网的数目过多,其干扰不可避免。此外由于采用分级级联网络,一旦负责级联的接入点损坏,其下级网络将脱离整个散射网,而导致信息在重新组网前暂时中断。因此这种多跳蓝牙散射网比较适合临时性、突发性的场合,参与通信的设备数目也不宜过多。

图 3.1(B)是利用蓝牙微微网和局域网混合组成的网络结构。该结构借鉴了 802.11 的扩展服务集(Extended Service Set, ESS)<sup>[26]</sup>。类比于 802.11,由蓝牙感知网络中的区域网充当基本服务集(Basic Service Set, BSS);而基本网则由接入点和感知服务器通过局域网(Local Area Network, LAN)连接形成分布式的结构化网络(Distribute System, DS);DS 和若干 BSS 组成 ESS。这种网络结构的特点是:可最大限度地利用环境现有网络;结构易于扩展,基本网可根据需要接纳多个由接入点控制并独立通信的区域网;接入点之间以 LAN 方式连接,避免引入散射网导致的通信复杂度增加。但这种网络结构会过分依赖于现有局域网,如果在没有局域网的物理环境需要使用蓝牙感知网,则必须首先架设局域网。

两种网络结构比较,混合网的结构清晰,通信方式简单因而更适合目前 Aml 系统的需要同时也比较利于原型系统的搭建,因此感知网络将采用混合网络结构。

### 3.1.2 蓝牙接入点物理分布

接入点的布置是蓝牙感知网络物理结构设计另一个重要的方面。蓝牙感知网络需要保证蓝牙感知器和蓝牙接入点之间的通信随时保持通畅,因此必须采

用一种合理的布置方式使得在感知网络控制的智能环境内都被蓝牙有效通信范围所覆盖，同时该分布方式能满足感知网络区域定位的需求。

由于 AmI 系统目前仅需要区域定位信息，因此蓝牙感知网络可以采用蓝牙定位方法中比较简单实用的蜂窝标示法(Cell Identity, CI)<sup>[5]</sup>来实现区域定位。因此蓝牙感知网络以蓝牙接入点有效射频范围作为基本单位进行划分，将接入点比作蜂窝移动通信网络中的基站，借鉴 GSM 网络中的基站分布结构，采用一种理想的正六边形蜂窝结构，并将蓝牙接入点置于每个正六边形的中心。通过这种理想蜂窝结构，在蓝牙接入点数目固定的感知网络中，能使其有效通信范围面积最大，同时各个微微网的交叠面积最小，降低了微微网之间的相互干扰，更重要的是以接入点作为标志对网络进行有效的划分。

然而 AmI 系统覆盖的物理环境中完全以这种理想的正六边形的蜂窝结构来部署接入点是不现实的，因为实际的 AmI 系统中服务驻留的位置以及 AmI 控制的物理环境的形状都会限制接入点的部署，因此在蓝牙感知网络搭建时需要根据环境和服务对分布进行部分调整，调整的基本原则如下：

- (1)接入点的分布要覆盖所有用户活动区域，非活动区域可不考虑覆盖；
- (2)满足服务区域位置需求的前提下尽可能使蓝牙接入点以蜂窝结构分布；
- (3)出于系统安全和减少射频干扰的考虑，接入点覆盖范围尽量不要超出 AmI 控制的物理空间。

### 3.3 蓝牙感知网络的连接策略

蓝牙感知网络为收集用户信息，首先必须让蓝牙感知器和接入点为进行数据交换而建立通道---连接，它属于高层应用连接，是一个逻辑上的横向过程。蓝牙设备之间的通信实际是依靠物理层的信道和链路实现的，而对应数据的接收却是从 L2CAP 层开始的，图 3.2 表示了连接上的逻辑层次概念。感知器和接入点的连接是在 L2CAP 通道上建立的，而 L2CAP 通道却是依赖 ACL 链路建立的。

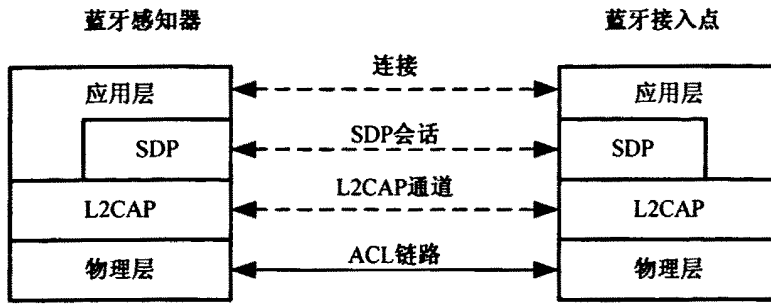


图 3.2 连接的逻辑层次

蓝牙感知网络的主要目的就是获取用户信息，而这些信息的交互是在分布于智能环境中用户携带的蓝牙感知器和接入点之间的连接上进行的。显然，连接的管理是蓝牙感知网络中最重要的一环，它直接决定着感知的及时性以及交互的透明性和连续性。蓝牙感知网络的连接管理主要是对用户进入环境时的接入管理以及用户离开环境的脱离管理。为了更好对感知网络的各种连接情况进行管理，制定了如下全局策略：

(1)连接的发起者

蓝牙接入点作为区域网(微微网)的主设备，而蓝牙感知器则是从设备。当一个接入点覆盖范围内进入一个新的蓝牙感知器的时候，连接的发起者可以是接入点，也可以是感知器。如果由感知器发起连接，根据蓝牙规范规定发起连接的将作为主设备，那么连接建立后，接入点必须要求和感知器进行主从交换<sup>[20]</sup>(Master/Slave Role Switch)，从而获取控制权。然而这样的转变涉及到单跳散射网转换到微微网的过程，这个过程会带来设备间的时钟重同步，产生不必要的信令开销和同步开销，因此感知网络将始终以接入点作为连接的发起者，以避免主从交换。

(2)蓝牙感知器连接的唯一性

蓝牙感知器在智能环境中同一时刻只能维持和一个接入点的连接，以避免出现散射网，同时考虑到一个接入点最多只能受理 7 个蓝牙感知器的活动连接，保持感知器连接的唯一性能有效节省网络容量。

3.3.1 接入策略

接入是指用户携带蓝牙感知器刚进入环绕智能环境时，接入点监听到有新

的感知器进入智能环境，发起并建立连接，随后获取蓝牙感知器中驻留的身份识别码这一对用户透明的过程，是 Aml 系统实现无缝感知的第一步。

Aml 系统需要对用户进入环境这个事件迅速反应，因此它需要依赖蓝牙感知网络及时地为其提供用户进入环境的事件以及用户身份信息。接入的迅速与否取决于蓝牙接入点发现感知器并建立连接的快慢，但接入速度的瓶颈在于设备发现的速度，这是由蓝牙技术本身造成的。

蓝牙基带规范规定蓝牙点到点连接建立过程由两步组成：(1)通过查询(Inquiry)过程收集相邻设备信息；(2)通过寻呼(Page)过程建立设备间的连接。查询和寻呼过程都是一种非对称的机制，建立连接的两个设备分别处于不同状态。在查询阶段，设备处于查询或查询扫描状态。处于查询状态的设备连续发送 ID 包作为查询访问码，由于该 ID 包非常短，所以便于很快被接收。查询设备每  $312.5\mu\text{s}$  选择一个新的频率来发送查询。这样，在一个偶数时隙，查询设备将以两个不同的频率发送两个 ID 包，该频率由查询设备的时钟决定。在一个奇数时隙，查询设备将调整接收器为前面两个发送频率，并等待响应。因此，在  $1250\mu\text{s}$  内发送了两个查询信息，同时包含两个等待响应。

图 3.3 总结了蓝牙设备建立点到点连接的过程，水平箭头表明每个设备在某时刻发生的事件，并且每个事件都按先后顺序用数字进行了标注。从以上分析可知，对于两个正好处在查询和查询扫描状态的蓝牙设备建立连接时，(1)只有当两个设备频率同步时，才能收到对方的信息，所以存在着频率同步延迟(FSD)；(2)处于扫描状态的设备在收到 ID 包时会产生一个随机向后时间间隔的延迟(RBD)；(3)当扫描设备唤醒后，当它再次收到查询者的查询包时，它才会以 FHS 包响应，这里就又存在一个频率同步延迟。因此，整个查询过程的时间延迟 R 可以表示为： $R = 2\text{FSD} + \text{RBD}$ 。其中 FSD 和 RBD 分别在  $[0, t_{\text{coverage}}]$  和  $[0, r_{\text{max}}]$  间均匀分布， $t_{\text{coverage}}$  最大为 32 个时隙， $r_{\text{max}}$  最大为 1023 个时隙，所以延迟 R 的最大值为  $2t_{\text{coverage}} + r_{\text{max}} = 2 \times 20\text{ms} + 639.375\text{ms} = 679.375\text{ms}$ 。对于寻呼阶段，由于已经获得了需要连接的设备的时钟和 ID 信息，所以连接建立延迟相对固定而且非常小。

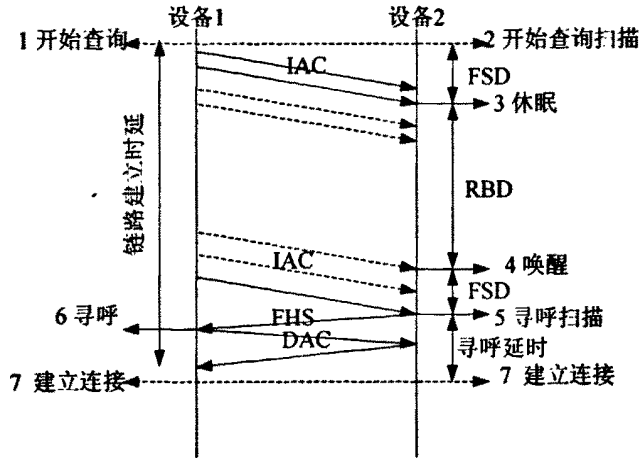


图 3.3 蓝牙链路建立时延

上述分析可以看出，蓝牙点对点建立的时延还是比较短的，但是在实际的情况下，由于存在障碍物或者信号之间的干扰，设备发现的时间将更长，最坏情况下需要 10.24s。通过分析可以看出查询过程耗费的的时间的长度主要取决于主从设备间的时钟偏移和从设备退避时的随机等待时间，尽管蓝牙技术采用了高速跳频查询低速跳频监听的方式加速设备发现的过程，查询过程的延迟仍然是个随机值。

试想如果用户携带蓝牙感知器进入环境，接入点需要长达 10s 以上的时间才能将其发现并接入，这是 AmI 系统不能容忍的。对于接入过程来说设备发现是不能避免的，因此感知网络必须采用一些有效措施来加快设备发现的速度。论文采用了基于选择发现的单响应策略，即利用设备类别<sup>[20]</sup>(Class Of Device, CoD)对蓝牙设备进行过滤。AmI 中用于用户感知的蓝牙感知设备是一中新的蓝牙设备，可根据系统的需要设置自己的 CoD 从而区别于诸如蓝牙鼠标、蓝牙手机等通用类型的设备。蓝牙接入点利用特殊的 CoD 作为查询的参数，能够有效过滤干扰设备，仅仅接收蓝牙感知器的查询响应，从而减少应答其他设备而产生的开销。

利用 CSR 的 BlueLab 工具对单响应策略进行实验，测 10 次，两个蓝牙设备间的距离为 5m，预设查询时间均为 10s，只允许接收一个查询响应，当收到一个查询结果后立即取消查询，其余参数均使用蓝牙默认设置，测试数据如图 3.4：测得平均查询耗时为 1895ms，最大耗时为 3218ms。因此，采用单响应策略能够避免传统完全响应方式不必要的查询等待，有效地缩短了设备发现的时

间。

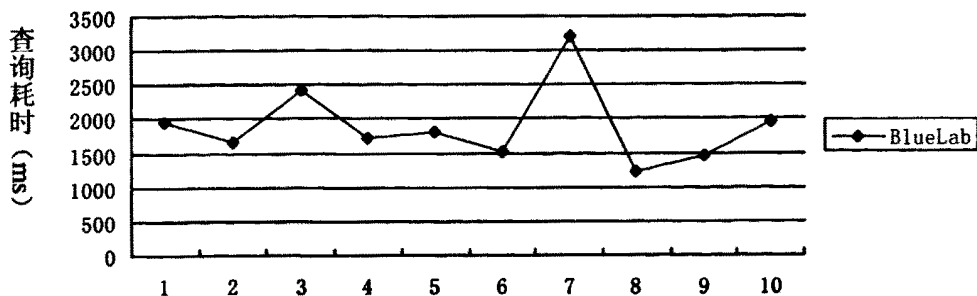


图 3.4 单响应策略的测试数据

接入过程包括：设备发现、安全控制、服务发现、连接建立四个必要过程。其中关于接入的安全控制属于感知网络的安全控制问题将在后面的章节中详述。

#### ● 设备发现

蓝牙接入点不停地查询在它的覆盖范围内是否有新的蓝牙感知器存在。而用户佩带的蓝牙感知器在上电后处于查询扫描状态。一旦接入点收到一个感知器的查询响应，立即取消该次查询转入下一个过程。

#### ● 服务发现

通过设备发现获得感知器蓝牙设备地址和时钟偏移等信息后，为建立连接，接入点需要知道感知器为连接提供的服务信息，诸如连接的端口号。服务发现帮助接入点了解感知器的服务信息，当获取并记录足够的服务信息后，接入点转入下一个过程。与服务发现不同，服务发现需要建立实际的 ACL 链路，并依靠 L2CAP 通道进行 SDP 会话。

#### ● 连接建立

经过服务发现，接入点发起连接，连接承载于一条专用的 L2CAP 通道，该 L2CAP 通道复用于 ACL 链路上，从而完成连接建立的过程。

接入点将获得身份识别码通过局域网发送到感知服务器，到此，接入过程完毕，图 3.5 描述了接入过程。

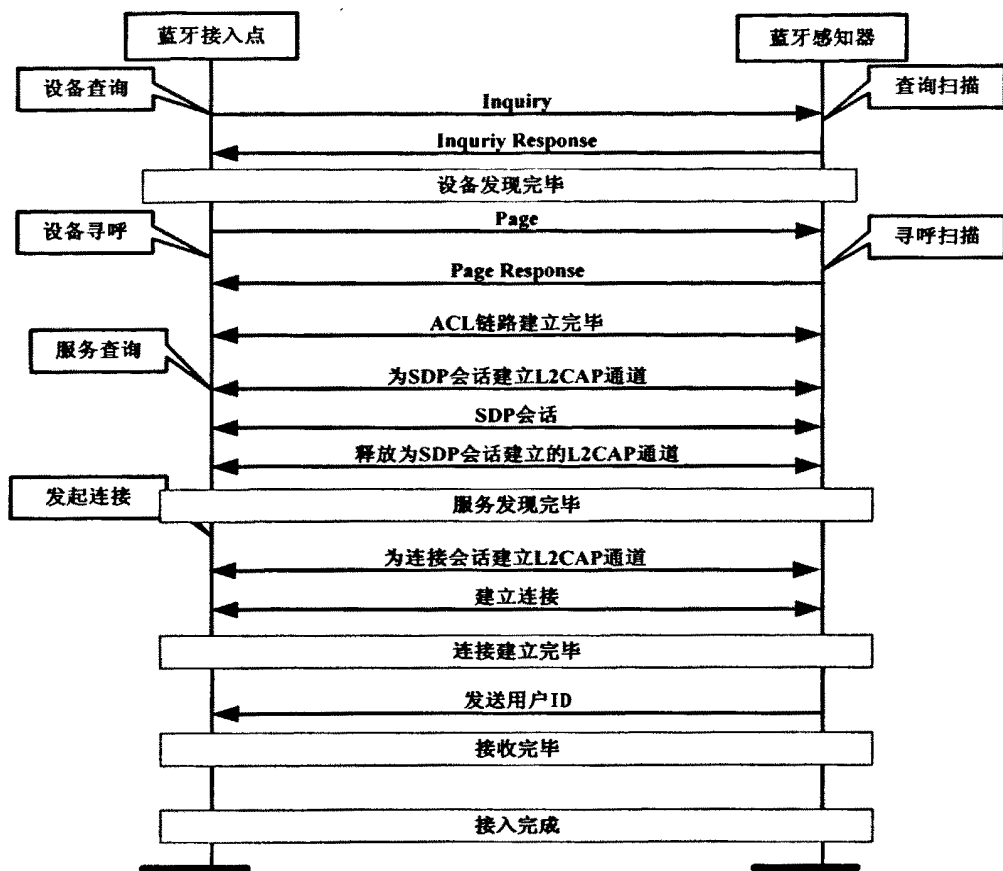


图 3.5 接入过程

### 3.3.2 脱离策略

脱离就是指 AmI 用户离开系统的事件，像用户进入 AmI 环境能被无察觉地接入系统一样，用户能自由离开智能环境而不用顾及到 AmI 正在为其提供的个性服务，因为 AmI 能依靠蓝牙感知系统及时地察觉用户离开事件从而停止对该用户继续提供相应的服务。

为了能够快速感知用户的离开，必须在蓝牙感知器和接入点之间保持链路。根据蓝牙规范，蓝牙主设备通过时间片轮转调度算法对从设备进行的管理，当主设备轮询(poll)从设备时，如果从设备在规定的时间内不进行响应，主设备便认为链路断开。如果从设备在一定时间内收不到主设备的 poll 包，即认为链路断开。当携带蓝牙感知器的用户离开感知区域时，必然使主从设备无法进行



数据交换，蓝牙链路断开，从而产生链路断开事件，使蓝牙接入点感知到用户的离开。

如果一个用户在短时间内进出感知区域非常频繁，会造成环绕智能系统服务的频繁切换，使得系统中的电气设备频繁切换状态，比如电视机、空调等设备的频繁开关，这会使设备的使用寿命大大缩短；同时会造成感知系统的服务不公平，体现在感知系统在处理此用户的过程中频繁切换状态，从而使其他的用户得不到快速服务；因此必须防止系统的抖动。本策略规定，在链路断开 5s 后，蓝牙感知器再进入查询扫描状态，这 5s 时间，一是留给用户做出选择的时间，是再回到服务区域，还是离开区域；二是给系统充足的时间处理用户离开事件。

### 3.4 蓝牙感知网络的安全策略

蓝牙感知网络的安全控制涉及基于蓝牙的区域网的安全策略和基于 TCP/IP 的基本网的安全策略，而区域网的安全策略是论文本节研究的重点。

#### 3.4.1 区域网的安全策略

- 采用安全模式 3

区域网的安全是整个感知网络的安全基石，用户 ID 首先是通过蓝牙无线链路发送到接入点的，为了最大程度地保证在建立连接以及用户 ID 传输过程中的安全，参与区域网通信的感知器、接入点均使用访问控制最为严格的安全模式 3，即链路级安全模式。接入点向感知器发起连接时，必须进行双向鉴权，如果是首次试图连接，那么通信双方必须首先进行配对，然后双向鉴权。

- 设置鉴权计时器

为防止通过全频段干扰手段对采用自供电方式的蓝牙感知器进行以耗电能为目的的 DoS 攻击，感知器设置一个的鉴权计时器，如果申请方(Claimant)无法在计时器超时前通过鉴权，超时后，感知器终止该此鉴权过程，并利用蓝牙基带层提供的延迟重复鉴权机制保护自己不会在短时间内受到连续鉴权攻击。蓝牙接入点可同时受理的活动连接只有 7 条，而在并发时间内对不同申明方执行鉴权过程的数目也是有限的<sup>[20]</sup>，为防止 ISM 频段内的以消耗受理鉴权数目为目的 DoS 攻击同样需要设置鉴权计时器，以保证接入点能及时鉴权合法的

蓝牙感知器并将其接入感知网络。

- 采用点对点链路加密

保护通信数据的隐私和完整性，蓝牙网络将在安全模式 3 的基础上使用点对点的链路加密。在双向鉴权成功后，利用共享链路密钥为该会话产生一个加密密钥，通信双方在数据交换中使用该加密密钥对分组有效载荷加密。

- 使用长 PIN 码和联合密钥

由于蓝牙感知网络需要蓝牙网通信中的配对过程对用户是透明的，因此蓝牙感知器、接入点将使用统一 PIN 码，并将 PIN 码内置于各种设备中。PIN 码是配对的关键，如果 PIN 码泄漏整个蓝牙网的安全便会出现严重安全漏洞，因此 PIN 码的存放必须安全可靠，不能在通信过程中交换。蓝牙规范中 PIN 码的长度最大可为 128 位，短 PIN 码会降低破解难度同时增加被攻击的危险程度<sup>[27]</sup>。配对过程中，配对双方可以协商使用某一个方的单元密钥作为链路密钥，也可能是使用由双方的单元密钥生成的联合密钥作为链路密钥<sup>[20]</sup>。由于链路密钥是鉴权和加密的基础密钥，因此使用复杂度和安全性更好的联合密钥作为链路密钥有助于提高整个系统的安全性能<sup>[27]</sup>。而可以使用 PIN 码的最大长度和是否支持联合密钥与具体使用的蓝牙协议栈的实现有关，因此根据实际情况使用最长的 PIN 码以及联合密钥。

- 限制射频覆盖范围

蓝牙是短距离无线通信，只有进入射频范围才能进行通信。使用适当的物理分布将蓝牙网覆盖范围限制在 AmI 许可环境内，有效的限制攻击者的攻击范围。

- 有限的设备发现

蓝牙网安全控制的目的之一就是为最大程度地降低网络设备受到攻击的可能性。而窃听、攻击都是以具体设备作为目标而发起的，如果攻击者无法知道设备的存在，攻击也是无法进行的。蓝牙感知器在加电后会处于查询扫描状态，一旦感知器被接入点成功接入网络后，立即关闭查询扫描，成为隐身状态，直到用户携带蓝牙感知器离开 AmI 环境一段时间后，才会继续开启查询扫描。

- 受保护的服务发现

服务发现和设备获取服务信息的途径，不经过服务发现就很难获取蓝牙设

备提供服务的信息，也就无法使用服务，而不提供服务的蓝牙设备就更不可能受到 DoS 攻击。接入点只是按连接管理策略向感知器发起服务连接，它们始终是连接的主动方，因此自身不需要提供任何服务。蓝牙感知器是感知网络中唯一提供服务的设备，但是执行服务发现需要建立 SDP 会话，不可避免地需要建立链路，由于使用安全模式 3，这就迫使远程设备必须首先通过感知器的鉴权，保护了感知器的服务信息不会被非法设备获取。

#### ● 链路密钥管理

经过配对和双向鉴权的蓝牙感知器和接入点之间形成信任关系，需要以蓝牙设备地址—链路密钥的映射方式对链路密钥进行存储，以备后期使用。如有需要可定期清空存储，强制所有设备进行重新配对。

### 3.4.2 连接管理中的安全控制

区域网使用的链路级安全模式迫使所有连接过程都会启动双向鉴权过程，如果连接双方是第一次建立连接还必须首先执行配对。用户携带蓝牙感知器在接入时会触发安全过程，而这些连接中的安全过程都服从如下准则：首次连接或曾经连接但通信一方的链路密钥被清除的两个设备间首先进行配对过程，配对成功后立即进行双向鉴权，并保存链路密钥；试图建立连接的两个设备同时拥有链路密钥，则直接进行双向鉴权；所有经过双向鉴权后的设备随即开始进行加密协商并启动加密，从而完成连接建立过程。需要指出的是：认证过程中蓝牙链路上传的是加密过后的分组信息，即使通过对蓝牙信道的侦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就可以保证 PIN 码的安全性。同时，蓝牙感知器和蓝牙接入点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送的，这进一步保证了用户信息的安全。图 3.6 中(A)(B)分别描述了需要配对和无需配对的两种情况下的连接建立中的安全过程。

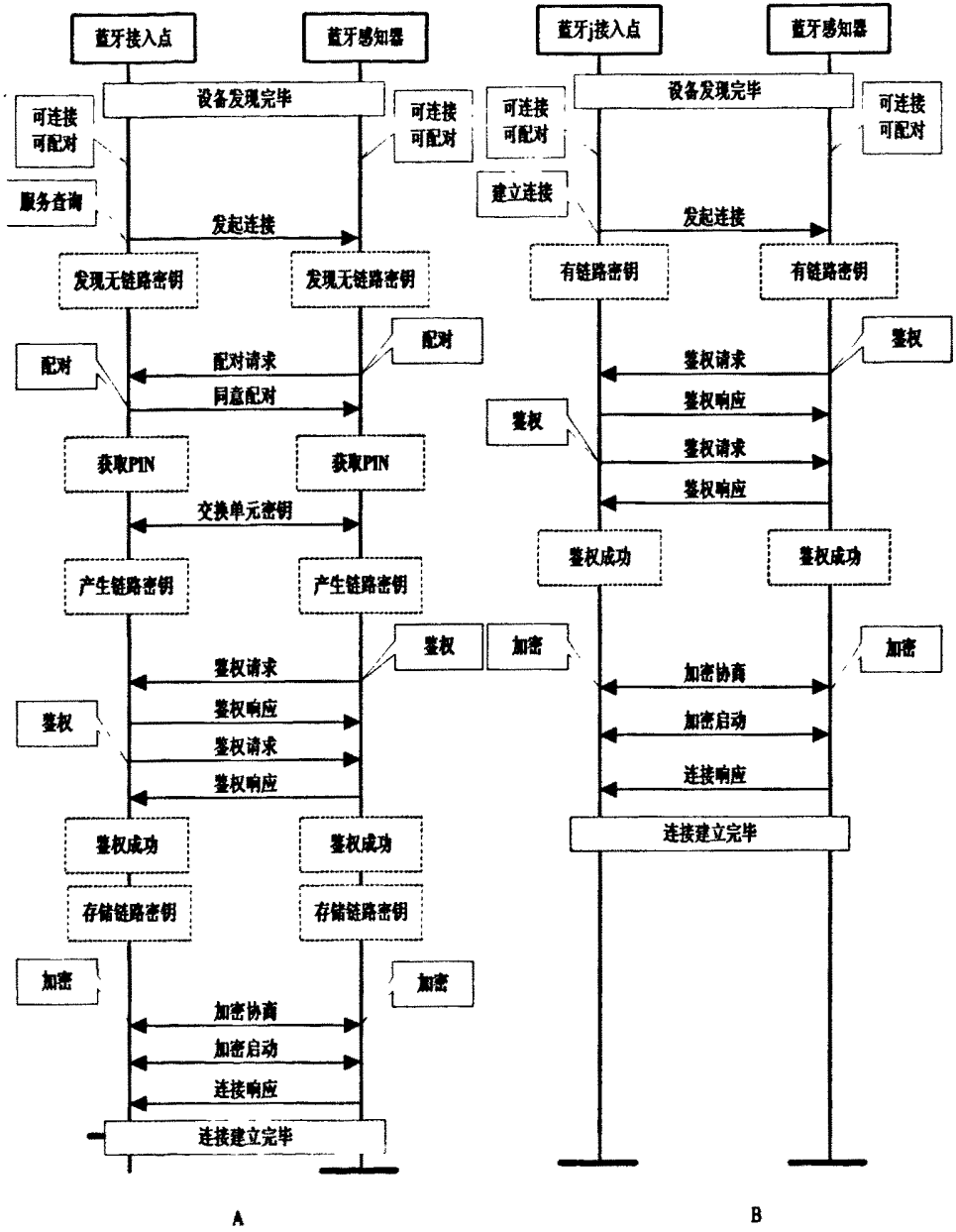


图 3.6 连接建立中的安全过程

### 3.5 蓝牙感知网络的节能策略

蓝牙感知网络中的接入点是主机供电设备，电能损耗和响应速度之间，它们更关注后者。蓝牙无线通信技术使蓝牙感知器成为方便人们携带并自由移动

的设备,然而和所有移动终端一样都面临电能损耗问题,如何保持良好地执行速度同时有效节能是蓝牙感知器设计中的关键问题,也是蓝牙感知网络中节能管理中的焦点。

### 3.5.1 蓝牙感知网络的节能策略

#### 1. 感知网络的交互特点

节能和速度之间是一种权衡,节能模式的使用导致了唤醒延迟和缓冲延迟的产生,其结果是以降低响应速度作为节能的代价。如果采用的节能模式使得蓝牙感知器的响应速度变得非常缓慢甚至无法使用,这样的节能模式是不可取的。蓝牙感知网络的特点就是通过与蓝牙感知器及时的交互来感知用户的存在的,及时是交互的首要考虑,然而这种交换并不是持续的而是周期性的。因为,接入完成后,接入点周期性的轮询用户携带的感知器。

#### 2. 节能模式的选择

蓝牙感知网络特有的交互特点比较适合采用呼吸模式做为节能模式。呼吸模式的特点就是利用规律性地呼吸来侦听信道并接收分组,比较适合传输速率要求不高的应用。只要设置合理的呼吸间隔和合适的呼吸尝试时间,感知器可以在不影响交互的及时性的前提下到达节能目的。

相比之下,保持模式一旦进入就不能随意退出的特点可能更适合交互模式更有可预测性,同时能容忍较大通信延迟的应用。而休眠模式尽管可以最大限度地节省电能,然而,一旦蓝牙感知网络采用短周期轮询策略,而感知器采用休眠模式,休眠过程中它将退出微微网通信,那么接入点为了和其通信必须首先将它唤醒,随后又使之休眠,这种在唤醒和休眠状态间频繁切换所导致的系统开销和能耗也相当可观。另外休眠模式的设备放弃活动成员地址(AMA)而利用主设备的信标机制同步信道,如果信标间隔设置不当,会导致休眠设备失去同步,并可能失去连接而脱离微微网,这样主设备必须使用寻呼才能重新建立连接,从而产生交互延迟。

#### 3. 呼吸模式参数的选择

高层应用要连接进入呼吸模式需要对呼吸模式的参数进行配置,然后设备双方对参数协商后方能进入呼吸模式。在蓝牙感知网络中,蓝牙感知器是能耗敏感设备,而接入点则相反,因此蓝牙感知器将配置满足应用需求的呼吸参数,

至于连接的另一方默认接受即可。呼吸模式可配置的参数涉及呼吸间隔(Sniff\_Interval)、呼吸尝试(Sniff\_Attempt)、呼吸超时(Sniff\_Timeout)。

呼吸间隔决定了唤醒的频率，很大程度上也决定了响应速度。蓝牙通信是跳频扩频通信，同步对于通信双方是非常重要的，主设备通过定期对从设备的轮询，使得从设备始终能和主设备保持同步，即使这样主从设备在接收对方分组的时候仍然有时序漂移(Timing Drift)，为适应不同通信设备间不同的时序漂移，在蓝牙规范引入了长度为 $\pm 10\mu s$ 的不确定窗口(Uncertainty Window)，这意味着主从收发时序上可以有 $10\mu s$ 的错位，也代表同步的耗时。如果主设备长时间不轮询某个从设备，并在由从设备本身时钟晶震产生的时钟漂移(Clock Drift)干扰下，主从间的时序错位会更加严重，最终导致从设备要重新进行时序同步。因此主设备必须保证对从设备最低频率的轮询(物理链路级的轮询)才能防止从设备失去同步，根据规范规定的最大不确定窗口和活动模式下时钟晶振精度误差最大值 $20\text{ppm}$ (Part Per Million)<sup>[20]</sup>，可以得到主设备轮询同一从设备最大间隔必须满足(3-1)：

$$Poll_{\max} = \frac{10\mu s \times 10^6}{20\text{ppm}} = 500\text{ms} \quad (3-1)$$

而处于呼吸模式下的设备，当它呼吸间隔大于 $Poll_{\max}$ 时，由于长时间没有接收到主设备的传输分组，它在唤醒后所估计的接收时序会出现较大偏差。为了同步，它将以它自己估计的不确定窗口为中心扩大接收窗口以增加接收几率，这可能导致接收窗口被扩大到超过1个时隙才能收到主设备分组，也意味着唤醒后主从重同步的花费将大于1个时隙。如果以主从同步花费1个时隙为基准，同时采用规范规定的节能模式下设备时钟晶震精度最大误差 $50\text{ppm}$ 和最大 $10\mu s$ 时钟抖动<sup>[20]</sup>，呼吸模式的从设备最大呼吸间隔必须满足(3-2)：

$$Slave_{\max} = \frac{(625\mu s - 10\mu s) \times 10^6}{250\text{ppm}} = 2.46\text{s} \quad (3-2)$$

如果继续放宽重同步耗时，那么从设备在低能耗保持更多的时间，不过其代价就是重同步带来的时延。另一方面，由于SupervisionTo的存在，它限制了主从设备间无分组交换的最大时间，因此呼吸间隔不能大于SupervisionTo，否则基带层会使连接自动复位。最后，呼吸间隔还不能大于蓝牙感知网络固有的交互周期 $T_{ID}$ (应用级的轮询)，否则感知网络无法及时收集用户信息。从上面分

析可以得出，感知器的呼吸间隔  $Sniff\_Interval$  必须满足(3-3):

$$Sniff\_Interval \leq \min\{Slave_{max}, SupervisionTo, T_{ID}\} \quad (3-3)$$

呼吸尝试是感知器连续接收时隙的数目，也决定了感知器侦听信道的时间，而呼吸超时是对侦听和接收多余分组的补偿，如果设置过短会错过对主设备分组的接收，导致分组接收只有在下个呼吸间隔进行，但如果设置很长可能会导致整个呼吸间隔内从设备会持续接收到主设备的分组而无法进入低能耗状态，这两个参数具体取值需要依赖对系统性能的实际测量。

### 3.5.2 蓝牙感知器节能管理

蓝牙感知器从用户佩带上电开始到进入 AmI 环境、离开环境、到最后去电需要经过很多耗电过程的变化转移。使用呼吸模式只是对感知器处于连接状态后的一个节能管理，而在其余状态下依然可以采取特定措施积极节能，其中一个原则就是尽量保持操作的单一性。尽管蓝牙设备在同一时刻状态是唯一的，但不同状态可以分时复用，表面上看就是同一时间进行了多种操作，比如同时进行查询和寻呼扫描、连接状态下进行寻呼扫描等。为了减少不必要的操作带来的能耗，感知器整个带电期间，除了在特定的时间段里查询扫描和寻呼扫描并发外，其余状态下都保持操作的单一性。蓝牙感知器节能管理中涉及的耗电状态转移过程如图 3.7。其中待机状态耗电最低，处于连接状态进行数据传输时耗电最高。

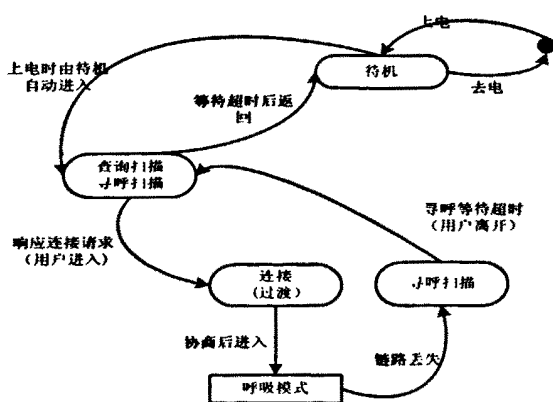


图 3.7 蓝牙感知器耗电状态转移图

### 3.6 本章小结

蓝牙感知网络的系统结构设计是整个设计中一个重要的方面，本章详细说明了感知物理结构设计，感知网络的两种连接策略，并重点分析了其中的关键技术，如安全管理，节能管理。为系统的后续设计提供了重要的依据。



## 第4章 蓝牙感知网络原型系统的软件设计

经过前面几章对感知网络和蓝牙技术的深入分析和研究，本文采用全嵌入式的开发模式，选用 BlueCore02-External 芯片，并利用 CSR 提供的蓝牙开发平台进行感知实体的软件设计。同时，为了使设备具有较好的交互性，在软件设计过程中利用了 SPP 蓝牙串口剖面，在此基础上设计感知协议。

### 4.1 系统开发平台

#### 4.1.1 蓝牙协议栈的选择

蓝牙协议栈的选择取决于具体应用的需求和系统所需的资源<sup>[28]</sup>。目前主流的蓝牙协议栈的配置方式，如图 4.1。

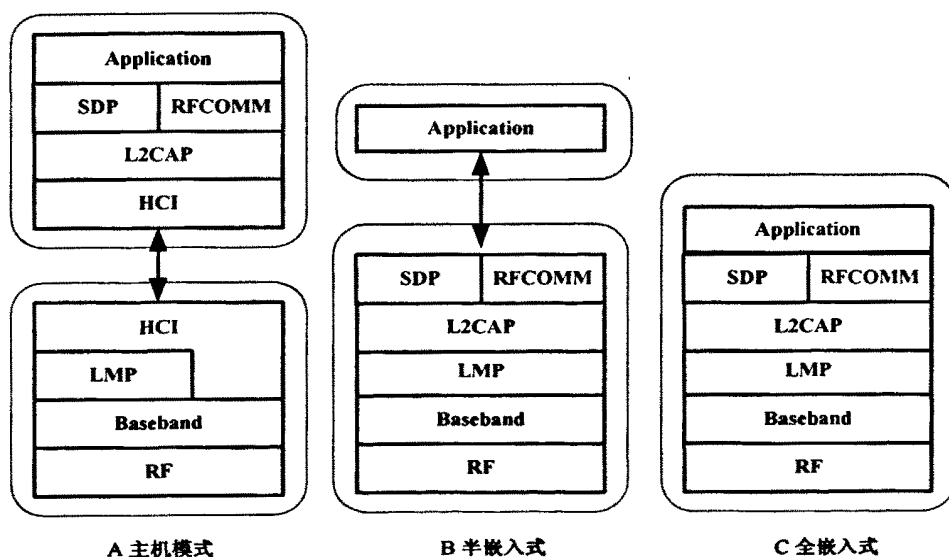


图 4.1 蓝牙协议栈配置方式<sup>[28]</sup>

#### ● 主机模式

主机模式也就是蓝牙控制器/主机模式，它将蓝牙协议栈分为两个部分，下层蓝牙控制器包括射频、基带、链路控制器和链路管理器运行于单独的蓝牙芯片上。而 L2CAP、SDP、RFCOMM 以及应用的上层协议栈则位于主机上，该主机可以是一台 PC 或者是一个微处理器。控制器和主机之间通过主机控制接

口通信，而传输方式可以选择 USB、UART 或者 RS232。由于主机模式采用了双处理器形式，比较适合需要强大的处理器和足够内存支持的高实时性应用，比如蓝牙调制解调器、蓝牙局域网访问点等。

- 半嵌入模式

半嵌入模式就是将整个蓝牙协议栈运行于蓝牙芯片上，而应用程序则独立运行于主机上。上下部分的通信方式由其实现决定。由于整个蓝牙协议栈都位于独立的蓝牙芯片上，因此在协议栈实现的时候可将 HCI 从协议栈中移除，然而为了上层协议和应用能更方便对硬件进行控制和管理，一般通过引入设备管理器(Device Manager, DM)将 HCI 重新封装以供高层协议栈使用。半嵌入式同样采用了双处理器模式，与主机模式相比，蓝牙协议栈整个运行在蓝牙芯片上，使得芯片的负担加重，而上层微处理器仅运行应用，因此对处理器的性能要求可以降低并且不需要使用很多的内存，因此该模式比较适合处理能力和内存都受限的应用，比如移动电话、PDA 上的蓝牙应用。

- 全嵌入模式

全嵌入模式则是将蓝牙协议栈和应用都放置到了同一个蓝牙芯片中，是一种蓝牙应用单芯片(System on Chip, SoC)的实现方式。该方式使得蓝牙芯片中的处理器需要分时处理协议栈本身和上层应用，导致响应的处理速度受到影响，并且存储能力非常有限。但是采用单芯片方式可以使得应用的功耗降低、成品更加轻便小巧，同时成本也大幅下降，因此全嵌入式更适合对处理速度和内存没有过多要求，但注重成本、功耗、便捷性方面的应用，例如蓝牙耳机、蓝牙鼠标和蓝牙键盘等。

通过上述分析，可以看出蓝牙感知器很适合采用全嵌的开发模式，对于蓝牙接入点，虽然在数据处理能力上比感知器要求稍高，但是综合成本、开发周期等各方面需求，全嵌入式模型也是最佳选择。因此，本文也选用全嵌入式模型进行设计和开发。

#### 4.1.2 CSR 蓝牙开发平台

论文中原型系统的实现所使用的 Casira 蓝牙开发系统，该系统是由英国 CSR 公司提供的一套完整的蓝牙嵌入式开发平台，主要包括硬件开发板、BlueStack 蓝牙协议栈、BlueLab 软件开发包及 BlueSuit 辅助工具包<sup>[29]</sup>，其实物

图 4.2:

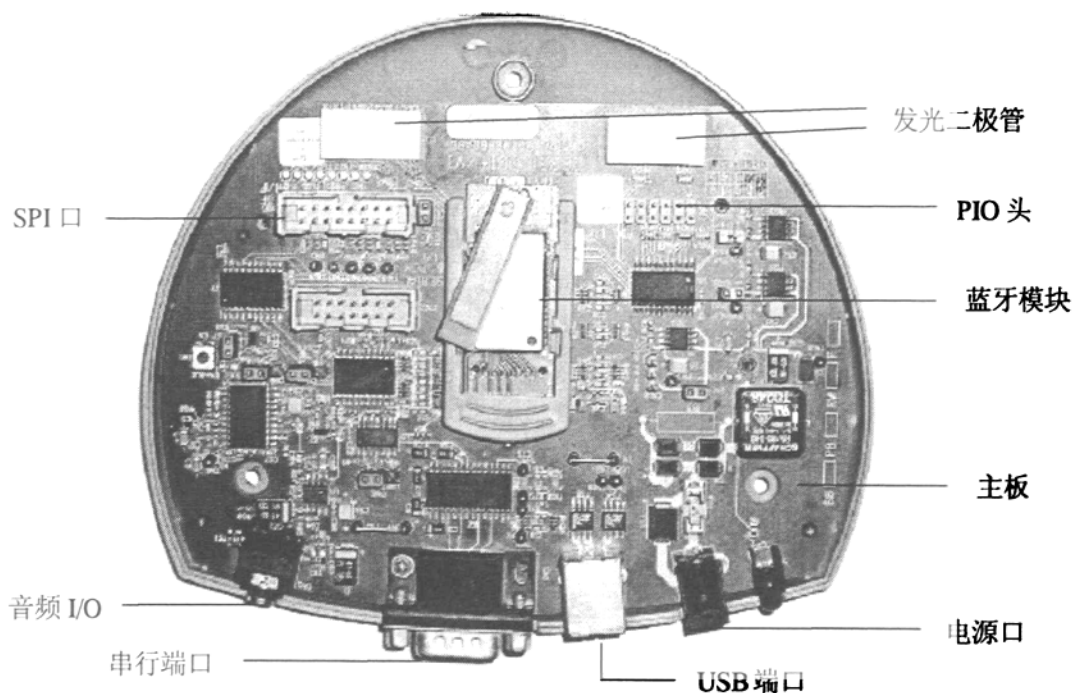


图 4.2 Casira 开发平台实物

Casira 蓝牙开发平台硬件上主要包括两个部分:

- 蓝牙模块: 包括 BlueCore 蓝牙芯片, 闪存(存储主机控制器协议栈固件), 晶振和天线等部分。
- 主板: 内含 I/O 口, 人机接口包括 RS232、USB 驱动器和外部连接器, 语音编解码器, 耳机插孔, 语音 PCM 码流内部连接器和同步串行接口。

其中蓝牙模块是 Casira 开发平台的核心部分, 做成可插拔的机械结构, 其目的是为了便于今后对平台的升级, 当 CSR 公司推出新的蓝牙芯片后, 只需购买新的芯片的蓝牙模块就可实现升级, 非常经济, 适合实验室类型的低成本开发。

### (1) CSR 硬件开发板

硬件开发板提供了经过 CSR 公司验证的完整的蓝牙硬件环境, 用于蓝牙协议栈及上层软件的开发、调试, 功能框图如图 4.3 所示, 其中 USB 以及标准 9 针串行接口 RS-232 用于连接 PC 进行程序调试。

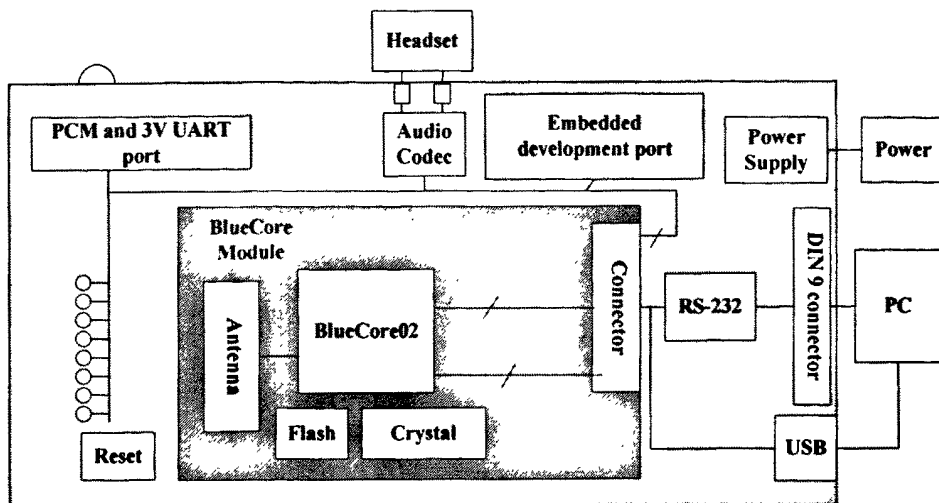


图 4.3 Casira 硬件开发板功能框图

## (2) Bluelab 开发工具

BlueLab 是一款专门为基于 CSR 蓝牙无线芯片的嵌入式应用开发所使用的软件开发工具。它并不支持对运行在 PC 或者 BlueCore 以外的其它微处理器上应用的开发。

### 4.1.3 蓝牙硬件方案的选择

如上所述，全嵌的开发模式是一种单芯片的硬件解决方案，而 CSR 公司作为全球首批提供蓝牙单芯片解决方案的公司，旗下的 BlueCore 系列蓝牙单芯片占有全球蓝牙单芯片 50% 以上的份额。基于 BlueCore 蓝牙单芯片的解决方案符合蓝牙感知器和接入点的应用要求，因此蓝牙感知网络原型系统选择 BlueCore 系列中的 BlueCore02-External 芯片<sup>[30]</sup>(External 代表外置 Flash)和 4Mbit 的 Flash 作为应用的硬件基础。

BlueCore02-External 是感知设备的核心，所有的蓝牙协议栈以及应用程序均运行在该芯片之上，其工作电压为 1.8V，兼容 1.1 和 1.2 版本的 Bluetooth 协议。支持外接 8Mbit 的 Flash，便于以后的继续升级。该芯片是 96 引脚的 BGA 封装，采用 0.8um 的 CMOS 工艺制作。包括 6×6mm，8×8mm，10×10mm 三种封装尺寸，本文设计的蓝牙模块选用的是 10×10mm 的尺寸。其外围电路简单，所需的 RF 部件已被设计地最少化，从而保证了模块生产的最小化。BlueCore02-External 的结构图如 4.4 所示。

DSP 功能模块的作用是前向纠错 FEC、循环冗余校验 CRC、加密、数据白化、介入纠错以及音频编码功能。MCU 是一个 16bit 的精简指令集(RISC)微控制器，和片上 32Kbyte 的 RAM，被底层蓝牙协议栈和上层应用软件共同分享，实现蓝牙功能。I/O 有 4 线的 SPI，4 线的 UART 口，2 线的 USB 口，12 个 PIO 口，以及 4 线的 PCM 口。SPI 口用来下载和备份 ROM 中的程序，UART 用来和其它的串口设备连接。PCM 提供了一个音频接口，可以传输和接收 A 律和 u 律的语音信号。

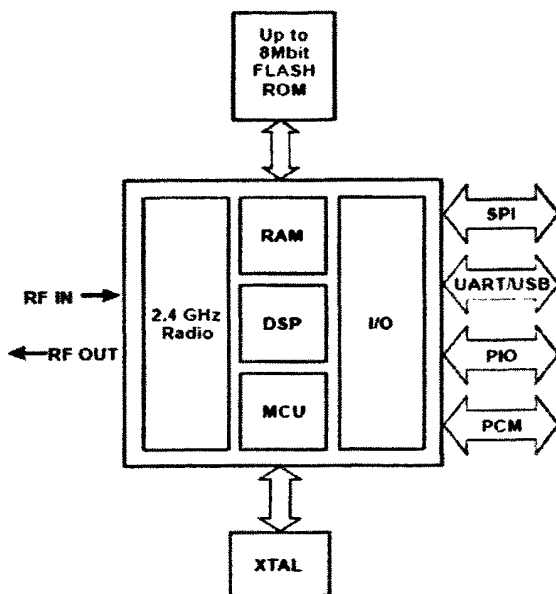


图 4.4 BlueCore02-External 结构框图<sup>[30]</sup>

除了核心的系统芯片外，需要一些外围电路，如天线，电源，人机交互接口，SPI 下载线等。

## 4.2 感知协议的设计

蓝牙感知网络交互协议是感知网络中各种设备为了实现网络功能而进行信息交互时使用的规则，是高层应用间的通信协议。利用蓝牙协议栈可裁剪、可搭建的特点，同时也为了满足应用间的通用性，本文选择了串口应用剖面(SPP)，并在此基础上设计感知协议。

### 4.2.1 蓝牙串口剖面

蓝牙串口应用模型(Serial Port Profile, SPP)<sup>[31]</sup>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 是其它许多应用剖面的基础,如头戴式设备剖面(Headset Profile, HSP)、免提剖面(Handsfree Profile, HFP)等。SPP 定义了建立这些剖面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 4.5 所示<sup>[31]</sup>。其中,基带、LMP、L2CAP、RFCOMM、SDP 在第 2 章已经介绍过。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。

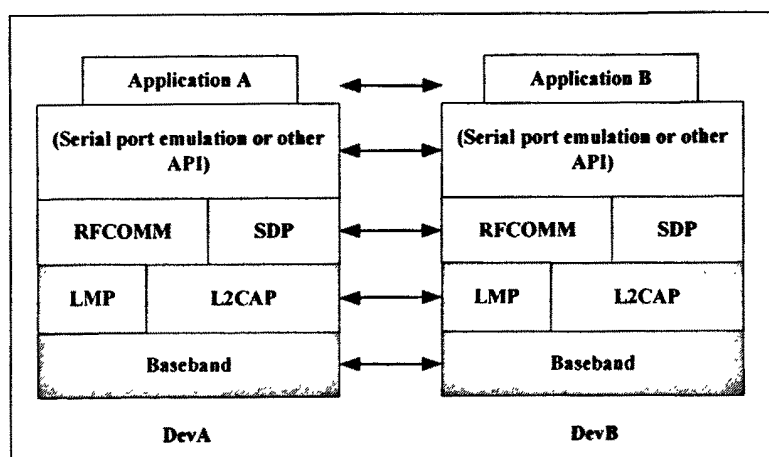


图 4.5 串口剖面协议栈结构

在蓝牙串口剖面中定义了设备 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。

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。

#### 4.2.2 感知协议的交互

感知协议使用的通用的消息格式如图 4.6 所示：

消息头 (2 bytes)	长度 (2 bytes)	消息内容 (0-65535 bytes)
------------------	-----------------	-------------------------

图 4.6 交互协议中的通用消息格式

交互协议是针对蓝牙感知器和蓝牙接入点之间两种通信类型而制定的，设备利用交互协议来实现它，从而为感知网络提供的服务和功能。目前蓝牙感知网络交互协议使用的消息类型有：

- (1)CL\_INIT\_CFM，用于连接管理器初始化确认，消息内容是连接管理器的状态；
- (2)CL\_DM\_RSSI\_CFM，用于返回信号量的大小，消息内容包括主机控制器接口层（HCI）状态，当前信号量；
- (3)CL\_DM\_MODE\_CHANGE\_EVENT，用于感知器请求入呼吸模式，消息内容包括接入点蓝牙地址，节能模式，呼吸间隔；
- (4)CL\_SM\_PIN\_CODE\_IND，用于底层协议对上层协议的配对指示消息；
- (5)CL\_SM\_AUTHORISE\_IND，用于底层协议对上层协议的鉴权指示消息；
- (6)CL\_SM\_AUTHENTICATE\_CFM，用于底层协议对上层协议的认证消息，消息内容包括认证状态，远端设备的蓝牙地址；
- (7)CL\_DM\_INQUIRE\_RESULT，用于返回查询结果，消息内容包括接入点查询，远端设备的蓝牙地址，设备类，设备时钟地址，寻呼扫描模式；
- (8)CL\_DM\_CLOCK\_OFFSET\_CFM，用于读取时钟偏移确认，消息内容包括主

机控制器接口层 (HCI) 状态, 时钟偏移值;

(9)SPP\_INIT\_CFM, 用于 SPP 初始化确认, 消息内容为 SPP 初始化状态;

(10)SPP\_CONNECT\_IND, 用于连接指示消息

(11)SPP\_CONNECT\_CFM, 用于连接确认, 消息内容为 SPP 连接状态;

(12)SPP\_DISCONNECT\_IND, 用于断开链路指示;

(13)SENSOR\_ID\_REQ, 感知器向接入点发送 ID 请求;

(14)SENSOR\_ID\_CFM, 感知器向接入点发送 ID 确认。

### 4.2.3 感知协议的顺序图

当接入点主动去查找感知器设备, 同时感知器也处于扫描状态, 接入点就会查找到感知器。当需要建立底层的连接时, 由于有安全方面的限制, 首次连接需要进行配对鉴权操作, 由接入点应用程序向低层实体发起请求 PIN 码的指示, 再无线传输到感知器的对等层, 报告给感知器的应用程序并给出回应。本设备没有用户交互界面, 所以不能由用户亲自去输入 PIN 码, 只能在下载程序的时候一同把 PIN 码存储在芯片里程序可利用的空间。经过比较后, 完成配对功能, 然后完成鉴权功能, 这样两端设备的蓝牙地址都会加入到各自的安全设备列表中, 以后再进行连接时, 可以不必再进行配对鉴权操作。配对鉴权完成后, 底层的链路就建立起来了, 在数据传输之前, 我们首先要知道对方会提供什么样的服务以及它们有没有能力传输数据? 这就要通过它们的服务记录以及服务查询来实现。在第 2 章蓝牙核心体系结构中已经介绍过服务发现协议, 我们就是通过 SDP 协议来查询设备究竟能够提供什么样的服务。所有规范的蓝牙设备都会有自己的服务记录, 它记录了设备所使用的协议、类别及提供的服务类别。如本文用到了 RFCOMM 协议, 只有注册了这个协议, 在接入点进行服务搜寻时, 才能搜索到相应的服务并进行相应服务的连接。建立连接之后, 接入点请求感知器发送用户 ID, 接入点响应请求, 发送用户 ID。之后, 双方协商, 感知器进入呼吸模式。顺序图如图 4.7 所示:



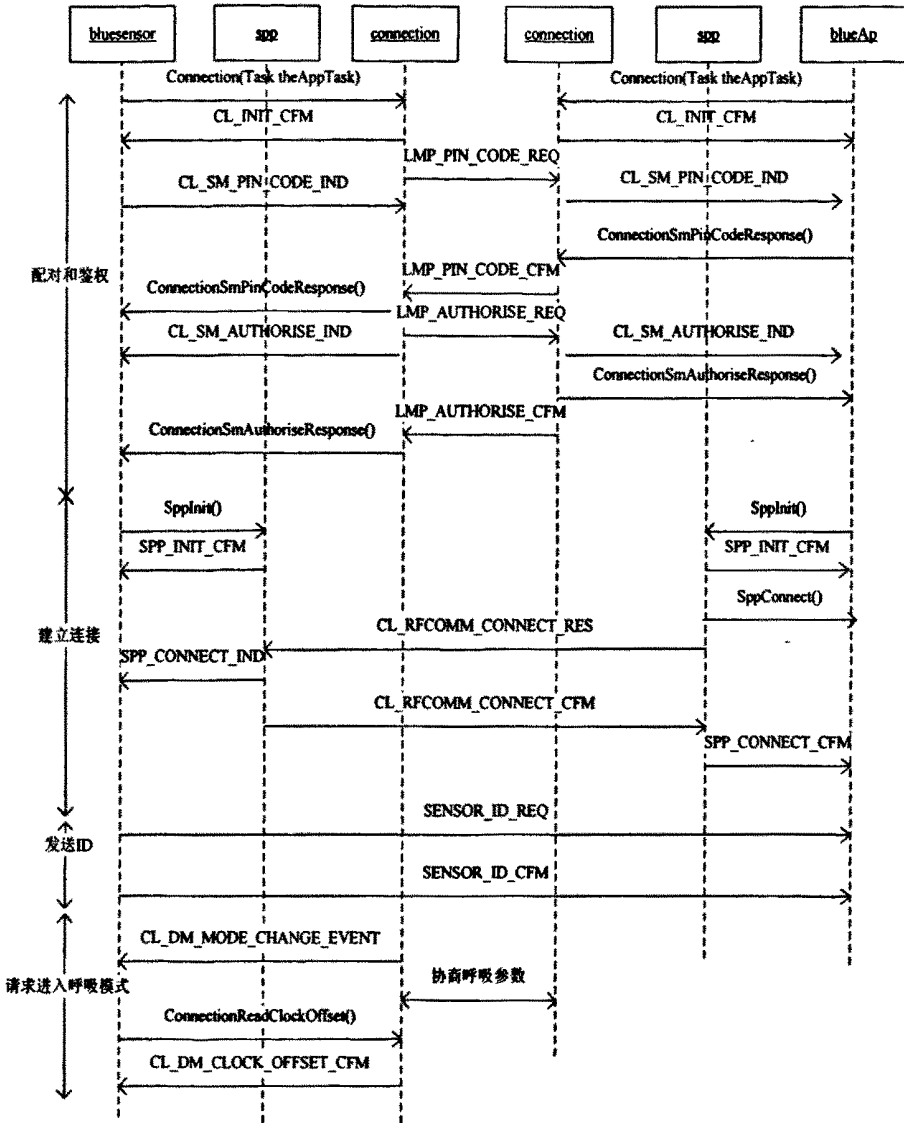


图 4.7 两端顺序图

### 4.3 感知实体的软件设计

#### 4.3.1 基于 BlueCore 芯片嵌入式应用开发的特点

蓝牙单芯片解决方案的动机就是利用紧凑设计在实现低成本的同时保持高效能。与开发运行于具有强大处理性能的主机上的蓝牙应用程序不同，基于

BlueCore 蓝牙单芯片的嵌入式应用开发有其自身特点。

### 1. 虚拟机机制

BlueCore 引入虚拟机机制(Virtual Machine, VM), 使得嵌入式应用程序完全运行在虚拟机的环境中经由 VM 解释并执行。采用 VM 的目的是保护协议栈正常工作, 使之不会受到占用过多处理器时间的应用程序的侵害。另外 VM 的使用, 让应用程序无法修改协议栈, 因此在蓝牙应用向 SIG 申请蓝牙认证的过程中, 协议栈部分获得免检, 只需对实现应用框架的应用程序部分进行互通性检查即可, 从而大大缩短认证的时间和费用。然而 VM 的引入最大的弊端就是对应用程序代码的解释会造成系统性能的损失, 无法满足高实时性要求的应用系统, 从而限制了适用的应用对象。

### 2. 调度事件机制

为处理多任务, BlueCore 采用调度机制, 通过调度 VM 可以限制用户应用程序占用处理器的时间, 保证协议栈执行的优先权, 而所有用户任务则是采用简单的 Round-Rubin 来循环调度。事件机制是 VM 通知应用程序某种情况改变的手段, 事件机制是在调度机制控制下实现的。

### 3. 任务消息机制

任务消息机制提供了一种在多任务间异步发送消息的方法。每个任务都配置一个队列, 消息在队列中等待处理, 而调度程序会定时运行拥有非空消息队列的任务, 从而完成消息的传递。

### 4. 中断机制

与其他嵌入式系统一样, BlueCore 同样需要对外界信号做出反应, 因此 BlueCore02 提供了 12 条可以连接到自定义硬件的中断引脚, 称为 PIO。PIO 中断启用后, 如果相应的 PIO 引脚上中断线状态改变, 驻留在 BlueCore02 中的中断例程会引起一个 PIO 中断事件, 调度程序就会捕获该中断事件并发送给应用程序进行处理。

## 4.3.2 感知软件系统的运行机制

软件系统的运行环境是虚拟机(VM), 完全采用消息驱动的方式运行, VM 提供消息调度器来实现消息的调度, 每个程序模块都有自己的消息和消息处理函数, 模块间通过消息实现通信, 调度器根据发送消息时的参数负责把消息送

到相应程序模块的消息处理函数。

在程序中消息的定义与蓝牙协议中消息的定义方式类似，协议规定了四种消息类型：**Request(请求)**，**Confirm(确认)**，**Indicate(指示)**，**Response(响应)**。其关系如图 4.8 所示。由上层发起的消息称为请求(REQ)，下层完成处理后回复一个确认消息(CFM)；由下层发起的消息称为指示(IND)，上层完成处理后回复一个响应消息(RES)。这四种消息构成协议对等层的消息循环，是对等层通信的载体。消息循环的起始是 REQ，一般由应用层程序或人机接口的消息输入发起。在实际程序中，沿用了消息命名的规则和作用，但是除协议中有规定的外，它们不再严格的成对出现，消息的定义以完成程序模块的功能为目标。

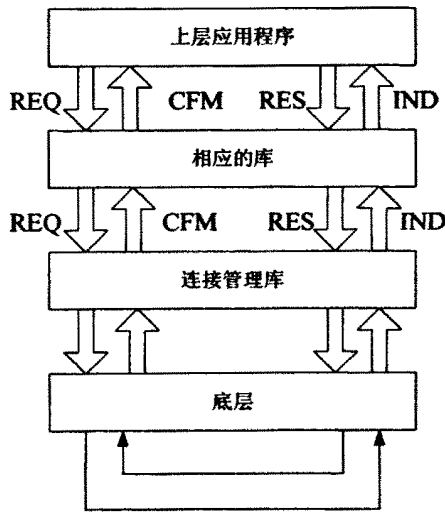


图 4.8 消息的类型

因为程序采用消息驱动方式运行，所以每个程序模块都围绕其消息处理函数展开，它必须能够处理来自上层和下层的信息。以 SPP 库为例，主要处理来自上层的 REQ 和来自下层的 IND,CFM,在应用层收到 SPP 库的 IND 之后通常会做相应的处理动作，这些处理动作通常要以 REQ 的形式通知下层进行，所以一般不会发送 RES 消息。

### 4.3.3 感知软件应用程序的构成以及初始化

#### 1. 应用程序的构成

蓝牙感知软件的应用程序作为一个程序块，是围绕其消息处理函数 `app_handler()` 展开的，程序中包括入口函数 `main()` 和处理消息时所调用的子函数。

感知软件程序中将各个剖面的主体以库的形式给出，但是在应用层还是要有与之相对应的接口。这样应用程序要涵盖所涉及的所有剖面，为了开发的方便和代码的可读性，论文把应用程序又分成连接管理器库消息处理(`cl_msg_handler`), SPP 消息处理(`spp_msg_handler`)两个子程序块，到应用层的消息由 `app_handler()` 处理或分发到子程序块处理。以上两个子程序块只处理与对应相关的消息，`app_handler()` 要处理余下的所有消息，如电源、电池、按键、LED 等。`app_handler()` 的消息分发是通过下面的一段代码实现的，最后的 `switch` 语句处理余下的消息。

```
static void app_handler(Task task, MessageId id, Message message)
{
    /*Handle incoming message identified by its message ID*/
    if ((SPP_MESSAGE_BASE<=id)&&(id<=SPP_MESSAGE_TOP))
    {
        spp_msg_handler(id, message);
    }
    else if ((CL_MESSAGE_BASE<=id)&&(id<=CL_MESSAGE_TOP))
    {
        cl_msg_handler(id, message);
    }
    else
    {
        switch(id)
        {
            .....
        }
    }
}
```

## 2. 应用程序的初始化过程

应用程序要分别初始化各个规范，在 `main()` 函数中发送第一个消息并启动调度器，使程序开始根据消息而运行，同时为了保证初始化过程消息循环不中断，在一个规范初始化完成后要发送另一个规范的初始化请求，以启动其初始化过程。具体过程如图 4.9 所示。

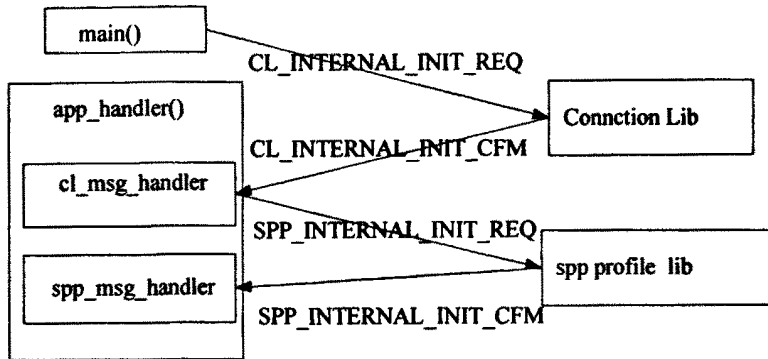


图 4.9 应用程序初始化

上图描述了应用程序初始化的过程，规范库处理消息过程又要通过更下层的库和协议栈来实现，下面将分别介绍其中的两个库初始化过程中从应用程序到底层协议栈(固件)的消息传递过程，来表明整个软件系统的运行过程和特点。

### 4.3.4 常用的库函数说明

我们设计的设备采用了基于蓝牙 SoC 的单芯片解决方案，即整个蓝牙协议栈和上层应用程序都是运行于同一芯片上。软件部分的开发主要是完成运行于 VM 上的应用程序，应用程序通过调用下层提供的 API 及消息机制相互通信。我们使用 BlueLab 进行软件的开发，它提供了 SPP 库，并把 SDP、L2CAP 及 DM 底层信息隐蔽而提供了一个 Connection 库为我们提供底层的接口。在软件部分我们把三个库看成为两个实体，即 Connection 实体，SPP 实体，我们的应用程序就是通过 API 及消息机制与这几个实体进行交互，利用它们提供的功能，达到我们的需求。

最主要的几个库函数如下：

- `void ConnectionInit(Task theAppTask)`

此函数是 Connection 库的初始化函数。Task 表示消息的目标任务；只有调用了此函数，才能使用 Connection 库的其它函数。

- void SppInit(Task theAppTask, spp\_device\_type type\_of\_device, uint16 priority)

此函数是 SPP 库的初始化函数。type\_of\_devices 是 SPP 实体的设备类型，如 devA 定义成为主设备，devB 定义成为从设备。只有调用了此函数，才能使用 SPP 库的其它函数。

- void SppConnect(SPP \*spp, const bdaddr \*bd\_addr)

此函数用于处理连接请求，\*bd\_addr 表示要连接设备的蓝牙地址。

- uint16 MessageSend ( Task task , MessageId id, void \* message)

将一个消息立即发送到相应的任务，当任务收到消息后，该消息会立即被释放。参数：id 是消息的标示，每一个消息要有唯一的身份码；message 表示消息携带的数据，通常为 0。该函数是任务间通信的接口。

- void MessageSendLater ( Task task , MessageId id, void \* message, uint32 delay)

在延时 delay ms 后，将消息送给指定的任务；消息在到达任务之后会被释放。参数：前三个同上，delay 表示该消息延迟的时间，单位为 ms。该函数会将消息放入消息队列中，可以代替定时器的使用。

- void PioSetDir(uint16 mask ,uint16 dir)

修改 PIO 口的数据方向寄存器。参数 mask 为操作哪些 PIO 引脚，dir 为输入输出属性。比如 PioSetDir(((1<<7)|(1<<6)), ((1<<7)|(1<<6))), 将 6 和 7 号引脚设置为输出。

- void PioSet ( uint16 mask , uint16 bits )

修改 PIO 数据输出寄存器的内容。参数 mask 代表要修改的那些引脚的内容，bits 将内容改为 1 还是 0。PioSet 和 PioSetDir 要配合使用，只有有输出属性的 PIO，PioSet 才起作用。

#### 4.3.5 蓝牙接入点的软件设计

蓝牙感知器和接入点均采用了 SPP 串口剖面，在设计上存在着一定的类似之处，由于篇幅有限，本节主要介绍了蓝牙接入点的软件设计。

### 1. 软件功能结构

根据前面几章的分析，论文将蓝牙接入点软件分成以下几个功能模块，并充分利用 BlueCore 嵌入式开发的特点将各个功能模块集成以实现蓝牙接入点的既定功能目标，其软件功能结构如图 4.10。

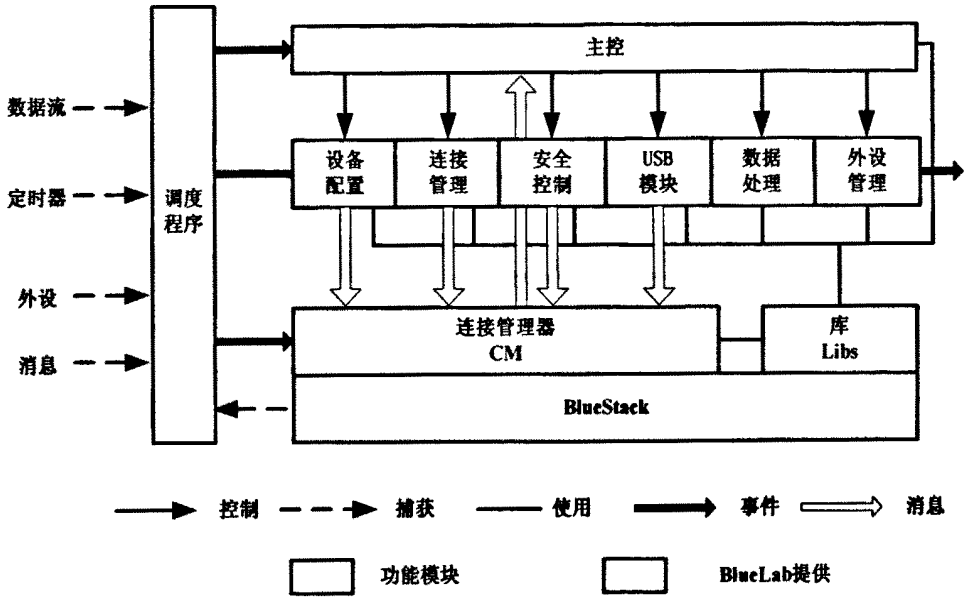


图 4.10 接入点软件功能结构

#### ● 主控模块

设备配置模块为系统定义一组状态：初始状态(Init)、配对状态(Pairing)、连接状态(Connecting)、连接维持状态(Connected)、数据处理状态(Processing)和断开连接(Disconnecting)，同时为每个状态定义一个状态进入功能，从而设置当前状态以及驱动 LED 指示灯变化闪烁方式来提示用户目前设备状态，并且为实现状态间的传递而提供的状态传递功能。主控模块还负责系统初始化以及启动调度程序，并且构建并维护一个应用任务和对应的消息队列，从而接收连接管理器 Connection 的消息，通过解释和派遣 Connection 初始化类消息、Connection 连接类消息和 Connection 安全控制类消息来控制其余功能模块完成相应动作。

#### ● 设备配置模块

设备配置模块将负责提供安全控制、查询和扫描的系统参数初始化配置以供安全控制、连接管理模块使用。并且为主控模块的系统初始化提 BlueStack

初始化、Connection 初始化、RFCOMM 服务注册以及设备 CoD 设置, 共计 4 个设备配置功能。

- 安全控制模块

安全控制模块需要为主控模块的系统初始化提供配对记录载入功能。通过与 Connection 消息交互完成配对、配对记录存储过程, 同时在 BlueStack 的协助下实现鉴权和链路加密功能。

- 连接管理模块

连接管理模块负责提供主动发起连接请求, 在连接建立完毕后保持用于应用数据交互的源数据通道(Source)和输出数据通道(Sink), 而在连接维持阶段需要监测连接状态及时处理连接断开或丢失事件。

- USB 模块

负责与主机之间的通信。USB 设备通过描述符来反映他们的属性<sup>[32]</sup>。每个描述符包含了关于这个设备整体信息或者一个元素的信息。在列举过程中主机使用控制传输来从设备请求描述符。包括整个设备, 每个配置, 每个配置的接口, 每个接口的终端。

- 数据处理模块

数据处理模块负责在虚拟串行线连接上接收并处理应用数据。

- 外设管理模块

外设管理模块则负责蓝牙感知器的复位按钮、LED 指示灯。为主控模块的系统初始化提供外设初始化功能, 同时为每种设备状态提供一种相应的 LED 闪烁模式。实现复位按钮功能以帮助用户执行系统复位工作。如#define LED\_BLUETOOTH\_LNK (1<<3), 定义 PIO3 指示蓝牙链路的状态, #define BUTTON\_RESET (1<<4), 定义 PIO4 为重启按键, 处理链路连接失败或其它一些异常功能。

## 2. 软件运行的基本流程

图 4.11 描述了接入点的流程图:



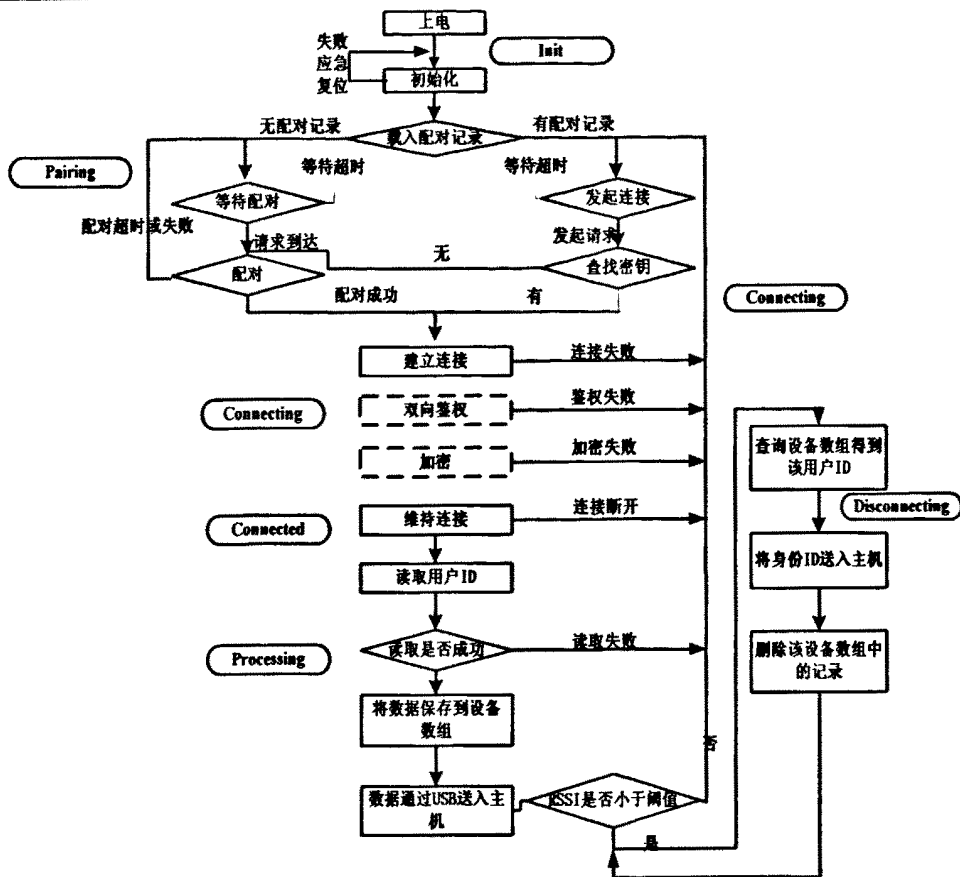


图 4.11 蓝牙接入点软件的流程图

● 上电和初始化

系统加电后，接入点首先通过主控模块执行系统初始化工作，完毕后进入系统 Init 状态，如果失败则执行应急复位(Panic Reset)。

● 配对过程

如果系统上电前没有存储任何配对记录，则设备进入系统 Pairing 状态，如果成功则转入 Connecting 状态执行连接建立过程，否则接入点主动发起建立连接。

● 连接建立过程

连接建立过程依然处于系统 Connecting 状态，通过连接管理、安全控制 2 个功能模块在 Connection 和 BlueStack 的协助下完成包括鉴权、连接建立、加密和节能协商的整个连接建立过程。

● 连接维护

连接建立完毕后，设备进入系统 **Connected** 状态，连接管理模块通过主控模块维护的任务和消息队列监控连接情况，如果探测到连接丢失或断开便立即返回到系统 **Connecting** 状态，等待连接请求以便重新建立连接。

- 读取用户 ID

在 **Connected** 状态下，通过数据处理模块接收用户的 ID 信息，读取成功后，将信息保存到一个设备数组；反之，则需要重新建立连接。

- 检测链路断开事件

当某个感知器和蓝牙接入点之间的信号量低于一个阈值时，规定感知器离开了这个区域，此时，状态为 **Disconnected**，接入点要能正确做出反应，停止对该感知器的服务，并根据用户 ID 删除设备数组中的记录。

#### 4.4 本章小结

本章主要详细描述了感知软件的详细设计，通过分析所选系统的开发平台和蓝牙协议栈，选择了 **BlueCore02-External** 芯片进行软件设计，利用 **SPP** 串口规范，给出感知协议的顺序图和相关的初始化过程。最后以蓝牙接入点的设计为例，详细介绍其功能模块和软件流程图。本章和第 3 章是本论文的研究重点。

## 第5章 感知网络原型系统的测试

经过前边的软件设计，需要将其下载到蓝牙感知器和蓝牙接入点的硬件上，本文利用 CSR 提供的开发工具 BlueLab 和下载电路板，通过 SPI 下载线将软件下载到相应硬件上进行集成。本章从系统的运行和性能两方面，对其进行了测试并进行了分析。

### 5.1 感知设备的原型

蓝牙感知系统最终的产品有蓝牙感知器和蓝牙接入点两个，产品实物如图 5.1、图 5.2 所示：

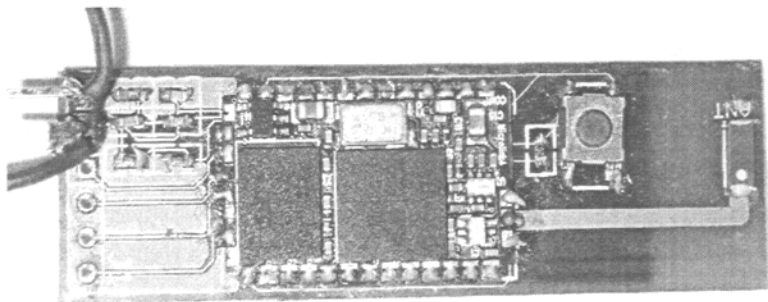


图 5.1 蓝牙感知器实物

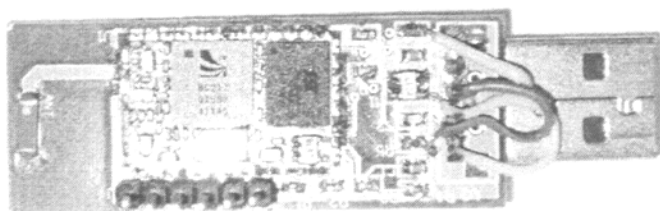


图 5.2 蓝牙接入点实物

### 5.2 感知系统的测试

系统软件测试的目的是检测蓝牙感知器、蓝牙接入点是否可以协同工作，是否可以完成通信链路建立、数据传输、链路断开等功能。系统测试分为运行

测试和性能测试。

## 5.2.1 感知系统的运行测试

由于设计的感知设备均是全嵌的设备，没有一些可视化的界面，而为了我清晰的看出系统的运行状态，现给出 BlueLab 开发工具中调试状态下系统的运行实例。图 5.3 是感知器的运行实例，和蓝牙接入点相互交互，它等待其它设备查询，被找到后进行配对鉴权，然后被连接，连接成功后就可以传递身份信息，协商节能参数后，进入呼吸模式。

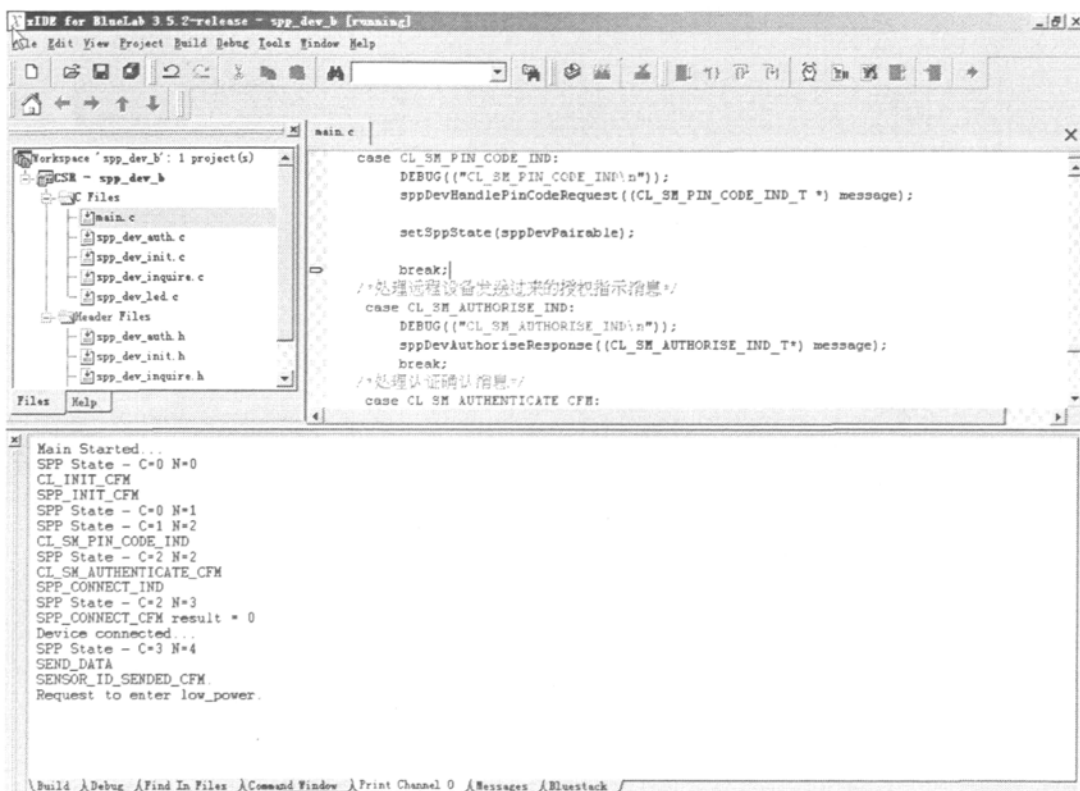


图 5.3 感知器运行实例

当然，这只是在调试状态下的系统运行，真正下载到硬件平台之后，是不允许输出这些打印语句的，只能靠编写一些测试程序，以及指示灯和按键来测试系统的运行情况。

## 5.2.2 感知系统的性能测试

### 1. 节能测试

感知器的实现中采用呼吸节能模式，在系统节能测试阶段，论文使用 4 组不同呼吸模式参数，在测试端数据随机发送情况下测定各中呼吸参数配置下应用数据交互的延迟和相应耗电，如图 5.4 是各种配置下的数据延迟。

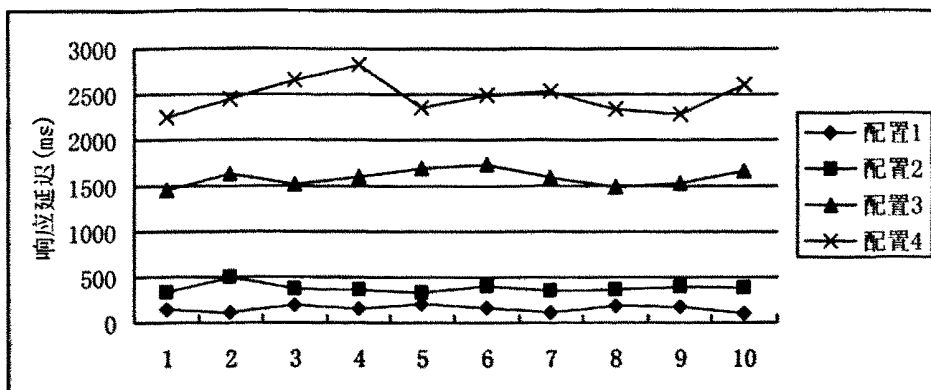


图 5.4 不同呼吸模式参数配置情况下的延迟响应

表 5.1 给出了各自配置具体的参数以及相应的延迟数据和平均耗电。从中可以清楚的看到采用呼吸间隔越大，平均耗电越低，但响应延迟越严重。进一步分析，可以看到尽管配置 2 比配置 4 耗电，但是将响应延迟和耗电进行权衡，配置 2 更符合整个感知网络的需要，不但很大程度地实现了节能目标，同时也保持了合理的响应延迟。当然，感知器最后节能参数的确定还必须将感知器放在整个感知网络实际运行的情况下不断进行相关测试，最终使得感知器在节能的同时满足感知网络响应速度的要求。

表 5.1 四种配置参数及响应延迟和耗电

配置	参数(Slot=0.625ms)			最大 响应延迟 (ms)	平均 响应延迟 (ms)	平均 耗电 (mA)
	呼吸 间隔	呼吸 尝试	呼吸 超时			
1 (活动模式)	无	无	无	198	156	35.65
2	500	15	3	500	381	6.09
3	1600	15	3	1687	1608	5.22
4	3000	15	3	2828	2480	4.78

## 2. 感知器和感知接入点建立时间

节点之间建立连接的时间包括建立查询、服务发现、数据交互等，接入时

间的长短直接决定了系统的好坏，测试得到的数据如图 5.5 所示，其中蓝牙感知器使用呼吸参数配置 2(表 5.1)，并采用默认的查询扫描模式和连续寻呼扫描模式。

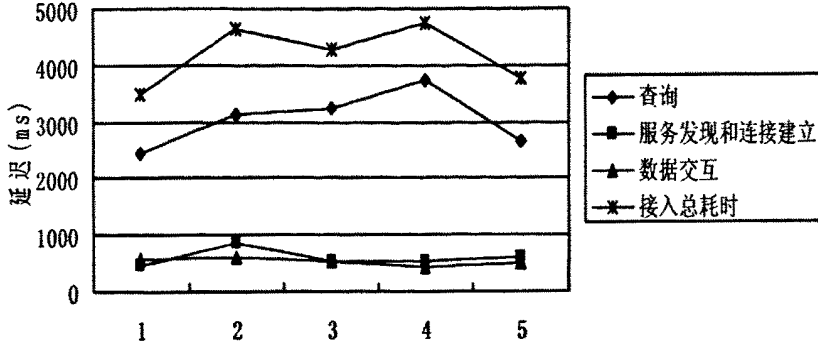


图 5.5 接入过程延迟

图5.5所示的5次接入过程中，最大延迟4731ms，最小延迟3488ms，平均延迟4180ms，在用户可以容忍的范围之内。从图中可以看出查询延迟曲线走势基本决定了接入延迟曲线的走势，这也再一次说明查询过程是系统接入速度的重要制约。

### 5.3 本章小结

本章主要对感知原型系统进行了测试，内容包括了运行测试和性能测试，从测试结果可以看出，在点对点的连接过程中，系统运行良好，既能达到节能的目的，有能在规定的时间内建立连接。

## 结 论

论文从局域环绕智能环境下用户无缝感知出发,通过深入分析蓝牙技术,对以面向用户感知为目的的蓝牙感知网络中的四个关键问题——网络物理结构、连接管理、安全控制、节能管理做了深入的研究和分析。并针对蓝牙感知网络的功能目标合理地划分了感知网络设备的硬件和软件,同时设计了感知网中的感知协议。最终实现了其网络原型并对其进行了测试。

论文所做的主要工作有:

(1)描述了感知系统对用户感知的需求,选择蓝牙作为实现无缝感知需求的目的,并给出了蓝牙感知网络在 AmI 系统中的逻辑层次。

(2)对蓝牙无线通信技术特点、网络拓扑结构、蓝牙协议的体系结构、蓝牙应用剖面做了比较具体的讨论,为后续章节的设计提供理论上的支持。

(3)借鉴 802.11 的 ESS 模型并利用蓝牙通信网络拓扑结构为蓝牙感知网络设计了一种符合本系统应用场景的混合式网络结构,以蓝牙感知网络物理结构为基础,结合 AmI 无缝感知的特点,提出连接策略、接入策略、安全策略和节能策略。

(4)在满足蓝牙感知网络功能目标的前提下,从全嵌的开发模式出发,利用 CSR 公司提供的蓝牙开发平台和 BlueCore02-External,结合蓝牙串口剖面,设计感知协议,并具体分析了接入点的软件设计。

(5)对感知网络原型系统进行了与运行和性能上的测试,根据实际测试结果对系统进行了客观的评价。

进一步研究的问题:

将蓝牙无线通信技术作为无缝感知的手段是一个新的尝试。论文在研究和设计以用户感知为目的的蓝牙感知网络中尽可能的细致全面,但基于现阶段的理论技术水平,以及对整个 AmI 系统规模和性能认识的局限性,整个设计必然存在着很多不足。在现有的研究基础上,今后的工作中还要对以下几个方面进行改进和进一步的研究:

(1) 系统健壮性

论文主要对系统的关键技术进行研究和设计,而对系统运行的健壮性和稳

定性考虑不足。作为一个典型的嵌入式系统，蓝牙感知器需要很高的可靠性和稳定性，论文在实现蓝牙感知原型系统中对异常的处理只是简单使用了应急复位措施，虽然起到一定保护功能，但对于将蓝牙感知器作为高度个人化通信设备的目标还是有一定差距的。因此，今后的工作中需要进一步完善蓝牙感知器异常处理，将产生异常的情况进行细化，并分类执行异常处理，尽可能保持蓝牙感知器与蓝牙接入点交互的持续性。

## (2) 感知协议的独立性

论文设计的感知协议是在 CSR 提供的相关剖面的基础之上的，虽达到了设计的要求，但是随着蓝牙感知网络的发展，又必要研究出一层完整的协议，将蓝牙感知作为蓝牙的又一种新的感知剖面。如今，CSR 已经有 Bluecore05 的蓝牙芯片，该芯片集成了蓝牙和 802.11 这两种技术，可以在此基础上设计感知协议和新的网络结构，这也是一个新的研究方向。



## 参考文献

- [1] M. Weiser. The computer for the 21st century. Scientific American (International Edition). 1991, 265(3): 66-75P
- [2] K. Ducatel, M. Bogdanowicz, F. Scapolo, J. Leijten, J-C. Burgelman. Scenarios for Ambient Intelligence in 2010. <http://www.cordis.lu>. 2001,2001
- [3] Aarts E.Ambient intelligence: a multimedia perspective. IEEE Multimedia 2004,11 (1): 12-19P
- [4] Jennifer Bray, Charles F Sturman. Bluetooth Connect Without Cables. Second Edition. New Jersey: Prentice Hall PTR,2002.1-22P, 40-45P, 275-299P, 300-319P
- [5] Kotanen, M. Hannikainen, H. Leppakoski, T.D. Hamalainen. Experiments on local positioning with Bluetooth. IEEE International Conference on information Technology: Coding and Computing.2003,297-303P
- [6] Martin Leopold, Mads Bondo Dydensborg, Philippe Bonnet. Bluetooth and sensor networks: a reality check. ACM Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems.2003,103-113P
- [7] 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):236-244P
- [8] M. Addlesee, R. Curwen, S. Hodges, J. Newman. Implementing a sentient computing system. IEEE Computer. 2001, 34 (8): 50-56P
- [9] Bahl P., Padmanabhan V. N.. RADAR: an In-building RF-based User Location and Tracking System. IEEE INFOCOM. 2000, Vol(2) :775-784P
- [10] L.Martin,B.D.Mads,B.Philippe.Bluetooth and Sensor Networks: A Reality Check
- [11] J.G.Castano,J.Andreasson. Wireless Industrial Sensor Monitoring Based on Bluetooth

- [12] Soo-Hwan, Byung-Kug Kim. An Implementation of Wireless Sensor Network for Security System using Bluetooth. IEEE Transaction on Consumer Electronics.2004,Vol(50):236-244P
- [13] 李香, 杨孝宗. 一个两步蓝牙散射网形成算法 TBSF. 计算机研究与发展. 2006, 43(2):211-217 页
- [14] 傅仲速, 王文栋. 一种改进的基于 Bluetrees 的蓝牙散射网形成算法. 东南大学学报 (自然科学版). 2004, 34(6):734-739 页
- [15] 赵国生, 刘群, 王慧强, 王健. 一种蓝牙分散拓扑形成算法的设计与实现. 计算机科学. 2006, 33(3):32-34 页, 41 页
- [16] 林鸿, 丁文芳, 高强. 一种蓝牙分散网拓扑结构创建和网络路由分布式算法. 计算机研究与发展. 2003, 40(2):1972-1945 页
- [17] 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学位论文. 2005: 26-33 页
- [18] 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 页, 2218 页
- [19] Bluetooth SIG . Bluetooth White Paper-1999 Bluetooth Protocols Architecture Version1.0. <http://www.bluetooth.com>, 1999
- [20] Bluetooth SIG . Specification of the Bluetooth System Specification Volume 1 Version 1.1-2001 Core. <http://www.bluetooth.com>, 2001
- [21] Bluetooth SIG . Specification of the Bluetooth System Specification Volume 1 Version1.2-2003 <http://www.bluetooth.com>,2003
- [22] Bluetooth SIG . Specification of the Bluetooth System Specification Volume 1 Version1.2-2004 <http://www.bluetooth.com>,2004
- [23] Bluetooth SIG . Specification of the Bluetooth System Specification Volume 1 Version2.1-2006 <http://www.bluetooth.com>, 2006
- [24] 金纯, 许光辰, 孙睿. 蓝牙技术. 电子工业出版社, 2001: 5-6 页
- [25] Chatschik B. An overview of the Bluetooth wireless technology. IEEE Communications Magazine. 2001,39 (12):86-94P
- [26] IEEE. Std 802.11-1999 Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. <http://ieee802.org>,1999

- [27] Bluetooth SIG. Bluetooth Doc-2002 Bluetooth™ Security White Paper[S].  
<http://www.bluetooth.com>,2002
- [28] David Kammer, Gordon McNutt, Brian Senses, Jennifer Bray. 蓝牙应用开发指南——近程互联解决方案. 李静, 奉继辉, 王婷, 杨莉. 北京: 科学出版社, 2003. 25-27 页, 64-72 页, 75-80 页
- [29] Cambridge Silicon Radio Ltd, Casira Datasheet. [http://www.csrsupport.com/CSR/Development Hardware/Casira/23\\_Casira Datasheet.pdf](http://www.csrsupport.com/CSR/Development%20Hardware/Casira/23_Casira%20Datasheet.pdf), 2000
- [30] Cambridge Silicon Radio Ltd, BlueCore2-External Product Data Book, [http://www.csrsupport.com/CSR/DataSheets/BlueCore2-External Data Sheet/262\\_BlueCore2-External Data Book.pdf](http://www.csrsupport.com/CSR/DataSheets/BlueCore2-External%20Data%20Sheet/262_BlueCore2-External%20Data%20Book.pdf), 2004
- [31] Bluetooth SIG. Serial Port Profile, Bluetooth Specification Version 1.1. June,2003. 175-192P
- [32] 周立功等.USB 2.0 与 OTG 规范及开发指南.北京航空航天大学出版社,2004.195-222 页

## 致 谢

论文的即将完成代表着我研究生阶段即将告一段落，在这个毕生难忘的时刻，我首先向我的导师黄凤岗教授表示最诚挚的感谢。黄老师严谨的治学态度、积极进取的精神、广博的学识以及和蔼可亲的待人处事，都给我留下了深刻的印象。

感谢北京工业大学嵌入式软件与系统研究所给我提供了良好的科研和学习环境，感谢黄樟钦教授对我论文的指导。在研究所的学习中，不仅让我储备了丰富的专业领域知识、提高了科研能力，也增加了自身锻炼的机会。

其次，我还要真诚感谢研究所陈锐、张丽艳、郭瑞，感谢他们对我的指导、帮助和鼓励，在日常生活中对我的关心爱护，并且他们给我研究工作中提出的建议让我受益匪浅。感谢和我一起毕业的李靖、卢苓欣、王义兴、姬双峰、王志峰、刘亮亮、韩金玉、吕宗宝，是他们陪我渡过了这段特殊的岁月，并结下了深厚的友谊，让我研究生生活丰富充实。

我还要向我挚爱的父母表示感谢，感谢他们辛勤的工作，感谢他们对我最大的包容和最无私的关爱，感谢他们含辛茹苦地培养我，支持我完成学业。他们默默的支持是我不断前进、不断成长的支柱，是我完成论文和学业最大的动力。希望他们永远健康、幸福。

最后，谨向所有在百忙之中参加我的论文评审和答辩的老师致以崇高的敬意和衷心的感谢！

作者: [盛贺斌](#)  
学位授予单位: [哈尔滨工程大学](#)

## 相似文献(3条)

### 1. 学位论文 [张丽艳](#) [AmI环境下蓝牙感知系统及其协议设计与实现](#) 2007

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。

### 2. 期刊论文 [郭瑞](#), [黄樟钦](#), [侯义斌](#), [GUO Rui](#), [HUANG Zhangqin](#), [HOU Yibin](#) [基于蓝牙技术的环绕智能感知系统 - 计算机工程](#) 2007, 33(14)

提出了将蓝牙技术应用到环绕智能感知系统中,使系统能够快速感知用户的进入、离开和身份。制定了在环绕智能中的蓝牙感知策略,设计了蓝牙感知器和蓝牙适配器的软、硬件体系结构、通信规范,给出了实现的关键技术;解决了适配器与主机的接口通信问题;利用本方案实现了蓝牙感知器、蓝牙适配器,并应用到环绕智能中,实验结果表明系统运行稳定,感知速度快。

### 3. 学位论文 [卢苓欣](#) [环绕智能中感知实体及网络系统的研究与设计](#) 2008

环绕智能是欧洲信息社会咨询组对未来信息社会提出的新构想。它是一种智能化、人性化的电子环境,周围被嵌入式计算设备包围着。但在这种环境中,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,其目的是为用户提供智能化、个性化的服务,从而方便用户的生活和工作,提高人们的生活质量。环绕智能的主要特点之一就是为用户提供个性化的服务,而服务的提供需要感知用户的存在以及识别用户的身份和位置信息。因此实现环绕智能的前提就是设计一种能够无缝的感知用户身份和位置信息的感知网络。本文提出了一种基于蓝牙和802.11技术的无线感知网络系统。论文主要研究了如何利用蓝牙技术和802.11技术构建复杂感知网络系统,如何设计感知器和蓝牙无线接入点,如何基于用户身份和位置提供个性化服务。论文首先分析了环绕智能对感知网络系统的需求,提出了一种基于总线方式的感知网络系统,分析了该系统需解决的关键技术和存在的问题。之后引入802.11技术组建复杂无线感知网络体系结构。选择了合适的软硬件开发平台和开发方案,设计了蓝牙感知实体-蓝牙模块、感知器和蓝牙无线接入点。重点分析和研究了支持蓝牙和802.11协议的蓝牙无线接入点,提出了一些关键问题和解决办法,研究了网络系统中众多的节点设备间的连接通信管理。最后论文对环绕智能基于感知网络系统的身份和位置信息提供的个性化服务进行了探讨。在论文的最后,对论文所做的工作进行了总结,提出了需要进一步解决和研究的问题。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis\\_Y1436346.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1436346.aspx)

下载时间: 2010年1月20日