

学校编码: 10384
学号: 20051302418

分类号____密级____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

无线传感器网络多信道MAC协议MCMS的设计与实现

Design and Realization of a Multi-Channel MAC Protocol

MCMS in Wireless Sensor Networks

孙维明

指导教师姓名: 陈 辉 煌 教授
石 江 宏 博士

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2008 年 5 月

论文答辩时间: 2008 年 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 5 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版,有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅,有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索,有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密 (), 在年解密后适用本授权书。
2. 不保密 ()

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名: 日期: 年 月 日

导师签名: 日期: 年 月 日

摘 要

无线传感器网络是计算机科学领域一个新的研究热点,它在诸如地理探测、环境监测、国防军事、精细农业以及运输业、工业、商业等各个领域的广阔应用前景引起了学术界和工业界的高度重视。无线传感器网络的关键技术主要包括 MAC 协议、路由协议、低功耗技术、数据融合、网络管理、定位和安全等。其中,无线传感器网络的 MAC 协议直接控制物理层并向网络层提供服务,对传感器网络的性能有极大影响,是保证传感器网络高效通信的关键点和难点之一。本文主要针对无线传感器网络的 MAC 协议展开了研究。

本文通过深入研究 Ad hoc 网络和传感器网络中各种经典的单信道和多信道 MAC 协议,总结出了无线传感器网络的信道特征,并针对此特征设计了无线传感器网络的一种多信道 MAC 协议 MCMS (Multi-Channel MAC for Sensor networks)。该协议通过有效地融合动态信道分配机制、信道准预留机制、短帧机制和功率控制机制,在保证一定能量有效性的基础上,达到了降低网络的丢包率、提高网络吞吐量和提升抗干扰性能的目的。

本文首先回顾了传感器网络的研究背景、传感器网络的特征、应用领域、当前国内外研究现状和网络体系结构,随后,本文研究了传感器网络 MAC 协议面临的问题,并深入分析了一些经典的无线网络 MAC 协议特点。然后,在继承和改进多种经典协议的基础上,本文设计了针对无线传感器网络的多信道 MAC 协议 MCMS。最后,本文在 SCINs 实验平台上实现了 MCMS 协议,并通过大量实测试验验证了 MCMS 协议的性能。

分析结果和实测结果表明,与传统的单信道协议相比,多信道的 MAC 协议 MCMS 可以显著降低网络流量较大时的网络丢包率,提高流量较大时的网络吞吐量,并且能够很好的改善网络抗干扰性能。

关键词: 无线传感器网络; MAC 协议; 多信道

Abstract

Wireless Sensor Network (WSN) is a new research area of computer science and technology. As it has a wide application future in geophysical monitoring, precision agriculture, habitat monitoring, transportation, military systems and business processes, both academia and industries are very interested in it. Research of WSNs communication protocols includes medium access control (MAC) protocols, routing protocols, energy efficiency, data fusion and so on. MAC protocols control physical layer (PHY) and provide reliable services directly to network layer, so it is one of the key technologies of WSNs and have a great influence on WSNs performance .

Through in-depth study single-channel and multi-channel MAC protocols of general Ad hoc network, we abstract a channel model of wireless sensor networks, and against this model, a multi-channel MAC protocol MCMS was designed for WSNs in this dissertation. MCMS integrated use dynamic channels assign mechanism, soft reserve mechanism, short frame mechanism and power control mechanism, to ensure a certain energy effectiveness, and reduce network packet loss, improve the network throughput and anti-jamming performance.

Firstly, the dissertation introduced reserch backgrounds, characteristics, application areas of WSNs and structure of WSNs. Secondly, the dissertation discussed existing MAC protocols and keys of MAC protocols. Then a new multi-channel MAC protocol named MCMS for WSN was designed. Thirdly, MCMS was implemented and tested in SCINs platform which is developed by our project team. Finally, the dissertation draws a conclusion by summarizing the research and presenting direction for future work.

Results of tests show that compared with classical single-channel MAC protocols, the multi-channel MAC protocols MCMS can effectively decrease packet loss, improve mean throughput and anti-jamming performance of WSNs.

Keywords: wireless sensor network; MAC protocol; multi-channel.

目 录

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 摘 要..... | I |
| ABSTRACT | II |
| 目 录..... | III |
| CONTENTS..... | VI |
| 第 1 章 绪 论..... | 1 |
| 1.1 无线传感器网络概述..... | 1 |
| 1.1.1 无线传感器网络研究背景..... | 1 |
| 1.1.2 无线传感器网络的特征..... | 1 |
| 1.1.3 传感器网络的应用领域..... | 2 |
| 1.1.4 国内外研究现状..... | 4 |
| 1.2 无线传感器网络的体系结构..... | 5 |
| 1.2.1 无线传感器网络节点硬件结构..... | 6 |
| 1.2.2 通信协议栈..... | 7 |
| 1.3 无线传感器网络的关键技术和应用支撑技术..... | 9 |
| 1.3.1 传感器网络的关键技术..... | 9 |
| 1.3.2 传感器网络应用支撑技术..... | 10 |
| 1.4 论文的研究目的和意义..... | 10 |
| 1.5 论文主要内容和结构安排..... | 11 |
| 第 2 章 无线传感器网络 MAC 协议综述..... | 13 |
| 2.1 MAC 协议面临的问题..... | 13 |
| 2.1.1 功耗管理..... | 13 |
| 2.1.2 干扰问题..... | 15 |
| 2.1.3 可扩展性..... | 16 |
| 2.1.4 接入公平性..... | 16 |
| 2.1.5 分组的延迟..... | 16 |
| 2.1.6 吞吐量..... | 16 |
| 2.2 MAC 协议的分类..... | 17 |
| 2.3 典型的 MAC 协议分析..... | 17 |
| 2.3.1 典型的 WSN 单信道 MAC 协议..... | 17 |
| 2.3.2 典型的多信道 MAC 协议..... | 22 |
| 2.4 本章小结..... | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 第 3 章 多信道 MAC 协议 MCMS 的设计 | 27 |
| 3.1 功率控制技术原理 | 27 |
| 3.2 MCMS 的信道分配和媒体接入方法 | 29 |
| 3.2.1 信道划分方法..... | 29 |
| 3.2.2 MCMS 的信道分配和媒体接入策略..... | 29 |
| 3.2.3 MCMS 的多信道虚拟侦听..... | 30 |
| 3.2.4 MCMS 的信道列表和邻节点表..... | 31 |
| 3.2.5 MCMS 信道表过期出错及解决办法..... | 33 |
| 3.3 MAC 帧报文结构 | 33 |
| 3.3.1 帧控制字段 (Frame control) | 34 |
| 3.3.2 帧序列号字段 (Sequence number field) | 35 |
| 3.3.3 帧负载字段 (Frame payload field) | 36 |
| 3.3.4 帧校验序列字段 (FCS field) | 36 |
| 3.4 MCMS 的信道预约和数据发送的方式与流程 | 36 |
| 3.4.1 MCMS 的信道预约和数据发送..... | 36 |
| 3.4.2 MCMS 数据传输结束后各节点动作..... | 43 |
| 3.5 控制信道路由广播 | 43 |
| 3.6 MCMS 的变频抗干扰策略 | 43 |
| 3.7 本章小结 | 44 |
| 第 4 章 MCMS 协议的实验平台与编程实现 | 45 |
| 4.1 实验系统硬件平台 SCINs | 45 |
| 4.1.1 硬件平台设计原理..... | 45 |
| 4.2 基于 SCINs 平台的 MCMS 协议实现 | 48 |
| 4.2.1 部分重要数据结构..... | 49 |
| 4.2.2 MAC 层接口函数..... | 49 |
| 4.2.3 三次握手实现..... | 50 |
| 4.2.4 短帧发送与接收..... | 51 |
| 4.3 SCINs 后台监控管理平台 | 51 |
| 4.4 本章小结 | 52 |
| 第 5 章 MCMS 协议的实测试验 | 53 |
| 5.1 实测设备和实测环境 | 53 |
| 5.1.1 硬件设备..... | 53 |
| 5.1.2 软件设备..... | 53 |
| 5.2 实测约定 | 54 |
| 5.3 丢包率实测 | 54 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 5.3.1 点对多点的通信丢包率测试..... | 54 |
| 5.3.2 多点对多点丢包率实测..... | 56 |
| 5.4 多点对多点分组到达率测试..... | 57 |
| 5.5 抗干扰实测..... | 58 |
| 5.6 本章小结..... | 59 |
| 第 6 章 总结与展望 | 60 |
| 6.1 论文的总结..... | 60 |
| 6.2 后续工作展望..... | 61 |
| 参考文献..... | 63 |
| 致 谢..... | 68 |
| 攻读硕士学位期间发表的论文及所做工作 | 69 |

Contents

| | |
|---|------------|
| ABSTRACT IN CHINESE..... | I |
| ABSTRACT IN ENGLISH | II |
| CONTENTS IN CHINESE | III |
| CONTENTS IN ENGLISH | VI |
| CHAPTER 1 PREFACE | 1 |
| 1.1 WSN SURVEY | 1 |
| 1.1.1 WSN Research Background | 1 |
| 1.1.2 Characteristics of WSN | 1 |
| 1.1.3 Application Areas of WSN | 2 |
| 1.1.4 Resarch Status at Home and Abroad of WSN | 4 |
| 1.2 STRUCTURE OF WSN | 5 |
| 1.2.1 Structure of WSN Nodes | 6 |
| 1.2.2 Communication Protocol Stack of WSN..... | 7 |
| 1.3 KEY TECHNOLOGY AND SUPPORT TECHNOLOGY OF WSN | 9 |
| 1.3.1 Key technology of WSN..... | 9 |
| 1.3.2 Support technology of WSN..... | 10 |
| 1.4 PURPOSE AND MEANING OF DISSERTATION..... | 10 |
| 1.5 DISSERTATION STRUCTURE..... | 11 |
| CHAPTER 2 MAC PROTOCOL RESEARCH IN WSN | 13 |
| 2.1 PROBLEMS MAC PROTOCOL FACING | 13 |
| 2.1.1 Energy Management | 13 |
| 2.1.2 Interference | 15 |
| 2.1.3 Scalability | 16 |
| 2.1.4 MAC Fairness..... | 16 |
| 2.1.5 Delay of Packet..... | 16 |
| 2.1.6 Throughput | 16 |
| 2.2 CATEGORIES OF MAC PROTOCOLS | 17 |
| 2.3 ANALYSIS OF TYPICAL MAC PROTOCOL | 17 |
| 2.3.1 Typical Single-Channel MAC Protocol..... | 17 |
| 2.3.2 Typical Multi-Channel MAC Protocol | 22 |
| 2.4 SUMMARY OF THIS CHAPTER | 26 |

| | |
|---|-----------|
| CHAPTER 3 DESIGN OF MCMS | 27 |
| 3.1 PRINCIPLE OF POWER CONTROL..... | 27 |
| 3.2 CHANNEL ASSIGNMENT AND MEDIA ACCESS STRATEGY OF MCMS..... | 29 |
| 3.2.1 Modes of Channel Division..... | 29 |
| 3.2.2 Channel Assignment and media access Strategy of MCMS..... | 29 |
| 3.2.3 Multi-Channel Virtual Listen Mechanism of MCMS..... | 30 |
| 3.2.4 Channel List and Neighbor List of MCMS | 31 |
| 3.2.5 Channel List Expired and Solution of MCMS | 33 |
| 3.3 MAC FRAME STRUCTURE..... | 33 |
| 3.3.1 Frame control..... | 34 |
| 3.3.2 Sequence number field | 35 |
| 3.3.3 Frame payload field | 36 |
| 3.3.4 FCS field..... | 36 |
| 3.4 CHANNEL RESERVATION AND DATA TRANSMISSION PROCESS OF MCMS..... | 36 |
| 3.4.1 Channel Reservation and Data Transmission | 36 |
| 3.4.2 Action of Nodes After Transmission | 43 |
| 3.5 BROADCAST OF ROUTING MESSAGE | 43 |
| 3.6 FREQUENCY-HOPPING AND ANTI-JAMMING STRATEGY OF MCMS | 43 |
| 3.7 SUMMARY OF THIS CHAPTER | 44 |
| CHAPTER 4 PLATFORM AND REALIZATION OF MCMS..... | 45 |
| 4.1 SCINS EXPERIMENT PLATFORM | 45 |
| 4.1.1 Principle of Hardware Experiment Platform | 45 |
| 4.2 REALIZATION OF MCMS IN C LANGUAGE ON SCINS PLATFORM | 48 |
| 4.2.1 Some Important Data Structure of MCMS | 49 |
| 4.2.2 MAC Layer Function Interface | 49 |
| 4.2.3 Three Handshakes..... | 50 |
| 4.2.4 Receive and Transmission of Short Frame | 51 |
| 4.3 SUPERVISORY AND MANAGEMENT PLATFORM OF SCINS | 51 |
| 4.4 SUMMARY OF THIS CHAPTER | 52 |
| CHAPTER 5 TESTS OF MCMS MAC PROTOCOL | 53 |
| 5.1 EXPERIMENTAL EQUIPMENT AND EXPERIMENTAL ENVIRONMENT | 53 |
| 5.1.1 Hardware Equipment | 53 |
| 5.1.2 Software Equipment | 53 |
| 5.2 AGREEMENT IN TESTS..... | 54 |
| 5.3 TESTS OF PACKET LOSS RATE PERFORMANCE..... | 54 |

| | |
|---|-----------|
| 5.3.1 Packet Loss Rate in One to Many Communication Mode | 54 |
| 5.3.2 Packet Loss Rate in Many to Many Communication Mode | 56 |
| 5.4 PACKET ARRIVAL RATE IN MANY TO MANY COMMUNICATION MODE | 57 |
| 5.5 TESTS OF ANTI-JAMMING PERFORMANCE | 58 |
| 5.6 SUMMARY OF THIS CHAPTER..... | 59 |
| CHAPTER 6 CONCLUSION AND PROSPECT | 60 |
| 6.1 CONCLUSION..... | 60 |
| 6.2 PROSPECT | 61 |
| REFERENCE | 63 |
| ACKNOWLEDGEMENT..... | 68 |
| PUBLISHED PAPER AND RESEARCH DURING PURSUING MASTER | |
| DEGREE..... | 69 |

第 1 章 绪 论

1.1 无线传感器网络概述

1.1.1 无线传感器网络研究背景

随着无线通信网络、集成电路、分布式处理、传感器以及微电子制造等技术的飞速发展和日益成熟，低成本、低功耗、多功能的微型传感器的大量生产已成为可能，传感信息的获取也开始从过去的单一化逐渐向微型化、集成化和网络化的方向发展。在这种背景下，无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）顺势而生。WSN 是由部署在监测区域内大量的微型传感器节点通过多跳的自组织无线通信方式构成的一个网络系统，它能够协作地感知、采集和处理网络覆盖区域内监测对象的信息，并以自组织多跳的方式将信息传送到用户终端，从而实现物理世界、计算世界以及人类社会三元世界的连通^{[1][2]}。

无线传感器网络借助于传感器节点中内置的形式多样的传感器检测所在周边环境中的热、红外线、声纳、雷达和地震波信号，从而探测包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等众多人类感兴趣物理现象^[3]。传感器网络节点之间具有良好协作性，通过局部的信息交换来完成全局任务。由于传感器网络的节能要求，多跳对等的通信方式较之传统单跳、主从通信方式能更好的克服无线信号传播过程中遇到的信道衰落和干扰等各种问题。通过网关，无线传感器网络还可以连接到现有的网络基础设施上（如 Internet、GPRS 等），从而将采集到的信息传送给远程的用户^[4]。

无线传感器网络是多学科高度交叉、新兴前沿的一个热点研究领域。它的出现引起了全世界的广泛关注，美国商业周刊和 MIT 技术评论在预测未来技术发展的报告中，分别将无线传感器网络列为“21 世纪最有影响的 21 项技术”和“改变世界的 10 大技术之一”^[5]。如果说 Internet 构成了逻辑上的信息世界，改变了人与人之间的沟通方式，那么无线传感器网络就是将逻辑上的信息世界与客观上的物理世界融合在一起，改变人与自然的交互方式^[6]。在不久的将来，人们将通过遍布在周围的传感器网络直接感知物理世界，从而极大地扩展网络的功能和人类认识世界的能力。

1.1.2 无线传感器网络的特征

无线传感器网络是一种特殊的无线自组织网络（Ad hoc）。无线自组网是由若干采用无线通信的节点动态形成的一个多跳对等网络，它可以不依赖于任何基础设施而运行。作

为一种特殊的无线自组网，无线传感器网络有着很多与一般自组网相同的特点^[4]：

1. 分布式。自组织的网络没有控制中心，所有节点采用对等方式通信，没有主从关系。节点可以随时加入或离开网络，单个节点的故障不影响网络的运行。

2. 自组织。通常网络所处的环境不可预测，很多突发事件也无法控制，所以自组网的节点都具有自组织的功能，不需人工干预和其它预设的网络设施，节点也可以在任何时间和任何地点快速自动组网并开展业务。

3. 拓扑动态变化。新节点的加入或旧节点的退出、无线信道的干扰、电池能量的耗尽等各种各样的事件都可能会影响网络的拓扑，对于这种随时可能发生的环境变化，自组织网络都能够及时的作出调整并适应这种变化。

4. 多跳路由。由于节点发射功率有限，如果想与其覆盖范围之外的节点通信，需要在两个节点之间放置一个中继节点。自组网中，任何一个普通节点都可以担当中继节点。

由于与通常的无线自组网有着不同应用领域和使用限制，无线传感器网络还有着自己独有特征：

1. 网络规模大、密度高。由于一般覆盖区域的面积较大，所以通常无线传感器网络包含的节点数量较大；为了稳定、完整的获取监测对象信息，无线传感器网络还要部署大量冗余节点。

2. 节点硬件性能受限。由于成本和节点体积等的限制，传感器节点的 CPU 处理能力、存储能力和无线通信能力等都十分有限。

3. 节点能量受限。由于节点体积和成本受限，难以配备大容量电池，而且由于室外环境下无法经常更换电池，所以传感器节点的能量限制是其关键约束之一。

4. 以数据为中心。无线传感器网络是任务型的网络，人们通常并不关心单个节点的数据，而是关心所监测区域的数据。而且由于硬件性能和能量受限，无线传感器网络通常用于传输对延时要求不甚严格的数据信息，而不是用于传输话音等实时信号。

1.1.3 传感器网络的应用领域

早在上世纪 70 年代，就出现了将传统传感器采用点对点传输、连接传感控制器而构成传感器网络雏形，我们把它归之为第一代传感器网络。随着相关学科的的不断发展和进步，传感器网络同时还具有了获取多种信息信号的综合处理能力，并通过与传感控制器的相联，组成了有信息综合和处理能力的传感器网络，这是第二代传感器网络。而从上世纪末开始，现场总线技术开始应用于传感器网络，人们用其组建智能化传感器网络，这是第

三代传感器网络^[7]。

为了满足大范围、长时间和低成本的获取环境对象信息的要求，目前无线通信组网技术开始用于传感器网络。大量的具有多功能多信息信号获取能力的传感器节点，采用自组织方式组成无线网络，形成区域覆盖，便形成了第四代传感器网络——无线传感器网络。

无线传感器网络是新一代的传感器网络，具有非常广泛的应用前景，它的典型应用领域有：

1. 军事领域。无线传感器网络具有可快速部署、自组织、隐蔽性强和低功耗的特点，因此非常适合在军事上应用。利用无线传感器网络能够实现对敌军兵力和装备的监控、战场的实时监控、目标的定位、战场评估、核攻击和生物化学攻击的监测和搜索等功能。目前国际许多机构的课题都是以战场需求为背景展开的。例如，美军开展的 C4KISR 计划、Smart Sensor Web、灵巧传感器网络通信、无人值守地面传感器群、传感器组网系统和网状传感器系统 CEC 等。

2. 环境监测。无线传感器网络可用于气象研究、地理研究、洪水监测、海洋监测、大面积的地表监测等。比如，加州大学柏克利分校 Intel 实验室研究人员曾在缅因州“大鸭岛”上部署了含有温湿度、光照、气压、红外、摄像头等 10 余种传感器的无线传感器网络，用来监测一种海燕巢的生活习性。澳洲的科学家曾利用无线传感器网络来探测北澳大利亚蟾蜍的叫声以研究蟾蜍的分布情况。夏威夷大学在夏威夷火山国家公园内铺设传感器网络，来监测那些濒临灭种的植物所在地的微小气候变化。

3. 工业领域。传感器网络可用于危险的工作环境，在煤矿、石油钻井、核电厂和组装线工作的员工将可以得到随时监控。这些传感器网络可以告诉工作现场有哪些员工、他们在做什么，以及他们的安全保障等重要信息。在相关的工厂每个排放口安装相应的无线节点，可以实现对工厂废水、废气污染物的监测、样本的采集、分析和流量测定。

4. 医疗监护。无线传感器网络在检测人体生理数据、老年人健康状况、医院药品管理以及远程医疗等方面可以发挥出色的作用。在病人身上安置体温采集、呼吸、血压等测量传感器，医生可以远程了解病人的情况。利用传感器网络长时间收集人的生理数据，可以改进新药品并提高研制效率。

5. 智能家居。无线传感器网络可以将住宅中各种家居设备联系起来，使它们能够自动运行，相互协作，为居住者提供尽可能多的便利和舒适。在家电和家具中嵌入传感器节点，通过无线网络与 Internet 连接在一起，可完成对家电的远程遥控。例如可以在回家之前半小时打开空调，这样无论是在炎热的夏天还是寒冷的冬天，都能在回家的时候直接享

受合适的室温，也可以遥控电饭锅、微波炉、电冰箱、电话机、电视机等家电，按照自己的意愿完成相应的煮饭、烧菜、查收电话留言等工作，达到随时随地与家庭成员建立联系的目的。

此外，无线传感器网络在太空探索、仓储物流管理、大型工程项目、防范大型灾害和交通运输管理等方面也有着良好的应用前景。随着技术的发展和成本的降低，相信它一定会越来越多的应用到社会生活的各个方面。

1.1.4 国内外研究现状

无线传感器网络起源于美国军方的作战需求。1978年DARPA在卡耐基—梅隆大学成立了分布式传感器网络工作组，以满足军方侦察系统需求。此后，DAPRA又联合NSF开展了多项无线传感器网络研究项目，从而拉开了WSN研究的序幕。20世纪90年代中后期以后，无线传感器网络引起了学术界、军界和工业界的极大关注，特别是美国和欧洲的发达国家，通过国家自然科学基金、国防部等多种渠道投入了巨资支持该项技术的研究。IEEE目前也正在努力推进无线传感器网络的研究和应用，美国波士顿大学(Boston Unversity)、BP、霍尼韦尔(Honeywell)等知名企业和研究机构近期还创办了传感器网络协会(Sensor Network Consortium)，以促进传感器网络技术的开发。国外这些知名研究机构的典型研究项目包括：

1. Smart Dust

Smart Dust是由美国DARPA/MTO MEMS资助，由U. C. Berkeley大学研发的项目。其目的是结合MEMS技术和集成电路技术，研制体积不超过 1mm^3 ，使用太阳能电池，具有光通信能力的自治传感器节点。由于体积小，重量轻，该节点可以附着在其它物体上，甚至在空气中浮动。

2. SensorIT

DARPA在1998年开展了名为SensorIT的研究计划。该计划针对战场高度动态的环境，建立快速进行任务分配和查询的反应式网络系统，利用无线传感器网络的协作信息处理技术发挥战场网络化观测的优势。

3. WINS

在DAPRA资助下，美国加州大学洛杉矶分校与洛克维尔研究中心共同设立了WINS (Wireless Integrated Netwok Sensors) 项目。该项目始于1996年，它结合了微机电技术、嵌入式技术、无线通信技术和信号处理等技术，构造规模庞大、技术复杂的集成无线传感

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库