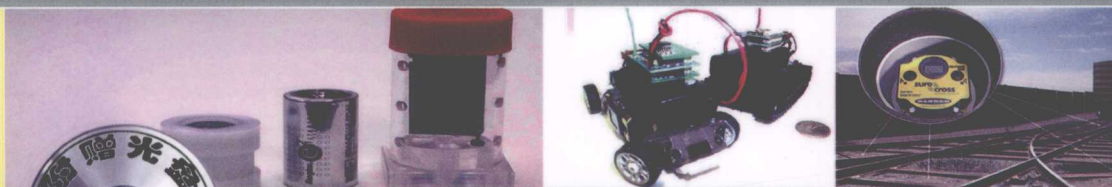




无线传感器网络技术 与工程应用

杜晓通 等著



TD049



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

无线传感器网络技术 与工程应用

杜晓通 等 著



机械工业出版社

本书比较全面地论述了无线传感器网络所涉及的关键技术,包括无线传感器网络的概念、特点和节点的开发等。全书共分为10章,内容包括无线传感器的概念、通信协议、定位与信息处理、开发无线传感器节点所涉及的理论基础、软件、硬件设计原理和实现方法以及应用无线传感器网络的实际工程案例。附录中给出了作者自行开发的微代码的操作系统——PIC18系列微处理网络版操作系统。在本书配套的光盘中给出了作者自主开发的实时操作系统和应用操作系统的12个实例代码,以帮助读者更好地开发自己的无线传感器网络产品和工程应用。

本书主要适合从事无线传感器网络领域工作,特别是产品开发和工程应用的读者,也可作为计算机、电子、自动化和通信等专业的本科生和研究生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络技术与工程应用/杜晓通等著. —北京:
机械工业出版社, 2010. 2

ISBN 978 - 7 - 111 - 29287 - 6

I. 无… II. 杜… III. 无线电通信 - 传感器 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字:(2009)第231611号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:舒雯 责任编辑:舒雯 李亚斌

版式设计:霍永明 责任校对:吴美英

责任印制:乔宇

北京京丰印刷厂印刷

2010年3月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·17印张·367千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 29287 - 6

ISBN 978 - 7 - 89451 - 345 - 8 (光盘)

定价:33.00元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）是继互联网之后，又一重大的影响人类生活方式的热点技术。它的出现将改变人与自然交互的方式，使信息世界与真实物理世界更紧密地融合在一起。

由于无线传感器网络具备的巨大潜力，吸引了众多研究者从事无线传感器网络技术与开发工作。在无线传感器网络技术出现之前，人们已经对不同类型的有线、无线网络进行了深入的研究，但由于无线传感器网络低功耗、低成本、自组织、自适应、无人职守等特点，导致无线传感器网络与当前成熟的有线、无线网络相比无论是在通信协议还是工程应用方面都有很大的不同。为了使无线传感器网络真正为人类服务，必须进行工业化的节点生产和大规模的工程应用，这需要更多的人掌握无线传感器网络技术，才能把对无线传感器网络的憧憬变为现实。

无线传感器网络节点是构成无线传感器网络的基础，无线传感器网络的所有工作都是由节点完成的。节点虽小，但需要掌握的知识却非常广。既有中、低频的传统嵌入式设计，又有高频的射频电路；既要有一般的数据采集与控制软件，又要有自组网、路由、标准链路等复杂的软件设计。由于学校专业设置问题，几乎没有一个专业能够覆盖无线传感器网络节点所涉及的技术，因此对于希望自行开发无线传感器网络节点、针对特定工程应用进行开发的读者来讲，利用无线传感器网络节点通用设计技术，充分发挥自身的技术优势，以获得更有效的工程应用是其非常盼望的事情。

本书立足工程应用，在强调无线传感器网络理论的同时，更多地突出了无线传感器网络的应用和开发，特别是无线传感器网络节点的软硬件的开发，在介绍通用软硬件设计的前提下，针对不同应用给出了精简的设计思想。

作者在实际工作中发现操作系统对无线传感器网络技术成熟可靠的应用非常重要。通过操作系统可以将开发成熟的软件变为固件，当新功能开发出来后，通过添加任务的方式扩展固件，对原有的固件几乎不需要更改，这样就使合作开发成为可能，大大降低了无线传感器网络系统的开发难度，也极大方便了无线传感器网络功能的升级和完善。本书在附录中给出了作者自行开发的微代码的操作系统——PIC18系列微处理器网络版操作系统，希望能给读者提供些帮助。

全书共分10章。第1章介绍无线传感器网络的发展历史和相关的基本概念。第2章介绍了IEEE 802.15.4协议的内容。第3章介绍了ZigBee协议的内容。虽然作者认为这个协议过于庞大，并不十分适合无线传感器网络的很多应用，但是

这个协议的设计思想还是很有借鉴意义。第4章介绍了无线传感器网络常用的定位和网络内信息处理的理论,为从事理论研究的读者提供了比较成熟的可以直接应用的理论成果。第5章介绍了无线传感器网络节点一般必备的软件和设计思想,并给出了一些程序实例。第6章介绍了射频传输的基础知识,考虑到读者的知识背景,这一章重点讲述了开发节点时必须了解的知识,尽量减少公式等大量数学推导。第7章介绍了设计节点硬件时的注意要点,特别是设计印制电路板(PCB)射频电路时的关键点。第8章至第10章介绍了作者实施的几个无线传感器网络工程案例。附录介绍了作者开发的实时操作系统。在本书配套的光盘中给出了作者自主开发的实时操作系统和12个实例代码。

本书第4章主要由杰出青年科学家获得者——泰山学者山东大学张涣水教授、王雷博士共同完成,其他各章主要由杜晓通完成。本书的编写还得到了山东自动化学会理事长山东大学校长助理贾磊教授、山东大学青年齐鲁学者陈冬岩教授的大力支持。此外艾茂良、张娜、赵洪飞、李丽平、田德利等研究生为本书的完成也付出辛勤劳动,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加之作者知识面的局限,书中内容难免有误,敬请读者批评指正。

作者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 传感器技术的发展	2
1.2.1 微型化	2
1.2.2 智能化	3
1.2.3 多功能传感器	4
1.3 无线传感器网络的应用	5
1.3.1 军事领域	5
1.3.2 环境监测	6
1.3.3 医疗健康监测	6
1.3.4 建筑物监测及城市管理	6
1.3.5 智能交通	6
1.3.6 药品管理和卫生保健	7
1.4 无线传感器网络研究热点问题和关键技术	7
1.5 几种无线网络	9
1.6 关于无线传感器网络的开发.....	10
第 2 章 IEEE 802.15.4 协议	13
2.1 IEEE 802.15.4 的主要特点	13
2.2 IEEE 802.15.4 的物理层	15
2.2.1 物理层服务规范.....	16
2.2.2 物理层协议数据单元格式.....	17
2.3 IEEE 802.15.4 的 MAC 层	19
2.3.1 MAC 帧的结构	19
2.3.2 MAC 帧的分类	22
2.4 MAC 层完成的基本服务	31
2.4.1 MAC 层数据服务	31
2.4.2 MAC 层管理服务	32
第 3 章 ZigBee 协议介绍	34
3.1 概述.....	34
3.2 应用层规范.....	37
3.2.1 ZigBee 应用支持子层.....	39
3.2.2 应用支持子层的管理实体.....	39
3.2.3 APS 数据服务.....	40

3.2.4	APS 管理服务	42
3.2.5	APS 的帧格式	46
3.2.6	特殊帧类型格式	49
3.3	APS 常数和 PIB 属性	50
3.3.1	APS 常数	50
3.3.2	APS 信息数据库	51
3.4	网络层	51
3.4.1	网络层帧格式	53
3.4.2	网络层常量和 NIB 属性	60
3.5	ZigBee 的网络建立过程	64
第 4 章	WSN 定位与信息处理	67
4.1	节点定位技术	67
4.1.1	概述	67
4.1.2	定位算法的分类	68
4.1.3	测距方法的分类	69
4.2	计算节点位置的算法	70
4.3	IEEE 802.15.4 的定位思路	77
4.4	网络控制系统的控制方法	79
4.4.1	变时滞网络控制系统	79
4.4.2	数据丢失网络控制系统	81
4.4.3	带宽有限网络控制系统	82
4.5	无线传感器网络信号估计	84
4.5.1	不可靠网络中的估计问题	85
4.5.2	信息丢失系统	87
4.5.3	基于量化数据的估计问题	89
第 5 章	无线传感器网络系统应用软件	92
5.1	无线传感器网络的操作系统	92
5.2	自主知识产权的 WSN 操作系统 wsnRTOS	100
5.2.1	操作系统结构设计简介	102
5.2.2	操作系统的特点	105
5.3	射频通信与控制软件	108
5.3.1	SPI 通信设计	108
5.3.2	CC2500 的控制软件功能	109
5.4	网关软件的设计	114
第 6 章	无线传感器网络的无线传输理论基础	122
6.1	天线基础知识	122
6.1.1	天线的方向性	122
6.1.2	天线的极化	124
6.1.3	自由空间通信距离方程	125

6.2 阻抗	127
6.2.1 阻抗的重要意义	127
6.2.2 无相移的最大传输功率	128
6.2.3 天线的阻抗与频带宽度	129
6.2.4 传输线与匹配网络	133
6.3 WSN 系统的天线设计	134
6.3.1 微带天线的定义和结构	135
6.3.2 PCB 天线设计	135
6.3.3 1/4 波长单极天线	138
6.3.4 PCB 天线的匹配	142
6.4 数字通信的编解码	143
6.4.1 数字通信中的编码	143
6.4.2 译码和误比特率	144
6.4.3 纠错方案	145
第7章 无线传感器网络硬件	147
7.1 无线传感器网络硬件设计通用规则	147
7.2 接地设计	148
7.2.1 电容电感的接地	149
7.2.2 微带接地	151
7.3 无线传感器网络通用硬件设计	155
7.3.1 通用 I/O 的设计	155
7.3.2 A/D 外围电路的设计	155
7.3.3 振荡电路的设计	156
7.3.4 CPU 外围电路的设计	157
7.4 无线传感器网络的功耗设计	162
7.4.1 无线传感器网络单节点功耗分析及低功耗设计	162
7.4.2 无线传感器网络传感器节点低功耗设计	164
7.4.3 无线传感器网络各层低功耗设计	166
第8章 无线传感器网络在油井监测系统中的应用	169
8.1 背景及意义	169
8.2 系统设计	170
8.2.1 需求分析	170
8.2.2 系统设计原则和思想	171
8.2.3 系统结构设计	172
8.3 传感器节点设计	173
8.3.1 低功耗设计	173
8.3.2 传感器节点硬件设计	175
8.3.3 传感器节点软件设计	176
8.4 汇聚节点设计	179

8.4.1 嵌入式操作系统	179
8.4.2 汇聚节点硬件设计	180
8.4.3 汇聚节点软件设计	183
8.5 管理节点	187
8.5.1 数据库服务器管理软件	187
8.5.2 系统设计实例	188
第9章 无线传感器网络系统在路灯节能中的应用	193
9.1 概述	193
9.2 路灯节能中无线传感器网络的设计技术	195
9.2.1 系统的硬件设计	197
9.2.2 系统的软件设计	199
第10章 无线传感器网络其他应用举例	219
10.1 无线传感器网络与能量管理系统	219
10.1.1 我国建筑能耗现状	219
10.1.2 建筑物能量管理系统的构成	220
10.1.3 无线传感器网络在能量管理系统中的应用	222
10.2 无线传感器网络在家庭安防中的应用	232
10.2.1 传统家居安防监控系统的组成	232
10.2.2 智能家居安防监控系统原理	233
10.2.3 无线传感器网络在智能家居安防监控系统中的实现	235
附录 PIC18 系列微处理器网络版操作系统	238
参考文献	255

第1章 绪论

1.1 引言

在信息化社会，几乎没有任何一种科学技术的发展和能够离得开传感器和信号探测技术的支持。生活在信息时代的人们，绝大部分的日常生活与信息资源的开发、采集、传送和处理息息相关。分析当前信息与技术的发展状态，21世纪的先进传感器必须具备小型化、智能化、多功能化和网络化等优良特征，无线传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN）则集中体现了先进传感器的这些优良特征。

无线传感器网络是集分布式信息采集、信息传输和信息处理技术于一体的网络信息系统，被誉为继个人电脑、计算机网络及无线通信之后，IT技术的“第四次工业革命”。在研究上，我国与国际基本同步。

无线传感器网络是现代传感器技术、微机电系统（Micro Electro Mechanical System, MEMS）、通信技术、嵌入式计算技术和分布式信息处理技术等综合交叉起来的一个研究领域。无线传感器网络可以对感兴趣的区域进行实时监测并对有关信息进行处理，是多学科高度交叉的新兴研究热点。传感器网络综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术、分布式信息处理技术等，能够通过各类集成化的微型传感器的协作进行实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息，通过嵌入式系统对信息进行处理，并通过随机自组织无线通信网络，以多跳中继方式将所感知信息传送到用户终端，从而真正实现“无处不在的计算”的理念。传感器网络的研究采用系统发展模式，因而必须将现代先进的微电子技术、微细加工技术、系统芯片设计技术（System-On-Chip, SOC）、纳米材料与技术、现代信息通信技术、计算机网络技术等融合，以实现其微型化、集成化、多功能化及系统化、网络化，特别是实现传感器网络特有的超低功耗系统设计。

无线传感器网络的研究起源于20世纪70年代，是从军事领域研究开始的，之后，DARPA（美国国防部高级研究计划局）的分布式传感器网络项目开启了现代传感器网络研究的先河。项目的最初设想是通过布撒的传感器之间的相互协作将所需要的信息传送到要处理的节点。经过MIT（麻省理工学院）等大学的研究人员共同努力，项目在信号处理等方面取得了一定的进展。20世纪80到90年代传感器网络的研究仍集中在军事领域。1999年9月美国《商业周刊》将无线传感器网络列为“21世纪最重要的21项技术”之一，该刊还预测无线传感器网络和其他三项信息技术将会在不远的将来掀起新的产业浪潮。2003年2月美国《技术评论》杂志评选出“对人类未来生活产生深远影响的十大新技术”，无线传感器网络被列为首位。在一份有关

我国未来 20 年预见技术的调查报告中, 信息领域 157 项技术课题中有 7 项与传感器网络直接相关。2006 年初发表的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》为信息领域确定了三个前沿方向, 其中两个与无线传感器网络的研究直接相关, 这两个方向分别是: 智能感知技术和自组织网络技术。因此可以看出我国对无线传感器网络的重视程度。

现代社会无线通信和电子技术得到了飞速的发展, 而无线传感器网络又是一个交叉学科, 囊括了计算机、微电子、传感器、网络、通信和信号处理等诸多领域的技术和理论。同时, 低花费、低功耗和多功能传感器网络的开发受到越来越广泛的关注。无线传感器网络是用来感知周围状况的, 它是由布撒的廉价节点通过协同处理来完成信息的采集处理与传输, 这本身就决定了无线传感器网络具有如下的特点: 自组织、短距离、多跳路由、节点密布、协作感知、网络拓扑变化、能量有限、存储空间和计算能力有限等。正是由于这些特点, 使得它不同于以往的 Ad hoc (自组织) 网络和无线宽带网络。适用于以往网络的网络协议或路由等不完全适用于无线传感器网络。随着研究的逐步深入, 人们逐渐看到无线传感器网络的优势, 同时, 各个领域的研究也在逐步地拓宽, 对无线传感器网络的认识也越来越清晰。

无线传感器网络有着十分广泛的应用前景, 它不仅在工业、农业、军事、环境、医疗等传统领域具有巨大的应用价值, 在未来还将在许多领域体现其优越性, 如家庭、保健、交通等领域。我们可以大胆地预见, 将来无线传感器网络将无处不在, 将完全融入我们的生活。比如, 最终可能将家用电器、个人电脑和其他日常用品同互联网相连, 实现远距离跟踪; 家庭采用无线传感器网络负责安全调控、节电等。无线传感器网络将是未来的一个无孔不入的十分庞大的网络, 其应用可以涉及人类日常生活和社会生产活动的所有领域。但是, 我们还应该清楚地认识到, 无线传感器网络才刚刚开始发展, 它的技术、应用都还远远谈不上成熟, 国内企业应该抓住商机, 加大投入力度, 推动整个行业的发展。

无线传感器网络是新兴的通信应用网络, 需要各种技术支撑。目前, 成熟的通信技术都可能经过适当的改进和进一步发展, 应用到无线传感器网络中, 形成新的市场增长点, 创造无线通信的新天地。

1.2 传感器技术的发展

无线传感器网络除了得益于信息技术的发展外, 还得益于传感器技术本身的发展。与传统传感器相比, 现代传感器已呈现出了微型化和智能化的特点。正是这些传感器技术的出现, 才使得传感器能够与网络技术相结合, 成为技术发展的热点。

1.2.1 微型化

为了能够与信息时代信息量激增、要求捕获和处理信息的能力日益增强的技术发展趋势保持一致, 对于传感器性能指标 (包括精确性、可靠性、灵敏性等) 的要求

越来越严格；与此同时，传感器系统的操作友好性也被提上了议事日程，因此还要求传感器必须配有标准的输出模式；而传统的大体积、弱功能传感器往往很难满足上述要求，所以它们已逐步被各种不同类型的高性能微型传感器所取代。

对于微机电系统（MEMS）的研究工作始于20世纪60年代，其研究范畴涉及材料科学、机械控制、加工与封装工艺、电子技术以及传感器和执行器等多种学科，是一个极具前景的新兴研究领域。MEMS的核心技术是研究微电子和微机械加工与封装技术的巧妙结合，期望能够由此制造出体积小但功能强大的新型系统。经过几十年尤其是最近十多年的研究与发展，MEMS技术已经显示出了巨大的生命力，此项技术的有效采用将信息系统的微型化、智能化、多功能化和可靠性水平提高到了一个新的高度。在当前技术水平下，微切削加工技术已经可以生产出来具有不同层次的3D微型结构，从而可以生产出体积非常微小的微型传感器敏感元件，像毒气传感器、离子传感器、光电探测器这样的以硅为主要构成材料的传感、探测器都需要使用这种微型敏感元件。

目前开发并进入实用阶段的微型传感器已可以用来测量多种物理量、化学量和生物量，如位移、速度、加速度、压力、应力、应变、声、光、电、磁、热、pH值、离子浓度及生物分子浓度等。

1.2.2 智能化

智能化传感器（Smart Sensor）是20世纪80年代末出现的另外一种涉及多种学科的新型传感器系统。此类传感器系统一经问世即刻受到科研界的普遍重视，尤其在探测器应用领域，如分布式实时探测、网络探测和多信号探测方面一直颇受欢迎，产生的影响较大。

智能化传感器是指那些装有微处理器的，不但能够执行信息处理和信息存储，而且还能够进行逻辑思考和结论判断的传感器系统。这一类传感器就相当于微型计算机与传感器的综合体一样，其主要组成部分包括主传感器、辅助传感器及微型计算机的硬件设备。如智能化压力传感器，主传感器为压力传感器，辅助传感器通常为温度传感器和环境压力传感器。主传感器用来探测压力参数，根据温度传感器用来调节和校正由于温度的变化而导致的测量误差，而环境压力传感器测量工作环境的压力变化并对测定结果进行校正。硬件系统除了能够对传感器的弱输出信号进行放大、处理和存储外，还执行与计算机之间的通信联络。

通常情况下，一个通用的检测仪器只能用来探测一种物理量，其信号调节是由那些与主探测部件相连接着的模拟电路来完成的。但智能化传感器却能够实现所有的功能。与传统的传感器相比，智能化传感器具有以下优点：

（1）智能化传感器不但能够对信息进行处理、分析和调节，能够对所测的数值及其误差进行补偿，而且还能够进行逻辑思考和结论判断，能够借助于一览表对非线性信号进行线性化处理，借助于软件滤波器滤波数字信号。此外，还能够利用软件实现非线性补偿或其他更复杂的环境补偿，以改进测量精度。

(2) 智能化传感器具有自诊断和自校准功能,可以用来检测工作环境。当工作环境临近其极限条件时,它将发出告警信号,并根据其分析器的输入信号给出相关的诊断信息。当智能化传感器由于某些内部故障而不能正常工作时,它能够借助其内部检测系统找出异常现象或故障部件。

(3) 智能化传感器能够完成多传感器多参数混合测量,从而进一步拓宽了其探测与应用领域,而微处理器的介入使得智能化传感器能够更加方便地对多种信号进行实时处理。此外,其灵活的配置功能既能够使相同类型的传感器实现最佳的工作性能,也能够使它们适合于各种不同的工作环境。

(4) 智能化传感器既能够很方便地实时处理所探测到的大量数据,也可以根据需要将它们存储起来。存储大量信息的目的主要是以备事后查询,这一类信息包括设备的历史信息以及有关探测分析结果的索引等。

(5) 智能化传感器备有一个数字式通信接口,通过此接口可以直接与其所属计算机进行通信联络和交换信息。此外,智能化传感器的信息管理程序也非常简单方便,譬如,可以对探测系统进行远距离控制或者在锁定方式下工作,也可以将所测的数据发送给远程用户等。

智能化传感器的出现,进一步扩大了传感器的应用领域和使用便利性,也直接为无线传感器网络的出现奠定了坚实的基础。

1.2.3 多功能传感器

通常情况下一个传感器只能用来探测一种物理量,但在许多应用领域中,为了能够完美而准确地反映客观事物和环境,往往需要同时测量多个物理量。由若干种敏感元件组成的多功能传感器则是一种体积小而多种功能兼备的新一代探测系统,它可以借助于敏感元件中不同的物理结构或化学物质及其各不相同的表征方式,用单独一个传感器系统来同时实现多种传感器的功能。随着传感器技术和微机技术的飞速发展,目前已经可以生产出来将若干种敏感元件综装在同一种材料或单独一块芯片上的一体化多功能传感器。

多功能传感器系统主要的执行规则和结构模式包括:

(1) 多功能传感器系统由若干种各不相同的敏感元件组成,可以用来同时测量多种参数。譬如,可以将一个温度探测器和一个湿度探测器配置在一起(即将热敏元件和湿敏元件分别配置在同一个传感器承载体上)制造成一种新的传感器,这样,这种新的传感器就能够同时测量温度和湿度。

(2) 将若干种不同的敏感元件精巧地制作在单独的一块硅片中,从而构成一种高度综合化和小型化的多功能传感器。由于这些敏感元件是被综装在同一块硅片中的,它们无论何时都工作在同一种条件下,所以很容易对系统误差进行校正和补偿。

(3) 借助于同一个传感器的不同效应可以获得不同的信息。以线圈为例,它所表现出来的电容和电感是各不相同的。

(4) 在不同的激励条件下,同一个敏感元件将表现出来不同的特征。而在电压、

电流或温度等激励条件均不相同的情况下,由若干种敏感元件组成的一个多功能传感器的特征是多样的,有时候就相当于若干个不同的传感器,其多功能特征可谓名副其实。

正是这些传感器技术的进步,才促使了无线传感器网络的产生和出现。

1.3 无线传感器网络的应用

无线传感器网络由于其自身的特点,在很多领域有着广阔的应用前景,虽然目前的研究集中在科学实验阶段,但是一些成功的应用给我们展示了无线传感器网络的广阔商业应用前景。已应用和潜在的传感器应用领域包括:军事侦察、环境监测、医疗健康监测、建筑物监测及城市管理等。随着传感器技术、无线通信技术、计算技术的不断发展和完善,各种传感器网络将遍布我们的生活环境。

1.3.1 军事领域

无线传感器网络研究最早起源于军事领域,比如 DARPA(美国国防部高级研究计划局)支持的 Sensor IT 项目就是探索如何将无线传感器网络技术应用到军事领域,实现“超视距”监测。该项目通过实验,证实无线传感器网络可以进行目标跟踪的可行性。大量的无线传感器网络节点可以通过飞机布撒在需要监测的区域中去,利用节点自身的传感器实现对坦克、人员等的跟踪、定位,并绘制其移动的轨迹。虽然效果并不能达到实际战场的要求,但是已经受到军队的广泛关注。

在战场中还可以用无线传感器网络来监测敌方军队的进攻,及时发现敌人的进攻行为并为防御赢得宝贵时间,而且借助于无线传感器网络可以对己方战场上的生化污染提供及时报警信息,以减少人员的伤亡。无线传感器网络的上述特点使得它具有重大军事价值,可以应用于如下一些情况中。

(1) 监测人员、装备等情况以及单兵系统:通过在人员、装备上附带各种传感器,可以让各级指挥员比较准确、及时地掌握己方的保存状态。通过在敌方阵地部署各种传感器,可以了解敌方武器部署情况,为己方确定进攻目标和进攻路线提供依据。

(2) 监测敌军进攻:在敌军驻地和可能的进攻路线上部署大量传感器,从而及时发现敌军的进攻行动,争取宝贵的应对时间,并可根据战况快速调整和部署新的传感器网络。

(3) 评估战果:在进攻前后,在攻击目标附近部署传感器网络,从而收集目标被破坏程度的数据。

(4) 核能、生物、化学攻击的侦察:借助于传感器网络不派人员就可以获取一些核、生化爆炸现场的详细数据,可以及早发现己方阵地上的核、生化污染,提供快速反应时间,从而减少损失。

1.3.2 环境监测

随着社会的快速发展,环境保护越来越引起人们的重视,但是传统方式下采集环境数据是很困难的,无线传感器网络的发展为环境研究和监测提供了便利的条件,可以用来监测海洋、大气和土壤的成分等,也可以对生物的生活状况做详细监测。一个典型的应用就是生物学家借助无线传感器网络对美国大鸭岛上海燕生活习性的监测。采用带有摄像头的无线传感器网络节点,对海燕的各种生活状况做细致的观测,取得了大量宝贵的数据。无线传感器网络还可以对农作物等进行监测,以便及时采取措施,消灭病虫害,调整土壤的酸碱度,有效施肥等。

应用于环境监测的传感器网络,一般具有部署简单、便宜、长期不需更换电池、无需派人现场维护的优点。通过密集的节点布置,可以观察到微观的环境因素。

(1) 洪灾的预警:通过在水坝、山区中关键地点合理地布置一些水压、土壤湿度等传感器,可以在洪灾到来之前发布预警信息,从而及时排除险情或者减少损失。

(2) 农田管理:通过在农田部署一定密度的空气温度、土壤湿度、土壤肥料含量、光照强度、风速等传感器,可以更好地对农田管理微观调控,促进农作物生长。

1.3.3 医疗健康监测

为了及时了解病人的身体健康状况,可以在病人的身体上安装特殊用途的传感器节点,对病人的脉搏、血压等健康指标进行实时监测,这样医生就可以随时了解被监护病人的病情,以便及时进行相应处理。还可以利用无线传感器网络长时间地对病人的生理指标连续监测,以有获得大量的一手参数,并对新药物的研制提供重要参考,而且无线传感器网络在药物管理等方面也有独特的应用。

1.3.4 建筑物监测及城市管理

无线传感器网络节点可以方便地安装在建筑物内,获取室内的环境参数,为家居环境控制和危险报警提供依据。利用无线传感器网络可以构建智能家居,对房间内的温度、湿度、光照强度和空气质量等做详细监测,同时配合对空调等家电的自动控制,为人们提供一个舒适的居住环境。

(1) 智能家居:通过布置于房间内的温度、湿度、光照、空气成分等无线传感器,感知居室不同部分的微观状况,从而对空调、门窗以及其他家电进行自动控制,提供给人们智能、舒适的居住环境。

(2) 建筑安全:通过布置于建筑物内的图像、声音、气体检测、温度、压力、辐射等传感器,发现异常事件及时报警,自动启动应急措施。

1.3.5 智能交通

通过布置于道路上的速度识别传感器,监测交通流量等信息,为出行者提供信息服务,发现违章能及时报警和记录。反恐和公共安全通过特殊用途的传感器,特别是

生物化学传感器监测有害物、危险物的信息，最大限度地减少其对人民群众生命安全造成的伤害。

1.3.6 药品管理和卫生保健

给手术后的病人和重病号佩戴传感器节点，对病人进行监护。或者给老人或孩子佩戴传感器，对其进行长期的监护，对于慢性病的治疗特别有意义。在药品库中投放传感器，实施药品的自动化管理，可大大降低给患者用药错误的概率。在医院中设置无线传感器网络系统，医护人员和患者之间形成跟踪系统，这也非常有利于及时救助患者。

1.4 无线传感器网络研究热点问题和关键技术

由于无线传感器网络技术是从其他无线网络技术基础上发展而来的，目前很多的无线传感器网络理论大都是在已有无线网络理论上移植过来的。虽然有大量的文献讨论了无线传感器网络的新特点，但哪些能够成功地应用于实际，还需要在实践中进行验证。

无论是哪种应用，无线传感器网络都需要解决环境可靠性、体积的微小性、能耗极低性、布设的随意性等问题。

从理论研究和实际应用两个角度，要使无线传感器网络尽快走入“寻常百姓家”，需要展开以下的研究工作：

(1) 无线传感器网络节点系统的体系结构研究。主要研究内容包括：①以灵活、高效、可扩展和兼容性为目标的节点新型软硬件体系结构；②以安全性、实时性和低能耗特征为目标的微型操作系统的设计理论与实现方法；③以保证协议及算法的安全存储、运行速度及管理效率为目标的软硬件协同设计理论和实现方法；④无线传感器网络分布式环境下协同信号处理的数据特征提取理论模型和对等网络虚拟测量方法。

(2) 无线传感器网络的自主组网模型与方法研究。主要研究内容包括：①节点定位模型：估计节点位置的方法，提高定位准确度；定位算法的评价体系和量化模型的研究；实时定位管理问题的研究；无线传感器网络节点的配置及其相关研究；三维空间定位。②节点时间同步：需要研究在符合工程实践条件下，以低功耗为优化目标，设计和综合出一套精度能够依赖应用要求自适应调节的，适合无线传感器网络自组织、多跳路由，节点密集、易失效等特性的时间同步机制及其实现算法。③自组织型节点的标识问题：平面标识分配；基于物理位置的标识分配。④拓扑控制与覆盖：节点唤醒和睡眠机制研究；考虑地形的影响情况下引入移动传感器提高网络覆盖效率问题研究；低能耗、分布式、高效的对于大规模无线传感器网络的分簇算法研究；无线传感器网络对智能目标监控的拓扑结构控制以及隐藏无线传感器网络问题的研究。

(3) 无线传感器网络的通信协议研究。主要研究内容：①设计新的 MAC 协议：

满足低能耗开销,有效避免碰撞,实现简洁,代码小,可动态配置,易管理维护等特性;②建模分析 IEEE 802.15.4 的 MAC 协议的性能;③研究适用于无线传感器网络的数据安全传输协议,以实现数据的加密传输、数据源认证等;④研究网络层的包冲突预防机制;⑤传输协议研究:结合传感器网络流量的间歇突发特性和多对一汇聚特点,针对不同业务的不同需求,以低能耗、可靠性、公平性和有效吞吐量为性能指标,为传感器网络设计理想的传输控制子系统,并研究其中的核心机制与关键算法;⑥长期网络连通性的研究:拟通过智能化的网络层包聚合算法,来减少临近网关节点的通信量,提高其工作效率,以此来减少因缺乏中间节点而导致的网络中断,另外,也拟进行网络后期维护问题,使用某些自动控制机器人等设备,通过路由算法引导其对网络进行维护,以大幅度提高网络寿命及可用性。

(4) 无线传感器网络接入互联网的模型与机制研究。主要研究内容:为实现无线传感器网络接入互联网,具有接入安全性、系统可用性和可扩展性,研究多网关技术和无线网状网相关技术,内容涵盖了无线传感器网络接入互联网的各个主要方面。具体内容包括:①复合型无线传感器网络接入互联网模型,分析基于代理、DTN 网络和网状网结构的接入方式的优缺点,研究一种复合型接入模型。②网关数目和无线传感网络规模关系模型,建立数学模型,研究在具体性能要求下,网关节点数目和无线传感器网络规模之间的关系。③多网关动态部署、移动策略、负载均衡、容错机制,研究网关位置的动态部署理论,研究移动网关的移动策略,提高接入性能。研究数据请求的分发策略和迁移策略,实现网关负载均衡。研究多网关容错机制,保证部分网关失效时接入的可用性。④轻量级网关访问控制、数据验证和高效抗 DoS(拒绝服务)攻击机制。研究网关的访问控制机制,保证数据机密性,研究网关的数据验证机制,保证数据真实性。研究检测和抵抗 DoS 攻击的机制,应对来自互联网和无线传感器网络内部的双重 DoS 攻击。由于网关资源仍然受限,需要研究轻量级的安全机制。⑤适用于无线网状传感网络的通信协议。研究节点到无线路由器间的短距离数据传输,研究节点和路由器之间的信道分配问题,研究节点到路由器的路由建立机制,研究路由层和链路层的跨层优化问题。⑥基于无线网状网的传感器节点的移动性支持。研究维护动态的节点拓扑及路由器切换问题,研究轻量级的分布式节点移动性管理机制。

(5) 无线传感器网络数据管理理论与算法研究。主要研究内容:研究无线传感器网络数据管理的理论和算法,包括传感器网络数据的模型、能源有效的传感器网络数据操作算法、数据查询(包括即时查询、连续查询、近似查询)优化与处理的理论和算法、数据挖掘的理论和算法、数据联机分析的理论和算法、支持数据管理的能源有效的路由理论和算法。

(6) 无线传感器网络测试平台与监控工具。主要研究内容。①面向测试的无线传感器网络系统结构和节点系统软硬件框架。②无线传感器网络的状态信息收集策略。③无线传感器网络的性能测试方法和误差评估理论。④无线传感器网络的仿真技术。⑤无线传感器网络的状态/行为模型。⑥测试平台和工具的实现技术。