



无线传感器 网络通信协议

尚凤军 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

无线传感器网络通信协议

尚凤军 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

前 言

无线传感器网络是当今国内外备受关注的、由多学科高度交叉的新兴前沿研究领域。无线传感器网络是一种全新的信息获取平台，能够实时监测和采集网络分布区域内各种检测对象的信息，并将这些信息发送到网关节点，以实现复杂的指定范围内目标的检测与跟踪，有着广阔的应用前景。过去的几十年计算机技术的发展给人类生活带来了深刻的变革，它的发展增强了人类处理信息的能力，相当于扩展了人类的脑力活动。无线传感器网络技术的产生将彻底改变人类自古以来仅仅靠自身的触觉、视觉、嗅觉来感知信息的现状，极大地提高人类获取信息的准确性和灵敏度。作为信息时代的一项变革性的技术，无线传感器网络可以使人们在任何时间、任何地点和任何环境条件下获取大量翔实、可靠的信息，真正实现“无处不在的计算”理念。无线传感器网络是信息技术的前沿和交叉领域，目前正处于起步阶段，将成为继计算机、互联网与移动通信网之后信息产业新一轮竞争中的制高点。美国《商业周刊》将无线传感器网络列为 21 世纪最具影响的 21 项技术之一，《技术评论》杂志也将其列为未来改变世界的 10 大新兴技术之首。我国在《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》中，将无线传感器网络列入重大专项、优先发展主题、前沿领域，它也是国家重大专项“新一代宽带无线移动通信网”中的一个重要研究方向，同时国家重点基础研究发展计划（973 计划）也将无线传感器网络列为其重要研究内容。可以预言，无线传感器网络的发展和广泛应用，将对人们的社会生活和产业变革带来极大的影响和产生巨大的推动。

本书编者经过近 5 年对无线传感器网络的学习和研究，积累了一定的成果，为本书的出版奠定了扎实的基础。我们首先从无线传感器网络的工作原理出发，通过吸收国内外大学和研究所的研究成果，对无线传感器网络的通信进行了研究，提出自己的看法和思路；接着从通信协议中的节能方面进行了研究，取得一定的研究成果，随着无线传感器网络应用的深入，多媒体传感器应运而生，因此研究适合于多媒体传感器网络环境的 QoS 通信协议势在必行；最后我们研究了水下传感器网络通信协议，并收到了一定的效果。随着不断地研究开发积累，通过对无线传感器网络的理论研究和实践经验总结，构成了本书全部的内容。根据当前国家有关部门对自组织网络及无线传感器网络技术和应用的密切关注程度，以及国家未来 15 年中长期科技发展

战略部署和国家重点基础研究发展计划纲要的主题，本书划分为无线传感器网络概述等 10 章。

无线传感器网络的概述部分剖析了无线传感器网络的特点，重点介绍当前主流无线传感器网络通信技术和典型应用。无线传感器网络关键技术部分涉及网络系统基本网络协议的讨论，还介绍了形成系统网络应用所需要的能量管理机制、QoS 保证技术、数据融合技术、定位技术管理机制。无线传感器网络仿真与原型开发部分以实际系统的仿真过程为实例，让读者与无线传感器网络进行亲密接触，构建一个切实可行的、属于自己的原型系统和设计平台。

本书由尚凤军编著，苏畅博士、刘小明等多次参与有关本书的技术讨论，提供无线传感器网络的相关资料。另外，感谢重庆邮电大学计算机科学与技术学院对出版本书工作的支持。同时，参与本书编写的人员还有雷阳、任东海、王寅、刘小明。另外，在本书编写过程中，引用了部分作者的相关文献材料，在此一并表示感谢。第 9、10 章参考和引用了许多站点上的内容，在此对被引用的站点表示感谢，它们是千家网站点、物联网时代站点、中国网格计算站点、上海市无线电管理局站点、中国物联网站点等；同时，被引用的内容版权归站点或作者所有。

同时，本书的出版得到了重庆邮电大学出版基金资助，重庆市自然科学基金资助（CSTC，2009BB2081），第 39 批“教育部留学回国人员科研启动基金”资助，重庆市教委科学技术研究项目资助。

由于水平有限，加之编写时间仓促，书中疏漏之处在所难免，欢迎广大读者和同行批评指正。无线传感器网络正处在飞速发展的阶段，我们愿在吸取大家意见和建议的基础上，不断修改和完善书中有关内容，为推动无线传感器网络应用领域的发展与进步尽微薄之力。

为充分展现本书编写特色，帮助读者深刻理解本书的编写意图与内涵，进一步提高对本书教学的使用效率，我们建立本书使用指导联络方式，欢迎读者将图书使用过程中的问题与各种探讨、建议反馈给我们，本书编者将竭诚为您服务。我们的联系方式是 E-mail: shangfj@cqupt.edu.cn.。

编 者

目 录

第 1 章 无线传感器网络概述	1
1.1 引言	1
1.2 无线传感器网络介绍	3
1.2.1 无线传感器网络体系结构	3
1.2.2 无线传感器网络的特点和关键技术	5
1.2.3 无线传感器网络的应用	5
1.3 无线传感器网络路由算法	7
1.3.1 无线传感器网络路由算法研究的主要思路	7
1.3.2 无线传感器网络路由算法的分类	9
1.3.3 无线传感器网络 QoS 路由算法研究的基本思想	11
1.3.4 无线传感器网络 QoS 路由算法研究的分类	12
1.3.5 平面路由的主流算法	16
1.3.6 分簇路由的主流算法	16
1.4 ZigBee 技术	21
1.4.1 ZigBee 技术的特点	21
1.4.2 ZigBee 协议框架	23
1.4.3 ZigBee 的网络拓扑结构	24
1.5 无线传感器安全研究	25
1.5.1 无线传感器网络的安全需求	25
1.5.2 无线传感器网络安全的研究进展	28
1.5.3 无线传感器网络安全的研究方向	31
1.6 水下传感器网络	32
1.7 无线传感器网络定位	34
1.7.1 存在的问题	34
1.7.2 性能评价	34
1.7.3 基于测距的定位方法	35
1.7.4 非测距定位算法	37
1.7.5 移动节点定位	39
参考文献	40

第2章 无线传感器网络的分布式能量有效非均匀成簇算法	48
2.1 引言	48
2.2 相关研究工作	48
2.2.1 单跳成簇算法	49
2.2.2 多跳成簇算法	49
2.3 DEEUC 成簇路由算法	50
2.3.1 网络模型	51
2.3.2 DEEUC 成簇算法	52
2.3.3 候选簇头的产生	53
2.3.4 估计平均能量	53
2.3.5 最终簇头的产生	54
2.3.6 平衡簇头区节点能量	55
2.3.7 算法分析	57
2.4 仿真和分析	59
2.5 结论及下一步工作	63
参考文献	64
第3章 无线传感器网络分簇多跳能量均衡路由算法	67
3.1 无线传输能量模型	67
3.2 无线传感器网络路由策略研究	68
3.2.1 平面路由	68
3.2.2 单跳分簇路由算法研究	69
3.2.3 多跳层次路由算法研究	72
3.3 LEACH-L 算法	72
3.3.1 LEACH-L 的改进思路	72
3.3.2 LEACH-L 算法模型	73
3.3.3 LEACH-L 描述	77
3.4 LEACH-L 的分析	79
3.5 实验仿真	80
3.5.1 评价参数	80
3.5.2 仿真环境	80
3.5.3 仿真结果	81
3.6 总结及未来的工作	88
3.6.1 总结	88

3.6.2 未来的工作	89
参考文献	89
第 4 章 基于生成树的无线传感器网络分簇通信协议	91
4.1 引言	91
4.2 无线传输能量模型	92
4.3 基于时间延迟机制的分簇算法 (CHTD)	93
4.3.1 CHTD 的改进思路	93
4.3.2 CHTD 簇头的产生	94
4.3.3 CHTD 簇头数目的确定	95
4.3.4 CHTD 最优簇半径	96
4.3.5 CHTD 描述	97
4.3.6 CHTD 的特性	99
4.4 CHTD 簇数据传输研究	100
4.4.1 引言	100
4.4.2 改进的 CHTD 算法 (CHTD-M)	100
4.4.3 CHTD-M 的分析	103
4.5 仿真分析	103
4.5.1 生命周期	104
4.5.2 接收数据包量	106
4.5.3 能量消耗	107
4.5.4 负载均衡	108
4.6 总结及未来的工作	111
4.6.1 总结	111
4.6.2 未来的工作	112
参考文献	112
第 5 章 基于自适应蚁群系统的传感器网络 QoS 路由算法	114
5.1 引言	114
5.2 蚁群算法	114
5.3 APAS 算法的信息素自适应机制	118
5.4 APAS 算法的挥发系数自适应机制	124
5.5 APAS 算法的 QoS 改进参数	130
5.6 APAS 算法的信息素分发机制	133
5.7 APAS 算法的定向广播机制	136

5.8	仿真实验及结果分析	138
5.8.1	仿真环境	138
5.8.2	仿真结果及分析	140
5.9	总结及未来的工作	145
5.9.1	总结	145
5.9.2	未来的工作	146
	参考文献	146
第 6 章	无线传感器网络簇头选择算法	148
6.1	引言	148
6.2	LEACH NEW 算法	148
6.2.1	网络模型	148
6.2.2	LEACH NEW 簇头选择机制	150
6.2.3	簇的生成	150
6.2.4	簇头间多跳路径的建立	151
6.3	仿真实现	151
6.4	结论及未来的工作	152
	参考文献	153
第 7 章	水下无线传感网络中基于向量的低延迟转发协议	154
7.1	引言	154
7.2	相关工作	155
7.3	网络模型	157
7.3.1	问题的数学描述	157
7.3.2	网络模型	157
7.4	基于向量的低延迟转发协议	158
7.4.1	基于向量转发协议的分析	158
7.4.2	基于向量的低延迟转发算法	159
7.5	仿真实验	160
7.5.1	仿真环境	160
7.5.2	仿真分析	161
7.6	总结	162
	参考文献	162
第 8 章	无线传感器网络数据融合算法研究	165
8.1	引言	165

8.2	节能路由算法	165
8.2.1	平面式路由算法	166
8.2.2	层状式路由算法	167
8.3	数据融合模型	169
8.3.1	数据融合系统	169
8.3.2	LEACH 簇头选择算法	170
8.3.3	簇内融合路径	172
8.3.4	环境设定和能耗公式	174
8.4	数据融合仿真	175
8.4.1	仿真分析	175
8.4.2	仿真结果分析	179
8.5	结论	181
	参考文献	182
第 9 章	无线传感器网络相关技术	184
9.1	超宽带技术	184
9.1.1	系统结构的实现比较简单	186
9.1.2	空间传输容量大	186
9.1.3	多径分辨能力强	186
9.1.4	安全性高	187
9.1.5	定位精确	187
9.2	物联网技术	188
9.2.1	物联网原理	189
9.2.2	物联网的背景与前景	190
9.3	云计算技术	192
9.3.1	SaaS 软件即服务	196
9.3.2	公用/效用计算	196
9.3.3	云计算领域的 Web 服务	197
9.4	认知无线电技术	197
9.4.1	传统的 Ad-hoc 方式中无线传感器网络的不足	198
9.4.2	在 ZigBee 无线传感器网络中的应用	198
	参考文献	199
第 10 章	无线传感器网络应用	202
10.1	军事应用	205

10.2	农业应用	206
10.3	环保监测	208
10.4	建筑应用	210
10.5	医疗监护	212
10.6	工业应用	213
10.6.1	工业安全	213
10.6.2	先进制造	214
10.6.3	交通控制管理	214
10.6.4	仓储物流管理	215
10.7	空间、海洋探索	216
10.8	智能家居应用	217
	参考文献	218

第1章 无线传感器网络概述

1.1 引言

无线传感器网络的基本思想起源于 20 世纪 70 年代；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；1980 年，DARPA 的分布式无线传感器网络项目（Wireless Sensor Network, WSN）开启了传感器网络研究的先河；20 世纪 80~90 年代，研究主要在军事领域，成为网络中心战的关键技术，拉开了无线传感器网络研究的序幕；20 世纪 90 年代中后期，WSN 引起了学术界、军界和工业界的广泛关注，发展现代意义的无线传感器网络技术。无线传感器网络是一种新型网络，它可以很方便地进行数据的实时监测，并且将数据发送给 Sink 节点，以实现特定的功能。无线传感器网络在未来有非常大的发展空间，因为它和数据应用高度相关，可以很方便地实现各种用户的需要。在计算机技术发展的过程中，人类得到了各种的便利。无线传感器网络作为一项新型技术，可以很好地方使用户获取真实和可靠的数据^[1]。无线传感器网络作为一个前沿的研究领域，现在仍处于发展阶段，它具有很大的发展潜力^[2]。

在当今信息技术飞速发展的时代，互联网为人们提供了快捷的通信平台，极大地方便了人们的信息交流，无线传感器网络技术的产生将彻底改变人类自古以来仅仅靠自身的触觉、视觉、嗅觉来感知信息的现状，极大地提高人类获取信息的准确性和灵敏度^[1]。作为信息时代的一项变革性的技术，无线传感器网络可以使人们在任何时间、任何地点和任何环境条件下获取大量翔实、可靠的信息，真正实现“无处不在的计算”理念。无线传感器网络是计算机科学技术的一个新的研究领域，具有十分广阔的应用前景，它的出现引起了全世界范围的广泛关注^[2]。美国《商业周刊》将无线传感器网络列为 21 世纪高技术领域中的四大支柱型产业之一，《技术评论》杂志也将其列为未来改变世界的 10 大新兴技术之首。可以预言，无线传感器网络的发展和广泛应用，将对人们的社会生活和产业变革带来极大的影响和产生巨大的推动力。

无线传感器网络的研究历史不长，但发展很快。从国外的研究现状来看，

整体的研究成果仍处于原型和小规模试验阶段,距实际应用需求还有一定距离。对我国而言,无线传感器网络的研究处于起步阶段,因此,无线传感器网络给科技工作者提供了巨大的研究空间。美国军方最先开始无线传感器网络技术的研究,开展了包括 CEC、REMBAS5、TRSS、SensorIT、WIN5、Smart Dust、Sea Web、ILAMPS、NEST 等研究项目。美国国防部远景计划研究局已投资几千万美元,帮助大学进行无线传感器网络技术的研发。美国国家自然科学基金委员会(NSF)也开设了大量与其相关的项目,NSF 于 2003 年制定 W5N 研究计划,每年拨款 3 400 万美元支持相关研究项目,并在加州大学洛杉矶分校成立了传感器网络研究中心。2005 年对网络技术和系统的研究计划中,主要研究下一代高可靠、安全的可扩展的网络,可编程的无线网络及传感器系统的网络特性,资助金额达到 4 000 万美元。此外,美国交通部、能源部、美国国家航空航天局也相继启动了相关的研究项目。美国所有著名院校几乎都有研究小组在从事 W5N 相关技术的研究,加州大学洛杉矶分校、加州大学伯克利分校、麻省理工学院、康奈尔大学、哈佛大学、卡耐基—梅隆大学等在 WSN 研究领域成绩较为突出。国际相关学术会议对 WSN 的研讨增多,检索论文数目逐年以较大幅度增加。美国的 Crossbow、Dust Network、Ember、Chips、Intel、Freescale 等公司也开展了 W5N 的研究工作。其他国家如加拿大、英国、德国、芬兰、日本和意大利等的研究机构也加入了 WSN 的研究。欧盟第 6 个框架计划将“信息社会技术”作为优先发展领域之一,其中多处涉及对 WSN 的研究,启动了 EYES 等研究计划。日本总务省在 2004 年 3 月成立了“泛在传感器网络”调查研究会。韩国信息通信部制定了信息技术“839”战略,其中“3”是指 IT 产业的带融合网络、泛在传感器网络、下一代互联网协议。企业界中,欧盟的 Philips、Siemens、Ericsson、ZMD、France Telecom、Chipcon 等公司,日本的 NEC、OKI、SKYLEYNKTwORKS、世康、欧姆龙等公司都开展了 WSN 的研究。

“中国未来 20 年技术预见研究”提出的 157 项技术课题中有 7 项直接涉及无线传感器网络。2006 年年初发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》为信息技术确定了 3 个前沿方向,其中 2 个与无线传感器网络研究直接相关。国家自然科学基金委员会已经在该领域设立了多个重点项目和面上项目。2010 年远景规划和“十二五”计划中,将无线传感器网络列为重点发展的产业之一。中科院计算技术研究所、中科院自动化所、清华大学、北京交通大学、北京邮电大学、国防科技大学等研究单位及高校在无线传感器网络方面也做了大量的工作,中移动、华为、中兴等高科技企业也展开了对无线

传感器网络的研究。

1.2 无线传感器网络介绍

无线传感器网络是近年来基于数字电路、无线通信、微电机系统等学科发展起来的一个新的研究领域，它是由部署在检测区域内大量廉价的微型传感器节点组成，通过无线通信的方式形成的一个多跳的自组织网络系统，其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中感知对象的信息，并发送给观察者^[3]。

1.2.1 无线传感器网络体系结构

无线传感器网络的典型结构如图 1.1 所示，通常包括传感器节点(Node)、会聚节点(Sink)和管理节点^[4]。大量传感器节点随机部署在监测区域内部或附近，它们监测到的数据沿着其他传感器节点逐跳地进行传输，在传输过程中监测数据可能被多个节点处理，经过多跳后路由到会聚节点或远方基站BS，最后通过互联网或卫星到达管理节点。用户通过管理节点对无线传感器网络进行配置和管理，发布监测任务及收集监测数据。

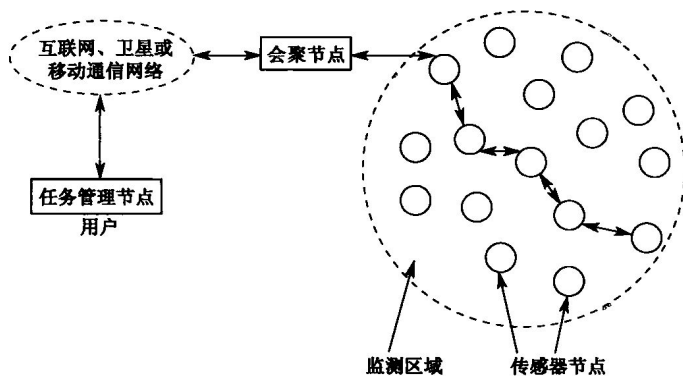


图 1.1 无线传感器网络结构

传感器节点由传感器模块、处理器模块、无线通信模块和能量供应模块四部分组成^[5]，如图 1.2 所示。传感器模块负责监测区域内信息的采集和数据转换；处理器模块负责控制整个传感器节点的操作，存储和处理本身采集的数据及其他节点发来的数据；无线通信模块负责与其他传感器节点进行无线通信，交换控制消息和收发采集数据；能量供应模块为传感器节点提供运行

所需要的能量。

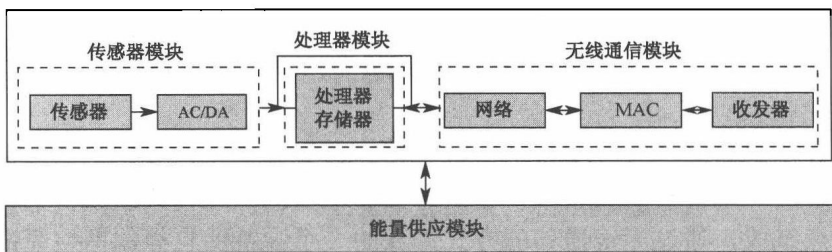


图 1.2 无线传感器网络节点组成

无线传感器网络协议栈包括物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层，与互联网协议栈的五层协议相对应；另外，协议栈还包括能量管理平台、移动管理平台和任务管理平台。这些管理平台使得传感器节点能够按照能源高效的方式协同工作，在节点移动的无线传感器网络中转发数据，并支持多任务和资源共享。无线传感器网络协议栈^[6]如图 1.3 所示。

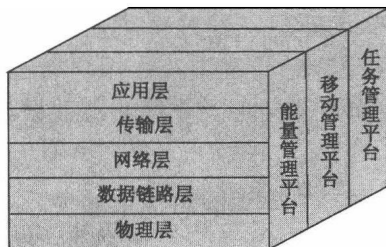


图 1.3 无线传感器网络协议栈

各层协议和平台的功能如下。

- 应用层：包括一系列基于监测任务的应用层软件。
- 传输层：负责数据流的传输控制，是保证通信服务质量的重要部分。
- 网络层：主要负责路由生成与路由选择。
- 数据链路层：负责数据成帧、帧监测、媒体访问和差错控制。
- 物理层：提供简单但健壮的信号调制和无线收发技术。
- 任务管理平台：在一个给定的区域内平衡和调度监测任务。
- 移动管理平台：检测并注册传感器节点移动，维护到会聚节点的路由。
- 能量管理平台：对节点如何使用自身的有限能量进行管理。

1.2.2 无线传感器网络的特点和关键技术

与传统的无线网络相比,无线传感器网络具有以下特点^[5-13]。

(1) 以数据为中心:无线传感器网络中节点数目较大,传感器节点可以不使用全局唯一的IP地址来标识,而使用局部可以区分的标号标识。所以使用者在采集数据时,是以数据为中心的。在传输多媒体数据时,网络需要有QoS保障。

(2) 电源容量有限:传感器节点通常使用电池供电,所以传感器节点的能量非常有限。因此,降低无线传感器网络中传感器节点的能耗,对延长无线传感器网络的生存时间非常重要。

(3) 硬件资源受限:无线传感器网络中的传感器节点通常不具有非常强大的硬件,所以传感器节点对数据的处理能力较为有限。

(4) 网络自组织:无线传感器网络中的传感器节点在随机撒播在目标区域后,通过自组织的方式形成网络,无须任何预设的网络设施。

无线传感器网络是当前研究的一个热点,下面列出部分关键技术^[13-19]。

- 网络协议:无线传感器网络中,各个传感器节点自组织形成一个数据传输网络。当前研究的重点是网络层协议和数据链路层协议。网络层的路由协议决定监测信息的传输路径;数据链路层的介质访问控制协议用来构建底层的基础结构,控制传感器节点的通信过程和工作模式。
- 节点定位:是确定事件发生的位置或采集数据的节点位置。为了提供有效的位置信息,随机部署的传感器节点必须能够在布置后确定自身位置。
- 节能技术:因为无线传感器网络对能耗非常敏感,所以需要特别重视能耗。在网络协议等方面都应该注重节能。
- 数据融合:减少传输的数据量,能够有效地节省能量,因此在从各个传感器节点收集数据的过程中,可以用节点的本地计算和存储能力来处理数据的融合,去除冗余信息,从而达到节省能量的目的。

1.2.3 无线传感器网络的应用

无线传感器网络将是对21世纪产生巨大影响的技术之一,它有着巨大的应用前景,主要表现在军事、医疗、环境、家庭及其他商业领域等。各种传感器网络将遍布我们的周围,并逐步深入到人类生活的各个领域^[15-19]。

1. 军事领域的应用

传感器网络是由密集型、低成本、随机分布的节点组成的，自组织性和容错能力使其不会因为某些节点在恶意攻击中的损坏而导致整个系统的崩溃，这一点是传统的传感器技术所无法比拟的。也正是这一点，使无线传感器网络非常适合应用于恶劣的战场环境中，包括监控我军兵力、装备和物资，监视冲突区，侦察敌方地形和布防，定位攻击目标，评估损失，侦察和探测核、生物和化学攻击。

2. 工业监控

随着社会的进步和发展，在工业生产过程中首要强调的是安全问题。在那些危险的工业环境如井矿、核电厂、钢材加工等，工厂可以通过无线传感器网络来进行过程监控、实施安全检测。在工业自动化生产线上，可以通过组建无线传感器网络来构建监控系统。利用监控系统可以大大改善工厂的运作条件，可以大幅度降低检查设备的成本，同时由于可以提前发现问题，这样将能够缩短设备的停机时间，提高效率，并延长设备的使用时间。无线传感器网络在工业中可以进行实时过程监控，使用流媒体查询服务，该服务针对用户对多媒体传感器节点采集到的音频和视频数据进行实时查询，此类型服务需要 QoS 保障。

3. 农业及生物环境保护

随着社会科技的发展，在农业中也用到了越来越多的高科技，无线传感器网络就是其中之一。农业中的应用一般是将大量的传感器节点构成监控网络，通过各种传感器采集信息，以帮助农民及时发现问题，并且准确地确定发生问题的位置。这样，农业将有可能逐渐地从以人为中心、依赖于孤立机械的生产模式转向以信息和软件为中心的生产模式，从而大量使用各种自动化、智能化、远程控制的生产设备。在农业中典型的应用有温室环境应用、节水灌溉应用和精准农业等。

4. 医疗及护理

无线传感器网络在医疗研究、护理领域也表现出了优势，其用途主要有无线监测人体生理数据、医院药品管理、老年人健康状况监控和远程医疗等。

如果在住院患者身上安装特殊用途的传感器节点，如心率和血压监测设备，利用无线传感器网络，医生就可以随时了解被监护患者的病情，进行及时的处理。罗彻斯特大学的科学家使用无线传感器网络创建了一个智能医疗房间，用智能传感器节点来测量患者的重要征兆，比如血压、脉搏和呼吸、

睡觉姿势, 以及每天 24 小时的活动状况。

5. 跟踪及物流管理

随着经济的快速发展, 物流业得到前所未有的重视和发展, 传统技术的应用已不能满足现代物流管理信息的实时化、管理体系的“自优化”要求。借此发展契机, 无线传感器网络技术结合 RFID、GPS 等技术正应用到车辆追踪与监控、供应链的监控等方面^[5], 而且 RFID 已成为发达国家进行物流管理的主要技术手段。在日本和韩国, 电子标签已成为大部分物流配送中心的标准配置, 在物流管理中发挥越来越大的作用。

基于 RFID、集 GIS 和 GPS 为一体的集成环境, 构建基于无线传感器网络具有实时跟踪和监控功能的物流管理系统可以促进现代物流管理业的发展。在国际上已有很多公司、企业正在研究开发与该领域有关的芯片、软件中间件、数据库、供应链管理、整体解决方案等。在技术标准方面, 总部设在美国麻省理工学院(MIT)的 Auto-ID Center 和日本的 Ubiquitous ID Center 相继提出独立适用的 RFID 技术标准。随着 RFID 与无线传感器网络相结合, 它们在跟踪及物流管理中将得到更好的推广应用。

6. 建筑及土木工程

目前, 随着建筑结构的日趋复杂化和大型化, 尤其是大型建筑结构在施工过程和建成使用期间的安全性成为人们非常关心的问题。根据无线传感器网络的特点, 可以用来监测这些大型建筑物的结构安全等。在国内外都有桥梁、大楼等坍塌的事故发生。在一个完整、可靠、高效的结构安全监测系统中, 无线传感器网络作为监测系统的基本组成部分, 在整个系统中起着举足轻重的作用。系统中的智能传感器检测物理量的变化^[5]、测量信号调理(如滤波和 A/D 转换等)、数据处理及数据显示等。这些智能传感器组成无线传感器网络, 处理无线传感器网络中的数据, 从而得到建筑结构的安全状况。

可以大胆地预见, 将来无线传感器网络将无处不在, 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, 将完全融入人们的生活。

1.3 无线传感器网络路由算法

1.3.1 无线传感器网络路由算法研究的主要思路

无线传感器网络具有硬件资源有限和以数据为中心的特点, 通常是以多