

无线传感器网络 技术与应用



安文 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

无线传感器网络技术与应用

安文 编著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍了无线传感器网络研究领域中的相关技术和应用,共8章,内容涵盖无线传感器网络的物理层技术、路由技术、定位、跟踪与时间同步技术,中间件技术,网络安全和数据管理技术以及网络应用等。本书可作为无线传感器相关领域的研究人员以及工程技术人员、爱好者的参考书,也可作为高等院校计算机、通信、电子和自动化等专业的本科教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络技术与应用 / 安文编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.10
ISBN 978-7-121-21561-2

I. ①无… II. ①安… III. ①无线电通信—传感器—计算机网络—研究 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 228543 号

策划编辑: 薄 宇

责任编辑: 毕军志

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 720×1 000 1/16 印张: 9.5 字数: 191.5 千字

印 次: 2013 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 33.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

无线传感器网络是近几年来国内外研究和应用的热门领域，它深入到我们生活的每个环节，渗透到社会的每个角落，有助于帮助人类提高认识物理世界的深度、广度、精确性、及时性，加强和密切人类与物理世界的联系，提高了人类对物理环境的远端监视和控制能力，所以无线传感器网络的应用前景非常广阔。

近年来，在应用需求的带动下，无线传感器网络研究得到了迅速发展。无线传感器网络具有多学科交叉的特征，它涉及传感器技术、网络通信技术、无线传输技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术、微电子制造技术、软件编程技术等多学科研究领域。正是由于这一点，原来从事某些专业领域（如传感器、计算机、通信、信号处理、自动控制等）研究的工作者纷纷从不同的角度介入这一领域，从不同的技术侧面对无线传感器网络展开研究。国内有关无线传感器网络基础理论和通用技术介绍的书籍已不少，这为国内科研学者和技术开发人员提供了很好的理论指导。本书主要是对初涉无线传感器网络的爱好者提供一些基本理论和基础知识，介绍了无线传感器网络的基本概念、网络结构、网络协议和算法、网络安全、网络数据管理、网络应用及设计基础等内容。

全书分为 8 章。第 1 章介绍了无线传感器网络的基本概念及发展概况；第 2 章、第 3 章介绍了无线传感器网络的 MAC 协议和路由协议；第 4 章介绍了无线传感器网络定位、跟踪与时间同步技术；第 5 章介绍了无线传感器网络中间件的一些基本知识和技术；第 6 章介绍了无线传感器网络存在的安全威胁及一些安全防范措施；第 7 章介绍了无线传感器网络数据管理技术；第 8 章对无线传感器网络应用进行了概括，并且描述了无线传感器网络应用设计原理。

本书的研究工作得到国家自然科学基金（项目批准号：61173173、61272430）、教育部人文社科项目（项目编号：12YJA630002）、山东省软科学研究计划（项目批准号：2013RKB01101）、山东省自然科学基金（项目批准号：ZR2011FM035、ZR2010FM044，ZR2011FL009）、山东省高等学校科技计划项目（项目批准号：J10LG64）以及住房和城乡建设部（项目批准号：2010—K6—13）等项目的资助，另外山东工商学院领导与学科组的同志也对本书的出版给予了鼓励和大力支持，在此一并表示由衷的感谢。

本书编写过程中参考了大量文献和资料，恕不一一列举，在此对原作者深表谢意。另外，互联网是本书成文的另一个重要参考来源。由于网上许多资料无法找到出处，书中如有内容涉及相关人士的知识产权，请给予谅解。

尽管作者做了最大努力，由于学识有限，时间仓促，本书的错误和不妥之处在所难免，希望各位同行和读者提出宝贵的建议和意见。

编著者
2013年8月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 无线传感器网络概述	1
1.1 无线传感器网络的概念	1
1.2 无线传感器网络的特征	2
1.3 无线传感器网络的发展与现状	3
1.4 无线传感器网络的关键技术	6
1.5 无线传感器网络的应用前景	14
参考文献	16
第 2 章 无线传感器网络的 MAC 协议	18
2.1 MAC 协议概述	18
2.2 IEEE 802.11 MAC 协议	20
2.3 S-MAC 协议	23
2.4 T-MAC 协议	28
参考文献	28
第 3 章 无线传感器网络的路由协议	29
3.1 无线传感器网络路由概述	29
3.2 路由协议设计的关键问题	30
3.3 简单的无结构路由协议	31
3.4 树类路由协议	37
3.5 地理路由协议	42
3.6 无线传感器网络路由协议比较	45
参考文献	47
第 4 章 无线传感器网络定位、跟踪与时间同步技术	49
4.1 无线传感器网络定位技术	49
4.1.1 节点定位技术概述	49
4.1.2 基于测距的定位技术	51
4.1.3 免于测距的定位技术	57

4.2	无线传感器网络跟踪技术	60
4.2.1	无线传感器网络跟踪技术概述	60
4.2.2	无线传感器网络目标跟踪的基本过程	61
4.3	无线传感器网络时间同步技术	62
4.3.1	时间同步技术概述	62
4.3.2	时间同步模型	63
4.3.3	时间同步协议	66
	参考文献	76
第 5 章	无线传感器网络中间件技术	80
5.1	概述	80
5.1.1	定义	80
5.1.2	典型的无线传感器网络中间件	81
5.1.3	无线传感器网络中间件的设计原则及需求	83
5.2	无线传感器网络中间件体系结构	85
5.2.1	中间件软件的层次	85
5.2.2	无线传感器网络中间件和平台软件体系结构	86
5.3	无线多媒体传感器网络中间件技术	88
5.3.1	无线多媒体传感器网络基本概念与特点	88
5.3.2	基于 Agent 的无线多媒体传感器网络中间件体系结构	89
	参考文献	91
第 6 章	无线传感器网络安全	94
6.1	无线传感器网络安全需求	94
6.2	无线传感器网络安全威胁	95
6.2.1	从传感器节点看安全威胁	96
6.2.2	从网络通信看安全威胁	97
6.2.3	从系统角度看安全威胁	98
6.3	无线传感器网络安全防护技术	99
6.3.1	安全认证技术	99
6.3.2	访问控制技术	101
6.3.3	安全通信与路由技术	102
6.3.4	安全定位与时钟同步技术	103
6.3.5	入侵检测、容侵容错技术	105
	参考文献	108

第 7 章 无线传感器网络数据管理技术	110
7.1 无线传感器网络数据管理概述	110
7.2 无线传感器网络数据管理与分布式数据库的比较	111
7.3 无线传感器网络数据管理的关键技术	114
7.3.1 以数据为中心的存储与分布式索引技术	114
7.3.2 数据模式	116
7.3.3 数据查询处理与优化	117
7.3.4 数据压缩技术	120
参考文献	123
第 8 章 无线传感器网络应用	128
8.1 无线传感器网络的应用	128
8.1.1 军事应用	129
8.1.2 环境应用	130
8.1.3 医疗卫生应用	131
8.1.4 家庭应用	132
8.1.5 其他商业应用	133
8.2 WSN 应用设计原理	134
8.2.1 设计方面	135
8.2.2 确定 WSN 操作方式	139
参考文献	141

无线传感器网络概述

近年来，随着无线通信、传感器、嵌入式计算机及微机电技术的飞速发展和相互融合，具有感知能力、计算能力和通信能力的微型传感器开始逐渐在各领域得到应用，由这些微型传感器构成的无线传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN），能够通过各类集成化的微型传感器相互协作地实时监测、感知和采集各种环境或检测对象的信息，这些信息以无线方式传送，并以自组多跳的网络方式传送到用户终端，从而实现物理世界、计算机世界及人类社会相互之间的连通。

1.1 无线传感器网络的概念

无线传感器网络是由大量廉价的、无处不在的、具有无线通信与计算能力的微小传感器节点构成的无线自组织网络系统，其作用是协作地感知、采集和处理网络覆盖的地理区域中感知对象的信息，并发送给接收者。每个传感器节点由传感单元、存储单元、计算单元和无线通信单元等构成。无线传感器网络的特点是：大规模、无线、自组织、多跳、无分区、无基础设施支持、微型化和对外部世界的感知能力，其中节点是同构的，成本较低，体积较小，部分节点可以移动，相应的拓扑结构也相对固定或变化较慢，每个节点都可以充当路由器的角色，并且每个节点都具备动态搜索、定位和恢复连接的能力^[1,2]，要求网络系统有尽可能长的工作时间。

无线传感器网络集成了传感器技术、微机电系统（MEMS）技术、无线通信

技术和分布式信息处理技术及电源方面等多项新型技术。在整个网络系统中，部署在监测区域的大量传感器节点收集、处理并交换来自于外界环境的数据，最终传输到外部基站进行相应处理，

如图 1.1 所示为目前被广泛接受的无线传感器网络结构示意图。

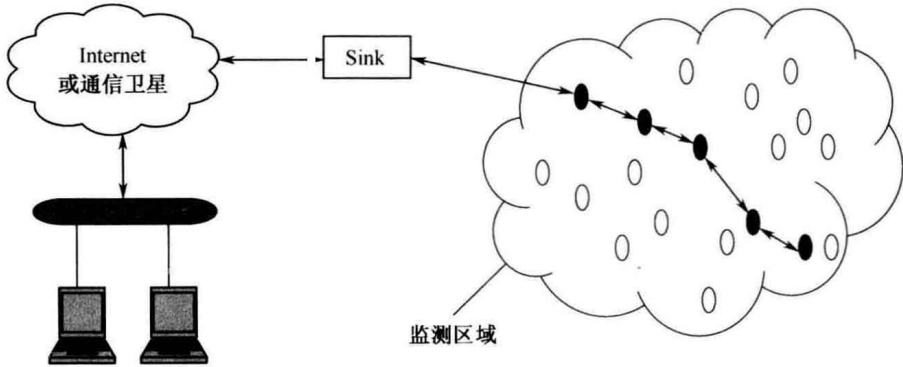


图 1.1 无线传感器网络结构图

无线传感器网络作为新一代有效获取信息的无线网络通信技术，具有非常广泛的应用发展前景，其发展和应用将会给人类生产和生活的各个领域带来非常深远的影响。

1.2 无线传感器网络的特征

目前常见的无线网络包括移动通信网、无线局域网、蓝牙网络、AD HOC 网络等，与这些网络相比，无线传感器网络具有以下特点^[3,4]：

(1) 传感器节点体积小，电源能量有限。无线传感器网络是在 MEMS 技术、数字电路技术的基础上发展起来的，传感器节点各部分集成度很高，因此具有体积小的优点，其上通常携带能量十分有限的电池。由于传感器节点数量大、分布范围广、位置环境复杂，有些节点位置甚至人员都不能到达，传感器节点能量补充遇到了困难，所以，在考虑传感器网络体系结构及各层协议设计时，节能是设计的主要考虑目标之一。

(2) 计算和存储能力有限。由于无线传感器网络应用的特殊性，要求传感器节点的价格低、功耗小，这必然导致其携带的处理器能力比较弱，存储器容量比较小。因此，如何利用有限的计算和存储资源，完成诸多协同任务，也是无线传感器网络技术面临的挑战之一。事实上，随着低功耗电路和系统设计技术的提高，目前已经开发出很多超低功耗微处理器。同时，一般传感器节点还会配上一些外

部存储器,目前的Flash存储器是一种可以低电压操作、多次写、无限次读的非易失存储介质。

(3) 通信半径小,带宽低。无线传感器网络利用“多跳”来实现低功耗下的数据传输,因此,其设计的通信覆盖范围只有几十米。和传统的无线网络不同,传感器网络中传输的数据大部分是经过节点处理的数据,因此流量较小。根据目前观察到的现象特征来看,传感数据所需的宽带将会很低(1~100Kbps)。

(4) 无中心和自组织。在无线传感器网络中,所有节点的地位都是平等的,没有预先制定的中心,各节点通过分布式算法来相互协调,可以在无须人工干预和任何其他预置的网络设施的情况下,节点自动组织成网络。正是由于无线传感器网络没有中心,所以,网络不会因为单个节点的损坏而损毁,这使得网络具有较好的鲁棒性和抗毁性。

(5) 网络动态性强。无线传感器网络主要由三个要素组成,分别是传感器节点、感知对象和观察者,三者之间的路径也随之变化,网络必须具有可重构和自调整性。因此,无线传感器网络具有很强的动态性。

(6) 传感器节点数量大且具有自适应性。无线传感器网络中传感器节点密集,数量巨大,可能达到几百、几千个,甚至更多。此外,无线传感器网络可以分布在很广泛的地理区域,网络的拓扑结构变化很快,而且网络一旦形成,很少有人为干预其运动,因此,无线传感器网络的软、硬件必须具有高鲁棒性和容错性,相应的通信协议必须具有可重构和自适应性。

(7) 以数据为中心的网络。对于观察者来说,传感器网络的核心是感知数据而不是网络硬件。以数据为中心的特点要求传感器网络的设计必须以感知数据的管理和处理为中心,把数据库技术和网络技术紧密结合,从逻辑概念和软、硬件技术两方面实现一个高性能的、以数据为中心的网络系统,使用户如同使用通常的数据库管理系统和数据处理系统一样,自如地在传感器网络上进行感知数据的管理和处理。

1.3 无线传感器网络的发展与现状

1. 发展简史

无线传感器网络的基本思想起源于20世纪70年代。美国国防部高级研究所计划署(DARPA)于1978年开始资助卡耐基梅隆大学进行分布式传感器网络的研究,这被看成是无线传感器网络的雏形。1980年,DARPA的分布式传感器网络项

目开启了传感器网络研究的先河；20世纪80至90年代，研究主要集中在军事领域，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；从90年代中期开始，美国和欧洲等发达国家和地区先后开始了大量的关于无线传感器网络的研究工作。

1993年，美国Rockwell研究中心和加州大学洛杉矶分校合作开始了WINS (Wireless Integrated Network Sensors)项目，其目的是将嵌入在设备、设施和环境中的传感器、控制器和处理器建成分布式网络并能够通过Internet进行访问，这种传感器网络已多次在美军的实战环境中进行了试验。

1995年，美国交通部提出了“国家智能交通系统项目规划”，该计划试图有效地集成先进的信息技术、数据通信技术、传感器技术、控制技术、计算机处理技术，并应用于整个地面交通管理，建立一个大范围、全方位、实时高效的综合交通运输管理系统，该系统将有效地使用传感器网络进行交通管理，可以对车速、车距进行控制，还能提供道路通行状况信息、最佳的行驶路线，发生交通事故时自动和事故抢救中心联系。

2001年，美国陆军提出了“灵巧传感器网络通信”计划^[5]，其基本思想是在整个作战空间中放置大量的传感器节点来收集敌方的数据，然后将数据汇集到数据控制中心融合成一张立体的战场图片。当作战组织需要时就可以及时地发送给他们，使其及时地了解战场的动态，并以此及时调整作战计划。在此之后不久，美军又提出了“无人值守地面传感器群”项目，其主要目标是使基层部队人员具备在他们希望部署传感器的任何地方部署的灵活性。部署的方式依赖于需要执行的任务，指挥员可以将多种传感器进行最适宜的组合来满足任务需求。该计划的一部分就是研究哪种组合最优，可以最有效地部署，并满足任务需求。

2002年5月，美国能源部与美国Sandia国家实验室合作，共同研究用于地铁、车站等场所的防范恐怖袭击的对策系统，该系统融检测有毒的、奇特的化学传感器和网络技术于一体，传感器一旦检测到某种有害物质，就会自动向管理中心通报，并自动采取急救措施。

2002年10月，美国英特尔公司公布了“基于微型传感器网络的新型计算发展规划”，该计划显示出英特尔公司将致力于微型传感器网络在预防医学、环境监测、森林防火乃至海地板块调查、行星探查等领域的广泛研究并投入应用。

美国国家自然科学基金委员会(NSF)于2003年制定了传感器网络研究计划，投资3400万美元，在加州大学成立了传感器网络研究中心，并联合加州大学伯克利分校和南加州大学等科研机构进行相关基础理论的研究。

近年来，中国科学院系统下属相关研究所、清华大学、南京邮电大学等一批高校也相继对无线传感器网络展开了相关的研究，并且取得了一定的研究成果。

2. 研究现状

无线传感器网络的研究最初起源于美国军方，其研究的项目包括 CEC、REM-BASS、TRSS、Sensor IT、WINS、Smart Dust、SeaWeb、 μ AMPS、NEST 等。美国国防部远景计划研究所已投资几千万美元，帮助大学进行无线传感器网络技术的研发。NSF 也开设了大量的与其相关的项目，于 2003 年制定了无线传感器网络研究计划，每年拨款 3400 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、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 4000 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。

美国所有著名的院校几乎都有研究小组从事传感器网络相关技术的研究，如加州大学洛杉矶分校、康奈尔大学、麻省理工学院（MIT）和加州大学伯克利分校等都先后开展了传感器网络方面的研究工作。Crossbow、Mote IV 等一批以传感器节点为产业的公司已为大家所熟知，他们的产品 Mica2、Micaz、Telos 等为很多研究机构搭建起了硬件平台，方便的开发平台使得大部分研究机构开始转而研究大规模无线组网、传感信息融合、时间同步与定位、低功耗设计技术等关键技术。加拿大、英国、德国、芬兰、日本和意大利等国家的研究机构都先后开始了无线传感器网络的研究。欧盟等第六个框架计划将“信息社会技术”作为优先发展的领域之一，其中多处涉及对无线传感器网络的研究。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。韩国信息通信部制订了信息技术“839”战略，其中，“3”是指 IT 产业的三大基础设施，即宽带融合网络、泛在传感器网络、下一代互联网协议。企业界中，欧盟的飞利浦、西门子、Ericsson、ZMD、France Telecom、Chipcon 等公司，日本的 NEC、OKI、Skyleynetworks、世康、欧姆龙等公司都开展了无线传感器网络的研究。

我国对无线传感器网络的研究起步较晚，首次正式启动出现于 1999 年中国科学院《知识创新工程重点领域方向研究》的“信息与自动化领域研究报告”中，无线传感器网络是该领域的五大重点项目之一。2001 年，中国科学院依托上海微系统与信息技术研究所成立微系统研究与发展中心，旨在引领中国科学院无线传感器网络的相关工作。

国家自然科学基金已经审批了与无线传感器网络相关的多项课题：2004 年，将一项无线传感器网络项目“面向传感器网络的分布自治系统关键技术及协调控制理论”列为重点研究项目；2005 年，将网络传感器中的基础理论和关键技术列入计划；2006 年，将水下移动传感器网络的关键技术列为重点研究项目。国家发

展和改革委员会下一代互联网（CNGI）示范工程中，也部署了无线传感器网络相关的课题。

在一份我国未来 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》为信息技术定义了三个前沿方向，其中两个与无线传感器网络的研究直接相关，即智能感知技术和自组织网络技术。我国 2010 年远景规划和“十五”计划中，就已经将无线传感器网络列为重点发展的产业之一。

国内也有越来越多的企事业单位开始关注传感器网络技术的发展，宁波中科、北京鑫诺金传感与控制技术有限公司、成都无线龙通信科技有限公司等也开始推出针对无线传感器网络及 ZigBee 的解决方案，以及面向一定产业应用的系统方案。

3. 发展趋势

近年来，人们对无线传感器网络的研究不断深入，无线传感器网络得到了很大的发展，也产生了越来越多的实际应用。随着人们对信息获取需求的不断增加，由这些传统传感器网络所获取的简单数据越来越无法满足人们对信息获取的全面需求，使得人们已经开始研究功能更强的无线多媒体传感器节点，使用无线多媒体传感器节点能够获取图像、音频、视频等多媒体信息，从而使人们能获取监测区域更加详细的信息。

无线传感器网络有着十分广泛的应用前景，我们可以大胆地预见，将来无线传感器网络将无处不在，完全融入我们的生活。例如，微型传感器网最终可能将家用电器、个人计算机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。未来，无线传感器网络将是一个无孔不入的、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各个领域。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，国内企业更应该抓住商机，加大投入力度，推动整个行业的发展。

1.4 无线传感器网络的关键技术

与传统的有线和蜂窝网络相比，无线传感器网络没有基础设施，每个节点都可能随时进入和离开网络，整个网络分布式运行，这使得其中有很多关键技术值得研究。

1. 拓扑控制

在无线传感器网络生成的网络拓扑中，可以直接通信的两个节点之间存在一条拓扑边，如果没有拓扑控制，所有节点都会以最大无线传输功率工作。在这种情况下，一方面，节点有限的能量将被通信部件快速消耗，降低了网络的生命周期，同时，网络中每个节点的无线信号将覆盖大量其他节点，造成无线信号冲突频繁，影响节点的无线通信质量，降低网络的吞吐率；另一方面，在生成的网络拓扑中将存在大量的边，从而导致网络拓扑信息量大、路由计算复杂，浪费了宝贵的计算资源。因此，拓扑控制问题是无线传感器网络研究的一个基本问题。

对无线传感器网络拓扑控制的研究具有极为重要的意义，主要表现在：①节省节点消耗的能量，拓扑控制的重要目标之一就是保证网络连通性和覆盖度的情况下，尽量合理地调度网络内的节点能量，延长网络的生产周期；②提高网络通信效率；③路由协议的基础——拓扑控制算法确定了节点之间的邻居关系；④为数据采集提供了基础；⑤拓扑控制算法要负责管理整个网络的结构。

无线传感器网络拓扑控制主要研究的问题是：在满足网络覆盖度和连通度的前提下，通过功率控制盒骨干网节点的选择，剔除节点之间不必要的通信链路，形成一个数据转发的优化网络结构。无线传感器网络拓扑控制的研究方向可以分为两类：节点功率控制盒与层次性拓扑控制组织。功率控制机制调节网络中，每个节点的发射功率在满足网络连通度的前提下，均衡节点的单跳可达邻居数目；层次型拓扑控制利用分簇机制让一些节点作为簇头节点，由簇头节点形成一个处理并转发数据的骨干网，其他非骨干网节点可以暂时关闭通信模块，进入休眠状态以节省能量。

目前，在拓扑控制功率方面，已经提出了 COMPOW 等统一功率分配算法，LINT/LILT 和 LMN/LMA 的基于节点度数的算法，CBTC、LMST、RNG、DRNGDLSS 等基于邻近图的近似算法；在层次型拓扑控制方面，提出了 TopDisc 成簇算法、改进的 GAF 虚拟地理网格分簇算法，以及 LEACH 和 HEED 等自组织成簇算法。

2. 路由协议

路由协议负责将数据分组从源节点通过网络转发到目的节点，主要包括两方面的功能：寻找源节点和目的节点间的优化路径，将数据分组沿着优化路径正确转发。

无线传感器网络路由协议设计与传统的无线 AD HOC 网络有很多不同，无线传感器网络路由协议设计的重要目标是降低节点能源损耗，提高网络生命周期；

而传统的无线 AD HOC 网络的路由协议设计的首要任务是在移动条件下高质量的服务提供。这些不同导致了传统的无线 AD HOC 网络路由协议不能直接用于无线传感器网络中，许多新的适用于无线传感器网络的路由协议被提出，该领域已经成为无线传感器网络研究中的热点。

由于无线传感器网络具有无全局标识、多对一通信、数据冗余大、资源局限强的特点，无线传感器网络的路由设计的成功与否取决于其性能标准：①能源有效性/生命周期。能源有效性是传感器网络设计中要考虑的重要因素。尽可能降低能源消耗，从而延长网络生命周期，是设计的首要目标。②可靠性/容错性。传感节点容易因为能源耗尽或环境干扰而失败。部分传感节点的失效不能影响整个网络的任务。③可扩展性。在一些应用中可能需要成百上千个传感节点，路由设计应能满足大量节点协作。④时延性。传感器网络的延迟时间是指观察者发出请求到收到应答信息所需的时间，路由协议应该尽可能减少时延。

目前，对无线传感器网络的路由协议研究有泛洪式路由协议、层次式路由协议、以数据为中心的路由协议，以及基于位置信息的路由协议。

(1) 泛洪式路由协议。不需要维护网络的拓扑结构和路由计算，接收到信息的节点以广播形式转发数据包给所有的邻节点。对于自组织的传感器网络，泛洪式路由是一种较直接的实现方法，但容易带来信息的“内爆”和“重叠”，而且它没有考虑能源方面的限制，具有“资源盲点”的缺点。

(2) 层次式路由协议。其基本思想是将传感器节点分簇，簇内通信由簇头节点来完成，簇头节点进行数据聚集和合成以减少传输信息量，最后簇头节点把聚集的数据传送给终端节点。这种方式能满足传感器网络的可扩展性，有效地维持传感节点的能量消耗，从而延长网络生命周期。LEACH 算法是一种自适应分簇拓扑算法，它的执行过程是周期性的，每轮循环分为簇的建立阶段和稳定的数据通信阶段。在簇的建立阶段，相邻节点动态地形成簇，随机产生簇头；在数据通信阶段，簇内节点把数据发送给簇头，簇头进行数据融合并把结构发送给汇聚节点。

(3) 以数据为中心的路由协议。提出对传感器网络中的数据用特定的描述方式命名，数据传送基于数据查询并依赖数据命名，所有的数据通信都限制在局部范围内。这种方式的通信不再依赖特定的节点，而是依赖于网络中的数据，从而减少了网络中大量传送的重复冗余数据，降低了不必要的开销，从而延长网络生命周期。其典型的路由协议是定向扩散算法，该算法中的数据融合包括路径建立阶段的任务融合和数据发送阶段的数据融合，这两种融合都通过缓存机制得以实现。定向扩散中的兴趣融合得益于它基于属性的命名方式，类型相同，监测区域完全覆盖的兴趣在某种情况下就可以融合成为一个兴趣。定向扩散路由的数据融合采用的是“抑制副本”的方法，即对转发过的数据进行缓存，发现重复的数据