

# 无线传感器网络 定位跟踪算法研究

周伟 高鹏 易军 著

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 无线传感器网络 定位跟踪算法研究

周 伟 高 鹏 易 军 著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书系统地阐述了无线传感器网络的研究前沿问题——定位和跟踪技术。全书共分为10章。第1、2章介绍了无线传感器网络定位跟踪技术的特点和面临的挑战；第3~7章针对无线传感器节点通信开销、拥塞、能耗、碰撞等问题，系统地、详细地提出了不同应用目标下的无线传感器网络定位算法；第8~10章围绕无线传感器网络节点协作跟踪问题，研究了无线传感器网络目标跟踪算法。

本书的适用对象为物联网工程、计算机科学专业的科研人员和研究生，以及电信业的研究和开发人员。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目 (CIP) 数据

无线传感器网络定位跟踪算法研究 / 周伟, 高鹏, 易军著. —北京: 北京理工大学出版社, 2020. 12

ISBN 978 - 7 - 5682 - 9402 - 7

I. ①无… II. ①周… ②高… ③易… III. ①无线电通信 - 传感器 - 定位跟踪 - 算法分析 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 001748 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 12.75

字 数 / 259 千字

彩 插 / 7

版 次 / 2020 年 12 月第 1 版 2020 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 64.00 元

责任编辑 / 曾 仙

文案编辑 / 曾 仙

责任校对 / 刘亚男

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

# 前 言

作为一项新兴的热点领域，无线传感器网络集成了传感器技术、微电子技术、无线通信技术和分布式信息处理技术，以其先进的理念和广泛的应用前景受到高度关注，成为当前 IT 领域研究的热点之一。其中，节点定位和目标跟踪是无线传感器网络研究和应用的关键性问题。本书面向计算机学科的前沿研究方向——无线传感器网络理论及其应用技术，以提高节点定位精度、目标跟踪精度、降低节点能耗、延长网络寿命为切入点，基于图论、Rang-free 理论、协作理论、信息融合、模糊聚类、模拟退火、粒子滤波等计算方法，开展了基于无线传感器网络的节点定位和目标跟踪技术研究，从环境要求由简单到复杂、应用要求由简单到复杂、性能要求由简单到复杂三个维度提出了相关算法，并结合这些算法构建了适用于无线传感器网络的定位、跟踪原型系统，提供了最新的研究成果。

## 【读者对象】

物联网工程、计算机科学专业的科研人员和研究生，以及电信业的研究和开发人员。

## 【本书特色】

1. 本书以传感器节点定位跟踪为视角，针对几种典型的应用场合，提出了一系列节点定位算法，并构建了不同的协作模型、提出了目标跟踪算法，具有一定研究特色。

2. 本书将优化理论（特别是模糊聚类、模拟退火、粒子滤波等技术）引入无线传感器网络研究领域，提出了基于图论模糊聚类的 RSSI 参数自适应定位算法、模拟退火的自适应 RSSI 补偿协作定位算法、基于粒子滤波的目标定位跟踪算法等，代表了未来的发展方向。

## 【内容结构】

第 1 章，无线传感器网络定位跟踪技术概述。本章阐述了本书的研究背景和意义，简单介绍了无线传感器研究体系架构、研究现状和定位跟踪的基本理论知识。

第 2 章，无线传感器网络定位跟踪关键技术。本章系统地、全面地阐述了无线传感器网络定位、跟踪关键技术。总结和分析了现有定位算法的品质、性能指标及存在的问题，详细分析了传感器网络目标跟踪算法研究现状和面临的主要问题。

题，为后续工作的开展奠定相关基础。

第3章，基于测距定向的分步求精定位算法。本章面向室内简单环境，提出了一种基于测距定向的分步求精定位算法；从室外空旷环境下的 RSSI 测距特性分析入手，过渡到简单环境下的 RSSI 定位算法及性能分析，在此基础上，提出了一种简单、有效的定位方法，能提高定位精度。

第4章，基于图论模糊聚类的 RSSI 参数自适应定位算法。本章面向室内复杂环境，提出了一种基于模糊聚类的参数自适应定位算法；在考虑由室内多个单一环境（简单环境）组成的复杂室内环境中，提出了一种环境参数自适应改变的定位算法，能提高算法的自适应能力和精度。

第5章，基于模拟退火的自适应 RSSI 补偿协作定位算法。本章面向室内多个未知节点的同时定位，提出了一种基于模拟退火的自适应协作定位算法，可用于室内 RSSI 的自适应补偿。

第6章，基于移动信标的节点定位算法。本章针对传统基于移动信标的节点定位存在的不足，采用基于 RSS 辅助的非测距移动信标定位算法，提高了非测距定位策略的节点定位精度；同时，针对不同应用场合，设计了移动信标的不同运动轨迹，并分别进行了仿真研究。

第7章，基于路径规划与预测的定位算法。本章首先对实施该方法的定位系统提出功能要求，并在具备该功能的系统上，提出了一种结合路径规划和预测的室内移动目标的定位方法。

第8章，面向目标跟踪的节点协作算法。本章针对无线传感器网络目标跟踪中的传感器节点能量有限问题，提出了一种基于范围预测的节点激活策略和一种动态跟踪簇构建策略，以对目标进行侦测和跟踪，并分别进行了仿真验证。

第9章，基于粒子滤波的目标定位跟踪算法。本章从目标跟踪基本理论出发，结合无线传感器网络节点的特点，提出了一种并行扩展卡尔曼粒子滤波算法 (PEPF)，利用扩展卡尔曼滤波器来产生粒子滤波的重要性密度函数，以提高粒子滤波的效率、减弱粒子退化现象。

第10章，无线传感器网络目标定位跟踪系统。本章设计并构建了基于无线传感器网络的目标定位跟踪原型系统，阐述了系统的应用背景、系统架构，构建新型混合网络架构，实现目标实时监测、目标定位跟踪、目标状态预测、目标状态信息查询等功能。

本书由周伟、高鹏、易军著，其中周伟负责第6、8、9、10章的撰写并统编全书，高鹏负责第3、4、5、7章的撰写，易军负责第1、2章的撰写。

由于笔者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

# 目 录

<b>第 1 章 无线传感器网络定位跟踪技术概述</b> .....	001
1.1 无线传感器网络 .....	001
1.1.1 无线传感器网络体系结构 .....	001
1.1.2 无线传感器网络特点 .....	004
1.1.3 无线传感器网络应用领域 .....	005
1.1.4 无线传感器网络面临的挑战 .....	007
1.2 无线传感器网络的关键技术 .....	008
1.3 无线传感器网络定位技术 .....	010
1.4 无线传感器网络目标跟踪技术 .....	011
参考文献 .....	013
<b>第 2 章 无线传感器网络定位跟踪关键技术</b> .....	018
2.1 无线传感器网络节点定位技术 .....	018
2.1.1 节点定位问题描述 .....	018
2.1.2 节点定位算法分类 .....	022
2.1.3 典型定位方法分析 .....	028
2.1.4 定位品质及评价指标 .....	040
2.1.5 常见定位系统及评估 .....	043
2.1.6 节点定位技术面临的主要问题 .....	044
2.2 无线传感器网络目标跟踪技术 .....	046
2.2.1 目标跟踪的过程 .....	046
2.2.2 目标跟踪技术的研究现状 .....	047
2.2.3 目标跟踪技术面临的主要问题 .....	050
2.3 本章小结 .....	051
参考文献 .....	052
<b>第 3 章 基于测距定向的分步求精定位算法</b> .....	062
3.1 RSSI 测距实验分析及算法思想来源 .....	063
3.2 算法的原理及实现 .....	066
3.2.1 算法环境假设 .....	066
3.2.2 算法原理 .....	067
3.2.3 RSSI 测距定向模型 .....	067

3.2.4	基于测距定向的质心定位求解	070
3.2.5	算法优化	071
3.2.6	SRLRO 算法的实现	074
3.3	仿真分析与实验分析	074
3.3.1	仿真分析	074
3.3.2	实验验证	077
3.4	本章小结	079
	参考文献	079
<b>第 4 章</b>	<b>基于图论模糊聚类的 RSSI 参数自适应定位算法</b>	<b>080</b>
4.1	模糊聚类方法	080
4.1.1	模糊理论基础	080
4.1.2	聚类的数学描述	081
4.1.3	图论模糊聚类法	082
4.2	室内定位中的聚类问题及算法思想来源	083
4.3	算法原理及实现	085
4.3.1	基于 RSSI 模糊聚类的区域自适应划分	085
4.3.2	子区域内参数自适应估计	087
4.3.3	子区域间的 RSSI 补偿机制	087
4.3.4	IAL - GT - FC 算法的实现	089
4.4	仿真与实验	089
4.4.1	仿真分析	089
4.4.2	实验分析	094
4.5	本章小结	096
	参考文献	097
<b>第 5 章</b>	<b>基于模拟退火的自适应 RSSI 补偿协作定位算法</b>	<b>098</b>
5.1	模拟退火方法及定位问题的提出	098
5.1.1	组合优化问题	098
5.1.2	模拟退火	099
5.1.3	协作定位及算法的提出	100
5.2	SA - ARC - CL 算法	101
5.2.1	定位场景假设	101
5.2.2	问题的描述与形成	101
5.2.3	基于模拟退火算法的 RSSI 补偿策略	103
5.2.4	SA - ARC - CL 算法的实现	104
5.3	仿真验证	105
5.4	本章小结	108

参考文献 .....	108
<b>第 6 章 基于移动信标的节点定位算法</b> .....	111
6.1 移动信标的定位分析 .....	111
6.1.1 基于移动信标的定位方案 .....	111
6.1.2 移动信标运动路径设计 .....	112
6.2 基于移动信标的节点定位算法 .....	115
6.2.1 信标点的选取 .....	115
6.2.2 节点候选位置的确定 .....	116
6.2.3 节点位置估算 .....	118
6.3 定位误差分析 .....	119
6.4 仿真实验 .....	121
6.4.1 仿真环境 .....	121
6.4.2 仿真结果 .....	122
6.5 本章小结 .....	127
参考文献 .....	127
<b>第 7 章 基于路径规划与预测的定位算法</b> .....	129
7.1 相关研究 .....	129
7.1.1 粒子群优化算法 .....	129
7.1.2 路径规划 .....	130
7.1.3 预测 .....	130
7.2 算法思想及室内路径规划 .....	131
7.3 PPLP 算法 .....	132
7.3.1 定位场景与假设 .....	132
7.3.2 位置预测 .....	133
7.3.3 定位计算与预测更新 .....	136
7.3.4 PPLP 算法的实现 .....	137
7.4 仿真分析 .....	137
7.5 本章小结 .....	144
参考文献 .....	144
<b>第 8 章 面向目标跟踪的节点协作算法</b> .....	146
8.1 目标跟踪结构 .....	147
8.2 节点激活策略研究 .....	147
8.2.1 问题描述 .....	149
8.2.2 PRSA 算法 .....	150
8.2.3 仿真分析 .....	153
8.3 目标跟踪动态簇的组建 .....	157

8.3.1	动态跟踪簇的构建	159
8.3.2	跟踪簇的重构	161
8.3.3	目标丢失恢复机制	163
8.3.4	仿真验证	164
8.4	本章小结	166
	参考文献	166
<b>第9章</b>	<b>基于粒子滤波的目标定位跟踪算法</b>	<b>168</b>
9.1	目标跟踪滤波算法	169
9.1.1	贝叶斯滤波	169
9.1.2	粒子滤波	170
9.1.3	粒子退化问题	174
9.2	并行扩展卡尔曼粒子滤波算法	175
9.2.1	基于能量观测的扩展卡尔曼滤波	175
9.2.2	并行扩展卡尔曼粒子滤波	177
9.3	实验仿真	181
9.3.1	算法性能分析	181
9.3.2	算法仿真	181
9.4	本章小结	185
	参考文献	185
<b>第10章</b>	<b>无线传感器网络目标定位跟踪系统</b>	<b>186</b>
10.1	系统设计	186
10.1.1	系统架构	186
10.1.2	系统功能	187
10.1.3	传感器节点设计	188
10.1.4	Sink 节点设计	189
10.2	系统性能测试	192
10.2.1	传感器节点定位实验	192
10.2.2	目标事件跟踪实验	194
10.3	本章小结	195
	参考文献	196

## 第 1 章

# 无线传感器网络定位跟踪技术概述

本章将阐述无线传感器网络定位跟踪技术的研究背景和意义，简单介绍无线传感器研究体系架构、研究现状和定位跟踪的基本理论知识，还将提出无线传感器网络定位跟踪技术的研究内容、研究思路和框架结构。

## 1.1 无线传感器网络

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 由部署在监测区域内的大量微型传感器节点、少量汇聚节点、Internet 网络及其管理中心组成。这些传感器节点具有通信能力和计算能力，通过多跳无线通信方式构成的自组织网络系统来对监控区域内的环境信息 (或监测对象的信息) 实时感知、采集和处理，并将处理后的信息传送给感兴趣的网络终端用户<sup>[1,2]</sup>。

作为一项新兴的热点领域，无线传感器网络被看作继因特网之后将对 21 世纪人类生活方式产生重大影响的 IT 技术之一，其先进的理念和广阔的应用前景受到全世界学术界与工业界的高度关注，由此衍生的很多技术问题也成为国内外研究热点。1999 年，美国的 *BusinessWeek* (《商业周刊》) 将 WSN 列为 21 世纪最具影响的 21 项技术之一<sup>[3]</sup>；2003 年，美国的 *BusinessWeek* 又在其“未来技术专版”的发表文章中指出，WSN 是全球未来的四大高新技术产业之一<sup>[4]</sup>。

无线传感器网络已经深入人们生活的各领域<sup>[5]</sup>。例如，在军事领域，可通过将传感器网络放置在敌军阵地来安全地获得精确信息，用于战场环境感知、目标跟踪等；在民用领域，WSN 可广泛应用于生态环境监测、医疗护理、空间探索、智能交通控制、智能农业等方面。

### 1.1.1 无线传感器网络体系结构

无线传感器网络的结构如图 1.1 所示。传感器节点采集相关信息并进行简单的数据处理后，通过一定的路由策略将信息传递至汇聚节点 (Sink 节点)；Sink 节点对信息进行分析处理后，将其上传至本地用户或者通过 Internet 上传至远程监控中心。

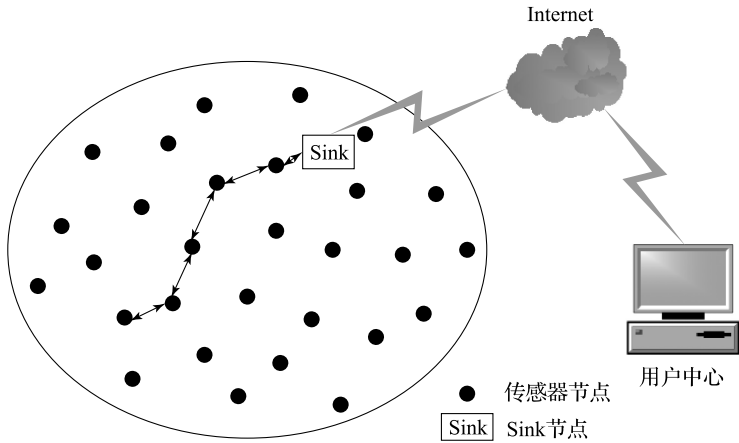


图 1.1 无线传感器网络的结构

### 1. 传感器节点结构

传感器节点是无线传感器网络的基本组成单元，主要负责环境信息的采集、处理和传输，传感器节点通常由传感模块、控制模块、存储模块、无线通信模块和电源模块等 5 部分组成<sup>[6]</sup>。根据需求，传感器节点还可以具有定位模块、移动模块等扩展功能，如图 1.2 所示。传感模块主要负责采集与转换监控区域内的物理信号；控制模块负责整个节点的操作、管理以及数据处理，并负责与其他节点的协调；存储模块用于存储各种消息、事件、任务、信息；无线通信模块负责与其他节点进行无线通信，交换控制消息和传感数据；电源模块负责为节点提供工作所需的能量。

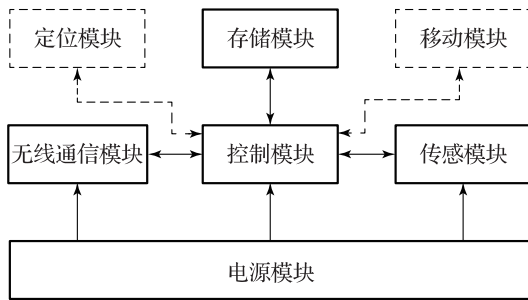


图 1.2 传感器节点组成

无线传感器网络节点因具有独特的硬件特点，故在实际应用中受到一定的资源限制，如能量有限、通信能力有限、计算与存储能力有限。

#### 1) 能量有限

传感器节点具有隐蔽、体积小等特点，这大大限制了传感器节点携带电池的

体积,从而使小体积节点的能量非常有限。因此,降低节点能耗、延长节点寿命是无线传感器研究的重中之重。节点能耗主要在处理器、传感器和无线通信部分,各部分能耗情况如图 1.3 所示。从各部分能耗可知,节点能耗主要在无线通信模块,处理器和传感器消耗的能量远小于节点通信能量开销。在节点通信能耗方面,节点发送信息时的能耗最大,接收信息和空闲时消耗的能量略小,而节点处于睡眠时消耗的能量非常小。因此,降低节点能耗、延长节点寿命的关键在于如何减少不必要的通信,使更多节点处于睡眠状态,这也是无线传感器网络目标跟踪算法设计的关键。

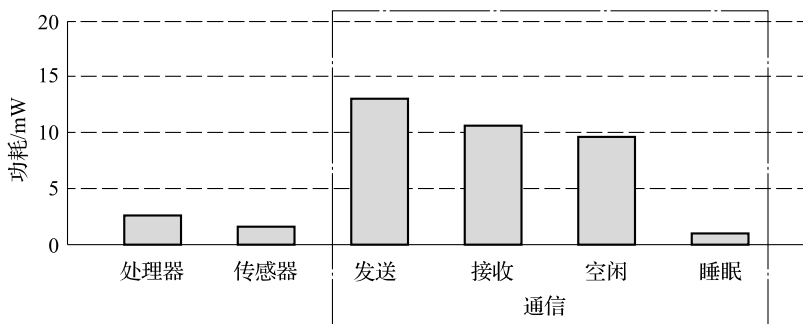


图 1.3 节点能耗情况

## 2) 通信能力有限

受传感器节点能量的限制,其通信距离有限。在研究中,通常将节点能耗  $E$  与通信距离  $d$  直接关联为

$$E = kd^n \quad (1.1)$$

式中,  $n$ ——路径损耗指数,取值为  $2 \sim 4$ ,  $n$  的取值与环境因素有密切关系。

由式 (1.1) 可知,随着通信距离的增加或传输环境的恶化,节点能耗将急剧增加。因此,在满足通信要求情况下应尽量缩短节点间单跳通信的距离。

## 3) 计算与存储能力有限

由于传感器节点的体积和能量有限,且通常具有大规模应用的特点,故要求节点成本低、能耗小,从而导致节点处理器的存储容量小,其计算能力和存储能力有限。

## 2. 网络协议栈结构

与传统无线网络相比,无线传感器网络具有特殊应用需求和新特点,研究人员在 OSI 模型体系结构和 TCP/IP 协议栈的基础上提出了无线传感器网络的协议栈结构,如图 1.4 所示。

与传统互联网中的 TCP/IP 协议栈类似,无线传感器网络协议栈由物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层组成。与传统无线网络不同,无线传感器网络的协议栈结构还包括网络管理平台,用于网络拓扑控制、能量管理、安全管理、移动管理和网络管理等,从而使传感器节点能高效地协同工作。

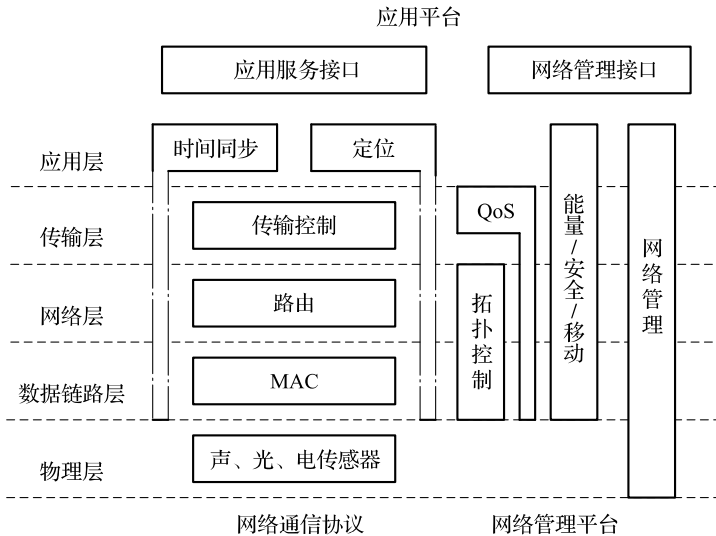


图 1.4 无线传感器网络协议栈

### 1.1.2 无线传感器网络特点

无线传感器网络是一种集成监测、控制处理以及无线通信的网络系统，其节点规模大、节点资源受限、以数据为中心，与传统无线自组网络有许多相似之处，具体特点如下<sup>[7]</sup>。

#### 1. 网络自组织，拓扑动态变化

无线传感器网络的节点大都处于不断变化的应用环境中，它的状态会时常发生变化。在许多应用中，传感器网络节点被随机布撒在监测区域，以自组网的形式形成网络拓扑。其影响因素有：任务需求；监测环境的改变；布撒后节点的分布差异；失效节点的比例变化；失效节点的位置改变；节点的加入或退出；等等。这些情况会造成网络拓扑结构处在不断变化中，在具有移动节点的无线传感器网络中，节点移动性管理也是一个有待解决的问题。为此，就要求网络中的节点能自动管理和建立路由，以建立新的拓扑关系，且具有自组织的能力。

#### 2. 规模大、密度高，节点能力受限

根据应用需求，无线传感器网络通常需要密集部署在大片监测区域内，以获取精确的、全面的信息。由于往往大规模部署，因此需要严格控制节点成本，否则会制约其发展和应用。然而，低成本往往导致节点的资源十分匮乏，单个传感器的节点能量、处理能力、存储能力和通信能力均有限。如果节点的处理能力、存储能力等受限，就会导致节点只能完成简单的监测任务，并需要及时将数据传送到管理中心。在长期的监测任务中，电池的寿命很关键，其将直接影响节点的生存时间和网络寿命。因此，对能量的优化研究始终是无线传感器网络研究的重

点和难点。

### 3. 应用相关，以数据为中心

无线传感器网络通过感知客观世界的物理量来获取外界的信息。不同于 Internet 等传统网络，无线传感器网络没有固定的应用模式和协议平台，它总是根据应用的不同而设计不同的通信协议和体系结构，从局部的传感器节点到整个网络的架构设计都无须遵循某一固定的形式。不同的应用只关心不同的物理量，针对具体应用来开展设计研究工作，这是无线传感器网络的显著特征。此外，不同于传统网络的寻址过程，无线传感器网络关心的是任务的执行情况及反馈效果，而不关心任务的具体节点编号，因而是以数据为中心的网络。

## 1.1.3 无线传感器网络应用领域

无线传感器网络节点通过集成各种传感器来有效地对周边环境进行感知、监测，从而完成连续的信息采集、目标探测、位置识别和跟踪监测等任务。随着微电子、集成电路、传感器以及无线通信技术的飞速发展，无线传感器网络可广泛应用于战场目标跟踪、灾难救援、生态环境监测、医疗护理、空间探索、智能交通控制、智能农业等方面，其已深入人类生活的多个领域。

### 1. 环境监测

随着信息技术的飞速发展，环境监测涉及的范围越来越广。传统的数据采集方式在一些恶劣地区部署非常困难，还可能对工作人员的人身安全造成威胁，而无线传感器网络易于布设，使得人们对室内外大面积恶劣地区的监控成为可能。例如，可将无线传感器节点部署在灾害事故频发的区域，及时对物理结构变化做出反应，从而使远程用户可以监测和观察监控区域的环境信息，并为人们预防与决策提供重要的数据参考<sup>[8-10]</sup>。目前，无线传感器网络在环境监测方面的应用<sup>[11-14]</sup>有：动物的迁徙跟踪；农作物的生长监测；森林火灾、水灾、化学污染的预报监测；等等。2002年夏天，美国加州大学伯克利分校的 Intel 实验室和大西洋学院联合在大鸭岛（Great Duck Island）上部署了多层次无线传感器网络，以监测岛上海鸟的生活习性，取得了很好的效果。

### 2. 军事应用<sup>[15]</sup>

信息技术正推动着一场新的军事变革。无线传感器网络以其独特的优势，能广泛应用于恶劣的战场环境中，在多种场合实时、准确、全面地获取军事信息。例如，友军兵力、装备、弹药的监视；战区监控；敌方军力的侦察；目标追踪；战争损伤评估；核、生物和化学攻击的探测与侦察；等等。2003年8月，美国陆军开发了沙地直线（A Line in the Sand）系统<sup>[16]</sup>，主要研究如何将低成本的传感器覆盖整个战场，以获得精细的战场信息，从而以不可思议的精确性来识破战争迷雾。该系统能够侦测运动的高金属含量目标，如侦察和定位敌军坦克和其他车辆。

无线传感器网络在军事领域的应用还有很多，其直接推动了以网络技术为核心的新军事革命，从而形成了网络中心战的思想 and 体系。传感器网络将成为 C<sup>4</sup>ISRT (Command, Control, Communication, Computing, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance and Targeting) 系统不可或缺的一部分。

### 3. 药品管理与卫生保健<sup>[17]</sup>

无线传感器网络在医疗方面的应用包括人体生理数据的在线监测、对医护人员和患者进行定位追踪、医院的药品管理等。

#### 1) 人体生理数据的在线监测

如果在人体上安装相关微型传感器节点，就可以在线监测人体的生理数据信息（如心率、血压等指标），通过对长期监测的数据进行统计分析，就可以了解人体生理健康状况并及时发现身体异常，从而尽早发现病症，保障人体健康。

#### 2) 对医护人员和患者进行定位追踪

只要在医院环境搭建无线传感器监测网络，且每位患者和医护人员都佩戴微型传感器节点，就可以实现对医护人员和患者的实时定位和追踪，并通过传感器节点来保持患者和医护人员之间的联络。

#### 3) 医院的药品管理

由于每位患者佩戴了标志病症和治疗药物的传感器节点，因此可通过与药品上的电子标签对照一致来大大降低患者误用药物的概率。

### 4. 空间探索<sup>[18]</sup>

空间探索一直是人类的梦想，但空间探索范围广阔，仅通过发射的少量航天器难以对外部星球进行全面广阔的探测。借助于发射的航天器来布撒大量无线传感器网络节点，可实现对星球表面大范围、长时间的监测，且能在保证数据的全面监测同时，大大降低探索成本。NASA 的 JPL (Jet Propulsion Laboratory) 实验室研制的 Sensor Webs 就是为将来的火星探测进行技术准备的，已在佛罗里达宇航中心周围的环境监测项目中进行测试和完善。

### 5. 家庭及办公自动化<sup>[19]</sup>

随着微电子技术的发展，传感器节点可被嵌入电动窗户、智能吸尘器、电饭煲、冰箱等家用电器，以构建智能家庭网络。这些智能家电通过家庭终端节点经 Internet 与外部网络交互，使用户可以通过手机或移动终端对智能家电进行远程操作和监控，实现智能家居。

智能办公是指在室内对物品（如书、重要物品等）进行目标定位跟踪。只要将传感器放于物品中，用户就能知道物品在什么地方。

### 6. 物流与运输<sup>[20]</sup>

在物流与运输方面，可以在货物中安置简易的传感器，建立产品物流过程品质动态监测系统、产品配送跟踪系统，以监测在物流与运输过程中产品品质的变化情况，实现物流过程中产品地理位置的跟踪定位和分析处理，以控制和保障产

品的质量和安全，为建立完善的物流监督机制提供技术保障。

#### 7. 其他商业应用<sup>[21]</sup>

自组织、微型化、对外部世界的感知能力是传感器网络的三大特点，这些特点决定了传感器网络在商业领域也有广泛应用。例如，嵌入家具和家电中的传感器与执行机构组成的无线网络与 Internet 连接，将为我们提供更舒适、方便和具有人性化的智能家居环境；文献 [22] 中描述的城市车辆监测和跟踪系统成功地应用了传感器网络；德国某研究机构正在利用传感器网络技术为足球裁判研制一套辅助系统，以降低在足球比赛中越位和进球的误判率。此外，在灾难拯救、仓库管理、交互式博物馆、交互式玩具、工厂自动化生产线等领域，无线传感器网络将发展出全新的设计和应用模式。

### 1.1.4 无线传感器网络面临的挑战

虽然无线传感器网络已应用在了多个领域，但仍面临许多挑战。

#### 1. 资源受限

无线传感器网络的资源受限，主要体现在处理能力、存储能力和电源供电方面。节点处理能力低，就不能进行复杂运算，导致应用面变窄。节点存储能力不足，就不能存储大量数据，需要及时转发，导致网络的通信压力增加，限制应用范围。节点由电池供电，因此寿命有限，不能执行很长时间的监测任务和高频率的数据收发。相关解决性的研究涉及多个方面，如网络寿命、能量均衡、负载均衡、数据管理等。

#### 2. 可扩展性

无线传感器网络的一个应用特点是“大规模”。目前只有少数应用采用了较多的传感器节点<sup>[23]</sup>。怎样使数以千计的传感器节点自组织地工作？怎样适应传感器节点数量的动态改变？怎样使已有网络与其他网络进行无缝连接？等等。这涉及计算模式、通信协议、中间件技术、软硬件接口技术等方面。

#### 3. 安全性

安全性是确保网络应用与推广的重要要求。由于无线网络的通信是在无保护的开放空间中进行，因此其安全性问题尤为突出。无线传感器网络的安全性主要体现在传感器节点、无线网络两个方面，包括节点的能量限制、节点的脆弱性、信道的脆弱性、网络拓扑的动态变化、通信协议及安全算法等。随着无线传感器网络应用范围的不断扩大，对安全性的要求（尤其是以普适计算为最终目标的网络安全要求）越来越高。这就需要对网络通信协议、密钥技术、安全管理等进行更深入的研究。

#### 4. 定位能力

随着定位应用需求的不断扩大，对系统定位能力的要求也越来越高，其主要体现是精度和实时性两方面。目前，GPS 在室外能提供较高的精度（10 m 以内）

和较好的实时性（刷新速度约 1 次/s）<sup>[24]</sup>，能够满足多数室外应用的需求。但对于室内及某些特定要求的室外场合则显得能力不足，且其成本较高、功耗较大，无法满足网络的大规模应用。

## 1.2 无线传感器网络的关键技术

无线传感器网络的关键技术主要分为网络关键技术、服务支撑技术、应用支持技术，如图 1.5 所示。网络关键技术主要由传统计算机网络和无线局域网相关技术演变而来，但有一定的区别。例如，无线传感器网络需要构造能量高效的动态路由、安全可靠的 MAC 接入、低功耗的射频端硬件设计等，这些已经被研究多年。服务支撑技术是无线传感器网络的核心支持技术，主要有时间同步、拓扑控制、节点定位、信息融合、网络安全等。应用支持技术主要包括网络管理、操作系统、系统开发等。

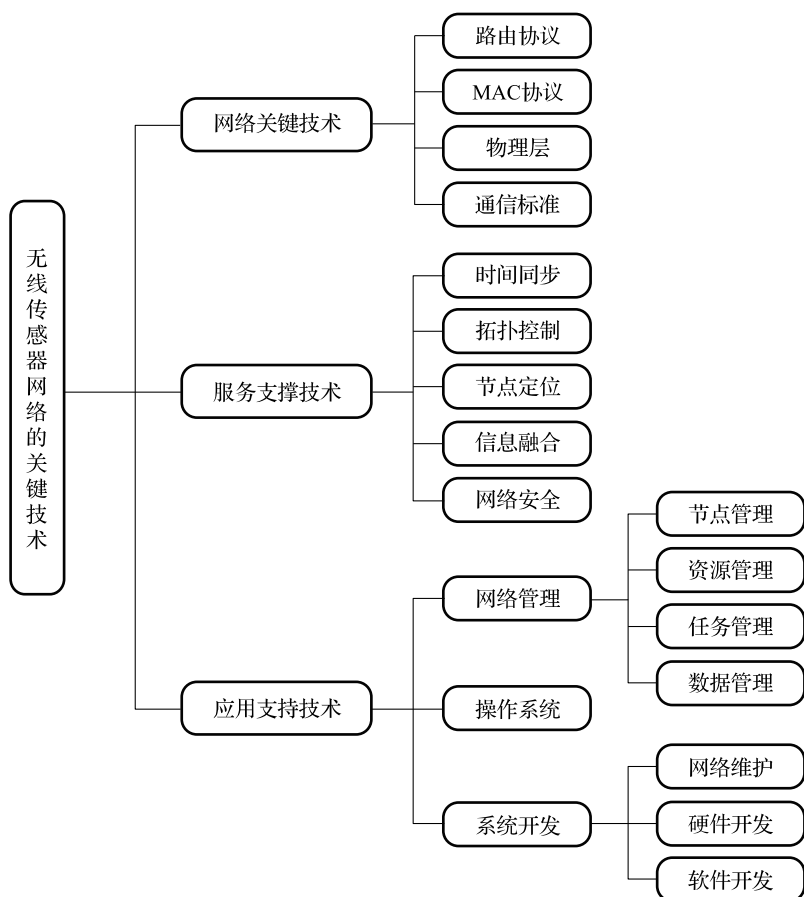


图 1.5 无线传感器网络的关键技术