

Research on

Wireless Sensor Network Technology for
Complex Environment Monitoring

面向复杂环境监测的 无线传感网络 技术研究

■ 詹杰 刘宏立 张杰 著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

Research on

Wireless Sensor Network Technology for
Complex Environment Monitoring

面向复杂环境监测的 无线传感网络 技术研究

■ 詹杰 刘宏立 张杰 著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

面向复杂环境监测的无线传感网络技术研究 / 詹杰, 刘宏立, 张杰著. — 北京: 人民邮电出版社, 2014. 9
ISBN 978-7-115-36704-4

I. ①面… II. ①詹… ②刘… ③张… III. ①无线电通信—传感器—应用—环境监测—研究 IV. ①X83

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第201109号

内 容 提 要

本书关注复杂环境下面向环境应用的无线传感器网络设计问题, 包括物理层的调制解调方式、商业协议的应用性能分析、监测应用中的节点定位、动态跟踪、定位安全、复杂环境下的节点部署和动态拓扑控制、路由和数据传播等在监测应用中必须要解决的问题对每项问题都讨论了研究的思路并提出了有效的解决方案。

本书可以作为从事无线传感器网络、物联网领域的科学研究、产业应用等方面专业人士的参考书, 也适用于高等院校电子、通信类专业的教师、研究生和高年级学生将其作为技术指导书。

-
- ◆ 著 詹 杰 刘宏立 张 杰
责任编辑 邢建春
执行编辑 肇 丽
责任印制 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 700×1000 1/16
印张: 19.5 2014 年 9 月第 1 版
字数: 382 千字 2014 年 9 月河北第 1 次印刷
-

定价: 69.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

前 言

传感技术是现代科技的前沿技术，是现代信息技术的三大支柱之一。随着机电系统技术、无线通信和数字电子技术的进步和日益成熟，传统的单个传感器、传感器阵列的数据采集方式逐渐演变成网络化的传感器采集系统，即无线传感器网络。这是一项在民用和军事领域有广泛应用范围和潜在应用价值的技术。典型的无线传感器网络由大量低成本、低功耗、包含多种传感器的传感节点组成，分布在特定的区域。传感节点配备了传感器、嵌入式微处理器、射频收发器，不仅有感知功能而且还有数据处理和通信能力。节点之间相距不远，通过无线方式进行数据通信，合作完成特定的任务，在环境监测、国防军事、工业控制处理等领域应用广泛。

传感节点采用电池供电，不需要操作人员就能相对长时间地工作，在许多应用中，更换电池或给电池充电是非常困难甚至是不可能的。与传统无线网络的主要区别是无线传感器网络节点需要高密度分布，节点不可靠性较高，有功率、计算能力和内存容量的限制。无线传感器网络这些特点和约束条件给网络的应用和发展提出了许多新的挑战。特别是在复杂区域的监测任务中，需要从协议栈的各个层次进行网络设计。

本书首先从全局的角度综述了无线传感器网络，介绍了无线传感器网络的特点、典型的网络应用和技术背景、网络设计的主要问题和挑战。第 2 章和第 3 章介绍了无线传感器网络结构和协议栈，重点介绍了无线传感器网络的媒介接入控制层（MAC, Media Access Control），包括基本概念和传统无线网络的 MAC 层协议，讨论了传感网络在设计 MAC 层时面临的挑战以及 MAC 层协议的整体情况。前 3 章是无线传感器网络的基础知识，也是在复杂环境下设计满足监测任务的无线传感器网络时所必须掌握的知识。从第 4 章到第 9 章，从各个不同的协议层对满足监测任务的无线传感器网络进行研究，具体如下。

第 4 章针对无线传感器网络应用中耗能最多的射频通信部分，讨论了物理层调制解调技术，设计了低功耗全数字调制解调的 CCVSLMS 调制解调技术，内容全方位涉及滤波器设计、频偏估计补偿、差分纠错、帧检测及 FPGA 验证等网络物理层必须要解决的问题。

第 5 章针对商业化 ZigBee 协议在监测系统中的应用，分析了该协议的抗干扰性、共存性，对协议应用中最重要网络接入概率、数据延迟性能进行了讨论，

并根据监测应用的需求设计了基于信道空闲评估的 CSMA/CA 改进算法。

第 6 章针对监测应用中必须解决的节点定位问题, 讨论了提高 RSSI 测距精度的问题, 在此基础上设计了一种低成本、高精度、易实现的 GFDWCL 静态节点定位算法, 并针对移动节点的定位追踪设计了一种 CCCP 快速定位算法。

第 7 章针对无线传感器网络在监测应用定位中的易受攻击问题, 讨论了无线传感器网络面临的安全问题, 并针对几种经典的定位攻击设计了 DPC 安全定位算法。

第 8 章针对监测应用中的节点部署问题, 讨论了复杂区域矿井巷道的网络覆盖技术, 提出了优化的节点部署方案, 并针对网络运行过程中的网络拓扑变化问题提出了基于虚拟力的动态拓扑控制算法。

第 9 章针对小区无线抄表系统中的数据传输问题, 结合小区实际复杂的工作环境, 提出了一种能量高效的、静态分簇的 EEMLC 路由算法, 以均衡节点能耗, 满足网络长时间监测运行的需要。

本书主要由湖南科技大学物理与电子科学学院詹杰、湖南大学电气与信息工程学院刘宏立教授完成, 是刘宏立教授团队多年来在无线传感器网络监测应用方向的研究成果。在写作过程中, 总参某研究所张杰高级工程师全程对该书进行了审校。除封面署名作者以外, 本书还采用了刘述钢博士、朱凡的研究成果, 谷志茹、徐琨博士、科大的李先春、张浩、孙琪皓等在本书的编写过程中也做了大量的工作, 在此一并表示衷心的感谢。同时本书的编写得到了国家自然科学基金项目 (61172089, 61377024)、国家科技重大专项 (2014ZX03006003)、湖南省高等学校科学研究项目 (12A045)、湖南科技大学学术出版基金的资助。

由于本书是在业余时间完成, 编写时间紧, 作者在该方向的研究还不够深入, 本书的错误或疏漏之处在所难免, 还望广大读者能够多加理解、批评指正。

编者

2014 年 6 月

目 录

第 1 章 无线传感器网络简介	1
1.1 无线传感器网络概述	1
1.2 无线传感器网络应用范围	2
1.3 无线传感器网络设计目标	5
1.4 无线传感器网络设计挑战	6
1.5 无线传感器网络的技术背景	7
1.5.1 微机电系统技术	7
1.5.2 无线通信技术	7
1.5.3 硬件和软件平台	8
1.5.4 无线传感器网络标准	9
1.6 本书特色	12
1.7 本书的组织安排	13
参考文献	14
第 2 章 无线传感器网络体系结构与协议栈	18
2.1 概述	18
2.2 无线传感器网络的体系结构	18
2.2.1 传感节点结构	18
2.2.2 网络结构	19
2.3 无线传感器网络的分类	22
2.3.1 静止和移动网络	23
2.3.2 确定性网络和非确定性网络	23
2.3.3 静止汇聚节点网络和移动汇聚节点网络	23
2.3.4 单汇聚节点网络和多汇聚节点网络	23
2.3.5 单跳网络和多跳网络	24

2.3.6	自配置网络和非自配置网络	24
2.3.7	同构网络和异构网络	24
2.4	无线传感器网络协议栈	24
2.4.1	应用层	25
2.4.2	传输层	26
2.4.3	网络层	26
2.4.4	数据链路层	27
2.4.5	物理层	28
2.5	媒体访问控制协议	28
2.5.1	MAC 层协议的特征	29
2.5.2	MAC 层协议设计的限制	30
2.5.3	协议设计需考虑因素	32
2.5.4	MAC 层的设计目标	32
2.6	无线传感器网络的典型 MAC 层协议	33
2.6.1	基于竞争的协议	34
2.6.2	无需竞争协议	38
2.6.3	混合协议	42
2.6.4	跨层 MAC 协议	44
2.7	无线传感器网络各类 MAC 协议比较	45
2.8	本章小结	47
	参考文献	48

第 3 章 无线传感器网络的标准化 54

3.1	概述	54
3.2	IEEE 802.15.4 标准	55
3.2.1	MAC 层的概述	55
3.2.2	信道接入	56
3.2.3	数据传输模型	57
3.2.4	MAC 层服务	59
3.2.5	安全性	62
3.3	ZigBee 标准	62
3.3.1	网络层	63

3.3.2 应用层	69
3.3.3 ZigBee 的安全性	72
3.4 本章小结	72
参考文献	72
第 4 章 微功耗射频调制解调方法设计	74
4.1 微功耗射频物理层设计	74
4.2 全数字调制方法设计	75
4.2.1 数字调制的基本流程	76
4.2.2 数字调制算法分析	77
4.2.3 数字调制方法的简化	79
4.2.4 实现结果分析	81
4.3 全数字解调方法设计	82
4.3.1 数字解调的基本流程	82
4.3.2 基于截断误差和截断数据的可变步长自适应均衡算法	82
4.3.3 自适应均衡算法原理	83
4.4 CCVSLMS 算法	85
4.4.1 CCVSLMS 算法性能分析	86
4.4.2 基于 LS 准则的频偏估计算法改进及补偿方法	88
4.4.3 LS 频偏估计算法改进原理	88
4.4.4 改进频偏估计算法性能分析	91
4.4.5 频偏补偿方法	93
4.4.6 具有纠错功能的差分解调方法	94
4.4.7 基于瞬时标定功率的自适应帧检测方法	98
4.4.8 瞬时标定功率的自适应门限原理	99
4.4.9 低复杂度的帧检测方法设计	100
4.5 全数字调制解调处理方法的性能仿真与分析	102
4.6 全调制解调信号处理方法的 FPGA 验证	104
4.7 本章小结	106
参考文献	107

第 5 章 ZigBee 协议性能分析	110
5.1 公用频段短距离无线通信技术比较	110
5.1.1 ZigBee 的抗干扰特性分析	110
5.1.2 共存性分析	111
5.1.3 ZigBee 协议的安全性	115
5.2 ZigBee 星型拓扑网络接入概率分析	116
5.2.1 IEEE 802.11 MAC 协议	116
5.2.2 CSMA/CA 算法	118
5.2.3 马尔可夫链模型	121
5.2.4 ZigBee 星型网络的 MAC 层接入模型	123
5.3 ZigBee 星型拓扑网络延时性分析	126
5.4 基于信道空闲评估的 CSMA/CA 算法改进	132
5.4.1 改进算法	133
5.4.2 改进的数学模型	135
5.4.3 改进算法仿真结果与性能分析	138
5.5 本章小结	142
参考文献	144
第 6 章 无线传感器网络定位追踪研究	146
6.1 节点定位的必要性	146
6.2 定位算法分类	147
6.2.1 测距和非测距定位算法	147
6.2.2 静止和移动节点定位算法	147
6.2.3 绝对和相对定位算法	148
6.2.4 紧密耦合和松散耦合定位算法	148
6.3 定位算法与追踪技术的研究现状	149
6.3.1 静止节点定位系统现状	149
6.3.2 移动节点定位系统现状	151
6.3.3 目标追踪算法现状	153
6.4 RSSI 测距技术	156
6.4.1 RSSI 测量原理	156

6.4.2	RSSI 测量值获取	157
6.4.3	RSSI 测距实验方案设计	158
6.4.4	RSSI 实验数据处理	159
6.4.5	测距数据处理结果对比分析	162
6.5	基于动态权重的固定节点定位算法	163
6.5.1	基于 RSSI 的质心定位算法	163
6.5.2	基于 RSSI 的加权质心定位算法	165
6.5.3	静态权重质心定位算法实验	166
6.5.4	GFDWCL 定位算法	168
6.6	无线传感网络中目标追踪研究	176
6.6.1	目标节点移动情况分类	176
6.6.2	无线传感器网络应用于目标追踪的优势	177
6.6.3	目标追踪主要研究内容	177
6.6.4	目标追踪技术所面临的主要问题	178
6.6.5	目标追踪研究的基本内容	178
6.6.6	移动目标追踪 QoS 评估体系指标	179
6.7	基于最大簇的速度自适应追踪算法	182
6.7.1	算法基本思想和方法策略	182
6.7.2	CCCP 移动节点快速定位算法	184
6.7.3	CCCP 算法的结构	186
6.7.4	CCCP 算法定位处理过程	186
6.7.5	算法的定位精度与锚节点数量的关系	186
6.7.6	CCCP 算法优化	189
6.7.7	基于 CCCP 的移动目标追踪	191
6.8	本章小结	195
	参考文献	196
第 7 章 无线传感器网络安全定位策略		206
7.1	定位系统安全分析	206
7.1.1	无线传感器网络攻击分类	206
7.1.2	针对定位系统的攻击分析	207
7.1.3	定位算法面临的攻击	208

7.2	WSN 定位系统中常见恶意攻击	209
7.3	定位系统安全策略	214
7.3.1	安全定位系统设计思路	214
7.3.2	基于加密实现安全定位的算法	215
7.3.3	距离界限协议实现安全定位	216
7.3.4	VM 安全定位机制	216
7.3.5	SLA 安全定位机制	217
7.3.6	Serloc 安全定位算法	217
7.3.7	基于标签的 Dv-Hop 定位算法	219
7.3.8	入侵及异常检测与隔离技术	220
7.3.9	顽健性的节点定位算法	221
7.4	DPC 安全定位算法	222
7.4.1	预备知识	222
7.4.2	恶意节点定位攻击分析	223
7.4.3	安全定位算法需解决的问题	224
7.4.4	安全定位算法结构	225
7.4.5	安全测距算法	225
7.4.6	虚节点滤除算法	226
7.5	DPC 算法性能	227
7.5.1	算法可行性证明	227
7.5.2	算法特例说明	229
7.5.3	算法能耗分析	229
7.5.4	滤除算法重复次数讨论	230
7.5.5	算法对节点密度要求	231
7.5.6	平面合并算法	232
7.6	DPC 算法对各种攻击的工作过程	233
7.7	DPC 算法实验分析	236
7.7.1	算法门限值讨论	237
7.7.2	DPC 算法小结	239
7.8	本章小结	239
	参考文献	240

第 8 章 无线传感器网络覆盖控制技术	245
8.1 节点部署算法概述	245
8.1.1 采用确定放置的部署技术	246
8.1.2 采用随机抛洒且节点不具移动能力的部署技术	247
8.1.3 采用随机抛洒且节点具移动能力的部署技术	247
8.1.4 节点部署的评价指标	248
8.2 无线传感器网络在矿井的部署	248
8.2.1 小型区域的部署算法	250
8.2.2 大型区域的部署算法	250
8.2.3 井下巷道特殊区域的节点部署算法	252
8.2.4 优化部署算法仿真及性能分析	254
8.3 井下无线传感器网络的拓扑控制	256
8.3.1 节点自移动控制算法	256
8.3.2 邻居节点发现协议	258
8.3.3 边界移动节点调度控制	260
8.4 基于“虚拟力”的拓扑控制技术	263
8.4.1 虚拟力算法改进	264
8.4.2 VFA 算法优化	264
8.5 “自愈”拓扑控制算法仿真与性能分析	266
8.6 本章小结	268
参考文献	268
第 9 章 面向小区无线抄表系统的数据路由设计	272
9.1 无线抄表系统特点	272
9.2 典型 WSN 分簇路由协议	275
9.2.1 LEACH 协议	275
9.2.2 PEGASIS 和 Hierarchical-PEGASIS 协议	276
9.2.3 TEEN 和 APTEEN 协议	277
9.2.4 DCHS 协议	277
9.3 适合无线抄表网络的能量均衡多层分簇路由算法	278
9.3.1 无线抄表系统模型	278

9.3.2	网络簇头选举策略.....	279
9.3.3	网络最优簇数分析.....	280
9.3.4	簇内单/多跳混合通信算法.....	282
9.3.5	EEMLC 算法仿真与性能分析.....	286
9.4	EEMLC 路由算法的实现.....	289
9.4.1	簇区域确定与节点成簇.....	289
9.4.2	抄表网络路由树的建立.....	290
9.4.3	表计数据的传输.....	292
9.4.4	数据路由的维护.....	295
9.5	本章小结.....	297
	参考文献.....	298

第1章 无线传感器网络简介

1.1 无线传感器网络概述

无线传感器网络 (WSN, Wireless Sensor Network) 是 21 世纪最重要的技术之一^[1], 它由大量低成本、低功耗和多功能的传感器节点组成, 可以广泛地分布在各种复杂环境中。微机电系统 (MEMS) 和无线通信技术的快速发展, 使传感器节点的小型化、智能化和低成本成为现实。虽然传感器节点体积小, 但集成了嵌入式微处理器、射频收发装置和各种传感器, 因此, WSN 不仅能够进行信息采集, 而且还能实现数据处理、无线通信与因特网互连, 可以广泛地应用到环境监测、战场侦查和工业控制等多个领域^[2]。WSN 与其他传统网络 (如蜂窝网络和移动自组织网络) 相比, 在节点的分布密度、可靠性、能源供应、计算和存储能力等方面有明显的区别^[3], 这些区别给 WSN 的部署和应用带来了许多新的挑战。WSN 是继因特网之后, 将对人类生活方式发生重大影响的重要技术。因特网改变了人与人之间的交流、通信和沟通方式^[4,5], 然而, WSN 的出现将信息世界与物理世界融合在一起, 将改变人与自然的通信和交互模式。最近十几年以来, WSN 在学术和工业界得到了前所未有的关注, 同时也引发了对它的研究热潮。为了解决 WSN 的设计和应用问题, 开展了大量的研究活动, 取得了一些显著的成绩。可以预计, WSN 将在民用和军事领域获得广泛的应用。

传统的无线网络包括移动通信网、无线局域网、无线个人网、蓝牙网络等, 这些网络设计的目的基本上都是为了满足如语音、视频、图像等通信的需要。而 WSN 一般是为某个特定的应用而设计, 它是一种基于应用的无线网络, 和传统的无线通信网络、蜂窝通信网、移动自组网相比, WSN 具有以下几个独有的特点。

(1) 资源有限。由于受到价格、硬件体积等的影响, WSN 节点只具备有限的信号处理能力、计算能力和存储容量。

(2) 网络规模大。WSN 节点的数量通常成百上千, 有的甚至上万。为了在某个地理区域进行监测, 需高密度部署节点, 其数量比移动自组织网络多了几个数量级。

(3) 自组织。传感器节点通常随机部署在环境恶劣或无人的区域,一旦完成部署,传感器节点必须能够自动进行配置,完成组网工作。网络节点可以有一个全局性的标识,如节点地址等,也可以没有。WSN 通过相邻节点之间的相互协作来进行信号处理和通信,具有很强的协作性。

(4) 拓扑动态性。WSN 节点容易被破坏或失效,添加节点、能量耗尽、信道衰落等原因都能引起网络拓扑结构发生变化。

(5) 数据冗余高。WSN 通常采用大量传感器节点协同完成指定的任务,这些节点被密集地部署在指定的地理区域,多个传感器节点所获取的数据和信息通常具有较强的相关性和较高的冗余度。

(6) 能量有限。由于受到硬件条件的影响,WSN 节点通常采用电池供电,其能量有限。受到能量的影响,WSN 节点的通信距离相对较短。

(7) 应用相关性。WSN 通常设计和部署在特定的应用环境中,要求其能适应各种应用的变化。

(8) 没有全局的身份中心。因为 WSN 中节点数目庞大,而且动态变化,一般不可能为一个网络设计一个全局的身份系统,因为这需要一个非常复杂的系统才能完成该项任务。

(9) 多对一的传输模式。在 WSN 中,节点监测和采集的数据与信息通常由多个源节点向一个汇聚节点传送,呈现为多对一的传输模式。

1.2 无线传感器网络应用范围

无线传感器网络由于其独特的网络结构和特殊应用模式而具备了广阔的应用前景,主要表现在军事、环境、健康、家庭和其他商业领域^[6-10]。无线传感器网络的低成本、随机分布、自组织性和高容错能力的特点使其不会因为某些节点在恶意攻击中的损坏或失效而导致整个系统崩溃,从而使无线传感器网络非常适合应用于各种复杂的恶劣环境中。无线传感器与传统的有线传感器相比,有许多优势^[11],它们不仅能够减少网络部署的成本和时间,而且可以应用于任何环境,特别在那些不能够部署传统有线传感器网络的环境,如不友好区域、战场、荒凉地带、外太空、海洋深处等。无线传感器网络最初主要应用于军事领域,应用范围可从大型海洋监视系统到小型地面目标侦察系统^[1]。然而,低成本、低功耗、微型传感器的出现以及无线通信和嵌入式计算等技术的发展,为无线传感器网络开辟了更为广阔的应用前景。部分应用如图 1.1 所示,图中应用包括:生产车间安全监测;金门大桥形变监测;灾难救援;战场监控;森林火灾监测;农业生态环境监测。



图 1.1 无线传感器网络部分行业应用

无线传感器网络应用大致分为以下几方面。

(1) 环境监测

环境监测是最早的无线传感器网络应用之一。在环境监测中，无线传感器可以监测各种环境参数或状态。

习性监测。传感器节点可以部署在野生动植物的栖息地，用来监测野生动物或植物的生存状态以及栖息地的环境参数。主要的案例有美国加州大学伯克利分校和大西洋巴港学院实施的一项研究计划^[12]，在缅因州的大鸭岛部署了湿度、压力、温度和辐射等 190 多个传感器，监测该岛环境与筑巢海燕习性的关系。

危害物监测。传感器节点可以部署在化工厂、战场区域，用来监测可能的生物或化学危害物。

灾害监测。传感器节点可以部署在指定的地域，用来监测各种自然灾害或非自然灾害。例如，传感器节点可以撒播在森林或河流中，用来监测森林大火或者洪水。地震传感器可以安装在建筑物上，用于监测地震的方向和强度，提供建筑物的安全评估数据。

(2) 军事应用

无线传感器节点无需任何基础设施就可以快速部署在战场或敌对区域，部署方便，具有自组织能力，可以在无人值守的情况下工作，而且有较强的容错能力，所以无线传感器网络将在未来的 C³I 系统中扮演越来越重要的角色。

战场监视。传感器节点可以部署在战场区域、监视部队和车辆并跟踪其活动。

目标保护。传感器节点可以部署在一些敏感、重要的目标附近，如核电厂、桥梁、油田、天然气管道、通信中心或军事总部，对目标进行防护。

智能导航。传感器节点可以安装在无人车辆、坦克、战斗机、潜艇、导弹或者鱼雷上，引导它们绕过障碍物接近目标。

远程监测。传感器节点可以部署在指定的地理区域，对核武器、生物化学武器进行远程监测，对可能的恐怖袭击进行远程监视^[13]。

(3) 健康医疗

无线传感器网络可以用来监测老年人和病人的身体状况，跟踪他们的活动，缓解目前医疗保健人员严重短缺的问题，并大幅度降低医疗保健的费用^[14]。

活动监视。传感器节点可以部署在病人家中，监测病人的活动。例如，当病人摔倒时，传感器节点可以立即向医生报告，要求给予及时、必要的关注。传感器节点可以监测病人在做什么，或提醒病人需要注意的事项。

健康监护。多种传感器节点可以佩带在人体的不同部位，形成人体传感器网络（WBAN），长时间地收集人的生理数据，为未来的远程医疗提供了更加方便、快捷的技术实现手段。在住院病人身上安装特殊用途的传感器节点，如心率和血压监测设备，利用传感器网络，医生就可以随时了解被监护病人的病情，进行及时处理。同时，人体传感器网络还能够实时向病人报告身体情况，更新病人的医疗记录^[15]。

(4) 工业监控

无线传感器网络可以用来监控生产过程或机器设备的工作状况。例如，无线传感器节点可以安装在生产或组装线上，监控生产过程以提高生产效率，保证产品质量。炼油厂和化工厂可以使用传感器网络监测管道的状况，及时发现损坏情况，减少经济损失。微型传感器可以嵌入到工作人员无法触及区域的机器设备中，监测机器的运行情况并在发生故障时报警。嵌入传感器网络可以根据设备的工作状况来决定是否需要进行设备维护，从而能够降低维护成本，延长机器的使用寿命。

(5) 公共安全

无线传感器网络可以用来对一些重要场所或犯罪事件多发地区进行监控。例如，音频、视频等传感器可以布设在建筑、机场、地铁和其他重要设施如核电站、通信中心等，识别和追踪可疑人员，提供及时报警信息，防止可能发生的攻击。

(6) 智能家居

无线传感器网络可以为人们提供更加方便、舒适和具有人性化的智能家居环境。

智能家用电器。无线传感器可以嵌入到各种家电中，形成自治的家庭无线网络。例如，智能冰箱能根据存货清单准备一个菜单，并与智能电饭煲或者微波炉建立联系，发送烹饪指令，相关的设备将设置好相应的温度和时间进行操作做好准备^[16]。电视、VCD、DVD 和 CD 也能被远程监控用于满足家庭成员不同的需要。

远程抄表。无线传感器能够读取家中水、电、燃气表的数据，并通过无线通