

# 无线传感器网络应用技术综述

杨卓静<sup>1</sup>孙宏志<sup>2</sup>,任晨虹<sup>1</sup>

1,中国地质调查局水文地质环境地质调查中心

2,海军青岛雷达声纳修理厂

## 摘要

传感器被越来越多地布置到实际的网络环境中,用于实现某些应用。无线传感器网络已经成为了科学研究领域最前沿的课题之一,引起了工业界和学术界众多研究者的关注。通过总结相关方面的工作,综述在不同领域中无线传感器网络的实际应用,并对具体应用的一些重要特性进行分析,在此基础上提出若干值得继续研究的方面。

## 关键词

无线传感器;网络应用

## Abstract

More and more sensors are applied to networks to cope with certain problems. Wireless sensor network has come to the forefront of scientific research, and it has aroused the interest of many researchers of industry and academe. Applications of wireless sensor network to different areas are surveyed, and several characteristics of the applications are analyzed. Based on the analysis, further research issues are pointed out.

## Key words

Wireless sensor; network Application

## 一、无线传感器网络简介

随着机电系统的迅速发展,片上系统 SoC(System on Chip)得以实现,一块小小的芯片可以传递逻辑指令,感知现实世界,乃至做出反应<sup>[1]</sup>。无线传感器网络 WSN(Wireless Sensor Network),这一由大量具有片上微处理能力的微型传感器节点组成的网络,引起了工业界和学术

界众多研究者的关注。

传统的传感器网络通常由两种节点:传感器节点(sensor)和接收器节点(sink)组成<sup>[2]</sup>。传感器节点负责对事件的感知和数据包的传输;接收器节点则是数据传输的目标节点,一般具有人机交互界面,并可以接入其它类型的网络体系<sup>[3]</sup>。

传感器网络以其低成本、低功耗的特点,在军事、环境监测、医疗健康等领域都有着广泛的应用<sup>[4]</sup>。在本文中,对大量现有无线传感器和无线传感器网络的应用进行分析,从节点移动性、节点互联方式、网络数据规模、网络分层结构等方面进行分析和比较。并在此基础上,提出若干值得继续研究的方面,为挖掘传感器网络新的应用打下基础。

## 二、无线传感器网络的特点

与传统的无线网络相比,WSN 具有以下基本特点:

1、低功耗、微型化、高度集成、低价格的传感器节点。WSN 并不能简单地理解为“将现有传感器通过无线方式进行组网”。微机电系统(MEMS)技术和低功耗电子技术的发展,使得开发低功耗、小体积、低价格、同时集成有微传感器、执行器、微处理器和无线通信等多种功能部件的无线传感器节点成为可能<sup>[5]</sup>。相对于传统传感器而言,我们一般所指的 WSN 节点更强调节点的低功耗、微型化、高度集成、低价格等特征。

2、节点密集分布。在监测区域内密集部署大量相同或不同类型的传感器节点,是 WSN 的一个重要特征。通过节点密集布置,可以获取密集的空间抽样信息或针对同一现象的多角度信息,对这些信息进行分布式处理之后,可以有效提高监测的精确度,并降低对单一传感

器节点的精度要求。通过节点密集布置,可以在同一区域内存在大量冗余节点,节点的冗余性可以使系统具有很强的容错性能,由此降低对单一传感器节点的可靠性要求<sup>[6]</sup>。另外,通过节点密集布置并对其节点进行合理的休眠调度,也是延长网络生命周期的重要途径<sup>[7]</sup>。

3、自组织网络。无线传感器的诸多特点决定了其采用自组织工作方式的必要性。首先,在 WSN 的许多工作场合通常没有固定网络设施支持;其次,传感器节点常常采用随机部署的方式,节点的位置和相互邻居关系不能预先确定;再次,传感器节点可能由于能量耗尽或受到环境因素影响而失效,一些节点又可能为了弥补失效节点或增加监测精度而被补充进来,再加上节点可能移动以及采用休眠调度机制,网络拓扑往往处于动态变化之中<sup>[8]</sup>。鉴于以上因素,WSN 必须能够通过节点之间的协调、协商与协同,自动进行配置、自动进行管理、自动进行调度,以适应不断变化的自身条件和外部环境,保持自身工作的连续性和高效性<sup>[9]</sup>。

## 三、无线传感器网络的发展历程

传感器网络已经经历了四代的发展历程。第一代传感器网络出现在 20 世纪 70 年代,使用具有简单信息信号获取能力的传统传感器,采用点到点传输,连接传感器控制器构成传感器网络<sup>[10]</sup>;第二代传感器网络具有获取多种信息信号的综合能力,采用串/并接口(RS\_232Rs--485)与传感控制器相连,构成有综合多种信息能力的传感器网络<sup>[11]</sup>;第三代传感器网络出现在 20 世纪 90 年代后期和本世纪初,用具有智能获取多种信息信号的传感器,采用现场总线连接传感控制器,

构成局域网络,成为智能化传感器网络<sup>[12]</sup>;第四代传感器正在研究开发,用大量的具有多功能、多信息信号获取能力的传感器,采用无线自组织接入网络,与传感器网络控制器连接,构成 WSN<sup>[13]</sup>。

WSN 是新兴的下一代传感器网络,最早的代表性论述出现在 1999 年,随后该研究方向引起了许多国家的极大关注。美国早在上个世纪 90 年代就着手对具有现代意义的 WSN 展开了先期研究,美国的一些大型 IT 公司也开始通过与高校合作的方式,逐渐介入该领域的研究开发工作,纷纷设立或启动相应的行动计划。当前美国许多著名的大学,如加州大学伯克利分校,都在开展 WSN 方面的研究工作<sup>[14]</sup>。我国对 WSN 的发展也非常重视。从 2002 年开始,国家自然科学基金委员会已经批准了 WSN 相关的多个课题,在国家发展改革委员会的下一代互联网示范工程中,也部署了 WSN 相关的课题。近年来,我国的一些科研院所和高校已积极展开了该领域的研究工作,中科院以及清华大学等大学都对 WSN 倾注了很大的研究力量。经过几年时间的努力,初步建立了传感器网络系统的研究平台,在无线智能传感器网络通信技术、微型传感器、传感器端机、移动机站和应用系统等方面取得了很大进步,并于 2004 年 9 月在北京进行了大规模外场演示,部分成果已在实际工程中使用<sup>[15]</sup>。

#### 四、研究与应用现状

无线传感器网络的研究主要集中在通信(协议、路由、检错等)、节能和网络控制三个方面,目前都已经有了比较成熟的解决方法,为无线传感器网络投入实际应用提供了理论基础<sup>[16]</sup>。传感器网络低成本、低功耗的特点,使其可以大范围地散布设置在一定区域,即使是人类无法到达的区域,都能正常工作,应用面比较广泛。目前的无线传感器网络常应用于军事、环境监测、医疗健康、空间探测、工业生产等领域<sup>[17]</sup>。

##### 1、军事应用

从某种意义上而言,无线传感器网络的产生正是源于网络在军事应用上的需求,因此在军事上的应用非常贴近无线传感器网络本身的概念<sup>[18]</sup>。纵观无线传感器网络在战场上的应用主要是信息收集、跟踪敌人、战场监视、目标分类。

无线传感器网络由低成本、低功耗的密集型节点构成,拥有自组织性和相当的容错能力,即使部分节点遭到恶意破坏,也不会导致整个系统的崩溃,正是这两点保证了无线传感器网络能够在恶劣的战场环境下工作,从而最大程度地减少伤亡,同时提供准确可靠的信息传输<sup>[19]</sup>。除了在战争时期,和平年代也能应用无线传感器网络进行国土安全保护、边境监视等应用。例如,用埋设地雷来保卫国土、防止入侵,反而对本国带来了巨大的安全威胁。取而代之的可能是成千上万的传感器节点,通过对声音和震动信号的分析,探测敌方的入侵。美国弗吉尼亚大学已经着手研究和开发这一系统<sup>[20]</sup>。

##### 2、环境监测

环境监测是无线传感器网络的又一个非常重要的应用领域。在人们对环境问题越来越关注的今天,环境监测所涉及的范围非常广,依靠传统的数据收集和统计方法已经无法正常进行,无线传感器网络则能够胜任这项工作<sup>[21]</sup>。人们在设计未来智能大楼的进程中,对于室内环境的监测是很有必要的。加州大学伯克利分校的 SABER 研究中心研制的 Smart Dust 系统,可以监测室内实时的温度亮度<sup>[22]</sup>。ASHRAE 研究机构(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)设计了 HVAC 系统(Heating Ventilation and Air Condition),将无线传感器网络布置在办公大楼中,实时监测楼内的温度和空气质量,以改善室内环境<sup>[23]</sup>。传感器网络为获取野外的研究数据也提供了方便。例如,哈佛大学与北卡罗来纳大学的合作项目,通过无线传感器网络收集震动和次声波信息并加以分析,进行火山爆发的监测<sup>[24]</sup>。澳大利亚的新南威尔士大学利用无线传感器网络跟踪一种名为 Cane toad 的癞蛤蟆,了解它们在澳大利亚的分布情况<sup>[25]</sup>。Uc Berkeley 大学在红杉树上布置无线传感器网络,连续监测 44 天红杉树的生长情况,收集温度、湿度、光合作用信息<sup>[26]</sup>。

##### 3、医疗健康

随着无线传感器网络的不断发展,它在医疗健康方面也得到了一定的应用,医生可以利用传感器网络,随时对病人的各项健康指标以及活动情况进行监测,为远程医疗技术的发展提供了很大的便利<sup>[27]</sup>。Intel 研究中心利用无线传感器网络开发的老人看护系统,实时检测他们的健

康问题。sensor 节点被安置在老年人身上,能够感知到各项行动,并相应地作出正确提醒,记录下老年人的全部活动,为老人的健康安全提供保障<sup>[28]</sup>。

##### 4、其它应用

除此之外,无线传感器网络在空间探测、工业生产、物流控制以及其他一些商业领域有着广泛的应用。美国宇航局(NASA)研制 Sensor Webs,为将来火星探测做准备<sup>[29]</sup>;英国石油公司(BP)利用无线传感器网络以及 RF ID 技术,对炼油设备进行监测管理<sup>[30]</sup>;许多大公司利用无线传感器网络对仓库货物进行控制<sup>[31]</sup>。传感器网络低成本、低功耗,并且可以自组织地进行工作,为其在各个领域的应用奠定了基础,必将会孕育出越来越多新的应用模式。

#### 五、目前研究的热点问题及未来研究方向

##### 1、通信协议

(1) 物理层通信协议:研究传感器网络的传输媒体、频段选择、调制方式等<sup>[32]</sup>。

(2) 数据链路层协议:研究网络拓扑、信道接入方式、拓扑包括平面结构、分层结构、混合结构以及 Mesh 结构,信道介入包括固定分配、随机竞争方式或以上两者的混合方式<sup>[33]</sup>。

(3) 网络层协议:即路由协议的研究,路由协议分为平面和集群两种,平面协议节点地位平等,简单易扩展,但缺乏管理;集群路由即分簇为簇首和簇成员,便于管理和维护,研究的热点是集成两种路由方式的优点<sup>[34]</sup>。

(4) 传输层协议:研究提供网络可靠的数据传输和错误恢复机制<sup>[35]</sup>。

##### 2、网络管理

(1) 能量管理:研究在不影响网络性能的基础上、控制节点的能耗、均衡网络的能量消耗以及动态调制射频功率和电压<sup>[36]</sup>。

(2) 安全管理:研究无线传感器忘了的安全问题,包括几点认证、处理干扰信息、攻击信息等<sup>[37]</sup>。

##### 3、应用层支撑技术

(1) 时间同步:针对网络时间同步要求较高情况的应用。例如基于 TDMA 的 MAC 协议和特殊敏感时间监测应用,要求网络时间同步<sup>[38]</sup>。

(2) 定位技术:针对节点定位要求

较高情况的应用,基于少数已知节点的位置,研究以最少的硬件资源、最低的成本和能耗定位节点位置的技术<sup>[39]</sup>。

#### 4、硬件资源

(1) 微型化:基于特定应用的要求,研究微型化的节点<sup>[40]</sup>。

(2) 低成本:在不影响节点性能情况下,研究降低节点硬件的成本<sup>[41]</sup>。

(3) 新型电源:研究太阳能电源及其他大容量可再生电源,解决制约传感器网络发展应用的能源问题<sup>[42]</sup>。

## 六、结语

本文主要就无线传感器网络的广泛应用进行了探讨,介绍了其在各个领域应用的典型事例,总结了当前制约无线传感器网络实际应用的因素及目前的研究热点。无线传感网络最终将成为联系信息世界和客观物理实际的接口,从而人类可以通过传感器网络获得客观物理世界的信息并采取相应措施。

#### 参考文献:

- [1]崔莉,鞠海玲,苗勇,李天璞,刘巍,赵泽.无线传感器网络研究进展[期刊论文].计算机研究与发展.2005(1).
- [2]任丰原,黄海宁,林闯.无线传感器网络[期刊论文].软件学报.2003(7).
- [3]王万里,郑扣根,姚翔,吴朝晖.无线网络传感器及其微型操作系统的研究[期刊论文].计算机应用研究.2005(9).
- [4]黄海平,王汝传,孙力娟,陈志.基于密钥联系表的无线传感器网络密钥管理方案[期刊论文].通信学报.2006(10).
- [5]沈玉龙,裴庆祺,马建峰.MM $\mu$ TESLA:多基站传感器网络广播认证协议[期刊论文].计算机学报.2007(4).
- [6]马祖长,孙怡宁,梅涛.无线传感器网络综述[期刊论文].通信学报.2004(4).
- [7]刘志宏,马建峰,黄启萍.基于区域的无线传感器网络密钥管理[期刊论文].计算机学报.2006(9).
- [8]王良民,马建峰,王超.无线传感器网络拓扑的容错度与容侵度[期刊论文].电子学报.2006(8).
- [9]王骥,王殊,孟中楼.无线传感器网络中一种基于接收功率异常的入侵检测算法[期刊论文].计算机科学.2009(3).
- [10]王潮,贾翔宇,林强.基于可信度的无线传感器网络安全路由算法[期刊论文].通信学报.2008(11).
- [11]刘宁,范训礼,赵建华.一种无线传感器网络入侵检测系统模型[期刊论文].西南科技大学学报.2009(1).
- [12]孙利民,李建中,陈渝,朱红松.无线传感器网络[期刊论文].电子学报.2005(3).
- [13]于海斌,曾鹏,梁韦华.智能无线传感器网络体系[期刊论文].通信学报.2006(8).
- [14]J Hill,A Woo,S Hollar et al.System Architecture Directions for Networked Sensors [C].In:Proc of the 9th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems,2002.
- [15]袁勇.无线传感器网络节能传输技术研究[期刊论文].软件学报.2005(8).
- [16]滑楠.无线传感器网络相关理论与应用研究[期刊论文].电子学报.2007(8).
- [17]任锦绘.无线传感器网络可靠性应用及其关键技术研究.2006.
- [18]王苗苗.面向普适计算的无线传感器网络中间件研究.2008.
- [19]郭宇飞,王换招,曹宁,赵青苹.GUO Yu-fei.WANG Huan-zhao.CAO Ning.ZHAO Qing-ping.簇状传感器网络临时分类密钥管理协议[期刊论文].北京邮电大学学报,2008,3.
- [20]W Manges et al.It is Time for Sensors to Go Wireless.Part 1:Technological Underpinnings [J].Sensors Magazine,1999-04.
- [21]武仲寅.无线传感器网络在智能公交系统中的应用.2007.
- [22]NEMROFF J.GARCIA L.HAMPLE D.Application of sensor network communication.2007.
- [23]KOTTAPALLI V.KIREMIDJIAN A.LYNCH J.Two-tiered wireless sensor network architecture for structural health monitoring.2003.
- [24]JIA X Y.WANG C.The security routing research for WSN in the application of Intelligent transport system.2006.
- [25]KIMM H.Denial-of-service (DOS) detection through practical entropy estimation on hierarchical sensor networks.2006.
- [26]WOOD A D.Denial of service in sensor networks.2002(10).
- [27]马嘎.无线传感器网络中可靠数据传输研究.2007.
- [28]高晔方.超宽带无线传感器网络数据传输跨层优化模型的研究.2008.
- [29]ZHANG Y C.Location-based compromise-tolerant security mechanisms for wireless sensor networks.2006(2).
- [30]GANESAN D.Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks.2001(4).
- [31]汤波,王雁东,周明天.能量优化的无线传感器网络数据传输方法.2007.
- [32]赵艳青.满足DOS的无线传感器网络路由算法.2008.
- [33]刘兰,谢洁锐,胡月明,刘才兴.拥塞控制:无线传感器网络可靠数据传输的保证[期刊论文].计算机工程与设计.2007,(6).
- [34]屈凤蛟.无线传感器网络基于簇的数据传输可靠性研究.2008.
- [35]朱畅华,裴昌幸,肖海云等.分布式网络测量与分析基础设施(DNMAI)研究与实现[J].北京邮电大学学报(增刊).2003.12.
- [36]李建东,裴昌幸,朱畅华.网络行为研究框架[J].东南大学学报.2002.11.
- [37]肖海云,裴昌幸,陈南等.基于ICMP和UDP的互联网拓扑发现和可视化研究[J].西安电子科技大学学报.2004.7.
- [38]李姗姗.无线传感器网络可靠数据传输关键技术研究.2007.
- [39]雷雨能.无线传感器网络资源管理与调度.2009.
- [40]张波.无线传感器网络结点配置问题研究.2007.
- [41]孙利民,李建中.无线传感网络[M].北京:清华大学出版社.2005.
- [42]李仲令,李少谦,唐友喜,武刚.现代无线与移动通信技术[M].北京:科学出版社.2006.