

# 无线传感器网络技术发展现状

## Development Status of Wireless Sensor Network

中图分类号:TN92 文献标识码:A 文章编号:1009-6868 (2009) 05-0001-05

**摘要:**在对无线传感器网络(WSN)产生和发展、技术成熟程度分析的基础上,文章分析了WSN组网模式、拓扑控制、媒体访问控制(MAC)和链路控制、路由与数据转发及跨层设计、时间同步技术、自定位和目标定位技术等组网关键技术和应用支撑技术方面的研究内容。基于应用中的典型实用和示范系统,文章对WSN的应用进行了分类。

**关键词:**无线传感器网络;自组织网络;无线Mesh网络;分簇控制;能量效率;移动控制

**Abstract:** The article introduces the startup, roadmap of Wireless Sensor Network (WSN), and its maturity in techniques and market, and surveys key research topics and techniques supporting applications in this area, including networking model, topology control, media access and link control, routing, data forwarding and cross-layer design technique, time synchronization, node positioning, object tracking, etc. Based on practical application and demonstration of the typical systems, the paper classifies applications of WSN.

**Key words:** wireless sensor network; Ad hoc network; wireless mesh networks; clustering control; energy efficiency; motion control

朱红松/ZHU Hongsong

孙利民/SUN Limin

(中国科学院软件研究所 信息安全国家重点  
实验室,北京 100190)

(State Key Lab of Information Security,  
Institute of Software, CAS, Beijing 100190,  
China)

纪最有影响的技术之一,麻省理工学院(MIT)技术评论则将其列为改变世界的10大技术之一。

### 1.1 WSN相关的会议和组织

WSN网络技术一经提出,就迅速在研究界和工业界得到广泛的认可。1998年到2003年,各种与无线通信、Ad Hoc网络、分布式系统的会议开始大量收录与WSN网络技术相关的文章。2001年,美国计算机学会(ACM)和IEEE成立了第一个专门针对传感网技术的会议International Conference on Information Processing in Sensor Network (IPSN),为WSN网络的技术发展开拓了一片新的技术园地。2003年到2004年,一批针对传感网技术的会议相继组建。ACM在2005年还专门创刊ACM Transaction on Sensor Network,用来出版最优秀的传感器网络技术成果。2004年,Boston大学与BP、Honeywell、Inetco Systems、Invensys、Millennial Net、Radianse、Sensicast Systems等公司联合创办了传感器网络协会,旨在促进WSN技术的开发。2006年10月,在中国北京,中国计算机学会传感器网络专委会正式成立,标志着中国WSN技术研究开始进入一个新的历史阶段。

### 1.2 相关科研和工程项目

美国从20世纪90年代开始,就陆

无线传感器网络(WSN)是信息科学领域中一个全新的发展方向,同时也是新兴学科与传统学科进行领域间交叉的结果。无线传感器网络经历了智能传感器、无线智能传感器、无线传感器网络3个阶段。智能传感器将计算能力嵌入到传感器中,使得传感器节点不仅具有数据采集能力,而且具有滤波和信息处理能力;无线智能传感器在智能传感器的基础上增加了无线通信能力,大大延长了传感器的感知触角,降低了传感器的工程实施成本;无线传感器网络则将网络技术引入到无线智能传感器中,使得传感器不再是单个的感知单元,而是能够交换信息、协调控制的有机结合体,实现物与物的互联,把

感知触角深入世界各个角落,必将成为下一代互联网的重要组成部分。

## 1 无线传感器网络技术 发展背景

1996年,美国UCLA大学的William J Kaiser教授向DARPA提交的“低能耗无线集成微型传感器”揭开了现代WSN网络的序幕。1998年,同是UCLA大学的Gregory J Pottie教授从网络研究的角度重新阐释了WSN的科学意义。在其后的10余年里,WSN网络技术得到学术界、工业界乃至政府的广泛关注,成为在国防军事、环境监测和预报、健康护理、智能家居、建筑物结构监控、复杂机械监控、城市交通、空间探索、大型车间和仓库管理以及机场、大型工业园区的安全监测等众多领域中最有竞争力的应用技术之一。美国商业周刊将WSN网络列为21世

基金项目:国家重点基础研究发展规划(“973”计划)项目(2006CB303000);国家自然科学基金资助项目(60773055)

续展开分布式传感器网络(DSN)、集成的无线网络传感器(WINS)、智能尘埃(Smart Dust)、 $\mu$ AMPS、无线嵌入式系统(WEBIS)、分布式系统可升级协调体系结构研究(SCADDS)、嵌入式网络传感(CENS)等一系列重要的WSN网络研究项目。

自2001年起,美国国防部远景研究计划局(DARPA)每年都投入千万美元进行WSN网络技术研究,并在C4ISR基础上提出了C4KISR计划,强调战场情报的感知能力、信息的综合能力和利用能力,把WSN网络作为一个重要研究领域,设立了Smart Sensor Web、灵巧传感器网络通信、无人值守地面传感器群、传感器组网系统、网状传感器系统等一系列的军事传感器网络研究项目。在美国自然科学基金委员会的推动下,美国如麻省理工学院、加州大学伯克利分校、加州大学洛杉矶分校、南加州大学、康奈尔大学、伊利诺斯大学等许多著名高校也进行了大量WSN网络的基础理论和关键技术的研究。美国的一些大型IT公司(如Intel、HP、Rockwell、Texas Instruments等)通过与高校合作的方式逐渐介入该领域的研究开发工作,并纷纷设立或启动相应的研发计划,在无线传感器节点的微型化、低功耗设计、网络组织、数据处理与管理以及WSN网络应用等方面都取得了许多重要的研究成果。Dust Networks和Crossbow Technologies等公司的智能尘埃、Mote、Mica系列节点已走出实验室,进入应用测试阶段。

除美国以外,日本、英国、意大利、巴西等国家也对传感器网络表现出了极大的兴趣,并各自展开了该领域的研究工作。

中国现代意义的WSN网络及其应用研究几乎与发达国家同步启动,首先被记录在1999年发表的中国科学院《知识创新工程试点领域方向研究》的信息与自动化领域研究报告中。

2001年,中国科学院成立了微系

统研究与发展中心,挂靠中科院上海微系统所,旨在整合中科院内部的相关单位,共同推进传感器网络的研究。从2002年开始,中国国家自然科学基金委员会开始部署传感器网络相关的课题。截至2008年底,中国国家自然科学基金共支持面上项目111项、重点项目3项;国家“863”重点项目发展计划共支持面上项目30余项,国家重点基础研究发展计划“973”也设立2项与传感器网络直接相关的项目;国家发改委中国下一代互联网工程项目(CNGI)也对传感器网络项目进行了连续资助。“中国未来20年技术预见研究”提出的157个技术课题中有7项直接涉及无线传感器网络。2006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。最值得一提的是,中国工业与信息化部在2008年启动的“新一代宽带移动通信网”国家级重大专项中,有第6个子专题“短距离无线互联与无线传感器网络研发和产业化”是专门针对传感器网络技术而设立的。该专项的设立将大大推进WSN网络技术在应用领域的快速发展。

### 1.3 WSN技术的成熟度分析

Gartner信息技术研究与咨询公司从2005年到2008年对WSN网络的技术追踪和评估。2005年,Gartner认为WSN技术的关注度已经越过了膨胀高峰并回归理性,表现为以美国为首的科研人员开始理性反思这种技术模式是不是有进一步推广和发展的机会。当时的预期比较乐观,认为该技术将在2~5年内走向成熟。2006年,Gartner的评估认为该技术正按照预定曲线前行,但成熟时间要更长一些;而到了2007年,Gartner发现对该技术的关注度又有大幅度回升,但其市场并没有走向高产能期,而是似乎又回到了技术膨胀期。同时,距离成熟的时间仍然是10年以上。

超过5年的市场预测往往意味公司对该项技术缺乏准确的判断。从这一点上看,WSN技术从市场的角度上看还有些扑朔迷离。Gartner的2008年技术预测报告中没有对该领域进行预测也正是基于这一点。这种结果的可能原因是杀手级应用所需的几项关键性的支撑技术目前难于突破,微型化、可靠性、能量供给在目前看来是制约应用的最大问题。另外,这些技术之间还彼此制约。首先,微型化使节点通信距离变短,路径长度增加,数据延迟迟于预期;其次,能量获取和存储容量与设备体积(表面积)成正比,充足的能源和微型化设计之间的矛盾难于调和;再有,现有电子技术还很难做到可降解的绿色设计,微型化给回收带来困难,从而威胁到环境健康。

市场不会向技术妥协,如果一项技术不能在方方面面做到完美就很难被市场所接受。无线传感器网络技术要想在未来十几年内有所发展,一方面要在这些关键的支撑技术上有所突破;另一方面,就要在成熟的市场中寻找应用,构思更有趣、更高效的应用模式。值得庆幸的是,WSN技术在中国找到了发展机会。政府引导、研究人员推动和企业的积极参与大大加快了WSN技术的市场化进程。中国必将在WSN技术和市场推进中发挥重要作用。

## 2 WSN技术体系及其发展现状

WSN技术是多学科交叉的研究领域,因而包含众多研究方向,WSN技术具有天生的应用相关性,利用通用平台构建的系统都无法达到最优效果。WSN技术的应用定义要求网络中节点设备能够在有限能量(功率)供给下实现对目标的长时间监控,因此网络运行的能量效率是一切技术元素的优化目标。下面从核心关键技术和关键支撑技术两个层面分别介绍应用系统所必须的设计和优化的技

术要点。

## 2.1 核心关键技术

### 2.1.1 组网模式

在确定采用无线传感器网络技术进行应用系统设计后,首先面临的问题是采用何种组网模式。是否有基础设施支持,是否有移动终端参与,汇报频度与延迟等应用需求直接决定了组网模式。

#### (1) 扁平组网模式

所有节点的角色相同,通过相互协作完成数据的交流和汇聚。最经典的定向扩散路由(Direct Diffusion)研究的就是这种网络结构。

#### (2) 基于分簇的层次型组网模式

节点分为普通传感节点和用于数据汇聚的簇头节点,传感节点将数据先发送到簇头节点,然后由簇头节点汇聚到后台。簇头节点需要完成更多的工作、消耗更多的能量。如果使用相同的节点实现分簇,则按需要更换簇头,避免簇头节点因为过渡消耗能量而死亡。

#### (3) 网状网(Mesh)模式

Mesh模式在传感器节点形成的网络上增加一层固定无线网络,用来收集传感节点数据,另一方面实现节点之间的信息通信,以及网内融合处理。Akyildiz L F等<sup>[1]</sup>总结了无线Mesh网络的应用模式。

#### (4) 移动汇聚模式

移动汇聚模式是指使用移动终端收集目标区域的传感数据,并转发到后端服务器。移动汇聚可以提高网络的容量,但数据的传递延迟与移动汇聚节点的轨迹相关。如何控制移动终端轨迹和速率是该模式研究的重要目标。Kim等<sup>[2]</sup>提出的SEAD分发协议就是针对这种组网模式。Bi Y等<sup>[3-4]</sup>研究了多种Sink的移动汇聚模式。

此外,还有其他类型的网络。如当传感节点全部为移动节点,通过与固定的Mesh网络进行数据通信(移动产生的通信机会),可形成目前另一

个研究热点,即机会通信模式。

### 2.1.2 拓扑控制

组网模式决定了网络的总体拓扑结构,但为了实现WSN网络的低能耗运行,还需要对节点连接关系的时变规律进行细粒度控制。目前主要的拓扑控制技术分为时间控制、空间控制和逻辑控制3种。时间控制通过控制每个节点睡眠、工作的占空比,节点间睡眠起始时间的调度,让节点交替工作,网络拓扑在有限的拓扑结构间切换;空间控制通过控制节点发送功率改变节点的连通区域,使网络呈现不同的连通形态,从而获得控制能耗、提高网络容量的效果;逻辑控制则是通过邻居表将不“理想的”节点排除在外,从而形成更稳固、可靠和强健的拓扑。WSN技术中,拓扑控制的目的在于实现网络的连通(实时连通或者机会连通)的同时保证信息的能量高效、可靠的传输。

Kumar S等<sup>[5]</sup>研究了在睡眠唤醒进行能耗控制的网络中实现 $k$ 连通的条件。Chen Ai等<sup>[6]</sup>研究了栅栏(边界)防护应用中的拓扑覆盖问题。Li X<sup>[7]</sup>则通过图理论研究无线网络的拓扑控制算法。Wang X、Ye F、Schurgers C和Lu G等学者<sup>[8]</sup>研究了如何利用连通的骨干网络减少网络活动开销,延长网络生命周期问题。

### 2.1.3 媒体访问控制和链路控制

媒体访问控制(MAC)和链路控制解决无线网络中普遍存在的冲突和丢失问题,根据网络中数据流状态控制临近节点,乃至网络中所有节点的信道访问方式和顺序,达到高效利用网络容量,减低能耗的目的。要实现拓扑控制中的时间和空间控制,WSN的MAC层需要配合完成睡眠机制、时分信道分配和空分复用等功能。Ye W等<sup>[9]</sup>提出了WSN最经典的基于睡眠的MAC协议——S-MAC;Ahn G-S等<sup>[10]</sup>研究了在最后两跳内采用时分复用方式缓解由最后两跳冲突引入的“漏

斗”效应;Rajendran V等<sup>[11]</sup>研究了WSN中无竞争访问的高能效方法;Zhai H<sup>[12]</sup>和Kim Y<sup>[13]</sup>等则研究了基于多射频、多信道的MAC协议。MAC控制是WSN最为活跃的研究热点,因为MAC层的运行效率直接反应整个网络的能量效率。

复杂环境的短距离无线链路特性与长距离完全不同,短距离无线射频在其覆盖范围内的过渡临界区宽度与通信距离的比例要大得多,因而更多链路呈现复杂的不稳定特性。Ganeson D等<sup>[14]</sup>,Zhao J等<sup>[15]</sup>通过大量的实验验证了过渡区的存在;Zuniga M等<sup>[16]</sup>分析了过渡区的成因。复杂的链路特征需要在MAC控制中更充分地考虑链路特性,Zhu H等<sup>[17]</sup>研究了适应链路特性的多链路MAC控制机制。链路特征同时也是在数据转发和汇聚中需要考虑的重要因素。

### 2.1.4 路由、数据转发及跨层设计

WSN网络中的数据流向与Internet相反:在Internet网络中,终端设备主要从网络上获取信息;而在WSN网络中,终端设备是向网络提供信息。因此,WSN网络层协议设计有自己的独特要求。由于在WSN网络中对能量效率的苛刻要求,研究人员通常利用MAC层的跨层服务信息来进行转发节点、数据流向的选择。另外,网络在任务发布过程中一般要将任务信息传送给所有的节点,因此设计能量高效的数据分发协议也是在网络层研究的重点。网络编码技术也是提高网络数据转发效率的一项技术。在分布式存储网络架构中,一份数据往往有不同的代理对其感兴趣,网络编码技术通过有效减少网络中数据包的转发次数,来提高网络容量和效率。

### 2.1.5 QoS保障和可靠性设计

QoS保障和可靠性设计技术是传感器网络走向可用的关键技术之一。QoS保障技术包括通信层控制和服务层控制。传感器网络大量的节点如果

没有质量控制,将很难完成实时监测环境变化的任务。可靠性设计技术目的则是保证节点和网络在恶劣工作条件下长时间工作。节点计算和通信模块的失效直接导致节点脱离网络,而传感模块的失效则可能导致数据出现畸变,造成网络的误警。如何通过数据检测失效节点也是关键研究内容之一。

#### 2.1.6 移动控制模型

随着WSN组织结构从固定模式向半移动乃至全移动转换,节点的移动控制模型变得越来越重要。Luo J等<sup>[10]</sup>指出,当汇聚节点沿着网络边缘移动收集可以最大限度地提高网络生命周期;Bi Y等提出了多种汇聚点移动策略,根据每轮数据汇聚情况,估计下一轮能够最大延长网络生命期的汇聚点位置。Butler Z等针对事件发生频度自适应移动节点的位置,使感知节点更多地聚集在使事件经常发生的地方,从而分担事件汇报任务,延长网络寿命。

### 2.2 关键支撑技术

#### 2.2.1 WSN网络的时间同步技术

时间同步技术是完成实时信息采集的基本要求,也是提高定位精度的关键手段。常用方法是通过时间同步协议完成节点间的定时,通过滤波技术抑制时钟噪声和漂移。最近,利用耦合振荡器的同步技术实现网络无状态自然同步方法也倍受关注,这是一种高效的、可无限扩展的时间同步新技术。

#### 2.2.2 基于WSN的自定位和目标定位技术

定位跟踪技术包括节点自定位和网络区域内的目标定位跟踪。节点自定位是指确定网络中节点自身位置,这是随机部署组网的基本要求。GPS技术是室外惯常采用的自定位手段,但一方面成本较高,另一方面在

有遮挡的地区会失效。传感器网络更多采用混合定位方法:手动部署少量的锚节点(携带GPS模块),其他节点根据拓扑和距离关系进行间接位置估计。目标定位跟踪通过网络中节点之间的配合完成对网络区域中特定目标的定位和跟踪,一般建立在节点自定位的基础上。

#### 2.2.3 分布式数据管理和信息融合

分布式动态实时数据管理是以数据中心为特征的WSN网络的重要技术之一。该技术通过部署或者指定一些节点为代理节点,代理节点根据监测任务收集兴趣数据。监测任务通过分布式数据库的查询语言下达给目标区域的节点。在整个体系中,WSN网络被当作分布式数据库独立存在,实现对客观物理世界的实时和动态的监测。

信息融合技术是指节点根据类型、采集时间、地点、重要程度等信息标度,通过聚类技术将收集到的数据进行本地的融合和压缩,一方面排除信息冗余,减小网络通信开销,节省能量;另一方面可以通过贝叶斯推理技术实现本地的智能决策。

#### 2.2.4 WSN的安全技术

安全通信和认证技术在军事和金融等敏感信息传递应用中有直接需求。传感器网络由于部署环境和传播介质的开放性,很容易受到各种攻击。但受无线传感器网络资源限制,直接应用安全通信、完整性认证、数据新鲜性、广播认证等现有算法存在实现的困难。鉴于此,研究人员一方面探讨在不同组网形式、网络协议设计中可能遭到的各种攻击形式;另一方面设计安全强度可控的简化算法和精巧协议,满足传感器网络的现实需求。

#### 2.2.5 精细控制、深度嵌入的操作

系统技术  
作为深度嵌入的网络系统,WSN

网络对操作系统也有特别的要求,既要能够完成基本体系结构支持的各项功能,又不能过于复杂。从目前发展状况来看,TinyOS是最成功的WSN专用操作系统。但随着芯片低功耗设计技术和能量工程技术的提高,更复杂的嵌入式操作系统,如Vxworks、Uclinux和Ucos等,也可能被WSN网络所采用。

#### 2.2.6 能量工程

能量工程包括能量的获取和存储两方面。能量获取主要指将自然环境的能量转换成节点可以利用的电能,如太阳能、振动能量、地热、风能等。2007年在无线能量传递方面有了新的研究成果:通过磁场的共振传递技术将使远程能量传递。这项技术将对WSN技术的成熟和发展带来革命性的影响。在能量存储技术方面,大容量电池技术是延长节点寿命,全面提高节点能力的关键性技术。纳米电池技术是目前最有希望的技术之一。

## 3 基于WSN网络的应用系统发展现状

WSN网络是面向应用的,贴近客观物理世界的网络系统,其产生和发展一直与应用相联系。多年来经过不同领域研究人员的演绎,WSN技术在军事领域、精细农业、安全监控、环保监测、建筑领域、医疗监护、工业监控、智能交通、物流管理、自由空间探索、智能家居等领域的应用得到了充分的肯定和展示。

2005年,美国军方成功测试了由美国Crossbow产品组建的枪声定位系统,为救护、反恐提供有力手段。美国科学应用国际公司采用无线传感器网络,构筑了一个电子周边防御系统,为美国军方提供军事防御和情报信息。

中国,中科院微系统所主导的团队积极开展基于WSN的电子围栏技术的边境防御系统的研发和试点,已取得了阶段性的成果。

在环境监控和精细农业方面,WSN系统最为广泛。2002年,英特尔公司率先在俄勒冈建立了世界上第一个无线葡萄园,这是一个典型的精准农业、智能耕种的实例。杭州齐格科技有限公司与浙江农科院合作研发了远程农作管理决策服务平台,该平台利用了无线传感器技术实现对农田温室大棚温度、湿度、露点、光照等环境信息的监测。

在民用安全监控方面,英国的一家博物馆利用无线传感器网络设计了一个报警系统,他们将节点放在珍贵文物或艺术品的底部或背面,通过侦测灯光的亮度改变和振动情况,来判断展览品的安全状态。中科院计算所在故宫博物院实施的文物安全监控系统也是WSN技术在民用安防领域中的典型应用。

现代建筑的发展不仅要求为人们提供更加舒适、安全的房屋和桥梁,而且希望建筑本身能够对自身的健康状况进行评估。WSN技术在建筑结构健康监控方面将发挥重要作用。2004年,哈工大在深圳地王大厦实施部署了监测环境噪声和震动加速度响应测试的WSN网络系统。

在医疗监控方面,美国英特尔公司目前正在研制家庭护理的无线传感器网络系统,作为美国“应对老龄化社会技术项目”的一项重要内容。另外,在对特殊医院(精神类或残障类)中病人的位置监控方面,WSN也有巨大应用潜力。

在工业监控方面,美国英特尔公司为俄勒冈的一家芯片制造厂安装了200台无线传感器,用来监控部分工厂设备的振动情况,并在测量结果超出规定时提供监测报告。西安成峰公司与陕西天和集团合作开发了矿井环境监测系统和矿工井下区段定位系统。

在智能交通方面,美国交通部提出了“国家智能交通系统项目规划”,预计到2025年全面投入使用。该系统综合运用大量传感器网络,配

合GPS系统、区域网络系统等资源,实现对交通车辆的优化调度,并为个体交通推荐实时的、最佳的行车路线服务。目前在美国的宾夕法尼亚州的匹兹堡市已经建有这样的智能交通信息系统。

中科院上海微系统所为首的科研团队正在积极开展WSN在城市交通的应用。中科院软件所在地下停车场基于WSN网络技术实现了细粒度的智能车位管理系统,使得停车信息能够迅速通过发布系统推送给附近的车辆,大大提高率了停车效率。

物流领域是WSN网络技术是发展最快最成熟的应用领域。尽管在仓储物流领域,RFID技术还没有被普遍采纳,但基于RFID和传感器节点在大粒度商品物流管理中已经得到了广泛的应用。宁波中科万通公司与宁波港合作,实现基于RFID网络的集装箱和集卡车的智能化管理。另外,还使用WSN技术实现了封闭仓库中托盘粒度的货物定位。

WSN网络自由部署、自组织工作模式使其在自然科学探索方面有巨大的应用潜力。2002年,由英特尔的研究小组和加州大学伯克利分校以及巴港大西洋大学的科学家把WSN技术应用于监视大鸭岛海鸟的栖息情况。2005年,澳洲的科学家利用WSN技术来探测北澳大利亚蟾蜍的分布情况。佛罗里达宇航中心计划借助于航天器布撒的传感器节点实现对星球表面大范围、长时期、近距离的监测和探索。

智能家居领域是WSN技术能够大展拳脚的地方。浙江大学计算机系的研究人员开发了一种基于WSN网络的无线水表系统,能够实现水表的自动抄录。复旦大学、电子科技大学等单位研制了基于WSN网络的智能楼宇系统,其典型结构包括了照明控制、警报门禁,以及家电控制的PC系统。各部件自治组网,最终由PC机将信息发布在互联网上。人们可以通过互联网终端对家庭状况实施监测。

WSN在应用领域的发展可谓方兴未艾,要想进一步推进该技术的发展,让其更好为社会和人们的生活服务,不仅需要研究人员开展广泛的应用系统研究,更需要国家、地区,以及优质企业在各个层面上的大力推动和支持。

## 4 结束语

WSN网络从机制研究、系统研发,到应用示范试点,正在努力走向技术和产业的成熟。在中国,政府的引导、研究人员的推动和企业的积极参与使WSN网络技术快速稳步发展。为了让WSN更快地进入应用产业,为更多人服务,必须在努力寻找独特的杀手锏应用的同时,更多地将目光转向改善成熟产业中对自动化监测、检验和管理的应用需求,为其量身订做协议、软件和产品,并努力做到与现有管理系统的无缝连接。只有在应用和市场上站稳脚跟,才能保持WSN在技术上的持续发展。

## 5 参考文献

- [1] AKYILDIZ I F, WANG X. Survey on wireless mesh networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43, 23-30.
- [2] KIM H S, ABDELZAHER T F, KWON W H. Minimum-energy asynchronous dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '03), Nov 5-7, 2003, Los Angeles, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2003.
- [3] BI Y, SUN L, MA J, et al. HUMS: An autonomous moving strategy for mobile sinks in data-gathering sensor networks[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2007, 64574, 15p.
- [4] BI Y, NIU J, SUN L, et al. Moving schemes for mobile sinks in wireless sensor networks [C]//Proceedings of the 26th Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC' 07), Apr 11-13, 2007, New Orleans, LA, USA. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2007: 101-108.
- [5] KUMAR S, LAI T H, BALOGH J. On k-coverage in a mostly sleeping sensor network[C]//Proceedings of the 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM' 04), Sep 26-Oct 1, 2004, Philadelphia, PA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2004: 144-158.
- [6] CHEN A, KUMAR S, LAI T H. Designing

►下转第15页

息世界更加紧密地融合于一体。

## 5 参考文献

- [1] TILAK S, ABU-GHAZALEH N, HEINZELMAN W. A Taxonomy of wireless micro-sensor network models [J]. Mobile Computing Communication Review, 2002, 6(2): 28-36.
- [2] AKYILDIZ I, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. A survey on sensor networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-114.
- [3] 匡兴华, 邵惠鹤. 无线传感器网络网关研究[J]. 计算机工程, 2007, 33(6): 228-230.
- [4] 胡鸿豪, 林程, 宋雨平. 基于S3C2440的ZigBee无线传感器网络网关的设计 [J]. 大众科技, 2008, 112(12): 67-68.
- [5] 郑鹏, 李方敏. 无线传感器网络与TCP/IP网络的互联研究[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(7): 43-46.
- [6] SIKORA A. Compatibility of IEEE802.15.4 (ZigBee) with IEEE 802.11 (WLAN), Bluetooth, and Microwave Ovens in 2.4 GHz ISM-Band [R]. Test Report. Steinbeis-Transfer Center, University of Cooperative Education Lorrach, 2004.
- [7] 欧杰峰, 刘兴华. 基于CDMA模块的无线传感器网络网关的实现[J]. 计算机工程, 2007, 33(1): 115-124.
- [8] WERNER-ALLEN G, JOHNSON J, RUIZ M, et al. Monitoring volcanic eruptions with a

- wireless sensor network [C]//Proceedings of the 2nd European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN'05), Jan 31-Feb 2, 2005, Istanbul, Turkey, Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2005: 108-120.
- [9] 石为人, 张杰, 唐云建, 等. 无线传感器网络嵌入式网关的设计与实现[J]. 计算机应用, 2006, 26(11): 2525-2535.
- [10] Atmel Corporation [EB/OL]. [2008-06-16]. http://www.atmel.com. 2006.
- [11] DUNKELS A. Full TCP/IP for 8-bit architectures [C]//Proceedings of the 1st International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MOBISYS '03), May 5-8, 2003, San Francisco, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2003: 85-98.
- [12] MONTENEGRO G, KUSHALNAGAR N. Transmission of IPv6 packets over IEEE 802.15.4 [R]. IETF. RFC 4944. 2005.
- [13] 马忠梅, 籍顺心, 张凯, 等. 单片机C语言应用程序设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [14] 刘元安, 叶帆, 邵谦明, 等. 无线传感器网络与TCP/IP网络的融合 [J]. 北京邮电大学学报, 2006, 29(6): 1-4.
- [15] SVEDA M, TREHALIK R. ZigBee to Internet interconnection architectures [C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Systems (ICONS' 07), Apr 22-28, 2007, Martinique, France. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 30.

收稿日期: 2009-06-17

## 作者简介



黄俊杰, 南京邮电大学计算机学院在读硕士研究生, 主要研究方向是普适计算、传感器网络嵌入式系统。



王汝传, 南京邮电大学计算机学院教授、博士生导师, 主要研究方向是计算机软件、计算机网络、信息安全、Agent和虚拟现实技术等。



沙超, 南京邮电大学计算机学院在读博士研究生, 主要研究方向是无线传感器网络技术。

## 上接第5页

- localized algorithms for barrier coverage [C]//Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '07), Sep 9-14, 2007, Montréal, Canada. New York, NY, USA: ACM, 2007: 63-74.
- [7] LI X Y. Algorithmic, geometric and graphs issues in wireless networks [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2003, 3(2): 119-140.
- [8] WANG X, XING G, ZHANG Y, et al. Integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor networks [C]//Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '03), Nov 5-7, 2003, Los Angeles, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2003: 28-39.
- [9] YE W, HEIDEMANN J, ESTRIN D. An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks [C]//Proceedings of IEEE 21th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM '02): Vol 3, Jun 23-27, 2002, New York, NY, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2002: 1567-157.
- [10] AHN G S, HONG S G, MILUZZO E, et al. Funneling-MAC: A localized, sink-oriented MAC for boosting fidelity in sensor networks [C]//Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '06), Oct 31-Nov 3, 2006, Boulder, CO, USA. New York, NY, USA: ACM, 2006: 293-306.
- [11] RAJENDRAN V, OBRACZKA K, GARCIA-LUNA-ACEVES J. Energy-efficient, collision-free medium

- access control for wireless sensor networks [J]. Wireless Networks, 2006, 12(1): 63-79.
- [12] ZHAI H, WANG J, FANG Y, et al. A dual-channel MAC protocol for mobile ad hoc networks [C]//Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '04): Vol 1, Nov 29-Dec 3, 2004, Dallas, TX, USA. New York, NY, USA: IEEE, 2004: 27-32.
- [13] KIM Youngmin, SHIN Hyejeong, CHA Hojung. Y-MAC: An energy-efficient multi-channel MAC protocol for dense wireless sensor networks [C]//Proceedings of 7th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks (IPSN '08), Apr 22-24, 2008, St Louis, MO, USA. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2008: 53-63.
- [14] GANESAN D, ESTRIN D, WOO A, et al. Complex behavior at scale: An experimental study of low-power wireless sensor networks [R]. Technical Report 02-0013. Los Angeles, CA, USA: University of California, 2002.
- [15] ZHAO J, GOVINDAN R. Understanding packet delivery performance in dense wireless sensor networks [C]//Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '03), Nov 5-7, 2003, Los Angeles, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2003: 1-13.
- [16] ZUNIGA M, KRISHNAMACHARI B. An analysis of unreliability and asymmetry in low-power wireless links [J]. ACM Transactions on Sensor Networks, 2007, 3(2): 7.
- [17] 朱红松, 赵磊, 徐勇军, 等. 基于精细梯度策略

的MCFS多链路协同数据转发协议[J]. 软件学报, 2009, 29(6): 41-45.

- [18] LUO J, HUBAUX J P. Joint mobility and routing for lifetime elongation in wireless sensor networks [C]//Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM '05): Vol 3, Mar 13-17, 2005, Miami, FL, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005: 1735-1748.

收稿日期: 2009-07-16

## 作者简介



朱红松, 中国科学院软件研究所高级工程师、博士, 主要研究领域为无线自组织网络、分布式系统控制等。曾主持和参加国家高技术研究发展计划("863"计划)项目、CNGI基金项目、国家自然科学基金项目8项。已发表SCI/EI检索论文10余篇。



孙利民, 中国科学院软件研究所研究员、博士生导师。主持国家高技术研究发展计划("863"计划)项目、国家自然科学基金项目、国家重点基础研究发展规划("973"计划)项目和CNGI等10余项, 申请国家专利20余项, 已发表SCI/EI检索学术论文50余篇。



专 | 题 | 导 | 读

从21世纪开始,无线传感器网络(WSN)成为多学科交叉前沿研究热点,引起了世界各国的极大关注。WSN融合了传感器、嵌入式计算、交换网络、移动通信和分布式信息处理等技术,它由具有传感器模块、数据处理模块、交换路由模块和无线通信模块等大量传感器节点,通过交换传输组成多跳的自组织、自学习无线通信网络系统,把感知对象的信息发送给控制者。WSN已成为一种全新的信息获取、处理、传输和控制系统,并在军事、工业、商业、医疗、灾害预报等领域有着广阔应用前景。

WSN经历了从智能传感器、无线智能传感器到无线传感器网络的3个发展阶段。智能传感器将计算能力嵌入到传感器中,使传感器节点不仅具有数据采集能力,而且具有信息处理能力。无线智能传感器在智能传感器的基础上,增加了无线通信能力。无线传感器网络将交换网络技术引入到无线智能传感器中,使传感器在感知功能基础上还具备交换信息、协调控制功能,WSN已成为下一代互联网和通信网的重要组成部分。

中国WSN研究几乎与发达国家同步启动,国家重点基础研究发展规划(“973”计划)启动“无线传感器网络基础理论与关键技术”项目,国家发改委“中国下一代互联网工程项目”资助WSN项目,“中国未来20年技术预见研究”提出的157个技术课题中有7项直接涉及WSN,“国家中长期科学与技术发展规划纲要”中3个信息技术前沿方向,其中两个与WSN研究相关,“新一代宽带移动通信网”国家重大专项启动“短距离无线互联与无线传感器网络研发和产业化”项目,这些将推进WSN研究和开发。

本期以“无线传感器网络的关键技术及应用”为专题,从WSN标准、网络体系、关键技术、设备开发和应用等方面展开研究。中国科学院软件研究所朱红松和孙利民综述了WSN在标准发展和关键技术;东南大学胡静和沈连丰讨论了可降低WSN的能量消耗,提高网络吞吐率的分簇算法;南京邮电大学黄俊杰等利用无线网卡模块实现了网关与无线局域网的连接,可以节约能量资源和减小传输延迟;北京邮电大学李娜等讨论了WSN的网内信息压缩处理技术;湖南大学林亚平和周四望提出基于小波变换的数据压缩算法;南京大学杨盘隆和陈贵海讨论WSN与因特网的融合的热点问题,指明了技术难点;上海交通大学朱燕民等介绍了无线车辆WSN基本概念、体系结构和关键技术;北京交通大学孔勇等认为WSN适用于成本较低、数据量较少、工作时间较长的应用案例;北京交通大学张宏科等讨论IPv6与WSN结合的IPv6 / WSN,开发嵌入式IPv6微型协议栈,应用在精准农业生产中。衷心感谢论文作者把多年研究成果与我们分享,并启发我们对WSN的深入思考。

专题策划



谈振辉

北京交通大学教授、国务院学位委员会第六届学科评议组成员、国家自然科学基金委员会第三届监督委员会常务委员、教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会主任委员、中国通信学会和中国铁道学会常务理事、中国通信学会和中国铁道学会学术委员会副主任委员、北京交通大学学术委员会主任委员,长期从事无线移动通信教学和研究工作。

2009年第1—6期专题计划

1	网络编码理论与技术 杨义先 北京邮电大学教授
2	认知无线电与重配置技术 张平 北京邮电大学教授
3	光载无线通信的发展与应用 顾晓仪 北京邮电大学教授
4	移动互联网及相关技术 曹淑敏 工业和信息化部电信研究院副院长
5	无线传感器网络的关键技术及应用 谈振辉 北京交通大学教授
6	网络的路由与引导 陈常嘉 北京交通大学教授