

无线多媒体传感器网络研究

罗武胜 翟永平 鲁琴

(国防科技大学机电工程与自动化学院 长沙 410073)

摘要: 无线多媒体传感器网络(WMSN)是在传统无线传感器网络(WSN)的基础上发展起来的具有音频、视频、图像等多媒体信息感知功能的新型传感器网络,具有广阔的应用前景。该文介绍了 WMSN 的概念,分析了 WMSN 区别于传统 WSN 的个性化特点。对节点系统、MAC 协议、路由协议、多媒体信息处理等关键技术的国内外研究现状、面临的问题和可行的解决方案进行了深入探讨。最后对 WMSN 亟待解决的问题和发展趋势进行了总结。

关键词: 无线传感器网络; 多媒体; MAC 协议; 路由协议; 分布式信源编码

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)06-1511-06

Study on Wireless Multimedia Sensor Networks

Luo Wu-sheng Zhai Yong-ping Lu Qin

(College of Mechatronics Engineering and Automation,

National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Wireless Multimedia Sensor Networks (WMSNs), developed from traditional Wireless Sensor Networks(WSNs), is a novel sensor network integrating sensation functions of multimedia streaming (e.g. audio, video, image) and has wide applications. In this paper, the concept and the characteristics of WMSNs are described by comparing with traditional WSNs. Then, on the basis of a survey of the current research status, the key techniques of WMSNs, including node systems, MAC protocols, routing protocols, multimedia signal processing, are discussed in detail. Finally, the current problems are demonstrated, and the further research issues are also discussed.

Key words: Wireless Sensor Networks(WSNs); Multimedia; MAC protocols; Routing protocols; Distributed source coding

1 引言

无线多媒体传感器网络(Wireless Multimedia Sensor Networks, WMSNs)是在传统无线传感器网络(WSN)基础上引入了音频、视频、图像等多媒体信息感知功能的一种新型传感器网络,其节点一般装备有 CMOS 摄像头、微型麦克风以及其它具有简单环境数据采集功能的传感器,它们一般布设在无人值守的环境中自主完成指定的任务,是一种能耗敏感的无基础设施网。与只具有简单环境数据采集功能的传统 WSNs 相比,WMSNs 能感知信息量丰富的音频、视频、图像等多媒体信息,能实现细粒度、精准信息的环境监测^[1],可广泛应用于战场可视化监控、环境监测、安全监控、交通监控、智能家居、医疗卫生等领域^[2-5]。

WMSNs 将 WSNs 的自组织、无人值守等优点和多媒体技术感知媒体丰富等优势有机地结合起来,一方面具备传统 WSNs 的自组织、多跳路由、资源受限等共性特点,另一方面在能耗分布、QoS 要求、传感模型等方面具有显著的个性化特点(如表 1)。

由于 WMSNs 巨大的应用价值,它已经引起了各国学术界的极大关注。美国乔治亚理工学院、美国加州大学、马萨诸塞大学、斯坦福大学等著名学府都开始了 WMSNs 的研究工作。国内该领域的研究刚刚起步,国防科技大学、北京邮电大学、中国科学院计算技术研究所等研究机构已经开始了该领域的探索,但目前报道的研究成果不多。本文采用与传统 WSNs 比较的方法,深入探讨国内外在节点系统、MAC 协议、路由协议、多媒体信息处理等关键技术上的研究进展以及面临的问题和可行的解决方案,并对 WMSNs 的发展趋势进行了展望。希望能对国内下一步的研究工作起到一定的推动作用。

2 无线多媒体传感器网络关键技术

2.1 节点系统

传感器节点系统是构成 WMSNs 的基础,目前已经设计或生产的 WSNs 节点可分为两类:一类是以通用微处理器为核心部件,类似嵌入式系统方式设计的节点,目前大多数节点采用这种方式,如 Mica, Gainz 等;另一类则是采用 FPGA, ASIC 等专用器件设计的平台,如 PicoRadio, Mult-Radio WSN platform 等。

表1 传统 WSNs 和 WMSNs 特点比较

	传统 WSNs	WMSNs
相同点	自组织、多跳路由、超大规模、资源受限、能耗敏感、无人值守等	
不同点		
能耗分布	能耗低,主要集中在无线收发上,能耗分布呈“聚集”态	能耗较高,无线收发与数据采集、处理能耗基本相当,呈“均匀”分布态
处理任务	较简单,简单的加、减、乘、平均、数据聚合等	复杂,图像压缩编码、分布式视频处理、信息融合等
QoS要求	要求较低,牺牲QoS来换取能耗最小化	很强的实时性,较高的网络吞吐量,能适应不同的应用需求
功能应用	功能简单,感知信息量有限,简单的环境监测等场合	感知媒体丰富,细粒度、精准环境信息监测,能完成目标探测、识别、定位、跟踪等复杂任务
传感模型	全向型,可从任意方向感知数据	大多数(如视频传感器)有很强的方向性
核心问题	能耗最小化	在满足QoS情况下追求能耗最小化

WMSNs和传统WSNs在节点硬件结构上的不同在于WMSNs采用了具有图像、视频采集功能的CMOS传感器以及具有更强处理功能的处理器。大多数节点的设计采用扩展接口方式连接传感器,以增加平台的通用性。从处理器的角度看,这些节点可以分为两类:一类采用以ARM为代表的高端处理器,多数支持动态电压调节(DVS)或动态频率调节(DFS)等节能策略,有很强的视频处理能力,如Stargate等;另一类是以采用低端微控制器为代表的节点,这类节点处理能力较弱,只能完成简单图像采集任务,如基于Micaz平台的Cyclops等。表2列出了部分视频传感器节点和通用平台及其性能指标。

虽然目前已经设计出很多WMSNs节点,但普遍存在以下问题:(1)能耗较大,严重限制其大规模应用;(2)体积过大,尤其是CMOS传感器体积一般都是普通WSNs节点体积的几倍;(3)抗毁性较差,CMOS传感器属光学精密仪器,经不起大强度的碰撞,这对恶劣环境下的随机抛洒部署提出了很大挑战。解决这些问题依赖于以下几个方面的技术进步:一是能源获取技术,现阶段开发大容量电池面临很多困难,很多学者都提出了利用能源再生技术补充节点能量。文献[6]对目前已经提出的利用背景电磁波、热电转换、环境微振动等技术进行能量再生进行了总结,文献[7]对这3种技术进行了分析并指出利用环境微振动具有较好的转换效率和可实现性;二是CMOS技术,进一步开发WMSNs专用的微型、超低功耗、有很强抗毁性的CMOS传感器;三是采用SoC技术设计WMSNs节点,文献[8]对分别采用ARM, FPGA, ASIC设计的节点进行了能耗实验,结果表明:在运行相同MAC协议的情况下,采用FPGA, ASIC的节点能耗比采用ARM的节点能耗降低了一个数量级!随着SoC技术的进步和芯片加工工艺的发展,SoC技术在WMSNs中将得到更多应用。

2.2 MAC协议

媒体访问协议(MAC协议)的主要功能是在相互竞争的传感器节点之间分配有限的无线信道资源,它决定着无线信道的使用方式和网络性能,是关系到网络运行成功的重要技

术。

2.2.1 WMSNs MAC 协议设计面临的挑战 传统的 WSNs MAC 协议,如 S-MAC^[9], MD^[10]协议都是以增加通信时延、减小网络吞吐量来换取网络的低能耗。但在 WMSNs 中,由于多媒体信息量大、网络实时性要求高等特点,MAC 协议的设计面临巨大的挑战,具体表现在:(1)WMSNs 的数据传输具有很大的突发性。大量数据在很短的时间内要传送到接收端,很容易造成接收端数据的拥塞和过载;(2)休眠机制的选择对能耗和通信延迟的影响。在传统 WSNs 中为了减小空闲监听能耗,广泛引入了休眠机制,但在 WMSNs 中休眠机制的采用却不一定能降低网络总能耗。文献[11]中视频传感器网络能耗实验表明,在占空比较大的情况下,节点进入休眠和唤醒所消耗的能量大于节点空闲监听的能耗。一个关键性的因素是休眠的时间间隔,间隔太大会导致节点对特定事件探测率的下降并具有很大的通信延迟,间隔太小则会使得进入休眠和休眠唤醒所消耗能量远大于休眠所带来的能量节省。T-MAC^[12]协议自适应的休眠机制可以在一定程度上解决数据突发性和休眠时间间隔的问题,但应付大数据量的传输方面仍然力不从心;(3)各优化性能指标折中的问题。一个突出的问题就是休眠机制的选择会导致通信时延的增加,目前提出的大多数协议都只考虑一种性能指标的优化而忽略了其它指标。

2.2.2 WMSNs MAC 协议研究现状和发展趋势 WSNs MAC 协议主要分为两类:基于竞争的 MAC 协议(如 S-MAC、T-MAC)和基于调度的 MAC 协议(如基于 TDMA、FDMA、CDMA 的 MAC 协议等)。目前专门针对 WMSNs 的 MAC 协议研究成果不多,我们可以基于传统 WSNs MAC 协议研究出具有较好实时性和较大数据传输率特性的 MAC 协议,比较典型的有基于 TDMA 的 MAC 协议和基于超宽带(UWB)技术的 MAC 协议。这些 MAC 协议能较好地满足 WMSNs 实时性和高吞吐量的要求。

(1)基于TDMA的MAC协议。TDMA是实现信道分配的简单成熟的机制,由于在传统WSNs中无法达到精确定时和

表2 视频传感器节点和通用平台性能

节点/通用平台	平台/处理器(时钟频率)	无线芯片(技术)	性能/特征
Cyclops	基于Mica平台/ATmega128L	CC2420(Zigbee)	低功耗、采用ADCM-1700摄像头, tinyOS操作系统
CMUcam3	基于Telos平台/MSP430	CC2420(Zigbee)	低功耗、帧率可达26f/s
Imote2	PXA270(520MHz)	CC2420(Zigbee)	处理功能强大,可进行音视频处理, Linux操作系统
XYZ	ML67Q5002(60MHz)	CC2420(Zigbee)	处理功能强大
Stargate	PXA255(400MHz)	802.11b	通用平台, DVS, DFS技术,音视频处理功能强大, Linux
uAMPS-2	TMS320c55xx(200MHz)	802.11b	处理功能强大

同步而使得碰撞难以避免,因此没有得到广泛应用。但其抗干扰能力强、频率利用率高、系统容量大等特性非常适用于WMSNs。典型的基于TDMA的MAC协议有DEANA^[13]协议, TRAMA^[14]协议。DEANA协议将时间帧分为周期性调度访问阶段和随机访问阶段,调度访问阶段由多个连续的数据传输时隙组成,随机访问阶段由多个连续的信令交换时隙组成,与传统的TDMA协议相比,DEANA协议在数据传输时隙前加入了一个控制时隙,使节点在得知不需接收数据时进入睡眠状态,从而能够部分解决串音问题并降低能耗。TRAMA根据两跳范围内的邻居节点信息,由节点独立确定自己发送消息的时隙,同时避免把时隙分配给没有信息发送的节点,由此提高了网络吞吐量。

(2)基于UWB技术的MAC协议。UWB技术目前是研究热点,UWB具有发射和接收电路简单、功耗低、传输速率高、能精确定位等优点,非常适用于WMSNs。比较典型的基于UWB技术的MAC协议有(UWB)²MAC^[15], DCC-MAC^[16]等。

值得关注的是,多输入多输出技术(MIMO)为WMSNs MAC协议的设计提供了很好的解决方案。MIMO技术是利用多个天线实现多发多收,在不需增加频谱资源和天线发送功率的情况下,可以成倍地提高信道容量。但在WMSNs中节点由于受体积、功耗、工艺等多方面的限制,使其上安装多个天线有很大的困难,为了解决这个问题,协作通信(cooperative communication)应运而生。所谓协作通信是指在一个多节点分布的环境中,多个节点可以共享彼此之间的天线从而形成虚拟的MIMO子信道,以此来模拟MIMO系统通信,这种协作通信方式可以像MIMO系统一样增加系统的信息传输速率,改善系统性能,提高通信质量。协作通信是目前传感器网络和Ad hoc网络中的研究热点,研究还处于起步阶段,可以预见协作通信技术的发展将极大地推动WMSNs技术的发展并进一步走向实用化。

2.3 路由协议

路由协议是WSNs研究的重点之一,其功能是在网络中任意需要通信的两点间建立并维护数据传输路径。针对无线传感器网络节点资源严重受限,网络拓扑结构变化频繁,通信方式以数据为中心等特性,目前国内外研究人员已经设计

了很多路由协议,其中较为常见的有SPIN, DD, CADR, LEACH, PEGASIS, TEEN, SMECN, GEAR等。文献[17]对这些路由协议进行了详细的分析,在此不赘述。

2.3.1 WMSNs 路由协议设计面临的挑战 在WMSNs中,路由协议的设计和传统WSNs有很大的不同。具体表现在:(1)服务质量(QoS)。传统WSNs路由协议大多把能耗最小化等作为主要目标,然而在WMSNs中由于视频、图像等多媒体信息的引入使得QoS成为一个非常关键的问题。路由协议的设计不仅要考虑能耗、网络的可扩展性和容错性,还必须考虑媒体传输的实时性和可靠性;(2)传感模型不同。WMSNs中传感器一般是有严格方向性的(如视频传感器),由此导致网络覆盖模型也和传统WSNs有很大差异,传感模型和网络覆盖模型不同将直接影响到网络拓扑结构和路由协议的设计;(3)关于数据聚合机制。为了减少数据量以降低传输功耗,大多数WSNs路由协议都采用了数据聚合机制,比如DD^[18]协议,这种机制是以节点间频繁的无线收发为代价的,在WMSNs中,传感器节点有很强的方向性和很远的视场,同时考虑到成本问题,节点部署一般很稀疏,节点间通信距离增大,无线收发能耗随之急剧增大,因此必须减少节点间通信。

2.3.2 WMSNs 路由协议研究现状 目前很多学者提出了具有能量感知和服务质量意识的路由协议,这类协议能较好地满足WMSNs实时性和可靠性等要求。根据保证QoS性能的不同它们可分为两类:(1)实时路由协议。典型的有SAR^[19]、Younis^[20]、SPEED^[21]等。其中SAR是第一个具有QoS意识的路由协议,节点可以根据每条路径的能源、附加的QoS度量和包的优先级选择满足要求的树(tree)将信息发送给汇聚节点;Younis采用了“排队模型”对数据进行实时性和非实时性分类,然后根据不同的优先级进行转发;SPEED是第一个提供对多媒体支持的实时路由协议,它引入了“软实时”的概念,能支持各种非实时MAC协议,提供网络拥塞控制和多路由负荷管理功能。(2)可靠路由协议。典型的有AFS^[22]、ReInforM^[23]等。AFS引入“服务质量分级”概念并通过自适应转发机制来保证数据传输的可靠性;ReInforM采用多路由和随机转发机制来保证信息传输的可靠和路由负载均衡。

2006年, Felemban等人提出了MMSPEED^[24]路由协议, 该协议同时考虑了实时性和可靠性要求, 采用MAC层和网络层跨层设计思想, 采用本地化算法和多路由机制, 具有非常好的QoS性能和可扩展性, 能提供对流媒体的良好支持, 较好地适应了WMSNs中图像、视频数据对实时性和可靠性的要求, 缺点是算法较复杂, 能耗较大, 这就限制了它在传感器网络中的广泛应用。

2.3.3 WMSNs 路由协议设计发展趋势 以上协议在一定程度上满足了WMSNs实时性等要求, 但网络综合性能, 如低功耗、低延迟、低误码率、高可靠性等, 没有得到根本改善, 尤其是对多媒体的支持能力还非常有限。基于对WMSNs特性的考虑, WMSNs路由协议的设计应该综合考虑以下条件: (1)采用查询模式或事件驱动模式以降低能耗; (2)具有能量感知功能; (3)必须具有服务质量意识; (4)尽量减少节点间通信。

文献[25]表明, 设计基于QoS的具有地理位置感知和多路由保障的路由协议将大大提升WMSNs的网络性能, 但只是提出了思想, 并无具体实现。另外一方面, 如何建立综合评价模型也是一个亟待解决的问题, 该模型必须综合考虑能耗、实时性、可靠性等因素, 同时必须对不同服务质量(QoS)要求有很好的适应性。最后, 协议的跨层设计也是提高网络性能的一个非常有效的手段, 文献[7]提出了基于超宽带(UWB)的联合物理层、链路层、网络层等跨层设计思想, 利用超宽带精确定位功能来设计MAC协议和路由协议, 达到了很好的效果。

2.4 多媒体信息处理

多媒体信息处理是WMSNs研究的一个重要方面, 要解决的关键问题是如何在单个节点存储、处理能力和能量严重受限的情况下高效地实现图像、视频等多媒体信息的压缩编码和传输, 处理方法可分为以下两类。

2.4.1 多节点“分布式”图像压缩方法 这种方法利用传感器网络节点部署较密集的特点, 将单个节点的计算负荷有效地分解到多个节点上, 节点间通过所谓的“在网计算”, 分布并行地实现图像、视频的处理、存储和传输。这种方法一方面有效地降低了单个节点的能耗, 平衡了整个网络能耗分布, 从而大大延长了整个网络的生命周期; 另一方面有效地整合了网络中多个节点的处理、存储资源, 在不显著增加网络成本的前提下完成复杂的图像、视频处理任务。目前研究较多的是基于小波变换的多节点分布式图像压缩方法^[26], 这种方法采用基于“簇”的网络拓扑结构, 将复杂的多级小波分解在不同的“簇”内完成, 解决了单个节点处理和存储能力有限的问题, 较好的实现了能耗平衡。但由于小波变换固有的复杂性及无线收发能耗过大等缺点, 这种方法应用于WMSNs并不理想, 因此研究低复杂度、低存储、低能耗的图像压缩编码算法及其在WMSNs中的分布式实现就显得尤

为重要。

2.4.2 分布式信源编码方法 在WMSNs中, 不同节点采集的图像之间以及同一节点采集的视频信息帧之间都有非常强的空间及时间相关性, 若采用传统的联合编码联合解码方式对WMSNs采集的图像进行编码, 为了消除冗余信息, 节点间必须进行大量的无线收发, 若对视频进行编码, 编码端节点必须进行复杂的运动估计及运动补偿, 这将使得编码端复杂性及能耗远远高于解码端。在WMSNs中, 编码端节点资源和能量严重受限, 而解码端节点(基站或汇聚节点)处理能力可以很强, 因此传统的编解码方式不再适合。针对这种情况, 分布式信源编码技术开始引起人们极大的关注, 该编码技术和传统的编码技术恰恰相反, 它以增加解码端的复杂性换取编码端的简单化, 并且能够实现高效的压缩, 重建图像质量接近传统编码方式。另外, 由于它是对多个信源应用独立编码器进行编码, 避免了传感器节点间的信息交互, 简化了传感器网络分布结构的设计, 节省了由于信息交互带来的带宽需求和能量消耗。

分布式信源编码思想最早是20世纪70年代由Slepian和Wolf^[27]以及Wyner和Ziv^[28]提出来的, 虽然提出较早, 但一直没有具体的实现方法, 直到1999年Pradhan^[29]等人提出应用校正子的相关信源编码方法并说明Slepian-Wolf界的可实现性。随后很多学者都进行了相关研究, 提出了一系列分布式编码技术和具体的实现方法。Bajcsy等人在文献[30]中提出使用turbo码作为统计相关的二值信源的压缩方法, 使用turbo码进行分布式信源编码其压缩性能可以接近Slepian-Wolf的理论下限。

目前分布式信源编码技术在WMSNs中应用面临的主要问题是时间相关性和空间相关性模型的建立, 信源之间存在很强的相关性是分布式信源编码的前提条件, 在很多面向不同的应用场合的传感器网络中, 特别是在网络拓扑结构未知的情况下, 通常很难得到各节点的联合概率模型和分布函数, 由此导致相关性模型的建立非常困难。另外, 信道编码及运动补偿在解码端的实现也是一个重要的研究内容。

3 结束语

WMSNs集成了传统WSNs自组织、无人值守和多媒体技术感知信息精准等优点, 在军事、民用、商业等领域具有广阔的应用前景。虽然目前研究取得了一定成果, 但离实际应用相差甚远。以下几个方面的问题亟待进一步优化解决, 同时也代表WMSNs未来的发展趋势和研究方向。

(1)节点的低功耗、微型化设计。目前WMSNs节点的设计还处于实验室阶段, 存在功耗高、体积大的问题, 远没有达到实际应用要求。随着SoC技术和CMOS传感技术的进步, 可以将处理器、无线收发模块、甚至视频传感器集成到一个芯片上, 采用软硬件协同设计的方法, 大幅度降低节点功耗、体积和成本。

(2) 高效通信协议研究。超宽带技术由于其低功耗、高速度、大容量、精确定位等优点而成为 WMSNs 物理层通信的绝佳选择, 但由于标准制定的原因离实用还有一段距离。目前研究的重点是数据链路层的 MAC 协议和网络层的路由协议, 关键问题是要解决好能耗最小化和多媒体数据传输实时性、可靠性等要求之间的矛盾。另外, 通信协议还必须具备差错控制功能以保证数据传输的可靠性, 目前数据通信常用的差错控制方法, 如: 自动重复请求 (ARQ) 和前向纠错 (FEC) 等由于存在高延迟、解码复杂的缺陷, 并不适合 WMSNs。因此结合物理层、数据链路层、网络层、传输层等采用跨层设计的方法开发具有简单编码算法、较小时延的差错控制机制显得极为重要。

(3) 协议跨层优化。目前有很多协议是基于跨层优化这一思想设计的, 如 SPEED, MMSPEED 等。但这些协议都只是局限于某两个协议层之间, 如 MMSPEED 只考虑了 MAC 层和路由协议的跨层设计, 没有考虑应用层多媒体信息的处理和传输特性。而应用层的图像压缩等操作大多没有考虑底层协议的差错控制、资源分配等要求。因此综合考虑各个层次间的不同特性以及特定应用对 QoS 的要求等因素进行协议跨层设计是一个重要研究内容。

WMSNs 是一个多学科高度交叉的全新研究领域。随着 MEMS 技术、COMS 技术、超宽带技术、分布式信源编码技术的进步, WMSNs 将快速发展并进一步走向实用化。

参 考 文 献

- [1] 马华东, 陶丹. 多媒体传感器网络及其进展[A]. 软件学报. 2006, 17(9): 2013-2028.
- [2] Ma H D and Tao D. Multimedia sensor network and its research progresses. *Journal of Software*, 2006, 17(9): 2013-2028.
- [3] Chang C K and Huang J. Video surveillance for hazardous conditions using sensor networks. Proc. of the 2004 IEEE Int'l Conf. on Networking, Sensing & Control. New York, 2004: 1008-1013.
- [4] Holman R, Stanley J, and Ozkan-Haller T. Applying video sensor networks to nearshore environment monitoring. *IEEE Trans. on Pervasive Computing*, 2003, 2(4): 14-21.
- [5] Reeves A A. Remote monitoring of patients suffering from early symptoms of dementia. Intl. Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, London, UK, April 2005: 21-23.
- [6] Hu F and Kumar S. Multimedia query with QoS considerations for wireless sensor networks in telemedicine. Proc. of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers - Intl. Conf. on Internet Multimedia Management Systems, Orlando, FL, September 2003: 21-30.
- [7] Paradiso J and Starner T. Energy scavenging for mobile and wireless electronics. *IEEE Perv. Comput*, 2005, 4(1): 18-27.
- [8] Akyildiz I, Melodia T, and Chowdhury K R. A survey on wireless multimedia sensor networks. *Computer Networks*, 2007, 5(1): 921-960.
- [9] Rabaey J, et al. PicoRadio: Ad-hoc wireless networking of ubiquitous low-energy sensor/monitor nodes. Proceedings of the IEEE Computer Society Workshop on VLSI 2000. System Design for a System-on-Chip Era[C]. Los Alamitos, CA, USA, 2000: 9-12.
- [10] Ye W, Heidemann J, and Estrin D. Medium access control with coordinated, adaptive sleeping for wireless sensor networks. *IEEE Trans. on Network*, 2004, 12(3): 493-506.
- [11] Callaway Edgar H. Wireless Sensor Networks Architectures and Protocols[M]. Florida, USA: Auerbach Publications, 2003: 71-78.
- [12] Petkov M V, Obraczka K, and Manduchi R. Characterizing energy consumption in a visual sensor network testbed. Proc. of IEEE/Create-Net Intl. Conf. on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities (TridentCom), Barcelona, Spain, March 2006: 158-170.
- [13] Dam T V and Langendoen K. An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks. Proc. of the ACM Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), Los Angeles, CA, USA, November 2003: 171-180.
- [14] Bao L and Garcia-Luna-Aceves J J. A new approach to channel access scheduling for ad hoc networks[C]. Proc. of 7th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking (MobiCOM 2001), Rome, Italy, July, 2001: 210-221.
- [15] Rajendran V, Obraczka K, and Garcia-Luna-Aceves J J. Energy-efficient, collision-free medium access control for wireless sensor networks[C]. The First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003), Los Angeles CA, Nov. 2003: 181-192.
- [16] Di Benedetto M G, Nardis L D, Junk M, and Giancola G. (UWB)²: Uncoordinated, wireless, baseborn, medium access for UWB communication networks. *Mobile Networks and Applications*, 2005, 10(5): 663-674.
- [17] Merz R, Le Boudec J Y, Widmer J, and Radunovi'c B. A rate-adaptive MAC protocol for low-power ultra-wide band Ad-hoc networks. 3rd International Conference on AD-HOC Networks & Wireless, Vancouver, British Columbia, Canada, July, 2004: 155-165.
- [18] Kemal Akkaya and Mohamed Younis. A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Ad hoc Networks Journal (Elsevier)*, 2005, 3(3): 325-349.
- [19] Intanagonwiwat C, Govindan R, and Estrin D. Directed

- diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks[C]. Proceedings of the ACM MobiCom'00, Boston, MA, 2000: 56-67.
- [19] K Sohrabi, *et al.*. Protocols for self-organization of a wireless sensor network. *IEEE Personal Communications*, 2000, 7(5): 16-27.
- [20] Akkaya K and Younis M. An energy-aware QoS routing protocol for wireless sensor networks[A]. Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile and Wireless Networks[C]. Piscataway, USA, 2003: 710-715.
- [21] He T, *et al.*. SPEED: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks[A]. International Conference on Distributed Computing Systems 2003[C]. Providence, RI: ICDCS'03, 2003: 204-223.
- [22] Bhatnagar S, Deb B, and Nath B. Service differentiation in sensor networks[A]. Proceedings of the Fourth International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications[C]. Aalborg, Denmark, 2001: 892-898.
- [23] Deb B, Bhatnagar S, and Nath B. ReInForm: Reliable information forwarding using multiple paths in Sensor Networks. Proc. IEEE Int'l Conf. Local Computer Networks, Los Alamitos, USA, 2003: 406-415.
- [24] Felemban E, Lee C G, and Ekici E. MMSPEED: Multipath multi-SPEED protocol for QoS guarantee of reliability and timeliness in wireless sensor networks. *IEEE Trans. on Mobile Comput.*, 2006, 5(6): 738-754.
- [25] Gures E and Akan O B. Multimedia communication in wireless sensor networks. *Annales Des Telecommunications*, 2005, 60(7): 872-900.
- [26] Wu H and Abouzeid A A. Energy efficient distributed image compression in resource-constrained multihop wireless networks. *Computer Communications*, 2005, 28(14): 1658-1668.
- [27] Slepian J and Wolf J. Noiseless coding of correlated information sources[J]. *IEEE Trans. on Information Theory*, 1973, 7(19): 471-480.
- [28] Wyner A and Ziv J. The rate-distortion function for source coding with side information at the decoder[J]. *IEEE Trans. on Information Theory*, 1976, 22(1): 1-10.
- [29] Pradhan S S and Ramchandran K. Distributed source coding using syndromes(DISCUS): Design and construction [C]. Proc. IEEE Data Compression Conference, Snowbird, UT, 1999: 158-167.
- [30] Bajcsy J and Mitran P. Coding for the slepian-wolf problem with turbo codes[A]. Proceedings of the IEEE Global Telecommunication Conference[C]. New York. USA, 2001: 1400-1404.
- 罗武胜: 男, 1972年生, 博士, 副教授, 主要研究领域为现代传感技术与系统.
- 翟永平: 男, 1982年生, 硕士生, 研究领域为无线传感器网络、嵌入式系统设计.
- 鲁琴: 女, 1980年生, 博士生, 研究领域为无线传感器网络、超宽带组网技术.