ISSN 1000-9825, CODEN RUXUEW
Journal of Software, Vol.17, No.9, September 2006, pp.2013−2028
DOI: 10.1360/jos172013
© 2006 by *Journal of Software*. All rights reserved.
E-mail: jos@iscas.ac.cn
http://www.jos.org.cn
Tel/Fax: +86-10-62562563

多媒体传感器网络及其研究进展*

马华东+, 陶 丹

(北京邮电大学 计算机学院 智能通信软件与多媒体北京市重点实验室,北京 100876)

Multimedia Sensor Network and Its Research Progresses

MA Hua-Dong+, TAO Dan

(Beijing Key Laboratory of Intelligent Telecommunications Software and Multimedia, School of Computer Science and Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-62283523, E-mail: mhd@bupt.edu.cn, http://www.bupt.edu.cn

Ma HD, Tao D. Multimedia sensor network and its research progresses. *Journal of Software*, 2006,17(9): 2013−2028. http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/2013.htm

Abstract: As a novel information acquiring and processing technology, compared to other traditional sensor networks, multimedia sensor networks pay more attention to the information-intensive data (e.g. audio, video, image). Potential applications of multimedia sensor networks span a wide spectrum from military to industrial, from commercial to environmental monitoring. This paper introduces the concept and characteristics of multimedia sensor networks, and discusses the technical challenges in this field. In particular, this paper summarizes the current research progresses. Finally, the open research problems are also pointed out. Multimedia sensor networks discussed in this paper is a novel conceptual system; and many issues need to be solved. The research on this topic is with great theoretical and practical value.
Key words: audio/video processing; sensor network; multimedia sensor network

摘 要: 作为一种全新的信息获取和处理技术,多媒体传感器网络较之传统传感器网络更多地关注于音频、视频、图像等大数据量、大信息量媒体的采集与处理,在军事、民用及商业领域中具有广阔的应用前景.介绍了多媒体传感器网络的概念与特点,着重探讨了多媒体传感器网络所面临的挑战与国内外的研究进展,最后分析了当前亟待解决的问题,并展望了其未来的发展趋势.多媒体传感器网络是一种新的概念系统但也存在较多的问题需要解决,其研究具有很强的理论意义和实用价值.
关键词: 音视频处理;传感器网络;多媒体传感器网络
中图法分类号: TP391 文献标识码: A

随着通信技术、嵌入式计算技术和传感器技术的飞速发展和日益成熟,具有感知能力、计算能力和通信能力的微型传感器开始出现,并且引起了人们的极大关注[1−4].这种传感器网络能够协调地感知、采集和处理网络

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.90612013 (国家自然科学基金); the Specialized Research Fund of China for the Doctoral Program of Higher Education under Grant No.20050013010 (高等学校博士点基金); the NCET of MOE, China (国家教育部新世纪人才支持计划); the Beijing Natural Science Found under Grant No.4062024 (北京市自然科学基金)
Received 2006-08-04; Accepted 2006-08-08

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

覆盖区域内的各种环境或监测对象信息,并发布给需要这些信息的用户.传感器网络将逻辑上的信息世界与真实的物理世界融合在一起,深刻地改变了人与自然的交互方式[2];可以广泛地应用于军事、工农业控制、生物医疗、环境监测等诸多领域[5−8].

目前,传感器网络研究的一个重要方面是在能量严重受限的微型节点上如何实现简单的环境数据(如温度、湿度、光强等)采集、传输与处理[1].然而,随着监测环境的日趋复杂多变,由这些传统传感器网络所获取的简单数据愈加不能满足人们对环境监测的全面需求,迫切需要将信息量丰富的图像、音频、视频等媒体引入到以传感器网络为基础的环境监测活动中来,实现细粒度、精准信息的环境监测[6,9].由此,多媒体传感器网络应运而生.

近年来,多媒体传感器网络技术的研究已引起了科研人员的密切关注,一些学者开展了多媒体传感器网络方面的探索性研究,在 IEEE 系列会议(如 MASS,ICIP,WirelessCOM 等)、ACM 多媒体和传感器网络相关会议(ACM Multimedia,ACM MOBICOM,ACM WSNA 等)发表了一些重要的研究成果.从 2003 年起,ACM 还专门组织国际视频监控与传感器网络研讨会(ACM International Workshop on Video Surveillence & Sensor Networks)交流相关研究成果.美国加利福尼亚大学[10]、卡耐基·梅隆大学[11]、马萨诸塞大学[12]、波特兰州立大学[13]等著名学府也开始了多媒体传感器网络方面的研究工作,纷纷成立了视频传感器网络组并启动了相应的科研计划.我国学者也非常重视多媒体传感器网络方面的研究,北京邮电大学智能通信软件与多媒体北京市重点实验室、中国科学院计算技术研究所、哈尔滨工业大学已开始了该领域的探索.但是这些研究成果尚处于起步阶段,距离实际需求还相差甚远.本文综述了这一领域目前的研究状况,主要针对多媒体传感器网络的概念和特点、面临的挑战、研究进展以及亟待解决的问题等方面展开深入的讨论.

(1) 传感器网络的概念及特点

传感器网络是由大量部署在观测环境中的微型廉价低功耗的传感器节点通过多跳通信方式形成的网络系统[1].传感器节点具有数据采集、处理、无线通信和自组织的能力,协作地完成大规模复杂的监测任务,网络中通常只有少量的汇聚(sink)节点负责发布命令和收集数据,实现与 Internet 的通信.

传感器网络与其他传统网络相比具有如下显著特点[2,3,14]:

- 资源受限.节点由于受成本、体积及功耗的限制,其计算能力、程序空间和内存空间比普通的计算机功能要弱小很多.节点由电池供电,在使用过程中经常是一次性的,不能更换电池和随意充电.
- 大规模使用.为实现区域监测任务,往往有成千上万的传感器节点密集部署在目标区域,利用节点之间的高度连通性来保证系统的容错性和抗毁性.
- 自组织结构.网络的布设和展开无须依赖于任何预设的网络设施,节点通过分层协议和分布式算法协调各自的行为,快速组成一个独立的网络.
- 多跳通信.无线网络中节点通信距离有限,节点只能与其邻居直接通信.若希望与其射频覆盖范围之外的节点进行通信,则需要通过中间节点进行路由转发.
- 动态性强.网络中节点可能因电池能量耗尽或其他故障而退出网络运行,也可能因任务需要移动节点或添加新的节点到网络中,这些都会带来网络拓扑结构的变化.
- 安全可靠.传感器网络适于恶劣环境或安全敏感区域实施监测任务,要求传感器网络具有防止监测数据被盗取、识别伪造监测信息的能力.
- 应用相关性.不同的传感器网络应用所关注的物理量不尽相同,针对每个具体应用的特点来研究传感器网络技术,这是传感器网络设计不同于传统网络设计的显著特征.
- 以数据为中心.传感器网络是任务型的网络,其核心是感知环境数据.

(2) 多媒体传感器网络特点

作为传感器网络的一种,多媒体传感器网络除了具有其共性特点以外,还具有显著的个性特点.具体表现为以下几个方面:

- 网络能力增强.由于大数据量音频、视频、图像等媒体的引入,多媒体传感器节点及网络能力(采集、处

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

理、存储、收发、能量供应等方面)都有显著增强.节点处理能力由原来 Mica 系列的 6MHz 提高至数十甚至数百兆,存储能力也由 KB 量级增至 MB 量级[15].为更好地满足网络中多媒体传输需求,网络带宽资源也相应增加.

- 感知媒体丰富.音频、视频、图像、数值、文本以及控制信号在内的多种类型数据共存于多媒体传感器网络中.另外,媒体格式多样,既包含单值信息,又包含流媒体信息[6].这些媒体信息共同服务于监测任务,实现更为全面、准确的场景监测.
- 处理任务复杂.传统传感器网络采集的数据格式单一、信息量少,因而处理简单,只需经过加、减、乘、除、求和、求平均值等运算[7,9],人们通过这些数值结果很难对监测环境形成全面认知.而多媒体传感器网络采集的音频、视频、图像信息丰富且格式复杂,我们可利用压缩、识别、融合等多种处理以满足多样化应用需求.

另外,由感知多种媒体类型的传感器节点构成的多媒体传感器网络,其监测能力远远大于几种感知单一媒体类型的传感器网络的简单叠加.多类型传感数据从不同角度描述物理世界,对同一场景多类型数据进行融合,我们可以得到对环境更为全面而有效的感知.

(3) 多媒体传感器网络面临挑战

多媒体传感器网络作为全新的研究领域,在基础理论和实现技术两个层面提出了大量的挑战性研究课题.这些问题的解决,是加快多媒体传感器网络实用的基础.具体问题表现在下述几个方面:

- 低功耗硬件平台设计.传统的传感器网络节点主要传感的物理量局限于声、光、热、湿度、磁力和加速度等方面[4];而多媒体传感器网络能够感知大数据量的图像、音频、视频等媒体,并对其进行处理.这就要对传感平台功能进行扩展,但平台设计以不能显著增加功耗为前提.
- 节能控制策略.由于多媒体传感器应用的环境条件复杂且大多不允许对“失效”节点进行电池更换,其能耗也明显大于传统传感器.因此,如何节约各节点有限的电池能量并尽力延长整体网络的生存时间成为多媒体传感器网络的重要性能指标.
- 实时媒体传输.多媒体信息(尤其是音视频)对传输的时延、同步要求很高,多媒体传感器网络应具有更强的媒体传输能力[16].目前,多媒体传感器网络的带宽资源以及处理能力还相当有限.能否有效解决多媒体的实时传输问题,也是多媒体传感器网络实用化的关键.
- 在网信息处理.传感器网络采集到的多媒体数据具有很大冗余性和时、空间关联性,大量冗余信息在网络中的传输势必会造成网络资源的严重消耗[17−19].有必要研究如何利用在网计算来压缩数据、实现数据同步及任务协同处理,减少网络业务流量,进而延长网络工作寿命.
- QoS 保障.QoS 敏感是多媒体传感器网络的一个重要特征.多媒体传感器网络 QoS 体现在音视频质量、网络时延、网络能耗、覆盖范围、服务持续时间、媒体信息处理等方面,建立其 QoS 保障体系是多媒体传感器网络设计的关键问题.
- 信息安全保证.传感器网络信息传送也面临着私密性考验[2]:既要求信息不能被篡改也不能被非授权用户使用,而且多媒体信息对于私密性更加敏感.如何在计算资源受限中完成数据加密、身份验证等,在破坏或受干扰的情况下可靠地传输正确的信息是一个重要的研究课题.
- 海量数据存储.广泛分布的多媒体传感器节点时刻感知并采集着环境中的音、视频等各种类型信息,数据量相当巨大,其中一些很有价值的信息需要存储起来供用户查询.如何将反映不同时期环境状态的海量数据有效地存储在网络中,同样是很有意义的研究工作[20,21].
- 灵活的数据查询和检索.从用户获取数据角度来看,整个多媒体传感器网络就像一个动态的数据库,可从中查询和检索需要的信息[3].对于格式复杂的音频、视频、图像等媒体信息,如何根据对象特征属性实现查询和检索也是一项极富挑战性的研究工作.

上述挑战迫切需要全新的解决方法,以指导多媒体传感器网络系统的有效实现.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

1 多媒体传感器网络概念与研究内容

1.1 基本概念

多媒体传感器网络(multimedia sensor network,简称 MSN)是由一组具有计算、存储和通信能力的多媒体传感器节点组成的分布式感知网络.它借助于节点上多媒体传感器感知所在周边环境的多种媒体信息(音频、视频、图像、数值等),通过多跳中继方式将数据传到信息汇聚中心,汇聚中心对监测数据进行分析,实现全面而有效的环境监测[6].

如图 1 所示,一个典型的多媒体传感器网络通常由多媒体传感器节点(multimedia sensor)、汇聚节点(sink node)、控制中心(control center)等构成.多媒体传感器节点散布在指定的感知区域内,其采集的数据沿着其他多媒体传感器节点逐跳进行传输,经过“多跳”路由传送到汇聚节点,最后通过 Internet 网络或通信卫星到达控制中心.用户通过控制中心对传感器网络进行配置和管理,发布监测任务以及收集监测数据.

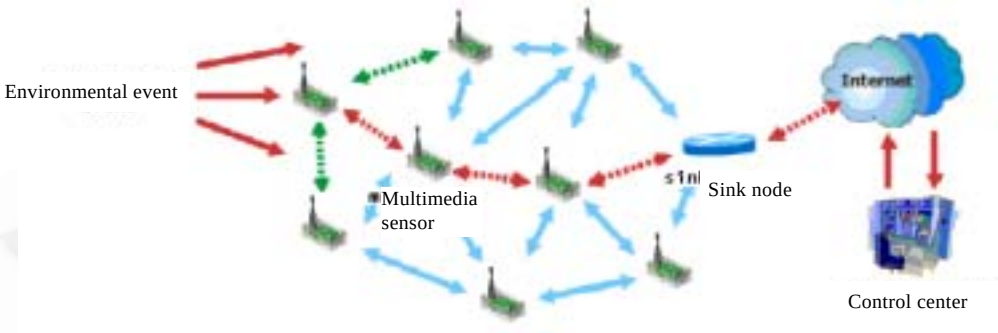

Fig.1 The structure of multimedia sensor networks

图1 多媒体传感器网络结构

多媒体传感器节点:集成有传感器、数据处理单元和通信模块的微型嵌入式节点,借助内置的、形式多样的传感器监测所在周边环境中的热、红外、声纳、图像、音频、视频等众多我们感兴趣的物理现象.其处理能力、存储能力和通信能力相对较弱,并通过携带能量有限的电池供电.多媒体传感器节点强调采集音频、视频、图像等环境信息,并进行简单处理,还要对其他节点转发的数据进行融合、转发等.

汇聚节点:既可以是一个具有较强功能的多媒体传感器节点,有足够的能量供给更多的内存与计算资源,也可以是没有监测能力,仅具有通信能力的特殊网关设备.汇聚节点的处理能力、存储能力及通信能力比较强,负责连接多媒体传感器网络与 Internet 等外部网络,发布管理节点的监测任务,并转发数据至外部网络.

控制中心:负责查询或收集多媒体传感器网络的监测信息,也可监测多媒体传感器网络发布的信息,并提供友好的交互界面供用户对监测信息进行观察、分析、挖掘及决策.

1.2 研究内容

对多媒体传感器网络的研究可从以下几个方面展开:

(1) 多媒体传感器网络体系结构.研究支持节点间多媒体信息协同处理的传感器网络系统模型,设计出合理的网络结构,将庞大而复杂的多媒体信息获取和处理分布到多个多媒体传感器节点上,通过多节点间的协同工作,及时而有效地完成场景监测[22−24].

(2) 多媒体传感器节点设备.在有限成本的基础上,设计出能实现多媒体信息传感、处理、传输等功能的传感器节点的方法,节点中包含软硬件平台、附加功能.

(3) 多媒体传感器节点部署及网络覆盖性能.部署或覆盖问题是一个基本问题,它反映了网络对物理世界的感知范围和质量.根据多媒体传感器节点的不同传感模型[7],研究多媒体传感器节点部署策略及调度机制,以及保障多媒体传感器网络的覆盖完整性和通信连通性的方法[25,26].

(4) 媒体信息的传输问题.利用传感器网络实时、可靠地传输大数据量流媒体信息,而尽量节省网络能量,

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

延长网络生存期.

(5) 多媒体信息融合与重现.多媒体传感器节点采集到的各类型数据具有很大的冗余性和时空关联,有必要研究如何基于相关性信息融合多种类型数据[27].例如,利用多个相邻视频传感器节点的相关性对多源视频信息的融合处理,最终实现监测场景视觉信息的重现[7,9].

(6) 多媒体传感器节点的任务重构.由于节点计算、存储、通信能力有限,支持监测任务变化而提供有效的任务重构机制是保证实现多媒体传感器网络功能灵活性的重要途径之一[5].

(7) 多媒体传感器网络的应用.研究在军事侦察、环境监控、工业控制、智能家居、城市管理、交通监控、目标追踪、反恐等领域的典型应用[6].

2 多媒体传感器网络研究进展

多媒体传感器网络针对大数据量、复杂媒体信息的获取、处理和传输,对网络节点硬件平台、体系架构、部署与覆盖以及信息处理等方面要求有新的方法.本节就这几方面具体阐述多媒体传感器网络的研究进展.

2.1 节点硬件系统

利用 MEMS 技术设计的传感器节点可谓特别设计的微型“计算机系统”.目前,普遍使用的是美国加州大学伯克利分校开发的 Mica、MicaZ 等系列传感器节点[2].然而,此类节点仅具有感知温度、湿度、声强、光照、超声波、振动等单值数据的能力. MicaZ 系列节点上的传感器模块也仅仅具有声强(db)采集能力,用于目标的监测和定位;不支持对音频数据的采集和处理[15].迫切需要研究人员设计出真正的多媒体传感器节点,以有效支持多媒体传感器网络应用.然而,由于音视频节点功耗大、电路复杂等突出特点,使得设计并实现功耗低、体积小、稳定性好的音视频传感器节点极具挑战性.

多媒体传感器节点的设计同样遵循微型化、低成本、扩展性和稳定性好的基本设计原则[12].首要解决的问题是提高传感器节点能力以适用于大数据量、实时性要求较高的媒体信息的获取与处理.从目前发表的多媒体传感器网络系统原型来看[12,13,28],多媒体传感器节点的结构继承了传统传感器节点的设计思路.多媒体传感器节点主要由两部分组成,一是传感器模块(sensor module),另一个是处理通信模块(process/communication module),两者之间通过扩展接口进行连接.传感器模块主要包含摄像头、麦克风采集设备以及温度、湿度等传感器,其作用是采集环境媒体数据.处理通信模块的主要功能有:对采集的多媒体数据进行预处理和压缩,节点任务管理、存储管理、电源管理、通信机制等.多媒体传感器节点硬件系统结构如图 2 所示.这种组合式硬件系统结构可实现不同传感器模块与处理通信模块之间的自由组合,灵活地满足不同应用的监测需求[12].

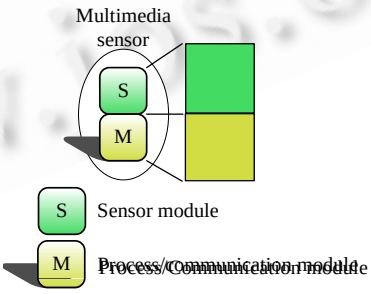

Fig.2 The hardware system structure of multimedia sensor nodes

图2 多媒体传感器节点硬件系统结构

传感器技术的快速发展,让我们能够很容易地获得从成本低廉、功能单一的温度、湿度、光照、振动传感器至图像、音视频等功能复杂的多种类型传感器.以较为复杂的视频传感器为例,我们的选择极为灵活[12]:无论是昂贵的Pan-Tilt-Zoom相机、高分辨率数字相机,还是低廉的网络相机Web-cams、手机相机“Cell-phone-class”,甚至是成本更低廉的微型相机Cyclops[29].另外,先进的嵌入式处理通信技术支持搭建满足不同应用需求的多媒体传感器节点.见表1,从嵌入式PCs设备到与智能终端PDA相媲美的Stargate,从低能耗的Mote到更低能耗的

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

SOC[30]解决方案.我们可以根据环境监测需求的不同,任意选择和搭配不同类型及性能各异的传感器模块与处理通信模块,构成多种多媒体传感器节点.从目前可获得的文献资料来看[12,13,28],多媒体传感器节点原型研究大都以视频传感器节点为主来开展的.

Table 1 Different Process/communication modules and their parameters

表 **1** 不同的处理通信模块及相应参数指标

文献	平台名称	处理器类型	存储及功耗(或称作资源)
[16]	Mica	ATMega128 (6MHz)	4KB RAM, 512KB Flash, 84mW
[30]	MicaZ	ATMega128 (6MHz)	128KB RAM,512KB Flash
[12]	Yale XYZ	OKI ARM Thumb (2MHz~57MHz)	32KB RAM, 2MB external,7mW~160mW
[31]	Sun SPOT	ARM7 (75MHz)	256KB RAM, 2MB Flash
[13]	Stargate	Intel Strong ARM(206MHz)	64M RAM, 5W
[12]		XScale PXA255 (100MHz~400 MHz)	32MB RAM, 170mW~400mW
[30]		Intel PXA255 (400 MHz)	64MB SDRAM, 32 MB Flash
[12]	Embedded PC	Mini-ITX (1.0GHz~2.33GHz)	64MB~4GB RAM

例如,Feng等人在文献[13]中设计视频传感器节点Panopts,如图3(a)所示.该节点基于Strong ARM 206MHz嵌入式平台,配有64M RAM,内嵌Linux2.2.19操作系统,采用USB接口的Logitech网络相机作为传感器模块.视频流中图像帧分辨率可达320×240,帧率可达18fps~20fps.作为嵌入式视频传感器节点的雏形,Panopts节点能够有效地支持视频序列的获取、压缩、过滤、缓冲及流处理等主要处理功能,但尺寸(7英寸×4英寸)略大了些.Kulkarni等人在文献[12]中组合多种性能传感器模块和处理通信模块,搭建具有不同监测性能的视频传感器节点,如图3(b),3(c)所示.这种视频传感器节点充分考虑了节点间性能差异以及监测需要,既节约资源又可提高监测性能.

(a) Logitech Webcam+Stargate [13]

(b) CMUcam+Mica[12]

(c) Quickcam Pro Webcam+Stargate[12]

Fig.3 Case for video sensor nodes

图3 视频传感器节点实例

2.2 系统体系结构

传感器网络体系结构直接关系到整个网络性能,而网络性能又影响着其可用性[3].多媒体传感器网络体系结构的设计需要考虑部署、能耗、扩展性、灵活性及容错性等方面.如何利用多媒体传感器节点构造功能强大、结构优化、性能优良的多媒体传感器网络,是一个重要的问题.目前,国际上已有一些学者对通用传感器网络和多媒体传感器网络的体系结构开展研究,提出了一些具有探索意义的模型.本节分别从层次结构、功能模型以及通信协议实现的角度对网络体系结构进行讨论.

2.2.1 层次结构

2003 年,Holman 等人率先利用视频传感器网络实现海岸环境监测,在文献[32]中采用集中式的单层网络体系结构.视频传感器节点间几乎没有协作,独立地完成数据采集和任务处理,并与控制主机(即汇聚节点)直接相连.在此结构中,控制主机瓶颈处理压力尤其突出,仅适合小规模的网络部署,很难适应日益扩大的传感器网络规模和海量的环境监测数据.因此,建立多层分布式的网络体系结构成为一种更合理的策略[23].

我们按照层次结构的不同,将多媒体传感器网络分为单层、多层和混合 3 类,如图 4(a)~(c)所示.具体说明见表 2.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

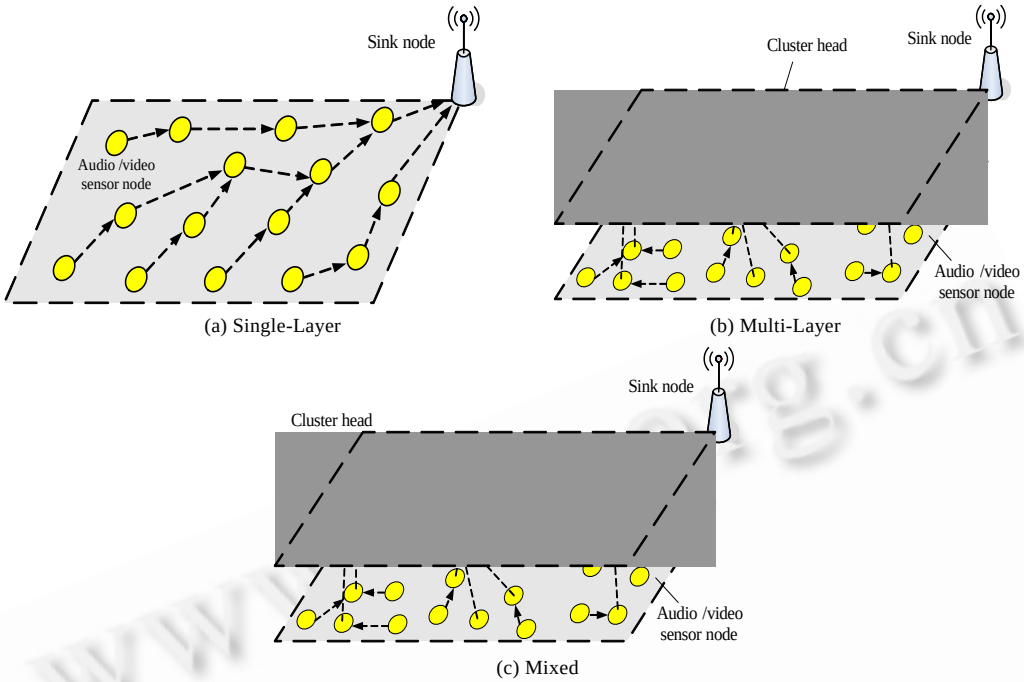

Fig.4 Layered architecture of multimedia sensor networks

图 4 多媒体传感器网络层次结构

Table 2 A taxonomy for layered architecture of multimedia sensor networks

表 2 网络层次结构分类

名称	结构特点	优缺点
单层结构[33]	各传感器节点在网络中的地位是平等的,通过“多跳”方式与汇聚节点通信.	优点:结构简单,便于部署,网络延迟小. 缺点:汇聚节点瓶颈处理压力突出,资源共享能力较差,严重的资源浪费,网络可扩展性和灵活性差.
多层结构[13,22,24,28,34–36]	传感器节点按照资源或能力的不同划分为多层.如两层结构中传感器节点分簇头(cluster head)和成员节点两种,成员节点执行正常监测并触发簇头的高分辨率监测,进一步处理和上报监测结果到汇聚节点.	优点:功能明确,便于管理,任务分级,层间协作,网络容错性好. 缺点:能力受限的簇头可能会成为网络瓶颈.
混合结构[37]	混合了单层和多层两种网络结构.突出表现为:传感器节点既可通过簇头与汇聚节点通信,又可不经过簇头以“多跳”方式与汇聚节点相互通信.	优点:兼顾单层和多层网络结构双重优势;一定程度上有效地分担簇头处理压力;网络灵活性较好,适用于各种任务. 缺点:网络结构相对复杂;网络管理与维护代价较大.

2.2.2 功能模型

按照网络中节点承担的功能不同,多媒体传感器网络又可分为单功能模型和多功能模型两大类.第 2.2.1 节中单层网络结构满足单功能模型,网络中传感器节点具有相同的地位,完成同样的任务(采集、转发和处理数据).近年来,出现一些有代表性的满足多功能模型的多媒体传感器网络结构,详见表 3.

2.2.3 通信协议实现

根据多媒体传感器网络通信协议实现不同,网络体系结构分为单一通信协议结构和混合通信协议结构两种.早期,多媒体传感器网络大都采用单一通信协议结构,也就是说,网络多层间采用相同通信协议(如:802.11, 802.15.4 等).此种单一通信协议便于实现与管理,但未能充分考虑到网络中簇头与成员节点间的资源与能力差异.由此,Ardizzone 等人[28]提出了在多媒体传感器网络混合使用多种通信协议的方法,如图 5 所示.在资源有限的簇内(成员节点-成员节点,成员节点-簇头)采用简单、数据传输速率较低的 802.15.4 协议进行无线通信;而簇

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

间(簇头-簇头,簇头-汇聚节点)的通信采用提供较为丰富带宽资源的 802.11 标准.网络通过对两种无线传输协议的混合使用,有效地兼顾了资源、能耗、传输率等多方面因素,为实现多媒体应用提供了较好的支持[8].

Table 3 Functional models

表 3 功能模型

名称	特点
传统的簇结构[22,34,36]	目前大多数多媒体传感器网络体系结构属于此类.网络中传感器节点按照资源或能力的不同划分为簇头和成员节点两种.一般来说,成员节点能力较低,负责环境数据采集及简单处理;而簇头能力相对较高,负责管理成员节点,并对来自成员节点的数据进行融合等处理.
主从结构[38]	根据执行的任务粒度不同,将系统分为主从两部分.主系统(master)负责完成基本的监测任务;从系统(slave)则起到辅助主系统的作用.主系统通过调用从系统实现特定任务或细节监测.主从结构具有较高的灵活性,适用于完成不同级别的监测任务.但是系统的主-从特性使得系统部署更为复杂,需要对两者进行任务协调.
代理结构[35]	网络中节点按照功能不同划分为多级代理.各级代理分工明确(如低级代理对应于网络中的成员节点,负责搜集环境数据,中级代理充当簇头的角色,融合来自低级代理采集的数据并转发处理结果,由高级代理充当汇聚节点完成更高级别处理任务并显示给用户),通过各级代理间协作提供更完善的服务.此类结构可扩展性较强.
协作模型[22]	该结构将分层协作模型中的活动(activity)、任务(task)和协作(cooperation)三个抽象层次分别映射到网络中的成员节点、簇头和汇聚节点三个不同实体上,形成活动执行者、任务管理者和协作组织者,以此灵活有效地支持网络内实体之间不同程度的协作,尤其适合于实现具有协作特征的复杂多媒体应用.模型没有给出实现细节.

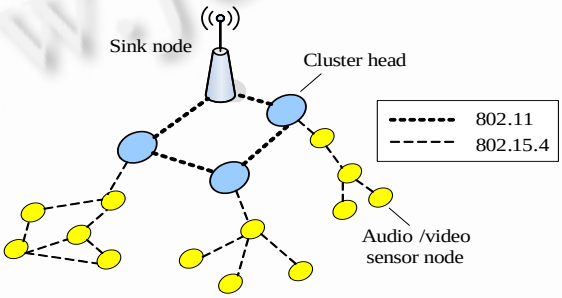

Fig.5 Mixed communication protocols

图 5 混合通信协议

另外,Kulkarni 等人在文献[12]中设计了一个多层协作的视频传感网络体系结构.网络自底向上分为 3 个层次,同层间节点同构(软/硬件结构及组成);而出于系统监测能力多样化考虑,异层间节点处理能力存在较大的差异.而且,节点能力(感知、存储、处理等)自底向上逐层增强.低层节点通过对感知数据进行分析,以决定是否唤醒高层,以实现场景更为有效的监测.这种结构有点类似于主从结构,具有很好的灵活性,但同样需要额外的硬件支持.需要指出的是,网络中不同层节点性能的异构保证了监测任务的灵活性和多样性,在达到同样甚至更高监测能力的情况下,降低了网络设备的总体造价.文献[39]设计了系统的分层安全模型,引入“隐私(privacy)”概念,从软/硬架构两方面保证网络中多媒体数据的“隐私保护”和“安全共享”.

2.3 节点传感模型、部署及覆盖问题

为了让多媒体传感器网络完成目标监测和信息获取的任务必须保证多媒体传感器节点的部署能够有效地覆盖被监测的区域或目标.众多类型的传感器节点(既有同构也有异构)共存于网络中,使得多媒体传感器网络的部署和覆盖控制研究更有意义.

2.3.1 传感模型

与覆盖问题直接相关的是传感器节点的感知模型.目前,传感器网络主要有两种基本传感模型[40].

- 布尔传感模型:节点的感知范围是一个以节点为圆心,半径为其感知距离(由节点硬件特性决定)的圆形区域.只有落在该圆形区域内的点才能被该节点覆盖.
- 概率传感模型:在节点的圆形感知范围内,目标被感知到的概率并不是一个常量,而是由目标到节点间距离、节点物理特性等诸多因素决定的变量.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

然而,在多媒体传感器网络中可能会存在各种类型的传感器节点,这些不同类型节点的传感模型不尽相同.多媒体传感器节点传感设备类型的多样性和传感模型的异构性,主要体现在视频节点的方向性传感和其他节点的全向性传感之间的差异上.比如,对温度、湿度等传感器节点来说,它们对环境的感知是全方位的,近似地满足布尔或概率传感模型.而对视频传感器节点来说,它对环境的感知受视角的限制,是有方向性的;即节点的感知范围是一个以节点为圆心,半径为其感知距离,且与视角相关的扇形区域[26].针对视频传感器节点传感特点,Ma 等人[7]设计了一个 2D 有向传感模型.该模型由一个四元组$\langle P,R,\vec{V},\alpha\rangle$表示,其中 P 表示视频节点的位置坐标,R 表示传感半径,$\vec{V}$ 为该视频传感器节点的传感方向,α代表视频节点视角偏移量.当α=180º时,即为全向传感模型,它是有向传感模型的特例,因此该传感模型是通用的.

2.3.2 部 署

传统的无线传感器网络的节点部署有两种基本策略,一种是大规模的随机抛撒(scattering),另一种是针对特定的用途进行有计划布置(planning).在大规模的随机抛撒策略下,为了取得较好的网络覆盖性能,必须投入大量的冗余节点以达到必要的节点密度[40].对于功能简单、成本较低的低端传感器节点而言,冗余部署很容易实施.但对于具有采集音视频媒体能力的高端传感器节点而言,成本相对较高,大量冗余部署实施有一定的困难.从目前可获得的文献资料来看,在监测环境可知、可达的情况下,多媒体传感器节点(尤其是音视频节点)通常采用有计划布置的方式[41].但往往对于环境恶劣或人员不可达的情况,我们必须采用随机部署策略.如何在保证网络覆盖质量的同时,降低网络中的节点部署成本成为迫切需要研究和解决的问题.文献[25]提出利用一个统一的概率模型来预先估算节点部署规模的方法.建立网络覆盖率(p)与被监测区域面积(S)、节点传感半径(R)、节点视角偏移量(α)以及节点数目(N)之间的关系,见公式(1),从而求解出满足一定网络覆盖率所需部署的某类传感器节点数目.

$$N \geq \frac{\ln(1-p)}{\ln(S-aR^2)-\ln S} \tag{1}$$

该方法是针对具有方向性感知特点的视频节点提出的,对于全向传感节点的情形(即α=180º)也同样适用.但该方法仅适用于估算同构传感器网络的节点规模,而对于异构传感器网络,每类传感器节点要分别估算.

2.3.3 覆 盖

覆盖问题是传感器网络的一个基本问题[42],即如何部署传感器节点,在保证 QoS 前提下达到网络覆盖范围最大化.对网络覆盖性能的测量使我们能够了解是否存在监测盲区,从而重新调整传感器节点分布或者指导添加传感器节点提高系统覆盖性能.因此,覆盖已不单纯是部署问题,而是一个服务质量问题.

根据多媒体传感器网络中节点传感类型的不同,覆盖可以分为同构覆盖和异构覆盖两类问题.同构覆盖是指网络中所有节点的类型都相同的.比如温度传感器网络,网络中所有节点具有且只具有温度感知的能力.同构覆盖问题相对简单,目前研究较多的传统传感器网络中的覆盖方法[42−46](如网格覆盖、冗余覆盖、圆周覆盖、连通性覆盖、最坏与最佳情况覆盖等)大都可应用于此.文献[25]利用网络中冗余视频节点分组交替工作的节能机制,在保证期望网络覆盖质量的同时又可最大限度地延长视频传感器网络的生命周期.

相比之下,异构覆盖的研究难度相当大,需要考虑传感器网络中的诸多异构特性,比如,各类节点间传感模型的不同、各类监测数据信息含量的不同、各类节点间资源/能力的差异等.从目前可获得的相关资料来看,异构覆盖问题的研究成果较少.一般认为,只要构成异构传感器网络的每个同构网络覆盖性能得到满足,我们就认为该异构传感器网络的覆盖性能是得到满足的.显然,多种覆盖性能的简单叠加无法充分体现整个多媒体传感器网络的覆盖性能.

鉴于在传统传感器网络中,覆盖问题综述性文章较多[42−46],此处不再赘述.以下仅就近年来引起广泛关注的视频传感器网络覆盖方法进行总结和讨论.网络中节点的工作方式可大致分为 3 类,见表 4.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

Table 4 A taxonomy of coverage approaches

表4 覆盖方法分类

覆盖方法		覆盖能力	监测能力	能量有效	网络成本
固定方式	冗余部署视频节点,实现对同一场景的多角度监测.该方法以牺牲网络成本为代价,获得较高的场景监测质量[47]	强	较强	差	高
轮流方式	冗余部署多个视频节点,通过轮流工作/休眠方式实现场景监测.以较高的网络成本获得较长的网络工作寿命[25,26]	适中	适中	适中	高
唤醒方式	将 PTZ 摄像头、广角摄像机等高端视频采集设备引入网络中来,通过低端视频节点对其进行唤醒,实现感兴趣目标及场景的全力监测.此方法需要网络硬件的支持,控制相对复杂[12,38,48−50]	适中	较强	较好	较高
	利用音频、红外传感器等低端传感器节点正常监测,监测目标出现后唤醒视频节点,协作实现场景监测[51,52]	适中	较强	较好	较高

2.4 多媒体信息处理

在传感器节点能量、通信带宽、计算处理能力等资源普遍受限情况下,在多媒体传感器网络中信息获取、传输、展示中引入有效的信息处理技术可以提高多媒体业务的 QoS.

在多媒体传感器网络中,最常用的信息处理技术包括压缩编码、过滤以及数据融合.考虑到多媒体传感器网络能量有限的显著特点,可以利用分布式网络中各级节点的不同处理能力,通过“在网计算”完成媒体信息压缩编码、特征提取、目标识别以及冗余信息融合等处理;将数据量小、信息量足的处理结果逐级上传.这样一方面可以减低节点传输负载、节约网络有限能量、延长网络生存时间;另一方面也提高了网络的处理及响应速度,进而提高网络监测性能[2].

2.4.1 压缩编码

针对多媒体传感器网络中大数据量的图像或音视频流媒体进行压缩编码.多媒体传感器网络采用现有的 JPEG、JPEG2000 等编码方式对静态图像进行压缩[13,53];视频流压缩可采用 H.26X 或是压缩比高、成像清晰的 MPEG-4 压缩标准[53],而且 MPEG-4 采用基于对象的识别编码模式,易于提取出感兴趣音视频对象的编码信息进行传输,在节约网络带宽资源的同时还可以提供高质量的多媒体服务.

2.4.2 过 滤

过滤的含义是指从原始感知数据中滤除不感兴趣的或对监测结果价值不大的那部分数据,从而得到数据量小且有价值的监测信息.在资源普遍受限的多媒体传感器网络中,此种多媒体信息处理技术的研究意义显得尤为重要.这里主要研究前后景分离和目标跟踪.前后景分离即从背景中识别并分离出前景对象,对感兴趣前景对象以外的大数据量媒体数据予以屏蔽;目标跟踪针对视频序列中满足指定特征的个体目标实现有效监测、识别与跟踪.如文献[34]为降低网络数据传输量,采用特征抽取技术,将视频序列中移动图像区域提取出来进行传输,由已知图像推测未知图像信息,并利用基于学习的神经网络判别监测区域出现的可疑情况.

2.4.3 数据融合

除了压缩与过滤以外,数据融合也起着十分重要的作用,主要表现在节省网络资源、增强所收集数据的准确性上[2].

- 节约网络资源[7,9]:在覆盖率较高的网络中,相邻节点采集的信息(尤其是大数据量的音视频流媒体)存在冗余性,融合相关性较强的媒体信息,可有效降低网络传输负载,进而节约网络资源.
- 获得更准确的信息[51,52]:受成本及体积的限制,节点配置的传感器精度一般较低,仅搜集少数几个分散的传感器节点数据较难确保得到信息的正确性.融合多源信息可以提高所获得的信息精度和可信度.

通常,数据融合都属于有损压缩,省略掉一些细节信息或降低数据的质量,从而减少需要存储或传输的数据量.这就要求在数据融合时权衡融合质量与网络能耗两者之间的关系[9,53].与简单的标量监测数据相比,针对大数据量的图像、音视频媒体的数据融合具有更突出的研究意义,引起了研究人员的关注.按照融合数据的类型

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

不同,可把融合技术分为单类数据融合和多类数据融合两类.

目前,数据融合技术主要用于处理同一类型传感器的数据[2].例如,在森林防火应用中,需要对多个温度传感器探测到的环境温度数据进行融合;在目标自动识别应用中,需要对多个图像监测传感器采集的图像数据进行融合处理.表 5 中主要分析了多媒体传感器网络中研究较多的图像/视频数据融合方法.

Table 5 Fusion approaches for image/video data

表 5 图像/视频数据融合方法

类型	融合方法	特点
基于对象块的单源融合[34]	基于对象编码方式,提出了基于块(blob)的融合概念,依次提取出 $t_1,t_2,t_3,\ldots,t_{n-1}$ 时刻图像帧中的对象块进行融合,以预测并得出 t_n 时刻图像帧中对象块信息,以此大大降低了传感器网络中视频数据的传输及处理规模.	是一种非多节点协作的融合方法,仅从视频序列中图像帧的时间冗余特性出发研究视频信息的融合.它主要针对感兴趣对象进行融合,有效节约能量.
基于空间相关性多源同类融合[7]	利用相邻视频节点间信息相关性,基于 2-D 视频传感模型将同一场景的视觉监测任务分担到两个相关度较大的视频节点上,每个视频传感器节点只负责传输部分场景信息,两部分数据在汇聚节点进行融合处理.	是一种多节点协作的融合方法.利用分而治之思想,明显降低单个视频传感器节点的传输负载,有效延长网络工作寿命.计算简单,便于实现.但协作节点选取不恰当会造成监测质量的降低.
基于极线约束的多源同类融合[9]	在文献[7]工作的基础上,利用立体视觉中极线约束性质对两路传输的视频信息进行融合处理,以重建监测场景的视觉信息.	是一种多节点协作的融合方法,较文献[7]方法相比,融合处理的计算量增大,融合质量也有显著提高.

另外,在多类数据融合研究中,引入音频、红外等传感数据,以提高监测范围及监测能力.文献[52]利用声强信息辅助场景监测,为场景视觉信息变化提供重要的参考依据,有效地解决了以往因光照强度变化而造成的“误监测”情况,提高了统监测的可靠性.文献[51]在对同一场景实现多角度监测时,利用红外线感知能力消除不确定感知问题(尤其是多移动目标间彼此遮挡而造成的不确定感知),以从多源视频序列中有效地区分出多个移动目标.

2.5 多媒体传感器网络应用

多媒体传感器网络在军事、民用、商业中都具有非常广阔的应用前景.为了与传统的传感器网络应用相区分,我们主要对目前研究较为活跃的音视频传感器网络应用进行总结.具体的应用领域集中在:

- 战场监控:多媒体传感器网络具有快速部署、自组织和健壮性等特点,因此非常适合在军事领域中应用.可实现对敌军兵力和装备的监控、战场的实时监视、目标定位、战场评估等功能.例如,在美国陆军协会 2005 年度联合会议上,L-3 通信公司展示了 AN/GSR-8(V)REMBASS-II 无人值守地面传感器系统的改进型——“远视目标识别系统”(REM-VIEW)[54],综合成像与无人值守地面传感器系统,以被动方式探测、分类和确定人员与车辆的行进方向,并能就所探测的场景提供高分辨率图像.
- 交通监控:对于交通枢纽、环线公路以及高速公路的交通情况实施监控,以统计通过的车数、是否有非法目标停靠、是否有故障车辆,还可以提供有关道路堵塞的最新情况,推荐最佳行车路线以及提醒驾驶员避免交通事故等.例如,Florida 大学负责启动的 ATSS(airborne traffic surveillance system)项目[41],利用装备有视频传感器节点的 UAV(unmanned aerial vehicles)在空中对高速公路路面上的交通场景进行监测,并以无线方式传回地面视频接收器.
- 安全敏感区域监控:对矿井、电站、煤窑等安全敏感工作环境实时监控.例如,中国科学院计算技术研究所率先开展了相关研究[55],将一系列便携式、低成本、无线传感器节点配合在矿工身上,在有线系统达不到的地方形成无线感知网络,由此实现井上与井下语音信号的传输,随时了解工作位置、环境状况以及工作进度等.
- 智能家居和目标跟踪:建立智能幼儿园,监测孩童的早期教育环境,跟踪孩童的活动轨迹,可以让家长和老师全面地研究学生的学习生活过程;对人物(尤其是独居老人、残疾人)行为活动实施监测[56],针对人的站立/坐/跌倒等形体特征进行监测识别,判断可能发生的危险状况,并发出警报.
- 公共安全监测:多媒体传感器网络还可广泛应用于机场、火车站、海关、体育场馆、停车场等公共集会场所的安全监测[34,35],突发情况下(如火灾、地震)环境的实时监控[57]和预报等.

根据监测任务的不同,多媒体传感器网络完成的任务又可以分为以下 5 类:

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

(1) 目标监测:监测单目标或多目标(如人群)的整体运动情况(如运动速度、方向及运动特征等)[34,35,57,58],以避免形成拥塞或者及时发现异常情况.典型的应用场景包括复杂的天气环境中(如雨雪、大雾、夜晚等)的目标发现以及火车站、交通要道、超级市场等人员聚集场所的监测.

(2) 目标识别:识别视频序列中满足指定特征(移动、形状、颜色、出现频率等)目标,尽早发现监测场景中的异常情况,以最快和最佳的方式发出警报并提供有价值的信息.此类应用在海关、机场、火车站等安防应用中发挥着很大的作用.通常识别的目标为以下 3 种:

- 人形识别[34,35,56,57,59]:对特定区域或路径上的行人实施监测,识别出人形特征.Park 等人[59]进一步研究如何获取多人姿态交互信息,以用于体育竞技比赛(如足球比赛)对运动员实施识别和跟踪.
- 人脸识别[57]:利用冗余部署的视频传感器网络实现人脸部特征的监测和识别,判断并确认个体信息,可广泛应用于基于人脸识别的考勤/门禁系统中.
- 车辆识别[41]:用于高速公路交通视频监控,以统计并报告车流量、是否出现非法车辆停靠或道路堵塞等最新情况,以便于指挥中心对突发交通事件作出快速决策.

(3) 目标追踪[12,49,58,60,61]:利用目标识别结果,对目标实施追踪,尤其是对移动目标或满足指定特征的目标追踪.通过目标追踪,我们既可以获得目标更为详尽可靠的监测数据,又可以实现对目标运动轨迹的预测.

(4) 目标分类[62]:对目标识别结果进行分类,统计监测场景中某类目标(行人/车辆等)出现的频度、位置等信息.

(5) 场景重建[7,9,63]:利用多源视频传感器节点对同一场景实施监测,处理中心根据冗余视觉信息对场景信息进行还原,重建三维监视场景.这类应用可用于人员难以到达区域(如受到污染、环境不能被破坏或敌对区域)的场景仿真和增强现实.

3 多媒体传感器网络亟待解决的问题

3.1 节点芯片设计

多媒体传感器节点硬件的技术朝着“一体化”的方向发展.在微型化设计上,采用多功能芯片系统 SoC 技术、现场可编程门阵列 FPGA 和专用集成微型传感技术 ASIM,将多功能传感器、处理功能、通信功能集成在一块芯片上,并将软件与硬件协同设计,从而缩减成本、降低能耗、缩小体积、提高节点运算速度、增强可靠性等.

3.2 三维场景的覆盖问题

目前的传感模型还不能完全适用于实际环境的感知模型多样化需要,还需要进一步考虑更完善的传感模型.利用视频传感器节点的可调节性提高感兴趣区域/目标监测的覆盖质量会是今后值得研究的一个方向.另外,如何在能量受限的多媒体传感器网络中实现多视频传感器节点间协作与调整,获得最大化网络覆盖,也将成为未来研究的问题.进一步来讲,针对三维场景应用需求设计有效的覆盖方法,将会是很有意义也很实用的研究课题.目前,覆盖控制理论大都假设传感器节点或网络是静态的[42],在实际应用中可能是需要节点或网络具有移动性,因此,新的覆盖控制方法要提供对移动性的支持.

3.3 多媒体传感器网络的QoS体系与保障方法

多媒体传感器网络的 QoS 体系是一个基本问题,其中涉及节点感知信息质量、网络传输质量、能量消耗需求、网络覆盖质量和网络服务时间等方面,需要进一步从整个网络不同实体来保证服务质量.其中,多媒体传感器网络传输的质量保障中的一个关键问题是流媒体路由选择.网络中节点能量、带宽等资源的严重受限,使得支持实时可靠的大数据流媒体传输相当困难,如何设计新型的传感器网络路由,实现实时、可靠的流媒体信息传输,值得深入探讨.综合考虑能量、覆盖、感知等因素,多媒体传感器网络服务质量保障方法还需要进一步加以研究.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

3.4 智能多媒体信息处理

在多媒体传感器网络中,由于受网络资源的限制,很多应用不一定要在网络中传输流媒体数据,而是通过对音、视频流数据的分析,提取出关键的语义信息进行传输.这样,一方面可以减少网络的传输负担,延长网络的工作寿命;另一方面可以充分利用节点的处理能力,提高整个系统中多媒体信息处理的分布性,进而减轻汇聚节点的负担,提高整个系统的信息处理速度.因此,智能多媒体信息处理技术将对减少网络能耗、提高监测性能与质量有重要影响.

用于多媒体传感器网络的智能多媒体信息处理技术要兼顾两个方面的因素:一是处理的复杂程度,由于多媒体传感器节点的计算能力有限,过于复杂的处理技术并不适合;二是多媒体传感器网络的特点和应用需求,需要改进传统的多媒体信息处理技术,使之适用于多媒体传感器网络.

3.5 信息同步与融合技术

首先,要正确再现监测场景、解决多种媒体信息的时空同步问题,目前还缺乏有针对性的机制.目前,信息融合的研究很多是对多源多类信息(以声强、红外、光强、振动、加速度等标量数据为主)进行关联和综合[10],以形成对监测场景的全面感知,提高系统监测质量.还应从多源同类媒体信息融合着手,尤其是相关性大、时空关联性强的音视频流媒体的融合.另外,要尽可能地权衡多媒体传感器网络的有限资源,研究并设计能量有效的信息融合方法.在数据融合方面,利用多源冗余视频序列重建三维监视场景,为用户提供不同 QoS 的监测应用等需要进一步研究.

3.6 多媒体信息安全

多媒体传感器网络在军事、安防等领域有着广泛的应用,因此,多媒体信息的安全显得尤为重要.多媒体传感器网络自身的特点决定了其安全问题的解决思路和方法与传统网络的不尽相同.如何在网络带宽及节点资源有限、部署区域物理安全无法保证、节点位置先验知识缺乏的情况下保证多媒体信息的机密性、真实性、完整性、时效性、可靠性等,是信息安全领域有待深入探讨的课题.

4 总 结

多媒体传感器网络是一种新型的信息获取和处理技术.与传统的传感器网络技术相比,它更多地关注于音频、视频、图像等大数据量、大信息量媒体的采集、处理与传输,在军事、民用、商业中具有广阔的应用前景.在本文中,我们介绍了多媒体传感器网络的概念与特点,面临的挑战与国内外研究进展,归纳和总结近年来其热点应用及关键技术问题,并展望了进一步的研究方向,期望本文的介绍能够推动同行学者对这一新兴技术的关注与研究.

References:

[1] Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. Wireless sensor networks: A survey. Computer Networks, 2002,38(4): 393−422.

[2] Sun LM, Li JZ, Chen Y, Zhu HS. Wireless Sensor Network. Beijing: Tsinghua University Press, 2005 (in Chinese).

[3] Li JZ, Li JB, Shi SF. Concepts, issues and advance of sensor networks and data management of sensor networks. Journal of Software, 2003,14(10):1717−1727 (in Chinese with English abstract). http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/1717.htm

[4] Ren FY, Huang HN, Lin C. Wireless sensor networks. Journal of Software, 2003,14(7):1282−1291 (in Chinese with English abstract). http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/1282.htm

[5] Zhang DM, HD Ma, Liu L, Tao D. EAAR: An approach to environment adaptive application reconfiguration in sensor network. In: Jia XH, Wu J, He YX, eds. Proc. of the Int’l Conf. on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks (MSN 2005). Berlin: Springer-Verlag, 2005. 259−268.

[6] Cucchiara R. Multimedia surveillance systems. In: Aggarwal JK, Cucchiara R, Chang E, Wang YF, eds. Proc. of the ACM VSSN 2005. New York: ACM Press, 2005. 1−10.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[7] Ma HD, Liu YH. Correlation based video processing in video sensor networks. In: Proc. of the IEEE WirelessCom 2005. IEEE Press, 2005. 987−992.

[8] DeBardelaben JA. Multimedia sensor networks for ISR applications. 2003. 2009−2012. http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9072/28784/01292333.pdf?arnumber=1292333

[9] Tao D, Ma HD, Liu YH. Energy-Efficient cooperative image processing in video sensor networks. In: Ho Y-S, Kim HJ, eds. Proc. of the 2005 Pacific-Rim Conf. on Multimedia. Berlin: Springer-Verlag, 2005. 572−583.

[10] Video Sensor Network Laboratory at UCR Receives Federal Funding. 2006. http://www.newsroom.ucr.edu/cgi-bin/display.cgi?id=1298

[11] CyLab. 2004. http://www.cylab.cmu.edu/default.aspx?id=2000

[12] Kulkarni P, Ganesan D, Shenoy P, Lu QF. SensEye: A multi-tier camera sensor network. In: Zhang HJ, Chua T-S, eds. Proc. of the 13th Annual ACM international Conference on Multimedia'05. New York: ACM Press, 2005. 229−238.

[13] Feng W, Code B, *et al*. Panoptes: A scalable architecture for video sensor networking applications. In: Rowe L, Vin H, eds. Proc. of the ACM Int'l Conf. on Multimedia 2003. New York: ACM Press, 2003. 151−167.

[14] Ma ZC, Sun YN, Mei T. Survey on wireless sensors network. Journal of China Institute Communications, 2004,25(4):114−124 (in Chinese with English abstract).

[15] Crossbow wireless sensor platform. http://www.xbow.com/Products/Wireless Sensor Networks.htm

[16] Gerla M, Xu K. Multimedia streaming in large-scale sensor networks with mobile swarms. In: Papakonstantinou Y, ed. Proc. of the ACM SIGMOD 2003. New York: ACM Press, 2003. 72−76.

[17] Gao Y, Wu K, Li F. Analysis on the redundancy of wireless sensor networks. In: Raghavendra CS, Sivalingam K, eds. Proc. of the 2nd ACM Int'l Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA). New York: ACM Press, 2003. 108−114.

[18] Magli E, Mancin M, Merello L. Low-Complexity video compression for wireless sensor networks. In: Proc. of the Int'l Conf. on Multimedia and Expo, Vol 3. 2003. 585−588.

[19] Gui C, Mohapatra P. Power conservation and quality of surveillance in target tracking sensor networks. In: Haas ZJ, ed. Proc. of the ACM MobiCom'04. New York: ACM Press, 2004. 129−143.

[20] Campbell J, Gibbons PB, *et al*. IrisNet: An internet-scale architecture for multimedia sensors. 2005. http://www.intel-research.net/Publications/Pittsburgh/092620050718_322.pdf

[21] Pillai P, Ke Y, Campbell J. Multi-Fidelity storage. In: Chang E, Wang Y-F, Zhao F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2004. New York: ACM Press, 2004. 72−80.

[22] Tao D, Ma HD. A video sensor network architecture for realizing image fusion by cooperation among multiple sensors. In: Tao LM, Xu GY, eds. Proc. of the HHME 2005. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. 148−153 (in Chinese with English abstract).

[23] Agre J, Clare L, *et al*. An integrated architecture for cooperative sensing networks. Computer, 2000,33(5):106−108.

[24] Liu L, Ma HD, Tao D, Zhang DM. A hierarchical cooperation model for sensor networks supported cooperative work. In: Shen WM, Lin ZK, eds. Proc. of the 10th Int'l Conf. on Computer Supported Cooperative Work in Design. New York: IEEE Press, 2005. 83−88.

[25] Ma HD, Liu YH. On coverage problems of directional sensor networks. In: Jia XH, Wu J, He YX, eds. Proc. of the Int'l Conf. on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks (MSN 2005). Berlin: Springer-Verlag, 2005. 721−731.

[26] Ma HD, Liu YH. Some problems of directional sensor networks. Int'l Journal of Sensor Networks, 2006,l1(3).

[27] Pradeep K, *et al*. Timeline-Based information assimilation in multimedia surveillance and monitoring systems. In: Aggarwal JK, Cucchiara R, Chang E, Wang Y-F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2005. New York: ACM Press, 2005. 103−112.

[28] Ardizzone E, Cascia ML, Re GL, Ortolani M. An integrated architecture for surveillance and monitoring in an archaeological site. In: Aggarwal JK, Cucchiara R, Chang E, Wang Y-F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2005. New York: ACM Press, 2005. 79−86.

[29] Rahimi M, Baer R, Warrior J, Estrin D, Srivastava M. Cyclops: In situ image sensing and interpretation in wireless sensor networks. In: Redi J, ed. Proc. of the ACM SENSYS'05. New York: ACM Press, 2005. 192−204.

[30] Kahn JM, Katz RH, Pister KSJ. Next century challenges: mobile networking for "Smart Dust". In: Proc. of the 5th annual ACM/IEEE Int'l Conf. on Mobile computing and networking. New York: ACM Press, 1999. 271−278.

[31] Turning Vision into Reality. 2005. http://www.research.sun.com/spotlight/SunSPOTSJune30.pdf

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[32] Holman R, Stanley J, Ozkan-Haller T. Applying video sensor networks to nearshore environment monitoring. IEEE Trans. on Pervasive Computing, 2003,2(4):14−21.

[33] Chandramohan V, Christensen K. A first look at wired sensor networks for video surveillance systems. In: Proc. of the High Speed Local Networks Workshop at the IEEE Conf. on Local Computer Networks 2002. New York: IEEE Press, 2002. 728−729.

[34] Foresti G, Snidaro L. A distributed sensor network for video surveillance of outdoor environments. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Image Processing. New York: IEEE Press, 2002. 525−528.

[35] Marchesotti L, Piva S, Regazzoni C. An agent-based approach for tracking people in indoor complex environments. In: Proc. of the 12th Int'l Conf. on Image Analysis and Processing. New York: IEEE Press, 2003. 99−102.

[36] Yuan HD, Ma HD, Liao HY. Coordination mechanism in wireless sensor and actor networks. In: Proc. of the Int'l Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences. New York: IEEE Press, 2006. 627−634.

[37] Kim SW. Cooperative relaying architecture for wireless video sensor networks. In: Proc. of the Int'l Conf. on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing. New York: IEEE Press, 2005. 993−998.

[38] Zhou XH, *et al*. A master-slave system to acquire biometric imagery of humans at distance. In: Chang EY, Wang Y-F, eds. Proc. of the 1st ACM SIGMM Int'l workshop on Video Surveillance 2003. New York: ACM Press, 2003. 113−120.

[39] Fidaleo DA, Nguyen H-A, Trivedi M. The networked sensor tapestry (NeST): A privacy enhanced software architecture for interactive analysis of data in video-sensor networks. In: Chang E, Wang Y-F, Zhao F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2004. New York: ACM Press, 2004. 46−53.

[40] Liu LF, Zou SH, Zhang L, Cheng SD. A density control algorithm based on probability coverage model in wireless sensor networks. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2005,28(4):14−17 (in Chinese with English abstract).

[41] Srinivasan S, Latchman H, Shea J, Wong T, McNair J. Airborne traffic surveillance systems-video surveillance of highway traffic. In: Chang E, Wang Y-F, Zhao F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2004, New York: ACM Press, 2004. 131−135.

[42] Ren Y, Zhang SD, Zhang HK. Theories and Algorithms of Coverage Control for Wireless Sensor Networks. Journal of Software, 2006,17(3):422-433 (in Chinese with English abstract). http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/422.htm

[43] Ye F, Zhong G, Lu S, Zhang L. Energy efficient robust sensing coverage in large sensor networks. UCLA Technical Report, 2002. http://www.cs.ucla.edu/yefan

[44] Megerian S, Koushanfar F, Potkonjak M, Srivastava MB. Worst and best-case coverage in sensor networks. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2005,4(1):84−92.

[45] Liu B, Towsley D. A study of the coverage of large-scale sensor networks. In: Proc. of the ACM Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS'04). New York: ACM Press, 2004. 475−483.

[46] Lee JJ, Krishnamachari B, Kuo CCJ. Impact of heterogeneous deployment on lifetime sensing coverage in sensor networks. In: Proc. of the 1st Annual IEEE SECON 2004. New York: IEEE Press, 2004. 367−376.

[47] Wang YF, Chang EY, Cheng KP. A video analysis framework for soft biometry security surveillance. In: Aggarwal JK, Cucchiara R, Chang E, Wang Y-F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2005, New York: ACM Press, 2005. 71−78.

[48] Qureshi1 FZ, Terzopoulos D. Surveillance camera scheduling: A virtual vision approach. In: Aggarwal JK, Cucchiara R, Chang E, Wang YF, eds. Proc. of the ACM VSSN 2005. New York: ACM Press, 2005. 131−140.

[49] Lam KY, Chiu CKH. Adaptive visual object surveillance with continuously moving panning camera. In: Chang E, Wang Y-F, Zhao F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2004. New York: ACM Press, 2004. 29−38.

[50] Gandhi T, Trivedi MM. Motion analysis of omni-directional video streams for a mobile sentry. In: Chang EY, Wang Y-F, eds. Proc. of the 1st ACM SIGMM Int'l Workshop on Video Surveillance 2003. New York: ACM Press, 2003. 49−58.

[51] Prati A, Vezzani R, Benini L, Farella E. An integrated multi-modal sensor network for video surveillance. In: Aggarwal JK, Cucchiara R, Chang E, Wang Y-F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2005. New York: ACM Press, 2005. 95−102.

[52] Smeaton AF, McHugh M. Towards event detection in an audio-based sensor network. In: Aggarwal JK, Cucchiara R, Chang E, Wang Y-F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2005. New York: ACM Press, 2005. 87−94.

[53] Chiasserini C-F, Magli E. Energy consumption and image quality in wireless video-surveillance networks. In: Proc. of the IEEE PIMRC 2002. New York: IEEE Press, 2002. 2357−2360.

[54] http://www.eliqun.com/Html/2005-12-4/2005120413494570550098-1.asp

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[55] http://tech.sina.com.cn/it/2005-11-30/1602779366.shtml

[56] Cucchiara R, Grana C, Prati A, Vezzani R. Computer vision techniques for PDA accessibility of in-house video surveillance. In:. Chang EY, Wang Y-F, eds. Proc. of the 1st ACM SIGMM Int'l workshop on Video Surveillance 2003. New York: ACM Press, 2003. 87–97.

[57] Chang C-K, Huang J. Video surveillance for hazardous conditions using sensor networks. In: Proc. of the 2004 IEEE Int'l Conf. on Networking, Sensing & Control. New York: IEEE Press, 2004. 1008–1013.

[58] Boult TE. Geo-Spatial active visual surveillance on wireless networks. In: Proc. of the 32nd IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIRP 2003). New York: IEEE Press, 2003. 244–249.

[59] Park S, Aggarwal JK. Recognition of two-person interactions using a hierarchical bayesian network. In: Chang EY, Wang Y-F, eds. Proc. of the 1st ACM SIGMM Int'l Workshop on Video Surveillance 2003. New York: ACM Press, 2003. 65–76.

[60] Khalid S, Naftel A. Classifying spatiotemporal object trajectories using unsupervised learning of basis function coefficients. In: Aggarwal J. K, Cucchiara R, Chang E, Wang Y-F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2005. New York: ACM Press, 2005. 45–58.

[61] Wren CR, Erdem UM, Azarbayejani AJ. Automatic pan-tilt-zoom calibration in the presence of hybrid sensor networks. In: Aggarwal JK, Cucchiara R, Chang , Wang Y-F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2005, New York: ACM Press, 2005. 113–119.

[62] Brown LM.View independent vehicle/person classification. In: Chang E, Wang Y-F, Zhao F, eds. Proc. of the ACM VSSN 2004. New York: ACM Press, 2004. 114–123.

[63] Sebe IO, Hu JH, You SY. Ulrich neumann. 3D video surveillance with augmented virtual environments. In: Chang EY, Wang Y-F, eds. Proc. of the 1st ACM SIGMM Int'l Workshop on Video Surveillance 2003. New York: ACM Press, 2003. 107–112.

附中文参考文献:

[2] 孙利民,李建中,陈渝,朱红松.无线传感器网络.北京:清华大学出版社.2005.

[3] 李建中,李金宝,石胜飞.传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展.软件学报,2003,14(10):1717−1727. http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/1717.htm

[4] 任丰原,黄海宁,林闯.无线传感器网络.软件学报,2003,14(7):1282−1291.http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/1282.htm

[14] 马祖长,孙怡宁,梅涛.无线传感器网络综述.通信学报,2004,25(4):114−124.

[22] 陶丹,马华东.一种支持多节点协同实现图像融合的视频传感器网络体系结构.见:陶霖密,徐光祐编.第1届和谐人机环境联合学术会议论文集(HHME2005).北京:清华大学出版社,2005.148−153.

[40] 柳立峰,邹仕洪,张雷,程时端.基于概率覆盖模型的无线传感器网络密度控制算法.北京邮电大学学报,2005,28(4):14−17.

[42] 任彦,张思东,张宏科.无线传感器网络中覆盖控制理论与算法.软件学报,2006,17(3):422−433. http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/422.htm

马华东(1964－),男,教授,博士生导师,CCF高级会员,主要研究领域为多媒体网络与系统,传感器网络,网格计算,形式化技术.

陶丹(1978－),女,博士生,主要研究领域为多媒体,传感器网络.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn