

无线传感器网络的管理^{*}

刘俊涛¹ 牛建伟² 刘晶晶³ 孙利民¹

(中科院软件研究所多媒体通信和网络工程研究中心 北京 100080)¹

(北京航空航天大学计算机学院 北京 100080)² (中央民族大学经济学院 北京 100081)³

摘要 无线传感器网络是一个资源受限、应用相关的任务性网络,与现有网络特性显著不同,传统的网络管理不再适用于无线传感器网络。本文在简要说明无线传感器网络基本特性和面临挑战的基础上,给出了一个通用的无线传感器网络管理框架,并详细说明了各部分的内容和研究进展,最后探讨了无线传感器网络管理进一步的发展方向。

关键词 无线传感器网络,网络管理,管理框架,管理维度

Management in Wireless Sensor Networks

LIU Jun-Tao¹ NIU Jian-Wei² LIU Jing-Jing³ SUN Li-Min¹

(Multimedia Communication and Network Engineering Center, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)¹

(School of Computer Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100080)²

(College of Economics, Central University For Nationalities, Beijing 100081)³

Abstract Wireless sensor network (WSN, for short) is an application-oriented system with limited resources. Its so different characteristics with traditional networks make us cannot apply traditional network management system to WSN. Based on the brief introduction of WSN's basic characteristics and challenges it facing with, this article firstly presents a common management framework of WSN, then introduces every parts of the framework and relevant current research in details. It also has a talk about the further development aspects of the WSN management.

Keywords WSN Network management, Management framework, Management dimension

1 概述

无线传感器网络(本文简称传感器网络)由大量微型、廉价、具有无线通信能力的传感器节点组成,这些节点部署在监视区域上,相互协作完成特定的监控任务。传感器网络具有分布式处理带来的监测高精度、高容错性、大覆盖区域、可远程监控等众多优点,具有非常广泛的应用前景,受到各国学术界和工业界的高度重视,成为近期国际上网络通信的重要研究热点之一。

目前传感器网络研究主要涉及到网络通信协议、覆盖和连接等基础问题,以及时间同步、定位等支撑技术。传感器网络要得到广泛应用,必须研究网络管理。从应用的角度来讲,传感器网络管理的主要目标就是优化网络的资源配置,降低传感器网络系统的成本,延长网络的生命周期,提供持续稳定的服务质量来满足应用的业务需求。它要尽可能充分地利用有限的网络资源,保证应用要求的服务质量。同时,传感器网络的资源受限、自组织性、拓扑动态变化、大规模部署等诸多特点,也给网络管理带来了很大挑战。

本文以下部分的组织是:第2节介绍传感器网络管理的基本功能和面临的挑战;第3节提出一个通用的管理框架;第4节介绍提出的管理框架各方面的研究内容,以及当前的研究进展;最后总结全文,并提出传感器网络管理未来可能的两个发展方向。

2 传感器网络管理的功能和挑战

2.1 传感器网络管理的基本功能

由于传感器网络的节点数目庞大且资源受限,监测区域的环境可能恶劣,如果没有管理策略来进行规划、部署和维护,就很难实现对监测区域进行有效监控。因为传感器网络一旦部署,人工进行维护困难巨大甚至不可能(如战场侦测和评估)。而传感器网络本身固有的特点,如无线信道易受电磁波、天气等环境因素的影响,节点携带能量有限,甚至大批节点设备遭到无意或敌意的破坏等,使它极易出现各种各样不能预期的故障。如果网络自身不能做到自我监测和恢复,那么整个网络就容易出现瘫痪。

传感器网络的管理要实现如下要求:针对传感器网络的特点,制定有效的管理策略;实时监控网络运行的各种状态参数;并能实现自我判断、维护和决策,以充分利用网络资源,保证向应用提供的服务质量满足其业务需求。

2.2 传感器网络管理的挑战

由于以下主要原因,使得对传感器网络进行有效管理相对于传统计算机网络(以下简称传统网络)管理面临很多新的挑战:

1) 传感器网络是与应用相关的任务性网络,所有的传感器节点协同工作来实现特定应用所部署的任务,网络的设计和部署也为特定的应用量身打造。而传统网络在设计之初就考虑用来适应多样性的不同应用。这样要求传感器网络的管

^{*} 本论文研究得到国家自然科学基金项目(No. 60373049 和 No. 60673178)和国家 973 计划项目(No. 2006CB303007)资助。刘俊涛 硕士研究生,主要研究方向为无线网络协议;牛建伟 博士,副教授,主要研究方向为移动计算和传感器网络;刘晶晶 本科生;孙利民 研究员。

理模型必须能适应不同的应用,并且在不同的应用间进行移植时修改的代价最小,即具有一定的通用性。

2)传感器网络大多按照无人看管的原则部署。而在传统网络中,网络的部署则是事先规划好的,比如每个网络元素(如路由器、交换机等)的位置、对网络元素和资源的维护也由专门的工程师来完成。而传感器网络一旦部署,基本上依靠自我维护,这对传感器网络的管理提出了更高的智能要求。

3)传感器网络资源受限。节点携带非常有限的能量,其存储能力和运算能力也十分有限。同时,无线通信易受干扰,网络拓扑也因链路不稳定、节点资源耗尽、物理损坏等而经常变化。这些特点要求传感器网络管理必须充分考虑资源的高效利用和具有高容错特性。

4)传感器网络以数据为中心。通常情况下,它关注的是数据,而非提供该数据的某个具体节点。因此,对节点的标识不像传统网络中用来实现一对一的通信,而是为了得到与该节点相关的其它信息,如地理位置等。另一方面,以数据为中心带来了新的数据融合、存储、查询技术。这种节点标识方式和新的网内处理技术,使得传感器网络的管理技术与传统技术有很大的区别。

上述特点给传感器网络的自我管理提出了新的更高的要求。它要根据网络的变化动态调整当前运行参数的配置来优化性能;监视自身各组成部分的状态,调整工作流程来实现系统预设的目标;具备自我故障发现和恢复重建的功能,即使系统的一部分出现故障,也不影响整个网络运行的连续性。另外,还要能够监测、辨识不同类型的网络攻击行为,保护自身以维持整个系统的安全性和完整性。

3 传感器网络的管理框架

基于分维的管理框架将管理功能和管理逻辑分开,可以简化管理的复杂性。传统网络管理采用管理功能层和逻辑管理层的二维空间。管理功能层是对网络管理在具体功能上的定义,包括配置管理、故障管理、性能管理、安全管理和统计管理,这是 ISO 标准中 OSI 模型所定义的 5 大管理功能。逻辑管理层从逻辑上对管理功能进行划分,具体分为:业务管理、服务管理、网络管理和网络元素管理。

参考传统网络的分维管理模型,结合传感器网络的特点,我们提出如图 1 所示的传感器网络管理框架。

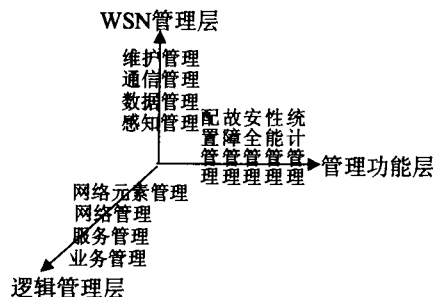


图1 基于分维的传感器网络管理框架

在图1中,除了传统的管理功能层和逻辑管理层,WSN管理层是针对传感器网络的不同应用而增加的一个通用管理维度。因为尽管传感器网络有各种各样、千差万别的应用,但提供的基本功能是一样的,通用的 WSN 管理层正可以适应不同应用的基本功能需求。

在提出的三维管理框架中,各维度之间并非功能独立、彼

此无关的,它们在某些方面会有重叠,但各自的侧重点不同。比如对于传感器网络的网络安全而言,在逻辑管理层中,业务管理和服务管理要定义网络安全的具体需求,明确要达到的安全级别;管理功能层中的安全管理则侧重制定网络的安全策略,选择合适的密钥方案等;而 WSN 管理层中,数据管理侧重对数据的加密、认证,通信管理则侧重安全路由等。

4 传感器网络管理的研究内容和进展

基于图1的管理框架,以下分别从3个维度来说明网络管理的内容和当前的研究进展。

4.1 逻辑管理层

很多传统的管理系统采用自底向上的方法来对网络进行分析、建模;但是,传感器网络管理采用恰恰相反的分析方法,这要归因于传感器网络面向应用的特性。只有明确定义了上层应用,包括服务层的相应需求,才可以规划整个网络的管理。

业务管理:业务管理分析具体应用的服务需求,确定整个网络的成本代价。它把整个网络的部署、运行、维护作为一个成本函数来看待,这就涉及怎样来度量传感器网络运营的代价。应用的多样性使得业务管理的内容十分丰富且有较大的差异性,研究统一的业务分析模型是业务管理的重要内容。

目前还未见有专门针对这方面的研究。随着传感器网络的基础性、支撑性技术研究的深入和应用领域的拓广,将会逐步重视直接涉及到应用总成本的业务管理。

服务管理:服务管理与应用定义的目标和功能紧密相关,它的两个主要议题是:服务质量(QoS)和拒绝服务(DoS)。为保证 QoS,必须满足:实现 QoS 的各元素能得到正确的配置和实时的监督;要有一套机制来协助管理者管理网络元素,包括物理资源和逻辑资源,如节点的硬件资源和软件资源,而且这套机制要允许当前面向设备的管理方法可以被替换为面向网络的或者面向簇的管理方法。DoS 是指为了完成网络正常的工作而不得不采取的减少网络容量的做法,它同时涉及到网络的安全管理。

当前研究对 QoS 的实现大多是放在网络层和传输层,进而产生了一些具有 QoS 保证的路由协议和可靠传输协议。

网络管理:网络管理的目的是协调各节点的工作,使之彼此合作,有效、可靠、节能地传输应用所关心的传感数据,共同完成网络部署的任务。

网络管理主要负责针对具体应用进行底层通信协议的选择和参数调整,以及获取网络运行状态,如拓扑图、剩余能量分布图、网络覆盖区域图等来辅助选择。例如,如果拓扑图显示网络的连通度较低,则管理者可以调节当前拓扑协议的参数,如调整无线电模块的传输功率和波束形成模式,或者选择对连通度有保证的拓扑协议,来重新构造具有理想连通度的网络拓扑。在应用允许的情况下,还可以通知 WSN 管理层进行维护管理,如增加节点。

网络管理要求节点必须支持多协议的切换。当前研究中,文[1]提出一个可编程的传感器网络框架,已可实现对路由协议的选择和切换。

网络元素管理:网络元素表征被管理元素的物理和逻辑资源,物理资源包括传感器、电源供应单元、处理单元、无线收发器等。逻辑资源包括通信协议、应用程序、协同程序和网络服务。基本的网络元素管理包括:能量管理、移动性管理(节点的移动,包括计划、移动、登记)、状态管理(运行、睡眠)、任

务管理(在给定网络状态下,节点怎样安排自己的感知、处理、分发)、应用程序更新等。

4.2 管理功能层

管理功能层包括配置管理、故障管理、安全管理、性能管理、统计管理。它们之间的关系如图2所示。配置管理处于核心位置,其它4个方面都依赖于它。配置上的任何错误或者疏忽都可能弱化其它管理层面的功能。

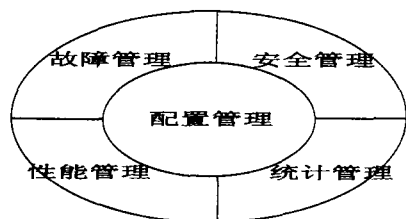


图2 管理功能层各部分关系

配置管理:从逻辑管理层的角度来看,配置管理可分为网络层次的配置管理和网络元素层次的配置管理。

网络层次的配置管理包括网络工作环境的需求定义、监测区域的大小、形状定义、节点部署方式(随机或确定)、网络拓扑发现、网络连通性发现、节点密度控制方案、时钟同步控制方式、网络能量评估、实际覆盖区域界定等。网络元素层次的配置管理包括节点程序控制、节点自检、节点初始工作状态、节点能量水平、节点的标识等。另外,配置管理还涉及基站最优位置设计和节点的部署方法,如通过飞机、火箭、导弹、人工、机器人等方式进行撒播。任何方式都必须考虑到重新部署的代价和困难。

当前的大多数研究只涉及以上配置管理的某个方面,而缺乏从管理的角度,将之系统化地综合考虑,设计一个共同的管理配置平台。

故障管理:相对于传统网络中视故障为异常情况,故障在传感器网络中十分常见,能量缺乏、连接中断、环境变化、QoS变化、数据处理、物理设备故障、初始配置错误、完整性违例、操作异常、敌手攻击、无线干扰、时间异常等导致故障随时都可能发生。传感器网络必须有足够的容错能力和鲁棒性,经得起单个节点或网络部分节点发生突发事件的考验。

故障管理涉及故障检测和故障修复。目前故障检测通常有两种机制:1)被动、集中式的检测。管理终端收集节点数据,如果在阈值时间没有收到,则认为节点死亡。这种方式误报率较高;2)主动、分布式的监测机制。如文[2]中提出在节点程序上设置两个定时器,一个定时器负责检测邻居节点是否还活着,另一个负责对“死亡”的邻居节点进行确认,是否属于误报,这通过和其他邻居交换该节点的信息来实现。

另外,故障与安全紧密相关,一旦网络受到外来威胁,网络正常行为受到干扰,故障的产生通常比较频繁。因此故障管理需要结合安全检测,协同处理。

安全管理:在传感器网络中,安全管理在某些应用下必须考虑,如战场检测和评估。安全管理从内容上可分为网络管理本身的安全和被管网络对象的安全。前者研究的问题基本和传统网络管理一样,如管理员身份认证、访问控制权限等;后者研究建立网络的人侵检测模型、设计分布式的人侵隔离算法、对传输信息进行加密和认证,以及密钥管理机制等。

当前对传感器网络安全管理的研究,在概念和框架上,很多地方都借鉴了传统网络的相关成果,研究还不够深入。但

有些具体的密钥管理方案和加密机制已经用于实际的系统中。

伯克利大学设计了 TinySec,采用全局密钥,利用开销较小的 RC5 算法进行加密。这种单密钥方案的缺点是:一旦该密钥被泄露或攻破,则整个安全系统形同虚设。典型的多密钥机制包括 SPINS^[3]和 LEAP^[4]。SPINS 利用单向函数产生一个全局密钥链,节点根据不同的工作时段从中选择不同密钥进行加密、解密操作,它要求节点的发送和接收必须保持同步。LEAP 将密钥分为4类:基站密钥,保护节点发送给基站的数据;组密钥,保护网内广播数据;簇密钥,保证簇内局部数据的安全聚合;会话密钥,保护节点和其邻居之间的单播通信。多密钥方案的安全性较好,但必须有部分节点要承担集中式的密钥管理工作,这并不适合传感器网络分布式的结构。随着网络规模的增大,密钥管理的复杂度和能耗都会急剧增加。

性能管理:性能管理的目的是对各项网络性能参数进行实时检测,保证服务管理中定义的 QoS,并能对网络的运行状态进行监控,如根据某一区域的剩余能量状态决定是否进行早期预警和提前维护,从而为 WSN 管理层的维护管理诊断并及时排除网络故障提供帮助。

性能管理需要考虑的一种平衡是:管理所检测的参数越多,能耗就越多;另一方面,如果什么参数都不获取,则又不可能管理好整个网络。因此,性能管理的研究内容是:如何定义最小的性能参数集,它们能最大程度地表征网络性能,同时节约网络的能耗;设计怎样的策略,如集中式检测、分布式检测、主动检测、被动检测等来监测定义的性能参数。

当前的研究中,对网络的剩余能量进行了较多关注。文[5]设计了一种 E-Scan 的能量扫描算法,相对于由节点主动汇报自己的能量状况的算法,它大大减少了能量消耗。E-Scan 不关心某个具体节点的剩余能量,而是关心某个区域内的能量状态特征,如最大值、最小值,因此它在扫描过程中,对同一区域内的节点进行相似能量状态的合并。这样,管理人员最终得到各个不相交区域的能量状态特征,据此绘制网络的剩余能量示意图。

统计管理:统计管理是指与网络资源的使用和报告等相关的功能。这一点不同于传统的网络。传统网络中统计管理负责根据 IP 地址对流量进行双向统计,按照特定的计费策略计算网络费用;而在传感器网络中,共享资源主要是网络带宽,由于采用免费的无线频段,因此主要的问题不在计费,而在如何充分利用带宽。统计管理主要研究网络带宽和能量的有效利用率等。

4.3 WSN 管理层

WSN 管理层是在传统分维框架上针对传感器网络而增加的一个管理维度,主要从面向特定应用进行实现的角度来定义传感器网络的功能。实现这些功能时,要结合逻辑功能层所定义的 QoS 要求,并考虑管理功能层所定义的管理功能,以便将来对网络实施有效管理。它具体包括感知管理、数据管理、通信管理和维护管理。由于传感器网络能量受限,上述的4个管理方面都必须考虑能量的节省。

感知管理:传感器网络的感知功能根据不同的应用来采集不同类型的物理量。感知物理量需要考虑:1)在什么时机去感知,即感知功能的开关控制问题;2)用多少节点去感知,即节点的密度控制问题。如果感知功能频繁打开或节点密度过大,采集到的数据具有高度的冗余度,虽然可以提高网络的

容错能力和数据精度,但会比较浪费能量。当然,这取决于具体应用的需求。

传感器节点的休眠/工作调度机制与感知管理紧密相关。文[6]提出环境探测和自适应睡眠机制,它可以保证网络工作过程中具有恒定的节点密度;文[7]提出一种覆盖配置协议来保证对节点密度的控制;文[8]提出基于“辅助检测区域”的自调度机制来调度节点的睡眠和工作,以避免节点密度过大。

数据管理:数据管理是传感器网络中的核心问题之一,主要研究数据融合、数据压缩、加密认证、数据存储和数据查询优化等技术。

数据融合是减少网络信息传输量的重要方法。它在满足应用需求的前提下最小化需要传输的数据量,不仅节省能量,减少信道竞争冲突,还可获得更准确的数据信息,提高数据的收集效率。数据融合技术可以在传感器网络协议栈的多个层次实现。根据融合是否基于应用数据的语义,可将当前的研究分为3类:文[9]提出依赖于应用的数据融合;文[10]提出独立于应用的数据融合;第3种则是两者的结合。

数据压缩同样可以减少网络的信息传输量。传感器数据的相关性为数据融合提供可能,融合后的数据则可进行进一步的压缩处理。目前已有不少这方面的研究,文[11]研究压缩时需要注意的平衡问题,文[12]则给出一种传感器网络的具体压缩算法。

加密和认证保证数据的安全性、完整性,是实现安全管理的基础。在传感器网络中,限于节点有限的计算资源,加密和认证算法都需要特殊设计基于数学难题的算法,如RSA就不适合。当前的研究多集中在对称加密算法上,如前述的RC5、SPINS^[3]和LEAP^[4]等。

数据存储是体现传感器网络以数据为中心的关键技术。围绕数据的存储位置,学者们将之分为3类:外部存储、本地存储、以数据为中心进行存储。外部存储将感知数据放在传感器网络外的计算机上,邻近计算机的网内节点易成为网络瓶颈,它适合于数据访问频率远高于数据产生频率的情况;本地存储将节点的感知数据存放在本地的存储器中,需要节点有较大容量,而且数据的查询将耗费大量能量,适合于数据访问频率低于数据产生频率的情况;以数据为中心的存储则根据某种映射关系将数据分类存储在网络内的特定节点上,通信效率和能量开销介于前两者之间。

目前研究较多的是以数据为中心的存储。文[13,14]提出基于地理散列函数以数据为中心的存储方法,它通过散列函数将数据随机映射到一个地理位置,离该地理位置最近的节点将作为该类数据的数据库。查询数据时,同样根据散列函数找到该数据所在的节点。这种方法需要地理路由协议的支持,如GEAR或者GEM。

数据查询和优化在传感器网络中显著不同于传统网络。在传感器网络中,查询的对象是节点实时产生的无限数据流。优化的目的是合并功能相似的查询,合理安排查询的操作序列,形成节能的查询计划。

它主要研究如何为分布式数据建立一维甚至多维的索引、优化查询时的聚集操作、如何进行连续查询及对查询请求序列进行本地优化等。文[15]第9章对这些问题进行了较好总结。如DIFS技术根据数据的键属性(数据名、数值范围),利用地理散列方法和空间分解技术来建立一维索引;DIM技术为支持多维查询建立分布式索引结构;还有文献针对分布式和流水线聚集技术、连续查询的自适应技术等进行研究。

通信管理:通信包括基础通信和应用通信。基础通信负责初始化网络,进行动态路由发现和拓扑控制等,为应用通信做准备。应用通信负责感知数据的有效可靠传输,它是网络能量消耗的主要部分,为了节省能量,首先要保证可靠传输,避免数据重传的能量浪费,这涉及到传输层的可靠传输机制;其次要尽量短距离发送,这涉及基础通信中如何优化网络的拓扑结构,进行路由选择使得整个网络发送包的平均距离最短,也即拓扑控制和路由协议。

当前对这些方面的研究已取得了不少成果。文[15]第2章将当前对拓扑控制的研究分为两类:节点功率控制和层次性拓扑控制。在功率控制方面,有COMPCW统一功率分配算法,基于节点度数的LINT/LILT和LMN/LMA算法,基于邻近图的CBTC/LMST/DLSS算法;在层次性拓扑控制方面,有TopDisc成簇算法、Span骨干网拓扑控制算法、GAF虚拟地理网格分簇算法,以及LEACH和HEED等自组织成簇算法等。随着传感器技术的进一步发展,拓扑控制的分类界限会逐渐模糊,往往是多种方式的结合,并会引入启发性、数据捎带等机制,以实现节能和快速拓扑形成。

在路由协议研究方面,由于和具体应用相关,目前还没有统一的分类标准。文[16]对当前路由协议进行了比较详细的说明和分类,此处不再赘述。比较经典的路由算法包括:DD、SPIN、HREEMR、SAR、GEAR、GEM、ReInForM、SPEED等。随着传感器网络应用领域的不断拓展,与应用相关的路由协议将会不断出现,能够根据上层应用变化进行自主选择的路由协议自主切换机制将具有强大的吸引力。这会是未来路由协议研究的一个方向。

在可靠传输方面,当前研究主要集中在拥塞控制和重传机制上。文[17]给出了比较全面的总结。经典的协议包括采用逐跳恢复和NACK确认的PSFQ、GARUDA、RMST协议,采用逐跳恢复和ACK确认的RBC协议,采用端到端恢复和NACK确认的STCP协议,以及根据网络拥塞状况进行节点发送速率调节的ESRT和PORT协议等。当前的可靠传输协议研究大多只考虑单路径、单Sink且Sink固定的情况,而对多路径、单/多移动Sink的情况则少有涉及,未来的研究一定会在这些方面有所突破。

维护管理:维护管理是传感器网络对其自身进行的保护、优化和自我恢复。它需要根据当前网络的状态,在检测到某些失败操作或者性能管理通知其网络性能退化时进行初步诊断,并触发相关模块调整网络行为。如当网络检测到某些区域节点的覆盖密度较高时,它可以启动感知管理的拓扑控制模块,适当地关闭某些节点的感知功能;当节点检测到自身能量短缺时,它可以关闭感知功能,只负责数据转发或者关闭数据转发,只负责感知和一跳传输。

维护管理要求我们设计的网络协议具有较高的智能化,不仅要网络状态的变化足够敏感,还应具有一定的判断分析能力。如SPEED路由协议就考虑根据当前网络负载判断是否发生拥塞,进而决定是否动态改变路由。

结束语 本文介绍了传感器网络管理的基本知识,并借鉴传统网络管理的研究框架,提出传感器网络管理的三维管理框架;在此基础上,给出传感器网络管理的研究内容和当前进展。

相对于传感器网络的基础支撑技术,网络管理是一个崭新、综合性的领域,它还有很多问题需要我们站在整个系统的

(下转第52页)

带宽不公平,图 6(b)清楚的显示了 multicast1 和 multicast2 之间的带宽不公平性。

结束语 本文在分析 GEO 卫星网络特点及其对分层组播影响的基础上,提出了一种适合 GEO 卫星分层组播的拥塞控制算法,SLMCC。该算法直接在系统瓶颈处根据队列信息对组播层做出调整,避免了卫星长延时带来的性能下降;通过实时比较组播数据流和 TCP 单播数据流的平均速率并动

态进行调整,解决了 TCP 友好性问题。为了解决不同分层体制的组播会话之间的带宽公平性,SLMCC 采用了一种基于速率的层优先级调整策略。在信道误码率较高的情况下,SLMCC 通过设置比较系数 α ,避免了卫星 TCP 性能下降带来组播数据流吞吐量的同步下降。如何根据带宽公平性和信道利用率的综合指标来确定最优的比较系数,是下一步的重点研究工作。

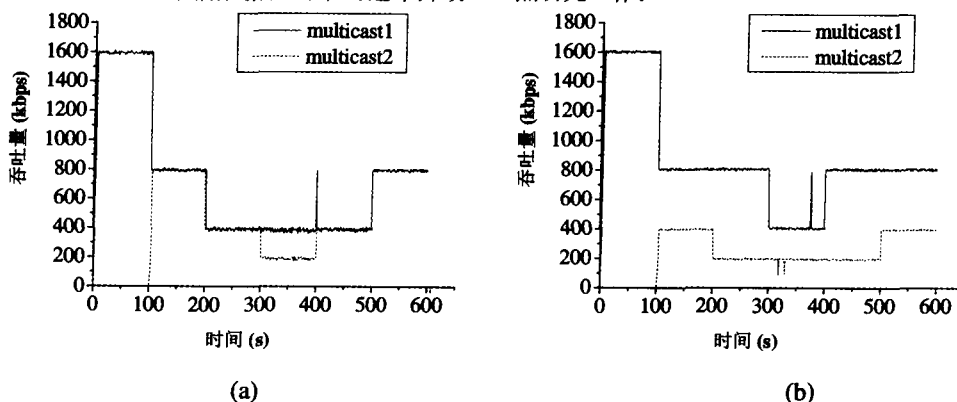


图 6 采用和不采用本文提出的基于累积速率的层优先级调整策略时,异构组播流带宽公平性的比较

参考文献

- McCanne S, Jacobson V, Vetterli M. Receiver-driven layered multicast[A]. In: Proc. of ACM SIGCOMM 1996[C], New York, 1996
- Vicisano L, Rizzo L, Crowcroft J. TCP-like congestion control for layered multicast data transfer[A]. In: Proc. of IEEE INFOCOM 1998[C], New York, 1998
- Byers J, Frumin M, et al. FLID-DL: Congestion control for layered multicast[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2002, 20(8): 1558~1570
- Byers J, Kwon G, et al. Fine-grained layered multicast with STAIR[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2006, 14(1): 81~93
- Legout A, Biersack E W. PLM: fast convergence for cumulative layered multicast transmission schemes[A]. In: Proc. of ACM SIGMETRICS[C], Santa Clara, CA, 2000
- IETF RFC 2236. Internet group management protocol, Version 2[S]
- Rhee I, Balaguru N, Rouskas G. MTCP: Scalable TCP-like congestion control for reliable multicast[J]. Computer Networks, 2002, 38(5): 553~575
- Ye F, Zhong G, Cheng J, et al. PEAS: A Robust, Energy Conserving Protocol for Long-lived Sensor Networks. In: Proc of the Twenty Third International Conference on Distributed Computing Systems, 2003
- Wang X, Xing G, Zhang Y. Integrated Coverage and Connectivity Configuration in Wireless Sensor Networks. In: Proc of the First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Los Angeles, California, USA, 2003
- Tian D, Georganas N D. A node scheduling scheme for energy conservation in large wireless sensor networks. Wireless Communications and Mobile Computing, 2003, 3(2): 271~290
- Pack S, Choi J, Kwon Taekyoung, et al. Application Aware Data Aggregation in Wireless Sensor Networks. In: Proc IEEE International Workshop on Adaptive Wireless Networks (AWiN), November 2005
- He T, Blum B M, Stankovic J A, et al. Aida: Adaptive application independent data aggregation in wireless sensor networks. In: ACM Transactions on Embedded Computing System, 2003
- Chen M, Fowler M L. Data compression trade-offs for multiple inferences in sensor networks. In: CD-ROM Proceedings of the Conference on Information Sciences and Systems, Princeton University, March, 2004
- Song Lin, Gunopulos D, Kalogeraki V, et al. A data compression technique for sensor networks with dynamic bandwidth allocation. In: Temporal Representation and Reasoning, TIME 2005, 12th International Symposium, June 2005. 186~188
- Ratnasamy S, Karp B, Yin L, et al. Ght: A geographic hash table for data-centric storage. In: First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA), 2002
- Ratnasamy S, Estrin D, Govindan R, et al. Data-centric storage in sensornets. In: First Workshop on Hot Topics in Networks (HotNets-I), 2002
- 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络. 北京:清华大学出版社, 2005
- Akkaya K, Younis M. A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks. the Elsevier Ad Hoc Network, Journal, 2005, 3(3): 325~349
- Wang Chonggang, et al. A Survey of Transport Protocols for Wireless Sensor Networks. IEEE Network, May 2006

(上接第 37 页)

角度去深入研究和积极探索。未来的传感器网络管理可能会在以下两方面有所突破:一方面,随着 Web 技术的逐步成熟,网络管理可以借助 Web 进行,这样可以突破传感器网络和管理者之间的地理限制,实现无处不在的管理。另一方面,现有的网络管理大多面向网络设备和对象,容易导致管理和业务的脱节:一旦网络出现问题,业务的使用者只看到服务中断、业务混乱,网络管理者只看到节点或服务事件,却不能及时、准确地判断哪些业务受到影响。这些都会直接影响网络提供的业务质量。传感器网络想要得到大规模的应用,在管理技术上必须采取面向业务的管理方法。

参考文献

- He Y, Raghavendra C S, Berson S, et al. A Programmable Routing Framework for Autonomic Sensor Networks. In: Proc The Autonomic Computing, Workshop IEEE AMS '03, 2003
- Hsin, Liu Mingyan. A Distributed Monitoring Mechanism for Wireless Sensor Networks. In: Proc of 2002 ACM Workshop on Wireless Security (WiSe'02), September, 2002
- Perrig A, Szewczyk R, Wen V, et al. SPINS: security protocols for sensor networks. In: Proc of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking, July 2001. 189~199
- Zhu S, Setia S, Jajodia S. LEAP: Efficient Security Mechanisms for Large-Scale Distributed Sensor Networks. In: Proc of the 10th ACM Conference on Computer and Communication Security, Washington DC, USA, 2003. 62~72
- Zhao J, Govindan R, Estrin D. Residual energy scans for monitoring wireless sensor networks. In: IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'02), vol. 1. Orange County Convention Center, Orlando, FL, USA, March, 2002. 356~362