

基于区分服务的无线传感器网络跨层 QoS 体系结构

晏 鳌, 白光伟, 江晶晶

(南京工业大学 计算机科学与技术系, 江苏 南京 210009)

摘 要: 结合无线传感器网络自身特点, 提出一种三层可计算 QoS 指标体系; 在此基础上, 根据各种应用不同 QoS 需求将应用分为四类, 设计出一种基于区分服务的无线传感器网络跨层 QoS 体系结构(CQAW), 并给出了参考实现框架。

关键词: 无线传感器网络; QoS 体系结构; 区分服务; 跨层设计

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)04-0026-04

Cross-layer QoS Architecture for Wireless Sensor Networks DiffServ-Based

YAN Ao, BAI Guang-wei, JIANG Jing-jing

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: Based on the distinct features of WSNs, this paper presents a QoS Metrics architecture with three layers. Then according to the different requirements of QoS we classify the various applications as four types, and a Cross-layer QoS Architecture Based on DiffServ for Wireless Sensor Networks (CQAW) is proposed. Finally, we design an implement framework for the CQAW.

Key words: wireless sensor networks; QoS architecture; DiffServ; cross-layer design

1 引言

在传统无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)的研究和设计中, 要求尽可能地降低能量消耗、延长网络的生命周期^[1-2]. 然而对于新兴的多媒体应用来说, 提供满意的网络服务质量(Quality of Service, QoS)是无线传感器网络研究和设计面临的另一个关键问题. 目前大部分 QoS 保障机制只涉及单个协议层或针对特定应用场景, 不能很好地满足各种应用的不同 QoS 需求, 为此需要设计通用 QoS 体系结构^[3].

文献[4]中提出了一种三层的 QoS 指标体系, 分别为用户感知、网络感知和节点感知 QoS 指标. 对 QoS 体系结构的设计做了初步探讨; 文献[5]提出了一种自适应的模块化 QoS 体系结构, 按照节点

能力大小对节点进行分级, 不同级别节点运行不同的 QoS 保障机制. 这种设计考虑了 WSNs 的节点异构性, 但对于如何保障各种应用的不同 QoS 需求没有给出具体解决办法.

本文重新设计一种三层可计算的 QoS 指标体系; 在此基础上, 将 WSNs 的 QoS 保障问题分为 QoS 提供和 QoS 维护两部分, 设计出一种基于区分服务的无线传感器网络跨层 QoS 体系结构(CQAW), 并给出实现框架.

2 QoS 指标与计算

传统网络的时延、带宽等端到端 QoS 性能指标已不足以描述 WSNs 中各种应用的 QoS 需求, 本文重新定义一套适合于 WSNs 的 QoS 表示方法. 在图 1 给出的 QoS 模型中, 应用层或者用户只关心网络

收稿日期: 2010-06-07; 修回日期: 2010-08-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(60673185); 教育部留学回国人员科研启动基金项目([2007]1108); 江苏省青蓝工程中青年学术带头人培养对象资助项目([2007]2)

所提供的服务和服务质量,而不关心网络具体如何操作;下层网络则通过各种 QoS 保障机制实现资源的充分利用,尽量为上层提供满意的 QoS 保障. 下层网络由传输层、网络层、MAC 层、物理层和节点组成;MAC 层实现无线信道的共享和分配,当从 MAC 层进行 QoS 度量,结果对应网络中单跳链路的质量. 链路 QoS 由 MAC 层和物理层决定,因此我们将 MAC 层和物理层 QoS 合并为链路 QoS. 链路 QoS 会直接影响网络层路由选择,因为网络层在选择路径时需要考虑链路资源以满足端到端的 QoS 要求. 传输层的功能同样是进行端到端的控制,因此我们将传输层和网络层的 QoS 合并为路径 QoS. 路径 QoS 需要直接满足应用层的要求. 另外,节点 QoS 也会影响到端到端的路径 QoS.

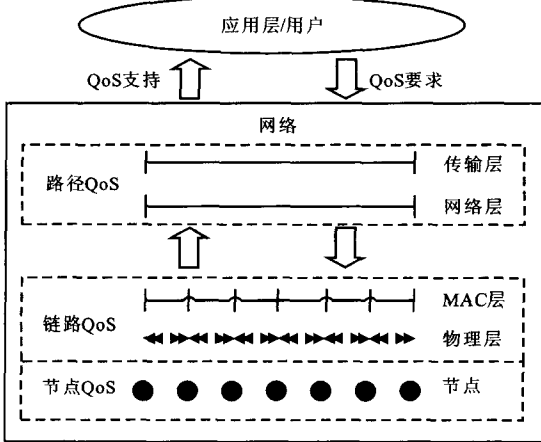


图1 QoS模型

因此,本文的三层 QoS 指标体系为:链路与节点 QoS 指标、路径 QoS 指标和应用层 QoS 指标.

2.1 链路与节点 QoS 指标

链路 QoS 即点到点 QoS,代表下层链路的质量,它包括:收发数据能耗 E_{link} 、收发数据时延 D_{link} 、链路带宽 B_{link} 和链路可靠性 R_{link} . 节点 QoS 指标代表节点服务能力,它包括:处理/存储/感知数据能耗 E_{node} 、处理/排队时延 D_{node} 、监测精度和处理精度 P_{node} .

这些指标对网络整体 QoS 产生直接影响,需要及时测量和计算. 测量和计算方法与 MAC 层和物理层采用协议有关,例如在采用 IEEE 802.11 DCF 协议的网络中,链路带宽 B_{link} 可使用下公式估算:

$$B_{link} = (1 - U) \times B \quad (1)$$

式中, B 为信道总带宽, U 为信道被占用率. U 可用单位时间内信道被占用时间 T_{busy} 除以单位时间

T_{total} 得到, T_{busy} 和 T_{total} 可以实时测量得到^[6].

另外,通过调整 MAC 层或物理层参数可以对链路 QoS 指标进行动态调节. 例如还是在使用 IEEE802.11 DCF 协议的网络中,针对某类应用 QoS 需求和它获得 QoS 保障,动态调整竞争窗口来改变链路 QoS 指标,继而维护 QoS 保障. 这就是自适应调节机制,本文第 3 节对此将进行深入的探讨.

2.2 路径 QoS 指标

路径 QoS 即端到端 QoS,依赖于所选的路径质量,它包括:路径能耗 E_{path} 、路径延迟 D_{path} 、路径带宽 B_{path} 和路径可靠性 R_{path} . 路径 QoS 指标可以由链路和节点 QoS 指标计算得到:

$$E_{path} = \sum E_{link} + \sum E_{node}, (\text{link} \in \text{path}, \text{node} \in \text{path}) \quad (2)$$

$$D_{path} = \sum D_{link} + \sum D_{node}, (\text{link} \in \text{path}, \text{node} \in \text{path}) \quad (3)$$

$$B_{path} = \min\{B_{link} \mid \text{link} \in \text{path}\} \quad (4)$$

$$R_{path} = \prod R_{link}, (\text{link} \in \text{path}) \quad (5)$$

另外,由应用层 QoS 映射而来和由下层 QoS 指标计算得到的路径 QoS 并不一致,前者代表用户 QoS 需求,后者代表网络所能提供 QoS. 本文第 3 节对此也将深入探讨.

2.3 应用层 QoS 指标

应用层 QoS 指标包括:系统服务时间 L 、服务延迟 D 、服务吞吐量 T 和服务准确度 Q . 这些指标代表用户所要求的服务类型,将被直接映射成路径 QoS 指标,然后送到网络层作为寻找满足 QoS 要求端到端路径的依据.

面向应用是 WSNs 的一个重要特点,不同的应用场景有不同的 QoS 需求. 为实现区分服务,需要对应用进行分类. 文献[7]将 WSNs 基本应用类型分为事件驱动、时间驱动和查询驱动三类:事件和查询驱动关注数据的实时性和可靠性;时间驱动的应用若用来传输实时数据(如音视频),则关注传输延迟和吞吐率;若用来传输非实时数据(如温度或湿度),则更关注可靠性.

因此,本文按照各种应用的不同 QoS 要求,将应用分为四类:I类、II类、III类和IV类,如表1所示,分别对应事件和查询驱动、实时数据传输、非实时数据传输和尽力而为服务. 表1所列各类应用对应各层 QoS 指标之间的映射关系. 节省能耗延长网络生命周期是各种应用共有 QoS 要求,所以未将其列入其中.

表 1 应用分类与 QoS 指标映射

应用类型	I类事件/ 查询驱动	II类实时 数据传输	III类标量 数据传输	IV类无需 QoS保障
应用层 QoS	D, Q	D, T	Q	Best-effort
路径 QoS	D _{path} , R _{path}	D _{path} , B _{path} , R _{path}	R _{path}	Hop count
链路 QoS	D _{link} , R _{link}	D _{link} , B _{link} , R _{link}	R _{link}	
节点 QoS	D _{node} , P _{node}	D _{node}	P _{node}	

3 基于区分服务的跨层 QoS 体系结构

基于提出的三层 QoS 指标体系和应用分类,本节设计基于区分服务的跨层 QoS 体系结构(CQAW)来支持各种应用 QoS 保障.事实上,WSNs 的 QoS 保障可以分为两部分:一是以 QoS 路由为核心的 QoS 映射和控制问题,即 QoS 提供问题;二是以跨层自适应调节为主要手段的 QoS 监控和管理问题,即 QoS 维护问题.从时间上讲,也可以说是分为 QoS 提供和维护两个阶段.跨层 QoS 体系结构(CQAW)要在 QoS 提供和维护阶段都能支持四类应用的不同 QoS 需求,它由四种机制构成:QoS 提供阶段主要机制为 QoS 映射与计算、各层 QoS 保障和区分服务;QoS 维护阶段主要机制为跨层自适应调节.下面分别探讨这四种机制.

3.1 QoS 映射与 QoS 计算机制

具体映射与计算关系上一节已经给出,这里我们分析它们在 CQAW 中的作用.服务质量(QoS)是指网络在传输数据流时要求满足的一系列服务请求,具体可以量化为上一节所列各项指标.实际上,QoS 包括用户的要求和网络的提供两个方面,是用户与网络两方面主客观标准的统一.用户的要求被量化为 QoS 指标映射,网络的提供被量化为 QoS 指标计算.如图 2 所示,这是一对反向的过程.

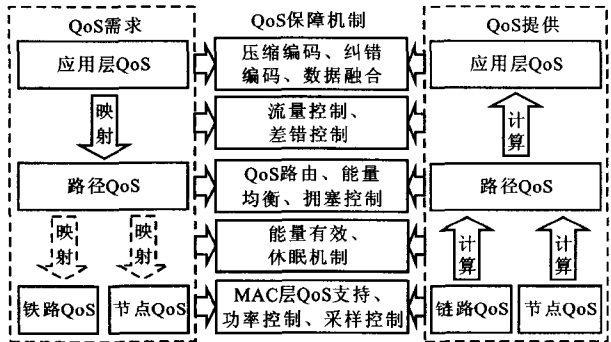


图 2 QoS 体系结构

QoS 映射将用户高层次的 QoS 请求解释成低层次的 QoS 指标,它是对用户 QoS 请求进行自顶向下翻译的过程.而网络提供 QoS 支持是一个自底

向上的过程.上层的 QoS 支持需要依赖下层的 QoS 支持,它们之间有确定的量化关系.两种反向过程通过图 2 中间部分各种 QoS 保障机制实现统一.

3.2 QoS 保障机制

这里以 QoS 路由和支持 QoS 的 MAC 协议说明 QoS 保障机制如何实现上述两种反向过程统一:QoS 路由是一种基于网络可用资源和业务流 QoS 要求来选择路径的路由机制,它涉及 QoS 尺度选择、QoS 路由计算和 QoS 路由维护等方面.其中,QoS 尺度选择即是对用户 QoS 需求的描述,QoS 路由计算即是根据网络可用资源即网络能够提供 QoS 来选择满足用户需求的路径.因此,通过 QoS 路由实现了用户需求 QoS 与网络提供 QoS 的统一.

支持 QoS 的 MAC 协议一般是在传统 MAC 协议基础上改进而来.例如在支持区分服务的 IEEE802.11 DCF 协议中,通过减小高优先级数据的竞争窗口来保障实时传输.实时传输即为用户 QoS 需求,减小竞争窗口即为网络 QoS 提供,二者在 MAC 层 QoS 机制作用下统一.需要说明,用户 QoS 需求经过了用户到路径再到链路两层 QoS 映射,其中路径到链路的映射往往无法精确,因此在 MAC 层实现的 QoS 保障一般是定性的保障.

另外,用户需求 QoS 与网络提供 QoS 的统一并非一种 QoS 保障机制能够完全做到,通常需要多种 QoS 保障机制共同作用.多种 QoS 保障机制共同作用即是 QoS 保障体系.

3.3 区分服务机制

传统网络所定义区分服务(DiffServ)手段仅限于队列调度和缓冲管理,而 WSNs 中的区分服务涉及网络各层.例如上文提到支持区分服务的 MAC 层协议;再例如在支持区分服务的路由协议中,高优先级分组通过最优路径转发,低优先级分组则通过普通路径转发;另外在数据融合、拥塞控制、端到端传输控制等机制上都可以实现区分服务.

本文将应用分为四类,各类应用对应不同的应用层 QoS 指标,然后这些指标被映射成相应的路径 QoS 指标、链路和节点 QoS 指标,各层 QoS 保障机制依据这些 QoS 指标进行相应的区分服务.

3.4 跨层设计与自适应调节机制

跨层设计是指在原有协议栈基础上,通过增加层间接口实现不同层间的信息直接传递,这样即可以较少通信开销,又可以适应网络的动态变化,提高网络的自适应能力.自适应是指协议层根据本层参

数的变化进行自适应补偿,当本层的自适应补偿无法满足需要时,则通过跨层信息交互进行补偿. CQAW 中将跨层自适应调节机制作为 QoS 维护的主要手段.

WSNs 中节点死亡、新节点加入、环境变化等因素都可能导致服务质量的变化,这就要求 QoS 体系结构能够监测网络的 QoS,实时进行 QoS 维护. WSNs 的节点能力有限,并不适合采用 QoS 监测器等复杂机制,因此跨层自适应调节成为 WSNs 中主要的 QoS 维护机制. 实际上,跨层信息传递也可以看作是一种简单 QoS 监测机制,例如将网络底层的链路或路径质量参数传递到应用层,应用层自适应地调节编码方式以维护其 QoS 需求持续得到保障.

另外, QoS 保障机制、区分服务机制和跨层自适应调节机制的选取至关重要,无限制的使用各种保障机制反而会使网络整体性能下降. 因此,在设计 QoS 保障体系时需要进行策略性取舍. 普通 QoS 保障机制的选取主要是权衡实现开销与效果的关系;多种区分服务机制并存时,需考虑目标统一;跨层自适应调节机制不宜过多.

4 实现框架

针对上一节提出的基于区分服务的跨层 QoS 体系结构(CQAW),本节给出参考实现框架. 如图 3 所示该框架由 QoS 保障机制代码库、QoS 保障体系生成模块、QoS 保障体系模块、QoS 指标管理模块和区分服务模块等部分组成.

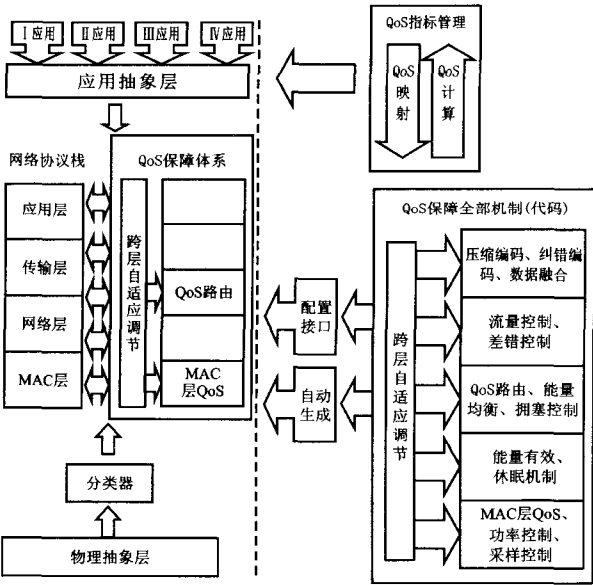


图 3 QoS 体系结构实现框架

QoS 保障机制代码库负责存储所有备用 QoS

保障机制代码,包括普通保障机制、跨层保障机制和区分服务保障机制,可以存储在本地,也可以分散存储在多个节点上然后互相进行按需获取,还可以存储在汇聚节点或管理节点上再进行远程按需安装; QoS 保障体系生成模块负责从代码库中按需获取相应的保障机制代码,然后生成 QoS 保障体系,可以通过系统自动生成,也可以配置生成; QoS 保障体系由网络中实际运行的各种 QoS 保障机制组成; QoS 指标管理模块负责通知网络各种应用所需的 QoS 保障,同时提供各层 QoS 指标给各种保障机制;区分服务模块由数据分类器和各种区分服务机制组成;应用抽象层负责对不同类型的应用进行抽象,并且为上层应用提供统一的网络接口;物理抽象层负责屏蔽底层硬件的异同.

5 结束语

QoS 体系结构的设计包含两层含义:一是注重各层 QoS 保障机制之间的相关性,从全局的视角考虑为用户提供满意的 QoS 保障;二是根据各种应用的不同 QoS 要求,设计通用的 QoS 保障体系.

本文提出了一种三层可计算 QoS 指标体系;为保障各种应用不同 QoS 需求,设计了一种基于跨层设计的无线传感器网络 QoS 体系结构(CQAW);并对实现框架做了初步设计. 下一步工作是制定 QoS 保障机制的选取标准和优化实现框架.

参考文献:

[1] 弋改珍,解争龙,郭新明. 无线传感器网络功耗控制分析与仿真[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25 (8): 156—159.

[2] 刘韬,谢储晖. 无线传感器网络能量均衡路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(10): 5—11.

[3] 孙岩,马华东. 无线多媒体传感器网络 QoS 保障问题[J]. 电子学报, 2008, 36(7): 1412—1420.

[4] 文浩,林闯,任丰原. 无线传感器网络的 QoS 体系结构[J]. 计算机学报, 2009, 3(32): 432—440.

[5] Troubleyn E, Poorter E D, Moerman I. AMoQoSA: Adaptive modular QoS architecture for wireless sensor networks[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM), Cap Esterel, France: IEEE, 2008: 172—178.

[6] Sarma N, Nandi S. A cross-layer QoS mapping framework for mobile ad hoc networks[J]. IETE Tech Rev, 2008, 25(6): 346—358.

(下转第 33 页)

4.2 实验环境

仿真软件为 OPNET Modeler 14.5 版本,网络环境和相关参数设置如下:

(1) 网络中设置 50 个节点,随机分布在 $1\ 200\text{ m} \times 1\ 200\text{ m}$ 的场景内,其中有 10 个数据发送节点;

(2) 数据包大小为 exponential(1024),节点产生包的间隔时间为 constant(1),每个节点发送的目的地址为随机地址;

(3) 每个节点的初始能量为 900 J,仿真时间 600 s,带宽 2 Mb/s;

(4) 节点采用间隔运动方式,按照 Random Waypoint 模型进行运动,每次停顿一段时间后,重新计算下一个目的位置,如此反复;

(5) 节点移动速度均匀的分布于 $0 \sim 20\text{ m/s}$ 。

4.3 仿真结果

通过仿真对比,显示了在节能路由上使用改进的方向路由协议大大减少了 RREQ 包的泛洪,并且在节能性能方面也有较大的改善。从网络生存时间看,停顿时间在 200 s 后,IM_LAR 算法网络生存时间在逐渐增长,而 MBCR 网络生存时间却是在逐渐降低。从网络剩余能量看,停顿时间为 100 s 时,网络剩余能量比 MSCR 小外,其余停顿时间都比 MSCR 大。因此,在节能路由上使用改进的方向路由算法,不仅降低了网络的泛洪数目,并且也一定程度上减少了网络能量消耗、延长了网络生存时间。

5 结束语

本文提出了 IM_LAR 算法。与 LAR 算法所追求的目标一致,IM_LAR 算法也是着眼于降低网络内路由广播包的数量和减小路由寻找开销。但 IM_LAR 通过合理地扩大请求区域,将源节点到目的节点路径上所有节点包含在期望区域内,从而使源节点不会将最早建立的路径排除在外,在少量增加路由请求泛洪的情况下,能够比 LAR 算法寻找到更

优的路径。仿真数据表明,改进后的算法应用到节能算法时,在网络接收的 RREQ 包数目、网络的生存时间、网络的剩余能量等性能方面都有一定程度的提高,达到了节能的目的。

参考文献:

- [1] 徐明,曹建农,彭伟,等. 移动计算技术[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [2] 顾学迈,曹贺秋,石硕. Ad Hoc 网络中一种基于方向的定位算法[J]. 计算机工程与应用,2008,44(7):155-157.
- [3] 王庆辉,拱长青,王光兴. 一种 MANET 网络的位置辅助路由协议[J]. 小型微型计算机系统,2005,26(11):1890-1893.
- [4] 冯秀芳,曹美丽,孙超. 无线传感器网络基于 APIT 的混合定位算法[J]. 微电子学与计算机,2009,6(26):58-61.
- [5] Lee YengZhong, Gerla Mario, Chen Jason, et al. "Direction" forward routing for highly mobile ad hoc networks [J]. Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, 2006(10):1-18.
- [6] 朱本浩,姚明海. 基于空间位置和场景的 Ad Hoc 路由协议[J]. 微电子学与计算机,2010,27(2):163-166.
- [7] Hu B, Gharavi H. Directional routing protocols for ad-hoc networks[J]. IET Communications, 2008,2(5):650-657.
- [8] Vergados Dimitrios J, Pantazis Nikolaos A, Vergados Dimitrios D. Energy-efficient route selection strategies for wireless sensor networks[J]. Mobile Networks and Applications, 2008(13):285-296.

作者简介:

牟强 男,(1976-),硕士研究生. 研究方向为无线网络.
姚丹霖 男,(1964-),博士,教授. 研究方向为无线网络与信息安全.
姚宗福 男,(1979-),硕士研究生. 研究方向为无线网络.

(上接第 29 页)

- [7] Chen D, Varshney P. QoS support in wireless sensor networks: A survey[C]// Proceedings of the 2004 International Conference on Wireless Networks (ICWN'04). Las Vegas, USA: KEG, TSinghua, 2004:227-233.

作者简介:

晏 鳌 男,(1986-),硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络、网络 QoS 保障等.
白光伟 男,(1961-),教授,博士. 研究方向为网络体系结构和协议、传感器网络、多媒体网络 QoS 等.
江晶晶 男,(1985-),硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络等.