

无线多媒体传感器网络 QoS路由优化算法研究

孙仁科 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

无线多媒体传感器网络 QoS 路由优化算法研究

孙仁科 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书对无线多媒体传感器网络 QoS 路由优化方法进行了深入细致的研究,根据不同数量源节点和目标节点无线多媒体传感器网络提出了具有针对性的路由解决方案。

本书适合无线多媒体传感器网络领域的相关研究人员参考使用和作为高校相关专业的教师、学生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

无线多媒体传感器网络 QoS 路由优化算法研究 / 孙仁科著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2013. 8

ISBN 978-7-5646-2021-9

I. ①无… II. ①孙… III. ①计算机网络—路由选择—最优化算法 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 207968 号

书 名 无线多媒体传感器网络 QoS 路由优化算法研究

著 者 孙仁科

责任编辑 何晓明 王美柱

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 880×1230 1/32 印张 4.25 字数 118 千字

版次印次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

无线多媒体传感器网络是由很多具有无线通信能力的节点组成的自组织、多跳网络,网络中的节点具有采集多媒体信息的功能,比如可以采集图像、视频、音频等多媒体信息。而多媒体信息在无线多媒体传感器网络传输一般都需要网络提供一定服务质量(QoS)保证,其中多媒体信息流的路由选择问题是无线多媒体传感器网络服务质量的一个关键问题,它担负着将流媒体数据在一定的约束条件下正确地从源节点传送到目标节点的任务。

目前,对于无线多媒体传感器的路由技术主要有两方面的研究:一方面是研究源节点和目标节点之间的路由发现机制;另一方面是研究流媒体和路由之间的优化传输问题。本书结合无线多媒体传感器网络的实际应用,对无线多媒体传感器网络 QoS 路由的优化问题进行了探讨。本书的主要研究工作包括:

① 多路径路由是使无线多媒体传感器网络具有 QoS 保证的有效方法,在分布式的无线多媒体传感器网络中,节点之间如何协作而且能够快速地发现从源节点到目标节点之间的多条路径是目前的一个研究热点问题。本书根据路径质量、节点能量以及节点度等参数对路径性能的不同影响,定义了节点收益模型,然后基于此模型,提出了针对单源节点和单目标节点的无线多媒体传感器网络的多路径 QoS 路由算法。

② 结合视频流分级编码的特殊 QoS 要求以及无线多媒体传感器网络中多路径的特点,提出了一种基于非合作博弈论的多路径分配优化算法。首先根据多路径传输视频流的特点提出了一种

应用于无线多媒体传感器网络的多路径分配博弈模型,然后证明了该模型存在纳什均衡。在此基础上,提出了一种基于纳什均衡的无线多媒体传感器网络多路径分配优化算法。

③ 由于单 sink 网络中存在着难以解决的 sink 节点失效问题,因此,多 sink 节点无线多媒体传感器网络应运而生。如何建立源节点和多 sink 节点之间的优化路由对无线多媒体传感器网络具有十分重要的意义。本书将无线多媒体传感器网络抽象成由多个 sink 节点激发的颜色引力场组成的合力场,数据传输至 sink 节点的过程抽象为某种颜色 sink 节点对相同颜色数据的吸引力作用。首先依据场理论对无线多媒体传感器网络的颜色场强、颜色场电势、颜色场梯度等物理量进行建模。然后基于此模型提出了一种针对单 sink 节点和多 sink 节点无线多媒体传感器网络的多路径 QoS 路由优化算法。

④ 在多源节点和多目标节点的无线多媒体传感器网络中,源节点和目标节点之间的路由十分复杂。高效而公平的无线多媒体传感器网络能够使每个源节点都至少和一个目标节点建立数据传输通道。本书将多源节点和多目标节点的路由分配优化问题用图论中的匹配方法进行建模,提出了多源节点和多目标节点最小权匹配算法。仿真表明,算法可以在兼顾网络公平性的同时,又能够降低网络的能量消耗,最终延长了网络的生命期。

全书的研究工作围绕无线多媒体传感器网络 QoS 路由优化问题展开,针对具有不同数量源节点和目标节点的无线多媒体传感器网络提出了具有针对性的 QoS 路由优化算法,并通过仿真实验的方法验证了算法的有效性。

本书是在笔者博士论文的基础上修改而成,导师丁恩杰教授给予了悉心指导,在本书出版之际,笔者首先要感谢尊敬的丁老师对我的精心指导和无私帮助。

本书撰写过程中得到了中国矿业大学信电学院徐钊教授、张

前 言

申教授、华刚教授等专家的指导和建议,使此书得以顺利完成,谨向各位老师表示诚挚的谢意。

感谢我的家人、同事和朋友,是他们在我最困难的时候给予我最无私的帮助,他们始终是我强大的后盾。

由于时间和水平所限,书中难免存在缺点和不足,恳请专家读者批评指正。

著 者

2013 年 6 月

目 录

1	绪论	1
1.1	研究背景	1
1.2	国内外研究现状	9
1.3	本书的主要研究内容	19
2	单源节点单目标节点 WMSNs 多路径 QoS 路由优化算法	23
2.1	合作博弈论基础	23
2.2	网络模型及相关定义	28
2.3	算法描述	30
2.4	仿真结果与分析	38
2.5	本章小结	42
3	单源节点单目标节点 WMSNs 多路径分配优化算法	43
3.1	问题描述	43
3.2	系统结构	45
3.3	纳什均衡博弈论	47
3.4	多路径分配优化算法	50
3.5	本章小结	61

4 基于颜色场的单源节点和多目标节点 WMSNs	
多路径 QoS 路由优化算法	63
4.1 问题描述	64
4.2 场理论基础	66
4.3 基于场的网络模型	69
4.4 算法描述	70
4.5 仿真结果与分析	77
4.6 本章小结	82
5 多源节点和多目标节点 WMSNs 多路径分配优化算法	83
5.1 图的匹配理论基础	84
5.2 问题描述	89
5.3 网络模型	93
5.4 算法描述	94
5.5 仿真结果与分析	103
5.6 本章小结	108
6 总结与展望	109
6.1 总结	109
6.2 展望	111
参考文献	113

1 绪 论

1.1 研究背景

近年来,嵌入式技术、传感技术和无线通信技术的迅速发展,促使了具有无线通信、计算和感知功能于一体的微型传感器节点的出现,并且日益引起人们极大的关注。无线传感器网络(WSNs, Wireless Sensor Networks)就是由这些节点构成具有无线通信和自组织功能的网络,该网络可广泛地应用于工业、农业、军事、环境检测等许多领域。无线传感器网络改变了人与自然的交互方式,扩展了人类获取信息的能力,将逻辑上的信息世界和真实的物理世界结合在了一起。然而,随着无线传感器网络应用的不断深入,网络所能获取的简单的标量数据越来越不能满足复杂应用的要求,人们迫切需要在无线传感器网络中加入图像、音频和视频等多媒体信息,实现细粒度和精准信息的感知。这样的应用背景导致了无线多媒体传感器网络(WMSNs, Wireless Multimedia Sensor Networks)应运而生^[1-3]。

无线多媒体传感器网络是无线传感器网络的一种特殊应用形式,除了具有无线传感器网络的所有特点之外,还具有自己独特的性质和功能,大大地扩展了无线传感器网络的应用范围。由于无线多媒体传感器网络要在其中传输图像、音频和视频等实时多媒体信息,而这些信息都要求网络具有一定的服务质量(QoS, Quality of Service)^[4-7]保证的能力。传统的无线传感器网络主要

研究网络的能耗问题,对实时信息的服务质量保障问题并没有过多地关注,随着无线多媒体传感器网络应用的逐步深入,无线多媒体传感器网络的 QoS 保证^[8-14]以及 QoS 路由^[15-21]问题必将成为新的研究热点。

1.1.1 无线多媒体传感器网络的概念

无线传感器网络是由大量的具有无线通信能力且功耗极低的传感器节点组成的多跳、自组织网络,这些传感器节点一般都具有数据处理、数据通信和数据采集的能力,且一般体积都非常小,价格也非常便宜,可以被大规模地部署在监测环境中,通过自组织的方式完成复杂的监测任务。在无线传感器网络中通常还具有少量的汇聚(sink)节点,负责完成命令发布和数据收集的任务,还可以实现和 Internet 的通信^[22-25]。

无线多媒体传感器网络是把具有传感声音、图像和视频等能力的节点引入到传统的无线传感器网络中而形成的新型无线自组多跳网络系统。如图 1-1 所示,一个典型的无线多媒体传感器网络通常由控制中心(Control Center)、汇聚节点(Sink Node)、多媒体

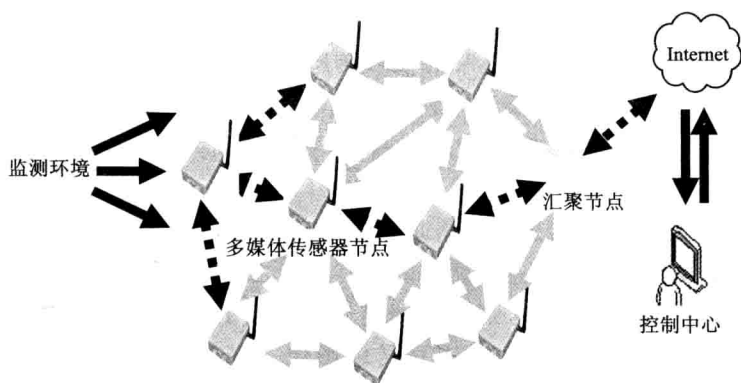


图 1-1 无线多媒体传感器网络结构

体传感器节点(Multimedia Sensor Node)等部分构成。多媒体传感器节点被分散部署在监测区域内,负责完成多媒体信息的采集任务,这些多媒体信息在分布式路由算法的指引下,沿着相关的路径,以多跳传输的方式,最终被传递到汇聚节点,在汇聚节点的帮助下,多媒体信息可以通过 Internet 网络或者通信卫星最终到达控制中心。在控制中心,用户可以通过汇聚节点发布一些监测指令对无线多媒体传感器网络进行配置和管理。

多媒体传感器节点是一种集成数据处理、无线通信和传感能力的微型节点。传感能力一般可以传感声音、图像和视频等实时多媒体信息,也可以传感温度、湿度、热度、红外和声呐等物理信息。数据处理能力相对较弱,计算资源和能量也相对较少,所以,节点之间需要相互协作才能够进行数据处理。

汇聚节点通常是一个能量较为充足、计算能力较强的特殊网关设备,可以具有或不具有监测和传感的能力,但必须具有无线通信的功能。负责连接 WMSNs 与 Internet 等外部网络,既可以向 WMSNs 发布管理节点的监测任务,又可以把无线多媒体传感器网络的数据转发至外部网络。

控制中心主要负责收集和查询无线多媒体传感器网络的监测信息,也可以向无线多媒体传感器网络发布监测指令,为了方便用户使用,控制中心一般都需要向用户提供友好的交互界面,方便用户对监测信息进行观察、分析、挖掘和决策。

多媒体传感器节点之间能够协作地实时采集、感知监测对象的各种信息,并把这些信息汇聚到汇聚节点,由汇聚节点通过 Internet 或卫星传送到控制中心或需要的用户那里。由于 WMSNs 具有较高的鲁棒性,还具有高准确性、高灵活性、信息丰富和高智能性等优点,所以被广泛应用于军事^[26,27]、救灾^[28,29]、环境监测^[30-33]、医疗^[34]、工业控制^[35-38]、交通监管^[39,40]等领域。

1.1.2 无线多媒体传感器网络的特点

作为无线传感器网络的一种,无线多媒体传感器网络具有无线传感器网络的所有特征,除此之外,由于无线多媒体传感器网络主要传送的是声音、图像、视频等多媒体信息,所以需要无线多媒体传感器网络提供一定的服务质量(QoS)保证能力。传统的无线传感器网络主要研究网络的能耗和可靠性等问题,对于网络的服务质量的研究并没有过多地关注。在有线网络中,对服务质量的研究已经非常成熟和广泛了,并且已经提出了关于 Internet QoS 的区分和综合服务体制^[41-43]。因此,研究无线多媒体传感器网络的服务质量保证迫在眉睫。但是,由于无线多媒体传感器网络的特殊性,使得 WMSNs 为实时多媒体信息提供服务质量保证具有更大的挑战性^[1,44],具体表现为以下几个方面:

(1) 资源受限。无线多媒体传感设备一般都是由电池供电的,内存和 CPU 等计算资源相对较低,因此,无线多媒体传感器网络必须要考虑两方的问题:一是如何提供 QoS 保证;二是如何高效地利用现有的资源。目前已有的那些集中式的算法由于需要维护大量网络状态来提供 QoS 保障的机制已经不能再适用于无线多媒体传感器网络了,必须要研究和设计出一种通信代价较低,而且不需要维护大量网络状态的分布式算法。

(2) 可变的信道容量。和有线网络相比,能量控制、拓扑控制、路由策略等因素更容易对无线多媒体传感器网络产生影响,而且这些因素变化的频率更高,随机性也更大。因此,在无线多媒体传感器网络中提供 QoS 保证具有非常大的挑战性。

(3) 不同功能间跨层联合。无线多媒体传感器网络中的不同层次存在相互的依赖性,比如:能量控制能够影响到网络的拓扑结构,而拓扑结构又可能影响到路由。因此,要想设计出一个高效的服务质量保障机制,必须考虑无线多媒体传感器网络不同层次间

的配合。

(4) 不同的应用具有不同的 QoS 需求。不同的应用对无线多媒体传感器网络提出了不同的服务质量保证要求,比如:对网络的带宽、丢包率和时延等性能要求是不一样的。此外,标量数据(如温度、湿度、压力等)和矢量数据(如声音、图像、视频等)可能同时存在于同一个无线多媒体传感器网络中,不同性质的数据对网络要求的服务质量是不一样的,比如:标量数据对实时性的要求可能要高一些,而多媒体数据则对网络的带宽和时延的要求则要高一些,因此,对不同的数据类型要进行区分服务。

(5) 数据冗余度高。无线多媒体传感器网络主要采集和传输的是图像、音频、视频等多媒体信息,这些信息存在着高度的冗余性,数据在传输前需要进行预处理,比如:进行数据融合、数据压缩等,处理之后的数据传输可以大大减少 WMSNs 的能量消耗,但却大大增加了无线多媒体传感器网络算法设计与实现的复杂性,增加了网络传输时延,使网络更难提供服务质量保证。

(6) 流量非均匀分布。在 WMSNs 中,无线多媒体传感器节点都需要将数据发送到汇聚节点,汇聚节点附近存在大量的数据传输,消耗了大量的能量,造成了 WMSNs 中的数据流的分布极度不平衡。因此,无线多媒体传感器网络必须要具有平衡 QoS 约束流的服务质量保证机制。

(7) 能量平衡。由于在 WMSNs 中的节点大部分采用的是电池供电,数量比较大,更换电池也比较困难,如果电池能量耗尽,节点就宣布死亡。因此,QoS 机制必须平衡各节点之间的能量消耗,避免部分节点因过度使用能量而死亡,导致网络使用寿命降低。

1.1.3 无线多媒体传感器网络的研究内容

目前,对于无线多媒体传感器网络的研究主要有以下几个方

面内容:

(1) WMSNs 体系结构。由于无线多媒体传感器网络中的节点需要协作才能够处理庞大而复杂的多媒体数据,因此需要设计出一个网络系统模型来协调节点之间的任务分配,将处理任务合理地分布到无线多媒体传感器节点上去,通过节点之间相互协作来完成多媒体信息获取、传递和处理的任任务。

(2) 低功耗硬件平台设计。以尽量小的功耗设计出能够感知、传输和处理图像、声音、视频等多媒体信息的传感器节点平台。

(3) 节能控制策略。WMSNs 要传输和处理庞大的多媒体信息,其能耗要比传统的 WSNs 大的多,因此研究如何节能、如何尽量延长 WMSNs 的生存时间成为 WMSNs 的一个重要性能指标。

(4) 网内信息处理。由于在无线多媒体传感器网络中传输和处理的是冗余度和时空相关度都很大的多媒体数据,如果不对这些数据进行压缩处理,必将造成能量的严重浪费。因此,为了延长网络的工作寿命,减少网络中传输的数据流量,有必要研究如何通过网内计算的方法来进行数据的压缩和协同处理。

(5) 高可靠 QoS 保障。QoS 是多媒体网络的一个重要特征。由于无线多媒体传感器网络的特殊性,使得其 QoS 保证具有更大的复杂性。因此,需要研究更有针对性的 QoS 保障体系,建立起各种 QoS 保证策略和定义更为具体的 QoS 需求参数。

(6) 信息安全保证。数据的安全性一直都是一个非常重要的问题,在无线多媒体传感器网络中,节点所拥有的资源有限,数据传输更容易受到干扰和破坏,如何在这样的网络中实现身份认证和数据加密任务,保证数据传输的安全性是一个非常重要的研究课题。

(7) 海量数据存储。WMSNs 中的每个传感节点采集的多媒体数据量都非常巨大,其中有些信息还要保存起来供用户使用。如何有效地将数据按照一定的策略存储在网络系统中,同样也是

一个非常重要的研究内容。

(8) 灵活的数据查询和检索。WMSNs 本身是非常庞大而且复杂的系统,有效数据可能被分散地存储在网络中的一些节点上,如何对用户屏蔽其复杂性,使用户可以方便地实现基于内容的查询和检索任务,也是一项非常有意义的研究任务。

1.1.4 无线多媒体传感器网络的服务质量需求

与有线网络相比,无线多媒体传感器网络的 QoS 需求具有更为特殊的要求,目前衡量 WMSNs 的 QoS 需求主要有如下几个因素:

(1) 系统寿命

系统寿命是指从无线多媒体传感器网络开始部署时算起,一直到网络不再满足用户服务质量需求为止的时间长度。系统寿命受到整个无线多媒体传感器网络能耗的影响,主要体现为:

① 节点进行数据操作所消耗的能量;

② 维护无线多媒体传感器网络中目的节点和源节点之间路由的能耗;

③ 网络拓扑发现和维护拓扑连通性的能耗;

④ 保障网络覆盖所消耗的能量;

⑤ 网内数据融合、模式匹配等数据处理所消耗的能量。

(2) 带宽

在无线多媒体传感器网络传输具有 QoS 保证的图像、声音、视频等多媒体信息对无线网络的带宽提出了更高的要求。

(3) 时延

多媒体信息和时间有着十分密切的关系,时间连续性和实时性是多媒体信息的重要特征。在 WMSNs 中,以事件为驱动的数据流对网络的时延提出了更高的要求,同样,多媒体信息对网络也有特殊的端到端的时延要求。无线多媒体传感器网络的端到端时

延主要由以下几个方面决定：

- ① 发送时延；
- ② 排队时延；
- ③ 处理时延。

(4) 响应时间

响应时间是指从用户开始查询到从无线多媒体传感器网络中收到响应的的时间。响应时间是发送时间和处理、排队时间之和。用户总是期望在最短的时间内得到查询结果。响应时间依赖于：

- ① 根据用户需求进行数据预处理的时间；
- ② 发送查询命令和查找数据的时间；
- ③ 数据从无线传感节点传送回 sink 节点的时间。

(5) 抖动

抖动是评价无线多媒体传感器网络传输实时业务质量的一个十分重要的指标,时延抖动对音频和视频等多媒体信息来说是一个至关重要的服务质量参数,时延抖动指标主要受到以下因素的影响：

- ① 网络数据传送能力；
- ② 中间转发节点的缓冲能力；
- ③ 并发服务用户数。

(6) 数据准确度

数据准确度是指无线多媒体传感器网络中的接收端恢复接收到数据的精确程度。数据准确性主要由以下几个因素决定：

- ① 数据丢包率和差错率；
- ② 感知数据本身的准确性；
- ③ 感知数据预处理的精确性；
- ④ 与感知数据相关的位置和时间的准确性；
- ⑤ 数据恢复的正确性。

1.1.5 无线多媒体传感器网络 QoS 路由的研究意义

本课题的研究得到了国家自然科学基金项目“长距离 WMSN 的矿井多媒体救灾通信系统基础理论研究”(No. 60972059)的资助,课题结合了无线多媒体传感器网络的理论前沿及其在煤矿井下的应用,针对具有不同数目源节点和目标节点的无线多媒体传感器网络,研究并设计了多种具有针对性的 QoS 路由算法。课题的选题具有较强的前瞻性和实用价值。

目前,国内外对无线多媒体传感器网络的 QoS 保证技术的研究还处于探索和实验阶段,相对有线网络,无线多媒体传感器网络具有以下一些特殊的性质,如网络的带宽相对较窄、节点之间的密度较大,网络采集的数据庞大而且复杂,资源严重受限,并且容易受到周围环境的影响,加上动态变化的网络拓扑结构,这些特殊性使得无线多媒体传感器网络的 QoS 问题变得更为复杂。因此,研究 QoS 保证技术对无线多媒体传感器网络的发展具有十分重要的意义。

无线多媒体传感器网络 QoS 保障的一个关键问题是流媒体数据路由选择的问题,它担负着将流媒体数据在一定的约束条件下正确地从源节点传送到目的节点的任务。与传统的无线传感器网络及有线网络相比,目前已经存在的和正在使用的 QoS 路由已经不能够满足无线多媒体传感器网络的要求,必须要针对 WMSNs 的特点研究出具有更好适用性的 QoS 路由机制。因此,研究无线多媒体传感器网络的 QoS 路由方法具有十分重要的意义。

1.2 国内外研究现状

随着多媒体应用和无线传感器网络的日益结合,无线多媒体传感器网络 QoS 路由已成为无线多媒体传感器网络 QoS 保障的