

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0972.2012.01.027

一种能量感知的无线多媒体传感器 网络多路径 QoS 路由协议

黄灿辉^{1*}, 余小华², 陈 瑛¹

(1. 华南师范大学 增城学院 计算机系, 广东 广州 511363;
2. 华南理工大学 广州学院, 广东 广州 510800)

摘 要:针对无线多媒体传感器网络对能量、时延和分组传输率的要求,提出了一种能量感知的多路径 QoS 路由协议,详细描述了能耗模型、邻居节点和路由发现机制。仿真实验表明,该算法相比传统协议可以降低时延和能耗,并提高分组传输率,从而延长网络生命周期。

关键词:无线多媒体传感器网络; 能耗; 多路径; 路由

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1003-0972(2012)01-0117-05

An Energy Aware Multipath QoS Routing Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks

HUANG Can-hui^{1*}, YU Xiao-hua², CHEN Ying¹

(1. Department of Computer Science, Zengcheng College of South China Normal University, Guangzhou 511363, China;
2. Guangzhou College of South China University of Technology, Guangzhou 510800, China)

Abstract: In view of the requirements of energy, delay and packet delivery ratio for wireless multimedia sensor network, an energy aware multipath QoS routing protocol (EAMQR) was put forward. This EAMQR includes a detailed description of the energy consumption model, neighbor nodes and routing discovery mechanism. The simulation experiments results show that EAMQR can reduce the end-to-end delay, energy consumption and improve the packet delivery ratio compared to the traditional protocol, and prolong the lifetime of wireless multimedia sensor network.

Key words: wireless multimedia sensor network; energy consumption; multipath; routing

0 引言

无线多媒体传感器网络(Wireless Multimedia Sensor Networks, WMSN)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、微型麦克风以及其他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 WSN 相比, WMSN 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,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^[1-2]。

一般来说,大多数的应用对带宽的需求不是很高,也容忍一定的延迟。但是目前低成本的硬件如 CMOS 摄像机和麦克风能够从各种环境中获取多媒体信息,比如视频流、音频流、图像、传感器数据等,这些促进了无线多媒体传感器网络的发展。随着硬件的快速发展和效率的提高,小型传感器可以装配到音频和视频信息收集模块中,比如轻量级 Cyclops 图像抓取器被安装在 MICA2 或

收稿日期:2011-08-17;修订日期:2011-09-15; * . 通讯联系人, E-mail: 15322233857@189.cn

基金项目:广东省科技计划项目(2007B010400068);华南师范大学增城学院科研项目(XJKT200919)

作者简介:黄灿辉(1974-)女,湖南宁乡人,讲师,研究方向:无线多媒体传感器网络。

者 MICAz 传感器上面^[3]。除了能够获取、处理和输出多媒体数据外, WMSN 也能够实时与其他异构的网络进行数据交互。

目前传感器能量的有效利用和最大化网络生命周期是 WMSN 大多数协议设计时主要考虑的研究方向, 而时延、吞吐率、丢包率和时延抖动仍然没有受到足够的重视。针对不同的应用, 传感器数据具有不同的属性, 比如有些应用对时延敏感和对数据要求高可靠性, 等等。这些属性我们通常指的是服务质量(Quality of Service, QoS)。实时性的传感器网络为了能充分利用网络资源和有效访问传感器一般要求协议具有能量感知的功能。能量感知的 QoS 路由研究是 WMSN 中重要的研究课题之一, 文献[4-5]有专门针对基于 QoS 的路由协议的综述。

由于 WMSN 资源受限的特点, 基于 QoS 的路由算法的研究是一个非常具有挑战性的工作。目前该问题已经得到广大专家学者的关注, 并提出了大量的建议方案。SAR^[6]是一个较早提出的具有 QoS 的路由协议, 其是一个多路径路由协议, 是基于能源、每条路径上的 QoS 和包优先级来确定路由的。从源节点到目的节点的多条路径构建在一棵树上, 在路径的构建过程中, 低 QoS 和低剩余能量的节点将会被忽略, 由此大部分节点应该都在树上。为了传送数据到 sink 节点, SAR 计算 QoS 和优先级的加权值来选择路径。应用多条路径可以增强错误容忍度。但是 SAR 协议需要在每个节点上维护路由表和 QoS 度量会产生较大的开销。

K. Akkaya 和 M. Younis 在文献[7]提出了一个基于簇的 QoS 感知路由协议, 该协议使用队列模型来处理实时和非实时的流量。该协议仅考虑端到端时延, 在每条链路上使用了一个开销函数并使用 K 最小开销路径算法来寻找最佳候选路由集合。每条路由都要核对端到端的约束并选择满足约束条件的路径发送数据。初始化的时候所有的节点都分配同样的带宽比例, 这样可以对另外要求高带宽比例的节点进行约束。此外, 端到端的延迟估算是没有将传输延迟考虑进去, 这样也许会导致选择不能满足端到端延迟的路径。

SPEED^[8]是另外一种提供软实时端到端保证的基于 QoS 的多路径路由协议。每个传感器节点维护邻居的信息并利用位置信息找出路径, 为了在要求时间内确保分组的传输, SPEED 在接入决

策前分段进行端到端时延的计算。此外, 在网络出现拥塞时 SPEED 能够提供拥塞避免的功能。虽说 SPEED 相比某些协议来说消耗更低的能量, 但是却没有能量感知的功能。SPEED 协议没有考虑任何的度量因素, 这会影响到协议的能耗。因此, 要研究 SPEED 的能效, 最好跟具有能量感知的路由协议进行比较。在文献[9]中, E. Felemban 等人设计了一个 MMSPEED 协议, 它不仅能够提供多种包传输速度的实时性服务, 也能够以多路径转发的方式确保服务的可靠性。QoS 的提供是通过局部方式来实现而不是全局网络信息, 虽然 MMSPEED 在 SPEED 的基础上加入了路由发现的可靠性并适应于大规模动态传感器网络, 但仍然有与 SPEED 同样的缺点。K. Akkaya 等人在文献[10]提出了一个能量感知的 QoS 路由协议, 该协议可以按照链路开销为实时数据找到一条最低开销、延迟受限的路径, 比如节点剩余能量、传输能量、错误率和另外一些通信参数, 此外, 也能够通过调整节点上实时和非实时数据的服务比例使得非实时的数据吞吐量最大化。但是该协议的主要问题是每个节点都需要全局的拓扑结构信息, 因此它不适应大规模的 WMSN。

本文提出了一种具有能量感知的 WMSN 多路径 QoS 路由协议(Energy Aware Multipath QoS Routing Algorithm for WMSN, EAMQR), 通过构建能耗模型, 能够在节点失效时恢复并在多跳路径上分配流量以达到降低、优化和平衡能耗。

1 EAMQR 协议设计

假定所有的节点随机分布在事先设定的环境中, 每个节点都具有唯一的 ID, 它们的初始能量是相同的, 所有节点通过 GPS 能够感知到自己的位置也能控制自己的能耗。节点也能知道自己的剩余能量以及在它们通信范围内其他节点的剩余能量。我们考虑到每个节点根据链路质量能够计算出数据包发送和接受的概率。路径稳定性的预测和决策由最近链路质量的信息来确定。

1.1 能耗模型

在 EAMQR 中, 能耗模型来自于文献[11], 在发送者和接受者之间使用了包括露天场所的能耗 d^2 和多路径通道的能耗 d^4 。因此传输 l 位长的数据包, 传输距离为 d 的能耗公式为:

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2 & d \leq d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d^4 & d > d_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中: d_0 表示距离的阈值, E_{elec} 表示激活发射要求的能量, ε_{fs} 和 ε_{mp} 分别表示在露天场所和多路径情况下传输一个比特时对传输信号进行放大所需要的能量.

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}}. \quad (2)$$

接受一个 l 位长的数据包所需要的能耗根据以下公式进行计算:

$$E_{Rx}(l) = lE_{elec}. \quad (3)$$

1.2 链路适用性

链路适用性用于在路由发现过程中节点选择某个邻居节点作为下一跳的转发节点. 假设 N_A 为节点 A 的邻接节点集合, 那么适用性包括包发送的概率(Probability of Packet Sending, PPS)、包接受平均概率(Average Probability of Packet Receiving, APPR)和 I_B (链路 A 和 B 之间的干扰), 表示为以下公式:

$$N_H = \max_{B \in N_A} \left\{ PPS_B + APPR_{N_B} + \frac{1}{I_B + \frac{E_{r,B}}{E_i}} \right\}, \quad (4)$$

这里 N_H 是下一跳被选择的节点; B 是下一跳节点; PPS_B 是节点 B 数据包发送概率, 各个节点 PPS 通过下面公式(5)进行计算; $APPR_{N_B}$ 是节点 B 所有邻居的数据包平均接受概率, 由公式(6)得到; I_B 是链路 A 和 B 之间的干扰, 本文中特指信噪比.

$$PPS = \frac{NSSP}{TNSP}, \quad (5)$$

其中 $NSSP$ 为成功发送包数(Number of Successful Sending Packets), $TNSP$ 为发送包总数(Total Number of Sending Packets),

$$APPR_{N_B} = \sum_{j=1}^{N_B} PPR_j. \quad (6)$$

1.3 路由发现机制

在多路径路由中, 除源节点和目的节点外没有相交节点的路径通常被优先选择, 因为这样可以最大化利用网络资源和最大的错误容忍. 假如在这些没有相交节点的路径上有节点失效, 那么仅仅包含该节点的路径受到影响, 而其他路由受到的影响非常有限. 路由发现机制可以分为以下步骤:

1) 当源节点 S 有数据要发送时, 首先发送一个探测包(Probing Packet, PP) 给单跳的邻接节点 N , 并启动计时器 T (源节点 S 的最大等待时间为

T_{max} , $T < T_{max}$), 源节点 S 等待发送真实的数据包;

2) 邻接点 N 收到探测包 PP 后, 假如节点 N 对该数据包感兴趣, 则检测自己是否有同样的数据包. 假如没有的话, 则发回一个确认包 REQ 给源节点 S , 节点 N 的属性如 ID、剩余能量等将添加到刚接受到的 PP 里面去, 然后节点 N 将改进后的 PP 包传送给它的下一跳邻接点并启动计时器 T . 假如节点 N 上有同样的探测包 PP, 则停止传送数据包.

3) 假如节点 N 在 T_{max} 内收到了节点的 REQ 信息, 这些节点将添加到路由表中, 假设在 T_{max} 内没有收到任何 REQ, 则停止传送数据包.

4) 节点 N 的下一跳节点重复步骤 2) 和步骤 3) .

5) 当改进后的 PP 包到达目的节点 D 后, 一个 REQ_Dest 包通过随机选择的路径发回到源节点 S .

6) 假如源节点 S 在 T_{max} 时刻内收到 REQ_Dest, 则选择较优的路径启动发送真实的数据包, 否则不发送.

源节点 S 在 T_{max} 内收到多个 REQ_Dest, 则到目的节点 D 有多条路径. 为了更快地将数据发出, 这时可将一个较大的数据包分成若干个编上序号的小数据包, 然后选择不同的较优路径发送出去. 为此, 源节点 S 根据 REQ_Dest 里的跳数对路径进行分类, 跳数最少的路径的编号最小, 跳数最多的路径的编号最大. 数据包的编号跟路径的编号相匹配. 如图 1 所示.

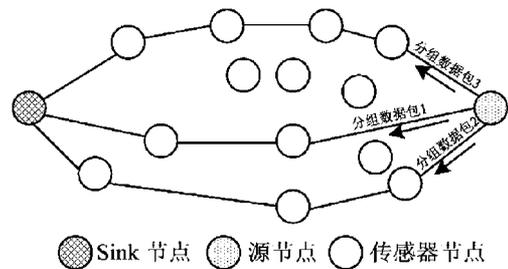


图 1 通过不同路径传输分组数据包

Fig. 1 Transmitting data packets through deferent way

2 仿真实验和性能评价

WMSN 的节点随机分布在 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 的区域内, Sink 节点位于坐标(490 90) 的固定位置上, 视频监控源节点放置在坐标(10 90) 的边缘位置上. 现在源节点要向 Sink 发送图像, 由 Sink 节点作进一步的处理或转发给控制中心. 将 EAMQR

在多跳网络拓扑结构中进行性能评价, 研究图像到达速率对端到端时延、分组传输率和能耗等方面的影响, 并将 EAMQR 跟 MMSPEED 协议进行比较. 具体的配置参数如表 1 所示.

表 1 仿真参数

Tab. 1 Simulation parameters

参数	值
网络规模	500 m × 500 m
Sink 节点数	1
源节点数	1
传感器节点数	200
图像数	100 images
图像大小	8 kB
分组大小	1 dB
子分组大小	0.25 kB
节点初始能量	100 joules
图像发送速率	1 image/s
节点最大传输范围	80 meters

2.1 平均端到端时延

平均端到端时延指的是源节点成功将数据传输到 Sink 节点所花费的时间. 图 2 显示了两种协议的平均时延比较. 在实验中, 随着每秒发送图像数的增大, 测量出端到端时延. 从实验结果可以看出, EAMQR 明显优于 MMSPEED 协议, 后者主要因为采用队列模型需要花费一定的开销, 前者在处理图像等实时性数据时具有较好的性能.

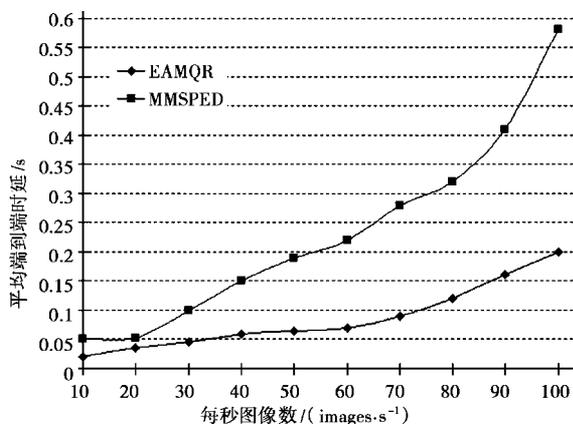


图 2 平均端到端时延

Fig. 2 Average end-to-end delay

2.2 分组传输率

分组传输率是源节点发出的数据包数量与目的节点接收到的数据包数量之比. 实验结果如图 3 所示, 很明显 EAMQR 要胜过 MMSPEED, 这是因为针对个别链路失效的情况, EAMQR 能够很好地

将数据发送到其他的路径上进行传输.

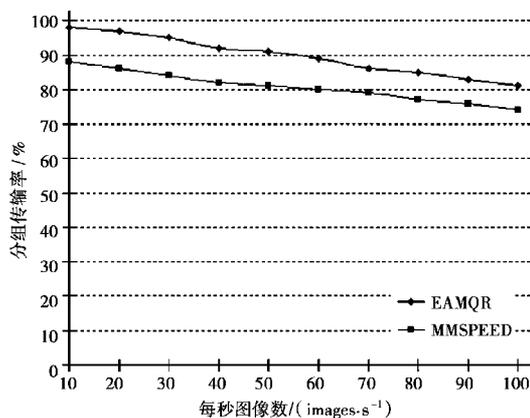


图 3 分组传输率

Fig. 3 Packet transfer rate

2.3 平均能耗

平均能耗是指参与数据传输的所有节点平均消耗的能量. 图 4 显示了实验的结果, EAMQR 根据链路适用性的原理能够非常快地从链路失效中恢复过来并重构数据, 而 MMSPEED 采用重传机制恢复丢失的数据, 从而导致能耗的增大.

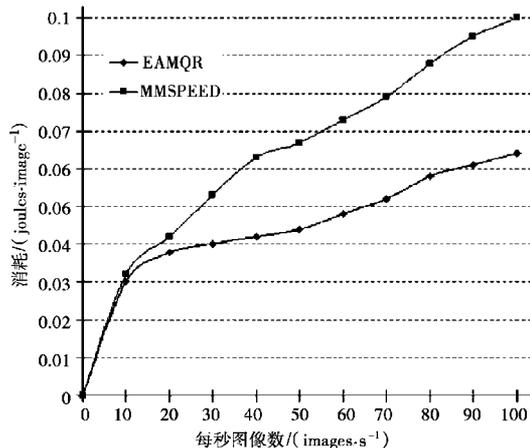


图 4 平均能耗

Fig. 4 Average energy consumption

3 结语

本文提出了应用于无线多媒体传感器网络的具有能量感知的多路径 QoS 路由算法. 实验结果表明, EAMQR 在端到端时延、分组传输率和能耗方面比 MMSPEED 具有较大的优势, 能够提高网络可靠性、延长网络的生命周期. 我们以后将深入分析 EAMQR 协议的性能以及时延抖动、节点失效、网络规模、缓存等参数对协议的影响作用.

参考文献:

- [1] 马华东,陶丹. 多媒体传感器网络及其进展[J]. 软件学报 2006,17(9):2013-2028.
- [2] 罗武胜,翟永平,鲁琴. 无线多媒体传感器网络研究[J]. 电子与信息学报 2008,30(20):1511-1516.
- [3] Ian F A, Tommaso M, Kaushik R C. *Wireless multimedia sensor network: a survey* [J]. IEEE Wireless Communications, 2007, 14(6): 32-39.
- [4] Kemal A, Mohamed Y. *A survey on routing for wireless sensor networks* [J]. Journal of Ad Hoc Networks, 2005, 3(3): 325-349.
- [5] Chen D, Varshney P K. *QoS support in wireless sensor networks: a survey* [C] // Proc of International Conference on Wireless Networks. Bgart: CSREA Press 2004: 227-233.
- [6] Sohrabi K, Pottie J. *Protocols for self-organization of a wireless sensor network* [J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5): 16-27.
- [7] Akkaya K, Younis M. *An energy aware QoS routing protocol for wireless sensor networks* [C] // Proceedings of the MWN, Providence 2003: 710-715.
- [8] He T, Stankovic J A, Lu C Y et al. *SPEED: a stateless protocol for real-time communication in sensor networks* [C] // 23rd Proceedings of the International Conference on Distributed Computing Systems, Providence, RI 2003: 46-55.
- [9] Felemban E, Lee C, Ekici E. *MMSPEED: Multipath multi-SPEED protocol for QoS guarantee of reliability and timeliness in wireless sensor networks* [J]. IEEE Trans Mobile Comput, 2006, 5(6): 738-754.
- [10] Akkaya K, Younis M. *Energy and QoS aware routing in wireless sensor networks* [J]. Springer Cluster Computing Journal, 2005, 8(2/3): 179-188.
- [11] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. *Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks* [C] // Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.

责任编辑:郭红建