

基于蚁群优化的无线多媒体传感网络 QoS 路由算法*

黄 鹏, 张 娜

(西昌学院 汽车与工程学院, 四川 西昌 615000)

【摘 要】介绍一种基于蚁群算法的无线多媒体传感器网络 WMSNs 的 QoS 路由算法。本文在分析了 WMSNs 的 QoS 路由模型的基础上, 设计了基于蚁群算法的 QoS 路由算法, 并对节点排队模型进行了分析。仿真结果表明, 采用该算法时, 在满足网络 QoS 参数需求的前提下, 节点平均寿命和数据包延迟要优于传统的 DD 算法。

【关键词】无线多媒体传感器网络; 蚁群算法(ACO); 路由; 排队论

【中图分类号】TP212.9; TN929.5 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2012)04-0055-03

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)是部署在观测环境中的大量的微型廉价低功耗的传感器节点, 通过多跳的通信方式组成的网络系统^[1]。而无线多媒体传感网络(Wireless Multimedia Sensor Networks, WMSNs)是在无线传感器网络基础上融入视频、音频和图像等信息感知能力的一种新型传感器网络^[2]。WMSNs 有巨大的应用价值, 可用于环境监测、安全监控、交通监控, 智能家居、医疗卫生等领域^[3-5], 但传统的 WSNs 路由协议不能满足 WMSNs 的需求, 因此国内外对多媒体无线传感器网络开展了广泛的研究^[6]。在无线传感器网络中, 由于网络拓扑动态变化, 网络带宽严重受限等因素, 使 QoS 路由的实现具有更大的难度。为此, 本文设计了一种基于蚁群优化算法的性能较好的满足 QoS 路由算法。

1 WMSNs 的 QoS 路由模型分析

为了方便分析, 可以将 WMSNs 抽象为一个无向带权连通图。设 $G=(V, E)$ 表示网络, 其中 V 表示网络点集, E 表示双向链路集。令 R_+ 表示正实数集, R^+ 表示非负实数集。

对任意链路 $e \in E$, 定义时延函数: $delay(e): E \rightarrow R_+$, 延时抖动函数: $delay_jitter(e): E \rightarrow R^+$ 、带宽函数: $bandwidth(e): E \rightarrow R_+$ 和费用函数: $cost(e): E \rightarrow R_+$ 。

对任意节点也定义时延函数: $delay(n): V \rightarrow R_+$ 、费用函数: $cost(e): V \rightarrow R_+$ 、延时抖动函数: $delay_jitter(n): V \rightarrow R^+$ 和包丢失率函数: $packetloss(n): V \rightarrow R^+$ 4 种度量。

进行 QoS 路由的结果就是要找到满足以下约束条件:

- (1) 延时约束: $delay(P(s, d)) \leq D$
- (2) 带宽约束: $bandwidth(P(s, d)) \geq B$

(3) 延时抖动约束: $delay_jitter(P(s, d)) \leq DJ$

(4) 包丢失约束: $packetloss(P(s, d)) \leq PL$

(5) 费用约束: 满足上述条件的路径中 $cost(P(s, d))$ 最小。

其中 B, D, DJ 和 PL 分别是路径 $P(s, d)$ 的带宽、延时、延时抖动和包丢失率约束。

2 基于蚁群算法的 QoS 路由设计

笔者使用与文献^[7-8]类似的方法, 将人工蚂蚁分为前向蚂蚁和后向蚂蚁。前向蚂蚁在从源节点到终节点移动的过程中, 收集有关网络状态的信息, 而返回的蚂蚁使用这些信息来更新它们从终节点返回源节点的过程中所访问过的路线的信息素轨迹。

当传感器节点有数据需要发送至 sink 节点时, 需要使用人工蚂蚁进行路由探测。一只位于节点的前向蚂蚁转移到下一个节点时, 先根据 QoS 路由的约束条件的(1)~(4)进行路径筛选, 将不符合 QoS 约束的下一跳节点删去, 然后再由蚁群系统状态转移规则选择下一跳节点:

$$S = \begin{cases} \arg \max_{u \in allowed_k} \{[\tau(r, u)]^\alpha \cdot [\eta(r, u)]^\beta\} & \text{如果 } q \leq q_0 \text{ 按先验知识选择路径} \\ S & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{其中, } S = \begin{cases} \frac{\tau_{ru}^\alpha(t) \cdot \eta_{ru}^\beta(t)}{\sum_{n \in allowed_k} \tau_{rn}^\alpha(t) \cdot \eta_{rn}^\beta(t)}, & u \in allowed_k \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (2)$$

$$\eta_{ru}(t) = \frac{K_1}{T_d} + K_2 E_u \quad (3)$$

q 是在 $[0, 1]$ 区间均匀分布的随机数, q_0 是一参数 ($0 < q_0 < 1$), q_0 的大小决定了利用先验知识与探索新路径之间的相对重要性, 每当前向蚂蚁选择下一跳节点时, 它选取一个随机数 $0 < q < 1$ 。如果 $q \leq q_0$, 则根据先验知识进行选择, 否则按(2)式进行选择下

收稿日期: 2012-08-11

*基金项目: 西昌学院自然科学基金(项目编号: YJSSA0707)。

作者简介: 黄鹏(1982-)男, 硕士, 讲师, 研究方向: 容延迟网络、无线传感器网络。

一跳节点。 $\tau_{ru}(t)$ 表示在 t 时刻路径 ru 上的信息素浓度值, $\eta_{ru}(t)$ 为时刻路径 ru 上的启发函数值。 K_1 和 K_2 为权重系数, $K_1 + K_2 = 1$ 。 T_{di} 为链路延迟, E_u 为节点 u 剩余能量。

当前向蚂蚁到达目的地之后,目的节点根据前向蚂蚁产生后向蚂蚁,并沿该前向蚂蚁的路径逆向返回源节点。在后向蚂蚁在返回过程中,使用带精英策略的后向蚂蚁更新路径上节点的信息素。在 $t + 1$ 时刻,路径 ru 上的信息素更新规则为:

$$\tau_{ru}(t+1) = \rho \cdot \tau_{ru}(t) + \Delta\tau_{ru} + \Delta\tau_{ru}^* \quad (4)$$

$$\text{其中, } \Delta\tau_{ru} = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{如果边 } ru \text{ 在路径 } k \text{ 上} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

$$L_k = K_3 \cdot \sum_{i \in k} T_{di} + \sum_{i \in k} \frac{K_4}{E_i} + K_5 \cdot hops \quad (6)$$

$$\Delta\tau_{ru}^* = \begin{cases} \frac{Q}{L_j}, & \text{如果边 } ru \text{ 在最优路径 } j \text{ 上} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{cost} = K_3 \cdot \sum_{i \in k} T_{di} + \sum_{i \in k} \frac{K_4}{E_i} + K_5 \cdot hops \quad (8)$$

ρ 为信息素的衰减系数,且 $0 < \rho < 1$ 。 $\Delta\tau_{ru}$ 为信息素增加量, $\Delta\tau_{ru}^*$ 为精英蚂蚁所带来的信息素增加量。 Q 为一常量。 $\sum_{i \in k} T_{di}$ 为路径上节点延迟总和, $\sum_{i \in k} E_i$ 为路径上 k 点剩余节点能量总和。 $hops$ 为路径的总跳数。 L_j 为最优路径, K_3, K_4, K_5 为权重系数。

当后向蚂蚁返回后,计算所有蚂蚁的费用目标函数 cost , 选择最小的 cost 为最优路径。删除后向蚂蚁后,调用全局更新规则更新链路上的信息素浓度^[9]。

3 节点排队模型分析

由于 WMSNs 传输的是多媒体数据,可以假设其节点具有较大的缓存空间。假设节点缓存容量无限大,数据包到达节点的速率服从强度为 λ 的泊松过程。当节点转发数据包时,设 n 表示成功转发一个数据包的周期数,那么 n 显然服从一个参数为 p_f 的几何分布,也就是说前 $n - 1$ 个周期没有将该数据包转发出去,恰好在第 n 个周期将数据包转发出去,即:

$$p(t = n) = (1 - p_f)^{n-1} p_f \quad (9)$$

那么第 n 个周期成功转发该数据包概率可以写成这样的形式:

$$p(t \leq n) = 1 - e^{-\mu n} \quad (10)$$

$$\text{其中, } \mu = -\ln(1 - p_f) \quad (11)$$

那么数据包在节点缓存中被转发的时间服从参数为 μ 的指数分布。为方便分析,令 $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$, 则数据包在节点缓存中的排队模型为 $M/M/1/\infty$, 由排队论^[10]可以得到稳态时,节点中的平均队列长度为:

$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (12)$$

根据 Little 公式^[11], 可以得出数据包在节点的平均等待时间为:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (13)$$

显然, 当一个数据包从被采集开始直到成功投递到 Sink 节点的平均投递延迟可以表示为:

$$\text{Delay} = \sum_{i=1}^N W_{qi} \quad (14)$$

4 仿真实验与分析

本文使用 C++ 语言建立仿真环境。在 200×200 的二维空间里随机分布 100 个无线多媒体传感器。每个节点初始电量为 1000mAh, 接收一个数据包所消耗的电量为 1mAh, 发送一个数据包所消耗的电量为 2mAh。将本文算法与 DD 算法^[12]进行仿真对比, 仿真结果如图 1 和图 2 所示。

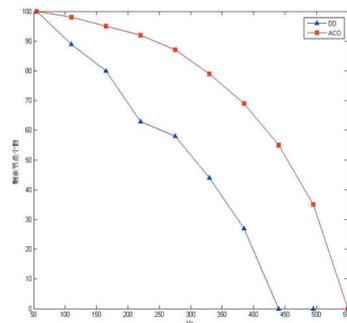


图1 网络中节点个数随仿真时间变

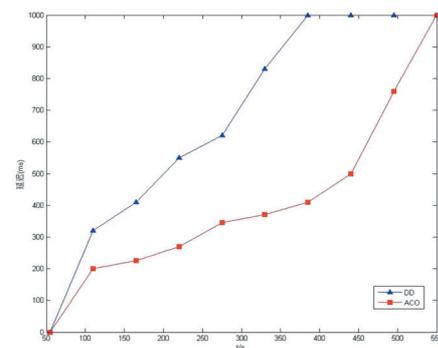


图2 数据投递延迟

由图1可知,采用蚁群路由算法(ACO)的WMSNs生命周期比DD算法要长,这是因为DD算法是一种基于局部最优的贪婪算法,从而导致了节点能量消耗的不均匀,造成网络中节点的快速死亡。采用蚁群路由算法的节点能量消耗较为均匀,这是因为在算法中考虑了节点的剩余能量。由图2可知,采用ACO路由算法数据包的延迟要优于DD路由算法。这是由于ACO路由算法是基于概率的路由算法,在源和目的节点之间有多条冗余的路径,减轻了网络的拥塞程度。

5 结论

本文研究了无线传感器网络的网络模型及QoS指标,提出了一个基于ACO算法的多参数约束的路由算法,从而满足多媒体传感器网络对QoS参数的需求。该算法在保证约束条件下,采用延迟和能量两个参数来决定选择作为该节点下一跳节点的概率。但是由于蚁群算法自身的特点,在大规模网络中的收敛性和算法的复杂性是值得研究的问题。将来的工作,应进一步扩展蚁群优化算法与其它技术的融合,以改善其性能。

注释及参考文献:

- [1] Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, 2002,38(4): 393-422.
- [2] E. Gurses, O.B. Akan, Multimedia communication in wireless sensor networks, *Ann. Telecommun.* 60 (7-8) (2005) 799-827.
- [3] Holman R, Stanley J, and Ozkan-Haller T. Applying video sensor networks to nearshore environment monitoring. *IEEE Trans. on Pervasive Computing*, 2003, 2(4): 14-21.
- [4] Reeves A A. Remote monitoring of patients suffering from early symptoms of dementia. *Intl. Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, London, UK, April 2005: 21-23.
- [5] Hu F and Kumar S. Multimedia query with QoS considerations for wireless sensor networks in telemedicine. *Proc. of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers Intl. Conf. on Internet Multimedia Management Systems*, Orlando, FL, September 2003: 21-30.
- [6] 马华东, 陶丹. 多媒体传感器网络及其研究进展[J]. *软件学报*, 2006, 17(9): 2013-2028.
- [7] R van der Put. Routing in the Fax factory Using Mobile Agents. Technical Report R&D-SW-98-276, KPN Research, 1998
- [8] R van der Put and L. Rothkrantz. Routing in Packet Switched Networks Using Agents. *Simulation Practice and Theory*, 1999
- [9] 刘枫. 无线mesh网中基于蚁群算法的多约束QoS路由研究[D]. 湖南师范大学, 2008.
- [10] 官建成. 随机服务过程及其在管理中的应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1994.
- [11] Agrawal D P. Introduction to wireless and mobile system [M]. 2nd ed. Stanford, USA: Cengage Learning, 2003.
- [12] C. Intanagonwivat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, Directed diffusion for wireless sensor networking, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 11(1) 2003:2-16.

QoS Routing Algorithm of Wireless Multimedia Sensor networks Based on ACO

HUANG Peng, ZHANG Na

(School of Automotive and Electronic Engineering, Xichang College, Xichang, Sichuan 615000)

Abstract: A QoS routing algorithm of wireless multimedia sensor networks based on ACO is introduced. The ACO based QoS routing algorithm is designed on the basis of WMSNs QoS routing model and the queuing model of node is analyzed. Simulation results show that the algorithm has better performances than DD algorithm in lifetime and data delay when meeting the QoS requirements.

Keywords: Wireless multimedia sensor networks; Ant Colony Optimization (ACO); Routing; Queuing theory