

Ad Hoc 网络中的 QoS-Aware 多目标优化路由协议

耿 蓉, 李 吉吉, 徐 晓
(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 对 Ad hoc 网络中的 QoS 保证进行研究, 针对现有的 QoS 路由协议没有考虑节点负荷、节点碰撞等本地信息, 提出了一个在 Ad hoc 网络中提供 QoS 的路由协议——QoS-Aware 多目标优化路由协议 (QMOR)。该协议把 QoS 请求——带宽作为接入控制的参数, 路由发现和路由维护算法是 DSR 协议的扩展, 在目的节点利用多目标优化算法进行选路, 算法的优化参数包括路径时延、缓冲区中已存包的长度和重传数目。通过仿真, 结果显示了 QMOR 协议无论在静态网络和动态网络, 都有比 DSR 协议更好的性能。

关 键 词: Ad hoc 网络; QoS-Aware; 路由; DSR; 多目标优化

中图分类号: TP 393 文献标识码: A 文章编号: 1005-3026(2007) 07-0982-03

QoS-Aware Multi-objective Optimization Routing Protocol in Ad Hoc Networks

GENG Rong, LI Zhe, XU Xiao
(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China.
Correspondent: LI Zhe, E-mail: lizhe@mail.neu.edu.cn)

Abstract: The issue of providing QoS in Ad hoc networks was studied. Aiming at existing QoS routing protocols taking no account of the local information such as node load and node collision, the QMOR (QoS-Aware multi-objective optimization routing) protocol is proposed to provide QoS in Ad hoc network, which takes QoS requirement—bandwidth as the parameter of access control, and the algorithm of route discovery/maintenance is just extension of DSR protocol. The routing selection is carried out at the destination node with multi-objective optimization algorithm of which the optimization parameters include path delay, the length of existing packets in buffer and number of retransmissions. Results of simulation showed that the QMOR protocol has better performance than DSR protocol in either static topology or dynamic topology.

Key words: Ad hoc network; QoS-Aware; routing; DSR (dynamic source routing); multi-objective optimization

在 Ad hoc 网络^[1]中提供 QoS^[2]是一个极具挑战性的问题, 其主要原因包括不可靠的无线介质、共享带宽受限、分布式控制以及由于网络节点的移动性而引起的网络拓扑动态变化等^[3]。近年来的一些研究工作已经开始关注在 Ad hoc 网络中提供 QoS 的问题, 提出了一些用于 Ad hoc 网络的 QoS 路由协议, 例如 CEDAR^[4], TBP^[5], QoS-MSR^[6], ABR^[7]等。但是这些协议都没有考虑节点负荷、包碰撞等多方面对 QoS 路由的影响。

本文针对 Ad hoc 网络的特点和应用需求, 在综合考虑 IEEE 802.11 MAC^[8]的广泛应用及其对路由影响的基础上, 提出了一种基于本地信息的 QoS 路由优化协议 QMOR (QoS-Aware multi-objective optimization routing protocol)。该协议主要把带宽作为 QoS 参数, 通过由修改过的 IEEE 802.11 MAC 协议周期计算节点本地信息 (本地可用带宽、缓冲区中已存包的长度、时延和重传次数), 在把 QoS 请求——带宽作为接入控制的基

础上,利用节点的其他本地信息更新路由请求分组。目的节点在多条可行路径中应用多目标优化算法选择最有效路径。该协议使用源路由,中间节点不允许从缓存中提取信息直接回复路由请求分组(RREQ)。在目的节点利用多目标优化算法进行选路。协议的路由发现和路由维护算法是 DSR^[9]协议的扩展。

1 网络模型

移动 Ad hoc 网抽象为一个有向图模型 $G(V, E)$, 其中, V 为移动节点的有限集; E 为节点间能够互相通信的双向链路的有限集。每个移动节点具有全网惟一的 ID, 并且可以任意移动。每个移动节点根据无线信号传播模型具有大小为 r 的传播半径。节点 i 的信息还包括: 本地可用带宽 B_a , 缓冲区中已存包的长度 B_l , 重传数目 R_n 。从源节点 $i \in V$ 到目的节点 $j \in V$ 的路径 $p(i, j)$ 是由没有环路的中间节点 m 组成的序列。路径 $p(i, j)$ 的时延 $D(i, j)$ 为从源节点 i 发包开始到目的节点 j 收到该包的时间差。

2 本地可用带宽的计算

在协议中,把 QoS 请求-带宽作为接入控制的参数,以保证路径 $p(i, j)$ 上的各个节点都具有符合 QoS 要求的带宽,为此需要计算从源端到目的端的中间节点的本地可用带宽。本文使用文献[10]中的方法来计算节点的本地可用带宽。在 T 秒的采样时间内监测信道忙时间 T_b , 这样,节点的本地可用带宽由式(1)估算出来。

$$B_a = (1 - T_b/T) \cdot B_c \tag{1}$$

3 QoS-Aware 多目标优化路由协议 QMOR

3.1 路由发现过程

当源节点有数据要向目的节点发送时,向网络泛洪 RREQ 发起路由发现过程。该请求分组是 DSR 路由请求分组 RREQ 的扩展。其具体定义见表 1。本协议使用 Source ID 和 Request ID 来惟一标识 RREQ 分组。当中间节点(惟一的 ID 号为 $\langle \text{this ID} \rangle$)收到一个 RREQ 分组后,根据 Source ID 和 Request ID 来判断是否已经收到过该分组。如果该分组是一个重复分组,或不是重复分组但到达该节点的跳数等于最大跳数限制 Max propagation 或者该中间节点已经在路由记录 Route record 中,该 RREQ 分组将被丢弃,否则中间节点将使用式(1)的计算方法来计算节点本地

可用带宽,如果可用带宽不满足 QoS constraint,这个 RREQ 分组将被丢弃。

表 1 QMOR 协议中的 RREQ 分组域的定义
Table 1 Definitions of RREQ packet fields in QMOR protocol

域 名	定 义
Source ID	源节点 ID 号
Request ID	路由请求序列号,由源节点设置
Destination ID	目的节点 ID 号
QoS constraint	QoS 请求信息,这里主要是带宽的要求
Delay	延迟(初始化为源节点发送 RREQ 分组的时间)
Buffer length	缓冲区中已存包的长度
Retry number	重传次数
Route record	路由记录,从源节点到目的节点所经过的节点序列
Max propagation	最大跳数限制

如果中间节点没有丢弃该 RREQ 分组,将监测到的缓冲区已存包长度 B_l 应用本次路由的历史最大值归一化成 B_l^u ,与 RREQ 分组中的 Buffer length 相比,若前者大于后者,则将 RREQ 分组中的 $\langle \text{Buffer length} \rangle$ 域值替换成 B_l^u 值。对分组中的 $\langle \text{Retry number} \rangle$ 也是同样的处理。最后中间节点将自己添加到路由记录 Route record 中,并将该 RREQ 分组以泛洪的方式发送出去。

3.2 路由选择过程

目的节点在等待 RREQ-WAIT 时间内,将收到多个 RREQ 分组,并根据当前时间,更新 RREQ 包中的 $\langle \text{Delay} \rangle$,得到该路径的时延。应用多目标优化算法在这多个 RREQ 分组中选择最优路径,优化参数是时延、缓冲区中已存包的长度、重传次数。多目标优化问题的求解有许多种方法,本文以平方和加权法为例开始路由选择过程。

平方和加权法就是先求出各单目标问题 $(P_j) \begin{cases} \min f_j(x), \\ \text{s.t. } g_i(x) \geq 0, i = 1, 2, \dots, m. \end{cases}$ 最优值的下界 f_j^0 (期望的最好值)。这里,设 $f_1(x) = \langle \text{Delay} \rangle$, $f_2(x) = \langle \text{Buffer length} \rangle$, $f_3(x) = \langle \text{Retry number} \rangle$ 。令评价函数 $h(F) = \sum_{j=1}^3 \lambda_j (f_j(x) - f_j^0)^2$, 其中 $\lambda_1 = 0.2, \lambda_2 = 0.4, \lambda_3 = 0.4$ 。

最后求出 $\min h(F(x)), \text{s.t. } g_i(x) \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$ 的最优解 x^* 。

目的节点利用平方加权法找出具有最优解 x^* 的 RREQ 分组,解析该分组得到最优路径,并通过该路径发送路由应答分组(RREP)。RREP 的结构与 DSR 的 RREP 相同。当源节点收到 RREP

后,路由发现过程结束,通信可以开始。

3.3 路由维护过程

QMOR 协议的路由维护过程与 DSR 协议路由维护过程相同,即当中间节点检测到通往目的节点的下一跳链路中断时,它将从自己的路由缓存中移去包含该链路的路由并向源节点返回一个路由出错分组(RRER)。源节点收到路由出错分组后,触发一次新的路由发现过程。

4 仿真试验

用 NS-2^[10] 来测试 QMOR 路由协议的性能。使用修改的 IEEE802.11MAC 协议,具有 2Mb/s 的信道传输速率;节点的传输范围是 250 m;数据传输用的是恒定比特流(CBR)。在本文的仿真中

包大小设为 512 B。在模拟中采用自由空间模型,30 个节点随机地分布在 1 000 m × 1 000 m 的矩形区域内。通过改变 5 条数据流的发送率,从而模拟不同的负载情况。仿真时间是 300 s,分别在静态网络和动态网络仿真该协议的性能,并把 QMOR 协议和传统的没有 QoS 保证的 DSR 协议相比较。在性能方面,主要着眼于端到端的吞吐量、分组转发率、以及路由开销。通过在 5 个不同场景下平均得到的静态网络仿真结果如图 1 所示。

引入节点的移动来考虑在动态的环境下 QMOR 协议和 DSR 协议的性能。节点的最大运动速度是 10 m/s,通过使用停顿时间为 2s 来体现网络拓扑结构的不断变化。通过在 5 个不同场景下平均得到的动态网络仿真结果如图 2 所示。

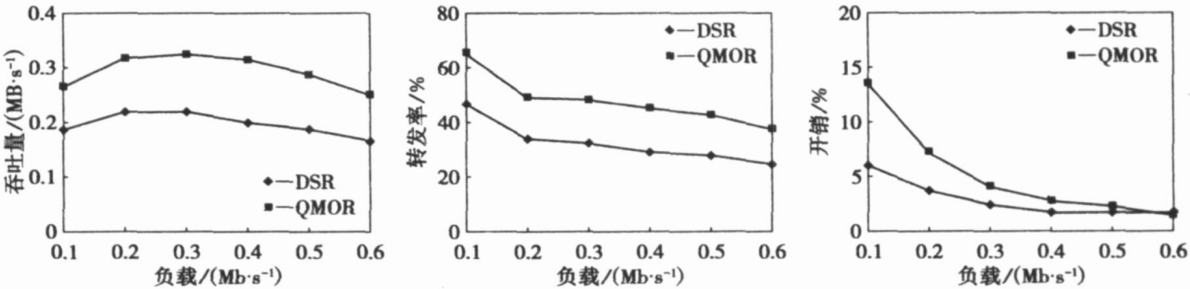


图 1 静态拓扑的仿真结果
Fig.1 Simulation results of static topology
(a) —吞吐量; (b) —分组转发率; (c) —开销。

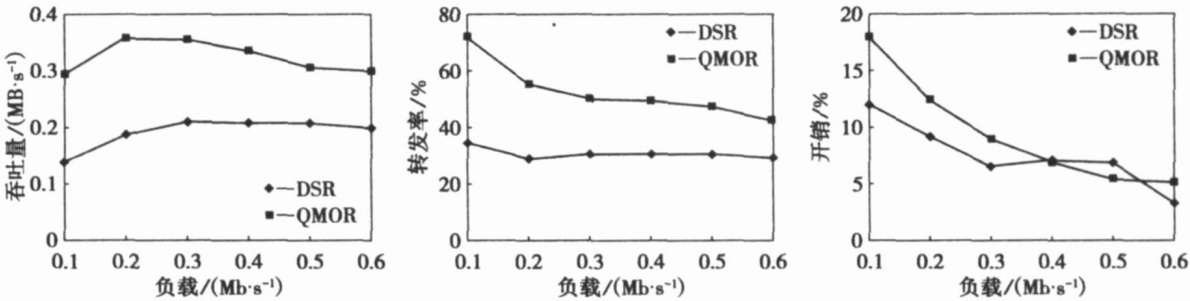


图 2 动态拓扑的仿真结果
Fig.2 Simulation results of dynamic topology
(a) —吞吐量; (b) —分组转发率; (c) —开销。

5 结 语

针对 Ad hoc 网络的特点,本文提出了 QoS-Aware 多目标优化路由协议——QMOR,该协议应用多目标优化算法来选择路径,同时考虑了对业务的 QoS 的保证。仿真结果表明:无论该协议应用在静态网络或动态网络,与没有 QoS 保证的 DSR 协议相比,大大提高了吞吐量和分组转发率。在低负载的情况,使用 DSR 协议的网络的开销比使用 QMOR 协议的网络小,而随着负载的增加,两者趋于一致。

参考文献:

[1] Ramanathan R, Redi J. A brief overview of ad hoc networks challenges and directions [J]. *IEEE Communication Magazine*, 2002, 40(5): 20– 22.

[2] Satyabrata C, Amitabh M. QoS issue in ad hoc wireless networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2001, 39(2): 142– 148.

[3] 于宏毅. 无线移动自组织网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 301– 302.

(Yu Hong-yi. Wireless mobile ad hoc networks[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2005: 301– 302.)

(下转第 1001 页)

面上的宏观偏析。

参考文献:

[1] Dawood A A. Improving horizontal direct chill casting[C] // International Symposium on Aluminum Cast House Technology Proceedings. Warrendale: Minerals, Metals & Materials Soc(TMS), 2001: 275– 283.

[2] Hertwich G, Loh L T. Hertwich horizontal DC casting[C] // Proceedings of the 4th Australasian Asian Pacific Conference on Aluminum Cast House Technology. Warrendale: Minerals, Metals & Materials Soc (TMS), 1995: 335– 343.

[3] Wertli T P. Horizontal continuous casting technology in the eighties[J]. *Metallurgia*, 1986, 53(5): 192– 194.

[4] Getselev Z N. Casting in an electromagnetic field [J]. *Journal of Metals*, 1971, 23(10): 38– 39.

[5] Viv s C, Ricou R. Experimental study of continuous electromagnetic casting of aluminum alloys [J]. *Metallurgical Transactions B*, 1985, 16B(6): 377– 384.

[6] Meyer J L, Szekely J, Elkaddah N. Comprehensive study of the induced current, the electromagnetic force field, and the velocity field in a complex electromagnetically driven flow system[J]. *Metallurgical Transactions B*, 1987, 18B(3): 529– 538.

[7] Viv s C. Electromagnetic refining of aluminum alloys by the CREM process, part iv: working principle and metallurgical results[J]. *Metallurgical Transactions B*, 1989, 20B(8): 623– 629.

[8] Viv s C. Electromagnetic refining of aluminum alloys by the CREM process, part ⑤: specific practical problems and their solutions[J]. *Metallurgical Transactions B*, 1989, 20B(8): 631– 643.

[9] Zhang B J, Cui J Z, Lu G M. Effects of electromagnetic field on macrosegregation of continuous casting 7075 alloy [J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2003, 13(1): 158– 161.

[10] 张勤, 崔建忠, 路贵民, 等. 电磁半连铸液穴形状随磁场强度的变化规律[J] • 东北大学学报: 自然科学版, 2002, 23 (6): 566– 568.
(Zhang Qin, Cui Jian-zhong, Lu Gui-min, et al. Experimental investigation on evolution of sump shape with electromagnetic intensity on the process of semi-continuous casting[J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2002, 23(6): 566– 568.)

(上接第 984 页)

[4] Sivakumar R, Sinha P, Bharghavan V. CEDAR: a core extraction distributed ad hoc routing algorithm[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1999, 17(8): 1454– 1465.

[5] Chen S, Nahrstedt K. Distributed quality-of-service routing in ad hoc networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1999, 17(8): 1488– 1505.

[6] Wang L, Shu Y T, Dong M, et al. Adaptive multipath source routing in wireless ad hoc networks[C] // Proc IEEE Conference on Communication (ICC). Helsinki: [s. n.], 2001: 867– 871.

[7] Toh C K. Associativity-based routing for ad hoc mobile networks[J]. *Wireless Personal Communications*, 1997, 4 (3): 103– 139.

[8] IEEE. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification[EB/ OL]. [1999-01-01]. <http://www.csse.uwa.edu.au/adhocnets/802.11-1999.pdf>.

[9] Johnson D B, Malz D A, Yi H Chun H. The dynamic source routing in ad hoc wireless networks[EB/ OL]. [2003– 04– 15]. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-09.txt>.

[10] Chakeres I D, Belding-Royer E M. PAC: perceptive admission control for mobile wireless networks[C] // Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks. Piscataway: IEEE Press, 2004: 18– 26.