

文章编号:1007-5321(2010)04-0054-05

# 路径质量感知的 MANET 自适应 Internet 接入策略

庄琳, 刘元安, 刘凯明, 翟临博, 赵传强, 彭琦

(北京邮电大学 电子工程学院, 北京 100876)

**摘要:** 提出了一种跨层设计及路径质量感知的移动自组网(MANET)自适应 Internet 接入策略. 综合考虑网络剩余带宽、投递率以及节点负载等因素,设计一种综合多目标性能参数的路由判据,均衡网络负载,满足互联时多媒体业务的服务质量需求. 同时,根据网关负载和网络拓扑情况自适应调整网关通告的广播范围和发送间隔,实现网关的最佳覆盖. 仿真结果表明,该算法能有效提高网络的互联性能,并保持合理的控制开销.

**关键词:** 移动自组网; 跨层设计; 路径质量; 自适应; Internet 接入

中图分类号: TP393

文献标志码: A

## Path Quality Based Internet Access Scheme for Mobile Ad Hoc Network

ZHUANG Lin, LIU Yuan-an, LIU Kai-ming, ZHAI Lin-bo,

ZHAO Chuan-qiang, PENG Qi

(School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** A cross-layer design and path quality based adaptive scheme for mobile Ad hoc network accessing Internet is proposed. The proposed scheme adopts an integrated metric taking into account the combination of residual bandwidth, packet delivery ratio and node load to meet the needs of quality of service requirement of multimedia traffic transmissions. Furthermore, an adaptive algorithm is proposed to provide the best coverage of gateway advertisement according to dynamically adjusting broadcast range and sending interval of gateway advertisement messages in terms of gateway load and network topology. Simulations show that the proposed algorithm can effectively improve Internet connectivity performance with reasonable control overhead.

**Key words:** mobile Ad hoc network; cross-layer design; path quality; adaptive; Internet access

移动自组网<sup>[1]</sup> (MANET, mobile Ad hoc network)实时业务需求的增加和移动终端技术的发展,使得 MANET 与 Internet 异构网络互联逐渐成为业界研究的热点,而有效的接入策略则是互联算法需要考虑的关键问题. 目前已有的接入算法,按照网关参与的主动程度,可被分为主动、被动和综合 3 类<sup>[2]</sup>. 其中综合接入算法<sup>[3-5]</sup>是主动和被动的折中,

因此可适用于更多场合而被广泛应用. 由于特殊的接入网属性,拥塞控制问题显得尤为突出. 已有的接入机制大多基于最小跳数的准则,无法感知路径质量以满足用户的服务质量(QoS)需求和传输公平性,因此互联性能并不理想.

本文在 IEEE802. 11MAC<sup>[6]</sup>协议的基础上,提出一种跨层路径质量感知的 MANET 自适应综合

收稿日期: 2009-10-29

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2008AA01Z211); 国家自然科学基金项目(60802033, 60873190)

作者简介: 庄琳(1981—),女,博士生, E-mail: booboo49@163.com; 刘元安(1963—),男,教授,博士生导师.

Internet 接入算法, 满足了互联业务的 QoS 需求, 在保持合理控制开销的同时确保网关的最佳覆盖. 仿真结果验证了本算法的优越性.

1 路由判据设计

1.1 基于路径质量感知的路由判据

本文针对 MANET 的 QoS 接入设计特点, 全面考虑带宽、投递率、节点负载等反映路径质量的参数整合成多目标路由判据:

M = \alpha B\_{ratio} + \beta D\_{ratio} + \gamma Q\_{ratio} \alpha + \beta + \gamma = 1 (1)

其中, \alpha, \beta, \gamma 为加权因子, 取值由具体应用而定; 路径最小带宽可用率

B\_{ratio} = \frac{\min(B\_1, B\_2, \dots, B\_i, \dots, B\_n)}{B\_{basic}} (2)

B\_i 为节点 i 的可用带宽; B\_{basic} 为基本链路带宽; 路径累积投递率

D\_{ratio} = \prod\_{i=1}^{n-1} d(i, i+1) (3)

d(i, i+1) 表示节点 i 到 i+1 的投递率; 路径最低队列剩余负载可用率

Q\_{ratio} = \min\left(\frac{Q\_1 - q\_1}{Q\_1}, \dots, \frac{Q\_i - q\_i}{Q\_i}, \dots, \frac{Q\_n - q\_n}{Q\_n}\right) (4)

n 为路径长度; q\_i 表示节点 i 的负载队列长度; Q\_i 为 i 的缓存大小.

该路径优化算法实质上是一个求解多准则 QoS 路由优化问题. 利用 max-min 优化算法, 将问题转化为具有带宽约束的最大系统可用资源问题, 即

M\_{opt} = \max \left[ \alpha \frac{\min(B\_1, \dots, B\_i, \dots, B\_n)}{B} + \beta \prod\_{i=1}^{n-1} d(i, i+1) + \gamma \min\left(\frac{Q\_1 - q\_1}{Q\_1}, \dots, \frac{Q\_n - q\_n}{Q\_n}\right) \right] \left\{ \begin{array}{l} \min(B\_1, \dots, B\_i, \dots, B\_n) \geq B\_{min} \end{array} \right. (5)

其中 B\_{min} 为带宽门限值. 该问题可用动态规划法求解, 且总存在最优解.

1.2 基于跨层设计的参数获取机制

新算法基于跨层设计的思想, 在媒体接入控制 (MAC) 层估计剩余带宽、投递率和队列剩余负载可用率, 并将其通过加权整合成综合判据, 可更好地反映路径质量状况.

剩余带宽可利用 802.11 MAC 层的载波监听机制结合 MAC 帧帧头的网络分配矢量 (NAV) 字段进

行估计. 信道空闲度与信道可得平均可用带宽近似成正比[7]. 因此

B\_i = k B\_{basic} \frac{\Delta - \sum\_j (N\_j + \tau\_{DIFS}) - \sigma\_i}{\Delta} (6)

其中, \Delta 表示测量周期; N\_j 为节点 i 的邻节点 j 在 \Delta 内的 NAV 值; \tau\_{DIFS} 为 DCF 帧间间隔; \sigma\_i 为节点 i 避退计数器的值. 由于 IEEE802.11 的特性, 在避退策略影响下, 节点的可用带宽不可能达到理论上线, 故设定修正因子 k.

分组投递率通过统计收到的确认帧 (ACK, acknowledgement) 占总数据帧的比率予以估计; 节点通过周期性发送和接收数据包及时获得邻节点负载队列长度, 并按式 (4) 计算负载可用率.

2 自适应接入算法

新算法采用综合接入机制, 在按需距离矢量路由协议 (AODV, Ad hoc on-demand distance vector routing)[8] 协议的基础上进行扩展. 网关周期性地向 MANET 发送网关通告消息 (GWADV, gateway advertisement message) 的生存周期为生存时间 (TTL, time to live). 收到通告的节点建立至该网关的反向路由. 在 GWADV 广播范围之外的源节点若要获得至网关的路由, 需创建并发送网关请求分组 (RREQ\_I) 来自行寻求, 网关请求分由 AODV 路由请求分组 (RREQ, rate request) 设标志位 I 而得.

类型	J	R	G	D	L	I	保留	跳数
RREQ ID								
目的地址								
目的序列号								
源地址								
最小带宽可用率			累计投递率			最低队列剩余、负载可用率		

图 1 扩展后的 RREQ(RREQ\_I) 消息格式

2.1 MANET 内部节点的网关发现

没有网关路由的 MANET 源节点通过发起网关请求 RREQ\_I 进行被动式网关发现, 中间节点转发 RREQ\_I, 网关节点收到 RREQ\_I 后单播 RREP\_I 回复, 告知其网关信息使其建立全局连接.

基于路径质量感知的网关发现机制需要对 AODV 的路由回复消息 (RREQ, route reply) 进行扩展, 除设标志位 I 外, 添加了路由质量信息, 包括最小带宽可用率、累积投递率和最低负载可用率. 扩

展后的 RREQ\_I 消息如图 1 所示. 网关发现算法的步骤如下:

1) 源节点发起寻找网关的路由请求, 广播包含路径质量信息的网关路由请求分组 RREQ\_I;

2) 中间节点收到 RREQ\_I, 若其曾经被本节点处理, 则销毁该分组不再进行转发. 否则, 根据本节点 MAC 层及网络层提供信息更新请求包中的路由质量信息, 并判断本节点是否忽略该路由请求. 若中间节点处于过载, 则忽略该网关请求不进行处理, 否则建立反向路由并继续转发该网关路由请求分组. 与 AODV 机制不同的是, 本算法不允许中间节点进行缓存回复, 直接转发网关路由请求;

3) 网关节点收到 RREQ\_I, 根据本节点 MAC 层及网络层提供信息更新请求包中的路由质量信息, 调用相关过程予以回复. 将 AODV 的 RREP 消息进行扩展, 与 RREQ\_I 类似, 同样添加  $l$  标志位及路由质量信息. 路由回复时, 将 RREQ\_I 中的路由质量信息复制到 RREP\_I 中的相应字段中, 通过 RREP\_I 将路由质量信息带回源节点;

4) 源节点收到 RREP\_I 后建立网关路由, 从 RREP\_I 中提取路由质量信息, 按照式(1)计算路由判据. 若源节点收到来自不同网关的路由回复, 则根据其携带的路由质量信息计算路由判据, 选择具有最大的路由判据值的路由作为其默认网关路由.

## 2.2 网关通告的自适应发送

网关周期性向 MANET 广播网关通告 GWADV 来宣示自己的存在. GWADV 中包含的信息包括分组 ID、网关全局地址、网络前缀、TTL 等. 基于 QoS 的网关发现机制对 GWADV 进行了扩展, 添加了路由质量信息, 即最小带宽可用率、累积投递率和最低负载可用率. 收到 GWADV 的 MANET 节点进行以下操作:

1) 若该节点没有至网关的路由, 则创建该路由表项, 并根据 MAC 层提供的信息更新 GWADV 中的路由质量字段, 按照式(1)计算路由判据, 填入表项相应字段中, 然后将该通告进行转发. 若该节点收到来自不同网关的 GWADV, 则根据其携带的路由质量信息计算路由判据, 选择具有最大路由判据值的路由作为默认网关路由, 并转发该网关的 GWADV, 其他网关的通告不予转发;

2) 若该节点已有至网关的默认路由, 则根据本节点信息更新 GWADV 中的路由质量信息, 按照式(1)计算路由判据, 并判断是否进行网关切换. 网关

切换的条件是新网关路由的路由判据值与当前网关路由的路由判据值之差大于一定阈值, 以此避免频繁的网关切换所带来的路由抖动.

为适应 MANET 对 Internet 连接性的动态改变及链路质量的变化, 根据源节点的分布自适应调整 TTL 值. 每个网关维持一份源节点列表 (ASL, active source list), 每个表项记录各源节点 IP 地址、距网关的跳数、路由判据、路由质量信息、生存时间等信息. 网关节点通过周期查询 ASL 便可获知源节点分布, 并据此动态修正网关通告的 TTL, 实现网关通告自适应广播. 定义 TTL 的初始值为

$$T_{\text{initial}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \quad (7)$$

其中,  $N$  为达到该网关所有源节点的个数;  $H_i$  表示源节点  $i$  距离网关的跳数. 为了避免 TTL 的频繁调整, 引入  $h$  和  $l$  2 个阈值, 且  $l < h$ , 则 TTL 的修正公式为

$$\left. \begin{aligned} T_n &= T_{n-1} + 1 && \text{若 } (M(G_n) > h) \\ T_n &= T_{n-1} - 1 && \text{若 } (M(G_n) < l) \\ T_n &= T_{n-1} && \text{其他} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中  $T_n$  为第  $n$  个广播周期 GWADV 的 TTL 值,  $M(G_n)$  为第  $n$  个广播周期时网关处的路由判据.

此外, 本算法还针对源节点的活跃程度, 自适应调整 GWADV 的广播间隔. 网关在一个 GWADV 广播间隔内加入或离开的源节点数目  $S$  可反映源节点的活跃程度. 引入 2 个阈值  $l' < h'$ , 则广播间隔  $I$  的修正公式为

$$\left. \begin{aligned} I_n &= I_{n-1}/2 && \text{若 } S > h' \\ I_n &= 2I_{n-1} && \text{若 } S < l' \\ I_n &= I_{n-1} && \text{其他} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

当网络拓扑不稳定、源节点较活跃时, 网关需要缩短广播间隔以及及时给予新加入的源节点网关信息, 反之则增加广播间隔. 该策略既可满足维持互联性能的需要, 也避免了网关发现分组的无益广播, 进一步降低了网络互联开销.

## 3 仿真与性能分析

为了对算法进行分析, 在 NS2 中进行了仿真测试. 设置一个 MANET 网络场景, 在  $1\,200\text{ m} \times 1\,000\text{ m}$  的矩形区域内随机分布 50 个 MANET 节点, 移动速度在  $[0, 20]$  间随机分布. 仿真区域四角各配置 1 个网关, 分别通过路由器与 1 个固定节点连

接,路由器之间、路由器与网关及固定节点间均通过 100 Mbit/s 的有线链路连接. MANET 节点与固定节点间建立若干个恒定比特率 (CBR, constant bit rate). CBR 的大小为 512 byte/包,发包率为 10 包/s. 每次仿真都运行 900 s. 仿真结果中每个数据代表同一流量模型和流数目下随机产生的运动场景运行 10 次仿真所得结果的均值. 在上述场景下将 Ruiz 的自适应算法<sup>[4]</sup> (Ruiz-adaptive)、Park 的负载均衡算法<sup>[5]</sup> (Park-QoS) 同本文算法 (proposed-QoS) 进行比较. 并将分组投递率、平均端对端时延以及归一化控制开销 (即每发送 1 个数据分组所需要的路由控制分组数) 作为性能比较参数, 图 2 给出了 3 种算法在不同流数下的性能.

从图 2(a) 和 (b) 中可以看出, 当业务流干扰较低时, 本算法的端对端时延仅略低于其他两者, 这主要是因为本算法引入了少量额外路由开销, 从而增加了数据包的时延. 但是, 随着 CBR 业务流数的增多, Ruiz 的自适应算法的投递率迅速下降, 时延显著增大. 这是因为业务流分组增多加重了链路负载, 造成某些节点因过载产生溢出, 互联性能大大降低. Park 的负载均衡算法有效避开了过载节点, 投递率和平均分组时延较 Ruiz 的自适应算法有所改善, 但采用的单一优化目标参数和最小跳路由准则仍不能很好地反应路径质量的变化, 因此互联性能并不理想. 本文算法采用跨层设计思想, 在 MAC 层更精确地估计节点可用带宽, 同时采用综合路由判据全面反映路径质量状况, 有效地避开了拥塞节点, 因此互联性能显著提高. 当业务流数增加到 25 以上时, 本算法仍能保持较高投递率, 同时在时延方面较 Park 的负载均衡算法降低约 25%, 流传输性能趋于稳定. 图 2(c) 给出 3 种算法在不同流数下的互联开销情况, 可以看出, 本文算法的互联开销明显低于其他 2 种算法. Ruiz 的自适应算法总是试图覆盖所有源节点, 因此互联开销最大; Park 的负载均衡算法引入负载均衡, 有效降低了网络开销; 而本算法在 Park 的负载均衡算法的基础上综合考虑多目标优化参数作为路由判据, 更能反映网络拥塞状况, 同时算法根据网关负载及网络拓扑状态自适应调整网关通告的广播范围及广播周期, 避免了网关发现分组的无益广播, 进一步降低了网络互联开销.

4 结束语

本文针对移动自组网与 Internet 互联时多媒体

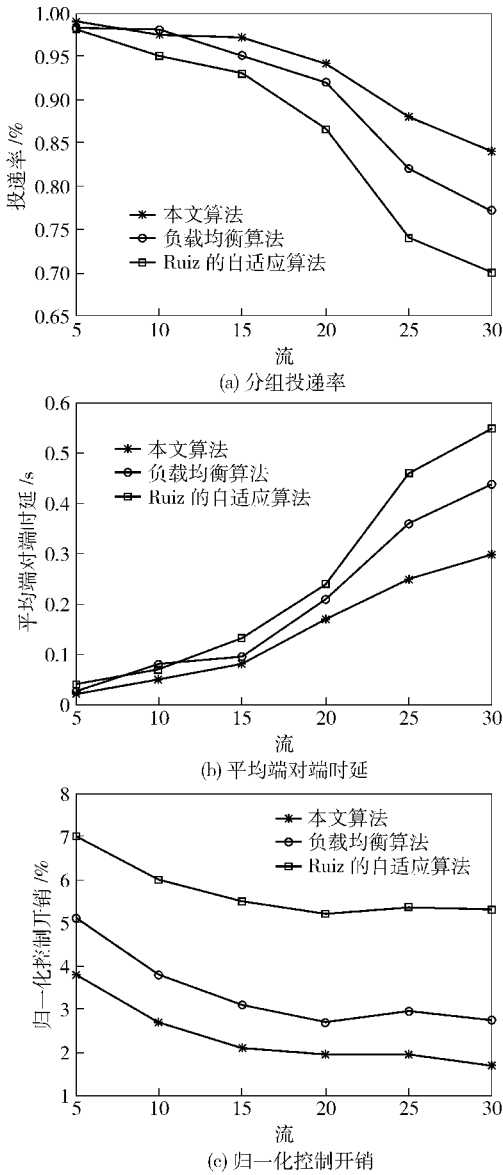


图 2 本算法与已有算法的性能比较

业务 QoS 需求的特殊性, 综合考虑网络剩余带宽、投递率及节点负载等路径质量参数, 提出了一种基于跨层设计及路径质量感知的移动自组网自适应 Internet 接入机制. 该机制将多目标性能参数整合为综合路由判据, 感知路径质量, 有效避免使用重负荷节点, 使网络达到负载均衡, 满足业务的 QoS 要求. 同时, 采用一种高效自适应网关发现策略, 根据网关负载和网络拓扑情况, 动态调整网关通告的广播范围及广播周期, 实现网关通告的最佳覆盖. 将该算法同既有算法进行性能比较, 仿真结果表明, 本文算法能适应复杂的应用环境, 为 MANET 提供最优的互联性能, 同时在降低路由控制开销方面具有明显优势.



## 参考文献:

- [1] Cavalcanti D, Kumar A, Agrawal D P. Wireless Ad hoc networking [M]. New York: Auerbach Publications, 2007: 483-503.
- [2] Wakikawa R, Malinen J T, Perkins C E, et al. Global connectivity for IPv6 mobile Ad hoc networks[Z]. 2005. <http://tools.ietf.org/html>.
- [3] Ratanchandani P, Kravets R. A hybrid approach to Internet connectivity for mobile Ad hoc networks[C] //WCNC 2003. New Orleans: [s. n.], 2003: 1522-1527.
- [4] Ruiz P, Gomez A. Adaptive gateway discovery mechanisms to enhance Internet connectivity for mobile Ad hoc networks[J]. Ad Hoc and Sensor Wireless Networks, 2005, 1(1): 159-177.
- [5] Park B, Lee W, Lee C. QoS-aware Internet access schemes for wireless mobile Ad hoc networks[J]. Elsevier Computer Communications, 2007, 30(2): 369-384.
- [6] IEEE 802.11s Task Group. Draft amendment: ESS mesh networking[Z]. New York: IEEE, 2008.
- [7] Chen L, Heinzelman W B. QoS-aware routing based on bandwidth estimation for mobile Ad hoc networks[J]. IEEE Journal on Areas in Communications, 2005, 23(3): 561-572.
- [8] IETF. Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing, RFC 3651[S]. 2003.

(上接第38页)

应用层行为的P2P流量识别算法. 实验结果证明, 该算法准确率高于同类算法, 并在加密流量检测中表现出色. 本研究成果还可用来解释网络流量存在多重分形特性这一热点问题, 但有待进一步研究.

## 参考文献:

- [1] Leland W, Taqqu M, Willinger W, et al. On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version)[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994(2): 1-15.
- [2] Paxson V, Floyd S. Wide area traffic: the failure of poisson modeling[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1995, 3: 226-244.
- [3] Crovella M, Bestavros A. Self-similarity in world wide web traffic: evidence and possible causes[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1997(5): 835-846.
- [4] Willinger W, Taqqu M, Sherman R, et al. Self-similarity through high-variability: statistical analysis of Ethernet LAN traffic at the source level[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1997(5): 71-86.
- [5] Erramilli A, Roughan M, Veitch D, et al. Self-similar traffic and network dynamics[J]. Proceedings of the IEEE, 2002(90): 800-819.
- [6] Doi H, Matsuda T, Yamamoto M. Influences of TCP congestion control mechanisms to multi-fractal nature of generated traffic[C] // Global Telecommunications Conference. San Francisco: [s. n.], 2003: 3658-3662.
- [7] Fiedler M, Carlsson P, Nilsson A. Voice and multi-fractal data in the Internet[C] // 26th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks. Tampa: [s. n.], 2001: 426-431.
- [8] Hiroki D, Matsuda T, Yamamoto M. Performance evaluation of multi-fractal nature of TCP traffic with RED gateway[C] // 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks. Tampa: [s. n.], 2004: 400-401.
- [9] Sen S, Spatscheck O, Wang D. Accurate, scalable in-network identification of P2P traffic using application signatures[C] // Thirteenth International World Wide Web Conference. New York: [s. n.], 2004: 512-521.
- [10] Karagiannis T, Broido A, Faloutsos M, et al. Transport layer identification of P2P traffic[C] // IMC 2004. Taormina: [s. n.], 2004: 121-134.