

基于可用传输时间的无线网状网路由判据

孙彦景, 刘 雪, 赵甫胤, 刘卫东

(中国矿业大学信息与电气工程学院 江苏 徐州 221116)

【摘要】路由判据对无线Mesh网络(WMN)的性能至关重要, 针对期望传输次数(ETX)和期望传输时间(ETT)没有考虑到802.11 MAC层的指数回退策略, 不能准确评估数据包的平均传输时间问题, 提出基于可用传输时间(ATT)的路由度量机制。在Linux平台上对OLSR协议进行扩展, 把ATT路由判据与ETX和ETT进行实现测试比较, 证明了ATT能使系统性能得到明显提高, 更加适用于WMN。

关键词 可用传输时间; 路由判据; OLSR; 无线网状网

中图分类号 TP393

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2012.06.019

Routing Metric Based on Available Transmission Time for Wireless Mesh Networks

SUN Yan-jing, LIU Xue, ZHAO Fu-yin, and LIU Wei-dong

(School of Information and Electrical, China University of Mining and Technology Xuzhou Jiangsu 221116)

Abstract Routing metric is critical for performance of wireless mesh networks (WMN). Without considering back-off scheme of IEEE802.11 in Mac layer, expected transmission count (ETX) and expected transmission time (ETT) can not evaluate the average transmission time accurately. A new available transmission time routing metric is proposed based on IEEE 802.11 DCF. We also extend OLSR protocol on Linux platform, and compare ATT with ETX and ETT. The obtained results show that the ATT metric has the lowest packet loss rate and the lowest jitter rate among the analyzed metrics, because it concerns available link bandwidth and also takes physical transmission rates into account.

Key words available transmission time; OLSR; routing metric; wireless mesh networks

无线Mesh网络融合了无线局域网和移动Ad-hoc网络的优势, 已成为下一代无线网络的关键技术^[1]。IEEE802.11标准是广泛使用的WLAN标准, 支持固定基础结构和Ad-hoc运行模式, 在自组网模式下, 节点以多跳的方式协作路由。无线Mesh网与Ad-hoc相比, 通常使用固定的无线路由器作为网络骨干, 通过接入点之间的多跳通信提高通信覆盖, 以保证连通性^[2]。由于功耗和移动性不是主要问题, WMN路由协议通常更关注链路质量指标^[3-5]。

合理的路由判据对网络路由协议的性能至关重要。文献[6]提出了期望传输次数(ETX), 考虑了链路间丢包率的不同对网络性能的影响。为了进一步提高路由协议的性能, 文献[7]提出了期望传输时间(ETT), 在ETX基础上考虑了数据传输速率的影响, 性能优于ETX。文献[8]提出了期望数据速率(expected

data rate, EDR), 考虑了由于IEEE802.11 DCF造成的链路间传输竞争干扰。文献[9]对无线Mesh网络路由判据设计作了理论分析, 提出了为WMN设计路由判据必须满足的要求。文献[10]结合EDR, 提出了一种综合考虑路径内和路径间干扰以及信道多样性的路由判据, 进行了仿真验证。文献[11]基于OLSR实现了用于WMN的ETT路由判据, 并进行测试分析, 证明了ETT优于ETX。文献[12]对MAC感知的链路质量度量进行了研究, 给出的ECOT侧重于提高路由吞吐量。

无线网络广泛采用IEEE802.11 DCF作为介质接入控制机制, 而相关路由判据的研究没有综合考虑IEEE802.11 MAC层的指数回退策略对吞吐量、丢包率和延时抖动的影响, 对基于ETT的路由判据而言不能准确评估数据包的平均传输时间, 更客观地反

收稿日期: 2011-02-17; 修回日期: 2011-09-07

基金项目: 国家自然科学基金(50904070); 中国博士后基金(20100471412); 中央高校基本科研业务费专项资金(2010QNA48); 江苏省青蓝工程; 国家大学生创新性实验计划(101029011)

作者简介: 孙彦景(1977-), 男, 博士, 副教授, 主要从事无线传感器网络方面的研究。

映可用链路带宽。因此, 本文提出基于可用传输时间的路由度量机制, 并在嵌入式Linux平台对OLSR协议扩展实现, 对ETX、ETT和ATT进行了测试比较。

1 路由度量

802.11^[13]支持基础结构(infrastructure)和自组织(Ad-hoc)两种局域网架构模式, 路由度量(routing metric)是路由协议的核心部分, 路由协议使用它计算端到端的最佳路径, 因此不同的路由度量会显著地影响网络的性能。RFC3626规定了OLSR^[14]使用跳数(hop count)作为路由度量, 但是在无线环境下, OLSR可能会选择一跳的低质量的链路而不是两跳的高质量链路。

1.1 期望传输次数

期望传输次数是有关链路丢包率的路由度量, 表示在链路上成功发送数据包所需要传输和重传的数据包数量。路由的ETX值就是该路径上各个链路的ETX值的累加。ETX在计算链路双方的丢包率同时考虑了不对称链路的丢包率。用 d_f 表示数据包从发送方正确传输到接收方的概率(正向传输速率); 用 d_r 表示从接收方正确传输到发送方的概率(反向传输速率), 该值对应发送数据包的ACK数据包。 $d_f \times d_r$ 为数据成功发送并接受到ACK数据包的概率。

ETX能够处理无线网络中经常出现的不对称链路问题, 更倾向于选择较短的路由。

节点使用侦测帧信息计算发送方的正向传输速率, ETX定义为:

$$ETX = \frac{1}{d_f \times d_r} \quad (1)$$

ETX有利于实现链路吞吐性能的最大化, 但是ETX无法区分链路的带宽和不同大小数据帧下的丢包率, 不支持多速率。

1.2 期望传输时间

期望传输时间(ETT)^[7]用于估算链路上成功发送一个数据帧所需要花费的时间。首先要计算正向和反向链路丢包率和链路带宽。使用同ETX的广播链路一样的侦测帧方法确定丢包率, 选择数据包对技术测量链路带宽。定义为:

$$ETT = ETX \times \frac{S}{B} \quad (2)$$

式中, S 和 B 分别表示链路中分组的大小和链路的带宽。节点使用数据包对技术测量每条链路的带宽 B , 邻居节点在接收到探测分组数据后, 立即计算两个数据包的接收时间间隔, 并将其反馈给发送节点,

带宽表示为:

$$B = S_L / \min_{1 \leq i \leq n} d_i \quad (3)$$

式中, B 表示链路带宽; S_L 表示最大的探测分组数据; d_i 表示接收时间间隔。

ETT比ETX先进之处在于ETT把链路带宽考虑在内, 但是数据包对测量方法的时间复杂度为 $O(n^2)$, 而广播HELLO消息的时间复杂度为 $O(n)$, 所以带宽的评估会带来一定的路由开销。

2 ATT路由判据

802.11协议采用分布式协调功能算法控制媒质访问, 即载波侦听多路访问冲突避免(CSMA/CA)的策略。DCF使用二进制指数回退策略生成回退时间:

$$\text{BackoffTime} = \text{Random}() \times \text{aSlotTime} \quad (4)$$

式中, aSlotTime 表示时隙时间; $\text{Random}()$ 表示均匀分布在 $[0, \text{CW}]$ 范围内的伪随机数, 其中 CW 表示竞争窗口(contention window), 其依赖于发送数据帧时传输错误的次数。在第一次传输开始时, CW 设置为 CW_{\min} (最小竞争窗口), 在每一次传输失败后, CW 值以2的指数级增加, 直到最大值 $\text{CW}_{\max} = 2^m \text{CW}_{\min}$, 其中 m 表示节点的最大重传次数。文献[13]中定义了 aSlotTime 、 CW_{\min} 和 CW_{\max} 的值, 它们是与物理层相关的参数。

CSMA/CA通过目的节点发送ACK帧确认传输的成功。接收节点在成功收到一个数据帧后再等待一个短帧间间隔(SIFS)就发送ACK确认帧, 因为SIFS比DIFS时间更短, 所以其他节点在ACK发送的过程中不会检测到信道空闲时间大于DIFS。若源节点在扩展帧间(EIFS)间隔内没有收到ACK, 它会根据式(4)给出的回退规则重新发送数据帧。此时存在的问题是, 可能目的节点已经正确接收, 在ACK过程中出错, 而源节点不能区分错误是出现在帧传输过程, 还是ACK的传输过程。

由此可知, 在IEEE802.11无线网络中, 链路的丢包率与回退时间并不是线性关系, 丢包率的线性增长将导致回退时间的指数增长, 链路丢包会导致节点等待更长的时间才有机会发送数据帧, 造成链路带宽利用率的下降。由于没有考虑802.11 MAC层的指数回退策略, 基于ETT的路由判据方式不能准确评估数据包的平均传输时间。

由DCF的特性可以知道, 无线节点在通信时基本处于等待(wait)、回退(backoff)、成功(success)和冲突(collision)4种状态, 如图1所示。

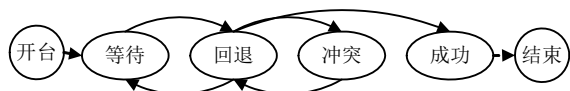


图1 节点状态

用 T_W 、 T_S 、 T_C 、 T_B 分别表示等待、成功、冲突、回退状态所需要耗费的时间, 不计信号传输延时。

$$T_W = T_{\text{DATA}} + T_{\text{SIFS}} + T_{\text{DIFS}} \quad (5)$$

$$T_B = \text{Random}() \times T_{\text{Slot}} \quad (6)$$

$$T_S = T_{\text{ACK}} + T_W + T_B \quad (7)$$

式(6)中, T_{Slot} 为时隙时间。

$$T_C = T_{\text{ACK}} + T_W + T_B \quad (8)$$

采用HELLO帧和邻居节点交换消息并检测链路状况。对于一条链路上的两个节点, 每个节点通过广播的方式每 τ 秒发送一次HELLO消息, 节点每 w 秒计算一次正向传输速率, 那么在 w 秒内应接收到 $n=w/\tau$ 个HELLO消息。如果链路的接收节点在 w 秒内收到 a 个HELLO消息, 发送方节点收到 b 个, 发送节点的正向传输速率 $d_f=a/n$, 反向传输速率 $d_r=b/n$, 链路的期望传输次数 $\text{ETX}=n^2/(a \times b)$, 以直接进1的方式约去ETX第2位小数位, 定义 α 为ETX的整数部分, β 为ETX的小数位第1位。

当成功地传输一个数据帧时, 节点要经过回退和成功两个状态, 而传输过程中出现丢包时, 需要经过回退、冲突、成功3个状态, 如果出现多次丢包, 则经过多个冲突状态。每增加一次丢包, 回退时间会成指数级增长, 链路带宽会因此而浪费, 因此可以把单位时间内成功传输 n 个数据帧所消耗时间与 $(\alpha n + \beta)$ 次重传消耗时间的比值定义为链路带宽可用率 α_u 。

$$\alpha_u = \frac{T_S}{T_C} = \frac{nT_S}{F_T(\alpha) + (\alpha n + \beta)T_W + T_{\text{ACK}}n} \quad (9)$$

其中,

$$F_T(\alpha) = \text{Random}(2^\alpha \times \text{CW}_{\min})T_{\text{Slot}}\beta + \sum_{i=1}^{\alpha} \text{Random}(2^{i-1} \times \text{CW}_{\min})T_{\text{Slot}}n \quad (10)$$

对竞争窗口取其平均值有:

$$E[W_i] = (2^{i-1} \times \text{CW}_{\min})/2 \quad (11)$$

以式(11)平均值简化 $F_T(\alpha)$ 为:

$$F_T(\alpha) = 2E[W_\alpha] \times T_{\text{Slot}}\beta + \sum_{i=1}^{\alpha} E[W_i] \times T_{\text{Slot}}n \quad (12)$$

通常, T_{Slot} 、 T_{DATA} 、 T_{SIFS} 、 T_{DIFS} 、 T_{ACK} 和 CW_{\min} 都是固定值, 所以链路带宽可用率只与链路双方的传输速率有关。为了克服ETX和ETT度量存在的问题, 基于链路带宽可用率, 在综合考虑802.11 DCF

特性与丢包数量的关系的前提下, 提出可用传输时间路由判据:

$$\text{ATT} = \frac{1}{\alpha_u} \frac{S}{B} \quad (13)$$

ATT表示在可用带宽下传输大小为 S 的数据包所需要的时间。ATT具有可加性, 某路径 p 的成本可以定义为路径中各链路 l 的ATT值的累加:

$$\text{ATT}(p) = \sum_{l \in p} \text{ATT}(l) \quad (14)$$

3 实验测试

3.1 实验设置

基于嵌入式Linux和PXA270处理器核心模块开发了无线节点, 采用符合802.11n标准的RT3070芯片实现无线接口。基于UNIK大学编写的OLSR协议栈OLSR daemon, 实现了OLSR协议的全部功能, 同时支持IPv4和IPv6编址, 与在Linux内核协议栈中添加路由协议不同, OLSR daemon是在应用层实现的, 以免路由协议出错造成Linux内核崩溃。基于Pedro^[11]等开发的link_probe计算无线链路带宽实现了ETT和ATX路由度量。

考虑到实际条件限制, 测试环境如图2所示, 节点工作在Ad-hoc模式下, 使用信道1, 采用802.11n模式, 点对点的最高传输带宽为130 Mbps。放置两台笔记本电脑于A、B点, 分别运行Iperf的UDP服务端和客户端来测试网络的端到端的实际吞吐量、丢包率和延时抖动, 其中UDP缓冲区设置为250 KB。

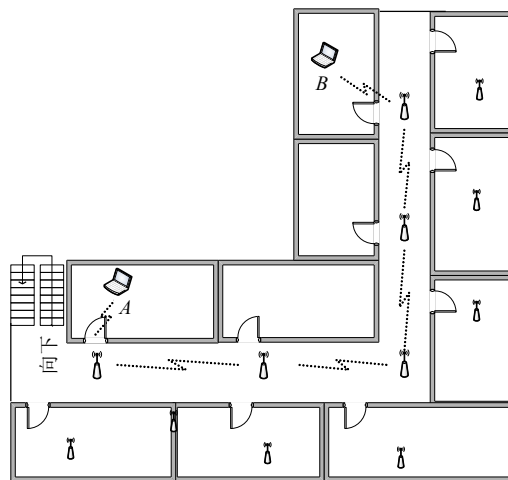


图2 性能测试

3.3 测试结果

802.11协议和以太网协议使用相同大小的MTU, 在测试中, 通过在2M带宽下使用不同的UDP包大小测试节点A到B的实际数据吞吐量、丢包率和

延时抖动, OLSRD路由协议的参数设置如表1所示, ATT参数同ETX, 测试结果如图3所示。

表1 OLSRD参数

路由参数	值
HelloInterval/s	2.0
HelloValidityTime/s	20.0
LinkQualityWinSize	12
TcInterval/s	5.0
TcValidityTime/s	30.0
ETX_interval/s	5
ETT_window	6
Emission_interval/s	5.0
ETT_expiration_time/s	30.0

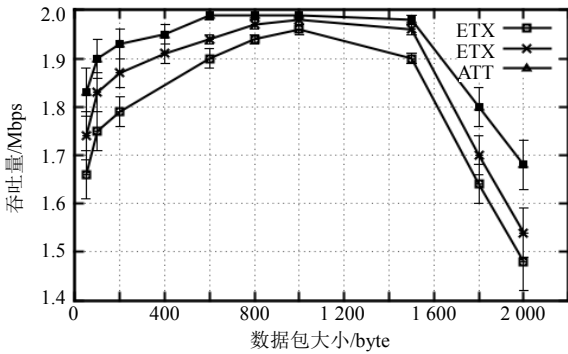


图3 吞吐量

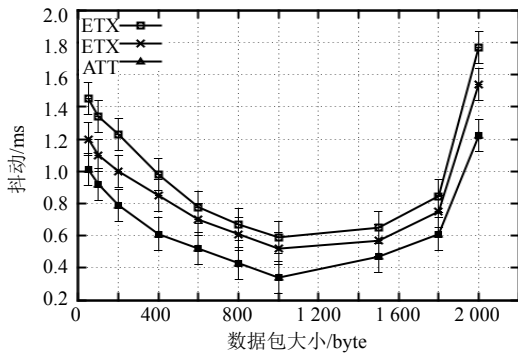


图4 抖动率

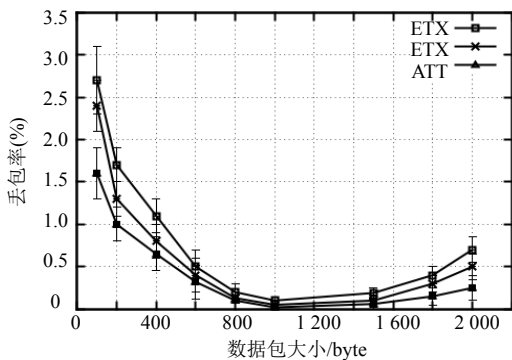


图5 丢包率

从图3~图5可以看出, 随着数据包大小的变化, ATT比ETT和ETX有着更好的性能。此外, 当数据包大小接近1 000 byte时, 实际的吞吐量接近2 Mb, 可

以充分利用带宽传输数据, 同时延时抖动最小。通过对比还发现大数据包(>1 500 byte)对吞吐量和抖动的影响更为显著, 这是由于UDP协议无法保证数据包按照ID号依次到达, 分片和重组数据包对系统性能造成了一定的影响, 所以吞吐量和抖动性能比小数据包差。

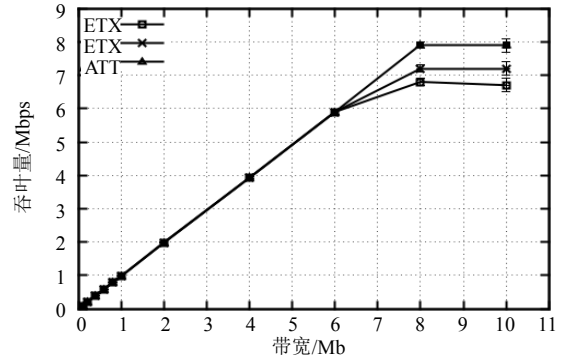


图6 不同带宽时的吞吐量

同样, 1 000 byte大小的数据包有着最低的丢包率。由图可知, 1 000 byte的数据包在2 Mb带宽下有着比较好的性能。下面使用1 000 byte大小的数据包测试不同带宽条件下ETX、ETT和ATT的性能, 结果如图6所示。

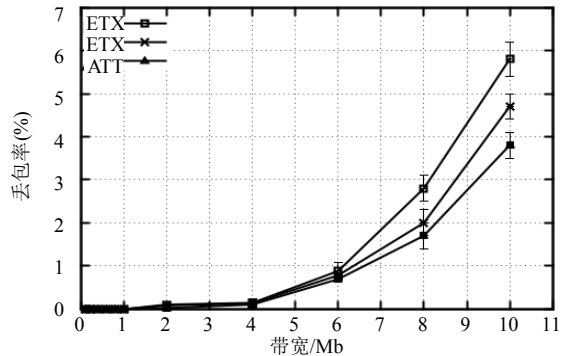


图7 不同带宽时的丢包率

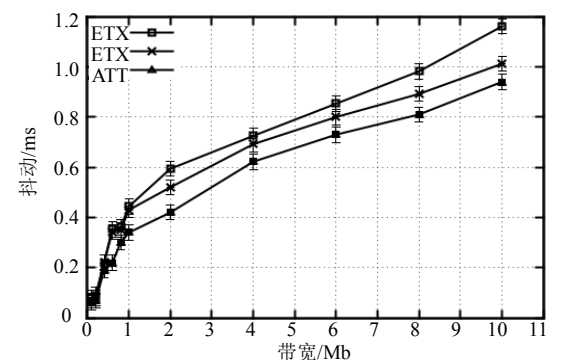


图8 不同带宽时的抖动率

图6表示端到端吞吐量。与前面的结果一样, 得益于802.11n的高带宽特性, ATT对端到端的吞吐量的提升明显, 端到端的吞吐量最高可达8 Mb/s, 完

全可以满足多种业务数据传输对带宽的要求。

从图6和图7可以看出,带宽增加的同时丢包率也显著增加,这是因为无线信道竞争和缓冲区的溢出都会造成大量丢包。从图8可以看出,随着带宽的增加,抖动率也在不断增加。这是因为数据包的增长,会造成无线信道竞争加剧,更多的数据包会缓存在UDP缓冲区内,数据包不能及时发出就会造成延时抖动的增加。音频信号的传输对延时抖动比较敏感而对带宽要求不高,所以要根据实际情况选择合适的传输带宽。

4 结 论

本文针对ETX和ETT没有考虑MAC层退避算法造成的问题,在分析802.11DCF的基础上,提出了基于链路带宽可用率的ATT路由判据,并基于802.11n/OLSR在Linux平台上进行了扩展实现。通过对ETX、ETT和ATT的试验,结果表明ATT路由判据丢包率、抖动率最低,吞吐量最大,这是由于ATT把链路条件考虑到实际传输速率,性能最优。

参 考 文 献

- [1] GEORGIOS P, MERKOURIOS K, RAINER B, et al. Guide to wireless mesh networks, Computer Communication and Networks[M]. Paris, France: Springer, 2009: 199-230.
- [2] HAO Zi-mian, WEI Xiong, XIONG Nai-xue, et al. Routing in 802.11-based wireless mesh networks[C]//International Conference on Computational Science and Engineering. Washington: IEEE, 2009, 2: 1007-1012.
- [3] 李争平, 郭更生. 802.11无线网状网中基于时频信道的准动态信道分配算法[J]. 电子与信息学报. 2009, 31(6): 1465-1469.
LI Zheng-ping, KUO Geng-sheng. Quasi-dynamic channel assignment algorithm for 802.11 wireless mesh networks[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2009, 31(6): 1465-1469.
- [4] SAQUIB R, VINAY K, NAEL B A. A MAC interaction aware routing metric in wireless network[C]//Proceedings of the 13th ACM international conference on Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems. Turkey: ACM, 2010, 2:118-121.
- [5] YANG S Y, YUN J B, YUN J K, et al.. Analysis and proposal of wireless mesh network's routing metric for WBAN[C]//The First International Conference on Networks and Communications. Chennai: IEEE, 2009: 400-403.
- [6] DOUGLAS D C, DANIEL A, JOHN B, et al. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing[C]//Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. San Diego: ACM Press, 2003: 134-146.
- [7] DRAVES R, PADH YE J, ZILL B. Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks[C]//Proceedings of the 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Philadelphia: ACM Press, 2004: 114-128.
- [8] PARK J C, KASERA S.. Expected Data Rate: An accurate high throughput path metric for multihop wireless routing[C]//The Proc of IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks. Santa Clara: IEEE, 2005: 218-228.
- [9] YANG Ya-ling, WANG Jun, KRAVETS R. Designing routing metrics for mesh networks[C]//First IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks. Santa Clara: IEEE, 2005: 315-321.
- [10] 陈沿明, 杨震, 朱峥, 等. 一种新型无线Mesh网络高吞吐量路由判据[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2008, 20(1): 58-62.
CHEN Yan-ming, YANG Zhen, ZHU Zheng, et al. A novel high throughput routing metric for wireless mesh networks[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2008, 20(1): 58-62.
- [11] ESPOSITO P M, CAMPISTA M E, MORAES I M. Implementing the expected transmission time metric for olsr wireless mesh networks[C]//IFIP Wireless Days Conference. Dubai: IEEE, 2008:1-5.
- [12] KIM S K, LEE O W, CHOI S H, et al. MAC-aware routing metric for 802.11 wireless mesh networks[C]//IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Tokyo: IEEE, 2009: 47-51.
- [13] IEEE. IEEE Std 802.11-2007 Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[M]. Piscataway NJ, USA: IEEE, 2007.
- [14] CLAUSEN T, JAQCQUET P. Optimized link state routing (OLSR) RFC 3626[M]. Atlanta, GA, USA: IETF Networking Group, 2003.

编辑 张俊