

一种 IEEE 802.11s 树型网络的 PREQ 广播风暴抑制方案*

游波^{1,2}, 牟荣增^{1,2}, 阎跃鹏^{1,2}

(1. 中国科学院微电子研究所 电子系统总体技术研究室, 北京 100029; 2. 昆山市工业技术研究院, 江苏 昆山 215300)

摘要: 在 IEEE 802.11s 的树型网络中, 为了解决子节点之间洪泛 PREQ 维护路由时引发的 PREQ 广播风暴问题, 基于 HWMP 的表驱动路由, 提出了一种限制 PREQ 广播范围的广播风暴抑制方案。在该方案中, 子节点根据自己到根节点的路由跳数设置 PREQ 的 TTL, 缩小了 PREQ 的传输距离, 降低了冗余 PREQ 的数量。实验结果表明, 与 IEEE 802.11s 相比, 本方案有效地减小了网络中的路由开销, 提高了网络吞吐量。

关键词: 广播风暴; 树型网络; 混合无线网状网协议; 生存时间; 路径请求

中图分类号: TP393.02 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)08-3108-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.08.080

Scheme to reduce broadcast storm of PREQ in IEEE 802.11s tree network

YOU Bo^{1,2}, MU Rong-zeng^{1,2}, YAN Yue-peng^{1,2}

(1. Dept. of Electronic System Technology, Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. Kunshan Industrial Technology Research Institute, Kunshan Jiangsu 215300, China)

Abstract: To reduce the broadcast storm of PREQ caused by simply flooding of PREQ to maintain routes between leaf nodes in tree network based on IEEE 802.11s, this paper proposed a new scheme to limit the broadcast region of PREQ based on the table-driven routing in HWMP. In this scheme, one leaf node set the TTL of PREQ according to the hop count in its route to the root node, which limited the delivery distance of PREQ and decreased the number of redundant PREQ. Experiment shows that compared with IEEE 802.11s, this new scheme can effectively reduce the costs for routing and increase the network throughput.

Key words: broadcast storm; tree network; HWMP(hybrid wireless Mesh protocol); TTL; PREQ(path request)

0 引言

广播是无线网络中的一种常用技术。传统的广播方法为洪泛法, 节点无条件地转发广播信息直到该信息的 TTL 降为 0 或覆盖全网络。一般来说, 洪泛法将广播信息的 TTL 设置为网络直径, 保证该信息可以覆盖全网络。虽然洪泛法简化了广播信息的转发过程, 但是全网络范围内的广播会导致严重的广播信息冗余、广播信号碰撞和信道争抢等问题, 造成广播风暴^[1]。

在 IEEE 802.11s^[2] 树型网络中, 根节点洪泛 RANN (root announcement) 维护与子节点之间的路由, 子节点洪泛 PREQ 维护与其他子节点之间的路由。如果多个子节点同时通信, 网络中会出现大量的 PREQ, 引发 PREQ 广播风暴。PREQ 广播风暴大幅度增加了网络负担, 降低了网络性能。

无线网络的广播风暴问题已经被研究了多年, 目前有两种传统思路解决该问题: a) 减小节点的转发概率, 文献[3, 4]是

基于此思路的研究; b) 限制广播信息的传输范围, 文献[5~7]是基于此思路的研究。上述研究普遍基于 MANET, 针对移动节点和单纯的网状网络, 并不适用于 IEEE 802.11s 的树型网络。

本文以“至少找到一条可用路由”为出发点, 针对 IEEE 802.11s 的树型网络设计了一种限制 PREQ 广播范围的广播风暴抑制方案。该方案利用了 HWMP 的表驱动路由机制, 将子节点到根节点的路由跳数设置为 PREQ 的 TTL, 缩小了 PREQ 的广播距离, 减小了网络中冗余 PREQ 的数量, 抑制了 PREQ 广播风暴。

1 HWMP

HWMP 是 IEEE 802.11s 推荐的典型路由协议, 由 AODV (Ad hoc on demand distance vector) 发展而来, 完全在二层完成路由工作。HWMP 在树型网络中可以同时提供以下两种路

收稿日期: 2011-11-27; **修回日期:** 2011-12-28 **基金项目:** 国家“863”计划资助项目(2010AA040102); 国家科技重大专项资助项目(2010ZX03006-003-02)

作者简介: 游波(1983-), 男, 重庆人, 博士, 主要研究方向为无线 Mesh 网络、无线路由和无线通信(youbo198376@163.com); 牟荣增(1972-), 男, 研究员, 博士, 主要研究方向为电子电路、移动通信和无线网络; 阎跃鹏(1963-), 男, 研究员, 博士, 主要研究方向为电子电路、移动通信和无线网络。

由:

a) 表驱动路由。在维护根节点与子节点的路由时, HWMP 周期性洪泛 RANN 以触发 PREQ 与 PREP (path reply) 的交换过程, 更新路由信息。

b) 按需路由。在维护子节点之间的路由时, HWMP 分以下两种情况处理:

(a) 需要传输数据且无可用路由时, 源节点洪泛目的地址为目的节点 MAC 地址的 PREQ, 目的节点收到 PREQ 后单播回复 PREP, 路由建立。

(b) 当一条路由持续有数据通信时, 源节点周期性洪泛目的地址为目的节点 MAC 地址的 PREQ, 目的节点收到 PREQ 后单播回复 PREP, 路由维持。

除了上述机制, HWMP 还提供了路由快速建立机制: 源节点广播的 PREQ 被某一节点 N 收到, 若 N 拥有到目的节点的可用路由, 则单播 PREP 至源节点并单播该 PREQ 至目的节点。由此, 源节点与目的节点之间建立路由, 节点 N 称为中间节点。

2 基于 TTL 的广播风暴抑制方案

在树型网络中, 根节点需要周期性维护与子节点的路由, 同时所有子节点也需及时更新到根节点的路由, 所以洪泛 RANN 是有必要的。对于子节点之间的路由维护来说, 源节点必须能够找到到目的节点的可用路由。

由 HWMP 的路由机制可知, 至多保证 PREQ 到达目的节点, 源节点一定可以找到可用路由, 所以此时洪泛 PREQ 是没有必要的。

2.1 基本思路

树型网络中根节点周期性地刷新与所有子节点的路由, 路由信息更新及时, 可以认为根节点随时都拥有到所有子节点的可用路由。所以, 只要源节点广播的 PREQ 到达根节点, 不论目的节点处在网络中的任何位置, 根节点都可以作为中间节点快速建立源节点与目的节点之间的路由。该思路利用了 HWMP 的路由快速建立机制。

2.2 TTL 取值

根节点的周期性路由维护机制同时保证了所有子节点随时都拥有到根节点的可用路由, 所以子节点只需将 PREQ 的 TTL 设置为自己到根节点的路由跳数即可确保该 PREQ 到达根节点。

广播 PREQ 之前, 源节点查找路由表, 将目的节点为根节点的路由项中的跳数取出, 填入 PREQ 的 TTL 域中。记源节点到根节点的路由跳数为 n ; 记源节点与目的节点的最短距离 (两点之间所有可用路由中的最小路由跳数) 为 D 。根据 n 与 D 的大小关系, 可能出现以下两种情况:

a) $n \geq D$ 。源节点广播的 PREQ 可以到达目的节点, 目的节点回复 PREP, 路由建立。该路由不一定通过根节点。此时, 除源节点 $\longleftrightarrow$ 根节点 $\longleftrightarrow$ 目的节点这条路由外, 还可能存在其他的可用路由。最佳路由由 HWMP 决定。

b) $n < D$ 。源节点发送的 PREQ 不能到达目的节点, 只能依靠中间节点建立路由。根节点作为已知的中间节点必然建

立一条路由, 此时至少存在一条可用路由: 源节点 $\longleftrightarrow$ 根节点 $\longleftrightarrow$ 目的节点。

2.3 路由开销分析

假设节点在树型网络中均匀分布, 节点密度为 ρ , 如图 1 所示。图中 R 为根节点, r 为该网络的覆盖半径; S 为源节点, r_s 为采用本文方案时 PREQ 的广播半径。用 $C(R, r)$ 表示以 R 为圆心, r 为半径的圆; 用 $C(S, r_s)$ 表示以 S 为圆心, r_s 为半径的圆。本文认为路由开销是 PREQ 在网络中的广播次数, 考虑到对于同一个 PREQ, 任何节点仅广播一次, 路由开销等同于广播范围内的节点数目。

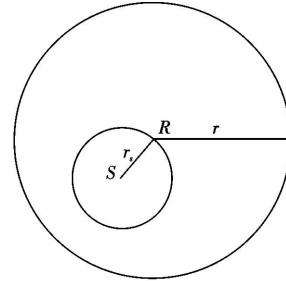


图1 节点密度均匀分布的树型网络

IEEE802.11s 需要洪泛 PREQ, PREQ 的广播范围为全网, 路由开销为

$$\text{cost}_R = \rho \pi r^2 \quad (1)$$

在本文方案中, PREQ 的广播范围是 $C(R, r)$ 与 $C(S, r_s)$ 的相交部分, 记其面积为 $\text{AREA}_\cap$, 如下式所示:

$$\text{AREA}_\cap = \pi r_s^2 \cap \pi r^2 \quad (2)$$

则路由开销为

$$\text{cost}_S = \rho \text{AREA}_\cap = \rho (\pi r_s^2 \cap \pi r^2) \quad (3)$$

与 IEEE 802.11s 相比, 本文方案降低的路由开销为

$$\text{cost}_{\text{save}} = \text{cost}_R - \text{cost}_S = \rho \pi r^2 - \rho (\pi r_s^2 \cap \pi r^2) \quad (4)$$

若 $C(S, r_s)$ 在 $C(R, r)$ 内, 则本文方案的路由开销为

$$\text{Cost}_S = \rho \pi r_s^2 \quad (5)$$

与 IEEE 802.11s 相比, 本文方案降低的路由开销为

$$\text{cost}_{\text{save}} = \rho \pi r^2 - \rho \pi r_s^2 = \rho \pi (r^2 - r_s^2) \quad (6)$$

由分析可知, 无论目的节点处于网络中的任何位置, 采用本文方案时的路由开销是固定的。若目的节点在 PREQ 的广播范围内, 能够找到最佳路由; 若目的节点不在 PREQ 的广播范围内, 找到的路由未必是最佳路由。

3 性能分析

3.1 实验环境设计与配置

为了验证本文提出的方案抑制 PREQ 广播风暴的有效性, 本文设计了一个三角形网络进行实验。该网络拓扑如图 2 所示。

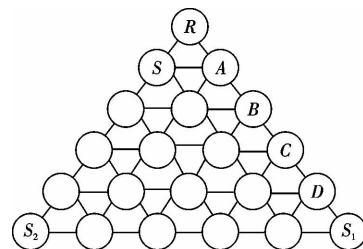


图2 三角形实验网络

图中 R 为根节点,其余节点为子节点。所有节点采用相同的实验平台:基于 S3C2440 的 ARM 开发板,无线网卡芯片为 rt2573,物理层配置为 IEEE 802.11b,工作频率为 2.4 GHz。每一个网卡天线与衰减 36 dB 的衰减器相连,这相当于在两节点之间加入了 72 dB 的衰减,将信号的有效传输距离限制在 1 m 以内,测试环境为室内不受控无线环境,如图 3 所示。



图3 室内测试环境

实验采用两套内核作对比测试,一套为 Linux 2.6.35.4,该内核实现了 IEEE 802.11s,以 HWMP 作为路由协议;一套在 Linux 2.6.35.4 基础上实现了本文方案。由于 Linux 2.6.35.4 已经提供了对 S3C2440 的支持,仅需在编译内核时将目标平台选定为 S3C2440 的 ARM 平台即可;为了实现本文方案,需要在 HWMP 的内核代码中进行相应修改,改变 PREQ 的 TTL 填写方式,除此之外的其他协议参数采用内核默认值。

3.2 实验指标及方法

网络路由开销: S 作为源节点分别与 A 、 B 、 C 、 D 四个目的节点通信时网络中 PREQ 数量。通信由 ping 程序发起,利用 Wireshark 对 PREQ 进行捕捉并统计数量,测试时间为 20 s。

网络吞吐量: S 作为源节点分别与 $A \sim D$ 四个目的节点通信时 S_1 与 S_2 之间的吞吐量,单位为 kbps。使用 iperf 进行测试,测试时间为 20 s。

3.3 实验结果及分析

表 1 是 IEEE 802.11s 与本文方案的路由开销对比。可以看出,本文方案能够大幅度减小网络中的路由开销,减小幅度达到了 73.7% ~ 89.3%。路由开销的减小得益于 PREQ 的 TTL 限制。当目的节点为 A 时路由开销最小,而当目的节点为 B 、 C 、 D 时路由开销呈上升趋势。这是因为根节点作为中间节点需要向目的节点单播 PREQ,而随着目的节点的改变,根节点到目的节点的路由跳数不断增加,该 PREQ 被转发的次数也增加。尽管如此,本文方案相比 802.11s 降低路由开销的作用还是非常明显的。

表1 路由开销对比

目的节点	本文方案开销	802.11s 开销	开销减小幅度/%
A	10	95	89.3
B	15	95	84.1
C	20	95	78.9
D	25	95	73.7

图 4 是本文方案与 IEEE 802.11s 的吞吐量对比。当 S 没有发起通信时,两者吞吐量几乎是一致的(图中横坐标 N/A 项),这是因为此时网络中没有 PREQ。当 S 发起通信时,IEEE 802.11s 的吞吐量下降了约 13%,而且不论 S 与哪个目的节点通信,其吞吐量几乎保持不变。采用本文方案时,虽然相比 S 没有发起通信时吞吐量有所下降,在 S 发起通信时吞吐量比 IEEE 802.11s 提高了约 7%,这是因为本文方案降低了网络中的 PREQ 数量,为有效通信节约了网络资源。

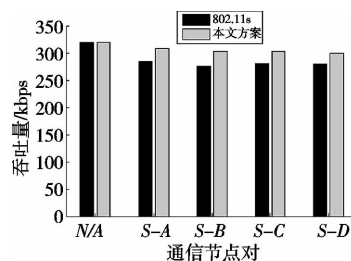


图4 吞吐量对比

4 结束语

在 IEEE 802.11s 的树型网络中,根节点的表驱动路由机制通过 RANN 周期性维护与子节点之间的路由。本文利用这一特点将子节点之间寻找路由所用 PREQ 的 TTL 设置为源节点到根节点的路由跳数,在保证能够找到可用路由的同时,限制了 PREQ 的广播范围,抑制了 PREQ 广播风暴。实验表明,本文方案可以有效地降低 IEEE 802.11s 树型网络中的路由开销,提高网络吞吐量。

下一步的工作是在提高网络吞吐量的同时,提高子节点发现最佳路由的几率。

参考文献:

- [1] NI Sze-yao, TSENG Yu-chee, CHEN Yuh-shyan, *et al.* The broadcast storm problem in a mobile Ad hoc network[J]. *Wireless Networks*, 2002, 8(2-3): 153-167.
- [2] IEEE TGs. IEEE LAN/MAN Standards Committee 802.11s-2010, IEEE draft standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements, part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications; amendment 10: mesh networking [S]. New York: IEEE Computer Society, 2010.
- [3] CHOWDHURY A R, NANDI S. Received signal based minimization of broadcast storm in multi-hop MANET[C]//Proc of IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks. 2006: 6.
- [4] JANG Hung-chin, HUNG Chih-chia. Direction based routing strategy to reduce broadcast storm in MANET[C]//Proc of International Computer Symposium. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 445-450.
- [5] XUE Bo, REN Pin-yi, FENG Jia. A limited broadcast algorithm (LBA) [C]//Proc of the 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 2630-2654.
- [6] ZOU Feng-fu, ZHANG Xin-ming, WANG En-bo, *et al.* A localization routing discovery mechanism for mobile ad hoc networks[C]//Proc of the 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Washington DC: IEEE Computer Society, 2008: 1-4.
- [7] CHEN Li-juan. Research on routing protocol applied to wireless mesh networks[C]//Proc of WRI International Conference on Communications and Mobile Computing. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 512-516.