

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.01.007

基于选择性扫描的无线 Mesh 网信道扫描算法

赵子龙, 文 鸿, 徐 曦, 李绍帅, 欧阳旻

(湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 针对轨道交通的无线 Mesh 网络信道切换存在时延问题, 提出了一种基于选择性信道扫描算法。通过最小化信道扫描数目, 以减少探测时延; 并从理论分析了选择性信道扫描与全信道扫描的切换探测时延, 并通过 OPNET 对切换场景进行仿真分析。仿真结果表明: 与全信道扫描算法相比, 选择性信道扫描算法可降低切换时延约 130 ms, 能有效提高轨道交通无线 Mesh 网络的性能。

关键词: 轨道交通; 信道切换; 选择性扫描; OPNET

中图分类号: TN923

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)01-0036-05

Switching Strategy of Wireless Mesh Network Channel Based on Selective Scanning

ZHAO Zilong, WEN Hong, XU Xi, LI Shaoshuai, OUYANG Min

(School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In the view of the problem of rail traffic in wireless mesh network channel switching, puts forward a channel switching strategy based on selective scanning. Reduces the detection delay by minimizing the number of channel scanning, analyses theoretically the selective channel scanning and full channel scanning switching detection delay, and simulates the switching scene through the OPNET. The experimental results show that compared with the full channel scanning algorithm, the selective channel scanning switching strategy can effectively improve the performance of the wireless MESH network by reducing the switching delay of about 130 ms.

Keywords: rail traffic; channel switching; selective scanning; OPNET

0 引言

无线 Mesh 网络具有动态自组织、自配置、成本低等特点, 可以方便、快速地进行网络扩展, 因此其在城市轨道交通中具有广阔的应用前景。为保证无线 Mesh 网络的通信连续性, 车载 MAP (mesh access point, 即 Mesh 接入点) 需与轨旁 MAP 进行频繁的信道切换。目前, 对于无线 Mesh 网的移动切换研究主要借鉴 WLAN 的切换策略^[1], 国内外研究

学者提出了预测切换、邻居图切换、异构网络层次化切换等多种切换策略^[2-9]。文献[2]采用差分算法, 对移动站接收到的不同时刻的接收信号强度 (received signal strength indicator, RSSI) 值进行差分, 得到 RSSI 变化趋势, 选择 RSSI 较好的 MAP 提前认证和接入, 以此降低切换时延。文献[7]提出了一种移动主机 (mobile host, MH) 代理登记机制, 对 LLC 层 (logical link control) 与 MAC 层 (media access

收稿日期: 2015-11-12

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (14JJ3123), 湖南省教育厅科研基金资助项目 (15K035, 15C0408, 14A037)

作者简介: 赵子龙 (1988-), 男, 河南郑州人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为无线网络,

E-mail: zilong_love0@126.com

通信作者: 文 鸿 (1981-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学副教授, 博士, 主要研究方向为下一代宽带无线通信网,

E-mail: wenhuh@163.com

control) 进行跨层设计, 以此减小丢包率, 但此算法只针对单信道无线 Mesh 网的内部切换, 不能满足轨道交通的多信道需求。针对无线 Mesh 网切换中移动节点的认证安全问题, 文献[8]采用邻居图与矩阵密钥分配方法来实现快速认证, 该方法的认证时间少于探测扫描时延。文献[9]将 IPv6 应用于无线 Mesh 网中, MPP(mesh portal point)、MP(mesh point)和 MAP 都有唯一的 IPv6 和 MAC 地址, 但此方法只适合于无线 Mesh 网的域内切换。

考虑到同频干扰影响, 在轨道交通中无线 Mesh 网部署不能使用单一信道, 轨旁 MAP 需直线部署并采用无重叠覆盖的无线信道。为减少切换时延, 本文提出一种基于选择性扫描的无线 Mesh 网信道切换策略, 以改善切换性能。

1 轨道交通无线 Mesh 网络模型

无线 Mesh 网络是 Ad-Hoc 网络与 WLAN 网络的结合。在无线 Mesh 网络中, MAP 节点可以看成是 MP 与 AP (wireless access point) 节点的结合, MP 负责转发数据, AP 负责移动终端接入。在车地通信无线 Mesh 网络中, 无线 Mesh 骨干网主要由 MPP、车载 MAP 和轨旁 MAP 组成, 如图 1 所示。MPP 由以太网卡和无线网卡组成, 以太网卡连接 Internet 服务器, 提供 Internet 服务; 无线网卡与 MP 或者 MAP 通过无线连接, 提供数据转发服务。地面设备中, MAP 主要完成数据的转发服务, 保持与车载 MAP 的连接; 车载 MAP 主要完成 STA 的接入以及将数据转发给地面设备 MAP; STA 为终端设备, 主要包括具有无线接入功能的手机、PDA、笔记本电脑等。

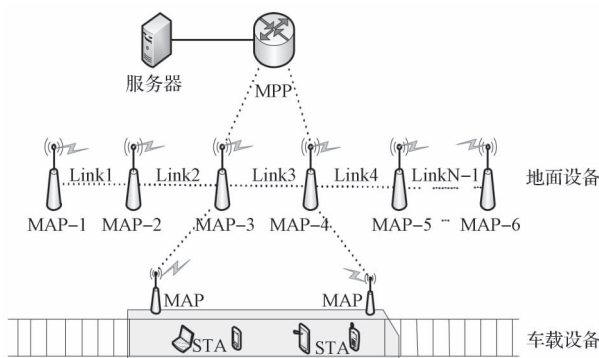


图 1 轨道交通无线 Mesh 网络拓扑图

Fig. 1 Topology of rail traffic wireless Mesh network

2 2 种信道扫描算法介绍与比较

2.1 信道扫描算法介绍

无线 Mesh 网在进行信道切换时, 移动终端先断

开与旧 MAP 的连接, 再与新 MAP 重新建立连接。整个切换过程分为 3 个阶段: 1) 信道扫描 (probe) 阶段, 即发现阶段, 完成信道接入及探测; 2) 认证 (authentication) 阶段, 完成接入点的认证; 3) 重关联 (reassociation) 阶段, 完成接入点与被接入点的绑定。

在切换过程中, 由于 STA 移动, 造成无线通信链路质量下降, 如接收信号强度 RSSI 和信噪比降低等。当这些参数数值低于阈值时, STA 开始发起切换, 执行信道扫描, 搜索新的 MAP。对 MAP 的扫描主要分为主动扫描和被动扫描 2 种。被动扫描中, MAP 发出信标帧 beacon (包含时间戳、容量、信标间隔、ESSID、业务指标等信息) 来扫描可能存在的 STA, STA 通过被动扫描来搜索附近的 BSS。主动扫描中, 当信号质量低于阈值时, STA 依次在各个信道发送探测请求帧, 探测附近的 MAP 节点, 收到相应帧后, 再切换至另一信道进行探测帧的发送。随后比较无线信道的质量, 选择链路质量较好的 MAP 接入并进行认证与重关联。

目前, 常用的无线接入点运行频段为 2.4 GHz 和 5 GHz。在 2.4 GHz 频段, 有 14 个信道 (欧洲标准只有前 11 个信道可用), 相邻信道的中心频率相差 5 MHz, 每个信道带宽约 22 MHz。14 个信道中, 只有 1, 6, 11 信道频谱是完全非重叠的。而全信道扫描时, STA 将依次切换至各个信道发送探测帧, 直至完成对 11 个信道的扫描, 这样切换时延较长。

本文针对列车行动路线的特殊性, 局部范围内可将其看成一条直线, 因此, 选用 1, 6, 11 信道作为 MAP 节点频率, 当 STA 发生切换时, 只选择扫描这 3 个信道。这样既能有效减少信道扫描时延, 又能有效避免同频和邻频干扰。选择性信道扫描算法如图 2 所示。

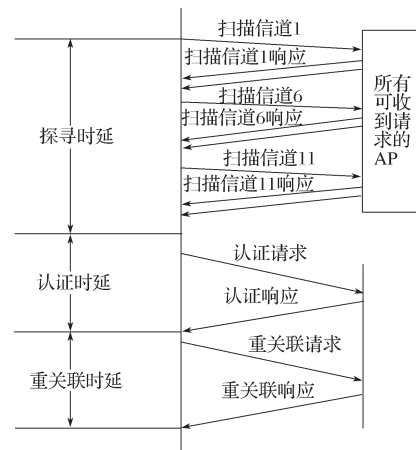


图 2 选择性信道扫描算法

Fig. 2 The switching scheme of selective scanning channels

2.2 算法比较

在无线 Mesh 网络中, STA 切换时延主要由信道探测时延、安全认证时延以及重关联时延构成。信道探测时延占时最长, 占 STA 切换时间的 90% 以上; 安全认证时延最短; 重关联时延主要受接入点内部协议 IAPP (Inter Access Point Protocol) 时延影响。

在主动扫描过程中, 若 STA 发送探测请求帧, 则需等待该信道上可能存在的 MAP 探测响应, 等待时间取决于信道是否存在可接入的 MAP。如果在最小信道驻留时延 T_{\min_chan} 内, 该信道没有收到任何流量, 表明该信道为空, 即无可接入的 MAP, 此次信道扫描结束; 否则必须等待至最大信道驻留时延 T_{\max_chan} 。

T_e 为当前信道没有 MAP 即空信道下的信道扫描时延^[10], 即

$$T_e = 2T_D + T_{\min_chan}, \quad (1)$$

式中 T_D 为帧取得传输媒介使用权的接入时延。

T_u 为当前信道存在 MAP 情况下的信道扫描时延, 即

$$T_u = 2T_D + T_{\max_chan} \quad (2)$$

u 为有 MAP 存在的信道个数, e 为无 MAP 存在的信道个数, 则探测时延 T_s 为

$$T_s = uT_u + eT_e = 2T_D(u+e) + uT_{\max_chan} + eT_{\min_chan} \quad (3)$$

轨道交通中, 无线 Mesh 网络的 MAP 基本沿轨道部署, 其覆盖模型如图 3 所示。

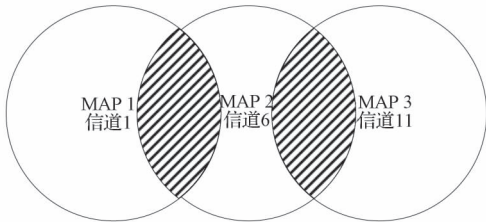


图 3 MAP 覆盖模型图

Fig. 3 The diagram of MAP coverage model

由图 3 可以看出, 当 STA 移动进入重叠区域, 发生切换时, 若只有 2 个 MAP 存在, 则:

1) 对于全信道扫描算法, 此时 $u=2$, $e=9$,

$$T_s = 22T_D + 2T_{\max_chan} + 9T_{\min_chan}; \quad (4)$$

2) 对于选择性信道扫描算法, 此时 $u=2$, $e=1$,

$$T_s = 6T_D + 2T_{\max_chan} + T_{\min_chan} \quad (5)$$

802.11 协议并未对 T_{\max_chan} 和 T_{\min_chan} 的值作具体说明, 一般认为 T_{\max_chan} 等于 T_D 。根据 802.11 协议的 MAC 访问机制可知, T_{\min_chan} 为

$$T_{\min_chan} = T_{DIFS} + CW_{\min} \times T_{slot} \quad (6)$$

式中: T_{DIFS} 为接入优先级等待时间;

CW_{\min} 为最小竞争窗口, 在直序列扩频技术中其值为 31;

T_{slot} 为一个时隙长度。

T_{DIFS} 可通过式 (7) 得到, 即

$$T_{DIFS} = T_{SIFS} + 2T_{slot}, \quad (7)$$

式中: T_{SIFS} 为短帧间间隔, 802.11g 协议中 T_{SIFS} 为 $10\mu s$;

T_{slot} 为 $9\mu s$ 。

可知 T_{DIFS} 为 $28\mu s$, T_{\min_chan} 为 $307\mu s$ 。

接入时延 T_D 可通过式 (8) 得到, 即

$$T_D = T_{L_s} n, \quad (8)$$

式中: T_{L_s} 为一个时隙的平均长度;

n 为成功传输帧的平均时隙数。

要得到 T_D , 需求出 T_{L_s} , n 的值。

1) T_{L_s} 可通过式 (9) 得到, 即

$$T_{L_s} = (1 - P_{tr})\sigma + P_{tr}P_sT_d + P_{tr}(1 - P_s)T_c, \quad (9)$$

式中: σ 为时隙, 其值为 $20\mu s$;

P_{tr} 为给定时隙中, 只有一个节点发送的概率;

P_s 为只有一个节点发送时的成功发送概率;

T_d 为帧成功传输下信道的繁忙平均时间;

T_c 为碰撞导致的信道繁忙平均时间。

要得到 T_{L_s} , 需求得 P_{tr} , P_s , T_d , T_c 。

① P_{tr} 与 P_s 分别通过式 (10) 和 (11) 得到, 即

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^N, \quad (10)$$

$$P_s = N\tau - (1 - \tau)^{N-1} / P_{tr} \quad (11)$$

式 (10) ~ (11) 中: N 为竞争媒介使用权的移动台数量;

τ 为传输概率, 即

$$\tau = \frac{2(1-2P)}{(1-2P)(W+1) + PW(1-(2P)^m)}, \quad (12)$$

其中 P 为帧冲突概率,

$$P = 1 - (1 - \tau)^N, \quad (13)$$

m 为最大退避阶数, 由于时隙的平均长度 T_{L_s} 决定于成功传输帧或帧冲突下信道感知介质繁忙的时间间隔, 此处设定最大退避阶数 $m = 10$ 。

将式 (12) ~ (13) 进行迭代, 得到 P 与 τ 。 N 取不同数值时, 可依次求出式 (9) 中 P_{tr} 与 P_s 。

② T_d 和 T_c 分别通过式 (14) 和 (15) 得到, 即

$$T_d = T_H + T_P + T_{SIFS} + T_{ACK} + T_{DIFS}, \quad (14)$$

$$T_c = T_H + T_P + T_{DIFS} \quad (15)$$

式 (14) ~ (15) 中: T_H 为数据头的传输时间, 为 $416\mu s$;

T_P 为平均数据包有效载荷大小, 为 $1091\mu s$;

T_{ACK} 为确认帧传输时间, 为 $10.2\mu s$ 。

2) n 可通过式 (16) 得到, 即

$$n = \frac{(1-2P)(W+1) + PW(1-(2P)^m)}{2(1-2P)(1-P)} \quad (16)$$

式中: 无重传机制下, $m = 0$;

$$W = CW_{\min} = 31。$$

可得

$$n = 16 / (1 - P)。$$

由上述公式, 可以得到 N 取不同值时的接入时延 T_D , 进而求出探测时延 T_s 。图 4 为 N 取不同值时, 全信道扫描算法和选择性信道扫描算法的探测时延 T_s 的分布情况。

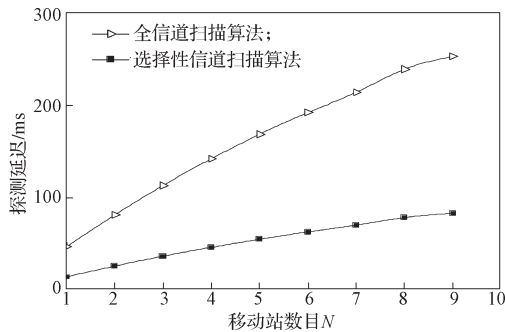


图 4 移动站数目 N 取不同值时, 总探测时延分布图

Fig. 4 The detection time delay diagram for the different numbers of mobile radio station N

通过上述数学逻辑推理以及图 4 可知: 随着 N 取值的增大, 全信道扫描算法与选择性信道扫描算法的探测时延 T_s 都呈增大的趋势; 但选择性信道扫描算法的探测时延 T_s 增长率明显小于全信道扫描算法, 如当 N 为 4 时, 全信道切换算法的探测时延约为 150 ms, 选择性信道扫描算法的探测时延约为 40 ms。由此可见, 选择性信道扫描算法能够有效减小 STA 在信道扫描阶段中的探测时延。由于切换时延还包括安全认证时延以及重关联时延, 因此切换时延并不局限于探测时延。在此, 本文只讨论探测时延的影响。

3 仿真分析

本文通过 OPNET 建立仿真模型。考虑到无线 Mesh 网络的应用场景即轨道交通, 本文采用直线轨迹, 设置轨旁 MAP 频率为 1, 6, 11 信道中心频率, 对移动 MAP 发射机模块的信道匹配文件进行修改, 使之适应轨道交通无线 Mesh 网络的需要。

仿真时间设定为 2 min。通过观察车载 MAP 的 AP 连接属性 (AP connectivity), 可以观测车载 MAP 与轨旁 MAP 的连接情况。为便于分析对比, 将数据导出, 再进行绘图分析。本文选取 69 次切换数据, 车载 MAP 数目为 4。图 5 为全信道扫描算法与选择性信道扫描算法对比图。由图 5 可以看出, 在 2 个轨旁 MAP 覆盖的情况下, 全信道扫描算法的时延最高达

到 350 ms, 最低 100 ms, 平均时延约为 184 ms; 选择性信道扫描算法的最高切换时延为 70 ms, 最低 37 ms, 平均时延为 52 ms。当切换时延大于 50 ms 时, 人耳能明显感觉到语音通信中的切换间隔。由此可见, 选择性信道扫描算法能够基本满足语音通信时对切换时延的要求。

仿真结果和理论分析存在一定的偏差, 这是由于网络时延受信道噪声、频带干扰以及仿真只能在一定次数下进行等因素的影响。整体而言, 选择性信道扫描算法能够显著减小切换时延, 提高切换效率。

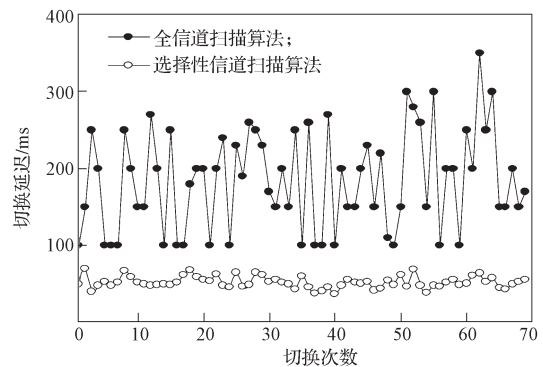


图 5 车载 MAP 数目为 4 时, 切换时延对比图

Fig. 5 The contrast of switching delay when the number of vehicle MAP is 4

4 结语

针对传统无线 Mesh 网络的全信道扫描算法存在严重时延问题, 本文提出了一种选择性信道扫描算法, 将其应用于轨道交通中。该算法通过最小化扫描信道数量方法来实现车载 MAP 的快速切换。本文先从理论分析轨道交通无线 Mesh 网信道切换时延, 再将 2 种信道扫描算法进行仿真分析。仿真结果表明, 选择性信道扫描算法能有效降低车载 MAP 的切换时延, 提高切换效率。

参考文献:

- [1] 程颖博, 郭宇春. 基于预测的无线 Mesh 网络多链路切换机制研究[J]. 计算机技术与发展, 2013(8): 35-38.
CHENG Yingbo, GUO Yuchun. Research on Prediction-Based Multilink Handoff Mechanism in Wireless Mesh Network[J]. Computer Technology and Development, 2013(8): 35-38.
- [2] 李亚莉, 刘晓娟. 基于预测的无线 Mesh 网络切换机制的研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2014(6): 876-878.
LI Yali, LIU Xiaojuan. Research on Prediction-Based Handoff Mechanism in Wireless Mesh Network[J]. Jiamusi

- University(Natural Science), 2014(6) : 876-878.
- [3] 杨春勇, 胡雯莹, 石 珊. 高速铁路车-地同步定位预测快速越区切换方法[J]. 铁道学报, 2014, 36(5) : 53-57.
YANG Chunyong, HU Wenxuan, SHI Shan. Vehicle-Ground Position Sync-Prediction Handover for High-Speed Railways[J]. Journal of the China Railway Society, 2014, 36(5) : 53-57.
- [4] MISHRA A, MIN H S, PETRONI N L, et al. Proactive Key Distribution Using Neighbor Graphs[J]. Wireless Communications IEEE, 2004, 11(1) : 26-36.
- [5] 许竹霞, 刘金虎. 基于无线局域网的移动IPv6链路层切换[J]. 信息通信, 2012(4) : 86-87.
XU Zhuxia, LIU Jinhu. Link-Layer Handoff of Mobile IPv6 Based on WLAN[J]. Information Communication, 2012(4) : 86-87.
- [6] 谢丽华, 杨寿保, 胡 云, 等. 异构无线 Mesh 网络层次化平滑切换算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(4) : 82-84.
XIE Lihua, YANG Shoubao, HU Yun, et al. Hierarchical Smooth Handoff Scheme for Heterogeneous Wireless Mesh Network[J]. Computer Engineering, 2010, 36(4) : 82-84.
- [7] 方旭明, 孙淑杰, 何 蓉. 一种 802.11s 无线 Mesh 网络快速切换算法[J]. 西南交通大学学报, 2010, 45(5) : 725-731.
FANG Xuming, SUN Shujie, HE Rong. 802.11s Based Fast Transition Scheme for Wireless Mesh Network[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2010, 45(5) : 725-731.
- [8] 彭清泉, 裴庆祺, 庞辽军, 等. 一种 WLAN Mesh 网络快速切换认证方法[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2010, 31(4) : 458-463.
PENG Qingquan, PEI Qingqi, PANG Liaojun, et al. An Authentication Method for Fast Handoff in WLAN Mesh Networks[J]. Journal of Jiangsu University(Natural Science), 2010, 31(4) : 458-463.
- [9] 陈康先, 杨 峰. 基于 IPv6 的无线 Mesh 网络切换技术研究[J]. 移动通信, 2014(2) : 37-42, 47.
CHEN Kangxian, YANG Feng. Research on the Switching Technology of Wireless Mesh Network Based on IPv6[J]. Mobile Communications, 2014(2) : 37-42, 47.
- [10] HAMDAN T T M, SIGIUK H I, OMAR Y M. Reduction of Handoff Search Phase Time in IEEE 802.11 WLAN to Fulfill Real Time Services Requirements[C]//2009 International Conference on Telecommunications. Washington: IEEE, 2009: 346-351.
- [11] 朱 铨. 铁路无线 Mesh 网络骨干链路传输性能研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
ZHU Quan. Research on the Backbone Link's Transmission Performance of Railway Wireless Mesh Network[D]. Changsha: Central South University, 2009.

(责任编辑: 邓 彬)