

车载 Wi-Fi 应用的 AP 间切换误判性能研究

康玉文¹, 邹复民², 康兴斌¹, 朱 铨²

(1. 漳州职业技术学院电子工程系, 福建漳州 363000;

2. 福建工程学院福建省汽车电子与电驱动技术重点实验室, 福建福州 350108)

摘要:以不同的扫描时间间隔和车载移动速度,对车载移动环境下 AP 间切换误判性能进行了系列的仿真和实验研究.结果表明,在快速移动环境下,通过合理设置扫描间隔,基于多无线模块的 AP 间快速切换方法能保证较低的 AP 间切换误判率,可以满足车载 Wi-Fi 应用的切换判决需求.

关键词:车载; Wi-Fi; 扫描; 切换; 误判率

中图分类号: TP393.03 **文献标识码:** A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2014.10.010

引用格式: Kang Yuwen, Zou Fumin, Kang Xingbin, et al. Research on misjudgment of inter-AP handoff for on-board Wi-Fi applications[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2014, 44(10): 862-866, 873.

康玉文, 邹复民, 康兴斌, 等. 车载 Wi-Fi 应用的 AP 间切换误判性能研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2014, 44(10): 862-866, 873.

Research on misjudgment of inter-AP handoff for on-board Wi-Fi applications

KANG Yuwen¹, ZOU Fumin², KANG Xingbin¹, ZHU Quan²

(1. Dept. of Electronic Engineering, Zhangzhou Institute of Technology, Zhangzhou 363000, China;

2. Key Laboratory for Automotive Electronics and Electric Drive of Fujian Province, Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China)

Abstract: At different scan intervals and moving speeds, simulation and experimental studies have been carried out for the misjudgment performance of inter-AP handoff for on-board Wi-Fi applications. The results show that, in a fast-moving environment, if the scan interval is reasonable, the misjudgment rate of inter-AP handoff is low, which can meet the requirements for handoff judgment of on-board Wi-Fi applications.

Key words: on-board; Wi-Fi; scan; handoff; misjudgment rate

0 引言

随着移动互联网的快速发展^[1-2],互联网已经融入社会的各个领域,互联网应用移动化、便携化和宽带化的需求日益明显. Wi-Fi 作为无线宽带接入

的主要技术之一,由于其技术成熟、应用广泛、成本低廉等优点,具有良好的技术与经济可行性,各国纷纷展开了相关研究,目前已经由 SOHO 环境逐渐扩展到室外移动环境^[3-5]. 由于 Wi-Fi 原本是针对固定或者游牧式环境设计的,其覆盖范围较小,而随着车

收稿日期:2013-11-01;修回日期:2014-06-19

基金项目:国家自然科学基金(61101139),福建省杰出青年基金(2012J06015),福建省高校创新团队培育计划,福建省教育厅 B 类科技项目(JB12330),漳职院科研项目(ZZY1306)资助.

作者简介:康玉文(通讯作者),男,1964年生,副教授/硕士.研究方向:通信、计算机软件领域. E-mail: 676258561@qq.com

载移动的运行速度越来越快,车载移动节点在每个 AP 覆盖下的驻留时间通常仅为数秒到数 10 s,显然,现有 AP 间切换机制不能满足车载移动的要求.

针对 Wi-Fi 的快速 AP 间切换技术得到了广泛研究,如支持车-地宽带互联的广义 AP 间切换模型等^[6].显然,动态维护周边 AP 的信号质量几乎是所有快速 AP 间切换算法的基础^[7].文献[7]深入分析了车载移动环境下的 AP 信号质量可信度,但对于不同 Wi-Fi 扫描机制的 AP 间切换误判性能尚缺少相关研究.为此,本文基于文献[7]的研究成果,将从理论和实验两个方面展开具体研究.

1 基于多无线模块的快速 AP 间切换方法

基于多无线模块的快速 AP 间切换方法,至少需要在一个车载移动终端设备中集成两块无线模块,其中一块作为主无线模块保持正常的数据通信,另一块作为从无线模块切换到其他信道探测合法 AP,并提前接入下一个待通信的 AP,从而实现正常数据通信与扫描信道同步进行^[8-9].其切换原理如图 1 所示.

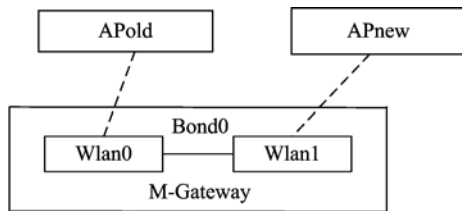


图 1 基于多无线模块的 AP 间切换原理示意图

Fig. 1 Principle of multi-radio based handoff between APs

通过开源代码 Bonding 将两块无线模块捆绑为一个虚拟模块 Bond0,对于链路层以上协议栈而言,Wlan0 和 Wlan1 具有相同的 MAC 地址和 IP 地址,因此无论由哪个无线模块提供接入并进行数据通信,均会被认为接入的是同一个无线模块.对于下层协议栈而言,这两个无线模块可以工作为主/从模式,假设 Wlan0 为主无线模块、Wlan1 为从无线模块,当 Wlan0 接入当前 AP(即 APold)进行正常数据通信时,Wlan1 执行扫描并确定新的待通信 AP(如 APnew).当 Wlan1 所在的从无线链路质量高于 Wlan0 的数据通信链路时,将触发切换判决进程,主从无线模块执行切换,由 Wlan1 与新 AP 进行数据通信,而 Wlan0 转换为从无线模块探测所有部署信道,扫描新的下一个待通信 AP,从而实现快速而平

滑的 AP 间切换.

2 切换误判性能理论分析

首先,假设 Wi-Fi 典型的车载移动应用场景如图 2 所示,sta(车载移动终端)以速度 v (单位:m/s)从当前 AP 往目标 AP 移动,AP 在空旷环境下沿道路的有效覆盖直径 $D=1$ km.

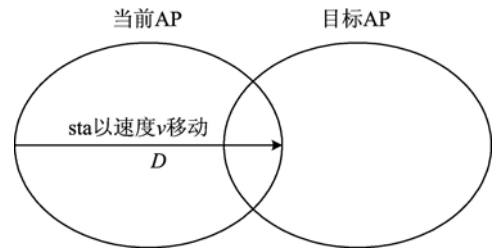


图 2 Wi-Fi 典型移动应用场景示意图

Fig. 2 Typical mobile application scenario of Wi-Fi

本文给出相关定义如下:

定义 2.1 空旷环境下实际的 AP 信号质量为:

$$Q(d) = K_1 - K_2 \log(d) \quad (1)$$

式中, K_1 和 K_2 为与发射功率、接收功率和天线增益等相关的常量, d 为 sta 与 AP 的相对距离.本文实验环境为在一条长约 900 m 的公路上采用一个 Netgear AP(SSID:NGI-2)进行无线覆盖,通过在 10 个平分点的上百次的测试数据的曲线拟合发现, $K_1 \approx 90, K_2 \approx 15^{[10]}$.

定义 2.2 令 sta 的扫描间隔为 $\Delta t, t_i$ 时刻 sta 在所处位置 $d(t_i)$ 扫描获得 AP 信号质量为实际质量 $Q(d(t_i))$,两次连续扫描间隔内 t 时刻 sta 记录的 AP 信号质量为记录质量 $\hat{Q}(t)$,则有

$$\hat{Q}(t) = Q(d(t_i)), t_i \leq t < t_i + \Delta t \quad (2)$$

因为 sta 是通过周期性扫描更新其记录的 AP 信号质量的,在执行下一次扫描前,sta 记录的 AP 信号质量即为前一次扫描的结果,该定义显然是合理的.假设自 t_0 时刻起 sta 从 AP 的覆盖边缘为起点以速度 v 匀速通过 AP 的覆盖区域,显然对于 t 时刻的位置 d 有

$$d = |D/2 - v \times t| \quad (3)$$

式中, D 为有效覆盖直径.

定义 2.3 令 AP 信号质量的动态维护周期为 $t_{interval}$ (单位:s),动态维护的 AP 信号质量与实际的 AP 信号质量的偏差为 ΔQ ,即

$$\Delta Q = |Q(d) - \hat{Q}(d)| \quad (4)$$

式中, $Q(d)$ 为 sta 在位置 d 的实际 AP 信号质量, $\hat{Q}(d)$ 为此时其动态维护的 AP 信号质量.

假设信号质量偏差 ΔQ 大于 δ (单位: dB) 则可能导致 AP 间切换误判, 因此可定义 AP 间切换误判率 p 为 sta 在 AP 覆盖中移动中 ΔQ 超过某个阈值时的区间占 AP 覆盖总区间的比率. 实验发现, 当 $p \leq 10\%$ 时一般可以满足系统切换判决要求^[11]. 为此, 基于 Matlab 进行仿真, 在 $v = [30 \ 60 \ 90]$ 、 $t_{\text{interval}} = [0.25 \ 0.35 \ 0.5 \ 1 \ 4]$ 和 $\delta = [2 \ 5 \ 10]$ 时的 AP 间切换误判率分别下表 1、表 2 和表 3 所示.

表 1 $\delta = 2$ dB 时 AP 间切换误判率

Tab. 1 Misjudgment rate of inter-AP handoff when $\delta = 2$ dB

$v/$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	t_{interval}/s					
	0.25	0.35	0.5	1	4	
p	30	0.65%	0.78%	1.3%	2.61%	13.78%
	60	1.3%	1.68%	2.61%	5.22%	24.14%
	90	1.96%	3.81%	3.92%	7.83%	40%

表 2 $\delta = 5$ dB 时 AP 间切换误判率

Tab. 2 Misjudgment rate of inter-AP handoff when $\delta = 5$ dB

$v/$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	t_{interval}/s					
	0.25	0.35	0.5	1	4	
p	30	0.2%	0.21%	0.43%	0.85%	6.89%
	60	0.43%	0.5%	0.85%	1.7%	9.93%
	90	0.64%	1.27%	1.96%	2.56%	20.7%

表 3 $\delta = 10$ dB 时 AP 间切换误判率

Tab. 3 Misjudgment rate of inter-AP handoff when $\delta = 10$ dB

$v/$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	t_{interval}/s					
	0.25	0.35	0.5	1	4	
p	30	0.097%	0.11%	0.19%	0.39%	4.4%
	60	0.13%	0.19%	0.39%	0.78%	6.07%
	90	0.29%	0.43%	0.58%	1.6%	13.3%

仿真结果表明, 切换误判率 p 正比于移动速度、AP 扫描周期和切换灵敏度 (δ 越小, 切换灵敏度越高), 当 $\delta = 5$ dB 时, 对于 30 km/h 和 60 km/h 的移动速度, sta 的 AP 扫描周期均可最大配置为 4 s, 而对于 90 km/h 的移动速度则需要相应地提高 AP 扫描速率.

3 实验及其数据分析

在实际的车载 Wi-Fi 应用中, 由于多径传输和多普勒频移等因素影响, 动态维护的 AP 信号质量

并不一定与公式 (2) 一致, 为此基于上文搭建的车载 Wi-Fi 应用的 AP 间切换误判性能研究实验床, 在移动速度 v 分别为 30 km/h、60 km/h 和 90 km/h 的车载移动环境下, 进行了扫描间隔为 4 s、1 s、0.5 s、0.35 s 和 0.25 s 的扫描实验. 其中, 扫描间隔时间为 0.25 s 的实验结果如图 3 所示.

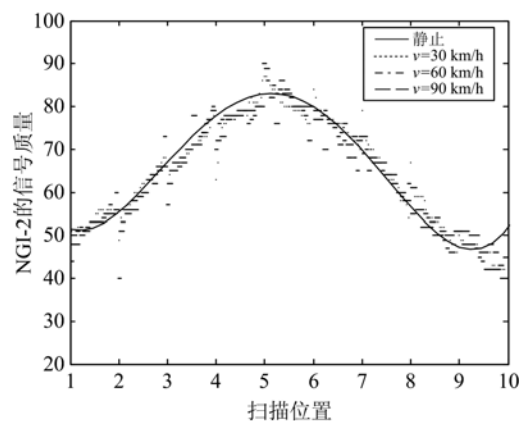


图 3 快速移动扫描实验结果 (扫描间隔 0.25 s)

Fig. 3 Experimental results of fast moving scanning (interval=0.25 s)

当扫描间隔设置为 0.25 s 时, 在 0.25 s 的时间间隔内, 不更新 NGI-2 的信号质量, 尽管此时装有实验系统的车子已离开原来位置, 导致扫描得到的 NGI-2 信号质量与其实际信号质量存在偏差, 但是 30 km/h、60 km/h 和 90 km/h 的移动速度在 0.25 s 的时间间隔内移动距离较小, 尤其是 30 km/h 的移动速度在 0.25 s 内移动距离仅为 2.1 m. 当扫描间隔为 0.25 s 时, 三种移动速度下 NGI-2 的 ΔQ 不超过 5 dB 的比例估值分别为 96.6%、94.2 和 90.5%, 误判率分别为 3.4%、5.8% 和 9.5%, 均可满足切换判决要求.

扫描间隔时间为 0.35 s 的实验结果如图 4 所示. 当扫描间隔设置为 0.35 s 时, 在 0.35 s 的时间间隔内, 不更新 NGI-2 的信号质量, 尽管此时装有实验系统的车子已离开原来位置, 导致扫描得到的 NGI-2 信号质量与其实际信号质量存在偏差, 但是 30 km/h 的移动速度在 0.35 s 的时间间隔内移动距离仅为 2.9 m, 信号质量的变化范围基本不超过 5 dB, 估算其 ΔQ 不超过 5 dB 的比例大概为 95.7%; 60 km/h 和 90 km/h 的移动速度在 0.35 s 的时间间隔内移动距离分别为 5.8 m 和 8.75 m, 估算其 ΔQ 不超过 5 dB 的比例分别大概为 93.1% 和 89.6%. 对于移动速度为 30 km/h 的车载环境, 设

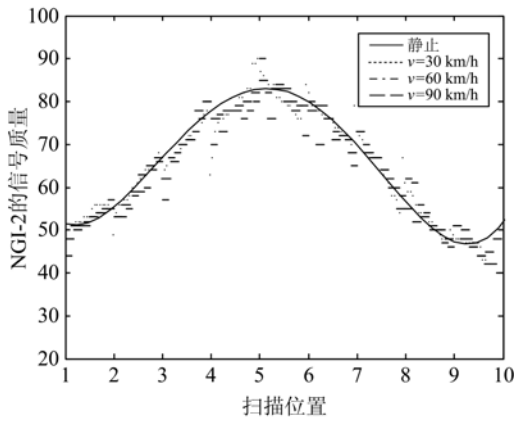


图 4 快速移动扫描实验结果(扫描间隔 0.35 s)
 Fig. 4 Experimental results of fast moving scanning (interval=0.35 s)

置扫描间隔为 0.35 s,其根据扫描得到的合法 AP 的信号质量执行切换判决,切换误判率不到 5%;对于移动速度为 60 km/h 的车载环境,设置扫描间隔为 0.35 s,其根据扫描得到的合法 AP 的信号质量执行切换判决,切换误判率大概为 6.9%;对于移动速度为 90 km/h 的车载环境,切换误判率大概为 10.4%。显然,0.35 s 的扫描间隔可以满足 30 km/h 和 60 km/h 车载环境下切换判决要求,基本可以满足 90 km/h 车载环境下切换判决要求。

扫描间隔时间为 0.5 s 的实验结果如图 5 所示.当扫描间隔设置为 0.5 s 时,在 0.5 s 的时间间隔内,不更新 NGI-2 的信号质量,而此时装有实验系统的车子已离开原来位置,导致扫描得到的 NGI-2 信号质量与实际信号质量存在偏差.30 km/h 和 60 km/h 的移动速度在 0.5 s 的时间间隔内移动

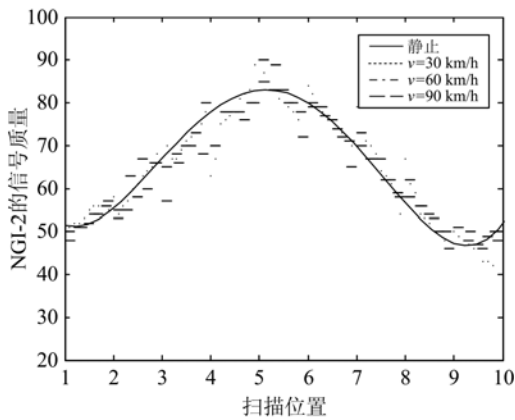


图 5 快速移动扫描实验结果(扫描间隔 0.5 s)
 Fig. 5 Experimental results of fast moving scanning (interval=0.5 s)

距离分别为 4.2 m 和 8.3 m,信号质量的变化范围大部分在 5 dB 以内,估算 NGI-2 的 ΔQ 不超过 5 dB 的比例分别大概为 92.3%和 90.7%。对于移动速度为 30 km/h 的车载环境,设置扫描间隔为 0.5 s,其根据扫描得到的合法 AP 的信号质量执行切换判决,切换误判率大概为 7.7%,对于移动速度为 60 km/h 的车载环境,设置扫描间隔为 0.5 s,其根据扫描得到的合法 AP 的信号质量执行切换判决,切换误判率大概为 9.3%。对于移动速度为 90 km/h 车载环境,扫描得到的 NGI-2 信号质量与其实际信号质量存在比较大的偏差,估算其 ΔQ 不大于 5 dB 的比例为 76.4%,将导致大概 23.6%的切换误判率。显然,0.5 s 的扫描间隔可以满足 30 km/h 和 60 km/h 车载环境下切换判决要求,但不能为 90 km/h 的车载移动环境提供可靠的切换判决。

扫描间隔时间为 1 s 的实验结果如图 6 所示.当扫描间隔设置为 1 s 时,在 1 s 的时间间隔内,不更新 NGI-2 的信号质量,而此时装有实验系统的车子已离开原来位置,导致扫描得到的 NGI-2 信号质量与实际信号质量存在偏差.因为 30 km/h 的移动速度在 1 s 内大概移动 8.3 m 的距离,信号质量的变化范围大部分在 5 dB 以内,估算 NGI-2 的 ΔQ 不超过 5 dB 的比例大概为 90.1%,对于移动速度为 30 km/h 的车载环境,设置扫描间隔为 1 s,其根据扫描得到的合法 AP 的信号质量执行切换判决,切换误判率大概为 9.9%。对于移动速度为 60 km/h 和 90 km/h 的车载环境,扫描得到的 NGI-2 信号质量与其实际信号质量存在很大的偏差.估算其

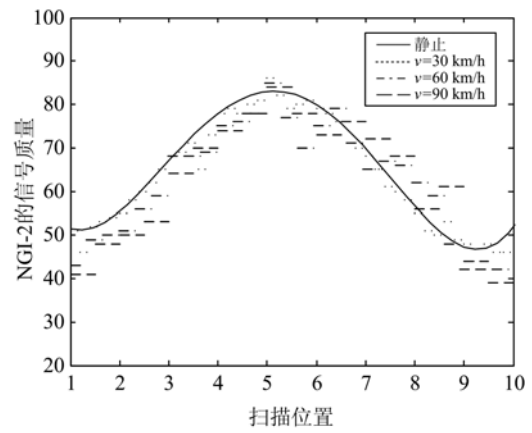


图 6 快速移动扫描实验结果(扫描间隔 1 s)
 Fig. 6 Experimental results of fast moving scanning (interval=1 s)

ΔQ 不大于 5 dB 的比例, 对于 60 km/h 的移动速度, ΔQ 不超过 5 dB 的比例大概为 71.9%, 将导致大概 28.1% 的切换误判率; 对于 90 km/h 的移动速度, ΔQ 不超过 5 dB 的比例大概为 64.7%, 将导致大概 35.3% 的切换误判率. 显然, 1 s 的扫描间隔基本可以满足 30 km/h 车载环境下切换判决要求, 但不能为 60 km/h 和 90 km/h 车载移动环境下提供可靠的切换判决.

扫描间隔时间为 4 s 的实验结果如图 7 所示. 当扫描间隔设置为 4 s 时, 在 4 s 的时间间隔内, 不更新 NGI-2 的信号质量, 而此时装有实验系统的车子早已离开原来位置. 因此, 速度分别为 30 km/h、60 km/h 和 90 km/h 的车载移动环境, 扫描得到的 NGI-2 信号质量与实际信号质量均存在很大偏差. 估算其 ΔQ 不超过 5 dB 的比例, 移动速度为 30 km/h 的车载环境, ΔQ 不超过 5 dB 的比例大概为 63.1%; 移动速度为 60 km/h 的车载环境, ΔQ 不超过 5 dB 的比例大概为 52.8%; 移动速度为 90 km/h 的车载环境, ΔQ 不超过 5 dB 的比例大概为 44.0%. 由于 ΔQ 超过 5 dB 时, 将导致切换误判. 显然, 如果扫描间隔设置为 4 s, 对于 30 km/h 的移动速度, 将导致大概 36.9% 的切换误判率; 对于 60 km/h 的移动速度, 将导致大概 47.2% 的切换误判率; 对于 90 km/h 的移动速度, 导致的切换误判率高达 56.0%. 因此, 4 s 的扫描间隔不适合这三种速度的车载环境.

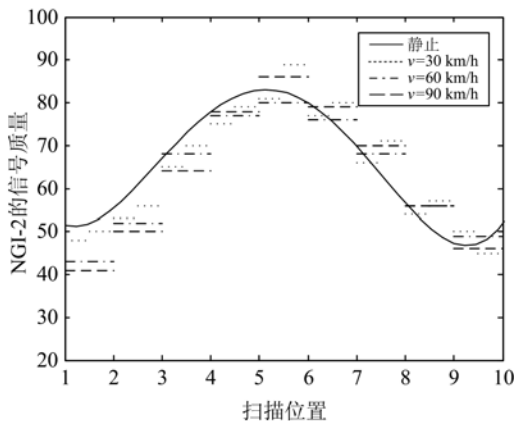


图 7 快速移动扫描实验结果(扫描间隔 4 s)

Fig. 7 Experimental results of fast moving scanning (interval=4 s)

实际测试统计结果如表 4 所示.

根据以上扫描结果及分析可知:

(I) 对于移动速度为 30 km/h 的移动环境, 扫描间隔设计为 1 s 时, 扫描记录的 NGI-2 信号质量

表 4 信号质量偏差小于 5 dB 时 AP 间误切换率的实验统计结果

Tab. 4 Misjudgment rate of inter-AP handoff when $\Delta Q < 5$ dB with experiment

$v/$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	$t_{\text{interval}}/\text{s}$				
	0.25	0.35	0.5	1	4
30	3.4%	4.3%	7.7%	9.9%	36.9%
ρ 60	5.8%	6.9%	9.3%	28.1%	47.2%
90	9.5%	10.4%	23.6%	35.3%	56.0%

与实际信号质量偏离值不超过 5 dB 的比例大概为 90.1%, 切换误判率为 9.9%, 可以满足切换判决要求.

(II) 对于移动速度为 60 km/h 的移动环境, 扫描间隔设计为 0.5 s 时, 扫描记录的 NGI-2 信号质量与实际信号质量偏离值不超过 5 dB 的比例大概为 90.7%, 切换误判率为 9.3%, 可以满足切换判决要求.

(III) 对于移动速度为 90 km/h 的移动环境, 扫描间隔设计为 0.35 s 时, 扫描记录的 NGI-2 信号质量与实际信号质量偏离值不超过 5 dB 的比例大概为 89.6%, 切换误判率为 10.4%, 基本可以满足切换判决要求.

同时, 由表 2 和表 4 对比可知, 由于本文的具体实验环境存在复杂的多径传输、多普勒频移和电磁干扰等因素影响, 相比针对于空旷环境的理论模型, 其实际的切换误判率明显高于理论仿真的结果. 不论是理论仿真还是实际实验结果, 当车载 Wi-Fi 终端移动速度和 AP 扫描周期变大时, 其切换误判率 ρ 的变化趋势是完全一致的, 因此随着 Wi-Fi 终端移动速度的逐步增加, 为更好地保证车载 Internet 服务的用户体验, 需要动态地调整其 AP 扫描速率, 即对于移动速度为 30 km/h、60 km/h 及 90 km/h 的车载移动环境, 扫描间隔分别不宜超过 1 s、0.5 s 和 0.35 s.

4 结论

本文针对车载 Wi-Fi 应用的 AP 间切换误判性能进行研究, 首先进行理论分析, 提出了 AP 间切换误判率的概念. 并在不同扫描间隔下, 针对移动速度为 30 km/h、60 km/h 和 90 km/h 3 种车载移动环境, 使用 Matlab 对进行仿真分析, 研究了其切换误判率; 然后搭建了车载 Wi-Fi 应用的 AP 间切换误判性能研究实验床, 并设计了固定环境和移动环境的 Wi-Fi 扫描实验, 调优 Wi-Fi 无线驱动模块相关参数后, 主要对 30 km/h、60 km/h 及 90 km/h 的移

(下转第 873 页)