

IEEE 802.11 中移动速度优先的快速切换的研究

吴燕玲¹ 李明² 韩清涛²

(东莞理工学院城市学院计算机与信息科学系 东莞 523419)¹

(东莞理工学院电子工程学院 东莞 523808)²

摘 要 针对无线局域网中节点移动速度和方向的不确定性,在分析现有研究不足的基础上,提出了一种基于移动速度优先的快速切换机制。该机制通过资源的集中分配,将空闲信道信息通知需要切换的节点,避免了由于节点主动发起接入造成的接入冲突,实现了切换节点的快速调度,有效地改善了切换的服务质量。仿真显示,该机制将分组丢失率、切换失败率和切换时延分别提高了 14%、14% 和 55% 左右。

关键词 无线局域网,移动速度,移动方向,快速切换,服务质量

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Moving Speed Aware of Fast Handoff Investigation in IEEE 802.11 Networks

WU Yan-ling¹ LI Ming² HAN Qing-tao²

(Department of Computer and Science Information, City College, Dongguan University of Technology, Dongguan 523419, China)¹

(School of Electronic Engineering, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China)²

Abstract Wireless Local Area Networks (WLANs) could provide possibilities to mobile users benefiting wireless services through Access Points (APs). Furthermore, mobile users could move freely in such wireless environment. However, handoffs could be triggered while crossing different WLANs. In the most of existing literatures, the authors did not consider the case that mobile users change suddenly the moving direction during handoff procedures, to enter another WLAN. This paper proposed a Fast Handoff algorithm based moving speed (FHBS) with taking into account the moving direction and moving velocity. Since the network resources are scheduled by Access Control Centers (ACCs), a fast scheduling mechanism is established. Because information of all available channels is broadcasted by ACCs, the access collisions caused by nodes which initiate handovers are eliminated. As the consequence, an outstanding performance is achieved. Simulation results show that FHBS can improve the packet loss, the handoff blocking probability and the handoff latency by about 14%, 14% and 55%, respectively.

Keywords Wireless local area network, Moving speed, Moving direction, Fast handoff, Quality of service

1 概论

移动终端的轻便化、智能化的发展趋势促进了 IEEE 802.11 无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)的爆炸式扩张,快速增长的无线业务应用对 WLAN 中移动节点(Mobile Nodes, MN)的移动性管理提出了新的挑战^[1-3]。IEEE 802.11 网络通常是利用若干个无线接入点(Access Points, AP)完成对一个区域的覆盖,每个 AP 覆盖区域构成一个 WLAN。MN 在不同 WLAN 间移动时,会触发切换的发生。切换过程中, MN 无法接收数据,会造成分组丢失。因此,切换时延的长短直接影响到网络的服务质量(Quality of Service, QoS)。

2 相关工作

传统的 IEEE 802.11 系列标准先天上并不支持移动节点

的良好移动性。为了很好地支持 MN 在 WLAN 的移动,因特网工程任务组(Internet Engineering Task Force, IETF)陆续提出了移动 IPv6 (Mobility support in IPv6, MIPv6)、快速切换移动 IPv6 (Fast Handovers for Mobile IPv6, FMIPv6)、层次移动 IPv6 移动性管理(Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management, HMIPv6)、代理移动 IPv6 的快速切换(Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6, FPMIPv6)等建议^[4-8]。

有不少学者对上述协议进行了研究。文献[9]建立了一个分析模型来分析和比较单独使用 MIPv6、FMIPv6、HMIPv6 协议和联合使用 FMIPv6 和 HMIPv6 协议时的信令开销、分组交付开销、切换时延,还评估了 MN 的停留时间、分组到达率和无线链路对上述协议在移动性管理方面的影响;文献[10]对 HMIPv6 和 PMIPv6 在位置更新、分组交付和功耗开销方面进行了分析比较;文献[11]在 PMIPv6 中使用 4 种不同的路由优化机制,发现路由优化机制可以解决

到稿日期:2013-04-27 返修日期:2013-09-18 本文受东莞市高等院校科研机构科技计划项目(2011108101004, 2011108102013)资助。

吴燕玲(1971—),女,硕士,副教授,CCF 会员,主要研究方向为计算机网络、无线通信网络, E-mail: wu_yanling@hotmail.com;李明(1971—),男,硕士,副教授,CCF 会员,主要研究方向为无线通信网络、计算机网络;韩清涛(1965—),男,硕士,副教授,主要研究方向为短距离无线通信。

PMIPv6 中的低效路由问题,还发现分布式路由可以很好地改善 PMIPv6 的扩展性;文献[12]用数学模型分析和比较了 HMIPv6 和 SIGMA 在不同的 MN 数量和移动速率的归一化开销和总开销方面的性能;文献[13]分析和比较了 MIPv6、FMIPv6、HMIPv6 和 PMIPv6 在信令、分组交付、隧道建立等方面的开销。

WLAN 中, MN 通过周期性的扫描来发现最佳工作信道。当 MN 处于静止状态时,这种方式将为网络带来不必要的开销[14]。MN 一旦发现当前信道质量不能满足通信需要时,将对所有可用信道逐一扫描,之后进入切换阶段。切换阶段可分为链路层切换(L2 handoff)和 IP 层切换(L3 handoff), IP 层切换必须发生在链路层切换完成之后。其中,对信道的扫描发生在链路层切换阶段,扫描时延约占总切换时延的 90%[15]。为了减少切换时延带来的影响,文献[16-17]分别提出了 D-Scan 扫描和选择性扫描的策略;文献[18]提出了基于预测信道扫描时间的调度机制,该机制将实时业务的时延抖动控制在 50 ms 之内;文献[19]提出了一种通过预测 MN 移动方向来减少扫描信道数、缩短扫描时延的模型;文献[20]提出了一种智能扫描方法,即通过在 MN 中加装一个低功耗传感器,使得只有在当前信号强度(Received Signal Strength, RSS)低于设定的切换阈值,并且 MN 处于移动状态时才开始扫描其他信道,从而达到减小扫描开销和不必要切换数量的效果;文献[21]提出了一种并行询问和动态组播机制(Parallel Polling and Dynamic Multicast Group, PPDMG),从而实现了 WLAN 微蜂窝系统中的无缝切换。

但是,文献[9-13]的研究未能突出 MIPv6 在切换时的移动性管理功能;文献[14-20]着重研究了如何减少信道扫描时延,没有兼顾整个切换过程的信令开销;文献[21]使用了直线轨迹移动模型,不符合现实中的实际情况。而且,以上所有的研究存在以下缺陷:

①缺乏对不同 MN 移动速率的认知:没有考虑多个不同移动速率的 MN 在请求切换时应该优先考虑移动速率快的 MN 的切换问题;

②没有考虑 MN 在使用冲突避免载波监听多址接入(Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA)接入信道时由于冲突造成的接入失败产生的退避时延;

③目前所有的切换研究都是 MN 根据 RSS 的强弱或发现分组丢失而主动发起的, MN 通过对相邻 AP 信道进行扫描,来发现最佳可用信道进行切换,从而造成 MN 和 AP 间交互的信令消息过多;

④与 RSS 相比,信噪比(Signal to Noise Ratio, SNR)更能准确地反映信号的质量。

针对以上缺陷,本文提出了一种基于移动速率的快速切换算法(Fast Handoff algorithm Based-moving Speed, FHBS),该算法利用 MN 连续发出的信号的 SNR 变化值,判断出需要紧急切换的 MN,并为之完成切换。

3 FHBS 算法描述与性能分析

下面将对 FHBS 算法进行详细描述和性能分析。

3.1 FHBS 算法描述

现有的切换研究基本上都是针对单个 MN 的,但现实情

况往往并非如此。图 1 中, MN_1 和 MN_2 分别以 V_{MN1} 和 V_{MN2} 的速率移动, AP_1 为两者的当前 AP, MN_2 离 AP_1 更远。当 MN_1 和 MN_2 同时发现 AP_2 有可切换信道时,目前的做法都是 MN_2 先进行切换,因为它离自己的当前 AP 更远。但是,当 V_{MN1} 比 V_{MN2} 大很多时, MN_1 比 MN_2 更需要先进行切换。

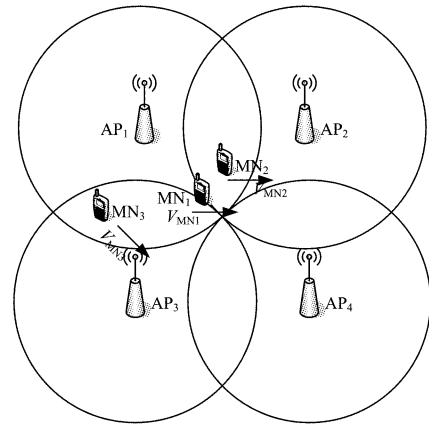


图 1 WLAN 切换场景

为了避免这种情况的发生, AP_2 有必要对 MN_1 和 MN_2 的移动速率有所认知。

本文中, FHBS 采用的系统架构如图 2 所示。

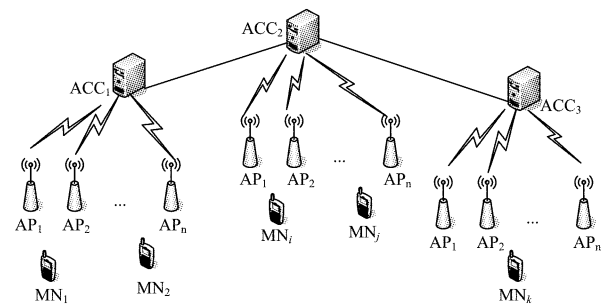


图 2 系统架构图

一个接入控制中心(Access Control Centre, ACC)管理着若干个 AP, ACC 间通过有线网络相连。AP 周期性地将自己的信道使用情况上传给对应的 ACC, ACC 在缓存中建立一份信道信息表, ACC 间周期性地交换各自 AP 的信道信息,并更新信道信息表。

解决方案如下:

①需要切换的 MN, 广播一个切换请求消息(Handoff Request, HR), HR 中有自身的 MAC 地址和发送时间(Transmitting Time, TT);

②在很短的时间间隔 Δt (AP 广播在信标信道上, 为已知的)后, 再广播一次 HR;

③接收到以上两个 HR 的 AP, 计算出 ΔSNR 后, 将对应的 $\Delta SNRI$ 值(系统中预先设定好的)和 MN 的 MAC 地址以及自己的 MAC 地址一起封装到切换发起帧(Handoff Initial, HI)中, 发送给上一级的 ACC;

④ACC 根据来自不同 MN 的两个 HI 帧中的 $\Delta SNRI$, 确定需要尽快切换的 MN, 判决如下: 假设 $\Delta SNRI_m$ 对应于 MN_m , $\Delta SNRI_n$ 对应于 MN_n , 如果 $\Delta SNRI_m > \Delta SNRI_n$, 则优先为 MN_m 分配信道。判决结束后, 为 MN_m 选择出合适的备选 AP (Candidate AP, CAN_AP), CAN_AP 可以有多个;

⑤ACC 向 CAN_AP 发送 HI_ACK 确认帧, 帧中包含 MN 的 MAC 地址、对应 AP 的 MAC 地址和 HI 帧中的

$\Delta SNRI$;

⑥收到 HI_ACK 的 CAN_AP, 提取出 MN 的 MAC 地址作为目的地址 (Destination Address, DA), 附上自己的 MAC 地址作为源地址 (Source Address, SA) 和 $\Delta SNRI$, 产生一个切换请求确认消息 (Handoff Request ACK, HR_ACK) 发送出去;

⑦收到 HR_ACK 的 MN, 选择最好的 $\Delta SNRI$ 作为自己的新 AP (new AP, nAP), 随即向各自的 nAP 发出连接请求消息 (Attachment Request, AR);

⑧收到 nAP 的连接接受 (Attachment Accept, AA) 后, MN 和 nAP 连接成功, MN 即向原 AP (old AP, oAP) 发送切换完成消息 (Handoff Complete, HC), 该消息中内含 MN 的 MAC 地址通知 oAP 释放信道;

⑨第一轮没能成功切换的 MN, 在等待 $\Delta t'$ 后 (50 μ s), 重复步骤①。

图 3 是快速切换整个流程的描述。

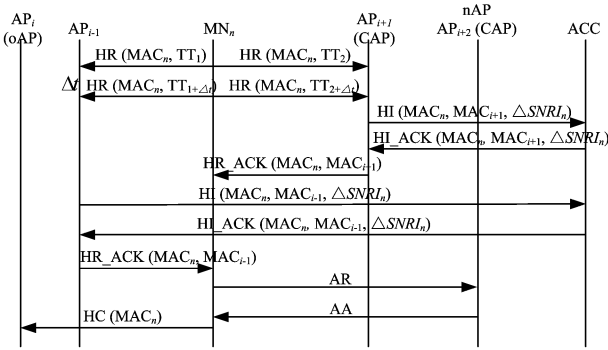


图 3 FHBS 快速切换流程

3.2 FHBS 性能分析

通过图 3 可以看出, 一次 FHBS 快速切换时延 $T_{handoff}$ 是由以下几个参数决定的:

- ①两个 HR 消息的发送间隔 Δt ;
- ②分组尺寸 L ;
- ③AP 和 MN 间空中接口带宽 B_{Radio} ;
- ④AP 和 ACC 间的有线网络带宽 B_{AP_ACC} ;
- ⑤MN 和 AP 间交互的消息数量 N_{MN_AP} , AP 和 ACC 间交互的消息数量 N_{AP_ACC} ;
- ⑥至少有 1 个 AP 成功接收到来自同一个 MN 的两个 HR 消息的概率 P_{succ} 。

由此可得

$$T_{handoff} = 2 \cdot P_{succ} \cdot N_{MN_AP} \cdot \frac{L}{B_{Radio}} + \Delta t + N_{AP_ACC} \cdot \frac{L}{B_{AP_ACC}} \quad (1)$$

式中, Δt 取文献[22]中建议的最短帧间间隔 (Short Inter-Frames Space, SIFS), 为 10 μ s。

MN 的瞬时 SNR 和 P_{succ} 的值可以借助于文献[23]提出的方法得出, 如式(2)所示:

$$SNR(t_d) = P_t \cdot d(t_d)^{-\alpha} \cdot \frac{G(t_d)}{\eta} \quad (2)$$

式中, P_t 为 t_d 时刻的发射功率, $d(t_d)$ 为 t_d 时刻接收机和发射机间距离, α 为路径传播损耗因子, η 为噪声水平, $G(t_d)$ 为 t_d 时刻的信道平均增益。

假设 $t(d)$ 时刻有 k 个 MN 请求切换。AP 要正确接收到 HR 消息必须满足 $SNR(t_d)$ 不小于系统门限值 SNR_i 的条

件。

$SNR(t_d) < SNR_i$ 的概率为:

$$\begin{aligned} & \Pr(SNR(t_d) < SNR_i | k) \\ &= \Pr(P_t \cdot d(t_d)^{-\alpha} \cdot \frac{\rho(t_d)}{\eta} < SNR_i | k) \\ &= \int_0^D \Pr(G(t_d) < \frac{\eta \cdot SNR_i \cdot x^\alpha}{P_t} | k) \cdot \Pr(d(t_d) = x) dx \end{aligned} \quad (3)$$

P_r 的概率分布函数为 $2x/D^{2[24]}$ 。现假设信道增益为常数 C , 信道具有瑞利衰落特性, 由式(3)可得

$$\int_0^D (1 - e^{-\frac{\eta \cdot SNR_i \cdot x^\alpha}{CP_t}})^k \cdot \frac{2x}{D^2} dx \equiv \pi(SNR_i, k) \quad (4)$$

由此可得

$$P_{succ} = 1 - \pi(\gamma_1, k) \quad (5)$$

FHBS 中, 在两种情况下, 会导致切换失败:

①当至少有 1 个 AP 成功接收到来自同一个 MN 的两个 HR 消息的概率 P_{succ} 过低时, MN 不能及时完成切换;

②切换已启动, 但 MN 在新的小区中突然改变移动方向, 进入了第 3 个小区, 停留时间比切换时延要短, 导致切换失败。

我们在 FHBS 中采用了文献[25]中的方法对切换失败率进行分析: 切换失败的概率记为 ρ_b , T_R 为 MN 在小区中的停留时间, 对应的概率分布函数为 $f_R(t)$, $E[T_{handoff}]$ 为 $T_{handoff}$ 的均值, $T_{handoff}$ 服从指数分布, 其累积分布函数记为 $F_{T(t)}$, 有

$$\begin{aligned} \rho_b &= \Pr(T_{handoff} > T_R) \\ &= \int_0^\infty (1 - F_T(u)) f_R(u) du = \frac{\mu_c E[T_{handoff}]}{1 + \mu_c E[T_{handoff}]} \end{aligned} \quad (6)$$

式中, μ_c 是 MN 单位时间内穿越小区边界的次数, 可借助文献[11]的计算方法来获取, 见式(7):

$$\mu_c = \frac{2V_{MN_i}}{\pi R} \quad (7)$$

式中, V_{MN_i} 为 MN_i 的平均速率, R 为小区半径。

4 仿真和结果分析

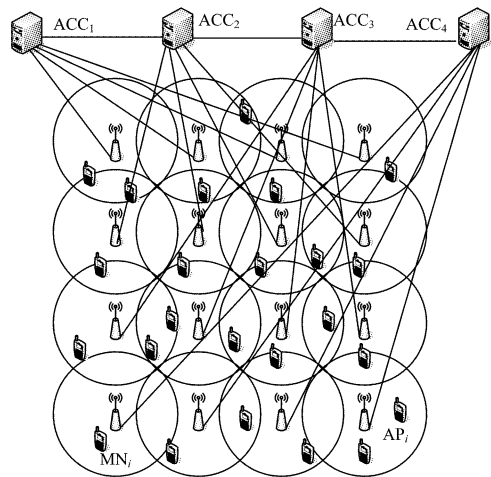


图 4 FHBS 仿真场景

仿真使用了 IBM ThinkPad R61 型号的手提电脑, 配置为 Inter(R) Core (TM) Duo CPU T8100 2.10 GHz, 1 G 的内存, 仿真软件为 Matlab 7.0.4。仿真时我们将 FHBS 性能和文献[15]中的 FastScan 及文献[22]中的 PPDMMG 进行了对比。仿真场景如图 4 所示, 在逻辑上对应着图 3 的架构。整

个区域由 16 个 AP 覆盖,1 个 ACC 控制 4 个 AP,MN 随机分布在整个区域内,采用了随机路点(Random WayPoint,RWP)移动模型。

仿真参数见表 1。

表 1 主要仿真参数

Parameters	value
Number of APs N_{AP}	16
Number of ACCs N_{ACC}	4
Number of MN N_{MN}	60
Radius of cell R (m)	300
Transmitting Power P_t (mW)	10
Radio frequency f (GHz)	2.4
Bandwidth on air interface B_{Radio} (Mbps)	54
Bandwidth between AP with ACC B_{AP_ACC} (Mbps)	1000
Speed of MN V_{MN} (km/h)	Uniform [60~100]
Packet size L (B)	1024
Fading model	Rayleigh
Mobility model	RWP
Interval of two HRs transmission Δt (μ s)	10
Interval between 2 successive handoff $\Delta t'$ (μ s)	50
Pause time T_{pause} (s)	4
Overlapping Length between two cells l (m)	$(2-\sqrt{2}) \cdot R$
Simulation time (s)	600

我们分别考察了 3 种机制在切换失败率、分组丢失率和切换时延方面的性能。

由图 5 的结果可以看出,PPDMG 切换过程中分组丢失率变化很大,最低 3%左右,最高 28%左右,无任何规律可言;FastScan 的分组丢失率介于 18%~27%;FHBS 的分组丢失率在 MN 少于 35 时维持在较低水平(3%左右),之后随着 MN 的增多而逐渐增大,最高时达到了 13%左右,性能最佳。

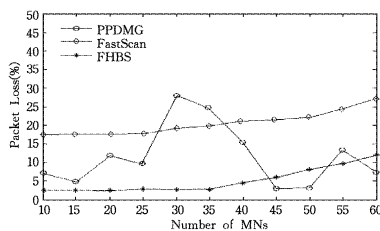


图 5 分组丢失率对比

接着,我们考察了它们在切换失败率方面的性能。

由图 6 可以看出,当 MN 少于 25 时,FHBS 的切换失败率为 0,然后随着 MN 数量的增长缓慢增加,最高时达到了 17%左右。使用 FastScan 时,当 MN 少于 35 时,切换失败率在 10%以下,呈缓慢增长趋势;当 MN 数量超过 35 时,切换失败率增长变快,最高时达到了 36%左右。而 PRDMG 的切换失败率和 MN 数量的增长没有明显的正比关系。

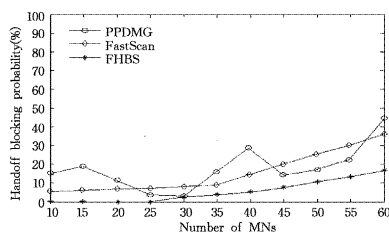


图 6 切换失败率对比

经分析发现,应用 PRDMG 时分组丢失率和切换失败率变化毫无规律是因为 PRDMG 是基于直线轨迹移动模型的,只有当 MN 在直线移动状态时发生切换才具有优势。在更贴近实际的 RWP 模型中,MN 移动方向的随机变化直接导

致了分组丢失率和切换失败率的随机变化;FastScan 虽然通过减少扫描信道数量提高了切换效率,但由于使用了 CSMA/CA 接入机制,MN 在接入过程中相互之间依然存在冲突的可能性;而在 FHBS 中 MN 的接入是根据 ACC 提供的信息完成的,1 个 ACC 同时管理着几个 AP,在资源管理方面具有一定的全局性,可以充分发挥集中调度的作用,使得 MN 能够尽快地完成切换。网络中 MN 数量少时,信道资源充足,FHBS 中的分组丢失主要发生在 MN 切换未完成而突然改变移动方向进入另外的小区的情况下;网络中 MN 数量增多后,分组丢失的主要原因是 AP 成功接收到来自同一个 MN 的两个 HR 消息的概率 P_{succ} 降低了。

最后,我们考察了三者在切换时延方面的性能。

由图 7 可以发现,PPDMG 带来的切换时延介于 5~180ms,FHBS 的介于 25~160ms,FastScan 的性能最差,最高时达到了 290ms 左右。当 MN 数量低于 20 时,PPDMG 的性能最好;超过 20 时,FHBS 的性能最佳。

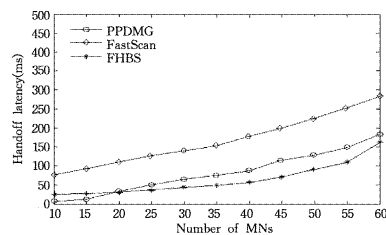


图 7 切换时延对比

PPDMG 在切换时延方面的性能不像在分组丢失率和切换失败率方面那样随机变化的原因是切换时延指的是完成的切换过程中产生的时延。在切换顺利完成时,PPDMG 和 FHBS 一样,采用的接入方式具有一定的全局性,信道资源充足时,可以较快地完成切换。但是,PPDMG 在切换过程中交换的信令消息比较多,所以当 MN 超过 20 时,性能要略差于 FHBS。FastScan 性能差的原因是使用了 CSMA/CA 作为接入方式,在 MN 数量较少时,切换时延主要受 MN 的接入时延影响;在 MN 数量较多时,网络中信道资源逐渐缺乏,切换时延主要受用于发现可用信道的扫描时延的影响。

结束语 本文提出了一种 IEEE 802.11 网络中的快速切换算法,该算法采用了资源的集中调度,既考虑了 MN 的移动速度,也兼顾了切换过程中 MN 突然改变移动方向进入其他小区的情况。仿真结果表明,与现有的研究相比,该算法将分组丢失率、切换失败率和切换时延分别提高了 14%、14% 和 55% 左右。

参考文献

- [1] Barolli L, Xhafa F. JXTA-OVERLAY: A P2P platform for distributed, collaborative and ubiquitous computing [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(6): 2163-2172
- [2] Arnedo-Moreno J, Matsuo K, Barolli L, et al. Secure communication setup for a P2P based JXTA-Overlay platform [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(6): 2086-2096
- [3] Choi B S, Lee J W, Lee J J, et al. A hierarchical algorithm for indoor mobile robots localization using RFID sensor fusion [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(6): 2226-2235
- [4] Johnson D, Perkins C, Arkko J. Mobility Support in IPv6 [S]. IETF RFC 3775. June 2004

- [5] Koodli R. Fast Handovers for Mobile IPv6 [S]. IETF RFC 4068, July 2005
- [6] Soliman H, Castelluccia C, ElMalki K, et al. Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) Mobility Management [S]. IETF RFC 5380, Oct. 2008
- [7] Gundavelli S, Leung K, Devarapalli V, et al. Proxy Mobile IPv6 [S]. IETF RFC 5213, Aug. 2008
- [8] Yokota H, Chowdhury K, Koodli R, et al. Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6 [S]. IETF RFC 5949, Sept. 2010
- [9] Makaya C, Pierre S. An analytical framework for performance evaluation of IPv6-based mobility management protocols [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2008, 7(3): 972-983
- [10] Lee J H, Han Y H, Gundavelli S, et al. A comparative performance analysis on Hierarchical Mobile IPv6 and Proxy Mobile IPv6 [J]. Telecommunication Systems, 2009, 41(4): 272-292
- [11] Lee J H, Chung T M. How much do we gain by introducing route optimization in Proxy Mobile IPv6 Network? [J]. Annals of Telecommunications, 2010, 65(5/6): 233-246
- [12] Hossain M S, Atiquzzaman M. Cost analysis of mobility protocols [J]. Telecommunication Systems, 2011, 11(2): 1-15
- [13] Lee J H, Pack S, You I, et al. Cost analysis of IP mobility management protocols for consumer mobile devices [J]. IEEE Transactions on Consume Electronics, 2010, 56(2): 1010-1017
- [14] Raghavendra R, Belding E M, Papagiannaki K, et al. Unwanted Link Layer Traffic in Large IEEE 802. 11 Wireless Networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(9): 1212-1225
- [15] Purushothaman R, Roy S. FastScan: a handoff scheme for voice over IEEE 802. 11 WLANs [J]. Wireless Networks, 2010, 16(7): 2049-2063
- [16] Xu C Q, Teng J, Jia W J. Enabling faster and smoother handoffs in AP-dense 802. 11 wireless networks [J]. Computer Communications, 2010, 33(15): 1795-1803
- [17] Shin S, Forte A G, Rawat A S, et al. Reducing MAC layer hand-off latency in IEEE 802. 11 wireless LANs [C]//Proceeding of the 2nd International Workshop on Mobility Management and Wireless Access Protocols, New York, USA, ACM CS-Press, 2004: 19-26
- [18] Kim I, Kim Y T. Prediction-based smart channel scanning with minimized service disruption for IEEE 802. 11e WLAN [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2011, 57(2): 386-394
- [19] Chatterjee S, Sarddar D, Saha J, et al. An Improved Mobility Management Technique for IEEE 802. 11 based WLAN by Predicting the Direction of the Mobile Node [C]//2012 National Conference on Computing and Communication Systems, Piscataway, New Jersey, USA, IEEE Press, 2012: 1-5
- [20] Lee S, Kim M, Kang S, et al. Smart Scanning for Mobile Devices in WLANs [C]//2012 IEEE International Conference on Communication, Piscataway, New Jersey, USA, IEEE Press, 2012: 4960-4964
- [21] IEEE Computer Society. IEEE 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 [S]. New York, USA, March 2012
- [22] Phan T H, Lambertsen G, Yamada T. Seamless handover supported by parallel polling and dynamic multicast group in connected WLAN micro-cells system [J]. Computer Communications, 2012, 35(1): 89-99
- [23] Yoo J, Luo H, Kim C K. Joint uplink/downlink opportunistic scheduling for Wi-Fi WLANs [J]. Computer Communications, 2008, 31(14): 3372-3383
- [24] Yoo J, Kim C. On the hidden terminal problem in multi-rate ad hoc wireless networks [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3391: 479-488
- [25] Lee J H, Kim M, Koh B S. Adaptive authentication and registration key management scheme based on AAA architecture [J]. Intelligent Automation and Soft Computing, 2010, 16(4): 519-536

(上接第 87 页)

盖是否为一元覆盖以及求出这个覆盖的可约元的方法。进一步研究了划分对应的 2-部矩阵的特点。这些结果为进一步通过矩阵理论和图论研究覆盖粗糙集奠定了基础。

参 考 文 献

- [1] Pawlak Z. Rough sets[J]. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 11(5): 341-356
- [2] 王炜, 徐章艳, 李晓瑜. 不完备决策表中基于对象矩阵属性约简算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(4): 201-204
- [3] Hu Q H, An S, Yu D R. Soft fuzzy rough sets for robust feature evaluation and selection [J]. Information Sciences, 2010, 180(22): 4384-4400
- [4] Yang X B, Xie J, Song X N, et al. Credible rules in incomplete decision system based on descriptors[J]. Knowledge Based Systems, 2009, 22(1): 8-17
- [5] Zhong N. Rough sets in knowledge discovery and data mining [J]. Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems, 2001, 13: 581-591
- [6] Zakowski W. Approximations in the space (U, Π) [J]. Demonstration Mathematical, 1983, 16: 761-769
- [7] Zhu W, Wang F Y. Reduction and axiomization of covering generalized rough sets[J]. Information Sciences, 2003, 152: 217-230
- [8] 覃丽珍, 姚炳学, 李金海. 基于信息量的完备覆盖约简算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(10): 235-239
- [9] 王石平, 朱清新, 祝峰, 等. 邻域粗糙集的矩阵表示与公理化[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2012, 35(12): 1624-1627
- [10] Yao Y Y, Yao B X. Covering based rough set approximations [J]. Information Sciences, 2012, 200: 91-107
- [11] Bonikowski Z, Bryniarski E, Wybraniec U. Extensions and intentions in the rough set theory[J]. Information Sciences, 1998, 107: 149-167
- [12] Zhu W, Wang F Y. Relationships among three types of covering rough sets [C]//Granular Computing, 2006 IEEE International Conference, 2006: 43-48
- [13] West D B. Introduction to Graph Theory [M]. Beijing, China Machine Press, 2004
- [14] 殷剑宏, 吴开亚. 图论及其算法 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003
- [15] Wang S P, Zhu W, Min F. Bipartite graphs and coverings [J]. Rough Sets and Knowledge Technology, 2011, 6954: 722-727