

基于初始化 AP 的自适应信道分配算法

陈珊珊, 郭宇春, 张有根

(北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要: 在高密度 AP 部署的网络环境中, 由于 ISM 频段只有 1、6 和 11 三个正交信道, 因此 AP 的工作信道不可避免的存在重叠, 其重叠信道干扰对吞吐量有较大的影响。文中从基于 AP 上线时为其分配信道的角度出发, 提出了一种集中式自适应信道分配算法 DNAF (Densest Nearest Assignment First)。在大量 AP 刚上线时, 通过周期性广播扩展信标帧, 建立动态的网络拓扑结构图, 并通过 AC 为其进行优化信道分配。通过对信道分配算法的大量实验及仿真, 结果表明, 在高密度且 AP 邻居分布不均匀的网络环境下, 与启发式算法 NOFA-1 及随机信道分配算法相比, 该算法能有效地减小邻居间干扰, 从而达到提高网络吞吐量的目的。

关键词: 信道干扰; DNAF; 扩展信标帧; NOFA-1; 随机信道分配算法

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)11-0005-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.11.002

Adaptive Channel Allocation Algorithm Based on Initialization of AP

CHEN Shan-shan, GUO Yu-chun, ZHANG You-gen

(College of Electronic Information Engineering, Beijing Jiaotong University,
Beijing 100044, China)

Abstract: Under the high density of AP deployment, there is only three orthogonal channels 1, 6, and 11 in the ISM band, so the channel of AP inevitably overlaps with each other and the overlapping interference has a larger effect on the throughput. Based on the AP online, propose a centralized adaptive channel allocation algorithm DNAF. At first, AP establishes a dynamic network topology structure through broadcasting extended beacon frames periodically, and then AC assigns channels for APs through the improved channel allocation algorithm. The results show that the proposed algorithm compared with heuristic algorithm NOFA-1 and random channel assignment algorithm can effectively reduce the interference between neighbors under the network environment of high density and uneven distribution of APs, thus it can improve the throughput of network better.

Key words: channel interference; DNAF; extended beacon frames; NOFA-1; random channel assignment algorithm

0 引言

近年来, 无线局域网作为网络连接的最后一跳方案得到了迅速的发展, 其中 IEEE802.11b 协议标准工作在 2.4 GHz 的公共 ISM 频段, 涵盖了 11 个信道, 但只有 3 个正交信道。在网络环境比较复杂的情况下, 这 3 个正交信道难以满足网络需求。如何在有限正交信道的情况下, 合理地分配信道使得邻居 AP 间干扰达到最小, 成为当前研究的热点。目前对信道分配的研究主要分为两大类: 集中式和分布式。集中式算法

都是通过 AC 来管理所有的 AP 的信道分配。如文献 [1] 基于图着色信道分配算法, 提出了一种有效的频率分配策略 (聚结 CAP), 通过解决冲突着色问题来模拟信道分配, 并同时达到信道复用。文献 [2-3] 基于整数线性规划和最小生成树提出一种算法, 优先为互干扰较大的 AP 分配正交信道。文献 [4-5] 中提出了基于最小生成树的启发式算法, 通过已知的网络拓扑结构, 优先考虑路径最短的 AP 进行信道分配。文献 [6] 中提出了基于 AP 和客户端的信道分配算法, 并且

收稿日期: 2013-12-22

修回日期: 2014-03-25

网络出版时间: 2014-09-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61271199)

作者简介: 陈珊珊 (1986-), 女, 硕士研究生, 研究方向为无线通信; 郭宇春, 教授, 博士生导师, 研究方向为网络与通信基础理论及先进网络应用、拓扑、路由、复杂网络; 张有根, 教授, 硕士生导师, 研究方向为网络与通信基础理论及先进网络应用。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140911.1001.025.html>

指出客户端比 AP 能更好地检测出干扰。分布式算法中每个 AP 可以通过自身对网络状态的自适应感测来调整信道。如文献[7-8]中提出了无线自适应信道分配算法,通过流量因子,分级式最佳切换概率等因素的考虑来选取最优信道进行切换。在文献[9]中 Arbaugh 等提出了 Hminmax 算法,通过解决加权图着色问题来进行信道分配,并考虑客户端的干扰检测。文献[10]中提出了基于 AP 到 STA 下行链路传输的信道分配算法 DFCA,通过为每条通信链路指明信道带宽和中心频率来实现信道的分配。

现行的信道分配方案大部分是建立在 STA 上线后的基础上进行的,而对于大量 AP 同时上线时进行信道分配的研究没有得到更好的关注,鉴于此,文中进行的信道分配主要是基于大量 AP 同时上线进行的。由于分布式信道分配算法需要 AP 时时地感知网络,并进行信道调整,这就需要算法有较强的收敛性,而集中式算法在网络拓扑已知的情况下,可以很好地弥补这个缺陷。在现实生活中,往往会根据人们的需求对 AP 进行部署,比如像会议室、餐厅等空间较大且人员密集的区域需要布置多个 AP 来提供较好的网络服务质量,而对一些人员流动小,对网络需求不高的环境下可以布置较少的 AP,这样就造成了 AP 邻居分布不均匀的情况。而 NOFA-1 启发式算法,在 AP 分配不均匀的网络环境中性能较差。于是文中提出了一种集中式自适应信道分配算法 DNAF,并通过仿真与 NOFA-1 启发式算法^[4]及随机信道分配算法^[11]进行对比,结果表明在 AP 邻居分布不均匀的网络场景下,在 AP 之间的距离均匀和 AP 之间的距离不均匀的情况下, DNAF 算法均能更加有效地减小 AP 间的干扰。

1 基于信标帧的邻居节点发现过程

文献[12-14]中提出了全时段专用控制信道的多信道 MAC 协议,这类协议通常有 1 个控制信道和 N 个数据信道,其中控制信道专门用来协商通信双方使用的数据信道,其他 N 个数据信道则负责传输数据分组和确认字符(ACK)。这类协议通常不需要进行时间同步。基于这种思想,文中也选择节点的一个接口作为控制接口专门用于协商数据信道的分配,采用此方案可以避免后期 STA 上线后的公共控制信道和数据信道的周期切换,同时也提高了无线网络的容量。

文中各节点通过在公共控制信道中,侦听邻居节点信标帧的发布,来获取各自的邻居信息并上报给 AC,从而建立整个网络的拓扑结构图。为使各节点能够侦听到其周围邻居节点的信息,文中对 Beacon 帧的格式进行了扩展,以满足文中的邻居发现过程。如图 1 所示,借助信标帧的数据域部分来发布各自节点的

邻居信息,其中邻居信息是由节点数据单元(NDU)构成,NDU 由 Node IP 及 Channel ID 构成。当节点没有被分配信道时(即 AP 刚上线时)Channel ID 的初始值为-1。

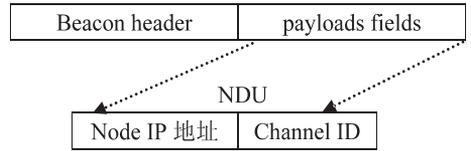


图 1 Beacon 帧的扩展格式

为存储邻居节点信息,每个节点还需要维护一个邻居列表,表中所包含的内容包括邻居 Node IP、Channel ID 及生存时间。其中生存时间是动态维护邻居信息的依据,即在一定时间范围内此邻居节点信息是有效的,若较长一段时间未收到来自此邻居节点的信标帧时,则将邻居列表中对应的邻居节点信息删除,若在有效时间范围内收到来自邻居节点的信标帧则对此邻居节点信息进行相应更新。

2 信道分配模型的建立

对于现有的网络拓扑结构图,可用图论^[15]的方法来研究信道分配问题,其基本原理可以描述为:

对于一无向带权图 $G(V, E)$,其中顶点集 $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ 代表网络上所有 AP 的集合,边集 $E = \{e_0, e_1, \dots, e_m\}$ 表示网络中的节点直接相连,而直接相连的顶点互为邻居, n 和 m 分别表示网络中的顶点及边个数。无向图中边 e_k 的权值 $\text{edge}(v, u)$ 则表示边的两个顶点 AP 间的距离。在文中仅基于 3 个正交信道进行研究,所以设 $F = \{1, 6, 11\}$ 为所有信道集合。对于顶点为 v 的 AP 分配的信道为 $f_v \in F$ 。

对于任意一对顶点 v 和 u ,其信道分别为 $f_v \in F$ 和 $f_u \in F$,则两顶点之间的干扰因子定义如下^[4]:

$$P(v, u) = \begin{cases} \frac{1 - |f - g| \times 0.2}{d^2(v, u)} & P(v, u) > 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中, $P(v, u)$ 为顶点为 v 的 AP 和顶点为 u 的 AP 间的干扰大小; $d(v, u)$ 为 AP 之间的距离; $|f - g|$ 为顶点为 v 的 AP 和顶点为 u 的 AP 之间的信道间隔。当 $P(v, u) \leq 0$, 表示 AP 间的干扰为 0, 其中 $P(v, u) = 0$ 表示两信道为正交信道, 当两信道之间的间隔大于 5 时, P 的值小于 0; 当 $P(v, u) > 0$ 时, 表示 AP 间存在干扰, 由于文中只考虑同频干扰, 所以此时 $P(v, u) = 1/d^2(v, u)$ 。由此可看出, 当两相邻 AP 采用同信道时, P 的值主要取决于 AP 间的距离, 当邻居间的距离很小时, 此时 AP 间的同信道干扰变得很大; 当邻居间的距离很大时, AP 间的同信道干扰变得很小甚至接近于 0, 此时 AP 之间可以采用同信道工作。所以 AP _{v} 受

到所有与之相邻的其他 AP 的干扰值为:

$$W(v) = \sum_{u=1, u \neq v}^n P(v, u)$$

整个网络中所产生的总干扰值为:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{v=1}^n W(v)$$

文中将对 AP 之间的距离对信道干扰的影响进行仿真验证,并对 DNAF 优化算法进行评估。

3 信道分配算法

通过周期性广播扩展信标帧建立邻居网络拓扑结构后,这时的网络拓扑结构已知,如图 2 所示。根据此带权无向图可以建立一邻接矩阵,并且以顶点的度值来表示与此顶点相邻的邻居个数。

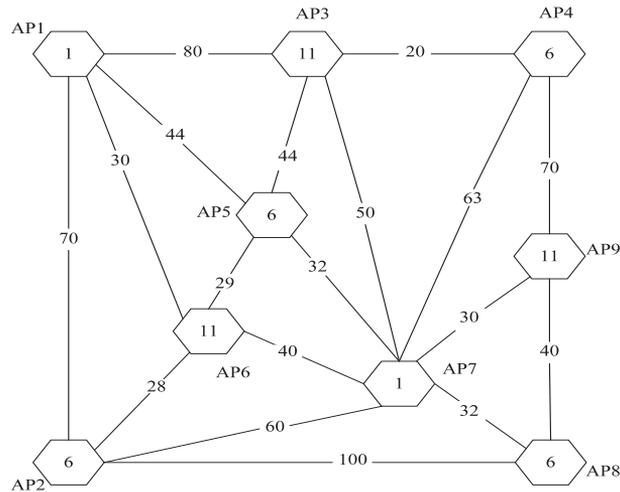


图 2 信道分配结果

文中提出的改进的信道分配算法 DNAF,其基本步骤如下:

(1) 在所有的顶点集 V 中选出邻居个数最多的顶点 u 进行信道分配 $f_u=1$,然后将 u 顶点加入新的顶点集合 V_{new} 中,并将 u 顶点从 V 顶点集中移除。

(2) 遍历 V_{new} 顶点集中的所有节点,并选择与之相邻的度值最大的邻居节点 ($w \in V$) 作为信道分配节点,若存在多个度值相等的邻居节点,则选择距离 V_{new} 顶点集中节点最近的顶点 ($w \in V$) 作为信道分配节点。

(3) 对节点进行信道分配时,首先判断与此节点相邻的已分配信道的节点个数是否大于 1,若是,则从其已分配信道的邻居节点中选取距离最近的两个节点 u, v ,则 f_w 满足 $\min(|f_w - f_u|, |f_w - f_v|) = 5$,即 f_w 与 f_u 和 f_v 均正交,执行完毕转至步骤(5)。若等于 1,则执行步骤(4)。

(4) 若节点 w 的邻居节点为 u ,则 $f_w = (f_u + 5) \% 15$ 。

(5) 将 w 节点从 V 顶点集中移除,并加入 V_{new} 顶点集中。

(6) 判断 V 是否为空。若为空,信道分配算法结束;若不为空则转至步骤(2)。

(7) 输出所有顶点的信道分配结果。

4 仿真分析

为验证文中算法的有效性,文中在 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ 的方形区域内,布置数量从 5 到 30 变化的 AP,为更好地模拟高密度的网络环境,尽量使各 AP 的邻居分布不均匀。执行算法 20 次,在 AP 之间距离不均匀和距离均匀(平均距离分别为 40, 60, 80)的情况下,利用 Matlab 平台对 DNAF 算法进行数值分析并与 NOFA-1 启发式算法及随机信道分配算法进行了比较。

图 3,图 4 分别为当 AP 间的距离不均匀,分别采用随机信道分配算法和 DNAF 算法及 NOFA-1 算法时,整个网络的平均干扰值的变化情况。从两图中均

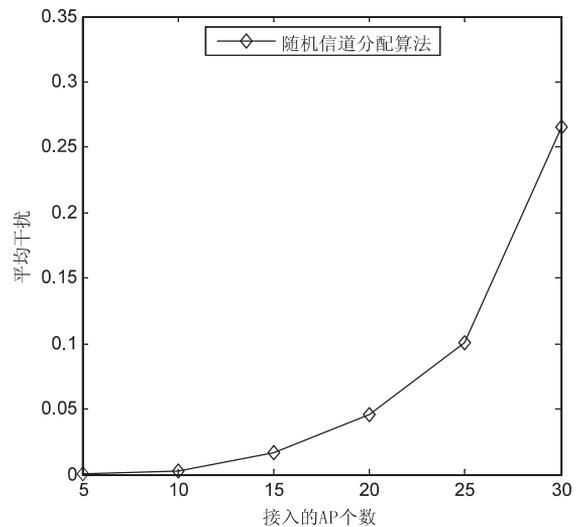


图 3 AP 之间距离不均匀时随机信道分配算法的平均干扰

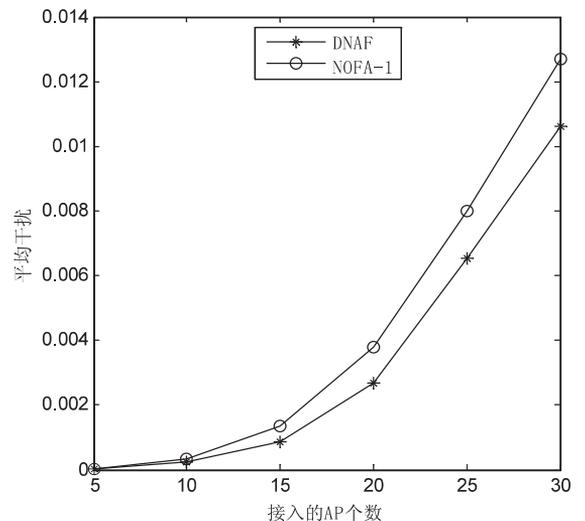


图 4 AP 之间距离不均匀时 DNAF 及 NOFA-1 两种算法的平均干扰

可以看出,随着 AP 个数的增加,网络变得更加密集,干扰也随之增加。通过对比两图可知,当 AP 之间的距离不均匀时,DNAF 算法和 NOFA-1 算法较随机信道分配算法均能较大幅度地减小网络中的平均干扰。对于图 4,当网络中 AP 的个数为 25 以下时,改进的信道分配算法 DNAF 较 NOFA-1 算法的平均干扰值最少可降低 20%,而当 AP 的个数达到 30 时,改进的信道分配算法 DNAF 只能将平均干扰值降低约 17%。这是由于 AP 个数为 30 时,文中的仿真环境中,AP 的邻居个数一般都大于 10,这时无无论怎样分配信道 AP 间干扰均不可避免,此时的干扰降低程度减小。

图 5,图 6 分别为当 AP 之间的距离均匀且分别为 40,60,80,分别采用随机信道分配算法和 DNAF 算法及 NOFA-1 算法时,整个网络的平均干扰值变化情况。通过对比图 5 及图 6 可知,NOFA-1 算法在 AP 的个数为 20 以下时,较随机信道分配算法的平均干扰均

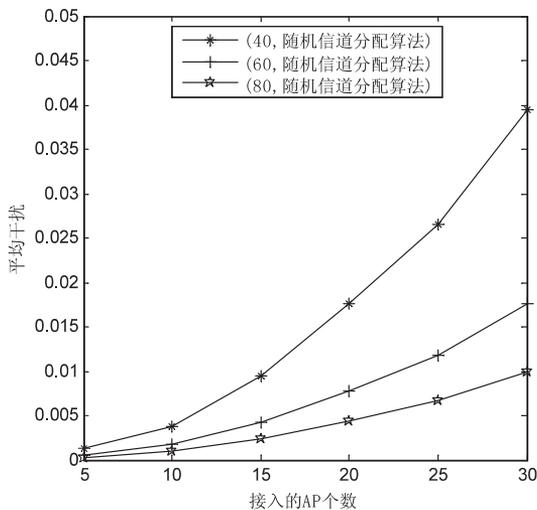


图 5 AP 之间距离均匀时随机信道分配算法的平均干扰

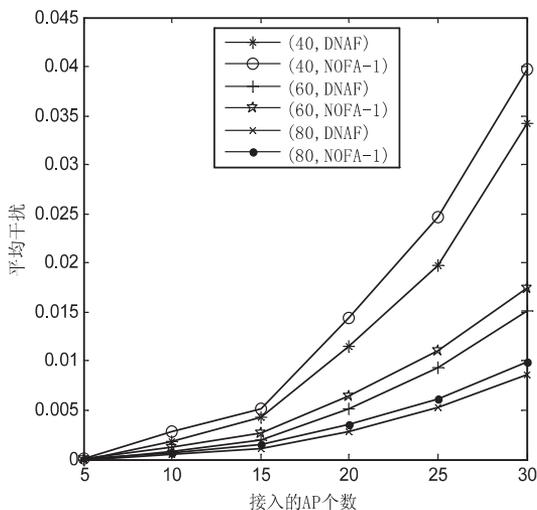


图 6 AP 之间距离均匀时 DNAF 及 NOFA-1 两种算法的平均干扰

有明显降低,当 AP 的个数在 25 以上时,两算法的平均干扰相差不大。而 DNAF 算法随 AP 个数的增加,较 NOFA-1 算法及随机信道分配算法的平均干扰均有明显降低。从图 6 中还可以看出,当网络中 AP 的个数为 25 以下时,改进的信道分配算法 DNAF 较 NOFA-1 算法的平均干扰值至少可降低 20%,当 AP 的个数达到 30 时,改进的信道分配算法可将平均干扰值降低约 15%。

通过以上两图,还可以反映出 AP 之间的距离对网络中平均干扰的影响,随着距离的增加,干扰值减小。反之,AP 之间的距离越近,干扰越大。

5 结束语

文中通过周期性地广播信标帧,并将邻居信息上报给 AC 建立动态的网络拓扑结构,通过优先考虑邻居节点个数多的 AP,并同时兼顾最短路径优先的原则进行信道分配。

仿真对比结果表明,在 AP 间距离为均匀和不均匀的情况下,该算法较 NOFA-1 及随机信道分配算法均能更好地降低 AP 间干扰,尤其是邻居个数一般在 10 以下时,DNAF 信道分配算法较 NOFA-1 算法的平均干扰值至少可降低 20%。

参考文献:

- [1] 勇萌哲. 基于图着色的信道分配算法的研究与改进[D]. 兰州:兰州理工大学,2007.
- [2] Chowdhury K R, Akyildiz I F. Cognitive wireless mesh networks with dynamic spectrum access[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(1): 168-181.
- [3] Novillo F, Churchman M, Ferrus R, et al. A channel allocation algorithm for OSA-enabled IEEE 802.11 WLANs[C]//Proceedings of the 6th international symposium on wireless communication systems. Tuscany, Italy: IEEE Computer Society, 2009: 468-472.
- [4] El-Hajj W, Alazemi H. Optimal frequency assignment for IEEE 802.11 wireless networks[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2009, 9(1): 131-141.
- [5] 邓雪波,王小强,陈曦,等. 基于 Qos 和吞吐量公平的信道分配算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(6): 89-91.
- [6] Haidar M, Al-Rizzo H, Chan Y, et al. Throughput validation of an advanced channel assignment algorithm in IEEE 802.11 WLAN[C]//Proc of ICCSN. [s. l.]: [s. n.], 2009.
- [7] 孟李,戴永,陈益强. 无线局域网分布式自适应信道分配[J]. 计算机工程, 2011, 37(5): 103-105.
- [8] 王静. 无线局域网的分布式自适应动态信道分配算法的研究[D]. 上海:上海交通大学,2008.
- [9] Mishra A, Banerjee S, Arbaugh W. Weighted coloring based

大极值时的社团就是核心社团。

3 实验及结果

首先将邮件数据进行预处理,邮件数据有 592 个联系人地址和 9 079 对邮件往来关系,将处理后的数据存储在数据库中,根据这些数据来构建邮件网络图,然后使用基于 CN-M 的核心社团挖掘算法进行处理。通过对实验结果的分析可知:此算法的时间主要消耗在加权中心度的计算上,挖掘核心社团时要找到模块度最大的极值,对这组邮件数据进行核心社团挖掘得到模块度 Q 的极值分别为 0.176 和 0.325,在极值 $Q = 0.176$ 时核心社团的节点数为 17,在极值 $Q = 0.325$ 时核心社团节点数为 71。 Q 值在 0.325 时所得到的社团就是挖掘的核心社团,此时 Q 的值也在最佳范围内,得到的核心社团共有 71 个节点。核心节点数与模块度 Q 值变化关系如图 4 所示。

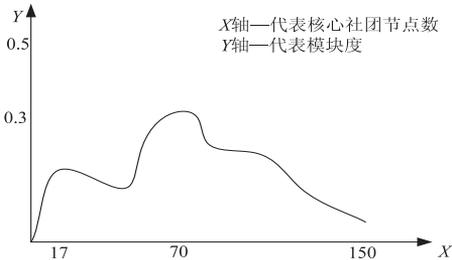


图 4 节点数和模块度变化曲线

4 结束语

随着社会网络分析研究的不断深入,将社会网络的分析方法应用于邮件网络中,来发现邮件网络中潜在的核心社团。文中首先使用 JavaMail 对邮件数据进行预处理,然后使用基于 CN-M 的核心挖掘算法进行核心社团的挖掘。实验结果表明该算法能很好地发现邮件网络中潜在的核心社团。

参考文献:

[1] Girvan M, Newman M E J. Community structure in social and biological networks[J]. PNAS, 2002, 99(12): 7821-7826.

[2] 段丹, 郭绍忠, 李志博, 等. 基于邮件分类的敏感社团挖掘技术[J]. 计算机应用, 2007, 27(12): 3039-3041.

[3] 刘军. 社会网络分析导论[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2004.

[4] Dwyer T, Hong S, Dirk K, et al. Visual analysis of network centralities[C]//Proceedings of the Asia Pacific symposium on information visualization. Tokyo: [s. n.], 2006: 189-197.

[5] Newman M E J. A measure of betweenness centrality based on random walks[J]. Social Networks, 2005, 27(1): 39-54.

[6] Bird C, Gourley A, Swaninathan A. Mining email social networks[C]//Proceedings of the 2006 international workshop on mining software repositories. [s. l.]: [s. n.], 2006: 137-143.

[7] 社会网络分析与 SNS 网站[EB/OL]. 2005. <http://www.arcp.cn/portals/0/snaandsns.pdf>.

[8] Newman M E J, Girvan M. Finding and evaluating community structure in networks[J]. Physical Review E, 2004, 69(2): 026113.

[9] Newman M E J. Fast algorithm for detecting community structure in networks[J]. Physical Review E, 2004, 69(6): 066133.

[10] Dunbar R. Grooming, gossip, and the evolution of language[M]. US: Harvard University Press, 1998.

[11] Marlow C A. Primates on Facebook[M]. [s. l.]: Economist, 2009.

[12] Leskovec J, Lang K J. Statistical properties of community structure in large social and information networks[C]//Proceeding of the 17th international conference on World Wide Web. [s. l.]: [s. n.], 2008: 695-704.

[13] Danon L, Duch J, Diaz-Guilera A, et al. Comparing community structure identification[J]. Journal of Statistical Mechanics Theory and Experiment, 2005, 29(9): P09008.

(上接第 8 页)

channel assignment for WLANs[J]. Mobile Computing and Communications Review, 2005, 9(3): 19-31.

[10] Hsu Chih-Cheng, Liang Yian, Garcia J L, et al. Distributed flexible channel assignment in WLANs[C]//Proc of WCNC. Shanghai: IEEE, 2013: 493-498.

[11] 许国军, 沈连丰. 一种改进的 WLAN/WPAN 中自适应预测随机接入信道分配算法[J]. 应用科学学报, 2004, 22(4): 423-427.

[12] Chen J, Chen Y. AMNP: Ad Hoc multi-channel negotiation

protocol for multi-hop mobile wireless networks[C]//Proc of ICC. [s. l.]: IEEE, 2004: 3607-3612.

[13] Hung W C, Leon-Garcia A. A dynamic multi-channel MAC for Ad-Hoc LAN[C]//Proc of 21st biennial symposium of communication. [s. l.]: [s. n.], 2002: 31-35.

[14] 毛建兵, 毛玉明, 冷甦鹏, 等. 基于 802.11 的多信道 MAC 协议性能分析[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(10): 1651-1659.

[15] 曹立明. 图论及其在计算机科学中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

基于初始化AP的自适应信道分配算法

作者: 陈珊珊, 郭宇春, 张有根, CHEN Shan-shan, GUO Yu-chun, ZHANG You-gen
作者单位: 北京交通大学 电子信息工程学院, 北京, 100044
刊名: 计算机技术与发展 
英文刊名: Computer Technology and Development
年, 卷(期): 2014(11)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201411002.aspx