

802.11 无线局域网中 AP 放置与信道配置的联合算法

凌翔 阳坤* 吴诗其

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

*(香港大学电机电子工程系 香港)

摘要:在多小区无线局域网规划中,接入访问点(AP)放置与信道配置是两个重要的任务。在给定用户业务需求的条件下,谋求最大系统吞吐率和资源分配的公平性是网络规划的目标,其中公平性由吞吐率均衡因子表征。在传统的规划策略中,AP放置与信道配置被分割为两个先后的步骤;而该文提出的目标函数则将这两个问题联合解决以得到更好的系统性能。当采用全局遍历时,对目标函数寻求全局最优解计算量庞大;因此该文又提出了一种有效的局部最优解搜索算法——补丁算法,此算法计算量小,同时能较好地逼近全局最优解。

关键词:无线局域网, IEEE 802.11, AP 放置, 信道配置, 补丁算法

中图分类号: TN92, TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2005)06-0957-05

Joint AP Placement and Channel Assignment Algorithm for 802.11 Wireless LANs

Ling Xiang Yang Kun* Wu Shi-qi

(National Key Lab. Of Communication UEST of China, Chengdu 610054, China)

*(Department of EEE, The University of Hong Kong, Hong Kong, China)

Abstract To deploy a multi-cell 802.11 wireless LAN system, Access Point(AP) placement and channel assignment are two primary design issues. For a given set of traffic demands, maximizing not only the overall system throughput, but also the fairness in resource sharing among users are aimed at, which is measured by a throughput balance index. Unlike conventional approaches that decouple AP placement and channel assignment into two phases, jointly solving the two problems for better performance is proposed. Due to the high computational complexity involved in the exhaustive searching, an efficient local searching algorithm, called patching algorithm, is designed. The simulation results show that for a typical indoor environment, patching algorithm can provide a close-to-optimal performance with much lower time complexity than the exhaustive searching.

Key words Wireless LAN, IEEE 802.11, AP placement, Channel assignment, Patching algorithm

1 引言

无线局域网(WLAN)主要支持便携式终端设备在大楼内、园区内的无线通信。在IEEE 802.11系列标准的规范下,802.11 WLAN近几年空前发展。随着越来越多的网络采用多小区WLAN来进行无缝覆盖,如何放置无线接入访问点(AP),如何为各AP配置信道的问题变得越来越突出,网络规划迫切地需要一种系统方法来解决这两个问题。虽然在基于CDMA或TDMA技术的蜂窝系统中已提出了许多基站放置、信道分配的算法,但都不能直接应用在基于CSMA/CA方式的WLAN环境。

近年来,一些WLAN规划设计方法陆续被提出。Rodrigues

介绍了在室内环境进行AP放置的实测试验,其目标函数为测量点信号功率最大化^[1]。Lee提出AP间负载均衡的思想,通过最大负载最小化来实现^[2]。这两种方法均不允许AP间存在同频信道干扰,但在实际环境中,有时小区间同频干扰无法避免,此时这两种方法无法给出可行解。Kamenetsky将Pruning算法与其他优化算法相结合,用以解决ad-hoc网络中的AP放置问题^[3];在ad-hoc网络中所有小区的所有用户均使用同一信道。Leung讨论了多小区WLAN中的频率配置问题^[4];文中假设每个小区为正六边形覆盖,但在实际室内环境中,障碍物会使得情况变得极其复杂。此外, Park介绍了在办公室和会议室内的系统吞吐率测量^[5]。Hill描述了大规模WLAN规划的一般设计过程,其AP放置和信道配置被分割为两个孤立的过程^[6]。

本文提出了解决 AP 放置和信道配置问题的联合算法，将两大问题统一考虑，目标函数谋求系统吞吐率最大化，同时保证用户获取资源的公平性；公平性由用户吞吐率均衡因子表征。为了避免全局最优解搜索时的庞大运算量，本文进一步提出了一种启发式局部最优解搜索算法——补丁算法。

2 网络设计流程

802.11 协议系列定义了多种网络类型，目前 802.11b DSSS 网络应用广泛，支持的传输速率根据接收机灵敏度门限 (RXThresh) 的不同，分别支持 1, 2, 5.5 和 11Mbps；对于 DSSS 网络，ETSI 规定了 13 个可选信道，FCC 规定了 11 个可选信道。相邻信道存在频谱交叠，因此，为了避免频谱交叠干扰，一般网络规划中只选用 3 个无交叠信道^[5]。此外，为了避免隐终端引起的冲突，RTS 与 CTS 握手信令已被大量采用。

一般的 WLAN 设计流程包括 4 个步骤：(1) 网格划分；(2) 确定 AP 备选位置；(3) 信号强度测量；(4) AP 放置和信道配置^[1,2]。虽然本文关注重点在第(4)步，但了解完整的设计流程有助于理解本文算法。

(1) 将服务区域按网格划分 每个网格是进行用户统计、信号强度测量的基本单元。图 1 包含某一大楼楼层的典型网格划分，楼层含有实验室、会议室、办公室、环形走廊。由于移动用户非均匀分布，因此，必须在各网格内各自统计无线终端数目。以图 1 为例，显示了用户非均匀分布图样，不同灰度等级代表了不同的用户密度。

(2) 确定 AP 备选位置 图 1 中黑点显示了 16 个备选位置，标记为 0~15。目前对于备选位置的选择一般选取便于安装 AP，提供良好覆盖特性，联网方便，能保证设备安全的位置。

(3) 为每个备选 AP 进行覆盖区信号强度测量 测量在每个备选 AP 覆盖到的网格中进行，或通过估计算法预测^[7,8]。图 1 右上区域中给出了备选接入点 AP₂ 的覆盖区接收信号强度分布，单位为 dBm。根据 4 种接收灵敏度门限可推知当网格内用户连接至 AP₂ 时的 4 种不同传输速率（本文 1Mbps 传输速率对应的 RXThresh 定为 -84dBm）。同时 AP₂ 的干扰区域，即信号强度大于载波侦听门限(CSThresh)的区域，也显示在图中(本文 CSThresh 定为 -94dBm)。

(4) AP 放置和信道配置 WLAN 规划的目标是满足用户业务需求，同时控制设备成本。当增加更多的 AP 构建 RTS/CTS 分布式协调功能(DCF)网络时，即使增大了同频小区交叠的可能，一般也能得到更高的系统吞吐率。这与未采

用 RTS/CTS 的网络全然不同。在未采用 RTS/CTS 的网络中，同频干扰和隐终端现象会引起严重的分组碰撞，这导致系统性能急剧恶化；当采用 RTS/CTS 时，同频干扰仅使得系统吞吐率不能达到理想的水平^[9,10]；这是由于 RTS/CTS 信令可以较好地协调严重交叠的同频 AP 间交替工作。

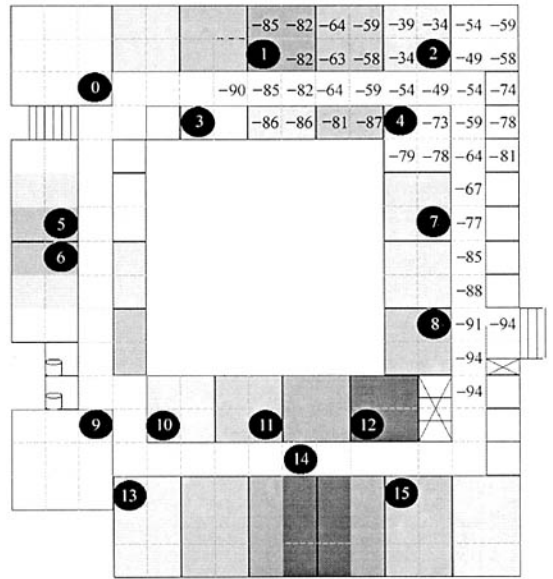


图 1 网格划分、用户分布、AP 备选位置和信号强度测量

3 目标函数

以往 WLAN 规划中已提出几种目标函数(OF)，文献[3]以路径损耗最小化为目标函数，它能解决 AP 放置问题，却不能同时解决信道配置问题，因此 AP 放置和信道配置问题被割裂开来。文献[2]以负载均衡为目标函数，此方法不能有效地解决信道配置问题；文中只通过禁止小区同频交叠来规范信道配置；而在复杂的实际环境中，随着放置越来越多的 AP 以获得更高的系统吞吐率，同频干扰几乎无法避免，此时文献[2]中基于负载均衡的算法不能得到可行解。

本文目标函数将同时考虑系统估计吞吐率和吞吐率均衡的最大化，见式(1)。系统估计吞吐率 THR_{total} 和用户 i 估计吞吐率 THR_i 的估计需综合考虑用户传输速率、传输效率、用户对共享信道的抢占概率，估计算法见文献[11]；用户吞吐率均衡因子 β 则反映了用户获得系统资源的公平性。

$$OF = THR_{total} \times \beta \tag{1}$$

$$\beta = \left(\sum_{i=1}^N THR_i \right)^2 / \left(N \times \sum_{i=1}^N THR_i^2 \right) \tag{2}$$

其中， N 为 WLAN 系统中的用户数。

当所有用户具有完全相同的吞吐率时， β 等于 1；当用

户吞吐率严重不平衡时, β 趋近于 $1/N$ 。

假设每个用户业务量饱满(即任意时刻发送队列都有待发数据), 如果只考虑系统估计吞吐率最大化, 而忽略吞吐率均衡, 有可能导致大量的系统资源被提供给高传输速率用户, 低传输速率用户只能获得非常少的系统资源; 甚至对大量用户根本不提供覆盖(此时这类用户获得的系统资源为零)。另一方面, 如果只考虑用户吞吐率均衡, 有可能导致系统资源被不合理地提供给低传输速率用户, 高传输速率用户的吞吐率也被强行抑制^[12]; 此时所有用户的吞吐率都较低, 虽然吞吐率均衡因子 β 很高, 但系统总吞吐率却很差。因此目标函数综合考虑系统吞吐率和吞吐率均衡是合理的。

4 补丁算法

通过全局搜索来解决 AP 放置和信道配置问题的运算量庞大, 尤其是 AP 备选位置较多或需放置 AP 数量较多时。假设需从 L 个备选位置中选择出 M 个放置位置, 可使用的无交叠信道数为 3 时, 所有可行解数量为 $C_L^M \left[\frac{3^M - 1}{2} \right]$ 。为了降低运算复杂度, 本文提出了局部最优解搜索算法, 其思路如同用补丁去覆盖漏洞, 总是试图首先覆盖最大的漏洞, 故称此算法为补丁算法。

补丁算法为启发式算法, 它根据业务需求的满足情况逐个放置 AP 及其信道, 直至放置完规定的数量。每一次, 算法都从剩余候选 AP 中选出一个能和已放置 AP 一块提供最大目标函数的 AP, 同时从可用信道资源中选取能保证最大目标函数的信道分配给此 AP。

首先, 所有 L 个备选位置共同组成备选集 $\{AP_1, AP_2, \dots, AP_L\}$; 假设只允许 1 个 AP 工作, 则在这 L 个备选位置中选出能提供最大 OF 的一个位置, 并在此位置永久放置 1 个 AP, 并分配信道 1; 然后此 AP 从备选集删除。接着, 算法将从剩余备选集中选择第 2 个 AP, 此时共有 $L-1$ 个备选位置、3 个备选信道可供选择; 算法将计算第 2 个 AP 所有可行的放置位置和信道配置情况下, 与已放置的 AP 一块提供的 OF, 并保留能提供最大 OF 的解, 即新 AP 被放置、其信道被配置。被新确定的备选位置接着从备选集中删除, 下一轮 AP 放置和信道配置试探搜索将重复进行, 直至达到规定的 AP 放置数。在每一轮 AP 放置和信道配置中, 新加入的 AP 都可能导致系统原有已注册用户重新注册到新 AP, 部分用户的同频干扰图样也将发生变化; 此时, 原有注册用户的估计吞吐率必须重新计算。

上述算法中, 每一轮 AP 放置和信道配置过程只保留一个最优解, 为了得到更可靠的优化结果, 可以允许同时保留

几个最优解, 搜索进程将在这几个最优解的后代中同时继续进行。我们用 P_{survive} 表示每一轮被保留的最优解的数量。

5 性能仿真

5.1 仿真环境

根据第 2 节的规划步骤, 首先划分大楼内服务区网格如图 1, 网格步长 5m。非均匀分布的用户分布图也见图 1, 每网格 0~6 个移动终端不等。图中显示存在热点区域, 此区域业务需求强度明显高于其它区域。16 个 AP 备选位置。接收信号强度可以通过测量或预测的方式获得。本文采用 Two-Ray-Ground 传播模型预测接收信号强度分布^[13]; 作为例子, 图 1 右上角显示了 AP_2 的覆盖区信号强度分布。AP 和无线终端发射功率 20dBm, 信号穿透混凝土墙的损耗 15dBm, 信号在走廊拐直角的损耗 10dBm。对应不同传输速率的接收机灵敏度门限分别为 -84 dBm, -81 dBm, -79 dBm 和 -75 dBm, 载波侦听门限 -94 dBm。仿真平台采用 NS2。

5.2 目标函数的性能

此处, 将本文提出的系统吞吐率和吞吐率均衡最大化目标函数记为 OF_1 , 文献[2]提出的负载均衡(最大负载最小化)记为 OF_2 , 文献[1]提出的接收信号总强度最大化记为 OF_3 。

图 2 中实线显示了放置 4~10 个 AP 时, 基于 OF_1 求得的全局最优解的系统吞吐率 THR_{total} 和吞吐率均衡因子 β 。虚线表示所有可行解的系统吞吐率、均衡因子的上界。例如要放置 7 个 AP, 3 个可选信道时, 一共有 4,175,600 个可行解; 所有可行解中, 有的解提供很高的系统吞吐率, 但均衡因子较低; 有的解吞吐率均衡很好, 但总吞吐率很差; 其中最高的系统吞吐率为 31.04Mbps, 我们将其定义为放置 7 个 AP 的系统吞吐率上界; 同理可得均衡因子上界。从图 2 可以发现, 基于 OF_1 的联合算法可以得到较高的系统吞吐率, 同时保持较好的均衡因子(一般大于 0.8)。

图 3 比较了基于 OF_1 , OF_2 , OF_3 分别求得的全局最优解的系统吞吐率和吞吐率均衡因子。由图可见当采用 OF_2 和 OF_3 为目标函数时, 最优解不唯一; 其分布和由虚线连接的

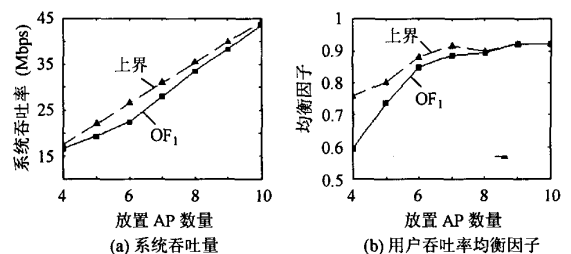


图 2 基于 OF_1 的全局最优解的系统吞吐率和吞吐率均衡因子

均值已在图中显示。从图中可见，当 AP 放置数小于 6 时，OF₂ 无解。这是由于文献[2]中算法要求所有用户都必须被系统覆盖，否则最大负载最小化目标函数将导致 AP 为了降低负载而拒绝覆盖用户；当 AP 放置数较少时，无法覆盖所有用户，因此无解。此外图中可见，当 AP 放置数大于 8 时，OF₂、OF₃ 均无解。这是由于文献[1,2]中的算法均不允许同频小区交叠，当 AP 放置数较多时，部分小区同频交叠已无法避免，故 OF₂、OF₃ 此时无解。

综上所述，基于系统吞吐率和吞吐率均衡最大化目标函数得到的 WLAN 方案可以保证更好的系统性能。

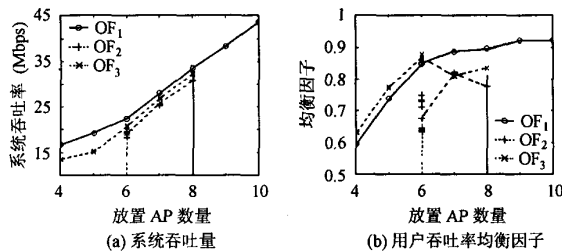


图 3 基于三种目标函数求得的全局最优解的系统吞吐率和吞吐率均衡因子

5.3 补丁算法的性能

补丁算法可以极大地降低优化搜索的运算复杂度，表 1 列出了分别采用全局搜索、补丁算法局部搜索需遍历的可行解的数量。由表可知，补丁算法大幅度降低了运算量。

表 1 遍历的可行解数量比较

| AP 数量 | 全局搜索 | 补丁算法 | |
|-------|----------|-----------------|-----------------|
| | | $P_{survive}=1$ | $P_{survive}=2$ |
| 4 | 25480 | 127 | 538 |
| 5 | 179088 | 163 | 1108 |
| 6 | 976976 | 193 | 2156 |
| 7 | 4175600 | 226 | 4057 |
| 8 | 14079780 | 253 | 7467 |
| 9 | 16777216 | 277 | 13481 |
| 10 | 16777216 | 298 | 23901 |

图 4 比较了全局搜索求得的全局最优解和补丁算法求得的局部最优解，补丁算法 1 曲线表示每一轮 AP 放置和信道配置过程中 $P_{survive}=1$ ；补丁算法 2 曲线则是 $P_{survive}=2$ 。图中可见，补丁算法求得的局部最优解可以很好地逼近全局最优解。

补丁算法同时解决 AP 放置和信道配置问题，我们将其与另一孤立解决这两个问题的算法(Prun+RCC 算法)进行比较。Prun+RCC 算法在 AP 放置阶段以路径损耗最小化为目

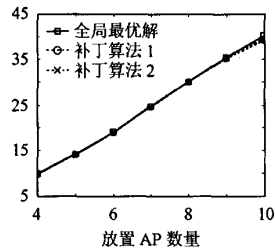


图 4 补丁算法向全局最优解的逼近。

标函数，采用 Pruning 算法^[3]；在信道配置阶段采用随机信道收敛算法，通过调整瓶颈 AP(负荷最大的 AP)的相邻小区的信道配置来减小瓶颈 AP 的负荷^[4]。

图 5 比较了 $P_{survive}=1$ 的补丁算法和 Prun+RCC 算法的性能。由图可见，Prun+RCC 算法可能求得许多局部最优解(多于 20)。这是由于 RCC 算法只调整瓶颈 AP 相邻小区的信道配置；当用户业务分布严重不平衡时，瓶颈 AP 一般会位于业务热点区域，仅仅调整相邻小区的信道配置并不能大幅度地降低瓶颈 AP 的业务负荷；如果系统瓶颈不能从热点区域转移至其他非热点区域，RCC 算法将无法优化非热点区域的信道配置；非热点区域信道配置的随意性导致了局部最优解数量泛滥。此外，RCC 算法只排除了同频 AP 间的直接干扰，未考虑相邻同频小区用户间的干扰，因此系统性能不佳。图中由虚线连接的 Prun+RCC 局部最优解均值显示了这一不足。

综上所述，补丁算法不仅降低了运算复杂度，而且能比其他割裂 AP 放置和信道配置过程的局部搜索算法保证更好的系统性能。

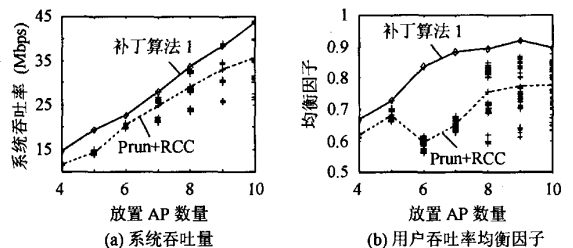


图 5 两种局部最优解的性能比较

6 结束语

本文提出了 WLAN 规划中 AP 放置和信道配置的联合优化算法，以寻求提供最大系统吞吐率和吞吐率均衡的最优解；为了减少全局搜索的运算复杂度，进一步提出了简便的局部搜索算法——补丁算法。通过在一个典型的室内环境与其他割裂 AP 放置、信道配置过程的算法进行比较表明，本文提出的目标函数可以保证令人满意的系统吞吐率和用户

公平性; 补丁算法获得的局部最优解可以极大地逼近全局最优解。

参 考 文 献

- [1] Rodrigues R C, Mateus G R, Loureiro A A F. On the design and capacity planning of a wireless local area network. *IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium 2000*, Honolulu, HI, USA, 2000: 335 – 348.
- [2] Lee Y, Kim K, Choi Y. Optimization of AP placement and channel assignment in wireless LANs. *Proceedings of the 27th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*, Tampa, Florida, USA, 2002: 831 – 836.
- [3] Kamenetsky M, Unbehau M. Coverage planning for outdoor wireless LAN systems. *International Zurich Seminar on Broadband Communications*, Zurich, Switzerland, 2002: 49-1 – 49-6.
- [4] Leung K K, Kim B-J. Frequency assignment for multi-cell IEEE 802.11 wireless networks. *VTC'03 Fall*, Lake Buena Vista, Florida, USA, 2003, 3: 1422 – 1426.
- [5] Park J A, Park S K, Cho P D, Cho K R. Analysis of spectrum channel assignment for IEEE 802.11b wireless LAN. *5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, Honolulu, HI, USA, 2002, 3: 1073 – 1077.
- [6] Hills A. Large-scale wireless LAN design. *IEEE Communications Magazine*, 2001, 39(11): 98 – 107.
- [7] Armour S, Doufexi A, Lee B-S, *et al.*. The impact of power limitations and adjacent residence interference on the performance of WLANs for home networking applications. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2001, 47(3): 502 – 511.
- [8] Kamerman A. Throughput density constraints for wireless LANs based on DSSS. *Spread Spectrum Techniques and Applications Proceedings*, Mainz, Germany, 1996, 3: 1344 – 1350.
- [9] Bianchi G. Performance analysis of IEEE 802.11 distributed coordination function. *IEEE Trans. on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(3): 535 – 547.
- [10] Ziouva E, Antonakopoulos T. The effect of finite population on IEEE 802.11 wireless LANs throughput/delay Performance. *MELECON 2002*, Cairo, Egypt, 2002: 95 – 99.
- [11] 凌翔, 阳坤, 严少虎, 吴诗其. 多小区无线局域网的系统吞吐率估计算法. <http://teacher.uestc.edu.cn/teacher/coursewarelist.jsp?TID=lynn>
- [12] Heusse M, Rousseau F, Berger-Sabbatel G, Duda A. Performance anomaly of 802.11b. *Infocom2003*, San Francisco, CA, USA, 2003, 2: 836 – 843.
- [13] Fall K, Varadhan K. *The ns manual*. 2003: 177 – 178.
- 凌翔: 男, 1972年生, 博士生, 研究方向为无线通信与个人通信。
- 阳坤: 男, 1969年生, 副教授, 博士生导师, IEEE高级会员, 研究方向为网络通信。
- 吴诗其: 男, 1938年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为卫星通信、移动通信。