

2-19-2020

Interference Management Mechanism in Next Generation Dense WLAN

Ronghui Hou

School of Telecommunications Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;

Xiaoyao Ma

School of Telecommunications Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;

Liu Yi

School of Telecommunications Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;

Hongyan Li

School of Telecommunications Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Interference Management Mechanism in Next Generation Dense WLAN

Abstract

Abstract: Aiming at the unfairness and low throughput in a wireless local area network with dense access points and terminals deployment, *a user-centered resource allocation method which can configure the specific channel and power level for each user is proposed. This method can maximize the network throughput while ensuring the minimum throughput requirement for each user. The proposed interference management mechanism and user identification method can be easily implemented in the current wireless local area network system.* Simulation results show that the proposed resource allocation scheme enhances about 47.3% throughput to a basic service set. In particular, 190% improvement can be achieved for the basic service set which suffers the most severe interference. The average throughput of edge users in each basic service set can increase 74.3%.

Keywords

high efficiency wireless local area network, overlapping basic service set, interference management, power control, user-centric

Recommended Citation

Hou Ronghui, Ma Xiaoyao, Liu Yi, Li Hongyan. Interference Management Mechanism in Next Generation Dense WLAN[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(2): 332-339.

下一代密集 WLAN 网络干扰管理机制

侯蓉晖, 麻小遥, 刘意, 李红艳

(西安电子科技大学通信工程学院, 陕西 西安 710071)

摘要: 在密集高效无线局域网部署场景中, 针对传统 802.11 协议造成用户公平性差和吞吐量低的问题, 提出一种以用户为中心的资源配置方法。该方法通过对用户进行识别分类, 以用户为中心配置信道和功率, 在保证用户公平性的前提下, 最大化网络吞吐量。提出的功率控制机制和用户识别方法可以很简单的应用于现有无线局域网系统中。仿真结果表明, 提出的资源配置方法平均提升单位基本服务集吞吐量 47.3%, 干扰最严重的基本服务集的吞吐量提升 190%, 每个基本服务集的边缘用户的吞吐量平均提升约 74.3%。

关键词: 高效无线局域网; 重叠基本服务集; 干扰管理; 功率控制; 用户为中心

中图分类号: TN925.53

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2020) 02-0332-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.18-0065

Interference Management Mechanism in Next Generation Dense WLAN

Hou Ronghui, Ma Xiaoyao, Liu Yi, Li Hongyan

(School of Telecommunications Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Aiming at the unfairness and low throughput in a wireless local area network with dense access points and terminals deployment, a user-centered resource allocation method which can configure the specific channel and power level for each user is proposed. This method can maximize the network throughput while ensuring the minimum throughput requirement for each user. The proposed interference management mechanism and user identification method can be easily implemented in the current wireless local area network system. Simulation results show that the proposed resource allocation scheme enhances about 47.3% throughput to a basic service set. In particular, 190% improvement can be achieved for the basic service set which suffers the most severe interference. The average throughput of edge users in each basic service set can increase 74.3%.

Keywords: high efficiency wireless local area network; overlapping basic service set; interference management; power control; user-centric

引言

下一代无线局域网 (Wireless Local Area Network, WLAN) 面临的主要问题是密集部署环境

中的干扰管理, 即重叠基本服务集 (Overlapping Basic Service Set, OBSS) 干扰管理问题。下一代 WLAN 的主要特征是接入点 (Access Point, AP) 和站点 (Station, STA) 的密集部署, AP 密度提高使得重叠区域增大, 处于此区域的 STA 增多。理论上来说, 增加 AP 数量可以提高网络总体吞吐量, 但是由于网络中隐藏终端和暴露终端的数目增多, 同频干扰严重, 使得网络频谱利用率降低, 直接影响



收稿日期: 2018-01-30 修回日期: 2018-05-22;
基金项目: 国家科技重大专项(2015ZX03002006), 国家自然科学基金(61571351, 61401326), 陕西省自然科学基金基础研究计划(2016JM6028, 2016JQ6054);
作者简介: 侯蓉晖(1980-), 女, 陕西渭南, 博士, 教授, 研究方向为无线组网等; 麻小遥(1994-), 男, 陕西宝鸡, 硕士生, 研究方向为无线组网和卫星组网。

<http://www.china-simulation.com>

到系统性能。而传统的分布式协调功能(Distributed Coordination Function, DCF)机制^[1]在密集场景中对网络公平性产生严重的影响。因此, OBSS 的干扰管理成为下一代 WLAN 的重点研究方向。目前, 国内外对 OBSS 干扰管理的方法主要有 3 个方向: 信道分配、功率控制和动态灵敏度控制。

信道分配方法可以避免相邻 AP 工作在相同信道, 从而降低网络同频干扰。信道分配的方式主要分为静态分配和动态分配。文献[2-4]主要介绍了几种静态分配算法, 文献[5-6]通过对网络状态的分析, 实现信道的动态分配。然而, 可分配的信道数目是有限的, 在密集网络环境中, 即使采用最优的资源分配机制也很难避免碰撞的发生。传输功率控制方法可以进一步避免传输碰撞。通过控制 AP 的发射功率, 可以合理规划 AP 的覆盖范围, 从而减小工作在相同信道的 AP 之间的重叠区域。文献[6-8]分别提出了相应的功率控制算法来改善网络吞吐量。但是这样的方法很容易造成 AP 覆盖盲区的增加, 处于盲区的 STA 无法关联到任何 AP。因此, 需要通过动态灵敏度调整方法来解决。合适的载波侦听门限可以提高空间复用, 从而提升性能^[9-10]。总体上, 现有方法主要从网络侧进行资源配置, 而不考虑用户特性, 即 AP 对某一基本服务集(Basic Service Set, BSS)内的所有用户使用相同的频谱资源和传输功率。虽然下一代无线移动通信具有面向用户的资源配置机制^[11-12], 但是这些方法很难应用在以随机多址接入为基础的下一代 WLAN 系统中。针对这一问题, 本文提出了一种以用户为中心的资源配置方法。AP 根据将接收到来自不同 STA 的接收功率与预设的接收功率门限进行对比, 把 STA 分为中心用户和边缘用户。AP 之间共享用户信息以及拓扑信息, 所有 BSS 的中心用户使用全频带传输, 相邻 BSS 的边缘用户工作在相互正交的信道上。通过最大化网络吞吐量的方式, 确定 AP 最佳的发射功率。仿真表明, 该方法可以提升网络吞吐量, 改善网络性能。

1 以用户为中心的资源配置机制

1.1 问题描述

本文考虑密集 AP 和 STA 部署的无线局域网场景。AP 之间使用有线方式互连。由于 AP 密集部署, 站点会受到相邻 AP 的同频干扰。如图 1 所示, 虽然 STA1 与 AP1 关联, 但是 STA1 同时位于 AP2 和 AP3 的覆盖范围内, 也就是 AP2 和 AP3 的传输将对 STA1 造成干扰。现有 WLAN 系统中, 为了避免干扰, 通常规定 AP1、AP2 和 AP3 使用正交信道。但是这种方法将不适用于密集部署的场景, 各个 BSS 使用正交信道也限制了频谱资源的高效利用。例如, 如果规定图中所有的 AP 使用正交信道, 由于 STA2 不受相邻 AP 的干扰, 但 BSS2 却只能使用 1/4 的频谱资源, 从而影响整体网络的性能。本节提出一种更高效的资源配置机制, 面向用户进行干扰管控, 提升频谱资源利用率和网络吞吐量。

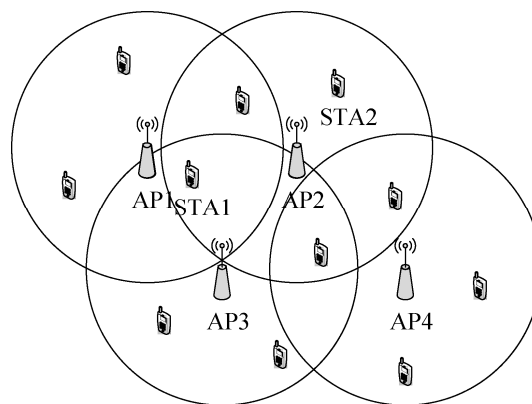


图 1 下一代 WLAN 场景示意图
Fig. 1 Scenario of next generation WLAN

1.2 资源配置方法

AP 根据 STA 接收功率的大小, 将关联 STA 分为中心用户和边缘用户。每个基本服务集的中心用户工作在全频带, 相邻基本服务集的边缘用户工作在相互正交的信道。AP 通过解析 STA 的关联请求帧中的干扰 AP 域, 可以确定干扰 AP 的数目, 根据干扰 AP 数目来确定正交信道的个数, 并确保

正交信道的带宽不小于 D 。设当前 AP 检测到周围干扰 AP 有 N 个, 信道总带宽为 B , 所需正交信道个数为 X , 正交信道带宽为 H 。可通过式(1)来确定所需正交信道个数, 正交信道的带宽由式(2)来确定:

$$X = \begin{cases} B/D, & (B/D) < (N+1), \\ N+1, & (B/D) \geq (N+1). \end{cases} \quad (1)$$

$$H = \begin{cases} D, & (B/D) < (N+1), \\ \lceil [B/(N+1)]/D \rceil \times D, & (B/D) \geq (N+1). \end{cases} \quad (2)$$

例如, 频带总带宽为 160 MHz, 在 WLAN 802.11 协议中, 信道带宽不小于 20 MHz, AP 检测到周围存在 2 个干扰 AP, 利用式(1)和(2)可得正交信道至少需要 3 个, 每个信道的带宽为 40 MHz。图 2 为信道分配示意图。

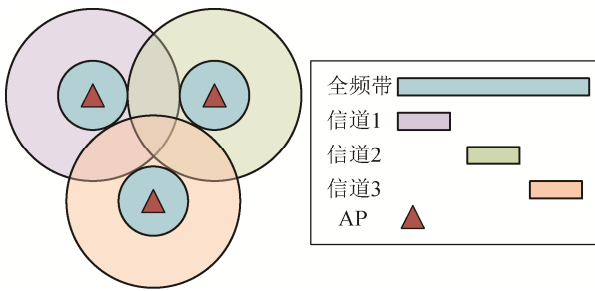


图 2 信道分配示意图
Fig. 2 Channel allocation

完成信道分配后, AP 需要对发射功率进行调整。设网络中有 M 个 AP, AP 之间距离为 L , 每个 AP 关联 K 个 STA。 $AP_i (i=1,2,\dots,M)$ 对 $STA_k (k=1,2,\dots,K)$ 的发射功率为 P_{ik} , AP_i 与 STA_k 之间的距离为 d_{ik} , 信道带宽为 B , AP_i 关联的 STA_k 的信噪干扰比为 $SINR_{ik}$ (单位: dB)。路径损耗用 PL 表示, 吞吐量用 R 表示, 噪声功率为 N_t 。通过式(3)最大化系统吞吐量, 求解出每个 AP 的最佳发射功率。

目标函数为:

$$R = \max_{P_{ik} (i=1,\dots,M)} B \times \left[\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \log_2(1 + 10^{SINR_{ik}/10}) \right] \quad (3)$$

$$SINR_{ik} = Pr_{ik} - I_{ik} \quad (4)$$

Pr_{ik} 为 AP_i 对于 STA_k 的接收功率, I_{ik} 为其他

AP 对于 STA_k 的干扰功率, 如式(5)和式(6)所示:

$$Pr_{ik} = P_{ik} - PL(d_{ik}) \quad (5)$$

$$I_{ik} = 10 \times \lg \left(\sum_{\substack{j=1,2,\dots,M \\ j \neq i}} 10^{(P_{jk} - PL(d_{jk})/10)} + 10^{(N_t/10)} \right) \quad (6)$$

为了使相邻 AP 可以并发传输数据, 邻 AP 的信号强度不能高于空闲信道评估(Clear Channel Assessment, CCA)门限值。因此约束式如式(7)所示:

$$P_{ik} - PL(L) \leq -62, (i=1,2,\dots,M; k=1,2,\dots,K) \quad (7)$$

其中路径损耗模型^[13]如式(8)所示:

$$PL(L) = PL_0 + 10\gamma \times \log_{10}(L/d_0) \quad (8)$$

PL_0 为在参考距离 d_0 时的路径损耗, γ 为路径损耗指数, d_0 为参考距离, 通常为 1 m。通过最大化网络吞吐量的方式, 来确定每次传输 AP 对关联用户采用的最佳功率, 实现以用户为中心的功率控制方法。

1.3 提出的资源配置方法在 WLAN 系统中的应用

首先, AP 需预设一个接收信号强度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI)门限值^[14]用于对用户进行区分, 下节将主要介绍如何设置该门限。若以到 AP 距离为 J 处作为用户类别分界线, 则该门限就是 AP 接收到来自 J 处用户的接收功率值。下节将具体说明用户分界线的选择。

在 STA 关联 AP 前, 会进行信道扫描过程来获知周围可供关联的所有 AP 信息。STA 选择 RSSI 更大的 AP 进行关联, 其余 AP 作为干扰 AP 保存下来。STA 给关联 AP 发送关联请求帧(Association Request)时, 会在其中加入干扰 AP 的服务集标识(Service Set Identifier, SSID), 如图 3(a)所示。AP 接收到关联请求帧后, 保存干扰 AP 的信息, 然后将此帧的接收功率与预设的 RSSI 门限值对比, 来进行中心用户和边缘用户的划分。将大于门限的 STA 标记为中心用户, 将其余 STA 标记为边缘用户。AP 维护一个关于关联 STA 的列表, 此表中有 STA 的 MAC 地址, 以及关联 STA 和 AP 之间距离。

对于中心用户, AP 使用全频带传输。对于边缘用户, 相邻 AP 采用相互正交的信道。正交信道的选择使用回溯法^[15], 使得相邻 AP 工作在不同信道。AP 间通过有线网络交换彼此的信息, 当有 AP 加入或退出, AP 将重新进行正交信道选择。AP 在关联响应帧(Association Response)中加入信道分配指示, 通知 STA 切换信道, 如图 3(b)所示。STA 接收到关联响应帧后, 解析其中的信道切换域(Channel Switch), 获知其应该切换的信道。

当 AP 需要给用户发送数据时, 会解析分组 MAC 头, 查看此分组的地址, 再确定当前发送功率。AP 通过解析分组 MAC 头, 得到此分组的地址后, 可以在关联 STA 列表中获得此 STA 的位置信息, 进而计算出路径损耗。AP 之间通过有线网络交互, 获得目标 STA 的干扰信号强度, 根据这些信息, 利用式(3), 可以确定 AP 的最佳发射功率。具体操作过程如图 4 所示。

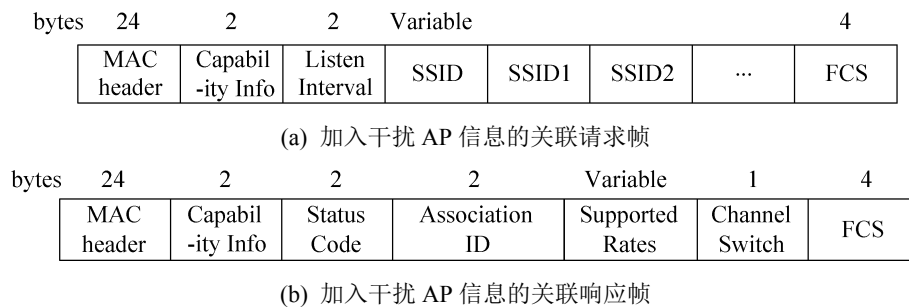


图 3 802.11 协议中相关帧的修改

Fig. 3 Modification of 802.11 frames

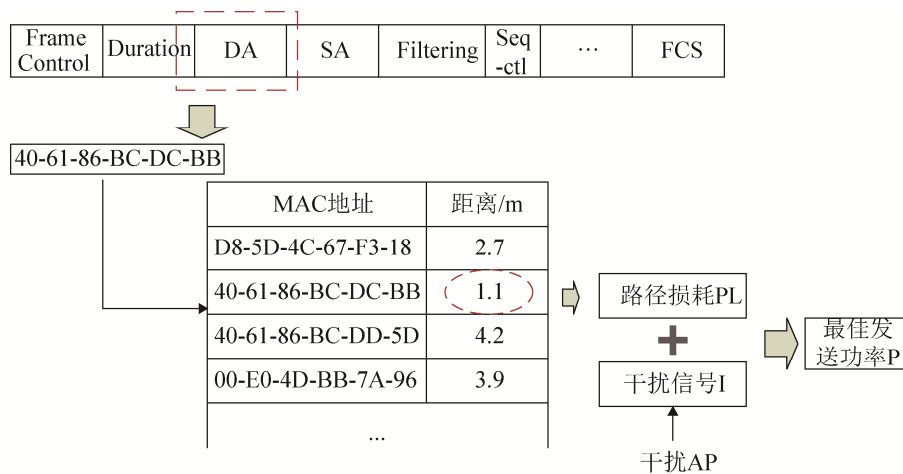


图 4 功率控制过程

Fig. 4 Process of power control

2 中心用户与边缘用户的识别方法

本文的资源配置方法是建立在对用户识别与分类的基础上进行的, 因此本节将讨论中心用户与边缘用户的划分界线。文献[16]介绍了 LTE 中用户划分的两种方法: 基于距离或基于覆盖的划分。基于距离划分的界限主要参考信噪干扰比(Signal to

Interference plus Noise Ratio, SINR), 一般选在小区半径的 0.7~0.8 倍之间。基于距离划分一般考虑基站按照一定规则进行部署的场景, 而 WLAN 系统中的 AP 可能是用户根据需要任意部署的, 不同区域 AP 的密度不同, 所以不能采用固定的按照距离的划分方法。基于信号强度的划分是通过无线信号的强弱来判断用户的位置, 无线信号小的用户距离

AP 较远。这种方法需要将参考信号接收功率作为门限值，当用户的信号强度在门限值范围内为中心区域，在门限值范围外为边缘区域。由于参考信号接收功率的选取依赖于基站按照一定规则进行部署的场景，因此也不适用于 WLAN 系统。本节提出一种适用于 WLAN 系统的用户识别分类方法。

设网络中有 Q 个 AP，AP 之间的距离为 a ，中心用户的带宽为 W ， $AP_i (i=1,2,\dots,Q)$ 的用户分界线在 b_i 处， AP_i 的中心用户信噪干扰比为 $SINR_{ci}$ (单位: dB)， AP_i 中心区域的面积为 S_i ，用户密度为 ρ ， AP_i 中心区域的用户数为 F_i ，集合 O_i 为 AP_i 的干扰 AP 集合， f_i 为干扰 AP 到此 AP_i 用户分界线的距离， P 为 AP 初始功率，所有 AP 的初始功率均相同， PL 为路径损耗， N_t 为噪声功率， C_i 为 AP_i 的最大中心用户吞吐量， $SINR_t$ 为 AP 使用的传输速率的信噪干扰比门限。由于边缘用户使用的是正交信道，正交信道个数由 AP 的分布情况而定，所以，边缘用户的传输速率不受用户识别信号门限值的影响。提出的信号门限值的设置方法主要以最大化中心用户的总体传输速率为目标。当信号门限值太小，中心用户数量会增加，但是中心用户受到的干扰增大；当信号门限值过高，中心用户受到的干扰降低，但是用户数据减少。因此，存在一个最优的信号门限值。式(9)表示中心用户的总体传输速率。

目标函数:

$$C_i = \max(F_i \times W \times \log(1 + 10^{SINR_{ci}/10})) \quad (9)$$

$(i=1,2,\dots,Q)$

$$F_i = S_i / \rho \quad (10)$$

$$S_i = \pi \times b_i^2 \quad (11)$$

$SINR_{ci}$ 统一取分界线 b_i 处的信噪干扰比，如式(12)所示:

$$SINR_{ci} = Pr_{ci} - I_{ci} \quad (12)$$

Pr_{ci} 为 b_i 处的接收功率， I_{ci} 为 b_i 处的干扰信号功率，如式(13)和(14)所示:

$$Pr_{ci} = P - PL(b_i) \quad (13)$$

$$I_{ci} = 10 \times \lg \left(\sum_{i \in O_i} 10^{(P-PL(f_i)/10)} + 10^{(N_t/10)} \right) \quad (14)$$

分界线 b_i 和信噪干扰比 $SINR_{ci}$ 需满足如下条件:

$$0 < b_i < \frac{a}{2} \quad (15)$$

$$SINR_{ci} > SINR_t \quad (16)$$

AP 通过上述方法，确定用户识别分界线。以 3 个 AP 的场景为例，AP 之间相距 10 m，即 $a=10$ ，AP 的初始功率 $P=14.67$ dBm，带宽 $W=160$ MHz，AP 采用 802.11 ac 协议中 MCS2 的传输速率，通过式(9)可求出 3 个 AP 各自的用户分界线均为 2.0 m。我们利用 NS3 仿真软件^[17]，来对理论结果进行验证。图 5 为 3 个 AP 的场景图，表 1 为对图 5 场景进行仿真的结果。

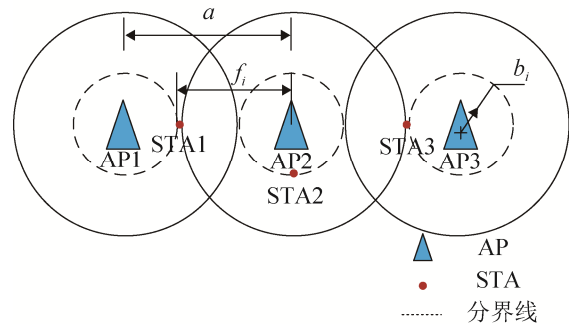


图 5 用户分界线仿真场景
Fig. 5 Scenario of user's boundary

表 1 不同中心区域大小下 AP 吞吐量情况

Tab. 1 The throughput of APs with different central area

半径 b_i/m	吞吐量/Mbps			
	STA1	STA2	STA3	中心用户
1.0	392	295	392	3 388.06
1.5	223	181	223	4 429.76
2.0	173	127	173	5 940.88
2.5	62	47	62	3 355.88

表 1 给出了 1.0 m、1.5 m、2.0 m 和 2.5 m 的仿真结果，从表中可以看到 $b=2.0$ m 时的中心用户总体传输速率最大，与我们理论推导结果相符。

3 仿真验证

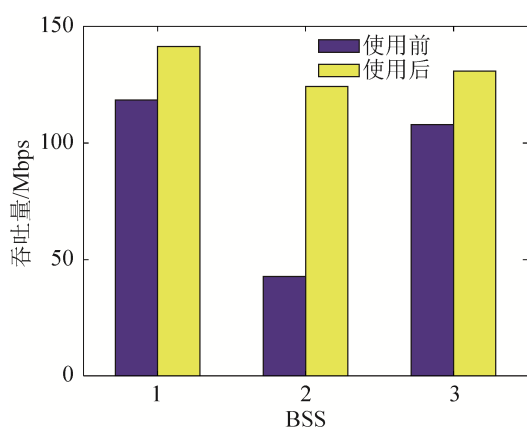
参考 802.11ax 工作组给出的仿真场景文档^[18]，考虑如下场景，3 个 AP 线性排列，AP 之间相距 10 m，每个 AP 关联 20 个 STA，STA 随机分布在

距离 AP 为 5 m 的范围内。使用 NS3 仿真平台进行仿真模拟, 具体参数设置如表 2 所示。

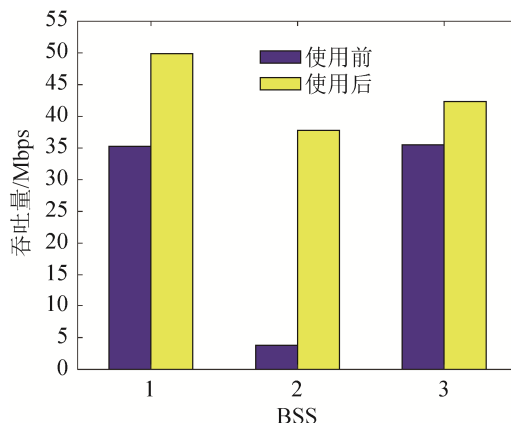
表 2 仿真参数
Tab. 2 Simulation parameters

参数	配置
CCA 门限	-62 dBm
RTS/CTS	不开启
路径损耗模型	Log Distance Propagation Loss Model
协议标准	IEEE 802.11ac
带宽	160 MHz
业务类型	UDP 流
数据包大小	63 000 字节
传输速率	MCS2(短保护间隔)

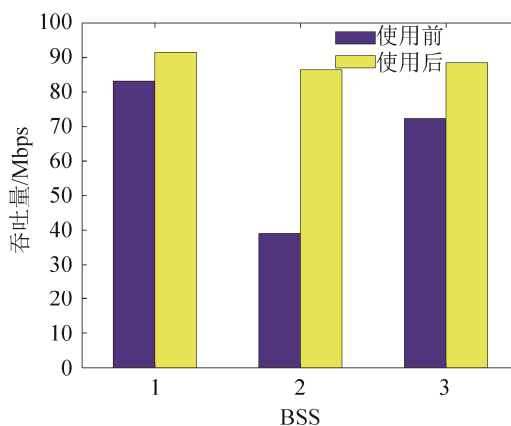
图 6 为仿真测试结果。传统 IEEE 802.11 协议无法进行信道资源的分配, 也没有以用户为中心的功率控制机制, 因此, 对于网络中的所有用户使用相同的发射功率, 通常为最大功率进行数据传输, 这样对于 BSS2 的边缘用户来说, 会受到严重的干扰。BSS2 边缘用户的最大信噪干扰比为 5dB, 最小信噪干扰比会小于 0。当使用了本文所提干扰管理机制后, BSS2 的边缘用户仅会受到来自相邻 BSS 对中心用户传输功率的干扰, 此干扰较小, 因此边缘用户的信噪干扰比会明显提升, 最大可提升至 15dB。信噪干扰比的提升, 也会提高边缘用户成功接收分组的概率, 从而改善了用户公平性, 对网络吞吐量带来明显增益。



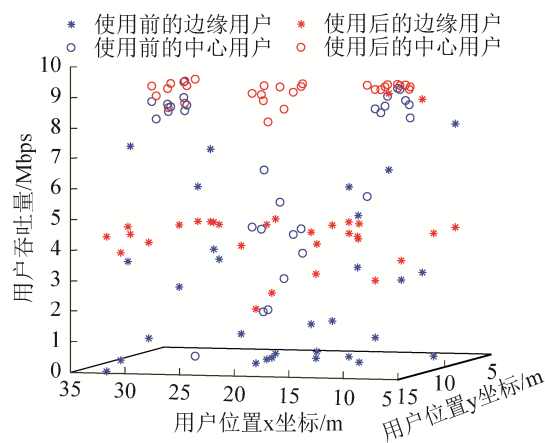
(a) BSS 平均吞吐量对比



(b) BSS 边缘用户吞吐量对比



(c) BSS 中心用户吞吐量对比



(d) 使用算法前后用户吞吐量对比

图 6 仿真结果图

Fig. 6 Simulation results

图 6(a)为所提方法与传统 IEEE 802.11 协议方法 BSS 平均吞吐量对比图, 可以看到, 平均每个 BSS 的吞吐量可以提升 47.3%, 干扰最严重的 BSS2 的吞吐量提升 190%。图 6(b)给出了每个 BSS 中边

缘用户的吞吐量情况。BSS1 和 BSS3 的边缘用户吞吐量均有提升，BSS2 的边缘用户吞吐量提升最为明显。此结果印证了之前的分析，当边缘用户正在接收数据时，只有相邻 BSS 的中心用户的传输功率会对边缘用户造成干扰。提出的功率控制机制中，AP 为中心用户和边缘用户分别使用不同的发送功率。边缘用户的发送功率一般高于中心用户的发送功率，这使得干扰信号功率相比有用信号功率明显减小，从而提升边缘用户的传输速率。仿真实验结果表明采用提出的干扰管控机制显著提升了边缘用户的吞吐量。图 6(c)为 BSS 中心用户吞吐量对比图，由于 BSS2 的中心用户信噪比相对于 BSS1 和 BSS3 提升明显，因此其吞吐量也明显改善。图 6(d)给出了仿真实验中所有用户吞吐量的情况。用户受干扰程度不同，提出的机制产生的增益不同。受干扰越严重的用户可获得的吞吐量增益越大。

4 结论

在密集 WLAN 网络中，由于重叠区域较大，网络中存在的严重的同频干扰。针对下一代无线局域网网密集部署的特点，提出一种以用户为中心的干扰管理机制。通过对 BSS 内的用户进行识别和分类，为不同类型的用户分配不同的信道，配置不同的传输功率，提升用户的传输速率，提高频谱资源利用率。本文基于 NS3 仿真平台对特定场景进行仿真模拟，验证了提出机制的有效性。

参考文献:

- [1] 税国军, 沈树群. 基于 NS-2 的 802.11DCF 协议仿真模型研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(7): 1829-1833.
Shui Guojun, Shen Shuqun. Research on 802.11 DCF Protocol Simulation Model Based on NS-2[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(7): 1829-1833.
- [2] Tewari B P, Ghosh S C. Combined Power Control and Partially Overlapping Channel Assignment for Interference Mitigation in Dense WLAN[C]// 2017 IEEE 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA). Taipei: IEEE, 2017: 646-653.
- [3] Wang Y, Gong S, Wang M, et al. The channel assignment scheme based on system interference evaluation model for WLAN[C]// 2016 5th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT). Changchun: IEEE, 2016: 563-566.
- [4] Kachroo A, Park J, Kim H. Channel assignment with transmission power optimization method for high throughput in multi-access point WLAN[C]// 2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC). Dubrovnik: IEEE, 2015: 314-319.
- [5] Oh J, Song M, Choi J, et al. Partial band interference alignment for overlapped WLAN channel allocation[C]// Proceedings of 2014 IEEE Sixth International Conference on Ubiquitous and Future Networks. Shanghai: IEEE, 2014: 555-559.
- [6] Lee H Y, Lee W J, Shin M, et al. Channel allocation and transmission power management scheme in software defined network-based WLAN environments[C]// Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Information Networking. Danang: IEEE, 2017: 138-142.
- [7] Oteri O, Xia P F, Lasita F, et al. Advanced power control techniques for interference mitigation in dense 802.11 networks[C]// Proceedings of 2013 IEEE 16th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications. Atlantic City, NJ: IEEE, 2013: 1-7.
- [8] Kim S, Yi J, Son Y, et al. Quiet ACK: ACK transmit power control in IEEE 802.11 WLANs[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications. Atlanta, GA: IEEE, 2017: 1-9.
- [9] Afaqui M S, Garcia-Villegas E, Lopez-Aguilera E, et al. Dynamic sensitivity control of access points for IEEE 802.11ax[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Communications. Kuala Lumpur: IEEE, 2016: 1-7.
- [10] Zhong Z, Cao F M, Kulkarni P, et al. Promise and perils of Dynamic Sensitivity control in IEEE 802.11ax WLANs[C]// Proceedings of 2016 International Symposium on Wireless Communication Systems. Poznan: IEEE, 2016: 439-444.
- [11] Iskandar, Nuraini H. Inter-cell interference coordination with soft frequency reuse method for LTE network[C]// Proceedings of 2016 IEEE 2nd International Conference on Wireless and Telematics. Yogyakarta: IEEE, 2016: 57-61.

- [12] Yoon J, Hwang G. Performance analysis of distance-based inter-cell interference coordination in Small Cell Networks[C]// Proceedings of IEEE 18th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. Macau: IEEE, 2017: 1-6.
- [13] Jung S, Lee C O, Han D S. Wi-Fi fingerprint-based approaches following log-distance path loss model for indoor positioning[C]// Proceedings of IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Intelligent Radio for Future Personal Terminals. Daejeon: IEEE, 2011: 1-2.
- [14] 谢可, 梁晓辉, 许林. 虚拟环境中一种基于用户 QoS 的切换策略[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(5): 1189-1194.
Xie Ke, Liang Xiaohui, Xu Lin. Handoff Method Based on User QoS in Virtual Environment[J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(5): 1189-1194.
- [15] 唐贵, 鲁珊珊, 李秦. 利用改进的回溯算法求解 3 着色问题[J]. 重庆工学院学报(自然科学版), 2007, 21(12): 116-118.
Tang Gui, Lu Shanshan, Li Qin. Solving 3 Coloring Problem with Improved Backtracking Algorithm[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology, 2007, 21(12): 116-118.
- [16] 张磊. 基于部分频率复用的 LTE 小区间干扰协调[D]. 上海: 上海师范大学, 2015.
Zhang Lei. Inter-cell Coordination Based on Partial Frequency Reuse of LTE[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2015.
- [17] 王振豪, 胡亚辉, 慈松. 面向 QoE 的 LTE 网络流媒体业务半实物仿真平台[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(3): 556-561.
Wang Zhenhao, Hu Yahui, Ci Song. QoE-oriented HIL Simulation Platform for Mobile Streaming in LTE System[J]. Journal of System Simulation, 2014, 26(3): 556-561.
- [18] Omar H A, Abboud K, Cheng N, et al. A Survey on High Efficiency Wireless Local Area Networks: Next Generation WiFi[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials (S1553-877X), 2016, 18(4): 2315-2344.