

一种基于 WLAN 的异构网中上行资源分配策略

文春阳, 邱玲

(中国科学技术大学个人通信与扩频实验室, 安徽合肥 230027)

摘要: 基于 WLAN 的异构网中, WLAN 可提供较高的速率支持, 是对蜂窝网络的有益补充. WLAN 的资源管理方式与蜂窝网络的集中式管理不同, 存在碰撞和多种速率用户共存时的性能异常, WLAN 的碰撞和性能异常情况会形成以最大化网络效用为目标的资源分配问题. 由于问题的非凸性, 无法直接用凸优化方法求解, 为此利用二项分布和泊松分布的近似以及 WLAN 中用户数和碰撞概率的极限关系, 将原问题转换成凸问题, 并提出一种满足用户速率需求的分布式资源分配算法, 实现 WLAN 和蜂窝网络间的最优资源分配. 仿真结果表明, 该算法对系统性能具有较大的改善, 提高了 AP 的利用率.

关键词: WLAN; 异构网; 性能异常; 上行资源分配

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2014.04.001

引用格式: Wen Chunyang, Qiu Ling. An uplink resource allocation strategy in heterogeneous networks based on WLAN[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2014, 44(4): 259-264.

文春阳, 邱玲. 一种基于 WLAN 的异构网中上行资源分配策略[J]. 中国科学技术大学学报, 2014, 44(4): 259-264.

An uplink resource allocation strategy in heterogeneous networks based on WLAN

WEN Chunyang, QIU Ling

(Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: WLAN can provide high data rates for users, which is an effective complement to traditional cells in heterogeneous networks. However, resource management in WLAN is different from the central allocation of cellular networks, where exist collision and performance anomaly. A maximizing utility function problem was formulated, which allowed for the collision and performance anomaly in WLAN. Due to the non-convexity of constraints, the problem could not be solved directly. Poisson approximation of binominal distribution and the relationship between user number and collision probability were used to transform it into a convex problem. A distributed algorithm was proposed to optimally allocate resources between networks. Simulation results show that it can significantly enhance system performance and improve the utilization of WLAN.

Key words: WLAN; heterogeneous networks; performance anomaly; uplink resource allocation

收稿日期: 2013-08-20; 修回日期: 2013-12-27

基金项目: 中国科大—华为合作项目“UMTS HetNet 技术研究”(YBWL2011110120)资助.

作者简介: 文春阳, 男, 1990 年生, 硕士生. 研究方向: 异构网中资源管理. E-mail: chywen@mail.ustc.edu.cn

通讯作者: 邱玲, 博士/教授. E-mail: lqiu@ustc.edu.cn

0 引言

WLAN(wireless local area networks)的迅速发展及其与现有蜂窝网络频率的正交性,使其适合与蜂窝网络组成异构网,为用户提供更高质量的服务.在双层网络的重叠区域,多模终端可同时接入多个网络.文献[1-2]分别研究多模终端以及多模终端和单模终端混合用户分布场景中的资源分配方式.本文以最大化网络效用为目标,提出一种用户从多个网络获取资源以满足其 QoS(quality of service)需求的分布式资源分配算法.文献[3]研究了 LTE(long term evolution)网络和 WLAN 接入点(access point, AP)协同工作的资源分配问题.本文将用户在不同网络的速率分别用闭式表达,最大化用户的速率和.文献[1-3]在资源分配模型建立时并没有考虑 WLAN 的具体特性,如基于载波侦听多点接入/冲突避免(carrier sense multiple access with collision avoidance, CSMA/CA)的接入方式^[4],而 CSMA/CA 网络中竞争会影响系统性能.文献[5]分析 WLAN 和蜂窝网络协同工作场景中一种简单的网络选择方法:即只要 WLAN 可用,用户就选择接入 WLAN,如果用户请求被拒绝,则尝试接入蜂窝网络.文献[6]研究了 WLAN 和蜂窝网络之间的负载均衡问题;文献[1-6]的研究假设上行竞争用户的数据速率都相同,用户到 AP 的信道质量一样.实际 CSMA/CA 网络中不同用户和相同的 AP 以及同一用户到不同 AP 的信道质量不完全相同^[7],信道质量差的用户采用低速率传输,此时,其他信道条件好的用户的吞吐率也随之下落,直至与低速用户的吞吐率相同^[8],这种现象称为性能异常.文献[9]和[10]分别提出一种基于时间公平的资源分配方法和用户动态更新归属的方法解决 WLAN 中的性能异常.

在 WLAN 和蜂窝网络共存的异构网环境中,可将 AP 中低速率用户归属合适的网络,降低性能异常对系统性能的影响.本文首先在 UMTS(universal mobile telecommunications system)和 WLAN 的异构网络中建立满足用户最小速率需求和 UMTS 与 WLAN 不同吞吐率约束时最大化异构网效用的优化问题.在考虑 WLAN 的吞吐率约束时,文献[1-3]将其视为定值,而文献[5-6]考虑的是所有用户具有相同的信道情况下的吞吐率约束,可通过二分查找法求解最优解.考虑到 WLAN 中性能异常情况下的吞吐率约束,由于用户信道的差异性,不同用户的传输时

间和碰撞概率不同,无法用二分查找法求解.本文利用二项分布和泊松分布的近似以及 WLAN 中用户的传输概率和碰撞概率的关系得到吞吐率的近似解;然后将问题中网络选择指示变量松弛至整数区间,从而将原问题松弛转换为凸问题;最后提出一种分布式的算法,实现网络间最优资源分配.仿真结果表明,本文提出的算法通过将低速率用户接入蜂窝网,高速率用户接入 WLAN,有效地解决 WLAN 中的性能异常现象,提升了网络的性能,提高了 AP 的利用率.

1 系统模型和问题描述

系统模型如图 1 所示.由 UMTS 系统的基站(base station, BS)和 WLAN AP 组成异构网络,用户上行通过 BS 以及 AP 通信.系统中 BS 的集合为 N_u ,每个 BS n 的用户集合为 K_{n_u} ;AP 的集合为 N_w ,每个 AP n 中用户的集合为 K_{n_w} .系统中用户集合为 M ,网络集合为 N .

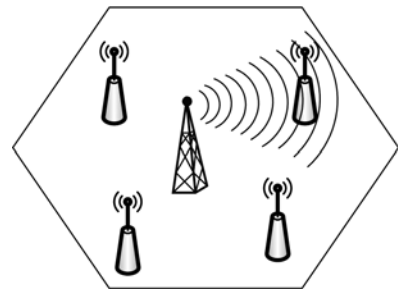


图 1 系统模型

Fig. 1 System model

UMTS 网络上行通信基站端的接收信干噪比为

$$\phi_k = \frac{W}{r_k} \frac{g_k p_k}{\sum_{j=1, j \neq k}^{K_{n_u}} x_j g_j p_j + I_n + \eta} \quad (1)$$

式中, W 是码片速率, r_k 是用户 k 的速率, W/r_k 表示扩频增益; g_k 是用户到基站的信道增益, I_n 是小区间干扰, η 是噪声; x_j 是传输状态的指示变量,若其等于 1 表示用户 j 处于传输状态(概率为 β),等于 0 则表示用户 j 不传输(概率为 $1-\beta$).

假设 UMTS 网络对上行用户功率控制是理想的.设小区内干扰和小区间干扰比为 ϵ .根据式(1),移项变换,并对 BS n_u 内所有用户求和得到

$$\sum_{k \in K_{n_u}} r_k \phi_k \left[\alpha \sum_{j=1}^{K_{n_u}} g_j p_j + \eta \right] = \sum_{k \in K_{n_u}} [W + \alpha r_k \phi_k] g_k p_k \quad (2)$$

式中, $\alpha = (1 + \epsilon)\beta$.根据文献[11],UMTS 网络中上

行吞吐率约束可简化为

$$\sum_{k \in K_{n_u}} r_k \phi_k \leq \frac{W}{\alpha}, \forall n_u \in N_u \quad (3)$$

设在 WLAN 中, 每一个时隙, 用户的传输概率为 p_{tr} 、碰撞概率为 p_{col} . p_{tr} 和 p_{col} 之间满足:

$$p_{tr} = G(p_{col}) = \frac{1 + p_{col} + p_{col}^2 + \dots + p_{col}^K}{b_0 + p_{col} b_1 + \dots + p_{col}^k b_k + \dots + p_{col}^K b_K} \quad (4)$$

式中, b_k 是第 k 次碰撞时竞争窗口的长度; 最大的尝试次数为 K ; m 表示超过此值后竞争窗口长度不加倍, 即 $b_k = b_m, (k > m)$. 式(4)的分子表示总的尝试传输次数, 分母表示竞争回退的总时隙, 二者之商表示单位时隙内的尝试次数, 即传输概率.

当 WLAN n_w 中用户数目为 $n = \sum_{k \in M} x_{kn_w}$ 时, 系统的吞吐率 ρ_{n_w} 为^[12]

$$\rho_{n_w} = \frac{np_{tr}(1 - p_{tr})^{n-1}L}{\{1 + [\sum_{i=1}^n p_{tr}(1 - p_{tr})^{n-1}(\frac{L}{C_i} + T_o)] + (1 - (1 - p_{tr})^n - np_{tr}(1 - p_{tr})^{n-1})T_c\}} \quad (5)$$

即总的传输比特数与总的传输时间的比值. 总的传输比特数是有效载荷长度 (L) 与成功传输概率之积; 总的传输时间包括三部分: 空闲时间、成功传输时间及碰撞时间. 其中, $x_{kn_w} \in \{0, 1\}$ 表示 WLAN 中用户 k 是否选择网络 n_w 的指示变量. C_i 表示用户通信时的速率, 用户可使用不同的速率传输数据. L 表示有效载荷长度, T_o 表示传输开销 (包括检测信道等), T_c 为碰撞时间.

采用如下效用函数^[1,13]

$$U_{kn}(r_{kn}) = \text{alg}(1 + b \cdot r_{kn}) - p_n r_{kn} \quad (6)$$

式中, U_{kn} 是用户 k 在网络 n 中得到资源 r_{kn} 时的效用, a, b 是控制效用函数的形状的参数, p_n 表示用户从网络 n 得到 r_{kn} 资源时的代价. WLAN 和蜂窝混合网络中上行资源分配问题 P1 如下:

$$P1: \max_{r_{kn}, x_{kn}} \sum_n \sum_k U_{kn} \quad (7a)$$

$$\text{s. t. } r_{k, \min} \leq \sum_n r_{kn}, n \in N, k \in M \quad (7b)$$

$$\sum_{k \in K_{n_u}} r_{kn_u} \phi_{k_{n_u}} \leq \frac{W}{\alpha}, \forall n_u \in N_u \quad (7c)$$

$$\sum_{k \in K_{n_w}} r_{kn_w} \leq \rho_{n_w}, \forall n_w \in N_w \quad (7d)$$

$$x_{kn_w} \in \{0, 1\}, \forall n_w \in N_w, \forall k \in K_{N_w} \quad (7e)$$

式中, (7b) 是用户的最小速率需求保证, 即用户 k 从

多个网络得到的速率不低于最小速率 ($r_{k, \min}$) 约束; (7c), (7d) 分别表示 UMTS 网络和 WLAN 的吞吐率约束; (7d) 中 WLAN 的吞吐率 ρ_{n_w} 是网络中的用户数和用户速率的函数, 并且它关于用户数和用户速率是非凸的函数.

2 问题求解

优化问题 P1 中 WLAN 吞吐率约束是非凸的约束, 无法直接使用凸优化的方法求解其最优解. 首先利用二项分布和泊松分布的近似, 消除吞吐率表达式中概率的幂次项. 再根据 WLAN 中用户数和碰撞概率之间的关系, 将吞吐率约束转换为一个线性分数约束. 利用文献[14]中线性分数约束和线性约束的转化以及将整型变量松弛至连续区间, 将原问题转换为标准的凸优化问题.

二项分布和泊松分布之间的近似:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (1 - p)^{-1} p^{(-np)} = e^{-np} \quad (8)$$

并且网络中的用户数与传输概率的乘积, 碰撞概率的极限存在如下关系^[12]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} np_{tr} = \ln \left[\frac{b_{\text{incl}}}{b_{\text{incl}} - 1} \right], \lim_{n \rightarrow \infty} p_{col} = \frac{1}{b_{\text{incl}}} \quad (9)$$

式中, b_{incl} 表示竞争窗口的指数回退因子. 根据式(8)和(9), WLAN 中吞吐率 ρ_{n_w} 为

$$\rho_{n_w} = \frac{\sum_{k \in K_{n_w}} x_{kn_w} G \left(\frac{1}{b_{\text{incl}}} \right) \ln \left[\frac{b_{\text{incl}}}{b_{\text{incl}} - 1} \right] L}{1 + \left[\sum_{k \in K_{n_w}} x_{kn_w} G \left(\frac{1}{b_{\text{incl}}} \right) \frac{b_{\text{incl}} - 1}{b_{\text{incl}}} \left[\frac{L}{C_{kn_w}} + T_o \right] \right] + \left[1 - \frac{b_{\text{incl}} - 1}{b_{\text{incl}}} - \left(\frac{b_{\text{incl}} - 1}{b_{\text{incl}}} \right) \ln \left[\frac{b_{\text{incl}}}{b_{\text{incl}} - 1} \right] \right] T_c} = \frac{\sum_{k \in K_{n_w}} x_{kn_w} A_{kn_w}}{1 + \left[\sum_{k \in K_{n_w}} x_{kn_w} B_{kn_w} \right] + C_{n_w}} = \frac{\mathbf{A}_{n_w}^T \mathbf{X}_{n_w}}{1 + \mathbf{B}_{n_w}^T \mathbf{X}_{n_w} + C_{n_w}} \quad (10)$$

式中, $\mathbf{A}_{n_w}, \mathbf{B}_{n_w}, \mathbf{X}_{n_w}$ 为矢量形式的 $A_{kn_w}, B_{kn_w}, x_{kn_w}$.
 $A_{kn_w}, B_{kn_w}, C_{n_w}$ 分别为

$$\begin{aligned} A_{kn_w} &= G\left[\frac{1}{b_{\text{ind}}}\right] \ln\left[\frac{b_{\text{ind}}}{b_{\text{ind}}-1}\right] L; \\ B_{kn_w} &= G\left[\frac{1}{b_{\text{ind}}}\right] \frac{b_{\text{ind}}-1}{b_{\text{ind}}}\left[\frac{L}{C_{n_w}} + T_o\right]; \\ C_{n_w} &= \left[1 - \frac{b_{\text{ind}}-1}{b_{\text{ind}}} - \left[\frac{b_{\text{ind}}-1}{b_{\text{ind}}}\right] \ln\left[\frac{b_{\text{ind}}}{b_{\text{ind}}-1}\right]\right] T_c. \end{aligned}$$

令 $\mathbf{Y}_{n_w} = \mathbf{X}_{n_w} / (\mathbf{B}_{n_w}^T \mathbf{X}_{n_w} + C_{n_w}) = \mathbf{X}_{n_w} * t_{n_w}$. 其中,
 $t_{n_w} = 1 / (\mathbf{B}_{n_w}^T \mathbf{X}_{n_w} + C_{n_w})$, $y_{kn_w} = x_{kn_w} * t_{n_w}$, \mathbf{Y}_{n_w} 是 y_{kn_w}
 组成的矢量. 然后将分数约束转化为线性约束^[13],
 优化问题 P1 转换为 P2:

$$\left. \begin{aligned} \text{P2: } \max \quad & \sum_n \sum_k U_{kn} \\ \text{s. t. } \quad & r_{k, \min} \leq \sum_n r_{kn}, n \in N, k \in M \\ & \sum_{k \in K_{n_u}} r_{kn_u} \phi_{kn_u} \leq \frac{W}{\alpha}, \forall n_u \in N_u \\ & \sum_{k \in K_{n_w}} r_{kn_w} \leq \mathbf{A}_{n_w}^T \mathbf{Y}_{n_w}, \mathbf{B}_{n_w}^T \mathbf{Y}_{n_w} + C_{n_w} t_{n_w} = 1 \\ & 0 \leq y_{kn_w} \leq t_{n_w}, \forall n_w \in N_w, \forall k \in K_{N_w} \end{aligned} \right\} (11)$$

根据文献[15], 将优化变量 y_{kn_w} 松弛至 $[0, t_{n_w}]$ 后,
 优化问题 P2 是凸问题, 可通过对偶分解求解最优
 值. 其拉格朗日函数为

$$\begin{aligned} L(r_{kn}, y_{kn}, \lambda_k, \mu_n, \eta_n, \xi_{kn}, \gamma_n) = & \\ & \sum_{n \in N} \sum_{k \in K_n} \text{alg}(1 + br_{kn}) - p_n r_{kn} - \\ & \sum_{k \in K} \lambda_k (r_{k, \min} - \sum_n r_{kn}) - \\ & \sum_{n_u \in N_u} \mu_{n_u} \left[\sum_{k \in K_{n_u}} r_{kn_u} \phi_{kn_u} - \frac{W}{\alpha} \right] - \\ & \sum_{n_w \in N_w} \eta_{n_w} \left(\sum_{k \in K_{n_w}} r_{kn_w} - \mathbf{A}_{n_w}^T \mathbf{Y}_{n_w} \right) - \\ & \sum_{n_w \in N_w} \gamma_{n_w} (\mathbf{B}_{n_w}^T \mathbf{Y}_{n_w} + C_{n_w} t_{n_w} - 1) - \\ & \sum_{n_w \in N_w} \sum_{k \in K_{n_w}} \xi_{kn_w} (y_{kn_w} - t_{n_w}) \end{aligned} \quad (12)$$

(I) UMTS 网络中的对偶函数为

$$\begin{aligned} h_u = \max_{r_{kn_u}} \sum_{k \in K_{n_u}} \text{alg}(1 + br_{kn_u}) - p_{n_u} r_{kn_u} + \\ \sum_{k \in K_{n_u}} \lambda_k r_{kn_u} - \mu_{n_u} \left[\sum_{k \in K_{n_u}} r_{kn_u} \phi_{kn_u} - \frac{W}{\alpha} \right] \end{aligned} \quad (13)$$

(II) WLAN 中对偶函数为

$$h_w = \max_{r_{kn_w}, t_{n_w}, y_{kn_w}} \sum_{k \in K_{n_w}} \text{alg}(1 + br_{kn_w}) - p_{n_w} r_{kn_w} +$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in K_{n_u}} \lambda_k r_{kn_u} - \eta_{n_w} \left(\sum_{k \in K_{n_w}} r_{kn_w} - \mathbf{A}_{n_w}^T \mathbf{Y}_{n_w} \right) - \\ & - \gamma_{n_w} (\mathbf{B}_{n_w}^T \mathbf{Y}_{n_w} + C_{n_w} t_{n_w} - 1) - \\ & \sum_{k \in K_{n_w}} \xi_{kn_w} (y_{kn_w} - t_{n_w}) \end{aligned} \quad (14)$$

根据式(13), (14), 利用梯度下降法求得 r_{kn}, y_{kn_w} 及
 t_{n_w} 值. 此时 P2 的对偶问题为

$$\begin{aligned} \min_{(\lambda_k, \mu_n, \eta_n, \gamma_n, \xi_{kn}, \gamma_n) \geq 0} g, \\ g = - \sum_{k \in K} \lambda_k (r_{k, \min} - \sum_n r_{kn}) - \\ \sum_{n_u \in N_u} \mu_{n_u} \left[\sum_{k \in K_{n_u}} r_{kn_u} \phi_{kn_u} - \frac{W}{\alpha} \right] - \\ \sum_{n_w \in N_w} \eta_{n_w} \left(\sum_{k \in K_{n_w}} r_{kn_w} - \mathbf{A}_{n_w}^T \mathbf{Y}_{n_w} \right) - \\ \sum_{n_w \in N_w} \gamma_{n_w} (\mathbf{B}_{n_w}^T \mathbf{Y}_{n_w} + C_{n_w} t_{n_w} - 1) - \\ \sum_{n_w \in N_w} \sum_{k \in K_{n_w}} \xi_{kn_w} (y_{kn_w} - t_{n_w}) \end{aligned} \quad (15)$$

使用梯度下降法即可求解对偶变量 $\lambda_k, \mu_n, \eta_n,$
 γ_n, ξ_{kn_w} .

综合式(13)~(15), 首先用户端将计算获得的
 r_{kn} 和 y_{kn}, t_{n_w} 反馈基站; 然后基站根据反馈的值更新
 变量 $\lambda_k, \mu_n, \eta_n, \gamma_n, \xi_{kn_w}$, 直至收敛. 算法流程如下:

Step 1 初始化变量 $\lambda_k, \mu_n, \eta_n, \gamma_n, \xi_{kn_w}, r_{kn}, y_{kn_w}, t_{n_w}$.

Step 2 根据式(13), (14)更新变量 $r_{kn}, y_{kn_w},$
 t_{n_w} . 若收敛则跳转至 Step 4; 否则将结果反馈给
 网络.

Step 3 根据式(15), 利用梯度更新方法更新
 对偶变量 $\lambda_k, \mu_n, \eta_n, \gamma_n, \xi_{kn_w}$ 并广播, 回到 Step 2.

Step 4 对得到的选择变量 $x_{kn_w} = y_{kn_w} / t_{n_w}$ 进行
 规整. $n_w^* = \arg\max_{n_w \in N_w} x_{kn_w}, x_{kn_w}^* = 1$.

3 仿真分析

异构网络中包含 1 个 BS 和 4 个 AP. IEEE
 802.11b 协议支持的用户速率只有 4 个等级,
 1 Mbps, 2 Mbps, 5.5 Mbps 和 11 Mbps, 如表 1 所
 示. AP 中用户传输开销 T_o 为 17 个时隙, 碰撞开销
 为 52 个时隙. 在 BS 中, 用户的路径损耗为 $L =$
 $128.1 + 37.6 \lg(r)$. r 是用户到 BS 的距离, 信道模
 型为瑞利信道. 阴影衰落是满足均值为 0, 方差为 8
 dB 的对数正态分布. 在 AP 中, 设上行通信基站端
 的信号功率为 S_{RX} , 则 $S_{RX} = S_{TX} - 20 \lg(4\pi f/c) -$
 $10 N \lg r$. 其中, S_{TX} 为 AP 发送功率, S_{RX} 和 S_{TX} 的单

位均为 dB. f/Hz 是载波频率, $c/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ 是光速, N 是衰落因子 (取 3), r 表示用户与 AP 之间的距离.

表 1 WLAN 中速率与 SNR 映射表

Tab. 1 Map between SNR and rate in WLAN

SNR/dB	-2.92	1.59	5.98	6.99
速率/Mbps	1	2	5.5	11

文中主要比较三种方案:

(I) Proposed. 所提上行网络选择和资源分配算法;

(II) WLAN-first. 文献[5]提出的 WLAN 优先策略: 只要用户周围存在 WLAN 可供接入, 用户就尝试接入 WLAN;

(III) RSS-first. 接收信号质量 (received signal strength, RSS) 优先的网络选择方案.

图 2 表示在三种不同的策略下, 每个 AP_{*i*} ($i=1, 2, 3, 4$) 吞吐量. 由于 BS 的功率 (43 dBm) 和 AP 的功率 (27 dBm) 相差 16 dB, RSS-first 策略使得更多用户接入 BS, AP 的利用率低, 吞吐量较低 (不到 2 Mbps). WLAN-first 策略可以将更多的负载转移至 AP, 但是其性能仍受 WLAN 中不同速率用户时的吞吐量异常的限制. 本文所提算法有两个优点: 考虑了 WLAN 中用户的信道差异性导致的性能异常对吞吐量的影响, 使得在满足用户最小速率需求的前提下, 系统的吞吐量较 WLAN-first 策略具有明显改善; 每个 AP 都具有较高的吞吐量 (WLAN-first 的 2 倍左右, 超过 RSS-first 的 3 倍), AP 的利用率较高.

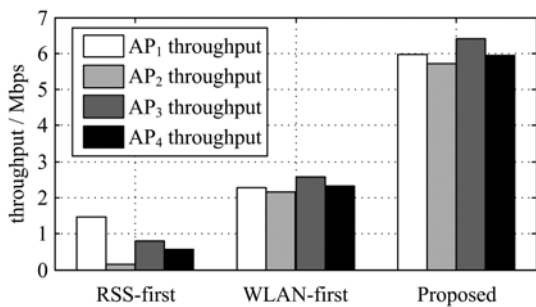


图 2 不同网络选择策略时每个 AP 的吞吐量柱状图
Fig. 2 AP's throughput under different strategies

图 3, 图 4 表示随着用户数增加, 系统吞吐量的变化情况. 其中, 图 3 仿真中, 用户在 BS 覆盖范围内随机分布; 图 4 仿真中, 用户在 AP 附近热点分布. 当 AP 和用户在 BS 的范围内随机分布时, 本文

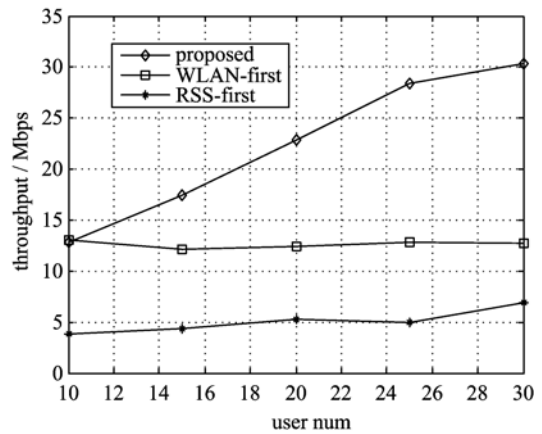


图 3 用户随机分布时的系统吞吐量曲线

Fig. 3 System throughput with uniformly distributed users

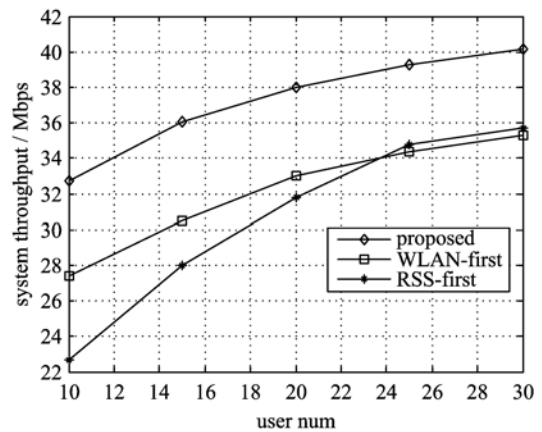


图 4 用户热点分布时系统总吞吐量曲线

Fig. 4 System throughput with hot-spot users

所提方案的增益更明显. 从图中可以得出, 由于系统中存在多种速率的用户以及用户之间的传输碰撞, 当用户数增加到一定数目时, 所有算法的吞吐量都不再增加. WLAN-first 策略随着用户数增加, 由于没有合理的网络选择, 传输速率为 11 Mbps 的用户只有 29% (见表 2), 其吞吐量比本文所提算法低 20%; 本文所提算法可以很好地满足用户的需求, 其原因在于该算法将高速率用户接入 AP, AP 中接入的高速率用户 (传输速率为 11 Mbps 的用户) 占 65%, 减轻了不同用户与 AP 之间信道差异性导致的吞吐量异常对 AP 性能的影响. RSS-first 算法性能较差, 是因为其没有充分利用 AP 的资源. 表 2 中, 速率为 5.5 Mbps 的用户在不同方案中所占比例均较少, 因为速率为 5.5 Mbps 的用户只在信噪比区间 5.98~6.99 dB, 此区间相对其他速率对应的信噪比区间较短, 用户数本身就较少.

表 2 不同策略下 AP 中的速率分配

Tab. 2 Rate allocation in each AP under different strategies

parameter	1 Mbps	2 Mbps	5.5 Mbps	11 Mbps
WLAN-first	26.25%	24.92%	3.99%	29.24%
Proposed	6.31%	24.25%	3.99%	65.12%

4 结论

蜂窝网络覆盖范围大,可提供接入保证;WLAN 可实现热点覆盖,提供高速率支持.考虑到二者资源分配方式不一样,本文通过考虑 WLAN 的实际碰撞和性能异常现象对系统吞吐率的影响,建立了 WLAN 和蜂窝网络协同工作的资源分配问题.由于 WLAN 中的吞吐率表达式的非凸性,无法直接求解优化问题,因此本文利用二项分布和泊松分布的近似以及 WLAN 系统中碰撞概率与用户数的关系,将原问题中 WLAN 资源总量约束转换为分数约束;再通过转化,将分数约束转换为线性约束,并提出一种分布式算法求解网络最优的资源分配方案.在异构网络中多个网络的重叠覆盖区域用户可接入多个网络,利用此特性将低速率用户接入蜂窝网络,解决 WLAN 中的性能异常导致的性能损失.仿真结果表明,本文所提算法在系统性能方面具有明显的增益,提高了 WLAN 的利用率.

参考文献(References)

- [1] Ismail M, Zhuang W H. A distributed multi-service resource allocation algorithm in heterogeneous wireless access medium[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2012, 30(2): 425-432.
- [2] Ismail M, Zhuang W H. Decentralized radio resource allocation for single-network and multi-homing services in cooperative heterogeneous wireless access medium [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012, 11(11): 4 085-4 095.
- [3] Xue P, Gong P, Park J H, et al. Radio resource management with proportional rate constraint in the heterogeneous networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012, 11(3): 1 066-1 075.
- [4] Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802. 11 distributed coordination function[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547.
- [5] Song W, Jiang H, Zhuang W H. Performance analysis of the WLAN-first scheme in cellular/WLAN interworking [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(5): 1 932-1 952.
- [6] Song W, Zhuang W H. Multi-service load sharing for resource management in the cellular/WLAN integrated network [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 2(8): 725-735.
- [7] Zhang Chunpeng, Hu Yuchong, Xu Yinlong, et al. A contention window control algorithm in 802. 11 multi-rate WLANs[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2010, 42(2): 184-190.
张纯鹏,胡燊,许胤龙,等. 802. 11 多速率无线局域网中的竞争窗口控制算法[J]. 中国科学技术大学学报, 2010, 40(2): 184-190.
- [8] Heusse M, Rousseau F, Berger-Sabbatel G, et al. Performance anomaly of 802. 11b[C]// Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. San Francisco, USA: IEEE Societies, 2003, 2: 836-843.
- [9] Babu A V, Jacob L. Performance analysis of IEEE 802. 11 multirate WLANs: Time based fairness vs throughput based fairness [C]// IEEE International Conference on Wireless, Communications, Networking and Mobile Computing. Wuhan, China: IEEE Press, 2005, 1: 203-208.
- [10] Gong H Z, Nahm K, Kim J W. Distributed fair access point selection for multi-rate IEEE 802. 11 WLANs [C]// 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference. Las Vegas, USA: IEEE Press, 2008: 528-532.
- [11] Pei X B, Jiang T, Qu D M, et al. Radio-resource management and access-control mechanism based on a novel economic model in heterogeneous wireless networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(6): 3 047-3 056.
- [12] Kumar A, Altman E, Miorandi D, et al. New insights from a fixed-point analysis of single cell IEEE 802. 11 WLANs [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2007, 15(3): 588-601.
- [13] Luo C Q, Ji H, Li Y. Utility-based multi-service bandwidth allocation in the 4G heterogeneous wireless access networks[C]// IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Budapest, Hungary: IEEE Press, 2009: 1-5.
- [14] Charnes A, Cooper W W. Programming with Linear Fractional Functionals [J]. Naval Research logistics quarterly, 2006, 9(3-4): 181-186.
- [15] Boyd S, Vandenberghe L. Convex Optimization [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2004.