



基于功率控制和信道分配的网络优化算法

刘悦¹, 郭晓磊¹, 张迅²

(1. 开封大学信息工程学院 开封 475004; 2. 武汉大学电子信息学院 武汉 430079)

摘要: WLAN 已经在各种场所进行了大规模的布设, 但是用户网络质量感知较差, 甚至出现掉线、不能接入网络等问题。针对这种情况, 设计了一种基于功率控制和信道分配的网络优化算法, 该方案采用功率控制及信道分配的方法对特定范围内的无线局域网进行优化, 最大化无线局域网的有效带宽, 同时保证网络负载的均衡。仿真实验结果表明, 提出的功率控制及信道分配的网络优化方案提高了网络的性能。

关键词: WLAN; 网络优化; 负载均衡; 功率调整; 信道分配; 遗传算法

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015260

Network Optimization Algorithm Based on Power Control and Channel Assignment

Liu Yue¹, Guo Xiaolei¹, Zhang Xun²

(1. College of Information Engineering, Kaifeng University, Kaifeng 475004, China;

2. School of Electronics and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: WLAN has been massively deployed in various places. However, the poor user perception of network quality, or even dropping line, unable to connect to the network and other issues. For this case, a network optimization algorithm based on power control and channel assignment was proposed. The algorithm uses the method of power control and channel assignment to optimize the WLAN in a specific range, maximize the effective bandwidth of WLAN, and ensure the balance of network load at the same time. Simulation experiments show that the network optimization algorithm of the power control and channel assignment has achieved the aim of improving network performance.

Key words: WLAN, network optimization, load balancing, power adjustment, channel allocation, genetic algorithm

1 引言

WLAN 由于其移动性、灵活性、低成本及易布设等优势, 在世界各地被大量布设^[1]。但是高密度的无线局域网也暴露出了各种问题, 如网络性能下降、资源分配不均匀, 网

络优化方法的研究一直是无线局域网研究领域的一个热点^[2]。目前的优化方法主要有 3 种手段: 无线信号 AP (access point, 接入点) 的工作信道分配; AP 的发射功率控制; 负载均衡。本文综合考虑 3 种手段的优点, 对算法进行了重新设计, 提出了一种基于功率调整和信道分配的综

收稿日期: 2015-04-09; 修回日期: 2015-10-10

论文引用格式: 刘悦, 郭晓磊, 张迅. 基于功率控制和信道分配的网络优化算法. 电信科学, 2015260

Liu Y, Guo X L, Zhang X. Network optimization algorithm based on power control and channel assignment. Telecommunications Science, 2015260

合优化方案,并进行了仿真实验,验证了本文提出的方法可以大幅改善网络性能、负载的均衡性和网络资源分配的有效性。

本文的研究目的在于:在不修改现有 IEEE 802.11 协议的情况下,采用功率控制及信道分配的方法对特定范围内的无线局域网进行优化,尽量最大化无线局域网的有效带宽,同时保证网络的负载均衡。功率调整的方法不仅可以改变每个链路传输的速率以提高频带资源的利用率,还会改变用户关联关系及网络结构,这方面的改变可以被有效地利用来提高网络的带宽和改善网络负载不均衡的情况。同时,工作信道的选择可以避免个别信道的负载过大导致的网络性能下降以及信道资源浪费。信道选择方法不仅可以改善网络的性能和公平性,还可以更加有效地为网络资源的分配提供建议。本文同时采用以上两种方法对无线局域网进行优化,提供一套网络优化方法,为网络性能的提高、用户公平性保证以及网络资源分配提供解决方案。

目前在功率调整和信道选择方面的主要工作如下。

参考文献[3]提出了一种功率调整的方法,采用跨层设计的方法调整 AP 的发射功率及载波感知门限,为繁忙的 AP 分配更大的发射功率,提高网络整体的吞吐量。这种调整方法具有一定的局限性,因为一般来说 AP 都有自己的发射功率上限。

参考文献[4]提出了一种信道选择的方法,采用“最空闲信道搜索”分配 AP 的信道,AP 的信道选择是筛选出可用信道中最空闲的信道,并选用该信道。这种方法虽然在一定程度上提高了信道的利用率,但是却不能降低由信道带来的干扰。

参考文献[5]提出了一种改变用户关联关系的方法,通过修改 STA(station,工作站)与 AP 的驱动,让 STA 与 AP 间交换各自的负载信息,并通过修改后的驱动使得 STA 关联到空闲 AP。这种方法需要修改硬件的驱动信息,比较复杂,限制了其应用范围。

2 背景知识

WLAN 主要包含 STA^[6]及 AP 等网络组件,其中 AP 负责网络所有的通信,包括同一服务区域中所有 STA 之间的通信。WLAN 中,STA 必须先与 AP 建立关联才能取得网络服务。对 STA 而言,关联必须是唯一的,即每个 STA 在某个时间段内只能与一个 AP 相连。一般情况下,STA 选择信号强度最高的 AP 进行关联,即通常与距离较近

的 AP 进行关联。然而,AP 的发射功率是固定的,而 STA 的分布并不均匀,从而导致 STA 密集地带的 AP 关联的 STA 数量较多,相反,其他 AP 关联的 STA 数量较少甚至不存在。这种关联的不均衡性最终会导致网络资源的浪费、网络有效带宽的下降。WLAN 中主要的物理层协议为 IEEE 802.11a/b/g/n。其中工作在 2.4 GHz 频段的 IEEE 802.11b/g/n 协议拥有 3 个完全正交的信道(1、6、11),而工作在 5 GHz 频段的 IEEE 802.11a 协议,在美国所使用的标准和 30 MHz 的防护频带的情况下,拥有 12 个正交信道。STA 与 AP 之间的传输速率由接收帧的信号噪声干扰比(SINR)决定,不同的传输速率与不同 SINR 的关系^[7]见表 1。

表 1 传输速率与 SINR 的关系

SINR/dB	$v/(\text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1})$
6~7.8	6
7.8~9	9
9~10.8	12
10.8~17	18
17~18.8	24
18.8~24	36
24~24.6	48
24.6	54

3 优化方案阐述

3.1 网络模型

假设高密度的无线局域网中含有 N 个 AP 和 M 个 STA。如果整个区域被这 N 个 AP 完全覆盖^[8],即没有盲区存在,区域中的所有 STA 都关联一个 AP。STA 的关联采用目前最基本的基于信号强度的方式,即 STA 会选择信号强度最大的 AP 进行连接。如果用 γ_{ij} 表示 STA _{i} 连接到 AP _{j} 时的 SINR,则:

$$\gamma_{ij} = \frac{g_{ij}P_j}{\sum_{k \in A_i \cap k \neq j} c_{jk}g_{ik}P_k + \sum_{m \in S_i \cap m \neq i} c_{im}g_{im}P_m + N_0} \quad (1)$$

其中, g_{ij} 为 AP _{j} 到 STA _{i} 的信号传播增益, p_j 为 AP _{j} 的发射功率, N_0 为高斯白噪声, A_i 为能量覆盖到 STA _{i} 的 AP 的集合, s_i 为能量覆盖到 STA _{i} 的 STA 的集合。 c_{jk} 为频率选择函数,当 AP _{j} (或 STA _{j})与 AP _{k} (或 STA _{k})为同一信道时, $c_{jk}=1$,否则 $c_{jk}=0$ 。可以从式(1)看出,同时考虑了与 STA _{i} 处于同一频段的 AP 与 STA 的能量干扰。

根据表 1,IEEE 802.11 网络中存在 8 个传输速率的



级别。每个传输速率的级别由一系列的 SINR 决定。

$$v_{ij} = f(\gamma_{ij}) \quad (2)$$

其中, v_{ij} 表示 STA_i 与 AP_j 之间的传输速率。如果 b_i 表示分配给 STA_i 的有效带宽, 则:

$$b_i = \sum_{j=1}^n \delta_{ij} t_{ij} v_{ij} \quad (3)$$

其中, δ_{ij} 表示关联函数, 当 STA_i 与 AP_j 关联时, $\delta_{ij}=1$, 否则 $\delta_{ij}=0$ 。 t_{ij} 表示在一个时间单元内 STA_i 与 AP_j 之间的有效传输时间, 则:

$$t_{ij} = \frac{w \delta_{ij}}{\sum_{k=1}^m w_k \delta_{ik}} \quad (4)$$

其中, w_i 代表 STA_i 的权重系数。整个网络的总体效用函数为:

$$U = \sum_{i=1}^m w_i \ln b_i \quad (5)$$

3.2 功率调整

功率调整会引起两个方面的改变: 一个是会引起网络的负载均衡状况的变化^[9], 另一个方面是可以引起整个网络状况的变化, 因此在调整的过程中要同时注意这两个方面。在实际的调整过程中首先调整 AP 的功率, 改善网络的负载情况, 然后在不使网络负载情况恶化的前提下, 再对 AP 的功率进一步调整, 改善整体网络状况。

3.2.1 网络负载均衡

在一个具体的网络中, STA 指整个网络中接入的用户。网络往往会存在负载不均衡的情况, 某些 AP 关联的用户较多, 其他 AP 关联的用户较少, 这将会导致整体网络状况恶化。因此网络的负载均衡对整个网络状况起着重要的作用。

首先构造待调整的 AP 信息矩阵 M , 主要包括 AP 的坐标和功率(AP 的功率初始化到功率的上限), 并设定一个已调整过功率的 AP 信息矩阵 N , 矩阵 N 初始时空; 另外还需要设定好 AP 功率调整的下限, 这个过程步骤如下。

(1) 如果矩阵 M 和 N 中 AP 的数目不相等, 说明还有待调整的 AP, 则继续下面的步骤, 否则计算此时的关联用户数的方差 DX , 以方便下一个步骤使用, 退出循环。

(2) 计算用户的归属关系, 根据其计算 AP 关联用户数的方差 DX_1 。

(3) 从未调整过功率的 AP 信息矩阵中(矩阵 M 除去

矩阵 N 为未调整的矩阵) 选择关联用户数最多的 AP 为目标 AP, 如果其功率未达到设置的功率下限, 则减小矩阵 M 中目标 AP 的功率, 并计算当前的关联用户数的方差 DX_2 ; 否则把目标 AP 存入矩阵 N , 再回到步骤(1)。

(4) 比较步骤 DX_1 和 DX_2 的大小, 如果 DX_2 的值不大于 DX_1 , 则保存功率的调整, 把目标 AP 存入矩阵 N , 再回到步骤(1); 否则矩阵 M 中目标 AP 功率恢复到未调整前的时刻, 并把目标 AP 信息存入矩阵 N , 然后返回步骤(1)。

3.2.2 最大化网络效用函数

引入 AP 效用^[10]的概念, 指关联在它上面的用户的加权带宽积, AP_j 的效用用 U_j^A 表示:

$$U_j^A = \prod_{i \in C_j} b_i^{w_i} \quad (6)$$

其中, C_j 表示与 AP_j 关联的用户集合。

重写网络的效用函数并且进行如下变换:

$$U = \sum_{i=1}^m w_i \ln b_i = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i \in C_j} w_i \ln b_i \right) = \sum_{j=1}^n \ln \prod_{i \in C_j} b_i^{w_i} = \sum_{j=1}^n \ln U_j^A \quad (7)$$

由均值定理可知, 几何平均数不大于算数平均数, 如下:

$$\sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n} \leq \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} \quad (8)$$

因此:

$$\begin{aligned} U &= \sum_{j=1}^n \ln U_j^A = n \sum_{j=1}^n \frac{1}{n} \ln U_j^A = n \sum_{j=1}^n \ln \sqrt[n]{U_j^A} \\ &\leq n \times \ln \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_j^A \end{aligned} \quad (9)$$

AP 的平均效用 $U^a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U_j^A$, 则式(9)可以化简为:

$$U = \sum_{j=1}^n \ln U_j^A \leq n \ln U^a \quad (10)$$

当每个 AP 的效用相等时, 式(10)取得最大值, 因此如果想最大化网络的效用, 只需要最大化 U^a , 且使每个 AP 的效用 U^a 接近即可。

算法开始时, 初始化阶段的 AP 信息矩阵 X 等于网络负载均衡完成后的矩阵 N , 设定一个已调整过功率的 AP 信息矩阵 Y , 初始值为空。具体实现过程如下。

(1) 如果 X 和 Y 两个矩阵中 AP 的数目不相等, 说明还有待调整的 AP, 则继续下面的步骤, 否则退出循环。

(2) 计算每个 AP 的效用及平均效用 U_i^a , 并且确定 AP 的归属关系。

(3)从待调整的 AP 信息矩阵(矩阵 X 除去矩阵 Y 为未调整的矩阵)中找出拥有最大网络效用的 AP 作为待调整的目标 AP,如果其功率未达到设置的下限,则调整矩阵 X 中 AP 的功率,计算当前关联用户数的方差 DX' ,同网络负载均衡过程中保留下来的 DX 进行比较,如果其不大于 DX' ,则进一步计算此时的平均效用 U_2^a ;否则,则把目标 AP 存入矩阵 Y ,并且回到步骤(1)。

(4)比较 U_1^a 和 U_2^a 的大小,如果 $U_2^a > U_1^a$,则保存功率的调整,并把目标 AP 存入矩阵 Y ,且回到步骤(1);否则矩阵 X 中目标 AP 功率恢复到未调整前的时刻,并把目标 AP 信息存入矩阵 Y ,然后返回步骤(1)。

3.3 信道分配

遗传算法^[11]是一种通过模拟自然进化过程进行最优解搜索的方法。本文设计的优化算法主要是通过最大化网络的效用函数达到提升网络性能的目的,而信道分配也会影响网络的效用,因此可以用遗传算法进行信道的分配^[12],

使整体网络的效用达到最大化。由式(5)可知 $U = \sum_{i=1}^m w_i \ln b_i$,

其中 w_i 是用户的权重,在本文的实验中假设各个用户的权重是一样的,都设为 1,如果要使式(5)达到最大化,只要使

$U = \sum_{i=1}^m b_i$ 达到最大化即可,因此这里可以确定其为目标函数。

在信道分配的遗传算法中创建一个个体数目为 10 的种群,每个个体的染色体由对应 AP 序号的 AP 信道组成。AP 信道经过编码(1 信道编码为 0,6 信道编码为 1,11 信道编码为 2)形成编码后的染色体,参与后续的遗传演变。特别地,原始信道分配会放在初始种群的一个个体中。算法流程如图 1 所示,具体实现过程如下:

(1)若迭代次数达到最大迭代限制,算法退出,否则继续;

(2)计算本代种群中每个个体的目标函数值,并根据其计算个体适应度;

(3)选择需要进行交叉的个体;

(4)选择个体的染色体重组;

(5)子代个体的基因突变;

(6)子代个体目标函数值的计算;

(7)根据子代、父代的个体染色体编码及其对应的目标函数值进行重新插入,并获取重插入的每个个体目标函数值;

(8)最优解保存;

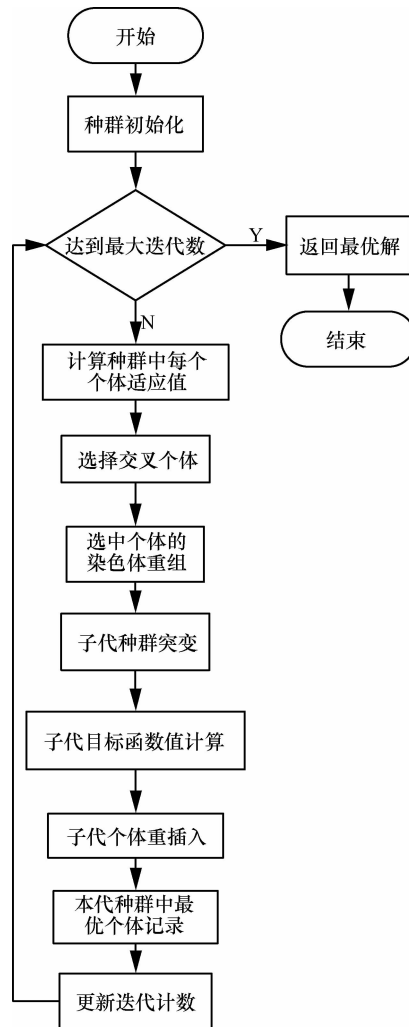


图 1 遗传算法流程

(9)迭代计数器加 1,返回步骤(1)。

4 仿真实验

本文通过对某地移动大楼二层进行测试,获得测试数据,进行了优化算法的对比验证。场景为办公场所,大小为 40 m×25 m,有 11 个待优化的目标 AP 和 30 个用户(上文中的工作点),AP 和用户的工作信道为 1、6 和 11 中的一个。分别用单一化的优化手段以及本文中的方法进行了优化,然后把优化数据用网络仿真软件 OPNET 进行了仿真。

首先用 OPNET 进行场景的建模,建模的时候可以选择办公场景,根据建筑物的长宽设置场景的长宽。根据 AP 和工作点的实际位置建模,如图 2 所示。

根据优化后的信息设置 AP 和工作点的信道、速率关联信息等。OPNET 的仿真时间设置为 0.5 h,仿真结果如图 3 和图 4 所示。

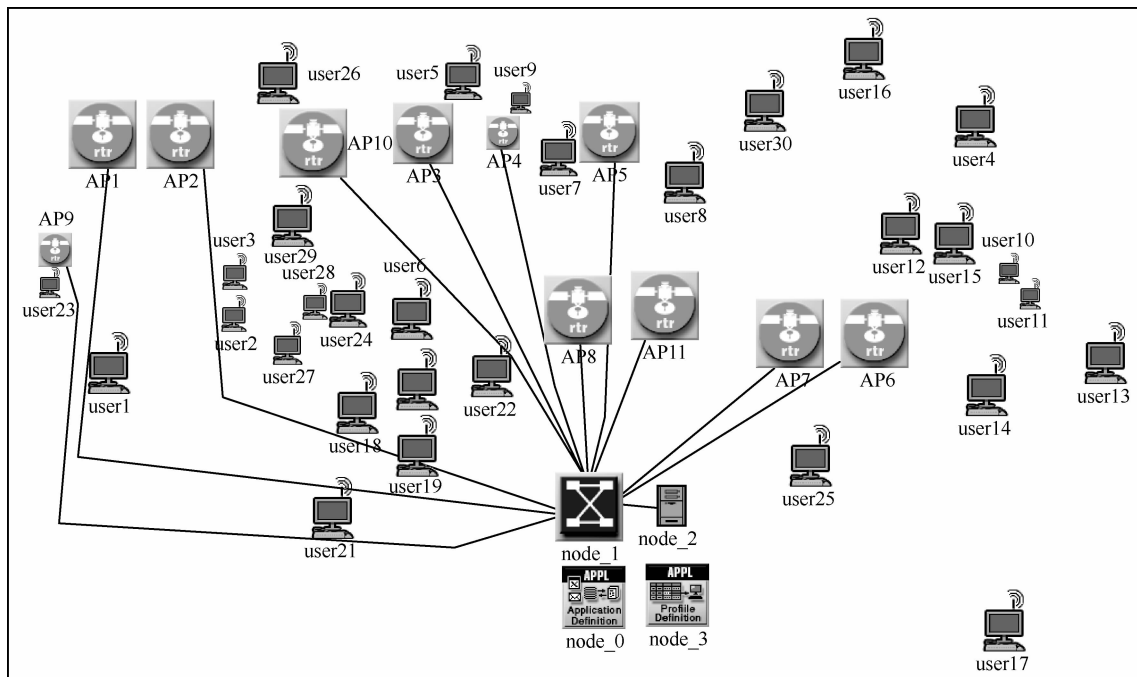


图2 网络仿真建模

只调整功率与未调整前以及多手段优化算法的对比结果如图3所示。

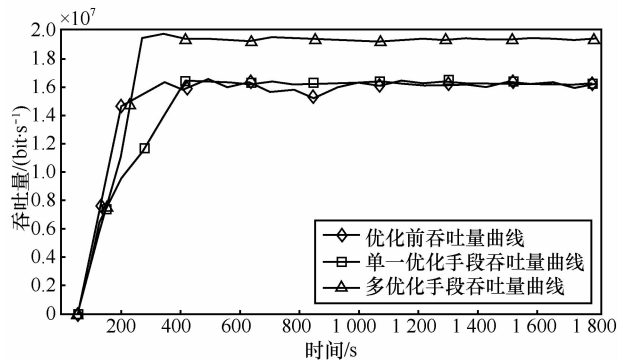


图3 只调整功率与多优化手段及未调整前的仿真结果对比

只调整信道与未调整前以及多手段优化算法的对比结果如图4所示。

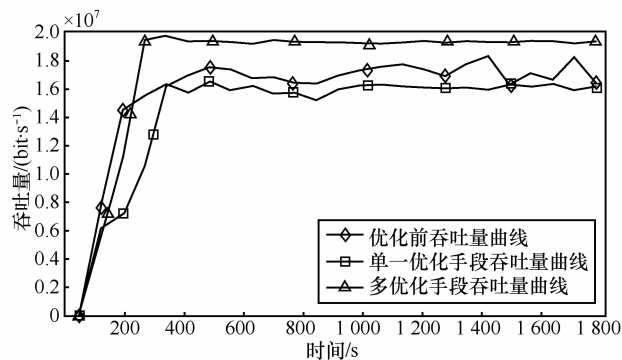


图4 只调整信道与多优化手段及未调整前的仿真结果对比

通过图3、图4的分析可以得出,单一化的优化手段一定程度上增大了网络的吞吐量,起到了改善网络性能的目的。当采用多优化手段的方法进行优化时,其吞吐量比单一手段的吞吐量均有明显改善,这是因为本文提出的优化算法考虑了影响网络性能的几个指标(即功率、负载均衡和信道),并且重新设计了各个指标的评价函数。AP功率的高低会影响网络的效用,从而会对网络性能产生一定的影响;AP负载不均衡也会极大地降低网络的性能;AP的信道分配出现问题,不仅会影响网络的效用,也会影响网络的干扰,这些都会影响网络的性能。

5 结束语

无线局域网在布置的过程中由于缺乏一定的指导,其布置过程可能存在很多问题,如功率过大或者过小、信道的分配不合理等,造成网络性能普遍下降。因此对无线网络进行优化是一个迫在眉睫的问题,对于布置AP的运营商来说所起的作用更为重要。以往的优化手段往往比较单一,虽然能起到一定的作用,但是并不能使网络性能达到最优。采用多优化的手段对AP的功率和信道进行调整,通过仿真结果的验证表明,相比单一化的优化手段能取得更好的结果。

参考文献

- 1 周慧峰,罗自强. 高校场景下的WLAN网络优化方案研究.

- 移动通信, 2013(6): 23~25
- Zhou H F, Luo Z Q. WLAN network optimization research programs university scenarios. Mobile Communications, 2013(6): 23~25
- 2 邵佩, 吴迎笑, 温熙华. 无线城市建设中 WLAN 热点的部署及优化. 电信技术, 2011(11): 33~34
Shao P, Wu Y X, Wen X H. Construction WLAN hotspot deployment and optimization of wireless city. Telecommunications Technology, 2011(11): 33~34
 - 3 Wang S, Liu M, Cheng X, *et al.* Coverage adjustment for load-balancing with an AP service availability guarantee in WLANs. Wireless Networks, 2014(20): 475~491
 - 4 Mishra A, Shrivastava V, Agarwal D, *et al.* Distributed channel management in uncoordinated wireless environments. Proceedings of ACM MobiCom, California, USA, 2009: 1~12
 - 5 Broustis I, Papagiannaki K. Measurement-driven guidelines for 802.11 WLAN design. IEEE/ACM Transactions, 2010, 18 (3): 722~735
 - 6 孙佑明. 无线局域网 WLAN 设计与实现. 计算机安全, 2012(7): 76~77
Sun Y M. Design and implementation of wireless local area network WLAN. Computer Security, 2012(7): 76~77
 - 7 The Institute of Electrical and Electronics Engine. High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band, 1999
 - 8 Zhai H, Chen X, Fang Y. How well can the IEEE 802.11 wireless LAN support quality of service. IEEE Transaction on Wireless Communications, 2005(6): 3084~3094
 - 9 丁晓乐, 李风华. 基于功率控制和位置信息的无线局域网动态负载均衡机制. 厦门大学学报, 2007(42): 150~152
Ding X L, Li F H. Dynamic load balancing mechanism in WLAN based on power control and location information. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2007(42): 150~152
 - 10 Kotz D, Essien K. Characterizing Usage of a Campus-wide Wireless Network, 2002
 - 11 曾瑛. 遗传算法在优化求解中的应用. 科技创业月刊, 2012(10): 193~194
Zeng Y. A summary for genetic algorithm and its application in optimization problems. Pioneering with Science & Technology Monthly, 2012(10): 193~194
 - 12 Mochaourab R, Jorswieck E A. Optimal beamforming in interference networks with perfect local channel information. Signal Processing, 2011(3): 1128~1140

[作者简介]



刘悦, 男, 开封大学信息工程学院讲师, 主要研究方向为模式识别、网络安全、多媒体信息处理、无线网络等。



郭晓磊, 女, 开封大学信息工程学院讲师, 主要研究方向为计算机网络、计算机应用技术。



张迅, 男, 武汉大学电子信息学院硕士生, 主要研究方向为无线局域网络的优化与规划等。