

基于用户需求的改进型频谱资源分配算法

孔小丽,周井泉

(南京邮电大学,江苏 南京 210003)

摘要:在无线通信中,对有限的频谱进行合理有效的分配是实现认知无线电技术的关键。针对认知用户需求的差异性以及用户需求得不到满足的特点,在图着色模型算法的研究基础上,提出了一种改进型频谱资源分配算法。该算法对用户需求 and 系统效益进行分析比较,选择需求大且效益高的用户进行分配。随着分配过程的进行,实时更新用户的需求以提高用户的满足度。仿真结果表明该算法能使分配的信道尽可能地满足用户的需求,最小化用户未满足的带宽需求,提高了频谱的利用率,因此具有一定的优越性。

关键词:认知无线电;频谱分配;图着色;用户需求

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)03-0073-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.03.019

Advanced Spectrum Resource Allocation Algorithm Based on User Requirement

KONG Xiao-li, ZHOU Jing-quan

(Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: In the wireless communication, reasonable effective allocation in the limited frequency is the key to realize cognitive radio network. According to the difference of the cognitive user's requirement and the dissatisfied user's demand, put forward an improved spectrum resource allocation algorithm by the research of the preceding spectrum allocation algorithms which were built on the graph coloring theory. Analyzing the user's demand, comparing the requirement with the utility, it seeks the user who has the most demand and maximum utility and allocates it homologous spectrum. During the process of distribution, it updates the user's needs to improve user's satisfaction. Simulation results indicate that this algorithm can make the allocated frequency meeting the user's requirement as soon as possible, minimize the user's unsatisfactory bandwidth demand and further raise the utilization rate of spectrum. So the advanced algorithm has superior in the performance.

Key words: cognitive radio; spectrum allocation; graph-coloring; user's requirement

0 引言

无线通信技术的发展使得人们对通信业务的需求量逐渐增大,与此同时,频谱资源的匮乏也成为当今急需解决的首要问题。

据研究显示,造成频谱资源使用率低下的主要原因是频谱资源的管理及其分配,如采用固定的频谱分配策略分配给持有执照的业务使用,地理分布不均匀,时域上利用率不等。

认知无线电主要通过监测主用户(Primary Users, PU)频段的使用情况,感知其可能存在的频谱空洞并

根据次用户(Secondary User, SU)的需求将可用的频谱分配给次用户使用,以此来提高频谱资源的利用率^[1]。

认知无线电频谱分配的研究主要是建立在干扰温度模型、图着色理论模型、博弈论模型的基础上,是针对无牌照用户(secondary users)间的动态频谱分配,其目的是在不干扰有牌照用户(primary users)使用频谱的情况下,提高频谱的利用率。

图论着色模型是研究认知无线电频谱分配的重要模型之一,是一种相对成熟的模型。现如今已有不少关于图论着色模型算法的研究,其中最著名的算法有列表着色算法(List Coloring)^[2]、颜色敏感的图着色算法(Color Sensitive Graph Coloring, CSGC)^[3,4]、分布式局部议价算法(Local Bargaining)^[5]以及并行分配算法^[6,7]等等。

通过现有的研究,文中在基于需求算法^[8]的基础上,从用户角度出发,提出了新的算法。

收稿日期:2012-06-26;修回日期:2012-09-29

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2009AA01Z02)

作者简介:孔小丽(1982-),女,江苏泰州人,硕士研究生,研究方向为认知无线电;周井泉,教授,博士,研究方向为通信网络流量分配、路由选择、认知无线电。

1 认知无线电的系统模型

建立认知无线电的网络拓扑模型。假设在某一固定区域中随机分布着 X 个主用户、 N 个次用户。将可用的频谱划分为 M 个相互正交的可用频谱带, 认知用户间的干扰仅由相互距离决定。主用户 x 和次用户 n 在某一频带 m 上的覆盖区域分别为以 $dp_{x,m}$ 和 $ds_{n,m}$ 为半径的圆。当主用户与主用户、主用户与次用户、次用户与次用户之间的覆盖范围存在重叠时, 表明它们相互之间存在干扰。基于以上定义, 文中采用无向图为系统建模。设 $G=(V, E, L_B)$, $V=\{v_n\}$ 是顶点集合, 每个顶点代表一个认知用户, 各个顶点都可以感知到周围的可用信道。 $E=\{e_{ij} | i, j=1, \dots, N\}$, 是边集合, 每条边代表着认知用户使用某一频带时的干扰 $L_B=\{l_{B_{n,m}} | l_{B_{n,m}}=l_{n,m} \times b_{n,m}\}$ 表示信道是否可用以及使用时所获得的最大系统效益。基于图着色的认知无线电频谱分配模型可用空闲矩阵、系统效益矩阵、干扰矩阵、分配矩阵和认知用户的带宽需求向量表示^[9,10]。

设有 N 个认知用户, 标号从 1 到 N , M 个信道标号 1 到 M , 在分配过程中, 认知无线电的网络拓扑不变。

1) 空闲矩阵: $\mathbf{L}=\{l_{n,m} | l_{n,m} \in \{0,1\}\}_{N \times M}$ 表示每个顶点可以使用的信道情况。 $l_{n,m}=1$ 时表示信道 m 可以被次用户 n 使用, 否则表示为不可以被次用户 n 使用。空闲矩阵只考虑授权用户间的干扰, 不考虑认知用户间的干扰。

2) 效益矩阵: $\mathbf{B}=\{b_{n,m}\}_{N \times M}$ 不同的次用户由于所处的环境以及发射功率等因素, 在同一空闲频谱上获得的效益可能不同。 $b_{n,m}$ 表示次用户 n 在没有干扰的情况下使用频谱 m 能够获得的最大效用(吞吐量或带宽等)。将矩阵 \mathbf{L} 和矩阵 \mathbf{B} 相结合, 可得出有效的频谱效益, $\mathbf{L}_B=\{l_{n,m} \times b_{n,m}\}_{N \times M}$ 。

3) 干扰矩阵 $\mathbf{C}=\{C_{n,k,m} | C_{n,k,m} \in \{0,1\}\}_{N \times N \times M}$ 表示用户 n 和用户 k 同时使用信道 m 时的干扰情况。 $C_{n,k,m}=1$ 表示用户 n 和用户 k 同时使用信道 m 会产生干扰, 相反 $C_{n,k,m}=0$ 表示不会产生干扰。当 $n=k$ 时, $C_{n,n,m}=1-l_{n,m}$, 仅由空闲矩阵 \mathbf{L} 决定, 并且矩阵元素要满足 $C_{n,k,m} \leq l_{n,m} \times l_{k,m}$, 即只有频谱 m 同时对次用户 n 和 k 可用时, 才可能产生干扰^[11]。

4) 干扰限制矩阵 $\mathbf{D}=\{D_{n,m} | 0 \leq D_{n,m} \leq N-1\}_{N \times M}$ 表示与次用户 n 不能同时使用信道 m 的次用户个数。

5) 分配矩阵 $\mathbf{A}=\{a_{n,m} | a_{n,m} \in \{0,1\}\}_{N \times M}$, $a_{n,m}=1$ 表示将信道 m 分配给次用户 n 使用, $a_{n,m}=0$ 表示没有将信道 m 分配给次用户 n 使用 \mathbf{A} 满足所有的干扰限制矩阵 \mathbf{C} 的限制条件^[12]。

$$a_{n,m} + a_{k,m} \leq 1 \text{ if } C_{n,k,m} = 1 \forall n, k \leq N \quad m \leq M$$

6) 用户需求矩阵 $\mathbf{Q}=\{q_n\}_{1 \times N}$, q_n 表示认知用户 n 在分配周期内的带宽需求。

2 基于用户需求改进型频谱资源分配算法

2.1 问题描述

经典的 CSGC 算法(Color Sensitive Graph Coloring) 根据用户获得的系统效益不同以及用户之间可能产生干扰, 以不同的准则最大化系统的带宽效益, $\max \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M a_{n,m} \times b_{n,m}$, $\mathbf{A}_{n,m}$ 表示所有满足条件的分配矩阵 \mathbf{A} 。但是 CSGC 算法没有考虑到用户的带宽需求不同, 只是将空闲频谱尽可能地分配给次用户。这最终可能导致带宽需求小的用户被分配了大量频谱, 带宽需求大的用户却得不到足够的频谱, 使得频谱资源得不到合理的利用, 与认知无线电的目的相背离。

针对 CSGC 算法的不足, 文献[8]提出了基于需求的频谱资源分配算法。假设 q_n 为次用户 n 在一个分配周期内的带宽需求, US_n 为分配后次用户 n 未满足的带宽需求。经过一次分配后, $US_n = (q_n - \sum_{m=1}^M a_{n,m} \times b_{n,m})^+$, 其中函数 $x^+ = \max(0, x)$ 。则这一周期内所有次用户未满足的用户需求为 $US = \sum_{n=1}^N US_n = \sum_{n=1}^N (q_n - \sum_{m=1}^M a_{n,m} \times b_{n,m})^+$ 。基于需求的频谱资源分配算法的目标是最小化所有用户未满足的带宽需求, 因此

$$\text{目标函数为 } \min \left(\sum_{n=1}^N (q_n - \sum_{m=1}^M a_{n,m} \times b_{n,m})^+ \right)。$$

与 CSGC 算法不同的是, 基于需求的频谱资源分配算法考虑了次用户的带宽需求不同, 优先满足获得系统效益最大的用户需求, 一旦满足需求后立即退出分配, 给有需求但系统效益小的用户提供分配机会。然而该算法仍是从系统的带宽效益角度出发, 没能从用户角度出发, 达到满足用户带宽需求的最大化。针对以上问题, 提出了基于用户需求的改进型频谱资源分配算法。

2.2 算法描述

基于用户需求的改进型频谱资源分配算法从用户的带宽需求角度出发, 综合考虑带宽需求和系统带宽效益之间的关系再进行分配。其基本思想是均衡带宽需求和系统效益, 尽可能地满足用户需求。根据带宽需求更新系统效益, 在每次分配后不断更新带宽需求直到需求为 0 或频谱列表为空。假设在 m 频段, 用户 n 的带宽需求值小于等于其最大效益, 则用带宽需求值替代最大效益。根据顶点标号准则计算标号值, 选取标号值最大的顶点并为其分配相应子信道。具体算法步骤如下:

Step1: 根据 CSGC 算法中的标号准则选择分配准则 α 。

Step2: 计算效益矩阵 \mathbf{B} 根据用户带宽需求 q_n 更

新系统效益。若 $q_n \leq b_{n,m}, b_{n,m} = q_n$; 否则保持不变。根据所选择的分配准则 a 进行分配。

Step3:更新次用户的带宽需求: $q_n = (0, (q_n - b_{n,m}))^+$ 。

Step4:拓扑更新:在所分配的次用户以及其关联用户的可用频谱中删除已分配的频谱,删除空闲矩阵中可用频谱为 0 的用户,删除满足需求的用户。

Step5:若图不为空,转到步骤 Step2,若图为空转至步骤 6。

Step6:结束本周期的分配。
根据这种方法得出的分配方案使需求大但效益小的用户分配到更多的信道。以实现频谱资源更加充分的利用,提高信道的利用率。算法的基本流程如图 1 所示。

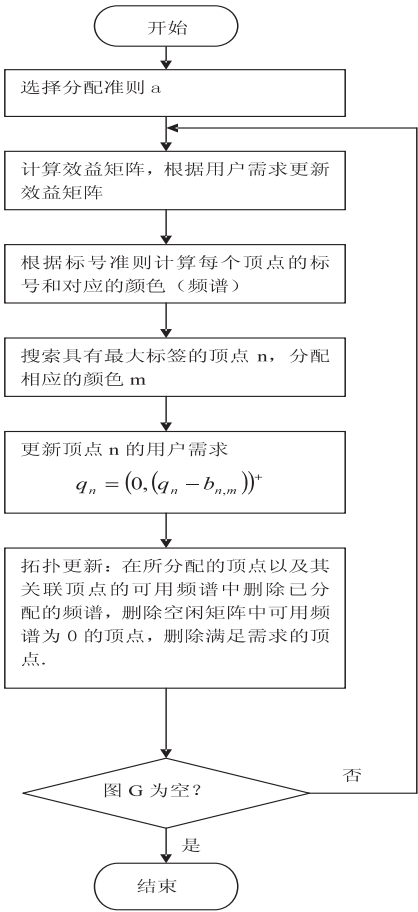


图 1 基于需求的改进型算法流程图

3 仿真结果与分析

本节将对 CSGC 算法、基于需求的频谱资源分配算法和基于用户需求的改进型频谱资源分配算法进行对比和分析。采用的分配准则分别为协作式下最大带宽准则、比例公平准则和非协作式下最大带宽准则、比例公平准则。在随机生成的相同条件下对这三种算法的分配目标(最小化未满足的带宽需求)进行仿真分

析比较。

仿真参数如表 1:

表 1 仿真实验参数表

参数	参考值
分布区域 / m ²	10m×10m
主用户数 (PU _s)	P=20
次用户数 (SU _s)	N=5
频谱数 (M)	M=5
主用户最大辐射距离	r=2
次用户辐射范围	[1,4]
效益矩阵 B	按照 IEEE802.22 的 6 个等级均匀分布,3025, 4537.5,6050,9075,12100,13612.5(单位 bit / period)
空闲频谱矩阵 L	全为 1
干扰矩阵 C	随机生成
需求矩阵 Q	按照 IEEE802.22 的业务源参数均匀分布,186, 3800,3986,38000,38186,41800,41986(单位 bit / period)

根据算法的执行过程和仿真参数设置,得到这三种算法在协作式和非协作式模式下 10000 次实验结果的 US(系统未满足的总带宽需求值)的累积分布函数图。其中图中的横轴表示经过分配后,次用户未满足的需求值。纵轴为经过 10000 实验后,经过统计所获得的累积分布函数。为了使图看起来更清晰,将最大带宽准则和比例公平准则下的算法分开作图。

协作式模式下从图 2 中可以看到由于考虑了用户需求与系统效益的关系,基于用户需求的改进型最大带宽算法 (Improved Demand_based CMSB, IDCMSB) 总体而言满足用户需求的性能比基于需求的最大带宽算法 (Demand_based CMSB, DCMSB)、CSGC-CMSB 分别提高约 5% 和 15%。图 3 显示基于用户需求的改进型比例公平算法 (Improved Demand_based CMPF, IDCMPF) 对需求的满足情况优于基于需求的比例公平算法 (Demand_based CMPF, DCMPF), DCMPF 又优于 CSGC-CMPF。相对于 DCMPF 和 CMPF, IDCMPF 分别提高了约 3% 和 12%。换言之, IDCMSB 和 IDCMPF 比原有的算法 DCMSB, CMSB 和 DCMPF, CMPF 性能好。

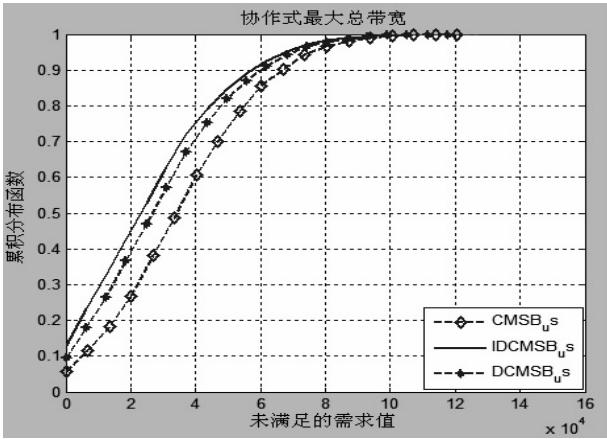


图 2 协作式最大带宽准则下各种算法的累积分布函数

非协作式模式下从图 4 和图 5 中可以看到基于用

户需求的改进型最大带宽算法 (Improved Demand_based NMSB, IDNMSB) 对需求的满足情况优于基于需求的最大带宽算法 (Demand_based NMSB, DNMSB)、CSGC-NMSB。基于用户需求的改进型比例公平算法 (Improved Demand_based NMPF, IDNMPF) 对需求的满足情况优于基于需求的比例公平算法 (Demand_based NMPF, DNMPF)、NMPF。同样可以看出 IDNMSB、IDNMPF 更能满足用户需求。与之前的最小化未满足的带宽需求分配目标相吻合。

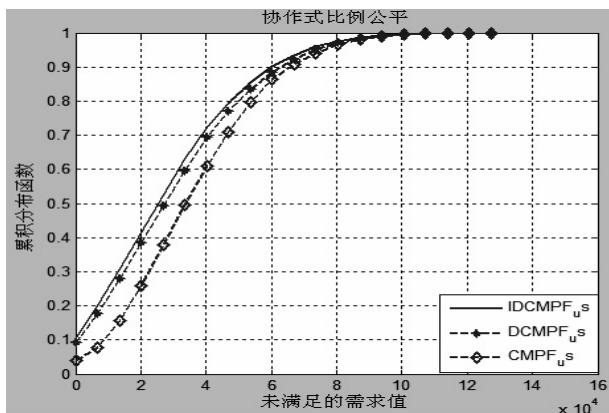


图 3 协作式比例公平准则下各种算法的累积分布函数

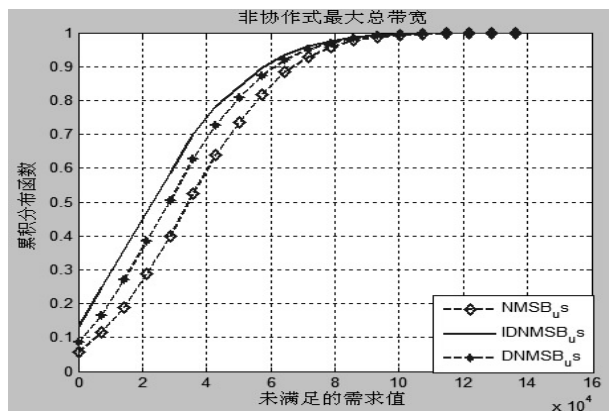


图 4 非协作式最大带宽准则下各种算法的累积分布函数

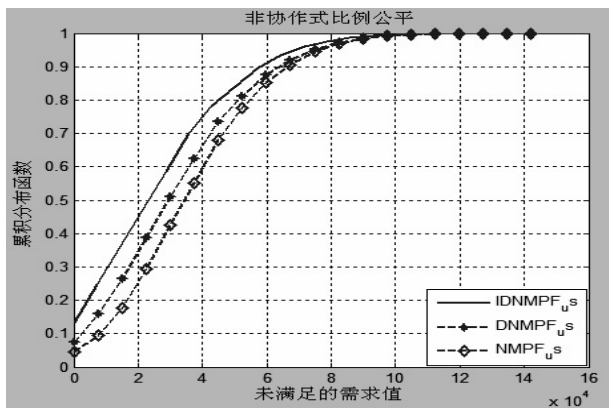


图 5 非协作式比例公平准则下各种算法的累积分布函数

4 结束语

认知无线网络中,以不干扰授权用户为前提,对感知的频谱进行再分配以提高频谱利用率是实现频谱接入的关键。文中在研究了已有的图着色模型算法的基础上,分析 CSGC、基于需求的频谱资源分配算法存在的问题,结合认知用户的带宽需求,提出了基于用户需求的改进型频谱资源分配算法。并与 CSGC-CMSB、CSGC-CMPF、DCMSB、DCMPF 进行了分析比较。仿真结果表明,该算法是有效的,能更好地满足用户的需求,具有较好的性能。

参考文献:

- [1] 何利,郑湘渝,刘振坤. 基于图着色理论的最大效用频谱分配算法[J]. 计算机工程, 2011, 19(10): 93-95.
- [2] Wang Wei, Liu Xin. List-coloring based channel allocation for open-spectrum wireless networks [C]//Proceedings of IEEE the 62nd Vehicular Technology Conference. Washington, DC: IEEE, 2005: 690-694.
- [3] Zheng Haitao, Peng Chunyi. Collaboration and Fairness in Opportunistic Spectrum Access [C]//Proc. of the 40th Annual International Conference on Communications. Seoul, Korea: IEEE Press, 2005: 3132-3136.
- [4] Peng Chunyi, Zheng Haitao, Zhao B Y. Utilization and Fairness in Spectrum Assignment for Opportunistic Spectrum Access [J]. Mobile Networks and Applications, 2006, 11(4): 555-576.
- [5] Cao Lili, Zheng Haitao. Distributed spectrum allocation via local bargaining [C]//IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communication and Networks. Washington, DC: IEEE, 2005: 475-486.
- [6] 廖楚林. 认知无线电系统的频谱分配算法研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
- [7] 廖楚林, 陈劼, 唐有喜, 等. 认知无线电中的并行频谱分配算法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(7): 1608-1611.
- [8] 陈劼, 李少谦, 廖楚林. 认知无线网络中基于需求的频谱资源分配算法研究[J]. 计算机应用, 2008, 28(9): 2188-2191.
- [9] Cao Lili, Zheng Haitao. Distributed rule-regulated spectrum sharing [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(1): 130-145.
- [10] Sherman M, Mody A N, Martinez R, et al. IEEE standards supporting cognitive radio and networks, dynamic spectrum access, and coexistence [J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 46: 72-79.
- [11] 彭振, 赵知劲. 基于混合蛙跳算法的认知无线电频谱分配[J]. 计算机工程, 2010, 36(6): 210-212.
- [12] 李兵, 杨蕊, 高振国. 基于着色理论的认知无线电频谱分配算法[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(6): 1109-1112.

基于用户需求的改进型频谱资源分配算法

作者: [孔小丽](#), [周井泉](#)
作者单位: [南京邮电大学, 江苏 南京210003](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201303021.aspx