



基于 QoS 保证的多种频谱资源联合分配算法

刘玲¹, 鲜永菊², 朱佳²

(1. 重庆交通大学信息科学与工程学院, 重庆 400074;

2. 重庆邮电大学通信与信息工程学院, 重庆 400065)

摘要:提出了基于静态、半静态和动态频谱资源共性特征指标的频谱可用性定义方法,并借鉴改进的最大加权时延优先(modified largest weight delay first, M-LWDF)算法的 QoS 需求定义方法,定义了用户的业务需求指标。在此基础上,提出了结合频谱可用性和用户业务需求的频谱分配方法和二次分配方法,其核心思想是将用户需求和频谱资源的可用性按照一定的方式量化,再采用简单的按大小一一对应的方式进行分配。与随机分配方案、先静后动的频谱分配方案的仿真对比表明,本方案在平均失败次数、平均总速率等性能方面具有明显的改善。

关键词:无线电频谱;频谱可用性;频谱分配;业务需求;MAX 算法

中图分类号:TN929.53

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016007

Multi-type spectrum resources joint distribution algorithm based on guaranteed QoS

LIU Ling¹, XIAN Yongju², ZHU Jia²

1. College of Information Science and Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China

2. School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and

Telecommunications, Chongqing 400065, China

Abstract: The definition of the spectrum availability in terms of static spectrum, semi-static spectrum and dynamic spectrum and the definition of service requirement index based on M-LWDF QoS definition were proposed. A spectrum allocation method and a redistribution method combined with spectrum availability and subscriber requirement were presented. The main idea of the method is that subscriber requirement and availability of spectrum resource are quantified, and then spectrum resources are allocated to subscribers by a one-to-one mapping based on their quantified values in the same sequence. Compared with the random distribution scheme and the dynamic scheme following static allocation, simulation results show that the scheme presented can obviously improve system performance in average number of failure distribution and average total data rate.

Key words: radio spectrum, spectrum availability, spectrum allocation, service requirement, MAX algorithm

收稿日期:2015-05-09;修回日期:2015-10-10

基金项目:重庆市科委自然科学基金资助项目(No.2011BB2144);重庆市教委资助项目(No.133044, No.2012-GX-130);重庆邮电大学资助项目(No.A2008-28, No.A2012-16);大学生科研训练计划基金资助项目(No.A2012-69)

Foundation Items: The Natural Science Foundation of Chongqing State Scientific and Technology Commission (No.2011BB2144), Project of Chongqing Municipal Education Commission (No.133044, No.2012-GX-130), Chongqing University of Posts and Telecommunications Fund (No.A2008-28, No.A2012-16), Research Training Program Project for High School Students(No.A2012-69)

1 引言

在无线电频谱资源短缺的情况下,出现了许多新型的频谱分配研究方案以达到对频谱的有效利用^[1]。然而,无论是基于认知无线电系统里动态感知技术的频谱分配还是竞拍的频谱分配^[2-4],或固定频谱资源的划分,目前大都停留在单一的频谱资源分配的基础上。当今世界,在国内外公开的文献中,将这3种频谱资源结合起来研究的方案较少,而将3种频谱结合起来进行分配不仅可以更好地提高频谱的利用率、自适应能力、环境适应能力,还可以根据不同的业务对服务质量的需求区别来按需分配,从而使得业务质量有所提高。

参考文献[5]中提出了基于频谱可用性和次用户需求相配对的较优算法以及一种改进的婚姻匹配算法。参考文献[6]针对现有频谱分配算法对不连续频谱的利用率较低的问题,提出一种基于频谱聚合的需求改进型频谱分配算法。参考文献[7]引入频谱可用率和空闲概率两个特征参数,构建了频谱资源描述模型,丰富了资源的描述特征。参考文献[8]提出了一个基于频谱拍卖的合作认知无线网络资源分配方案,并提出了一个有效的拍卖机制,对竞拍博弈的纳什均衡存在性进行了证明。参考文献[9]为了达到频谱利用的灵活性和有效性设计了一种频谱分配机制,提出了一个拍卖框架,还提出一种包括多个主用户和多个次用户的非协作拍卖方式,并通过仿真验证了该框架可以提高频谱分配的效率和公平性。参考文献[10]考虑了无线架构和协议的问题,将拍卖理论应用到认知无线网络中,通过拍卖模型去解决资源分配问题,并详细描述了认知系统的不同特性,对很多开放性的拍卖问题都进行了详细的设计和概述。

2 方案的基本思想

在LTE-Advanced及后续5G等技术中,都已经提出了采用多种频谱资源或频谱聚合技术来提高带宽,本文的主要思想是考虑多种频谱资源的共性特征,定义频谱可用性及业务质量需求两个指标,在此基础上提出了基于业务需求和频谱可用性的MAX算法,方案可应用于类似于LTE-Advanced及后续5G等需要多种频谱资源共同使用的无线系统中。在实际使用中,频谱特征参数比较多,如信噪比、主用户的到达概率(以下简称主用户到达率)、历史切换率等,不同的业务对频谱的要求不一样,有的只考虑一

种主要的因素,有的需要综合考虑多种指标。本文提出了一种频谱可用性的综合评估方式,通过参数来调节权重或取消某些参数的影响。使用时,各参数如主用户到达率、信噪比等可通过测量或历史统计等方式得到。对不同类型的业务同一频谱的频谱可用性计算的方式或权重值可取不同,称为基于业务类型的频谱可用池,这样就把频谱可用性和不同类型的业务结合起来了。

对于业务选择频谱的优先权,采用了业务需求指标,这是一种类似于调度算法中优先权的计算方式,这样就可以跟本文提出的频谱可用性评估方式相结合,采用一种比较简单直接的频谱分配方式,即优先权最高的业务,选择对应业务类型的频谱可用池中可用性最高的频谱,业务需求指标值第二的业务直接采用对应业务类型的频谱可用池中可用性第二的频谱,依此类推。仿真表明,这种方式不仅简单,而且各方面性能指标都比较好。

3 频谱可用性定义

本文研究的是在大业务和重负载情况下系统资源不足时的频谱资源使用情况。此时,系统在国家固定分配的频谱资源不够时,可通过竞拍或动态占用的方式获取新的频谱资源,所以,频谱资源共分3种:静态频谱、竞拍频谱和动态频谱。静态频谱资源是国家固定分配给某运营商或系统的频谱资源,需要固定给国家支付一定的费用;竞拍频谱资源是向其他运营商或系统拍卖所得到的资源,需要周期性地参加拍卖和付费。动态频谱资源是国家指定的开放/共享频谱资源、其他运营商或系统利用率比较低的频谱资源,本文研究的是其他系统的利用率比较低的频谱资源,系统可动态占用,但不能对主用户造成干扰。每种频谱资源又有多个信道,每个信道有固定的频谱宽度,如180 kHz等。

根据本文所研究3种频谱资源的不同,究其共有的某些特性进行研究。在本文中,信噪比用 SNR 表示,且令3种频谱的信噪比服从随机分布。信道容量 C_B 为: $C_B = B \log_2(1 + SNR)$,根据服从随机分布的3种不同频谱信噪比的取值,可以得到3种频谱各自的信道容量。对于基于认知无线电技术通过感知得到的动态频谱,由于其 $p_{\pm}$ 是随机的,让其服从 $[0,1]$ 的随机分布。而静态频谱和竞拍频谱由于不会涉及主用户的到达而引起切换,故它们的主用户到达率均为0。

3.1 频谱可用性参数定义

3.1.1 动态频谱价格函数

价格函数是用户在获取本频谱资源时所需要付出的



开销或费用,可以是各种代价,本文主要指用户应该支付的金额。对于动态频谱,由于用户属于动态占用主用户的频谱,在占用的过程中,是通过感知“频谱空洞”而伺机接入信道使用,不需要向主用户支付任何费用。所以本文设定动态频谱的价格函数取值都为0,当价格函数不表示金额时,那么用户的价格函数不一定是0,要根据实际情况决定。

3.1.2 静态频谱的价格函数

静态频谱分配的价格参数一般由国家按照行政审批的方式分配给一定用户,在一定的时间域和空间域里基本不会发生改变。假设某无线通信系统有*i*种静态频谱资源,用 S_{i0} 表示每种静态频谱资源单位频谱每年需要向国家支付的金额,那么其单位时间内的使用价格 S_i (按照一年365天算)为:

$$S_i = \frac{S_{i0}}{365 \times 24 \times 3600} \quad (1)$$

若其使用周期为 T ,则单位频谱的使用价格为:

$$S'_i = \frac{S_i T}{365 \times 24 \times 3600} \quad (2)$$

频谱单位的大小用 f_0 表示,它的含义可以理解如下:若静态频谱的资源为 $f_{\text{jue}} = 2000$ MHz,一个基本的计费频谱单位是 $f_0 = 10$ MHz,那么 f_{jue}/f_0 就表示用户获得的频谱资源相对于频谱单位的数量,即 $2000 \text{ MHz}/10 \text{ MHz} = 200$,再根据单位频谱的价格乘以频谱单位的数量等于总价,则可以得知静态频谱的价格为:

$$c_{\text{jue}} = \frac{S_i f_{\text{jue}}}{f_0 \times 365 \times 24 \times 3600} \times T \quad (3)$$

3.1.3 竞拍频谱的价格函数

本文的竞拍价格函数参照参考文献[5]进行改进,业务需求用户向主用户通过竞拍方式获得的频谱不同于感知主用户的“频谱空洞”,这种方式是需要向主用户缴纳一定的金额,然后主用户再将业务需求用户竞拍所得的这一部分频谱资源供给其使用。同静态频谱资源价格的分析方式一样,用 p_i 表示单位频谱的价格, f_0 仍然表示频谱单位, f_i 则表示用户*i*在竞拍状况下获得频谱资源, N 表示业务需求用户的多少,则竞拍价格可以表示为:

$$C_i(f_i) = p_i \frac{f_i}{f_0}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (4)$$

设 $f_i = r_i/k_i$,其中, r_i (bit/s)表示的是业务需求用户*i*的速率需求, k_i (bit/(Hz·s))则表示的是业务需求用户*i*的频谱

效率函数。

为了获得更高的宽带效率和传输容量,采用自适应调制编码(ACM)技术,根据其原理,可以知道业务需求用户可以根据信道预测的结果动态调整调制方式。又因为正交幅度调制(QAM)技术编码具有能充分利用带宽、抗噪声能力强等优点,单输入单输出系统在高斯噪声信道中的业务需求用户的误码率可以近似表示为:

$$BER_i^{\text{tur}} \approx 0.2 \exp(-1.5 \gamma_i / (2^k - 1)), \quad i=1,2,\dots,N \quad (5)$$

在式(5)中, γ_i 表示业务需求用户*i*接收端的信噪比, k 表示频谱效率,在不同的调制方式中,频谱效率有所不同。在本文中,将其定义为:

$$k_i = \lg(1 + K \gamma_i), \quad i=1,2,\dots,N \quad (6)$$

式(6)中的 K 是一个常量,定义为:

$$K = \frac{3}{2} \ln\left(\frac{1}{5BER_i^{\text{tur}}}\right), \quad i=1,2,\dots,N \quad (7)$$

基于以上情况,在竞价拍卖系统中,频谱价格与业务需求用户所获得的频谱数相关,业务需求用户获得的频谱数越多,根据惩罚性收费原则,其单位频谱的价格也会随之增高。定义第一个频谱单位的价格为 p_0 ,那么单位频谱的价格 p_i 可以表示为:

$$p_i = c_i p_0 \sqrt[3]{\frac{f_i}{f_0}}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (8)$$

从式(8)可以看出,单位频谱的价格随着频谱资源的增加而增加,由于考虑到实际情况,因此将频谱资源相对频谱单位的数量进行3次开方使其非线性递增。 c_i 为式(8)中的价格权重因子,且 $c_i > 0$ 。若某一业务需求用户获得了较多的竞拍频谱资源数,那么业务需求用户系统就会权衡价格权重因子,进行适量的加大,从而增大单位频谱的价格,这样也可以避免该业务某一需求用户获得较多的竞拍频谱资源,而其他的需求用户获得的竞拍频谱资源却很少甚至没有。故将式(4)和式(8)联立可得:

$$C_i(f_i) = p_i \frac{f_i}{f_0} = c_i p_0 \sqrt[3]{\frac{f_i}{f_0}} \times \frac{f_i}{f_0} = c_i p_0 \left(\frac{f_i}{f_0}\right)^{\frac{4}{3}}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (9)$$

因此,通过式(9)可以得到业务需求用户通过竞拍方式获得频谱资源时所需付出的金额。

3.2 频谱可用性定义

本文所提出的频谱可用性式(10),其参数含义如下。

K_n 表示第*n*个信道的频谱可用性, SNR_n 表示第*n*个信道的信噪比, SNR_{max} 表示*M*个信道中的最大信噪比, p_n 表示第*n*个信道当前的主用户到达率,静态和竞拍的主用

户到达率为0,动态的主用户到达率服从[0,1]的均匀分布。 c_n 表示得到第 n 个信道频谱需要付出的价格,可能是竞拍价格、固定频谱资源价格或者感知频谱价格。 α 、 β 和 γ 分别是频谱可用性公式的调节因子,根据业务的不同适当取值。

针对信道可用性指标而言,信噪比大一些好,与频谱的可用性应呈正相关,故将其设置为分子。而对于业务需求用户来说,无论是主用户的到达率还是频谱价格(包括固定资源的频谱价格和竞拍价格)都是越低对其越有利,即这两个指标应与频谱的可用性呈负相关,故将其设置为分母。

于是第 n 个信道的可用性计算式为:

$$K_n = \frac{\gamma \left(\frac{SNR_n}{SNR_{\max}} \right)}{e^{\alpha p_n} \cdot e^{\sum_{i=1}^M c_i}} \quad (10)$$

4 用户的业务需求指标定义

本文的频谱分配算法主要是针对业务需求用户的频谱需求,因此,需要对业务需求用户的服务质量指标进行分析。本文考虑的用户业务指标主要包括分组丢失率、时延、速率等。

分组丢失率指测试中所丢失分组数量占所发送数据分组的比率。不同的业务具有不同的分组丢失率上限要求,如语音业务的分组丢失率上限一般在 10^{-5} 左右。

用户的需求速率指业务需求用户的通信过程对信道的速率有一定的要求,在此基础上对应信道的容量,只要信道的容量可以满足用户的速率需求,用户就可以在此信道上进行通信。

时延指的是用户某一业务中的数据从网络或链路的一端传送到另一端所花的时间。在不同的通信过程中,用户对于不同业务需求的时延的要求不同,以语音业务为例,其时延要求较高,若时延不能满足用户的语音业务需求,则不能进行较好的通信,会造成听觉上的误差。

最大加权时延优先(LWDF)算法由Bell实验室的Alensander等人提出,是一种主要针对具有不同时延和分组丢失率要求的实时业务共存情况的分组调度算法^[11]。Andrews等人在LWDF算法的基础上进行改进,提出了改进的最大加权时延优先(M-LWDF)算法。由于本文所提算法的核心是基于公平性准则的服务质量,其核心思想在于用户选择业务所获得的无线资源份额应与其QoS需求成比例,因此,最大的QoS需求则应分配最大的无线

资源份额(频谱可用性)。对QoS质量进行分析,其所用参数设置如下: δ_i 表示用户 i 的业务的分组丢失率上限; T_i 表示用户 i 的业务の時延上限; R_i 表示用户 i 的需求速率,是验证配对是否成功的重要指标,故用户 i 的业务需求计算式为:

$$QoS_i = -\ln(\delta_i) \cdot \frac{R_i}{T_i} \quad (11)$$

5 支持服务质量的MAX频谱分配算法

5.1 频谱分配模型

在本文中,假定可用频谱的集合为 $\{K_1, K_2, \dots, K_M\}$,共有 M 个可用频谱,包括固定频谱资源、竞拍频谱资源以及感知频谱资源。业务需求用户则用集合 $\{SU_1, SU_2, \dots, SU_N\}$ 表示,共有 N 个业务需求用户。通过采用本文提出的MAX算法将可用频谱分配给用户使用。

5.2 算法步骤与流程

综上所述,其具体的算法流程如图1所示,具体介绍如下。

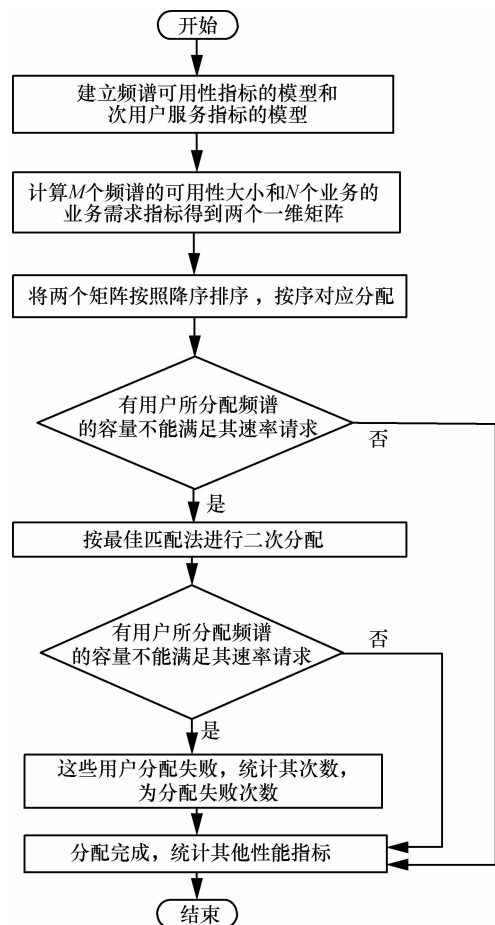


图1 算法流程



(1)系统初始化。

(2)建立起频谱可用性指标的模型和业务需求用户服务指标的模型。

(3)计算 M 个频谱的频谱可用性大小指标和 N 个业务需求用户的服务需求指标,并分别用一维矩阵 $K(i)$ 和 $Q(j)$ 表示,将两个矩阵中的元素按照从大到小的降序方式进行排列得到新的矩阵 $K_{\max}(i)$ 和 $Q_{\max}(j)$, i 和 j 表示各自矩阵里面的元素,且 $\forall i \in K, \forall j \in Q, i \in \{1, 2, \dots, M\}, j \in \{1, 2, \dots, N\}$ 。

(4)将排序后的矩阵 $K_{\max}(i)$ 和 $Q_{\max}(j)$ 里面的元素按照 $i \leftrightarrow j$ 的一一映射的方式进行配对,最后得到一个新的二维矩阵 $P(i, j)$ 。

(5)配对完成后,判断是否存在可用频谱的信道容量不能满足业务需求用户速率需求的情况,若不能满足其速率需求,则表示配对失败,反之则表示分配成功,若有分配失败情况,执行步骤(6)。否则,执行步骤(8)。

(6)进行二次分配,即在上述第一次分配完成后,将分配失败的用户和剩余的可用频谱资源再根据请求速率和容量匹配的方式进行第二次分配。将失败用户的请求速率按从小到大排序,将剩余可用频谱资源的容量按从小到大排序,按照最佳匹配方法进行分配,即从最小请求速率开始分配,在剩余可用频谱资源容量最小的频谱资源中进行查找,将第一个容量大于或等于所分配用户请求速率且未被分配的频谱资源分配给该用户,重复此过程,直到所有的用户都分配完毕,或有用户的请求速率大于所有的可用频谱资源的容量为止。

(7)统计步骤(6)中没有分配成功的用户,即本文方案中频谱分配失败的次数。

(8)从不同的性能方面对比本文频谱分配方案与随机

分配方案和先静态、后动态的方案。

5.3 算法复杂度分析

算法的复杂度主要有时间复杂度和空间复杂度,一般对时间复杂度进行分析。本文算法的时间复杂度分析如下: N 个用户的服务质量需求计算 N 次,复杂度为 $O(N)$; M 个总信道的频谱可用性计算 M 次,复杂度为 $O(M)$ 。

用户需求和频谱可用性排序过程:此过程的算法复杂度跟所选择的排序算法有关,如本文所选择的归并排序法,其算法复杂度为 $O(N \lg N)$ 和 $O(M \lg M)$ 。

排序之后的配对过程:算法复杂度为 $O(\min(N, M))$ 。

在二次分配时,假设有 N_1 个用户没有分配成功, M_1 个信道没有分配,需要分别按照用户质量需求和信道容量排序,如果继续采用归并排序法,则其算法复杂度为 $O(N_1 \lg N_1)$ 和 $O(M_1 \lg M_1)$ 。

二次分配的配对过程:算法复杂度为 $O(\min(N_1, M_1))$ 。

由上可知,本算法(采用归并排序法时)的时间复杂度为线性对数阶,比较低。相对于已经公开发表的其他许多频谱分配算法,如参考文献[4-6]的 $O(N^2)$ 复杂度,本文复杂度相对较低;相对于随机分配法的 $\max(O(N), O(M))$, 本算法复杂度稍微高一些;与先静态、后竞拍、后动态的分配过程相比,因为都涉及到每种频谱资源里面的排序,其算法复杂度相当。

6 仿真分析

本文采用 MATLAB 仿真工具对所提出的方案在 LTE-Advanced 环境下进行了仿真及比较,具体的参数设置见表 1。这里只考虑语音用户与数据用户。由于本文研究的频谱范围的变化可能会比较大,信道质量相差较大,所

表 1 仿真参数设置

参数	具体设置
可用信道数 K	70(10 静态、20 竞拍、40 动态)
信道基本带宽/kHz	180
业务需求用户数/个	55
信道模型	瑞利衰落信道
信噪比 SNR	静态与竞拍取[0,40]的随机数,动态取[0,30]的随机数
主用户到达概率	静态和竞拍为 0,动态取[0,1]的随机数
频谱的价格参数	根据本文所提价格公式进行求取
用户业务参数(语音)	15 个用户,时延 $T_m=85$ ms,分组丢失率 $\delta=10^{-4}$,速率需求 $R_r=64$ kbit/s
用户业务参数(数据)	40 个用户,时延 $T_m=180$ ms,分组丢失率 $\delta=10^{-9}$,设不同用户数据速率需求 R_r 服从 100~1 300 kbit/s 的高斯分布
频谱可用性调节因子	$\alpha=3, \beta=3, \gamma=1$
统计分配次数	40

以 SNR 的取值范围较大。其中,静态信道与竞拍信道的信噪比(SNR)范围参照参考文献[12]取值,取 0~40 范围的随机变化值,考虑到认知无线电用户所受的干扰比静态频谱信道中用户所受的干扰和竞拍频谱信道中用户所受的干扰要大一些,动态频谱信道的 SNR 在 0~30;用户业务特性参数参照参考文献[13]取值。静态信道和竞拍系统的主用户到达概率为 0,动态取 $[0,1]$ 的均匀分布,设主用户到达概率为 0.7 以上的信道才有主用户实际到达,则主用户实际到达并占用信道数按动态信道总数的 30% 设置。

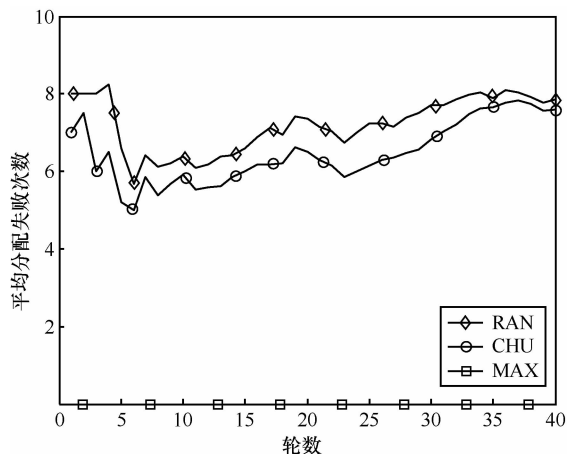
为了对本文提出的算法进行验证,将其与随机分配算法以及先静后动的分配算法进行仿真对比,且为了方便比较,图 2~图 7 中除图 6 外都是以移动平均(滑动平均)法统计各变量,包括平均用户分配失败次数、系统平均每轮总速率和平均主用户出现的切换次数等。图 6 是各算法每次分配时切换次数的具体值。共研究了 40 轮分配的平均性能情况,每轮主要参数均是按照表 1 进行取值和变化,同一频谱信道,前轮与后轮的特性值有可能不一样,没有按照线性变化,所以仿真结果非单调变化,但是可以看出,随着分配的进行,各统计值逐渐趋于稳定。

图 2(a)是数据业务速率在 100~1 000 kbit/s 变化时,40 轮分配的累计平均失败次数对比,图 2(b)是数据业务在 100~1 300 kbit/s 变化时,40 轮分配的累计平均失败次数对比。由图 2 可知,支持服务质量的有序匹配(MAX)算法相对随机排序分配(RAN)算法和先静后动排序的分配(CHU)算法失败的次数都要少,而且 40 次分配下来,总体失败次数都很小甚至有时几乎不失败,说明按照 MAX 算法原则分配下来的信道近乎都能使信道容量满足业务需

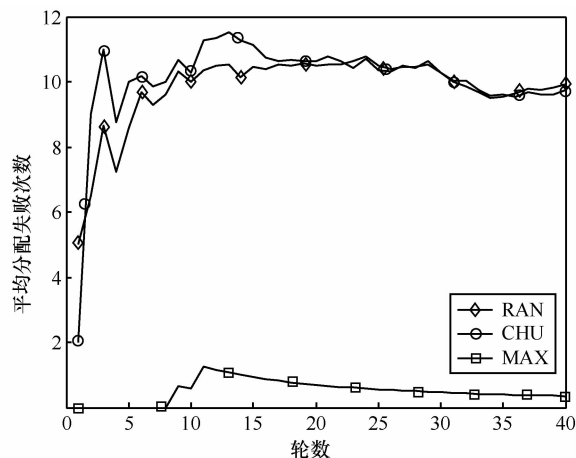
求用户的需求速率,这是由于在频谱可用性式中,信道容量对应的是与频谱可用性成正相关的信噪比。因此,最大的频谱可用性会对应较大的信噪比,从而对应较大的信道容量,进而能够满足速率需求较大的业务需求用户。

CHU 算法和 RAN 算法相比,总体上 CHU 算法更好,但也有可能出现 CHU 算法失败次数大于 RAN 算法的情况,这是由于 CHU 算法是一种在频谱分配方案上的一种固定思维的分配方案,实际上它并没有将动态频谱和静态频谱结合起来考虑,从这一点上也可以说明将动态频谱和静态频谱结合起来考虑的优越性。而 RAN 本身就是不确定的随机分配,出现的结果也会随机变化,故它分配时失败次数变化较大。失败次数出现小数的情况是由滑动平均这一算法本身的性质所决定的。

图 3~图 7 仿真中均设置数据业务在 100~1 300 kbit/s 变化。由图 3 和图 4 可以看出,MAX 算法就平均每轮总速率来说也要好,这是因为采用 MAX 算法相当于对信道进行了充分利用,根据生活经验也可知,给予请求多的用户更多的需求,自然更容易满足用户的需求。而 MAX 算法恰好就是利用这一点,对频谱进行了有效利用,使得平均每轮总速率相对 RAN 算法和 CHU 算法都有一定程度的改善。其次,由于在用户服务质量公式里面,根据业务所取的分组丢失率上限和时延上限均是固定值,故相当于最大的服务质量对应的是最大的用户需求速率,因此相应地按照 MAX 算法出来的频谱总速率也会最大。而对于 RAN 算法和 CHU 算法,CHU 算法总体而言比 RAN 算法更好,但是由于 RAN 算法的随机性,故同图 2 失败次数的情况类似,也会出现 RAN 算法速率比 CHU 算法好的情况。



(a) 数据业务速率为 100~1 000 kbit/s



(b) 数据业务速率为 100~1 300 kbit/s

图 2 平均用户失败次数

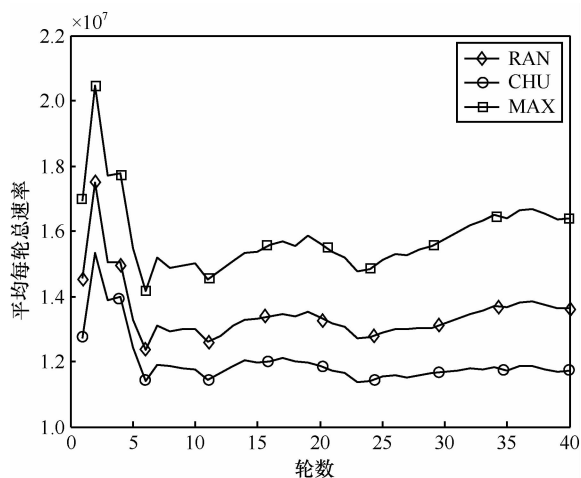


图3 平均每轮总速率1

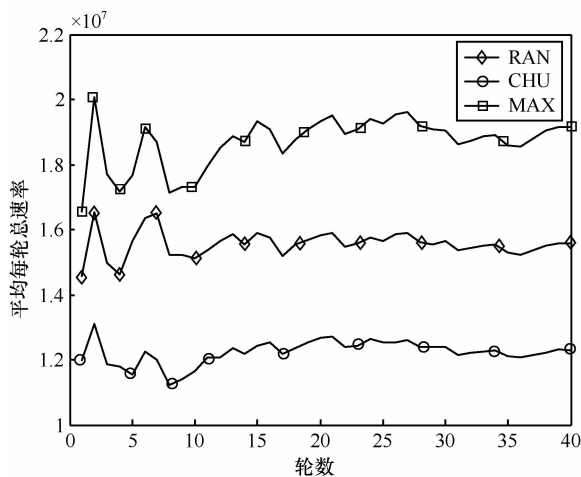


图4 平均每轮总速率2

由图5可以看出,对于平均主用户出现切换次数来说,MAX算法的切换次数更多,这是由于MAX算法平均用户的失败次数较之其他两个算法少,即其成功的次数更多,因此在主用户到达而导致的切换次数上较其他两种算

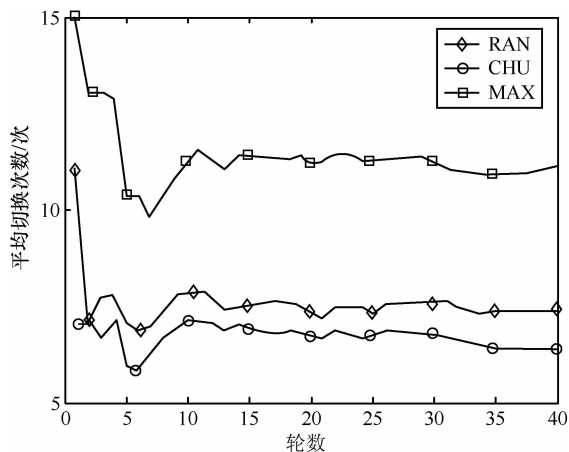


图5 平均主用户出现切换次数

法要多一些。图6给出了每轮切换次数的具体值。

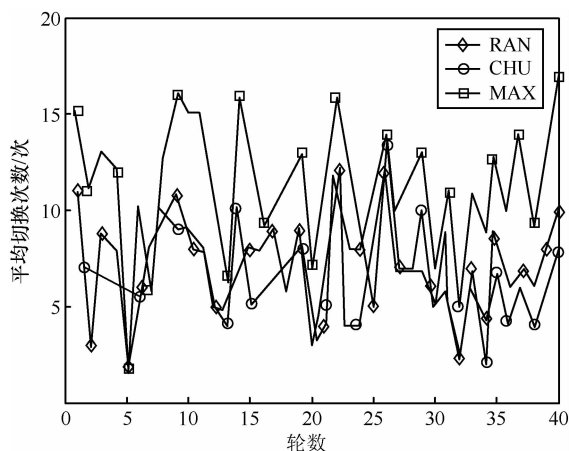


图6 每轮主用户出现切换次数

本文对MAX算法和CHU算法在不同信道比下分配失败次数比、系统总速率比、切换次数比进行了对比分析。仿真表明,在各种情况下,MAX的算法性能优势都可以一直保持,尤其在分配失败次数方面具有较大的优势。图7是静态信道数、竞拍信道数、动态信道数在某一比例下的仿真对比。仿真还表明,在静态信道数占绝对优势的情况下,MAX算法与CHU算法性能比较接近。

7 结束语

本文主要针对所提出的动态频谱和静态频谱相结合进行的频谱分配算法,对静态、半静态和动态频谱相结合的频谱可用性指标和业务需求用户的服务质量指标进行了定义,提出了一种考虑用户业务需求和频谱可用性的频谱分配方案仿真表示。仿真表明,本文方案在用户分配失败

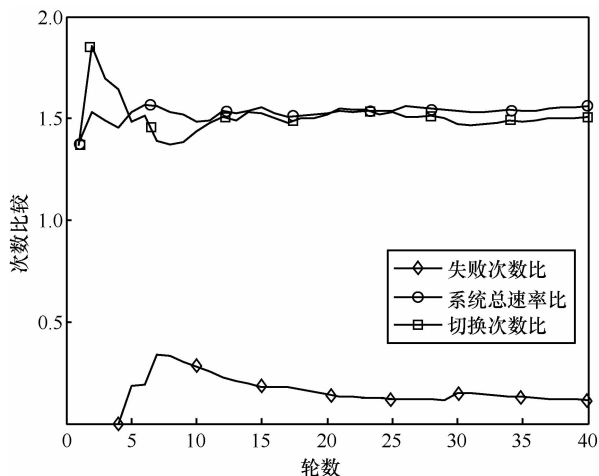


图7 信道数为静态信道数:竞拍信道数:动态信道数=10:20:40时MAX算法与CHU算法各项比例

次数、系统总速率等性能方面具有明显的改善。当然,本方案相对于随机分配方式和先静态再其他资源的分配等简单的分配方式来说,计算上要稍微复杂一些,需要进行频谱可用性计算和业务 QoS 指标的计算及排序,不过,这种计算很简单,而且分配方式只采用了简单的匹配方式,对系统来说,所增加的开销并不大。

参考文献:

- [1] 毕猛,王靖宇.从国情出发积极慎重探讨频谱分配新模式[J].世界电信,2012(9): 69-73.
BI M, WANG J Y. Exploration of new spectrum allocation mode according to national situation [J]. World Telecommunication, 2012(9): 69-73.
- [2] MITOLA III J, GERALD Q, MAGUIRE J. Cognitive radio: making software radio more personal [J]. IEEE Personal Communications, 1999, 6(4): 13-18.
- [3] BIN C, HOANG A T, LIANG Y C. Cognitive radio channel allocation using auction mechanisms [C]//Proceedings of the Vehicular Technology Conference(VTC Spring), May11-14, 2008, Yokohama, Japan. New Jersey: IEEE Press, 2012: 1564-1568.
- [4] 吴琼,鲜永菊,徐昌彪,等.认知网络中基于竞价模型的切换频谱分配[J].计算机工程,2011,37(12): 71-73.
WU Q, XIAN Y J, XU C B, et al. Handover spectrum allocation based on bidding model in cognitive networks [J]. Computer Engineering, 2011, 37(12): 71-73.
- [5] 邓薇.认知无线网络中频谱空洞与竞拍资源的联合分配技术研究[D].重庆:重庆邮电大学,2013: 1-61.
DENG W. Research of allocation technology joint spectrum hole and auction resources in cognitive radio networks[D]. Chongqing: Chongqing University of Posts and Telecommunication, 2013: 1-61
- [6] 胡庆,常迪,海力群.认知无线电中基于频谱聚合的需求改进型频谱分配算法 [J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2014,26(1): 8-12.
HU Q, CHANG D, HAI L Q. Spectrum allocation algorithm based on spectrum aggregation and user demands in cognitive radio [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunication(Natural Science Edition), 2014, 26(1): 8-12.
- [7] 冯培伦.动态频谱分配中的频谱可用性描述[J].计算机科学,2012,39(Z6): 396-397.
FENG P L. Description of spectrum availability in dynamic spectrum allocation[J]. Computer Science, 2012, 39(Z6): 396-397.
- [8] GHAMARI A M, AGHAEINIA H. Spectrum leasing in cooperative cognitive radio networks: an auction-based approach [C]//Proceedings of the 20th Iranian Conference on Electrical Engineering(ICEE2012), May 15-17, 2012, Tehran, Iran. New Jersey: IEEE Press, 2012: 1268-1273.
- [9] CHEN L, IELLAMO S, COUPECHOUX M, et al. An auction framework for spectrum allocation with interference constraint in cognitive radio networks [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communications, March 14-19, 2010, San Diego, CA, USA. New Jersey: IEEE Press, 2010: 1-9
- [10] ZHANG Y, NIYATO D, WANG P, et al. Auction-based resource allocation in cognitive radio systems [J]. Communications Network Economics, 2012, 50(11): 108-120.
- [11] 鲜永菊.面向服务质量保障的认知无线电核心技术研究[D].重庆:重庆大学,2012: 1-154.
XIAN Y J. Study on cognitive radio core technologies toward the guarantee of quality of service [D]. Chongqing: Chongqing University, 2012: 1-154.
- [12] 贾楚,常伟伟.LTE-A 小区间无线干扰抑制技术研究[J].中国无线电,2013(9): 53-55.
JIA C, CHANG W W. Research on radio interference suppression technique between LTE-A cell [J]. China Radio, 2013(9): 53-55.
- [13] 中华人民共和国信息产业部.电信服务规范(第36号令)[S/OL].(2005-04-20) [2014-05-29]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11294912/n11296542/12154546.html>.
People's Republic of China Ministry of Information Industry. Telecommunication service specification(No. 36 Order) [S/OL]. (2005-04-20) [2014-05-29]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11294912/n11296542/12154546.html>.

[作者简介]



刘玲(1963-),女,重庆交通大学信息科学与工程学院副教授,主要研究方向为计算机教学和软件设计。



鲜永菊(1973-),女,博士,重庆邮电大学通信与信息工程学院副教授,主要研究方向为认知无线电关键技术、LTE 与 LTE-Advanced 关键技术等。

朱佳(1989-),男,重庆邮电大学通信与信息工程学院硕士生,主要研究方向为认知无线电关键技术。