

动态频谱分配中的频谱可用性描述

冯培伦^{1,2} 赵杭生² 张建照^{1,2}

(解放军理工大学通信工程学院 南京 210007)¹ (总参第六十三研究所 南京 210007)²

摘要 针对动态频谱分配中的频谱资源描述问题,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,该方法丰富了资源的描述特征。考虑到用户因业务不同而对频谱需求的差异,分别对频谱可用率和空闲概率赋予不同的权值,以便为用户分配适合的频谱资源。仿真结果表明,依据业务类型的不同将频谱可用率和空闲概率两个参数结合起来共同描述频谱可用性,可以适当地提高频谱利用率,特别是对语音信号来说,空闲概率的权值远大于频谱可用率权值时,频谱利用率可以提高约 40%。

关键词 动态频谱分配,频谱可用性,描述方法,可用时长,更新频率

中图分类号 TN915.01 **文献标识码** A

Description of Spectrum Availability in Dynamic Spectrum Allocation

FENG Pei-lun^{1,2} ZHAO Hang-sheng² ZHANG Jian-zhao^{1,2}

(Institute of Communications Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)¹

(The 63rd Institute of General Staff, Nanjing 210007, China)²

Abstract In the spectrum resources description of the dynamic spectrum allocation, we introduce two characteristic parameters to construct a spectrum description model. This method enrich description of the resource features. Because of differences in demand for spectrum, give the different weights of spectrum availability and the free probability respectively, so that the user is assigned an appropriate spectrum. Simulation results show that different types of business result different spectrum availability and the free probability parameters combined together to describe the spectrum availability, it can be appropriate to improve the spectrum efficiency. The spectrum efficiency can be increased by about 40% when the weight of free probability is much greater than the spectrum availability, especially for the voice signal.

Keywords Dynamic spectrum allocation, Spectrum availability, Description method, Availability time, Update frequency

1 引言

为了提高空闲频谱资源利用率和实施动态频谱管理,近年来有多个学术论文研究了利用特征指标和状态参数描述频谱资源可用性问题,从多个侧面构建了衡量频谱资源可用性的标准。Simon Haykin 在文献[1]中给出了干扰温度的定义以及对它进行估计的方法,并把它作为衡量频谱可用性的指标;文献[2]提出了一种频谱容量估计的方法,这种方法考虑了带宽和允许的传输功率以及它们之间的内在关系;文献[3]通过自回归系数、动态噪声、测量噪声等分析状态空间模型,利用合适的频谱跟踪策略,获取频谱可用性信息。

本文主要考虑已授权给主用户的频谱在空闲时形成的频谱资源的动态分配问题。如果能够在原有描述参数的基础上,引入描述相对特征参数,丰富资源的描述特征^[4],改进频谱资源可用性的评估方法,可使得资源可用性描述更加全面,并能提高频谱资源利用率。在动态频谱分配过程中,它也可以更加客观和完整地认识频谱环境和频谱资源,更确切地把握频谱资源的本质特征,更优化其分配和利用效果效率。

2 频谱资源可用性模型

主用户所授权的频谱状态可视主用户工作情况为“空闲”和“占用”两种,次用户则可以利用该“空闲”授权频谱进行通信,因此其对应的动态频谱分配来说即为“可用”或者“不可用”。采用二进制表示频谱资源可用性状态^[5],分别以“0”表示频谱可用,“1”表示频谱不可用。某一段频谱在一定时间内被主用户占用,处于状态“1”,该频谱某一时刻被主用户释放后,其状态即变为“0”;等到下次被主用户占用时,状态又更新为“1”,如此循环往复,不断交替,其示意图如图 1 所示。

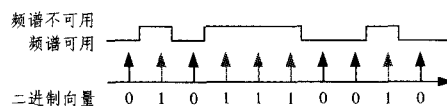


图 1 频谱可用性状态示意图

频谱资源对应的各个“0”、“1”状态持续时间是随机的,同时为方便起见,假设单位时间 T 内频谱状态恒定不变,在每一个单位时间内均视状态将 X_n 赋予对应的频谱。

$$X_n = \begin{cases} 0, & \text{频谱空闲} \\ 1, & \text{频谱繁忙} \end{cases}$$

本文受国家自然科学基金项目(61072077)资助。

冯培伦(1987—),男,硕士生,主要研究方向为动态频谱管理,E-mail: feng.peilun@gmail.com。

由于主用户占用频谱持续时间是随机的,因此 X_n ($n=1, 2, 3, \dots, N$) 在任一单位时间的取值也是随机的。由于信道是频谱分配的基本单位,因此在文中交叉使用频谱和信道。

3 频谱资源可用性参数分析

在动态频谱分配中,将各个处于“0”状态的空间频谱资源分配给次用户。但是处于“0”状态的频谱资源受限于主用户的使用特性,即主用户使用频谱的接入时机、持续时间等各方面因素皆会影响动态频谱分配的效率和结果。同时,为了提高频谱资源利用率,在动态频谱分配的时候参照频谱资源可用性的描述,以适当的频谱资源尽量满足次用户需求。在此引入频谱可用率和平均空闲概率作为参数来描述频谱资源的可用性,为动态频谱分配提供参考。

记信道 i ($i=1, 2, 3, \dots, M$) 的频谱状态更新频率为:

$$U_i = \frac{\sum_n |X_{n+1} - X_n|}{N} \quad (1)$$

式中, U 越大,表明该频谱空闲的机会更多。由于主用户使用频谱的随机性导致频谱可用状态时变性,虽然其可用率高,但是状态变化过于频繁的频谱也不适合次用户需要较长时间占用频谱的场合,因此还需要引入另外的参数来衡量单次频谱的可用时长。

本文用频谱状态是“0”的概率来估计频谱可用时长,表达式如下:

$$Q_i = 1 - \frac{\sum_n X_n}{N} \quad (2)$$

式中, Q 的大小反映了频谱状态“0”的概率。 Q 越大,表示空闲频谱越多,适合分配给需要长时间使用频谱的次用户。

4 频谱可用性描述方法

为了将上述对频谱资源不同角度的特征描述进行有机统一,可以采用多维坐标体系来构建频谱资源可用性描述数学模型。将从不同角度和层面考察频谱资源可用性的多种特征,描述参数作为元素个体,并对各个元素进行严格的数学定义和明确表征,然后以这些数学表示的特征参数元素为参考量,以构成多维表示的频谱可用性描述。

本文将信道 i 的可用性描述为:

$$w_i = \lambda_1 U_i + \lambda_2 Q_i \quad (3)$$

式中, λ_1 和 λ_2 分别为 U_i 和 Q_i 的权值,且满足:

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1, 0 \leq \lambda_1 \leq 1, 0 \leq \lambda_2 \leq 1 \quad (4)$$

不同的次用户对频谱资源的要求各有不同, λ_1 和 λ_2 分别根据次用户对 U 和 Q 的要求取合适的值,以满足次用户的要求。如次用户需要经常性地借用信道,但每次使用时间又不会很长,比如数据业务,文中称之为短信号,此类次用户需要的是 U 较高的信道。而对于需要长时间使用信道的次用户来说,比如语音业务,文中称之为长信号,对信道状态比较敏感,信道状态经常性地改变会严重影响该次用户的工作效率,因此,相比 U 而言,此类次用户则要求更高的 Q 。

设置一个频谱可用性指标值 w_i 的门限 W ,规定只有所有可用信道中满足 $w_i \geq W$ 的信道才允许分配给次用户使用,门限值的设置对整个动态频谱分配过程有着很大的影响^[6]。若门限值较大,次用户只能利用到可用性较高的频谱资源,以减小对主用户的干扰。相反,门限值较小会导致次用户分配

到可用性很小的频谱资源,虽然对主用户造成的干扰较大,但也提高了频谱资源的利用率。因此,在动态频谱分配过程中,需要根据主用户的抗干扰能力和次用户的需求来权衡门限值的设置。

综上所述,本文所提出的频谱可用性描述方法可以总结为以下几个步骤:

- (1) 检测频谱资源状态,并以二进制形式表示;
- (2) 根据式(1)和式(2),计算信道 i 的 U_i 和 Q_i 的值;
- (3) 根据不同次用户的特征和对频谱的不同需求,自适应选取 λ_1 和 λ_2 的值,由式(3)计算信道 i 的可用性指标值 w_i ,并将信道按 w_i 值降序排列;
- (4) 设置频谱可用门限值 W ,可用性指标值 w_i 超过门限值 W 的信道即为可用信道。

具体流程如图 2 所示。

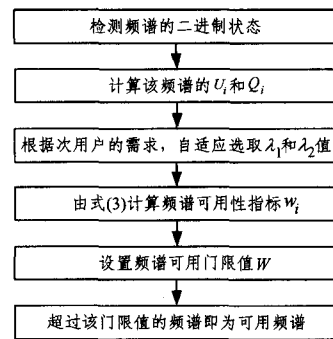


图 2 频谱可用性描述方法

5 仿真分析

文中采用两个指标来衡量算法性能:数据传输量和信道利用率,考虑式(3)中 λ_1 和 λ_2 取值的不同对信道可用性的影响。不同的业务对频谱的特性参数要求不同,系统依据业务不同自适应设置 λ_1 和 λ_2 值,以选择最适合自身的信道接入,具有很好的灵活性。仿真分别取 $\lambda_1 = 0.1, \lambda_2 = 0.9$ 和 $\lambda_1 = 0.9, \lambda_2 = 0.1$ 两种典型情况进行验证。

如图 3 所示,在给定短信号条件下,选择以权值 $\lambda_1 = 0.9, \lambda_2 = 0.1$ 的信道传输时,系统的数据传输量相比选取以 $\lambda_1 = 0.1, \lambda_2 = 0.9$ 为权值的信道时更大。

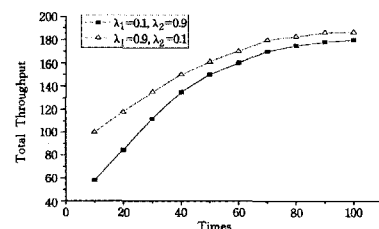


图 3 短信号的数据传输量

反之,在长信号条件下,权值为 $\lambda_1 = 0.1, \lambda_2 = 0.9$ 的系统数据传输量明显优于权值选取 $\lambda_1 = 0.9, \lambda_2 = 0.1$ 时的情况,如图 4 所示。由于短信号在频谱可用时长 Q 较大的情况下亦可传输,受到的影响很小,因此在频谱可用时长 Q 较大但更新频率 U 较小的情况下,短信号的数据传输量与长信号的差距较小。但由于长信号在某段频谱可用时长小于自身长度的情况下不能传输,因此在系统频谱可用时长 Q 较小但更新

(下转第 428 页)

进入最终决赛的 5 个候选算法由世界各国的密码学家精心设计,代表了当前 Hash 函数研究领域最新的研究成果,和高级加密标准(AES)一样,也会成为密码学发展的一个里程碑。

本文在全球公开征集新一代安全 Hash 标准 SHA-3 的最后阶段,对可能成为 SHA-3 标准的 Keccak 算法进行了初步的研究,并利用 Matlab 中的 Guide,设计开发了带有图形用户界面的 Keccak。该程序可以根据需要输出 Keccak 运行的 Hash 值及各中间数据,对 Keccak 的教学及其深入研究都有着积极的意义。

下一步,我们希望对 Keccak 算法的核心函数 $Keccak-f[b]$ 进行深入分析,并尝试对 Keccak 算法进行随机性检测,更加深入地探讨 Keccak 算法的安全性。

参考文献

- [1] Announcing request for candidate algorithm nominations for a new cryptographic hash algorithm(SHA-3) family[J]. Federal Register Notices,2007,72(212):62212-62220
- [2] Bertoni G, Daemen J, Peeters M, et al. The KECCAK SHA-3 submission[EB/OL]. <http://keccak.noekeon.org/>,2011-01-14
- [3] Bertoni G, Daemen J, Peeters M, et al. Keccak implementation overview[EB/OL]. <http://keccak.noekeon.org/>,2011-01-14
- [4] Bertoni G, Daemen J, Peeters M, et al. The Keccak reference. <http://keccak.noekeon.org/>,2011-01-14

(上接第 397 页)

频率 U 较大时,长信号的数据传输量远远低于短信号传输量。

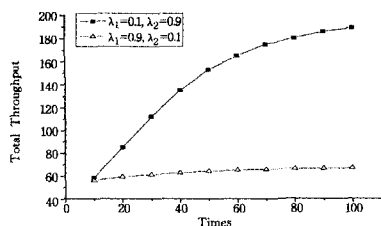


图 4 长信号的数据传输量

由图 5 可见,在权值选取 $\lambda_1=0.9, \lambda_2=0.1$ 的条件下,传输短信号时的频谱利用率高于长信号。反之取 $\lambda_1=0.1, \lambda_2=0.9$ 时,长信号的频谱利用率则高于短信号。由于长信号对频谱可用时长 Q 的要求较高,导致在频谱可用时长 Q 较小时,长信号对频谱的利用率大大降低。

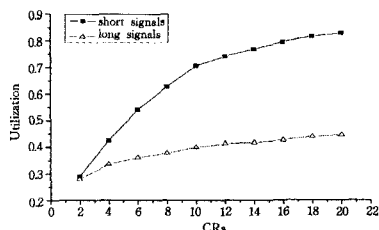


图 5 $\lambda_1=0.9, \lambda_2=0.1$ 时的信道利用率

而短信号对频谱可用时长 Q 并不敏感,所以在频谱可用时长 Q 较小的情况下,短信号对频谱的利用率也不会有大幅度减少,如图 6 所示。

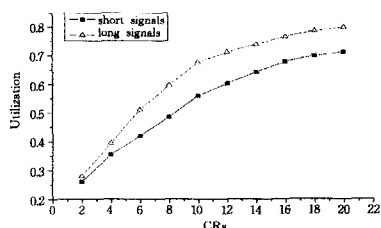


图 6 $\lambda_1=0.1, \lambda_2=0.9$ 时的信道利用率

结束语 本文从信道可用性的角度,同时考虑两种不同

的频谱特性,引入了两个不同的特征参数来描述频谱资源可用性,该方法丰富了资源的描述特征,对提高频谱利用率具有一定作用。针对不同用户对信道长短要求不一的特点,文中根据频谱状态更新频率和可用时长两个特征对频谱可用性同时进行描述,用户可根据自身需求自适应来调整两个参数的权值。当业务为长信号时,设置较大的频谱平均空闲概率以获得适当的频谱;短信号业务则可以主要考虑频谱可用率。该方法同时可用于研究时延性质的场景,能接受时延的服务可以设置较大的频谱可用性,以提高频谱利用率;不能接受时延的业务则主要考虑频谱平均空闲概率,以满足业务要求。综上所述,本文提出的方法具有较高的普遍适用性,同时仿真结果也表明,该方法可以有效地提高频谱利用率。

参考文献

- [1] Haykin S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2): 201-220
- [2] Wild B, Ramchandran K. Detecting primary receivers for cognitive radio applications[C]// Proceedings of 1st IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN'05). Baltimore, MD, USA, Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005: 124-130
- [3] Haykin S, Huber K, Chen Z. Bayesian sequential state estimation for MIMO wireless communications[J]. Proceedings of the IEEE, 2004, 92(3): 439-454
- [4] 刘勤. 认知无线通信系统的频谱资源管理[J]. 中兴通讯技术, 2009(2)
- [5] Weiss T A, Jondral F K. Spectrum pooling an innovative strategy for the enhancement of spectrum efficiency[C]// IEEE Radio Communications, 2004: 8-14
- [6] Guo Cai-li, Zeng Zhi-min, Feng Chun-yan, et al. Novel proactive spectrum selection algorithm for cognitive radio networks[J]. Journal of Xidian University: National Edition, 2008(6): 1121-1126