文章编号:1001 - 893X(2012)05 - 0761 - 05

一种基于 TOPSIS 信道排序的新频谱切换方案*

蒋金波[1],王可人[1],付 欣[2],熊 最[1]

(1.解放军电子工程学院 304 教研室,合肥 230037;2.解放军电子工程学院 高等教育教研室,合肥 230037)

摘 要:将接近理想方案的序数偏好法(TOPSIS)应用于认知无线电网络的频谱切换中,通过对影响切换性能的 4 个参数的融合,设计了一种基于 TOPSIS 算法的信道排序方案,通过仿真验证,设计了各参数的权值。统计结果表明,提出的算法在 80% 的情况下要优于传统的切换算法,可以有效减少认知用户的切换次数,提高有效数据传输速率,降低认知用户的通信中断概率。

关键词:认知无线电网络;频谱切换;TOPSIS 算法;信道排序;通信中断概率

中图分类号:TN911 **文献标志码**:A doi:10.3969/j.issn.1001 - 893x.2012.05.031

A Novel Spectrum Handoff Scheme Based on TOPSIS Channel Order Algorithm

JIANG Jin-bo[1], *WANG Ke-ren*[1], *FU Xin*[2], *XIONG Zui*[1]

(1. Research Room 304, Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China;
2. Research Room of Higher Education, Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

Abstract: The TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) algorithm is applied to spectrum handoff in cognitive radio network. Through syncretizing the four parameters which have influence on capabilities of spectrum handoff, a channel order scheme based on TOPSIS is designed. The weight of every parameter is designed by simulation result. Simulation results show that the algorithm proposed in this paper exceeds traditional algorithm in 80% and it can shorten the handoff times, improve the effective data rate and decline the outage probability of secondary users in communication.

Key words: cognitive radio network; spectrum handoff; TOPSIS algorithm; channel order; outage probability of communication

1 引 言

认知无线电网络(Cognitive Radio Network, CRN)中,授权用户(Primary User, PU)拥有对信道的优先使用权,认知用户(Secondary User, SU)只能在信道空闲的情况下,临时使用信道。当授权用户出现时,认知用户必须马上让出信道给授权用户,并找到一个适合数据传输的空闲信道来完成通信,即为频谱切换[1-2]。与异构网络中的切换[3]不同,认知无线电网络中的频谱切换主要是在保证避免对授权用户有害干扰的前提下,帮助认知用户寻找到合适的目标信道来继续其未完成的数据传输[4]。因此频谱切换的算法应考虑保证认知用户通信业务的持续性和服务质量(QoS),减少频谱切换次数,提高有效数据传输速率[2]。文献[1-2,4]通过分析认知用户的阻塞概率和有效数据传输速率来研究影响频谱切换的指标,但都仅限于理论方面的研究。实际中用户的切换往往要考虑备选信道相关参数来进行信道选择。

本文研究基于频谱感知的频谱切换,从认知用户切换执行的过程出发,考虑切换中授权信道上的

* 收稿日期:2011 - 11 - 08;修回日期:2012 - 02 - 20

带宽、租赁价格、授权用户出现概率,分析切换中认知用户信道的选择问题。将接近理想方案的序数偏好法[5](Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution,TOPSIS)引入频谱切换的信道选择中,仿真结果表明该方法可以减少认知用户的实际切换次数,节约认知用户的租赁开销,提高有效数据传输速率,降低认知用户的通信中断概率。

2 基于 TOPSIS 算法的信道排序

认知无线电网络中的频谱切换在信道选择时,以往的方法[1,6-7]都是默认各个信道参数相同,根据频谱感知得来的信道空闲与否来进行选择,而认知网络中的频谱共享和分配策略往往还要考虑到租赁价格、带宽以及该授权用户出现的概率等情况。因此,在切换信道选择的过程中综合考虑上述各参数是很有必要的。此时,切换信道的选择问题,就成了一个多属性决策问题。

TOPSIS 算法是一种接近于简单加权(SAW)的排序方法,属于多目标决策方法。其基本原理是:计算各个方案的综合评价值,然后根据综合评价值的大小,对各方案进行排序。TOPSIS 算法作为有限方案多目标综合评价决策方法,排序结果直观、可靠。它在计算中,对数据分布、样本含量、指标多少无严格限制,计算简单方便,快速,可以满足 CRN 中的切换需求。

在 CRN 中的频谱切换中,将关于 n 个属性 m 个备选信道的多属性决策问题视为在 n 维空间中的 m 个点构成的几何系统中进行处理。TOPSIS 算法将根据多目标决策问题的正理想解 A^+ 和负理想解 A^-(最差解)进行排序,排序的过程是在目标空间中定义一个测度去衡量某个解靠近正理想解的程度。

综合考虑由频谱感知得到的授权用户功率(V_{i1})、由频谱共享得到的租赁价格(V_{i2})和信道带宽(V_{i3})以及由以往数据得出的授权用户出现概率(V_{i4}),算法步骤如下。

(1)建立标准化决策矩阵。该步骤主要是将各类型的属性范围转换为无量纲属性,得到决策矩阵 $\boldsymbol{R}$ 的元素 r_{ij}:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{M} x_{ij}^2}}$$

(2)建立加权标准化决策矩阵。权重向量:$w = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$,$\sum w = 1$。

$$\boldsymbol{V} = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & v_{14} \\ v_{21} & v_{22} & v_{33} & v_{24} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} & v_{34} \\ v_{41} & v_{42} & v_{43} & v_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & w_3 r_{13} & w_4 r_{14} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & w_3 r_{23} & w_4 r_{24} \\ w_1 r_{31} & w_2 r_{32} & w_3 r_{33} & w_4 r_{34} \\ w_1 r_{41} & w_2 r_{42} & w_3 r_{43} & w_4 r_{44} \end{pmatrix}$$

(3)确定正理想解 A^+ 和负理想解 A^-。

$$A^+ = (\max_{i\in M} v_{i1}, \max_{i\in M} v_{i2}, \max_{i\in M} v_{i3}, \max_{i\in M} v_{i4})$$

$$A^- = (\min_{i\in M} v_{i1}, \min_{i\in M} v_{i2}, \min_{i\in M} v_{i3}, \min_{i\in M} v_{i4})$$

(4)计算距离。

各方案与正理想解的距离为

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{N} (v_{ij} - v_j^+)}, i \in M$$

各方案与负理想解的距离为

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{N} (v_{ij} - v_j^-)}, i \in M$$

(5)计算与正理想解相对接近程度。

$$C_i^+ = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-), 0 \leqslant C_i^+ \in 1, i \in M$$

(6)排列顺序。依据 C_i^+ 的降序排列。

在认知用户进行信道(频谱)选择的时候,按照排序结果进行选择。

3 多属性参数设计

综合考虑授权用户功率(V_{i1})、租赁价格(V_{i2})和信道带宽(V_{i3})以及授权用户出现概率(V_{i4}) 4 个属性。它们各自的权值分配由认知网络的特点来决定,考虑不能对授权用户的通信造成干扰,因此,授权用户功率是首先要考虑的因素,并且应该获得较重的权值。通过仿真,我们给出了各参数对应权值取值的参考区间。

为了得到相关权值的合理参数,仿真中,我们随机产生 10 个信道的共计1 000组状态参数,认知用户需要通过频谱切换,在这 10 个信道上完成数据长度为 500 个单位时间的信息传输,频谱感知和频谱切换需要时间均为 10 个单位时间[8]。将这些数据经过 TOPSIS 算法进行重新排列,得到一个信道的排序列表,认知用户将根据列表进行选择。

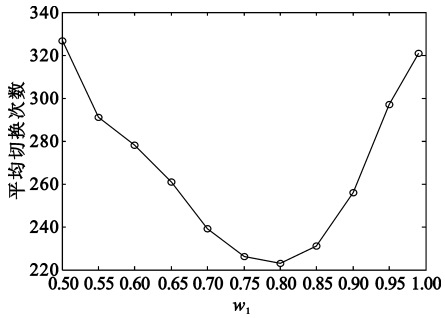


图 1　不同 w_1对应的平均切换次数

Fig.1 The handoff times in different w_1

图 1 中可以看出当 w_1的取值在 0.7 ~ 0.85 之间时,平均切换次数较少。

此外,还应考虑用户的租赁开销问题。通过仿真数据统计,图 2 给出了不同 w_1值对应的认知用户开销。

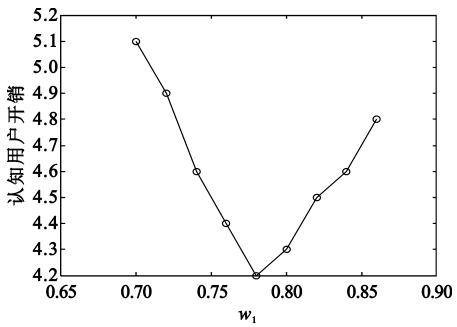


图 2　不同 w_1的值对应的用户开销

Fig.2 The user′s costs in different w_1

从图 2 中可以看出,不同的 w_1所对应的用户开销有所不同,当 w_1取值在 0.78 ~ 0.80 之间时用户租赁开销较小,此时认知用户租赁价格对应的权值 w_2在 0.08 ~ 0.1 之间。

4　仿真验证与应用分析

通过上面的参数设计可以看出,单独考虑某一个信道参数来进行信道选择所带来的用户开销要比综合考虑多个参数要大。因此,采用多属性决策算法来解决认知无线电中的频谱切换问题是很有价值和可行性的。为了验证该算法的合理性与有效性,采用 NS – 2 和 MATLAB 搭建了一个仿真场景。参数设计如下。

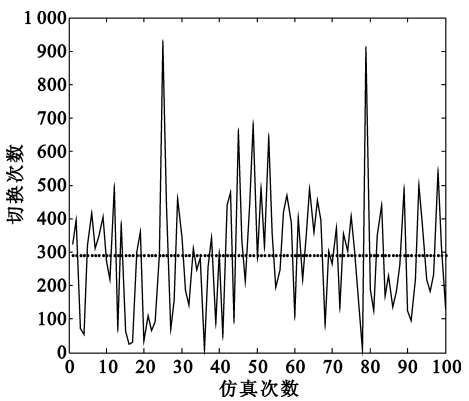
(1)仿真网络中有 10 个授权用户可使用的信道,认知用户可以使用某一个空闲信道进行通信,同时对信道进行侦听。当检测到授权用户出现时,认知用户必须马上让出信道。此时,为了完成数据传输,认知用户必须进行空闲信道检测,并执行切换。

(2)授权用户到达率是一个服从参数为 u 的泊松过程,其服务时间服从负指数分布。授权用户的接入概率在 0 ~ 0.5(这是因为当授权用户接入概率较高时,认知用户将会频繁切换,阻塞概率增加,实际中失去应用意义)之间。

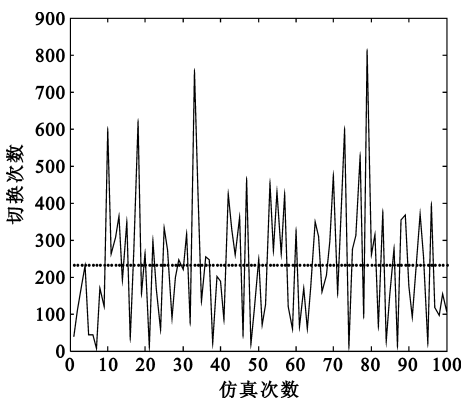
(3)认识用户要传输一段 540 s 的数据,以10 ms 为一个时隙,假设每个信道使用状态有4 000个时隙(40 s)[9],每次切换时间为20 ms。

4.1　频谱切换次数

图 3 给出了 w = (0.80 0.08 0.06 0.06)(以下仿真中 w 均取此值)的情况下,传统切换方案与基于 TOPSIS 算法的切换次数。为了使仿真结果尽可能准确,重复 100 次仿真。



(a)传统信道选择方案的切换次数



(b)基于 TOPSIS 的信道排序方案的切换次数

图 3　不同信道选择方案下切换次数对比

Fig.3 The handoff times in different scheme

从图 3(a)中可以看出,常规的信道选择方案最多切换次数达 927 次,最低切换次数 8 次,平均切换

次数达 291 次。采用 TOPSIS 算法进行信道排序后，最高切换次数在 816 次，最低切换次数 5 次，平均切换次数为 223 次。在 100 次的仿真中 83 次的切换次数小于排序前的切换次数，占总体比例的 83%。

从仿真图可以，看出基于 TOPSIS 算法的信道排序方案的切换次数要明显低于排序前。由于采用 TOPSIS 算法综合考虑影响信道切换的诸多因素后对备选信道进行排序，因此认知用户可以选择一个相对稳定、授权用户接入概率低的信道进行数据传输，被授权用户中断的概率更低，更有机会在切换之前传输一段更长的数据。这说明，采用基于 TOPSIS 算法进行信道排序，去选择主动切换的目标频段可以大大减少切换次数，从而缩短切换延时。

4.2 用户有效数据传输速率

由于认知用户是在未经授权的频带上进行数据传输，因此，尽可能在短的时间内传输更多的数据是很有必要的。频谱切换算法的主要目的就是在保证认知用户正常数据传输的情况下，尽量缩减认知用户的通信时间，提高认知用户有效数据传输速率。

图 4 给出了传统信道选择方案和基于 TOPSIS 算法的频谱切换方案下认知用户的有效数据传输速率的对比。由图可见，认知用户的有效数据传输速率随着授权用户的到达率的增加而下降，基于 TOPSIS 算法的信道排序方案要比传统方案下的有效数据传输速率高，最高高出 50%。

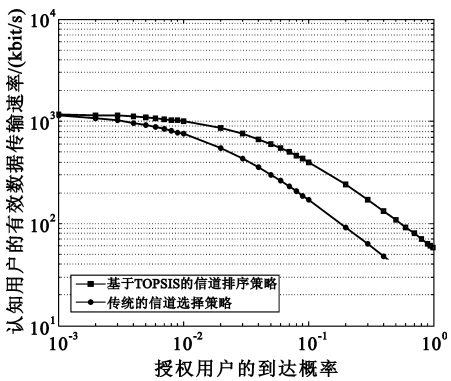


图 4 不同方案下认知用户的数据传输速率

Fig.4 The effective date rate in different scheme

由于基于 TOPSIS 算法的信道排序策略可以有效减少认知用户的切换次数，从而减少了因频繁切换所带来频谱选择引起的时耗问题，因此减少了频谱切换造成的延时和性能下降，有效提高了认知用户的有效数据传输速率。

4.3 中断概率比较

呼叫中断是指一个认知用户的切换请求到达时，系统中没有可用信道供其切换，在认知用户允许的等待时间 T 内仍然未能为其提供可供切换的信道，则切换失败，认知用户通信中断。认知网络中的呼叫中断直接导致认知用户通信失败，这是通信中最不希望出现的情况。

文献[10]中分析了认知无线电网络中基于信道预留方案的频谱切换中认知用户的中断概率。根据文中的分析结论，本文仿真了基于 TOPSIS 算法的信道排序方案和传统算法下的认知用户阻塞概率，比较结果如图 5 所示。

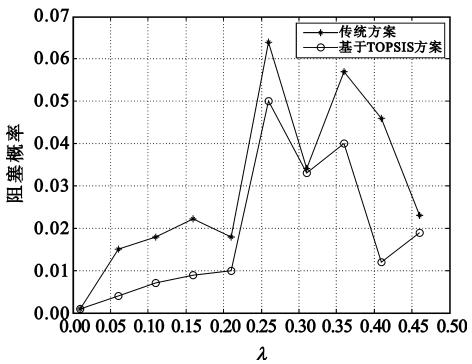


图 5 不同方案下认知用户阻塞概率

Fig.5 The outage probability of communication in different scheme

文献[10]中给出了传统信道选择下，认知用户中断概率的理论值在 0.01 ~ 0.05 之间。通过图 5 中可以看到：基于 TOPSIS 算法的信道排序方法的用户中断概率要比传统方案的中断概率要低，最优时的中断概率只有传统方案下的 1/4。由此可见，采用基于 TOPSIS 算法的信道排序方案可以使认知用户在切换中获得一个较稳定的传输信道完成通信，降低中断概率。

CRN 中，频谱切换的方案主要有：一是停留在原来信道上，等待授权用户传输结束；二是预先建立切换信道列表，在需要切换时在列表中选择一个空闲信道执行切换；三是进行频谱检测，检测到空闲信道后执行切换。可以看出，上述方案都依赖于信道选择。因此，在接入或者切换中，选择一个可靠性比较高、性能相对稳定的信道，对认知用户通信来说意义尤为重大。从上面的分析可以看出：基于 TOPSIS 算法的信道排序方案可为认知用户提供一个性能相

对稳定的信道来进行通信。因此,该方案在实际使用中具有较强的可行性。

5 结　论

本文提出了基于 TOPSIS 算法的信道排序的频谱切换方案,综合考虑了影响认知无线电频谱切换中信道选择的 4 个因素:授权用户功率、租赁价格、信道带宽以及授权用户出现概率。通过 TOPSIS 算法将它们进行融合加权,通过仿真验证,设计了各个重要参数的权值。最后根据切换中的切换次数、认知用户有效数据传输速率和通信中断概率 3 项指标来验证基于 TOPSIS 算法的有效性。仿真结果表明,基于 TOPSIS 算法的信道排序方案在多达 80% 的情况下,性能要优于传统的信道选择方案。这是由于综合考虑了频谱切换中的诸多因素,因此可以为认知用户提供一个参数相对稳定的信道来进行通信,提高认知网络的实用性。

本文提供的方案具有一定的不稳定性,在某些情况下,可能比传统的方案要差,这是因为多目标融合算法的复杂性以及算法中权值的设置不当引起的。可以考虑引入自适应算法,动态调整不同参数对应的权值,但在引入改进方案的同时需考虑算法的复杂度和可执行性问题。

参考文献:

[1] Wang Li - Chun, Wei Chung. Spectrum handoff for cognitive radio networks: reactive - sensing or proactive - sensing [C]//Proceedings of 2008 IEEE International Performance Computing and Communications Conference. Austin, TX, US: IEEE, 2008: 343 - 348.

[2] Wang Li - Chun, Chen Anderson. On the performance of spectrum handoff for link maintenance in cognitive radio [C]//Proceedings of the 3rd International Symposium on Wireless Pervasive Computing. Santorini, Greece: IEEE, 2008: 670 - 674.

[3] 方波,宋俊德. 基于位置信息的 IP 层切换判决机制及性能分析[J]. 电子学报,2004(12A):153 - 156.
FANG Bo, SONG Jun - de. IP Layer Handoff Decision and Performance Analysis Based on Location Information[J]. Acta Electronica Sinica, 2004(12A): 153 - 156. (in Chinese)

[4] Daniel W, James G, Adam W. Reliable link maintenance in cognitive radio systems[C]//Proceedings of 2005 IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Network. Baltimore, MD, US: IEEE, 2005: 371 - 378.

[5] 岳超源. 决策理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
YUE Chao - yuan. Decision Theory and Methods[M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)

[6] Ma Rui - Ting, Hsu Yu - Pin, Feng Kai - Ten. A POMDP - Based Spectrum Handoff Protocol for Partially Observable Cognitive Radio Networks[C]// Proceedings of IEEE Wireless communication and Networking Conference. Budapest, Hungary: IEEE, 2009: 1 - 6.

[7] Liu Hong - jie, Wang Zhong - xu, Li Shu - fang. Study on the performance of spectrum mobility in cognitive wireless network [C]// Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Communication Systems. Guangzhou, China: IEEE, 2008: 1010 - 1014.

[8] Zhang Yan. Spectrum Handoff in Cognitive Radio Networks: Opportunistic and Negotiated Situations[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Communications. Dresden, Germany: IEEE, 2009: 1 - 2.

[9] IEEE P802.22™/DRAFTv1.0, Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification: Policies and procedures for operation in the TV Bands[S].

[10] 郭彩丽,曾志明,冯春燕,等. 机会频谱接入系统的切换请求排队机制及性能分析[J]. 电子与信息学报. 2009,31(6):1505 - 1508.
GUO Cai - li, ZENG Zhi - ming, FENG Chun - yan, et al. Performance Analysis of Handoff Queuing for Opportunistic Spectrum Access System[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2009, 31(6): 1505 - 1508. (in Chinese)

作者简介:

蒋金波(1987—),男,安徽六安人,2009 获工学学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为认知无线电中的频谱切换;

JIANG Jin - bo was born in Liu'an, Anhui Province, in 1987. He received the B.S. degree in 2009. He is now a graduate student. His research direction is the spectrum handoff in CRN.

Email: 512046814@qq.com

王可人(1957—),男,江苏镇江人,教授、博士生导师,主要研究方向为通信与通信对抗等;

WANG Ke - ren was born in Zhenjiang, Jiangsu Province, in 1957. He is now a professor and also the Ph.D. supervisor. His research concerns communication and communication countermeasure.

付　欣(1986—),女,安徽六安人,讲师;

FU Xin was born in Liu'an, Anhui Province, in1986. She is now a lecturer.

熊　最(1988—),男,湖北黄冈人,硕士研究生,主要研究方向为直接序列扩频通信技术。

XIONG Zui was born in Huanggan, Hubei Province, in1988. He is now a graduate student. His research concerns DSS communication technology.