

一种权重融合模型的物联网频谱 分配方案及其免疫实现*

刘合安

(湖南城市学院 信息科学与工程学院, 湖南 益阳 413000)

摘要: 采用认知无线电技术,设计了一种空闲频谱资源选择排序方法。在进行频谱选择时,提出了一种无偏好信息的主客观权重融合方法,提高权重设置的合理性,并将求解权重转换为一个最优化问题,通过免疫优化算法进行求解。实验结果表明,该算法可以有效选择满足物联网节点传输需求的频谱,并具有较高的网络吞吐量。

关键词: 物联网; 权重融合; 免疫优化; 频谱分配

中图分类号: TP18; TP393

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2013)05-1489-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.05.053

Weights fusion model for spectrum allocation scheme of Internet of things and its immune optimization based achievement

LIU He-an

(School of Information Science & Engineering, Hunan City University, Yiyang Hunan 413000, China)

Abstract: This paper designed an idle spectrum allocation selection algorithm using cognitive radio technology, and proposed a weight fusion model with subjective and objective for spectrum decision-making to improve the rationality of weights. And how to get the weights was converted into an optimization problem and solved it by immune optimization. The experimental results show that the algorithm can select the suitable spectrum to meet the node transmission and improve the throughput of the network.

Key words: Internet of things; weight fusion; immune optimization; spectrum allocation

物联网的迅速发展,为日常生活带来了巨大便利。无线传输是物联网的主要传输方式,因此,物联网对无线频谱的需求非常巨大,同时也为无线频谱资源的使用带来了巨大挑战^[1,2]。目前的频谱资源是固定管理方式,导致了可用频谱资源日益紧缺。物联网频谱规划中,一方面需要规划新的可用频段,同时也需要研究新的可用频谱共享机制,提高已分配空闲频谱的利用率^[3]。已有的研究表明,已有固定分配方式中,授权频段的使用率并不高^[4]。认知无线电技术为提高已有授权频段的利用率提供了一个新的有效途径。在认知无线电中,用户分为主用户(授权用户)和次用户(认知用户),次用户可以在不影响主用户正常通信的情况下,选择机会接入主用户的空闲频谱。认知无线电技术被认为是解决物联网大量频谱需求的有效途径之一^[5]。目前,基于认知无线电的各种频谱分配已经得到了广泛研究^[6,7],但其在物联网中的频谱分配应用还不多见^[8]。基于此,本文提出了一种物联网环境下,基于免疫优化的空闲频谱分配算法。

1 问题建模

1.1 问题描述

对于任何一个认知用户 i 而言,假设可用空闲频谱资源为 m 个,每一个空闲频谱资源的属性使用 n 个指标来描述,因此可用频谱资源和频谱属性构成了一个 $m \times n$ 的决策矩阵 $Y =$

$[y_{j,i}]_{m \times n}$ 。假设空闲频谱资源的属性权重向量为 $W = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$,计算各属性对应的权重 w_i ,并用其对应的决策矩阵 Y 进行加权,从而可以得到决策方案的优先级别。

由此可见,如何确定各属性的权重是一个关键问题。已有一些多目标决策问题的求解方法,如加权法和TOPSIS法等^[9]。这些方法都与评价指标的权重有重要的关系。

从本质上讲,权重是目标重要性的数量化表示。已有的研究将权重分为两大类:主观赋权法和客观赋权法^[9,10]。主观赋权法是决策人员根据自己的经验或者偏好,按照重要性程度对各评价指标进行赋值计算。常见的主观赋权法有层次分析法(AHP)、专家调研法(Delphi)、环比评分法、二项系数法、比较矩阵法等^[11]。客观赋权法不同于主观赋值法,它通过各方案评价指标值的差异而确定各指标权重。其主要有主成分分析法、熵技术法、均方差法等。从根本上看,主观赋值法使得决策带有主观随意性,而客观赋值法却忽视了决策人员的主观信息。很显然,如果将主观赋值法和客观赋值法结合起来,使得结果既能体现主观信息,又能体现客观信息,将使决策结果更科学。基于此,本文提出了一种无偏好信息的主客观权重融合方法,提高权重设置的合理性。

1.2 问题建模

主客观权重融合模型形式化定义如下:

定义1 主观权重向量是通过主观赋值法求出的权重向

量,表示为 $W_z = [w_{z_1}, w_{z_2}, \dots, w_{z_m}]$ 。其中, $\sum_{j=1}^m w_{z_j} = 1, w_{z_j} \geq 0$ 。

定义 2 客观权重向量是通过客观赋值法求出的权重向量,表示为 $W_k = [w_{k_1}, w_{k_2}, \dots, w_{k_m}]$ 。其中, $\sum_{j=1}^m w_{k_j} = 1; w_{k_j} \geq 0$ 。

定义 3 权重融合向量是通过融合主客观权重向量求出的权重向量,表示为 $W = [w_1, w_2, \dots, w_m]$ 。其中, $\sum_{j=1}^m w_j = 1; w_j \geq 0$ 。

定义 4 设 $V = [v_1, v_2, \dots, v_n], F = [f_1, f_2, \dots, f_n]$ 是 n 维空间的两个向量,则 V 和 F 的向量距离为: $\text{dis}(V, F) = \sum_{i=1}^n (v_i - f_i)^2$ 。

定义 5 多目标决策就是与主观决策和客观决策偏差(距离)之和最小的决策,即(其中 Y 为决策矩阵)

$$\min D = \text{dis}(W_z \times Y, W \times Y) + \text{dis}(W_k \times Y, W \times Y)$$

求解上面的式子,可得融合权重向量 W 。

1.3 决策流程

本文设计的决策步骤如下:

a) 对评价指标矩阵 $X = (x_{ij})_{n \times m}$ 进行规范化,得到评价指标矩阵 $Y = (y_{ij})_{n \times m}$;

b) 给出评价指标的主客观权重矩阵 W_z, W_k ;

c) 建立多目标决策数学模型;

d) 采用免疫算法求融合权重 W ;

e) 计算各个方案的决策值 $f_i = \sum_{j=1}^m w_j \times y_{ij}$, 然后根据决策值的大小进行排序。

由于在上面的分析中,已经将求解权重 W 转换为最小化问题(定义 5)。本文采用智能计算中的免疫优化算法进行求解。

2 基于免疫优化算法的权重求解过程

2.1 免疫优化算法

免疫优化是一种受生物免疫原理启发的智能优化方法,已经在控制、图像处理、网络安全等工程应用领域得到了广泛应用^[7,8,12,13]。免疫算法求解中,抗体即为优化问题的候选解,免疫算法通过克隆扩增、变异、选择等算子对候选解集实现优化。

2.2 算法具体实现

1) 编码技术 编码是免疫算法求解的关键技术之一。由于要求得最优的权重设置,抗体初始权重编码采用分段编码,具体子空间的个数由频谱资源的属性指标决定。每个子空间的大小由初始主观权重和客观权重决定。

假设频谱资源的属性指标为三个,主观权重为 $W_z = [0.12, 0.37, 0.51]$,客观权重为 $W_k = [0.22, 0.31, 0.47]$,则初始产生三个子空间: $[0.12, 0.22], [0.31, 0.37], [0.47, 0.51]$ 。

2) 亲和度函数 由于要求得满足最小偏差的权重值,所以直接将式(1)作为亲和度函数。本文设计的算法基本步骤如下:

a) 初始化。设进化代数 k 为 0,随机初始化种群 A ,规模为 $n(n = |A|)$,则初始化种群记为 $A(k) = \{A_1(k), A_2(k), \dots, A_n(k)\}$ 。同时设置记忆种群 $M(k)$,规模为 $s(s = n \times b\%)$,初始为从 $A(k)$ 中随机选取,则 $M(k) = \{M_1(k), M_2(k), \dots,$

$M_s(k)\}$;设置保留种群 $R(k)$,规模为 $t = n - s$,则 $R(k) = \{R_1(k), R_2(k), \dots, R_t(k)\}$,所以有 $A(k) = M(k) \cup R(k)$ 。

b) 亲和度评价。根据要优化的目标函数(定义 5,即抗体的亲和度函数),分别计算抗体种群亲和度,并按亲和度大小降序对抗体进行排列,选出前 s 个抗体更新记忆种群 $M(k)$ 。

c) 终止条件判断。如果达到最大迭代次数 $k_{\max}$,算法终止,将记忆种群中保存的亲和度最高的抗体进行映射,即得到了最佳的结果;否则,转步骤 d)。

d) 克隆扩增 T_c^c 。对这 s 个抗体进行克隆操作 T_c^c ,形成种群 $Y(k)$ 。克隆操作 T_c^c 定义为

$$Y(k) = T_c^c(M(k)) = [T_c^c(M_1(k)), T_c^c(M_2(k)), \dots, T_c^c(M_s(k))]^T$$

e) 克隆变异 T_m^c 。依据概率 p_m 对克隆后的种群 $Y(k)$ 进行变异操作 T_m^c ,得到抗体种群 $Z(k)$ 。定义为 $Z(k) = T_m^c(Y(k))$ 。变异采用基本位变异^[8]。变异后的种群为 $Z(k) = \{z_1(k), z_2(k), \dots, z_Q(k)\}$ 。

f) 克隆选择 T_s^c 。定义为 $A(k+1) = T_s^c(Z(k))$ 。具体方法为:为了保持规模稳定,重新对 $Z(k)$ 进行亲和度函数评价,选择前 s 个亲和度高的抗体组成记忆种群 $M(k+1)$;同时,为保持种群多样性,随机生成保留种群 $R(k+1)$ (规模为 $t = n - s$); $M(k+1)$ 和 $R(k+1)$ 组成下一代种群 $A(k+1)$;记 $A(k+1) = \{A_1(k+1), A_2(k+1), \dots, A_n(k+1)\}$;转步骤 b)。

3 仿真及结果分析

为了验证算法结果,在 MATLAB 下进行仿真实验。假设认知用户和授权用户的到达概率均服从泊松分布^[8],已有的空闲频谱资源分为两类:空闲频谱 $\{1, 2, 3\}$ 为开放式 ISM(industrial scientific medical)定义的免费频段资源;空闲频谱 $\{4, 5, 6\}$ 为蜂窝网通通信频段频谱资源。各个空闲频谱资源的属性特征如表 1 所示。

表 1 空闲频谱各属性特征值

频谱资源序号	带宽/kbps	时延/ms	抖动/ms	丢包率/%
1	4 000	160 ~ 500	10	<5
2	4 500	130 ~ 500	15	<5
3	5 000	140 ~ 500	20	<5
4	1 500	40 ~ 50	3	<1
5	100	35 ~ 50	4	<1
6	1 000	40 ~ 50	3	<1

仿真中产生三种类型的业务,即语音、视频和文件传输。其中语音业务的服务质量要求时延 < 50 ms,抖动 < 5 ms,丢包率 < 3%,带宽占用 9.6 kbps;视频业务要求时延 < 50 ms,丢包率 < 5%,带宽占用 100 kbps;而文件传输类业务对时延、抖动和丢包率无特殊需求,支持最高传输速率为 100 kbps。

免疫优化算法中,经过实验调整,设最大进化代数 $k_{\max} = 1000$;种群规模 $n = 20$,记忆单元规模 $s = 0.4 \times n$;克隆控制参数 $n_t = 20$,变异概率 $p_m = 0.1$ 。

实验过程中,主观权重赋值由决策人员根据自己的偏好对方案进行评估。具体参考文献[8],通过层次分析法^[9]得到每个属性指标对总目标的综合权重,进而求得主观权重向量。客观权重赋值通过熵技术法^[10],也就是利用信息熵计算出各评价指标的权重,为多个评价指标的综合评价提供依据。熵技术法反映了各评价指标的差异程度,差异度越大,则权重越大,反之越小^[10]。主客观权重确定后,建立综合权重求解的优化模型,采用免疫优化算法求出融合权重。

图1显示了使用本文方案对不同类型业务随空闲频谱资源的分配情况。对于语音业务,本文方案优先将其分配到空闲频谱5上进行传输,这是由于该频段的频谱资源能够很好地满足语音业务的服务质量要求。对于视频和文件传输业务,在满足时延要求的前提下,本文方案优先将其分配到空闲频谱3上进行传输,这是由于此空闲频谱资源可以提供较高的传输带宽。

图2显示了网络有效吞吐量(满足认知用户服务质量需求的吞吐量)随认知用户数量的变化关系。相比文献[8],本文解决方案采用更多的频谱资源属性描述空闲频谱资源(包括时延、抖动和丢包率),能够更好地满足认知用户业务传输的服务质量需求,提高网络有效吞吐量,满足物联网节点的数据传输需求。

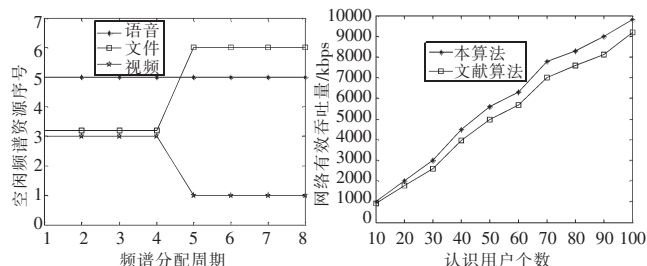
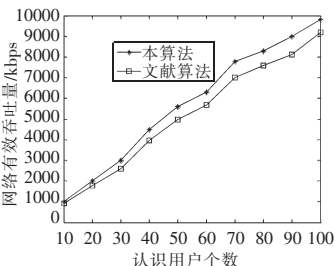


图1 物联网节点的频谱分配

图2 网络有效吞吐量与
认知用户数量关系

4 结束语

本文针对物联网的频谱需求问题,使用认知无线电技术频谱分配,设计了一种新的权重融合模型,融合了主观赋值和客观赋值的优点,并使用免疫优化算法求其权重向量。文中使用多个频谱属性对空闲频谱资源进行刻画。实验结果表明,本文方案可以实现频谱资源的有效分配,满足物联网节点的传输质量需求。

(上接第1466页)

参考文献:

- [1] 郑心炜,余胜生. 基于交换和转移技术的P2P流媒体多播[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(1): 83-87.
- [2] 陈波,陈世平. 应用层组播的研究与算法实现[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(20): 5195-5198, 5202.
- [3] SPROULU T, CHAMBERLAIN R D. Distributed algorithms for the placement of network services [C]//Proc of International Conference on Internet Computing. 2010:146-152.
- [4] 杨春德,任静静. 时延受限费用最小多播树算法[J]. 计算机应用, 2009, 29(1): 25-27.
- [5] 杨珊,黄东军,周伟. 基于可用带宽测量的应用层组播算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(2): 86-88.
- [6] 张一鸣,卢锡城,郑倩冰,等. 一种面向大规模P2P系统的快速搜索算法[J]. 软件学报, 2008, 19(6): 1473-1480.
- [7] JIANG J W, ZHANG Shao-quan, CHEN Ming-hua, et al. Minimizing streaming delay in homogeneous peer-to-peer networks [C]//Proc of IEEE International Symposium on Information Theory. 2010: 1783-1787.
- [8] LIU Tian-shi, LI Jiao, CAO Qing-nian. Over view of P2P distributed database system [C]//Proc of International Conference on Web Information System and Mining. 2010:192-197.
- [9] 刘天时,李皎. 基于蚁群算法的P2P通信树优化方法研究[C]//

参考文献:

- [1] AKYILDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y. Wireless sensor networks: a survey [J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.
- [2] 孙其博,刘杰,黎彝,等. 物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3): 43-47.
- [3] 姚海鹏,张智江. 异构环境下物联网频谱规划研究[J]. 电信科学, 2012, 35(3): 81-85.
- [4] HAYKIN S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2): 201-220.
- [5] 杨双懋,郭伟,唐伟. 一种最大化网络吞吐量的认知无线网络跨层优化算法[J]. 计算机学报, 2012, 35(3): 491-503.
- [6] 柴争义,刘芳. 混沌量子克隆算法求解认知无线网络频谱分配问题[J]. 物理学报, 2011, 60(6): 068803.
- [7] 柴争义,刘芳. 基于免疫克隆选择优化的认知无线网络频谱分配[J]. 通信学报, 2010, 31(11): 92-100.
- [8] 葛雨明,孙毅,蒋海,等. 基于认知无线电技术的动态频谱分配方案研究[J]. 计算机学报, 2012, 35(3): 446-453.
- [9] 陈光柱. 产品免疫概念设计理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [10] 王晓晴,唐加福,宫俊,等. 基于随机权重多目标遗传算法的多目标动态单元构建方法[J]. 管理学报, 2008, 5(4): 516-519.
- [11] 陈得宇,张仁忠,沈继红,等. 基于适应性权重遗传算法的多目标无功优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(6): 1-7.
- [12] GONG Mao-guo, JIAO Li-cheng, LIU Fang, et al. Memetic computation based on regulation between neural and immune systems: the framework and a case study [J]. Science China: Information Sciences, 2010, 45(11): 2131-2138.
- [13] GONG Mao-guo, JIAO Li-cheng, ZHANG Li-ning, et al. Immune secondary response and clonal selection inspired optimizers [J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(2): 237-253.
- [14] 中国人工智能进展. 2009: 458-461.
- [10] 李皎,刘天时. 一种基于多连接的并发P2P通信树优化方法研究[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2010, 40(6): 970-974.
- [11] 刘天时,赵嵩正. 点对点(P2P)分布式数据库系统[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [12] 刘天时,赵嵩正. 一种分层式2PC协议通信算法研究[J]. 计算机工程, 2004, 30(6): 104-105, 141.
- [13] LIU Tian-shi, LI Jiao, CAO Qing-nian. Study on a network communication optimization algorithm of P2P mode [C]//Proc of International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence. 2009: 212-217.
- [14] LIU Tian-shi, YANG Kun-yi, LI Jiao. Study on a concurrent communication tree algorithm of P2P multi-link mode [C]//Proc of International Conference on Multimedia Technology. 2010: 2034-2038.
- [15] 曹佳,鲁士文. 应用层组播的最小延迟生成树算法[J]. 软件学报, 2005, 16(10): 1766-1773.
- [16] 曾彬,张大方,黎文伟,等. 基于节点性能估算的应用层组播算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(8): 12-16.
- [17] LIU Shao, CHEN Ming-hua, SENGUPTA S, et al. P2P streaming capacity under node degree bound [C]//Proc of International Conference on Distributed Computing Systems. 2010: 587-598.
- [18] 杨玲. 基于优先度的层次化应用层组播算法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.