

基于分簇结构的车联网认知频谱分配机制

薛玲玲 樊秀梅

(西安理工大学自动化与信息工程学院 西安 710048)

摘 要 目前的频谱分配机制主要采用固定分配模式,随着无线网络的快速发展,有限的频谱资源已经难以满足通信需求,因此采用认知无线电技术解决频谱资源短缺问题是一种有效的解决方案,而认知频谱的分配是提高频谱利用率的关键技术。文中基于车联网这个特定应用来研究认知频谱的分配机制,提出了一种基于分簇结构的三步式认知频谱分配机制,其中空闲频谱拥有者为授权用户,路口固定单元为簇首节点,认知车辆为簇内普通节点。该认知频谱分配机制的第一步是判断网络当前的负载状态,只有当重载或超重载时才启动认知频谱机制;第二步是采用基于交通拥堵优先级定价的频谱分配算法进行授权用户与簇首节点间的频谱分配,在授权用户获取一定收益的同时,保证簇首总频谱效用最大;第三步是采用基于消息优先级的均衡价格的频谱分配算法进行簇内用户的频谱分配,利用簇首与簇内不同节点的效用函数,推导簇内供求函数,同时结合市场均衡原理,求出最佳簇内频谱单价。从分配的频谱数和频谱收益两方面分析仿真结果可知,簇内采用的基于消息优先级的均衡价格的频谱分配算法优于无优先级的,簇间采用的基于交通拥堵优先级定价的频谱分配算法优于平均分配的。仿真结果充分表明,采用所提出的认知频谱分配机制分配的频谱数基本符合实际用户的频谱需求量,提高了频谱收益和频谱利用率,保证了安全消息的优先传输。

关键词 认知无线电,车联网,优先级,均衡原理,频谱分配

中图分类号 TP393 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2019.09.020

Cognitive Spectrum Allocation Mechanism in Internet of Vehicles Based on Clustering Structure

XUE Ling-ling FAN Xiu-mei

(School of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract Nowadays, the spectrum allocation mechanism adopts a fixed allocation mode. With the rapid development of wireless network, it is difficult for limited spectrum resources to meet the communication requirements. Therefore, it is an effective solution to use cognitive radio technology to solve the shortage of spectrum resources. Cognitive spectrum allocation is a key technology to improve spectrum utilization. Based on the specific application of Internet of Vehicles, this paper studied the allocation mechanism of cognitive spectrum, and proposed a three-step cognitive spectrum allocation mechanism based on clustering structure, in which the idle spectrum owner is primary user, the intersection fixed unit is cluster head node, and the cognitive vehicle is intra-cluster ordinary node. The first step of this mechanism is to judge the current load status of the network. Only when the network load status is overloaded or super heavy load, the cognitive spectrum mechanism will be activated. In the second step, the spectrum allocation algorithm based on traffic congestion priority pricing is adopted for the spectrum allocation between the primary user and the cluster head node, so as to ensure that the total spectrum utility of the cluster head is maximized while the primary user obtains certain income. In the third step, the equalization price spectrum allocation algorithm based on message priority is utilized for the spectrum allocation of the nodes in the cluster, the utility function of the cluster head and the nodes in the cluster is used to derive the supply and demand functions within the cluster, and the market equilibrium principle is used to find the optimal unit price of the spectrum within the cluster. The simulation results are analyzed in terms of the allocated spectrum number and spectrum benefit, and the results demonstrate that the spectrum allocation algorithm based on message priority is better than the non-priority, and the spectrum allocation algorithm based on traffic congestion priority pricing between clusters is better than the average allocation. The results also show that the proposed cognitive spectrum allocation mechanism basically meets the spectrum demands of actual users, improves spectrum revenue and spectrum utilization, and ensures the priority transmission of security messages.

到稿日期:2018-08-20 返修日期:2018-11-08 本文受陕西省百人计划,陕西省重点研发计划重点项目(2017ZDCXL-GY-05-01),国家自然科学基金项目(61272509)资助。

薛玲玲(1993-),女,硕士生,主要研究方向为车联网中资源管理,E-mail:1045771613@qq.com;樊秀梅(1967-),女,博士,教授,博士生导师,CCF高级会员,主要研究方向为新一代无线网络关键理论与技术研究、车联网,E-mail:xmfan@xaut.edu.cn(通信作者)。

Keywords Cognitive radio, Internet of vehicles, Priority, Equalization principle, Spectrum allocation

1 引言

据《道路交通安全发展报告(2017)》显示,现在每年因交通事故死亡的人数达到124万,而中国在全世界因交通事故死亡人数中的排名第二,2016年中国由于道路交通安全事故造成63093人死亡,直接造成12.1亿元的经济损失^[1]。因此,加快发展智能交通系统的步伐是刻不容缓的,而车联网(Internet of Vehicles, IoV)是智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)的重要基础。车联网是由道路上具有感知、计算、存储和无线通信能力的移动车辆及其周边的基础通信单元组成的一种新型自组织网络,是提高交通安全驾驶的有效手段,也为人们出行娱乐等服务提供了有效平台^[2-3]。

目前频谱分配主要采用固定分配的方式,美国联邦通讯委员会(FCC)将5.850~5.925GHz频段上的75MHz频谱作为车载通信的专用频谱。随着汽车数量的不断增多,与车联网相关的业务种类和数据量迅猛增长,车载通信的专用频谱已经难以满足其需求^[4]。但从FCC的大量研究报告了解到,现在频谱资源的使用情况极度不平衡,有些授权频段有大量用户长时间使用,一直处于拥挤状态,而另一些授权频段只有极少数用户短时间占用,基本处于空闲状态。认知无线电技术是一种新兴的能够提高无线系统频谱利用率的智能技术,它通过不断认知其外部环境信息,感知周围的空闲频谱,在不影响授权用户正常工作的条件下,伺机使用授权用户的空闲频段,在时域、空域及频域上实现频谱资源的“二次利用”,从而提高频谱利用率^[5]。这种方法可以解决目前频谱资源由于不合理利用而造成的频谱资源“浪费”。

频谱分配是认知无线系统有效通信的关键技术,本文主要对车联网这个特定环境中的认知频谱设计合理且有效的分配算法,使车联网中的紧急消息得到及时传输,特别是交通安全紧急信息^[6-9]。本文设计的基于簇结构的三步式认知频谱分配机制既保证了车联网中安全信息的优先传输,也提高了频谱利用率。

2 相关工作

近年来,车联网虽得到了越来越广泛的关注,但车联网中的某些关键技术仍处于研究阶段,其中有限的可用频谱资源极大地限制着车联网的快速发展^[10-12]。Qian等^[13]研究了认知车载网络中的频谱感知技术,提出了一种基于Neyman-Pearson准则的频谱感知能量检测和协同感知计数规则。Hussain等^[14]提出了一种基于RSU的高效率信道接入方案,该方案适用于高流量和高移动性的VANET,可根据车辆将离开RSU范围的时间(即截止时间)动态地改变竞争窗口,优先服务较短时限的车辆,该方案改善了吞吐量、退避率、RSU响应时间和公平性。此外,2003年12月美国联邦通信委员会对美国《电波法》的FCC的修正案的第15章中规定“只要具备认知无线电功能,即使用途未获许可的无线终端也能使用无线许可的现有频段”,这促进了认知无线电应用于车联网

中的发展,同时也为未来频谱管理的改进奠定了一定的法律基础^[15]。

目前认知无线电的分配方法主要分为基于图论的、基于频谱交易的、基于拍卖的和基于博弈论的。

基于图论的频谱分配方法是基于图论着色提出的,将认知无线网络抽象为一个简单图,其中每个顶点代表一个认知用户,每种颜色都代表一段频段,顶点间的连线代表两认知用户间存在的干扰,则有连线的认知用户不能同时占用相同的频段。Sheng-Nan等^[16]提出了一种基于图论的满足不同需求的频谱分配算法,其可保证优先级高的链路优先分配到信道。该算法具有良好的抗干扰性、公平性,也可获得更高的吞吐量。基于图论的认知频谱分配方法虽然简单,但多适用于静态的网络环境,因为如果网络拓扑改变,抽象的简单图就会改变,需要重新画图并着色分配频谱,如果网络变化太快,分配结果的有效性会相对较差。而车联网是一种动态网络,其网络拓扑结构会频繁改变,因此基于图论的方法不适用于车联网中的认知频谱的分配。

基于频谱交易的认知频谱分配方法即可视为商品买卖交换的过程,其中,空闲频谱资源为商品,授权用户为频谱卖家,认知用户为频谱买家,买家和卖家可以直接交易,或通过中间人间接交易。Zhang等^[17]研究了多个授权用户(卖方)、多个认知用户(买方)和一个代理的认知无线网络的频谱交易,其中买方向代理提交频谱需求量,代理根据频谱总需求量及多个卖方的价格从各个卖方处购买频谱,每个卖方通过供应与需求函数动态调整价格,只有当市场均衡时分配才达到最佳,该算法提高了认知用户的满意度。基于频谱交易的认知频谱分配方法适用于授权用户与认知用户间频谱的租用,其主要以价格为契机,不断调整价格,使买卖双方实现双赢,从而完成频谱租用的交易。基于频谱交易的认知频谱分配方法授权用户可通过租用其空闲频谱获取一定的经济收益,这可以激励更多的授权用户愿意与认知用户共享自己的空闲频谱,从而提高总的频谱利用率。

基于拍卖的认知频谱分配方法即为拍卖频谱,这与微观经济学中的拍卖原理相同,其中基站或中心控制接入点作为拍卖人,认知用户作为频谱买主进行竞价,基本原则是“公平公开竞价,价高者得”,即出价最高的买主赢得空闲频谱的暂时使用权。Liu等^[18]结合认知用户的通信质量要求,提出了基于Vickrey-Clarke-Groves(VCG)的拍卖模型,买家根据所有买家拍卖的历史数据预测其他买家的竞价,从而优化自己的竞价策略,拍卖人再根据所有买家的出价高低分配频谱,该算法提高了认知用户的效益与频谱利用率。基于拍卖的认知频谱分配方法虽然可使授权用户获取一定的经济收益,从而促进授权用户共享其空闲频谱的积极性,但拍卖更注重认知用户的公平性,而要同时实现高效性与有效性会将问题复杂化;并且拍卖必须有一个稳定的拍卖人,适用于稳定的集中式网络。

基于博弈论的认知频谱分配方法即不同认知用户频谱策略选择的博弈过程,其中博弈论的行为集即认知用户从空闲

频谱中选择的频段的不同方案,系统总收益为所有认知用户选择某空闲频段后产生的收益和,基于博弈论的频谱分配方法的关键点是提出的算法是否存在纳什均衡。Pei 等^[19]提出了分布式的基于信誉联盟博弈的认知频谱分配方法,其考虑了次用户(SU)的行为及次用户的频谱属性要求对 CR 性能的影响,将频谱分配问题建模为一个联盟博弈,利用联盟内部和联盟间的需求,按概率进行分配频谱,该算法提高了 SU 间的公平性和频谱利用率。基于博弈论的认知频谱分配方法可以有效提高 CR 环境下频谱分配的效率和公平性,具有良好的灵活性和扩展性,适合动态网络环境,但该算法的复杂性比较高,开销较大。

基于以上分配方法及车联网的特点,文中提出了基于分簇结构的三步式认知频谱分配机制,在网络重载或超重载时,启动车联网中的认知频谱机制,通过频谱检测技术感知周围的空闲频谱,以 overlay 方式在保证授权用户不受影响的前提下伺机使用感知的空闲频谱。簇间采用基于交通拥堵优先级的频谱分配方法,簇内采用基于车联网中信息优先级的均衡价格分配算法,本文提出的算法在保证车联网中安全消息的优先传输下,提高了频谱利用率,降低了算法的复杂度和算法开销。

3 系统模型

3.1 网络模型

车联网中认知频谱的分配机制是基于分簇结构的三步式频谱分配算法,其中车联网中空闲频谱的拥有者为授权用户,对空闲频谱提出使用申请的车辆节点为认知用户,采用 overlay 的动态频谱接入技术。Overlay 的动态频谱接入技术指授权用户与认知用户工作时使用不同的频段,同时只要授权用户想要使用空闲频谱,认知用户就会自动暂停空闲频谱的使用,这种动态频谱接入技术使认知用户对授权用户的干扰达到最小,不会影响授权用户的正常通信。

车联网中认知频谱的分配机制采用分簇结构。根据地理位置将车联网分为不同的簇,每个簇中包含不同数量的认知车辆,如图 1 所示,网络模型包含了 4 个簇,选择位置比较固定的节点(如路口基础设施)作为簇首节点。假设通过频谱检测可以精确感知到当前网络的空闲频谱,且能获取授权用户的频谱使用规律,保证预测的授权用户未来使用频谱的时间段的准确性;此外,假设获取的道路的交通拥堵指数具有良好的实时性和准确性。

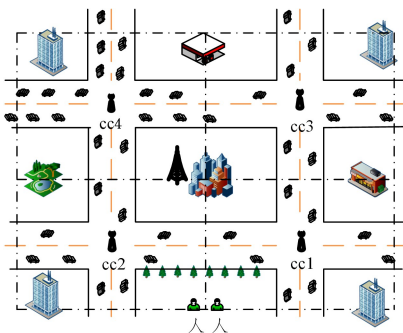


图 1 网络模型

Fig. 1 Network model

3.2 算法模型

本文基于分簇结构的三步式认知频谱分配机制的算法模型如图 2 所示,图中有 1 个提供频谱的授权用户(即主用户),以及 4 个簇首节点,且每个簇内有 $N_i (i=1,2,3,4)$ 个普通节点。授权用户频谱提供共享的空闲频谱总数为 W ,簇首从授权用户购得的频谱为 $W_i (i=1,2,3,4)$,簇首自身传输业务的频谱数为 Q_i ,每个簇内的普通节点从其所在的簇首购得的频谱总数为 $W-Q_i$,普通节点购得的频谱数量为 Q_{ij} 。

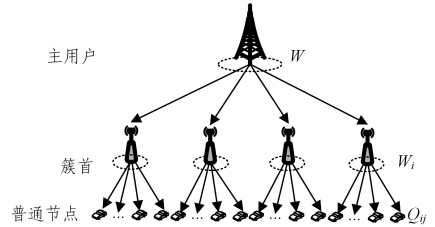


图 2 算法模型

Fig. 2 Algorithm model

频谱分配过程包括 3 个阶段。

第一阶段:计算网络的负载状态(Network Load State, NLS)。在认知车联网中,空闲频谱和网络负载状态均是动态变化的,网络的负载状态对频谱的分配具有一定的影响,参考文献[20]定义网络负载状态为 NLS:

$$LS \approx (R_{req}^{safe} + R_{req}^{non-safe}) / R_{total} \quad (1)$$

其中, R_{req}^{safe} 代表当前网络安全业务的最小速率需求; $R_{req}^{non-safe}$ 表示当前网络非安全业务的最小速率需求; R_{total} 代表当前网络可以提供的总信道容量。根据当前网络的负载状态及各类业务的最小速率需求,可将网络定义为 3 种状态:轻载、重载、超重载。

第二阶段:授权用户与簇首节点之间的频谱分配。根据簇首节点所处小区的交通状态,将频谱优先分配给拥堵比较严重的簇首节点所在的小区,授权用户以单价向簇首节点出售频谱, T_c 代表交通拥堵程度, P_i^1 与 T_c 成正比,交通越拥堵, T_c 值越大,则 P_i^1 越大,授权用户作为卖方希望价格越高越好,会优先将频谱出售给单价较高的簇首节点,这恰好满足之前将频谱优先分配给拥堵比较严重的簇首节点的目标,其中交通拥堵指数的取值范围对应的道路拥堵级别如表 1 所列。

表 1 道路拥堵指数

Table 1 Road congestion index

拥堵指数	[0,2]	(2,4]	(4,6]	(6,8]	(8,10]
拥堵等级	非常畅通	畅通	轻度拥堵	中度拥堵	严重拥堵

交通拥堵指数并不是指车速,其还与道路的功能、等级相关。交通拥堵指数是通过对车辆动态位置数据进行加工处理,获取车辆在不同等级道路的运行速度,再根据道路的功能及流量数据计算道路在全网的占比,最后换算成 0~10 的数值。目前我国主要有 3 种交通拥堵指数计算方式:基于拥堵里程比例、基于出行时间、基于综合评价方法。

第三阶段:簇首节点与簇内普通节点之间的频谱分配。根据申请频谱的认知车辆传输业务在实际生活中的重要性,

确定各个认知车辆的优先等级,传输安全业务的认知车辆的优先级高于传输非安全业务的认知车辆的优先级,然后引入优先级设定新的收益函数。簇首节点以初始单价向簇内普通节点出售频谱,不用的簇的出价不同,同一簇内的节点的优先级不同,从簇首节点购得的频谱数量不同,优先级越高的需求越大,则优先级越高的购得的频谱数越多。在簇首节点与簇内普通节点之间引入均衡原理,根据供求关系求出最优的频谱价格,此时的分配最佳。

3.3 均衡价格

19世纪末,英国经济学家阿弗里德·马歇尔提出了均衡价格理论。商品的市场价格会随商品的供应量和需求量的变化而变化,其变化过程如图3所示,其中曲线S代表商品的供应曲线,曲线D代表商品的需求曲线,而均衡价格是在市场机制(价格、供求、竞争)下供需双方自发调节形成的^[21-22],商品的供应曲线S与需求曲线D的交点代表市场达到均衡,商品供给数量 Q_s 与商品需求数量 Q_D 相等,商品的供应价格与需求价格相等,此时的市场价格就是均衡价格。

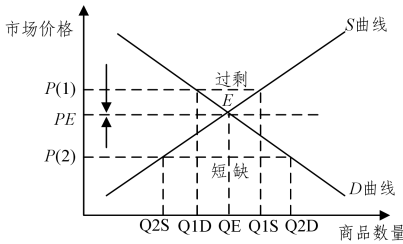


图3 均衡价格

Fig. 3 Equilibrium price

4 车联网中认知频谱分配机制

本文提出的车联网中认知频谱分配机制适用于城市道路环境,首先根据地理位置将车联网分为4个簇,选择路边单元作为簇首节点,将簇首节点一定范围内申请使用空闲频谱的车辆作为该簇的簇内普通节点,然后对授权用户的空闲频谱进行分配。

本文采用的频谱效用函数为数据传输速率 B 的函数:

$$U(B) = k \ln(l \times B) \quad (2)$$

其中, k 和 l 均为常数。在此假设系统中所有认知用户的传送数据的频谱利用率都为1bps/Hz,则数据传输速率 B 与频谱带宽的数值相等。为了方便后续结果的分析,假设 k 和 l 均为1,即 $U(B) = \ln B$ 。

第一阶段:计算当前网络的负载状态,决定是否启动机制。

本文设计的认知频谱分配机制适用于频谱资源缺乏、固定分配的频谱已不能满足通信需求的情况,由此引入网络负载状态NLS,只有当网络重载或超重载时,才启动认知检测与分配机制,这可以避免在轻载情况下,车联网中认知频谱检测与管理等带来的额外开销。

网络负载状态NLS有3种:轻载、重载、超重载。各网络负载状态对应的取值范围如表2所列。

表2 各网络负载状态的取值范围

Table 2 Range of values of network load status

网络负载状态	取值范围
轻载	$NLS < 1$
重载	$R_{req}^{safe} / R_{total} \leq 1 \ \&\& \ NLS \geq 1$
超重载	$R_{req}^{safe} / R_{total} > 1 \ \&\& \ NLS \gg 1$

第二阶段:授权用户与簇首节点之间的频谱分配。

本阶段的频谱分配采用基于交通拥堵优先级定价的频谱分配方案,首先从交通检测平台获取当前的簇首用户所在小区一定范围内的拥堵指数 T_c , T_c 值越高,拥堵程度越高,簇内普通节点所需的频谱越多,因此按照拥堵指数 T_c 进行簇首节点的等级划分,可以满足业务的QoS质量,实现业务的低时延抖动和高可靠性的目标,最大程度地保证业务的正常通信。

授权用户提供的空闲频谱数为 W ,设簇首节点共有 k 个优先等级,其中优先级 k 为最高等级, k^i 与 T_c^i 对应,其对应关系如表3所列。优先级1为最低等级, W_i 为第 i 个簇首节点获取的频谱数目, k^i 为第 i 个簇首节点的优先级, W_i 与 k^i 呈正相关, P_i 为授权用户出售给第 i 个簇首节点频谱的单价, P_i 也与 k^i 呈正相关。

表3 道路拥堵指数的优先级

Table 3 Priority of road congestion indices

拥堵指数 T_c	[0,2]	(2,4]	(4,6]	(6,8]	(8,10]
拥堵等级	非常畅通	畅通	轻度拥堵	中度拥堵	严重拥堵
优先级 k^i	1	2	3	4	5

授权用户作为频谱提供者和卖方,自然希望最后的收益越大越好,因此会优先将频谱出售给较拥堵小区,即值大的簇首节点,授权用户与簇首节点之间的频谱分配问题可建模为:

$$\begin{aligned} \max \quad & \begin{cases} \sum_{i=1}^4 P_i W_i \\ \sum_{i=1}^4 W_i \end{cases} \\ \text{s. t} \quad & \begin{cases} \sum_{i=1}^4 W_i \leq W \\ P_i = a \times k^i \\ W_i = b \times k^i \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

其中, b 为常量,为方便讨论,取 b 为1,通过不断调整参数 a ,从而调整 P_i 和 W_i 的大小,取 a 的初始值 $a_0 = 0.2$,由上式可知参数 a 可以防止授权用户提出过高的频谱价格,也可以防止簇首用户提出过大的需求。

第三阶段簇:首节点与认知节点之间的频谱分配。

本阶段的频谱分配采用基于消息优先级的均衡价格的频谱分配方案,车联网中的信息不同对交通网络的影响也不同,安全信息的及时传输既可以降低事故发生率,也可以减少财产损失。本文将车辆传输信息的重要性作为优先级评价标准,安全信息的优先等级高于娱乐消息的等级。

本阶段引入了市场均衡原理,在市场经济环境下,簇首节点作为卖方,簇内认知节点作为买方,市场价格和数量的均衡并不是一成不变的,会随着频谱的供应数和需求数的变化而变化,只有当供应量与需求量相等时,市场才趋于均衡,此时

的价格为最佳频谱价格。

由第二阶段中授权用户与簇首节点之间频谱的成功分配可知,第 i 个簇首节点分配的频谱为 W_i ,簇首节点的收益包含 3 个部分:第 i 个簇首节点以单价 P_i^1 从授权用户购买 W_i 频谱时的花销,簇首节点自身使用 $W_i - Q_i$ 频谱进行业务传输获得的收益以及簇首节点以单价 P_b 出售 Q_i 频谱的收益。因此,簇首节点的收益函数为:

$$P_i^f = U(B) + PQ_i - P_i^1 W_i = \ln(W_i - Q_i) + P_b Q_i - P_i^1 W_i \quad (4)$$

对式(4)求导,令 $\partial P_i^f / \partial Q_i = 0$,可以得到簇首的供应函数为:

$$Q_i^s = W_i - 1/P_b \quad (5)$$

设第 i 个簇内的认知节点共有 N_i 个,认知节点共有 m 个优先等级,其中优先级 m 为最低等级,优先级 1 为最高等级。第 i 个簇中第 j 等级的认知节点数目是 a_j^i ,第 i 个簇中第 j 等级的频谱总数为 M_j^i ,第 j 等级每个认知节点的频谱数目为 M_j^i/a_j^i 。其中 a_j^i, M_j^i 满足下式:

$$\begin{cases} a_1^i + a_2^i + \dots + a_m^i = N_i \\ M_1^i + M_2^i + \dots + M_m^i = Q_i \end{cases} \quad (6)$$

不同等级的认知节点的数目不同,一般高等级的节点数目比低等级的节点数目少,本文设 $a_1^i = n$ (n 为正整数), $a_2^i = 2n, \dots, a_m^i = mn$ 。本文节点等级按照信息的重要性进行划分,等级高的业务需要的频谱数目比等级低的业务需要的频谱数目多,设 $M_1^i = x, M_2^i = x/2, \dots, M_m^i = x/m$,代入式(6)中可得:

$$\begin{cases} n + 2n + \dots + mn = (1 + 2 + \dots + m)n = N_i \\ x + x/2 + \dots + x/m = (1 + 1/2 + \dots + 1/m)x = Q_i \end{cases} \quad (7)$$

由上式可得:

$$\begin{cases} n = \frac{2N_i}{m(m+1)} \\ x = \frac{Q_i}{\ln m + r} \end{cases} \quad (8)$$

其中, r 为欧拉常数,取值为 0.577215。

簇内认知节点的总收益包括两部分:认知节点自身业务带来的收益,以及从簇首购得的频谱的花销。簇内认知节点的收益和为:

$$P_i^f = \sum_{y=1}^{N_i} U(B_y) - PQ_i = N_i \ln x - n \sum_{j=2}^m j \ln j - P_b Q_i \quad (9)$$

对式(9)求导,令 $\partial P_i^f / \partial Q_i = 0$,可得簇首的供应函数为:

$$Q_i^s = N_i / P_b \quad (10)$$

由均衡价格理论可知,当供需相等时的频谱价格为最优价格,即 $Q_i^s = Q_i^d$ 时, $W_i - 1/P_b = N_i / P_b$,由此可知簇内最佳频谱价格为:

$$P_i^* = (N_i + 1) / W_i \quad (11)$$

综上,本文研究的车联网中认知频谱分配机制主要由以上 3 个阶段组成,通过该机制可以使某一时间段内无线网络中的空闲频谱得到有效利用,提供总的频谱利用率,也可以保证在车联网处于超载或超重载(即交通拥堵)时,交通安全消息也能优先传输,以降低事故发生率、减少人身及经济损失。车联网中认知频谱分配机制的具体实现过程如图 4 所示。

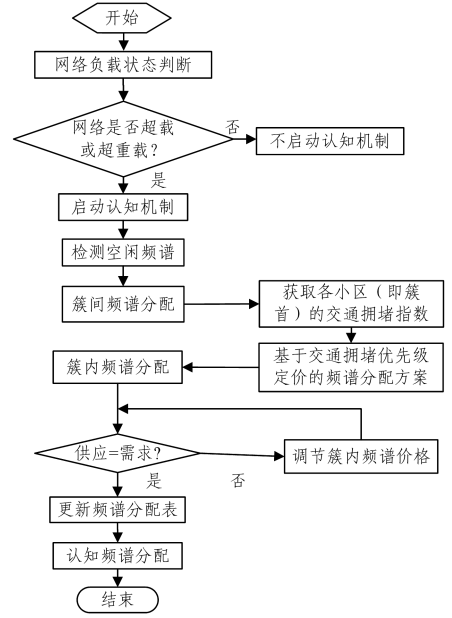


图 4 认知频谱分配机制的流程图

Fig. 4 Flowchart of cognitive spectrum allocation mechanism

5 仿真结果及分析

5.1 环境及参数设置

利用 MATLAB 仿真工具对本文提出的基于分簇结构的车联网认知频谱分配机制进行仿真和分析,系统仿真参数如表 4 所列。

表 4 仿真参数

Table 4 Simulation parameters

仿真参数	参数设置
安全业务的最小速率需求 $R_{\text{req}}^{\text{safe}}$	200 kbit/s
非安全业务的最小速率需求 $R_{\text{req}}^{\text{non-safe}}$	1000 kbit/s
当前网络可提供的总信道容量 R_{total}	800 kbit/s
授权用户提供的空闲频谱	20 W/MHz
簇首节点的个数	4
4 个簇首节点的交通拥堵指数 T_c	7, 5, 3, 1
簇首节点出售频谱的初始单价 P_b	2
第 i 个簇内认知节点数 N_i	6
认知节点的优先等级 m	3

5.2 仿真结果与分析

图 5 所示是簇间分配在基于交通拥堵优先级定价和平均分配两种分配方案下在不同认知小区内簇首节点获得的频谱数与实际需求的对比。由图 5 可知,对于基于交通拥堵优先级的定价分配算法,不同优先级下的簇首节点获得的频谱数不同,簇首节点的优先级越高即小区越拥堵,簇首节点获得的频谱数越多,这符合交通拥堵的小区频谱需求量大的条件,由此可知在基于交通拥堵优先级定价的分配方案下各小区(即簇首节点)获得的频谱数与其拥堵优先级呈正相关,与实际频谱需求相差不大,充分利用了频谱资源。而在平均分配方案下各小区获得的频谱是相同的,各小区分配的频谱数与实际需求相差很大,大部分小区分配的频谱超出了其实际需求,造成了资源的浪费,因此基于交通拥堵优先级的定价分配方案更适合簇间频谱分配。

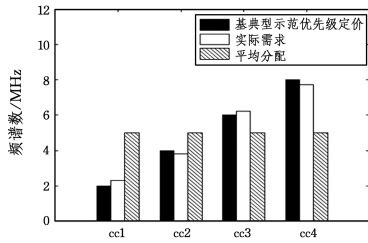


图5 不同方案下各小区获得的频谱数

Fig. 5 Spectrum number of each cell under different schemes

图6所示是在基于交通拥堵优先级定价的簇间分配和平均分配两种方案下不同认知小区内簇首节点获得的频谱收益。由图6可知,在基于交通拥堵优先级定价的分配方案下各小区的频谱收益基本上高于在平均分配方案下的。在相同数量的频谱下,基于交通拥堵优先级定价分配方案的系统的总收益高于基于平均分配方案的系统的总收益。

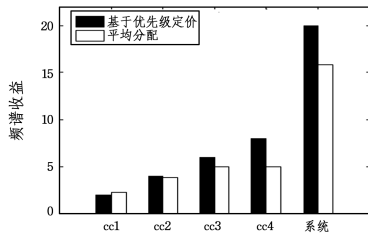


图6 各小区的频谱收益与系统总收益

Fig. 6 Spectrum revenue and total system revenue of each cell

图7所示是认知小区cc4中的单个认知节点在有优先级的基于均衡价格和无优先级的基于均衡价格两种分配方案下获得的频谱数量,在有优先级的分配方案下,认知节点的优先级越高,分配的频谱就越多,本文定义安全业务的优先级最高,这类业务进行数据传输时需要更多的频谱,有优先级的基于均衡价格的分配方案更符合实际需求。节点数量与其优先级呈反比,优先级越低,则节点数量就越多。簇内采用了均衡原理,最终总供应等于总需求,因此有优先级的分配方案分配的频谱数与实际节点的频谱需求基本相等。在无优先级的分配方案下单个认知节点分配的频谱数量相同,与节点的实际需求相差很大。

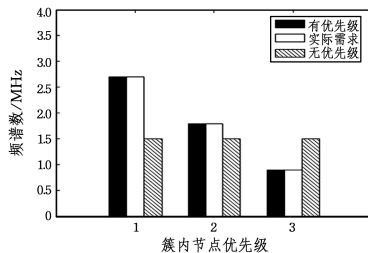


图7 不同方案下单个认知节点获取的频谱数

Fig. 7 Spectrum number of single cognitive node under different schemes

图8所示是认知小区cc4中单个认知节点在有优先级的基于均衡价格和无优先级的基于均衡价格两种分配方案下获得的频谱收益与簇内总收益。簇内采用了均衡原理,最终簇内频谱总供应数等于总频谱需求,但节点的业务不同,每个节点的需求量也不同,因此引入了基于节点信息优先级的分配

方法。根据节点发送信息的重要性进行优先级划分,交通安全类信息需要进行快速、及时的传输,需要的频谱数较多,因此设置交通安全类信息的节点的优先级最高。由图8可知,有优先级的各认知节点的频谱收益高于无优先级的,同时有优先级的簇内节点的总频谱收益也高于无优先级的。

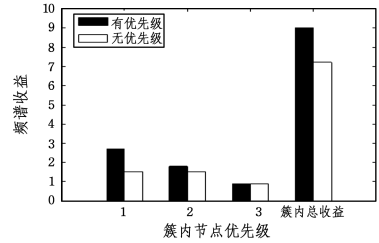


图8 不同优先级下单个节点的频谱收益与总收益

Fig. 8 Spectrum revenue and total revenue of single node under different priorities

簇首节点的个数设为3,簇首节点的优先级分别设为1,2,3,簇内认知节点的个数设为9,其余参数保持不变。图9和图10所示分别为簇首节点个数与簇内节点个数改变后的簇间各小区与系统的频谱总收益和簇内单个认知节点与簇内总频谱收益。由图可知,采用本文设计的分配方案时,簇间各小区在基于拥堵优先级定价方案下的系统总频谱收益高于平均分配的,簇内各节点在优先级的均衡价格方案下的总收益高于无优先级的,这说明本文所提方案具有广泛的适用性。

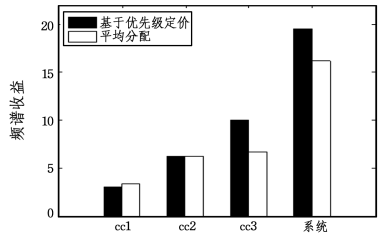


图9 簇间频谱收益

Fig. 9 Spectrum revenue among clusters

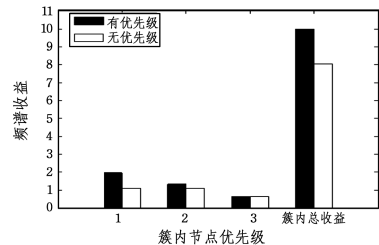


图10 簇内频谱收益

Fig. 10 Spectrum revenue within cluster

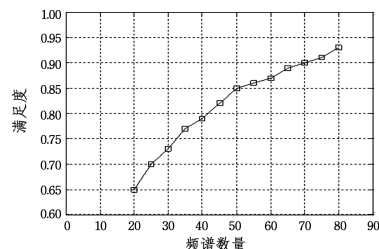


图11 系统的满足度与频谱数量的关系

Fig. 11 Relationship between system satisfaction and number of spectrum

引入满足度 SD 来评价本文所提分配方案与实际频谱需求之间的关系,SD 即为所有节点的分配频谱与实际需求频谱比值的乘积。如图 11 所示,授权用户提供的频谱的数量越多,系统的满足度就越高。

结束语 本文提出的基于分簇结构的三步式认知频谱分配机制综合考虑了车联网实际应用场景以及车联网中不同信息的重要性。首先,结合网络的负载状态设计认知机制启动模块,这可以降低开销,因为只有当重载或超重载时才启动认知机制;然后,结合簇首节点所在小区的交通拥堵指数设定簇首的优先级,保证拥堵小区簇首节点可以获得更多的频谱,满足其频谱需求;最后,依据认知节点发送信息的重要性对认知节点设定优先级,保证安全类业务的优先传输,采用均衡价格理论确定簇内的最优价格,最终实现频谱分配。通过仿真也验证了本文提出的车联网中的认知频谱机制,仿真结果表明,该机制提高了频谱收益,使车联网中优先级高的认知节点获取了更多的频谱资源,保证了优先级最高的安全消息的优先传输,降低了事故的发生率,提高了出行效率。

参 考 文 献

- [1] 凤凰网. 我国去年交通事故死亡 6 万余人,仍高居世界第二 [EB/OL]. http://news.ifeng.com/a/20171220/54336724_0.shtml.
- [2] KUI L P, LUO G L. Research Status and Development of Internet of Vehicles [J]. China Science and Technology Information, 2015(24):118-120. (in Chinese)
奎丽萍,罗桂兰. 车联网研究现状及发展[J]. 中国科技信息, 2015(24),118-120.
- [3] WANG C. Discussion on the research status and progress of Internet of Vehicles [J]. Huliwang Tiandi, 2016(4):14-16. (in Chinese)
王超. 浅议车联网研究现状和进展[J]. 互联网天地, 2016(4):14-16.
- [4] WANG J, LI C, LI H, et al. Key Technologies and Development Status of Internet of Vehicles[C]//International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. Changsha, China; IEEE, 2017:29-32.
- [5] CARRILLO D. Cognitive radio networks[C]//Cognitive Technologies. Springer, Cham, 2017:95-109.
- [6] SINGH K D, RAWAT P, BONNIN J M. Cognitive radio for vehicular ad hoc networks (CR-VANETs): approaches and challenges[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2014, 2014(1):1-22.
- [7] DE CARVALHO F B S, LOPES W T A, ALENCAR M S, et al. Cognitive Vehicular Networks: An Overview[J]. Procedia Computer Science, 2015, 65:107-114.
- [8] EZE J, ZHANG S, LIU E, et al. Cognitive radio technology assisted vehicular ad-hoc networks (VANETs): Current status, challenges, and research trends[C]//International Conference on Automation and Computing. Huddersfield, UK; IEEE, 2017:1-6.
- [9] FAN R, ZHENG Y, AN J, et al. Dynamic Pricing Over Multiple Rounds of Spectrum Leasing in Cognitive Radio [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(3):1782-1789.
- [10] EZE J, ZHANG S, LIU E, et al. Cognitive radio-enabled Internet of Vehicles: a cooperative spectrum sensing and allocation for vehicular communication[J]. Iet Networks, 2018, 7(4):190-199.
- [11] PAUL A, DANIEL A, AHMAD A, et al. Cooperative cognitive intelligence for internet of vehicles[J]. IEEE Systems Journal, 2017, 11(3):1249-1258.
- [12] QIONG Y, JING H, WEIWEI X. Mobility management and resource management of internet of vehicles in converged heterogeneous network scenario [J]. Telecommunications Science, 2015, 31(9):60-65.
- [13] QIAN X, HAO L, NI D, et al. Hard Fusion Based Spectrum Sensing over Mobile Fading Channels in Cognitive Vehicular Networks[J]. Sensors, 2018, 18(2):475.
- [14] HUSSAIN S A, IQBAL M, SAEED A, et al. An efficient channel access scheme for vehicular ad hoc networks[J]. Mobile Information Systems, 2017, 2017(6):1-10.
- [15] PENG Y F. Cognitive Radio Technology and Spectrum Management[J]. China Radio, 2009(7):36-37. (in Chinese)
彭玉芳. 认知无线电技术及频谱管理[J]. 中国无线电, 2009(7):36-37.
- [16] LI S N, LI Y G, NIU Y T, et al. Dynamic Spectrum Allocation Algorithm based on Graph Coloring Theory in the Presence of Jamming[J]. Communications Technology, 2017, 50(2):255-261.
- [17] ZHANG S B, ZHANG G D, BAO Z H. Spectrum trading algorithm based on agent in cognitive radio networks[C]//International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. IET, 2014:117-120.
- [18] LIU J, YANG J, WANG J, et al. A spectrum allocation algorithm based on auction theory and Gaussian process regression [J]. Computer Engineering & Science, 2016, 38(5):914-920.
- [19] PEI Q, MA L, LI H, et al. Reputation-based coalitional games for spectrum allocation in distributed Cognitive Radio networks [C]//IEEE International Conference on Communications. London, UK; IEEE, 2015:7269-7274.
- [20] ZHANG L, LUO T, LIU W, et al. Cooperative Spectrum Allocation with QoS Support in Cognitive Cooperative Vehicular Ad Hoc Networks[J]. China Communications, 2014, 11(10):49-59.
- [21] BEMBEIM B D, WHINSTONM D. Microeconomics [M]. Beijing: Peking University Press, 2010. (in Chinese)
道格拉斯·伯恩海姆, 迈克尔·惠斯顿. 微观经济学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2010.
- [22] XIE J W, LI C R, ZHAO J Y. Spectrum Allocation Algorithm for Cognitive Wireless Networks Based on Equilibrium Price [J]. Journal of the China Railway Society, 2014(1):70-75. (in Chinese)
谢健骊, 李翠然, 赵佳颖. 基于均衡价格的认知无线网络频谱分配算法[J]. 铁道学报, 2014(1):70-75.