

文章编号: 2095-4980(2018)03-0516-06

## 车联网中 V2R 通信功率分配策略

黄学文<sup>1</sup>, 王冠<sup>\*2</sup>, 周胜源<sup>1</sup>, 唐欣<sup>3</sup>, 姚荣彬<sup>1</sup>

(1.桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004; 2.中国电子科技集团 第三十四研究所, 广西 桂林 541004;  
3.桂林电子科技大学 信息科技学院, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 针对车载应用对车辆与路侧单元(V2R)的通信质量及系统吞吐量要求越来越高, 提出 V2R 通信功率分配策略, 以提高通信链路质量及系统的吞吐量。该策略利用博弈论对功率分配过程进行分析并找出最优分配方案。当效用函数经过多次迭代而达到纳什均衡时, 表明系统已经获得最优的功率分配方案。仿真结果表明, 本文提出的车联网功率分配策略有利于减小各通信链路之间的干扰, 且达到了提升系统吞吐量的目的。

**关键词:** 功率分配策略; 系统吞吐量; 博弈论; 纳什均衡; 车辆自组织网络

**中图分类号:** TN914.42

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201803.0516

## V2R communication power allocation scheme for VANETs

HUANG Xuewen<sup>1</sup>, WANG Guan<sup>2</sup>, ZHOU Shengyuan<sup>1</sup>, TANG Xin<sup>3</sup>, YAO Rongbin<sup>1</sup>

(1.School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China;  
2.34th Research Institute, CETC, Guilin Guangxi 541004, China;  
3.Institute of Information Technology, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

**Abstract:** Vehicle applications makes the requirements on Vehicle-to-Roadside(V2R) communication quality and system throughput more and more higher. V2R communication power allocation strategy is proposed to improve the quality of communication links and the system throughput. The strategy adopts the game theory to analyze the power allocation process and find out the optimal allocation scheme. When the utility function reaches Nash equilibrium through iterations, it indicates that the system has obtained the optimal power allocation scheme. Simulation results show that the proposed power allocation strategy is helpful to reduce the interference between communication links, and the purpose of improving the system throughput is achieved.

**Keywords:** power allocation strategy; system throughput; game theory; Nash equilibrium; Vehicular Ad-hoc NETWORK(VANET)

车联网(Internet of Vehicles)技术通过车与车(V2V)、V2R 的通信来满足人们对车载信息资源的需求。路侧单元(Road Side Unit, RSU)与多辆车同时通信时链路之间干扰大, 且存在路径损耗、阴影衰落等因素, 导致 V2R 通信链路不稳定, 系统吞吐量降低等, 影响了车载信息系统的应用和发展。文献[1-2]研究不同算法来提高通信性能, 主要解决由于 V2R 连接时间短和链路不稳定导致 V2R 通信传输效率低的问题, 侧重 MAC 层协议的优化, 未涉及同时与多辆车通信及大幅提高吞吐量等问题。由于车联网应用不断发展, 对通信质量及吞吐量要求越来越高, 文献[3-5]研究通过多信道使 RSU 同时与多辆车通信及单个车辆同时与其他多辆车通信, 减少由于车辆竞争时隙而等待的时间, 从而提高车联网系统的吞吐量。上述研究中, 假设多信道通信之间没有干扰, 使用多信道与多辆车同时通信, 文献[6]研究车联网中多辆车之间互相通信的链路性能优化, 以提高网络吞吐率。文献[7]主要研究通过控制车辆通信时的发射功率来降低 V2V 之间通信时的相互干扰。文献[8]指出车辆通过竞争接入车联网中时, 现有的无线通信链路无法完全支持吞吐量敏感的应用。

收稿日期: 2017-02-17; 修回日期: 2017-03-21

基金项目: 广西自然科学基金资助项目(2015GXNSFBA139247); 广西物联网技术与产业化推进协同创新中心资助项目(WLW20060113); 国家自然科学基金资助项目(6166010174)

\*通信作者: 王冠 email:13924005413@163.com

本文研究在 RSU 发射总功率一定情况下的功率分配策略，使得 RSU 与各车辆通信时通过博弈的方法实现 RSU 发射功率的合理分配来降低 V2R 通信链路之间的干扰，提高通信链路的信干噪比(Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR)，进而提高整个通信系统的吞吐量。

### 1 系统模型

本文的系统模型由 RSU、车辆组成，如图 1 所示，其中每辆车都装配有信号接收与发送装置，简称车载单元(On Board Unit, OBU)，RSU 支持与多辆车同时通信。RSU 与 OBU 采用专用短距离无线通信(Dedicated Short Range Communication, DSRC)<sup>[9]</sup>进行通信，RSU 通过有线或无线与因特网连接获得网络资源。假设当车辆  $V_1, V_2, \dots, V_k$  都已进入 RSU 的覆盖范围，且同时从 RSU 下载资源。为了降低 RSU 与多辆车同时通信时链路之间的干扰，提高系统的吞吐量，本文对文献[10]与文献[11]中的功率分配策略算法进行了改进，同时考虑信道模型中的大规模衰落，如瑞利衰落，以及小规模衰落，如阴影衰落和路径损耗，使其适用于该系统模型。

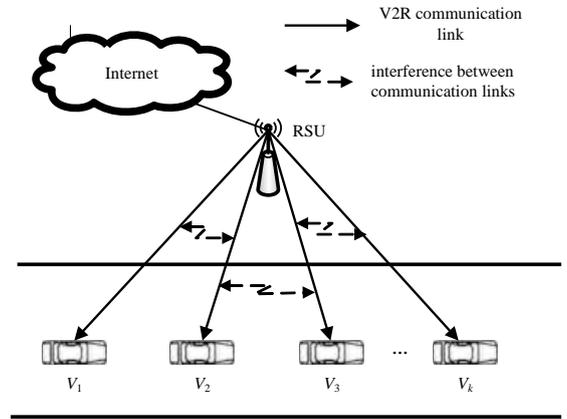


Fig.1 System model  
图 1 系统模型

车辆  $V_k$  接收信号可以表达为：

$$y_k = \sqrt{p_k} h_k x_k + \sum_{i=1, i \neq k}^K \sqrt{p_i} h_i x_i + n_k \tag{1}$$

式中： $p_k$  是 RSU 与  $V_k$  通信的发射功率； $x_k$  是 RSU 发送给车辆  $V_k$  的信息； $h_k = \sqrt{s_k} h'_k$  是 RSU 到  $V_k$  的复合信道， $h'_k$  是 RSU 到  $V_k$  的信道系数，假设它服从瑞利分布，均值为 0，方差为 1， $s_k = (d_k / d_0)^{-\alpha} 10^{(\mu/10)}$  相当于从 RSU 到  $V_k$  之间的小规模衰落，包括路径损耗与阴影衰落，阴影衰落符合独立的标准差为  $\sigma$  的对数正态随机分布， $d_k$  是 RSU 到  $V_k$  之间的距离， $d_0$  是参考距离， $\alpha$  是路径损耗因子， $\mu$  是平均值为  $\sigma^2$  的正态分布的随机变量； $n_k$  是均值为 0，方差为  $\sigma_k^2$  的加性高斯白噪声。车辆  $V_k$  的 SINR 为：

$$SINR_k = \frac{|h_k|^2 p_k}{\sum_{i=1, i \neq k}^K |h_i|^2 p_i + \sigma_k^2} \tag{2}$$

车辆  $V_k$  的吞吐量表示为：

$$C_k = \log_2(1 + SINR_k) \tag{3}$$

为了保证车辆  $V_k$  的接收信干噪比高于预先设定的信干噪比门限  $Y_k$ ，表示为：

$$SINR_k \geq Y_k \tag{4}$$

所有车辆的总吞吐量表示为：

$$C = \max_{p_k} \sum_{k=1}^K \log_2(1 + SINR_k) \tag{5}$$

## 2 功率分配最优化问题

### 2.1 博弈理论可行性分析

在本文系统模型场景中，RSU 与多辆车同时通信时，V2R 通信的发射功率不同，通信链路质量也不同。但由于车辆之间的竞争是车联网的固有属性，且每辆车都具有自私的特点<sup>[12]</sup>，因此车辆会选择使本车获利最大的 RSU 发射功率，而忽略了对其他车辆的干扰，导致车辆之间的干扰增大，进而使得整个系统的全局吞吐量减小。为了降低 RSU 与多辆车同时通信时因竞争带来的通信干扰，亟需一种有效的通信功率分配策略。

本文研究车联网中 RSU 下行链路功率分配策略以降低各通信链路之间的干扰，提高整个系统的吞吐量，研究利用博弈论对功率分配过程进行分析并找出功率分配的最优解决方案，即功率分配问题也被阐述为是否存在纳什均衡的非合作博弈问题。博弈论研究的是当决策主体的行为发生相互作用时，如何进行决策，以及进行决策时的相互均衡问题<sup>[13]</sup>，是解决竞争中存在的最优化问题的重要手段，适用于理性决策者选择在竞争中采用斗争还是合作的方式。

## 2.2 博弈建模

一个常规的博弈理论包含 3 个元素：参与者、策略空间、参与者的效用函数<sup>[14]</sup>。在本文研究的车联网的 V2R 通信功率分配场景中，将其建模为一个车联网非合作博弈过程。参与者是车辆，策略空间是每辆车的传输功率  $p_k$ ，车辆  $V_k$  的效用函数被看作是收到的报酬，可以映射到它的信干噪比。根据效用函数，车辆之间通过通信功率的选择相互作用，在一定的条件下，博弈过程可以达到纳什均衡点。当非合作博弈达到纳什均衡后，系统拥有最优效用及最大吞吐量<sup>[14]</sup>，并且 RSU 与多辆车通信链路之间干扰最低。为了提高博弈的有效性，且功率分配更加合理，本文引入价格函数，作为对其他车辆干扰的花费，形成带有警告的效用函数<sup>[10]</sup>。车辆  $k$  带有价格函数的效用函数可以表示为：

$$u_k = SINR_k - S_k \quad (6)$$

式中： $S_k = \theta p_k^2 |h_k|^2$  是价格函数； $\theta$  是考虑对该车辆干扰的价格因子。系统的非合作功率分配的总效用为：

$$\max_{p_k} \sum_{k=1}^K (SINR_k - S_k) \quad (7)$$

$$C1: \sum_{k=1}^K p_k \leq p_{\max}, C2: SINR_k \geq Y_k \quad (8)$$

式中： $P_{\max}$  为 RSU 的最大发射功率；C1 表示所有车辆的传输功率总和不能大于 RSU 最大的发射功率；C2 表示每辆车的信干噪比不能低于额定的信干噪比。车辆可以在满足上述 2 个条件下，通过最适合的传输功率进行通信，使效用函数达到最大。

## 2.3 纳什均衡存在分析

为了分析博弈的结果，当达到纳什均衡时可以获得功率分配的最优解。系统经过博弈达到纳什均衡点后，每一个参与者的效用是最优的，且不能通过改变参数来单独增加自身的效用值。

纳什均衡存在的条件为：所有的参与者空间是有限的，不能是无限个参与者；效用函数必须是连续的，且是拟凹函数。拟凹函数在不严格的定义下，可以认为是凸函数<sup>[10]</sup>。因此当效用函数的二阶导数的值小于零时，就存在纳什均衡。

证明：1) 参与者是  $K$  辆车，因此是有限的，同时策略集合是 V2R 之间的传输功率是有界的。2) 效用函数是连续、可导的。求二阶导过程如下：

$$\frac{\partial u_k}{\partial p_k} = \frac{|h_k|^2}{\sum_{i=1, i \neq k}^K p_i |h_i|^2 + \delta_k^2} - 2\theta p_k |h_k|^2 \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 u_k}{\partial p_k^2} = -2|h_k|^2 \leq 0 \quad (10)$$

从上述过程可知：效用函数的二阶导数小于等于零，因此是凸函数，博弈过程满足纳什均衡的存在条件。

## 3 功率分配算法

上文已经证明了本文提出的博弈模型可以达到功率分配博弈的纳什均衡点，为了使车辆的总效用最大，且不影响各个车辆的服务质量，本文使用迭代算法重复功率分配这一过程，直到效用函数达到收敛为止。系统的功率分配策略设计思路如下：

首先，要使效用函数最大，就必须满足其一阶导数等于零，即  $\frac{\partial u_k}{\partial p_k} = 0$ 。通过这个等式，可以求出功率  $p_k$  的表达式：

$$\frac{|h_k|^2}{\sum_{i=1, i \neq k}^K p_i |h_i|^2 + \delta_k^2} - 2\theta p_k |h_k|^2 = 0, \frac{|h_k|^2}{\sum_{i=1, i \neq k}^K p_i |h_i|^2 + \delta_k^2} = 2\theta p_k |h_k|^2, p_k = \frac{1}{2\theta (\sum_{i=1, i \neq k}^K p_i |h_i|^2 + \delta_k^2)} \quad (11)$$

其次，根据  $p_k$  求出  $SINR_k$ ， $u_k$ ；最后，如果系统满足约束条件，车辆获得分配的功率，否则对整个过程使用迭代算法，且在下一次迭代过程中，功率将会减少一半，重复迭代，直到趋于收敛，到达纳什均衡，表明每辆车已经获得最优化的功率分配方案。

功率分配博弈策略迭代过程如下：

- 1) 初始化： $m=0, \mathbf{p}^{(0)} = (p_1^{(0)}, p_2^{(0)}, \dots, p_K^{(0)})$ ,  $l=0, \varepsilon=10^{-3}$ ；
- 2) 循环 100 次；
- 3)  $m=m+1$ ；
- 4) 如果  $\sum_{k=1}^K p_k^{(m-1)} \leq p_{\max}$ ,  $SINR_k^{(m-1)} \geq Y_k$ , 则根据功率公式  $p_k = \frac{1}{2\theta(\sum_{i=1, i \neq k}^K p_i |h_i|^2 + \delta_k^2)}$  计算  $p_k^{(m)}$ ；
- 5) 否则  $p_k^{(m)} = p_k^{(m-1)} / 2$ ；
- 6) 重复 4)到 5)步直到  $|p_k^{(m)} - p_k^{(m-1)}| \leq \varepsilon$ ；
- 7) 结束循环；
- 8) 计算系统吞吐量、分配的功率、总效用值。

在上述算法中， $m$ 用于控制迭代次数，可以记录整个策略经过多少次可以达到纳什均衡。 $\varepsilon$ 是相邻 2 次功率差值门限，当差值小于或等于  $\varepsilon$ 时，就退出迭代过程。当完成迭代过程后，就可以获得最大的效用值及系统吞吐量，且得到最优的功率分配方案。

### 4 仿真结果与分析

利用 Matlab 搭建系统仿真模型。为了简化系统仿真模型，仿真首先考虑 1 个 RSU 与 3 辆车同时进行通信，然后再延伸到 RSU 同时与多辆车(车辆数大于 3)通信。路径损耗与阴影衰落是影响无线通信的重要因素，因此为了使仿真更加贴合实际，仿真考虑了路径损耗和阴影衰落。仿真参数设定如表 1 所示。

表 1 仿真实验参数  
Table 1 Simulation parameters

| parameter                        | value |
|----------------------------------|-------|
| path-loss exponent               | 3     |
| shadowing standard deviation/dBm | 8     |
| noise power/W                    | 0.01  |
| RSU transmission power/W         | 10    |
| iteration threshold/W            | 0.001 |
| initial transmission power/W     | 0.1   |
| SINR threshold/dB                | 5     |
| iteration                        | 20    |
| pricing factor                   | 0.2   |

图 2 中绘制了整个系统的效用函数随着迭代次数增加的情况。从图 2 可以看出效用值最终趋于收敛，说明本文提出的方案能快速达到纳什均衡，进而说明了 RSU 能够实现与各车辆通信的发射功率分配达到最佳。

为了使仿真更有意义，在本文提出的车联网系统模型中，采用本文提出的分配策略后的系统信噪比和吞吐量与未采用该策略的系统信噪比和吞吐量进行比较。本文提出的车联网系统模型在未使用功率分配策略时，RSU 对每一辆车都是固定且平均分配功率，仿真设置初始功率为 2.5 W，其他参数设置与加入算法后的参数设置相同。图 4 显示使用功率分配算法之后，相比未使用此算法的情况下，系统的信噪比有明显提高。从图 5 中可以明显看出，采用了算法后，系统的吞吐量有着非常明显的提升，主要原因是 RSU 对每个车辆的发射功率采用功率分配算法进行分配后，RSU 与多辆车通信链路的信噪比显著增大，各通信链路之间的干扰得到了较好抑制，吞吐量显著提高。

上述仿真在 RSU 同时与 3 辆车通信的场景进行，可以看出使用功率分配算法后，通信链路性能有显著提高。但考虑实际道路中车辆密度较大，可能存在

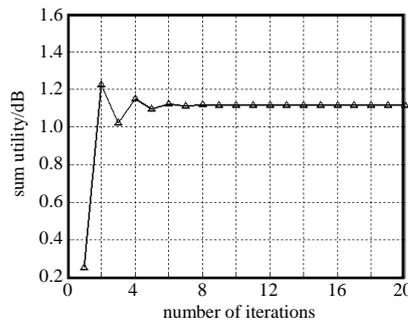


Fig.2 System utility  
图 2 系统效用

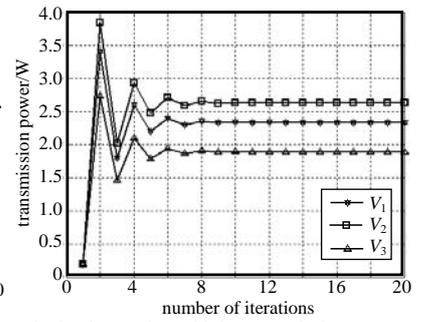


Fig.3 RSU to the vehicle transmission power  
图 3 RSU 到车辆的传输功率

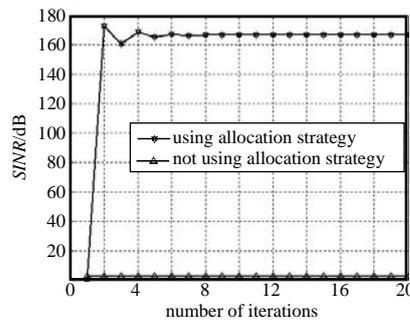


Fig.4 SINR of system using and not using algorithms  
图 4 使用与不使用算法的系统信噪比曲线

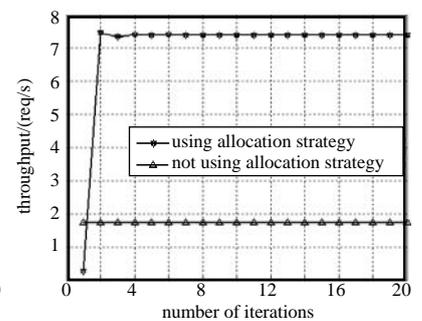


Fig.5 System throughput using and not using algorithms  
图 5 使用与不使用算法的系统吞吐量曲线

更多的车辆与 RSU 同时通信。对车辆数大于 3, 与 RSU 同时通信的仿真结果, 见图 6 和图 7。图 6 和图 7 是使用功率分配算法与不使用此算法的系统信干噪比与吞吐量随车辆数量变化的曲线, 可以看出, 随着与 RSU 同时通信的车辆数量的增加, 信干噪比逐渐变小, 导致系统的吞吐量也随之减小, 但相比未使用功率分配算法的系统而言, 使用功率分配算法的系统在信干噪比、吞吐量等方面都有非常明显的增加, 而 RSU 与逐渐增多的车辆同时通信, 导致各个通信链路之间的干扰不断增大, 以致系统吞吐量逐渐减小。

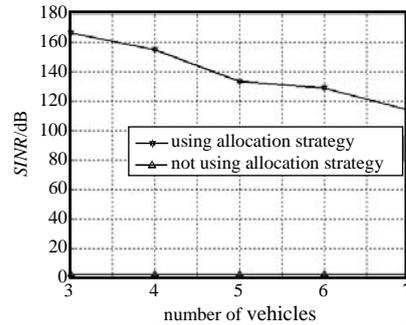


Fig.6 SINR of system with the number of vehicles using and not using algorithms

图 6 使用与不使用算法的系统信干噪比随车辆数量变化而变化的曲线

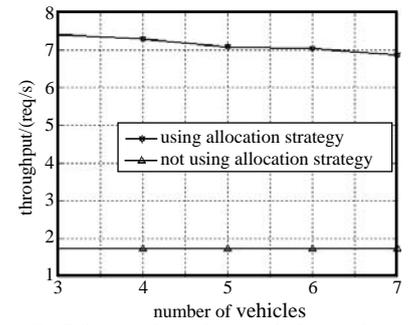


Fig.7 System throughput with the number of vehicles using and not using algorithms

图 7 使用与不使用算法的系统吞吐量随车辆数量变化而变化的曲线

## 5 结论

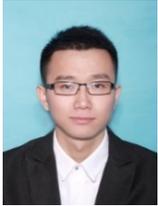
本文针对车联网中 RSU 同时与多辆车通信时链路之间产生干扰使系统吞吐量减小的问题, 通过研究功率分配来减小 RSU 与各车辆通信链路之间的干扰, 达到提高 RSU 到车辆之间吞吐量的目的。本文提出了适合车联网系统的带有价格函数的效用函数, 利用迭代算法, 可以快速达到纳什均衡点, 减小 RSU 与各车辆通信链路之间的干扰, 增大系统的信干噪比, 获得比未使用功率分配的系统模型更大的吞吐量。仿真结果分析表明, 此算法显著减少了 RSU 与各车辆通信链路之间的干扰, 系统吞吐量得到了明显提升。

## 参考文献:

- [1] CHEN X, LI L, ZHANG Y. A Markov model for headway/spacing distribution of road traffic[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(4):773-785.
- [2] ZHUANG C, PAN J, VISWANATHAN V. On the uplink MAC performance of a drive-thru Internet[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012, 61(4):1925-1935.
- [3] WANG Q, LENG S, FU H. An enhanced multichannel MAC for the IEEE-1609.4-based vehicular ad hoc networks[C]// INFOCOM IEEE Conference on Computer Communication Workshops. San Diego, CA, USA: IEEE, 2010:1-2.
- [4] WANG J, JI Y, WANG X, et al. RSU-coordinated multi-channel MAC with multi-criteria channel allocation[C]// 2012 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCV). Beijing, China: IEEE, 2012:60-65.
- [5] 李晓欢. 面向车联网应用的信息传输技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015. (LI Xiaohuan. Investigation on message dissemination technology toward vehicular ad hoc network applications[D]. Guangzhou, China: South China University of Technology, 2015.)
- [6] ZHANG L, GUO C, WANG S, et al. An energy efficient cooperation relay scheduling scheme under interference constraints in multi-hop cognitive vehicular networks[C]// 2014 International Conference on Wireless Communication and Sensor Network (WCSN). Wuhan, China: IEEE, 2014.
- [7] 杨哲. V2V 通信干扰建模与功率控制研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2015. (YANG Zhe. V2V research on communication jamming modeling and power control[D]. Dalian, China: Dalian University of Technology, 2015.)
- [8] LENG S, FU H, WANG Q, et al. Medium access control in vehicular ad hoc networks[J]. Wireless Communications & Mobile Computing, 2011, 11(7):796-812.
- [9] KENNEY J B. Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(7):1162-1182.
- [10] ZHAO F, WANG C, CHEN H, et al. Game-theoretic joint power allocation and beamforming for cognitive MIMO systems with finite feedback[J]. Mobile Networks and Applications, 2014, 19(4):512-521.
- [11] ZHAO F, LI B, CHEN H. Joint beamforming and power allocation algorithm for cognitive MIMO systems via game theory[C]// International Conference on Wireless Algorithms, Systems, and Applications. Berlin: Springer, 2012:166-177.
- [12] 张齐新, 杨涛, 冯辉, 等. 车联网中基于分布式博弈的移动网关选取算法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2015, 13(1):94-100. (ZHANG Qixin, YANG Tao, FENG Hui, et al. A distributed game theoretic approach for dynamic gateway selection in VANETs[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2015, 13(1):94-100.)

- [13] 姚国庆. 博弈论[M]. 天津:南开大学出版社, 2002. (YAO Guoqing. Game theory[M]. Tianjin:Nankai University Press, 2012.)
- [14] WANG Y,LIU J,HUANG Z,et al. A survey of game theoretic methods for cyber security[C]// 2016 IEEE First International Conference on Data Science in Cyberspace(DSC). Changsha,China:IEEE, 2016:631-636.

#### 作者简介:



黄学文(1990-), 男, 江西省赣州市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为车载无线通信网络技术、物联网等 .email:296077562@qq.com.

王冠(1984-), 女, 辽宁省大连市人, 本科, 工程师, 主要研究方向无线通信技术、光通信技术等.

周胜源(1975-), 男, 广西壮族自治区梧州市人, 硕士, 教授, 主要研究方向无线通信、宽带通信网络.

唐欣(1988-), 男, 湖南省永州市人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为车载无线通信.

姚荣彬(1984-), 男, 广西壮族自治区玉林市人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为车载无线通信、物联网等.

## 中国电子学会电路与系统分会

### 图论与系统优化专业委员会 2018 年学术年会征文通知

由中国电子学会电路与系统分会图论与系统优化专业委员会主办、安阳师范学院承办的“中国电子学会电路与系统分会图论与系统优化专业委员会 2018 年学术年会”将于 2018 年 8 月 11 日~8 月 12 日在河南省安阳市召开, 8 月 10 日报到。本次会议将本着求真务实的精神, 力争办成一次在理论、算法及应用等方面高层次的学术交流会议, 为图论与系统优化研究领域的应用人员、教师与学生提供一个发表学术思想、交流研究应用成果的平台。现面向国内外专家学者征文。

#### 一、征文主题:

征文内容包括下列主题(但不限于以下主题):

- 1) 传统图论的理论与算法
- 2) 仿生计算: 人工神经网络理论及其应用、进化计算理论及其应用、粒子群算法理论及其应用、DNA 计算理论及其应用、RNA 计算理论及其应用、蛋白质计算理论及其应用
- 3) 优化计算: 理论、方法及应用
- 4) 电路与系统科学方法、理论及应用等
- 5) 图论在无线 ad hoc、传感器网络、网格网、认知无线电等领域的应用

#### 二、会议征文提交办法:

交流论文的代表, 请填写论文投稿回执, 将作者及单位、论文题目与中文摘要等信息通过电子邮件方式提交到会议联系邮箱, 并注明邮件主题“2018 学术会议论文”, 论文提交截止日期: 2018 年 7 月 10 日。

#### 三、联系方式:

安阳师范学院数学与统计学院, 邮政编码: 455000  
 联系人: 姚合军 13703725693, 严谦泰 13503975758  
 Email: gtso2018@126.com

中国电子学会电路与系统分会图论与系统优化专业委员会  
 安阳师范学院数学与统计学院

2018 年 6 月