

# 基于阈值的车联网信标传输功率控制算法

莫元富<sup>1,2</sup>, 于德新<sup>1</sup>, 包赛男<sup>2</sup>, 高书涛<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 交通学院, 吉林 长春 130022; 2. 中国汽车工程研究院, 重庆 401122)

**摘 要:** 研究了基于阈值的车联网信标传输功率控制算法. 在保证网络最大连通性前提下, 通过预设信道负载阈值, 规定信道负载的合理区间, 根据阈值调整目标节点载波侦测范围内所有车辆的信标传输功率, 将信道负载控制在一定范围内, 从而避免信道拥塞. 通过仿真八车道高速公路基本路段和实际行车实验, 对算法进行了验证及相关分析. 结果表明该算法能有效地控制信道负载, 避免信道拥塞, 增强了车载网络无线信标传输的稳定性和健壮性.

**关 键 词:** 智能交通; 功率控制算法; 信道负载; 预设阈值; 车联网

**中图分类号:** U 491      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-3026(2017)03-0331-04

## Beacon Transmission Power Control Algorithm Based on the Preset Threshold in VANETs

MO Yuan-fu<sup>1,2</sup>, YU De-xin<sup>1</sup>, BAO Sai-nan<sup>2</sup>, GAO Shu-tao<sup>1</sup>

(1. College of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401122, China. Corresponding author: MO Yuan-fu, E-mail: 496629815@qq.com)

**Abstract:** Beacon transmission power control algorithm based on the preset threshold was put forward in vehicle ad-hoc networks (VANETs). First, according to the preset channel load threshold, a reasonable channel load interval is adjusted to ensure that all the nodes transmit beacon messages. Based on the beacon transmission power of all the vehicles in the carrier sensing range of the target node, the channel load is controlled within a certain range to avoid channel congestion. Then, by simulating the basic sections of eight-lane highways and actual road driving tests, the beacon transmission power control algorithm based on the preset threshold is verified with the correlation analysis. The experimental results show that this power control algorithm can effectively control channel load, avoid channel congestion, and enhance the stability and robustness of wireless beacon message transmission in VANETs.

**Key words:** intelligent transportation; power control algorithm; channel load; preset threshold; vehicle ad-hoc network (VANET)

车联网安全应用中, 高的信标分组生成率可以通过频繁更新来增加车辆位置信息的准确性, 但这种无法控制的策略会导致信道饱和及拥塞, 从而出现较高的消息冲突率<sup>[1-2]</sup>. 许多研究都认为 VANET 需要设计控制无线信道负载的策略, 通过控制负载, 可以避免饱和信道条件对无线通信性能的负面影响<sup>[3]</sup>. 唐伦等<sup>[4]</sup>提出一种时分复用机制的异步车载自组织网多信道协议, 使用节

点协作机制来获取节点遗漏的信道协调信息, 能够有效地提高信道吞吐量. 周期性信标信息是 VANET 的基本组成部分, 周期性信标信息对于车辆安全应用中的潜在危险检测是必需的, 不能简单地丢弃或延缓消息传输, 而应利用不同的策略来控制周期性信标消息带来的通信负载<sup>[5]</sup>. 传输功率的增大或者减小将会改变通信范围和在相互通信范围内竞争信道车辆的数量, 从而导致无

收稿日期: 2015-10-19

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2014BAG03B03).

作者简介: 莫元富(1984-), 男, 辽宁大连人, 吉林大学博士研究生; 于德新(1972-), 男, 吉林长春人, 吉林大学教授, 博士生导师.

线信道负载的变化<sup>[6]</sup>. Artimy 等<sup>[7]</sup>调整传输功率以追求车载网络中的高度连通性. Caizzone 等<sup>[8]</sup>提出的 TDMA 预留机制建议控制汽车的传输功率,使得其周围车辆数目保持在预定义的最小值和最大值之间,进而将信道负载保持在一定范围内. Khorakhum 等<sup>[9]</sup>提出根据网络范围内所需的信道繁忙时间限制来调整传输功率. 每当车辆需要增加传输功率级别时,先判断本身的传输功率是否低于平均传输功率,如果车辆本身的传输功率超过了平均传输功率,便推迟增加功率.

以上研究均是基于交通流密度(车辆密度)或信道繁忙程度来调节传输功率,从而达到控制信道负载的目的. 这些方法只能对改变的信道条件做出反应,无法避免出现信道拥塞. 针对以上缺点,本文提出预先定义信道最大、最小阈值,将信道负载实际值与预设阈值进行比较后确定信标传输功率,建立一种基于阈值的信标传输功率控制算法.

## 1 基于阈值的分布式车联网信标传输功率控制算法

**假设 1** 一组节点  $N = \{u_1, \dots, u_n\}$  沿一条长度  $R = [0, 1]$  的直线移动(为简化问题,将道路描述为直线),其中  $u_i \in N, x(i, t)$  表示节点  $u_i$  在  $t$  时刻的位置,  $x \in [0, 1]$ .

**假设 2** 节点  $u_i \in N$  以相同的频率  $f$  向其他节点  $u_j \in N, j \neq i$  周期性发送信标消息,信标初始传输功率为  $p_{ini} \in [0, p_{max}]$ ,其中  $p_{max}$  是最大允许传输功率.

做如下定义:

**定义 1** 功率分配(PA):给定一组节点  $N = \{u_1, \dots, u_n\}$ ,对于  $\forall u_i \in N, \exists PA(i)$ ,使得节点  $u_i$  以传输功率  $PA(i) \cdot p_{ini} \in [0, p_{max}]$  发送信标消息.

**定义 2** 载波侦测距离(CSR):对于  $\forall u_i \in N$ ,给定一个功率分配  $PA(i)$ ,总有与之对应的唯一载波侦测距离,记为  $CSR(PA, i)$ .

**定义 3** 信道负载(CL):对于  $\forall u_i \in N$ ,给定一个功率分配  $PA(i)$ ,则节点  $u_i$  周围的无线信道负载为:  $CL(PA, i) = |\{u_j \in N, j \neq i: u_j \in CSR(PA, i)\}|$ .

**定义 4** 最大、最小信道负载:对于  $\forall u_i \in N$ ,其位置为  $x$ ,存在  $u_j \in CSR(PA, i), j \neq i$ ,即  $u_j$  为  $u_i$  载波侦测范围内的节点,则节点  $u_i$  载波侦测范围内所有节点信道负载的最大值为:  $\max\_CL(PA) = \max_{x \in [0, 1]} CL(PA, x)$ ;节点  $u_i$  载波侦测范围

内所有节点信道负载的最小值为:  $\min\_CL(PA) = \min_{x \in [0, 1]} CL(PA, x)$ .

根据以上定义,基于阈值的信标传输功率控制问题(transmission power assignment problem, TPAP)可以表述为:根据信道负载实测值,在满足目标车辆信道负载在合理的区间内的前提下,调整节点载波侦测范围内的所有车辆传输功率,达到传输功率最大化.

若增大信标消息的传输功率,对功率波动和干扰的鲁棒性也会随之增加,从而可以使消息传输到更远的距离.然而,如果网络中所有节点的传输功率都增加,则每辆车的载波侦测范围和节点共享信道的数目也随之增加,从而会减少无线信道的空间复用率. Guo 等<sup>[10]</sup>的研究认为:在高速公路环境下,当信标通信距离为 300 m 时,如果将传输功率从 10 dBm 增大到 20 dBm,将导致发送端的无线信道负载从 2.58 Mbps 增加到 18.5 Mbps,使得发送端附近的信标接收概率从 0.6 减小到 0.1. 所以在给信标分配传输功率时,需要做出适当的权衡来找到最佳操作策略.

基于阈值的信标传输功率控制算法的目标是以分布式为所有车辆绝对公平地分配功率,在保证每辆车周围的信道负载在预先定义阈值区间的情况下,使得每辆车的信标传输功率最大化. 算法描述如下:

Input: real\_load, max\_adjust\_load, min\_adjust\_load, PA,  $N = \{u_1, \dots, u_n\}, \varepsilon$

Output: PA

If (real\_load  $\leq$  min\_adjust\_load) then

while (max\_CL(PA)  $\leq$  max\_adjust\_load) do

for ( $j = 1$  to  $n, j \neq i$ ) do

PA( $j$ ) = PA( $j$ ) +  $\varepsilon$

end for

end while

for ( $j = 1$  to  $n, j \neq i$ ) do

PA( $j$ ) = PA( $j$ ) -  $\varepsilon$

end for

Else

If (real\_load  $\geq$  max\_adjust\_load) then

while (min\_CL(PA)  $\leq$  min\_adjust\_load) do

for ( $j = 1$  to  $n, j \neq i$ ) do

PA( $j$ ) = PA( $j$ ) -  $\varepsilon$

end for

end while

for ( $j = 1$  to  $n, j \neq i$ ) do

PA( $j$ ) = PA( $j$ ) +  $\varepsilon$

end for  
End If  
End If

其中:  $real\_load$  为信道负载实测值;  $max\_adjust\_load$  为最大允许信道负载;  $min\_adjust\_load$  为最小允许信道负载;  $PA$  为信标功率分配;  $\varepsilon$  为功率调整步长.

算法的工作流程如下: 网络中所有的节点以初始化传输功率  $p_{ini}$  发送周期性信标消息, 目标节点每隔一定时间测量周围的无线信道负载, 若目标节点的信道负载实测值小于信道负载预设区间的下界, 则该节点载波侦测范围内的所有节点增加传输功率  $k\varepsilon$ , 直到满足  $max\_CL(PA)$  小于预设区间的上界; 若目标节点的信道负载实测值大于预设区间的上界, 则该节点载波侦测范围内的所有节点减少传输功率  $k\varepsilon$ , 直到满足  $min\_CL(PA)$

小于预设区间的下界.

## 2 仿真验证

本文选取八车道高速公路的基本路段作为仿真对象, 研究在高密度无线通信环境下, 周期性信标消息采用传输功率控制算法前后的信道负载变化情况. 选用 Paramics 作为交通仿真工具, 取信标消息大小为 800 B, 消息生成速率为 15 条/s, 即每辆车的信标消息速率为 96 Kbps; 初始通信距离为 250 m, 初始载波侦测距离为 500 m, 最大通信距离为 500 m, 最大载波侦测距离为 1 000 m, 最小允许信道负载阈值为 3 Mbps, 最大允许信道负载阈值为 6 Mbps, 功率调整步长为 0.01. 交通仿真参数如表 1 所示.

表 1 八车道高速公路基本路段仿真参数							
Table 1 Simulation parameters for the basic sections of eight-lane highways							
路段长度 /km	抽样间隔 /ms	每车道平均 流量/vph	平均车头 时距/s	单向车道数	平均车速 /(km·h <sup>-1</sup> )	单车道最小 流量/vph	单车道最大 流量/vph
18	15	3 273	1.16	4	62	800	4 200

根据以上通信和交通仿真参数, 可计算出车辆的平均车头间距是 20 m, 则在该路段, 周期性信标产生的平均信道负载为

$$\frac{8[\text{lanes}] \times 500\text{m}[\text{com\_diameter}]}{20\text{m}[\text{between\_cars}]} = 200[\text{cars/com\_range}] \times 200[\text{cars}] \times 15\text{pkts/s} \times 800\text{B/pkt} \times 8\text{b/B} = 19.2\text{Mbps}.$$

可根据式(1)计算出车辆周围的实际信道负载, 以此作为实测信道负载值. 计算公式如下:

$$Real\_load = \frac{\text{cars}}{\text{com\_distance}} \times 15\text{pkts/s} \times 800\text{B/pkt} \times 8\text{b/B}. \tag{1}$$

式中:  $Real\_load$  为信道负载;  $\frac{\text{cars}}{\text{com\_distance}}$  为通信范围内的车辆数.

使用传输功率控制算法前后的平均信道负载情况如图 1, 图 2 所示. 从图 1, 图 2 可以看出, 采用传输功率控制算法后, 信道负载经过一段时间的摆动(这是由算法的分布式和公平性特征所决定的), 较快的收敛于 3 ~ 6 Mbps 的预设阈值控制区间内, 使用本算法经过的时间越长, 收敛效果越明显.

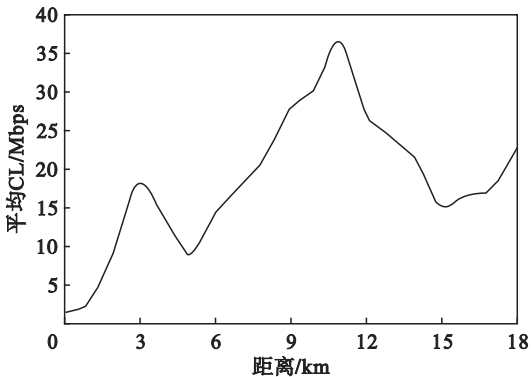


图 1 采用传输功率控制算法前的信道负载  
Fig. 1 Channel load before using the transmission power control algorithm

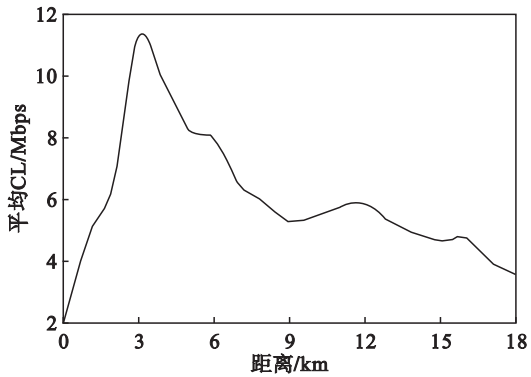


图 2 采用传输功率控制算法后的信道负载  
Fig. 2 Channel load after using the transmission power control algorithm

### 3 实例验证

考虑到现实环境中车辆间距离、遮挡等因素对信号传输的影响,采用 2016 年 1 月 12 日长春浮动车实测数据对本文算法进行验证. 实验中,租赁了 30 辆出租车沿长春市南湖大路—亚泰大街—自由大路—人民大街进行行车实验,实验车队共经过 8 个有信号控制的路段,按照行驶顺序,依次编号为 1 ~ 8. 实验时间为早 7: 00 ~ 8: 00. 选用支持 DSRC 通信协议的美国电装 V2X 车载机作为车间通信平台. 取信标消息大小为 800 B,消息生成速率为 40 条/s,最小允许信道负载阈值为 3 Mbps,最大允许信道负载阈值为 6 Mbps,功率调整步长为 0. 01.

车辆间周期性信标通信形成的初始信道负载(理想状态)为

$$30\text{ [cars]}\times 40\text{pkts/s}\times 800\text{B/pkt}\times 8\text{b/B}=7.68\text{ Mbps}.$$

车队在行驶过程中,传输功率控制算法使用前后的实测平均信道负载情况如表 2 所示.

表 2 使用传输功率控制算法前后实测信道负载比较  
Table 2 Comparison of measured CL before and after using the algorithm

路段编号	未使用算法的 CL/Mbps	使用算法后的 CL/Mbps
1	7. 13	6. 25
2	7. 02	5. 86
3	6. 65	5. 05
4	5. 38	4. 33
5	4. 85	3. 55
6	5. 98	3. 96
7	6. 98	4. 54
8	4. 12	3. 86

由于现实通信环境中车间距离及遮挡的影响,周期性信标消息形成的信道负载要小于初始理想值. 从表 2 可以看出,使用本文算法后,经过一个较短的过程(车队行驶到第 2 个路段后),信道负载控制在 3 ~ 6 Mbps,结果令人满意,说明本算法有效.

### 4 结 语

车联网中,在周期性信标消息的大小和生成速率已经减小到最小数据集需求的情况下,调整周期性信标消息的传输功率,可以预防信道拥塞

的发生. 本文提出的基于阈值的信标传输功率控制算法,在保证 VANET 节点最大连通性的前提下,根据实测的信道负载值与预设的最大、最小阈值进行比较,调整信标传输功率分配,使信道负载快速收敛于合理的区间范围内.

#### 参考文献:

[ 1 ] Hartenstein H, Laterteaux K P. Vehicular applications and inter-networking technologies[ M]. Atrium: John and Sons, Publishing Limited, 2010.

[ 2 ] Qureshi K N, Abdullah A H. Congestion control scheduling scheme for vehicular networks[ C]//Information Technology and Multimedia ( ICIMU ), 2014 International Conference. Putrajaya, 2014: 35 – 36.

[ 3 ] Sepulcre M, Gozalvez J, Altintas O, et al. Adaptive beaconing for congestion and awareness control in vehicular networks [ C]// Vehicular Networking Conference ( VNC ), IEEE. Paderborn, 2014.

[ 4 ] 唐伦,王晨梦,陈前斌. 车载自组织网络中基于时分复用的异步多信道 MAC 协议[ J]. 计算机学报, 2015, 38 ( 3 ): 673 – 684.  
( Tang Lun, Wang Chen-meng, Chen Qian-bin. An asynchronous multi-channel MAC protocol based on TDMA in vehicular ad-hoc network [ J ]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38 ( 3 ): 673 – 684. )

[ 5 ] 孙全. 基于网络编码的车联网信标广播方案研究[ D]. 南京: 南京邮电大学, 2014.  
( Sun Quan. Research on beacon broadcast algorithm in vehicular ad hoc networks based on network coding [ D ]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2014. )

[ 6 ] 胡荣娜,郭爱煌. 车联网中基于功率控制的传输可靠性算法[ J]. 计算机应用, 2015, 35 ( 6 ): 1523 – 1526.  
( Hu Rong-na, Guo Ai-huang. Transmission reliability algorithm based on power control in Internet of vehicles[ J ]. Journal of Computer Applications, 2015, 35 ( 6 ): 1523 – 1526. )

[ 7 ] Artimy M, Roberson W, Phillips W. Assignment of dynamic transmission range based on estimation of vehicle density [ C]//Proceeding of the 5th ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks. Cologne, 2010: 41 – 45.

[ 8 ] Caizzone G, Giacomazzi P, Musumeci L, et al. A power control algorithm with high channel availability for vehicular ad-hoc networks [ C]//Proceedings of the 43th IEEE International Conference on Communications. Seoul, 2009: 3321 – 3323.

[ 9 ] Khorakhum C, Busche H, Rohling H. Congestion control for VANETs based on power or rate adaptation [ C]//Proceedings of the 6th International Workshop on Intelligent Transportation. Hamburg, 2011.

[ 10 ] Guo W J, Huang I S, Sun J, et al. Delay-aware reliable broadcast scheme based on power control for VANETs[ J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 2014, 21 ( 1 ): 26 – 35.