

基于最速下降法的车载网络功率控制研究

张宇 徐伟强 陈积明 孙优贤
(浙江大学控制科学与工程学系 杭州 310027)

摘要: 车载网络中的功率控制算法 D-FPAV 在功率值计算精度要求较高时, 即计算功率值的步长 λ 取值较小时, 存在计算量较大的问题。该文在 D-FPAV 算法的基础上提出了一种改进的功率控制算法——最速下降功率控制 SDPC 算法, 该算法运用了最速下降法快速收敛的原理。仿真结果表明, SDPC 算法能够降低计算迭代次数, 提高算法收敛速度, 并且使得车辆发送状态信息的功率能够随车辆位置信息和环境的变化快速做出调整, 从而能有效地进行信道拥塞控制, 有利于提高车辆行驶的安全性。

关键词: 车载网络; 功率控制; 拥塞控制; SDPC 算法; 收敛速度

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2010)10-2536-05

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2009.01441

Steepest Descent Method Based Transmission Power Control in Vehicular Networks

Zhang Yu Xu Wei-qiang Chen Ji-ming Sun You-xian

(Department of Control Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027 China)

Abstract: The transmission power control algorithm D-FPAV(Distributed Fair Power Adjustment for Vehicular environments) becomes computational expensive when required calculation precision is high, i.e., the step λ is small. In this paper, a novel transmission power control algorithm SDPC(Steepest Descent Power Control) algorithm is proposed to improve D-FPAV. This algorithm is based on the rapid convergence theory of the steepest descent method. Simulation results show that the effectiveness of SDPC in terms of the number of iterations for computing the transmission power values decreases and converging speed. As a result, the transmission power to transmit their status information can be quickly adaptive to the vehicle dynamic and surroundings situations. Therefore, channel congestion can be effectively controlled and the security of vehicular networks can also be improved.

Key words: Vehicular network; Transmission power control; Congestion control; SDPC (Steepest Decent Power Control) algorithm; Convergence speed

1 引言

随着无线通信技术的发展, 在车载网络的研究领域, 无线网络环境中实现车辆间安全行驶的问题备受关注, 与之相关的各领域成为国内外研究热点^[1-5]。移动通信为减少和避免道路交通事故提供了很大的技术支持, 及时有效地保证车辆间的通信是保证车辆安全行驶的重要因素。但是, 在车辆密度较大的环境中, 由于无线信道容量是有限的, 当车辆发送信息过多、发送功率过大时, 就容易造成信道的拥塞, 从而影响到与车辆安全相关的信息的

接收, 导致车辆的安全受到威胁。因此, 如何有效控制信道拥塞, 保证信息安全快速地传输具有重要的意义。

网络产生拥塞的根本原因是终端系统提供给网络的负载超出了网络的存储和处理能力。目前在控制车载网络信道负载方面, 文献[6]介绍了D-FPAV算法, 其在控制信道拥塞方面有比较深入的研究, 但是由于在功率值计算精度要求较高时, 存在计算量较大的问题, 本文将对功率控制算法进行改进。

控制信息发送的功率是控制信道负载的有效方式。车辆间发送的信息主要有车辆状态信息和紧急状态信息, 车辆间不断发送状态信息以便了解环境中其它车辆的状态; 而车辆只有在遇到事故或者紧急状态时发送紧急状态信息。因此关于车辆状态信息的功率控制是避免信道拥塞的重要方面。本文利

2009-11-10 收到, 2010-04-28 改回

国家自然科学基金(60702081, 60974122), 国家自然科学基金委-广东省联合基金(U0735003)和中国博士后科学基金一等资助项目(20080440201)资助课题

通信作者: 陈积明 jmchen@iipc.zju.edu.cn

用最速下降法的原理^[7]对 D-FPAV 算法进行改进, 以提高运算速度, 使车辆发送状态信息的功率能够随时进行调整, 更好地进行信道拥塞控制, 保证信息及时可靠地传输, 从而加强了车辆行驶的安全性。

2 D-FPAV 功率控制

D-FPAV 算法是以公平性为前提, 依据最大最小化原则实现功率控制, 即在不超出信道负载的情况下, 发送功率尽量取得最大, 既满足不造成信道拥塞, 又保证让更多车辆接收到车辆状态信息^[8-9]。

2.1 FPAV 算法^[10]

FPAV(Fair Power Adjustment for Vehicular environments)算法是 D-FPAV 算法的基础。其原理是: 每个车辆都以最小功率 0 起步, 所有的车辆都以相同的步长 λ 不断增加功率值, 直到由于车辆发送状态信息的功率过大, 导致网络信道发生拥塞为止, 即可得出在不造成拥塞情况下的最大功率值。

2.2 D-FPAV 算法

D-FPAV 算法是基于 FPAV 算法的分布式算法。其原理是: 车辆均在其最大载波监听范围 ($CS_{MAX(i)}$) 内应用 FPAV 算法, 计算其发送状态信息的功率值, 再将此功率值与其 $CS_{MAX(i)}$ 内其它车辆计算的功率值进行相互传递, 最终利用最小化原则, 将算出的功率值与接收到的相比较, 以取得最小功率值。

2.3 D-FPAV 算法的缺点

由 D-FPAV 算法的原理可以看出, 只有在步长 λ 的取值足够小时, 功率值的求解精度才会很高, 因此若想达到很高的精度, 计算次数就会非常大, 在这种情况下, 每次求取功率值所需的时间就会很长, 从而造成时延问题。在实际高速车载路网中, 由于车辆位置变化很快, 若求取功率值所需要的时间过长, 计算结果就会由于车辆分布状态的变化而失去实际意义。因此在计算功率值时一定要实现算法的快速性, 才能保证其在高速场景中的实际应用。

3 最速下降功率控制算法 SDPC

本文利用最速下降原理, 设计了 SDPC 算法。其特点是: 初始步长较大, 远离极值点时收敛速度快; 到达极值点附近时, 步长逐渐减小。该算法在给定的精度要求下, 能以最快速度实现收敛, 特别适合拓扑变化快的网络, 可以实现任意精度的计算。

3.1 最速下降法的基本原理

最速下降法是求解约束多变量最优问题的一个基本方法, 具有迭代计算简单、收敛速度快等优点。

当使用迭代法求解时, 通常从任意点 $x^{(k)}$ 出发, 然后在该点选定一搜索方向 $v^{(k)}$, 使目标函数值 $f(x)$

沿该方向下降, 再选择步长 $\lambda^{(k)}$, 沿 $v^{(k)}$ 方向移动一个步长 $\lambda^{(k)}$, 则可得到下一个近似点 $x^{(k+1)}$ 。

利用最速下降法的思想, 本文对 D-FPAV 算法进行改进, 提高求解速度, 改善延时问题, 使得车辆发送状态信息的功率能够得到更为有效的控制。

3.2 SDPC 算法的核心思想

SDPC 算法是将最速下降法的原理应用于 D-FPAV 算法的求解过程中, 从而实现功率值计算的快速收敛。该算法的核心思想是:

从初始功率值 $p^{(k)}$ 出发, 然后在该点选定一搜索方向 v , 使得目标函数值(即信道最大负载与此功率取值下信道负载之差)沿该方向下降, 然后选择步长 λ , 沿 v 方向移动一个步长 λ , 则可得到下一个近似点 $p^{(k+1)}$, 即 $p^{(k+1)} = p^{(k)} + \lambda v$, $f(x^{(k+1)}) < f(x^{(k)})$ 。

在求解过程中, 功率值只能变大或变小, 因此搜索方向 v 只能取 1 或 -1。当信道不拥塞时, 则继续增加功率值, 即取 1; 当信道超出拥塞门限时, 则减小功率值, 即取 -1。 λ 的取值是从初始步长开始, 逐次降为原来的二分之一, 即 $\lambda_{i+1} = 1/2 \cdot \lambda_i$, 直到降至要求的步长精度为止。当满足功率值精度要求后, 停止迭代, 即可求出功率值。

3.3 SDPC 算法的实现过程

SDPC 算法与 D-FPAV 算法整体的计算步骤相似, 关键在于 SDPC 算法能够更快地求取功率值, 实现更快的收敛速度。该算法具体计算步骤如下:

- (1) 车辆 v_i 基于其 $CS_{MAX(i)}$ 内车辆的位置信息, 计算出其范围内满足不造成信道拥塞的功率值 p_i 。
- (2) 将 p_i 发送给其 $CS_{MAX(i)}$ 内的所有车辆, 并收集由车辆 $v_j \{v_j \in CS_{MAX(j)}\}$ 所发送来的功率值 p_j 。
- (3) 利用最小化原则, 得出最终的功率取值为 $\min\{p_i, \min[p_j]\}$ 。

SDPC 与 D-FPAV 算法的区别在于求取功率值的思想上。假定车载网络中有 n 个车辆, c_1, c_2, \dots, c_n , 发送功率值 p_1, p_2, \dots, p_n 的初始值均设为 0。

D-FPAV 的计算思想如下:

在信道不拥塞的情况下, 初始功率值均在前值的基础上加一固定步长 $\lambda_{(0)}$, 即 $p_{i+1} = p_{(i)} + \lambda_{(0)}$, 直到计算出的功率值会导致信道发生拥塞, 此时再将该功率值在前值的基础上减小一个步长 $\lambda_{(0)}$, 即 $p_{i+1} = p_{(i)} - \lambda_{(0)}$, 则此时的功率值 p 是在满足不超过信道负载的前提下, 可达到的最大功率值。

SDPC 算法的计算思想如下:

初始功率值先统一加上一个初始步长 $\lambda_{(0)}$, 在信道不拥塞的情况下, 步长逐次减小为原来的二分之一, 即 $\lambda_{i+1} = 1/2 \cdot \lambda_i$ 。功率值均在前值的基础上加上当前算出的步长 λ_i , 即 $p_{i+1} = p_{(i)} + \lambda_i$, 直

到降至要求的步长精度为止, 则此功率值 P 是在满足不超过信道负载的前提下, 可达到的最大功率值。

由两种算法的计算思想看出, D-FPAV 算法每次加上固定步长, 在计算时特别是功率值较大时, 所需迭代次数会非常大。而 SDPC 算法在可与 D-FPAV 算法同样达到任意精度的前提下, 用最快的收敛速度求解功率值。

因此可以得出结论, SDPC 算法在运算速度方面有很大的优势, 这在实际的车载网络中, 尤其适合拓扑变化很快的网络。

4 算法仿真及其结果的比较

为检验 SDPC 算法在运算速度方面的效果, 对 SDPC 算法和 D-FPAV 算法在计算功率值所需要的运算步数方面进行了比较。

在理想的自由空间路径衰耗模型中, 传输功率与传输距离之间存在着确定的函数关系^[1]。本文借鉴文献[6]的功率值表述方式, 即通过传输距离来表示相应的传输功率值。因此, 在本文中, 功率对应的单位为瓦特(W)相应描述成传输距离的单位为米(m)。实际场景中, 不同车辆用最大功率发送状态信息所能达到的传输距离也不同, 一般有 150m, 250m, 500m, 750m, 1000 m 等。为研究方便, SDPC 算法的初始步长均计为最大功率所能达到的传输距离的一半, 此处即 75m, 125m, 250m, 375m, 500 m。

将仿真分为两组, 即两种算法精度相同时收敛速度的比较与两种算法在功率值精度要求增加时收敛速度的比较, 所用车辆位置数据信息源于美国联邦高速公路管理局网站^[12], 是美国 101 公路(U.S. Highway 101)位于洛杉矶一段路的车辆信息。车辆场景参数, 如车流量及车速, 为早晨 7:50-8:05 之间的统计量值, 平均车流量为 8500 vph (即每小时通过的车辆数为 8500), 平均车辆速度为 25 kmph (即车辆平均速度为每小时 25 公里)。

所有仿真统一使用此场景中的数据比较仿真结果, 每组仿真包含 6 项数据, 即 D-FPAV 算法数据与初始步长分别为 75m, 125m, 250m, 375m, 500m 的 SDPC 算法的数据, 通过 6 项数据的比较得出两种算法在计算功率值时收敛速度上的差异。

4.1 同精度下收敛速度的比较

在两种算法达到相同功率值精度的情况下, 比较随着功率值的变化, 在运算速度方面的变化趋势。

由于在实际的车载场景中, 同一车道或者相邻车道中车辆的间距至少为几米, 此处假定该值为 5 m, 取两种算法的功率值精度也均为 5 m。

因此计: D-FPAV 算法的求解精度取 5 m;

SDPC 算法的初始步长(即初始求解精度)分别取 75m, 125m, 250m, 375m, 500m 四种情况, 最终求解精度也为 5m。

图 1 是 D-FPAV 算法与初始步长分别为 75m, 125m, 250m, 375m, 500 m 的 SDPC 算法在功率值不断增加的情况下, 收敛速度的比较结果。其中横坐标 p 表示发送功率, 纵坐标表示迭代次数。

从图 1 可以看出, 当功率值较小时, 由于 D-FPAV 算法的初始步长相对较小, 因此在计算小功率值时所需的迭代次数相对小些。但随着功率值的增加, SDPC 算法的优势就非常明显了。由图 1 可以看出, 用 D-FPAV 算法计算功率值(尤其是较大的功率值)时所需的迭代次数很大, 随着功率值增加, 导致迭代次数快速增加。但 SDPC 算法能够更快的趋近目标值, 所需的迭代次数非常小, 可以很快求出功率值, 并且在所求功率值增加的过程中迭代次数变化很小, 从而能够更快地得出功率值。

图 2 是初始步长分别为 75m, 125m, 250m, 375m, 500 m 的 SDPC 算法在求解的功率值不断增加的情况下, 收敛速度的比较结果。

从图 2 可以看出, 取不同初始步长的 SDPC 算法所需的迭代次数都是比较小的, 但分析取不同初始步长时的计算差异, 可以看出, 当功率值在 400 m 之前时, 初始步长越小, 迭代次数越小; 当要计算的功率值在 400 m 之后时, 初始步长取较大或较小时迭代次数都相对大些, 取步长为 75m, 125m, 500 m 时, 其所需的迭代次数都相对取 250m, 375 m 时要大。

因此综合分析, 在所研究的车载网络中, 当所求功率值分布在不同的区域时, 为获得更快的收敛速度, 所选择 SDPC 算法初始步长的值是有差异的。

4.2 两种算法在精度要求增加时迭代次数的比较

在所求功率值一定的情况下, 比较随着功率值精度要求的增加, 两种算法运算速度的变化趋势。

计所求功率值为 900 m。为比较方便, 计 SDPC 算法的初始步长分别取为 75m, 125m, 250m, 375m, 500 m, D-FPAV 算法的求解精度和 SDPC 算法的最终求解精度初值均取为 75 m, 随着精度的增加, 即 D-FPAV 算法的求解精度和 SDPC 算法的最终求解精度同步增加, 观察两种算法在收敛速度上的差异。

图 3 是在所求功率值一定的情况下, D-FPAV 算法与初始步长分别为 75m, 125m, 250m, 375m, 500m 的 SDPC 算法在计算精度不断增加的情况下, 收敛速度的比较结果。

从图 3 可以看出, 当要求的精度较小时, 两种算法所需的迭代次数差别不大, 但随着计算精度的提高, D-FPAV 算法需花费更多的计算量来满足高

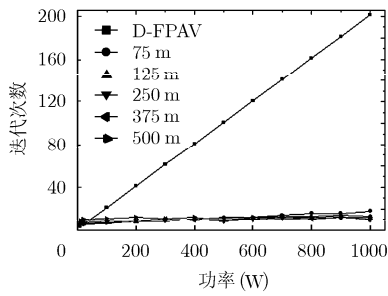


图 1 功率增加时收敛速度的比较

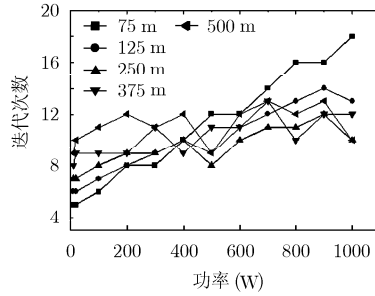


图 2 不同初始步长下功率增加时收敛速度的比较

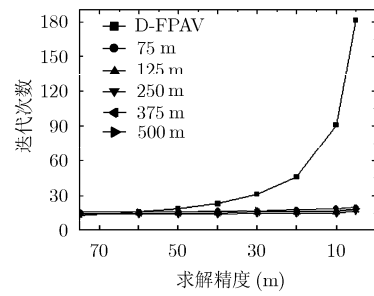


图 3 精度要求增加时收敛速度的比较

精度的求解, 而 SDPC 算法由于其初始步长较大, 更为迅速地在所求功率值附近收敛, 在精度要求提高的过程中计算量没有太明显的增加。因此 SDPC 算法能够更快地完成计算, 这在既要求高效率传输, 又要求高安全性能的车载网络中有很大意义。

图 4 是在所求功率值一定的情况下, 初始步长分别为 75m, 125m, 250m, 375m, 500m 的 SDPC 算法在计算精度不断增加的情况下, 收敛速度的比较结果。

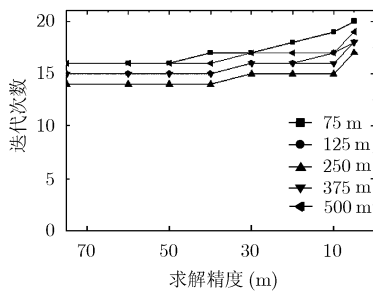


图 4 不同初始步长下精度要求增加时收敛速度的比较

从图 4 看出, 取不同初始步长的 SDPC 算法, 在精度要求增加时, 迭代次数都较小。同时, 在精度增加的整个过程中, 初始步长取较大或较小, 迭代次数都会相对大些。取步长为 75m, 500 m 时, 迭代次数都相对取 125m, 250m, 375m 时要大。因此, 在实际车载网络中, 所取的初始步长不能过大或过小。

由图 2 和图 4 综合分析可以看出, 运用 SDPC 算法求解功率值时, 初始步长的选取不能过大或过小, 否则都会影响求解的收敛速度。因此在实际应用时, 要根据具体情况来选定初始步长。在本文研究的车辆场景中, 平均车流量是 8500 vph, 平均车辆速度是 20 kmph, 在此车辆运行状态下选择的最理想初始步长可以由仿真看出。在不同场景中, 由于车流量和车速都不同, 因此理想的初始步长也是不同的。如果实际条件允许在应用中可以先采集一些所研究场景的车辆数据, 在仿真下研究不同初始

步长的计算情况, 从而确定不同情况下选取的初始步长; 如果实际条件不允许, 因由仿真可得采用不同初始步长的 SDPC 算法计算时, 收敛速度相差不大, 则可以选择中等大小的初始步长即可。

5 结束语

本文研究如何在避免信道拥塞的情况下, 保证整个车辆系统中更多的车辆接收到状态信息, 使得整个系统更为安全可靠的运行, 这在讲究安全至上的车载网络中极其重要。

本文提出的 SDPC 算法既能够实现任意的求解精度, 又克服了 D-FPAV 算法收敛速度慢的问题。其迭代计算简单, 远离极值点时收敛速度快, 大大加快了求解功率值的速度。在所求的功率值较大, 且精度要求很高的情况下, 本方法的优势更为显著。

参考文献

- [1] 文凯, 郭伟, 黄广杰. 无线 Ad hoc 网络中基于节点位置的功率控制算法[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(1): 201-205.
Wen Kai, Guo Wei, and Huang Guang-jie. A power control algorithm based on position of node in the wireless Ad hoc networks[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2009, 31(1): 201-205.
- [2] 陈军, 徐笛, 李式巨, 沈雷. 一种稳健的城市市场景车载 Ad hoc 路由策略[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(11): 2555-2559.
Chen Jun, Xu Di, Li Shi-ju, and Shen Lei. A robust and efficient routing strategy for vehicular Ad hoc networks in city scenarios[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2007, 29(11): 2555-2559.
- [3] Papadimitratos P and Mezzour G. Certificate revocation list distribution in vehicular communication systems [C]. The Fifth ACM International Workshop on Vehicular Inter-networking Proceedings, San Francisco, California, USA, 2008: 86-87.
- [4] Mittag J, Schmidt-Eisenlohr F, Killat M, and Hartenstein H. Analysis and design of effective and low-overhead transmission power control for vanets[C]. The Fifth ACM International Workshop on Vehicular Inter-networking

- Proceedings, San Francisco, California, USA, 2008: 39-48.
- [5] Cheng L, Henty B, Cooper R, and Stancil D. Multi-path propagation measurements for vehicular networks at 5.9 GHz[C]. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Las Vegas, NV, USA, April 2008: 1239-1244.
- [6] Torrent-Moreno M, Mittag J, and Santi P. Vehicle-to-Vehicle Communication: Fair transmit power control for safety-critical information [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, 58(7): 3684-3703.
- [7] Boyd P and Vandenberghe L. Convex Optimization [M]. Cambridge University Press, New York, USA, 2004: 475-483.
- [8] Torrent-Moreno M. Inter-vehicle communications: assessing information dissemination under safety constraints[C]. The 4th IEEE/IFIP Conference on Wireless on Demand Network Systems and Services, Obergurgl, Austria, January 2007: 59-64.
- [9] Torrent-Moreno M, Santi P, and Hartenstein H. Distributed fair transmit power assignment for vehicular Ad hoc networks[C]. The 3rd Annual IEEE Conference on Sensor, Mesh and Ad hoc Communications and Networks, Reston, VA, USA, September 2006, Vol. 2: 479-488.
- [10] Torrent-Moreno M. Inter-vehicle communications- achieving safety in a distributed wireless environment [D]. [Ph.D. dissertation], University of Karlsruhe, 2007.
- [11] Goldsmith A J. Wireless Communications[M]. Cambridge University Press, New York, USA, 2005: 27-63.
- [12] <http://www.ngsim.fhwa.dot.gov/index.php>. 2009. 6.
- 张宇: 女, 1986年生, 硕士生, 从事车载网络技术研究.
- 徐伟强: 男, 1975年生, 副教授, 从事车载网络技术、网络优化等研究.
- 陈积明: 男, 1978年生, 副研究员, 从事传感器网络、网络优化等研究.
- 孙优贤: 男, 1940年生, 教授, 主要从事鲁棒控制、复杂系统建模与优化、工业网络等研究.