

文章编号: 2095-4980(2020)04-0713-06

基于车流量感知的交叉口车速控制策略

王自力

(驻马店职业技术学院 信息工程系, 河南 驻马店 463000)

摘要: 通过车联网(VANETs)协同控制车速和交通灯是智能交通系统的核心技术一。提出基于VANETs交通灯的车速控制优化(VSCO)方案, 通过VANETs对交通信号灯进行时间优化, 并对行驶经过交通信号灯的车辆进行规划, 进而降低交叉口黄灯困境(YLD)相关的事故, 减少CO₂排放以及车辆的等待时间。实验数据表明, 相比于传统的固定时间交通灯机制, VSCO方案减少了车辆等待时间和燃油排放。

关键词: 组合车联网; 交通灯; 黄灯困境; 车速控制; 燃油成本

中图分类号: TN919

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2019301

Intersection speed control strategy based on traffic flow perception

WANG Zili

(Department of Information Engineering, Zhumadian Career Technical College, Zhumadian Henan 463000, China)

Abstract: Joint control of speed and traffic timing based on Vehicular Ad Hoc Networks(VANETs) is one of the core technologies in intelligent transportation system. Therefore, VANETs-based Vehicle Speed Controlling Optimization(VSCO) scheme with traffic light is proposed. VSCO scheme optimizes the time of traffic lights(green, red and yellow) through VANETs, and plans the vehicles driving by the traffic lights to eliminate Yellow-Light Dilemma(YLD)-related traffic accidents occurring at intersections, reduce CO₂ emissions and shorten the waiting time of vehicles. Simulation results illustrate that the proposed VSCO scheme can effectively decrease the waiting time and cut CO₂ emissions, compared with conventional scheme referring to traditional traffic light using fixed signal control method.

Keywords: Vehicular Ad Hoc Networks; traffic light; Yellow-Light Dilemma; vehicle speed controlling; fuel cost

道路上的任何地方都可能发生事故, 尤其是交叉路口。造成交叉口交通事故的主要原因可分为驾驶员因素、车辆因素和环境因素。其中, 驾驶员知觉失错是导致交叉口交通事故的最主要原因, 约占 55.7%; 其次, 驾驶员判断错误占居第二, 约占 29.2%。当车辆行驶到信号灯的交叉口时, 驾驶员的认知错误和判断错误都是由黄灯困境(YLD)导致的。YLD 形成了一个混乱环境^[1], 当交通灯从绿变为黄时, 驾驶员会犹豫, 是停止行驶还是穿过交叉口, 此时的犹豫不决可能导致交通事故。如, 交叉口的追尾就是因为驾驶员过早刹车; 而过晚穿过交叉口, 也可能会造成车辆侧面相撞。

整个交通路网是一个大空间、复杂的非线性系统。而交通灯的控制方式、各相位时间的设计受多方面影响, 包括驾驶员的行驶习惯、应急反应能力。如, LU G^[1]针对驾驶员面临 YLD 问题, 研究了 YLD 问题与构建驾驶员决策因素的关联关系; Pathivada^[2]分析了影响驾驶员在交叉路口决策的因素。为解决 YLD 问题, 应使用动态的交通灯控制方法, 依据交通流, 自适应、智能地控制交通灯信号。以上研究主要对 YLD 问题属性的识别以及交叉路口区域内驾驶员行为的监测进行研究, 并没有提出解决问题的有效方案。

作为智能交通系统的典型应用技术, 车联网(VANETs)^[3]受到学术界和交通部门的关注。VANETs 应用包括主动道路安全、交通效率和管理以及娱乐。在主动道路安全和交通效率管理应用中, 交通灯控制器对道路交通事故

收稿日期: 2019-08-02; 修回日期: 2019-11-01

基金项目: 河南省科技计划资助项目(182102210599)

作者简介: 王自力(1978-), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为计算机应用及物联网技术。email:uijkr_ui@163.com

和空气污染有重要影响。行驶中车辆受交通灯控制,频繁地减速或制动,若交通灯控制机制不合理,会形成空气污染、诱发交通事故以及浪费燃油。在动态交通灯控制方式中,基于交通灯-车-通信(Traffic Light-Vehicle-Communication, TLVC)的机制最具代表性,其引用车与基础设施(Vehicle-to-Infrastructure, V2I)、车与交通灯(Vehicle-to-Traffic-Light, V2TL)通信方式获取交叉路口信息。基于 TLVC 的机制通过给驾驶员匹配最优的行驶速度,使其能安全、有序地通过交叉路口。但现在多数的基于 TLVC 机制主要关注交通流量的优化控制以及最小化车辆停留时间。作为基于 TLVC 机制的代表, Younis^[4]提出了交叉路口的动态交通灯控制的框架,旨在缩短车辆等待时间以及提高交通吞吐量。相比于传统的交通灯控制机制,该框架的车辆等待时间下降了约 20%,交通吞吐量提高了约 250%,其优势在于充分利用无线传感网络的强健协议收集交通数据,控制交通灯状态,提高交通流量的效率。

此外,随着人们环保意识的加强,利用交通数据降低燃油消耗的环保驾驶技术日益受到关注^[5]。文献[6]引用环保驾驶概念,通过交通环境数据,规划车辆行驶油耗最优的车速。实验数据表明,环保驾驶技术可减少 10%~15% 的油耗,降低 20% 的 CO₂ 排放^[7]。文献[8-10]提出基于信号灯状态的智能驾驶策略,该策略可使车辆连续通过尽可能多的绿灯,避免减速或制动,进而降低油耗。文献[11]引用局部最优优化算法,在减少油耗的同时,满足行车时间要求。上述这些方案均是通过保持稳定的速度间接地减少油耗,没有考虑车辆在驶往目的地过程中车速的变化。实际上,减少油耗的关键是尽可能降低刹车频率,避免过大的加速度^[12]。

基于 VANETs 和 TLVC 机制,本文提出基于 VANETs 交通灯的车速控制优化方案(VSCO),优化交通灯的控制机制,降低交通事故发生率,并优化车辆行驶交叉口的速度,进而减少有害气体排放。

1 网络模型及问题描述

以交叉口为研究对象。图 1 为一个典型的交叉口模型,将十字路口划分 2 个区域 Segment 1 和 Segment 2,位于 Segment 1 内所有的车辆信息用于决策交通灯 TL1,位于 Segment 2 内的所有车辆信息用于决策交通灯 TL2。将 Segment 1 和 Segment 2 这 2 个区域又各自划分为 3 个区域:困境区域(Dilemma Zones, DAZ)、应当-前行区(Should-Go Zone, SGZ)和应当-停止区(Should-Stop Zone, SSZ),分别用黄、红和绿色标注。而在道路两旁设置路边设施(Roadside Unit, RSU),帮助车辆与交通灯 TL 通信,同时 TL 也通过 RSU 向车辆发布信息。为了更好地控制 DAZ、SGZ 和 SSZ 区域内的灯,分别引用 G-RSU、R-RSU 和 G-RSU 控制这 3 个区域内的车辆与 TL 的通信。

在 TL 灯转变成红灯前,位于 SGZ 的车辆不能舒服地加速通过交叉口,位于 SSZ 的车辆不能舒服地减速停止在斑马线后面,而位于 DAZ 的车辆不能舒服地停止或者穿过交叉口。当车辆行驶至具有信号灯的交叉口时,车辆的位置和信号灯的状态是决定加速通过交叉口还是减速停止的 2 个重要因素。表 1 为这 2 个因素以及车辆相应的决定。表 1 第 4 行显示了最容易犹豫不决的情况:位于 DAZ 区域的车辆遇上黄灯。

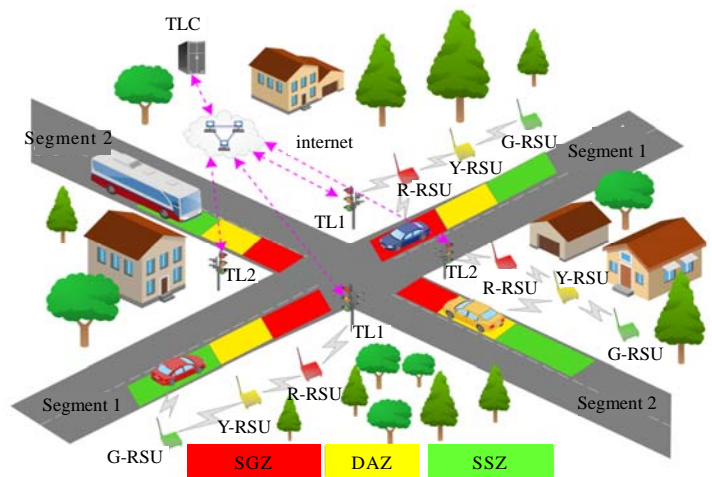


Fig.1 Intersection model

图 1 交叉口模型

表 1 交叉口的信号灯指示

Table 1 Signal signs at intersections

region type	red light	green light	yellow light
SGZ	stop	pass	pass
SSZ	stop	pass	stop
DAZ	stop	pass	irresolute

2 VSCO 方案

在 VSCO 方案中,交通灯控制器(Traffic Light Controllers, TLCs)通过收集车辆信息,对交通灯的相位时间进行控制。整个 VSCO 方案的数据流程如图 2 所示。TLC 协议先从 TL 协议获取车辆信息,产生新的 TL 调度策略和车辆的建议车速^[13],一旦收到这些信息,TL 协议将这些信息传输至 RSU 协议。最后,RSU 协议将这些信息传输至车辆,车辆就能依据交通流量信息调整自己的车速。

2.1 TL 调度策略

TL 调度策略目的是优化交叉口的红绿灯时间, 通过收集车辆信息, 包括车速以及离交叉口的距离, 估计车辆到达交叉口所需的平均时间。同时, 考虑车辆类型以及车辆所在区域位置。一旦收集车辆信息 V_{info} , TLC 协议就给交通灯 TL1 和 TL2 计算相位时间 t_i , 其中 $i=1,2$, 如式(1)所示。

$$t_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_j} \omega_x^j \omega_j \left(\frac{d_j}{s_j} \right)}{\sum_{j=1}^{n_j} \omega_x^j \omega_j} \quad (1)$$

式中: i 为区域的索引; n_j 为区域内的车辆数; ω_x^j 为针对不同区域(SGZ、SSZ 和 DAZ)所定义的权值, 令 $x=1,2,3$ 分别表示 SGZ、SSZ 和 DAZ, DAZ 内的 ω_x^j 值可表示为 ω_3^j ; ω_j 为第 j 个车辆 \mathcal{G}_j 的权值, 取决于车辆类型; d_j 为车辆 \mathcal{G}_j 离 TL1 或 TL2 的距离; s_j 为车辆 \mathcal{G}_j 的速度。

此相位时间表示区域内所有车辆通过交叉口的平均时间。结合图 3, 相位时间 t_1 表示在 Segment 1 内所有车辆通过交叉口所需的平均时间; t_2 表示在 Segment 2 内所有车辆通过交叉口所需的平均时间。TLC 协议依据相位时间 t_1 和 t_2 控制交通灯。

为有效解决 YLD 问题, 依据 DAZ 的车辆数及类型调整黄灯时间, 即调整红灯切换绿灯所跨越的时间。通过增加黄灯时间, 使位于 DAZ 车辆能够更舒适地通过交叉口。

$$t_{extra} = \frac{\sum_{y=1}^{n_z} \omega_y \left(\frac{d_y}{s_y} \right)}{\sum_{y=1}^{n_z} \omega_y} \quad (2)$$

式中: n_z 为位于 DAZ 的总的车辆数; ω_y 为第 y 辆车 \mathcal{G}_y 的权重; d_y 为车辆 \mathcal{G}_y 离 TL1 或 TL2 的距离; s_y 为车辆 \mathcal{G}_y 的车速。

2.2 车速规划

依据所产生的 TL 调整策略, 规划遇上黄灯车辆的车速, 并将车速信息传输至车辆。对于车辆 \mathcal{G}_i , 它的规划车速 v_i :

$$v_i = \begin{cases} v_R, y_{start} \leq \frac{d_i - d_{adj}}{v_R} \leq y_{end} \\ \frac{d_i - d_{adj}}{y_{end}}, y_{start} \leq \frac{d_i - d_{adj}}{v_{max}} \leq y_{end} \\ \frac{d_i - d_{adj}}{y_{start}}, y_{start} \leq \frac{d_i - d_{adj}}{v_{min}} \leq y_{end} \\ 0, otherwise \end{cases} \quad (3)$$

式中: v_R 为默认的推荐车速; d_i 为车辆 \mathcal{G}_i 离 TL 的距离; d_{adj} 为车辆从 v_R 调速于 v_i 所需的最小距离; v_{max}, v_{min} 分别为车速的最大值、最小值; y_{start}, y_{end} 分别为黄灯时期的开始、结束时刻。

2.3 TLC 协议

一旦收集到车辆信息 v_{info} , TLC 就依据式(1)计算 2 个相位时间 t_1 和 t_2 , 并由 t_1 和 t_2 分别控制交通灯 TL1 和 TL2。如算法 1 所示, 依据 t_1 和 t_2 的关系, 规划每个绿、黄和红灯时间。

算法 1

if $t_1 < t_2$

area 1:green=[0, t_1], yellow=(t_1, t_1+5], red=($t_1+5, 100$]

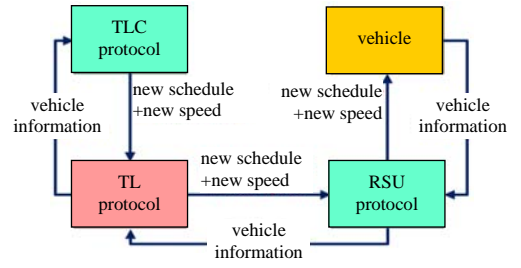


Fig.2 Data flow of VSCO protocol
图 2 VSCO 协议的数据流程

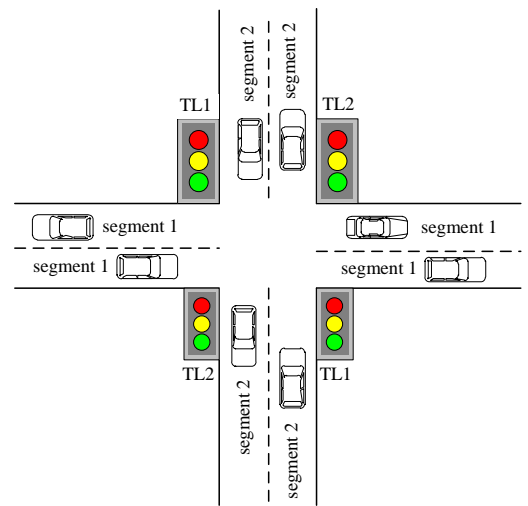


Fig.3 Control model of traffic light
图 3 交通灯管控模型

```

area 2:red=[0,t1+5], green=(t1+5,95], yellow=(95,100]
else if t1>t2
area 1:red=[0,t2+5], green=(t2+5,95], yellow=(95,100]
area 2:green=[0,t2], yellow=(t2,t2+5], red=(t2+5,100]
else
area 1:green=[0,t1-2.5], yellow=(t1-2.5,t1-2.5], red=(t2+2.5,100]
area 2:red=[0,t1+2.5], green=(t1+2.5,95], yellow=(95,100]
End
    
```

本文参照文献[6]，将交通灯的周期设置为 100 s。相位时间 t_1, t_2 所关联的区域为 Area1, Area2，如图 3 所示。

以 0 时刻为起始时刻，当区域 Area1 内的平均到达时间 $t_1 < t_2$ ，就在 Area1 内将绿灯时间设为 $[0, t_1]$ s、黄灯时间设为 5 s，即 $(t_1, t_1+5]$ s，红灯 $(t_1+5, 100]$ s；相应地，Area2 内设置红灯 $[0, t_1+5]$ s，绿灯 $(t_1+5, 95]$ s，黄灯 $(95, 100]$ s。如此设置的目的在于使多数车辆不用调整车速^[7]。相反，如果 $t_1 > t_2$ ，就在 Area2 内设置 $[0, t_1]$ s 绿灯、5 s 黄灯和 $(t_2+5, 100]$ s 红灯；相应地，Area1 设置 $[0, t_2+5]$ s 的红灯、 $(t_2+5, 95]$ s 绿灯和 $(95, 100]$ s 黄灯。

若出现最糟糕的情况 $t_1 = t_2$ ，则在 Area1 的绿灯后，安排 Area2 绿灯。即 Area1 内车辆需要快速移动，从而能在 $[0, t_1]$ 内的绿灯时间成功通过交叉路口；相反，Area2 内的车辆需慢点，等待后面来临的绿灯时间。

2.4 TLC 协议的执行

TLC 协议的目的是产生新的 TL 调度策略，进而自适应控制交叉口 TLs。车辆先依据算法 1 计算 TL1 和 TL2 相位时间 (t_1, t_2) ，并将此信息传输至 TL1、TL2。若遇黄灯，则依据式(2)计算 t_{extra} 时间。如果黄灯来自 TL1，则将 t_{extra} 传输至 TL1；否则，将传输至 TL2。整个流程如图 4 所示。

3 性能分析

3.1 仿真参数

考虑如图 3 所示的交通灯场景。2 个通信区域，每个区域内的车辆数从 100 至 1 000 变化；交通灯管控车辆的最长距离为 2 000 m；考虑 2 类车辆：普通车辆和重载车辆，它们的权值分别为 1 和 2。具体的仿真参数如表 2 所示。

表 2 仿真参数
Table 2 Simulation parameters

parameter	value	parameter	value
number of communication areas	2	length of SGZ/m	20
length of road/km	2	length of DAZ/m	30
default speed of vehicles v_0 /(km/h)	65	weight of SGZ and SSZ	1
maximum speed of vehicles v_{max} /(km/h)	75	weight of DAZ	2
minimum speed of vehicles v_{min} /(km/h)	55	CO ₂ emission and fuel consumption	EMIT

此外，每次实验独立进行 20 次，取平均值作为最终的实验数据。以到达车辆数 400 为例，每次实验独立进行 20 次是指在车辆数为 400 时，仿真 20 次，取这 20 次数据的平均值作为最终数据。在 20 次实验中，每次实验的车辆数一致，但每次车辆行驶的速度可能并不相同，所形成的网络拓扑也不尽相同，因此，每次所产生的数据肯定是波动的，在一定范围内变化。

同时，引用交通排放模型(Emission Model for Intelligent Transportation, EMIT)^[13]作为测量车辆排放 CO₂ 的模型。此外，选择传统的交通灯控制方案(Conventional scheme)、DTLC^[2]和 CO₂ RED 方案^[5]作为参照，并分析每辆车的平均等待时间、每辆车的 CO₂ 排放以及交通吞吐量的性能。其中交通吞吐量的单位为每分钟的车辆数 (Vehicles/min)。

3.2 数据分析

3.2.1 交通吞吐量

图 5 为 4 个方案的交通吞吐量。从图 5 可知，提出的 VSCO 方案平均每分钟通行的车辆数达到 56，而 Conventional scheme, DTLC, CO₂ RED 方案通行的车辆数分别为 15、19、50。这些数据表明，VSCO 方案和 CO₂ RED

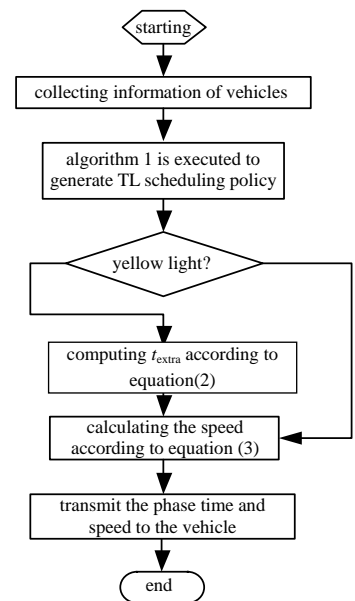


Fig.4 Process of executing the TLC protocol
图 4 执行 TLC 协议的流程

方案通过自适应调整 TL 和优化车速,能够有效提升交通吞吐量,使车辆能够顺畅通行交叉口。相比于 CO₂ RED 方案, VSCO 方案的交通吞吐量得到改善,原因在于 VSCO 方案解决了 YLD 问题,当遭遇黄灯,就延长通行时间,使更多车辆通过交叉口。

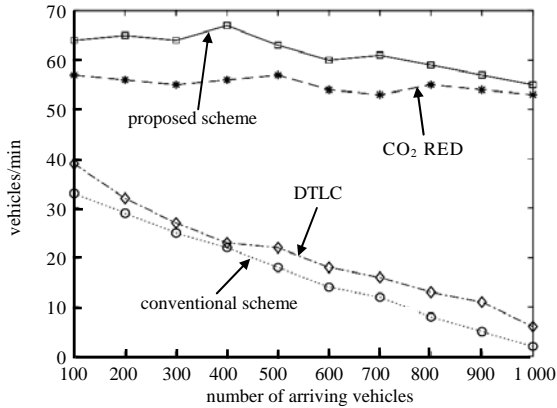


Fig.5 Throughput
图 5 交通吞吐量

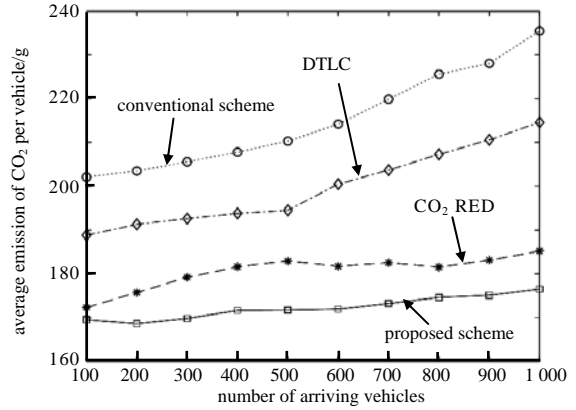


Fig.6 Average emission of CO₂ per vehicle
图 6 每辆车排放的 CO₂

3.2.2 每辆车的 CO₂ 排放

本次实验分析每辆车的 CO₂ 排放性能。排放的 CO₂ 量越少,方案的性能越好。图 6 为 4 个方案的平均每辆车的 CO₂ 排放量。从图 6 可知,提出的 VSCO 方案 CO₂ 排放量最少,平均每辆车排放 156.5 g。而 Conventional scheme 方案平均每辆车排放的 CO₂ 量最多,达到 195.7 g。DTLC,CO₂ RED 方案排放的 CO₂ 量分别为 181.6 g,164.1 g。

相比于 Conventional scheme, VSCO 方案排放的 CO₂ 量得到有效控制,平均每辆车的 CO₂ 量减少了 43.01 g。主要在于 VSCO 方案提高了交通吞吐量,使多数车辆能够顺畅地通过交叉口,减少 CO₂ 量的排放。

3.2.3 平均等待时间

本次实验分析各方案在交叉口的平均等待时间。从图 7 可知,DTLC 方案的平均等待时间最短,每辆车平均等待时间短至 56.1 s。而 Conventional scheme 的平均等待时间最长,达到 149.3 s。相比于 DTLC,CO₂ RED 方案,VSCO 方案的平均等待时间较长,原因在于 VSCO 方案为了解决 YLD 问题,对黄灯时间进行调整,增加额外的 t_{extra} 时间。

4 结论

针对交叉口的 YLD 问题,提出 VSCO 方案。VSCO 利用 VANETs 收集车流量信息,包括车辆位置以及车速,依据这些信息对交通灯进行调整,并结合燃油消耗模型,对车速进行规划,进而减少车辆在交通灯的等待时间以及油耗。仿真结果表明,提出的 VSCO 方案能够有效降低油耗以及缩短车辆等待时间,提高了交叉口的吞吐量。

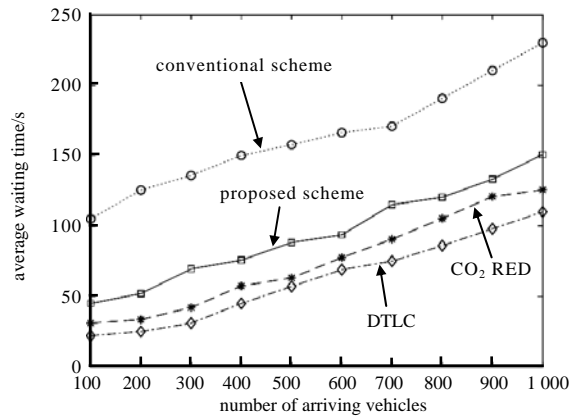


Fig.7 Average waiting time
图 7 平均等待时间

参考文献:

[1] LU G,WANG Y,WU X. Analysis of yellow-light running at signalized intersections using high-resolution traffic data[J]. Transportation Research Part A:Policy and Practice, 2015,73(1):39-52.
 [2] PATHIVADA B K,PERUMAL V. Modeling driver behavior in dilemma zone under mixed traffic conditions[J]. Transportation Research Proceeding, 2017(27):961-968.
 [3] 黄学文,王冠,周胜源,等. 车联网中 V2R 通信功率分配策略[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2018,16(3):516-521. (HUANG Xuwen,WANG Guan,ZHOU Shengyuan,et al. V2R communication power allocation scheme for VANETs[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2018,16(3):516-521.)
 [4] YOUNIS O,MOAYERI N. Employing cyber-physical systems:dynamic traffic light control at road intersections[J]. IEEE Internet Things Journal, 2017,4(6):2286-2296.