

基于交通状态的绿灯间隔时间的优化算法

李铁军,常 旭

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘 要:为了确定不同交通状态下绿灯间隔时间,最大限度地提高交叉口通行能力,提出了使用交通量替代来车速度输入运动学方程的计算方法,根据道路交通流所处状态的不同,分别采用格林希尔茨模型、格林伯格模型和安德伍德模型分析绿灯间隔时间与交通之间的关系,从而建立不同交通状态下,不同交通量的绿灯间隔时间计算方法;并结合西安市小寨路—长安路交叉口早高峰数据,对在原算法及改进后算法计算的信号配时条件下的运行状况进行 VISSIM 仿真。研究结果表明:改进后条件下通过交叉口的车辆数、平均速度有显著提高,阻塞百分比显著降低;该优化算法能够优化绿灯间隔时间,提高交叉口通行能力。

关键词:交通工程;绿灯间隔时间;交通状态;黄灯时间;全红时间;优化

中图分类号:U491.51

文献标志码:A

Optimization algorithm of green light interval based on traffic condition

LI Tie-jun, CHANG Xu

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to determine the green light interval time in different traffic states and greatly improve the traffic capacity at intersection, a calculation method which replaced speed with traffic flow into kinematical equation was put forward. Greenshields model, Greenberg model and Underwood model were used to analyze the relationship between green light interval time and traffic according to different conditions of traffic volumes. A calculation method of green light interval time was established under different traffic conditions and volumes. Combining the traffic volume data of the intersection in morning rush hour in Xiaozhai Road and Chang'an Road in Xi'an City, VISSIM simulation on running state under signal timing conditions based on original and improved algorithm was conducted. The results show that the new model can significantly improve the passing vehicle numbers, enhance the average velocity and reduce the block percentage at intersection. So the method can optimize the green light interval time and improve the traffic capacity of intersection. 2 tabs, 3 figs, 20 refs.

Key words: traffic engineering; green light interval; traffic condition; time of yellow light; all-red time; optimization

0 引 言

交通信号控制可以通过调整不同交通方式所占路权来改善交叉路口的效率^[1]。在信号控制过程中,绿灯间隔时间对于减少交叉口的用户延迟和最大限度地提高交叉口通行能力是至关重要的。绿灯间隔时间由黄灯时间和全红时间组成^[2]。在不同交通状态下,通过公式计算得到的绿灯间隔时间的推荐值是一样的。然而在不同的交通状态下,驾驶人的行为和交通流量特征变化明显,用运动学方程计算绿灯间隔时间的方法并不适合在所有交通状态下采用统一数值。

目前中国的相关工程规范中未就绿灯间隔时间计算方法给出统一、明确的规定^[3]。在各种计算方法中,应用较为广泛的是文献[4]给出的计算公式。文献[5]分析了清空车辆与进入车辆安全通过冲突点的临界条件,并得出:若考虑行人与机动车的冲突,中国现行的两相位机动车控制信号的绿灯间隔时间应大于 8 s;若不考虑,一般可取 5 s 左右。文献[6]给出了绿灯间隔时间的建议取值范围为 5~12 s,该文献未给出绿灯间隔时间具体计算方法,也未对不同值的适用情形作出规定。文献[7]提出绿灯间隔时间由最短绿灯间隔时间和附加清空时间组成;根据两股冲突车流进入交叉口时从停止线到冲突点的距离差,可确定附加清空时间,若冲突车流速度存在明显差异,还需考虑速度差的影响。目前中国对绿灯间隔时间的理论算法尚未统一,且现有算法简单、考虑因素较少,相关参数取值缺乏有说服力的依据,没有考虑不同交通状态对绿灯间隔时间的影响^[8];给出的绿灯间隔时间取值范围过于笼统,指导性不强^[9];在应用时大多采用经验值,难以考虑不同的实际情况,导致取值不合理。

国外对绿灯间隔时间的计算,通常也分为黄灯时间与全红时间两部分^[10]。在美国,通常使用 ITE 运动学方程计算绿灯间隔时间^[11]。在其他国家绿灯间隔时间的计算方法大多考虑冲突区域内车辆的运动学特性^[12]。比较美国、澳大利亚、日本这 3 个国家的计算公式:均考虑了驾驶人反应时间、车辆速度以及交叉口几何尺寸对绿灯间隔时间的影响^[13]。各国除对驾驶人反应时长规定不同外,在如何确定清空距离、是否考虑交叉口坡度和车辆长度、采用哪种车速等方面也存在差异。

为此,本文提出使用交通量替代来车速度输入运动学方程的计算方法。该方法根据不同的交通

量,利用格林希尔茨模型、格林伯格模型和安德伍德模型分析绿灯间隔时间。并结合西安市小寨路—长安路交叉口早高峰数据,对在原算法及改进后算法计算的信号配时条件下的运行状况进行 VISSIM 仿真,并检验绿灯间隔时间的推荐值。

1 不同交通状态下的调查数据收集与整理

为了得到不同交通状态下绿灯间隔时间影响因素的特点,本文进行了现场观测调查研究。试验目的是找出不同交通状态下,尤其是在拥挤的交通状态下,在绿灯间隔时间内车辆的行驶特性。本试验于 2013 年 3 月 22 日采用视频法对西安市小寨路—长安路交叉口的车辆进行统计,结果见表 1,交叉口位置环境见下页图 1。

表 1 试验数据汇总
Tab. 1 Summation of experiment results

时间段	由北进口进入交叉口的车辆数/pcu	阻塞百分比/%	平均速度/(km·h ⁻¹)
7:00~9:00	4 214	3.37	13.5
10:00~12:00	4 007	0.45	27.4
16:00~18:00	4 152	2.91	14.1
19:00~21:00	3 586	0.36	31.8

2 绿灯间隔时间的改进算法

调查结果表明,在拥堵状态下,推荐的绿灯间隔时间不能很好地调节交叉口。运动学方程中的“清空速度”与交通量相关,因此可以使用交通量作为该方程的输入值^[14]。对于每个观测到的交通量,都有对应的车辆速度,然后在相应的交通状态下,就可以求得该交通状态下的绿灯间隔时间。

2.1 黄灯时间计算的改进算法

首先,利用格林希尔茨模型^[15](见式(1))和改进公式(见式(2))确定黄灯时间

$$Q=K_j\left(v-\frac{v^2}{v_t}\right) \tag{1}$$

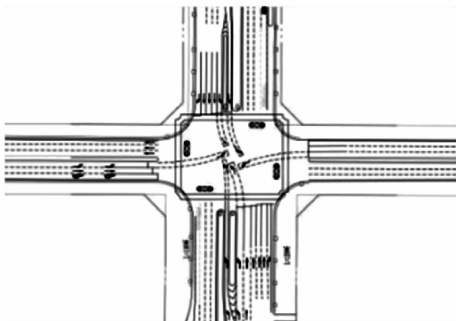
$$Y=t+\frac{1.47v}{2a+64.4g} \tag{2}$$

式中:Q 为流量(veh/h);K_j 为阻塞密度(veh/(km·ln⁻¹));v 为车辆速度(km/h);v_t 为自由流速度(km/h);Y 为黄灯时间(s);t 为驾驶人反应时间(通常取 1 s);a 为减速度(m/s⁻²);g 为坡度百分比(上坡为正,下坡为负)。

将式(1)代入式(2),可以得到式(3)来计算黄灯时间



(a) 交叉口位置(来自谷歌地图)



(b) 交叉口几何线型设计



(c) 摄像机1捕捉画面



(d) 摄像机2捕捉画面

图1 进行试验的交叉口位置环境

Fig. 1 Environment of selected intersection for experiment

$$Y = t + \frac{v_f}{4} \left(\frac{1 \pm \sqrt{1 - 4Q/v_f K_j}}{a + Gg} \right) \quad (3)$$

式中:“±”号由道路流量决定,当交通不拥挤时,取“+”,当交通拥挤时,取“-”; G 为常数。

根据以下参数计算该公式:驾驶人感知反应时间为 1 s,减速度为 3.0 m/s^{-2} ,城市主干道的自由

流速度为 80 km/h ,信号交叉口的阻塞密度为 $71.5 \text{ veh}/(\text{km} \cdot \text{ln}^{-1})$ (自由流速度和阻塞密度根据先前试验的观察数据估计可得)。黄灯时间与观测交通量之间的关系见图 2。最小黄灯时间是感知反应时间,即 1 s,最大黄灯时间约为 5 s。拥挤条件下的黄灯时间小于推荐值,而在交通量较小的情况下黄灯时间大于推荐值。观测交通量和黄灯时间之间满足二次抛物线关系。

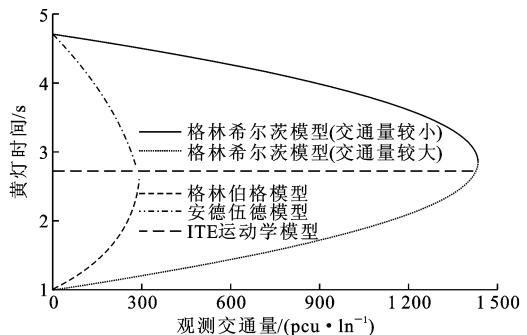


图2 观察交通量与黄灯时间关系

Fig. 2 Relationships between observed traffic flow and yellow light change interval

考虑到格林希尔茨模型无法适当地描述高低 2 种流量的交通流特性,因此拥堵状态下使用格林伯格模型(见式(4))^[16],而在流量较低时则使用安德伍德模型(见式(6))^[17]。因此,式(5)可表示拥堵状态下,所观察交通量和黄灯时间之间的关系。类似地,式(7)表示流量较小时,所观察交通量和黄灯时间之间的关系。这些方程中使用的参数与式(3)所使用的参数相同,图 2 也表示这 2 种状态下的曲线,具体如下

$$v = v_m \ln \left(\frac{K_j}{K} \right) \quad (4)$$

$$Q_l = \frac{v K_j}{e^{v/v_m}} \quad (5)$$

$$v = v_f e^{-\frac{K}{K_m}} \quad (6)$$

$$Q_s = -v K_m \ln \left(\frac{v}{v_f} \right) \quad (7)$$

式中: K_m 为最佳密度($\text{veh}/(\text{km} \cdot \text{ln}^{-1})$); v_m 为临界速度(km/h); Q_l 为格林伯格模型下的流量(veh/h); Q_s 为安德伍德模型下的流量(veh/h)。

不同于格林希尔茨模型改进的曲线,格林伯格模型和安德伍德模型改进的曲线在交通量为 270 pcu 左右时快速结束,其原因可能在于所选的该情况的自由流速度和阻塞密度的值是基于信号交叉口的条件下的,因此需要对这些方程做进一步校准^[18]。

2.2 全红时间计算公式的改进

将格林希尔茨速度-流量模型代入式(8),即得到全红时间的改进公式(9)

$$R=\frac{W+L}{1.47v}-1 \tag{8}$$

$$R=\frac{2}{v_f}(\frac{W+L}{1\pm\sqrt{1-4Q/v_fK_j}}) \tag{9}$$

式中: W 为交叉口宽度(m); L 为车辆长度(m); R 为全红时间(s)。

交叉口宽度为整个交叉口的宽度加上人行道的宽度,本文选取小寨路—长安路交叉口,故取值 50 m。

全红时间也可采取格林伯格模型和安德伍德模型计算^[19]。图 3 表示这些模型对于全红时间的改进计算结果。交通量较小时,由上述几种模型计算所得全红时间的推荐值均小于通过运动学方程计算出来的值;相反,在拥堵状态下,该值急速增加。这也使得这些公式所计算出来的全红时间在现实生活中并无实用价值。因此,一般选用 MUTCD(美国统一交通控制手册)的建议值作为全红时间,最大不超过 6 s^[20]。

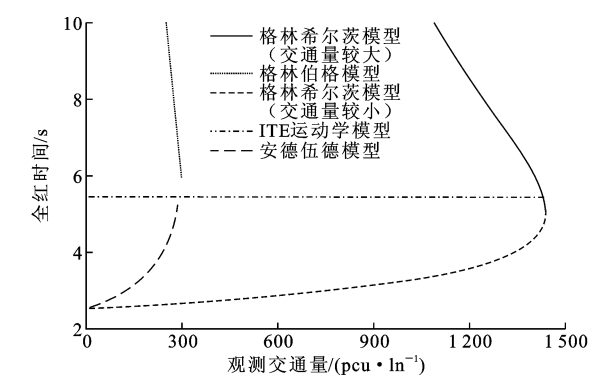


图 3 观测交通量与全红时间的关系

Fig. 3 Relationships between observed traffic flow and all-red interval

3 基于仿真的评估

采用微观交通仿真软件 VISSIM 进行评估^[14]。利用小寨路—长安路交叉口所观察到的交通信息来验证本文所提出的改进方法。根据格林希尔茨模型的改进式(5)和式(11)计算绿灯间隔时间。用早高峰数据来评估本文所提出的改进方法。进行 50 次统计分析,每个模拟时间持续 1 h,试验结果汇总见表 2。由表中数据可以看出改进后通过交叉口的车辆增加 43 veh(增加 8.76%),平均速度提高 6.3 km/h(提高 46.67%),阻塞百分比显著降低

2.56%(比原方法小 75.96%),改进后交通状态得以改善。

表 2 原方法与改进方法下的交通状况对比
Tab. 2 Comparison of traffic conditions between original method and improved method

方法	通过车辆/ (veh · ln ⁻¹)	阻塞百分比/%	平均速度/ (km · h ⁻¹)
原方法	491	3.37	13.5
改进方法	534	0.81	19.8

4 结 语

(1)本文提出了一种估计信号交叉口绿灯间隔时间的方法。在所提及的方法中,使用交通量替代来车速度输入运动学方程,根据不同的交通量,利用格林希尔茨模型、格林伯格模型和安德伍德模型分析绿灯间隔时间。

(2)绿灯间隔时间的建议如下:在拥挤的情况下,黄灯时间可转变为“绿闪+黄灯”或“黄灯+红灯”的形式,黄灯时间应比正常情况小。在拥挤状态,全红时间应较大,但不超过 6 s;当交通量较小时,黄灯时间应该比正常情况要大,全红时间应较小。

(3)本文建议公式采用的参数值(如自由流速度或阻塞密度)只根据西安市小寨路—长安路交叉口获得,需进一步进行校准并评价。

(4)为安全考虑,若使用可变的绿灯间隔时间,黄灯时间和全红时间不应小于最小值,需给出一个最小值,因此在下一步研究中,应探讨如何确定绿灯间隔时间的最小值。

参考文献:

References:

[1] 李 晋,宋 瑞,蒋金亮. 信号控制交叉口绿灯间隔时间计算方法[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2011,35(3):537-541.
LI Jin, SONG Rui, JIANG Jin-liang. Calculation of change interval at the signalized intersection[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2011, 35(3): 537-541. (in Chinese)
[2] 孙 剑,赵 莉. 一种改进的混合交通交叉口安全仿真评价方法[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(6): 32-37.
SUN Jian, ZHAO Li. An improved traffic safety simulation method for mixed-traffic intersection [J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(6): 32-37. (in

- Chinese)
- [3] 李克平. 城市道路交通信号控制中的绿灯间隔时间问题[J]. 城市交通, 2010(5): 73-78.
LI Ke-ping. Green interval design at urban signalized intersections[J]. Urban Transport of China, 2010(5): 73-78. (in Chinese)
- [4] 王 岩, 杨晓光. 基于交通安全的交叉口倒计时信号灯设置研究[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(3): 55-70.
WANG Yan, YANG Xiao-guang. Discussion on setting traffic signals with counting down display unit at intersection based on traffic safety[J]. China Safety Science Journal, 2006, 16(3): 55-70. (in Chinese)
- [5] 朱 彤, 白玉, 杨晓光. 平面交叉口交通冲突安全评价失效分析及改进方法研究[J]. 中国安全科学报, 2008, 18(2): 157-162.
ZHU Tong, BAI Yu, YANG Xiao-guang. Failure analysis on safety assessment method for traffic conflicts at level crossing and its improvement[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(2): 157-162. (in Chinese)
- [6] 张殿业, 金 键, 郭孜政. 道路交通事故预防研究体系探讨[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(7): 132-138.
ZHANG Dian-ye, JIN Jian, GUO Zi-zheng. Exploration into road traffic accident prevention research system[J]. China Safety Science Journal, 2007, 17(7): 132-138. (in Chinese)
- [7] 许洪国, 周 立, 鲁光泉. 中国道路交通安全现状、成因及其对策[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(8): 34-38.
XU Hong-guo, ZHOU Li, LU Guang-quan. Current status, cause analysis and countermeasures of road traffic safety in China[J]. China Safety Science Journal, 2004, 14(8): 34-38. (in Chinese)
- [8] 钱红波, 李克平. 绿灯间隔时间对交叉口交通安全的影响研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(6): 166-170.
QIAN Hong-bo, LI Ke-ping. Study on the influence of green traffic light intervals on the crossing traffic[J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(6): 166-170. (in Chinese)
- [9] 李克平, 杨佩昆, 倪 颖. 城市道路交叉口信号控制中的黄灯问题[J]. 城市交通, 2010, 8(4): 67-72.
LI Ke-ping, YANG Pei-kun, NI Ying. Amber interval design at urban signalized intersections[J]. Urban Transport of China, 2010, 8(4): 67-72. (in Chinese)
- [10] MCGEE H, MORIARTY K, ECCLES T J. Guidelines for timing yellow and red intervals at signalized intersections[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2012(2298): 1-8.
- [11] Institute of Transportation Engineer. Determining vehicle change intervals: a proposed recommended practice[M]. Washington DC: ITE, 1985.
- [12] GATES T J, MCGEE H, MORIARTY K, et al. Comprehensive evaluation of driver behavior to establish parameters for timing of yellow change and red clearance intervals[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2012(2298): 9-21.
- [13] LI P F, ABBAS M. Stochastic dilemma hazard model at high-speed signalized intersections[J]. Journal of Transportation Engineering, 2010, 136(5): 448-456.
- [14] WOLFERMANN A. Influence of intergreen times on the capacity of signalised intersections[D]. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, 2009.
- [15] GREENSHIELDS B D, BIBBINS J R, CHANNING W S, et al. A study of traffic capacity[J]. Highway Research Board Proceedings, 1935, 14: 448-477.
- [16] GAZIS D, HERMAN R, MARADUDIN A. The problem of the amber signal light in traffic flow[J]. Operation Research, 1960, 8(1): 112-132.
- [17] PAPAIOANNOU P, BEHAVIOUR D. Dilemma zone and safety effects at urban signalized intersections in Greece[J]. Accident Analysis & Prevention, 2007, 39(1): 147-158.
- [18] GREENBERG H. An analysis of traffic flow[J]. Operations Research, 1959, 7(1): 79-85.
- [19] Institute of Transportation Engineer. Traffic engineering handbook[M]. 6th ed. Washington DC: ITE, 2009.
- [20] Federal Highway Administration. Manual on uniform traffic control devices[M]. Washington DC: FHWA, 2009.