

基于单路口感应控制系统的单位绿灯延时研究

邵 锋¹, 查伟雄²

(华东交通大学 1. 电气与电子工程学院; 2. 交通运输与经济研究所, 江西 南昌 330013)

摘要: 在单路口感应控制系统中, 单位绿灯延时对于感应信号控制的效率起决定性的作用, 合理的单位绿灯延时可以消除为等待少数车辆而浪费的绿灯时间, 使绿灯延时高效运行, 从而可提高通行能力, 降低延误, 减少车辆追尾等交通事故的发生。比较了两种单位绿灯延时模型, 并通过仿真分析给出对于感应控制系统比较有用的结论。

关键词: 感应控制; 单位绿灯延时; 车头时距; 检测器位置

中图分类号: U491.5⁺4

文献标识码: A

交通感应控制是通过车辆检测器测定到达交叉口的交通需求, 使信号配时适应交通变化的一种闭环控制方式。感应控制对车辆随机到达的适应性较大, 可使车辆在停车线前尽可能减少停车, 达到交通通畅的效果。在感应控制系统中, 所需要的配时参数有: 各相位的最短绿灯时间、单位绿灯延时、最长绿灯时间以及检测器的设置等^[1]。

而单位绿灯延时对于感应信号控制的效果起着决定性的作用。合理的单位绿灯延时可以消除为等待少数车辆而浪费的绿灯时间, 使绿灯延时高效运行, 从而可提高通行能力, 降低延误, 减少车辆追尾等交通事故的发生^[2]。而单位绿灯延时的确定又涉及到车流行驶状况、车辆驶达率、车头时距、检测器距停车线的放置距离等数据的支持。通过对两种单位绿灯延时模型进行对比分析, 我们可以知道此两种方法对于交叉口通行能力的影响, 并给出了系统仿真所需的延误模型及应用程序框图, 通过仿真得到了较为有用的信息, 从而更好地为感应控制系统服务。

1 单位绿灯延时研究

由车辆在交叉口运行规律可知, 各相位单位绿

灯延时要保证车辆按进口道行驶速度能行驶完检测器到停车线之间的距离, 保证车辆在该延期内能够顺利通过停车线。由此单位绿灯延时应该满足公式^[3]

$$g_e = \frac{d}{v} \quad (1)$$

其中: g_e 为单位绿灯延时, 秒; d 为关键进口道上检测器与停车线之间的距离, 米; v 为关键进口道上车流的正常行驶速度, 米/秒。

检测器与停车线之间的距离, 各进口道的检测器的设置位置通常要保证在最小流量时车辆队长不越过检测器, 并要保证检测器与停车线之间的最大排队车辆数能够在最短绿灯时间内疏散完毕, 于是应满足:

$$d = qh \quad (2)$$

其中: q 为关键进口道上检测器与停车线之间的最大排队车辆数, 辆; h 为排队车辆平均车头间距, 米。

从中我们可以看出, 此种方法对于计算单位绿灯延时在公式上比较简单明了, 便于进行定量分析和实际操作。但实际操作中精度不够、时间利用效率较低, 考虑的方面也过于单一。

另外的一种单位绿灯延时公式是由道路通行能

收稿日期: 2007-07-16

基金项目: 江西省自然科学基金资助(0611022)

作者简介: 邵锋(1983-), 男, 江苏徐州人, 华东交通大学电气学院在读硕士。

力手册(HCM2000)给出的^[4]

$$g_e = \frac{e^{\lambda(e_o + t_o - \Delta)}}{\varphi q} - \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

其中: g_e 为单位绿灯延迟时间,秒; q 为单位周期内车辆驶达率,辆/秒; e_o 为单位损耗时间,秒; t_o 为车辆穿越检测器的时间,秒.

$$t_o = \frac{0.68(L_a + L_v)}{S_A} \quad (4)$$

其中: L_a 为车辆长度,米; L_v 为检测器的长度,米; S_A 车辆行驶速度,米/秒; Δ 为最小车头时距,秒; φ 为车辆以自由流状态行驶的概率; λ 为参数,指代为激发相位所有车道上每秒中的车辆数,其计算公式

$$\lambda = \frac{\varphi q}{1 - \Delta q} \quad (5)$$

另外,车辆自由流状态概率用式 6 给出

$$\varphi = e^{-b\Delta q} \quad (6)$$

其中, b 为车辆行驶约束因素. 根据实际情况和仿真数据校正指数分布模型,并给出 b 的推荐值(见表 1).

表 1 Δ 和 b 的推荐值

	$\Delta(s)$	b
单车道	1.5	0.6
2 车道	0.5	0.5
≥ 3 车道	0.5	0.8

由此我们可以得知,相较于前者给出的简易公式,美国道路通行能力手册给出的便较为详尽细致,考虑的因素也较为全面.

2 仿真系统设计与实现

2.1 交叉口感应控制

单交叉路口为一典型的十字路口. 分为东、南、

$$d_{jk} = \begin{cases} (q_{jk}(i-1) + c_{jk}(i)) (e_i + g_{in}), j \neq i \text{ 红灯} \\ \max\{q_{jk}(i-1) - g_{jk}(i), 0\} e_i + (c_{jk}(i) - \max\{g_{jk}(i) - q_{jk}(i-1), 0\}) e_i, j = i \text{ 绿灯} \end{cases} \quad (8)$$

所以,第 i 相位所有进口的车辆总延误为:

$$d(i) = \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^2 d_{jk}(i) \quad (9)$$

周期 T 内所有进口的车辆总延误为:

$$D(T) = \sum_{i=1}^4 d(i) \quad (10)$$

同理,在一个周期 T 内所有进口车辆到达数为,则:

西、北四个方向,每个方向均有右行、直行和左行三个车道车流. 在每条入口道上设置两个信号检测器构成一个检测区,一个设在停车线处,用于检测改道的车辆离开数;一个设在距第一个检测器处,用于检测车辆到达数. 距离取值为 80 100 m,检测器对路口各个车道车流量进行实时检测而获取车流量信息,为信号灯感应控制提供必要的数据库.

下面以图 1 所示的单交叉路口 4 相位信号感应控制进行相关的对比分析.

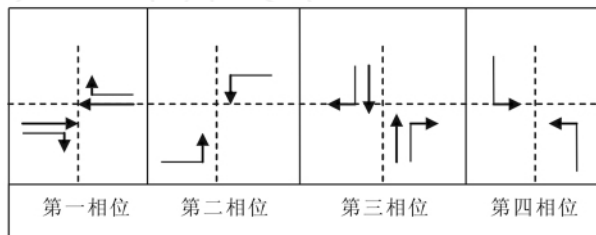


图 1 相位分配图

令 q_{jk} 表示第 j 相位对应的两个方向的车辆等待队列长度, $j=1,2,3,4$, 为相位序号, $k=1,2, \in [0, Q_{\text{limit}}]$, $Q_{\text{limit}} = D/L$, L 为单位车身长度. 考虑某个周期 T , 在 T 内第 i 相位末任意车辆等待队列长度设为 $q_{jk}(i)$, 则

$$q_{jk} = \begin{cases} q_{jk}(i-1) + c_{jk}, j \neq i \text{ 红灯} \\ q_{jk}(i-1) + c_{jk} - g_{jk}(i), j = i \text{ 绿灯} \end{cases} \quad (7)$$

式中 $q_{jk}(i-1)$ 为周期 T 内第 $(i-1)$ 相位末 j 车道的车辆等待队列长度, $c_{jk}(i)$ 是第 i 相位 j 车道的车辆到达数, $g_{jk}(i)$ 是第 i 相位从红灯变为绿灯后的车流离去数.

2.2 评价指标计算

以通过交叉口的平均车辆延误作为评价指标, 以此来衡量以上两种单位绿灯时间延迟模型的控制性能. 设在一个周期 T 内, 第 i 相位的车辆延误为 d_{jk} , 则

$$C(T) = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 c_{jk}(i) \quad (11)$$

所以 k 个周期内四个进口车辆平均延误为:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^k D(i)}{Q_0 + \sum_{i=1}^k c(i)} \quad (12)$$

其中, e_i 第 i 相位的绿灯配时, g_{in} 为绿灯间隔时间, Q_0 为周期开始时所有进口道初始车辆队列长度

之和.

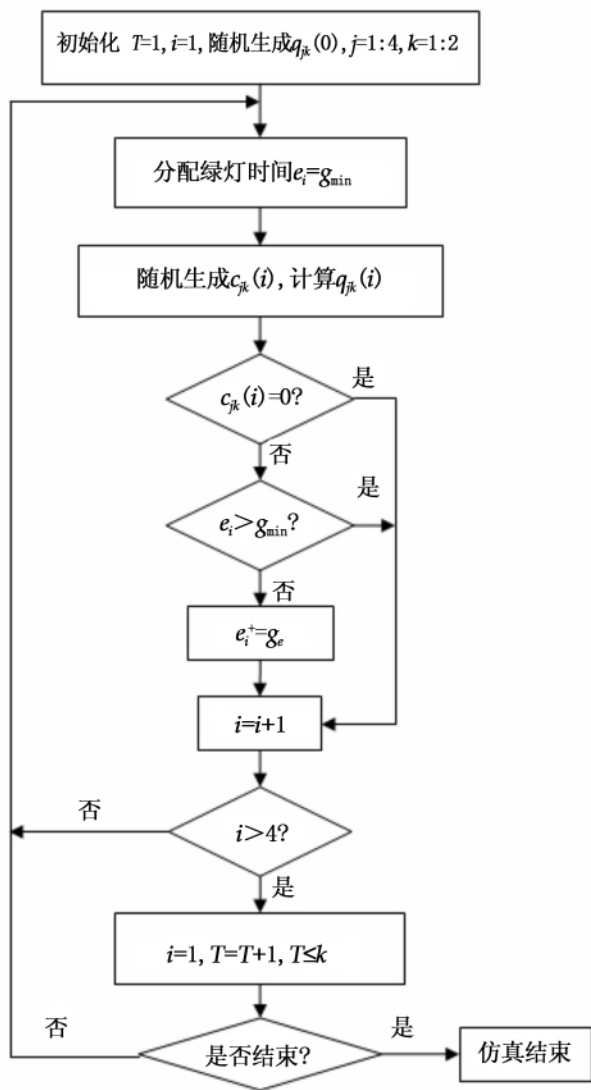


图2 仿真系统流程图

2.3 仿真系统设计与实现

设 T 为周期, i 为相位, 单路口多相位感应控制

器的仿真系统流程图如图2所示.

3 仿真结果分析

采用单交十字路口感应控制作为控制策略. 仿真程序采用 Matlab R2007 语言编写, 仿真数据由北京市工农路/南关南交叉口各进口道的交通流量给出. 车辆到达数采用泊松分布, 则车辆到达的时间间隔服从负指数分布^[9]. 用公式表达为: $P_t = \alpha t e^{-\alpha t} (t > 0)$. α (车辆平均到达率) 由实测数据根据公式 $\lambda = \alpha t$ 给出. 直行右转相位以及左转相位所需仿真参数 $[g_{\min}, g_{\max}]$ 分别为 $[20, 60]$ 和 $[0, 30]$, 周期开始时所有进口道初始车辆队列长度之和 Q_0 取值为 0. 各种车辆与出租车的换算系数由 GB 给出, 左转车流占进口车辆的 20%, 绿灯间隔时间 $g_{\min}$ 给定值为 3 s, 检测器距停车线的放置距离 D 给定值为 100 m, 交叉口直行右转相位及左转相位车辆离去率依据经验给出为 $[0.7, 0.5]$, 辆/秒. 为了保证结论的可靠性, 将两种模型进行了多次仿真比较, 结果由表2给出.

通过多次仿真运行得到, 采用第一种模型产生的平均车辆延误 $d_1 = 47.01$ 秒/辆, 第二种模型 (HCM2000) 产生的平均车辆延误 $d_2 = 44.94$ 秒/辆. 对二者数据进行比对分析, 可知第二种模型 (HCM2000) 比第一种模型车辆延误时间平均减少约为 $\frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100\% = 4.36\%$. 由于表3中“ $P(F \leq f)$ 单尾”所对应的值 $0.000153 < 0.05$, 因而得出这两个方差存在显著差异的结论. 同时, 由于这两个方差也存在着显著性差异, 由此可知模型2相较于模型1系统稳定性相对较好.

表2 两种不同控制方式下平均车辆延误仿真比较(单位: 秒/辆)

次数 方法	1	2	3	4	5	6	7	8
模型1	48.249	45.957	47.655	46.253	46.421	48.07	46.216	47.261
模型2	44.667	45.112	44.899	44.768	45.19	44.865	45.024	45.015

表 3 两种模型显著性检验

F - 检验 双样 本方差分析	模型 1	模型 2
	变量 1	变量 2
平均	47.01 025	44.9 425
方差	0.828 137	0.030 876
观测值	8	8
df	7	7
F	26.82 115	
P(F ≤ f) 单尾	0.000 153	
F 单尾临界	3.787 044	

4 结语

可见,采用第二种模型(HCM2000) 比第一种模型可以在一定程度上减少车辆平均延误时间,系统运行也较为稳定,交叉口通行能力也得到了提高. 故

推荐采用 HCM2000 作为感应控制系统的单位绿灯延迟时间模型.

参考文献:

- [1] 王 炜,高海龙,等. 公路交叉口通行能力分析[M]. 北京: 科学出版社,2001.
- [2] James A. Bonneson, Patrick T. McCoy. Traffic detector designs for isolated intersections [J]. ITE Journal, 1996, (1): 47.
- [3] 翟润平. 交通感应控制的信号配时设计方法研究 [J]. 公安大学学报(自然科学版), 1998, 11(3): 43 - 45.
- [4] U. S. Customary Units. Highway Capacity Manual [S]. National Research Council Washington, D. C., 2000.
- [5] 莫智锋,余 嘉,孙 跃. 基于泊松分布的微观交通仿真断面发车数学模型研究 [J]. 城市交通, 2002, (3): 11 - 14.

Research on the Extension Green Time Based on Actuated - control System for Isolated Intersection

SHAO Feng¹, ZHA Wei - xiong²

(1. School of Electrical and Electronic Engineering; 2. Institute of Transportation and Economic East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: For actuated - control system at isolated intersection, the extension green time plays a crucial role in the efficiency of actuated signal control. A suitable extension green time can eliminate the wasteful green time just because of waiting for a few vehicles and make itself perform efficiently, thus improving the traffic capacity, reducing delays and traffic accidents such as rear - end accidents. The paper makes some useful conclusions by comparing two kinds of the extension green time models through simulation.

Key words: actuated - control; extension green time; headways; detector setback

(责任编辑: 刘棉玲)