

区域交通协调控制中基于时段的相位差计算方法

支俊, 姚妮, 夏永泉, 甘勇

(郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:在区域协调控制的基础上,对低峰期、平峰期和高峰期不同方案的相位差计算进行研究.采用将高峰期分为子区间,并根据实时采集的车流量动态进行相位差计算的策略,改进了高峰期的传统相位差计算方法.仿真结果表明,该相位差计算方法实用有效,可应用于区域交通控制中不同情况的相位差计算.

关键词:交通控制;区域协调;相位差;交叉口

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2013.03.011

A phrase difference computation approach for area traffic control system based on period of time

ZHI Jun, YAO Ni, XIA Yong-quan, GAN Yong

(College of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The calculation method of phase difference for three schemes of low traffic flow, normal traffic flow and high traffic flow was studied based on regional coordination control. The tradition phase difference calculation method was improved using the strategy which divided high traffic flow into subinterval and phase difference calculation was carried out according to acquisition of the number of cars. The simulation results showed that this method was effective, it can be used for phase difference calculation at different conditions in regional traffic control.

Key words: traffic control; area coordination; phrase difference; intersection

0 引言

城市道路交通区域协调控制的对象是城市或城市内某个区域所有交叉口的交通信号.以前倾向于孤立地考虑单点、干线和网络控制3种控制方式,往往把单纯的网络信号控制系统看成区域交通控制系统.正确的区域交通信号控制系统概念是:把城区内的全部交通信号的监控,作为一个指挥控制

中心管理下的一套整体的控制系统,是对单点信号、干线信号和网络信号的综合控制^[1-2].

信号周期、绿信比和相位差是区域交通协调控制中的3个重要因素,信号周期长度和绿信比是造成单交叉口停车延误的重要因素,而相位差是实现交叉口之间协调控制,减少区域总停车次数和停车延误的关键因素^[3].主干道上各个交叉口协调控制时最重要的参数是相位差,求解相位差的模型主要

收稿日期:2012-11-27

基金项目:国家自然科学基金项目(61163017);河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目(2010GGJS-114)

作者简介:支俊(1973—),女,浙江省嵊州市人,郑州轻工业学院讲师,主要研究方向为智能交通系统.

有2类:一类是以车流在主干道上行驶的平均延误和停车次数最小为目标;另一类是以车流在主干道上行驶的通过带宽度最大为目标.其最终目的都是使车辆在主干道上行驶时停车延误最小、停车次数最少^[4].本文将基于区域协调控制算法,对相位差的计算进行分析和改进,并通过仿真验证其效果.

1 区域协调控制算法

区域协调控制算法是以公有周期为基础来调节控制周期、绿信比、相位差三要素,即在子区所有路口执行完一个公有周期后,系统依据该公有周期的路口车流量计算出下一个公有周期时长及与其对应的路口绿信比方案、绝对相位差值.区域协调控制流程如图1所示.

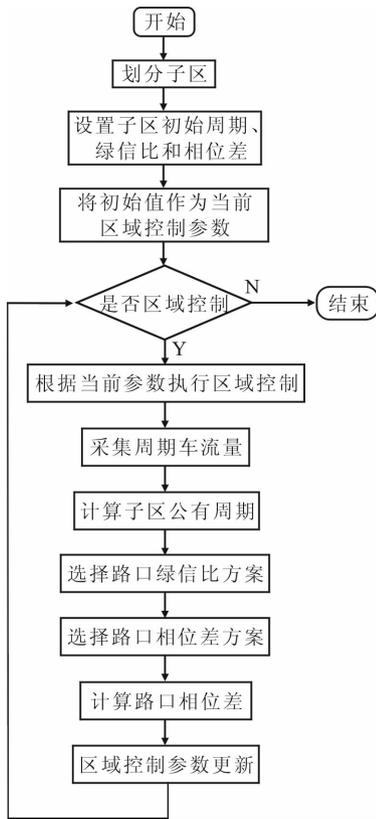


图1 区域协调控制流程

仿真流程如下:

- 1) 根据路口交通流量的历史现状数据与交通网的环境、几何条件和路口间的互联指数为城区路口划分子区;
- 2) 对子区的几何特征、车流特征进行区域协调控制仿真,通过仿真的性能评价指标判断进行区域协调控制是否有效以及采用区域协调控制交通效

率的改善度是多少;

3) 对仿真有效的子区,指定子区的周期参数 $C_{min}, C_{max}, C_s, C_x$, 各路口的4个基本绿信比方案参数,各路口的5个基本相位差方案参数和其他初始化参数,下传到路口信号机;

4) 对各有效子区执行区域协调控制;

5) 路口信号机根据检测的车流信息,计算出路口每周期每车道的饱和度和综合流量,返回到区域控制主机;

6) 区域控制主机把饱和度最大的路口作为周期参考路口,周期参考路口的信号周期作为子区内的公共周期,如果公有周期改变,下传到子区内的各个路口信号机;

7) 信号机根据综合流量和饱和度信息选择合适的相位差方案和绿信比方案,并根据绿信比调节配时方案各相位的绿灯时间;

8) 子区内任何关键参数的变动都详细记录在交通信号控制系统数据库中,作为系统运行的历史数据,为基于时段的区域协调控制提供有效的参考.

2 相位差计算方法

各子区的内部以及子区间的相位差都要事先确定,存储在区域控制主机中,并下传到路口信号机.内部相位差和外部相位差均包含5种不同的方案.在一个子区内,预先指定子区内的关键交叉路口,关键交叉口的相位差为0,其他交叉口的相位差以这个交叉口为参考点.相位差以 s 为单位进行计算,与周期没有直接关系,不会因周期时长的改变而改变^[5-6].周期的变化是随着道路交通需求和交通流特性而变化的,最直观的是车队平均速度的变化,而车队平均速度的变化将直接影响相位差的大小.为此,需对相位差进行修正,找出相位差和周期长的函数关系,修正函数为

$$P' = P \cdot [1 + A \cdot g(C)]$$

式中, P' 是修正后的相位差; P 是基本相位差; A 是修正系数,可正可负; $g(C)$ 是周期长 C 的函数. $g(C)$ 与 C 的函数关系为

$$g(C) = \begin{cases} 1 & C_{min} < C \leq 0.7C_{max} \\ (10/3)(1 - C/C_{max}) & 0.7C_{max} < C < C_{max} \end{cases}$$

相位差的大小和方向的变化由系数 A 的数值和符号决定, A 的符号决定相位差增大还是减小, A 的数值大小决定相位差改变的幅度.

相位差方案的选择方法如下:每个信号周期都要对相位差进行判断,实时选择,5种方案中的第1方案,仅适用于信号周期时长恰好等于 C_{min} 的情况;第2方案,仅适用于信号周期满足 $C_s < C < C_s + C_s/8$ 的情况,是初始的相位差方案;余下的3个方案适用于 $C_s + C_s/8 < C < C_{max}$ 的情况,根据实时检测到的综合流量值进行方案选择.

2.1 交通流量低峰期的相位差计算

城市交通在低峰期的时候,各子区在最小周期 C_{min} 下运行,子区内各交叉口采用第1种相位差方案,根据车流的不同特征,通过2种执行办法进行处理:

1) 如果路口形成不了连续的车流,区域协调控制的效果不明显,采用路口各自为政的单元感应控制,可提高各单独路口的控制效率,尤其是小城市,低峰期车辆稀少,可以采用黄闪控制.

2) 如果交通流有明显的方向性,但流量不大,可在第2种相位差方案的基础上进行修正得到合理的相位差,形成以主干道双向绿波带控制为主,其他车道为辅的区域协调控制策略.只是子区的信号周期较小,相位差也较小^[7].

2.2 交通流量平峰期的相位差计算

在子区范围内能取得双向车流行驶较好的情况下,信号周期是中等的信号周期时长 C_s 以及略长于 C_s 的信号周期 C_x ,即当 $C_s < C < C_x$ 满足时,采用第2种相位差方案,实现区域内双向绿波协调控制^[8].

1) 设当前子区周期为 C ,在短时间内,子区内的平均车速比较稳定,设子区内的平均车速为 v ,子区内的关键路口为 O . O 就是子区内相位差的基准点,子区内其他路口的相位差,都以 O 点为基准计算.任取子区内2个相邻路口 A 和 B ,设 A, B 路口的间距为 S_{AB} .

2) 由双向绿波的基本要求可知,如果 A, B 2个路口要实现完全双向绿波,需满足 A, B 间的距离 $S'_{AB} = K \times v \times C/2 (K \in N)$, $v \times C/2$ 是理想距离.如果 K 为奇数, A, B 异步协调;如果 K 为偶数, A, B 同步协调.如果 $S_{AB} = S'_{AB}$,可实现 A, B 间的双向绿波.

3) 事实上, A, B 之间的实际距离不可能正好是理想距离 $v \times C/2$ 的整数倍,所以必须对 B 路口的相位差做一定的调整,以达到较好的相位差协调效果.任一路口 B 和关键路口 A 的相位差关系如图2所示.

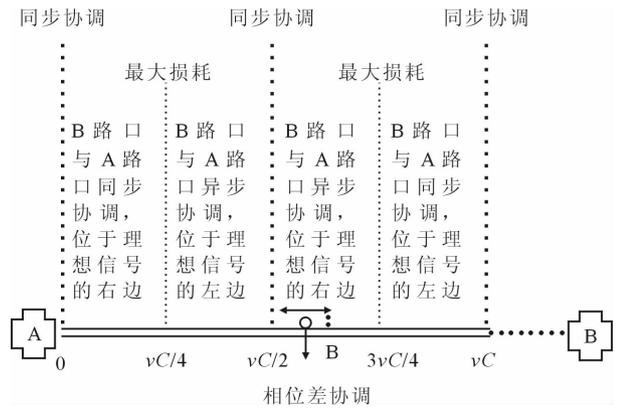


图2 路口间的位置关系图

2.3 交通流量高峰期的相位差计算

把子区周期区间3等分形成3个区间,根据子区内平均车速、当前路口和其参考路口的间距,由这3个周期值和上面的相位差算法,可计算得到3种不同的相位差值和有效协调时间.使用子区周期线性地表示子区平均车速,能够较准确地反应平均车速随车流的变化.设标准的平均车速为 v_0 (低峰或平峰期),子区在最大信号周期时平均车速达到最小,为 v_{min} .车速相对于信号周期的函数关系式为

$$v = v_0 + C_x \frac{v_0 - v_{min}}{C_{max} - C_x} - \frac{v_0 - v_{min}}{C_{max} - C_x} C$$

$$C \in (C_x, C_{max}]$$

式中, v 为当前周期下的车速, v_0 为标准的平均车速, v_{min} 为最大周期时的平均车速, C_x 为临界周期, C_{max} 为最大周期, C 为当前信号周期.

由于子区中各交叉口所处地理位置不同,交通负荷和几何特性也不同,对于同一个相位差方案而言,各交叉口以及各进口道的协调控制效果可能有所不同.为了比较各方案对这些进口道控制的有效性,在方案选择中,进行相位差有效度的计算,只考虑具有重要地位的进口道和最高的交通负荷这2个因素.

有效度通过关键进口道有效协调时间与关键进口道相位时长的比值表示,设相位差方案下各关键进口道的有效度为 P_i ,因为每个相位差相应的有效协调时间已经计算出来,相位时长取当前配时方案关键车道的相位时长,可计算出各个关键进口道的有效度.

相位差方案的选择方法如下:每个信号周期开始的时候,首先计算每个关键进口车道在每个相位差方案下的有效度,然后选择每个相位差方案下有

效度最大的关键进口道,再把每一被选出的进口车道的有效度乘以该进口车道的饱和度,此乘积之和最高的相位差方案为被选中的方案。

根据计算出的有效度 P_i 和进口道上实时检测计算得到的饱和度 DS_i ,各相差方案协调下的交叉口通行能力计算公式为

$$O_j = \sum_{i=1}^x P_i \times DS_i$$

式中,相位差方案标号 $j = 3, 4, 5$; P_i 为各关键进口车道的有效度; S_i 为各关键进口车道的饱和度; i 为关键车道编号; x 为关键车道总数. 取 3 种相位差方案的最大值 $O_{\max} = \max(O_3, O_4, O_5)$, 对应的相位差就是当前配时方案要选择的相位差方案。

3 仿真结果

相位差方案的设置, 主要根据路网结构以及上面所设置的路口关系和路口距离, 通过相位差优化计算模块分别求出各路口相对于子区内关键路口的相位差, 作为区域优化控制的相位差选择方案. 仿真结果以包含 4 个路口为例, 以路口 4 为基准, 各路口的相位差方案见表 1. 利用以上相位差计算结果, 分别采用传统相位差计算方法和本文方法利用仿真软件对区域控制模型和算法进行仿真测试, 得到仿真结果见表 2.

表 1 子区 1 相位差计算结果

方案	路口 1 相位差方案			路口 2 相位差方案			路口 3 相位差方案			路口 4 相位差方案		
	理想信号	位置	相位差/s									
1 号	同步协调	右边	1	同步协调	右边	1	同步协调	右边	0	同步协调	右边	36
2 号	同步协调	右边	36	同步协调	右边	91	异步协调	左边	45	异步协调	右边	61
3 号	同步协调	右边	39	同步协调	右边	102	异步协调	左边	51	异步协调	右边	68
4 号	同步协调	右边	44	同步协调	右边	114	异步协调	左边	57	异步协调	右边	76
5 号	同步协调	右边	51	同步协调	右边	127	异步协调	左边	63	异步协调	右边	85

表 2 区域控制方案仿真结果部分数据

	开始时间	结束时间	延误时间/s	排队长度/辆	停车次数/次
本文方法	2011-11-12 11:03	2011-11-12 11:13	311 291	5 403	4 927
	2011-11-12 11:13	2011-11-12 11:23	337 465	5 702	4 940
	2011-11-12 11:23	2011-11-12 11:33	315 628	5 264	4 645
	2011-11-12 11:33	2011-11-12 11:43	355 366	5 933	4 964
	2011-11-12 11:43	2011-11-12 11:53	355 151	6 084	4 933
	2011-11-12 11:53	2011-11-12 12:03	310 844	5 724	4 821
	2011-11-12 12:03	2011-11-12 12:13	376 853	6 224	4 951
	2011-11-12 12:13	2011-11-12 12:23	343 264	5 631	4 973
	2011-11-12 12:23	2011-11-12 12:33	341 471	5 311	4 887
	2011-11-12 12:33	2011-11-12 12:43	341 273	5 712	4 782
2011-11-12 12:43	2011-11-12 12:53	340 859	5 174	4 922	
传统方法	2011-7-21 11:01	2011-7-21 11:11	338 801	5 584	5 217
	2011-7-21 11:11	2011-7-21 11:21	335 379	5 564	5 162
	2011-7-21 11:21	2011-7-21 11:31	326 599	5 441	5 113
	2011-7-21 11:31	2011-7-21 11:41	331 865	5 615	5 145
	2011-7-21 11:41	2011-7-21 11:51	320 543	5 384	5 046
	2011-7-21 11:51	2011-7-21 12:01	337 912	5 610	5 173
	2011-7-21 12:01	2011-7-21 12:11	343 053	5 763	5 226
	2011-7-21 12:11	2011-7-21 12:21	350 381	5 802	5 236
	2011-7-21 12:21	2011-7-21 12:31	350 445	5 752	5 314
	2011-7-21 12:31	2011-7-21 12:41	344 551	5 639	5 195
2011-7-21 12:41	2011-7-21 12:51	338 031	5 627	5 177	

表1中,1号方案对应于平峰期的相位差计算,2号方案对应于平峰期相位差计算,3—5号方案对应于高峰期相位差计算.从表1数据可以看出,低峰期和高峰期的总相位差分别为38 s和233 s,通行效率较高,高峰期的3种方案分别为260 s,291 s和326 s,按照传统的计算方法为326 s,将高峰期划分为区间进行控制可以提高车辆的通行效率.

由表2可知,利用传统相位差方法的车辆总延误时间为286 053 s,车辆总排队长度为4 763辆,车辆总停车次数为4 443次;利用本文方法车辆总延误时间为249 172 s,车辆总排队长度为4 156辆,车辆总停车次数为4 190次.通过以上性能比较可以认为,在区域协调控制中,采用本文相位差计算方法比采用传统的相位差计算方法在车辆延误、排队长度以及停车次数的控制效果,可以分别平均提高12.89%,12.74%和5.69%.

4 结论

本文针对低峰期、平峰期和3种高峰期共5种不同的时段,采用不同的相位差计算方法进行了研究,对不同相位差的计算进行了逐一分析.采用将高峰期分为子区间,根据实时采集的车流量进行动态相位差计算的策略,改进了高峰期的相位差计

算方法,给出了计算结果.本文相位差计算方法可以应用在单点交叉口控制方式、主干线控制方案和区域控制方式中,在某些城市的交通控制系统中应用,得到了较好的效果,具有一定的可靠性.

参考文献:

- [1] 柴千.城市智能交通信号控制系统的设计与开发[J].浙江大学学报:工学版,2010,44(7):1241.
- [2] 杨立荣.城市道路交通流微观仿真系统研究与实现[D].成都:西南交通大学,2009.
- [3] Sakda Panwai, Hussein Dia. Comparative evaluation of microscopic car-following behavior[J]. Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(3): 314.
- [4] 高云峰,胡华,杨晓光.线控制相位差概率模型研究[J].公路交通科技,2006,23(8):106.
- [5] 张红斌.城市道路交叉口组合信号控制研究与仿真实现[D].北京:北京交通大学,2008.
- [6] 李晓红.市干线交通信号协调优化控制及仿真[D].大连:大连理工大学,2007.
- [7] 丁晓红.市智能交通信号控制与仿真系统研究[D].上海:上海交通大学,2006.
- [8] 郑培余,宗勇,姚绍文.一种交通信号控制系统分布式相位差优化和调整策略[J].交通与计算机,2004,22(2):3.