

文章编号:1673-9468(2008)04-0041-04

基于干线延误最小的线控系统相位差优化研究

卢兰萍,李毅杰,张忠达

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:分析研究了沿干线上、下行两个方向行驶的车辆延误规律,建立了对干线实施线控系统相位差优化调节的数学模型。优化相位差时,明确给出了周期时长和绿信比的范围,避免无效的周期时长和绿信比成为优化结果。

关键词:线控系统;车辆延误;相位差

中图分类号: U116.3

文献标识码: A

The optimization research on phase separation of the X - by - wire system based on the smallest route delay

LU Lan-ping, LI Yi-jie, ZHANG Zhong-da

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: This paper analyses the delaying discipline of vehicles in both directions along route. A mathematical model which can optimize the phase separation of the X - by - wire system is established. The phase separation is optimized, the scope of duration and greenratio is given. The invalid duration and greenratio are avoided.

Key words: X - by - wire system; vehicle delay; phase separation

在干线交叉口交通信号协调控制系统中,除周期时长和绿信比两个基本参数外,还有一个重要的参数——相位差^[1]。根据线控系统的理论,要使相邻交叉口对双向车流提供最大的绿波带,必须使上、下行交叉口的相位差满足 $0.5T$ 或 T (T 为系统周期时长)^[2],而这一条件不容易满足,因此很难实现干线全带宽双向绿波带。但根据干线的具体情况,为干线车辆提供尽可能宽的绿波带,使干线方向行驶的车辆延误最小是可能的^[3]。本文采用干线车辆延误最小目标建立一种相位差优化模型,进而达到线控系统优化的目的。

1 模型的描述

假设一线控系统由 s_1, s_2, \dots, s_n 共 n 个交叉口组成,交叉口之间距离分别为 l_1, l_2, \dots, l_n 。线控系统各路段车道数和车道宽都是一致的,上、下行交

通量分别为 $q_{上}, q_{下}$ ($pucl/h$),不考虑转弯车辆的影响,线控系统上、下行车速分别为 $v_{上}, v_{下}$,线控系统的周期和绿信比采用单点控制优化方法确定。对整个线控系统来说,通过调节各交叉口相位差,使沿干线行驶车辆延误最小,即目标函数^[4]为 $\min \sum_{i=1}^n D_i$ 。

式中 D_i —第 i 个交叉口一个周期中上、下行车辆延误之和。

2 下行车辆通过交叉口延误的计算方法

对于中间交叉口 s_{i+1} 来说,由 s_i 交叉口下行的车辆行驶时间为 l_i/v ,设 s_i, s_{i+1} 两交叉口相位差为 $\varphi_{i+1,j}$,则通过由交叉口 s_i 下行至 s_{i+1} 的车辆延误分为两种情况:一种是车队头部到达交叉口 s_{i+1} 时遇到红灯受阻,另一种情况是车队尾部到达 s_{i+1}

时, s_{i+1} 交叉口信号灯由绿灯变为红灯而受阻。在以往的研究^[5-6]中只是笼统地把车队在交叉口的延误当作车队头部受阻的情况来处理,而没有考虑车队尾部受阻的情况。下面对这两种情况分别加以分析。

2.1 车队头部在下一交叉口前受阻的情况

由 s_i 下行的车辆到达 s_{i+1} 交叉口时所经历的时间为 l_i/v_F , 从车队头部到达 s_{i+1} 起至交叉路口 s_{i+1} 红灯结束的时间为 τ_F 。由于 s_{i+1} 相对于的信号相位差为 $\Phi_{i+1,i}$, 则 $[l_i/v_F](\text{mod } T) + \tau_F = \Phi_{i+1,i}$, 得出

$$\tau_F = \Phi_{i+1,i} - [l_i/v_F](\text{mod } T)$$

设在绿灯期间交叉口的最大通过能力为 u , 图 1 为车队头部受阻时的延误情况, $t_{\text{红}}$ 为一个周期中的红灯时长, $t_{\text{绿}}$ 为一个周期中的绿灯时长, $t_{\text{排}}$ 是车辆排队时间, t 为累积车辆的疏散时间。

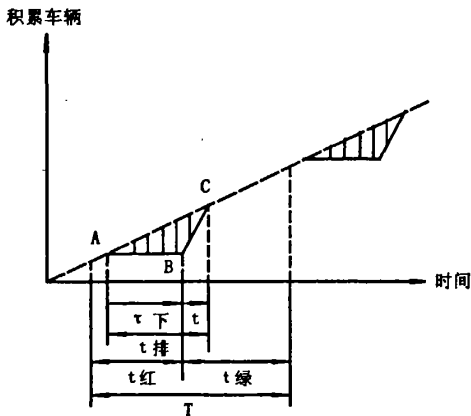


图1 车队头部受阻延误图

Fig.1 The delaying figure of motorcade head

在绿灯开启 t 时间后, 累积的车辆得到全部疏散, t 后到达的车辆在绿灯期间不受阻地通过交叉口, 则有 $q_F(\tau_F + t) = u$, 得出

$$t = \tau_F q_F / (u - q_F)$$

图 1 中阴影部分 ABC 的面积为此周期内下行车队在该交叉口的延误总值 (车队要么头部受阻, 要么尾部受阻, 只有一种情况存在), 记为 $d_{i+1,F}$ 则有

$$d_{i+1,F} = 0.5 \tau_F q_F (\tau_F + t) = 0.5 \tau_F q_F \left[\tau_F + \frac{q_F \tau_F}{(u - q_F)} \right] = \frac{q_F u \tau_F^2}{2(u - q_F)}$$

$$\frac{q_F u \{ \Phi_{i+1,i} - [l_i/v_F](\text{mod } T) \}}{2(u - q_F)}$$

2.2 车队尾部在下一交叉口受阻的情况

由于车队尾部受阻, 则在红灯期间到达下游交叉口的车辆要经历余下的红灯时间, 等待在绿灯期间相继离开此交叉口。设车队从第一辆遇红灯受阻到最后一辆到达此交叉口的车辆经历的时间为 S'_F , 则有 $l_i/v_F(\text{mod } T) - \tau_F = \Phi_{i+1,i}$, 车队尾部有 $q_F t'_F$ 辆车未能赶上绿灯, 须在下一周期内通过。图 2 为车队尾部受阻时的延误情况, 在下一绿灯期间须经 t' 时间才能使全部延误车辆通过, 而在此 t' 时间段内由 S_i 下行的车辆还没有到达该交叉口, 则有 $u t' = q_F \tau_F$, 从而得出

$$t' = q_F \tau_F / u$$

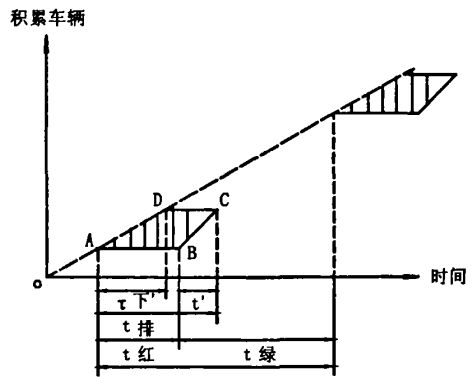


图2 车队尾部受阻延误图

Fig.2 The delaying figure of motorcade tail

图 2 中阴影部分 ABCD 的面积为此周期内下行车队在该交叉口的延误总值, 记为 $d'_{i+1,F}$, 则有

$$d'_{i+1,F} = 0.5 q_F \tau_F^2 + q_F \tau_F (t_{\text{红}} - \tau_F) + 0.5 t' q_F \tau_F = q_F t_{\text{红}} \{ [l_i/v_F](\text{mod } T) - \Phi_{i+1,i} \} - 0.5 q_F \{ [l_i/v_F](\text{mod } T) - \Phi_{i+1,i} \}^2 + 0.5 q_F^2 \{ [l_i/v_F](\text{mod } T) - \Phi_{i+1,i} \}^2 / u$$

式中 $t_{\text{红}}$ 为红灯时段长。对其它交叉口可同样处理。由前述的这两种情况可知, 若 $l_i/v_F(\text{mod } T) - \tau_F \leq \Phi_{i+1,i}$, 则产生车队头部受阻的情况; 若 $l_i/v_F(\text{mod } T) - \tau_F > \Phi_{i+1,i}$ 则产生车队尾部受阻的情况。因此下行车辆在该交叉口的总延误为

$$D_F = \sum_{i=2}^n [\alpha_i d_{i,F} + (1 - \alpha_i) d'_{i,F}]$$

$$\begin{cases} \alpha_i = 1, [l_i/v_F](\text{mod } T) \leq \Phi_{i+1,i} \\ \alpha_i = 0, [l_i/v_F](\text{mod } T) > \Phi_{i+1,i} \end{cases}$$

3 上行车辆通过交叉口延误的计算方法

由下行车辆通过对交叉口延误确定方法,可以类似地推导出上行车辆通过交叉口延误的计算方法,但应考虑两相邻交叉口上、下行相位差之间的内在关系,在推导上行车辆通过交叉口延误时,从最下游交叉口即 s_n 开始进行。

现考虑两相邻交叉口 $i+1$ 和 i ,第 $i+1$ 个交叉口对第 i 个交叉口的相位差为 $\varphi_{i+1,i}$,显然第 i 个交叉口对第 $i+1$ 个交叉口来说其相位差 $\varphi_{i,i+1} = T - \varphi_{i+1,i}$,两个相邻交叉口相互之间的相位差之和为一个周期,即 $\varphi_{i,i+1} + \varphi_{i+1,i} = T$ 。再来分析由第 $i+1$ 个交叉口驶往第 i 个交叉口上行车队的受阻情况。

3.1 上行车队头部受阻

由上面的分析可知,若上行车队头部受阻,则有 $[l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) + \tau_{\pm} = \varphi_{i,i+1}$ 。

因为 $q_{\mp}(\tau_{\pm} + t_{\pm}) = u$,式中 τ_{\pm} 为上行车队头部受阻时间, t_{\pm} 为疏散时间,即

$$t_{\pm} = \frac{q_{\pm} \tau_{\pm}}{(u - q_{\pm})}$$

$$d_{\pm} = 0.5\tau_{\pm}q_{\pm}(\tau_{\pm} + t_{\pm}) = q_{\pm}u\tau_{\mp}^2 = q_{\pm}u\{T - \varphi_{i+1,i} - [l_i/v_{\pm}](\text{mod}T)\}^2/2(u - q_{\pm})$$

式中 d_{\pm} 为上行车队头部受阻的延误时间。

3.2 上行车队尾部受阻

由于上行车队尾部受阻,所以有

$$[l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) - \tau_{\pm} = \varphi_{i,i+1}$$

式中 τ_{\pm} 为车队第一辆车受阻至该车队最后一辆车到达 i 交叉口所经历的时间。

上行车队尾部受阻延误时间 $d'_{i_{\pm}}$ 的计算方法

与下行车队尾部受阻的计算方法相同:

$$d'_{i_{\pm}} = q_{\pm}t_{\mp}\tau_{\pm} - 0.5q_{\pm}\tau_{\mp}^2\tau_{\pm} + \frac{0.5q_{\pm}^2\tau_{\mp}^2}{u} = q_{\pm}t_{\mp}\{[l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) - T + \varphi_{i+1,i}\} - 0.5q_{\pm}\{[l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) - T + \varphi_{i+1,i}\}^2 + \frac{0.5q_{\pm}^2\{[l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) - T + \varphi_{i+1,i}\}^2}{u}$$

由以上分析可知:若 $[l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) \leq \varphi_{i+1,i}$,则上行车队头部受阻,即 $[l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) \leq T - \varphi_{i+1,i}$ 。因此,当 $T - [l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) \geq \varphi_{i+1,i}$ 时,在 $i+1, i$ 两相邻交叉口之间上行车队头部受阻;若 $[l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) > \varphi_{i+1,i}$,则上行车队尾部受阻,即 $[l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) > T - \varphi_{i+1,i}$,所以当 $T - [l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) < \varphi_{i+1,i}$ 时,在 $i+1, i$ 两相邻交叉口之间上行车队尾部受阻。

对上行车队来说,其在交叉口的总延误为

$$D_{\pm} = \sum_{i=1}^{n-1} [\beta_i d_{i_{\pm}} + (1 - \beta_i) d'_{i_{\pm}}] \begin{cases} \beta_i = 1, T - [l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) \geq \varphi_{i+1,i} \\ \beta_i = 0, T - [l_i/v_{\pm}](\text{mod}T) < \varphi_{i+1,i} \end{cases}$$

故由上、下行延误 D_{\pm} 、 D_{\mp} ,笔者可求出整个线控系统上、下行车队在所有交叉口的延误之和 D 为

$$D = D_{\pm} + D_{\mp} = \sum_{i=2}^n [\alpha_i d_{i_{\mp}} + (1 - \alpha_i) d'_{i_{\mp}}] + \sum_{i=1}^{n-1} [\beta_i d_{i_{\pm}} + (1 - \beta_i) d'_{i_{\pm}}]$$

另外加入约束 $0 \leq \varphi_{i+1,i} < T$

对此优化问题进行求解即可得到最优线控效果。

4 实例验证

滏河大街是邯郸市一条南北向的主干道(图3),对此干道的6个交叉口进行优化设计,使此干道上行驶车辆总延误最小。



图3 邯郸市滏河大街路段平面图

Fig. 3 The ichnography of Fuhe section in Handan

为了简化计算,采用 Matlab 语言对相位差优化模型编程求解:程序中共设五个未知量,每个未知量分别代表设计交叉口中每相邻两个交叉口之间的相位差;已知量为各相邻交叉口之间的距离、平均上下行车速、系统周期时长、各相邻交叉口路段间的上下行交通量、各交叉口的通行能力以及各交叉口点控时的红灯显示时长(这些数据现场调查计算获得)。然后将已知量和未知量分别代入前述的模型中,并嵌套五个循环结构和选择结构,经运行求出各相邻交叉口间的相位差和干道上所有车辆的总延误。

干线上下行车速采用 36km/h,采用循环的步长为 3,系统周期时长 141s,则程序运行后输出的结果为

Zongyanwu = 1.0328e + 006 (整个线控系统上下行车队在主干道上的总延误)

pingjunyanwu = 127.8622 (主干道上每辆车平均延误)

shicha12 = 69 (人民交叉口相对于丛台交叉口相位差)

shicha23 = 75 (和平交叉口相对于人民交叉口相位差)

shicha34 = 69 (陵园交叉口相对于和平交叉口相位差)

shicha45 = 99 (渚河交叉口相对于陵园交叉口相位差)

shicha56 = 60 (学院北路交叉口相对于渚河交叉口相位差)

渚河大街线控系统中的 6 个交叉口原车辆平均延误为 221s,实行线控协调控制后小时总延误为 127.8s,总共降低延误 42.2%。线控的优势显而易见优于点控,主干道的延误在整体上实现了最优。

5 结束语

基于干线车辆延误最小为目标,以最优化理论为基础,对线控系统中各交叉口的相位差进行优化,从而保证干道上的车辆能够畅通,使得总延误最小。最终为主干道车辆提供了较宽的绿波带,减少了车辆在交叉口的停顿和延误,提高了道路和交叉口的通行能力。

参考文献:

- [1] 杨佩昆,吴兵. 交通管理与控制[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 马建明,任福田,刘小明,等. 信号交叉口交通组织优化设计[J]. 北京工业大学学报,2001,27(2):237-239.
- [3] 卢兰萍,李四平,翟中伟. 邯郸市干道交叉口交通延误治理措施探讨[J]. 河北建筑科技学院学报,2003,20(2):39-41.
- [4] 万绪军,陆化普. 线控系统中相位差优化模型的研究[J]. 中国公路学报,2001,14(4):99-102.
- [5] 刘灿齐. 车流在交叉口分流向延误的最短路径及算法[J]. 同济大学学报,2002,30(1):53-57.
- [6] 王惠文,夏先翠. 干线交叉口信号协调控制下延误分析[J]. 黑龙江工程学院学报,2005,19(4):43-46.

(责任编辑 闫纯有)

基于干线延误最小的线控系统相位差优化研究

作者: [卢兰萍](#), [李毅杰](#), [张忠达](#), [LU Lan-ping](#), [LI Yi-jie](#), [ZHANG Zhong-da](#)
作者单位: [河北工程大学, 土木工程学院, 河北, 邯郸, 056038](#)
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2008, 25 (4)
被引用次数: 1次

参考文献(6条)

1. [杨佩昆](#); [吴兵](#) [交通管理与控制](#) 2003
2. [马建明](#); [任福田](#); [刘小明](#) [信号交叉口交通组织优化设计](#)[期刊论文]-[北京工业大学学报](#) 2001 (02)
3. [卢兰萍](#); [李四平](#); [翟中伟](#) [邯郸市干道交叉口交通延误治理措施探讨](#)[期刊论文]-[河北建筑科技学院学报](#) 2003 (02)
4. [万绪军](#); [陆化普](#) [线控系统中相位差优化模型的研究](#)[期刊论文]-[中国公路学报](#) 2001 (04)
5. [刘灿齐](#) [车流在交叉口分流向延误的最短路径及算法](#)[期刊论文]-[同济大学学报](#) 2002 (01)
6. [王惠文](#); [夏先翠](#) [干线交叉口信号协调控制下延误分析](#)[期刊论文]-[黑龙江工程学院学报](#) 2005 (04)

本文读者也读过(10条)

1. [高云峰](#). [胡华](#). [杨晓光](#) [交叉口群协调控制相位差优化模型研究](#)[会议论文]-2006
2. [万绪军](#) [线控系统中相位差优化调节方法研究](#)[会议论文]-2001
3. [万绪军](#). [陆化普](#) [线控系统中相位差优化模型的研究](#)[期刊论文]-[中国公路学报](#)2001, 14 (2)
4. [王正武](#). [罗大庸](#). [黄中祥](#) [线控系统着色混合Petri网建模及其模糊控制](#)[会议论文]-2007
5. [LI Yin-fei](#). [CHEN Shu-ping](#) [Joint optimization traffic signal control for an urban arterial road](#)[期刊论文]-[高校应用数学学报B辑](#)2009, 24 (2)
6. [赵庆河](#) [拥挤交通状态下的绿信比优化及其应用研究](#)[期刊论文]-[中国交通信息产业](#)2005 (9)
7. [林晓辉](#). [徐建闽](#). [卢凯](#). [刘旭鹤](#). [LIN Xiaohui](#). [XU Jianmin](#). [LU Kai](#). [LIU Xuhe](#) [虎门镇连升路干道协调控制系统的设计与实现](#)[期刊论文]-[交通与计算机](#)2008, 26 (3)
8. [宋运林](#). [董超俊](#). [SONG Yun-lin](#). [DONG Chao-jun](#) [混沌蚁群算法及其在相位差优化中应用](#)[期刊论文]-[科技信息\(科学·教研\)](#)2007 (35)
9. [王俊刚](#). [于泉](#). [任福田](#). [杨永勤](#). [解维亮](#) [基于带宽模型的绿信比优化研究](#)[期刊论文]-[交通与计算机](#)2005, 23 (1)
10. [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](#)[期刊论文]-[交通与计算机](#)2004, 22 (2)

引证文献(1条)

1. [李忠勤](#). [范红刚](#). [董金波](#) [单交叉口交通信号的模糊控制](#)[期刊论文]-[黑龙江科技学院学报](#) 2011 (4)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200804012.aspx