

感应式协调控制下绿信比优化方法

宋现敏,王殿海,金 盛

(吉林大学 交通学院,长春 130022)

摘要:以固定协调控制下绿信比确定方法及感应控制原理为基础,设计了基于逻辑规则的感应式协调控制下绿信比优化流程,提出了感应协调控制下绿灯时间实时优化方法,确定了最大弹性绿灯时间计算方法。算例表明,该方法具有较好的实用性。

关键词:交通工程;交通信号控制;感应控制;协调控制;绿信比

中图分类号:U491.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2009)Sup. 2-0154-04

Split optimization method for actuated coordinated control

SONG Xian-min, WANG Dian-hai, JIN Sheng

(College of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Based on fixed green time determination method and actuated control principle, this paper designs control process of phase splits, establishes the maximum elastic green calculation method and green real time optimization method for actuated coordinated control. The example results show that the method has good practicability.

Key words: transportation engineering; signalized control; actuated control; coordinated control; split

目前,我国信号交叉口的协调控制多采用固定式协调控制方式。一般给主路车流分配较多的绿灯时间来实现主路的绿波控制,达到主路车流连续无停车通过多个交叉口的目的。但是,车流到达具有一定的随机性,即车流在每一个周期到达流量并不相同,时常出现主路绿灯期间无车流通过,次路车流排队等待的交通现象。

孤立交叉口实施感应控制能有效提高各股车流的绿灯使用效率^[1]。交叉口间的协调控制能有效降低协调车流的延误时间和停车次数^[2]。因此,合理地设计感应式协调控制参数可以有效地优化相位绿灯时间和交叉口周期时长,提高协调效果。其中相位绿灯时间的优化与交叉口相位差

的不后移的协同关系是感应式协调控制的关键技术之一。

针对实际协调控制中绿灯时间分配不合理的问题,在固定绿信比确定方法的基础上,提出了基于逻辑规则的感应式协调控制下绿信比优化方法。该方法不仅提高了绿灯利用率,且保证了交叉口间协调车流的最优相位差不变。

1 固定协调控制下绿信比确定方法

在协调控制中,不考虑交叉口之间的关联性,单独确定交叉口各自的绿信比。为了提高协调系统的控制效果,通过对非关键交叉口非协调相位设定较高的饱和度实用限值 x_p 来优化其相位绿

收稿日期:2009-03-05.

基金项目:“863”国家高技术研究发展计划项目(2007AA11Z209);国家科技支撑计划项目(2006BAJ18B07-03).

作者简介:宋现敏(1978-),女,讲师,博士.研究方向:交通信号控制. E-mail:songxianmin0708@163.com

通信作者:王殿海(1962-),男,教授,博士生导师.研究方向:交通控制与交通流理论.

E-mail:wangdianhai@sohu.com

信比,其中关键交叉口绿信比以等饱和度原则进行分配。固定配时协调控制下绿灯时间的确定方法及步骤如下。

(1) 确定协调相位的最小绿灯时间

各交叉口协调相位所必须保持的最小绿灯时间就是关键交叉口协调相位的有效绿灯时间 g_{me}

$$g_{me} = (c_m - L_m) y_m / Y_m \quad (1)$$

式中: c_m 为协调系统的公共周期时长, s; L_m 为总损失时间, s; y_m 为协调相位流量比; Y_m 为各关键相位总流量比。

(2) 确定非关键交叉口非协调相位绿灯时间

根据周期到达的车流量在一个绿灯时间释放完毕,即 $c_m q_n = S_n g_{ne}$ 及非关键交叉口非协调相位饱和度实用限值 x_p (一般取 $x_p = 0.9$), 计算非关键交叉口非协调相位实用有效绿灯时间 g :

$$g = \frac{c_m q_n}{S_n x_p} = \frac{c_m y_n}{x_p} \quad (2)$$

式中: q_n 为非协调相位流量, pcu/h; S_n 为非协调相位饱和流量, pcu/h; g_{ne} 为非协调相位的有效绿灯时间, s; x_p 为非协调相位的饱和度实用限值; y_n 为非协调相位流量比。

(3) 确定非关键交叉口协调相位绿灯时间

协调控制子区内的非关键交叉口,其周期时长采用协调系统的公共周期,协调相位的绿灯时间不小于关键交叉口协调相位的绿灯时间。为满足这一要求,交叉口非协调相位的绿灯显示时间确定以后,富余时间全部分配给协调相位,以形成协调车流的最大绿波带。

2 感应协调控制下的绿信比优化法

信号机根据交叉口的关键相位的感应检测器检测车辆到达情况,利用感应控制原理^[3-4],实时优化各相位的绿灯时间,但需保证各交叉口协调相位的绿灯启亮时刻不能后移,即保证交叉口相位差不发生变化,进而实现主路绿波控制、次路车流绿灯时间有效利用的目的。因此感应式绿灯时间优化的控制思想为:某一相位开始,信号机给其预设了最短绿灯时间、最大绿灯时间、基础绿灯时间和单位绿灯延长时间。当最短绿灯时间结束前某个时段,信号机判断本相位及下一个相位车流的到达情况,且同时计算下一个相位在上一个周期实际优化的绿灯时间与基础绿灯时间的变化值,从而决定本相位绿灯延长时间。

符号说明:

$g_{\min}(i)$ 、 $g_{\max}(i)$ 分别为相位 i 在信号机中设置的最小最大绿灯时间; $g_0(i)$ 为基础绿灯时间,即根据中心下发的关键相位 i 的绿灯时间; $g(i, k)$ 为实际绿灯显示时间; G_0 为单位绿灯延长时间,即当检测到相位有请求时,相位延长一次的绿灯时间; $g_m(i, k)$ 为相位富余时间,即根据相位 i 上一周期时间状态判别的此周期相位 i 富余的绿灯时间; $g_v(i, k)$ 为相位最大弹性绿灯时间,即根据 $i+1$ 相位在第 $k-1$ 周期绿灯时间决定的 i 相位在第 k 周期最大可能绿灯延长时间; $\pi(i, k)$ 为通行权结束状态判别符; $\rho(i, k)$ 表示感应检测器至停车线间车辆排队情况。

红灯期间进口道的排队车辆数由两部分组成:本次红灯期间感应检测器检测的车辆数和上次绿灯期间滞留车辆数。

在第 $k-1$ 周期,相位 i 在 t_1 时刻绿灯启亮,检测器通过脉冲开始记录通过的车辆数,由于在绿灯末尾通过检测器(检测器布设在停车线的上游,距停车线距离为 $L_1(m)$)的车辆不一定通过停车线,即只有在相位 i 绿灯结束前的 $t(t = L_1/v)$ 时刻通过的车辆才能通过停车线,而在 t_3 时刻以后到达的车辆将在停车线前排队等待下一个绿灯时间放行,因此检测器需要记录 t_3 时刻以后通过相位 i 的检测器的车辆数 m_1 ,直至第 k 周期 $i-1$ 相位的最小绿灯结束为止。

根据检测器距停车线的距离和车辆在停车时的平均车头间距确定在二者之间可能存放的最大车辆数,计作 m , $m = \text{int}[L_1/l_0]$,其中 l_0 为停车时车辆平均车头间距, m。

若在第 k 周期 $i-1$ 相位的最小绿灯结束前,感应检测器处于高电平状态,认为相位 i 在第 k 周期车辆排队已到达感应检测器,计作 $\rho(i, k) = 1$ 。若 $m_1 \geq m$,说明车辆完全占据了检测器前的车道, $\rho(i, k) = 1$,即相位 i 在第 k 周期车辆排队已到达感应检测器;若 $m_1 < m$,说明车辆未排到感应检测器位置, $\rho(i, k) = 0$ 。

(1) 设计流程

各个相位绿信比优化流程如图 1 所示。

(2) 最大弹性绿灯时间确定方法

感应控制的绿信比优化中最关键的是确定相位最大弹性绿灯时间。其基本思想是在基础绿灯时间的限制条件下,考虑下一相位可能提供的绿灯时间来确定本相位的最大弹性绿灯时间。在计算本相位最大弹性绿灯时间时,需要考虑下一个

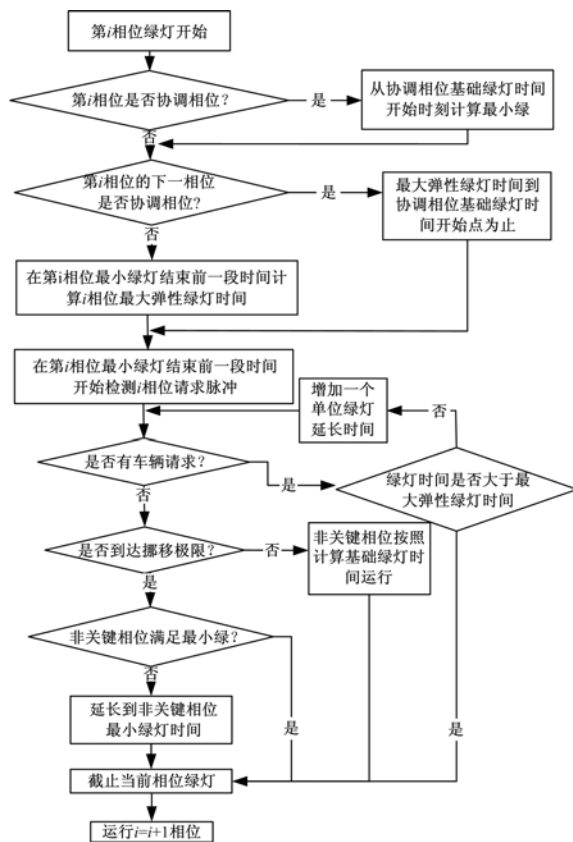


图 1 绿灯时间优化原理

Fig. 1 Green time optimization principle

相位的交通状态来综合决定下一相位所能提供的最大的富余绿灯时间。具体描述如下:

第一步:在每个相位执行到最小绿灯结束时刻开始计算下一相位富余绿灯时间。

第二步:读取 $\rho(i+1, k)$ 标志位,如果 $\rho(i+1, k) = 0$,表示下一相位车辆排队未超过感应检测器。考虑到检测误差等综合因素,在计算时考虑下一相位上一周期绿灯时间的影响,确定本周期下一相位所能提供的富余绿灯时间 $g_m = g_0(i+1) - \min[g_0(i+1), \frac{g_{\min}(i+1) + g(i+1, k-1)}{2}]$ 。

第三步:如果 $\rho(i+1, k) = 1$,表示下一相位车辆排队达到了感应检测器位置。因此,继续进行下面的判断。

第四步:判断 $g_0(i+1) - g(i+1, k-1)$ 是否大于零,即下一相位所能提供的绿灯时间是否会超过基础绿灯时间。当大于零时,即下一相位上一周期相位绿灯时间比基础绿灯时间少,这时再判断标志位 $\pi(i+1, k-1)$ 。如果 $\pi(i+1, k-1) = 0$,即下一相位上一周期是出现空档提前截止绿灯的。因此,可以有充分的剩余绿灯时间提供给

本相位。所以本相位富余绿灯时间为 $g_m = g_0(i+1) - g(i+1, k-1)$;如果 $\pi(i+1, k-1) = 1$,即下一相位上一周期是到达最大绿后截止绿灯的。因此,可以将剩余绿灯时间与本相位进行平均分配。所以,本相位富余绿灯时间为

$$g_m = \frac{g_0(i+1) - g(i+1, k-1)}{2}$$

第五步:当 $g_0(i+1) - g(i+1, k-1) < 0$ 时,即下一相位上一周期绿灯时间大于基础绿灯时间,这时下一相位只能维持基础绿灯时间不变,这样得到本相位富余绿灯时间为 $g_m = 0$ 。

若下一相位为协调相位,由于协调相位绿灯启亮时刻不能延迟,所以 $g_m = 0$ 。因此下一相位所能提供的富余绿灯时间有如下四种情况:

$$A: g_m = g_0(i+1) - \min[g_0(i+1), \frac{g_{\min}(i+1) + g(i+1, k-1)}{2}]$$

$$B: g_m = g_0(i+1) - g(i+1, k-1)$$

$$C: g_m = \frac{g_0(i+1) - g(i+1, k-1)}{2}$$

$$D: g_m = 0$$

(3) 相位最大弹性绿灯时间计算步骤

综合上述,最大弹性绿灯时间的计算过程为:

- ① 计算上一相位绿灯结束时刻到协调相位基础绿灯时间开始时刻的时间差,记为 t_1 ;
- ② 计算本相位到协调相位间(包括本相位及协调相位)所有相位基础绿灯时间之和,记为 t_2 ;
- ③ 根据下一相位交通状态来计算下一相位所能提供的富余绿灯时间 g_m ;
- ④ 计算本相位的最大绿灯时间为 $t_2 - t_1 + g_m$;
- ⑤ 计算得到本相位的最大弹性绿灯时间 $t_2 - t_1 + g_m - g_{\min}$ 。

论文以四相位交叉口为例,相位 3 为协调相位,立足开始相位分别为第一相位和第三相位来具体说明最大弹性绿灯时间的计算过程,计算原理如图 2 所示。

3 算例

为了验证感应式协调控制下绿信比优化方法的实用性,根据福州市五一国货路口实地调查录像所得到的车辆车头时距数据对本文建立的绿信比优化控制算法进行了脱机验证。验证的流程完全按照感应优化算法的步骤进行,采用人工统计的车头时距来代替检测器脉冲信号。

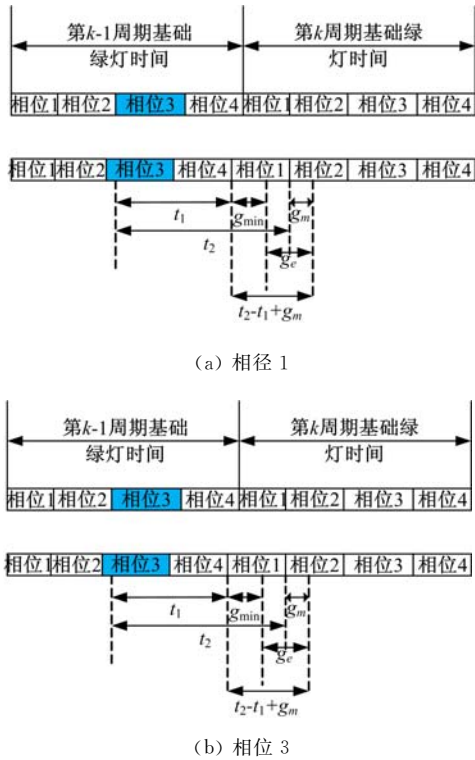


图 2 两种相位的 $g_e(i, k)$ 计算原理图

Fig. 2 Caculation principle of $g_e(i, k)$ at the 1st phase

(1) 交叉口初始条件

协调相位为北相位,且在第一相位。北、南、西、东各相位的最小绿灯时间分别为:21 s、27 s、21 s、21 s。运行周期为 120 s,各相位基础绿灯时间分别为:35 s、30 s、30 s、25 s。验证主要分为两个时段,时段 1 约为 13:00—13:30,交通流处于平峰和低峰时段;而时段 2 为 18:00—18:30,交通流处于高峰时段。数据按照周期统计,并按照算法进行验证。

(2) 计算结果

按照信号周期运行顺序,分别对两个时段的数据进行处理分析。

从实验数据可知,第一时段是交通流的平峰期,车辆较少,剩余绿灯时间可完全分配给协调相位,优先满足协调相位车辆的运行,达到主路绿波控制的目的。而在时段 2 的高峰时期,车辆较多,几乎没有剩余绿灯时间调整给协调相位。表 1 为实施感应协调控制下各个相位执行的绿灯时间。

说明感应优化算法可以适用于各种不同流量的交通状态。感应控制可以根据实际的流量波动更好地重新分配绿灯时间,从数据中可以看出,经过感应优化后的绿灯时间与基础绿灯时间存在很大的差别,特别是在高峰时段。

表 1 感应协调控制下各相位绿灯时间(s)

Table 1 Phase green time under actuated coordinated control

周期序号	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4
1	35	30	30	25
2	22	27	28	21
3	23	27	31	21
4	29	27	23	24
5	21	27	27	21
6	23	27	21	25
7	21	27	28	24
8	21	27	38	21
9	23	30	26	21
10	25	27	26	21
11	32	36	21	27
12	23	34	21	40
13	31	35	21	31
14	28	31	21	23
15	28	43	21	28

4 结束语

在借鉴固定协调控制下绿信比确定方法及感应控制原理的基础上,建立了感应协调控制下绿信比实时优化方法,并使用示例和实际调查数据对该方法进行了检验。结果证明,论文建立的绿信比实时优化方法能够充分适应不同的交通状态,具有较好的实用性,可以为感应式协调控制系统的研发提供技术支持。

参考文献:

[1] Wang Dian-hai, Song Xian-min, Li Hong-qian. Research on actuated control of changeable unit extension[C]// ASCE, AATT, 2004, 5:361-365.
 [2] Wang Dian-hai, Song, Xian-min, Li Feng. Research on offset optimization of signalized arterials. Proceedings of the Fifth International Conference on Traffic and Transportation Studies [C] // ICTTS 2006, 2006:584-594.
 [3] Guo Jin-yi, Mao Bao-hua, Liu Ming-jun, et al. Study on actuated signal controlled system in isolated intersection[J]. Control and Decision Conference, 2008(7):2261-2265.
 [4] 周彤梅. 交叉口感应信号控制优化设计研究[J]. 公安大学学报:自然科学版, 2001, 17(2):34-37.
 Zhou Tongmei. Study on optimization and design of actuated signalized control intersection[J]. Journal of Chinese the Peoples Public Security University(Natural Science), 2001, 17(2):34-37.