

城市交通感应控制综述

A General Description of Urban Traffic Inductive-Loop Signal Control

李水友 刘智勇

(五邑大学信息学院, 江门 529020)

LI Shuiyou, LIU Zhiyong

(Information School, Wuyi University, Jiangmen 529020, China)

摘要: 城市交通感应信号控制是一种重要的交通信号控制方法, 目前被国内外许多中小城市广泛应用。简略介绍了传统的感应控制方法, 重点论述了基于绿时有效利用率、基于模糊控制和绿时有效利用率的全感应控制、具有相序优化功能的全感应控制等几种改进的感应控制算法的基本原理、控制过程及线圈安装位置, 分析了各种感应控制方法的延时策略。分析了定时信号控制和感应信号控制的优缺点, 最后对感应信号控制的进一步研究提出了几点看法。

Abstract: Inductive-loop signal control is used as one of the important methods for traffic control in many cities abroad. First, this paper briefly introduces the traditional inductive-loop control methods, and then shifts its emphasis on discussions about basic principles, control process, loop positioning, and phasing extension strategies of several improved algorithms for inductive-loop control, based on effective green ratio, or a fuzzy control prototype plus effective green ratio, as well as a scenario that features a functionality of phasing optimization. The paper also analyzes the pros and cons of the pre-timed and inductive-loop signal control methods, and finally concludes with several concerns regarding further research on inductive-loop signal control.

关键词: 感应控制; 城市交通控制; 复合控制

Key words: inductive-loop signal control; urban traffic control; compound control

中图分类号: U491

文献标识码: A

收稿日期: 2005-01-25

基金项目: 广东省自然科学基金(06029813), 广东省高等学校自然科学基金重点项目(05Z025)。

作者简介: 李水友, 男, 硕士, 五邑大学信息学院讲师, 主要研究方向: 智能交通控制。E-mail: syli7884@163.com

0 引言

近年来, 一些大中城市引进和发展规模较大的交通信号控制系统, 但是这种系统一次性投资较高, 对于小城市或大中城市市区之外的交叉口, 不可能建立这种规模较大的交通信号控制系统。因此, 因地制宜建立和发展适用于这些交叉口的交通控制系统或控制器具有十分重要的意义。

单个交叉口的信号控制主要分为定时控制、感应控制、实时自适应控制等方式。其中, 定时控制和感应控制是基本的交通控制方法。定时控制是目前使用最广的一种控制方式, 它根据以往观测到的交通量, 按预先设定的配时方案进行控制, 因此对交通需求的随机变化是无法响应的。感应控制克服了定时控制的不足, 在一定程度上能够适应交通需求的随机变化, 是一种闭环控制方法。在传统的感应控制方法中, 绿时特别是绿延时仍可能不被充分利用, 因此, 又出现了一些改进的感应控制方法。

20世纪30年代, 美国研制出世界上最早的感应式交通信号控制机。当时采用的检测器是声音传感器, 而这种检测方法可靠性差, 又会使交叉口的噪声污染加剧, 因而遭到公众反对。后来改用气动传感器, 并得到推广。20世纪60年代以来, 电磁感应检测器、超声波检测器、微波检测器、视频检测器等逐步取代了气动传感器, 并广泛应用于信号控制系统。长期实践证明, 感应控制的通行效率比定时控制系统高, 车辆停车次数减少6%~30%。

1 传统的感应控制方法

传统感应控制从实施方式来看可以分为两种^[1-2]：一种是半感应控制，即在交叉口处将检测器安装在次干路上，如图1所示。根据次干路的交通需求进行信号控制，适用于主干路的交通量明显大于次干路，且次干路交通量波动较大的情况。半感应控制在工作时，主干路维持绿灯状态，次干路是红灯状态。次干路要获得绿灯信号必须具备两个条件：检测器检测到车辆到达；主干路最小绿时已经结束。另一种是全感应控制，即在交叉口的所有进口道上均安装检测器，如图2所示。根据所有进口道的交通需求进行信号控制。全感应控制换相的条件为：检测器没检测到车辆到达或者累计达到该相的最大绿时。

2 流量-密度控制

流量-密度控制是在全感应控制的基础上发展起来的一种新型控制方式，它适合流量大、波动大，驶入车速高的单个交叉口控制^[2]。流量-密度控制要求对各个信号相的交通状况进行实时检测，并具有以下特点：①交叉口的所有进口道都必须安装检测器；②必须为每一信号相设定一个初始绿时(也称最

小绿时)，而且这个时间可以按附加初始绿时、估算初始绿时或可扩展初始绿时等方式延伸；③当初始绿时执行完毕，每追加一个车辆感应信号则扩展一个延伸时间，其时间长度常以车辆通过检测器到停车线的旅行时间来设定；④上述延伸时间是可变的，在某一预定的绿时执行完毕后，上述延伸时间将减为最小车辆间距时间；⑤对每一信号相都预定一个最大绿时(或者扩展绿时极限)；⑥每一信号相的黄灯时间和全红时间都是预定的。

3 具有抢要功能的全感应控制

线圈安装位置如图2所示，该方法在全感应控制的基础上，增加抢要功能，其基本工作原理如下^[2]：

“要”信号：若当前相位绿灯期间无交通需求，而下一相位又有交通需求，则过渡到下一相位，即下一相位要了本相位的通行权。

“抢”信号：若当前相位绿时已达到最大值且仍有交通需求，而下一相位又无交通需求，则继续给本相位通行权，即本相位抢了下一相位的通行权。

具有“抢”、“要”功能的全感应控制，其具体控制过程如下：

①设 $t_{1\min}, t_{2\min}, \dots, t_{N\min}$ 分别为 N 个相位的最小绿时， $t_{1\max}, t_{2\max}, \dots, t_{N\max}$ 分别为 N 个相位的最大绿时， Δt_i 为单位绿延时，设 $i=1$ ；

②给予第 i 相位一个初始绿时 $t_i = t_{N\min}$ ；

③若此间有车到达，且累计绿时小于该相最大绿时或下一相位无车到达，则延长绿时 Δt_i ，到③；否则令 $i = i + 1$ ，到④；

④判断是否 $i \leq N$ ，若是，则到②；否则，令 $i = 1$ ，到②。

在初始绿时结束前，此间是指该初始绿时期间；在初始绿时结束后，此间是指最近的那个单位绿延时期间。

4 基于绿时有效利用率的感应控制

传统的感应控制方法是采用来车即延时的策略，基于绿时有效利用率的感应控制对延时策略进行了

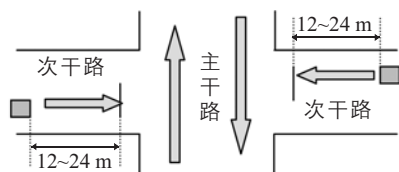


图1 线圈安装位置

Fig.1 Inductive-loop positioning

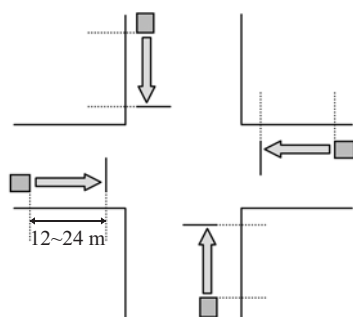


图2 线圈安装位置

Fig.2 Inductive-loop positioning

改进,其基本工作原理是^[3]:一旦某一相位获得通行权,则不断检测车辆实际利用的绿时,与当时时刻的实际绿时相比即得到绿时有效利用率;在最小绿时结束后,若绿时有效利用率大于预先设定的最小值,且实际绿时小于该相位的最大绿时,则延长一个单位绿延时,否则把通行权交给下一相位。车辆实际利用绿时是指车辆通过停车线时实际占用停车线的时间之和与车辆通过停车线时所保持的正常空挡时间之和。该方法需要设定以下参数:各相位的最小绿时、最大绿时、单位绿延时、车头时距及绿时有效利用率的最小值。绿时有效利用率

$$S_i = g_{ei} / g_i, \quad (1)$$

式中, g_i 为可供车辆通行的全部绿灯时间/s;

$$g_i = g_{ei} + T_i - n_i \tau, \quad (2)$$

式中, g_{ei} 为车辆占用的绿灯时间/s; T_i 为无车通过的绿灯时间/s; n_i 为绿灯期间通过的车辆数减1; τ 为车辆正常通过时两车之间必不可少的一个空档时间/s。

该方法的检测器安装位置如图3所示,其控制过程如下:

① 设 $t_{1min}, t_{2min}, \dots, t_{Nmin}$ 分别为 N 个相位的最小绿时, $t_{1max}, t_{2max}, \dots, t_{Nmax}$ 分别为 N 个相位的最大绿时, Δt_i 为单位绿延时, 设 $i=1$;

② 给予第 i 相位一个初始绿时 $t_i = t_{Nmin}$;

③ 若此间绿时有效利用率大于预先设定的最小值,且累计绿时小于该相最大绿时,则延长绿时 Δt_i , 到③; 否则令 $i = i + 1$, 到④;

④ 判断是否 $i \leq N$, 若是, 则到②; 否则, 令 $i = 1$, 到②。

与传统的感应控制方法相比,该方法具有如下优点:①检测器位置容易确定且不影响配时参数的确定;②配时的调整可以自动适应不同车型、不同速度的要求;③能自动适应欠饱和、临界饱和、过饱和等各种交通条件,因此,该方法具有较广泛的应用前景。

5 基于模糊控制和绿时有效利用率的全感应控制

对单个交叉口来说,绿信比(相位有效绿灯时间

与周期长度的比值)的优化直接影响信号控制的效果。在传统的感应控制方法中,当某一个相位结束前检测是否有车到来,如有则延长一个单位绿时,否则转换到下一个相位。这种方法在交通量较大时,很难区分各个相位的交通需求,因而,不可能得到最优的绿信比。本方法以绿时有效利用率为控制目标,在最小绿时和最大绿时条件约束下,当某一相位的绿时有效利用率较大时(通常表现为绿时结束时不能使到达的车辆全部通过),则延长该相位的绿时;当某一相位的绿时有效利用率较小时(通常表现为绿时期间没有车辆通过),则减少该相位的绿时。经过多次调整,一般可以得到一个较满意的绿信比。绿时有效利用率的测量取决于环形线圈的安装位置,一种可行的方法是将环形线圈安装在每个车道的停止线后,避开人行横线(见图3)。

其控制过程是^[4]:根据经验选好各相位的绿时有效利用率基准值,如0.85,并给定各相位的绿时。在各相位绿时期间,测量绿时有效利用率 S_i 。根据经验可以总结出以下基本的控制规则:

若 $S_i < 0.85$, 则说明该相位绿时较长,需减少;

若 $S_i > 0.85$, 则说明该相位绿时较短,需增加;

根据上述基本规则可建立绿时增减与各相位实测绿时有效利用率之间的模糊关系,得出模糊查询表。由本周期的实测绿时有效利用率就可确定下一周期各相位的绿时。

6 基于Q-O模型的全感应控制

线圈安装位置如图4所示。Q-O(流量-占有率, Flow-Occupancy)曲线反映交通流的基本特性,如图5所示,在0到 O_i 段,随着车辆密度的增加,车速有所下降,但交通量将随密度增加而增加,此时交通流处

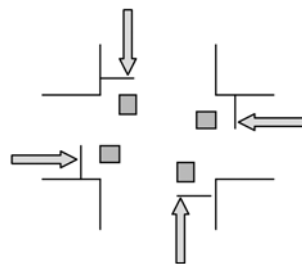


图3 线圈安装位置

Fig.3 Inductive-loop positioning

于一个比较稳定的状态；当占有率大于 O_1 后，随着密度增加，车速显著下降，此时交通量将随密度增加而减少，交通流处于不稳定状态，很容易发生交通拥堵，如在 O_j 点。显然， O_1 为控制模式的转换点。根据经验和交通分析软件可得到不同交通状况下的最佳信号配时方案(5~7个方案)，存入信号机中备选。

因城市中各交叉口的几何尺寸不尽相同，其 $Q-O$ 曲线也不相同，因此，需对每个交叉口分别建立 $Q-O$ 模型。建模和控制过程如下：

测出若干组15 min的车流量和占有率数据，采用曲线拟合的方法建立 $Q-O$ 模型。由图5可看出，车流量为零时，占有率必为零，因此，如果用一多项式来拟合，该多项式应是齐次的。由于该曲线是时变的，需要在线辨识曲线，然后求出 O_1 。

过去15 min的车流量 Q 和占有率 O 已测出，分5~7段确定相应的最佳方案。

7 具有跳相功能的全感应控制

这是一种仿交警指挥交通的控制模型：①有的相位是根据有无车而出现或者跳过去的，如左转弯没有车辆通过，这个相位并不应该出现，如有车通过时，待车

通过后或到达一定的时间后就要结束该相位；②行人通过人行过街按钮进行交通请求，没有人按时也是需要跳过，人行相位时间就是保证行人过街的时间，没有延时模式，因为行人看到人行绿灯时不会再去按按钮，而会直接过街；③所有相位都没有车通过时，一直在交通流量最大的相位运行。其具体控制过程如下：

- ① 设 t_{1min} , t_{2min} , $\dots$, t_{Nmin} 分别为 N 个相位的最小绿时， t_{1max} , t_{2max} , $\dots$, t_{Nmax} 分别为 N 个相位的最大绿时， Δt_i 为单位绿延时，设 $i = 1$ ；
- ② 给予第 i 相位一个初始绿时 $t_i = t_{Nmin}$ ；
- ③ 若此间有车到达，且累计绿时小于该相最大绿时，则延长绿时 Δt_i ，到③；否则令 $i = i + 1$ ，到④；
- ④ 判断是否 $i \leq N$ ，若否，则令 $i = 1$ ；
- ⑤ 判断相位 i 红灯期间是否有车到达，若是，则到②；若否，判断相位 i 是否可省略，若是，则令 $i = i + 1$ ，到④；否则到②。

该控制方法的检测线圈安装在车辆较为稀少的道路上，并为其设置相应的放行相位，行人按钮可以直接安装在人行信号灯的灯杆上。安装位置如图6所示。

8 具有相序优化功能的全感应控制

该配时方案的相序不固定，根据交通需求实时变化。线圈安装位置如图7所示，停车线上游检测器测出各车道的占有率，由占有率决定要执行的下一相位；停车线下游的检测器测出类饱和度，由类饱和度确定相位长度。按占有率给各相划分优先等级，相位未被执行则优先等级提高一级，反之降一级；预先提供一

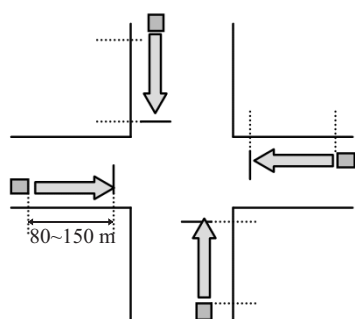


图4 线圈安装位置

Fig.4 Inductive-loop positioning

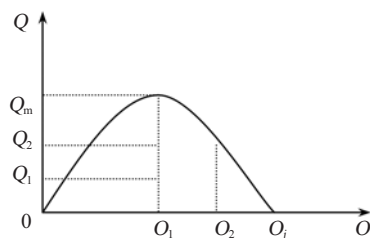


图5 $Q-O$ 曲线图

Fig.5 Flow-Occupancy curve

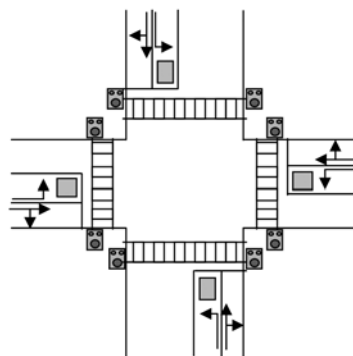


图6 线圈安装位置

Fig.6 Inductive-loop positioning

个推荐相序,按照推荐相序,当前相位的下一相位优先级提高一级;先执行优先等级高的相位,若两个或两个以上的相位的优先级相同,则执行按推荐相序靠前的相位。相位 i 的类饱和度按式(3)估算:

$$S_i(k+1) = \alpha_1 S_i(k+1) + \alpha_2 S_i(k-1) + \alpha_3 S_i(k-2), \quad i=1, 2, \dots, N \quad (3)$$

式中, k 为当前时间; $k+1$ 为下一次执行时间; $(k-1)$, $(k-2)$ 分别为前两次执行时间; α_1 , α_2 , α_3 为待定常数。下一次执行时,相位 i 的相位长度按基于Q-O模型的全感应控制提供的方法确定。若交叉口各个方向的占有率都接近1,则表明交叉口已处于拥堵状态,优化相序所获得的控制效果很有限,此时执行定时控制。确定一个警戒线 $S_{\max}$,若相位的占有率大于 $S_{\max}$,则表示很接近1。控制过程如下:

- ① 给出一个推荐相序和相位数 N ,赋予各相一个初始绿灯时间, $i=1$;
- ② 执行相位 i ;
- ③ 在当前相位结束前,由式(3)计算相位 i 的类饱和度和,并确定下一次执行时的相位长度;
- ④ 根据当前相位结束前若干分钟的占有率,计算各相的优先级,找出将要执行的相位 j ;
- ⑤ 判断各方向的占有率是否都接近1,若是,则到⑥;否则,令 $i=j$,到②;
- ⑥ 执行定时控制方案;
- ⑦ 判断各方向的占有率是否都下降至警戒线,若是,则令 $i=1$,到②;否则,到⑥。

9 优化感应控制

感应控制有其随交通需求的变化而改变信号相位与时间的优点,在交通需求随机变化较大的交叉口上,感应控制对交通变化的适应性比定时信号优越。但按现行感应控制的机理,感应控制的绿灯时间总是不能被充分利用,特别是绿灯延长时间。

因此,就产生了进一步运用面控系统中对信号配时进行优化的原理来改进感应控制的优化感应控制。有一种优化感应控制的简要原理是^[5]:在交叉口的每一进口道上设两个检测器,譬如一个在停车线前40 m,另一个在停车线前100 m。开始给每个相位配以

足够的绿灯时间,把40 m检测器到停车线间的车辆先放完;而在两个检测器之间的这一段时间间隔内,用来检测寻找何时产生饱和交通流;最后用一个优化程序,把这一相位延长绿灯时间能得到的交通效益和另一相位车辆因延长红灯所得到的损失加以比较,确定换相时间。从而降低感应控制中的绿灯损失时间,提高交通效益。其具体控制过程如下:

- ① 设 $t_{1\min}$, $t_{2\min}$, $\dots$, $t_{N\min}$ 分别为 N 个相位的最小绿时, $t_{1\max}$, $t_{2\max}$, $\dots$, $t_{N\max}$ 分别为 N 个相位的最大绿时, Δt_i 为单位绿延时,设 $i=1$;
- ② 给予第 i 相位一个初始绿时 $t_i = t_{N\min}$;
- ③ 设延长绿时 Δt_i ,本相位获得的交通效益为 f ,下一相位所得到的损失为 g ,若 $f > g$ 且累计绿时小于该相最大绿时,则延长绿时 Δt_i ,到③;否则令 $i=i+1$,到④;
- ④ 判断是否 $i \leq N$,若是,则到②;否则,令 $i=1$,到②。

10 感应控制的延时策略分析

感应控制方法的核心是延时策略(或称相位切换策略),与不同的延时策略相适应,检测器的安装位置也不完全相同。传统的感应控制方法采用来车即延时策略,即在满足最大绿时、最小绿时约束下,若有车到达则延长一个单位绿延时,否则结束本相位。传统的感应控制中,最小绿时、单位绿延时都是固定的,而在流量-密度控制方法中,不仅绿时可以延长,最小绿时(初始绿时)也可以根据交通情况来延长,且先延长最小绿时,并调整单位绿延时,初始绿时结束后可

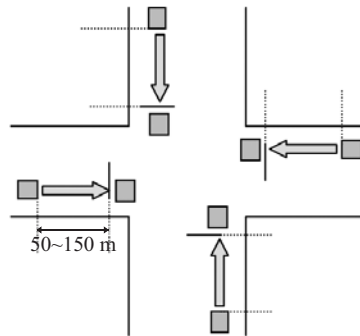


图7 线圈安装位置

Fig.7 Inductive-loop positioning

再延长绿时。具有“抢”、“要”功能的全感应控制,对传统感应控制的延时策略作了修正,可以适当突破最小绿时、最大绿时的约束。基于绿时有效利用率的全感应控制的延时策略是:在最小绿时结束后,若绿时有效利用率大于预先设定的最小值,且实际绿时小于该相位的最大绿时,则延长一个单位绿延时,否则把通行权交给下一相位。它考虑了绿时实际利用情况,以期更加有效地利用有限的绿时。基于模糊控制和绿时有效利用率的全感应控制把模糊控制技术引入了全感应控制,根据绿时有效利用率,利用模糊控制规则来确定绿时长度。基于Q-O模型的全感应控制是在Q-O模型的基础上,根据交通流和占有率从预定的最优方案中选择一个最匹配的方案。具有跳相功能的全感应控制能适应一些交通流波动很大的交叉口的需要,灵活地满足有交通需求的相位需要,跳过无交通需求的相位。具有相序优化功能的全感应控制增加了相序优化功能,把通行权交给最需要的相位。优化感应控制直接考虑了延长绿时对当前相位带来的交通效益和对下一相位带来的损失,在综合得失的基础上确定换相时间,把面控中的信号配时优化原理引入了感应控制。

1.1 展望

定时控制适合于交叉口的交通量变化比较有规律的情况,对于一天内的交通量的不同变化,采用多时段定时控制可以适应交通流的规律变化,仍是一种常

用的信号配时方案。而感应控制对车辆到达随机性大的交通流适应性较好,可使车辆在交叉口尽可能少停车,以保证交通通畅。

随着基于16位和32位微处理器的信号机的出现与推广,信号机的运算与信息处理能力将会大大加强,能够实现较复杂的算法。基于智能控制技术的感应控制利用模糊控制等智能控制技术对感应控制的延时策略进行改进,具有一定的自适应能力,它能够取得比定时控制与传统感应控制更好的效果;复合控制方法^[6]把感应控制与定时控制相结合,取长补短,能更灵活、有效地满足各种交通条件。这将是今后感应控制的主要研究方向之一。

参考文献

- 1 刘智勇. 智能交通控制理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2003. 24~27
- 2 乐寿长. 道路交通控制 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1995. 84~97
- 3 翟润平, 周彤梅. 应用绿灯有效利用率实现感应控制的原理及方法研究 [J]. 中国人民警官大学学报 (自然科学版), 1997 (1): 43~46
- 4 李显生, 等. 基于需求识别和绿信比优化的单点感应控制方法 [J]. 道路交通管理, 2002 (10): 35~36
- 5 杨佩昆, 吴兵. 交通管理与控制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003. 105~110
- 6 宫晓燕, 等. 基于有序样本聚类的交叉口交通信号控制算法研究 [J]. 公路交通科技, 2003 (1): 101~104

清华大学举办可持续交通培训研讨会

可持续交通培训研讨会于2006年11月7—10日在北京清华大学召开。会议主题为“可持续发展的交通”。本次会议由德国技术合作公司 (GTZ)、东南大学智能运输工程技术中心和清华大学交通研究所共同合作举办。会议得到了建设部相关部门的关心支持,同时也得到世界银行专家的帮助。

本培训课程关注最新的关于中国城市未来发展问题的讨论,并将它们与城市交通发展联系起来,同时引入国际上关于可持续城市交通发展的最新理念和做

法,是在中国进行全面系统的可持续交通培训和教育的示范课程。本次会议的与会代表共50多人,包括来自各省市城市交通主管部门代表、规划设计机构专业人员和科研单位的代表。

在4天的会议议程中,与会代表对城市交通机构建设、土地利用和出行管理、公共交通、非机动车交通、道路安全教育和交通财政政策研究等话题展开了深入讨论。会议交流将会进一步深化可持续发展的交通理念,促进可持续交通在中国的实践。