

# 基于粒子群优化的单交叉口信号控制与仿真

钟宜亚, 鲍占阔, 陈阳舟, 杨玉珍

(北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100022)

**摘要:** 针对我国城市交通的交通流特性, 在分析平面交叉口控制问题的基础上, 通过本周期和前一周期的车流量数据, 采用线性预估方法, 对下一周期的车流量进行估计, 采用粒子群优化算法实现单交叉口多相位信号配时方法. 以单交叉口周期车辆停滞最少为控制性能指标, 确定下一个周期的信号配时. 仿真结果证明了算法的有效性.

**关键词:** 单交叉口; 粒子群优化; 车流量; 仿真

**中图分类号:** TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2005)01-0082-04

## PSO- Based Optimization of Signal Timing and Simulation for Isolated Intersection

ZHONG Yi-ya, BAO Zhan-kuo, CHEN Yang-zhou, YANG Yu-zhen

(School of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract:** On the basis of analyzing the control problems of single intersection, a kind of real-time method with PSO (Particle Swarm Optimization) solving signal timing for single intersection is put forward. On detecting the flow of current cycle and the cycle before, estimating the flow of next circle is proceeded through the linear pre-estimation method. Setting least delay as performance index, each phase time for the next cycle can be obtained. A simulation experiment for the traffic model at a four-phase intersection is also demonstrated. The result shows that the method is efficient.

**Key words:** single intersection; PSO; traffic flow; simulation

### 0 引言

随着社会经济的发展, 城市交通问题日益严重. 而交通信号实时控制是减小城市交通延误, 提高道路利用率, 减小交通事故以及环境污染的最有效方法之一. 而在各种交通信号控制中, 单交叉口的实时控制是交通控制系统的基础, 也是我国目前最为主要的控制手段.

单交叉口实时控制的实质在于信号配时. 目前信号配时主要采用基于 F. Webster 近似公式的定时控制<sup>[1]</sup>, 这种控制方式不能针对当前变化的交通流情况实施有效的控制. 为此, 采用基于粒子群优化的单交叉口多相位实时控制算法, 以实时地对交通流进行控制.

### 1 单交叉口交通模型

以单交叉口四相位信号控制为例, 信号控制示意如图 1 所示. 交通流分为东、西、南、北 4 个方向, 每个方向存在左转、直行和右转 3 个车道车流, 对于右转车辆不实行控制. 4 个相位的交通流分别为东西直行、东西左转、南北直行、南北左转.

由于交通流变化是随机的, 而交通信号必须与之相适应才能实现较好地控制效果. 以单交叉口周期车

收稿日期: 2004-11-12. 基金项目: 北京市教委基金项目资助(项目编号: KP0202200379); 北京市自然科学基金资助项目(项目编号: 4042006).

第一作者简介: 钟宜亚(1981.8~), 男, 在读硕士研究生. 主要研究方向: 控制理论与应用, 智能交通系统. E-mail: zhongyiyaya@xinhuanet.com

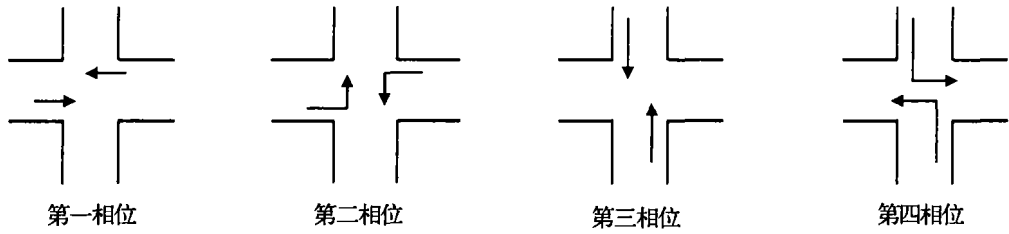


图 1 四相位信号控制示意图

Fig. 1 Sketch of four - phase intersection

辆停滞最小为性能指标, 通过搜索得到信号各相位绿灯时间.

设定信号周期为定值, 设定  $P$  表示所有被控制方向车流的信号状态,  $P = \{p_{ij}\}$  其中  $i = 1, 2, 3, 4$  为信号相位序号,  $j = 1, 2, \dots, 8$  表示 8 个车流入口方向, 分别表示东向直行、西向直行、西向左转、东向左转、南向直行、北向直行、南向左转、北向左转.

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{表示第 } i \text{ 相位, 第 } j \text{ 个方向绿灯} \\ 0, & \text{表示第 } i \text{ 相位, 第 } j \text{ 个方向红灯} \end{cases} \quad (1)$$

设定一个周期内交叉口第  $j$  个方向的车辆到达率为  $q_j$ , 各相位的绿灯时间为  $g_i$ , 则  $i$  第个相位, 第  $j$  个方向的到达车辆数为

$$s_1 = q_j g_i \quad (2)$$

设定第  $i$  个相位, 第  $j$  个方向的车辆驶离率为  $u_{ij}$ , 则第  $i$  个相位, 第  $j$  个方向驶离路口的车辆数为

$$s_2 = p_{ij} u_{ij} g_i \quad (3)$$

设定第  $i$  个相位, 第  $j$  个方向滞留车辆数为  $s_{ij}$ , 则有

$$s_{ij} = \max(s_{i-1,j} + q_j g_i - p_{ij} u_{ij} g_i, 0) \quad (4)$$

当  $i = 1$  时,  $s_{i-1,j}$  表示上一个周期第  $j$  个方向第四相位滞留车辆数.

据上分析, 为使得交叉口滞留车辆数最少, 可以通过下面的求取最小值来获得各相位的绿灯时间.

$$\min s = \min \sum_{j=1}^8 s_{4j} \quad (5)$$

上述公式应该满足以下限制条件:

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = C \quad (6)$$

其中为交叉口信号周期.

同时考虑安全性, 规定每一相位绿灯时间不得小于最小绿灯时间(一般取 10 s 左右), 同时考虑驾驶员的忍耐程度, 规定每一相位绿灯时间不得超过最大绿灯时间, 即

$$g_{\min} \leq t_i \leq g_{\max} (i = 1, 2, 3, 4) \quad (7)$$

由此, 单交叉口的信号控制问题转化为(6)式和(7)式约束下求取(5)式的极小值问题.

## 2 交通流预测

上述模型是建立在车流量已知的前提下, 而实际上在该周期运行之前, 是无法获得该周期车流量的. 因此, 若对交叉口信号实行实时控制, 就必须采用预测的方法来获得当前的车流量. 在当前运行周期进行控制的同时, 根据本周期和前一周期各方向的统计信息, 预测下一个周期各方向车流的到达率, 为下一个周期的优化配时提供数据.

交叉口各方向到达的车流量按照以下线性预估的方法进行计算<sup>[2]</sup>:

$$q^l = q^{l-1} + \alpha(q^{l-1} - q^{l-2}) \quad (8)$$

上式中,  $l$  取正整数,  $q^l$  为第  $l$  个周期到达的车辆数,  $\alpha$  为模糊修正系数( $0 < \alpha \leq 1$ ). 取  $\alpha$  值随  $q^{l-1} - q^{l-2}$  绝对值的增大而增大, 随其绝对值的减小而减小.

### 3 粒子群优化算法简介

粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO) 算法最早是由 Kennedy 和 Eberhart 于 1995 年提出的<sup>[3]</sup>, 是一种基于群智能(Swarm Intelligence) 方法的演化计算(Evolutionary Computation) 技术. 同遗传算法类似, PSO 是一种基于群体(population) 的优化工具<sup>[4]</sup>. 系统初始化为一组随机解, 通过迭代搜寻最优解. 粒子群优化没有遗传算法中的交叉和变异操作, 而是通过粒子在解空间中追随最优的粒子进行搜索. PSO 简单容易实现而具有很深刻的智能背景, 且不易陷入局部最优, 因而可以用于复杂的搜索. Kennedy 和 Eberhart 提出的 PSO 算法<sup>[3]</sup> 采用下面的公式对粒子进行操作:

$$v_{id} = v_{id} + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{gd}) \tag{9}$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id}$$

其中,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $d = 1, 2, \dots, D$ , 学习因子  $c_1$  和  $c_2$  是非负常数,  $r_1$  和  $r_2$  是介于  $[0, 1]$  之间的随机数.  $v_{id} \in [-v_{max}, v_{max}]$ ,  $v_{max}$  是常数, 由用户设定. 同时, 粒子每一维的位置也被限制在允许范围之内. 粒子群优化算法的框架如图 2 所示.

粒子群优化算法框架中没有交叉与变异运算, 所以算法操作相对简单, 运行速度快. 但是, 基本粒子群优化算法在解空间内搜索时, 在算法后期就会出现粒子在全局最优解的附近“振荡”的现象, 为了避免这个问题, Yuhui Shi 和 Russell Eberhart 引入惯性权重  $w$  并作了如下改进<sup>[5]</sup>: 随着迭代的进行, 让速度更新公式中的加权因子  $w$  由最大加权因子  $w_{max}$  线性减小到最小加权因子  $w_{min}$ , 即:

$$v_{id} = w v_{id} + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{gd}) \tag{10}$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id}$$

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \tag{11}$$

其中,  $iter$  为当前迭代数,  $iter_{max}$  为最大迭代数.  $w$  较大时, 算法搜索空间比较大;  $w$  较小时, 算法的局部搜索能力比较强.

### 4 基于粒子群优化的单交叉口信号控制

针对单交叉口控制问题, 为了简化问题, 根据式(6), 将 4 变量限制的极小值求取问题转化为 3 变量限制的极小值求取问题. 即

$$\min s = \min \sum_{j=1}^8 s_{4j} = \min \sum_{j=1}^8 (s_{0j} + \sum_{i=1}^3 \max(0, q_j t_i - p_{ij} u_j t_i) + \max(0, (q_j - p_{j4} u_j) (c - \sum_{i=1}^3 t_i))) \tag{12}$$

限制条件

$$g_{min} \leq t_i \leq g_{max}, (i = 1, 2, 3) \tag{13}$$

$$g_{min} \leq t_4 = C - (t_1 + t_2 + t_3) \leq g_{max} \tag{14}$$

式(14) 是关于  $t_1, t_2, t_3$  的线性不等式, 为将此约束性极值求解问题转化为无约束性极值求解问题, 在目标函数后加上罚因子即可实现有约束极值问题向无约束问题的转化, 即

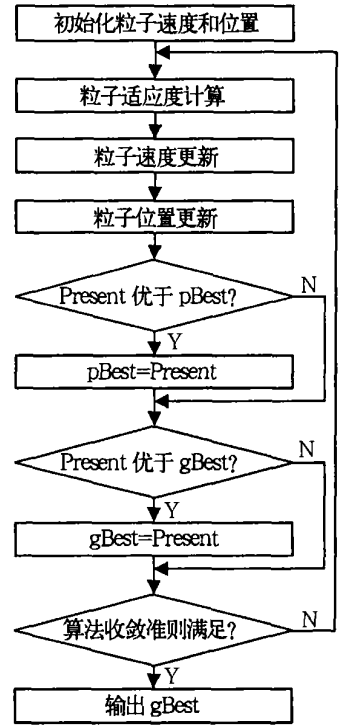


图 2 四相位信号控制示意图

Fig.2 Sketch of four-phase intersection

$$\min s' = \begin{cases} s, & \text{若满足式(14)} \\ s + T, & \text{若不满足式(14)} \end{cases} \quad (15)$$

其中  $T$  是一个比较大的数.

为了采用粒子群优化算法求解优化问题, 必须对变量进行编码. 根据粒子群优化算法的特点, 可以直接采用实数编码来表示各变量. 同时, 对于每一个粒子而言, 还必须有一个对应的粒子速度. 粒子适应度函数  $f(t_1, t_2, t_3)$  取为第四相位滞留交叉口的车辆数, 即  $S$ . 这样, 粒子可以采用如下的编码结构:

表 1 粒子群编码结构图

Tab. 1 Structure of particle swarm coding

粒子当前位置	粒子当前速度	粒子适应度
$t_1, t_2, t_3$	$v_1, v_2, v_3$	$f(t_1, t_2, t_3)$

单交叉口的粒子群优化步骤可以出: (1) 设定粒子群优化算法的参数, 包括群体大小, 参数维数, 惯性权重等; (2) 在条件允许的范围内初始化各粒子的位置和速度; (3) 根据式(12) 计算  $S$ , 即为适应度; (4) 根据(10) 式更新粒子的速度与位置;

(5) 重新计算适应度; (6) 判断是否更新粒子的个体极值  $p_{Best}$  以及粒子群的全局极值  $g_{Best}$ ; (7) 重复(4) 至(6), 直到满足精度要求或达到预先设定的迭代次数; (8) 输出  $g_{Best}$ , 得到  $t_1, t_2, t_3$ , 从而得到  $t_4$ .

## 5 实验仿真结果

在 Visual Basic 环境下编程实现上述基于粒子群优化算法的仿真, 取种群数为 100, 迭代总代数为 500 代. 仿真程序采用基于粒子群优化算法的信号控制和定时控制两种控制方法, 不考虑全红灯和黄灯的情况, 信号周期均取 120 s, 运行 1 800 s 后, 在不同交通流情况下交叉口的车辆延误如表 2 所示.

表 2 两种控制方法延误比较

Tab. 2 Comparison of delay under different control method

粒子群优化算法的信号控制	定时控制 /s	延误减少 /s	百分比 /%
平均到达率 $\lambda = 0.18$	34.6	37.6	5.3
平均到达率 $\lambda = 0.4$	204.5	224.2	8.7

## 6 结束语

以四相位单交叉口为例提出的基于粒子群优化算法的控制策略, 仿真结果证明了算法的有效性. 由于该控制策略需要对交通流进行预测, 而且信号周期固定, 因此改进交通流预测模型, 同时优化信号周期会取得更好的效果.

该控制策略适用于交通流分布不均衡的交叉口, 同时也适用于其它相位的单交叉口. 而当交通流过大时, 仅仅通过对单交叉口的信号控制优化是不能解决车辆拥堵的, 而只能通过线控、面控和路径引导来解决.

### 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.
- [2] 史忠科, 黄辉先, 曲仕茹, 等. 交通控制系统导论[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 1945~ 1946.
- [3] Kennedy J, Eberhart R C. Particle Swarm Optimization[J]. Proc. IEEE International Conf. on Neural Networks, Perth, Australia, 1995. 1945~ 1946.
- [4] 李爱国, 覃征, 鲍复民, 等. 粒子群优化算法[J]. 计算机工程与应用, 2002, (21): 1~ 3.
- [5] SHI Yurhui, Russell Eberhart. A Modified Swarm Optimizer[J]. IEEE International Conf. of Evolutionary Computation, Anchorage, Alaska, 1998. 69~ 70.