

文章编号:1671-8879(2009)01-0083-05

## 城市交通干线多路口协调控制

张 菁, 巨永锋

(长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064)

**摘 要:**为了实现交通干线信号的合理控制,有效缓解城市交通拥挤,对遗传算法中适应度函数、交叉算子和变异算子等进行了一系列改进,设计了一种基于遗传算法和混沌优化思想的混合式优化算法,并对由 6 个交叉路口组成的城市双向交通干线进行了仿真试验。结果表明:该算法能有效地提高交通干线系统的交通流量,比定时控制通过率提高了 13.7%;验证了该算法对干线路口信号灯模拟控制的有效性。

**关键词:**交通工程;城市交通;交通流量;多交叉路口;混合式优化算法;遗传算法

**中图分类号:**U491; TP18

**文献标志码:**A

## Coordination control of urban traffic at multi-intersection of trunk road

ZHANG Jing, JU Yong-feng

(School of Electronic and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to reasonably control the traffic signals at urban trunk road, and to effectively mitigate the traffic jam, this paper designs a hybrid optimization algorithm based on genetic algorithm and chaos optimization thought, in which the fitness function, crossover operator and mutation operator are improved. This hybrid optimization algorithm is adopted to the urban bi-directional traffic trunk road consisted of six intersections, and the simulation experiment is carried out. The results show that: this algorithm is able to improve the traffic flow of traffic trunk system availably, this algorithm to the simulation control of traffic trunk intersection signal lamps is effective. 3 tabs, 3 figs, 8 refs.

**Key words:** traffic engineering; urban traffic; traffic volume; multi-intersection; hybrid optimization algorithm; genetic algorithm

## 0 引 言

交通干线承担了主要的交通负荷,是城市内部的交通大动脉。交通干线信号灯的控制在城市交通网络的研究热点。通常,人们采用较直观的图解法和数解法进行信号联动控制的研究。这种人工做图或计算方法比较繁杂,且无法处理多相位等复杂配时方案交叉口间的联动<sup>[1-2]</sup>。另一些研究是基于绿

波控制进行的,它仅适合非饱和交通状态的单向交通干线信号优化控制<sup>[3]</sup>。针对以上问题,近年来许多专家和学者致力于新的交通控制方法研究。遗传算法是一种基于自然选择和进化的优化搜索技术<sup>[4]</sup>,它能以最大的概率搜索到整体的最优解<sup>[5]</sup>。此外,由于交通系统本身的混沌性,为适应干线复杂时变的交通需求,本文将遗传算法和混沌优化思想有机地结合起来,构造一种多路口协调控制算法,对

收稿日期:2008-03-20

作者简介:张 菁(1972-),女,陕西渭南人,讲师,工学硕士,E-mail:jingzhang@chd.edu.cn.

算法的适用性及运行效率进行探讨,并从硬件上实现对于路口信号灯的模拟控制。

## 1 城市交通干线模型

为了便于研究,本文做了以下基本假设,如表 1 所示。

表 1 基本假设

序号	假设条件
1	东西方向为交通干线,由西向东方向为干线上的主要车流。
2	交叉路口的每个入口均为 3 车道,即左转车道、直行车道和右转车道。
3	每个信号周期由绿灯时长和红灯时长组成,不考虑黄灯设置,且无相应间隔时间。
4	以两相位信号控制为例,且第一相位恒为干线方向的放行相位。
5	干线上相邻交叉口之间的距离均小于 800 m。
6	每个信号相位开始时,由车辆启动引起的绿灯损失时间固定且相等。
7	采用优先相位差的控制模式,即只考虑干线上主要车流的相位差。

本文采用以控制周期内通过干线系统的车流量最大为控制目标,以信号相位绿时和信号周期为优化参数。由  $n$  个交叉口组成的双向交通干线的信号动态优化控制,可描述为:在  $K$  个信号周期组成的控制周期内,计算每个信号周期的控制参数  $(g_n^f(k), \delta_{n,n+1}(k))$ ,使得式(1)最大,即

$$\max \sum_{k=1}^K \sum D_i(k) \quad (1)$$

S t

$$Q_i(k+1) = \max[0, Q_i(k) + A_i(k) - D_i(k)] \quad (2)$$

$$g_{n,\min}^f(k) \leq g_n^f(k) \leq g_{n,\max}^f(k) \quad (3)$$

$$C_{\min}(k) \leq C_n(k) \leq C_{\max}(k) \quad (4)$$

式中:  $g_n^f(k)$  为第  $k$  个信号周期的相位绿时;  $\delta_{n,n+1}(k)$  为第  $k$  个信号周期的相位差;  $Q_i(k)$ 、 $Q_i(k+1)$  分别为第  $k$  个和第  $k+1$  个信号周期的路段  $i$  上的车辆数;  $A_i(k)$  为进入路段  $i$  的车辆数;  $D_i(k)$  为离开路段  $i$  的车辆数;  $g_{n,\min}^f(k)$ 、 $g_{n,\max}^f(k)$  分别为最小、最大绿时;  $C_n(k)$  为信号周期时长;  $C_{\min}(k)$ 、 $C_{\max}(k)$  分别为最小、最大周期时长。

## 2 遗传算法的改进

### 2.1 适应度函数的改进

遗传算法适应度函数的设计至关重要。根据适

应度函数设计的要求,经综合比较和反复试验后,在文献[6]中初步选取  $F = \frac{1}{1+\psi-f}$  作为适应度函数。

其中,  $\psi$  为目标函数界限的保守估计值,  $f$  为目标函数值。但在遗传进化初期,选择操作时会产生一些异常的个体。若按照比例选择法,这些异常个体因竞争力太突出而会控制选择过程,影响算法的全局优化。为了克服种现象,在运行的初期阶段,算法能够对一些适应度较高的个体进行控制,降低其适应度与其他个体适应度之间的差异程度,从而限制其复制数量,以维护群体的多样性。为此,将初步选取的适应度函数改进为  $F = \frac{1}{1+\lambda(\psi-f)}$ 。其中,  $\lambda$  为调整系数。

### 2.2 自适应操作算子的改进

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} & f' < f_{avg} \\ P_{c1} - (P_{c1} - P_{c2}) \exp(-\alpha_1 \frac{f_{max} - f'_{avg}}{f_{max} - f'}) & f' \geq f_{avg} \end{cases} \quad (5)$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} & f < f_{avg} \\ P_{m1} - (P_{m1} - P_{m2}) \exp(-\alpha_2 \frac{f_{max} - f'_{avg}}{f_{max} - f}) & f \geq f_{avg} \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $P_c$ 、 $P_m$  均为自适应操作算子;  $f'$  为交叉个体中较大的个体适应度;  $f$  为个体适应度;  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  均为常数,都取值为 4;  $P_{c1}$ 、 $P_{c2}$ 、 $P_{m1}$ 、 $P_{m2}$  均为常数;  $f_{max}$  为最优个体适应度;  $f_{avg}$  为个体适应度均值;  $f'_{avg}$  为适应度大于平均适应度的那些个体的适应度均值。

近年来,许多学者提出了各种各样的自适应算法<sup>[7-8]</sup>,其基本思想是,在进化过程中,根据种群的实际情况,动态调整种群大小、交叉概率和变异概率等参数。在前人研究的基础上,本文采用的参数调整方法为:将表征种群过早收敛程度的指标  $(f_{max} - f'_{avg})$  引入操作算子中。当种群趋于收敛时,增大  $P_c$ 、 $P_m$  值,破坏当前稳定性,克服过早收敛;当种群个体发散时,则降低  $P_c$ 、 $P_m$  值,以使种群趋于收敛。自适应交叉概率和变异概率的公式见式(5)、式(6)。

## 3 混合式遗传算法的实现

### 3.1 混沌交叉操作的实现

前面虽然对遗传算法进行了一些改进,但是仅从遗传算法自身仍无法很好的消除不足。而混沌是一种新颖的优化技术,其遍历性的特点可作为搜索

过程中避免陷入局部极值的一种优化机制。本文将混沌运用到交叉操作中,通过混沌序列动态地控制交叉操作,能有效地提高交叉操作的效率。

混沌序列的产生采用典型的 Logistic 映射,其表达式为

$$x_{n+1} = 4x_n(1 - x_n) \tag{7}$$

式中: $x_n$ 、 $x_{n+1}$  为序列中的相邻数值。

任取一个初值  $x_0$ ,可以产生一个迭代序列,整个序列的特点是在  $[0,1]$  间变化。将  $x_{n+1}$  作为一个混沌开关,进行交叉操作的控制,即

$$\left. \begin{aligned} x_{n+1} \leq p_c & \quad \text{交叉} \\ x_{n+1} > p_c & \quad \text{不交叉} \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

式中: $p_c$  为自适应交叉概率。

混沌变异操作与混沌交叉操作相类似,这里不再赘述。

3.2 算法实现

混合式遗传算法采用实数编码,这样便于处理复杂的决策变量约束条件。采用罚函数法对约束条件进行处理,将约束条件以罚函数的形式嵌入到目标函数中,有利于提高搜索效率,也方便编程的实现。混合式优化算法的流程如图 1 所示。其中, $G$  为遗传算法进化代数; $T$  为最大进化代数。

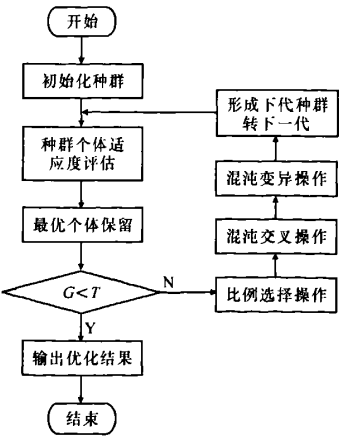


图 1 混合式优化算法流程

4 仿真试验

4.1 计算机中的仿真结果及分析

在两相位控制方式下,针对城市双向交通干线动态的交通需求,分别将基本遗传算法(SGA)、自适应遗传算法(AGA)和混合式遗传算法(AHGA)在 VC6.0 环境下进行了 100 次仿真计算。另外,本

文方法还与绿信控制方法进行了仿真对比,信号周期为 120 s,各路口取相同的信号控制参数。仿真结果如表 2、表 3 和图 2 所示。

表 2 3 种算法的优化结果

优化算法	优化结果/pcu	计算时间/s	可行解/非可行解
SGA	2 607.38	79.6	100/0
AGA	2 883.56	84.5	100/0
AHGA	2 963.17	95.5	100/0

表 3 混合式优化算法与绿信控制的比较

优化算法	路口 1	路口 2	路口 3	路口 4	路口 5	路口 6	干线系统
AHGA 通过量/pcu	492.4	507.9	468.5	479.7	508.7	506.0	2 963.2
AHGA 通过率/(pcu · min <sup>-1</sup> )	24.6	25.4	23.4	24.0	25.4	25.3	148.2
绿信控制通过量/pcu	466.9	421.9	415.5	416.4	426.0	459.7	2 606.3
绿信控制通过率/(pcu · min <sup>-1</sup> )	23.3	21.1	20.8	20.8	21.3	23.0	130.3

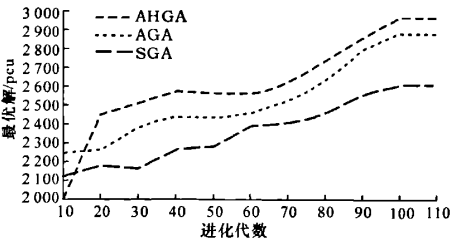


图 2 3 种算法的进化曲线

表 2 表明,AHGA 的效果明显优于 SGA 和 AGA;而 AHGA 的运行处理用时较长,计算相对较慢。考虑到实际的交通信号一般每隔几分钟进行一次优化运算,因此 AHGA 能够满足交通信号优化控制的实时性要求。

表 3 表明,相对于绿信控制,混合式优化方法在控制周期内,车辆通过量和通过率均有明显提高,其中干线系统的车辆通过率提高了 13.7%。同时,结合表 2 可以看出,定时控制和使用固定交叉概率、变异概率的 SGA 的效果相差不大;而定时控制与采用自适应的交叉概率、变异概率的 AGA 和 AHGA 相比,效果则明显劣于 AGA 和 AHGA。这就验证了交叉概率和变异概率是影响算法性能和行为的关键;而自适应的交叉概率、变异概率则在保持种群多样性的同时,有利于算法性能的改善。

从图 2 可看出,当进化代数较小时,AHGA 的最优解较低;随着进化代数的增加,其最优解则好于 SGA 和 AGA。当进化代数较少(少于 10 代)时,混

合遗传算法的操作算子因其比较复杂,在整个遗传进化中所起作用并不明显,甚至不如简单遗传算子;而随着进化代数的增加,遗传操作算子所起的作用逐渐显现,最优解则明显变优。这表明,交叉操作、变异操作中混沌序列的引入,可以有效地改善算法的性能。从整个进化过程来看,AHGA 的性能明显优于 SGA 和 AGA。AHGA 不仅具有较快的收敛速度和进化效率,而且更容易从局部极值中跳出来,进一步接近全局的最优解(20 代后很明显)。这就验证了所设计的混合遗传算法是合理的、有效的。

#### 4.2 硬件平台中仿真试验

硬件平台主要有两个核心处理器。其中一个 TMS320C6713B,主要完成信号的优化处理、通信及协调其他模块工作等功能,调试采用 TI 公司的集成性软件 CCS3.1 作为开发工具,使用 C 语言实现系统初始化设计和优化控制算法设计;另一个是

P89V51RD2,主要完成灯色的逻辑控制,执行信号灯的控制,调试采用 Vision2 集成开发环境,使用 C 语言实现系统初始化和控制驱动程序的设计。

系统具体的软件流程如图 3 所示。首先,将智能交通信号机系统的主控板进行初始化;然后,系统根据获取的交叉路口实时车流量信息,经过简单数据处理后,将混合遗传算法运行处理的结果,通过异步串行通信口传送至单片机(这里主控板和驱动板之间串行通信的波特率设置为 9 600 bps)。单片机系统将接收的数据简单处理后,进行安全检测判断。如果存在绿冲突或绿不一致,则进入黄闪控制;否则,按照优化处理结果进行控制。系统运行灯色控制驱动程序(包括路口灯色初始状态判断模块和灯色状态转换模块)控制信号灯组灯色变换,模拟干线交叉路口的实际信号灯控制(硬件设计中,用二极管代替实际交叉路口的信号灯)。

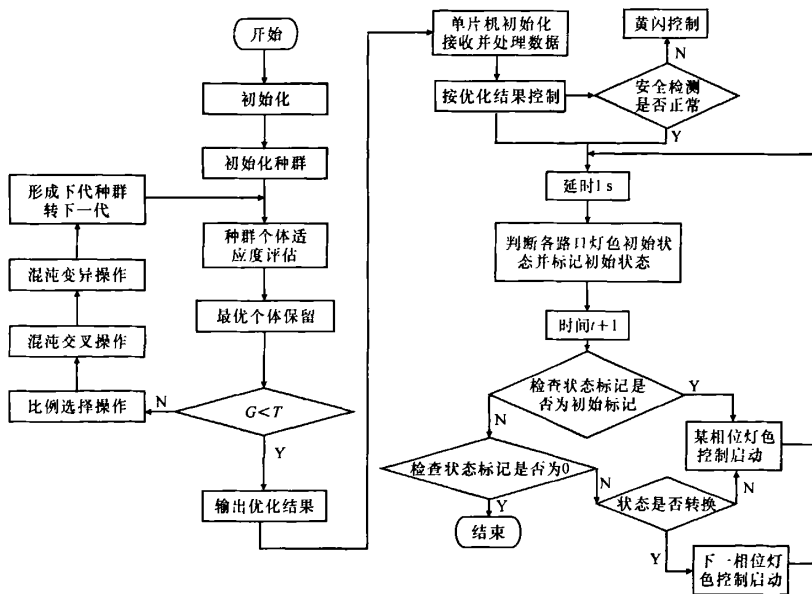


图3 智能控制软件流程

## 5 结 语

(1)以控制周期内通过干线系统的车流量最大为控制目标,以信号相位绿时和信号周期为优化参数,建立了交通干线的动态优化控制模型,并采用遗传算法和混沌优化思想设计了算法。

(2)所设计的算法在计算机上仿真,干线系统车辆通过率比绿信控制提高了 13.7%,表明该算法具有较高的运行效率和求解质量。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 郑长江. 行人过街信号与交叉口信号联动控制方法研究[D]. 南京:东南大学,2006.
- [2] 王 昊,王 炜,陈 峻. 城市主干道与多支路 T 型交叉区域的交通组织方式[J]. 交通运输工程学报, 2006,6(1):108-112.

WANG Hao, WANG Wei, CHEN Jun. Traffic organi-

- zation of urban arterial road intersected by multi-inferior roads at T-intersections[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(1): 108-112.
- [3] 常云涛,彭国雄. 基于遗传算法的城市干道协调控制[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(2): 106-112.
- CHANG Yun-tao, PENG Guo-xiong. Urban arterial road coordinate control based on genetic algorithm[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(2): 106-112.
- [4] Chung J M, Oh S M. A hybrid genetic algorithm for train sequencing in the Korean railway[J]. The International Journal of Management Science. 2007, 12(1): 1-11.
- [5] 巨永锋, 蔺广逢, 蔡占华. 基于遗传算法的图像识别方法[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(6): 98-101.
- JU Yong-feng, LIN Guang-feng, CAI Zhan-hua. Method of image recognition based on genetic algorithm[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(6): 98-101.
- [6] 王小平, 曹立明. 遗传算法: 理论、应用与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.
- [7] 刘智勇, 李水友. 基于免疫遗传算法的区域交通自适应协调控制[J]. 控制理论与应用, 2006, 23(1): 119-125.
- LIU Zhi-yong, LI Shui-you. Immunity genetic algorithms based adaptive control method for urban traffic network signal[J]. Control Theory & Applications, 2006, 23(1): 119-125.
- [8] 高岩. 遗传算法及神经网络在锅炉负荷优化分配中的应用[J]. 北京理工大学学报, 2005, 25(11): 944-948.
- GAO Yan. Application of genetic algorithm and neural network in the optimization of boiler load assignment[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2005, 25(11): 944-948.

(上接第73页)

## 4 结 语

(1)将单个调查点的机动车 OD 调查抽象成 0-1 分布,采用定量与定性相结合的方法,分析了调查精度、样本量与调查点断面 OD 量自身特性之间的关系,即在一定精度要求下,样本量随着车流量的增大而增大,但当车流量足够大时,样本量将不再随着车流量的变化而变化;要求的置信水平越高,精度越高,样本量也就越大。

(2)给出了简单随机抽样机动车 OD 调查中抽样率的确定方法,给出了一定精度要求下的 OD 调查抽样率的推荐值。

(3)分析和比较了不同的抽样方法的抽样效率,即等距抽样与车牌号抽样的抽样效率相同;整群抽样的效率较低;分层(时间)抽样的效率较高。

(4)本文只是针对单个 OD 调查点进行了研究,关于不同调查点之间采用不同抽样率和不同抽样方法对调查精度的影响还有待进一步研究。

## 参考文献:

## References:

- [1] 严宝杰. 交通调查与分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 1994.
- [2] 张小蒂. 抽样调查技术与应用[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1991.
- [3] Giaimo G T, Schiffer R. Statewide travel demand modeling; a peer exchange[R]. Washington DC: Transportation Research E-circular, 2005.
- [4] Ashley K, Jeremy B. National travel survey; technical report 2000[R]. London: Department for Transport, Local Government and the Regions, 2001.
- [5] 刘军民. 日本的交通调查[J]. 交通与运输, 2000(2): 32-34.
- LIU Jun-min. Traffic survey in Japan[J]. Traffic and Transportation, 2000(2): 32-34.
- [6] Kuwahara M, Edward C S. Estimating origin-destination matrices from roadside survey data[J]. Transportation Research, Part B: Methodological, 1987, 21(3): 233-248.
- [7] 廖利钊, 顾保南. OD 调查中的抽样率问题[J]. 上海铁道大学学报, 1996, 17(2): 91-94.
- LIAO Li-zhao, GU Bao-nan. A study on choosing ratio of sampling in OD survey[J]. Journal of Shanghai Tiedao University, 1996, 17(2): 91-94.
- [8] 宋广辉, 刘淑珍, 耿英杰, 等. OD 调查简介[J]. 东北公路, 1996(2): 77-82.
- SONG Guang-hui, LIU Shu-zhen, GENG Ying-jie, et al. Introduction of origin and destination survey (OD)[J]. Northeastern Highway, 1996(2): 77-82.
- [9] 李纪治, 李晓风, 马江洪. 抽样调查理论与技术应用[M]. 北京: 中国统计出版社, 1997.
- [10] Northern Ireland Statistics and Research Agency. Origin-Destination Statistics[R]. Belfast: Northern Ireland Statistics and Research Agency, 2001.