

文章编号:1671-8879(2009)03-0085-04

基于遗传算法的交通信号控制多目标优化

李瑞敏, 陆化普

(清华大学 交通研究所, 北京 100084)

摘 要:针对城市交通信号控制面临的多目标优化问题,提出了利用遗传算法实现多目标优化的方法。分析了城市交通信号控制多目标优化的本质及特点,采用基于遗传算法的多目标优化方法,提出了信号控制多层模糊控制模型,以平均延误和停车次数作为优化目标,采用遗传算法中的随机权重方法来进行该模型的多目标综合优化,给出了各模型参数的计算方法和优化步骤,最后进行了仿真试验。仿真结果表明,给出的多目标优化方法优于传统的多目标固定权重方法,可以获得更好的交通信号控制效果。

关键词:交通工程;交通信号控制;多目标优化;遗传算法

中图分类号:U491 **文献标志码:**A

Traffic signal control multi-object optimization based on genetic algorithm

LI Rui-min, LU Hua-pu

(Institute of Transportation Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Aimed at the problem of multi-object optimization solution on the problem by using genetic algorithm is presented. The essential and characteristics of multi-object optimization in urban traffic signal control are analyzed. Then, the genetic algorithm (GA) method is applied to multi-object optimization and a multi-layer fuzzy traffic signal control model is proposed. Regarded average delay and stop times as optimal object, random-weight approach of GA is used to optimize the multi-object of the model, the optimization steps and calculation method of some parameters and the determination method of random weight is presented. At the end, the performance of this optimization method based on GA is compared to that with traditional fixed weight at a simulated four-approach intersection. The result indicates that the optimization method presented in this paper is effective in reducing average delay and stop times at an intersection. 2 figs, 10 refs.

Key words: traffic engineering; traffic signal control; multi-object optimization; genetic algorithm

0 引 言

作为城市交通管理的主要手段,交通信号控制在改善交通秩序、提高道路交通安全水平和减少交

通阻塞等方面发挥着重要的作用。因此,人们在进行城市交通信号控制时,并非仅追求单一的控制目标,如延误最小、停车次数最少等,而是希望通过对交通信号相位方案及配时的调整,实现对城市交通

收稿日期:2008-06-13

基金项目:“十五”国家重点攻关项目(2002BA404A20B);北京市科技计划项目(gyykw05070006)

作者简介:李瑞敏(1979-),男,山东莱州人,讲师,工学博士,E-mail:lrmin@mail. tsinghua. edu. cn。

流的综合控制功能,获得综合优化的控制目标。如通行能力最大且延误最小、停车次数最小且饱和度最低等,同时希望实现安全性最高、环境污染最低、油耗最少以及运营成本最低等目标。因此,在目前的信号控制研究中,人们已经开始将多目标优化问题纳入其中,从 TRANSYT 和 SCOOT 的综合性能指标的采用,到目前研究者们利用模糊控制、遗传算法实现多目标优化^[1-3],交通信号控制多目标优化问题逐渐引起研究者的注意。为此,本文针对城市交通信号控制的多目标优化问题,对建立的交通信号多层模糊控制模型进行多目标优化,并建立了相应的遗传算法模型,求解多目标优化问题。

1 交通控制的多目标优化问题

对于城市交通控制而言,延误、停车次数、通行能力和饱和度这 4 项基本参数之间存在着一定的相关关系,然而它们之间的变化却不一定是正相关的,这里以延误与停车次数为例进行说明。

对一辆车而言,在连续多个交叉口处有 3 种运行状态:①不受阻碍的通过所有交叉口;②在每个交叉口处都略有停顿;③在第一个交叉口有较长时间停顿,此后无阻碍的通过剩余交叉口。而对一个车队而言,可能会出现停车次数与延误时间的增减变化,可能停车次数减少了,而延误时间增加了,也可能相反,或二者同时增加或减少。事实上,能够使停车次数减至最少的配时方案,不一定能使延误时间减至最少。1980 年丹尼斯·罗伯逊等人在英国格拉斯哥进行的试验证实了这一点,例如,油耗最省的方案却不是延误时间最少的方案,也不是停车次数最少的方案。

因此,在城市交通信号控制中,有时所追求的多个优化目标之间并不是一致的,这就出现了多目标冲突的问题。在实际控制过程中,出于各种控制目标的考虑,人们往往将多目标优化作为城市交通信号控制的追求目标,也是未来交通信号控制研究开发的一个主要趋势。多目标优化的问题在于干线协调控制中更加明显,除了单点信号控制所需要考虑的优化目标外,干线协调控制还需要考虑追求干线通行能力最大、干线主要车流平均延误最小等目标。

在交通信号控制多目标优化设计中,往往由于一个子目标的优化而引起另一个或几个子目标的最优值变坏。因此,在解决多目标优化问题时,需要在各个子目标最优值之间进行协调,互相做出一些“让步”,以便取得整体最优方案。通常情况下,对于多

目标优化问题只能求得它的有效解。

2 基于遗传算法的多目标优化方法

目前,遗传算法已开始被广泛地应用到交通运输领域及多目标优化问题当中^[4-8],出现了一批较好的多目标优化技术,如 Pareto 排序和竞争方法、权重和方法以及目标规划方法等。

从概念上讲,权重和方法可以看作是将多目标优化中采用的方法向遗传算法扩展。该方法给每个目标函数分配权重,然后将加权目标组合为单一目标函数。事实上,在遗传算法中使用的权重和方法,与传统多目标优化算法中使用的权重和方法在本质上有很大不同。在多目标优化中,权重和方法用来获得妥协解,使算法运行的唯一要求是合适的权重向量。对于给定问题,通常很难获得一组合适的权重。在遗传算法中,最初权重和方法用来使遗传搜索向着 Pareto 前沿面运行。随着遗传算法的扩展,权重适应性地重新调整,因此,并不一定需要良好的权重向量来使遗传算法运行。最近,有关学者提出了 3 种权重设置的方法:固定权重方法、随机权重方法和适应性权重方法^[9]。固定权重方法可以看作是对传统标量化方法的模仿,而随机权重方法和适应性权重方法,用来更全面地利用遗传算法的搜索能力。随机权重方法使遗传算法具有可变搜索方向,即在整個 Pareto 前沿面上进行均匀采样的能力。本文利用随机权重方法来建立基于遗传算法的交通信号控制多目标优化模型。

3 多目标优化遗传算法模型

3.1 遗传算法模型参数

假设要最大化 q 个目标函数,权重和目标函数为

$$z = \sum_{k=1}^q w_k' f_k(x) \quad (1)$$

式中: z 为加权求和后的目标函数; w_k' 、 $f_k(x)$ 分别为第 k 个目标函数的权重与函数。

在城市交通信号控制中,所追求的并非完全是目标函数的最大值,而是对不同的目标函数有不同的优化目标。例如,对于延误、停车次数、污染排放和燃油消耗等目标函数追求其最小值,而对于通行能力等目标函数则追求其最大值。在信号控制中应用随机权重方法时,如果是最小化目标函数,则需将其进行适当的变换。

随机权重 w_k 为

$$w_k = \frac{r_k}{\sum_{j=1}^q r_j} \quad k = 1, 2, \dots, q \quad (2)$$

式中: r_k, r_j 均为非随机数。

在选出多个杂交的个体之前,由式(2)生成一组新的随机权重;根据式(1)计算每个个体的适应值。第 i 个个体的被选择概率 p_i 可由线性比例变换函数定义为

$$p_i = \frac{z_i - z_{\min}}{\sum_{j=1}^N (z_j - z_{\min})} \quad (3)$$

式中: z_i, z_j 分别为第 i 、第 j 个个体的目标; z_{\min} 是当前种群中最差个体的适应值; N 为个体总数。

每一代临时存储一组 Pareto 解并按代更新。对于带有 q 个目标的问题, Pareto 解中存在 q 个极限点,每一个最大化一个目标。在此提出了精华保留策略(elite preserving strategy),将 n 个解(包括极限点与一些随机选择的 Pareto 解)直接放入下一代种群中。

3.2 交通信号控制多层模糊控制模型

本文的多层模糊控制模型与文献[10]中所提出的类似,是一个3层的交通信号模糊控制模型。第1层模糊控制器的主要功能是,完成交通流状况的模糊判断推理过程,即根据检测到的交通流参数来确定各个相位或各个车道所对应的交通需求强度;第2层模糊控制器的主要功能是,根据交通流状况进行相位优化,称为相位优化模糊控制器,其核心是一个基本相序不变的相位优化模糊控制模型;第3层模糊控制器的主要功能是,完成各个相位阶段绿灯时间是否延长及延长多少的判断功能,称为绿灯时长模糊控制器。除第3层控制目标有所不同外,其他各层的控制规则与控制逻辑与文献[10]中类似,在此不再重复。

文献[10]中的控制模型在第3层配时优化时,其优化目标是平均延误最小,而在采用遗传算法进行多目标优化的时候,本文选择平均延误和停车次数作为目标函数,则权重和目标函数为

$$z = w_1 \frac{1}{d(t)} + w_2 \frac{1}{S} \quad (4)$$

式中: w_1, w_2 均为加权系数; $d(t)$ 为平均延误; S 为停车次数。

3.3 模型算法

设 N_{pop} 为种群规模, N_{elite} 为保存的精华解数量,模型算法整体流程如下所述。

(1) 初始化。随机产生包括 N_{pop} 个个体的初始

种群。

(2) 评价。对于每个个体计算 q 个目标函数值;更新临时 Pareto 解集。

(3) 选择。重复下面步骤,选出 $(N_{\text{pop}} - N_{\text{elite}})$ 对父代:用式(2)制定随机权重;用式(4)计算适应值;用式(3)计算选择概率,为杂交操作选出一对父代个体。

(4) 杂交。对于选出的每一对个体,执行杂交操作,产生后代。

(5) 变异。对杂交操作产生的每个个体执行变异操作。

(6) 最优性策略。从临时 Pareto 解集中随机选择 N_{elite} 个个体。将选出的 N_{elite} 个个体添加到前面步骤产生的 $(N_{\text{pop}} - N_{\text{elite}})$ 个个体中,以构成 N_{pop} 个个体的种群。

(7) 终止测试。如果事先指定的停止条件得到满足,终止算法。否则,返回评价流程。

4 模型仿真

考虑到在未来的应用,本文选用有4个进口道方向的十字交叉路口作为研究对象。每个进口道都包括左、直、右3个通行方向,共有4个基本相位:东西直行、东西左转、南北直行和南北左转。在不同的交通流量的情况下进行对比仿真,共对10种不同交通流量下的结果进行了对比分析。流量范围中直行车道:350 ~ 430 pcu;左转车道:280 ~ 350 pcu。即直行与左转交通流量组合分别为:(430, 350)、(421, 342) ... (359, 288)、(350, 280),约为等差数列。对比的2种配时方法分别是:普通多目标加权优化和遗传算法多目标优化模型。

仿真结果如图1、图2(见下页)所示,图1中“平均延误最小”,即是普通多目标加权优化的情况,是指将停车次数进行转换,将每次停车折算为一定数量的车辆延误,寻求折算后的平均延误最小

$$\min(d(t) + KS) \quad (5)$$

式中: K 为停车加权系数。

图1中的“多目标优化”,即表示利用本文提出的遗传算法进行多目标优化。图1、图2中的性能指标,在2种情况下都由 $d(t) + KS$ 计算得到, K 取值相同,而2种情况下的 $d(t)$ 、 S 则分别由普通多目标加权优化方法和本文的遗传算法优化方法得到。

从以上仿真结果可以看到,在绝大多数交通流状况下,与普通多目标加权优化的结果相比,利用遗传算法对传统的交通信号控制模型进行多目标优

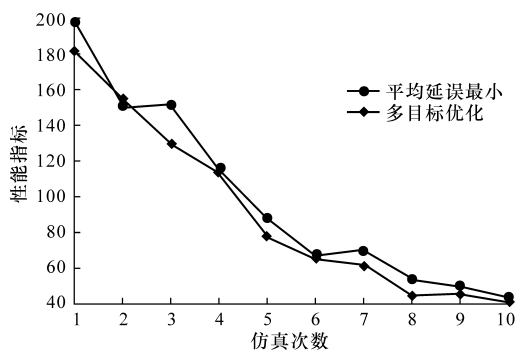


图1 不同优化目标下性能指标比较

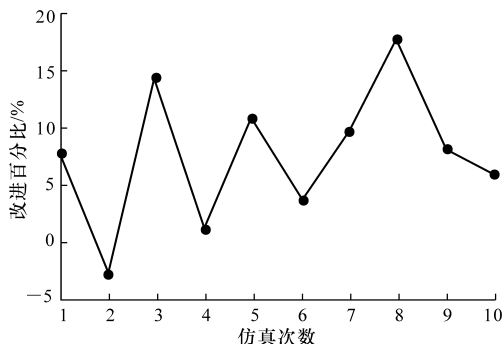


图2 不同优化目标下性能指标变化

化,可以得到更好的效果。

5 结 语

(1)研究了城市交通信号控制中的多目标优化问题,并在信号控制中引入遗传算法进行多目标优化的求解,给出了具体的参数模型及算法。

(2)对遗传算法及传统算法的优化模型进行了仿真比较分析,仿真结果表明,利用遗传算法对交通信号控制多目标优化进行求解,可以获得更好的效果。

(3)在未来的研究中,可以考虑将遗传算法应用到更多个目标的综合优化中,例如,在延误、停车次数优化的基础上增加对安全、环境和优先控制等因素的考虑,以提高和改进交通控制的效果。

参考文献:

References:

- [1] Niittymäki J, Pursula M. Signal control using fuzzy logic[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 116(1): 11-22.
- [2] 李 艳,樊晓平. 基于模糊控制的城市交叉路口群信号控制及仿真[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(2): 117-119.
LI Yan, FAN Xiao-ping. Fuzzy logic control and simulation of urban traffic intersections group[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(2): 117-119.

- [3] 朱文兴,贾 磊,吴晓晴. 城市主干路交通流多目标优化控制[J]. 山东大学学报:工学版, 2004, 34(3): 72-76.
ZHU Wen-xing, JIA Lei, WU Xiao-qing. The control of the urban main road traffic flows based on multi-objective optimization[J]. Journal of Shandong University: Engineering Science, 2004, 34(3): 72-76.
- [4] 许金良,王海君,杨少伟. 基于遗传算法的公路纵断面优化[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(2): 48-52.
XU Jin-liang, WANG Hai-jun, YANG Shao-wei. Optimization of highway profile based on genetic algorithms[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(2): 48-52.
- [5] 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.
- [6] 周 鹏,史忠科,陈小锋. 城市交通联网控制及其多目标优化实现[J]. 控制理论与应用, 2002, 19(2): 215-219.
ZHOU Peng, SHI Zhong-ke, CHEN Xiao-feng. The network control of urban traffic and its multi-objective optimal realization[J]. Control Theory and Application, 2002, 19(2): 215-219.
- [7] 张卫国,李占利. 分层方向的多目标优化模型[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2003, 23(5): 104-106.
ZHANG Wei-guo, LI Zhan-li. Multi-objective optimization model for fabrication orientation [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(5): 104-106.
- [8] 毕玉峰,王选仓,孙立军. 公路工程中多种资源均衡优化的遗传算法设计[J]. 中国公路学报, 2004, 17(1): 86-89.
BI Yu-feng, WANG Xuan-cang, SUN Li-jun. GA's design of multi-resources equilibrium optimization in highway engineering[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(1): 86-89.
- [9] Cheng R, Gen M. A survey of genetic multiobjective optimizations[R]. Ashikaga: Ashikaga Institute of Technology, 1998.
- [10] 李瑞敏,陆化普,史其信. 基于交通需求强度的路口多层模糊控制模型研究[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版, 2006, 30(1): 1-4.
LI Rui-min, LU Hua-pu, SHI Qi-xin. Research of multi-layer fuzzy control model based on traffic demand intensity[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2006, 30(1): 1-4.