

一种基于粒子群的交通信号离线配时优化方法

王海起¹,王劲峰²

WANG Hai-qi¹,WANG Jin-feng²

1.中国石油大学(华东)地球资源与信息学院,山东 东营 257061

2.中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室,北京 100101

1.College of Geo-resources and Information,University of Petroleum(East China),Dongying,Shandong 257061,China

2.State Key Lab of Resources and Environmental Information System,Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research,Chinese Academy of Sciences,Beijing 100101,China

E-mail:wanghq@hdpu.edu.cn

WANG Hai-qi,WANG Jin-feng.Optimizing method of traffic signal off-line timing based on particle swarm algorithm. Computer Engineering and Applications,2008,44(11):13-15.

Abstract: An optimizing method of traffic signal off-line timing based on particle swarm algorithm is proposed.Real-coded plan is used to all phases' green time of every signalized intersection in traffic network,and different timing plan is correspondent to different particle,and the fitness of a particle is evaluated through total delay time of microscopic traffic simulation,and finally the particle with minimal delay time is the optimal timing plan.Compared with other existing signal off-line timing methods,this paper provides an intelligent optimizing method with simpler coding,less parameters and more fast calculating speed.

Key words: traffic signal off-line timing;particle swarm optimization;microscopic traffic simulation

摘要:提出了一种基于粒子群的交通信号离线配时优化方法,采用实数编码表示区域内各信号交叉口的各相位绿灯时间,不同的配时方案对应于不同的粒子,粒子的适应度利用微观交通模拟获取的总延迟时间进行评价,最后得到的具有最小延迟时间的粒子即为最优配时方案。与已有的离线配时技术相比,提供了一种编码形式简单、参数较少、计算速度较快的信号配时智能优化方法。

关键词:交通信号离线配时;粒子群优化;微观交通模拟

文章编号:1002-8331(2008)11-0013-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP301

1 引言

城市交通信号控制主要指城市道路各个交叉路口的交通信号灯控制,通过信号灯的配时对交通流进行调节、警告和诱导以达到改善人和货物的安全运输,提高运营效率。交通信号控制方式可分为两大类:离线配时和在线配时^[1,2]。

离线配时属于信号控制的第一代技术,它是根据一天内交通流历史数据计算路口的信号周期和各方向绿灯时间的长度,信号灯根据输入的配时方案自动进行切换,或是采用 TOD(Time Of Day)多时段配时,根据流量的变化,把一天分为几个时段,每个时段内分别计算信号周期及各相位绿灯时。离线控制简单、可靠、经济,但不能及时响应交通流的随机变化。

在线配时属于信号控制的第二代技术,是一种实时技术,通过铺设在各路口地下的检测器,实时采集交通数据,利用自控、系统辨识、电子等技术,在线对配时参数进行优化,通过控制器对信号灯进行控制。在线配时能够及时响应交通流的随机

变化,但控制复杂、可靠性差、维护困难、费用高。

在线实时控制技术是现代交通控制的研究热点。然而,由于交通系统的复杂性、不确定性、随机性以及实时控制技术的不完善,目前实时配时优化的性价比并不高;另外,在实时控制过程中,路口检测器积累的大量交通流历史数据,由于实时配时对响应时间的要求及技术的限制,大部分历史数据都没有被利用。

近年来,伴随着数据挖掘、智能计算等技术的不断发展与完善,利用交通流历史数据和各种智能优化手段提高离线配时的优化效果重新引起关注,目前基于聚类、主成分分析、遗传算法等的离线配时方法均已实现^[3-7],并且通过应用已证实了这些技术的有效性。

然而,遗传算法一般采用二进制编码,在用于信号配时时其编解码过程较复杂^[8],算法本身需要调整的参数较多(包括选择、交叉、变异等算子的设置),迭代时间过长并且得到的优化

基金项目:国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.40701138);国家高技术研究发展计划(863)(the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2006AA12Z215)。

作者简介:王海起(1972-),男,博士,讲师,主要研究方向:GIS空间数据分析与智能计算;王劲峰(1965-),男,博士,研究员,博士生导师,主要研究方向:空间分析,地理系统建模,空间运筹等。

收稿日期:2007-11-28 **修回日期:**2007-12-27

配时方案不够精确。

粒子群算法(PSO)是近年来引起广泛关注的一种优化技术,其算法思想来源于对社会系统的模拟^[9,10],具有深刻的智能背景,算法采用实数编码,涉及到的参数非常少,优化过程简单容易实现且易于理解,收敛速度较快,非常适合于工程应用,因此,本文将其应用于交通信号离线配时优化研究中。

2 基于粒子群的信号离线配时优化方法

2.1 相关定义

对于信号交叉口来说,各相位时间主要包括绿灯时间、黄灯时间、全红时间,其中黄灯和全红时间一般为定值,如分别给定3s和1s,基于粒子群的信号配时优化主要针对各相位绿灯时间。

设研究区域有 n 个信号交叉口 $C_i, i=1, 2, \dots, n$,则粒子群中每个粒子(Particle)可以编码为:

$$Particle = \langle C_1, C_2, \dots, C_n \rangle, \text{ 且 } C_i = \langle g_i^1, g_i^2, \dots, g_i^{m_i} \rangle \quad (1)$$

上式中, m_i 为交叉口 i 的相位数, g_i^j 表示第 i 交叉口第 j 相的绿灯时间,每个粒子的长度为 $\sum_{i=1}^n m_i$ 。在优化过程中,各粒子的评价利用对相应的配时方案进行微观交通模拟获取的某性能指标作为适应度值,如:总旅行时间,总延迟时间,排队长度等。这里以微观模拟得到的总延迟时间作为适应度评价价值。

在标准 PSO 优化算法中,由于算法加入的随机因素,使优化得到的各粒子位置和速度具有出现负数或大数值的可能,而相位的绿灯时间一般设定在[1, 120]s 的范围内,因此有必要在优化过程中考虑位置和速度取值的约束范围。利用 PSO 解决带约束的非线性优化问题时,一般认为可以有四类方法处理约束^[11,12]:基于保留适宜解的方法、基于罚函数的方法、基于区分适宜解和非适宜解的方法、以及其它混合方法。其中,保留适宜解的方法是一种最直接的解决约束条件的方法,利用这种方法,每个粒子可以在整个解空间内进行搜索(更新位置和速度),但在保留历史自身认知(个体极值)和社会认知(全局极值)方面,只追踪那些处于适宜解空间内的粒子;同时,为加速优化进程,初始化时,所有粒子都采用在适宜解范围内的随机初始值。

2.2 算法流程

结合交通路网建模、带约束条件的 PSO 算法、以及利用微观交通模拟得到适应度的评价结果,下面给出了本方法的详细算法流程:

(1)获取研究区域的道路、交叉口、车辆、驾驶员等相关参数,利用交通建模软件(如:TransCAD、TSIS/ITRAF 等)进行路网建模。

(2)设定粒子群算法的参数,所述的参数包括粒子个数,粒子长度(即粒子维数,等于各信号交叉口的相位数之和),粒子各维的最大速度 V_{max} ,粒子各维位置的范围 $[X_{min}, X_{max}]$ (即各相位绿时的范围),自适应调整惯性权重的范围 $[W_{min}, W_{max}]$,学习因子 c_1 和 c_2 ,最大迭代次数 $MaxIter$,相邻两次迭代的适应度最小变化量 $CutOff$ 。

(3)利用随机数函数产生每个粒子各维位置和速度的初始值 $x_{id}^{(1)}$ 和 $v_{id}^{(1)}$,要求分别满足条件: $X_{min} < x_{id}^{(1)} < X_{max}, v_{id}^{(1)} < V_{max}$ 。令迭代次数 $t=1$,迭代开始。

(4)对于每个粒子,将其对应的信号配时方案置入交通微观模拟软件(如:VisSIM, TSIS/CorSIM, Synchro/SimTraffic 等),利用步骤(1)产生的路网建模文件,由模拟器进行交通模拟。

从模拟输出的性能指标中得到第 t 次迭代的总延迟时间 $d^{(t)}$,将 $d^{(t)}$ 作为该粒子的适应度评价价值。

比较总延迟时间和该粒子历史上最小总延迟时间,若 $d^{(t)} < pBest$,并且粒子各维位置处于适宜解空间内,即 $X_{min} < x_{id}^{(t)} < X_{max}$,则 $pBest = d^{(t)}$ 。

(5)从所有粒子中选择个体极值 $pBest$ 最小的粒子作为全局极值 $gBest$ 对应的粒子。

(6)根据下面惯性权重范围和最大迭代次数之间的线性递减关系,计算第 t 次迭代的惯性权重 $w^{(t)}$ 值。

$$w^{(t)} = \frac{W_{max} - W_{min}}{MaxIter} \cdot (MaxIter - t) + W_{min} \quad (2)$$

(7)根据下面的公式更新每个粒子各维位置和速度,获取新的位置 $x_{id}^{(t+1)}$ 和速度 $v_{id}^{(t+1)}$:

$$v_{id}^{(t+1)} = w^{(t)} \cdot v_{id}^{(t)} + c_1 \cdot rand() \cdot (pBest_{id} - x_{id}^{(t)}) + c_2 \cdot Rand() \cdot (gBest_{id} - x_{id}^{(t)}) \quad (3)$$

$$x_{id}^{(t+1)} = x_{id}^{(t)} + v_{id}^{(t+1)} \quad (4)$$

(8)如果 $t = MaxIter$,或者,相邻两次迭代的全局极值之差小于适应度最小变化量 $CutOff$,则全局极值 $gBest$ 对应的粒子结果即是最优的区域各信号交叉口配时方案;否则, $t=t+1$,返回步骤(4)。

(9)调用交通可视化动态模拟软件(如:TSIS/TRAFVU, SimTraffic 等),动态演示信号优化配时结果,包括车辆的行驶状态、队列情况、堵塞程度、信号灯变化等。

图1给出了算法流程图,可以看出包括路网建模、PSO 优化、微观模拟和动态演示等几部分。

3 应用实例

以北京市某信号交叉口为实例进行分析,图2为该交叉口的道路示意图。对其进行路网建模涉及相关的道路、交叉口、车辆、驾驶员等不同类型参数,其中,道路参数一般分为静态和动态两类,道路名称、长度、车道数、公交车站、公交专用车道等属于静态数据,不同时段平均自由行驶速度、机动车流量、不同类型车辆比例、行人流量等属于动态数据;交叉口参数主要包括与交叉口相连的各路口渠化情况、各路口转弯流量比例、信号相位数、各相位允许的交通流向等;车辆参数包括各类型车辆所占比例、车身长度、平均载客量、单位油耗量、车辆启动时间及车头时距等;驾驶员参数包括驾驶员前视野范围,反应时间,可以接受的转弯和变道最小时距等。

以 TSIS 软件 ITRAF 模块完成交通建模,CorSIM 模块进行微观模拟,利用上述算法对该交叉口进行配时方案优化,指定的粒子群算法各相关参数数值见表1。

在保持道路参数,交叉口相位个数和各相位允许的交通流向,车辆和驾驶员相关参数不变的情况下,4个入口道路流量分别采用13:00~13:15时段环形线圈检测器多天检测流量的平均流量、最小流量(平均流量-3倍标准差)、最大流量(平均流量+3倍标准差),得到了该时段采用三种流量的配时优化方

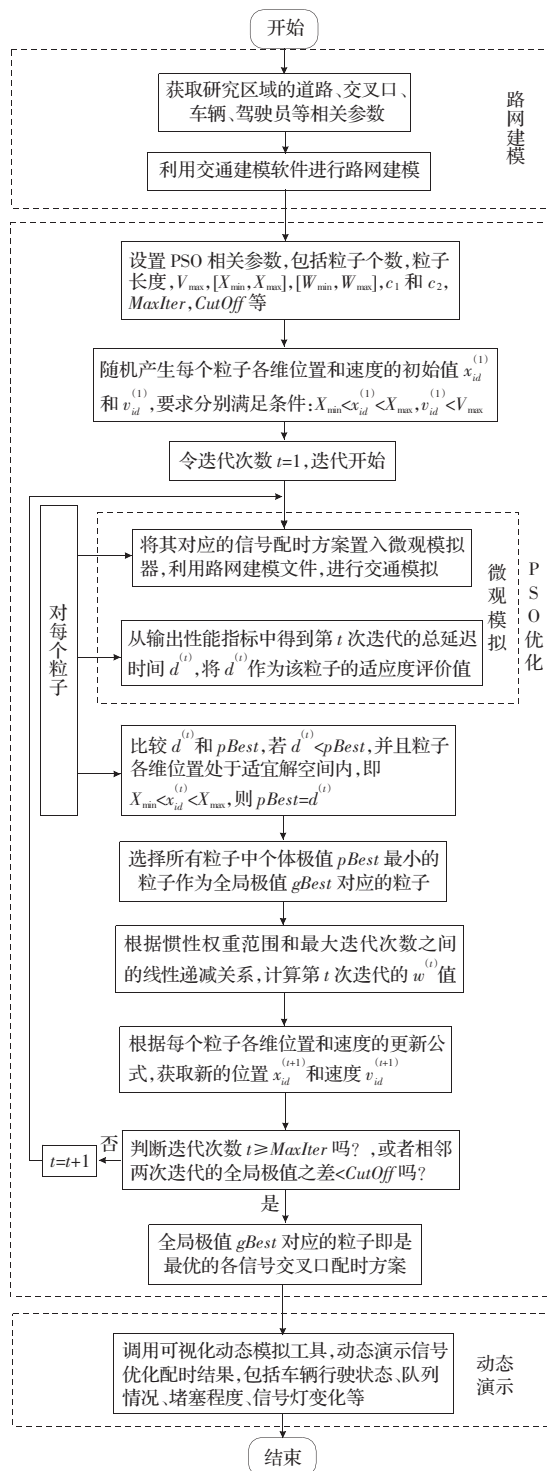


图1 基于 PSO 的信号离线配时智能优化算法流程图

表1 对信号交叉口配时方案优化时粒子群算法相关参数设置

参数	取值
粒子个数	50
粒子长度	4
最大速度	110
位置范围	[0, 120]
惯性权重范围	[0.9, 0.4]
学习因子	$c_1=c_2=2$
最大迭代次数	1 000
最小变化量	0.01

案结果(表 2), 表中的平均流量现有配时方案是通过相关交管部门获取的。

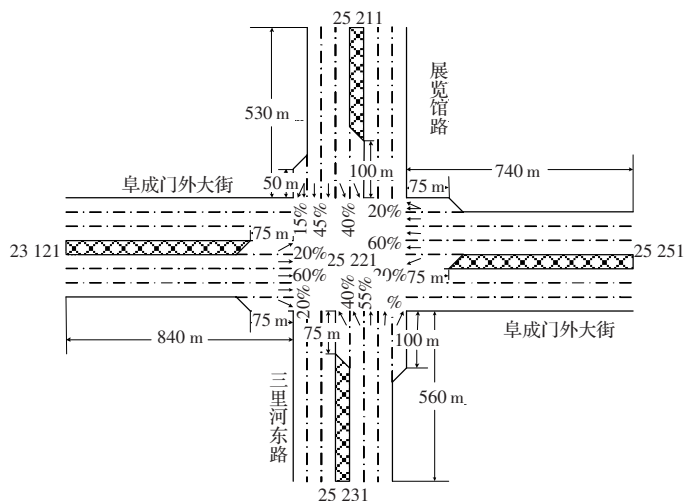


图2 北京市某信号交叉口道路示意图

表2 该信号交叉口 13:00~13:15 时段粒子群优化配时方案结果

	相位 1 绿时	相位 2 绿时	相位 3 绿时	相位 4 绿时	信号周 期长度
平均流量现有方案	35	10	25	10	96
平均流量优化方案	33	19	18	11	97
最小流量优化方案	26	11	18	12	83
最大流量优化方案	38	21	23	12	110

表3 在平均流量下该交叉口信号配时现有方案和优化方案模拟运行的性能指标结果

	总延迟时间/min	总油耗耗费/L	平均 CO 排放/(g/km)
平均流量现有方案	874.8	254.07	94.43
平均流量优化方案	763.8	249.72	92.12

将上述平均流量的现有配时方案和优化配时方案分别输入 CorSIM 进行交通状况模拟运行, 可以获取当四个入口道路为平均流量时两种方案的交叉口各项性能指标。表 3 给出了在 13:00~13:15 时段这两种配时方案所有车辆累计总延迟时间、所有车辆累计总耗油量、所有车辆平均每公里 CO(一氧化碳)排放量等三项指标结果, 图 3 是优化配时方案的各指标结果相对于现有配时方案的减少比例, 其中优化方案的总延迟时间相对于现有方案减少了 12.7%, 总耗油量减少了 1.7%, 每公里 CO 排放量减少了 2.3%。

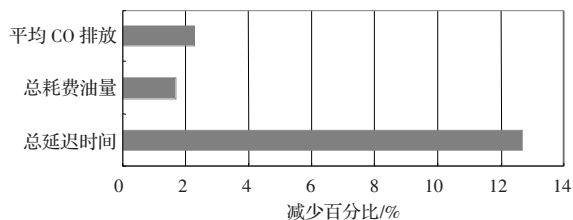


图3 PSO 优化配时方案的性能指标相对于现有配时方案的减少比例

可以看出, 采用 PSO 优化配时方案时, 整个交叉口的延迟时间、油料耗费和尾气排放情况均有不同程度地改善, 其中用于决定信号交叉口服务水平的主要因素——延误时间相对于