

基于遗传算法的动态交通分配研究

段 新^{1,2}, 褚 健^{1,2}, 施一明^{1,2}

(1. 浙江大学工业控制技术国家重点实验室, 杭州 310027; 2. 浙江大学智能系统与控制研究所, 杭州 310027)

摘 要: 主要研究动态系统最优 (DSO) 模型。以总的花费时间最小为目标函数, 对模型的节点集、路段集分别进行研究。通过模拟路段的流入量、流出量和路段上的交通量来建模。用传统的迭代算法解决动态交通分配问题非常复杂, 而对传统迭代算法进行改进或用遗传算法等新的智能算法求解则会很简洁和方便。

关键词: 动态交通分配; 动态系统最优; 遗传算法

文章编号: 1009-6477(2009)03-0141-04

中图分类号: U491

文献标识码: A

Study on Dynamic Traffic Distribution Based on Genetic Algorithm

DUAN Xin^{1,2}, CHU Jian^{1,2}, SHI Yiming^{1,2}

Abstract: This paper mainly studies the dynamic system optimum (DSO) model. Specifically the node set and section set of the model are studied respectively based on the minimum of total spent time as the objective function. The model is built via the simulation of inflow and outflow of the section and traffic on the section. Solving the dynamic traffic distribution problem by means of conventional iterative algorithm is very complicated, on the other hand, it is simple and convenient to settle such problems by improving the conventional iterative algorithm or via new intelligent algorithms such as the genetic algorithm, etc.

Key words: dynamic traffic distribution; DSO; genetic algorithm

随着经济和社会的迅猛发展, 交通问题已成为世界各国城市, 特别是大城市的主要问题之一。随着我国国民经济的高速发展和城市化进程的加快, 物质与人员流动的日益频繁, 私人小汽车数量的急剧增加, 城市交通更加繁忙, “交通拥挤”已成为随处可见的话题^[1]。

面对由于经济和社会发展带来的种种交通问题, 国内外学者一齐将目光投向了智能交通系统 (Intelligent Transport Systems, ITS)^[2]。智能交通系统以完善的基础设施为基础, 将交通工程学理论与高等数学、通信技术、控制技术、系统工程方法及人工智能技术等先进的技术和方法有效结合, 使道路交通系统达到高度智能化程度。ITS 体现了人、车、路的高度统一, 极大地提高了系统的工作效率、交通的安全性、环境质量和能量的利用率, 有利于城市的可持续发展^[3]。

20 世纪 60 年代中期, 美、德等国的科学家研究了模仿生物进化过程求解复杂优化问题的全局寻优方法, 统称为模拟进化优化算法, 也称为遗传算法^[4], 且已在许多领域得到应用。本文在特定动态

交通分配^[5]最优控制模型的基础上, 采用遗传思想设计模拟优化算法, 大大加快了模型的运算速度, 提高了模型的实用价值。

1 国内外发展状况

随着科技的发展, 发达国家运用计算机、通讯及控制技术 (称为 3C 技术) 来改善交通, 到上世纪 80 年代, 这些技术已在许多城市得到应用, 对改善城市交通具有良好作用^[6], 如英国的 SCOOT 系统、澳大利亚的 SCAT 系统、美国的 UTCS 系统、日本的 CACS 系统等。在交通信号控制系统的基础上, 国外学者又进一步研究了交通路线引导系统 (称为主动交通管理系统)。交通工程领域的研究方向转向运用高科技手段和智能交通来改善交通困境, 这已是当前国际性的发展趋势。

我国的交通政策、结构、环境、运行特性等都有自己的特点, 特别是现有交通设施同发达国家相比有较大差距。所以必须根据我国的实际情况谨慎考虑道路交通管理技术研究的目标, 除尽可能建设更多的道路交通设施外, 还需应用高科技成果来提高

收稿日期: 2008-12-15

作者简介: 段 新 (1985-), 男, 河北省承德市人, 在读研究生。

现有及新建道路交通设施的运行效率^[7],这显得比发达国家更为迫切。纵观各国开展这一领域研究的发展过程,大都是从动态交通流研究开始^[8],而动态交通流在国内的研究尚属初步探索,应在现有文献的基础上做进一步探索。

2 模型建立及传统解法

2.1 模型建立

本文用有向图 $G(N, A)$ 表示一个交通网络, N 是网络节点集, A 为有向弧集,即路段集。节点集 N 包括3个子集:起点集、终点集和中间节点集,这3个子集是相交的,因为有些节点可能同时是起点、终点或中间点。本文用 k 表示起点或中间点, n 表示终点。 $A(k)$ 表示有向路段起点是 k 的路段集合, $B(k)$ 则表示有向路段终点是 k 的路段集合。

在连续时间的动态交通分配模型中^[9],用 $S_{kn}(t)$ 表示 t 时刻节点 k 产生的流向终点 n 的出行率,本文假设其是已知、确定的。 $u_a^n(t)$ 表示路段 a 上 t 时刻流向终点 n 的路段流入率,而 $v_a^n(t)$ 是流出率。为简单起见,考虑一个固定时段 $[0, T]$ 的最优控制问题。以 $x_a(t)$ 表示 t 时刻路段 a 上存在的车辆数,即交通负荷,而 $x_a^n(t)$ 则表示 t 时刻路段 a 上流向终点 n 的交通负荷。设上述路段走行时间函数 $C_a(t)$, 设 $U_a^n(t)$ 为 t 时刻进入路段 a , 流向终点 n 的累积车辆数,而 $V_a^n(t)$ 则表示 t 时刻流出路段 a , 流向终点 n 的累积车辆数。

综上所述,本文给出的动态系统最优分配模型为:

$$J = \min_{a \in A} \int_0^T x_a(t) dt \quad (1)$$

约束条件为:

$$\frac{dx_a^n(t)}{dt} = u_a^n(t) - v_a^n(t), \forall a \in A, \forall n \in N, \forall t \in [0, T] \quad (2)$$

$$u_a^n(t) = S_{kn}(t) + \sum_{B(k)} v_a^n(t), \forall n \in N, \forall t \in [0, T], \forall k \in N, k \neq n \quad (3)$$

$$u_a^n(t) = 0, \forall n \in N, \forall t \in [0, T] \quad (4)$$

$$x_a^n(0) = 0, \forall a \in A, \forall n \in N \quad (5)$$

$$u_a^n(t) = 0, \forall a \in A, \forall n \in N, \forall t \in [0, T] \quad (6)$$

定义约束:

$$v_a^n(t) = \frac{x_a^n(t)}{C_a(t)}, \forall a \in A, \forall n \in N, \forall t \in [0, T] \quad (7)$$

2.2 模型解法

虽然存在许多求解连续性最优控制问题的算法,例如庞特里亚金最小值原理,但应用它们来求解此模型很困难。由于调查获得的 OD 数据均是离散形式的,因此首先探讨模型离散形式的解法^[10]。此模型的离散形式为:

$$\min J = \sum_{i=1}^T \sum_{a \in A} x_a^n(i) \quad (8)$$

约束条件对于 $i = 1, 2, \dots, T$

$$x_a^n(i+1) = x_a^n(i) + u_a^n(i) - v_a^n(i) \quad (9)$$

$$u_a^n(i) = S_{kn}(i) + \sum_{a \in B(k)} v_a^n(i) \quad (10)$$

$$u_a^n(i) = 0 \quad (11)$$

$$x_a^n(0) = 0 \quad (12)$$

$$u_a^n(i) = 0 \quad (13)$$

定义约束:

$$v_a^n(i) = \frac{x_a^n(i) - x_a^n(i-1)}{C_a(x_a(i))} \quad (14)$$

式中, t 为时间间隔。

这是一个数学规划问题,其中 $u_a^n(i)$, $v_a^n(i)$ 分别是 t 时段内的路段 a 的流入量、流出量。如果路段走行时间事先确定,则规划模型可以转化为 LP 模型。对于 LP 模型,可用下述迭代算法求解。

步骤0:路段走行时间初始化,一般可用自由流走行时间,迭代次数 l ;

步骤1:调用 LP 求解器求解基于目前路段走行时间的 LP 模型;

步骤2:更新路段走行时间;

步骤3:判断是否收敛,满足精度要求,则停止;否则, $l = l + 1$, 转向步骤1。

3 运用遗传算法解决动态分配的模拟算法

3.1 遗传算法步骤

1) 产生初始种群^[11]。由 $0 \sim 1$ 之间的随机数生成 N_1 组基本可行解,记为 B_1 ,计算出对应的运行指标值,记为集合 J_1 。

2) 复制。定义适合度为:

$$f_i = 1 - J_i / \sum_{i=1}^{N_1} J_i \quad (15)$$

$0 \leq f_i \leq 1$, 以 f_i 为概率,从 J_i 中复制出 N_1 个可

行解,记为 B_2 ,与 B_1 相比,复制后的可行解集中具有较小目标值的可行解较多,与 B_2 对应的运行指标值集合记为 J_2 。

3) 交叉。对 B_2 进行随机排序,相邻的 2 组可行解按随机选定的位置交换部分元素,形成新的可行解集 B_3 。并采用与 (1) 中相同的公式计算运行指标值,记为集合 J_3 。在 B_2 与 B_3 中取 N_1 组可行解构成解集 B_4 ,使其具有较小的运行指标值,记为 J_4 。

4) 变异。为了加快进化速度,本文不仅提高了交叉概率 P ,而且设计了快速变异方法。

对 B_4 中的任一组可行解:(1) 随机选择其中一个元素,按预先设定的步长 pd 分别进行增加和减少运算,形成 2 个新的可行解,按 1) 中相同的公式计算其运行指标值;(2) 在 2 个新的运行指标值和变异前的运行指标值中取较小者,用其对应的可行解更新本次变异前的可行解,并将其作为下步变异的对象;(3) 对 (2) 中得到的可行解,再随机选择其它位置的元素进行相同的变异与更新过程,直到该组可行解中的所有元素均变异一次为止。当变异过程结束时,得到 N_1 组不劣于 B_4 的可行解集合 B_5 。其运行指标值集合记为 J_5 。

5) 灾变。为了加快进化速度,本文引入灾变的操作。经过若干次 2) ~ 5) 的重复操作后,如果运行指标值下降缓慢,可显著加大变步步长,使变异后的元素发生较大变化,尽快冲出局部最小点。然后,再恢复到原步长进行模拟优化迭代。除步长显著加大外,灾变过程与变异过程相同。

经过若干次优化迭代,若运行指标已达要求的精度,输出各路段的交通密度和运行时间等指标,用于结果分析,详细的优化流程见图 1。

3.2 单 OD 网络^[12]

模型的网络结构见图 2。

此模型的阻抗函数为: $t_1 = 1 + 20(\frac{x_1}{10})^4$,

$$t_2 = 1 + 5.125(\frac{x_1}{20})^4,$$

$$t_3 = 1 + \frac{12.5}{3}(\frac{x_2}{30})^4$$

此模型有一个 OD 对,流量为 10。它的数学规划模型为:

$$\min f = x_1 + 20(\frac{x_1}{10})^5 + x_2 + 22.5(\frac{x_2}{20})^5 + x_3 + 25(\frac{x_3}{30})^5 \quad (16)$$

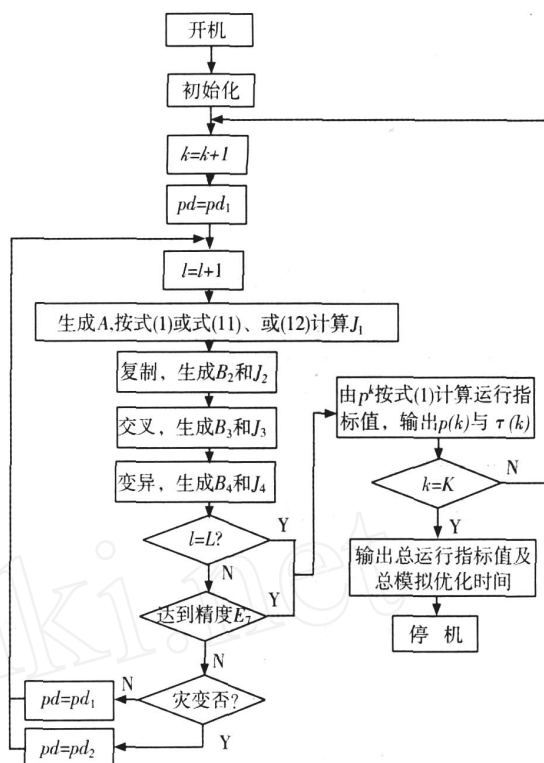


图 1 优化流程

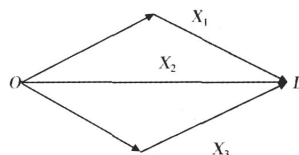


图 2 单 OD 网络

$$s. t. x_1 + x_2 + x_3 = 10 \quad (17)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0 \quad (18)$$

模型的 MATLAB 仿真结果见表 1。

表 1 MATLAB 仿真结果

路段	x_1	x_2	x_3
流量	6.054 76	1.942 4	2.002 54

目标函数最优值为 11.627 4。

3.3 多 OD 网络^[12]

模型的网络结构见图 3。

此模型有 3 个 OD 对: 1~5、1~3、4~3。OD 流量依次为: 18、12、8。路段阻抗函数采用

$$t(x_a) = t_a [1 + 2.6(\frac{x_a}{C_a})^5]$$

路段阻抗函数系数见表 2。

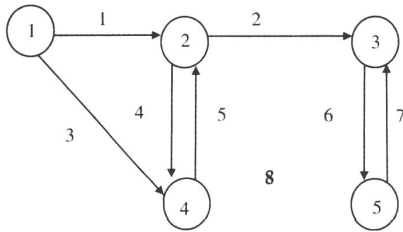


图 3 多 OD 网络

表 2 路段阻抗函数系数

路段 a	1	2	3	4	5	6	7	8
t_a^0	5	8	8	3	3	3	3	8
C_a^0	15	15	15	10	10	10	10	15

此模型的数学规划模型为：

$$\min f = \sum_{a=1}^8 t_a \left[x_a + \frac{2.6 C_a}{5 + 1} \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^{5+1} \right] \quad (19)$$

$$s. t. x_1 + x_3 = 30 \quad (20)$$

$$x_1 - x_2 - x_4 + x_5 = 0 \quad (21)$$

$$x_2 - x_6 + x_7 = 20 \quad (22)$$

$$x_3 + x_4 - x_5 - x_8 = 0 \quad (23)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8 \geq 0 \quad (24)$$

其 MATLAB 仿真结果见表 3。

表 3 MATLAB 仿真结果

路段	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
流量	19.999	20	10	0	0	0	0	1.999

注： $x_1 \sim x_8$ 分别代表相应路段的交通量。

目标函数最优值为 835.326 6。

3.4 对用遗传法解决动态分配的模拟算法的讨论

常规的动态交通分配模型普遍存在优化计算时间过长的问题，本文将该模型体系与快速全局优化算法——遗传算法相结合，大大降低了计算时间和计算量。下一步将尝试把所设计的模拟优化算法应用到规模更大的交通网中。

4 结语

本文建立了一个动态交通系统最优模型。用传

统的 Frank - Wolfe 或者其它传统迭代算法,工作量会非常大,特别是当道路交通网络比较复杂时,求解会很麻烦。遗传算法是解决这些复杂问题的有效方法,既可以对小型网络进行求解,又可以对大型网络进行求解,运算起来比用常规的数学规划方法要快很多。

参 考 文 献

- [1] 郑长江. 城市交通拥挤收费的双面性分析[J]. 陕西理工学院学报, 2008(4): 90 - 94.
- [2] 陆化普, 李瑞敏, 朱 茵. 智能交通系统概论[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.
- [3] 王笑京. 智能交通系统研发历程与动态述评[J]. 城市交通, 2008(1): 6 - 12.
- [4] 李爱梅, 范炳全, 严 凌. 一种改进的动态交通分配优化遗传算法[C]//中国系统工程学会第 12 届年会论文集. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [5] 郑长江. 动态交通分配方法及其初步应用研究[D]. 南京: 东南大学, 2000.
- [6] M. Papageorgiou, A. Messmer. Automatic control methods applied to freeway network[J]. Automatica, 1994 (30): 691 - 702.
- [7] 张延华. 智能交通 科技为本[J]. 中国智能交通, 2008(10): 48.
- [8] Weir-Long Jin. A dynamical system model of the traffic assignment problem[J]. Transportation Research, 2007 (41): 32 - 48.
- [9] Michael Florian, Michael Mahut, Nicolas Tremblay. A Hybrid Optimization/Mesoscopic Simulation Dynamic Traffic Assignment Model [C]//2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings. Oakland: [s. n.], 2001.
- [10] William H K Lam Li Z C, Huang H J, et al. Modeling time-dependent travel choice problems in road networks multiple users classes and multiple parking facilities[J]. Transportation Research B, 2006(40): 368 - 395.
- [11] 杨兆升, 姜桂艳. 遗传思想在最优控制动态交通分配中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998(4): 117 - 121.
- [12] 安 梅, 高自友. 求解交通均衡配流问题的新算法[J]. 系统科学与数学, 2000(7): 367 - 375.