

基于仿真和蚁群算法的公交动态交通规划研究

夏立国

(淮阴工学院交通工程系, 江苏 淮安 223300)

摘要: 针对越来越复杂的道路交通系统, 研究其中的动态交通规划问题, 以达到对交通进行合理规划的目的。采用计算机仿真技术构建动态交通规划模型, 应用蚁群算法解决基于仿真的动态交通规划优化问题。在所建模型的基础上, 通过蚁群算法进行求解, 实验结果令人满意。仿真方法可以将普通动态交通规划模型无法反映的随机因素考虑在内, 使得动态交通规划的结果更加具有现实中的指导意义。将优化技术嵌入到仿真过程中, 在仿真环境下使输出响应不断地得到改进, 从而实现道路交通系统性能的优化。数据实例表明, 该方法是正确的、可行的、有效的, 可以为实际的道路交通规划提供有力决策支持。

关键词: 动态交通规划; 仿真; 蚁群算法

中图分类号: U491.4; TP391 文献标识码: A

Bus Dynamic Traffic Planning Based on Simulation and Ant Colony Algorithm

XIA Li - Guo

(Department of Transportation Engineering Huaiyin Institute of Technology Huai'an Jiangsu 223300 China)

ABSTRACT Aimed at the more complex road traffic system, the paper investigates its dynamic traffic planning problem for the purpose of rational planning of the traffic. It constructs a dynamic traffic planning model based on computer simulation technology, and then applies the ant colony algorithm to solve the optimization problem of the dynamic traffic planning model. Based on the model of road traffic system, through the solving by ant colony algorithm, the final experiment result is satisfactory. Dynamic traffic planning based on simulation can include many random factors, which are out of the reach of common dynamic traffic planning models. It is more suitable for the fact, so it is more useful for the practical requirements. It integrates the optimization technology into simulation process, improves the output continually in the simulation environment and achieves the optimization of system performance finally. The numerical example suggests that this method is correct, feasible and effective, and it can provide resultful decision support to the practical road traffic planning.

KEYWORDS Dynamic traffic planning; Simulation; Ant colony algorithm

1 引言

道路交通系统是一个巨大的复杂的人工系统。在战争时期, 交通规划问题对战争的胜负起决定性作用; 在和平发展时期, 交通规划影响到生产、生活的方方面面^[1]。近年来, 随着经济的高速发展, 可扩充道路资源的减少以及整体效率的提高, 如何对交通进行合理地规划, 成为人们研究和关注的热点^[2]。

人们总是力求寻找解决各种交通问题最优解决方案。然而, 随着社会的发展, 影响道路交通系统的相关因素越来越

多; 在现实道路交通环境中, 某些领域需要大量资金的投入, 某些领域还隐含着很多不确定性因素; 这就使得寻求最优方案的期望变得很渺茫^[3]。此时, 应用计算机技术进行交通仿真就成为一种很有效的技术手段。交通仿真是计算机技术在交通工程领域的一个重要应用, 它不仅可以复现交通流时空变化的技术、为交通道路设计规划提供技术依据, 而且还可以对各种参数进行比较和评价, 以及环境影响的评价等。因此, 交通仿真就成了交通工程研究人员测试和优化各种道路交通规划、设计方案、描述复杂道路交通现象的一种直观、方便、灵活、有效的交通分析工具^[4]。

在使用计算机仿真技术研究交通规划问题的过程中, 仿真模型仅是对问题的直观描述, 仿真运行只能提供一定条件

基金项目: 国家自然科学基金项目 (69873619)

收稿日期: 2006 - 04 - 03

下的可行方案,它并不能给出问题的最优解^[3]。所以需要将优化技术嵌入到仿真过程中,以便在仿真环境下使输出响应不断地得到改进,从而实现系统性能的优化。

现有文献的研究,要么是单纯研究动态交通规划的仿真问题,要么是基于普通的交通规划模型来研究动态交通规划的优化问题。这些文献都未能将交通仿真与优化有效地结合起来,因此很难有效地解决动态交通规划问题。本文采用计算机仿真技术构建动态交通规划仿真模型,然后应用蚁群算法解决基于仿真的动态道路交通规划优化问题,即基于模型仿真给出的输入输出关系通过蚁群算法得到最佳的输入量(图1)。本研究的目标是在仿真试验中获得最多信息的同时,所耗费资源最少,使管理者可以更加简易、迅速地进行决策。本文将交通仿真与优化有效地结合起来,因此可以有效地解决动态交通规划问题。

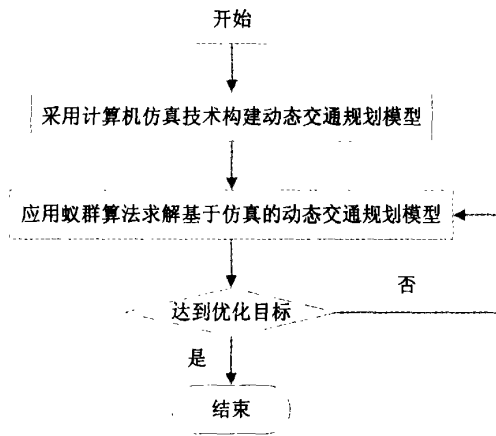


图1 本文研究的整体思路

2 基于仿真的动态交通规划模型

交通路网仿真系统的对象是路网中的车辆,但不是以某一辆车为研究对象,而是以整体为研究对象。也就是说,它关心的不是每辆车任意时刻在路网中的位置、等待时间等个体特征,而是车辆在路网中的分布状况,如某路段上车辆的密度、路口车队的长度等。因此,可以将侧重于系统属性而不是某个个体属性的队列模型引入,在此将交通路网系统看作多服务台多队列模型。交通规划系统作为仿真系统,包含的事件如下:各条道路起始路口产生车辆、车辆到达路口(离开路段)、车辆离开路口(到达路段)和路口信号灯状态等。

2.1 路口排队系统建模

路口排队系统是与普通的多服务台多队列排队系统相类似,其最大区别在于系统的服务事件是周期间断的,因此在本系统中采用事件扫描与周期扫描相结合的时钟推进机制。在本系统中,顾客到达模式取决于相关联的路段上的车辆到达路口的时刻,它未必严格服从某种分布,但也表现出

一定的随机性。同时,车辆作为顾客接受的服务就是通过路口,因此服务时间就是车辆通过路口的时间,它取决于车辆运行的速度和路口的长度。

2.2 起始路口的车辆产生建模

起始路口车辆产生的时间主要取决于该路口上次产生车辆的时间以及车辆的产生模式,即车辆产生时间间隔分布模式。假设某起始路口上次产生车辆的时间为 t_{i-1} , 车辆的产生模式服从均值为 ave_gen_t 的 POISSON 分布,则下次产生车辆的时刻 $t_i = t_{i-1} + t$ 其中 t 服从均值为 ave_gen_t 的 POISSON 分布。

2.3 车辆路段上行驶模式建模

车辆在路段上的运行主要取决于自身的速度和路段上车辆的分布,因此在车辆进入路段时,就可以计算出车辆离开路段的时间。假设车辆 Tra_i 速度为 v_i 到达路段 E_j 的时间为 t_j , E_j 长度为 $Length_j$, 路段事故发生率为 $prob_{ej}$, 车辆事故发生率为 $prob_{it}$, 则按照下面实际事故发生率计算公式:

$$prob_i = \frac{\sqrt{prob_{ej}^2 + prob_{it}^2}}{2} \quad (1)$$

产生随机数 $prob$ 用符号函数来决定是否发生交通事故。即:

$$f = \begin{cases} 1 & prob > p \\ 0 & other \end{cases} \quad (2)$$

其中 P 为决定事故发生的阈值。离开路段的时间为:

$$t_i = \frac{length_j}{v_i} + delayTime * f \quad (3)$$

其中 $delayTime$ 为事故发生的延误时间。

2.4 路口信号灯状态建模

定义 $x(t)$ 为 t 时刻路口信号灯的状态,将黄灯时间包含在红灯时间中,这样信号灯只有两种状态:红灯和绿灯,因此可用符号函数来描述路灯状态。若 $x(t) = 1$ 表示路灯为绿灯,路口车辆可以通行;当 $x(t) = 0$ 表示路灯为红灯或黄灯时间,这是到达路口的车辆或者已经在排队等待通过的不能通过,排队等待下一次信号灯变为绿灯。 $x(t)$ 如下:

$$x(t) = \begin{cases} 1 & k \cdot T \leq t \leq k \cdot T + T_r \\ 0 & k \cdot T + T_r \leq t \leq (k+1) \cdot T \end{cases} \quad (4)$$

$k = 0, 1, 2, \dots$

其中 T 为路灯变化周期, T_r 为红灯一个周期中的红灯时间,对于一般路口来说, T 和 T_r 均为常量。

2.5 模型基本假设

由于道路交通系统是一个复杂的大系统,而城市公交系统又是这一复杂大系统中涵盖因素最广泛、最具典型特色的子系统,本文仅以城市公交系统作为研究对象。城市公交作为城市中不可缺少的组成部分,既体现城市的功能,又是经济活动的动脉。公交系统作为公共交通的主要力量,其发展与进步将大大的改善和提高公共交通的运营。公交运营系统的提高可通过两个方面:一是大力发展公交优先;另一个是优化公交调度系统。合理的调度可以使人们的出行更加快捷和便利,同时也可以提高公交公司的经济和社会效益。为了

更好地开展研究,结合公交运营的一般规律,笔者给出以下模型假设:① 乘客到达模式服从泊松分布;② 乘客下车模式服从平均分布;③ 乘客上车模式服从排队论;④ 公交车在线路上作匀速运动;⑤ 公交车未达到最大满载率时,乘客都愿意上车。

2.6 优化目标

由于客流在不同的时间段发生变化,合理的运营组织应根据不同时段的客流确定相应的配车数。在客流高峰时,配车数增加;在客流低峰时,配车数减少。要能够保障在客流高峰时,乘客时间总延误在合理的水平;在客流低峰时,运营公司的成本要尽可能的低。建立公交调度的多目标函数如下:

- 目标 1: 营运收益 = 营运收入 - 营运成本。
其中: 营运收入 = 总乘载人数 × 票价;
营运成本 = 公交车运行成本耗费 + 油费支出 + 员工工资 + 其他费用。
- 目标 2: 社会效益 = 准点率 + 总留乘时间 + 服务水平 + 其他附加服务。

公交营运收入的增加要求较高的满载率,较少的配车,而服务水平与其成反比,因此要求合理的配车数与发车时间间隔。

3 基于蚁群算法的动态交通规划优化

用蚁群算法来求解动态交通规划问题,实质上是在问题空间进行某种搜索。一个好的编码能缩小问题解空间,使算法在一个较小的空间里进行搜索,从而提高算法的效率。另一方面,好的搜索策略,能控制算法有效地朝着最优解方向搜索。搜索策略主要包括两部分:① 控制策略,控制策略实质上是一个概率形式的函数,它依据当前搜索状况,以某种概率机制产生搜索方向;② 评估函数,本文算法每进行一次搜索,都要对搜索结果进行评价,以此来影响下次循环的搜索方向。

3.1 解的表示问题

在应用蚁群算法求解动态交通规划问题时,一个重要的步骤就是把问题的解用恰当的形式表示,以便对该问题进行求解。在城市公交系统中,动态交通规划问题的决策变量主要有:① 公交车发车间隔时间;② 公交车中途停站数目;③ 公交车每日运行时间;④ 公交车的载客容量;⑤ 公交车的票价等。为了便于求解,笔者将以上变量进行了离散化并给出了每个变量的范围(如表 1)。

表 1 决策变量的离散化及变化范围

变量名称	取值范围	单位	离散化结果
公交车发车间隔时间	[2 - 20]	分钟	2 3 4 ..., 18 19 20
公交车中途停站数目	[15 - 80]	站	15 20 25 ..., 70 75 80
公交车每日运行时间	[6 - 12]	小时	6 6.5 7 ..., 11 11.5 12
公交车的载客容量	[20 - 50]	人	20 25 30 ..., 40 45 50
公交车的票价	[0.5 - 5]	元	0.5 1 1.5 2 2.5 3 0

本文采用一维五元组 $s = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$ 来表示一个具体的解,其中 c_1 表示公交车发车间隔时间; c_2 表示公交车中途停站数目; c_3 表示公交车每日运行时间; c_4 表示公交车的载客容量; c_5 表示公交车的票价。

3.2 搜索策略

蚁群算法的搜索策略,实际上是以概率的形式给出的。算法在选择搜索方向时,较大的可能朝着已发现的较好解域,同时,对其他方向也有可能选取。由此,算法不易陷入局部最优。本文采用的搜索策略简单描述如下:

STEP1: 采用下列公式计算待选决策变量中每个取值的选择概率;

$$P_{ki} = \frac{Num_{ki}}{\sum_{j=1}^{n_k} Num_{kj}} \tag{5}$$

其中, P_{ki} 表示第 k 个决策变量中每个取值的选择概率; n_k 表示第 k 个决策变量取值的个数; Num_{ki} 表示以前的最优解中第 k 个决策变量的第 i 个取值的选取次数。在开始优化时, $Num_{ki} = 1$ 。

STEP2: 依据 STEP1 中计算出的概率,采用轮盘赌法,依次构造每只蚂蚁当前解中的每个变量;

STEP3: 在构造完每只蚂蚁当前解以后,对这些解采用仿真方法进行评价;

STEP4: 根据当代搜索解群的评价结果,选取评估值最高的 10% 的优秀解,来更新每个决策变量的每个取值的选取次数。

STEP5: 如果当前最优解满足终止条件,则结束优化过程;否则,转至 STEP1,继续进行优化。

3.3 搜索结果评价

在进行多目标决策时,要求若干个目标同时都实现最优往往是很难的。由于直接解决多目标决策较困难,因此我们可以通过线性加权将目标化多为少,最终转化为一单目标规划问题。在本文中,对于每个搜索结果,首先应用前面给出的动态交通规划仿真模型仿真出该方案的营运收益和社会效益,然后根据线形加权函数将多目标转换为单目标。

总目标 = $\alpha_1 \times$ 营运收益 + $\alpha_2 \times$ 社会效益 $\tag{6}$
 α_1, α_2 为加权系数,依据经验而定,也可通过专家系统决策确定。

3.4 数据实例

本文数据仅是为了模型分析服务,如营运成本等需根据不同的城市而定。因此本文中所取的值不一定与事实相符。本文营运成本当量费用合在一起取 80 元 / 循环,此意味着同一时间段内发车愈密集则营运成本愈高。社会效益中的服务水平和其他便利当量费用取 15 元 / 循环。本文油费取 4 元 / 油耗 30 l / 100 km。为了仿真实现,社会效益折合为等量经济价值,如总留乘时间,以居民每分钟损失费用为因子转化为居民因候车延迟所损失的总费用。另外由于前面假设了车辆作匀速直线运动,因此所有车辆都准点。在多目标规划转化为单目标规划的过程中, (下转第 309 页)

参考文献:

- [1] 李金国, 丁红兵. 备件需求量计算模型分析[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2000 (3): 11 - 14
- [2] 李建平, 石全, 甘茂治. 装备战场抢修理论与应用[M]. 兵器工业出版社, 2000.
- [3] 王维平, 朱一凡, 华雪倩, 张汉江. 离散事件系统建模与仿真[M]. 国防科技大学出版社, 1997
- [4] 陈学楚. 现代维修理论[M]. 国防工业出版社, 2003
- [5] 余汉评, 邱志明, 赵全仁, 殷小林. 装备实用技术经济分析[M]. 兵器工业出版社, 2000
- [6] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 科学出版社, 2000
- [7] 汪荣鑫. 随机过程[M]. 西安交通大学出版社, 1987
- [8] 邓建中, 葛仁杰, 程正兴. 计算方法[M]. 西安西安交通大学出版社, 1985
- [9] W K Haneveld Klein, R H Teunter. Optimal provisioning strategies for slow moving spare parts with small lead times[J].

Journal of the Operational Research Society, 1997, 48 (2): 184

- [10] Marcello Braglia, Andrea Grassi, Roberto Monanari. Multi - attribute classification method for spare parts inventory management[J]. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2004, 10 (1): 55 - 11.

[作者简介]



李 瑾 (1976 9 -), 女 (汉族), 四川南充人, 硕士研究生, 研究方向为装备维修信息工程。

宋建社 (1954 10 -), 男 (汉族), 陕西富平人, 博士, 教授, 研究方向为信息分析与处理, 最优化理论。

王正元 (1971 12 -), 男 (汉族), 湖南岳阳人, 博士, 讲师, 研究方向为系统工程理论与方法, 组合优化方法。

朱 昱 (1969 9 -), 女 (汉族), 湖南永州人, 博士研究生, 研究方向为装备维修信息工程。

(上接第 266 页)

基于城市公交的公益性, 本文取 $\alpha_1 = 0.4$, $\alpha_2 = 0.6$ 即

$$\text{总目标} = 0.4 \times \text{营运收益} + 0.6 \times \text{社会效益} \quad (7)$$

经过蚁群算法的优化, 本数据实例最终的优化结果为: $s = \{5, 25, 10, 30, 1\}$ 。即公交车发车间隔时间为 5 min, 公交车中途停站数目为 25 站, 公交车每日运行时间为 10 h, 公交车的载客容量为 30 人, 公交车的票价为 1 元。这个结果和我们实际调查的满意结果基本上一致。因此, 本文的方法、模型是正确的、可行的和有效的。

4 结束语

本文采用蚁群算法和计算机仿真方法解决城市公交系统中的动态交通规划问题, 可以得到了该问题的比较满意的优化解。本文的模型和方法也有一些不足之处, 没有考虑其它可能因素 (如天气因素、突发事件等) 给调度问题带来影响。特别要说明的是此模型解决的是一个典型工作日的动态交通规划问题, 节假日需另行采集数据, 重新用此算法进行动态交通规划。此模型建立在一般规律之上, 模型的可操作性和实用性都很强, 可以广泛推广。

参考文献:

- [1] 邹智军, 杨东援. 动态交通状态微观仿真技术初探[J]. 同济大学学报, 1999 (6): 305 - 308.
- [2] 石小法, 王伟. 动态交通网络的用户均衡配流模型[J]. 东南大学学报, 2000, 30 (1): 111 - 116.
- [3] 胡赤兵等. 邮包自动化仓库的系统设计与实现方案[J]. 甘肃工业大学学报, 1999 (2): 127 - 130.
- [4] 孟建军, 王晓煜, 孔庆德. 交通自动化物流系统仿真软件研究与实现[J]. 计算机仿真, 2003, 20 (8): 106 - 109.
- [5] 魏明, 杨方廷, 曹正清. 交通仿真的发展及研究现状[J]. 系统仿真学报, 2003, 15 (8): 1179 - 1187.



[作者简介]

夏立国 (1966 -), 男 (汉族), 湖南邵阳人, 在国防科大五院读博士研究生, 讲师, 研究方向为交通工程。