第 34 卷　第 4 期　　计 算 机 工 程　　2008 年 2 月
Vol.34　No.4　　Computer Engineering　　February 2008
·人工智能及识别技术·　文章编号：1000—3428(2008)04—0201—02　文献标识码：A　中图分类号：TP18

# 基于遗传算法的通道上停车换乘量确定方法

陈　群[1]，姚加林[1]，晏克非[2]
(1. 中南大学交通运输工程学院，长沙 410075；2. 同济大学交通运输工程学院，上海 200092)

**摘　要：**根据外来客流进入城市中心的出行过程与机理，最小化所有客流出行(自城市外围到达市中心区域)的出行费用(私人车辆行驶时间与公交行驶时间总行程时间、换乘时间、停车费用等)，建立、确定了各停车换乘点(P+R)处合理换乘量的双层规划模型，为各 P+R 的停车换乘诱导提供了依据，并给出模型的遗传算法求解方法。仿真示例证明了该方法的有效性。

**关键词：**停车换乘；双层模型；换乘量；遗传算法

# Method for Determining Park & Ride Sites' Transfer Volume on Passage Based on Genetic Algorithm

**CHEN Qun[1], YAO Jia-lin[1], YAN Ke-fei[2]**
(1. School of Transport Engineering, Central South University, Changsha 410075;
2. School of Transport Engineering, Tongji Uniersity, Shanghai 200092)

**【Abstract】**After analyzing trip process from out of city to downtown, and for minimizing the total travel expenses(car travel time and public transportation travel time, transfer time, parking fee, etc.) of all traffic trips(from out of city to downtown city), the bi-level programming model is established to determine park & ride sites' transfer volume, which offers foundation for parking guidance on the passage. The solution method using genetic algorithm of the model is presented, and a simulation case shows the method is effective.

**【Key words】**Park&Ride(P+R); bi-level programming model; transfer volume; genetic algorithm

为出行者提供停车换乘信息，从而有效地进行停车换乘诱导，可以提高停车换乘公交的比例、增加公交出行量、减少私人交通出行总量、减少中心区停车压力和交通压力。停车换乘诱导对于大型会展及运动会的中心城区来说，意义尤为显著，如：北京 2008 年奥运会、上海 2010 年世博会。届时，外围客流将会大批涌进中心城区，必须采取自城市外围开始沿着客流主要交通通道方向不断设置停车换乘(P+R)设施以截留私人车辆，并进行合理的停车换乘诱导，引导私人车辆合理停车、换乘[1-3]。

## 1　出行过程分析及双层规划模型建立

小汽车客流从外围开始，沿着主要车流通道方向流动，假设在主要通道方向上设置 P+R，在各主要 P+R 处考虑是否停车换乘大容量公交(主要是轨道交通)进入中心区，各 P+R 处截留部分小汽车客流，少部分小汽车客流直接进入市中心，如图 1 所示。要优化的总的目标是最小化自 $O$ 点到 $D$ 点(如图 1)总的出行费用，并考虑各 P+R 点泊位容量约束及中心区泊位容量约束；要优化的参数(变量)即是各主要 P+R 点应换乘的车流量。

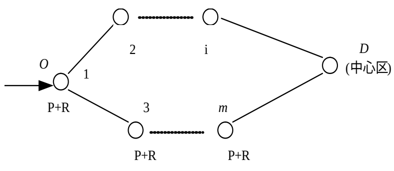


**图 1　出行过程分析**

假定已知一天中各时段内(划分为数时段，每时段包括数小时，每时段内交通情况较为接近)背景交通量已知(调查分析得到其平均值)。通常取高峰时段情形进行研究，即将一天内覆盖时段范围最广的平均高峰流量作为研究对象，考虑背景交通量及通道流量；低峰时段一般不作考虑，也无需停车诱导。在图 1 中，流量 $Q$ /(辆/h)自$O$点(第 1 个P+R点)开始，经过第 2,3,⋯, $m$ 个P+R转换点的停车转换，假设在第1,2,3,⋯,$m$个P+R转换点分别停车转换的车流量为$y_1,y_2,\cdots,y_m$，进入中心区的剩余车流则为$Q-(y_1+y_2+\cdots+y_m)$。整个网络中的私人车辆 $od$ 如下：

$od(1)$ ：$O\rightarrow D$，车流量为 $Q-(y_1+y_2+\cdots+y_m)$；

$od(2)$ ：$1\rightarrow 2$，车流量为$y_2$；

$od(3)$ ：$1\rightarrow 3$，车流量为$y_3$；

⋯

$od(m)$ ：$1\rightarrow m$，车流量为$y_m$。

假设第 $i$（$i=1,2,\cdots,m$）个 P+R 点每个泊位的收费为 $r_i$，中心区的停车场每个泊位的收费为 $R$。建立的双层规划模型如下：

(1)上层为

$$\text{Min } Z=\sum_{i=1}^{m}y_i\times t_{i0}+\sum_{a\in A}t_a(x_a,x_{a0})\times x_a+\omega\times \left[\sum_{i=1}^{m}y_i\times r_i+(Q-y_1-y_2-\cdots-y_m)\times R\right] \quad (1)$$

其中，要优化的参数为$y_i$（$i=1,2,\cdots,m$），$y_i$表示在第 $i$ 个P+R

**基金项目：**中南大学博士后科研基金资助项目；上海市科委基金资助项目(04dz05808)
**作者简介：**陈　群(1977－)，男，讲师、博士，主研方向：智能交通系统；姚加林，副教授、硕士；晏克非，教授、博士生导师
**收稿日期：**2007-04-01　**E-mail：**chenqun631@163.com

点停车换乘轨道公交的车流量；$t_{i0}$ 为自 $i$ 点停车换乘乘坐公交(主要指轨道交通)到达 $D$ 点(中心区)所花费的所有时间(包括等车及换乘时间，已知)；$\omega$ 为费用转化为时间的等价系数。

$$\begin{cases} y_i \le p_{iR} \times \eta_i - c_i \ ( i = 1, 2, \cdots, m ) \\ Q - (y_1 + y_2 + \cdots + y_m) \le P_h \times \eta_h - c_h \end{cases} \tag{2}$$

其中，$P_{iR}$为各P+R点的泊位数目；$\eta_i$ 为研究时段内第 $i$ 个停车换乘点的 1 h内的最大泊位周转率估计值；$c_i$为初始停车数；$P_h$为中心区泊位容量约束；$\eta_h$ 为研究时段内中心区一个小时内的最大泊位周转率估计值；$c_h$ 为初始停车数。

(2) $x_a$ 可由下层(用户平衡模型)求出，下层为

$$\mathrm{Min} \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w, x_{a0})\, \mathrm{d}w \tag{3}$$

$$\begin{cases} \sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \\ x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \ \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a \in A \\ f_k^{rs} \ge 0 \quad \forall r, s, k \end{cases} \tag{4}$$

其中，$f_k^{rs}$ 为 $od$ 对 $(r,s)$ 间的第 $k$ 条路径的交通流量；$q_{rs}$ 为 $od$ 对 $(r,s)$ 之间的交通量；$od$ 为前面介绍的私人车辆 $od(1)$，$od(2)$，…，$od(m)$；$A$ 表示所有路段的集合；$x_a$ 表示路段 $a$ 的新增交通量(相对于背景交通量 $x_{a0}$ 而言)，$x_{a0}$ 为背景交通量；$t_a(x_a, x_{a0})$ 为路阻函数(调查，回归得到)；如果路段 $a$ 在 $(r,s)$的第 $k$ 条路径上，则 $\delta_{a,k}^{rs}$ 为 1，否则为 0。

## 2　双层模型的求解算法

上层采用遗传算法[4-5]，以$y_i$ ($i = 1, 2, \cdots, m$) 为变量进行实数编码，染色体即由$y_i$ ($i = 1, 2, \cdots, m$) 组成，长度为 $m$。

Step1　初始化。确定遗传算法的交叉概率$P_c$，变异概率$P_m$，每一代产生的种群中的个体(染色体)数目 $N$，最大进化代数 Max$Gen$，置进化代数 $gen = 0$。

Step2　根据上层规划问题的目标函数确定合理的适应度函数形式，可取 $F(i) = C_{\max} - O(i)$，其中，$F(i)$ 为第 $i$ 个个体的适应度；$O(i)$ 为第 $i$ 个个体的目标函数值；$C_{\max}$ 为估计的目标函数最大值。在可行域内随机产生初始种群，置 $gen = 1$。

Step3　将第$gen$代每个染色体对应的一组$y_i$ ($i = 1, 2, \cdots, m$) 代入下层规划求解，下层可利用 $Frank - wolf$、方向搜索法[6]等常用方法进行UE分配计算，得到对应 $y_i$ ($i = 1, 2, \cdots, m$) 下的 $x_a (a \in A)$ 值，然后返回上层计算每个个体的适应度，如果 $gen =$ Max$Gen$，适应度排名最大的染色体即问题的最优解，否则转Step4。

Step4　采用基于排名的轮盘式选择算子及精英模型复制选择下一代种群 $y_i$ ($i = 1, 2, \cdots, m$)。

(1)精英模型。上一代中的最优个体与本代中的最优个体进行比较，若本代中最优个体适应度较高，则保留本代中的最优个体；若上一代中的最优个体适应度较高，则以上代中的最优个体取代本代中的最差个体(适应度最低的个体)。

(2)采用基于排名的轮盘式选择算子。这种选择算子可减少标准遗传算法中按适应度选择极易产生的早熟和进化停滞现象，并且能处理适应度为负数的情况。对所有待选个体按适应值由高到低排序，第 $l$ 个个体的生存概率为

$$Prob(l) = q(1-q)^{l-1} \tag{5}$$

其中，$q \in (0,1)$，为选择压力。在每个个体的生存概率 $Prob(l)$ 求出来之后，则可计算每个个体的选择概率，即

$$P_l = Prob(l) / \sum Prob(l)$$

再按轮盘赌方式进行选择产生后代。

Step5　根据交叉概率$P_c$，执行交叉操作。

设定交叉概率$P_c$，对种群中所有个体随机配对，个体数为奇数时，则随机去掉一个个体，对每一配对在 [0,1] 中产生随机数 $r$，若 $r < P_c$，则该配对进行交叉操作。对每一配对，在 [0,1] 中产生随机数$c$，按下式进行交叉：

$$\begin{cases} P_1' = cP_1 + (1-c)P_2 \\ P_2' = (1-c)P_1 + cP_2 \end{cases} \tag{6}$$

其中，$P_1, P_2$为当前两个个体，$P_1', P_2'$ 为新个体。由于优化目标的约束集为凸集(线性约束)，因此在可行域内生成的初始群体经这种交叉操作后生成的子个体也必是可行的。

Step6　根据变异概率$P_m$，执行变异操作，令 $gen = gen + 1$，从而得到新种群，并转Step3。

设定变异概率$P_m$，对种群中的每个个体，在 [0,1] 中产生随机数 $r$，若 $r < P_m$，则该个体发生变异操作，按下式进行

$$P_1' = P_1 + h \times d \tag{7}$$

其中，$d$ 为随机产生的一个方向，$d = (d_1, d_2, \cdots, d_M)$，$d_i \in [-1,1]$，$h \in \mathrm{Max}_i [0, y_i^u - y_i^l]$ ($i$ 为变量序号，$y_i^u$ 为第 $i$ 个变量取值上限，$y_i^l$ 为第 $i$ 个变量取值下限)。若生成的新个体为非法个体，则调整 $h$，在 $[0,h]$ 内产生随机数，直到得到合法个体。

## 3　仿真示例

网络结构见图 2。

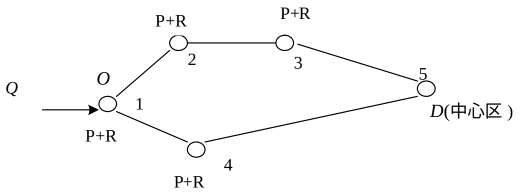


**图 2　网络结构**

为简化问题，假设 1-2,2-3,3-5,1-4,4-5 仅一条路段直接相连，并假设背景交通量为 0，各 P+R 点周转的最大车辆数为 250 辆/h，$D$ 点周转的最大车辆数为 200 辆/h，仅考虑使系统总的时间最少，求 $y_i$ ($i = 1, 2, 3, 4$)。路阻函数定义为(单位为 s)：

$t_{12} = 2 + 3 \times q_{12}$，$t_{14} = 5 + 3.5 \times q_{14}$，$t_{23} = 3 + 4 \times q_{23}$

$t_{45} = 2 + 4.5 \times q_{45}$，$t_{35} = 4 + 5 \times q_{35}$

$t_{1,0} = 4000$，$t_{2,0} = 2000$，$t_{3,0} = 1500$，$t_{4,0} = 3000$

(1)上层为

$$\mathrm{Min}\ Z = \sum_{i=1}^{4} y_i \times t_{i0} + \sum_{a \in A} t_a(x_a) \times x_a$$

$$\begin{cases} y_i \le 250 ( i = 1, 2, 3, 4 ) \\ Q - (y1 + y2 + y3 + y4) \le 200 \end{cases}$$

(2)下层为

$$\mathrm{Min} \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w)\, \mathrm{d}w$$

$$\begin{cases} \sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall r, s \\ x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \ \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall a \in A \\ f_k^{rs} \ge 0 \quad \forall r, s, k \end{cases}$$

网络中的私人车辆 $od$ 如下：

$od(1)$：$O \to D$，车流量为 $Q - (y_1 + y_2 + y_3 + y_4)$；

$od(2)$：$1 \to 2$，车流量为 $y_2$；　(下转第 206 页)