

文章编号: 1001-0920(2006)01-0064-04

城市快速路网匝道与污染控制双层多目标规划模型

吕智林^{1,2}, 范炳全¹, 刘娟娟¹, 周永华²

(1. 上海理工大学 交通运输系统研究中心, 上海 200093; 2. 广西大学 电气工程学院, 南宁 530004)

摘要: 基于环境容量和交通容量, 建立了一个双层多目标规划模型描述城市快速道路网的污染控制与匝道控制, 并考虑了用户的路径选择行为. 设计了基于改进遗传算法的启发式求解算法, 该算法借助不可微精确罚函数将约束问题转化为单个无约束问题来解决. 采用混合杂交和间歇变异提高算法的搜索能力. 最后, 通过算例说明该模型及算法的有效性.

关键词: 城市快速路网; 匝道控制; 污染控制; 用户平衡; 双层多目标规划模型

中图分类号: U 491 **文献标识码:** A

Bi-level Multi-objective Programming Model for the Ramp Control and Pollution Control on Urban Expressway Networks

LV Zhi-lin^{1,2}, FAN Bing-quan¹, LIU Juan-juan¹, ZHOU Yong-hua²

(1. Center of Research on Transport System, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. College of Electric Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China. Correspondent: LV Zhi-lin, E-mail: luzhilin2001@163.com)

Abstract: Based on environment capacity and traffic capacity, a bi-level multi-objective programming model is proposed to describe the pollution control and ramp control of the urban expressway networks. The route choice of network users is also considered in the model. A new heuristic solution algorithm is presented using an improved genetic algorithm. In the improved genetic algorithm, nondifferentiable exact penalty functions are used to transform a constrained optimization problem into a single unconstrained optimization problem, and hybrid crossovers and intermittent are applied to increase the search capability. A numerical example illustrates the applications of the model and its algorithm.

Key words: Urban expressway networks; Ramp control; Pollution control; User equilibrium; Bi-level multi-objective programming model

1 引言

在很多大的城市, 城市快速道路在城市交通中起着主导性的作用. 但因道路建设的速度远不及交通量的增长速度, 并缺乏对快速道路的系统研究和控制, 快速道路的交通安全、拥挤堵塞等问题日益严重. 因此需要建立针对供求矛盾的管理措施和模式, 而这种控制目标的建立是基于道路交通容量这一约束条件. 交通量的增长在给城市经济带来利益的同时, 也给环境带来了许多负面影响, 如空气污染、噪

声等. 因此, 需要从交通管理和控制方面采取措施, 即减少不合理交通, 提高路网利用率, 畅通交通, 降低交通污染等. 城市道路交通管理的发展, 必须在环境容量和道路交通容量的双边约束条件下进行^[1].

Lida 等人对城市高速公路网络中, 入口匝道-出口匝道对之间有多条路径的交通控制问题进行了扩展, 从传统的线性规划方法扩展为非线性的双层规划方法^[2,3]. 一方面, 使网络上的用户行为符合用户最优准则; 另一方面, 使得在整个高速公路网络系统

收稿日期: 2004-10-09; 修回日期: 2005-03-07.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70371011).

作者简介: 吕智林(1971—), 女, 南宁人, 博士生, 从事系统工程、智能交通的研究; 范炳全(1942—), 男, 江苏丹阳人, 教授, 博士生导师, 从事系统工程、交通运输等研究.

中, 从各个入口进入网络的流量最大 Yang 对此做了进一步改进, 修改了影响因子的计算方法, 设计了一个求解问题的启发式算法, 使从各个入口进入网络的流量最大^[4]. 文献[5]采用双层规划模型描述城市高速公路网络的入口匝道流量控制, 并考虑了网络的系统最优问题, 设计了基于灵敏度分析法的启发式算法. 上述文献采用双层规划方法对高速公路网的研究均只考虑了道路的交通容量, 而忽略了环境容量这一因素

本文同时考虑出行成本和环境成本, 提出了采用双层多目标规划模型来描述城市快速道路网的匝道控制与污染控制问题. 在双层规划模型中, 上层模型为多目标优化问题, 即目标函数是使各个入口匝道进入网络的流量尽可能大, 交通网络中的机动车尾气污染尽可能小; 下层模型为一个用户平衡模型, 用于表示网络中用户的路径选择行为

2 双层多目标规划模型的建立

由于双层多目标规划模型能够更好地描述管理部门的阶层关系并更全面地体现决策者的意愿, 因此引起诸多学者的关注. 双层多目标规划模型^[6]如下:

$$P1: \quad \min_x F_0(x, y) = \min_x (f_{01}(x, y), \dots, f_{0n_1}(x, y)),$$

y 为下层问题的解;

$$P2: \quad \min_y F_1(x, y) = \min_y (f_{11}(x, y), \dots, f_{1n_2}(x, y));$$

$$s.t. \quad (x, y) \in G. \quad (1)$$

其中: x, y 分别为上层与下层决策变量; F_0, F_1 分别为上层与下层多目标函数; G 为约束集, 上下层采取 Stackelberg 博弈

2.1 管理者的决策目标

作为管理决策者, 需要考虑系统的污染排放量. 虽然有许多关于机动车排放的复杂模型, 为分析问题的方便, 本文采用 TRANSYT 7-F 模型计算排放率

$$ROP = \frac{A e^{B/v}}{C v}. \quad (2)$$

其中: ROP 为污染排放率 ($g \cdot$ 每辆车 / 单位路段长度); A, B, C 为常数; v 为路段上的平均车速, 即 $v_a = l_a / t_a(x_a, m_a)$, l_a 为路段 a 的长度, $t_a(x_a, m_a)$ 为路段 a 的路阻函数

$$\begin{aligned} & \text{给定路段上每辆车的排放量} = \\ & \text{排放率} \times \text{路段长度}, \end{aligned} \quad (3)$$

因此, 路段 a 上的总排放污染为

$$p_a = ROP \times x_a l_a = \frac{A e^{B/v_a}}{C v_a} x_a l_a =$$

$$\frac{A e^{B l_a / t_a(x_a, m_a)} x_a t_a(x_a, m_a)}{C}, \quad (4)$$

其中 x_a 为路段 a 上的流量

从管理者的角度考虑, 首先要使道路网络中的机动车尾气排放量最小, 目标函数为

$$\min_m \frac{A e^{B l_a / t_a(x_a, m_a)} x_a t_a(x_a, m_a)}{C}. \quad (5)$$

其中: m_a 为管理者的决策变量, 即管理者限定的路段 a 的最高时速. 实现该目标可通过主线控制完成, 即在城市快速道路的主线上设置可变限速标志限制行车速度. 它一方面保证了车流的均匀、稳定, 另一方面可通过限速来影响驾驶员的路径选择行为, 均衡城市快速道路上交通流的空间分布, 从而减少整个路网中尾气的排放量

其次, 管理决策者要从使用城市快速道路的角度出发, 总希望以较快的速度行驶, 尽快到达目的地, 这要求主线行驶时间和入口匝道排队时间总和为最小, 即总行程时间最小. 在稳态条件下, 总行程时间最小指标等价于进入网络的总流量最大, 其目标函数为

$$\max_i u_i, \quad (6)$$

其中 u_i 为管理者的决策变量, 为入口匝道 i 的调节率

管理者可同时追求上述两个目标的最优化. 求解多目标最优化问题 (即找一个决策者的满意解) 有许多方法, 其中最基本的是评价函数法, 即根据问题的特点和决策者的意图, 构造一个将 m 个分量目标函数转化为一个数值目标函数——评价函数, 然后对评价函数进行最优化. 线性加权和法是基本的评价函数法, 加权系数的相对大小表征各目标的相对重要程度

2.2 用户的路径选择行为

在城市快速道路网中, 入口匝道和出口匝道之间存在多条路径, 因此, 要使网络上的用户行为符合用户最优准则. 每位用户都从自身利益出发去寻找最小路阻的路径, 用户之间互不协商, 经过不断的系统内部调整, 最后达成一个用户平衡状态, 即用户本身无法通过改变其路径的方式降低其阻抗^[7]. 这可表述如下: 对于任一 OD (Origin-Destination), 在用户平衡时, 所有被占用路径上的阻抗相等, 同时, 该阻抗小于或等于任何未被占用路径上的阻抗. 下层模型是一个用户平衡模型

2.3 用户平衡约束条件下污染控制和匝道控制的双层规划模型

综上所述, 建立如下双层多目标规划模型:

$$P1: \quad \min Z =$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{A e^{B l_a / t_a(x_a, m_a)} x_a t_a(x_a, m_a)}{C} - G u_i, \\
 \text{s t } & 0 \leq m_a \leq m_a^{\max}, \forall a; \\
 & u_i^d - \frac{l_{\max} - l_0}{T} u_i \leq u_i^d + \frac{l_0}{T}, \forall i; \\
 & u_i^{\min} \leq u_i \leq u_i^{\max}, \forall i; \\
 & 0 \leq x_a(m, u) \leq C_a, \forall a.
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 \text{P2: } \min Z &= \int_a \int_0^{x_a} t_a(x, m_a) dx, \\
 \text{s t } & f_k^{ij} = u_i p^{ij}, \forall i, j, k; \\
 & x_a = \sum_i \sum_j \sum_k f_k^{ij} \delta_{i,j,k}^a, \forall i, j, k, a; \\
 & f_k^{ij} \geq 0, \forall i, j, k.
 \end{aligned} \tag{8}$$

其中: i, j 分别为入口匝道和出口匝道的下标; u_i (上层决策变量) 为入口匝道 i 的调节率; l_0 为入口 i 的初始排队长度, l_{\max} 为入口 i 的最大允许排队长度; u_i^d 为入口 i 的交通需求; T 为时段长度; u_i^{\min} 和 u_i^{\max} 分别为入口匝道 i 的最小调节率和最大调节率; m_a (上层决策变量) 为路段 a 的最高限制时速, m_a^{\max} 为路段 a 的自由行驶速度; f_k^{ij} 为从入口 i 到出口 j 的第 k 条路径上的流量; x_a (下层决策变量) 为路段 a 上的流量; C_a 为路段 a 的通行能力; $\delta_{i,j,k}^a$ 为如果路段 a 在从入口 i 到出口 j 之间的第 k 条路径上其值为 1, 否则, 为 0; $t_a(x_a, m_a)$ 为路段 a 的阻抗函数; p^{ij} 为 OD 比例矩阵, 假设为常数

在上述双层规划中, 上层问题的目标函数是使交通网络中的机动车尾气污染最小, 使从各个入口匝道进入网络的流量最大. 它属于一个多目标规划问题, 其中 G 为入口流量的系数, 包含两个含义^[5]: 一是匹配入口总流量与系统总污染排放量单位的系数; 二是加权系数, 其大小反映出在上层决策者的决策过程中, 对“污染排放最小”和“总流入量最大”这两个目标重视的程度. G 值越大, 说明决策者对“总流入量最大”越重视, G 值越小, 说明对“系统的污染排放”越重视. 下层问题是一个标准的用户平衡配流问题.

3 求解算法

由于上层问题与下层问题相互制约, 使得双层规划问题使用一般的优化方法很难求解. 对于这类问题利用遗传算法求解具有独特的优越性, 因为该算法不需函数可微这一条件, 而且可以求得全局满意解. 文献[8]采用改进的遗传算法在城市交通控制中进行了多目标优化计算. 在本文中, 上层多目标优化问题利用不可微精确罚函数的约束优化遗传算法[9]进行求解, 该演化算法利用混合杂交和间歇变异来提高算法的搜索能力; 下层问题采用方向搜

索法进行求解. 下面给出该模型的启发式求解算法:

Step 1: 初始化. 确定群体规模 N , 变异概率 p_m , 变异间隔 M , 最大迭代次数 K , 罚因子 α . 随机产生 N 个个体, 组成初始种群, 每个个体包括入口流量的初始解 u_i^0 以及路段限制时速的初始解 m_a^0 (不一定可行), 令 $k = 0$;

Step 2: 对给定的 u_i^k 和 m_a^k , 采用方向搜索法求解下层问题, 得到平衡路段流量 x_a^k ;

Step 3: 将 x_a^k 代入上层目标函数中, 计算每个个体的个体适应度, 保留最好解.

$$\begin{aligned}
 \text{个体适应度} &= \\
 & \text{上层目标函数} + \alpha \left\{ \sum_{i=1}^J |\text{cnstrnt}[i]| + \right. \\
 & \left. \sum_{i=J+1}^L \max(0, \text{cnstrnt}[i]) \right\},
 \end{aligned} \tag{9}$$

其中 $\text{cnstrnt}[i]$ 为上层问题中等式或不等式约束;

Step 4: 如果 k 达到给定的最大迭代次数, 则停止, 输出最好解; 否则, 令 $k = k + 1$, 对种群进行混合杂交, 对于杂交出的每个个体均采用方向搜索法求出平衡路段流量 x_a^k , 然后按个体适应度进行选择; 如果将迭代次数 k/M 求模余数为 0, 则按变异概率 p_m 执行均匀变异, 得到新的入口流量 u_i^k 和限制时速 m_a^k . 获得中间种群后, 转 Step 2.

4 算例

路网拓扑结构如图 1 所示, 有 3 个节点, 3 条路段, 两个入口匝道 (u_1, u_2), 两个出口匝道 (s_2, s_3), 3 个 OD 对 (1-3, 1-2, 2-3). 假定各路段的阻抗函数为

$$t_a(x_a, m_a) = \frac{l_a}{m_a} \left[1 + 0.15 \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^4 \right].$$

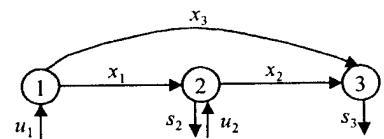


图 1 路网拓扑结构

各条路段的长度分别为 $l_1 = 3 \text{ km}$, $l_2 = 3 \text{ km}$, $l_3 = 8 \text{ km}$; 各条路段的自由行驶速度分别为 $m_1^{\max} = 80 \text{ km/h}$, $m_2^{\max} = 80 \text{ km/h}$, $m_3^{\max} = 85 \text{ km/h}$; 各条路段的通行能力分别为 $c_1 = 1200 \text{ veh/h}$, $c_2 = 1200 \text{ veh/h}$, $c_3 = 1500 \text{ veh/h}$; 各个入口 i 的流入率下限均为 $u_i^{\min} = 180 \text{ veh/h}$, 而上限均为 $u_i^{\max} = 1100 \text{ veh/h}$, 入口 1 和 2 的交通需求分别为 $u_1^d = 1300 \text{ veh/h}$, $u_2^d = 1200 \text{ veh/h}$; 并假设 $p^{13} = 0.7$, $p^{12} = 0.3$, $p^{23} = 1$; 初始排队长度为 0, 最大排队长度不限. 本文中, 以 CO 为例, 采用文献[11]中给出的排

表 1 不同加权系数下的计算结果

G	$m_1/\text{km/h}$	$m_2/\text{km/h}$	$m_3/\text{km/h}$	$u_1/\text{veh/h}$	$u_2/\text{veh/h}$	$x_1/\text{veh/h}$	$x_2/\text{veh/h}$	$x_3/\text{veh/h}$	总排放量 /kg	总流入量 /veh/h
0 000 1	68 681 817	68 720 159	43 309 695	180	180	180	306	0	0 195 997	360
0 000 6	68 681 818	78 978 092	10 192 366	180	1 074	180	1 200	0	0 556 534	1 254
0 000 8	60 242 451	77 865 010	85 000 000	180	1 100	154	1 200	36	0 575 264	1 280
0 000 9	52 139 037	74 139 272	76 972 228	884	1 100	365	1 200	519	1 199 240	1 984
0 001	52 048 198	73 153 922	76 679 886	1 100	1 100	430	1 200	670	1 389 653	2 200
0 1	52 127 701	73 039 187	76 691 528	1 100	1 100	430	1 200	670	1 389 655	2 200

注: 程序中匝道流入量和路段流量作了整数处理

放率

$$ROP = 3\ 396\ 3 \frac{e^{0.014\ 564v}}{1\ 000v}$$

上层问题目标函数中系数 G 对模型的解影响较大, 然而对 G 如何标定, 没有标准的方法, 因此, 在计算中通过设置不同的 G 值, 以期望得到关于 G 取值的一点经验^[5]. 取群体规模 $N = 100$, 变异概率 $p_m = 0.03$, 变异间隔 $M = 1\ 000$, 最大迭代次数 $K = 5\ 000$, 罚因子 $\sigma = 100$, 按上述算法计算, 结果见表 1.

从表 1 中可以得出以下结论:

1) 当 G 取值较小(本算例中, $G = 0.000\ 1$) 时, 模型的解主要由“系统尾气排放量最小”准则决定. 此时, 总排放量 = $0.195\ 997\ \text{kg}$; 总流入量 = $360\ \text{veh/h}$, 总流入量等于两个入口匝道最小流入率之和. 总的尾气排放量除了与流量有关, 还与最高限速有关, 路段 3 的限速低, 从而使得路段 3 的流量为 0, 实际上就是通过限速, 使流量都分流到路段 1, 目的是使总的尾气排放量最小.

2) 当 G 取值在一定范围内(本算例中, $0.000\ 1 < G < 0.001$) 时, 模型的解由“总流入量最大”和“系统尾气排放量最小”这两个准则共同决定. 此时, 随着 G 取值在这一范围内逐渐增大, 意味着在考虑污染排放最小的前提下, 上层决策者对“总流入量最大”这一目标的重视程度相对逐渐提高, 进入网络的总流入量相应增大, 系统总污染排放量也随之增大. 但由于“系统尾气排放量最小”这一目标的作用, 匝道 2 的流入率先增加, 参见 G 取值 $0.000\ 6$, $0.000\ 8$, $0.000\ 9$ 时的结果.

3) 当 G 取值增加到足够大(本算例中, $G = 0.001$) 时, 则“总流入量最大”这一目标占据主导地位, 即模型的解主要由“总流入量最大”准则决定. 此时, 总流入量恒定为 $2\ 200\ \text{veh/h}$, 与此同时, 通过限速分流, 在一定程度上使总排放量最小. 但随着 G 的进一步增大, 意味着对“系统尾气排放量最小”这一目标的重视程度越来越小, 从而使这一准

则对模型解的影响也越来越小. 例如, G 分别取值为 0.001 , 0.1 时, 在总流入量相同的情况下, 随着 G 取值的增大, “系统尾气排放量最小”对模型的解影响越来越小, 污染排放量可能增大.

5 结 论

本文建立的双层多目标规划模型描述了城市快速道路网的污染控制和匝道控制问题, 上层模型从系统的角度考虑, 使污染排放量最小, 同时使总流入量最大; 下层模型是用户平衡模型. 该模型同时考虑了环境容量、交通容量和用户的路径选择行为. 基于改进的遗传算法设计了模型的求解算法. 算例表明模型和算法是可行的.

参考文献 (References)

- [1] 陆化普. 解析城市交通[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001: 137-140.
(Lu H P. Parsing City Transportation [M]. Beijing: China Waterpower Press, 2001: 137-140.)
- [2] Iida Y, Hasegawa T, A sakura Y, et al. A Formulation of ON-ramp Traffic Control System with Route Guidance for Urban Expressway [A]. IFA C/IFIP/IFORS-sixth Int Conf on Control in Transportation System [C]. France, 1989: 229-236.
- [3] Iida Y, Hasegawa T, A sakura Y, et al. Optimal ON-ramp Control Method for Urban Expressway Network with Multiple Routes [A]. Proc of Infrastructure Planning [C]. Landshut, 1986, 12B: 305-312.
- [4] Yang H, Yagar S, Iida Y, et al. An Algorithm for the Inflow Control Problem on Urban Expressway Network with User Optimal Flows [J]. Transportation Research, 1994, 28B: 123-139.
- [5] 宋一凡, 高自友. 城市高速公路网络入口流量控制的双层规划模型及求解算法 [J]. 北方交通大学学报, 1999, 23(3): 86-89.
(Song Y F, Gao Z Y. A Bilevel Programming Model and Solution Algorithm for the Inflow Control Problem on Urban Freeway Networks [J]. J of Beijing Jiaotong University, 1999, 23(3): 86-89.)

(下转第 87 页)

- Granulation and Its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1997, 90(2): 111-127.
- [2] Zadeh L. A. Some Reflections on Soft Computing, Granular Computing and Their Roles in the Conception, Design and Utilization of Information/Intelligent Systems [J]. *Soft Computing*, 1998, 2(1): 23-25.
- [3] Pawlak Z. *Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning about Data* [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [4] Pawlak Z. Rough Sets, Decision Algorithm and Bayes's Theorems [J]. *European J of Operational Research*, 2002, 136: 181-189.
- [5] Lin T. Y. Granular Computing on Binary Relations I: Data Mining and Neighborhood Systems; II: Rough Set Representations and Belief Functions [A]. *Rough Sets in Knowledge Discovery* [C]. Heidelberg: Physica-Verlag, 1998: 107-140.
- [6] Yao Y. Y. Modeling Data Mining with Granular Computing [A]. *Proc of the 25th Annual Int Computer Software and Applications Conference* [C]. Chicago, 2001: 638-643.
- [7] Yao Y. Y., Liu C. J. A Generalized Decision Logic Language for Granular Computing [A]. *Proc of FUZZ-IEEE'02 in the 2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence* [C]. Honolulu, 2002: 1092-1097.
- [8] Yao Y. Y., Liu C. J. Granular Computing Based on Rough Sets, Quotient Space Theory, and Belief Functions [A]. *Proc of ISMIS'03* [C]. Meabashi, 2003: 152-159.
- [9] Yao Y. Y. Granular Computing: Basic Issues and Possible Solutions [A]. *Proc of the 5th Joint Conference on Information Sciences* [C]. Atlantic City, 2000: 186-189.
- [10] Pedrycz W. *Granular Computing: An Emerging Paradigm* [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2001.
- [11] Wille R. Restructuring Lattice Theory: An Approach Based on Hierarchies of Concepts [A]. *Ordered Sets* [C]. Reidel, Dordrecht-Boston, 1982: 445-470.
- [12] Quafafou M. α RST: A Generalization of Rough Set Theory [J]. *Information Science*, 2000, 124: 301-316.
- [13] Lipski W. On Databases with Incomplete Information [J]. *J of the ACM*, 1981, 28(1): 41-70.
- [14] Orłowska E., Pawlak Z. Representation of Non-deterministic Information [J]. *Theoretical Computer Science*, 1984, 29(1-2): 27-39.
- [15] Duntsch I., Gediga G., Orłowska E. Relational Attribute Systems [J]. *Int J Human Computer Studies*, 2001, 55(4): 293-309.

(上接第 67 页)

- [6] 刘善存, 邱菀华. 极大熵方法求解双层多目标决策问题 [J]. *系统工程理论与实践*, 2000, 20(3): 99-103.
(Liu S. C., Qiu W. H. A Maximum Entropy Method for Solving Bilevel Multiple-Objective Decision Making Problem [J]. *Systems Engineering-Theory and Practice*, 2000, 20(3): 99-103.)
- [7] 黄海军. *城市交通网络平衡分析理论与实践* [M]. 北京: 人民交通出版社, 1994: 12-15.
(Huang H. J. *Urban Transportation Network Equilibrium Analysis: Theory and Practice* [M]. Beijing: China Communication Press, 1994: 12-15.)
- [8] 史延科, 史忠科. 搜索空间代换法及其在城市交通控制中的应用 [J]. *控制与决策*, 2003, 18(3): 382-384.
(Shi Y. K., Shi Z. K. Search-space Substitution Algorithm and Its Application to Urban Traffic Control [J]. *Control and Decision*, 2003, 18(3): 382-384.)
- [9] 周永华, 张旭. 采用不可微精确罚函数的约束优化演化算法 [J]. *小型微型计算机系统*, 2004, 25(8): 1464-1467.
(Zhou Y. H., Zhang X. Evolutionary Algorithm for Constrained Optimization Using Nondifferentiable Exact Penalty Functions [J]. *Micro Systems*, 2004, 25(8): 1464-1467.)
- [10] Liu J. J., Fan B. Q. The Marginal Effect of Average Speed on the Traffic-induced Emission in Yangpu District of Shanghai [A]. *Proc of the Int Conf on Transportation Systems Planning and Operation* [C]. India, 2004: 249-254.
- [11] Laurence R. Rilet, Christine M. Benedek. *Traffic Assignment Under Environmental and Equity Objectives* [R]. Washington D. C.: Transportation Research Record 1443, 1996: 92-99.