

瓶颈处停车换乘 logit 随机均衡选择模型

田 琼¹, 黄海军¹, 杨 海²

(1. 北京航空航天大学经济管理学院, 北京 100083; 2. 香港科技大学土木工程系)

摘要: 考虑从生活区到工作区有三种交通方式可供选择的情形:一是全程驾车,二是地铁直达,三是在瓶颈处停车再换乘地铁到达目的地.以瓶颈模型为基础,建立了基于 logit 随机均衡的交通方式选择模型.研究结果表明,设置恰当的地铁票价和停车收费水平,可以实现系统的净收益极大,此外,也存在一种地铁票价策略使地铁的收益最大,但票价水平高于系统净收益极大时的票价水平.算例结果支持了模型分析结论.

关键词: 交通方式选择; 瓶颈模型; 停车换乘; logit 随机均衡

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1007 - 9807(2005)01 - 0001 - 06

0 引言

近年来,城市私家车拥有量快速增长,道路日益拥挤.解决拥挤的传统办法是增加交通供给,但却进一步诱发新的交通需求.受城市经济、地理和环境等因素制约,片面增加交通供给是不符合可持续发展的要求的.为此,人们开始考虑用经济的手段影响交通需求,拥挤道路使用收费就是这样一种策略,通过收费来增加使用稀缺资源的成本,改变交通流量的时空分布,达到缓解拥挤的目的. Yang 和 Huang^[1]分析了一般结构网络中采用边际成本定价原理实施拥挤道路使用收费的问题.虽然这种策略在技术上是可行的,实践中却遇到了来自消费习惯、社会平等性等方面的阻力^[2~4],从而促使人们去寻找其它替代手段. Verhoef^[5]建议通过调整停车政策来影响出行行为,停车换乘 (park-and-ride) 作为一种既不影响驾车便利性,又可以鼓励使用公交的出行方式就被提出来了^[6], Lam^[7]和 Yang^[8]从不同角度分别研究了这种新的出行方式.

Huang^[9,10]和 Tabuchi^[11]研究了高峰期弹性需求下人们在私家车和地铁之间的选择行为.本文

采用与其相似的研究方法,但模型中增加了“停车换乘”,即在公路瓶颈处设置一个停车场,开车的出行者在瓶颈处既可以选择排队等待前行,也可以在此停车换乘地铁.针对不同的地铁和停车收费模式,建立出行方式选择的 logit 随机均衡模型,分析收费政策对出行行为的影响,为完善交通系统设计和收费政策制定打下一定的理论基础.

1 三种交通方式的成本

考虑有一条公路和一条地铁线路并行连接生活区 O 和工作区 D,出行者每天早晨需要从 O 出发去工作地 D 上班.公路上有一个瓶颈,附近建有一个停车场. D 处也有一个停车场.出行者有三种交通方式可以选择:一是自己全程开车到工作地上班;二是乘地铁直达工作地上班;三是先自己开车,然后在瓶颈处停车换乘地铁到工作地,见图 1. 令 N_1 、 N_2 和 N_3 分别为选择这三种出行方式的人数, N 为总的出行人数,有 $N_1 + N_2 + N_3 = N$.

符号和参数: v_1 —— 汽车速度, v_2 —— 地铁速度, L —— 从 O 到瓶颈处的距离, l —— 从瓶颈处到 D 的距离, F_{car} —— 自己驾车的固定成本,

收稿日期: 2004 - 08 - 10; 修订日期: 2004 - 11 - 02.

基金项目: 国家杰出青年科学基金(B) 资助项目(70429001).

作者简介: 田 琼(1981 -), 男, 河北廊坊人, 博士生.

$P_2(x)$ ——与乘坐距离 x 有关的地铁票价, T —— 停车换乘所需要的时间, C_{P1} ——D 处的停车费, C_{P2} ——瓶颈处的停车费, F ——地铁运营的固定成本, c ——地铁运营的变动成本, s ——公路瓶颈的通行能力, $B(N)$ ——出行需求函数的逆函数, $g(n, x)$ ——与乘车人数 n 和乘坐距离 x 相关的地铁拥挤函数, ——拥挤程度的成本率, ——单位时间的成本, ——单位早到时间的成本, ——单位迟到时间的惩罚成本, t^* ——规定的上班时间, t_s ——驾车者的最早出发时间, t_e ——驾车者的最晚出发时间. 根据瓶颈模型的稳定性要求, 必须成立, 令 $= /$ $(+)^{[12,13]}$.

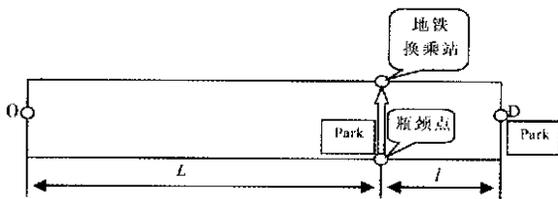


图 1 系统示意图

Fig. 1 Schematic of the system studied in this paper

1.1 全程驾车的成本

由于瓶颈的通过率有限, 驾车者不可能都如意外地准时到达 D. 早一点从 O 出发的人会经历较少的排队等待时间, 但提前到达 D 的时间成本较高; 准时到达 D 的人经历的排队等待时间最高; 此后越晚从 O 出发的人经历的排队等待时间越少, 但延迟到达 D 的惩罚成本越高. 由瓶颈模型理论可以推证^[14], 存在这样一个状态, 无论何时出发, N_1 个驾车者都经历同样多的综合成本

$$C_1 = N_1/s + (L + l)/v_1 + F_{c_r} + C_{P1} \quad (1)$$

其中: N_1/s 是由排队等待成本和早到或晚到成本合成的; 第 2 项是行驶时间成本; 第 3 项是驾车固定成本; 第 4 项是 D 处的停车费. 详细推导过程见 Huang^[15], 重要结果还包括出发率、排队长度和最早出发时间与最晚出发时间, 后两者是

$$t_s = t^* - (L + l)/v_1 - N_1/s \quad (2)$$

$$t_e = t^* - (L + l)/v_1 + N_1/s \quad (3)$$

1.2 地铁直达的成本

选择地铁直达的成本包括路上时间成本、车厢内拥挤成本和地铁票价, 车次之间的等待部分

记入路上时间. 总成本表达式是

$$C_2 = (L + l)/v_2 + [g(N_2, L) + g(N_2 + N_3, l)] + P_2(L + l) \quad (4)$$

其中: 拥挤成本是分两段考虑的, $g(n, x)$ 是乘车人数 n 和乘坐距离 x 的升函数; $P_2(x)$ 是乘坐距离 x 的升函数.

1.3 停车换乘方式的成本

采用换乘方式到达 D 处的成本包括路上时间成本、车厢内拥挤成本、驾车固定成本、地铁票价和瓶颈处的停车费用. 总成本表达式是

$$C_3 = (L/v_1 + l/v_2 + T) + g(N_2 + N_3, l) + F_{car} + P_2(l) + C_{P2} \quad (5)$$

其中, 路上时间由驾车时间、地铁车厢内时间和换乘所用时间三部分构成.

任何参数的变化都会引起人们对出行方式选择上的改变, 比如, 增加地铁票价, 将首先减少 O 与 D 之间的直达地铁人数, 其次减少停车换乘方式人数, 使选择全程驾车的人数增加. 但全程驾车人数的增加又会使瓶颈前的排队等待时间上升, 造成全程驾车成本上升. 如此反复博弈, 最后在三种出行方式之间形成按照某种原则实现的均衡.

2 基于 logit 随机均衡的方式选择模型

采用一般效用函数来刻画每一种出行方式的效用, 即

$$U_i = U - C_i + \epsilon_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (6)$$

其中: U 是常数, 代表出行者从一次出行中得到的效用, 如平均日收入; 随机项 ϵ_i 表示由于信息不准确或其它因素造成的估计误差. 假设 ϵ_i 是独立同分布、均值为零的 Gumbel 变量, 则可以证明, 交通方式选择服从如下的 logit 随机均衡模型^[16]

$$N_i = N \exp(-C_i) / \sum_{j=1,2,3} \exp(-C_j) \quad (7)$$

其中, β 是正的参数, 与随机变量的方差有关, 值越大, 则出行者对出行效用的理解误差越小, 越倾向于选择成本最低的出行方式. 当 N 给定, 所有成本参数已知时, 应用模型 (7) 可以求出每种出行方式的人数.

如果 N 未知, 但知道总需求对平均出行费用的弹性, 即已知需求函数的逆函数 $B(N)$ 时, 可以用下列方程组求出每种出行方式的人数

$$\begin{aligned} (\ln N_i + 1)/s + C_i &= (\ln N + 1)/s + B(N) \\ i &= 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (8)$$

易证, 从方程组 (8) 与守恒条件 $N_1 + N_2 + N_3 = N$ 求出的解就是式 (7). $(\ln N_i + 1)/s + C_i$ 是选择第

$$\begin{aligned} \max NB &= \int_0^N B(w) dw + \left[\frac{N \ln N}{s} - \frac{N_1 \ln N_1 + N_2 \ln N_2 + N_3 \ln N_3}{s} \right] - \\ &\left\{ N_1 \left[\frac{N_1}{s} + \left(\frac{L+l}{v_1} \right) + F_{\text{car}} \right] + N_2 \left[\left(\frac{L+l}{v_2} \right) + g(N_2, L) \right] + \right. \\ &\left. N_3 \left(\frac{L}{v_1} + \frac{l}{v_2} + T + F_{\text{car}} \right) + (N_2 + N_3) [g(N_2 + N_3, l) + c] + F \right\} \end{aligned} \quad (9)$$

其中, $N_1 + N_2 + N_3 = N$, 并且 $N_1 \geq 0, N_2 \geq 0, N_3 \geq 0$. 式 (9) 中, 积分项是所有出行者得到的出行效用 (确定性部分), 方括号中的项是出行效用随机部分的期望值减去出行成本随机部分的期望值^[10], 大括号这一项是系统的总社会成本. 注意, 讨论系统净收益时, 不可以将票价收入记入其中, 因为票价收入对系统内的所有成员而言既不是外部获得, 也不是客观消耗, 而是系统内部成员, 即出行者与系统经营者之间的一种货币 / 服务交换.

现在推导式 (9) 的一阶最优条件, 由 $\partial NB / \partial N_1 = 0$, 有

$$B(N) + (\ln N + 1)/s = (\ln N_1 + 1)/s + \left[N_1/s + (L+l)/v_1 + F_{\text{car}} \right] + N_1/s \quad (10)$$

由 $\partial NB / \partial N_2 = 0$, 有

$$\begin{aligned} B(N) + (\ln N + 1)/s &= (\ln N_2 + 1)/s + \\ &\left[(L+l)/v_2 + g(N_2, L) + \right. \\ &\left. g(N_2 + N_3, l) \right] + \left[N_2 g(N_2, L) + \right. \\ &\left. (N_2 + N_3) g(N_2 + N_3, l) \right] + c \end{aligned} \quad (11)$$

由 $\partial NB / \partial N_3 = 0$, 有

$$\begin{aligned} B(N) + (\ln N + 1)/s &= (\ln N_3 + 1)/s + \\ &\left[(L/v_1 + l/v_2 + T) + \right. \\ &\left. g(N_2 + N_3, l) + F_{\text{car}} \right] + \\ &\left[(N_2 + N_3) g(N_2 + N_3, l) + c \right] \end{aligned} \quad (12)$$

方程 (10) ~ (12) 分别代表出行期望收益与出行期望付出之间的一种均衡, 将它们的右边与前面对三种出行成本的定义 (1)、(4)、(5) 进行比较, 可以看出: 为了实现系统净收益最大化, 对全

i 种出行方式的期望边际成本, $(\ln N + 1)/s + B(N)$ 是所有出行者的期望边际收入, 式 (8) 表示出行方式选择与出行意愿之间的随机均衡.

2.1 净收益最大

模型 (8) 给出的是已知成本条件下 (包括票价) 的均衡解, 并不一定实现了系统使用上的某种优化. 下面, 探讨实现系统净收益最大的可能性, 即

程驾车者, 应该征收一定的费用, 征收值等于 N_1/s , 它实际上是公路瓶颈拥挤的边际外部性 (externality), 征收工作可以在 D 处的停车场以缴纳停车费的形式实现; 对于选择地铁直达的出行者, 应该给系统支付一定的费用, 费用的最优值是 $[N_2 g(N_2, L) + (N_2 + N_3) g(N_2 + N_3, l)] + c$, 它实际上是两段地铁的车厢内拥挤外部性与地铁可变成本之和, 费用征收工作可以通过在 O 处购买地铁票的形式实现; 对于选择停车换乘方式的出行者, 也应该给系统支付一定的费用, 费用的最优值是 $(N_2 + N_3) g(N_2 + N_3, l) + c$, 它是第二段地铁的车厢内拥挤外部性与地铁可变成本之和, 费用征收工作可以通过在瓶颈前停车处购买地铁票的形式实现, 由于这部分出行者没有参与瓶颈前的拥挤排队, 所以不需要支付瓶颈拥挤外部性.

系统净收益最大假设地铁和公路都由政府统一管理, 地铁与公路之间没有利益冲突, 政府是站在全社会的角度来优化资源. 如果公路是免费的资源, 而地铁由公司独立经营, 则由于第三种出行者只向地铁公司交纳费用, 所以, 瓶颈前的停车场应该由地铁公司经营. 如果公路也由某家公司独立经营, 公路的运营有一定的可变成本, 则可以在瓶颈处设立收费站, 对所有使用公路的出行者收取等价于可变成本的费用, 同时对全程驾车者在 D 处以停车费的形式收取等价于瓶颈拥挤外部性的费用, 则 D 处的停车场宜于由公路公司经营. 当然, 修筑公路的投资如果需要收回的话, 也可以记

入瓶颈处收费站收取的费用当中.

当函数 $B(N)$ 给定时, 求解方程组 (10) ~ (12) 和 $N_1 + N_2 + N_3 = N$, 可以得到满足 logit 随机均衡条件(7) 的解 $(N_1^*, N_2^*, N_3^*, N^*)$.

2.2 地铁公司收益最大

现在假设, 全程地铁票价和第二段地铁票价的制订权由地铁公司掌握, 地铁公司追求自身利益的最大化. 显然, 地铁公司不可能把票价定得过高, 否则会损失需求, 我们的问题是: 从地铁公司自身利益最大化角度看, 公司最希望的票价是多高? 与系统最优票价的差别有多大. 该问题可以如下模型描述

$$\max F = \{ N_2 P_2(L + l) + N_3 [P_2(l) + C_{P2}] - (N_2 + N_3) c - F \} \quad (13)$$

约束是

$$B(N) + (\ln N + 1) / \left[\frac{N_1}{s} + (L + l) / v_1 + F_{car} + C_{P1} \right] = (\ln N_1 + 1) / N_1 \quad (14)$$

$$B(N) + (\ln N + 1) / \left[(L + l) / v_2 + [g(N_2, L) + g(N_2 + N_3, l)] + P_2(L + l) \right] = (\ln N_2 + 1) / N_2 \quad (15)$$

$$B(N) + (\ln N + 1) / \left[(L / v_1 + l / v_2 + T) + g(N_2 + N_3, l) + P_2(l) + C_{P2} \right] = (\ln N_3 + 1) / N_3 \quad (16)$$

$$N_1 + N_2 + N_3 = N \quad (17)$$

$$N_1 \geq 0, N_2 \geq 0, N_3 \geq 0 \quad (17)$$

$$P_2(L + l) \geq 0, P_2(l) \geq 0, C_{P2} \geq 0 \quad (18)$$

其中, (14)、(15)、(16) 代表 logit 均衡条件. 假定 (14) 中的 $C_{P1} = N_1 / s$, 即全程驾车者按照系统净收益最大化原则交纳停车费. 问题(13) ~ (18) 的一阶最优性条件如下:

$$B(N) + (\ln N + 1) / \left[\frac{N_1}{s} + (L + l) / v_1 + F_{car} + \frac{N_1}{s} \right] = (\ln N_1 + 1) / N_1 \quad (19)$$

$$B(N) + (\ln N + 1) / \left[(L + l) / v_2 + [g(N_2, L) + g(N_2 + N_3, l)] + [N_2 g(N_2, L) + (N_2 + N_3) g(N_2 + N_3, l)] + c + 1 / \left[\frac{N_2 + N_3}{(1/f_1 - 1/f)} \right] \right] = (\ln N_2 + 1) / N_2 \quad (20)$$

$$B(N) + (\ln N + 1) / \left[(L / v_1 + l / v_2 + T) + g(N_2 + N_3, l) + F_{car} \right] = (\ln N_3 + 1) / N_3 \quad (20)$$

$$(N_2 + N_3) g(N_2 + N_3, l) + c + 1 / \left[\frac{N_2 + N_3}{(1/f_1 - 1/f)} \right] \quad (21)$$

其中: $f = 1 / (N) + B(N)$; $f_1 = 1 / (N_1) + 2 / s$ 分别为出行的期望边际收益和全程驾车出行的期望边际成本. 由方程组(19) ~ (21) 和守恒条件 $N_1 + N_2 + N_3 = N$, 可以解出满足 logit 随机均衡条件(7) 的解 $(N_1^*, N_2^*, N_3^*, N^*)$. 显然, 地铁直达和中途上车的票价分别是

$$P_2(L + l) = [N_2 g(N_2, L) + (N_2 + N_3) g(N_2 + N_3, l)] + c + \quad (22)$$

$$P_2(l) + C_{P2} = (N_2 + N_3) g(N_2 + N_3, l) + c + \quad (23)$$

其中: $\frac{1}{f} = 1 / \left[\frac{N_2 + N_3}{(1/f_1 - 1/f)} \right]$.

式(22)、(23) 表明, 以地铁公司收益最大化为目标的地铁票价高于系统净收益最大化为目标的票价, 高出的部分是 $\frac{1}{f} = 1 / \left[\frac{N_2 + N_3}{(1/f_1 - 1/f)} \right]$.

3 算例

本节用一个算例来支持前面的模型分析. 模型的输入参数如下: $(N, N_1, N_2) = (30, 20, 15)$ (元/h), $s = 4000$ (辆/h), $v_1 = 30$ (km/h), $v_2 = 20$ (km/h), $l = 5$ (km), $L = 30$ (km), $T = 0.2$ (h), $F = 0$, $F_{car} = 10$ (元), $c = 0.5$ (元/人), $\frac{1}{f} = 10^{-5}$ (元/单位拥挤), $\frac{1}{f_1} = 0.5$. 逆需求函数 $B(N) = -G \ln(N / N_{mx})$, 其中, $N_{mx} = 10000$. 随着 G 值增大, 需求对成本的弹性变小. 地铁车厢内拥挤函数 $g(n, x) = (x / v_2) (0.05 n^2 + 0.25 n)$.

图 2 反映了不同定价策略下, 各出行方式的人数随 G 值变化的情况. G 值增大, 总需求弹性变小, 两种定价策略所实现的总需求都单调增加, 但以系统净收益最大为目标的策略 (策略 I) 所实现的总需求稍微比以地铁公司收益最大为目标的策略 (策略 II) 所实现的总需求大, 显然, 需求弹性消失时, 两种策略的总需求结果趋于一致. 策略 II 所实现的地铁直达人数不如策略 I 多, 但对 G 值的敏感程度不高; 由于策略 II 采用了高地铁票价政策, 不仅使地铁直达人数少, 而且换乘的人数也远低于策略 I; 因此, 策略 II 导致了比较多的驾车直达出行人数.

有趣的是, 策略 II 并没有明显降低系统净收

益(相对于总值而言),见图 3. 我们还不清楚其中的原因,估计与算例的参数有关,但本算例至少说明,存在这样的可能性,即政府把地铁交给公司经营,公司以赢利为目的,虽然不能完全达到社会最优,但对系统净收益造成的损失并不大.

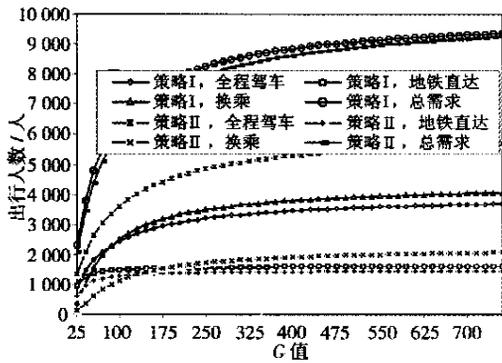


图 2 出行人数对 G 值的灵敏度分析

Fig. 2 Realized commuters by modes against G-value under different policies

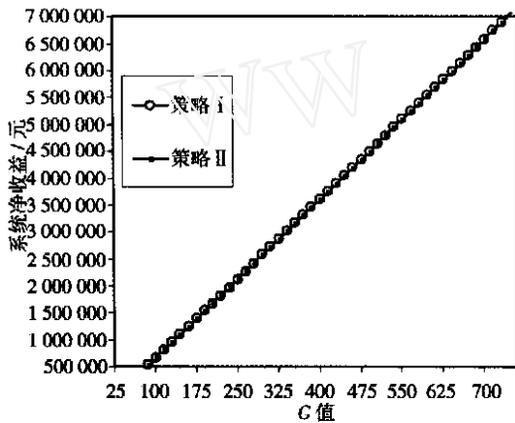


图 3 系统净收益对 G 值的灵敏度分析

Fig. 3 Net benefits of the system against G-value under different policies

图 4 给出了收费水平. 对于每一种出行方式,策略 II 的收费水平都高于策略 I. 在策略 II 下,

地铁直达的定价最高,其次是全程驾车和换乘;而在策略 I 下,虽然还是地铁直达的收费水平最高,但居第二位的是换乘,全程驾车最低. 这种收费分布情况与图 2 给出的出行人数分布是吻合的.

还可以改变其它一个或多个输入参数,做类似的灵敏度分析,获得更多有价值的结果.

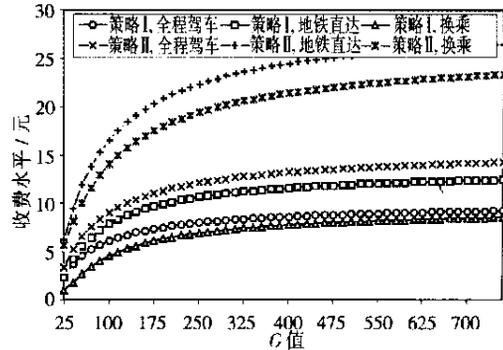


图 4 两种策略下对三种出行方式的定价

Fig. 4 Bills and fares against G-value under different policies

4 结 论

本文分析和比较了系统净收益最大和地铁公司收益最大两种情况下的停车场收费和地铁定价策略. 采用了基于 logit 的随机均衡方式选择模型来分析出行者在三种交通方式之间的决策,这三种方式分别是全程驾车、地铁直达和停车换乘. 研究发现,以地铁公司收益最大化为目标的地铁票价高于系统净收益最大化时的票价,它不利于鼓励使用地铁出行和换乘,但对系统净收益影响的相对值并不大.

本文只对停车场和地铁的票价进行了优化,还没有对地铁的服务水平进行分析,也没有考虑道路上车辆的运动拥挤和一般结构的铁路网络^[17],这些是我们正在进行的研究内容.

参 考 文 献:

[1] Yang H, Huang HJ. Principle of marginal-cost pricing: How does it work in a general road work [J]. Transportation Research A, 1998, 32(1): 45—54.
 [2] 吴子啸, 黄海军. 瓶颈道路使用收费的理论及模型[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(1): 130—135.
 Wu Zixiao, Huang Haijun. Theory and models of bottleneck road use pricing[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2000, 20(1): 130—135. (in Chinese)
 [3] 黄海军. 拥挤道路使用收费的研究进展和实践难题[J]. 中国科学基金, 2003, (4): 198—203.
 Huang Hai-jun. Research progress and practical difficulties of congested road use pricing[J]. Bulletin of National Natural Science

- Foundation of China, 2003, (4) : 198—203. (in Chinese)
- [4]Button KJ, Verhoef E T. Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility[M]. Cheltenham, Massachusetts: Edward Elgar Publishing Inc, 1998.
- [5]Verhoef E T, Nijkamp P, Rietveld P. The economics of regulatory parking policies: The (IM) possibilities of parking policies in traffic regulation[J]. Transportation Research Part A, 1995, 29(2) : 141—156.
- [6]Noel E C. Park-and-ride: Alive, well, and expanding in the United States[J]. Journal of Urban Planning and Developing, ASCE, 1988, 114(1) : 2—13.
- [7]Lam W H K, Nicholas M H, Lo H P. How park-and-ride schemes can be successful in Eastern Asia[J]. Journal of Urban Planning and Developing, ASCE, 2001, 127(2) : 63—78.
- [8]Yang H, Wang J Y T, Lindsey R. Locating and Pricing Park-and-Ride Facilities in a Linear Monocentric City[R]. Hong Kong University of Science and Technology, 2003.
- [9]Huang H J. Pricing and logit-based mode choice models of a transit and highway system with elastic demand[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 140(3) : 562—570.
- [10]黄海军, Bell M G H, 杨海. 公共与个体竞争交通系统的定价研究[J]. 管理科学学报, 1998, 1(2) : 17—23.
Huang Hai-jun, Bell M G H, Yang Hai. Pricing and modal split in a competitive system of mass transit and highway[J]. Journal of Management Sciences in China, 1998, 1(2) : 17—23. (in Chinese)
- [11]Tabuchi T. Bottleneck congestion and modal split[J]. Journal of Urban Economics, 1993, 34 : 414—431.
- [12]Arnott R, De Palma A, Lindsey R. Economics of a bottleneck[J]. Journal of Urban Economics, 1990, 27 : 111—130.
- [13]Arnott R, De Palma A, Lindsey R. Recent Developments in the Bottleneck Model[R]. Research Paper No. 9511, Canada: Dept of Economics, University of Alberta, Canada, 1995.
- [14]Vickrey W S. Congestion theory and transport investment[J]. American Economic Review, 1969, 34 : 414—431.
- [15]Huang H J. Fares and tolls in a competitive system with transit and highway: The case with two groups of commuters[J]. Transportation Research E, 2000, 36 : 267—284.
- [16]Oppenheim N. Urban Travel Demand Modeling: From Individuals Choices to General Equilibrium[M]. NY: John Wiley & Sons Inc, 1995.
- [17]四兵锋, 高自友. 合理制定铁路票价的优化模型及算法[J]. 管理科学学报, 2001, 4(2) : 45—51.
SI Bingfeng, GAO Zi-you. Model and algorithm for optimizing fares in railway network[J]. Journal of Management Sciences in China, 2001, 4(2) : 45—51. (in Chinese)

Mode choice models based on logit stochastic equilibrium in transportation systems with park-and-ride option

TIAN Qiong¹, HUANG Hai-jun¹, YANG Hai²

1. School of Economics & Management, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100083, China;
2. Department of Civil Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China

Abstract : This paper studies the mode choice problem in a transportation system that comprises a subway parallel to a bottleneck-constrained highway between a residential area and a work place. People can get their destination by either auto or transit mode only; besides these two modes, they can adopt the third one, i. e., firstly drive their cars to the bottleneck, park there and then take the subway to destination. Utilizing some outputs from the well-known bottleneck model, we propose several mode choice models that correspond to the logit-based stochastic equilibrium. It is shown that there exists a scheme with suitable subway ticket and parking fee, to implement the maximization of the system's total net benefit. There also exists a scheme that maximizes the subway's profit, but is valued with higher pricing level. Numerical results are presented for the model validation.

Key words : transport mode choice; bottleneck model; park-and-ride; logit-based stochastic equilibrium