

一种居住区位和通勤交通方式的组合选择模型*

陈科¹, 张殿业¹, 周家中¹, 陈军龙²

(1. 西南交通大学 交通运输与物流学院, 成都 610031; 2. 四川准达岩土工程有限公司, 成都 610091)

摘要: 为了研究通勤交通方式对就业者选择居住区位的影响, 基于交叉分层的 Logit 模型建立了居住区位和通勤交通方式的组合选择模型。以不同通勤距离为半径作居住区位选择环域集, 以通勤交通方式和居住区位的两两组合为模型选择项集合, 以就业者社会经济属性、居住成本、通勤成本为特征变量建立概率选择模型。根据调查数据, 采用阶段计算法对特征变量和模型参数进行标定和检验。测试结果表明: 通勤时间、通勤费用和居住成本与选择项关系密切; 收入较高且拥有小汽车的就业者对于居住区位选择的灵活性较大。

关键词: 交通工程; 居住区位; 通勤方式; 组合选择; 交叉分层的 Logit 模型

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)09-3248-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.09.012

Hybrid selection model for residential location and traffic communication modes

CHEN Ke¹, ZHANG Dian-ye¹, ZHOU Jia-zhong¹, CHEN Jun-long²

(1. College of Traffic & Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. Sichuan Zhunda Geotechnical Engineering Co. Ltd, Chengdu 610091, China)

Abstract: In order to research the effects of communication modes on residential location selection, this paper established a hybrid selection model of communication modes and residential location based on cross-nested Logit model. Taking ring fields with different commuting distance to be radius as residential location selection set, taking combination of two of commuting modes and residential location as model alternative set, taking social-economic attitude, housing costs and commuting costs of employees as characteristic variables, this paper constructed the probability choice model. By the survey data, the model employed stage calculation method to calibrate and test characteristic variables and model parameters. The result shows that commuting time, commuting cost and residential cost are the important factors with the selection model, and employees with higher incomes and cars are more flexible to residential location selection.

Key words: traffic engineering; residential location; commuting modes; hybrid selection; cross-nested Logit model

0 引言

通勤交通方式是影响就业者选择居住区位的关键因素。如何选择居住区位和通勤交通方式成为近年来研究的热点。目前关于居住区位和通勤交通方式选择的模型大多集中在已知居住地和就业地情况下的通勤交通方式选择, 对于通勤交通方式影响居住区位选择的研究相对较少, 现有模型主要分为三类:

a) 数学规划模型。一般以成本最小化或效益最大化为目标, 建立双层数学规划模型, 实现居住地和通勤交通方式的最优选择^[1-3]。

b) 多项 Logit (MNL) 和 nested Logit (NL) 模型。基于随机效用最大化理论建立随机效用模型, 研究就业者居住区位与通勤交通方式选择的相互关系^[4-7]。

c) 谈判机制模型。在认为居住地分布均衡的情况下, 将居住地选择与交通分配结合起来, 强调交通与居住地选择的相互作用^[8]。

以上研究极大地丰富了通勤交通方式影响居住区位选择

的相关理论, 但没有考虑到居住区位和通勤交通在相邻地域空间上的潜在空间相关性, 因此本文采用交叉分层 Logit (cross-nested Logit, CNL) 模型建立了居住区位和通勤交通方式的组合选择模型, 以期对就业者选择居住区位和通勤交通方式提供理论依据。

1 模型结构体系

就业者在选择居住区位时通常以就业区位为中心, 以通勤交通方式的适宜通勤距离为半径作可选择圆域, 圆域空间范围内的所有居住区构成了居住区的可选择集合。本文根据各种通勤交通方式适宜的通勤距离并结合成都市交通调查数据^[9], 将居住区位的集合分类为距离工作地半径小于 5 km 的圆域、半径 5 ~ 8 km 的环域、半径 8 ~ 15 km 的环域和半径大于 15 km 的环域等四种地域分类, 不同居住环域内有不同的主体通勤交通方式。考虑相邻空间环域具有潜在的空间相关性, 建立交叉分层 Logit 模型结构体系如图 1 所示。

不同通勤环域范围内的居住区位有不同的主体通勤交通方式, 将不同通勤环域的居住区位所对应的通勤交通方式进行

收稿日期: 2012-02-20; **修回日期:** 2012-03-26 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(51108390)

作者简介: 陈科(1985-), 男, 四川内江人, 博士研究生, 主要研究方向为城市交通分析(chenke_2013@126.com); 张殿业(1958-), 男, 辽宁鞍山人, 教授, 博导, 博士, 主要研究方向为城市交通分析、智能交通; 周家中(1987-), 男, 河南信阳人, 博士研究生, 主要研究方向为城市交通分析; 陈军龙(1979-), 男, 甘肃定西人, 工程师, 本科, 主要研究方向为智能交通。

组合构成模型选择项集合如表 1 所示。

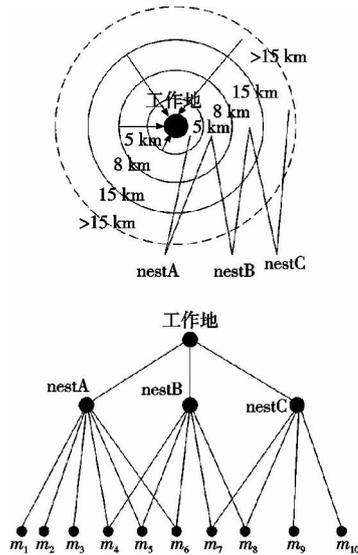


图1 交叉分层Logit模型结构体系

表 1 居住区位和通勤交通方式的组合选择集合

组合选择项	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
虚拟选择项	nestA	nestA	nestA	nestA、B	nestA、B
居住区位	<5 km	<5 km	<5 km	5~8 km	5~8 km
通勤方式	慢行交通	公共交通	小汽车	慢行交通	公共交通
组合选择项	m_6	m_7	m_8	m_9	m_{10}
虚拟选择项	nestA、B	nestB、C	nestB、C	nestC	nestC
居住区位	5~8 km	8~15 km	8~15 km	>15 km	>15 km
通勤方式	小汽车	公共交通	小汽车	公共交通	小汽车

2 组合选择模型的建立

2.1 模型特征变量

模型所涉及的特征变量可分为三类,如表 2 所示。

- a) 就业者社会经济属性,就业者性别、年龄、职业、学历、收入和小汽车拥有情况等;
- b) 居住成本,如购房房价或租房房租等,假设购房的货币按 30 年计算分摊到每日的金额与租房每日的租金相同;
- c) 通勤成本,包括通勤时间成本和费用成本。

表 2 模型特征变量定义

类别	变量名称	代码	变量类型	说明
就业者社会经济属性	性别	SX	分类变量	1 = 男性, 0 = 女性
	年龄	AG	分类变量	1 = 15~24 岁, 2 = 25~44 岁, 3 = 45~59 岁, 4 = 60+ 岁
	职业	LFS	分类变量	1 = 事业单位或国企, 2 = 私营企业或外企, 3 = 其他
	学历	LVED	分类变量	1 = 初中及以下, 2 = 高中, 3 = 大学及以上
	收入	INC	分类变量	1 = <1000, 2 = 1000~3000, 3 = 3000~5000, 4 = 5000~10000, 5 = >10000
居住成本	汽车拥有	CAR	分类变量	1 = 有车, 0 = 无车
居住成本	房价/房租	HP	连续变量	区域住房均价
	时间成本	TT	连续变量	实际值
通勤成本	费用成本	TC	连续变量	实际值

2.2 效用函数公式

就业者选择某个居住区位和通勤交通方式组合(m_i)的必要条件为可选择集合中 m_i 的综合效用最大,即

$$U_{m_i} > U_{m_j} \quad \forall i \neq j \quad (1)$$

$$U_{m_i} = V_{m_i} + \xi_{m_i} \quad (2)$$

其中: U_{m_i} 为组合选择项(m_i)的综合效用; V_{m_i} 为组合选择项(m_i)的确定效用; ξ_{m_i} 为组合选择项(m_i)的随机效用。

确定性效用为通勤出行者的社会经济属性(se_{m_i})、居住成本(hp_{m_i})和通勤成本(通勤时间(tt_{m_i})、通勤费用(tc_{m_i}))的函数,表达式如下:

$$V_{m_i} = f(se_{m_i}, hp_{m_i}, tt_{m_i}, tc_{m_i}) \quad (3)$$

2.3 组合选择概率模型的建立

以 M 为可选择的居住区位和通勤交通方式组合选择项的集合,则 $M = (m_1, m_2, \dots, m_6)$;以 N 为上层虚拟选择项的集合,则 $N = (\text{nestA}, \text{nestB}, \dots, \text{nestC})$ 。通勤出行者选择第 m_j 种组合选择项的概率为

$$P(m_j | M) = \sum_{m_j} P(N | M) P(m_j | N) \quad (4)$$

$$P(N | M) = \frac{(\sum_j \alpha_{jm} e^{u_m V_j})^{\frac{u_m}{u_m}}}{\sum_n (\sum_j \alpha_{jn} e^{u_n V_j})^{\frac{u_n}{u_n}}} \quad (5)$$

$$P(m_j | N) = \frac{\alpha_{jm} e^{u_m (V_j + \frac{1}{u_c} \ln \sum_{c \in S_m} e^{u_c c})}}{\sum_j \alpha_{jm} e^{u_m (V_j + \frac{1}{u_c} \ln \sum_{c \in S_m} e^{u_c c})}} \quad (6)$$

综合式(4)~(6)得出通勤出行者选择第 m_j 种居住区位和通勤交通方式组合选择项的概率为

$$P_{m_j} = \frac{\sum_{m=1}^M \{ (\alpha_{im} e^{V_i})^{u_m} [\sum_{k \in N_m} (\alpha_{km} e^{V_k})^{u_m}]^{\frac{1}{u_m} - 1} \}}{\sum_{m=1}^M \{ \sum_{k \in N_m} (\alpha_{km} e^{V_k})^{u_m} \}^{\frac{1}{u_m}}} \quad (7)$$

2.4 模型求解算法

设各组合选择项和虚拟选择项的综合效用分别为 U_{m_i} ($i = 1, 2, 3, \dots, 10$) 和 U_N ($N = \text{nestA}, \text{nestB}, \text{nestC}$)。以虚拟选择项 nestA 的 6 个组合选择项 $m_1 \sim m_6$ 的选择概率求解过程进行说明,步骤如下:

a) 确定存在共性的组合选择项的综合效用函数表达式。设 U_{mc} 为 6 个组合选择项综合效用函数的共性部分, $U_{m_1}' \sim U_{m_6}'$ 分别表示相异部分的效用函数,则有 $U_{m_1} = U_{mc} + U_{m_1}'$, $U_{m_2} = U_{mc} + U_{m_2}'$, \dots , $U_{m_6} = U_{mc} + U_{m_6}'$ 。它们组成虚拟选择项 A, 其综合效用函数定义为

$$U_A = \max(U_{m_1}, U_{m_2}, \dots, U_{m_6}) \quad (8)$$

令 $U_A' = \max(U_{m_1}', U_{m_2}', \dots, U_{m_6}')$, 则有 $U_A = U_{mc} + U_A'$ 。

b) 确定 U_A' 的概率密度函数表达式为

$$f'_A(x) = \prod_{m_i=1}^6 f'_{m_i}(x) \left[\frac{F'_{m_1}(x)}{f'_{m_1}(x)} + \frac{F'_{m_2}(x)}{f'_{m_2}(x)} + \dots + \frac{F'_{m_6}(x)}{f'_{m_6}(x)} \right] \quad (9)$$

其中: $f'_{m_i}(x)$ 、 $F'_{m_i}(x)$ 分别表示 U'_{m_i} 的概率密度函数和概率分布函数。假定 U'_{m_i} 的随机项 ε'_{m_i} 服从系数为 b 的同一个 Gumbel 分布,那么 U'_{m_i} 的概率密度函数、概率分布函数分别为

$$f'_{m_i}(x) = b e^{-b(x - V'_{m_i})} F'_{m_i}(x) \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (10)$$

$$F'_{m_i}(x) = \exp[-e^{-b(x - V'_{m_i})}] \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (11)$$

c) 确定 U_A' 的概率分布函数表达式。令 $V^* = \frac{1}{b} \ln$

$[e^{bV^* m_1} + e^{bV^* m_2} + \dots + e^{bV^* m_6}]$, 即 $e^{bV^*} = e^{bV^* m_1} + e^{bV^* m_2} + \dots + e^{bV^* m_6}$, 各项效用函数 U_{mc} 、 $U'_{m_1} \sim U'_{m_6}$ 、 U_A 的确定项分别为 V_{mc} 、

$V'_{m_1} \sim V'_{m_6}, V_A$, 可得:

$$f'_{A'}(x) = be^{-b(x-V^*)} \exp[-e^{-b(x-V^*)}] \quad (12)$$

从而得 $U_{A'}$ 的概率分布函数为

$$F'_{A'}(x) = \exp[-e^{-b(x-V^*)}] \quad (13)$$

此为 Gumbel 分布, V^* 为 $U_{A'}$ 的确定项, 记为 $V_{A'}$ 。

d) 确定虚拟选择项 A 的确定项 V_A 。

$$V_A = V_{mc} + V_{A'} = V_{mc} + \frac{1}{b} \ln[e^{bV'_{m_1}} + e^{bV'_{m_2}} + \dots + e^{bV'_{m_6}}] = \frac{1}{b} \ln[e^{bV'_{m_1}} + e^{bV'_{m_2}} + \dots + e^{bV'_{m_6}}] \quad (14)$$

e) 标定特征变量参数值和模型分配参数。

3 数据来源及参数标定

3.1 实验数据

根据《成都市综合交通调查报告》^[9] (2010) 关于全市 200 家企事业单位 15 000 名就业员工的调查数据, 如表 3 所示, 在 BIOGEME^[10] 中运行程序, 同时运用优化算法 CFSQP^[11] 提高运行速度得出特征变量参数值和模型分配参数如表 4、5 所示。

表 3 成都市就业者居住区位和通勤方式选择统计

居住区位		居住人数/人	平均通勤距离/km	通勤方式/%				居住成本/元/天
居住环境	通勤半径/km			慢行交通	公共交通	小汽车	其他	
二环以内	0~5	1 815	2.1	61.8	28.9	5.8	3.5	90
二环-三环	5~8	5 280	5.2	46.7	32.2	15.3	5.8	78
三环-四环	8~15	4 470	9.5	7.5	45.8	42.4	4.3	66
四环以外	>15	3 435	18.2	0	40.7	54.2	5.1	49

表 4 特征变量参数值及 t 检验值

特征变量	通勤时间	通勤费用	居住成本	性别	年龄	职业	学历
参数值	-0.002 4	-0.001 9	-0.002 1	0.000 1	-0.065	-0.101	0.023
t 检验值	-2.89	-3.2	-4.79	1.14	-1.45	-2.49	-7.88

特征变量	收入	小汽车拥有	nestA (u_1)	nestB (u_2)	nestC (u_3)	拟合优度(σ^2)
参数值	0.127	0.008 5	4.58	7.52	9.1	0.26
t 检验值	1.79	2.21	5.65	5.45	3.76	

表 5 模型分配参数

类别	α_{1A}	α_{2A}	α_{3A}	α_{4A}	α_{4B}	α_{5A}	α_{5B}
中心城	1.0	1.0	1.0	0.43	0.57	0.37	0.63

类别	α_{6A}	α_{6B}	α_{7B}	α_{7C}	α_{8B}	α_{8C}	α_{9C}	α_{10C}
中心城	0.46	0.54	0.04	0.96	0.99	0.01	1.0	1.0

表 4 中 u 为异质参数, 是各选择方案误差项的异变值。文中并没有对每一个选择项设置常数项, 是因为考虑到常数项设置过多, 反而会降低其所选取的影响变量对居住和出行选择影响的显著性, 造成模型的精度降低以及模型对出行行为的解释能力降低。根据 Ben-Akiva 等人为抵消每个选择项效用函数中的 $\ln \alpha_{im}$, 常数项设置为 0^[11]。模型的拟合优度 σ^2 为 0.26, 精度较高。标定参数中, 连续变量出行时间、出行费用以及房价参数值均为负, 与效用选择最大化理论一致; 个人属性变量中的性别对方式选择的影响不显著, 职业和收入对居住区位和通勤方式的影响较大, 收入越高越倾向于选择小汽车通勤交通方式。

表 5 中的模型分配参数 α_{im} 表示图 1 中下层选择项对上层

选择项(nestA、nestB、nestC)的影响程度, 其值越大表明影响程度越高。从模型参数值可以看出, 对于选择项 4、5、6, 相邻空间的潜在空间相关性较强。

3.2 结果分析

结果表明, 就业者选择居住区位一般是在就业区位一定的情况下, 以就业区位为圆心, 综合考虑居住成本和通勤成本两大因素下寻找最优的居住区位。

a) 通勤时间、通勤费用和居住成本与选择项被选择的概率成反比关系;

b) 收入较高且拥有小汽车的就业者对于居住区位选择的灵活性更大, 一般更倾向于关注居住品质;

c) 没有小汽车的就业者大多愿意选择离就业地更近的地方居住以减小通勤成本。

4 结束语

为解决相邻居住区域的潜在空间相关性, 本文基于交叉分层的 Logit 模型建立了居住区位和通勤方式的组合选择模型, 根据成都市中心区就业者交通调查数据对特征变量和模型参数进行了标定和检验。通勤交通方式仅仅是影响居住区位选择的众多因素中最重要的一项, 对于其他因素如居住环境、配套设施等因素对居住区位的影响还需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] MUTH R F. Cities and housing [M]. Chicago: The University of Chicago Press, 1969.
- [2] CHANG J S, MACKETT R L. A bi-level model of the relationship between transport and residential location [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2006, 40(2): 123-146.
- [3] PINJARI A R, BHAT C R, HENSHER D A. Residential self-selection effects in an activity time-use behavior model [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2009, 43(7): 729-748.
- [4] CHAUSHIE C. Structure issues and sources of bias on residential location and travel mode choice models [D]. Evanston: Northwestern University, 1981.
- [5] VEGA A, REYNOLDS-FEIGHAN A. A methodological framework for the study of residential location and travel-to-work mode choice under central and suburban employment destination patterns [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2009, 43(4): 401-419.
- [6] BHAT C R, GUO J. A mixed spatially correlated logit model: formulation and application to residential choice modeling [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2004, 38(2): 147-168.
- [7] 黄海军, 李志纯. 组合出行方式下的混合均衡分配模型及求解算法 [J]. *系统科学与数学*, 2006, 26(3): 352-361.
- [8] 张邻, 杜文, 郭倩倩. 城市居住地与交通系统关系的谈判机制模型 [J]. *交通运输工程学报*, 2010, 10(6): 102-111.
- [9] 金键, 陈科, 等. 成都市综合交通调查报告 [R]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- [10] BIERLAIRE M. BIOGEME: a free package for the estimation of discrete choice models [C] // Proc of the 3rd Swiss Transportation Research Conference. 2003.
- [11] BEN-AKIVA M, LENNAN S R. Discrete choice analysis: theory and application to travel demand [M]. Cambridge: MIT Press, 1985.