

文章编号:1671-8879(2014)03-0113-07

基于用地结构熵的广义熵重力模型

马 静¹,林贵宝¹,罗小强²

(1. 长安大学 公路学院,陕西 西安 710064; 2. 长安大学 建筑学院,陕西 西安 710061)

摘 要:针对重力模型存在区内出行量预测精度较低,以及采用非重力模型的方法单独估计区内出行量会导致与出行分布理论不一致的问题,在借鉴熵函数形式的基础上,考虑出行产生(吸引)量、出行成本和用地混合程度的影响,提出了基于用地结构熵的广义熵重力模型,构建了区内出行和区间出行一致的理论模型。以2008年西安市大规模居民出行调查数据为输入参数进行了应用研究,验证了模型的精度。研究表明:所构建模型对区间出行估计精度提高了19.56%,而对区内出行估计精度提高了36.44%;该模型将城市用地规划中的构成要素直接引入交通规划理论结构中,实现了土地利用与城市交通在规划理论和技术上的衔接,提高了交通规划的科学性。

关键词:交通工程;交通规划;出行分布;土地结构熵;广义熵重力模型

中图分类号:U491

文献标志码:A

Generalized entropy gravity model based on land-use structure entropy

MA Jing¹, LIN Gui-bao¹, LUO Xiao-qiang²

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. School of Architecture, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: Aimed at the fact that gravity model is low in prediction precision within an area, but other method to estimate separately area trip will lead to the inconsistency with trip distribution theory. To solve the problem, on basis of the entropy function, with consideration of the amount of trip generation/attraction, travel cost and the effect of mixed degree of land use. The generalized entropy gravity model was proposed based on the land-use structure entropy, the purpose of which was to obtain theoretical model between the area trip and interval trip. The theoretical model was verified by the trip survey data of Xi'an in 2008. The results show that estimation precision with the proposed model of interval trip is improved by 19.56%, and for the area trip, the precision is improved by 36.44%. The model directly introduces elements of urban land planning into traffic planning theory, which leads to connection of theory and technology between land use and urban traffic planning and improves the scientificity of traffic planning. 6 tabs, 2 figs, 12 refs.

Key words: traffic engineering; traffic planning; trip distribution; land structure entropy; generalized gravity model

收稿日期:2013-11-26

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013G1321042)

作者简介:马 静(1983-),女,陕西西安人,工学博士研究生,E-mail:icesmile1983@163.com。

0 引言

重力模型是交通规划中交通需求预测分析的重要模型,在理论和实践中均有广泛的应用。但重力模型对于较短距离的出行分布预测往往有较大误差,实践中区内出行一般来说距离均较短,如何合理地估计区内出行量往往较为困难^[1]。而这一问题的关键在于合理地设定区内阻抗初值^[2]。但无论对理论还是实践而言,如何标定重力模型区内阻抗的初值尚缺少合理的理论和实践方法研究成果^[3]。不少研究均以小区半径所对应的步行出行阻抗作为对区内阻抗的估计,这无疑将带来对重力模型理论的误解和错误实践^[4-5]。

由于在客流(交通流)网络分配技术中,交通小区收缩为无尺度的几何点,作为网络中流量的发(收)点。因此,区内出行量的大小看似对网络配流结果无贡献。但由于总出行率的控制,起着调节小区出行总量与区间联系量相对大小关系的重要作用,因此也间接地影响着网络配流的结果^[6]。

为此,本文应用信息熵函数、统计分析和重力模型方法研究了城市交通需求预测分析中的区内出行阻抗标定问题,并应用 2008 年西安市居民出行调查的实际数据进行了方法的应用研究,以提高重力模型预测准确性。

1 重力模型与阻抗函数简介

1.1 重力模型的起源

重力模型最早由 Casey(1955)提出,用来分析某一地区不同城镇间的购物行为。后经 Wilson(1967)、Ortuzar 等(1994)、Webber(1997)的研究,补充了信息熵的理论基础推导。虽然,重力模型本身的预测能力尚存在争议,但迄今为止重力模型还是理论基础最为雄厚和实践应用最广泛的出行分布预测模型^[7]。出于对人出行目的地选择行为决策的模拟,重力模型认为人的出行行为总是有 2 个方面的显著特征:①在相同情况下距离出发地点近的目的地被选择的机会较多,而较远目的地被选择的机会较少;②出发地发生量和目的地吸引量较大的点对之间形成较大出行量的机会较大。

而上述 2 个特征与经典物理学中的重力模型所描述的质点间引力关系保持一致。因此,学者便参照物理学引力公式构建了出行分布预测的重力模型,而该模型随后被证明可由信息论中的熵函数推导出来。通常重力模型可以表达为

$$t_{ij} = K \frac{G_i A_j}{f(c_{ij})} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中: t_{ij} 为从交通小区 i 到 j 的出行量(次/d); G_i 为交通小区 i 的出行发生量(次/d); A_j 为交通小区 j 的出行吸引量(次/d); c_{ij} 为从交通小区 i 到 j 的出行阻抗(元或 km),取值范围为 $0 < c_{ij} < 1$; K 为分布因子; $f(c_{ij})$ 为从交通小区 i 到 j 的阻抗函数。

通常阻抗函数 $f(c_{ij})$ 带有一个或多个需标定的参数。重力模型最明显的优点在于阻抗函数的引入,并且模型结构与直观相符,易于理解。预测不依赖于现状分布矩阵,在无完整现状分布资料时也能使用,目前应用最为广泛。但是由于模型阻抗函数对于区内出行不具有明确的实际意义,因此对区内出行数量估计不适用。

1.2 重力模型的标定

重力模型在使用以前必须经过标定,使得该模型能够很好地拟合基年出行分布数据。但经过标定的模型是否具有预测能力,目前尚存在争议^[8]。为了论述的一致性,约定所表述重力模型的阻抗函数形式均为指数函数,阻抗函数为

$$f(c_{ij}) = e^{bc_{ij}}$$

式中: b 为出行分布参数。

参数 b 属于外部参数,它需要作为未来运算时模型的输入。显然,对参数 b 的估计,必须使其能最大程度地再现观测出行距离分布(observed trip distance distribution, OTDD)。一种比较直观的办法就是任意给定 b 的初始值,运用双约束重力模型得到模型计算的估计出行距离分布(estimated trip distance distribution, ETDD),将它与 OTDD 比较并修正,不断重复直到 ETDD 与 OTDD 足够接近,这时的 b^* 就是 b 的最优估计值。在各类标定技术中,Hyman 法是比较实用的(Hyman 1968, Williams 1976),其主要步骤如下^[9]。

定义 C^* 为观测平均出行阻抗,计算公式为

$$C^* = \frac{\sum_{ij} t_{ij} c_{ij}}{\sum_{ij} t_{ij}} \quad (2)$$

定义 $C(b_n)$ 为第 n 次计算得到的平均出行阻抗,计算公式为

$$C(b_n) = \frac{\sum_{ij} t_{ij}(b_{n-1}) c_{ij}(b_{n-1})}{\sum_{ij} t_{ij}(b_{n-1})} \quad (3)$$

式(3)中其他变量对第 n 次的相应物理量为:

(1) 令 $n=0$, 并给定初始 $b_0 = \frac{1}{C^*}$;

(2) 令 $n=n+1$, 对当前估计 b_{n-1} 运用标准重力

模型计算出行矩阵,得到 $C(b_n)$;

(3) 判断,若 $\frac{|C(b_n) - C^*|}{C^*} \leq \delta$ ($\delta < 0.05$)

算法终止;否则转入(4);

(4) 若 $n = 1, b_1 = \frac{C(b_1)b_0}{C^*}$; 若 $n > 1, b_{n+1} = \frac{[C^* - C(b_{n-1})]b_{n-1} - [C^* - C(b_n)]b_n}{C(b_n) - C(b_{n-1})}$; 转入(3)。

类似地,其他阻抗函数(幂函数、指数函数、组合函数等)类型的重力模型也可以按上述方法标定。通常认为出行分布参数 b 在以出行耗时为阻抗因子的情况下,具有相当的稳定性。在没有特殊依据的情况下,可认为这样的出行终点选择特性在未来仍然被保持。

1.3 阻抗函数性质与区内出行预测的不适用性

由于阻抗函数是重力模型输出结果的主要控制。因此,为了进一步研究重力模型应用中的结构性偏移机理,首先要了解阻抗函数与出行距离的关系,负指数函数的关系如图 1 所示。

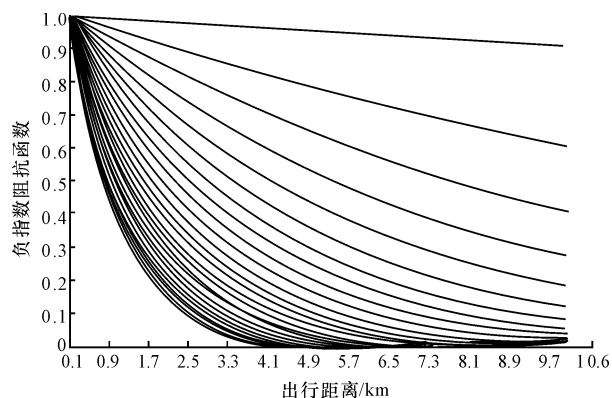


图 1 负指数阻抗函数 $e^{-bx_{ij}}$ 的参数变化特征

Fig. 1 Parameter variation of negative exponential impedance function $e^{-bx_{ij}}$

从图 1 中可以看出,当出行距离在(0.5, 1.0)km 范围内变化时,阻抗函数的取值在(0.38, 1)范围内变化。但事实上,在这样的出行距离范围以内,绝大多数人将会采用步行出行方式。而从国内外城市居民出行结构上来看,步行出行的比例一般在 [0.20, 0.25] 范围以内^[10]。这就说明至少负指数函数阻抗型的重力模型对短距离出行存在明显的高估。而这一问题单凭参数估计技术是难以解决的。这就意味着,Hyman 法中的参数标定结果将会由于短距离出行的高估而整体偏小。

出现这一问题的原因在于 Wilson(1967)、Ortuzar 等(1994)利用信息熵理论推导重力模型的过程中,对初始熵模型的等概率假设和定常条件 $\sum_{ij} t_{ij} c_{ij} = c$ 的引入(c 为常数)^[11]。而上述假设和条件在重力模型的

推导过程中具有核心作用,因此这样的系统误差难以避免。除非对区内出行采用非重力模型的方法进行估计。

2 基于用地结构熵的广义熵重力模型

由于重力模型对区内出行的估计值往往过高,一种可行解决办法就是采用非重力模型的方法来对区内出行进行另行估计,例如用相关因素进行回归分析。在估计区内出行量的基础上,再应用重力模型反推区内阻抗,最后将该区内阻抗作为区内出行分布的重力模型阻抗估计初值,再重新应用到重力模型中,对其进行整体标定^[12]。但假如遵循这样的分析方法,出行分布模型就难以取得一致的表达形式,同时还存在区内出行和区间出行 2 个系统的总量平衡问题。另外,如果按通常做法对区内出行量进行人为控制,将消减出行分布估计的客观意义和理论价值。为此,本文从重力模型的原始假设入手,构建能够一致估计区内、区间出行分布的新重力模型。

综合重力模型的假设条件来看,重力模型的建立关注了出行量大小以及出行成本在出行目的地选择过程中的作用,然而却忽略了不同目的出行对于目的地的指向性。而事实上,现代城市的用地差异化布局(例如功能分区和大型商业综合体的出现),必然导致这种指向性随着城市的演化越来越显著。

一般而言,人们在出行目的地选择的决策过程中,首先需要考虑出行目的,在出行目的考察的基础上才估计出行的成本,按照效用最大化的原则选择最终目的地。比如,以就学为目的的通勤出行难以与办公用地的吸引能力大小产生关系。这就意味着原始重力模型中以出行产生(吸引)规模、出行成本(即阻抗)为影响因素的模型本身没有将相关因素涵盖完备。为了描述用地布局差异性所造成的目的地选择制约现象,不妨引入新的参数来表达不同性质用地构成差异性对出行目的地选择的作用。

2.1 土地结构差异性的熵函数表达

从一般系统科学的角度来看,系统只要满足叠加原理,总可以利用形如式(4)的概率测度熵函数来唯一确定系统的构成状态^[12]。

$$S = -K \sum_i p_i \ln(p_i) \quad (4)$$

式中: S 为系统状态的概率测度熵; K 为比例系数; p_i 为系统中某个事件出现的概率测度,其满足 $p_i \geq 0, \sum_i p_i = 1$ 。

假如将构成交通小区 i 和 j 的用地类型划分为 n

种,那么就可以定义其中 k 类型用地出现的概率测度为 $p_{ij,k}$,表征交通小区 i 与 j 中属于类型 k 的用地在 2 个交通小区总用地构成中的比例,计算公式为

$$p_{ij,k} = \frac{A_{ij,k}r_{ij,k}}{\sum_k A_{ij,k}r_{ij,k}} \tag{5}$$

式中: $A_{ij,k}$ 为交通小区 i 与 j 中类型为 k 的用地面积(km^2); $r_{ij,k}$ 为交通小区 i 与 j 中类型为 k 的用地平均容积率,可按现状调查或规划限制值取平均值。

将式(5)代入式(4)中有

$$H_{ij} = -K_1 \sum_{k=1}^n (p_{ij,k} \ln(p_{ij,k})) \tag{6}$$

式中: H_{ij} 为交通小区 i 与 j 间的联合用地结构熵,表征 2 个交通小区之间出行产生(吸引)量相互平衡的可能性大小; K_1 为参数,与相关变量的采用单位有关。

联合用地结构熵根据参数变化如图 2 所示。

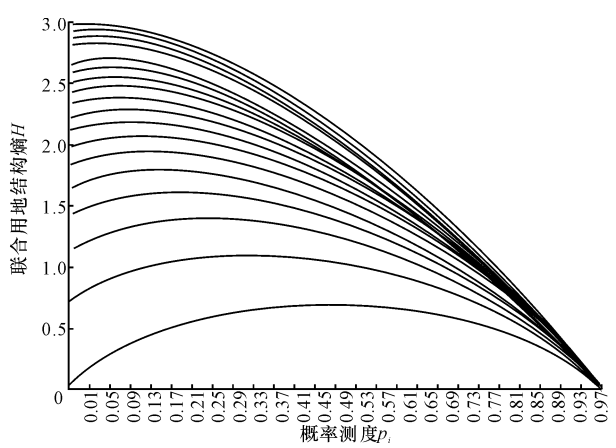


图 2 概率测度熵函数的参数变化特征

Fig. 2 Parameter variation of probability measure entropy function

2.2 广义熵重力模型的形式

假如认为交通小区 i 与 j 之间的出行量主要受出行产生(吸引)量、出行成本和用地混合程度的影响,那么可以构建广义熵重力模型的一般形式为

$$t_{ij} = f(G_i, A_j, c_{ij}, H_{ij}) \quad i, j = 1, 2, \cdots, n \tag{7}$$

借鉴一般重力模型的函数表达形式,可以将式(7)写成

$$t_{ij} = K_2 G_i^\alpha A_j^\beta H_{ij}^\gamma f(c_{ij}) \quad i, j = 1, 2, \cdots, n \tag{8}$$

式中: $K_2, \alpha, \beta, \gamma$ 为待定参数。

2.3 出行阻抗的标定

广义熵重力模型在应用之前应进行参数的标定,对式(8)两端取自然对数,得到

$$\begin{aligned} \ln(t_{ij}) &= \ln(K) + \alpha \ln(G_i) + \beta \ln(A_j) + \\ &\ln(f(c_{ij})) + \gamma \ln(H_{ij}) \end{aligned} \tag{9}$$

值得注意的是在上述估计的基础上,还应该用前述 Hyman 法对估计优度进行检验。

3 模型验证

为了判断上述广义熵重力模型的适用性,采用 2008 年西安市居民出行调查实际数据进行验证。作为一种可行的办法,不妨采用广义熵重力模型中的相关参数来验证估计结果。为了较为系统地说明该问题,下面的应用研究中分别对区内出行矩阵和全体出行矩阵作应用研究,以验证模型的适用性。

3.1 区内出行估计的可用性

在 2008 年西安市居民出行调查数据库中提取相关数据如表 1 所示。

表 1 2008 年实际调查数据

Tab. 1 Actual survey data in 2008

编号	名称	面积/ km^2	区内出行量/(人次 $\cdot \text{d}^{-1}$)	发生量/(人次 $\cdot \text{d}^{-1}$)	吸引量/(人次 $\cdot \text{d}^{-1}$)	出行成本/(min \cdot 人次 $^{-1}$)	用地混合熵
1	长延堡	6.88	184 077	523 979	510 569	18.5	3.338 7
2	长乐坊	0.67	49 549	167 183	161 084	5.8	-1.018 7
3	青年路	0.85	61 880	212 929	210 270	6.5	-0.887 7
4	朱雀路	2.32	212 243	675 725	656 421	10.7	-0.521 9
5	桃园路	2.93	88 177	265 727	261 146	12.1	0.234 2
6	十里堡	3.55	31 305	90 211	95 419	13.3	-0.333 7
7	韩森寨	2.57	88 886	262 271	253 816	11.3	0.378 1
8	太乙路	1.64	107 053	321 532	317 427	9.0	-0.393 0
9	汉城	11.63	30 026	91 396	86 447	24.1	-0.676 9
10	谭家	4.25	18 172	58 381	59 287	14.5	0.787 1
11	小寨路	6.78	273 738	568 326	599 112	18.4	8.388 0
12	长乐中路	2.64	98 622	264 641	264 895	11.5	0.654 0
13	西关	1.52	68 776	258 555	246 530	8.7	-0.551 6
14	草滩	32.59	39 632	96 949	96 000	40.3	10.916 0

续 表							
编号	名称	面积/km ²	区内出行量/(人次·d ⁻¹)	发生量/(人次·d ⁻¹)	吸引量/(人次·d ⁻¹)	出行成本/(min·人次 ⁻¹)	用地混合熵
15	胡家庙	1.80	65 218	249 315	238 218	9.5	−0.711 4
16	土门	1.23	85 040	234 244	227 842	7.8	−0.782 5
17	鱼化寨	13.02	40 274	98 505	105 082	25.4	0.365 0
18	红旗	5.52	51 724	141 342	141 486	16.6	−1.252 2
19	张家堡	5.15	129 144	441 548	433 938	16.0	2.477 2
20	红庙坡	2.93	73 163	185 639	182 972	12.1	−0.305 4
21	枣园	3.22	50 597	165 007	163 628	12.7	4.033 8
22	大明宫	3.63	52 947	199 383	199 599	13.4	0.419 2
23	席王	12.03	89 444	240 152	247 311	24.5	2.913 5
24	西一路	0.84	97 634	320 559	318 190	6.5	−0.948 1
25	张家堡	5.91	71 168	212 815	212 359	17.1	0.999 7
26	长安	8.56	32 591	122 720	122 384	20.6	0.129 4
27	兴隆	5.13	51 380	188 304	191 774	16.0	1.279 2
28	长乐西	0.86	43 710	135 169	137 556	6.5	−1.240 1
29	柏树林	0.77	57 070	235 450	249 607	6.2	−0.885 3
30	解放门	0.42	20 678	74 126	71 692	4.6	−0.607 1
31	丈八	11.01	87 531	153 730	194 338	23.4	9.919 1
32	曲江	12.95	18 173	65 896	75 985	25.4	0.671 5
33	未央宫	7.51	8 307	25 081	27 512	19.3	−0.183 6

来源:2008 年西安市居民出行调查数据库(长安大学,2009)。

参照式(9),应用 SPSS 软件对前 17 组数据进行多元线性回归分析,结果如表 2 所示。

表 2 SPSS 多元线性回归分析结果系数

Tab. 2 SPSS multiple linear regression analysis coefficients					
模型	非标准化系数		标准系数	参数检验	
	<i>B</i>	标准误差		<i>t</i>	Sig.
常量	−11.583	7.671	2.371	−1.510	0.141
ln(<i>G</i>)	0.443	1.930	0.367	0.230	0.820
ln(<i>A</i>)	0.543	1.928	0.454	0.282	0.780
ln(<i>H</i>)	0.443	0.638	0.138	1.355	0.185
ln(<i>C</i>)	0.350	0.547	0.119	1.004	0.127

根据表 2 的回归分析结果,可以得到式(8)的具体表达式为

$$t_{ij}=9.32\times10^{-6}G_i^{0.443}A_i^{0.543}H_j^{0.443}\cdot f(-0.35c_{ij})\quad i,j=1,2,\cdots,n$$

(10)

应用式(10)对后 16 组数据进行估计,估计结果的误差分析如表 3 所示。

从表 3 误差分析的结果来看,NG 模型的平均估计误差为 23.41%,GG 模型为 14.88%,精度提高了 36.44%。这充分说明了式(8)对区内出行的适用性。

表 3 区内出行估计误差计算

Tab. 3 Area trip estimation error calculation						
编号	名称	区内出行量/ (人次·d ⁻¹)	GG 估计值/ (人次·d ⁻¹)	GG 误 差/%	NG 估计值/ (人次·d ⁻¹)	NG 误 差/%
18	红旗	51 724	42 675	17.49	32 862	44.20
19	张家堡	129 144	152 083	17.76	110 700	12.13
20	红庙坡	73 163	57 790	21.01	45 288	48.24
21	枣园	50 597	61 373	21.30	39 936	17.37
22	大明宫	52 947	64 527	21.87	49 187	5.83
23	席王	89 444	87 011	2.72	55 763	38.71
24	西一路	97 634	96 585	1.07	87 205	11.80
25	张家堡	71 168	70 384	1.10	50 657	29.14
26	长安	32 591	39 411	20.93	26 960	14.28
27	兴隆	51 380	63 808	24.19	46 038	8.37
28	长乐西	43 710	41 226	5.68	35 321	20.35
29	柏树林	57 070	74 052	29.76	67 893	14.62
30	解放门	20 678	22 827	10.39	17 682	13.12
31	丈八	87 531	78 993	9.75	44 712	54.20
32	曲江	18 173	23 638	30.07	15 678	10.56
33	未央宫	8 307	8 556	3.00	5 515	32.63
平均估计误差				14.88		23.41

3.2 整体估计的可用性

由下页表 4,可得到 NG 模型的表达式为

$$t_{ij}=4.03\times10^{-5}G_i^{0.732}A_i^{0.763}\cdot f(-0.054c_{ij})\quad i,j=1,2,\cdots,n\quad (11)$$

表 4 NG 模型的 SPSS 多元线性回归分析结果

Tab. 4 SPSS multiple linear regression analysis results with NG model					
模型	非标准化系数		标准系数	参数检验	
	B	标准误差		t	Sig.
常量	-10.119	1.041		-9.724	0.000
ln(G)	0.732	0.059	0.303	12.446	0.000
ln(A)	0.763	0.060	0.308	12.656	0.000
c _{ij}	-0.054	0.003	-0.412	-16.872	0.000

根据表 5,可以得到 GG 模型的表达式为

$$t_{ij}=1.07\times10^{-4}G_i^{0.695}A_i^{0.736}\cdot H_{ij}^{0.004}f(-0.056c_{ij})\quad i,j=1,2,\cdots,n\quad (12)$$

表 6 总体出行矩阵估计误差计算

Tab. 6 Overall trip matrix estimation error calculation									
ID	c _{ij}	G _i	A _j	t _{ij}	H _{ij}	NG 估计	NG 误差/%	GG 估计	GG 误差/%
36 53	9.93	321 532	75 985	2 916	0.278 506	1 342	53.98	1 601	45.10
57 65	21.46	153 730	95 419	874	9.585 370	499	42.88	603	31.03
33 19	6.68	167 183	253 816	4 843	-0.640 559	2 487	48.64	2 972	38.64
33 31	4.86	167 183	249 607	4 772	-1.904 002	2 709	43.22	3 264	31.59
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
55 43	20.42	523 979	27 512	1 056	3.155 070	502	52.50	597	43.44
13 31	3.63	74 126	249 607	2 473	1.492 433	1 597	35.44	1 985	19.73
25 31	6.67	212 929	249 607	6 322	1.773 041	2 933	53.61	3 489	4.82
53 13	13.02	65 896	71 692	518	0.064 404	341	34.26	426	17.71
31 25	6.67	235 450	210 270	5 436	1.773 041	2 770	49.05	3 298	39.34
47 44	12.03	91 396	59 287	397	0.110 149	395	0.55	493	24.14
56 40	17.90	568 326	433 938	4 310	10.865 176	5 004	16.10	5 569	29.21
27 23	7.15	234 244	182 972	2 307	1.087 951	2 418	4.82	2 882	24.92
40 51	17.00	441 548	141 486	1 683	1.225 028	1 857	10.34	2 135	26.88
82 65	56.13	188 304	95 419	75	0.945 500	89	18.75	99	31.57
56 13	13.71	568 326	71 692	1 477	7.780 851	1 588	7.54	1 869	26.53
62 43	25.24	240 152	27 512	210	2.729 879	218	4.02	265	26.18
48 27	11.89	199 383	227 842	1 799	0.363 263	1 967	9.33	2 312	28.50
29 54	11.98	165 007	656 421	3 429	3.511 915	3 821	11.42	4 434	29.31
54 29	11.98	675 725	163 628	3 257	3.511 915	3 715	14.07	4 249	30.46
41 57	24.76	212 815	194 338	818	10.918 773	912	11.49	1 061	29.70
51 40	17.00	141 342	433 938	1 699	1.225 028	1 897	11.65	2 207	29.92
58 54	12.38	98 505	656 421	2 306	0.156 857	2 563	11.15	2 992	29.75
48 13	6.78	199 383	71 692	1 023	0.187 884	1 073	4.86	1 311	28.12
47 41	10.08	91 396	212 359	1 100	0.322 780	1 161	5.57	1 412	28.36
53 48	16.56	65 896	199 599	584	1.090 784	614	5.20	751	28.64
平均估计误差							23.47		19.10

从分析结果上来看,两者的拟合效果还是有一定差异的,NG 模型的平均估计误差为 23.74%,GG

表 5 GG 模型的 SPSS 多元线性回归分析结果					
Tab. 5 SPSS multiple linear regression analysis results with GG model					
模型	非标准化系数		标准系数	参数检验	
	B	标准误差		t	Sig.
常量	-9.673	1.025		-9.165	0.000
ln(G)	0.714	0.059	0.296	12.072	0.000
ln(A)	0.742	0.061	0.300	12.217	0.000
c _{ij}	-0.054	0.003	-0.414	-16.987	0.000
ln(H)	0.067	0.029	0.058	10.353	0.001

分别应用式(11)和式(12)对居民出行数据进行估计,对估计结果的误差分析如表 6 所示。

模型为 19.10%,精度提高了 19.56%。总的来看,参变量 H_{ij} 的引入对总重力模型的改善有效果,

但不如对区内出行估计的改善效果明显。

4 结 语

(1)引入用地结构描述性指标以后,出行分布模型能够用一致地形式逻辑来表达区内和区间出行,这对重力模型理论本身是极大的完善。

(2)尽管本文提出的模型对区间出行量的分布预测精度只提高了19.56%,但对区内出行预测精度提高了36.44%,十分显著。

(3)提出模型的意义绝不仅仅在于提高预测精度,更为重要的是,该模型将城市规划阶段的用地分布特征指标直接引入交通四阶段法中的交通分布阶段之中,从而对于用地结构控制和交通需求管理具有重要的理论意义和应用价值。

参考文献:

References:

- [1] Yu J, Jian L. Combined model of trip mode and destination[J]. Journal of Southeast University; English Edition, 2010, 26(4): 633-637.
- [2] Louis D G, Rodrigo T, Angel I, et al. Gravity model estimation with proxy variables and the impact of endogeneity on transportation planning [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2008, 43(2): 105-106.
- [3] Kitching T D, Simpson F. Model selection for modified gravity [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 2011, 369(195): 508-511.
- [4] Jamshid S. Road cost models for prefeasibility studies in developing countries[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2009, 15(4): 278-289.
- [5] Michael G J. The relationship between land use and intrazonal trip making behaviors: evidence and implications[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2006, 11(6): 432-446.
- [6] 张雄飞,李瑞敏,郭旭明,等.带转向延误的拥挤交通网络配流模型及算法[J].清华大学学报:自然科学版,2012,5(26):848-863.
ZHANG Xiong-fei, LI Rui-min, GUO Xu-ming, et al. Traffic assignment problem model with turning delays

for congested networks[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2012, 52(6): 848-863. (in Chinese)

- [7] 朱顺应,管菊香,王 红,等.交通分布预测模糊重力模型[J].东南大学学报:自然科学版,2008,38(4): 727-731.
ZHU Shun-ying, GUAN Ju-xiang, WANG-Hong, et al. Fuzzy gravity model of traffic distribution forecast [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2008, 38(4): 727-731. (in Chinese)
- [8] 曲昭伟,姚荣涵,王殿海.基于最大信息熵原理的居民出行分布模型[J].吉林大学学报:工学版,2003,33(2):15-19.
QU Zhao-wei, YAO Rong-han, WANG Dian-hai. Inhabits trip distribution model based on maximum information entropy theory[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2003, 33(2): 15-19. (in Chinese)
- [9] Segn G, Lee K, Park J S, et al. Modification of the gravity model and application to the metropolitan Seoul subway system[J]. Physical Review, 2012, 86(2): 134-139.
- [10] 云美萍,张 元,周 媛,等.出行弹性概念及其应用[J].同济大学学报:自然科学版,2013,41(9):1360-1365.
YUN Mei-ping, ZHANG Yuan, ZHOU Yuan, et al. Conception of travel elasticity and its application[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2013, 41(9): 1360-1365. (in Chinese)
- [11] 周雪梅,曲大义,贾洪飞.信息化条件下的城市交通需求预测[J].长安大学学报:自然科学版,2003,23(3): 88-90.
ZHOU Xue-mei, QU Da-yi, JIA Hong-fei. Urban transportation demands prediction information society [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(3): 88-90. (in Chinese)
- [12] 姚荣涵,王殿海.居民出行分布的熵模型及其参数标定[J].交通运输工程学报,2005,5(4):106-110.
YAO Rong-han, WANG Dian-hai. Entropy models of inhabitant distributions and parameters calibration [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(4): 106-110. (in Chinese)

