

出行分布预测模型及其系数标定算法研究

张宝磊,任军号,巩岁平

(西北工业大学 自动化学院,陕西 西安 710072)

摘要:居民出行分布预测是城市交通需求分析中的一个重要环节,对城市交通需求分析起着承前启后的作用。预测模型中交通阻抗函数的选择和相关系数的标定是重点和难点,关系着整个模型的收敛性与精确性。通过对常用的出行分布模型以及交通阻抗函数的特点和适用条件比较和分析,明确预测模型和交通阻抗函数的选择依据。选择双约束重力模型作为预测模型,选取符合大中城市交通现状的指数型函数作为交通阻抗函数,并提出运用迭代标定算法对模型中相关系数进行标定,给出了算法关键步骤。结合西安市碑林区内交通情况对试模型和算法进行测试,结果显示模型具有很好的适应性和收敛性,算法具有较高的效率和精确度。

关键词:城市交通;迭代标定算法;双约束重力模型;出行分布预测

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)04-0021-04

Forecast Model of Trip Distribution and Coefficient Calibration Algorithm

ZHANG Bao-lei, REN Jun-hao, GONG Sui-ping

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The forecast of inhabitant trip distribution is an important part, and play a connecting role, in analysis of city traffic demand. Selecting traffic impedance function and the relative coefficient calibration which affect the convergence and exactitude of the whole model are significant and difficult. Discusses several frequently-used trip distribution models and traffic impedance functions, compares their characteristics and applicable conditions, and determines the basis for selection of forecast model and traffic impedance function. Then selects double-restriction gravity model as the forecast model, and the index function which is suitable to medium-sized cities as the traffic impedance function, and brings forward iterative calibration algorithm to determine the relative coefficient, displays key steps of the algorithm. In the end the model and the algorithm is tested by applying to Beilin District in Xi'an city, the results show that the model has the ability of better adaptation and convergence, and the algorithm has the advantage of more efficient and exactitude.

Key words: urban traffic; iterative calibration algorithm; double-restriction gravity model; inhabitant trip distribution forecast

0 引言

城市居民出行预测是将城市内部各个交通小区特征年的出行发生量、吸引量转化为对应各交通小区之间的出行交换量的过程,即要得到由出行生成模型预测的各出行端交通量与区间出行交换量的关系问题^[1]。

对城市居民出行分布的预测方法模型不胜枚举,但城市交通系统与居民的出行呈现出高度的非线性关系,这给相关模型系统数的标定带来了极大的不便,同时也影响着预测模型的精确性和收敛性。因此,在对

城市交通分布预测的过程中,模型的选择和模型系数的确定显得十分重要。

1 城市居民出行分布预测模型

1.1 增长系数模型

增长系数模型属于增长法,它包括均衡增长率模型、平均增长率模型、底特律模型(Detroit法或D法)、弗雷特模型(Frator法或F法)等^[2]。

增长系数模型易于被理解,且直接使用观测出行矩阵(OD矩阵)来预测出行增长,其理论基础是假定观测到的出行量的全部或部分都有一致稳定的增长率,并且出行分析模式现在和将来变化不大。

这正是增长系数法的不足之处,它仅仅适用于规划区域交通情况变化不大的短期预测,对于中、长期区域交通网络规划或交通基础设施变化较大时显得有点不适合。

收稿日期:2010-08-28;修回日期:2010-11-21

基金项目:陕西省重点科技计划资助项目(2010KRM18)

作者简介:张宝磊(1984-),男,河南杞县人,硕士研究生,研究方向为系统建模与仿真、复杂网络优化、城市交通管理;任军号,教授,硕士生导师,研究方向为管理系统工程、区域经济、行政管理。

1.2 综合法

综合交通分布模型主要包括两种,即介入机会模型^[3](intervening opportunity model)和重力分布模型(gravity model)。介入机会模型最早是由 Stouffer 于 1940 年提出的,它用于预测居民住宅的分配,但现代形式的介入机会模型是由 Schreder 于 1959 年提出的。基本思路是从某交通小区发生的出行机会数与到达机会数成正比的按距离从近到远的顺序到达目的地,它是随机概率模型之一,其中到达机会在购物出行时可视为商店或商店面积等。

2 重力模型

2.1 重力模型的概念

重力模型基于牛顿的重力法则,出行分布与小区的交通产生量、吸引量和小区之间的交通方便程度等因素相关。它基本的假设是:交通小区 i 与 j 间的出行分布量与小区 i 的出行发生量、小区 j 的出行吸引量成正比,与小区 i 和 j 之间的交通阻抗成反比。重力模型综合考虑了影响出行分布的区域社会经济增长因素和出行空间、时间阻碍等因素^[4],是国内交通规划中使用最广泛的方法,宜以在交通小区为单位的集合水平上进行标定预测,且交通小区的面积不宜划分得过小。

2.2 双约束重力模型

双约束重力模型^[5]的表达式如下:

$$q_{ij} = K_i \times K_j \times P_i \times A_j \times f(R_{ij}) \quad (1)$$

满足小区交通产生量与吸引量与交通总量之间约束条件:

$$P_i = \sum_j q_{ij} \quad (2)$$

$$A_j = \sum_i q_{ij} \quad (3)$$

P_i 、 A_j 、 $f(R_{ij})$ 分别为交通产生量、交通吸引量和交通阻抗函数;

K_i 、 K_j ——模型平衡系数(K_i 、 K_j 分别是 1 行 n 列的矩阵,但意义不同,此处用不同的下标区分)。

可以将(1)式变形为:

$$\sum_j q_{ij} = \sum_j K_i \times K_j \times P_i \times A_j \times f(R_{ij}) \quad (4)$$

将条件(2)代入(4)式整理后可得到:

$$K_i = (\sum_j K_j \times A_j \times f(R_{ij}))^{-1} \quad (5)$$

同样的方法将(3)式与(1)式结合可以得到:

$$K_j = (\sum_i K_i \times P_i \times f(R_{ij}))^{-1} \quad (6)$$

把(5)、(6)式作为重力模型的约束条件,就得到双约束的重力模型。

在城市交通管理规划实践中,双约束重力模型较为成熟、有效,适用了中长期(5~20年)交通规划预测,在对居民出行分布预测方面得到了广泛的应用。运用双约束重力模型的重点和难点在于交通阻抗函数

$f(R_{ij})$ 和模型平衡系数 K_i 、 K_j 的确定上,因为这很大程度上影响着模型的精确度和收敛性。

2.3 交通阻抗函数

1) 交通阻抗。

交通阻抗反映交通小区间的出行阻力,影响这种阻力的因素通常有道路状况、交通方式选择、出行费用和社会经济条件等。为了研究的方便,将出行阻力统一转化为居民出行的时间代价(时间价值),用时间、费用、综合性的广义费用作为参数测度。这种时间价值的计算方法有生产法、收入法和非集计模型^[6],非集计模型是出行行为预测中常用的一种模型,针对出行时间价值计算,模型的效用函数考虑出行时耗和费用两个变量,其效用函数为:

$$V_k = \alpha + \beta_1 t_k + \beta_2 c_k$$

式中 V_k 为出行者选择第 k 种交通方式的效用, t_k 、 c_k 分别为第 k 种交通方式的出行时耗和费用, α 、 β_1 、 β_2 分别为待定参数。

选择第 k 种交通方式的出行时间价值表示为:

$$\text{vot}(k) = \frac{\partial V / \partial t}{\partial V / \partial c} = \frac{\beta_2}{\beta_1}$$

则交通小区间的交通阻抗可以表示为:

$$R_{ij} = \frac{1}{n} \sum_k \text{vot}(k)$$

式中 R_{ij} 为交通小区 i 与交通小区 j 之间的交通阻抗, n 为交通小区 i 到交通小区 j 间可供选择的交通方式数目。

2) 指数型函数。

交通阻抗函数以交通小区间的交通阻抗为自变量,用于拟合出行分布与出行代价的关系,体现了小区间的交通阻力的一种函数关系。实践证明交通阻抗函数的综合性越强,所包含的因素越多,模型越精确,但交通阻抗函数的复杂性与模型的收敛性是一对反比关系。

目前常用的交通阻抗函数有幂型函数、指数函数、幂与指数复合型函数和半钟型函数四种形式。幂型函数、指数函数的形式相对简单,函数中选定系数一般运用线性回归的方法即可标定得出;幂与指数复合型、半钟型函数形式复杂、参数较多,为系数的标定带来了一定的难度,一般用改进的线性回归法或最小二乘法^[7]拟合标定。

$$f(R_{ij}) = \exp(-b \times R_{ij})$$

R_{ij} 为小区间交通阻抗, b 为待定系数。一般来讲,幂型函数适用于拟合步行出行的分布,而指数型、幂与指数复合型函数适用于自行车、公共交通等出行方式,比较适合于拥有大量自行车数目和居民出行以公共交通为主的城市。

3 双约束重力模型平衡系数标定方法

城市居民出行分布的研究,城市居民出行方式一般以公共交通为主,因此选用指数型函数作为交通阻抗函数。运用双约束重力预测模型需要确定平衡系数 K_i 、 K_j 以及指数型交通阻抗函数中的系数 b 。对于系数的标定可以采用搜索法^[8],但标定迅速变慢。文中提出迭代标定算法对以上系数进行标定。在进行对重力模型平衡系数与交通阻抗函数中系数标定时必须掌握两组重要基础数据,即实际调查或测量到的最近城市交通小区间的PA矩阵和交通阻抗矩阵。城市交通小区的PA矩阵一般可用实际调查法、抽样推测法和城市用地估算法^[9]得到。城市交通小区间的交通阻抗的确定以小区间的出行代价为基础,为了量纲上的统一,一般将影响出行的各个因素转化为时间代价^[10,11]作为出行代价。

3.1 系数迭代标定算法描述

运用迭代法对双约束重力模型中的相关参数进行标定,首先应准备好实际调查PA矩阵^[12],以及实际测算得到的小区间交通阻抗矩阵 $R = \{R_{ij}\}$ 。

1) 确定交通阻抗函数中的 b 的初值,文中令 $b=1$,因为若赋 b 的初值为0,则交通阻抗函数中交通小区间交通阻抗 R_{ij} 就会失去意义。

2) 由 b 的初值计算 $f(R_{ij})$ 。令平衡系数矩阵初值 $K_j = 1, K_i = K_j$,将其代入(5)式计算得出 K_i' ,将 K_i' 代入(6)式计算得出 K_j ,再将此时得到的 K_j 代入(5)式计算出第二个 K_i ,计算 K_j' 、 K_j 以及 K_i' 、 K_i 之间的误差 w 。如果没有达到误差要求 w ,更新 K_j' 的值,令 $K_j' = K_j$ 继续迭代计算,直至达到误差要求的范围。

3) 由实际调查得到的PA矩阵,计算实际平均交

通阻抗 $R = \frac{\sum_i \sum_j q_{ij} R_{ij}}{\sum_i \sum_j q_{ij}}$;将2)步上中迭代得到的 K_i 、 K_j

平衡系数矩阵代入(1)式计算新的城市交通分布矩阵

$\{q_i'\}$,并计算平均交通阻抗 $R' = \frac{\sum_i \sum_j q_{ij}' R_{ij}}{\sum_i \sum_j q_{ij}'}$ 。

4) 计算平均阻抗误差 $\delta = \frac{R' - R}{R}$,当 $|\delta| \leq \varepsilon$ (ε 为模型所要求的误差)时,终止迭代过程;若 $\delta > +\varepsilon$,说明 $R' < R$,令 $b = b - 0.01$ (以步长为0.01迭代),并返回2)执行;若 $\delta < -\varepsilon$ 时,说明 $R' > R$,令 $b = b + 0.01$,并返回2)执行。重复迭代,直至误差满足 $|\delta| \leq \varepsilon$ 条件。

3.2 迭代标定算法的实现

将参数迭代标定算法运用Matlab软件编程实现^[13],其程序流程如图1所示,流程图中省去了读取

实际数据文件的部分,读取文件的方法和过程很多,此处不再叙述。

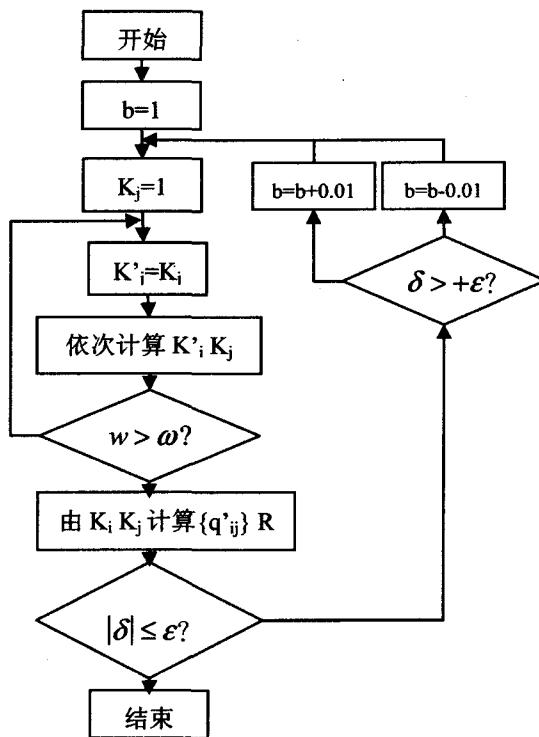


图1 系数迭代标定算法流程图

4 实例分析

文中运用西安市碑林区2008年的调查数据,该市居民出行选择自行车和公共交通的比例较高,占总出行方式的57.15%。对双约束重力模型中相关参数的标定,以土地利用和居民特征为依据将城区划分为10交通小区。城市各交通小区的PA矩阵和交通小区间的交通阻抗矩阵分别如表1、表2所示。

表1 城区内交通小区PA矩阵

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	11523	4167	1385	2004	3149	1831	1899	1103	1006	1163
2	4305	17051	5245	3569	6846	1530	6225	4601	1646	5632
3	1264	5587	18918	1669	2038	622	3468	1297	823	2881
4	2005	3774	1634	13153	2508	494	991	2441	1447	2041
5	3164	6903	1927	2594	20114	879	1710	2221	5031	1095
6	1903	1469	653	588	1117	4869	411	211	538	944
7	1870	6440	3427	1128	1702	438	17434	937	1215	3203
8	1189	4546	1275	2904	2195	213	633	7928	3396	1374
9	1092	1847	743	1362	4768	621	1180	3007	6928	1329
10	1258	5773	3017	2128	1127	1022	3342	1424	1326	15247

迭代算法在Matlab软件中运行,首先设置 $\omega = 0.01$, $\varepsilon = 0.005$,并记录平均阻抗误差 δ 与程序对阻抗函数系数 b 的迭代次数之间的关系。运行结果如图2所示,横坐标为程序运行次数,纵坐标为 δ 。从图2中可以看出当平均阻抗误差控制在0.5%时,对阻抗系数

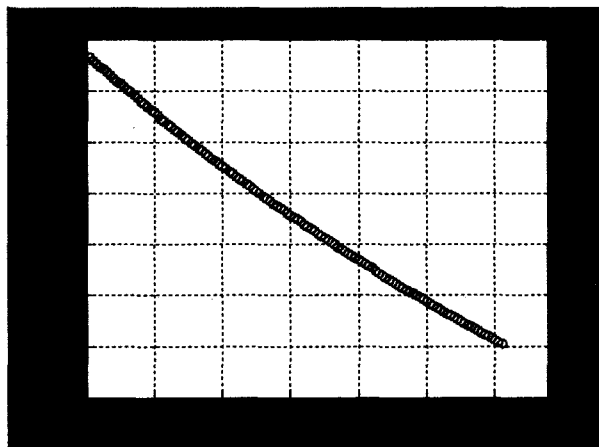
表 3 平衡系数矩阵计算结果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_i \times 10^7$	21.975	11.150	7.1347	5.3277	4.1783	3.4079	2.9082	2.4900	2.1708	1.9058
K_j	3.5726	1.8135	1.1616	0.8675	0.6803	0.5548	0.4735	0.4055	0.3536	0.3105

的迭代次数在 140 次之内就可以完成,很快就能得到阻抗系数 $b = -0.22$, 以及模型的平衡系数矩阵 K_i 、 K_j (如表 3 所示), 从而可以获得该市的交通阻抗函数和交通 PA 矩阵, 为接下来城市居民出行方式划分和交通分配准备了充分可靠的数据支持。

表 2 城区内交通小区间交通阻抗矩阵

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	0.85	1.83	1.35	1.13	0.98	1.22	2.36	2.07	2.60
2	0.85	0.00	0.99	0.77	1.57	1.81	1.09	1.85	2.15	2.22
3	1.83	0.99	0.00	1.14	2.46	2.80	1.50	1.86	2.76	1.96
4	1.35	0.77	1.14	0.00	1.46	2.11	1.86	1.08	1.62	2.87
5	1.13	1.57	2.46	1.46	0.00	1.04	2.33	2.03	1.08	3.67
6	0.98	1.81	2.80	2.11	1.04	0.00	2.05	2.95	2.11	3.43
7	1.22	1.09	1.50	1.86	2.33	2.05	0.00	2.93	3.14	1.39
8	2.36	1.85	1.86	1.08	2.03	2.95	2.93	0.00	1.51	3.79
9	2.07	2.15	2.76	1.62	1.08	2.11	3.14	1.51	0.00	4.37
10	2.60	2.22	1.96	2.87	3.67	3.43	1.39	3.79	4.37	0.00

图 2 平均阻抗误差 δ 与算法迭代次数的关系

由以上结论可以得出,用迭代算法对双约束重力模型中平衡系数以及阻抗函数系数的标定,具有很好的收敛性和较高的精确性,能够将误差控制在较低的水平。同时,由图 2 可以看出该算法具有较高的效率性,无需迭代过多的次数就可以使相关系数达到所期望的误差范围。

5 结束语

双约束重力模型是适合于对城市中远期(5~20

年)居民出行分布预测,交通阻抗函数的选择取决于所研究城市交通的基本状况,即各种交通方式的大致分布状况。指数型交通阻抗函数有着结构简单、标定相对方便的特点,且适合用于研究以自行车和公共交通为主要出行方式的大中城市。

用迭代标定法对模型中平衡系数与交通阻抗函数系数的标定,具有很好的收敛性和快速性,同时也提高了模型的精确性,提高了双约束重力模型应用于城市中、远期交通分布预测的科学性与合理性。

参考文献:

- [1] 王 炜. 城市交通规划管理指南[M]. 北京:人民交通出版社,2003:23-201.
- [2] 黎华林. 增长系数法与 Fratar 法的类比分析[J]. 中国水运(学术版),2007(3):126-127.
- [3] 陈大鹏,王 栋,李武胜,等. OD 交通量的估计方法[J]. 交通科技与经济,2007,43(5):77-78.
- [4] Zhu Shunying, Guan Juxiang, Wang Hong, et al. Fuzzy gravity model of traffic distribution forecast[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2008, 38(4): 727-731.
- [5] Leonnie N D, Attahiru S A, Afifi H S. The reliability of using the gravity model for forecasting trip distribution[J]. Transportation, 1987, 14(3): 175-193.
- [6] 王群凤,王晓原,苏跃江. 基于非集计模型的交通需求预测方法[J]. 山东理工大学学报(自然科学版),2009(2):7-12.
- [7] 冯天祥. 数值计算方法理论与实践研究[M]. 成都:西南交通大学出版社,2005:111-117.
- [8] 达庆东,张国伍. 交通分布与熵[J]. 公路交通科技,1999(16):37-38.
- [9] 罗志忠. 基于土地利用的城市交通需求分析研究[D]. 西安:长安大学,2006:41-57.
- [10] 黄海波,何 琳. 城市间旅客运输需求研究[J]. 铁道学报,1999,21(5):5-9.
- [11] Becher G S. A Theory of the Allocation of Time[J]. Economic Journal, 1965, 75: 93-517.
- [12] 朱志坚,程 琳. OD 矩阵与 PA 矩阵辨析[J]. 交通标准化,2006(10):161-163.
- [13] 李文华,周传杰. 大数据文件编辑器的设计与实现[J]. 电脑开发与应用,2008(11):61-62.