

文章编号: 1002-0268 (2004) 05-0117-04

基于 GIS 的城市公交出行时间链研究

杨明, 王伟, 陈学武, 蒋大治

(东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 分析城市公交网络的各种空间实体数据和属性数据, 建立了基于 GIS 的公交网络信息数据库。利用 GIS 空间分析与决策功能, 分析研究乘客公交出行时间链, 采用 Logit 反推模型, 结合苏州市公交规划调查数据, 回归计算出公交出行时间链各部分权重值。公交出行时间链的研究是公交网络配流及网络优化的理论基础, 其权重值的分析计算具有重要的实用意义。

关键词: 地理信息系统; 城市公交规划; 客流分配; 出行时间链

中图分类号: U491.17

文献标识码: A

Research on Transit Trip Time Chain Based on GIS Technology

YANG Ming, WANG Wei, CHEN Xue-wu, JIANG Da-zhi

(Transportation College Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

Abstract: The paper analyses the spatial data and attribute data of urban transit network and builds the urban transit information database based on GIS technology. By using the analysis and decision-making function of GIS, the paper analyzes the transit trip time chain and takes the Logit model to regress and calculate the time weights of the chain with the survey data of Suzhou city. Researching on transit time chain is the basic theory of traffic assignment, which has important value.

Key words: GIS; Urban transit planning; Transit assignment; Time chain

地理信息系统 (GIS) 作为一种先进、有效的工具, 在很多领域的应用取得了成功。GIS 技术的发展注重于对空间决策的支持, 具有强大的空间分析与决策功能。由于公交网络的特殊性, 它不同于一般公路网络, 是一种基于人的活动的载体, 网络本身涵盖了庞大的信息数据库。在这种情况下, 在公交基础信息系统中引入 GIS 成为一种必然。而且 GIS 技术在我国城市相关领域的应用, 为 GIS 技术在公共交通系统中的应用提供了较好的数据基础。公交网络配流技术一直是困扰国内外学者的难题, 公交网络本身的特殊性与复杂性, 使得传统网络配流技术难以适用于公交网络。研究公交出行时间链的目的在于应用于公交网络出行阻抗的计算, 而公交网络出行阻抗的计算是公交网络配流的基础。本文借助 GIS 技术, 研究基于 GIS 的公交网络信息数据库, 并借助其强大的空间分析决

策能力, 对公交出行时间链进行分析及权重的回归计算。

1 基于 GIS 的公交网络信息数据库的建立

建立公交 GIS 数据库必须收集大量有关信息, 比如公交场站信息、公交线路信息、线路客流量、人口分布和道路网布局等, 掌握这些信息有利于进行科学合理的规划。基于 GIS 的城市公交网络信息数据库包括空间数据库和属性数据库两部分, 属性数据库存储和空间数据库中的空间实体相关的属性特征。因此, 建成以后的网络信息数据库包括图形实体数据和属性数据库两大部分。

在 GIS 软件中建立空间数据库主要有两种方法^[1]: 数字化或从已有软件中转入。数字化又可分为数字化仪输入和扫描自动 (或手动) 数字化。数字化

收稿日期: 2003-03-31

基金项目: 国家十五科技攻关项目资助

作者简介: 杨明 (1977-), 男, 江苏扬中人, 硕士研究生, 研究方向为交通规划与管理。

可以直接在 GIS 软件中进行,或在 CAD (如 AUTO-CAD) 中进行再转入 GIS 软件。建立空间数据库时点、线、面要分别输入建库,存储在不同的文件中。属性数据库在当前常用的各种关系数据库 (如 ACCESS、FOXPRO、ORACLE 等) 中建立,大部分 GIS 软件都有和常用数据库相联接的能力。一般来讲,从公交网络规划和管理的需要出发,公交基础数据可分为 4 类^[2]: 公交网络数据、公交客流数据、公交行车数据和其他数据,具体框架结构如图 1 所示。本文按照 GIS 标准化的要求,使用 GIS 软件 MapInfo 和关系数据库 Access 建立了苏州市公交网络信息数据库,为城市公交出行时间链的研究确立了数据基础。

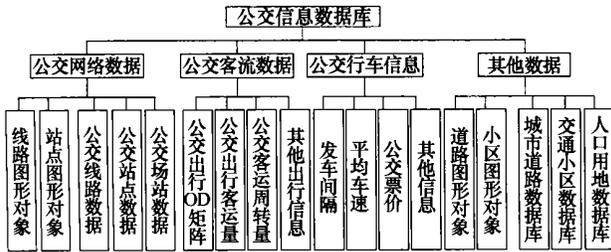


图 1 公交基础信息数据库结构

2 公交出行时间链分析

公交网络配流技术研究的关键在于对乘客公交出行阻抗的研究。公交出行阻抗一般采用如下函数式计算

$$R_k = C_m T_k + \Psi(L_k, P_k)$$

式中, R_k 为交通阻抗值, 元; C_m 为时间价值, 取用相应年度的居民人均国民收入值, 元/h; T_k 为公交出行总时间; $\Psi(\cdot)$ 为公交出行费用函数, 与公交距离 L_k (km) 以及票价 P_k 有关 (元/km)。

乘客公交出行过程中, 出行时间 T_k 包括步行到站时间和离站时间 T_k^w 、起点站站台等车时间 T_k^a 、车内运行时间 T_k^i 以及不同线路间的换乘时间 T_k^c , 这些不同部分组成的整体定义为公交出行时间链, 乘客每次公交出行包含一个完整的出行时间链。

公交出行时间链不同部分具有各自权重值 w_x , 因此, T_k 不是各部分简单的累加值。利用权重 w_x 可以更真实性分析乘客出行过程中对不同状况表现出的不同选择行为。因此, 总出行时间 T_k 表述如下

$$T_k = w_w T_k^w + w_a T_k^a + w_i T_k^i + n w_c T_k^c$$

式中, T_k^w 为步行时间 (包括到站步行时间和离站步行时间); T_k^a 为起点站站台等待时间; T_k^i 为车内运行时间; T_k^c 为换乘时间 (包括换乘等待时间和换乘步行时间); n 为换乘次数; w_x 为时间权重。

乘客在路段上的车内运行时间只与路段上公交线

路运行距离以及车速有关,而乘客站台等待时间则与发车频率、停车延误等因素有关;换乘时间主要由换乘距离、换乘次数以及换乘站台等待时间决定。乘客的步行时间主要与出行目的地、到站方式、经过车站路线的走向以及起点到车站的距离有关。一般来讲,通过调查可采集的数据包括乘客家庭住址及相关出行信息。结合前文所建立的公交信息数据库,借助 GIS 图层重叠分析技术功能,计算并存储乘客出行距离数据。GIS 处理过程中需要调用基础路网空间数据库、公交站点空间数据库以及乘客信息数据表。如图 2 所示,通过 GIS 函数对空间数据图层操作,步行距离 $D_k = l_1 + l_2$ 。

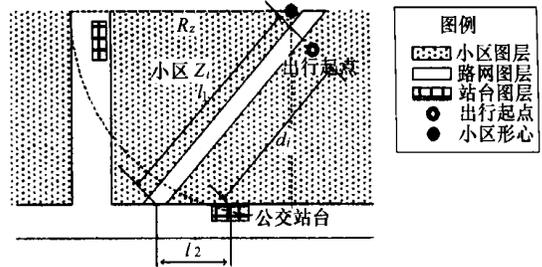


图 2 乘客公交出行步行距离示意图

当然,这种方法需要对乘客出发点进行准确定位,如果受实际调查数据约束,无法对此数据采样,则可以用以下相对较为简单的方法。通过 GIS 函数处理小区图层,确定可在 OD 发生点 (小区形心) 与之可能到达的车站间建立步行边,即图 2 中 d_{zi} 。当

$$d_{zi} \leq R_z + R_s = \sqrt{S_i/\pi} + R_s$$

式中, d_{zi} 为小区 z 重心点到站点 i 的直线距离; R_z 为小区 z 的半径; S_z 为小区 z 的面积; R_s 为站点的服务半径,可取 $R_s = 500\text{m}$ 。

则建立步行边,其长度 $D_k = d_{zi} \cdot f_w$ 。其中 f_w 为步行路线非直线系数。

公交出行路径选择过程是一种基于出行者个体行为的分析过程,而非针对车辆本身。乘客可以自由选择步行到站方式,等车时间长短以及是否需要换乘。根据出行者对公交网络的熟悉程度,其出行路径选择由该路径上阻抗决定,也就是由步行到站时间、站台等候时间、车内运行时间以及换乘时间决定。

步行时间与步行距离 D_k^w 、步行速度 v_w 相关。站台等待时间由发车频率 F 决定。车内运行时间则由公交运行距离 D_k^i 、行驶速度 v_b 来决定。换乘时间与换乘站台之间的距离 D_k^c 以及换乘站台的等待时间 T_w 有关。因此,公交出行时间可以表述为

$$T_k = w_w \frac{f_w D_k^w}{v_w} + w_a \frac{f_a}{F} + w_i \left(\frac{D_k^i}{v_i} + T_k^c \right) + n w_c \left(\frac{f_w D_k^c}{v_w} + \frac{f_a}{F} \right)$$

式中, f_w 为步行线路的非直线系数; f_a 为等待时间修正参数。

式中公交运行距离 D_k^i , 换乘站台之间的距离 D_k^i 也可以通过 GIS 函数来获取。对公交线路图层及站点图层操作, 判断同一线路相邻站点间的空间长度 L 即为运行距离 D_k^i , 如图 3 所示, 线路 1 相邻站点 S_1 、 S_2 之间行使距离 $D_k^i = l_1 + l_2$ 。判断站点间是否可以换乘可以采取如下方法: 对站点 S_3 做 GIS 缓冲, 缓冲半径取站点 S_3 有效服务半径 R_s , S_2 置于缓冲区内, 因此, S_2 、 S_3 之间存在换乘, 换乘距离 $D_k^i = l_3 + l_2$ 。

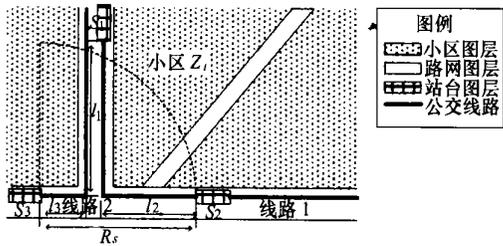


图 3 线路行使距离及乘客换乘距离示意图

目前来说, 公式中的未知变量为 w_x (各个组成部分 x 的权重值), J. de D. Ortuzar 对这一方面有所研究, 但仅仅阐述了步行时间 w_w 、等待时间 w_a 以及换乘时间 w_t 是车内运行时间 w_i 的 2~3 倍, 表明乘客在线路选择过程中的实际行为, 而没有给出一个建议值。其他文献把换乘时间 w_t 的值适当扩大 (≥ 2) 用以反映换乘给乘客出行产生的不便利性。笔者将步行时间 w_w 、等车时间 w_a 、换乘时间 w_t 以及车内 w_i 划分为两部分: 客观时间和主观时间。前者包括车内运行时间 w_i , 而后者则包括步行时间 w_w 、站台等待时间 w_a 以及换乘时间 w_t 。图 4 反映出两者与出行距离的定性关系, 但是对每一个参数没有确定的建议值。下一节本文提出了一个基于 Logit 出行选择模型的数据拟合方法来初步标定 4 个参数。

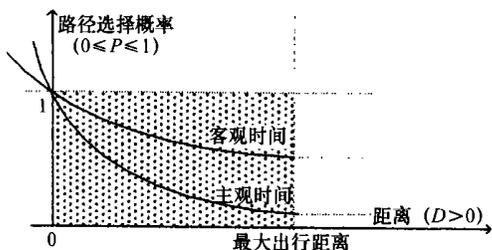


图 4 乘客公交出行主客观时间比较

3 出行时间链组成部分权重值 w_x 计算

两个小区 (Z_A , Z_B), 3 条路径 (K_1 , K_2 , K_3) 连接两个小区, 其中 K_3 为一条需要进行换乘的线

路, 如图 5 所示。

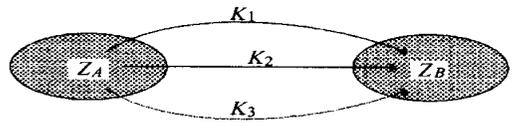


图 5 具有 3 条出行线路的简单公交网络

当然, 一般两个小区之间可能存在许多条可行路径。由于一些路径其旅行时间过长或换乘点太多, 因而很明显不会被公交用户采用。因此, 为了便于简化公交配流问题以及下文权重值的计算, 在进行公交网络设计及规划之前还需要确定每一个 OD 对之间有效路径的集合 R_w , 图 5 中 K_1 、 K_2 、 $K_3 \subset R_w$ 。一般来讲, 每一个 OD 对之间的有效路径不超过 6~7 条^[4]。

通过实际调查可以获取小区 Z_A 到 Z_B 的公交出行量 N_{AB} , 以 N_{AB}^1 、 N_{AB}^2 、 N_{AB}^3 对应于 3 条出行线路 K_1 、 K_2 、 K_3 , 为调查所得的 3 条线路上的出行量。由这些基本数据便可以得到乘客出行分别选择 3 条线路的比率 (K_1 、 K_2 、 K_3 被选中的概率): $P_1(A, B)$ 、 $P_2(A, B)$ 、 $P_3(A, B)$ 。如前文分析, 公交出行者对出行起讫点间的交通阻抗值的大小很难直观判断, 因此, 在选择公交出行线路时往往带有不确定性, 称之为随机因素。可以用改进的 Logit 路径选择模型来计算公交出行时的路径选择概率

$$P_k(A, B) = \frac{\exp(-\theta R_k \sqrt{R})}{\sum_{h=1}^m \exp(-\theta R_h \sqrt{R})} = \frac{\exp\left[-\theta C_{mt} T_k \sqrt{\sum_{h=1}^m C_{mt} T_h}\right]}{\sum_{h=1}^m \exp\left[-\theta C_{mt} T_h \sqrt{\sum_{h=1}^m C_{mt} T_h}\right]} \quad (k=1, 2, 3)$$

由于 $P_1(A, B) + P_2(A, B) + P_3(A, B) = 1$, 因此, 上述方程组为实际含有两个有效方程, 但却含有 3 个未知变量 T_h ($h=1, 2, \dots, m$), 因此, 方程组无惟一解。其中 T_h ($h=1, 2, \dots, m$) 与 w_x 为存在线性函数关系

$$T_h = F(w_w, w_a, w_i, w_e)$$

因此, 采取多元函数线性回归的方法是得到 w_x 的有效方法。通过大规模的数据调查, 可以获取大量 OD 对以及对应线路上的客流量, 而且与出行线路相关的数据 f_w 、 D_k^w 、 v_w 、 f_a 、 F 、 D_k^i 、 v_i 、 T_k^s 、 D_k^c 、 v_w 、 f_a 也能够通过调查资料获取或由 GIS 函数处理得到。每一个 OD 对之间的条线路能够建立 $(k-1)$ 个有效方程, 所有方程中未知量 T_h ($h=1, 2, \dots, m$) 与 w_x (w_w , w_a , w_i , w_e) 相关。将每个方程组的某个未知量设定为已知, 解出各个变量之间的函数关系, 可以得到权重变量的

多元线性回归方程:

$$F_n(w_w, w_a, w_i, w_e) = 0 \quad (m=1, 2, 3, \dots, n)$$

在数据线性回归分析的过程中, 采取 SAS 软件进行多元回归统计分析, 可以得到 (w_w, w_a, w_i, w_e) 值, 在具体计算过程中, 分为表 1 所示的两个模式。

公交出行时间链权重计算模式 表 1

计算模式	公交出行时间权重			
	步行时间	首站等待时间	车内时间	换乘时间
	w_w	w_a	w_i	w_e
模式 1	✓	✓	✓	✓
模式 2	—	✓	✓	✓

模式 1 与模式 2 的区别在于是否考虑步行时间。在实际调查中, 由于未能统计乘客实际步行距离, 因此, 在步行时间的处理上, 按照小区形心与公交站点的距离乘以非直线系数来计算的, 即 $D_k = d_{xi} \cdot f_w$, 属于非调查数据, 因此, 在回归分析中对统计精度影响较大。另一方面, 从出行者群体分类来讲, 分为熟悉者和非熟悉者。对于熟悉公交网络的乘客, 考虑步行时间权重则更能模拟其出行线路选择行为; 而对于不熟悉网络的乘客 (比如游客等), 其路线选择行为往往从站台开始进行模拟分析, 数据精度则相对较高。综合以上因素, 本文在统计分析数据的过程中, 采用模式 1 和模式 2 进行分析。笔者利用 2001 苏州市公共交通规划调查数据进行统计分析, 数据统计结果如表 2 和图 6 所示。

公交出行时间链权重计算 表 2

回归结果	公交出行时间权重							
	步行时间		首站等待时间		车内时间		换乘时间	
	w_w	w_a	w_i	w_e	w_i	w_e	w_i	w_e
初始回归值	1.42	0	1.21	1.37	1.03	0.87	2.83	2.44
以 w_i 标准化	1.38	0	1.17	1.57	1.00	1.00	2.75	2.80

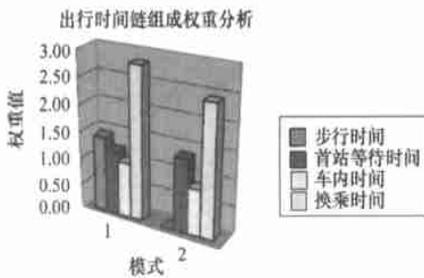


图 6 公交出行时间链权重计算

结果表明, 乘客在换乘过程中虽然不会消耗许多时间, 但换乘时间权重 $w_e = 2.75$ (模式 1: 2.80) 表明其对总出行时间 T_k 的贡献尤为重要, 换乘时间花费 1min 几乎相当于车内时间 3min, 显示出乘客在乘坐公交的过程中, 选择线路的判断标准首要是便利

性; 步行时间权重 w_w 、首站等待时间权重同样反映出这种选择行为。

而且, 如果分解换乘时间为换乘步行时间和换乘等车时间来考虑, 首站等车时间权重则远小于换乘过程中站台等车时间; 这也表明乘客首站等待过程中, 具有一定的目的性, 决定其长短的是乘客的耐心; 而出行过程中换乘等车时间, 其性质已经附属了乘客上下车的不方便性, 并非简单的等待时间。

所以, 根据模式 1 统计分析结果得到乘客公交出行总时间

$$T_k = 1.38 \frac{f_w D_k^w}{v_w} + 1.17 \frac{f_a}{F} + 1.0 \left[\frac{D_k^i}{v_i} + T_k^e \right] + 2.75 n \left[\frac{f_w D_k^i}{v_w} + \frac{f_a}{F} \right]$$

式中, f_w 为步行线路的非直线系数, f_a 取决于乘客到达分布和公交车到达分布。一般 $f_a = 0.5^{[4]}$, 这个值对应于公交车到达间隔固定, 而且乘客到达服从均匀分布。

4 结论

本文结合 GIS 技术, 提出了一种全新的求解乘客公交出行时间链权重的计算方法。充分利用大型项目调查数据进行回归分析, 数据结果较为理想, 可以应用于公交网络配流时出行阻抗的计算。而且, 本文所建立的基于 GIS 的公交信息系统数据库满足 GIS 技术一般标准, 便于城市公交网络规划、管理中的大量数据的管理和分析, 提供辅助决策功能, 提高城市公交规划和管理水平。

在实际情况下, 由于数据拟合、算法检验对数据要求较高, 而调查数据往往因为客观原因造成的误差, 使得用于直接检验的数据的可靠性得不到保证。因此, 本文所拟合出的数据、配流结果也存在一定偏差, 有待采集更多数据进行检验, 并需要进一步对模型误差进行理论分析, 计算出更为精确并且满足项目需要的数值。

参考文献:

- [1] 李修刚, 杨晓光, 王伟, 邓学钧. 基于 GIS 的城市交通规划数据库研究 [M]. 科学出版社, 2000.
- [2] 顾志康. 地理信息系统在城市公交规划中的应用研究 [D]. 硕士论文, 2002.
- [3] 蒋冰蕾. 交通网络用户平衡模型解释初探 [J]. 东南大学学报, 1996, 1.
- [4] Spiess H. A New Assignment Model for Transit Network [J]. Transportation Research, 1989, 23B.