

文章编号: 1002-0268 (2004) 10-0105-04

基于站点的公交网络配流实用 模型与算法研究

葛 亮¹, 王 炜¹, 杨 明², 邓 卫¹

(东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; 2 南京交通规划研究所, 江苏 南京 210029)

摘要: 由于公交网络的特殊性, 公交行驶时间与路段流量关联性很小, 同时存在着公交车的容量限制, 所以, 传统的公交网络模型存在着诸多不足。基于此提出拥挤函数概念描述出行阻抗与流量的关系, 结合公交出行时间链对公交网络阻抗进行研究, 建立基于站点的多路径-容量限制的的概率分配模型并对其算法进行分析探讨。最后将模型应用到扬州公交网络实际项目配流中, 结果表明, 该模型在应用中具有较高的准确性和可靠性。

关键词: 公交网络; 时间链; 拥挤函数; 网络阻抗

中图分类号: U491

文献标识码: A

Research on the Model and Algorithm of Public Transit Assignment Based on Bus Stop

GE Liang¹, WANG Wei¹, YANG Ming², DENG Wei¹

(1. Transportation College, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;

2. Transportation Planning Institute of Nanjing, Jiangsu Nanjing 210029)

Abstract: The conventional model of public transit assignment has many limitations because of particular characters of transit network, that is the limited capacity for buses and the diminutive relation of bus running time with link flow. Based on these, the concept of congestion function is proposed to describe the relation of trip resistance with flow in this paper. At the same time transit network resistance is investigated combined with transit time chain, then the multi-route probit-based loading model is established and the algorithm is analyzed. At last, the model is applied to the transit network assignment of Yangzhou. The result shows that the model can insure a high precision in the practical operation.

Key words: Transit network; Time chain; Congestion function; Network resistance

在过去的 20 多年中, 众多国内外专家学者对公交配流问题做了大量的研究和探讨, 提出了许多公交配流模型, 其中尤以平衡配流模型为主。但是这些模型中有相当一部分要么忽略了公交车辆的容量限制, 得出超过线路容量的配流结果; 要么就是虽然考虑了车辆容量限制, 但没有考虑到公交网络的特殊性, 沿用了一般道路网络中的路径概念, 且过度简化了乘客在车站等待时间, 仅适用于小型的公交网络的配流计算。同时这些模型均已非拥挤条件为前提, 即假设所

有的公交线路都具有足够大的运载能力, 保证满足所有的需求, 也就是说在整个公交网络中不存在拥挤现象。然而在现实公交网络中, 这种非拥挤条件的假设仅仅停留在理论研究层面。无论在发展中国家还是发达国家, 由于公交线路的运载能力不足而引起的拥挤现象是经常发生的。因此在研究公交问题时, 如果仍引用非拥挤条件下的公交配流模型作为研究公交运营问题的基本工具, 那么其结果的准确性和可靠性则很难符合实际情况。

收稿日期: 2003-07-24

基金项目: 国家十五科技攻关资助项目《城市公共交通系统优化技术》

作者简介: 葛亮 (1977—), 男, 吉林德惠人, 博士研究生, 主要从事交通运输规划与管理等方面的研究。(geliang@seu.edu.cn)

在传统的交通网络配流中, 容量限制配流模型是以路段阻抗函数来反映在配流过程中交通流量与道路阻抗的关系, 称为基于路段的阻抗更新; 而对于公交网络系统, 线路拥挤效应主要反映在公交站台上, 也就是对于特定的公交线路, 公交车在两个站点之间行驶的时间与线路的流量变化关联度很小。此时, 乘客出行路径的阻抗与线路客流量之间的关系, 便表现在路径阻抗与站点的拥挤效应之间, 称为基于站点的阻抗更新。公交网络系统上的拥挤效应反映在由于公交车容量限制而导致的乘客过饱和延迟上, 乘客此时的路径选择行为具体表现为: 如果第一辆期待公交过于拥挤, 则选择下一辆公交或者选择其他线路。基于这种思想, 文章提出拥挤函数概念, 结合公交出行时间链的研究, 建立起基于站点的公交网络配流实用模型——多路径-容量限制配流模型, 并对其算法进行了理论分析。

1 公交网络阻抗研究

公共交通线路交通阻抗值是指乘客在公共交通线路上出行的出行时间 (含车外时间)、费用、方便性 (如换乘) 等综合费用指标, 是乘客选择公交线路的依据。交通阻抗函数应该能够真实反映出公交出行者的心理特征, 综合考虑时间、费用因素, 采用“费用”表示, 也称为广义费用。公交出行阻抗一般采用如下函数式计算

$$R_k = C_{mt} T_k + \Psi(L_k, P_k) \quad (1)$$

式中, R_k 为交通阻抗值, 元; C_{mt} 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, 分/km。

在本文的公交网络阻抗研究中, 引入了公交出行时间链和拥挤函数。

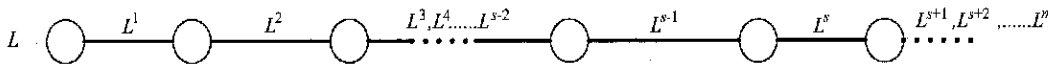


图 1 公交线路分段示意图

图 1 为单条公交线路, 采用下式计算其线路阻抗值

$$R(k) = \begin{cases} C_{mt} \cdot \left\{ T_k + \Psi_s \left(\frac{V_1^s}{K_1} \right) \right\} + L_k P_k / 100 & \text{计程票价制度} \\ C_{mt} \cdot \left\{ T_k + \Psi_s \left(\frac{V_1^s}{K_1} \right) \right\} + n \cdot P'_k & \text{单一票价制度} \end{cases} \quad (4)$$

式中, $V_1^s = \sum_l \sum_s \delta_{kl} \cdot h_k$ 为公交线路 L 的 S 路段的断

1.1 公交出行时间链的提出

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、起点站站台等车时间、车内运行时间以及不同线路间的换乘时间, 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, 因此, T_k 不是各部分简单的累加值。利用权重可以更真实的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

$$T_k = w_w T_k^w + w_a T_k^a + w_i T_k^i + n w_t T_k^e \quad (2)$$

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^e 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。

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_i 来决定。换乘时间与换乘站台之间的距离 D_k^t 以及换乘站台的等待时间 T_k^a 有关。因此, 公交出行时间可以表述如下公式

$$T_k = w_w \frac{f_w D_k^w}{v_w} + w_a \frac{f_a}{F} + w_i \left(\frac{D_k^i}{v_i} + T_k^s \right) + n w_t \left(\frac{f_w D_k^t}{v_w} + \frac{f_a}{F} \right) \quad (3)$$

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。

文献[1]中通过 Logit 反推法对公式中的权重进行回归计算, 给出了参数建议值 (限于篇幅, 文中不再罗列), 实践证明, 该值可应用于本文配流模型当中。

1.2 引入拥挤函数计算公交网络阻抗值

分析如图 1 所示公交线路:

面客流量; h_k 为路径 k 流量; δ_{kl} 当公交线路 L 的 S 路段属于路径 k 时为 1, 否则为 0; $\Psi_s \left(\frac{V_1^s}{K_1} \right)$ 为拥挤函数。

拥挤函数包含两个部分: 一为乘客在站台等车时, 如果某条公交线的需求量超过公交车的容量, 就会导致车内拥挤, 这样一来, 有一部分乘客就挤不上车, 或者不愿意乘坐这种太拥挤的车, 则车站就会产生排队现象。而随着拥挤的增加, 乘客也会根据拥挤

程度、不舒适程度和乘车时间等因素综合考虑, 选择一些原来不感兴趣的公交线路。例如速度比较慢的、发车间隔比较大的及绕路但不太拥挤的公交线。所以第一个相关因素就可以表示为由于公交线路上车辆的容量限制而导致乘客的过饱和延迟, 它是与流量有关的量, 一般可采取与指数形式的 BPR 公式相似的形式^[1,2]

$$\Psi_s^1 \left(\frac{V_l^s}{K_l} \right) = w_w \cdot \left(\frac{V_l^{s-1}}{K_l} \right)^\beta \quad (5)$$

拥挤函数的第二个相关因素是在路段行驶过程中乘客感觉到的不舒适程度, 函数形式为

$$\Psi_s^2 \left(\frac{V_l^s}{K_l} \right) = w_i \cdot \left(\frac{V_l^s}{K_l} \right)^\rho \quad (6)$$

式中, K_l 为公交线路 L 的最大实际载客容量, 其考虑了站点停靠能力、重复线路相互影响下的基本载客容量, 可以用下式表示

$$K_l = \gamma \cdot C_x \cdot f(X_c) \cdot T_l \quad (7)$$

式中, C_x 为不同车型的乘客容量, 按表 1 取值; T_l 为公交线路 L 的发车间隔, $\min$; γ 为线路的客流满载率, 一般高峰小时取 0.85, 平峰小时取 0.6^[3], 或根据城市的具体要求而定; X_c 为与某条线路重复的最大线路条数; $f(X_c)$ 为线路重复影响系数, 函数形式如下式

$$f(X_c) = \begin{cases} 1 & X_c = 0 \text{ 或 } 1 \\ 0.85 & X_c = 2 \text{ 或 } 3 \\ 0.7 & X_c \geq 4 \end{cases}$$

表 1 不同车型的车容量值

车型	中巴	单节公交车	铰链公交车	中巴+单节公交	中巴+铰链公交
车容量	26	72	129	58	98
备注				30%的中巴, 70%的公交	30%的中巴, 70%的铰链

2 基于站点的多路径-容量限制配流模型

乘客在公交线网中的分配与公交车的发车频率和车辆满载率有关。从概率的角度考虑车辆和乘客到达分布的一般情况, 有较高发车频率的路线有机会吸引到更多的乘客; 另一方面, 车内拥挤度影响着乘客对出行路线的选择。因而公交路线的用户(乘客)平衡概念与道路网络中的用户(车辆)平衡概念不同。后者反映在行驶时间上的平衡, 出行时间随道路拥挤度而变化。前者除出行时间的平衡外, 由于车内拥挤度对行驶时间影响较小, 用户平衡还体现为车内拥挤度的平衡。

基于站点的多路径-容量限制配流模型的提出是基于以下的原因: 假如有一组出行者从起点 r 到终点 d , r 到 d 之间有多条路径, 由于出行者对道路网的情况并不完全了解, 且存在一些难以量化的因素作用。出行者对路径阻抗的估计是为分布于出行者群上的随机变量。该分配模型就是在研究路径估计分布函数的基础上, 计算有多少出行者选择每一条路径。

构造如下的公交多路径选择分配模型

$$\begin{cases} P(k, i, j) = \exp[-aR(k)\bar{R}] / \sum_{h=1}^m \exp[-aR(h)\bar{R}] \\ V(k, i, j) = V(i, j) \cdot P(k, i, j) \\ R(k) = \begin{cases} C_{mt} \cdot \left\{ T_k + \Psi_s \left(\frac{V_l^s}{K_l} \right) \right\} + L_k P_k / 100 & \text{计程票价制度} \\ C_{mt} \cdot \left\{ T_k + \Psi_s \left(\frac{V_l^s}{K_l} \right) \right\} + n \cdot P'_k & \text{单一票价制度} \\ T_k = w_w \frac{f_w D_k^w}{v_w} + w_a \frac{f_a}{F} + \\ w_i \left(\frac{D_k^i}{v_i} + T_k^s \right) + n w_t \left(\frac{f_w D_k^t}{v_w} + \frac{f_a}{F} \right) \end{cases} \end{cases} \quad (8)$$

式中, $P(k, i, j)$ 为公交 OD 量 $V(i, j)$ 在第 k 条有效公交出行路线上的分配率; $R(k)$ 为第 k 条有效公交出行路线的交通阻抗; $\bar{R}$ 为各条有效公交出行路线的平均交通阻抗; a 为分配参数; m 为有效公交出行路线的条数; $V(k, i, j)$ 为公交 OD 量 $V(i, j)$ 在第 k 条有效出行路线上的分配量; $V_l^s = \sum_i \sum_s \delta_{il} \cdot h_k$ 为公交线路 L 的 S 路段的断面客流量。

在具体配流过程中, 结合容量限制-增量加载的容量受限分配模型的配流方法进行分配, 即先将原 OD 表分解成若干个子 OD 表, 再将若干个子 OD 表逐个用多路径概率配流方法进行流量分配。在每个 OD 表分配结束后, 根据出行时间、费用、流量来重新计算线路阻抗值, 然后再进行下一个 OD 表的分配, 直至全部 OD 分表分配完毕^[4], 见图 2。

3 多路径-容量限制配流算法研究

容量限制分配的非平衡算法通常采用分级分配方法(incremental assignment), 即将 OD 矩阵分解为 K 个子 OD 矩阵, 每次分配一部分 OD 量。

分级分配是平衡模型的一种解法, 虽然它通常不产生平衡流, 但与多路径选择模型结合, 它可以得到与实际相近的解^[5], 分配次数可如下表示

$$K = \frac{C_{\max}}{C_{\min}} \quad (9)$$

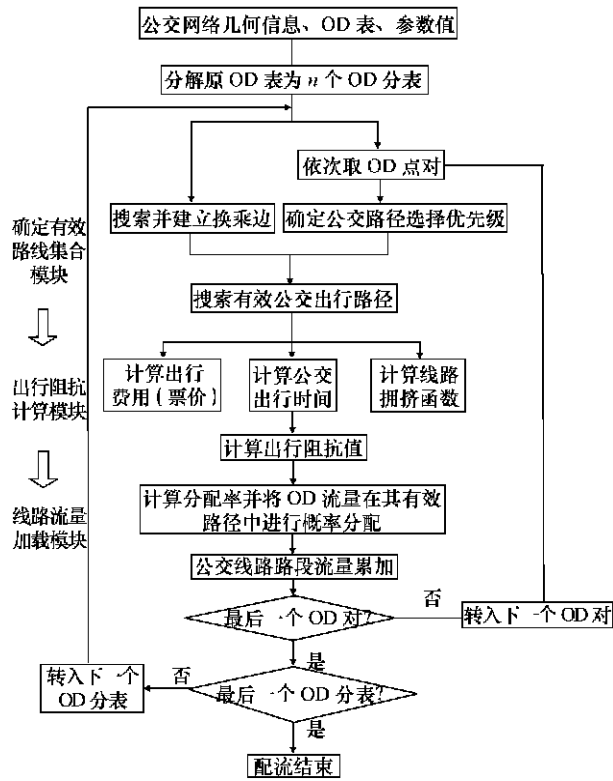


图 2 多路径-容量限制配流流程图

式中, C_{max} 、 C_{min} 分别为网络中路段的最大、最小通行能力。

第 k 次分配中分配的 OD 量为

$$[q_{rs}^k]_{n \times n} = [P_k \circ q_{rs}]_{n \times n}, \sum_{k=1}^K P_k = 1 \quad (10)$$

式中, $[q_{rs}]_{n \times n}$ 为 OD 矩阵; P_k 为第 k 次分配的比例

$$P_k = \frac{k}{1+2+\dots+K} = \frac{2k}{(1+K)K} \quad (11)$$

经计算可知求解出来的值与文献[6]中的经验值相差不大。同时为了避免确定所有的路径, 一个有效的算法是 STOCH 或 Dial's 算法, 只考虑有效路径 (由远离出行起点, 接近终点的路段组成), 每次分配两点之间的 OD 量, 经过前向遍历 (forward pass) 和后向遍历 (backward pass) 二次网络遍历过程确定各路段分配权。

4 配流示例

根据调查数据建立扬州市公交客流信息数据库, 以扬州市全天公交 OD 数据进行公交客流分配。共划分 32 个交通小区, 26 条公交线路, 整体规模较小。

把公交出行 OD 表加载到公交线网上, 根据文中所提出的配流方法进行客流分配, 表 2 为扬州市公交网络客流分配结果, 数据包括线路最大断面流量以及客运周转量。

表 2 公交线路客流分配结果

线路	最大断面流量	客运周转量	线路	最大断面流量	客运周转量
1	7379	24597	21	20077	71608
2	17048	68192	66	21764	90683
3	30220	88645	Y1	109159	320325
4	15440	144107	101	267	621
5	37880	151520	102	765	1992
6	18203	34586	103	765	7650
7	18288	41392	104	166	425
8	20811	72839	105	5480	14613
9	30886	89363	106	2328	13192
11	16247	42242	107	5480	42927
12	12740	29727	108	166	725
19	28549	38934	112	792	4620
20	43827	197222	113	3773	29807

客流分配完毕后, 结合扬州市具体情况对公交线路运量进行检验, 不合理的线路还需要调整, 以进一步优化网络。2005 年线网规划方案中, 保留原有合理线路 6 条, 调整线路 14 条, 新增线路 6 条。规划后的线网共有线路 26 条, 其中, 市区线路 15 条, 农公线路 10 条, 旅游线路 1 条。

经过实际项目的验证表明, 该模型及算法的配流结果较为符合扬州市的实际情况, 对规划方案的确立起到了较强的理论支持和技术支撑, 并业已在其它城市的公交客流预测中得到进一步的推广和应用。

5 结论

在分析传统公交网络平衡配流模型研究内容的基础上, 指出了平衡配流模型在实际项目应用中的不足。建立了基于站点多路径-容量限制的公交网络分配模型, 采用分级分配方法对多路径-容量限制的非平衡模型算法进行了分析和探讨, 最后, 将模型应用到扬州市公交网络配流的实际项目中并取得了较好的效果。由于本文的内容偏向于实用性, 因此忽略了许多纯理论的研究, 在以后的学习中有待于进一步探索。

参考文献:

[1] Heinz Spiess, Michael Florian Optimal strategies: A New Assignment Model for Transit Networks [J]. Transportation Research Part B 1989 (23): 83-102.

[2] Yoseef sheffi. Urban Transportation Networks[M]. PRENTICE-HALL. INC Englewood Cliffs, New Jersey 07632: 111-142.

[3] R B Dial A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Algorithm which Obviates Path Enumeration [J]. Transpn. Res 1997 (5): 83-111.

[4] 杨明. 基于 GIS 的城市常规公交网络配流技术研究 [D]. 东南大学, 2002

[5] 王伟, 等. 城市公共交通系统规划方法与管理技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2002

[6] 黄海军. 城市交通网络平衡分析理论与实践 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1995