

都市圈轨交跨制式无障碍 多路径票价研究

张森

(广州地铁设计研究院股份有限公司, 广东广州 510010)

摘要: 针对都市圈轨道交通跨制式、付费区融合票价问题, 在前期文献研究及国内外调研的基础上, 首先明确单路径下跨制式无障碍票价计价原则, 然后对多路径跨制式无障碍票价方案分为 OD 异价、OD 同价两类, OD 异价研究中根据乘客使用票种进行分类研究精准追踪乘客的技术手段, 并得到不可行的结论; OD 同价研究推荐采用加权路径算法, 兼顾收益保障企业票款收入及公益保障群众乘车费用, 提出效用权重路径及平均权重路径两种算法, 详细阐述算法的计算步骤, 并通过广州地铁两个实例验证算法的可行性。

关键词: 都市圈; 跨制式; 无障碍; 多路径; 票价算法

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2024)03-0040-09

Research on Barrier-free Multipath Ticket Pricing for Cross System Rail Transit in Urban Circles

ZHANG Sen

(Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510010)

Abstract: In response to the integrated fare system for areas that use cross-standard rail transit payment in urban areas, based on previous literature and domestic and international research, this article first clarifies the principle of cross-standard barrier-free ticket pricing under a single path. Subsequently, the multi-path cross-standard barrier-free ticket pricing schemes are divided into two categories: origin-destination (OD) differential and OD equal pricing. The technical methods of accurately tracking passengers based on the classification of ticket types used by passengers in OD pricing research are discussed, and infeasible conclusions are obtained. The OD same-price study recommends the weighted path algorithm, which considers the revenue of revenue-guarantee enterprises and the public welfare guarantee of people's travel expenses. This paper proposes two algorithms, namely the passenger flow weighted path and average weighted path, describes the calculation steps of the algorithm in detail, and verifies the feasibility of the algorithm through two examples of Guangzhou Metro. This study is the first in China to fill a gap in the country to a certain extent.

Keywords: metropolitan area; cross standard rail transit; barrier free; multipath; ticket price algorithm

1 研究背景

都市圈城市群之间的交流日益密切, 以“一张网、一张票、一串城”^[1-3]为理念, 城市群限时通达、轨道

交通融合已经成为都市圈城市群的必然发展趋势。都市圈轨道交通必然涉及城际铁路和地铁之间跨制式的互联互通、无障碍换乘、一票通达的问题。

例如, 广东省政府对粤港澳大湾区城际铁路建设

收稿日期: 2023-07-12 修回日期: 2024-02-07

作者简介: 张森, 男, 硕士, 高级工程师, 从事轨道交通售检票、服务等自动化专业研究, zhangsen@dtsjy.com

引用格式: 张森. 都市圈轨交跨制式无障碍多路径票价研究[J]. 都市轨道交通, 2024, 37(3): 40-48.

ZHANG Sen. Research on barrier-free multipath ticket pricing for cross system rail transit in urban circles[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(3): 40-48.

模式作调整,将牵头单位由原广东省铁投集团调整为广州地铁、深圳地铁进行建设及运营,按照广州都市圈及深圳都市圈项目推动建设,城际铁路与地铁之间的付费区贯通融合已在稳步推进^[4]。

一般城际铁路执行市场调节价,由铁路运输企业依据价格法律法规自主制定,自主盈亏,票价=基准票价率×运价里程,同时设置起步价,如广珠城际,约按0.60元/人公里运价费率计价。而城市轨道交通票价需经相应政府部门听证审查,普遍采用递远递减费率的计程票制。相比较,城际铁路票价远高于地铁。

在城际铁路或地铁内换乘,即同制式内,普遍采用最低票价(最短路径)法;城际铁路与地铁之间跨制式换乘时,城际铁路与地铁之间若采用单一换乘节点时,路径清晰,可以分别计价。若为多点换乘时,OD之间存在多路径,采用哪种票价则成为一个值得研究的问题。若都采用地铁票价则大幅降低企业票款收入,若都采用城际铁路票价,则违反地铁公益性原则,存在民意舆论风险。

以广州市都市圈为例,广州地铁在建广花、芳白、南中珠、佛穗莞等城际线路均与地铁是无障碍多点换乘,接管广州东环、广清、佛肇、广佛南环、佛莞、莞惠等城际线路(逐步改造实现付费区换乘),后续还有更多城际规划。

广州市都市圈轨道交通网迫切需要一种新的综合票价,既能兼顾人民群众公益需求,又能兼顾运营企业收入。目前国内针对都市圈跨制式轨道交通票制票价的研究还比较缺乏。

2 文献研究

笔者对国内外都市圈轨交跨制式、付费区换乘模式进行文献调研。

2.1 杭绍、杭海城际票制

文献[5-6]介绍了杭州与绍兴、海宁的都市圈轨道交通规划,对杭绍、杭海城际的票制情况作出介绍。杭州地铁与杭绍城际、杭海城际各自仅有唯一换乘站点,路径单一,计价清晰,无跨制式OD多路径的情况。

杭州地铁与杭绍、杭海城际已实现互联互通,见图1。杭绍、杭海城际采用全地铁制式进行建设及运营票价,采用“同网同价”、跨城市“分区段计价”模式,即杭州地铁票价相同,采取跨城市、跨线网时分段计价,即重新起步,三段分别计价,各部分费用叠加即为乘车总费用。杭州地铁与杭绍城际、杭海城际基础

票价一致,采用杭州地铁票价,即起步价为2元可乘4 km;4~12 km时4 km/元;12~24 km时6 km/元;24 km以上时8 km/元。地铁与城际换乘时重新计2元起步价,杭绍城际、杭海城际分别计价,各部分费用叠加即为乘车总费用。



图1 杭州地铁与杭绍、杭海城际互联互通示意
Figure 1 Hangzhou Metro and Hangzhou Shaoxing, Hangzhou Haining Intercity Interconnection

2.2 北京市郊铁路S2线票制

文献[7]介绍了北京市郊铁路S2线(以下简称为“S2线”)的票制情况。该线采用跨城市“分区段计价”模式,见图2。

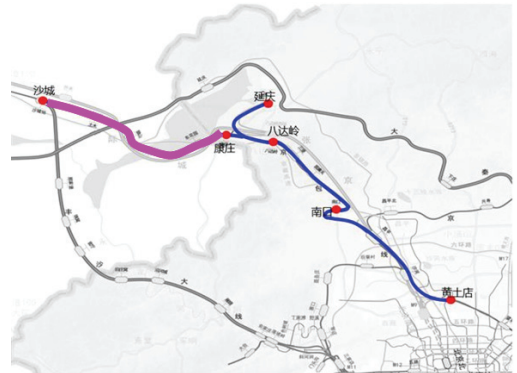


图2 S2线分区计价示意
Figure 2 Zoning pricing diagram of line S2

S2线全长108.3 km,其中北京段采用与北京地铁相同的计程票价,北京市政府以政府购买服务的方式,向城铁公司支付购买服务费;河北段(康庄站—沙城站)票价按照《北京铁路局关于调整S2线列车运行图的通知》(京铁运〔2012〕732号)规定执行;跨北京段和河北段票价按两段加总计价。

政府每年向S2线支付购买服务费约为1.3亿元,原最高票价23元/人次下调至6元/人次,下调约70%。

2.3 南京城际票制

文献[8]介绍了南京城际线路票价,南京在建(已建

成)的跨市地铁线路有宁句城际 S6 线、宁和城际 S3 线、宁滁城际 S4 线、宁马城际 S2 线、宁扬城际 S5 线等线,根据《江苏省沿江城市群城际铁路建设规划(2019—2025 年)》其属城际铁路,运营方为南京地铁,按南京地铁票价执行,地铁无障碍换乘。

现行票价:按南京地铁票价执行,起步价 2 元可乘 4 km,4 km 以上部分,每 1 元晋级里程为 5、5、7、7、9、11、13、15 km。

2.4 伦敦都市圈票制

文献[9-10]介绍了伦敦轨道交通的分区票制,1981 年,伦敦轨道交通实施分区域定价,涵盖地铁(地上铁、地下铁)、有轨电车、铁路和码头区轻轨等方式,将大伦敦区由内到外划分为 9 个区域,其中 1~2 区为伦敦市中心城区,6~9 区则为较偏远的郊区。按乘客出行所跨行的区域及其数量定价,跨行 1~9 区票价逐步递增,同时充分体现了时间观念和拥堵概念,利用票价的制定来引导轨道交通的错峰出行和绕行出行。

1) 高峰与非高峰票价不同,高峰时段票价更高,越靠近中心城区,高峰与非高峰的票价差距越小,越远距离跨区的出行,高峰与非高峰的票价差距越大,鼓励向中心出行的乘客错峰出行,以缓解高峰拥堵。

2) 标记路径,绕行优惠:在轨道交通的一些站点设有粉色读卡器(换乘记录器),在乘客有多个出行路线可选择时(进入 1 区或 2 区路线、绕行 1 区或 2 区路线),乘客选择绕行路线且自主刷识粉色读卡器标记路径,则乘客可享受绕行优惠,支出的票价相应减少,如图 3 所示。



	票价	
	高峰	4.00 英镑 周一至周五 06:30 至 09:30 和 16:00 至 19:00。
	非高峰	2.9 英镑 在所有其他时间,包括公共假期。
	替代票价(避开 1 区)	
	高峰	2.50 英镑 周一至周五 06:30 至 09:30 和 16:00 至 19:00。
	非高峰	2.00 英镑 在所有其他时间,包括公共假期。
	要求	如果在海布里和伊斯灵顿(或哈克尼中心)换乘,为支付较低的车费,必须触摸粉色读卡器

图 3 伦敦轨道交通的绕行优惠

Figure 3 Detour discounts of London Rail Transit

2.5 巴黎都市圈票制

文献[11]介绍了伦敦轨道交通的分区票制,运营区域在地理上按照同心圆环划分为 5 个区域,其中:1~3 环是巴黎市中心区域;4~5 环为市郊地区,归属

于法兰西岛大区。以巴黎市为中心,乘客出行时跨行区域越多,出行方向越靠近城市中心,出行费用越高,如图 4 所示。

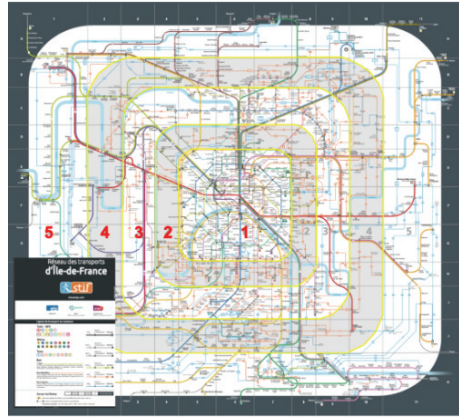


图 4 巴黎轨道交通线路分区示意

Figure 4 Paris rail transit line zoning map

巴黎公共交通的分区票制涵盖地铁、区域快线、公交、有轨电车和市郊铁路等方式,按照区域和线路性质由 5 家公司运营:

1) 通票:具体包括单程票、旅游票、月票、周票、年票、学生票等。

2) 个性化票种: $t+$ 单程票,一张车票在 1.5 h 内在 1 区内公共交通线路间任意乘坐和换乘,票价 1.9 欧元/张,14.9 欧元/10 张。

2.6 温哥华公共交通票制

温哥华的公共交通分区票制涵盖地铁、公交、轮渡等方式,各种交通工具之间实现联票,即购买一张票可在几种交通工具间使用,采用分区票价。公共交通被划分为 3 个区域,即 Zone 1-温哥华市区,Zone 2-北温、西温、伯纳比、里士满及机场,Zone 3-大温哥华其余地区,如图 5 所示,票价依据时间和跨区数确定。



图 5 温哥华公共交通系统的分区

Figure 5 Zoning of Vancouver Public Transport System

1) 平峰优惠: 适用于所有人群, 周一至周五下午 18:30 之后、周六日、法定假期内, 可以只支付 Zone 1 的车费前往全部区域的目的地。

2) 特殊人群优惠: 5~13 岁儿童以及 65 岁以上老年人与 14~18 岁未成年人可购买优惠票, 5 岁以下儿童免费。

2.7 东京都市圈票制

文献[12]介绍了东京都市圈公共交通票制, 其主要由地铁、JR 铁路、私营铁路三部分组成, 以东京都为中心, 覆盖周边埼玉县、千叶县、神奈川县等地区。

1) 票价政策。为方便乘客换乘, JR 铁路和地铁公司、私营铁路公司之间相互协作, 使得持有新干线车票的旅客实现一票制, 减少旅客因换乘带来的时间损失。地铁采用分段计程票制, 乘客乘坐距离越长, 支付的票价就越高。

2) 补贴机制。各运营商的票价自主申报, 政府根据企业所报的票价和材料, 组织评估后确定价格上限。企业可以根据实际情况在不突破上限的条件下进行适当调整或进行营销方面的策划。

3) 换乘模式。东京地铁线网由东京 Metro 地铁、都营地铁两家运营公司, 同一公司内部不同线路之间可实现付费区无障碍换乘, 但跨公司换乘时, 两家公司车站相互独立, 需要换乘的乘客应先出站再进站。地铁与 JR 铁路、私营铁路换乘时, 各轨道交通分属不同的公司, 不同公司之间换乘, 除极少数共线运营线路(运营公司协商合作, 双方签订协议, 保持票价统一)外, 一般需要出站、再进站, 过两次闸机, 缴纳两次费用。

3 跨制式无障碍票价研究

多路径是由多条单路径组成, 分析多路径, 需先明确单路径如何计价^[13]: 同制式按分段不重新起步计价; 跨制式按分段重新起步计价。

在乘客从起点站 O 到终点站 D 有多种路径、跨制式可供选择时, 存在 OD 异价、OD 同价两种方案。

3.1 OD 多路径异价方案研究

OD 异价精准计费方案, 指在乘客无需主动配合情况下, 通过技术手段, 实现对所有乘客在轨道交通内出行换乘路径的精准追踪并计费。

实现乘客的精准追踪是 OD 异价的基础条件, 本文按乘客使用票种分类进行技术手段精准追踪^[14]。

3.1.1 手机电子票(乘车码)

通过对手机的无感追踪实现乘客路径的精准识别, 常用技术手段有:

1) 手机自身定位^[15]: 在小程序或 APP 平台上开发定位追踪功能, 通过乘客授权同意 APP 提取位置信息, 并在乘车期间保持开启。该方式需要乘客认可并授权, 全程联网在线, 乘客可能会故意不配合, 导致定位失败, 造成票款流失。

2) WLAN、蓝牙嗅探定位^[16]: 在车站换乘通道乘客必经之处设置信号采集设备(AP), 通过对乘客手机发出的无线信号(WiFi 或蓝牙模块的 MAC 地址)进行嗅探, 通过预先建立 MAC 地址和乘客的对应信息, 判断乘客是否在 AP 的信号覆盖范围内, 进而判断乘客的换乘位置, 该方式需要乘客认可并授权, 全程 WLAN/蓝牙处于打开状态, 乘客可能会故意不配合, 导致定位失败。

3) 手机信令信息追踪: 只要乘客携带开启的手机, 都可以得到有效信息, 可通过运营商、公安机关部门安装设备自行获取。该方式需乘客手机保持开机, 关机、飞行模式或卸 SIM 卡时数据会丢失, 同时手机信令数据管控严格, 除运营商和执法部门外很难获取。

3.1.2 实名生物票(人脸票)

在换乘通道上设置人脸识别^[17]设备对乘客的身份进行追踪。该方式除需增加相应后台处理系统及前端人脸抓拍摄像机外, 还要求乘客进行全员人脸票卡绑定, 识别准确率受外界因素影响较大(换乘拥挤、乘客低头习惯等), 并且存在乘客人脸侵权风险。

3.1.3 实体票(一卡通或手机 NFC 票卡)

通过对票卡的无感追踪实现乘客路径的精准识别, 常用技术手段有:

1) 双频芯片追踪: 该方案是在票卡内集成二张不同频率的 IC 卡芯片, 一张为目前使用的基于 ISO 标准的非接触式 IC 卡芯片, 另一张为能够实现远距离读取的射频识别 IC 卡芯片, 两张 IC 卡芯片封装到一张卡片并进行关联, 非接触式 IC 卡芯片实现进、出站数据填写, 远距离视频识别 IC 卡芯片实现城际与地铁换乘的数据标识, 两张卡数据的结合完成整个票务流程。该方案需更换所有票卡, 车站端增加探测设备, 成本较高, 同时射频芯片受金属、人体等影响较大, 存在定位失效可能。

2) 远距离 NFC 追踪: 阿里巴巴自研全新的 NFC+ 技术, 将 NFC 感应距离从 20 cm 提升到了 3 m^[18]。该方式车站端需增加 NFC+ 技术探测设备, 各种手机 NFC 适配性不同, 性能差异较大, 同时乘客关闭 NFC 时无法探测, 该技术实践效果有待验证。

3.1.4 单程票

卡式单程票可采用双频芯片追踪的方式, Token 单程票目前没有较好的精准追踪技术。

综上所述, 以目前的技术手段暂时难以实现大客流形态下乘客路径的精准识别, 因此 OD 异价方案实施难度大, 暂不推荐。

3.2 OD 多路径同价方案研究

乘客在轨道交通付费区换乘系统内, 同一 OD 出行的乘客, 无论选择哪条路径、何种方式, OD 对相同、所付车费相同。

3.2.1 方案比选

OD 同价方案存在最低票价路径、最短路径、加权路径计价三种票价策略, 其中加权路径可根据权重的不同灵活配置, 本文提出平均权重路径、效用权重路径两种加强算法, 其对比见表 1。

表 1 多路径票价计价适应性分析

Table 1 Adaptability Analysis of Multipath Ticket Pricing

票价算法	计价方法	适应性分析
最短路径	按照距离最短的路径计价	城际路径距离一般低于地铁路径距离, 城际路径票价明显高于地铁路径票价, 此方式 OD 票价相对较高, 不符合城市轨道交通的公益性及乘客可接受原则
最低票价	按照票价最低的路径计价	乘客易于接受、有良好的舆论氛围, 但宜造成城际运营亏损, 对企业收入和持续发展影响较大
加权路径	确定 OD 优选路径和各优选路径的效用比例, 按照优选路径票价及路径效用比例加权平均计价	优点: 路径分配比例考虑路径的距离、时间、换乘及线路运营的服务水平(发车间隔)等因素, 反映乘客路径选择率及企业服务供给情况, 权重与各路径客流比例一致, 票价可以较真实体现服务价值。 缺点: 票价介于最低票价与最短路径票价之间, 但仍比地铁票价高, 需价格主管部门对票价计价方法认同及听证
	确定 OD 优选路径, 按照优选路径平均票价计价	优点: 相对加权路径算法, 平均权重算法规则简单, 更易操作和对外公布。 缺点: 平均权重算法未考虑路径被选择的可能性, 选择概率大的路径票价可能被一条概率小的高票价路径平均, 票价无法体现乘客路径选择行为。同时票价也比地铁票价高, 也涉及票价听证

综上所述, 最短路径的票价最高, 公益性最差; 最低票价的票价最低, 企业受损最严重; 加权路径票价介于最低票价与最短路径票价之间, 企业收入与公益性相对平衡, 是本文推荐方案。

3.2.2 加权路径算法

加权路径算法示意图见图 6。

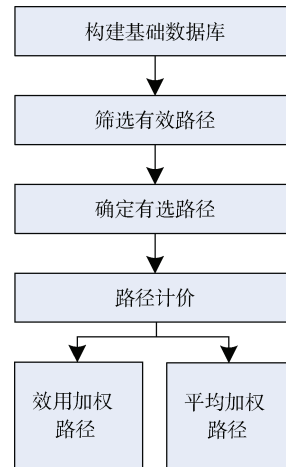


图 6 加权路径算法示意

Figure 6 Weight path algorithm

1) 构建基础数据库。收集线路、车站名、站间距、区域表、换乘站、换乘步行时间、线路运营服务水平(发车间隔、列车平均运营速度)、运营企业等数据, 构建基础数据库。

2) 筛选有效路径。获取 OD 之间每条路径的距离、时间、通过站点数、换乘次数等影响乘客选择路径的关键因素剔除无效路径: 换乘次数 > 最短路径换乘次数 + N_1 (1 次或 2 次) 时剔除。出行时间 > 最短路径出行时间 × N_2 (1.5 或 1.6) 时剔除。备注: 路径时间 = \sum (发车间隔/2 + 路段距离/列车平均运营速度)。 N_1 、 N_2 具体取值建议由第三方公司调研、测算确定。

3) 确定优选路径。根据路径选择影响因素(乘车时间、路径距离、站点数、换乘次数、发车间隔)等因素确定路径代价值 U_i^{od} , 在有效路径集 K 中选取综合代价 U_i^{od} 低的前 K_{you} 条线(不超过 3~5 条)路径作为 OD 票价的优选路径集。

首先对路径选择影响因素(乘车时间、路径距离、站点数、换乘次数、发车间隔)进行影响程度的标准化处理, 常用处理方法有以下几种。

①最小偏离法:

$$\begin{aligned} Tr_i^{\text{od}} &= (r_i^{\text{od}} - r_{\min}^{\text{od}}) / r_{\min}^{\text{od}} \\ Td_i^{\text{od}} &= (d_i^{\text{od}} - d_{\min}^{\text{od}}) / d_{\min}^{\text{od}} \\ Tt_i^{\text{od}} &= (t_i^{\text{od}} - t_{\min}^{\text{od}}) / t_{\min}^{\text{od}} \\ Ts_i^{\text{od}} &= (s_i^{\text{od}} - s_{\min}^{\text{od}}) / s_{\min}^{\text{od}} \end{aligned} \quad (1)$$

式中, r_i^{od} 、 d_i^{od} 、 t_i^{od} 、 s_i^{od} 分别为以 O 为起点、D 为终点出行的第 i 条路径的换乘次数、乘坐距离、乘坐时间、乘坐站数; r_{\min}^{od} 、 d_{\min}^{od} 、 t_{\min}^{od} 、 s_{\min}^{od} 分别为以 O 为起点、D 为终点的所有路径中换乘次数、乘坐距离、乘坐时间、乘坐站数的最小值; Tr_i^{od} 、 Td_i^{od} 、 Tt_i^{od} 、 Ts_i^{od} 分别以 O 为起点、D 为终点出行的第 i 条路径的换乘次数、乘坐距离、乘坐时间、乘坐站数的标准化处理后的数值。

②平均倍数法:

$$\begin{aligned} Tr_i^{\text{od}} &= r_i^{\text{od}} / \left(\sum_{i=1}^{i=k} r_i^{\text{od}} / k \right) \\ Td_i^{\text{od}} &= d_i^{\text{od}} / \left(\sum_{i=1}^{i=k} d_i^{\text{od}} / k \right) \\ Tt_i^{\text{od}} &= t_i^{\text{od}} / \left(\sum_{i=1}^{i=k} t_i^{\text{od}} / k \right) \\ Ts_i^{\text{od}} &= s_i^{\text{od}} / \left(\sum_{i=1}^{i=k} s_i^{\text{od}} / k \right) \end{aligned} \quad (2)$$

两种方法略有不同,但对下一步综合代价值计算后的权重值影响不大。

以 O 为起点、D 为终点出行的第 i 条路径的综合代价值 U_i^{od} 计算式为

$$U_i^{\text{od}} = \mu_1 \cdot Tr_i^{\text{od}} + \mu_2 \cdot Td_i^{\text{od}} + \mu_3 \cdot Tt_i^{\text{od}} + \mu_4 \cdot Ts_i^{\text{od}} \quad (3)$$

式中, μ_1 、 μ_2 、 μ_3 、 μ_4 为预设的关键因素因子。进一步地, 预设因子满足

$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 = 1 \quad (4)$$

预设因子比例的取值范围为 0~1, 通过系统仿真、轨道交通乘客问卷调查和需求价格弹性分析计算得到, 预设因子与轨道交通各路径票务清分比例测算关键因素预设因子挂钩。

可以发现, 路径综合代价值 U_i^{od} 越高, 路径的效用越低, 乘客选择的意愿越低, 因此选取 U_i^{od} 低的 3~5 条路径作为 OD 票价的优选路径集。

4) 路径计价。对 OD 路径进行区段划分为唯一路径和多路径区段路径。

唯一城际路径时, 根据城际线路单独定价。

多路径区段时, 每条路径均按照同制式内“不分段、不重新起步”、不同制式内“分段、重新起步”计价的原则进行计价 F_i (第 i 路径票价)。再通过加权路径算法进行多路径区段票价计算。

①效用权重路径算法。该算法是根据路径效用的比例定义路径权重, 上述分析可见, 乘客对路径的选择倾向, 即路径效用值会随着路径代价值 U_i^{od} 增加而减少, 正态函数右半曲线可以很好地描述该关系特性, 只要选择合适的参数因子 σ , 就可以准确地拟合路径选择概率。 σ 可通过系统仿真、乘客问卷调查和需求分析得到。

$$X_i^{\text{od}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left(-\frac{(U_i^{\text{od}} / U_{\min}^{\text{od}})^2}{2\sigma^2} \right) \quad (5)$$

式中, U_{\min}^{od} 为优选路径中最小路径代价值; X_i^{od} 为经过修正后正态分布的路径效用值。

$$P_i^{\text{od}} = X_i^{\text{od}} / \sum_{i=1}^{K_{\text{you}}} X_i^{\text{od}} \quad (6)$$

式中, P_i^{od} 为第 i 条路径乘客选择的比例, 也是第 i 条路径权重。

多路径区段综合票价 F 计算式为

$$F = \sum_{i=1}^{K_{\text{you}}} (P_i^{\text{od}} \times F_i) \quad (7)$$

式中, F_i 为第 i 路径票价。

②平均权重路径算法。该算法规则简单, 各路径权利一致, 更易操作和对外公布, 票价听证时更容易广大人民群众理解。

$$F = \left(\sum_{i=1}^{K_{\text{you}}} F_i \right) / K_{\text{you}} \quad (8)$$

4 OD 票价例证

以广州地铁广州北站至香山、机场北至香山为例验证以上票价算法, 其中南沙至珠海城际、芳白城际、广花城际为城际线路, 与途径的各地铁线路无障碍换乘, 更与地铁 18/22 采用列车贯通运行方式, 城际线采用固定费率 0.60 元/km, 起步价 5 元计费, 其他为地铁线路, 采用 2 元 4 km, 4~12 km 每递增 4 km 增加 1 元, 12~24 km 每递增 6 km 增加 1 元, 超过 24 km

的每递增 8 km 增加 1 元的方式计价。

4.1 广州北站至香山(见图 7)。

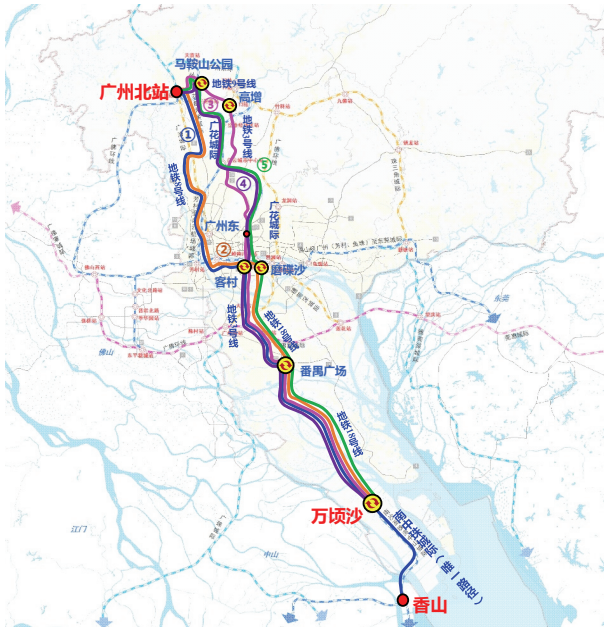


图 7 广州北站至香山多路径示意

Figure 7 Schematic of multiple paths from Guangzhou North Station to Xiangshan Station

唯一路径区段(万顷沙—香山): 城际单独定价, 距离 18.9 km, 票价 10 元。多路径区段(广州北站—万顷沙): 广州北站—万顷沙票价计算见表 2。

表 2 广州北站—万顷沙票价计算

Table 2 Fare Calculation Table from Guangzhou North railway station to Wanqingsha

序号	路径	长度/km		票价/元		效用权重		平均权重	
		地铁	城际	地铁	城际	比例/%	票价/元	比例/%	票价/元
1	地铁 8 号线(广州北站—客村)—地铁 3 号线(客村—番禺广场)—地铁 18 号线(番禺广场—万顷沙)	101.7	0.0	16	0	16	10.9		20.0
2	地铁 8 号线(广州北站—磨碟沙)—地铁 18 号线(磨碟沙—万顷沙)	102.4	0.0	16	0	16	13.8	28	20.0 24
3	地铁 9 号线(广州北站—高增)—地铁 3 号线(高增—番禺广场)—地铁 18 号线(番禺广场—万顷沙)	102.2	0.0	16	0	16	10.8		20.0

续表

序号	路径	长度/km		票价/元		效用权重		平均权重	
		地铁	城际	地铁	城际	比例/%	票价/元	比例/%	票价/元
4	地铁 9 号线(广州北站—马鞍山公园)—广州东至花都天贵城际(马鞍山公园—广州东)—地铁 3 号线(广州东—番禺广场)—地铁 18 号线(番禺广场—万顷沙)	67.5	36.0	12	24	36	19.3		20.0
5	地铁 9 号线(广州北站—马鞍山公园)—广州东至花都天贵城际(马鞍山公园—广州东)—地铁 18 号线(广州东—万顷沙)	66.4	36.0	12	24	36	45.3		20.0

综上, 将唯一路径与多路径区段票价合计, 效用权重算法票价 38 元, 平均权重算法票价 34 元。

4.2 机场北至香山(见图 8)。

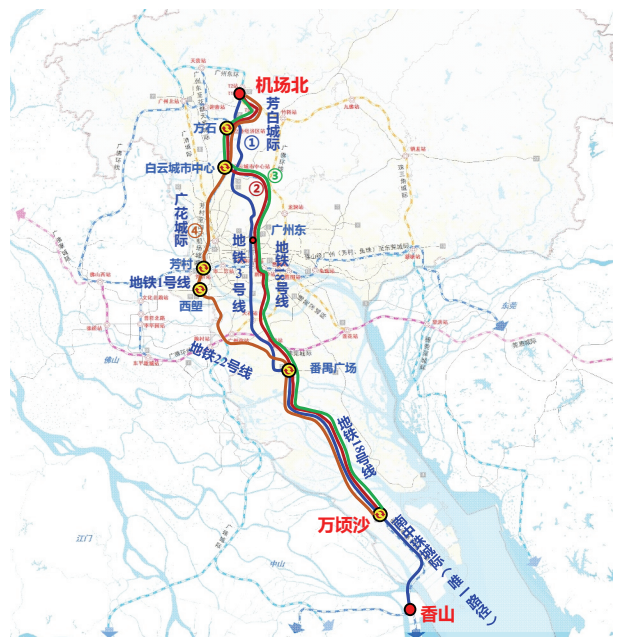


图 8 机场北至香山多路径示意

Figure 8 Multipath diagram from Airport North Station to Xiangshan Station

唯一路径区段(万顷沙—香山): 城际单独定价, 距离 18.9 km, 票价 10 元。多路径区段(机场北—万顷沙): 机场北部—万顷沙票价计算见表 3。

表3 机场北站—万顷沙票价计算

Table 3 Ticket Price Calculation Table for Airport North Station to Wanqingsha

序号	路径	长度/km		票价/元			效用权重		平均权重	
		地铁	城际	地铁	城际	合计	比例/%	票价/元	比例/%	票价/元
1	地铁3号线(机场北—番禺广场)— 地铁18号线(番禺广场—万顷沙)	92.4	0	15	0	15	39.3			25.0
2	芳村至白云机场城际(机场北—方石)— 广州东至花都天贵城际(方石—广州东)— 地铁18号线(广州东—万顷沙)	60.5	36.9	11	24	35	30.0			25.0
3	芳村至白云机场城际(机场北—白云城市中心)— 广州东至花都天贵城际(白云城市中心—广州东)— 地铁18号线(广州东—万顷沙)	60.5	36.9	11	24	35	30.0	27		30
4	芳村至白云机场城际(机场北—芳村)— 地铁1号线(芳村—西塱)— 城际22号线(西塱—番禺广场)— 地铁18号线(番禺广场—万顷沙)	62.7	41.0	11	27	38	0.7			25.0

综上,将唯一路径与多路径区段票价合计,效用权重算法票价38元,平均权重算法票价40元。

5 票价听证

经上述分析可知,无论效用权重或平均权重算法,新票价与现行地铁票价之间差价较大,因涉及地铁线路票价变化,因此需开展新计价方式评估与OD票价听证。听证流程如图9所示。

5.1 票价调整建议

由于新票价值与现行票价之间差价较大,建议设置票价调整的启动阈值、调整限额。

启动阈值:城际新线开通及运营服务提升带来的票价提高幅度超过1元时,建议启动年度调价,调整以1元为单位。

调整限额:当距离较长时,新票

价计算值(预期值)与现行票价(最低价)差价较大,为避免听证及人民群众质疑过大,建议分步票价调整,例如3~5次调整至预期值,每次调整幅度20%~30%。例如机场北—香山多路径区段首次调整由15元升至18元。

5.2 定期评估

随着新线开通,影响乘客路径选择的关键因素、有效路径、优选路径、路径权重等均可能有调整,会对票价造成少量影响。同时,因调整限额的限制,建议在新线开通前或3~5年评估一次,直至票价达到预期值。

6 结论

都市圈轨道交通跨制式无障碍融合已成为大型城市群发展的趋势,目前已开通的跨制式无障碍换乘城市多采用单点换乘,路径唯一,票价清晰,但是多点换乘OD多路径下跨制式票价研究目前国内尚未开展。

本文的研究一定意义上填补了国内的空白,既可满足城际企业票款收入,满足自主运营盈利需求,又能兼顾轨交公益性,满足广大人民群众便捷出行需求。本文首先对多路径下OD异价技术手段进行研究,又在OD同价方案中提出效用权重路径及平均权重路径两种算法,详细阐述了算法的计算步骤公式,并通过广州地铁两个实例验证算法的可行性。在得出多路径的优选路径后,各路径的权重不局限在效用权重或平均权重两种,各城市可根据自身特点制定适合自身城市的权重比例。

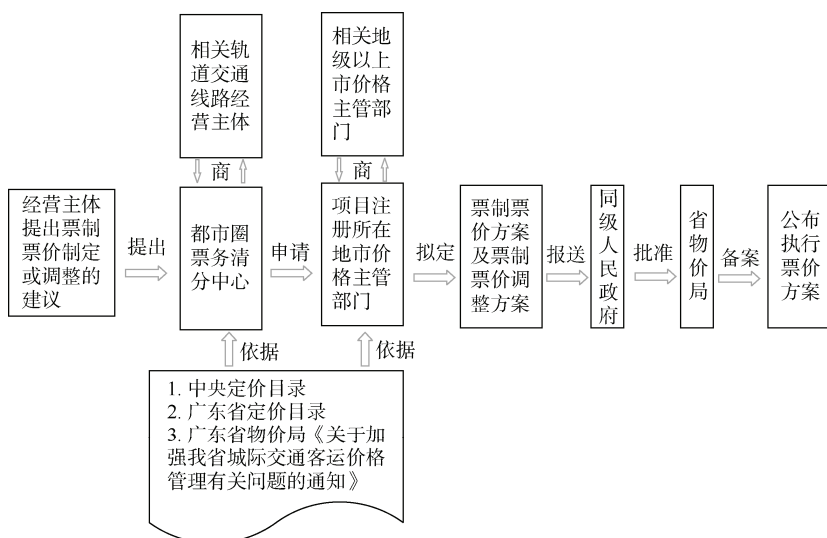


图9 票价听证流程示意

Figure 9 Schematic of the ticket price hearing process

本文针对都市圈轨交跨制式无障碍多路径票价算法是国内首创,并辅以具体实例进行说明,期望对国内都市圈各城市制定跨制式轨道交通票价政策提供帮助支持。

参考文献

- [1] 李振. 轨道上的大湾区再提速,“拆围墙”走向“一张网、一张票、一串城”[N]. 21世纪经济报道, 2019-04-10(AA1).
- [2] 余秋亮, 黄舒旻, 温美春. 实现大湾区城际轨道交通“公交化”[N]. 南方日报, 2019-04-10(AA1).
- [3] 邹明辉. 粤港澳大湾区城际铁路公交化运营模式探讨[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(4): 91-95.
ZOU Minghui. Discussion on intercity railway operation of public transportation mode in Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area[J]. Railway transport and economy, 2021, 43(4): 91-95.
- [4] 罗慧, 吴殿华, 梁笛. 广东城际铁路公交化多元支付票务系统设计[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(12): 130-135.
LUO Hui, WU Dianhua, LIANG Di. Design of Guangdong intercity railway public transportation multi-payment ticketing system[J]. Urban mass transit, 2021, 24(12): 130-135.
- [5] 朱鑫鑫. 杭州都市圈轨道交通网络一体化运营研究[J]. 交通企业管理, 2023, 38(3): 48-50.
ZHU Xinxin. Research on integrated operation of rail transit network in Hangzhou metropolitan area[J]. Transportation enterprise management, 2023, 38(3): 48-50.
- [6] 徐添城, 郑培庚, 严立明. 一票换乘 杭绍直达[N]. 浙江日报, 2022-04-30(1).
- [7] 贺斌, 于洁. 财政出手买服务 居民出行降成本: 北京财政每年安排1.3亿元运营补助, 市郊铁路S2线票价下降70%[N]. 中国财经报, 2011-07-16(2).
- [8] 李晓玉, 苏跃江, 胡郁葱, 等. “四网融合”背景下粤港澳大湾区轨道交通票价一体化研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(10): 14-19.
LI Xiaoyu, SU Yuejiang, HU Yucong, et al. Integration of rail transit fares in Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area under the background of ‘Four-network’ integration[J]. Urban mass transit, 2022, 25(10): 14-19.
- [9] 张鑫, 夏贝. “小车票、大学问”之伦敦公共交通票价体系研究[N]. Cityif. 2021-02-20.
ZHANG Xin, Xia Bei. ‘Small Tickets, University Questions’: A Study on the London Public Transport Fare System[N]. Cityif. 2021-02-20.
- [10] Liang June. 乘坐伦敦地铁如何巧妙利用 Oyster Card 粉色读卡器[EB/OL]. (2020-02-19)[2021-07-14]. <https://www.bangli.uk/post/44105>.
- LIANG June. How to take advantage of the Oyster Card pink reader on the London Underground. [EB/OL]. (2020-02-19)[2021-07-14]. <https://www.bangli.uk/post/44105>.
- [11] 搜狐网. “小车票、大学问”之巴黎公共交通票价体系研究[EB/OL]. 搜狐网. (2021-02-18)[2023-06-15]. https://www.sohu.com/a/451273663_651721.
- [12] 甄小燕. 东京巴黎城市圈城际轨道交通比较及启示[J]. 综合运输, 2008, 30(10): 74-77.
ZHEN Xiaoyan. Comparison and enlightenment of intercity rail transit in Tokyo-Paris metropolitan area[J]. Comprehensive transportation, 2008, 30(10): 74-77.
- [13] 张森, 于敏. 都市圈跨制式轨道交通贯通融合票价体系研究[J]. 都市轨道交通, 2022, 35(2): 79-84.
ZHANG Sen, YU Min. Fare system under the background of integration of cross-standard rail transit payment areas in metropolitan area[J]. Urban rapid rail transit, 2022, 35(2): 79-84.
- [14] 周静, 杨新章. 无线定位技术浅析[J]. 广东通信技术, 2021, 41(9): 21-30.
ZHOU Jing, YANG Xinzhang. Analysis of wireless positioning technology[J]. Guangdong communication technology, 2021, 41(9): 21-30.
- [15] 葛欣, 蔺雪葳, 王依岳. 基于 Android 的定位追踪 APP 的设计与实现[J]. 价值工程, 2016, 35(18): 171-173.
GE Xin, LIN Xuewei, WANG Yiyue. The design of simple hand-held tracking APP based on android[J]. Value engineering, 2016, 35(18): 171-173.
- [16] 李梦梦. 基于机器学习的 WIFI 室内定位技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2020.
LI Mengmeng. Machine learning based WIFI indoor positioning technology research[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2020.
- [17] 韩骁, 王琮. 基于人脸识别技术的城市轨道交通客流监测应用可行性分析[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(1): 145-147.
HAN Xiao, WANG Cong. Application feasibility analysis of urban rail transit passenger flow monitoring based on face recognition technology[J]. Urban mass transit, 2020, 23(1): 145-147.
- [18] 搜狐网. 阿里将 NFC 的通信距离从 20 厘米扩至 3 米[EB/OL]. (2020-07-23)[2023-06-15]. https://www.sohu.com/a/409243008_505878.

(编辑: 傅依萱)