

# 城市轨道交通网络客流大数据可视化

江志彬<sup>1</sup>, 刘伟<sup>2</sup>, 韩彦钊<sup>1</sup>, 陈菁菁<sup>2</sup>

(1.同济大学交通运输工程学院, 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2.上海申通地铁集团有限公司技术中心, 上海 201103)

**摘要:** 客流分析是轨道交通运营组织的基础, 传统的客流分析方法无法从海量的乘客历史出行大数据中提取与挖掘乘客出行规律和特征。大数据可视化为获得洞察大规模复杂客流数据能力提供支撑。基于城市轨道交通网络实际运营需求, 从客流认知、可视化、人机交互的综合视角出发, 基于GIS地图、网络迁徙图、日历图、散点图、弦图等可视化图形, 研究大规模复杂网络OD客流、断面、进出站和换乘客流大数据可视化的运营需求关键技术与实现方法。对上海城市轨道交通网络客流大数据进行实例分析, 可视化展示结果有利于运营管理人员掌握网络客流时空变化特征以及演变规律, 为制定科学行车与客运组织方案提供决策依据。

**关键词:** 城市轨道交通; 客流; 大数据; 可视化; 客运组织

## Big Passenger Flow Data Visualization for Urban Rail Transit Network

Jiang Zhibin<sup>1</sup>, Liu Wei<sup>2</sup>, Han Yanzhao<sup>1</sup>, Chen Jingjing<sup>2</sup>

(1.School of Transportation Engineering, Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2.Technical Center of Shanghai Shentong Metro Group Co. Ltd., Shanghai 201103, China)

**Abstract:** Analyzing passenger flow is fundamental for effective rail transit operation. However, the traditional analysis methods cannot extract and explore the characteristics of passenger travel from the historical big passenger flow data. The big data visualization enables the analysis of large-scale complex passenger flow data. Based on the actual operational needs, and comprehensive perspective of passenger flow cognition, visualization, and human-computer interaction, this paper discusses the key techniques and method for the big data visualization such as origin-destination, passenger volume, passenger entering/departing station, and number of transfer passengers in the big-scale complex network using GIS map, network migration map, calendar map, scatter plot, chord diagram and other visual graphics. A case study in Shanghai urban rail transit network is presented to illustrate the applications of the techniques. The results show that visualized presentation is helpful for operation management personnel to understand the temporal and spatial changes and evolution of passenger flows in the network, and provides valuable information for making effective operation decisions.

**Keywords:** urban rail transit; passenger flow; big data; visualization; passenger transportation operation

收稿日期: 2016-01-01

基金项目: 国家自然科学基金项目“城市轨道交通网络限流与列车调整协同优化建模与仿真”(61473210)、中央高校基本业务经费资助项目“基于大数据的城市轨道交通网络客流特征挖掘”(1600219246)、上海申通地铁集团合作项目“基于WiFi信令数据挖掘的轨道交通运营需求研究”(17019)

作者简介: 江志彬(1980—), 男, 江西萍乡人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 轨道交通运营组织方案优化与仿真。E-mail: jzb@tongji.edu.cn

## 0 引言

客流分析是城市轨道交通安全、可靠运营的基础, 对网络客流特征以及演变规律的精确把握可以为制定科学的行车与客运组织方案提供决策依据, 也可以为网络客流特征

分析与趋势预警预测提供参考。对于城市轨道交通网络而言, 客流是指单位时间内轨道交通线路上乘客流动人数和流动方向的综合, 轨道交通网络客流是一种动态流, 分布与变化随时间和空间的不同而各异。根据客流时间分布特征, 轨道交通客流分为 5 min

客流、1 h 客流、日客流、月客流和年客流等<sup>[1]</sup>。客流的分布主要分为车站客流、换乘客流、断面客流、站间 OD 客流、线路和网络客流等<sup>[2]</sup>。

随着城市轨道交通网络客流规模快速增长，网络层面的客流分析难度越来越大。以上海市为例，截至 2015 年 10 月，其轨道交通网络运营里程已达 548 km，车站数达 337 座，每日自动售检票(AFC)系统采集的原始交易 OD 对数据近 500 万条，其存储容量接近 1 GB。每日运营结束后，AFC 系统会根据清分模型对客流数据进行计算，并得到最小单位为 5 min 的网络分时断面、进出站、换乘等客流数据，然后通过 Excel 报表的形式输出。同时 AFC 系统会借助饼图、柱状图、折线图较为简单的二维图形对客流进行辅助分析<sup>[3-4]</sup>。既有的客流分析对乘客在时间与空间上出行规律的宏观与微观结合不足，也很少从客流信息多源性、多维度性和时变性等特征进行综合考虑，因此分析结果对于日常运营决策支持有限。

事实上，城市轨道交通网络客流信息隐含丰富的乘客出行规律和特征，如何从海量乘客历史出行大数据中提取与挖掘有价值的信息，为运营者提供决策是值得研究的课题。当前，大数据已成为新兴学术研究热点，并被认为是继云计算和物联网之后又一个革命性信息技术<sup>[5]</sup>。大数据可视化分析是从人作为分析主体和需求主体的角度出发，强调基于人机交互、符合人认知规律的分析方法，意图将人所具备、机器并不擅长的认知能力融入分析过程中<sup>[6]</sup>。通过对客流大数据以直观可视化图形形式展示，将人的知识引入数据分析中，让用户能够根据自身认知去分析客流数据，在分析过程中实现人机之间交互，以获得洞察大规模复杂客流数据的能力<sup>[7-8]</sup>。

本文基于城市轨道交通网络实际运营需求，从客流认知、可视化、人机交互的综合视角出发，基于 GIS 地图、网络迁徙图、日历图、散点图、弦图等可视化图形，研究大规模复杂网络 OD 客流，断面、进出站和换乘客流大数据可视化的运营需求关键技术与实现方法，并以上海市城市轨道交通网络为实例进行分析。

## 1 城市轨道交通网络 OD 客流可视化

OD 客流是客流指标计算的基础，也是制定开行方案的主要依据<sup>[9]</sup>。OD 客流带有空

间(起讫点)和时间(出发时刻和到达时刻)双重特征，空间上分为车站间 OD、线路间 OD、车站至线路之间汇总的 OD，以及区域间 OD 等类型，其数据量可用绝对量或相对比例来描述。OD 数据具有多种属性，结构复杂且数据量庞大。网络 OD 客流可视化的主要目的是基于 OD 客流的复杂性、多样性特点，从宏观与微观两个层面掌握网络 OD 的时空分布(如最大 OD 发生在哪些车站之间、客流在时间上的流向)以及主要出行 OD 与时间分布(最大 OD 发生在哪些车站、哪个时段以及客流来源与去向等)。

### 1.1 网络 OD 时空分布

乘客出行实际上是发生在空间上的一种迁徙行为。结合实际地图坐标信息的迁徙图可以很好地描述乘客出行过程，“百度迁徙”就是其中一个最为成功的应用案例。“百度迁徙”利用百度地图 LBS(基于地理位置的服务)开放平台、百度天眼，对其拥有的 LBS 大数据进行计算分析，并采用创新可视化呈现方式，在业界首次实现了全程、动态、即时、直观地展现中国春节前后人口大迁徙轨迹与特征，从推出开始就受到广泛关注<sup>[10]</sup>。目前，百度也开放了模拟迁徙功能的 Echarts 控件<sup>[11]</sup>，基于该控件，结合城市轨道交通网络实际地图坐标信息，同时基于对海量 OD 客流数据的加工与处理，最终可以展示客流在网络上的时空分布。图 1a 和图 1b 分别展示了上海市轨道交通网络 2015 年某日(星期四)早高峰(7:30—9:30)和晚高峰(17:30—19:30)的 OD 客流分布。图中蓝色线表示 OD 量大于 100 的所有 OD 对，线的粗细与 OD 量成正比，彩色加粗线为网络最大的 20 个 OD 对，颜色越红表示 OD 量越大。图 1 可以直观展现网络上主要 OD 位置、OD 量以及早高峰向心性和晚高峰离心性等特征。

### 1.2 网络中主要出行 OD 与时间分布

基于图 1 的宏观分析，通过迁徙图进一步分析主要车站 OD 客流的来源与去向分布。图 2a 和图 2b 分别为 2015 年某日(星期四)上海市地铁徐家汇站早高峰(7:30—9:30)所有出发与到达 OD 客流分布。图中蓝色线表示发生 OD 对，线的粗细对应 OD 量，彩色加粗为最大的 10 个 OD 对，颜色越红表示 OD 量越大。图 2 直观展现了徐家汇站在早高峰时段 OD 主要来向与去向特征。由于徐家汇站是一个商业中心，客流以通勤为主，因此

可以明显看出早高峰时段到达量远大于出发量。

## 2 网络断面客流可视化

断面客流是指在单位时间内通过轨道交通线路某一区间的客流量。对于断面客流特征把握，既需要展现其在不同时段(早晚高峰)、不同时期(工作日、双休日与节假日)的差异性，又要体现其在发生位置与发生方向(上下行)的差异性<sup>[12]</sup>。基于分析目的不同，断面客流可视化可以通过断面绝对量与断面满载率两个指标来展现，断面绝对量主要反映不同位置与方向上的客流量，而满载率是结合列车能力的综合性指标，反映列车拥挤程度。

### 2.1 基于日期变化的网络断面客流可视化分析

对于同一线路，其最大断面客流量在时间上存在较大差异，这种差异性既体现在一天中不同时段上，还体现在一段时期内不同日期上。传统的分析方法均把这两种特征进

行独立分析，很难掌握客流在不同日期和不同时段的变化规律<sup>[13]</sup>。基于大数据的分析结果，将甘特图与日历图进行综合展示<sup>[7]</sup>，可以实现对断面客流不同时段与不同日期的对比。图3展示了上海市某轨道交通线2015年5月的分时最大断面客流量日历图。在传统日历格式基础上，图3融入分时条状图，通过条状元素颜色深浅描述分时最大断面客流量。该线路工作日最大断面客流量在时间上具有两个峰值，分别是7:00—10:00以及17:00—19:00；周末断面客流比较均衡，起伏不明显，但在节假日期间断面较一般周末要大，且有一定的峰期。因此，运营管理者可以通过这类可视化图表完成对基于时间特性客流的对比分析，从而得出一定的周期性变化规律。

### 2.2 基于空间差异的断面客流可视化分析

断面客流分析既要展现网络各断面在不同空间上的差异性，还要展现同一区间在不同方向的差异性。融合地图GIS信息与区间

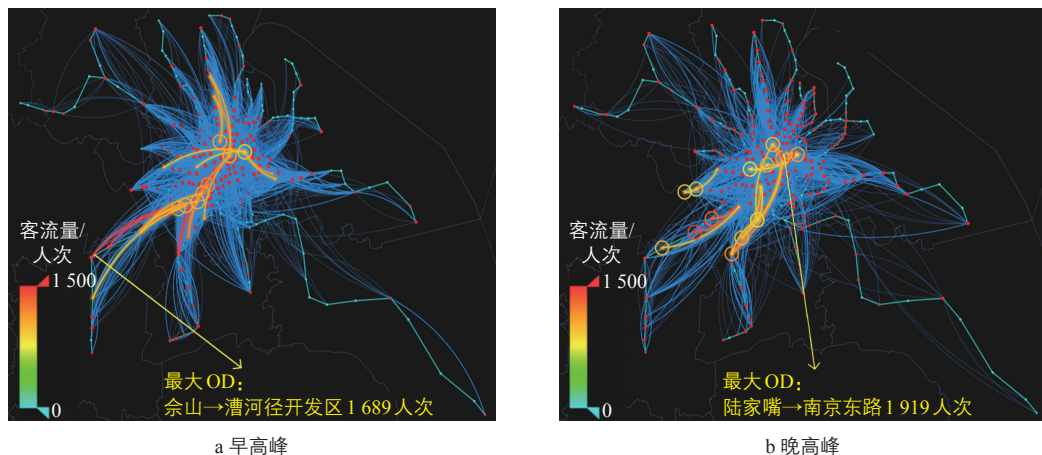


图1 基于迁徙图的轨道交通网络OD分布

Fig.1 OD distribution of rail transit network based on migration map

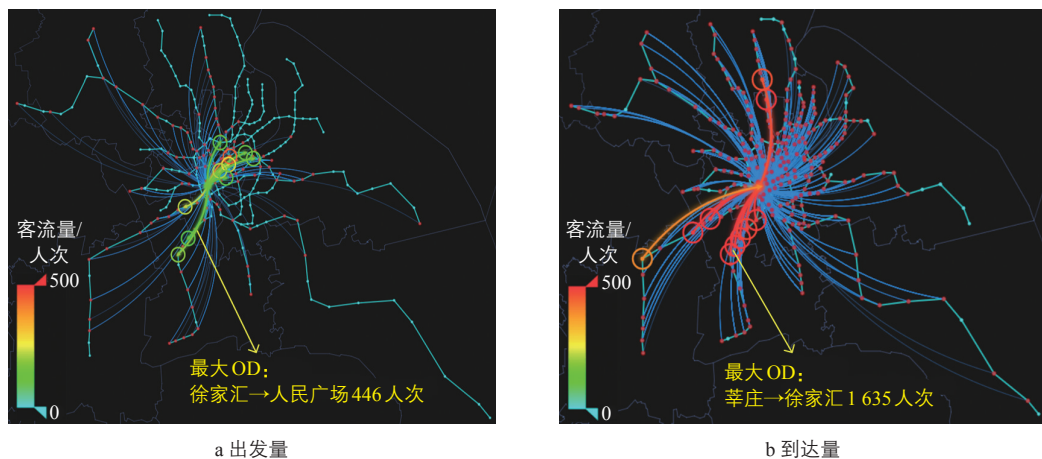
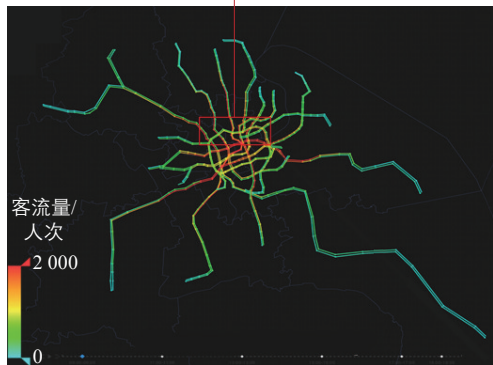
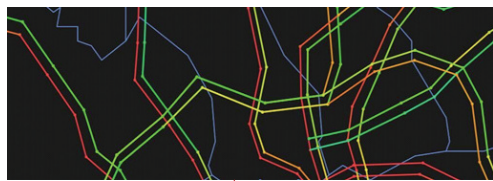


图2 基于迁徙图的轨道交通车站(徐家汇站)出发与到达OD分布

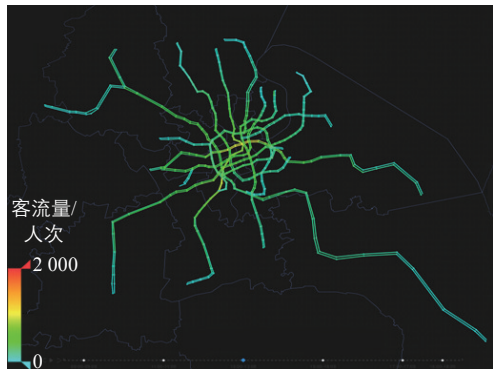
Fig.2 OD distribution of entering/departing rail transit stations (Xujiahui Station) based on migration map

动态迁徙的组合图，将每条线路按方向虚拟成两条线路，并且将分方向线路的车站映射到GIS地图上，用车站节点间连接线来表示断面，动画迁徙过程表示方向，用连接线的颜色深浅表示断面绝对量或满载率。图4是上海市轨道交通2014年某日(星期五)早高峰(09:00—09:05)、平峰(13:00—13:05)以及晚高峰(19:00—19:05)的网络5 min分方向(上下行)断面客流量。可以看出，工作日早高峰向市区方向的断面客流量较大，离开市区方向的断面客流量较小，而晚高峰情况则相反，平峰时上下行断面客流量较小且均衡。这类可视化分析图充分结合了网络断面客流的空间与时间特征，可以辅助运营管理者从宏观、微观层面全面了解断面客流的分布规律。

需要指出的是，在图4的基础上，可以将断面客流数据中的时间变量映射到动画的时间轴上，实现通过控制时间轴来观察各个时段内各个断面客流变化，也可将不同时间段的图形生成动画或视频文件。这种动态可视化分析可以直观地展示网络断面客流随时间



a 早高峰



b 平峰

演变规律，对于优化列车开行方案与客流组织方案具有重要参考价值。

### 3 进出站客流可视化

进出站客流是指单位时间内在轨道交通车站进出的客流总量。对于网络进出站客流的分析主要是空间与时间特性的展现<sup>[14]</sup>。散点图是数据点在坐标系平面上的分布图，可以将散点图与地理坐标系相结合，借助散点和地理地图表达车站及其所处的空间位置。图5为2014年某日(星期五)上海市轨道交通工作日进出站客流分布，分别为早高峰(7:30—9:30)、晚高峰(17:30—19:30)时的进出站客流情况，点的颜色深浅代表车站客流量大小。可以看出，早高峰时段郊区车站的进站量较大，市区车站(如人民广场、陆家

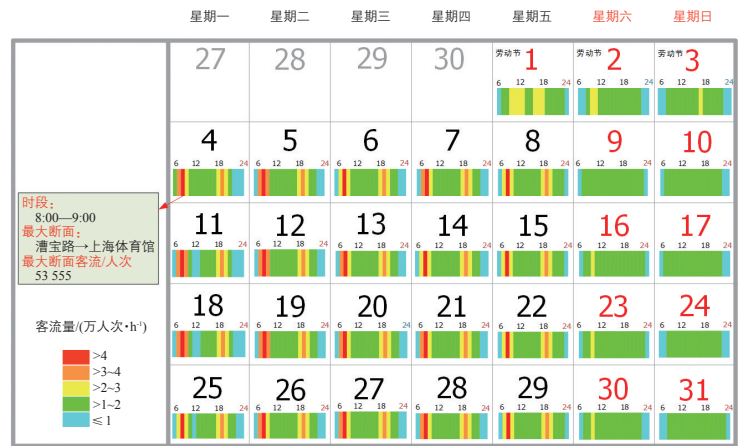
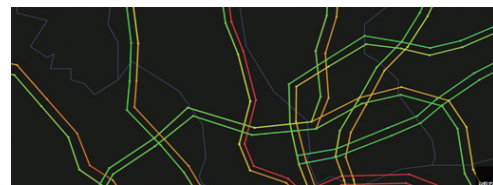


图3 基于甘特图与日历图相结合的单月分时最大断面客流量

Fig.3 Hourly largest passenger volume in a month based on Gantt chart and calendar map



c 晚高峰

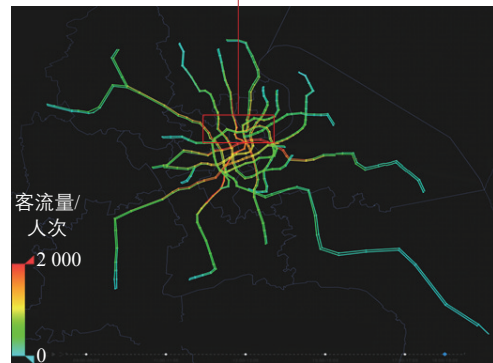


图4 基于空间特性的网络断面客流可视化展示

Fig.4 Visualized presentation of network passenger volume based on spatial characteristics

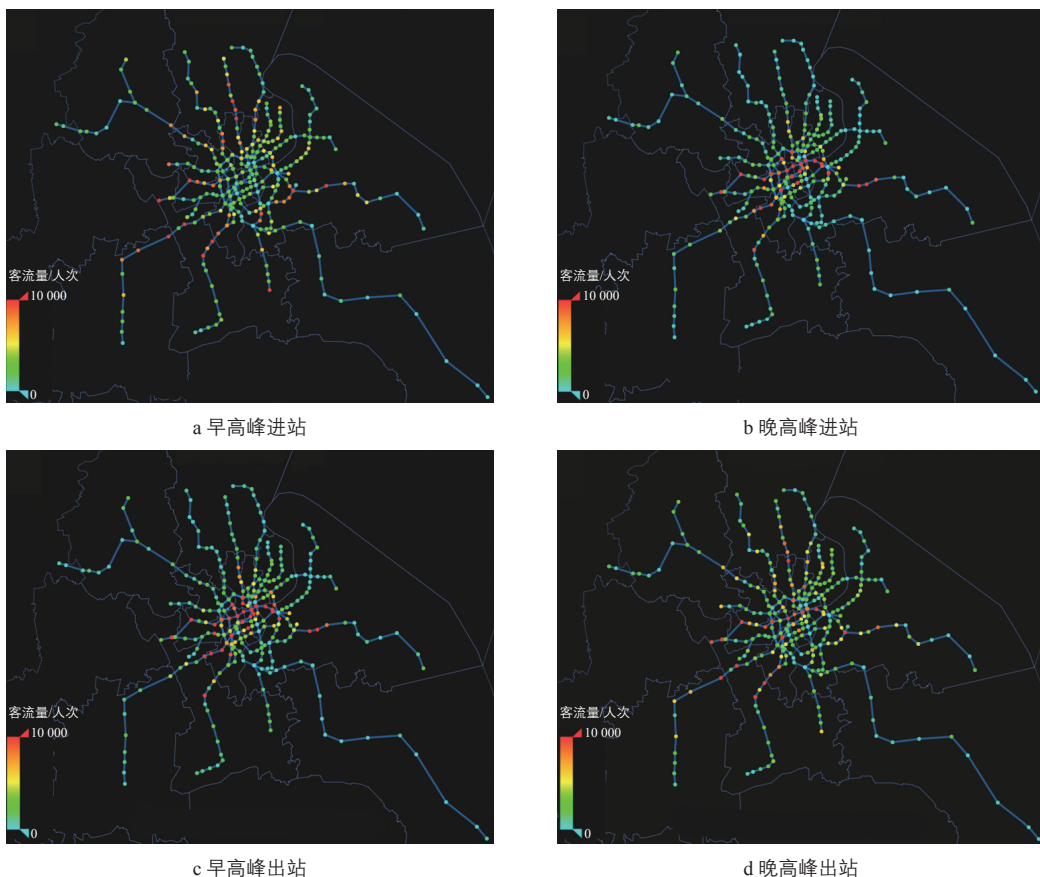


图5 基于散点图的轨道交通网络早晚高峰进出站客流量

Fig.5 Passenger volume entering/departing rail transit stations during morning and afternoon peak hour based on scatter plot

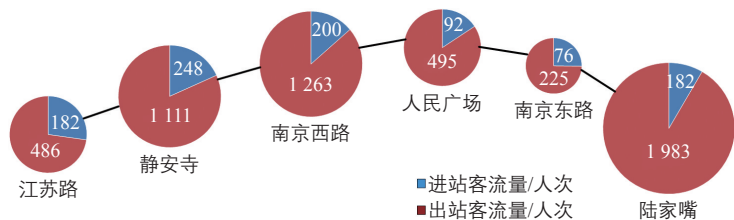


图6 轨道交通车站早高峰进出站客流量比例

Fig.6 Proportion of passenger volume of entering/departing rail transit stations during morning peak hours

嘴等)的出站量最大,而晚高峰恰好相反。通过这类图表可以分析进出站客流在时间与空间上的分布规律,为制定合理的停站方案与客流组织方案提供决策依据。

另外,在分析进站量和出站量的差异性时,将进出站汇总到同一图形中更有利于从全局上把握不同空间车站的进出站特征,利用饼图替换图5中的各个散点(圆圈大小表示进出站总量),可以实现进出站量在网络上的宏观表现(见图6)。

#### 4 换乘客流可视化

换乘站是城市轨道交通网络中的重要节点,各车站的换乘客流总量也可以采用类

似图5的散点图表示。但是对于换乘客流分析更为重要的是如何清晰地展现不同换乘方向上的换乘客量<sup>[15-16]</sup>。换乘站在不同线路之间的换乘方向与该站衔接的线路数量有关,如2条线换乘站共有8个方向,3条线换乘站共有24个方向,而4条线换乘多达48个方向。既有的研究成果对换乘方向的表达大多是通过表格的形式进行描述,过于抽象且不直观。弦图是以圆和弦为基础的图形表达方式,可以将换乘方向映射成弦图中的弧线,同时借助弧线颜色、粗细来反映换乘方向上的客流量大小。圆外的箭头方向指代线路的上下行方向,在内部通过弧线连接各线路,从而实现对不同线路、不同方向间的换乘关系表达。

图7展示了上海市轨道交通南京东路站和人民广场站2014年某日(星期五)9:00—9:05的换乘客流量。通过弧线的颜色和粗细可以清晰地看出人民广场站8号线上行换1号线下行、8号线上行换1号线上行、1号线下行换2号线上行方向的换乘客流量较大。该类图的最大优点是能适应不同的衔接线路数量,且有助于运营管理人员快速掌握各个方向换乘客量大小及站内换乘客流分布,为制定

合理客流组织方案与设施设备优化方案提供决策依据。

## 5 结语

可视化分析是大数据分析的重要方法，它利用人对可视化信息的强大认知分析能力，将其与计算机的高效数据处理能力相结合，弥补了传统统计分析在客流宏观与微观多层次综合展现方面的不足。本文从城市轨道交通运营管理者的实际需求出发，探讨了可视化分析在城市轨道交通客流大数据分析与展示的运用需求、关键技术以及实现方法，对于运营管理人员辅助分析客流特征、优化行车与客运组织方案提供依据。但是基于大数据的可视化分析在城市轨道交通系统客流分析中的应用仍处于初步探索阶段，在数据挖掘、图形表达，尤其是对于动态多维度客流数据的可视化分析与展示技术还值得进一步深入探讨。

### 参考文献：

#### References:

[1] 杜世敏, 郑宇, 江志彬. 客流数据在城市轨道交通网络化运营组织中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2010, 13(6): 71-74.  
Du Shimin, Zheng Yu, Jiang Zhibin. Application of Passenger Flow Data on Urban Rail Transit Network Operation[J]. Urban Mass Transit, 2010, 13(6): 71-74.

[2] 李伟, 周峰, 朱炜, 等. 轨道交通网络客流大数据可视化研究[J]. 中国铁路, 2015(2): 94-98.

[3] Jiang Zhibin, Hsu C H, Zhang Daqiang, et al. Evaluating Rail Transit Timetable Using Big Passengers' Data[J]. Journal of Computer and System Sciences, 2016, 82(1, Part B): 144-155.

[4] Jiang Zhibin, Xie Chao, Ji Tingting, et al. Dwell Time Modeling and Optimized Simulations for Crowded Rail Transit Lines Based on Train Capacity[J]. PROMET: Traffic & Transportation, 2015, 27(2): 125-135.

[5] 程学旗, 靳小龙, 王元卓, 等. 大数据系统和分析技术综述[J]. 软件学报, 2014, 25(9): 1889-1908.  
Cheng Xueqi, Jin Xiaolong, Wang Yuanzhuo, et al. Survey on Big Data System and Analytic Technology[J]. Journal of Software, 2014, 25(9): 1889-1908.

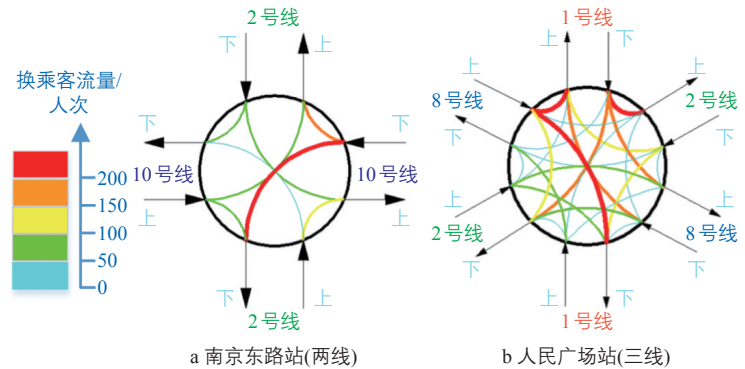


图7 轨道交通多线换乘站换乘关系

Fig.7 Transfer relationships among multiple lines of rail transit

[6] 任磊, 杜一, 马帅, 等. 大数据可视分析综述[J]. 软件学报, 2014, 25(9): 1909-1936.  
Ren Lei, Du Yi, Ma Shuai, et al. Visual Analytics Towards Big Data[J]. Journal of Software, 2014, 25(9): 1909-1936.

[7] Jiang Xiaorui, Zheng Chunyi, Tian Ya, et al. Large-Scale Taxi O/D Visual Analytics for Understanding Metropolitan Human Movement Patterns[J]. Journal of Visualization, 2015, 18(2):185-200.

[8] Zeng Wei, Fu Chiwing, Mueller A S, et al. Visualizing Mobility of Public Transportation System[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2014, 20(12): 1833-1842.

[9] 江志彬, 季婷婷. 基于客流影响的城市轨道交通列车运行调整策略[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(1): 39-42.  
Jiang Zhibin, Ji Tingting. URT Train Regulation Strategy Based on Passenger Flow Influence[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(1): 39-42.

[10] 百度. 百度地图迁徙人气[EB/OL]. 2015 [2015-12-01]. <http://qianxi.baidu.com/>.

[11] 百度. 百度Echarts[EB/OL]. 2015 [2015-12-01]. <http://echarts.baidu.com/index.html>.

[12] 马毅林, 温慧敏, 刘剑锋, 等. 城市轨道交通环线客流特征分析及启示[J]. 城市轨道交通, 2013, 11(6): 49-56+27.  
Ma Yilin, Wen Huimin, Liu Jianfeng, et al. Passenger Flow Characteristics Analysis of Urban Rail Transit Loop Lines[J]. Urban Transport of China, 2013, 11(6): 49-56+27.

[13] 沈丽萍, 马莹, 高世廉. 城市轨道交通客流分析[J]. 城市轨道交通, 2007, 5(3): 14-19.  
Shen Liping, Ma Ying, Gao Shilian. Passenger Flow Analysis of Urban Rail Transit Systems[J]. Urban Transport of China, 2007, 5(3): 14-19.

(下转第8页)