

# 一卡通（地铁）数据可视化分析

傅嘉豪 ffffff@qq.com

Astronaut Center of China (Auditor in PKU)

March 15, 2018

**Abstract**—城市的发展引起人民生活方式的变革，轨道交通（地铁）因其便捷、舒适的出行体验，正在成为愈来愈多市民的出行首要选择。巨大的客流量带来了海量的数据，而从大数据背后挖掘信息，指导人民出行，拓展商业模式，完善城市规划，具有深远的意义和巨大的价值。本文利用上海市轨道交通2015年4月的一卡通（地铁）刷卡数据，采用广度优先搜索（BFS）还原出行路径，构建基于D3.js的Web端客流量可视化分析系统，并进行了简要的分析，为不同需求的更广大用户的进一步分析提供了案例参考。

## I. 引言

如果把城市比作人，那么交通系统就如同血管，使城市流动起来，保持活力和健康。地铁作为大城市公共交通的重要组成部分，对缓解城市交通拥堵，促进城市交通的可持续发展有重要作用。据《2014年-2020年中国城市轨道交通行业发展模式与未来前景分析报告》统计数据显示，截至2013年末，中国大陆累计有18个城市建成投运轨道交通路线87条，运营里程2539公里<sup>[1]</sup>。北京上海等特大城市则纷纷出台规划，在近五年内要建成总里程超过1000公里的轨道交通网络（Fig.1），进一步缓解地面交通，为市民提供方便快捷环保的出行方式。

人们的生活离不开地铁，地铁数据是了解人们生活状态的窗口。时间上看，地铁的一日客流随着人们的生活习惯和工作需要而变化，工作日的出行规律和休息日的出行规律也有着明显的不同<sup>[2]</sup>；空间上看，地铁的客流反映了人群居住、工作和商业活动的空间分布，在不同的区域客流呈现出明显地差异<sup>[3]</sup>。如何利用每日地铁运行过程中产生的海量数据，发掘大数据背后隐藏的信息和模式，正在受到越来越多的研究与关注。

对每一位市民来说，利用地铁数据可以找出客流较小的上车站点与换乘线路<sup>[4]</sup>，更加安全、舒适、快捷地出行；对于商业公司而言，利用地铁数据可以精确定位运营投入，广告投放等市场行为，如现阶段最火热的共享单车高效调配投放问题；对与政府与规划部门，地铁数据可以和住房数据、其他交通数据等结合展现当前的城市生活面貌，帮助决策，实现更加便利、智慧城市生活<sup>[5]</sup>。

本文旨在于设计一个通用的上海地铁可视化系统，满足这些用户共同的需求：直观了解上海整体及某地某时刻的客流量情况，以及在此基础上进一步通过周中、周末、进站、出站、换乘、不同方向等控制条件发现不同站点、线段和线路的特殊模式。针对不同层面的需求，本系统的预设的用户除了地铁系统的乘坐者外，还包括：地铁运营部门、城市规划部门、地铁广告公司、共享单车公司（如ofo）等。

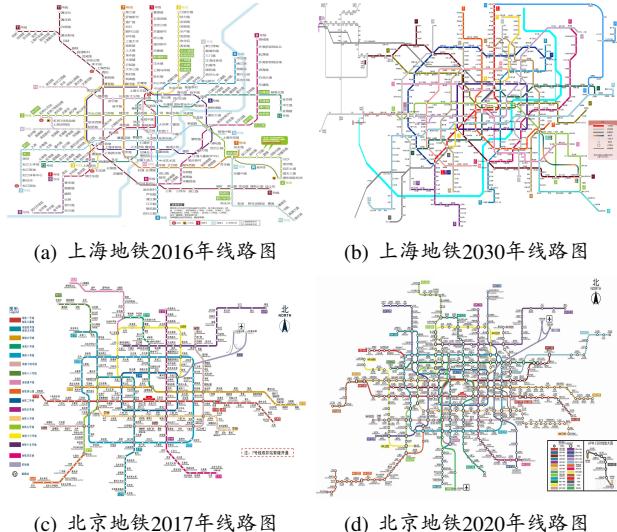


Fig. 1. 京沪地铁运营现状和长期规划

本文利用上海市轨道交通2015年4月的一卡通（地铁）刷卡数据，采用广度优先搜索（BFS）还原出行路径，构建基于D3.js的Web端客流量可视化分析系统（Fig.2），并进行了简要的分析，为不同需求的更广大用户的进一步分析提供了案例参考。

举例来说，通过这一可视化系统，地铁广告公司就可以便利而及时地发现不同站点和线段的客流量、受众类型的差异和变化趋势，以此决定旗下地铁站点、线路、车厢内平面和视频广告的报价和资源调配。

## II. 数据基础

### A. 数据简介

本系统所用数据为2015年4月上海市一卡通刷卡数据（其中3日、12日、29日数据缺失），共21.44GB（21,444,163,550字节）。其中与地铁有关的数据共计223,182,966条，包括223,182,181条有效数据（含20个工作日178,380,771条，7个非工作日44,801,410条，平均每日有效客流4,133,003人次），785条无效数据。无效数据为单日存在奇数次刷卡记录的数据（594条），以及同一时刻的刷卡数据（191条）。单条数据格式为：乘客一卡通编号，交易日期（年月日），交易时间（时分秒），地铁站点的中文名称，交易金额和交易性质（优惠与非优惠）。以上数据用逗号隔开。例如：

- 602141128, 2015-04-06, 19:20:16, 1号线莘庄, 地铁, 5.00, 优惠

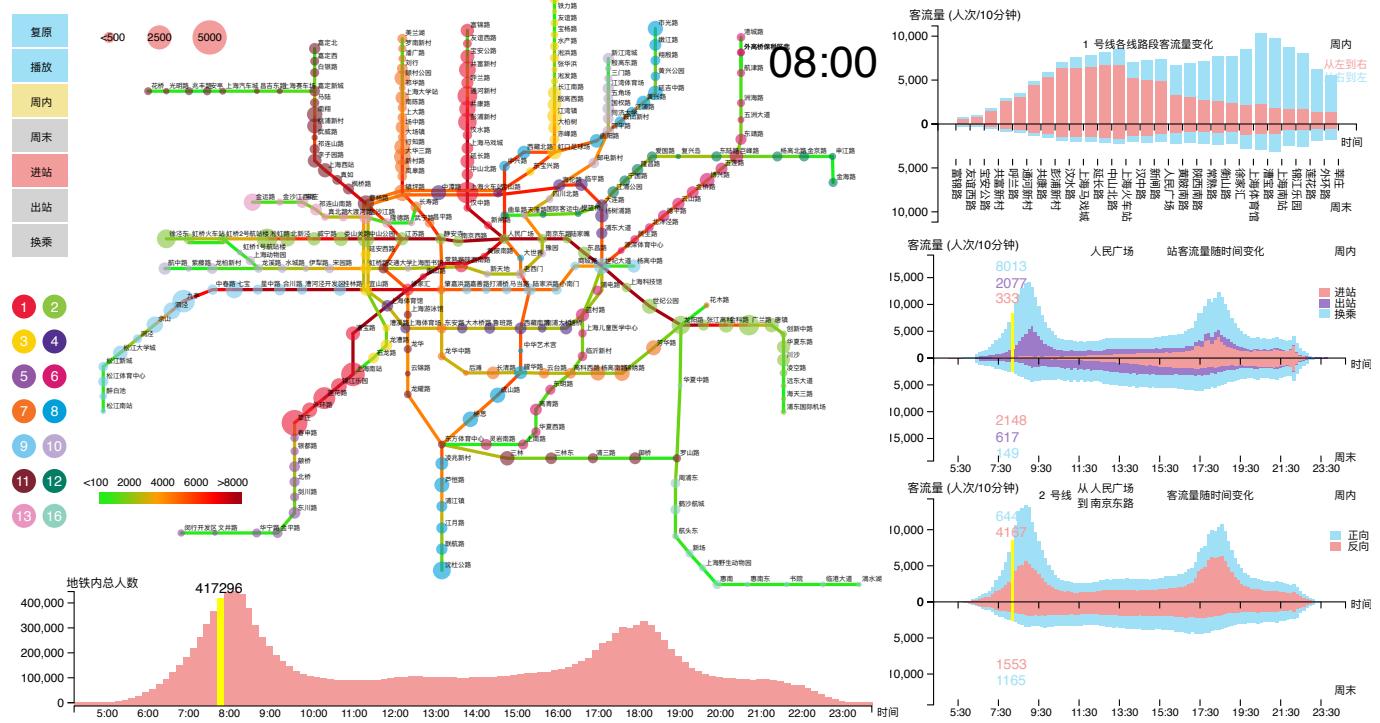


Fig. 2. 可视化分析系统界面

- 402388354,2015-04-06,10:32:24,8号线人民广场,地铁,0.00,非优惠
- 402388354,2015-04-06,10:41:14,8号线陆家浜路,地铁,3.00,优惠

对于相同卡号，即同一张卡，其信息至少连续出现两次，第一次出现时交易金额为零，第二次出现交易金额为3-9之间的值，即出站时扣除本次乘车所需票款。将两次的信息联系起来，即可反映一位乘客的进站时间、进站站名、出站时间、出站站名以及交易金额。个别相同卡号存在奇数次刷卡记录和时间相同的两次刷卡记录，在数据处理中去除该部分记录。

除此以外，本系统还利用了一些上海市地铁基础数据。地铁基础数据来自网络，其中车站数据包括车站编号、车站的中英文站名、线路编号、横纵坐标、车站属性（普通站或换乘站）、车站位置（地面、地下或高架）。根据车站的名称、线路编号、换乘属性以及xy坐标，可以绘制出上海市地铁线路图。在该时间段内，上海市地铁系统共有288个运营车站，333个站间线路段。

## B. 数据预处理

由于地铁公司对乘客的出行进行计费时，仅仅关注乘客乘坐地铁的距离或站数，而不关注乘客出行的路径以及换乘站点，我们从原数据只能获得由进站站名和出站站名，无法获得乘客的具体路径。而我们分析地铁的实时客流情况，需要根据乘客的刷卡信息，还原出每个时刻所经过的线路段，进而统计出每个时刻每个线路段的客流量，并可视化展出。

考虑实际情况，在实现过程中，存在两个挑战：1).上海地铁线路复杂，从进站站点到出站站点存在多种换乘路线，无法精准还原出乘客的实际乘坐路径和换乘站点2).

需要统计的数据量大（223M条），且存在较多的重复，对计算机的性能要求极高。

### 1) 不同线路时间成本量化标准：

每一个站间线路段长度略有不同，运行时间也有所差别。但是在城市中心区域，绝大部分站间线路段长度差异不大。为此，我们假设所有的站间线路段列车运行时间相同。

随着地铁网络的不断发展，人们在通过地铁出行时，不可避免地要面临换乘的问题。一般而言，人们在乘坐的地铁的过程中，会选择最为便捷的换乘路径。“便捷”有两侧含义：“方便”要求尽量减少换乘次数，而“快捷”则要求尽量缩短乘坐时间（经过站数）。在大部分情况下，这两者是矛盾的，换乘的次数越少，经过的车站数会越多。而要确定从进站站点至出站站点的最优换乘路线，必须采用一个标准量化每一种换乘路线，进而选择出最为便捷的路线。

一般而言，地铁列车一站的运行时间为2-3分钟；而在换乘过程中，需先后经历下车，步行至另一站台，候车和上车四个过程。其中，步行时间约为2-5分钟，候车时间平均在2-3分钟，即换乘过程花费的时间约为列车正常运行一站的所需时间的3倍左右。另外我也进行了一个小的调查，结果表明大部分乘客愿意多坐3站地铁而减小一次换乘。

将列车运行一站的时间成本作为单位时间，即 $Cost = 1$ 。综合以上分析和调研结果，给出一个站站之间不同路线时间成本的量化标准：

$$Cost = 2 + N_{stations} + 3 \times N_{transfers} \quad (1)$$

**Algorithm 1** 时间成本Cost为搜索深度的广度优先搜索

**Input:** 进站车站 $S$ , 出站车站 $D$ , 地铁线路图 $G$   
**Output:** 换乘路线 $bestPaths$

```

1: Initialize path heap  $H = \{\}$ ,  $bestPaths = \{\}$ ,  $bestCost = 999$ ,
2:  $H.push(S)$ 
3: while  $H$  is not empty do
4:    $path = H.pop()$ 
5:   生成 $G$ 中延长 $path$ 下一站的所有路径 $newPaths$ 
6:   计算 $newPaths$ 中各个路径的成本 $costs$ 
7:   if  $newPath$  reach  $D$  &&  $cost \leq bestCost$  then
8:      $bestPath.push(newPath)$ ,  $bestCost = cost$ 
9:   else
10:    if  $cost \leq bestCost + changePunishment$  then
11:       $H.push(newPath)$ 
12:    end if
13:  end if
14: end while

```

其中 $Cost$ 表示换乘总代价,  $N_{stations}$ 表示途径的总站数,  $N_{Transfer}$ 表示总换乘次数。2表示进出站和候车过过程花费的时间成本。最优路径对应时间成本 $Cost$ 最小的路径, 对于 $n$ 条成本相同的路径, 则每条路径的权值记为 $\frac{1}{n}$ 。此时根据乘车过程中总的时间成本 $Cost$ 和进出站时间, 即可还原出该乘客经过每一站的准确时刻, 进而统计出各个站点和线路段的客流情况。

## 2) 广度优先搜索确定换乘路线:

地铁线路图在人们的脑海中直观的印象, 而在计算机中可以以图的形式存储。各个车站作为结点, 各个站点间的线路段作为边。上海地铁存在一些特殊情况, 如3, 4号线并轨运行等, 为此还必须在每条边上增加属性信息, 表示所属不同的线路。

此时, 地铁站间的最优路径转化为图中两结点的最短路径。在图论中, 最常用的搜索方法为广度优先搜索(BFS) 和深度优先搜索(DFS) 两种<sup>[10]</sup>。我们要找到最优路径, 而非遍历所有可能的路径, 故利用时间成本 $Cost$ 作为搜索的深度, 在广度优先搜索的基础上, 利用数据堆 $Heap$ , 重构形如算法1的广度优先搜索可以较好地解决这一问题。

算法1的核心思想是: 对每条路径, 每次搜索时只向前探索一步, 直到到达终点。其中 $changePunishment$ 与量化标准式(1)中系数3一致, 即在该量化公式下 $changePunishment = 3$ 。可以根据输出 $bestPaths$ 中路径个数 $n$ , 对各个路径赋以权值 $\frac{1}{n}$ 。

以北京地铁的「中关村」到「苏州街」为例, 搜索过程如图3所示。首先「中关村」站入堆, 出堆, 在地铁线路图 $G$ 中搜索其下一站, 得到「中关村→北京大学东门」和「中关村→海淀黄庄」两条路径, 成本 $Cost$ 分别为3, 3, 两条路径入堆, 此时堆中由两条路径; 两条路径依次出堆, 搜索得到四条路径, 其中到达终点「苏州街」路径一条,  $bestCost = 7$ , 未到达终点路径3条继续入堆后重复以上过程, 直至 $cost > bestCost + changePunishment$ ,

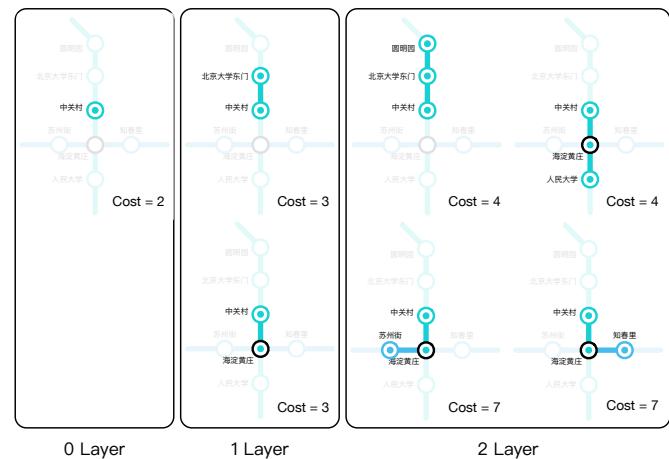


Fig. 3. 路经计算: 广度优先搜索

堆空, 搜索结束, 得到最优路径一条。

## 3) 构建换乘表优化统计复杂度:

在统计过程中, 会有很多位乘客从相同的车站进站, 相同的车站出站。尽管他们的乘车时间不尽相同, 但其乘车路线是一致的。需要统计的数据共有223M条, 如果对每一名乘客都进行一次广度优先搜索, 这个运算量将是十分巨大的。为此, 我们构建了一张换乘表, 计算任意两站间的最优乘车路径并按照相应格式存储。随后, 在统计计算过程中, 任意两个起点站与终点站间的最优乘车路径, 都可以通过该换乘表以 $O(1)$ 的时间复杂度查得。

## C. 生成数据

上海地铁的首班车自4:27分开出, 末班车23:50结束运营。我们将十分钟作为一个统计单元, 将4:25到23:55的时间段, 划分成117个时间单元, 分别进行统计。对于站点的客流信息, 我们区分工作日与非工作日, 进站出站与换乘, 每个站点共统计 $2 \times 3 \times 117$ 条信息; 对于站间线路段的客流信息, 我们同样区分工作日与非工作日, 正向与反向客流, 每个线路段共统计 $2 \times 2 \times 117$ 条信息。考虑到后期的易读性, 统计结果分为两个文件, 以json的形式存储。

统计计算共耗时7358.0s。生成数据包括四部分: 站点流量(站名, 工作日与非工作日、进站出站与换乘、各个时刻客流), 线路流量(起点, 终点, 线路编号, 工作日与非工作日、正向反向、各个时刻客流), 各个时间段地铁系统内总人数, 线路信息。前两部分为核心数据, 后两部分为优化缓存, 可以前两部分计算得到。

## III. 可视化实现

从上文中可见, 地铁客流数据海量, 超出了人工可以直接处理的范围, 因此需要计算机的帮助; 另一方, 我们希望向尽量多的用户, 不同行业的用户, 非数据专业的用户提供服务, 故不宜使用基于关系数据库标准的SQL语言, 需要动态的、快速的、视觉的查询方式; 此外, 用户既需要良好的展示效果, 也需要充分的主动探索空间。

可视化则是一种极为理想的呈现方式，既可以基于图形直观地呈现出海量信息，又可以让用户们通过鼠标简化与数据的交互，方便而个性化地查询所需数据，并且具有很强的探索性，不同的用户可以挖掘出不同的模式。

## A. 界面布局

考虑到不同用户的不同终端设备与操作系统，Web 端是该系统的最理想呈现方式。无论是Windows 操作系统或MacOS 系统，无论是电脑端还是手机端、平板段，不必安装特定的程序，只要连接在互联网上，Web 页面均可以顺畅运行，满足用户的求知欲望探索之心。

本系统采用JavaScript + D3.js 实现。JavaScript是一种属于网络的脚本语言，已经被广泛用于Web应用开发，常用来为网页添加各式各样的动态功能，为用户提供更流畅美观的浏览效果。D3.js是一个JavaScript库，可以通过使用HTML、SVG和CSS把数据鲜活形象地展现出来，在数据可视化过程中得到广泛运用。

Web 界面如图2所示。可以分为三个部分，从左往右分别是按钮控制区、主视图区和直方图区。按钮控制区用于基本的数据选择与控制；主视图区则以地图的形式显示出某时刻各个站点路段的客流情况；直方图区位于界面的下部和右侧，显示了站点路段各个时段的客流情况，其中下侧的直方图还充当了时间轴的作用。

为提升体验效果，建议使用Firefox 浏览器，1280\*800 分辨率。

## B. 图形设计

### 1) 主视图区：

每当提起地铁，人们首先想到的是地铁运营线路图；自然地，我们采用地铁线路图作为主视图的基础。线路图不完全按照地理坐标，但是不改变相对位置，更接近人们日常所见的地铁线路图样式，以便用户在有限的空间内尽可能快地定位到自己熟悉的区域。

除运营车辆外，地铁系统最核心的两部分是车站和线路段。主视图以结点和两结点之间的线段作为基本元素，共有288 个结点和333 条线段，分别代表上海地铁系统的288 个车站和333 个站间线路段。

右上角的时钟表示以该时刻为中心的十分钟时间段内，地铁系统的客流量统计数据。

每一个结点表示一个车站。对于车站，我们关心的是某时间段内该站点的客流总量（进站，出站和换乘，通过左侧控制按钮选择）与分布。以点的大小展现人数多少，点的颜色代表不同的线路。这样，客流量的多少和面积的大小在人的头脑中可以直观映射。而颜色部分则和上海地点不同线路的官方设定颜色相同，方便人们区分线路，并为进一步的交互做准备。

每一条线段表示一个站间线路段。对于线路段，我们关心的是某时间段内该线路段的客流总量。以线段的颜色表示不同的客流量大小，随着客流量的增加，线段颜色渐变为绿色、黄色、红色、深红色。这个也和人们通常用来表示道路拥挤程度的渐变颜色一致，符合一般用户的认知。

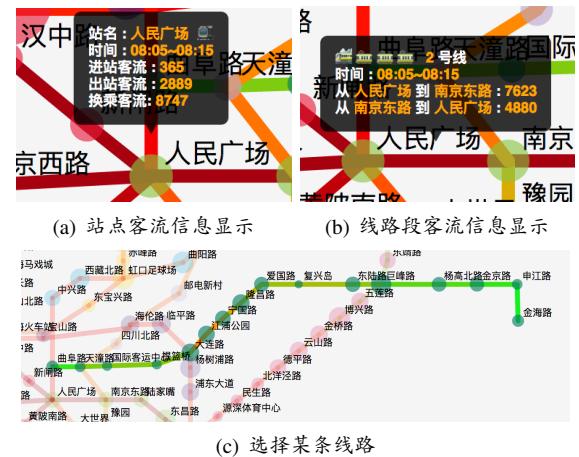


Fig. 4. 主视图标签与交互设计

这样一来，用户对该时间段内的各个站点、线路段的客流量有了直观的印象。进而，用户可以利用鼠标和滚轮进行拖拽和缩放，定位到自己感兴趣的区域并放大。随后，用户可以将鼠标移至感兴趣的站点和线路段上，则会显示出该站点或线路段客流量的具体信息，如图4(a)、图4(b) 所示。此外，还可以单击站点或线路段，选中该站点所在线路并淡化其他线路，以便更好地观察（单击换乘车站则无此效果），如图4(c)所示。

### 2) 控制按钮：

最左侧的控制按钮区域，可以分为上下两部分，上半部用于调整主图和选择数据，下半部分则用于选择相应的地铁线路。

上半部分共包括7个矩形按钮。第一个为画面复原按钮，用来从线路图任意缩放和移动状态返回到初始状态。第二个为播放/暂停按钮，用来控制主图下方的时间轴自动滚动，以形成动画效果，用户可以感受到地铁系统的日客流量随时间变化情况。第三、四个是周内和周末按钮，用以切换周内和周末的数据，用户可以对两组数据分别进行或对比分析。第五、六、七个是进站、出站、换乘按钮，这三部分数据构成了站点总的客流量数据，用户可以通过点击某个按钮，只观看一项、也可以同时选中，观察累积效果。

下半部分共包括14个圆形按钮，分别表示上海地铁的14条运营线路。当鼠标移动至某个按钮上时，主视图中对应的线路突出显示（其余线路透明度降低），移除则恢复原有显示状态，这样不熟悉该城市地铁线路的用户也可以快速定位出对应线路。如若需要仔细观察某条线路，则可以单击该按钮，实现该线路的持续突出显示，与主视图中的单击功能类似。

### 3) 直方图区：

在界面的下方和右侧共有四个直方图，用以显示不同的统计信息。

界面下方的直方图表示一天内各个时间段内地铁系统的总人数。其中横轴表示时间，10分钟做一次取样，公用117个样本点；纵轴表示地铁系统内总人数。黄色高亮

矩形表示选择的具体时刻，该时刻的准确客流量在上方显示。可以通过鼠标在直方图上移动，实现与上方主视图的交互，方便定位到准确时间和观看一段时间内的客流量变化。

右侧上方的直方图表示某条线各线路段客流变化。其中横轴表示各个车站间的线路段，纵轴表示该线路段的在10分钟的统计区间内的客流量。其中粉色表示从左到右方向，蓝色表示从右到左方向，堆叠显示；横轴上方表示周内客流，横轴下方表示周末客流。时间段与主视图显示的时间段相同，可以通过界面下方的时间轴更改。当鼠标移动至各个矩形上方时，则会显示出该矩形对应时刻客流的具体信息。

右侧中部的直方图表示一天内各个时间段内某一站点的客流变化情况，其中横轴表示时间，纵轴表示该车站在10分钟的统计区间内的客流量。其中粉色表示进站客流，紫色表示出站客流，蓝色表示换乘客流（非换乘站则无此部分），堆叠显示；横轴上方表示周内客流，横轴下方表示周末客流。黄色高亮矩形表示选择的具体时刻，该时刻的准确客流情况分别在上方和下方显示，不同颜色对应不同的客流成分。

右侧下方的直方图表示某线路某两站之间的线路段客流变化，其中横轴表示时间，纵轴表示该线路段在10分钟的统计区间内的客流量。其中粉色表示反向客流，蓝色表示正向客流，堆叠显示；横轴上方表示周内客流，横轴下方表示周末客流。黄色高亮矩形表示选择的具体时刻，该时刻的准确客流情况分别在上方和下方显示，不同颜色对应不同的客流方向。

右侧中部和下方的直方图中，鼠标移动至不同颜色的矩形组上时，该组矩形则会突出显示；若此刻用户单击鼠标，该系列矩形则会移动至紧贴坐标轴位置，方便用户比较。

### C. 交互逻辑

地铁的客流量数据是一个高维数据，既有时间的维度（117个统计区段），又有空间的维度（288座车站，333个线路段），还包括自身的统计维度（进站、出站与换乘，正向和反向）。为了把这些维度的信息尽可能地展现出来，我们设计了5个不同的视图，试图从不同的维度上为用户呈现出更多的信息。当然，这五个视图不是孤立存在的，而是紧密联系在一起的。

- 1) 界面下方的直方图中，通过移动鼠标可以实现时间轴的移动，同时主视图、右侧上方直方图都随着时间变化，右侧中部和下方两个脂肪图中的指示时刻和具体数值也在随着时间轴移动；
- 2) 主视图中，在得知某个车站具体客流信息的时候，还可以通过单击鼠标，在右侧中部视图中观察该车站一天中的客流变化情况；对于非换乘车站，右侧上方的视图同样会显示出该车站所在线路的客流变化情况，进而展示出该站点的时间和空间维度客流信息；
- 3) 主视图中，在得知某个线路段具体客流信息的时候，还可以通过单击鼠标，在右侧下部视图中观察

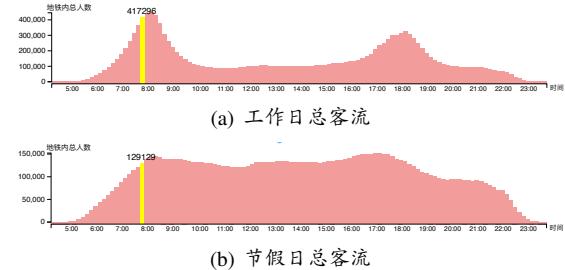


Fig. 5. 工作日/节假日客流变化

到该线路段一天中的客流变化情况；同时，右侧上方视图同样会显示出该线路段所在线路的客流变化情况，进而展示出该线路段的时间和空间维度客流信息；

- 4) 右侧上方视图中，同样可以通过单击坐标轴上的车站名，切换右侧中部视图显示的车站，实现同主视图中单击车站一样的效果；类似的，单击各个矩形，可以切换右侧下部视图显示的线路段，实现同主视图中单击线路段一样的效果。

## IV. 实例分析

### A. 工作日/节假日客流变化

在左侧控制按钮中选择「周内」，在下方直方图（图5(a)）中可以明显地看到出行的早高峰和晚高峰。通过鼠标移动时间轴，可以发现早高峰峰值出现在8:20附近，峰值客流445,635人次/10分钟；晚高峰峰值则出现在18:20附近，峰值客流323,718人次/10分钟。并且可以明显地看出，早高峰更加集中，而晚高峰则较为分散。另外还可以看出，中午时刻没有明显的波峰，说明大部分乘客中午不回家吃饭和休息。

在左侧控制按钮中选择「周末」，在下方直方图（图5(b)）中没有出现明显地变化，且总客流量相较于工作日明显地下降（注意纵轴单位变化）。这点也可以从主视图中各结点圆的大小和线段的颜色中看出。

选择一些站点和线路（段），也可以从右侧三个直方图中对比出周内/周末客流的变化情况。显然，绝大部分站点和路段周末的客流远小于周内的客流，尤其是早晚高峰时段。

### B. 商务区/居住区客流规律

左侧控制按钮中选择「周内」和「进站」，时间轴拖动到8:20分。主视图中可以看到进站人数较多的站点主要集中在4号线（环线，紫色）外侧，且以西部和北部为主（图6(a)）；4号线以内区域进站人数较少。而当时间轴拖动到18:20分时，这一趋势则发生了反转（图6(c)）：4号线外部进站人数较少，内部进站人数较多。同样地，再左侧控制按钮中取消「进站」，选择「出站」，这一趋势继续发生反转（图6(b), 图6(d)）。

根据图6，我们可以发现上海市绝大部分乘坐地铁上班的人，居住在内环（四号线）以外，而商务区则大部分集中于内环以内，这与房价等因素导致的城市区域性分工

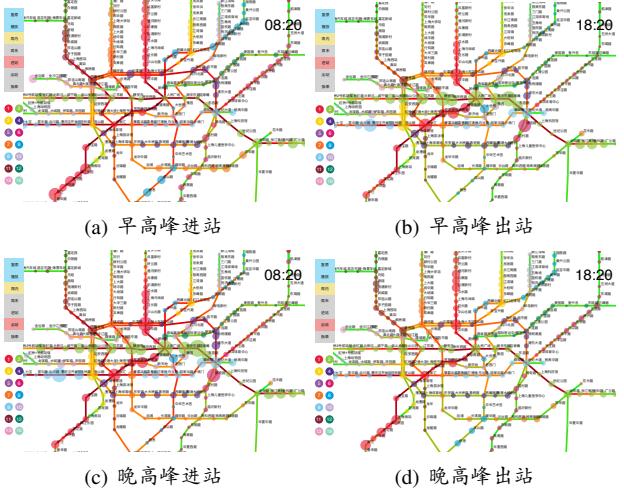


Fig. 6. 工作日早/晚高峰进/出站客流变化

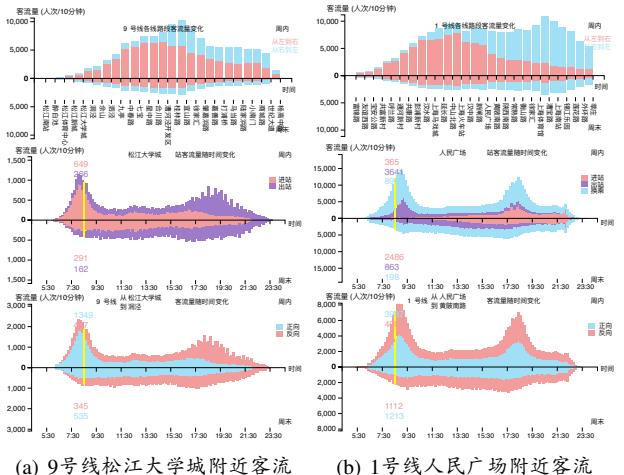


Fig. 7. 早高峰客流分布与相位

是一致的。进一步观察还可以发现，早高峰进站客流量大的站点主要分布在内环的西部和北部，东南部较少，这与历史上上海市民主要居住在浦西地区是一致的。

右侧直方图区域同样可以得到商务区/居住区的客流变化规律。早高峰同一时刻（8:20），上图：从左到右的客流，9号线自松江新城至星中路（居住区，内环外）客流持续增加，而宜山路至马当路客流持续减少（商务区，内环里）；中图和下图则可以看到，松江大学城附近的客流变化明显早于整体客流变化（图5(a)），相位超前。图7(b)上图与前者一致，中图和下图则表现出相反的趋势，相位滞后。

继续以工作的早高峰为例，观察线路段客流情况，如图8(a)所示。可见内环附近基本上都处于黄色以上大客流状态，唯有少数几个线路段呈现出绿色客流，分别是：3号线上海南站到宜山路，12号线大连路到曲阜路，9号线杨高中路到世纪大道，13号线金沙江路到长寿

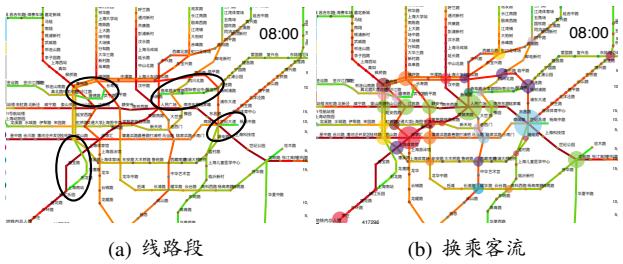


Fig. 8. 工作日早高峰客流分布

路。究其原因，发现这四个线路段均处在线路的起点（终点）站附近，猜测大量的乘客均在附近换乘站换乘线路更长的列车，图8(b)印证了这一观点：宜山路，大连路，世纪大道，金沙江路均有大量的换乘客流。

以上分析表明，对乘客来说，为选择乘客尽可能少的线路舒适出行，最好选择离起（终）点站较近的线路乘坐，但这往往又与乘车的便捷性相矛盾。而对地铁（轨道交通）的规划部门而言，为提升轨道交通系统的运行效率，因尽量将起（终）点站设置在远离城中心的地区，以搭载更多的乘客。而事实上，2016年底，上述12号线和13号线均已穿城而过，市中心区域再无起（终）点站；9号线西延工程也已开始施工。

## V. 总结与展望

我们这次制作上海地铁可视化系统有着高交互性的优点，界面的不同视图也实现了有效的联动。同时对于一些细节问题，比如三四号线共线问题，我们也进行了优化处理。但是我们将所有视图放置在一个界面上，对屏幕像素提出了比较高的要求。尽管对线路图的坐标进行了调试，但还有部分站名文字会重叠，影响使用。此外，配色还需要考虑，算法也有进一步优化的空间。

## REFERENCES

- [1] 刘兰芬, 杨信丰. 地铁客流分析及列车发车间隔优化研究[J]. 武汉理工大学学报交通科学与工程版, 2015, 39(6):1119-1124.
- [2] 吴延芳. 青奥会期间南京地铁客流分析研究[J]. 住宅与房地产, 2016(15).
- [3] 史强翔. 典型地铁站客流变化规律及疏散策略研究[J]. 消防技术与产品信息, 2015(9):20-27.
- [4] 王璇, 束昱. 国内外地铁换乘枢纽站的发展趋势[J]. 地下空间与工程学报, 1998(5):387-390.
- [5] 梁宁慧, 刘新荣, 曹学山, 等. 中国城市地铁建设的现状和发展战略[J]. 土木建筑与环境工程, 2008, 30(6):81-85.
- [6] 芦毅, 翁勇南, 赵阿群. 地铁客流数据分析系统的设计与开发[J]. 轨道交通, 2013.
- [7] 王文明, 程浩. 径向基网络模型在上海地铁客流预测中的应用研究[J]. 智能计算机与应用, 2016(6):79-80.
- [8] 谭章智, 李少英, 黎夏, 等. 基于地铁客流的广州地铁站点类型识别[J]. 热带地理, 2017, 37(1):102-111.
- [9] 余昌盛, 徐硕, 杨春, 等. 北京地铁客流引导管理方案的探索[J]. 科技创新导报, 2015, 12(5):205-205.
- [10] Harrington S. Computer graphics[M]. McGraw Hill Book Company, 1987.