

城轨站行人流线网络客流分配算法与软件实现

何 彬, 顾保南

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 为实现符合城市轨道交通车站行人流线网络特点的行人设施客流分配, 首先将分方向实结点时间阻抗与结点客流方向引入最短路径识别, 将其嵌入连续平均法, 建立了适用于城市轨道交通车站行人流线网络的客流分配算法。然后, 利用 C# 和 Matlab 语言在 AutoCAD 环境下开发了相应的客流分配软件, 并在此过程中提出了结点客流方向获取方法。算例表明, 该算法能够实现考虑分方向实结点时间阻抗的城轨站行人设施客流分配; 与 TransCAD、VISUM 相比, 软件符合行人流线网络特点, 操作简便。

关键词: 城市轨道交通车站; 行人流线网络; 客流分配; 连续平均法; 结点客流方向

中图分类号: U491.123

文献标志码: A

Passenger Flow Assignment Algorithm and Software Implementation of Pedestrian Streamline Network of Urban Mass Transit Station

HE Bin, GU Baonan

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In order to realize passenger pedestrian facilities flow assignment which conforms to pedestrian streamline network characteristics in the urban rail transit station, directional delay-node time impedance and node passenger flow direction were introduced into shortest path identification process. The above shortest path identification process was added to the method of successive averages and passenger flow assignment algorithm was constructed which is suitable for pedestrian streamline network in urban rail transit station. Corresponding passenger flow assignment software was developed by using C#.NET and Matlab in AutoCAD and the method to get node passenger flow direction was built in the development process. The example shows that the above

algorithm can realize pedestrian facilities passenger flow assignment in urban rail station considering the directional delay-node time impedance, and, compared with TransCAD and VISUM, the above software conforms to pedestrian streamline network characteristics and is easy to operate.

Key words: urban mass transit station; pedestrian streamline network; flow assignment; method of successive averages; node passenger flow direction

城市轨道交通车站站内的行人设施包括出入口通道、换乘通道、安检仪、检票闸机、楼梯、自动扶梯以及可供行人走行的站厅、站台空间, 上述行人设施的要素(布置数量、放置位置、摆放角度、设施种类等)的任一变化就会形成一个行人设施布置方案。在规划设计阶段, 这些要素存在许多变化可能性, 因而可形成很多可能的行人设施布置方案。

为了评价行人设施布置方案的优劣, 目前广泛使用的是微观仿真法。该方法采用微观行人流仿真软件对轨道交通车站内部行人集散情况进行微观仿真, 并利用输出的时间、饱和度等参数对车站行人设施布置方案进行评价。文献[1]利用 NOMAD 系统评价里斯本 3 个火车站的检票闸机布置方案。文献[2]利用其开发的 SRAIL 系统评估以铁路客运站为核心的综合交通枢纽设施。文献[3-6]分别利用 Legion、MassMotion、VISSIM、AnyLogic 等微观行人流仿真平台对不同的轨道交通车站的行人设施布置方案进行了仿真评价。尽管这类主流仿真平台的运行效率已有显著提高, 但是, 一旦方案需要调整, 设计人员必须返回设计软件修改并重新建立仿真场景, 这一过程耗费了设计人员大量的时间和精力。由于规划设计阶段存在着大量变化方案需要评价分析, 繁琐的仿真场景构建过程依然是微观仿真法用

收稿日期: 2017-09-13

第一作者: 何 彬(1989—), 男, 博士生, 工学硕士, 主要研究方向为城市轨道交通三维规划与设计、城市轨道交通车站行人设施布置方案评价与优化。E-mail: zhugelianghe@163.com

通讯作者: 顾保南(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为城市轨道交通规划与设计、公路网规划、磁浮交通线路设计、综合交通枢纽规划与设计。E-mail: gbnnyh@163.com

于轨道交通车站行人设施布置方案规划设计的瓶颈,即微观仿真法并不适用于规划设计阶段大量变化方案的快速评价。

国内部分研究人员提出了“网络法”^[7-12],即:首先将车站可供行人走行的区域内抽象为行人网络,然后通过网络客流分配得到行人站内走行时间、设施流量及饱和度等指标,最终结合流线交织情况来评价方案。与微观仿真法不同,该方法采用行人网络抽象表达包括行人设施在内的行人走行环境,通过改变边属性(能力、长度、自由走行时间等)赋值能够模拟大量行人设施布置变化方案;将人流视为整体,通过网络交通分配得到相关指标,能够节省方案分析时间,提高方案分析效率。可见,“网络法”能够适应规划设计阶段大量变化方案的快速评价。文献[7]提出了客运枢纽网络配流的基本思路,并基于单路径分配构建了枢纽站内网络的旅客流量分配模型。文献[8-10]提出了多种站内网络构建方法,但是普适性较差。文献[9]提出了基于系统最优的站内疏散网络客流分配模型,由于实际网络中不可能出现系统最优原则所描述的情况^[13],因此,该模型得到的分配结果不符合实际情况。

目前最具可操作性的“网络法”是文献[11-12]中提出的行人流线网络法。该方法把安检通道、闸机组、楼梯、自动扶梯等行人设施以及设施间的各股人流抽象为边,把站内易拥堵区域抽象为实结点;将不考虑结点阻抗的用户均衡分配与实结点阻抗计算模型相结合,实现行人流线网络分配。但是在分配算法及实现工具上仍然存在以下问题:

(1)由于代表自动扶梯、闸机组及安检仪的边的时间阻抗与其流量无关,同时实结点阻抗与流量间的关系尚未确定,故不具备使用用户均衡分配的条件。即使用户均衡分配可以使用,既有算法也未将上述实结点时间模型真正加入分配迭代,并未起到与边阻抗相同的作用。

(2)TransCAD、VISUM等客流分配软件虽然能够通过二次开发实现行人流线网络客流分配,但是开发成果仅能在该种客流分配软件中应用,普遍适用性较差。另外,构建交通小区及小区与网络连接对于客流起讫点皆为网络结点的行人流线网络而言属无用步骤,利用TransCAD、VISUM等开发的软件实际上降低了工作效率。

本文以连续平均法作为行人网络客流分配方法的基本框架,考虑边阻抗与实结点阻抗的共同作用,提出适用于轨道交通车站行人流线网络的站内

客流分配算法,并利用C#与Matlab混合编程开发相应工具,实现基于行人流线网络的城市轨道交通车站行人设施客流分配。

1 站内行人流线网络客流分配算法

行人站内走行时间包括在各个行人设施的通过时间以及在通过诸如闸机组前、自动扶梯前、流线交织区等易拥堵区域(实结点)耗费的时间。一般地,不同乘客通过闸机组本身耗费的时间相差不大^[14-15],通过自动扶梯对于任一乘客而言均相同,二者不会对路径分配结果产生影响;通过安检设备的时间虽然差别较大^[16],但是由于乘客会选择与自己经过的进站口相对应的安检仪进站,故乘客的安检时间也不能作为影响客流分配的时间因素。因此,行人站内走行时间的变化取决于拥堵区域及各类通道的通过时间。因此,站内网络客流分配必须加入行人通过拥堵区域所耗费的时间,即把实结点时间阻抗加入路径阻抗。

当某实结点处进入边与离开边同时存在且数量之和大于2时,该实结点处存在着多个方向的行人流。为了区分多方向人流在同一实结点处产生的时间阻抗,本文定义分方向实结点时间阻抗为行人流由上游结点 i_u 经过当前结点 i 到达下游结点 i_d 时,在当前结点 i 处所耗费的时间,并用 $t(i_u, i, i_d)$ 表示分方向实结点阻抗,其中, i_u 为实结点 i 的上游结点编号, i_d 为实结点的下游结点编号。 (i_u, i, i_d) 表示行人流可以由上游结点 i_u 经过当前结点 i 到达下游结点 i_d ,称为结点客流方向。

在文献[12]所构建的实结点模型下,两股客流通过相同实结点区域所耗费的时间相等,并未考虑分方向实结点时间阻抗的差异。而既有的排队模型则是将多个上游设施的输出率之和作为下游设施的输入率^[17-18],效果与文献[12]相同。对于同一实结点,路径阻抗中只能包含一个方向的时间阻抗。因此,将实结点延误模型加入客流分配实际上就是将分方向实结点阻抗及结点客流方向加入给定OD对间最短路径识别过程。文献[12, 17-18]的做法会对给定OD对间最短路径识别产生不利影响,可能导致分配结果出现错误。

为了在客流分配中考虑分方向实结点时间阻抗的差异性,本文将结点客流方向与分方向实结点时间阻抗引入最短路径识别过程。由于站内流线情况复杂,最短路径中可能包含不可行的结点客流方向,

从而导致客流分配结果出错,因此,还需要识别最短路径是否可行。综上,最短路径识别过程具体步骤如下:①遍历给定 OD 对间的所有非成环路径。②每一路径与结点客流方向比较,若存在不符合结点客流方向的情况,则将该路径剔除出路径集。③取剩余路径中阻抗最小的路径作为最短路径。

行人流线网络在现阶段并不具备建立用户均衡分配模型的条件,而增量分配法目前并没有适用于实结点时间阻抗的 OD 矩阵拆分比例,因此,本文采用简单实用却又最接近平衡分配法的连续平均法^[13]作为行人流线网络交通分配方法的基本架构,将上述最短路径识别过程嵌入连续平均法的算法流程,提出城市轨道交通车站站内客流分配方法,具体步骤如下:

(1)初始化。行人流线网络中任一边 a 的阻抗函数 $t_{a,k}=t_a(x_{a,k})$,非交叉结点阻抗 $t_k(i_u,i,i_d)$,交叉结点阻抗 $t_k(j_u,j,j_d)$ 。令 $k=1, t_{a,1}=t_a(0), t_1(i_u,i,i_d)=0, t_1(j_u,j,j_d)=0, i,j \in N$, 执行一次全有全无分配,得到各边的分配交通量 $[x_{a,1}]$ 。

(2)更新阻抗矩阵。更新边阻抗矩阵 $[t_{a,k}]$ 、交叉结点阻抗 $[t_k(j_u,j,j_d)]$ 及分方向非交叉结点阻抗 $[t_k(i_u,i,i_d)]$ 。

(3)综合上述 3 个阻抗矩阵,得到边综合阻抗 $[t_{Z,k}]$ 。

(4)按照(1)中得到的边综合阻抗 $[t_{Z,k}]$,根据基于结点客流方向的最短路径识别结果,执行一次全有全无分配,得到一组附加交通量 $[y_{a,k}]$ 。

(5)计算行人流线网络内各路段当前交通量 $x_{a,k+1}=x_{a,k}+\varphi(y_{a,k}-x_{a,k}), \varphi=\frac{1}{n}$ 。

(6)如果 $[x_{a,k+1}]$ 与 $[x_{a,k}]$ 满足下式(K 取 0.001)时,则停止计算, $[x_{a,k+1}]$ 为最终结果;否则,令 $k=k+1$,转(1)。

$$\frac{\sqrt{\sum_a (x_{a,k+1} - x_{a,k})^2}}{\sum_a x_{a,k}} \leq K$$

2 算法的软件实现

TransCAD 等软件除了在客流分配的工作流程上与行人流线网络自身特点存在矛盾外,还存在以下问题:

在路径识别过程中,没有考虑结点客流方向;网络构建时添加虚拟边,用边阻抗代替分方向结点阻抗,该做法大大增加了建模工作量,并且还存在着“分

方向结点阻抗转化为边阻抗”这一难题;不能够将分配结果直观体现于设计图纸或 BIM 模型;利用软件提供的二次开发函数实现站内客流分配方法难度较大。

基于上述问题,同时,行人流线网络在现阶段均在 AutoCAD 中构建,因此,本文选择 AutoCAD 作为环境平台,利用 C# 与 Matlab 语言混合开发城市轨道交通车站行人设施客流分配软件,软件实现过程如图 1 所示。

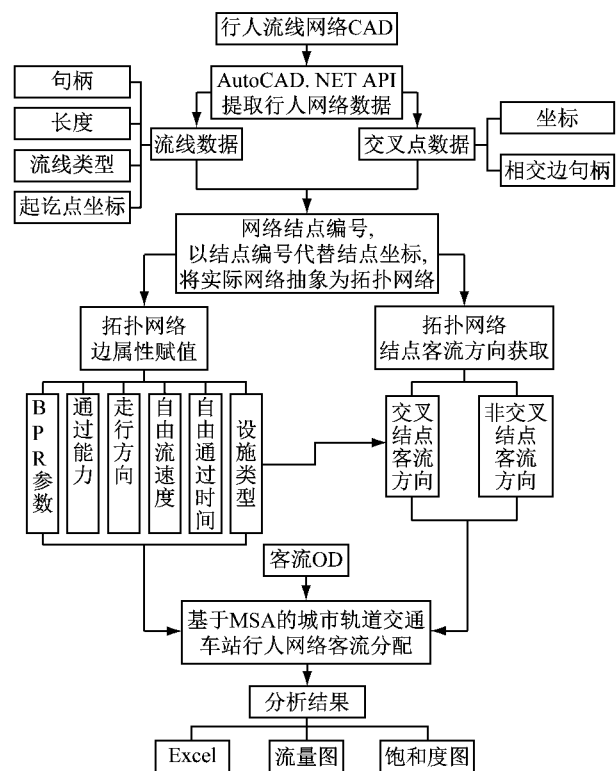


图1 城市轨道交通车站行人设施客流分配软件实现流程
Fig. 1 Flow of urban mass transit station pedestrian facilities passenger flow assignment software

与 TransCAD 相比,为匹配分方向实结点时间阻抗的表示方法,软件专门使用结点对表示网络各边;增加了交叉点数据获取、结点客流方向获取两个模块,用于获取网络中所有结点的客流方向,包括非交叉结点客流方向和交叉结点客流方向。

下面将主要说明交叉点坐标、结点客流方向的获取方法以及客流分配中最短路径识别的实现方法,并简述流线数据获取、网络结点标号等必要过程的实现方法,图中 BPR 参数即美国联邦公路局函数中的 α 和 β 。

2.1 行人网络数据提取

2.1.1 流线数据提取

利用 AutoCAD 的 .NET 程序开发接口

AutoCAD.NET API 从 AutoCAD 图形文件(DWG 文件)中获取构成行人网络的各直线(Line)属性,包括句柄、起点三维坐标、终点三维坐标以及长度。另外,流线类型则通过流线所在图层获取,即:各条流线根据边的拓扑方向及客流组成被分别存储于单向进站图层、单向出站图层、单向换乘图层、单向复合图层或双向复合图层中,因此,每条流线的流线类型属性与图层名称存在一一对应的关系,例如,若流线属于单向出站图层,则其类型就是单向出站流线。

2.1.2 交叉点坐标提取

AutoCAD.NET API 提供 Line.IntersectWith()函数用于获取两两相交线段的交点坐标,若只采用上述函数遍历线段交点,限于 AutoCAD 本身性能,交点坐标提取效率较低。

判断任意两边是否相交,实际上首先应该判断两边相交的可能性,当同一平面上任意两线段在 x 轴和 y 轴上的投影同时存在交集时,两线段具有相交的可能性^[19]。当两边具有相交可能性时,再利用 API 提供的函数获取交点坐标。

行人流线网络交叉点坐标提取算法如下:

(1)初始化。设流线 L_m 的 x 区间和 y 区间分别表示为 $[x_{m,\min}, x_{m,\max}]$ 和 $[y_{m,\min}, y_{m,\max}]$, 流线 L_n 的 x 区间和 y 区间分别表示为 $[x_{n,\min}, x_{n,\max}]$ 和 $[y_{n,\min}, y_{n,\max}]$ 。令 $m=0, n=m+1, j=0$ 。

(2)判断两边是否存在相交的可能性。若满足
$$\begin{cases} [x_{m,\min}, x_{m,\max}] \cap [x_{n,\min}, x_{n,\max}] \neq \emptyset \\ [y_{m,\min}, y_{m,\max}] \cap [y_{n,\min}, y_{n,\max}] \neq \emptyset \end{cases}$$
 时,两边存在相交的可能,转(4);若不满足,则两边无相交可能,转(3)。

(3)当 $n < N-1$ 时,则 $n=n+1$,转(1);当 $n=N-1$ 时,则 $m=m+1, n=m+1$,转(1);当 $m=n=N-1$,停止循环。

(4)利用 Line.IntersectWith()获取并记录交点坐标,记录交叉结点顺序号 $j=j+1$,记录 L_m 与 L_n 的句柄。转(3)。

2.2 结点标号

在 2.1.2 中已经获取了交叉结点坐标并且进行了排序,这里从 1 开始按照当前的顺序对交叉结点连续编号。

非交叉结点的标号方法如下:

首先将行人流线网络中各流线的起点坐标和终点坐标放入同一集合内,并去除集合中的重复元素,然后对非交叉结点按以下规则排序:优先按照非交叉结点横坐标从小到大的顺序排序,当多个非交叉

结点的横坐标相同时,则按照纵坐标从小到大的顺序排序。当排序完成后,按照上述顺序,从 1 开始连续对每个非交叉结点标号。

当所有标号过程完成后,使用非交叉结点标号代替非交叉结点的平面坐标,使用非交叉结点对表示拓扑网络中的边。

2.3 结点客流方向及获取方法

结点客流方向指的是某一结点处客流的可能流向,以一组结点标号 (i_u, i, i_d) 或 (j_u, j, j_d) 表示,前者表示非交叉结点的客流方向,后者表示交叉结点的客流方向。 (i_u, i, i_d) 表示客流可以通过上游结点 i_u 经过当前结点 i 到达下游结点 i_d ,此时 (i_u, i) 称为进入边, (i, i_d) 称为离开边。 (j_u, j, j_d) 表示客流从 j_u 流向 j_d 时途径两流线交点 j ,在交点 j 处客流不会改变前进方向。

当结点 i 处存在多组结点客流方向(特别是多条进入边与一条离开边相连接的情况)时,每组结点客流方向所对应的结点阻抗一般不同,不能采用统一的结点阻抗表示各进入边客流在相同结点处的结点阻抗,这时采用由结点客流方向构成的三维矩阵就可以存储相同结点处的不同结点阻抗。

2.3.1 非交叉结点客流方向获取

非交叉结点按其进入边和离开边的存在性,可分为 3 类:第 1 类结点:进入边和离开边同时存在。第 2 类结点:只有离开边,没有进入边。第 3 类结点:只有进入边,没有离开边。

采用以下规则判断任一非交叉结点 $i \in I$ (I 为非交叉结点集合)的类型,设 U 为起点集合、 V 为终点集合,则有:

当 $i \in U$ 且 $i \in V$ 时,则该结点为第 1 类结点。当 $i \in U$ 且 $i \notin V$ 时,则该结点为第 2 类结点。当 $i \notin U$ 且 $i \in V$ 时,则该结点为第 3 类结点。

行人流线网络上的任一边具有双重性,既是现实层面的一条起终点固定的线段,又是拓扑层面上的一条有向边或无向边,因此,获取非交叉结点客流方向时需要同时考虑与结点相连的任意两边的实际方向与拓扑方向,分类讨论如下:

设边 a_1, a_2 分别与 i 相连接。另设点对 (u, v) 表示点 u 与点 v 相连的边,边的实际起点为 u 、实际终点为 v 。

(1)当结点 i 为第一类结点时,同一结点的邻接两边组合,可分为图 2 所示的 3 种情况。

按照两边单双向组合,可分为表 1 所示的 4 种情况。

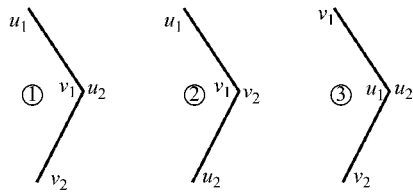


图 2 第 1 类结点邻接两边组合情况

Fig. 2 Adjacency edge combination of the first class nodes

表 1 第 1 类结点相邻两边方向组合

Tab. 1 Direction combination of adjacency edges of the first class nodes

序号	进入边方向	离开边方向
1	单	单
2	单	双
3	双	单
4	双	双

综合图 2 与表 1 所示类别,第 1 类结点的可行客流方向共有 9 种,如图 3 所示,具体情况见表 2。

(2)当结点 i 为第 2 类结点时,根据流线单双向使用方向及流线数量可以分为以下情况:①所有流线均为单向,实际上没有上游结点,则设上游结点等于当前结点,即 $i_u = i$ 。②所有流线不全为单向,则此时的各种结点客流方向如图 4 所示,具体情况见表 3。

(3)当结点 i 为第 3 类结点时,根据流线单双向可以分为以下情况:①所有流线均为单向,实际上没

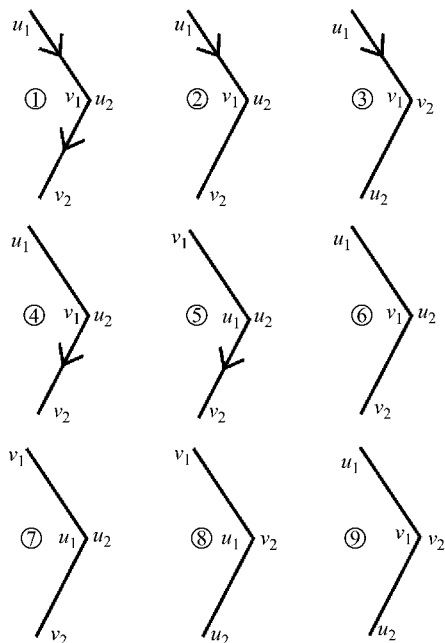


图 3 第 1 类结点的结点客流方向示意图

Fig. 3 Node passenger flow direction of the first class node

表 2 第 1 类结点的结点客流方向

Tab. 2 Node passenger flow direction of the first class nodes

序号	a_1		a_2		i_u	i_d
	方向	起讫点对	方向	起讫点对		
1	单	$\langle u_1, v_1 \rangle$	单	$\langle u_2, v_2 \rangle$	u_1	v_2
2	单	$\langle u_1, v_1 \rangle$	双	$\langle u_2, v_2 \rangle$	u_1	v_2
3	单	$\langle u_1, v_1 \rangle$	双	$\langle v_2, u_2 \rangle$	u_1	u_2
4	双	$\langle u_1, v_1 \rangle$	单	$\langle u_2, v_2 \rangle$	u_1	v_2
5	双	$\langle v_1, u_1 \rangle$	单	$\langle u_2, v_2 \rangle$	v_1	v_2
6	双	$\langle u_1, v_1 \rangle$	双	$\langle u_2, v_2 \rangle$	u_1	v_2
7	双	$\langle v_1, u_1 \rangle$	双	$\langle u_2, v_2 \rangle$	v_1	v_2
8	双	$\langle v_1, u_1 \rangle$	双	$\langle v_2, u_2 \rangle$	v_1	u_2
9	双	$\langle u_1, v_1 \rangle$	双	$\langle v_2, u_2 \rangle$	u_1	u_2

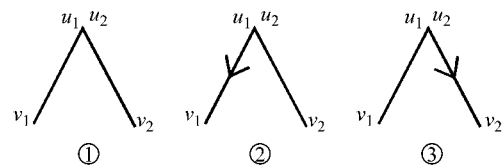


图 4 第 2 类结点客流方向

Fig. 4 Node passenger flow direction of the second class nodes

表 3 第 2 类结点的结点客流方向

Tab. 3 Node passenger flow direction of the second class nodes

序号	a_1		a_2		i_u	i_d
	方向	起讫点对	方向	起讫点对		
1	双		双		v_1	v_2
2		$\langle u_1, v_1 \rangle$	双	$\langle u_2, v_2 \rangle$	v_2	v_1
3	单		双		v_2	v_1
4	双		单		v_1	v_2

有下游结点,则设下游结点等于当前结点,即 $i_d = i$ 。②所有流线不全为单向,则此时的各种结点客流方向如图 5 所示,具体情况见表 4。

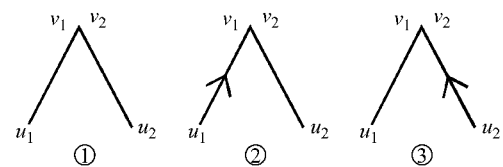


图 5 第 3 类结点客流方向示意图

Fig. 5 Node passenger flow direction of the third class nodes

表 4 第 3 类结点的结点客流方向

Tab. 4 Node passenger flow direction of the third class nodes

序号	a_1		a_2		i_u	i_d
	方向	起讫点对	方向	起讫点对		
1					u_1	u_2
2	双		双		u_2	u_1
3	单	$\langle u_1, v_1 \rangle$	双	$\langle u_2, v_2 \rangle$	u_1	u_2
4	双		单		u_2	u_1

(4) 不可行结点客流方向识别

根据上述方法获得的非交叉结点客流方向仍存在一些不可行的记录. 由于城市轨道交通车站行人设施布局的多样性, 行人流线网络也相应地复杂多变, 除了“使单向进站流线、单向出站流线、单向换乘流线相互贯通的”这一类不可行结点客流方向可以准确判断外, 其余不可行的结点客流方向准确识别的难度较大. 这里提供一种粗略的识别方法, 准确识

$$\frac{(x_i - x_u)(y_i - y_u) + (x_d - x_i)(y_d - y_i)}{\sqrt{(x_i - x_u)^2} \sqrt{(x_d - x_i)^2} + \sqrt{(y_i - y_u)^2} \sqrt{(y_d - y_i)^2}} < 0$$

2.3.2 交叉结点客流方向

交叉结点客流方向的获取主要是判断任意两边 $a_p = (u_p, v_p)$ 和 $a_q = (u_q, v_q)$ ($p \neq q$) 是否相交, 若两边相交于任一点 $j \in J$ (J 为交叉结点集) 时, 记录交叉结点的客流方向数组 $[u_p, j, v_p]$ 和 $[u_q, j, v_q]$. 也就是说, 在完成交叉点数据提取及交叉结点标号的过程中, 已经隐含了交叉结点客流方向. 这里只需要对重复记录作剔除并重新排序, 不再赘述.

需要注意的是, 节 2.1.2 中获取的交叉点坐标包含有辅助流线与其类型(通道、自动扶梯、楼梯、闸机组、安检通道)流线的交叉点.

在分配完成之前, 从站厅进入站台的进站或换乘流量在各组楼梯和自动扶梯间的分配比例是未知的. 为了得到各梯组的分配流量, 需要将多个梯组站台端连接到同一点, 该点是本线站台的拓扑抽象, 是进站客流的终点. 该终点与各进站梯组站台的连线称为辅助流线.

辅助流线在 CAD 环境中几乎不可避免地与其类型(通道、自动扶梯、楼梯、闸机组、安检通道)流线存在交叉, 这些交叉点应在交叉结点客流方向获取过程中予以剔除.

2.4 最短路径识别的实现

本文第 1 部分提出了基于行人流线网络的城市轨道交通车站客流分配方法, 该方法实现的关键是两个最短路径识别, 即一般最短路径识别和基于结点客流方向的最短路径识别.

一般最短路径识别通过 Matlab 内置的函数 graphshortestpath 函数实现, 这里使用的重载形式为

$$[\sim, \text{path}] = \text{graphshortestpath}(\mathbf{T}, i, j)$$

式中: \mathbf{T} 为时间邻接矩阵; path 则负责按先后顺序存储结点 i 到结点 j 的最短路径上的结点编号.

基于结点客流方向的最短路径识别的实现关键在于给定结点间任一路径是否符合结点客流方向.

别及剔除工作仍需要人工完成, 即:

由于行人一般不会对折返行走, 一旦结点 i 的某个客流方向使行人产生折返, 则应高度怀疑该结点客流方向不可行. 设结点 i_i 及其上游结点 i_u 、下游结点 i_d 的平面坐标分别为 (x_i, y_i) 、 (x_u, y_u) 和 (x_d, y_d) , 当三者满足下式时, 认为行人流产生折返, 即该结点客流方向可能不可行.

设给定结点间路径数组 path 中包含 N ($N > 2$) 个结点, 按照 Matlab 规定, 数组元素位置从 1 开始, 设 k 表示路径数组位置, 则结点客流方向判定流程如图 6 所示.

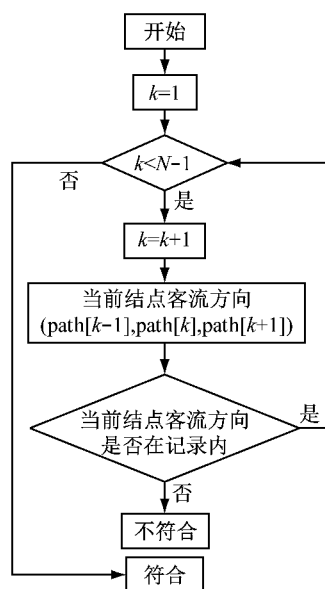


图 6 给定路径的可行结点客流方向判定流程

Fig. 6 Decision flowchart of feasible node passenger flow direction of given path

3 算例

以上海轨道交通某非换乘站站厅层为例, 对上文所述的站内客流分配方法及工具功能进行说明.

案例车站为两层车站, 地下二层为站台层, 岛式站台, 地下一层为站厅层. 车站站厅层行人设施布置方案如图 7 所示.

本站共设 3 个出入口, 其中, 左侧 1 个, 右侧 2 个. 进站闸机组和出站闸机组各 2 组, 闸机类型为门扉式. 安检设备单独设于进站闸机组前, 并形成单独通道. 付费区内均匀布置 3 组楼扶梯, 两端为 2 扶 1

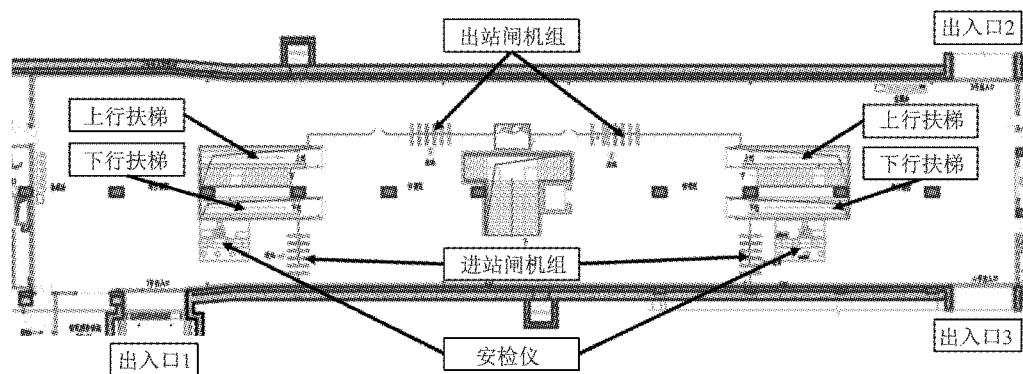


图7 站厅层行人设施布置

Fig. 7 Pedestrian facilities layout in a station hall

楼,2部扶梯为1部上行扶梯和1部下行扶梯,每组的楼梯位于两扶梯之间;中部为T型楼梯,一端位于站厅层,其余两端位于站台层。

在车站CAD图纸上构建的行人流线网络如图8所示。

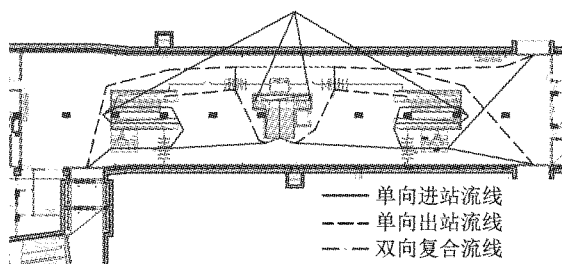


图8 站厅层行人流线网络

Fig. 8 Pedestrian streamline network in the station hall

本文所开发的插件 PedestrianNetwork 共包含4个命令,即 GetLinePointData、GetNetwork Attributes、PedestrianAssignment 以及 Show Results,其中,GetLinePointData 命令负责行人网络数据提取及网络结点编号,GetNetwork Attributes 命令负责边属性赋值及结点客流方向获取, PedestrianAssignment 命令负责站内客流分配及客流分配结果输出,ShowResults 则负责执行客流分配结果分析以及结果显示。

在准备好的存有行人流线网络的 DWG 文件中载入 PedestrianNetwork 插件,启动 GetLinePointData 命令,弹出如图9所示窗体进行图层匹配选择,然后点击“确定”,进行行人网络数据提取与网络结点编号,部分结点编号如图10所示。

启动 GetNetworkAttributes 命令,弹出如图11所示窗体进行边属性赋值,点击“确定”按钮,执行结点客流方向获取,并将拓扑网络边属性及结点客流方向保存于 Excel 表格中。



图9 图层匹配窗体

Fig. 9 Layer matching form

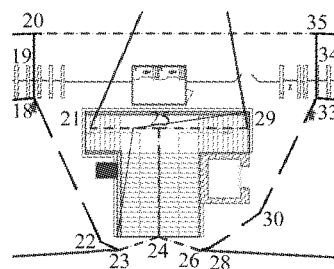


图10 网络结点标号结果

Fig. 10 Results of network node label

本文不涉及实结点阻抗时间计算,故假设类型为闸机组、自动扶梯、安检通道的各条边的起点为实结点,每个实结点的时间阻抗为10 s.先后启动 PedestrianAssignment 命令和 ShowResults 命令,对站内 OD 进行客流分配,表5所示 OD 表为尽可能剔除0值行列之后的剩余 OD 表.如图12所示,经过117次迭代算法收敛,各流线饱和度如图13所示。

上述流程若通过 TransCAD 完成,至少增加了导入网络、交通小区构建、连接小区形心等步骤.网

算法. 基于 AutoCAD 环境开发了城市轨道交通车站行人设施客流分配软件,并在软件实现过程中提出了结点客流方向的获取及初步的有效性判别方法.

以上海轨道交通某个处于规划设计阶段的车站为例,对上述分配方法及软件进行了测试.从分配结果看,分配算法有效,软件能够完成除分方向实结点时间阻抗计算外的 workflows.但是,由于未涉及分方向实结点时间阻抗计算方法及其特性研究,软件的客流分配结果尚不能作为车站规划设计调整的依据.

未来将结合分方向实结点时间阻抗计算方法及其特性的研究成果,完善分配软件,同时,为了符合车站设计行业趋势,将尝试以 Autodesk Revit 作为环境平台,进行后续的软件开发.

参考文献:

- [1] HOOGENDOORN S P, HAUSER M, RODRIGUES N. Applying microscopic pedestrian flow simulation to railway station design evaluation in Lisbon, Portugal [J]. Journal of the Transportation Research Board, 2004(1878): 83.
- [2] 李得伟,韩宝明,李海鹰.大型铁路客运站旅客集散微观仿真[J].中国铁道科学, 2009,30(3):119.
LI Dewei, HAN Baoming, LI Haiying. Microscopic simulation on large scale railway station of passenger mustering and evacuation[J]. China Railway Science, 2009,30(3):119.
- [3] 张金伟.基于行人仿真模拟技术的与既有地铁车站换乘设计研究[J].隧道建设, 2013,33(4):287.
ZHANG Jinwei. Study on design of transfer between new metro station and existing metro line based on passenger simulation technology[J]. Tunnel Construction, 2013,33(4):287.
- [4] HOY G, MORROW E, SHALABY A. Use of agent-based crowd simulation to investigate the performance of large-scale intermodal facilities case study of Union Station in Toronto, Ontario, Canada[J]. Journal of the Transportation Research Board, 2016,2540:20.
- [5] LEE, H Y. Integrating simulation ant colony optimization to improve the service facility layout in a station[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2012,26(2):259.
- [6] 杨天阳,朱志国.基于 Anylogic 的地铁车站通道设施设备规模与布局分析[J].交通运输工程与信息学报, 2017,15(1):115.
YANG Tianyang, ZHU Zhiguo. Scale and layout analyses of subway station facilities based on Anylogic software[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2017, 15 (1):115.
- [7] 漆凯.城市客运枢纽站旅客流线优化研究[D].北京:北京交通大学, 2011.
QI Kai. Research on optimization for flow routing of urban passenger hubs [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.
- [8] 刘莹.基于乘客行为特征的轨道站客流路径选择研究[D].上海:同济大学, 2009.
LIU Ying. Research on passenger flow path choice of rail station based on passenger behavior characteristics [D]. Shanghai: Tongji University, 2009.
- [9] 李岩.基于路径分配的城市轨道交通枢纽疏散管理研究[D].北京:北京交通大学, 2010.
LI Yan. Research on evacuation management of urban rail transportation center based on path assignment [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010.
- [10] 胡春平.客运枢纽换乘效率及流线组织方法研究[D].北京:北京交通大学, 2014.
HU Chunping. Transfer efficiency analysis and passenger flow organization of passenger transportation hubs [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.
- [11] 郭长弓,顾保南.城轨站行人流线网络构建及走行时间计算[J].同济大学学报(自然科学版), 2014,42(3):429.
GUO Changong, GU Baonan. Network creation and travel time calculation of pedestrian flow in urban mass transit station [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2014, 42 (3):429.
- [12] 郭长弓.城市轨道交通车站行人流线网络生成与时间计算方法研究[D].上海:同济大学, 2016.
GUO Changong. Network creation and travel time calculation of pedestrian flow in urban rail transit station [D]. Shanghai: Tongji University, 2016.
- [13] 陆化普.交通规划理论与方法[M].2版.北京:清华大学出版社, 2016.
LU Huapu. Theory and method in transportation planning [M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2016.
- [14] 熊英男.城市轨道交通车站自动检票闸机通行能力分析与配置数量研究[D].成都:西南交通大学, 2016.
XIONG Yingnan. Capacity analysis and configuration quantity research in urban rail transit station automatic gate machine [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [15] 覃松涛,叶霞飞.衔接铁路客运站的城市轨道交通车站闸机通过能力分析[J].城市轨道交通研究, 2013,16(5):100.
QIN Songtao, YE Xiafei. Analysis of turnstile transit capacity at urban mass transit link stations with railways [J]. Urban Mass Transit, 2013,16(5):100.
- [16] 陈鹏,张璋,胡啸峰,等.影响城市轨道交通安检速度的乘客特征分析[J].城市轨道交通研究, 2016,19(5):5.
CHEN Peng, ZHANG Zhang, HU Xiaofeng, et al. Analysis of passenger behaviors impacting on subway station security test [J]. Urban Mass Transit, 2016,19(5):5.
- [17] 丁晓青.基于排队网络模型及行人仿真的车站应急疏散能力研究[D].北京:北京交通大学, 2016.
DING Xiaoqing. Study on evacuation capacity of subway station based on queuing network model and pedestrian simulation [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.
- [18] 胡路.考虑稳定性的城市轨道交通车站交通服务设施系统优化配置理论与方法[D].成都:西南交通大学, 2014.
HU Lu. The optimization theory and method for configuration of transportation facilities in urban rail transit station with consideration of stability analysis [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.
- [19] EBERLY D H. 3D 游戏引擎设计:实时计算机图形学的计算方法[M].徐明亮,李秋霞,许巍巍,译.北京:清华大学出版社, 2013.
EBERLY D H. 3D game engine design [M]. Translated by XU Mingliang, LI Qiuxia, XU Weiwei. Beijing: Tsinghua University Press, 2013.