

基于 VISUM 软件的城市轨道交通线网客流分配自动化计算程序开发

臧天哲 顾保南

(同济大学交通运输工程学院, 201804, 上海)

摘 要 [目的] 针对目前城市轨道交通(以下简称“城轨”)线网客流分配计算过程重复性工作较多的问题, 基于对城轨线网客流分配过程的研究, 开发了城轨线网客流分配自动化计算程序。[方法] 梳理了城轨线网客流分配自动化计算程序的开发需求。介绍了基于 VISUM 软件的城轨线网客流分配自动化计算程序的主要技术流程。基于需求分析, 将该程序划分为线网供给方案建模、线网需求方案建模、交通分配计算及数据输出等 4 个主要功能模块。阐述了该程序中 4 个模块的操作内容以及参数传递过程。重点介绍了线网供给方案建模模块的计算过程与实现方法。[结果及结论] 经实例验证, 采用该程序进行城轨线网客流分配的计算, 不仅可以满足客流分配所需的复杂的分析计算要求, 亦能提高客流分配工作的效率。

关键词 城市轨道交通; 客流分配自动化; 计算程序; VISUM 软件

中图分类号 U293.13

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.03.010

Development of Automatic Calculation Program for Passenger Flow Assignment in Urban Rail Transit Network Based on VISUM

ZANG Tianzhe, GU Baonan

(School of Transportation Engineering, Tongji University, 201804, Shanghai, China)

Abstract [Objective] In view of the much repetitive work in the calculation process of passenger flow assignment in urban rail transit network, an automatic calculation program is developed on the basis of the research on the passenger flow assignment process. [Method] Requirements of developing automatic calculation program for passenger flow assignment in urban rail transit network are reviewed. The main technical process of the program based on VISUM software is introduced. Based on demand analysis, the program is divided into four main functional modules, i. e. network supply scheme modeling, network demand scheme modeling, traffic assignment calculation and data output. The operating content of the four modules in the program and the parameter passing process

are described. The calculation process and realization method of the network supply scheme modeling module are emphasized. [Result & Conclusion] Examples verify that the program can not only meet the complicated analysis and calculation requirements of passenger flow assignment, but also improve its efficiency.

Key words urban rail transit; passenger flow assignment; calculation program; VISUM software

在城市轨道交通(以下简称“城轨”)建设阶段, 需要对其规划线网不断进行优化, 其方案评价离不开城轨线网客流分配环节。城轨线网优化涉及的变化因素众多, 如线路数量、换乘站及换乘方案、线位及站位、敷设方式、运营组织模式等, 其中每个因素变化所对应的方案评价都需进行线网客流分配, 因而线网客流分配在线网规划中会大量重复发生。文献[1-3]对城轨线网的建模方法和客流分配算法进行了研究, 但未能对线网客流分配全过程进行集成以实现自动化运行。文献[4]以城市道路网络为研究对象, 对其客流分配自动化进行了研究。本文基于对城轨线网客流分配过程的研究, 旨在开发城轨线网客流分配自动化计算程序。

1 城轨线网客流分配自动化计算程序的开发需求

目前, 常用的主流宏观仿真软件, 如 VISUM、TransCAD 等, 都可以对大规模城轨线网进行四阶段的计算。相比于其他宏观仿真软件, VISUM 软件在计算模型丰富度和接口易用性等方面均具有一定优势, 因此, 本文使用 VISUM 软件作为程序开发的基础平台。基于 VISUM 软件的城轨线网客流分配评价指标手动计算方法主要包含线网供给方案建模、线网需求建模、交通分配计算及计算结果输出与显示等 4 个部分。在 VISUM 软件中手动完成

上述计算过程需要庞大的输入、修改及校对工作量,且进行多方案比选时也会产生较多重复性工作,给研究工作带来诸多不便。VISUM 软件本身为用户开放了丰富的接口(如 COM-API(组件对象模型-应用程序编程接口)),通过这些接口可以编写外部程序以控制 VISUM 软件的自动化运行。因此,需要对城轨线网客流分配评价指标的计算过程进行深入分析,开发外部程序调用 VISUM 软件的计算模块,实现基础数据输入、各项指标计算及计算结果输出的自动化运行,充分发挥软件本身在计算模块上的优势,既满足实际工作所需的复杂的分析计算要求,又提高了客流分配工作的效率。

1.1 线网供给方案建模

本研究开发的程序需要自动读取所需的外部数据,并在 VISUM 软件中完成线网供给方案模型的构建,主要包括车站、线路和时刻表等对象的创建及属性设置。该程序应能够对供给方案的变化进行便捷的设定,并能够在程序中显示不同的供给方案。供给方案的变化包括规划设计与运营管理两个层面:规划设计方面的变化包括多条规划设计线路的 OD(起讫点)、换乘节点及路由等可能的方案变化;运营管理层面的变化包括某条或多条线路的列车停靠站点、时刻表等可能的方案变化。该程序能够体现城市城轨线网供给方案变化,并在供给方案变化的条件下进行评价指标的计算。

1.2 线网需求建模

本研究开发的程序需要自动读取所需的外部数据,并在 VISUM 软件中完成线网需求模型的构建,包括站间 OD 矩阵,以及需求时间序列等的设置。该程序的需求模型应能便于对近期和远期、高峰与非高峰等的客流变化进行设定,且在 OD 需求变化的情况下自动计算评价指标。

1.3 交通分配计算

本研究开发的程序需在 VISUM 软件中建立交通分配计算流程体系,按照给定条件的指定路径搜索方法,以及乘客选择模型等分配计算方法,设置计算所需参数,并自动进行交通分配计算。

1.4 计算结果输出与显示

本研究开发的程序需要与指定数据库对接,并能自动且快速地计算出本线及线网的各项评价指标,以及输出指标计算结果;该程序还能够输出图片,对线网总体与局部的各种指标进行显示。

2 城轨线网客流分配自动化计算程序的主要技术流程

基于需求分析,城轨线网客流分配自动化计算程序划分为线网供给方案建模、线网需求方案建模、交通分配计算及数据输出等 4 个主要功能模块。城轨线网客流分配自动化计算程序的主要技术流程,如图 1 所示。

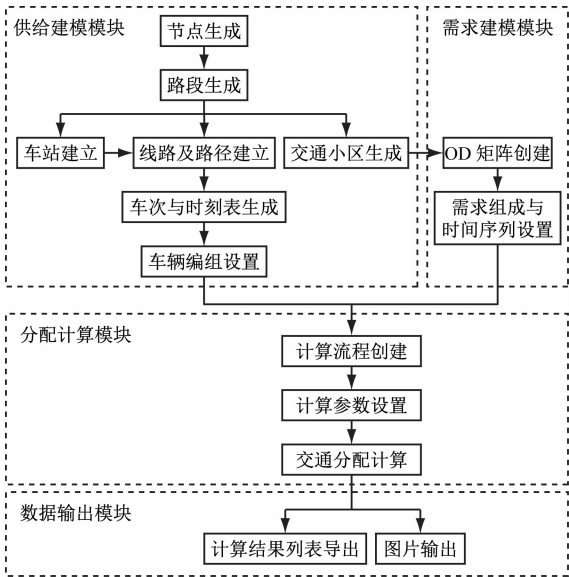


图 1 城轨线网客流分配自动化计算程序的主要技术流程
Fig. 1 Main technical process of the automatic calculation program for passenger flow assignment in urban rail transit network

2.1 线网供给方案模块

线网供给方案模块的主要功能是在 VISUM 软件中完成线网供给方案模型的构建,以描述城轨车站、线路及列车等对象的特性,包括线网中节点与路段的生成,车站、线路、车次、车辆编组的建立与属性设置,以及交通小区的生成等。

2.2 线网需求模块

线网需求模块的主要功能是在 VISUM 软件中完成线网需求模型的构建,即乘客出行信息的描述。该模块主要包括城轨 OD 矩阵的导入和乘客出行特征属性的设置。

2.3 交通分配计算模块

交通分配计算模块的主要功能是基于 VISUM 软件的计算流程完成交通分配计算。具体操作步骤如下:建立交通分配计算流程,设置相应计算参数,通过运行交通分配计算流程得到计算结果。

2.4 数据输出模块

数据输出模块的主要功能是将 VISUM 软件中得到的分配计算结果进行输出。具体操作步骤如下:按指定对象和字段生成数据列表并将其保存至本地数据库,将需要的计算结果绘制成图并保存为本地图片。

3 城轨线网客流分配自动化计算程序的关键技术

3.1 线网供给方案建模

3.1.1 节点与路段生成

在 VISUM 软件中构建城轨线网时,节点代表站点的位置,路段代表区间。路段具有方向性,由起始节点编号与到达节点编号来描述。VISUM 软件通过路段属性表述路段上的交通特性。在构建城轨线网时需设置允许通过的交通方式、行驶速度、行驶时间等属性。本程序从城轨线网.shp 格式文件中读取节点与路段信息,并在 VISUM 软件中完成节点与路段对象的创建及其属性设置。

3.1.2 交通小区设置

交通小区的设置主要涉及小区与小区连接线两个对象。小区是乘客每次出行的起点与终点,它将交通供给与交通需求关联起来。小区连接线用于将小区连接到路网,即小区质心和连接点之间的离开或到达路径。本程序基于城轨站间 OD 矩阵进行客流分配,因此为每个站点需建立 1 个小区和 1 条小区连接线。

3.1.3 站点设置

在 VISUM 软件中,通过车站、站点区域与站点等 3 个层面的对象来描述 1 个车站的特征。站点定义了 1 条线路的始发或到达点,列车在此处停泊并完成上下客。站点区域描述了轨道交通线网中从到达节点进入站点以及站点间的通路等区域。车站是等级最高的对象,涵盖车站的名称以及其他全部的构建属性。车站包含整个站点区域集合,亦包含所有的站点。1 个车站可以包含 1 个或多个站点区域。1 个站点区域唯一从属于 1 个车站,并可包含 1 个或多个站点。当 1 个车站包含多个站点区域时,1 个车站内的不同站点区域之间的步行时间可以用来描述换乘步行时间。本程序在节点位置建立对应的车站、站点区域以及站点三级对象,并从外部基础数据中读取车站信息,完成车站名称、换乘步行时间等属性的设置。

3.1.4 线路、线路路径与时时刻表的设置

在 VISUM 软件中,列车运行的相关信息通过线路、线路路径、行驶时刻表及车辆历程等对象来进行描述。线路对象是 1 条或多条线路路径和对应时刻表的集合,概括了 1 条线路的基本信息。线路路径对象描述了线路在 1 个方向上的空间路径,是 1 个交路上行或下行方向的列车停靠站点的集合。行驶时刻表对象描述了 1 条线路路径下各个车站的停站时间以及各个区间的行驶时间,但并不指定发车时间。车辆历程对象是指 1 个行驶时刻表下的 1 趟车次,通过指定发车时间,并与行驶时刻表中包含的停站时间以及区间运行时间相结合,即可得到所有车站的到发时间。本程序根据外部基础数据中的列车时刻表数据,自动建立线路、线路路径、行驶时刻表与车辆历程等对象,并完成相关属性的设置。

列车时刻表是描述所有列车始发、停靠,终到站的站点信息,以及始发时间、到达时间、停靠时间等的表格。通常情况下,列车时刻表的单元格内容为到发时间,1 列表示 1 个车次,1 行表示 1 座车站。根据实际的列车时刻表手动设置 VISUM 软件中的停站方案与时刻表,这包含大量的重复性工作,因此,本程序需要实现轨道交通线路的停站方案的制定,以及时刻表的自动化设置。具体实现的技术流程主要包含以下两个步骤。

3.1.4.1 线路停站方案识别

采用 VISUM 软件仿真 1 条线路中列车的实际运行情况时,需设置好列车需要停靠的车站。1 条轨道交通 1 个方向的 1 个停站方案对应 VISUM 软件中的 1 个线路路径对象。具体如下:创建 1 个空集合 L 用于存储线路路径。读取列车时刻表中第 1 班车次对应的 1 列,创建 1 个新的线路路径对象 l_0 。依次读取此列每个时刻表的数值,若不为空值就代表该班列车在当前停站方案下停靠此站,将该车站的编号添加到 l_0 中,直至该列的所有非空值读取完毕。新建对象 l_1 ,取值为 l_0 ,将 l_1 添加至 L 中,并初始化 l_0 。读取列车时刻表的下列,将该车次停靠车站的编号添加到 l_0 中,并与 L 中所有线路路径对比:若 l_0 与 l_1 一致,表示该车次属于 l_1 对应的停站方案;若 l_0 与 l_1 不一致,则新建对象 l_2 ,取值为 l_0 ,将 l_2 添加至 L 中,并初始化 l_0 。以此类推,对列车时刻表中的每列循环计算,即可确定 1 条线路的所有停站方案,以及每个车次与停站方案的对应关系。

3.1.4.2 列车时刻表建立

将列车到发时间输入至线网供给方案模型。VISUM 软件中的行驶时刻表对象描述了 1 条线路路径下列车在各个车站的停站时间,以及在各个区间的行驶时间,但并不指定发车时间。因此,需明确每个车次属于 1 个停站方案下的某个停站时间方案。针对车次 k ,在式(1)中已经确定了该车次对应的列车停站方案 m ,则在线路路径对象 l_m 下新建行驶时刻表对象 p_0 。对于该车次停靠的车站 i ,停站时间的计算方法为:

$$t_{k,i,停} = t_{k,i,发} - t_{k,i,到} \quad (1)$$

式中:

$t_{k,i,停}$ ——车次 k 的列车在车站 i 的停站时间;

$t_{k,i,发}$ ——车次 k 的列车在车站 i 的发车时间;

$t_{k,i,到}$ ——车次 k 的列车在车站 i 的到站时间。

列车从车站 i 至车站 $i+1$ 的区间运行时间的计算方法为:

$$t_{k,i,运} = t_{k,i+1,到} - t_{k,i,发} \quad (2)$$

式中:

$t_{k,i,运}$ ——车次 k 的列车从车站 i 至车站 $i+1$ 的区间运行时间;

$t_{k,i+1,到}$ ——车次 k 的列车在车站 $i+1$ 的到站时间;

$t_{k,i,发}$ ——车次 k 的列车在车站 i 的发车时间。

依次计算 k 在每个停靠车站的停站时间和区间运行时间,并将其存储在行驶时刻表对象 p_0 中。比较 p_0 与 l_m 下的所有行驶时刻表对象,从而判断 k 属于哪种停站时间方案。

在 VISUM 软件中确定了 k 的停站时间和区间运行时间后,若要确定该车次在所有停靠车站的到发时间,还需指定该车次的发车时间。设 k 属于 m 下的停站时间方案 s ,则在 l_m 的行驶时刻表对象 p_s 下新建车辆历程对象 v_k ,指定其发车时间属性为 $t_{k,1,发}$ 。至此,该车次在所有停靠车站的到发时间已经确定。循环执行以上步骤,就可以确定列车在每条线路每个停站方案每个方向上的到站和发车时间。

3.1.5 车辆编组设置

车辆编组信息可以通过车辆单元和车辆组合两个对象进行描述。车辆单元是指 1 节车辆,车辆组合是由多节车辆单元组合成的列车编组。车辆单元包含座席数量与载客容量等属性,车辆组合的这些属性值等于车辆组合所包含的车辆单元的对

应属性值之和。本程序根据基础数据中各条线路的列车编组信息,自动创建相应的车辆单元和车辆组合对象,并建立其与线路之间的联系。

3.2 线网需求建模

3.2.1 OD 矩阵创建

需求矩阵描述了起点小区和终点小区之间的需求。OD 矩阵中的数值代表起点小区和终点小区之间的出行量,是交通分配中不可或缺的部分。本程序以小区数量为维度创建 OD 矩阵,并读取基础数据中的 OD 矩阵数据。

3.2.2 需求组成部分与时间序列设置

需求组成部分是由采用同一种出行方式的乘客组成的集合。在分析时段内,出行需求的时间分布通过一个开始时间和一个需求时间序列来描述,即将分析时段划分为更小的时间间隔,并指定每个时间间隔内的需求占总需求的比例。本程序针对城轨线网客流进行分配时,将需求组成部分对应的交通方式设定为公共交通,并按照基础数据中的乘客出行时间分布设置时间序列。

3.3 交通分配计算

3.3.1 计算流程的建立

针对公交出行的建模,VISUM 软件提供了 3 种不同的公交分配方法,即基于交通系统的分配方法、基于发车频率的分配方法和基于时刻表的分配方法。这 3 种方法所需的输入数据不同,其结果的精度及计算时间也不同。对于已有时刻表信息的城轨线网,本程序选择基于时刻表的分配方法建立交通分配计算流程。

3.3.2 计算参数的设置

VISUM 软件构建的交通分配计算模型,主要包括路径搜索、路径预选、路径阻抗计算、路径选择等步骤。本程序从基础数据中读取参数设置信息,并依次对交通分配计算模型中的参数进行设置。

3.3.3 交通分配的计算

在完成计算流程的建立以及模型参数的设置后,本程序按照给定算法运行分配计算流程,从而得到计算结果。

4 实例分析

本文以上海城轨线网为研究对象,分别通过手动方式和本文开发的自动化程序建立城轨线网客流分配模型,并进行客流分配工作。与手动方式相比,自动化计算程序的效率提升主要体现在以下

方面:

1) 线网供给建模。在建立城轨线网客流分配模型时:手动方式下需在 VISUM 软件中创建对象,并为每类对象创建自定义属性并赋值,当需要进行方案比选时还需重复进行这些操作;而自动化计算程序可以自动地读取建模所需数据,并自动完成多方案的建模工作。

2) 线网需求建模。采用多个时段的 OD 矩阵进行交通分配,手动操作时需要逐一设置分配时段,并为每个时段添加矩阵。本程序可以自动按需读取需求矩阵并将其导入模型。

3) 结果输出与显示。在导出交通分配计算结果时:手动操作方式下每次分配后需在线网、线路、路段、车站等多个层面创建列表,并为每个列表选取不同的字段;本程序可以通过读取参数文件,按规则自动创建列表并导出至本地数据库。在绘制计算结果趋势图时:手动操作方式下需为每张图片设置图形样式,当需要显示多个属性时就会产生大量重复工作;本程序可以读取预设的图形参数,自动绘制各种类型的图片。

5 结语

本文研究了城轨线网客流分配的自动化计算方法,并通过软件二次开发编写了基于 VISUM 软件的城轨线网客流分配自动化计算程序。通过对实例的分析,采用该方法进行城轨线网客流分配评价指标的计算,不仅可以满足评价所需的复杂的分析计算要求,而且提高了评价工作的效率。

(上接第 53 页)

WU Shangyong, YANG Xiaoping, LIU Tingjin. Analysis of influence on deformation of adjacent subway tunnel due to bilateral deep excavations[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(S1): 3452.

[10] 沈雯, 沈蓉, 孙廉威. 超深基坑分区开挖对侧方地铁影响的实测分析[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(增刊 1): 354.

SHEN Wen, SHEN Rong, SUN Lianwei. Field monitoring and analysis on the influence of deep excavation on adjacent metro[J].

参考文献

- [1] 于剑, 徐彬. 面向客流分配的城市轨道交通服务网络建模方法研究[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(9): 92.
YU Jian, XU Bin. Modeling method of service network for passenger flow assignment in urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(9): 92.
- [2] 马芳. 城市轨道交通客流分配研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
MA Fang. Research on passenger flow assignment of urban rail transit[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.
- [3] 黄鉴, 蒋赛. 基于换乘网络的城市轨道交通客流分配模型[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(8): 1.
HUANG Jian, JIANG Sai. Passenger flow distribution model for urban rail transit based on transfer network[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(8): 1.
- [4] 孙剑, 李克平, 尹瑞, 等. 世博会客流活动仿真模型及决策评价研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2009, 33(3): 418.
SUN Jian, LI Keping, YIN Rui, et al. Study on visitor activity simulation model and decision evaluation for EXPO 2010[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2009, 33(3): 418.

· 收稿日期:2021-08-09 修回日期:2022-05-28 出版日期:2024-03-10
Received:2021-08-09 Revised:2022-05-28 Published:2024-03-10
· 第一作者:臧天哲, 硕士研究生, zang_tianzhe@outlook.com
通信作者:顾保南, 教授, gbnnyh@163.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(S1): 354.

· 收稿日期:2022-01-17 修回日期:2022-02-23 出版日期:2024-03-10
Received:2022-01-17 Revised:2022-02-23 Published:2024-03-10
· 作者:刘风华, 高级工程师, 2037542579@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821