

# 面向客流仿真的轨道交通车站图形建模方法

朱效洁, 高 鹏, 徐瑞华

(同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

**摘要:** 分析了城市轨道交通车站空间结构和设施设备特点, 将其划分为车站-楼层-区域-设备的逻辑层次结构; 利用面向对象(object oriented)建模技术, 提出了一套简洁而灵活的方法: 通过 3 种几何线型类和 4 种设施设备基元类, 以组合的方式构建车站所有设施设备模型, 进而构建整个车站的空间结构模型. 此方法不但能够利用现有 AutoCAD 工程图精确而快捷地建立客流仿真地图, 并且能够以矢量图形的方式实时显示仿真过程.

**关键词:** 城市轨道交通; 车站建模; 客流仿真; 面向对象建模技术

**中图分类号:** U 121

**文献标识码:** A

## Modeling Urban Mass Transit Station for Passenger-flow Simulation

ZHU Xiaojie, GAO Peng, XU Ruihua

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

**Abstract:** According to the characteristics of the spatial structure and devices inside, a UTM Station can be divided into a hieratical structure of station-floors-areas-devices, for the sake of simulation. Based on object oriented technique, a concise and flexible modeling approach for UTM Stations is developed. All models of facilities and devices in UTM station are built by combining four geometric figure models and three facility component models, and then the simulation maps of large-scale stations are generated from AutoCAD drawings easily and accurately. Besides, vector-based animation is displayed in real time during simulation.

**Key words:** urban mass transit; station modeling; passenger-flow simulation; object oriented technique

近年来, 国内外对行人运动和疏散的仿真研究日益重视, 比较著名的仿真系统有英国 Warwick 大学的 Legion<sup>[1]</sup>, 德国 PTV 公司的 VISSIM, 美国 Stanford 大学的 Egress<sup>[2]</sup> 等. 这些研究成果被广泛应用于大型活动场所<sup>[3]</sup>、特定场所的建筑设计<sup>[4]</sup>、空间布局、人员分布以及疏散组织方案的确定中<sup>[5-6]</sup>.

城市轨道交通车站是轨道交通的基层生产单位, 也是客流聚集和流动的主要场所. 近年来利用系统仿真的方法对轨道交通车站客流分布进行分析已成为研究热点<sup>[1-7]</sup>. 车站空间结构及几何图形的描述、设施设备的建模是客流仿真中的重要基础性工作, 模型的精确程度直接影响仿真的有效性. 由于城市轨道交通车站空间结构复杂、设施设备各异, 同时乘客在站内运动存在随机性和个体差异性, 因此, 需要研究适应各种车站特点、满足仿真需求、简洁而灵活的轨道交通车站建模方法及计算机实现方法.

国内外对大型活动场所(体育场等)、建筑物(楼宇等)的空间结构建模方法已有较多研究成果, 但针对城市轨道交通车站这类特殊空间的图形化建模及计算机方法的研究尚不多见.

## 1 轨道交通车站空间结构分析

城市轨道交通车站的运输生产工作主要由行车组织和客运组织 2 部分构成. 为满足客运组织的需要, 各车站在空间结构、设施设备布局等多方面存在很大的差异性. 然而总体来说, 与客运相关的车站空间可以划分成以下 3 类: ①出入口及通道: 由 1 个或多个出入口、通道以及其他相关设备组成的空间, 用于连接站厅、站台、外部交通和商业空间等. ②站

收稿日期: 2009-10-12

基金项目: 国家自然科学基金(60870006); 国家“八六三”高技术研究发展计划(2007AA11Z204)

第一作者: 朱效洁(1971—), 男, 博士生, 主要研究方向为复杂性科学、多智能体系统仿真. E-mail: zhu8921@yahoo.com.cn

通讯作者: 徐瑞华(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为运输组织现代化、运输系统仿真、计算机在轨道交通系统中的应用. E-mail: rhxu@tongji.edu.cn

厅:为乘客提供售票、检票、信息查询等服务的空间,一般可进一步分为免费区和付费区.③站台:为乘客提供候车及上下车等服务的空间,一般仅为付费区.站台的长度和列车的长度相对应.

根据上述车站空间分类,将城市轨道交通车站分成如图 1 所示的车站-楼层-区域-设备的逻辑层次结构:①车站由多个楼层组成,楼层一般为站厅层、站台层、出入口及通道层或者混合功能层,楼层间通过连接设备(如电梯、楼梯、通道等)相连通;②楼层由多个区域组成,一般包含:售票区、验票区、楼梯区、候车区等;③区域包含多个设备,如自动售票机、人工售票亭、公交卡充值机、电梯、楼梯、检票闸机等.④设备具有各自的功能,如售票、检票、输送乘客等.

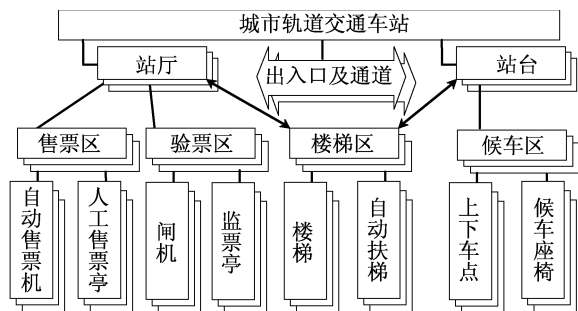


Fig.1 Hierarchical structure of urban mass transit station in logic

车站各楼层和设备布局一般以 AutoCAD 工程图的形式保存.因此直接利用现有的 AutoCAD 工程图,剔除与客流仿真无关的信息,如标注、标线、管理用房、给排水设备、通风设备等,形成车站客流仿真地图,是一种简捷实用的方法.车站客流仿真地图的几何图形可分为区域型和设备型 2 类封闭图形:①区域型图形:由一系列首尾相连的多段线、圆弧组成的封闭区域所组成,区域型图形中包含免费区、付费区、区域型障碍物等,如图 2a.②设备型图形:由多段直线构成的矩形(可以倾斜)所组成,设备型图形中包含验票闸机、自动售票机、楼梯、自动扶梯、规则的障碍物等,如图 2b.

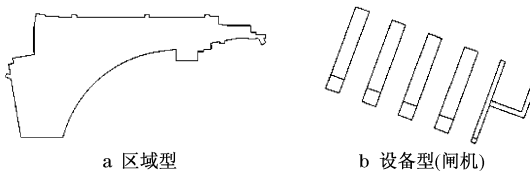


图 2 仿真地图两类几何图形

Fig.2 Two types of geometric figures in the simulation map

一般情况下,通过上述 2 类图形可以描述轨道交通车站内各种复杂区域及设施设备的几何形状,从而形成满足客流仿真需要的车站仿真地图.

## 2 模型设计

### 2.1 建模的总体思路

基于面向对象(object oriented)<sup>[8-10]</sup>的建模思想笔者设计了车站空间结构及设施设备图形化建模方法,其总体思路如下:①建立几何线型模型,用以导入车站 AutoCAD 工程图,描述所有设施设备的几何形状.②继承几何线型模型,以组合的方式构建设备基元模型,基元模型的物理含义可理解为设施设备的组成部件,它们包含了众多属性,这些属性为客流仿真使用.③通过 4 种几何线型类和 3 种基元类,以组合的方式可以构建所有轨道交通车站的设施设备模型.④将建立好的这些设施设备模型按照图 1 所示的逻辑结构组合起来,可以构成轨道交通车站某一楼层的模型.⑤最后将所有楼层模型按照一定的逻辑关系组合起来,可以实现整个车站空间结构及设施设备的图形化建模.相互关系如图 3 所示.

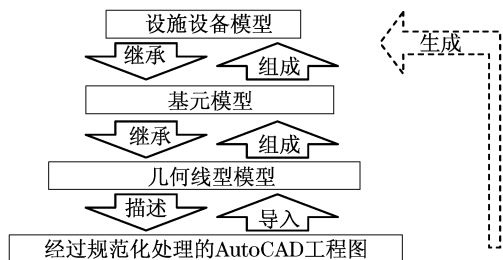


图 3 模型间的关系

Fig.3 Relationship among models

### 2.2 几何线型模型

为描述区域型图形和设备型图形,需要建立几何线型模型,如图 4a 所示,它由以下成分组成:①图元(Figure):是所有模型的根,包含了公有数据和方法;②弧(Arc):从图元派生,用以表示圆和圆弧;③多段线(PolyLine):从图元派生,用以表示线段、多边形(封闭)、多段线(非封闭);④复合图元(CompoundFigure):从图元派生,表示由一个或者多个图形组合构成的图形(子图形也可以是多段线);⑤矩形材质(RectTexture):从多段线派生,表示形状为矩形,内部包含多媒体信息(图片、文字等)的图形.⑥文字(TText)和图像(TImage):都从矩形材质派生,表示文字和图像信息.

通过上述几何线型模型,可以导入各种车站的平面图,并且可以添加文字和图片作为辅助说明.少数复杂图形(如样条曲线、椭圆弧等)可以通过 AutoCAD 转换为多段线,然后加以识别.如果有特殊需要,也可以扩充几何线型模型,增加椭圆(弧)、样条曲线等复杂图形的几何线型模型.

### 2.3 设施设备基元模型

在几何线型模型的基础上,可建立车站设施设备基元模型,如图 4b,基元模型由以下成分组成:①设施(Facility):是车站所有设施设备的根,它派生于填充图元(StuffedFigure),表示本图形会在仿真地图上根据自身的位置及形状填充相关信息,以便于仿真过程中乘客对设施设备进行识别、定位.②色块(ColorBlock):派生于填充图元,表示一种有颜色的封闭图形,并且会在地图上填充信息,它可以表示

免费区、付费区等区域型设施.③障碍物(Obstacle):是一种具备固定颜色的色块,表示在地图上此区域不可通过.④目标区(TargetArea):派生于色块,是非常重要的一个类,可以应用于所有设施设备中.它在路径规划中发挥模糊定位作用(每个设施设备包含 1 个或者多个目标区),目标区可以由区域型图形生成,也可以由设备型图形生成.它根据自身的位置、形状以及地图信息生成许多目标点提供给路径规划算法.

### 2.4 车站空间结构及设施设备模型

通过 4 种几何线型类(Arc, PolyLine, TText, TImage)和 3 种基元类(ColorBlock, Obstacle, TargetArea),可以用组合的方式构建所有轨道交通车站设施设备的图形模型,再将它们按图 1 所示逻辑结构组合起来,构成了如图 4c 所示的结构模型.

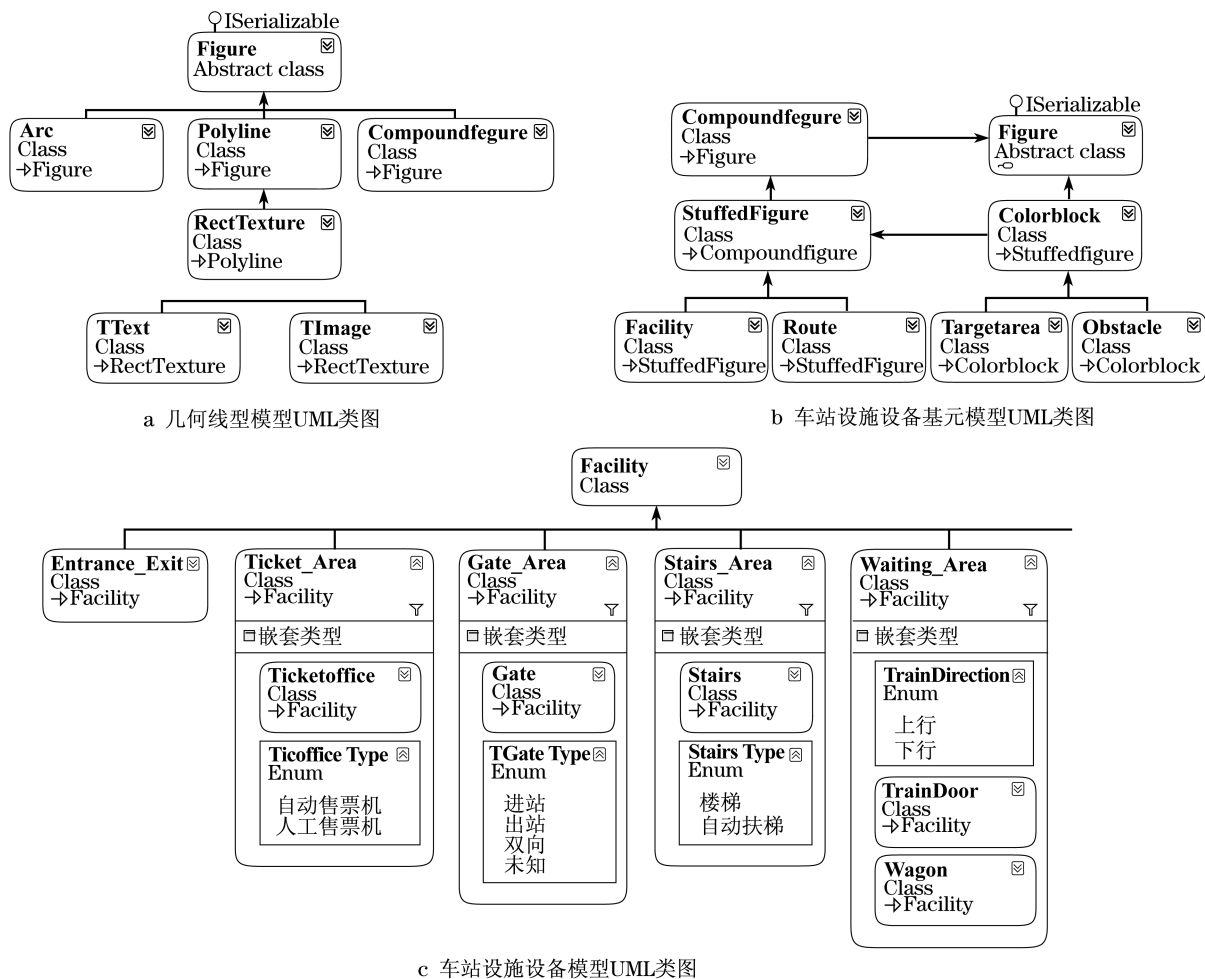


图 4 统一建模语言(UML)类图

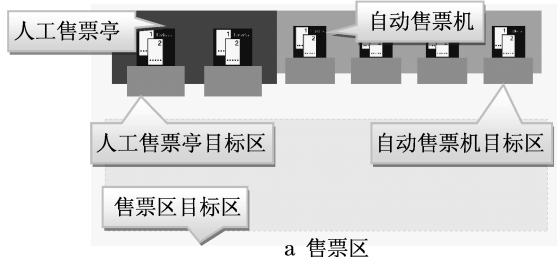
Fig.4 United modeling language (UML) class diagram

由于篇幅有限,下面以售票区和候车区为例对有代表性的设施设备模型构成方法作介绍.

(1) 售票区(ticket\_area).由 1 个目标区、多个

自动售票机、人工售票亭组成(图 5a).售票区的目标区一般具有比较大的面积,在客流仿真中,可以通过一定的随机选择算法实现乘客路径的模糊搜索.自

动售票机和人工售票亭模型通过售票亭类(TicketOffice)类描述,由枚举 TicOfficeType 确定其类型.售票亭类由1个矩形障碍物(Obstacle)、1个矩形目标区(售票点)和标签图片(TImage)组成.



(2) 候车区(waiting\_area). 由1节车厢、多个车门(上下车点)及1个本区域的目标区组成(图5b),它分为2种类型:上行候车区和下行候车区,这是通过枚举 TrainDirection 确定的.

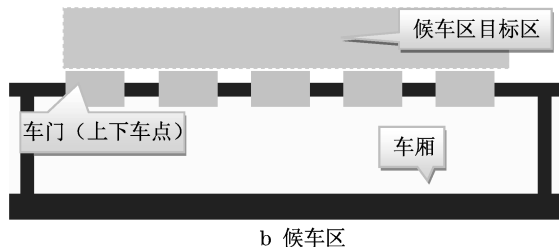


图5 售票区和候车区模型

Fig.5 Tickets area model and waiting area model

车厢是矩形目标区,对应一节列车车厢大小,车门(上下车点)是绿色目标区,其宽度对应车门宽度,长度跨越站台和列车.每一节车厢单独建模便于仿真中作为智能体的乘客实现选择行为(考虑人数、距离等因素).

## 2.5 针对客流仿真的考虑

笔者提出的城市轨道交通车站模型能够和城市轨道交通车站客流分布仿真系统(简称 StaPass,是由同济大学交通运输学院运输管理工程系自行研发的行人仿真系统,已运用于城市轨道交通车站、世博会入口等仿真项目)中的另外2个模型即事件驱动的行人流模型以及3层结构的行人模型在仿真过程中良好配合.例如:图4b中的路线(Route)由一系列目标区构成,在客流模型中能够配合事件驱动机制发挥宏观路径导航作用;此外,所有设施设备模型都派生自填充图元,因此模型会在仿真开始前向仿真地图中填充详细的信息,为智能体感知环境提供了良好的基础.事件驱动的行人流模型凭借事件驱动机制,能够适应城市轨道交通车站复杂多样的客流仿真需求;3层结构的行人模型凭借其分层结构,能够体现行人各种场景下的复杂而差异化的行为.这2个模型非常复杂,超出了本文论述范围,故略去.

需要强调的是,车站-楼层-区域-设备的逻辑层次结构和行人在车站内行为是对应的.在现实生活中,行人在车站内有许多选择行为,根据距离、拥挤程度等因素选择满意的设施或者设备,例如:如果某乘客要去购买车票,他会首先在可视范围内选择一个满意的售票区,然后到达此售票区后,会在其中选择一个满意的购票设备.此外,对于乘客在车站的其他行为(如验票、通过楼梯、候车等)都可以抽象为先选区、后选设备的结构化行为.

由前文论述可见,售票区、验票区、楼梯区、候车区的模型结构恰好和乘客的结构化选择行为对应:楼层包含多个区域,区域包含多个设备.区域都具备比较大的目标区,以实现模糊定位.当乘客到达区域的目标区以后,开始选择其中的设备.设备可能拥有多个目标区(例如:售票设备有1个、闸机和楼扶梯有2个),其首目标区用于定位设备(选中设备以后靠近的过程),其余目标区用于智能体完成设备内部行为过程(如验票、通过楼梯等).

## 3 建模案例

通过上述建模方法,对于任意车站的 AutoCAD 工程平面图,用户只需要对其进行清理操作(去掉和仿真无关的图形)和规范化操作(将设施设备图形转化为上述2类规范图形),并将其保存为 DXF<sup>[11]</sup>格式,即可导入仿真系统,形成车站仿真地图.在实际项目中,清理操作和规范化操作也非常简单:对于前者一般只需要删除不相关的图层,如标线图层、通风设备图层、管线设备图层等;对于后者而言,如果 AutoCAD 工程图的制图是规范的,即1个封闭图形应该是1个整体多边形对象而不是由多个线段对象构成的,那么此项操作无需进行,反之需要使用合并命令加以转化.

以某轨道交通车站的站厅层为例(图6a),用户只需选中某区域型图形即可自动生成区域型设施,例如免费区、付费区、障碍区等(图6b).

一次性选中多个设备型图形(图6c),即可批量生成售票机、闸机、自动扶梯、售票机等设备(如图6d).

完成车站各楼层的所有区域设施及设备的图形

建模后,通过指定楼梯之间的连接关系,就可以组合成整个车站的空间结构模型,仿真过程中,通过事件驱动模型,作为智能体的乘客便可穿越车站各个楼层,完成整个复杂的仿真过程.

图7为上海人民广场车站的模型,共包含5层.①地下1层站厅,为1,2,8号线进出站、换乘客流提供服务;②地下2层站厅,为1,2号线换乘客流以及

2号线进出站客流提供服务;③1,2,8号线站台,为1,2,8号线进出站客流提供服务.其中,对于车站的某一层,如地下1层站厅,包含了众多设施和设备,例如付费区为非规则的复杂多边形,是典型的区域型图形,表示已经购票的乘客才能到达的区域;出入口为矩形,是典型的设备型图形;其他设施设备如售票区、验票区、楼梯区图中可以看出.

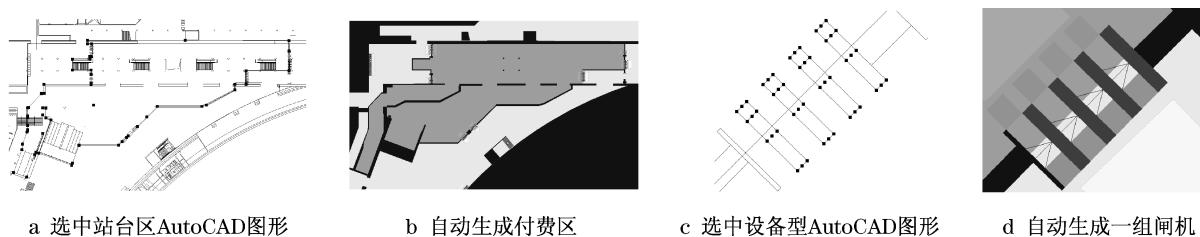


图6 根据 AutoCAD 工程图自动生成车站设施设备

Fig.6 Automatic generation of facilities and devices in station based on AutoCAD drawing

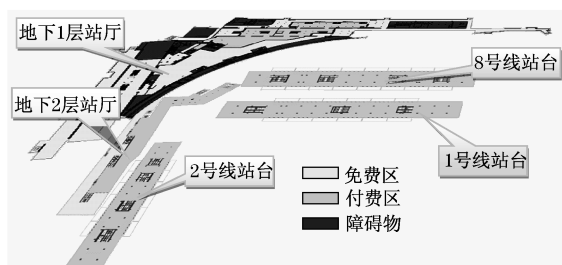


图7 上海人民广场车站空间结构模型

Fig.7 Space structure model for UTM station of "People Square" in Shanghai

## 4 结语

通过对城市轨道交通车站空间结构和设施设备特点的分析,将车站划分为车站-楼层-区域-设备的逻辑层次结构,通过构建4种几何线型类和3种设施设备基元类,以组合的方式构建所有轨道交通车站的设施设备图形模型,实现了基于 AutoCAD 工程图快捷而精确地建立车站客流仿真地图的方法.

大量仿真实验和应用案例表明,笔者提出的建模方法不但能够显著减少建立仿真环境的工作量,并且能够适应对城市轨道交通车站复杂多样的客流仿真需求,同时,提出的方法具有开放性和可扩展性:几何线型模型和设施设备基元模型可以通过组合的方式构建轨道交通车站中的设施设备模型,也可以非常方便地组合构造其他场景中的模型,例如如此建模方法已经成功运用到了世博会入口仿真案例中的安检设备、行人分流栅栏、蛇形排队区等设施设备建模中.

## 参考文献:

- [1] Still G K. Crowd dynamics [D]. London: University of Warwick, 2000.
- [2] Pan X H, Han C S, Dauber K, et al. Human and social behavior in computational modeling and analysis of egress [J]. Automation in Construction, 2006, 15(4): 448.
- [3] Yuan J P, Fang Z, Wang Y C, et al. Integrated network approach of evacuation simulation for large complex buildings [J]. Fire Safety Journal, 2009, 44(2): 266.
- [4] Galea E R, Sharp G, Lawrence P J. Investigating the representation of merging behavior at the floor-stair interface in computer simulations of multi-floor building evacuations [J]. Journal of Fire Protection Engineering, 2008, 18(4): 291.
- [5] Shi J, Ren A, Chen C. Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions [J]. Automation in Construction, 2009, 18(3): 338.
- [6] Lo S M, Liu M, Yuen R K K, et al. An artificial neural-network based predictive model for pre-evacuation human response in domestic building fire [J]. Fire Technology, 2009, 45(4): 431.
- [7] GAO Peng, XU Ruihua, ZOU Xiaolei. A modified heuristic search algorithm for pedestrian simulation [C]//Proceedings of the 7th International Conference of Chinese Transportation Professionals. Shanghai: American Society of Civil Engineers, 2007, 505-508.
- [8] Andy Sanders K V. Intro object oriented modeling [M]. West Virginia: Addison Wesley, 2005.
- [9] Arlow J, Neustadt I. UML and the unified process: practical object-oriented analysis and design [M]. Florida: Addison - Wesley Professional, 2001.
- [10] Garrido J M. Object oriented simulation: a modeling and programming perspective [M]. California: Springer, 2009.
- [11] Yarwood A. Introduction to AutoCAD 2007 [M]. North Carolina: Newnes, 2006.