

陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目（项目批准号2018JM5136）

面向对象的 多层次公交数据模型

李云 著

西北大学出版社

陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(项目批准号 2018JM5136)

面向对象的多层次 公交数据模型

李云 著

西北大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

面向对象的多层次公交数据模型 / 李云著. —西安:
西北大学出版社, 2018.6

ISBN 978-7-5604-4195-5

I. ①面… II. ①李… III. ①公共交通系统—数据模型 IV. ①U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 134807 号

面向对象的多层次公交数据模型

李 云 著

出版发行 西北大学出版社

(西北大学内 邮编: 710069 电话: 029-88302621 88303593)*

经 销 全国新华书店
印 刷 西安盛业印务有限公司
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张 12.25

版 次 2018 年 6 月第 1 版
印 次 2018 年 6 月第 1 次印刷
字 数 196 千字

书 号 ISBN 978-7-5604-4195-5
定 价 65.00 元

如有印装质量问题, 请与本社联系调换, 电话 029-88302966。

前言

公交地理信息系统（Public Transportation Geographic Information System）是交通地理信息系统（GIS-T）的重要组成部分，是进行公交规划的科学依据。公交数据模型作为公交地理信息系统的基础，确定了系统中数据的结构，确保系统中数据的存储、编辑、维护的逻辑性和科学性，是系统功能实现的关键。

传统的公交数据模型缺点日趋明显：对公交实体的划分仅分为空间实体和非空间属性。由于模型（实体—联系模型）的局限，对公交线路和站点等公交实体的表达大多是基于简化的数据表达方式，很难满足日益复杂的公交数据建模需求和公交系统功能需求。

本书针对上述问题，提出面向对象的多层次公交数据模型，将传统的公交实体作为对象来处理，进行了以下探索：

首先，在对象分类上，分为空间对象和非空间对象。利用面向对象技术，将实体及属性封装为对象，对象间通过聚集、继承等关系连接在一起，从而组成复杂系统。采用面向对象技术，每个对象均可独立完成一定的功能，降低了系统复杂度，增强了系统的健壮性，使得系统的维护大大简化。

其次，在层次结构上，将公交对象分为语义层次、虚拟层次和有向层次。语义层次仅仅对公交实体及其位置进行文字描述，不对位置进行地理坐标表达。虚拟层次在语义层次基础上，通过地理坐标，对空间实体进行

2 | 面向对象的多层次公交数据模型

描述，对非空间对象细化。有向层次是对具体空间实体位置的描述，是一种最为详细的实体表达层次。多层次结构满足了不同功能对不同精度数据的要求，降低系统开销，提高了系统效率。

最后，采用统一建模语言（UML）进行公交对象的表达，并利用 CASE 工具，在 ArcGIS 中实现该数据模型。该模型将公交对象纳入统一体系，能够满足公交信息系统多尺度的应用需求。

目 录

第一章 概述	1
第一节 研究背景与意义.....	1
第二节 城市公共交通系统.....	4
第三节 城市智能公共交通系统.....	56
第四节 研究目标与内容.....	75
第五节 研究方法与框架.....	76
第二章 交通地理信息系统与交通数据模型	78
第一节 交通地理信息系统.....	78
第二节 公交地理信息系统.....	84
第三节 交通数据模型.....	87
第四节 公交数据模型.....	99
第三章 面向对象技术与面向对象的空间数据模型	105
第一节 面向对象技术.....	105
第二节 统一建模语言.....	110
第三节 面向对象的空间数据模型.....	118

第四节 计算机辅助软件工程.....	125
第四章 多层次公交数据模型.....	129
第一节 公交实体及其分类.....	129
第二节 公交实体多层次表达.....	131
第三节 多层次公交数据模型构建.....	136
第五章 多层次公交数据模型的面向对象实现.....	138
第一节 Arc/Info UML Model 模板	138
第二节 多层次公交对象的 UML 表达	142
第三节 基于 UML 静态建模机制实现多层次公交数据模型	145
第四节 相关问题探讨.....	153
第六章 多层次公交原型数据库.....	155
第一节 公交领域相关数据库.....	155
第二节 基于 CASE 工具的多层次公交原型数据库构建	161
第三节 基于西安市公交数据的数据库原型验证.....	164
第四节 相关问题探讨.....	176
第七章 结语.....	179
第一节 结论.....	179
第二节 建议.....	181
参考文献	182

第一章 概述

第一节 研究背景与意义

城市交通是城市的基础，是城市社会经济活动的命脉。城市交通状况的好坏直接影响着城市功能的实现。长期以来，世界各国都面临着城市交通拥挤、交通事故增多、环境污染影响加大等日益严峻的城市交通问题。尤其是近年来，伴随着我国城镇化进程的快速推进，城市社会、经济结构发生了巨大变化，社会经济文化活动空前繁荣，居民出行需求成倍增长，汽车保有量迅猛提升，随之而来的城市交通拥堵问题日益严重。

现实中，单纯依靠建设城市道路，扩充交通设施虽可缓解这一状况，但无法从根本上解决这一问题。因此，大力发展城市公共交通已逐渐成为公认的解决城市交通拥堵的有效途径之一（钱建华，2013），并得到了有效的落实与推进。其中，交通运输部于2011年11月9日出台了《交通运输部关于开展发展国家公交都市建设示范工程有关事项的通知》（交运发〔2011〕635号），提出通过开展公交都市建设示范工程项目，力争在试点城市建成“保障更有力、服务更优质、设施更完善、运营更安全、管理更规范”的城市公共交通系统。国务院于2012年12月29日出台了《国务院关于城市优先发展公共交通的指导意见》（国发〔2012〕64号），提出“优先发展公共交通是缓解交通拥堵、转变城市交通发展方式、提升人民群众生活品质、提高政府基本公共服务水平的必然要求，是构建资源节约

型、环境友好型社会的战略选择”。

2013年,交通运输部出台《交通运输部关于贯彻落实〈国务院关于城市优先发展公共交通的指导意见〉的实施意见》(交运发〔2013〕368号),明确了落实城市公交优先发展战略的具体措施。推动出台了免征城市公交车辆购置税和场站土地使用税等优惠措施。

各地积极贯彻国务院文件精神及交通运输部实施意见,60%以上的中心城市出台了落实城市公共交通优先发展战略的实施意见及政策措施,城市公共交通优先发展由部门行为上升为政府行为,公交优先发展的理念逐步得到了广泛认同。

事实证明,公共交通方式的使用可以缓解城市交通的紧张状况。

公共交通占用了较少的城市资源,可以同时满足大批出行者的出行需求,而且对环境造成的影响较小。因此,为实现这样的转变,城市中就必须拥有高效、便捷的公交系统,使公共交通更加具有吸引力、更加方便出行者。

然而,在实践中,我国公共交通却发展缓慢,公交出行时间明显增加。其中的原因是多方面的。例如,城市格局变迁、车辆尤其是私家车增加、道路建设缓慢等。但就公交系统本身而言,也有着明显的缺陷。其线网布局十几年不变,或变化不大,或没有遵循城市结构演变、居民出行趋势而变化,缺乏合理规划,公交方式单一,使公共交通在城市出行方式中,由主要角色逐渐成为次要角色。这说明了我国城市公交规划尚缺乏科学性,公交规划没有与城市规划有机结合(王伟等,1998)。为此,必须设计出合理、高效的公共交通信息系统,使之服务于公共交通的设计、规划、管理及应用。

在公交信息系统设计中,公交数据模型是系统的基础,即现实世界公交实体的计算机数据表达(Data Representation)。出于现实的需要,现有的公交系统对公交线路和站点等公交实体的表达大多是基于简化的数据表达方式。每条公交线路用一条线状要素进行表达,线路的方向一般不做描述。同时,每个站点被简化为一个点状要素,站点的具体位置则被忽略。

这种模型能满足公交规划中空间布局的分析及一般公交信息系统的建设需求。但是在多层次的详细公交出行系统中,公交线路的运行是有方向的,去行和回行有不同的时间表,而且单个公交应用站点的具体位置,在必要的时候需要参与换乘搜索过程,并给用户 提供换乘方案的详细图形解释。这些说明,在详细公交信息系统中,普通公交线路和站点的表达方式需要进行细化,即需要进行细化的数据建模(黄正东,2003)。

早期交通数据建模重点集中在线性参照系统和通用线性模型上,在公共交通的数据表达方面,仅在城市交通网络系统的表达方面有一些探索(陆锋等,2002)。

随着面向对象技术的出现及成熟,以及全球定位系统(Global Positioning System, GPS)等新技术在交通领域的应用,这种基于拓扑的ER模型的不足逐渐显现出来:对于复杂的地理实体或现象的描述及地理过程分析存在严重不足;无法表达复杂的空间实体;难以实现快速查询和复杂的空间分析,空间实体的许多特征丢失,许多空间关系难以表达,模型维护困难等。而北美和欧洲的发达国家在公共交通的计算机数据表达方面有较多的研究。Trepanier and Chapleau(2001)采用面向对象的模型实现公交运行数据和路网的关联表达。为适应不同的需要,公交线路被定义在四个层次上,即时间点、站点节点(用于公交网络模型求解)、线路—站点和具体站点位置点。Nielsen(2001)的TOP(Transport Object Platform)公共交通系统也是基于面向对象的模型方法,描述了公交实体及其拓扑联系,使得该模型在公交规划和管理中都有潜在的实用价值。TOP的特点之一是其考虑了多模式公交中在小范围内的“站点集”问题,这对应于Trepanier and Chapleau的“站点节点”层次表达。美国UNETRANS模型中也包含了公共交通数据的表达,但更为粗略一些。Huang and Peng(2002)从公交出行用户线路优化的角度提出了面向对象的动态交通数据模型(图1-1),该模型引入了对象的概念,把道路、线路、站点、时间等作为有特征的对象,对象拥有自己的属性和方法,对象之间通过聚合、关联等关系进行连接。该模型避免了实体—联系模型的局限,同时,通过面向对象

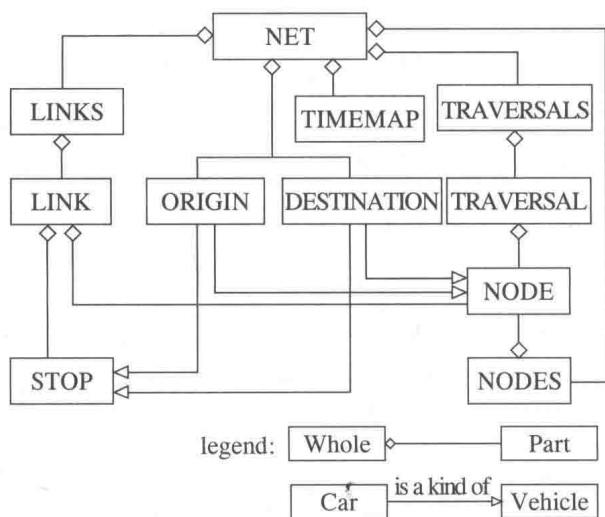


图 1-1 面向对象的动态交通数据模型

技术，使得模型的维护大大简化，模型的逻辑性、健壮性都有所提高。

虽然相关数据模型已经有一些尝试，这些模型在实体表达的详细度，以及与路网的关联方式等方面各有特色，但是，综合性的公交实体模型尚未出现，并且在最详细一层数据表达的必要性及实用性方面也缺乏有效的探讨。以上的研究虽然提出了比以前更为清晰的思路，但真正实现这些模型还需要大量的工作，特别是在不同层次的数据表达及其关联、多种公共交通模式的数据集成等方面，还有许多问题需要深入研究。

本书的研究目的是利用面向对象技术，构建多层次公交数据模型。通过对公交数据模型的细化，可以在最优公交线路搜索、出行指导、公交换乘等方面为公交信息系统的建立和公交规划的制订提供科学、高效的依据。

第二节 城市公共交通系统

一、城市公共交通系统组成

所谓城市公共交通，是指在城市中供公众所使用的经济便捷的各种交

通方式的总称(王炜等,2002)。从范围来看,可划分为广义及狭义两类。其中,狭义的公共交通是指在规定的线路上,按固定的时刻表,以公开的费率为城市公众提供短途可以服务的系统。广义的公共交通则是指所有供公众使用的交通方式,包括客运和货运、市内和区域间运输的总体。本书主要针对狭义的公共交通系统的内容进行讨论。

城市公共交通系统是由人(公众)、车(交通工具)、路(道路、线路)三方面共同组成的,既包括硬件(设备、设施),也包括软件(技术、政策),有着整体、综合和动态的内部关系。它是与城市社会经济环境和城市交通系统相联系的、复杂的、开放的大系统,具有多变量、多目标、多层次、多属性等特点(王炜等,2002)。

从系统整体性角度看,城市公共交通系统可分为两个子系统:一个是公共交通运输工具和设施,另一个是公共交通规划与运营管理。其中,公共交通运输工具和设施可分为车辆、线路网、车站及场站等,公共交通规划与运营管理则包含了公共交通规划、运营管理系统等主要组成部分。

二、城市公共交通运输工具和设施

(一) 公共汽车

一般而言,公共汽车是城市中最普遍的一种大众运输工具。其起源至少可追溯至1826年。当时,在法国西北部的南特(Nantes)市出现了接驳市中心的四轮马车服务。巴黎是公车的先行城市,伦敦继之。1829年,英国伦敦出现了第一辆马拉式公共马车,此为世界上最早的公共汽车雏形。不到十年,这一服务在法国、英国及美国东岸各大城市(如巴黎、里昂、伦敦、纽约)得到普及。至1905年,美国纽约用公共汽车代替了原有的公共马车,并在20世纪30年代得到迅速的发展。

进入21世纪后,能源问题和环境问题成为公共交通发展的重点,公交车辆也因此向混合动力车辆、燃料电动车辆、纯电动车辆等类型转型,从而促进了节能环保型车辆的发展。公共汽车之所以被广泛采用,主要是

因其便利性,即在一般的道路条件下,可以四通八达。而小、微型公共汽车可以在狭窄街区中开辟营业线路,乘用极为方便,且发展公共汽车客运交通,设施简易,投资少,见效快。我国的公共汽车车辆类型较多,按照系统形式可分为常规公共汽车、快速公共汽车、无轨电车及出租汽车四类。其中,常规公共汽车按额定载客量可分为小型(载客 ≤ 40 人)、中型(载客 ≤ 80 人)、大型(载客 ≤ 110 人)、特大型铰接车(载客 $135 \sim 180$ 人)与双层客车(载客 ≤ 120 人);快速公共汽车按额定载客量可分为大型(载客 ≤ 110 人)、特大型铰接车(载客 $110 \sim 150$ 人)与超大型双铰接车(载客 ≤ 200 人);无轨电车按额定载客量可分为中型(载客 ≤ 80 人)、大型(载客 ≤ 110 人)、特大型(载客 $120 \sim 170$ 人);出租汽车按额定载客量可分为小型(载客 ≤ 5 人)、中型(载客 $7 \sim 19$ 人)、大型(载客 ≥ 20 人)。

(二) 地铁

地铁是城市公交中运输能力最大的轨道系统,根据车型和发车频率的不同,其运量一般可达 3 万 ~ 6 万人/时。地铁轨道在城市地下敷设,但是,随着城市轨道交通系统的发展,有时会因建造环境而将部分路线铺设在地面上。地铁与城市中其他交通工具相比,除了能避免城市地面拥挤和充分利用空间外,还有很多优点:

(1) 节省土地。一般由于城市的市区土地价值高昂,将铁路建于地下,可以节省地面空间,令土地可以做其他用途。

(2) 减少噪声。铁路建于地下,可以减少地面的噪声。

(3) 减少干扰。由于地铁的行驶路线不与其他运输系统(如常规公交)重叠、交叉,因此,行车受到的交通干扰较少,可节省大量通勤时间。

(4) 节约能源。由于地铁行车速度稳定,大量节省了通勤时间,使公众乐于搭乘,也取代了许多自驾车所消耗的能源。

(5) 减少污染。一般的汽车使用汽油或石油作为能源,而地铁使用电能,没有尾气的排放,不会污染环境。

(6) 运量大。地铁的运输能力要比地面公共汽车大 $7 \sim 10$ 倍,是任何

城市交通工具所不能比拟的。其缺点主要有：

(1) 建造成本高。地铁工程路线长，影响范围广，通常需要对路线沿线的建（构）筑物、管线、道路进行拆迁、改造、保护等措施，工程以外的费用比较大。地铁工程多在地下，由于要钻挖地下，建造成本比建于地面高。

(2) 前期时间长。兴建地铁的前期时间较长，由于需要规划和政府审批，甚至还需要试验，因此，从开始酝酿到付诸行动破土动工需要非常长的时间。

(3) 部分灾害抵御能力弱。虽然地铁对于雪灾和冰雹的抵御能力较强，但是，对地震、水灾、火灾等自然灾害的抵御能力很弱。

英国伦敦于 1863 年建成了世界上第一条地铁线路，法国巴黎的第一条地铁于 1900 年通车，美国纽约的第一条地铁则是在 1904 年建成。

（三）轻轨

轻轨是介于有轨电车和地铁之间的一种中运量快速运输工具，是有轨电车技术进步下的产物。从有轨电车发展历程来看，最早的有轨电车是 1981 年在德国柏林投入营运的，在西方发达国家城市的形成和发展中曾起到过重要的作用，承担了城市客运量的 80%~90%。随着城市交通方式日趋复杂，有轨电车机动性差、车速低、轨道占用城市道路空间大等缺点日益明显，使之由盛转衰，各国相继拆除轨道，停驶有轨电车。但是，随着技术进步及能源危机、环境保护意识的兴起，新型的有轨电车——轻轨，又得以发展壮大。轻轨通过车辆更新、线路隔离等措施，并在市中心繁华地段进入地下，不占用宝贵的城市中心空间，且因为客运容量大、乘坐舒适、运行经济等特点而受到了青睐。轻轨造价比地铁低，在客运量需求不大的城市可以作为其骨干公共交通模式，也可作为大城市地铁系统的补充。截止到 2015 年年末，我国共有 7 个省市修建了轻轨，总里程为 246.56 千米。轻轨中另有一种单轨系统，采用单轨支撑技术，运力与轻轨比较相似。截至 2015 年年末，我国重庆市修建了单轨系统，总里程为 68.55 千米。

(四) 轮渡

轮渡,是指用渡船将旅客、汽车或列车等客货、车辆渡过河流、港湾或海峡的交通方式,是在城市被江、河分割的特定条件下而存在的。轮渡与桥梁、隧道相比,其建设周期短,修建费用低,能较快地形成运输能力。但是,桥梁、隧道更加便捷、快速,更有利于提高整条线路的运输能力。因此,随着桥梁与隧道的兴建与发展,在大多数情况下,轮渡逐渐被取代。

(五) 公共交通线路网

简而言之,公共交通线路网是指全部公共交通线路构成的网络。城市公共交通线路网应综合规划,即各条线路的客运能力应与客流量相匹配,线路的走向应与客流的主流向一致。主要客流的集散点应设置不同交通方式的换乘枢纽,方便乘客停车与换乘,充分满足居民的乘车需求。公共交通线路网有五个主要技术指标,即公共交通线路网密度、公共交通线路重复系数、公共交通线路非直线系数、乘客平均换乘系数或换乘率、公交线路网站点覆盖率。

公共交通线路网密度大小反映出居民接近线路的程度。按理论分析,城市公共交通线路网密度以 2.5 千米/平方千米为佳,在城市中心密度可增加至 3~4 千米/平方千米,而城市边缘地区取值可小些。目前,我国许多城市旧城区因历史发展及道路宽度限制,适合布置公共交通线路的道路较少,使得公共交通线路网稀疏,致使居民步行到站和离站时间较长,再加换乘不便、候车时间长,使公共交通竞争能力降低。因此,保证公共交通过行驶所需的道路网密度及宽度是优先发展公共交通的前提。

此外,《城市道路交通规划设计规范(GB50220-95)》中规定,公共交通线路的非直线系数不应大于 1.4。如线路曲折,虽可扩大服务面积,但会使乘客增加额外的行程和出行时耗。城市市区公共汽车与电车主要线路的长度宜为 8~12 千米;快速轨道交通线路长度不宜大于 40 分钟的行程。大城市乘客平均换乘系数不应大于 1.5;中、小城市不应大于 1.3。公

公共交通线路重复系数在公交发达的城市一般在 1.25~2.50 之间,综合考虑公共交通线路的分布均匀性及站点停靠能力,一条道路上设置的公交线路不宜超过 3~5 条。

(六) 公共交通车站与场站设施

城市公共交通车站按站点类型可分为终点站、枢纽站及中间停靠站三类。公共交通站距受交叉口间距和沿线客流集散点分布的影响,在整条线路上是不均等的。市中心区客流密集,乘客乘距短,上下车频繁,站距宜小;城市边缘区,站距可大些;郊区线,乘客乘距长,站距可更大。快速轨道交通最小站距由设计速度决定。《城市道路交通规划设计规范(GB50220-95)》中规定的主要公共交通方式站距推荐值,见表 1-1。

表 1-1 公共交通站距

公共交通方式	市区线(米)	郊区线(米)
公共汽车与电车	500~800	800~1000
公共汽车大站快车	1500~2000	1500~2500
中运量快速轨道交通	800~1000	1000~1500
大运量快速轨道交通	1000~1200	1500~2000

《城市道路交通规划设计规范(GB50220-95)》中,对公共交通车站服务面积的规定是:以 300 米半径计算,不得小于城市用地面积的 50%;以 500 米半径计算,不得小于 90%。城市出租汽车采用营业站定点服务时,营业站的服务半径不宜大于 1 千米。公共汽车和电车的首末站应设置在城市道路以外的用地上,每处用地面积可按 1000~1400 平方米计算。

无轨电车终点站与快速轨道交通折返站的折返能力,应同线路的通过能力相匹配。两条及两条线路以上无轨电车共用一对架空触线的路段,应使其发车频率与车站通过能力、交叉口架空触线的通过能力相协调。

公共交通车站的设置应符合下列规定:

(1) 在路段上, 同向换乘距离不应大于 50 米, 异向换乘距离不应大于 100 米; 对置设站, 应在车辆前进方向迎面错开 30 米。

(2) 在道路平面交叉口和立体交叉口上设置的车站, 换乘距离不宜大于 150 米, 并不得大于 200 米。

(3) 长途客运汽车站、火车站、客运码头主要出入口 50 米范围内应设公共汽车站。

(4) 公共汽车站应与快速车站换乘。

公共交通停车场、车辆保养场、整流站、公共交通车辆调度中心等场站设施应与公共交通发展规模相匹配, 用地有保证。公共交通场站布局, 应根据公共交通的车种、车辆数、服务半径和所在地区的用地条件设置。公共交通停车场宜大、中、小相结合, 分散布置。车辆保养场布局应使高级保养集中, 低级保养分散, 并与公共交通停车场相结合。

三、公共交通运输规划

(一) 公共交通运输规划概念

公共交通运输规划是指依据城市发展规模、用地布局、道路网规划、公共交通运输方式的技术经济指标等, 在客流预测的基础上, 合理确定公共交通运输方式及构成、公共交通运输车辆数、线路网络、站点布局、换乘枢纽和场站设施用地等, 从而使公共交通运输能力满足客流高峰的需求。

目前, 我国正处于城市及交通快速发展时期, 公共交通运输规划中也或多或少地包括了目标分析的内容。公共交通运输系统作为三层规划系统(图 1-2)中的底层系统, 受到两个上层系统的制约, 增加了目标分析的范围和难度。我国过去的自上而下(总体规划→交通规划→公共交通运输规划)规划模式(图 1-2, a)已难以适应日益复杂的交通系统和不同地域、不同发展阶段的要求。因此, 出现了总体规划与交通规划相互协调的规划模式(刘冰等, 1995; 徐慰兹, 1996), 并推广到与公共交通运输规划相协调(图 1-2, b)。