

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

Fundamentals of Microscopic Traffic Simulation

微观交通仿真基础

张国强 主 编

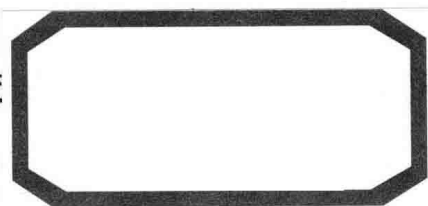
王园园 王 涛 杨海飞 副主编

任 刚 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校交



通教材

Fundamentals of Microscopic Traffic Simulation

微观交通仿真基础

	张国强	主 编
王园园 王 涛	杨海飞	副主编
	任 刚	主 审



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

交通仿真是将数学模型通过计算机算法和程序实现来模拟和重现道路交通流的时间空间运行变化特征的技术方法。本教材以 PTV VISSIM 微观交通仿真软件 6.0 版本为基础,介绍了微观交通仿真的基本原理,详细地描述 VISSIM 仿真软件各个关键要素的多种操作方法及注意事项,并在此基础上以具体详实的案例系统地讲述各种道路交通系统仿真模型的构建方法和构建过程,具有很强的可读性。。

本教材共十七章,主要内容包括:绪论、VISSIM 软件基本设置、路段与连接器、速度和通行权的管理与控制仿真、公交和停车仿真、车辆仿真、行人仿真、仿真评估、仿真参数标定、T 形平面交叉口、公路十字形平面交叉口、城市道路十字形平面交叉口、环形交叉口、立体交叉口、公共交通、交通流时空分析、交通冲突分析。

本教材可作为交通工程专业学生的学习教材,也可供从事交通仿真的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

微观交通仿真基础 / 张国强主编. —北京:人民
交通出版社股份有限公司, 2017. 7

ISBN 978-7-114-13922-2

I. ①微… II. ①张… III. ①交通系统—系统仿真
IV. ①U491.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 133973 号

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

书 名: 微观交通仿真基础

著 作 者: 张国强

责任编辑: 肖 鹏 李 晴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 17.5

字 数: 425 千

版 次: 2017 年 7 月 第 1 版

印 次: 2017 年 7 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13922-2

定 价: 35.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

高等学校交通运输与工程(道路、桥梁、隧道 与交通工程)教材建设委员会

主任委员: 沙爱民 (长安大学)

副主任委员: 梁乃兴 (重庆交通大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐岳 (长安大学)

黄晓明 (东南大学)

韩敏 (人民交通出版社股份有限公司)

委员: (按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王云鹏 (北京航空航天大学)

石京 (清华大学)

申爱琴 (长安大学)

朱合华 (同济大学)

任伟新 (合肥工业大学)

向中富 (重庆交通大学)

刘扬 (长沙理工大学)

刘朝晖 (长沙理工大学)

刘寒冰 (吉林大学)

关宏志 (北京工业大学)

李亚东 (西南交通大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

何民 (昆明理工大学)

何东坡 (东北林业大学)

张顶立 (北京交通大学)

张金喜 (北京工业大学)

陈红 (长安大学)

陈峻 (东南大学)

陈宝春 (福州大学)

陈静云 (大连理工大学)

邵旭东 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

胡志坚 (武汉理工大学)

郭忠印 (同济大学)

黄侨 (东南大学)

黄立葵 (湖南大学)

黄亚新 (解放军理工大学)

符锌砂 (华南理工大学)

葛耀君 (同济大学)

裴玉龙 (东北林业大学)

戴公连 (中南大学)

秘书长: 孙玺 (人民交通出版社股份有限公司)

前言

FOREWORD

交通仿真是采用计算机数字模型来反映复杂交通现象的交通分析技术和方法,是再现交通流时间和空间变化的计算机模拟技术。它以相似原理、信息技术、系统工程和交通工程领域的基本理论和专业技术为基础,以计算机为主要工具,利用系统仿真模型模拟交通系统的运行状态,采用数字方式或图形方式来描述动态交通系统,具有安全性、可重复性、易用性、可控制性和可拓展性等特点,对于交通规划、交通设计、交通管理与控制的工程实践具有重要的实用价值,能有效支持交通领域的科学研究。

针对微观交通仿真的复杂性,以及 VISSIM 仿真软件出现的更新和调整,本教材体现以下特色:

1. 由浅入深地介绍微观交通仿真的基本原理和 VISSIM 仿真软件的操作方法,并在此基础上以具体详实的案例系统地讲述典型道路交通系统仿真模型的构建方法和构建过程,提升教材的可读性。

2. 重视微观交通仿真技术的工程应用,从微观的软件操作细节到宏观的模型设计都进行了详细的解释和描述,使读者能够全面系统地掌握微观交通仿真技术,关注微观交通仿真的模型与理论,同时系统地介绍了 VISSIM 软件的主要模型及参数标定方法。

3. 将系统分析、方案设计和交通仿真融合为一体,全面培养读者综合能力,在巩固和掌握微观交通仿真操作方法的同时,巩固和加深对交通设计、交通管理与控制和交通流理论等相关理论知识的理解和掌握。

4. 以高版本的 VISSIM 6.0 为对象,更好地响应了 VISSIM 仿真软件的界面和

结构的重大变化及调整,使得读者能够更好地适应 VISSIM 软件的发展趋势。

5. 适用“应用型本科”对于实践教学的要求,可以支持面向交通工程实践的各类工程应用;同时,还适用“研究型本科”对于科学研究的要求,可以支持面向研究项目的交通虚拟仿真实验。

本书共分为十七章。其中,第1章和第2章介绍了微观交通仿真的原理以及软件的基本功能与操作,第3章至第9章分别就微观交通仿真的各个关键要素展开了系统、详实的讲解与说明。第10章至第17章以一些特定的交通系统为例,说明仿真模型的构建、运行与分析,并引导读者对相关的专业知识进行复习。

本教材由东南大学、同济大学、桂林电子科技大学和河海大学的中青年学者共同完成。由任刚担任主审,编著者为张国强、王园园、王涛、杨海飞,曲栩和杨帆。主要分工如下:

第3章、第4章、第10章、第11章、第12章、第13章、第14章:张国强(东南大学)

第1章、第2章、第7章、第16章、第17章:王园园(同济大学)

第5章、8章、第15章:王涛(桂林电子科技大学)

第6章:杨海飞(河海大学)

第9章:曲栩 杨帆(东南大学)

本教材得到了江苏高校品牌专业建设工程项目(交通工程专业 PPZY2015B148)的资助,在此表示衷心的感谢!

限于水平,书中难免有疏漏及不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2017年7月

目录

CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 交通仿真概述	1
1.2 VISSIM 交通仿真流程和理论模型简介	2
1.3 交通仿真的应用示例	4
第2章 VISSIM 软件基本设置	8
2.1 VISSIM 软件的开发和应用	8
2.2 VISSIM 软件界面介绍	9
2.3 全局参数设置	14
2.4 路网对象窗口	16
2.5 列表窗口	17
2.6 入门操作案例	18
2.7 几个重要概念	23
第3章 路段与连接器	26
3.1 直线路段	26
3.2 曲线路段	31
3.3 坡道路段	34
3.4 自行车道和人行横道	36
3.5 连接器	38
第4章 速度和通行权的管理与控制仿真	43
4.1 车速管理仿真	43
4.2 让行管理仿真	51
4.3 信号控制仿真	61
第5章 公交和停车仿真	71
5.1 直线式公交站点及线路	71
5.2 公交专用道路及港湾式公交站	74
5.3 停车场仿真	76

第 6 章 车辆仿真	83
6.1 车辆 2D 和 3D 模型	83
6.2 车辆参数与交通组成	88
6.3 车辆输入	101
6.4 车辆路径	102
第 7 章 行人仿真	106
7.1 行人 2D 和 3D 模型	107
7.2 行人类型、类别和行走行为	111
7.3 行人设施	114
7.4 行人输入	120
7.5 行人路径	121
7.6 行人仿真	122
第 8 章 仿真评估	124
8.1 节点评估	124
8.2 数据采集点	126
8.3 车辆出行时间	127
8.4 排队计数器	129
第 9 章 仿真参数标定	130
9.1 主要驾驶行为参数介绍	131
9.2 主要行人行为参数介绍	132
9.3 参数标定流程	135
9.4 校正指标选择	136
9.5 校正参数敏感性分析	137
9.6 校正算法的选取	138
9.7 基于 SPSA 算法的 VISSIM 驾驶行为参数标定方法实例	139
参考文献	141
第 10 章 T 形平面交叉口	142
10.1 基本情况	142
10.2 道路设施仿真	144
10.3 交通管理仿真	153
10.4 车辆和行人仿真	155
10.5 仿真评估	157
第 11 章 公路十字形平面交叉口	160
11.1 基本情况	160
11.2 道路设施仿真	163
11.3 交通管理与控制仿真	166
11.4 车辆仿真	169
11.5 仿真评估与优化	170
参考文献	173

第 12 章 城市道路十字形平面交叉口	174
12.1 基本情况	174
12.2 道路设施仿真	179
12.3 交通管理与控制仿真	189
12.4 车辆和行人仿真	196
12.5 仿真评估	200
参考文献	204
第 13 章 环形交叉口	205
13.1 基本情况	205
13.2 道路设施仿真	208
13.3 交通管理仿真	214
13.4 机动车和行人仿真	215
13.5 仿真评估	218
第 14 章 立体交叉口	221
14.1 基本情况	221
14.2 道路设施仿真	224
14.3 交通管理仿真	227
14.4 车辆仿真	228
14.5 仿真评估	230
第 15 章 公共交通	234
15.1 基本情况	234
15.2 公交设施仿真	237
15.3 仿真评估与优化	239
第 16 章 交通流时空分析	244
16.1 车辆时空轨迹数据分析	244
16.2 路段时空数据分析	251
16.3 瓶颈路段模拟	258
第 17 章 交通冲突分析	261
17.1 基本模型建立	261
17.2 冲突数据获取	263
17.3 冲突数据分析	263

绪论

1.1 交通仿真概述

1.1.1 计算机仿真

随着计算机软硬件的发展,计算机仿真在工程界被广泛使用。计算机仿真逐渐成为一门对模型和场景进行动态实验的综合性技术,其具有高效、安全和受环境约束小的特点,并且时间尺度和空间尺度都有较大的灵活性,以及较低成本和可重复性等优点。计算机仿真已经成为很多行业在设计、分析、评价以及培训等系统中的重要工具。

1.1.2 计算机交通仿真

计算机交通仿真是将数学模型通过计算机算法和程序实现来模拟和重现道路交通流的时间、空间运行变化特征的技术方法。交通仿真软件提升了交通仿真的计算机方法应用,逐渐成为交通工程和其他相关领域的重要工具。

从仿真对象的规模和仿真分辨率角度,目前的交通仿真可以分为宏观、中观和微观三个层次。宏观交通仿真一般是指一个区域或者一个城市交通网络层面的交通需求和交通流量分析,反映的是交通走廊或者重要节点的整体运行状态或者流量;微观层面的交通仿真以交通参

与的每个交通元素个体(例如车辆、行人或者信号灯)的行为作为模拟对象,通过对各个个体行为的模拟来体现交通设施的运行状况,对设施和方案进行评价分析。中观仿真介于宏观和微观之间,能够反映一定区域范围内的路径选择情况,同时对交通流的分析一般能体现车队整体动态的排队消散过程,但不能像微观仿真一样细化到每辆车。如无特殊说明,本教材后述的交通仿真均属于微观仿真。

1.1.3 微观交通仿真软件 PTV VISSIM

本教材介绍的 PTV VISSIM 微观交通仿真软件由德国 PTV 集团开发,目前在全球得到广泛使用,在微观交通仿真软件领域市场占有率最大,截止到本教材出版,PTV VISSIM 的软件版本已经发展到 9.0,本教材以 6.0 版本为基础。该软件主要包含四个核心功能模块:

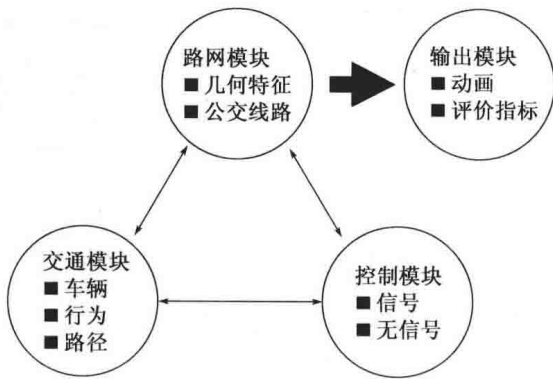


图 1-1-1 VISSIM 交通仿真软件的模块构成

- (1) 路网模块,反映道路和轨道交通基础设施;
 - (2) 交通模块,反映路网上的车辆移动;
 - (3) 控制模块,反映车辆由于冲突而采取的行为;
 - (4) 输出模块,得到各个仿真的运行结果。
- 各个模块之间的关系结构如图 1-1-1 所示。

1.2 VISSIM 交通仿真流程和理论模型简介

1.2.1 PTV VISSIM 微观交通仿真流程

PTV VISSIM 中的机动车仿真模型所需的输入数据类型可以归纳为四种,即:车辆通行环境(例如车道数、交通控制、限速等);驾驶员行为(例如期望速度、可接受的安全间距、跟车行为特征、变道行为特征等);车辆性能特性(例如加减速度能力、车身长度等);需求产生特性(例如车辆组成、交通流量、路径比例等)。通过这四种类型数据的输入,根据不同的使用目的,经过交通仿真模型计算,可以对已有的或者未来的道路交通进行模拟仿真,交通仿真流程如图 1-2-1 所示。

1.2.2 跟车模型

PTV VISSIM 机动车仿真的核心模型是威德曼(Wiedemann)于 1974 年建立的生理—心理驾驶行为模型。考虑关于驾驶员察觉能力的生理限制以及心理方面的问题,所以将这种模型称之为生理—心理跟车模型。

该模型的基本原理是,后车驾驶员根据其所驾驶车辆与前车的距离以及当前速度来确定采取的行为策略,当后车驾驶员与前车距离小于其当前速度下的心理安全距离时,后车驾驶员开始减速,当减速到使后车速度低于前车速度时,后车与前车的距离增加,直到这个距离大于

后车驾驶员在当前速度下的安全距离时,后车驾驶员开始缓慢加速,直至速度大于前车,与前车的距离又小于当前速度下的心理安全距离,如此周而复始,形成一个加减速不断循环的过程。除有新的行为需求之外,比如超车、改变路径或者交通控制条件变化,后车与前车的距离差和速度差保持在一定的范围内摆动。

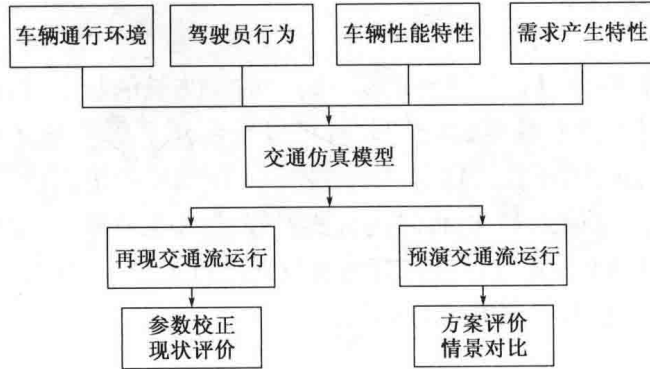


图 1-2-1 交通仿真流程

关于驾驶行为的详细说明和参数定义在后续章节中将详细说明。

1.2.3 横向变道模型

PTV VISSIM 中的横向变道行为分为两类:必要的变道和自由的变道。

必要的变道是由于车辆路径引起车辆需要通过变道到达下一个连接器的行为。自由的变道是由于车辆可以获得一个更高的速度或者更多的空间而进行的变道。

变道模型中车辆根据待变车道车辆的速度以及目标车道上后车的速度,通过两个速度计算变道的时间差,再根据车辆的加减速特性考虑是否进行变道。具体的模型可以参考 PTV VISSIM 说明书。

1.2.4 行人社会力模型

PTV VISSIM 里的行人仿真可以分为两种,一种可以理解为类似于车辆行为的行人仿真模型,也就是使用 Wiedemann 模型模拟行人。如果根据 Wiedemann 模型行人作为车辆类型建模,那么行人将不能在空间各个方向自由移动,只能沿着用户自定义路段像车辆一样朝一个方向移动,一般用于模拟简单的行人过街。另一个是根据 Helbing 和 Molnár 在 1995 年发表的研究成果而开发的社会力模型,行人可以自由地在两个空间维度内自由移动,不能预定义其轨迹,只能通过模型计算。因此,对于行人来说,这种仿真方法灵活、详细、可实现。

社会力模型的基本原则与牛顿力学类似,使用力作为行人移动原因建模。社会、心理和生理力会产生合力,包括最终导致加速度的纯物理参数。这些力源于行人为了实现目标的期望,但是受其他行人和周围障碍物影响。图 1-2-2 为行人社会力模型原理图。

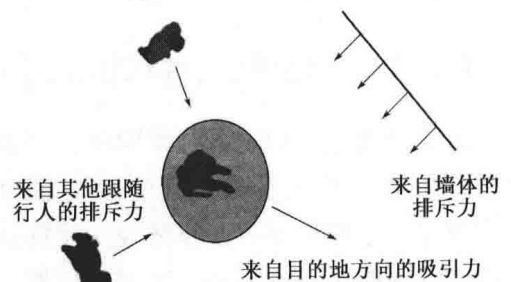


图 1-2-2 行人社会力模型原理图

1.3 交通仿真的应用示例

1.3.1 交叉口评价

VISSIM 在仿真过程中可以记录下每辆车在每个时间步长的状态,包括速度、位置、加减速状态等,也就是说,通过对这些数据的统计分析可以得到几乎所有的交通工程需要的评价指标,例如停车次数、平均延误、平均速度、排队长度等。VISSIM 中也提供了很多检测评价工具,例如排队检测器、车道数据检测器、行程时间检测器等,这些会在第 8 章仿真评估中进行介绍。对于常规的平面交叉口,VISSIM 可以直接对仿真数据进行汇总,得到交叉口的各项运行指标。图 1-3-1 是某城市的一个信号控制交叉口的仿真。

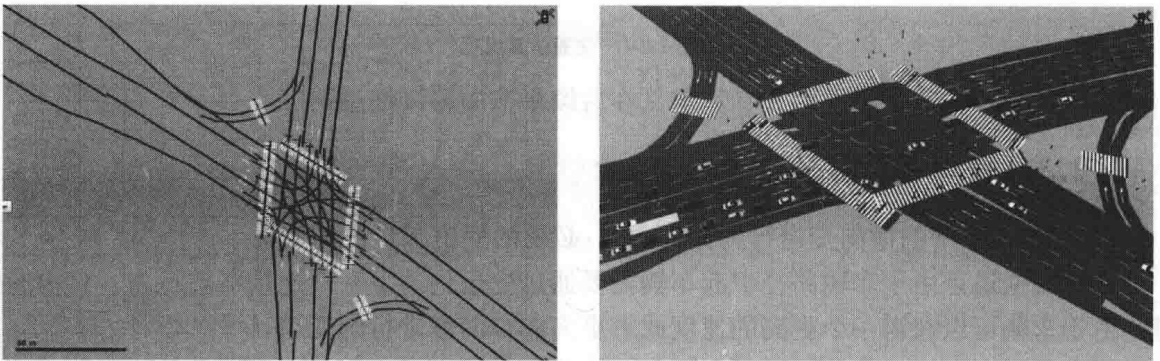


图 1-3-1 某城市一个信号控制交叉口的仿真

通过 VISSIM 建模和仿真分析得到该交叉口机动车通行的主要评价指标,具体见表 1-3-1。

某城市信号控制交叉口部分仿真结果

表 1-3-1

项 目	西进口	南进口	东进口	北进口	整个交叉口
车均延误(s)	32.5	12.6	20.0	15.8	17.6
车均停车次数(次)	1.00	0.61	0.57	0.33	0.63
平均排队长度(m)	24.3	3.0	9.0	7.5	8.3
最大排队长度(m)	130.5	46.3	55.9	35.3	130.5

1.3.2 信号感应控制测试

道路交通除了固定信号配时的控制方法,在很多情况下信号控制方案需要进行一定的实时动态变化。例如,公共交通信号优先控制,根据交通流量进行的信号方案实时调整和实时信号控制等。这些控制方案里涉及一定的逻辑算法和检测器布局设计,通过交通微观仿真,可以在项目实施前对设计控制方案进行位置功能检测、信号逻辑的效果检测以及潜在问题实验分析,以改进和优化控制方案。

图 1-3-2 是一个简单的有轨电车信号优先控制方案仿真画面,图 1-3-3 为与之对应的实时信号灯组、检测器实时状态以及逻辑流程。

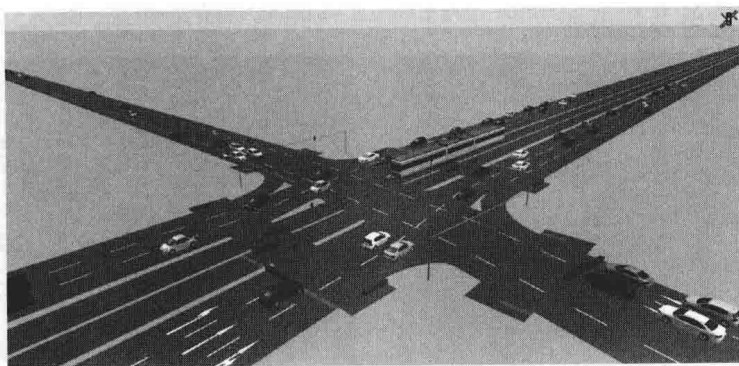


图 1-3-2 有轨电车信号优先控制方案仿真画面

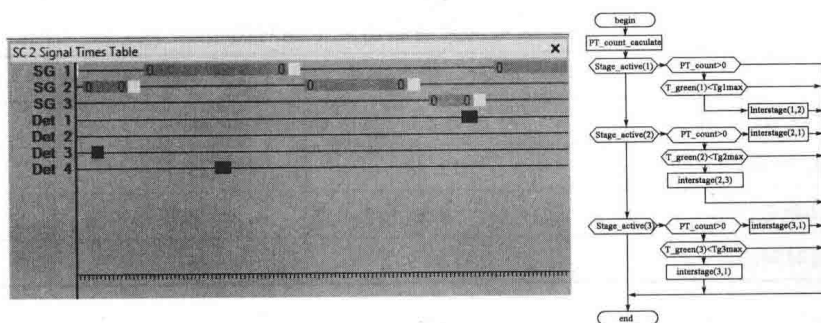


图 1-3-3 有轨电车信号优先控制信号灯组、检测器实时状态以及逻辑流程

该路口通过在有轨电车进入交叉口和离开交叉口相应位置布置感应器,通过逻辑编程设计交叉口控制方案,在有有轨电车到达时,通过相应的逻辑提前将主路有轨电车直行方向信号切换成绿灯,保证有轨电车不停车通过交叉口;在没有有轨电车被检测到状态下,该路口按常规的固定配时方案控制。

1.3.3 绿波协调

信号协调需要在信号周期长度相同或者有相同固定公约数的情况下,确定相邻交叉口的信号相位差,使得上游车队到达交叉口时能遇到绿灯,保证大部分车辆可以不停车通过,提高交叉口的控制效率。下面是一个绿波协调控制的案例对比,图 1-3-4 上下两个仿真路网的每个交叉口都具有相同的渠化和信号控制方案,下面的仿真路网中的信号控制方案的相位差被

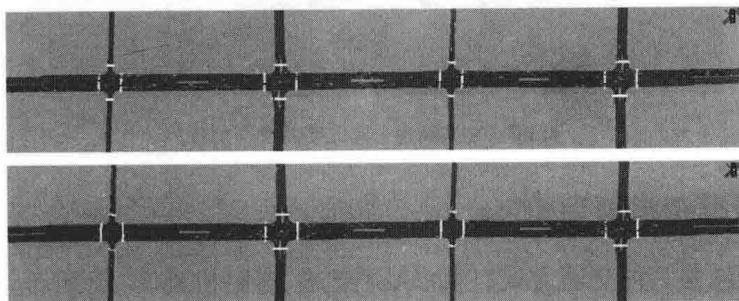


图 1-3-4 绿波协调前后道路运行状况仿真效果

调整优化过,如图 1-3-5 所示,图 1-3-5a)为优化前主路方向信号相位差方案,图 1-3-5b)为优化后方案。通过仿真测试可以调整相位差的大小,测试绿波控制效果,表 1-3-2 为绿波信号优化前后的仿真指标对比。

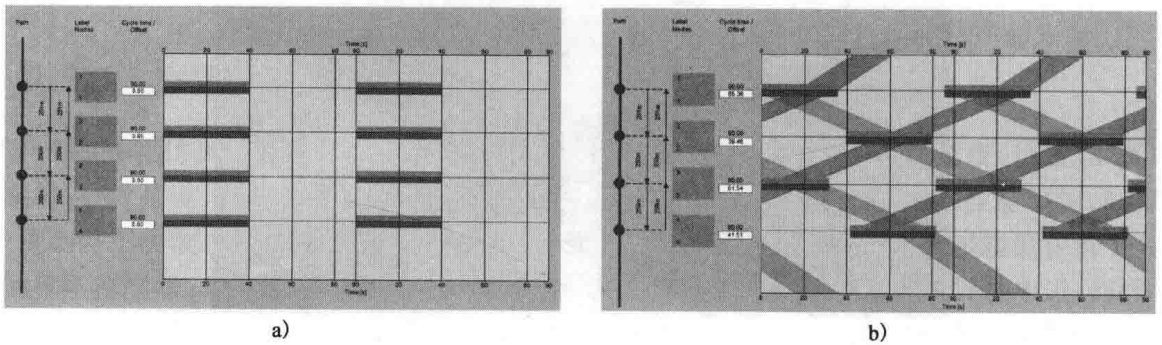


图 1-3-5 信号优化前后干道方向绿灯相位差

绿波信号优化前后仿真指标对比

表 1-3-2

项 目	优 化 前	优 化 后	改善程度(%)
平均停车次数(次/车)	5.23	4.04	-23
行程速度(km/h)	12.48	15.14	21
通过车辆数(辆)	2801	2989	7
通过时间(s)	326.9	267.2	-18

1.3.4 高速公路收费口排队

收费站是高速公路系统的重要组成部分,也往往成为交通高峰期间高速公路系统的瓶颈,收费站的平面布局、收费口的数量、采用的收费形式等都是影响收费站通行能力的重要因素。对收费站的仿真可以综合考虑各种因素,对不同车流量、收费方式、管理方法进行多场景测试比较。图 1-3-6 为某高速公路收费站的交通仿真画面。



图 1-3-6 某高速公路收费站交通仿真

1.3.5 交通枢纽模拟评价

综合交通枢纽包含多种交通方式,例如轨道交通、道路机动车、出租车、公交系统、行人系统等。乘客需要在这些交通方式之间换乘,而不同的交通方式在空间上存在一定的冲突,通过

交通仿真可以全面表达各个交通方式的运行情况及其之间的相互关系,以便对交通枢纽内部存在问题、可能的瓶颈等进行评估。图 1-3-7 为以某高铁站为中心的综合交通枢纽的交通仿真,包括市政道路交叉口,高铁站前广场的行人、出租车、公交场站以及长途汽车客运站等。



图 1-3-7 以某高铁站为中心的综合交通枢纽交通仿真

第 2 章

VISSIM 软件基本设置

2.1 VISSIM 软件的开发和应用

VISSIM 交通仿真软件(又称 PTV VISSIM)诞生于 20 世纪 70~80 年代,在西门子公司的大力资助下产生了第一个商用版本,期间经历了两次较大的升级:第一次是在 5.3 版本后增加了基于社会力的行人仿真模块,第二次是在 6.0 版本之后更新了软件界面以及数据架构,并且随后开放了几乎所有路网元素的 COM 接口。图 2-1-1 为 VISSIM 软件的版本变化。

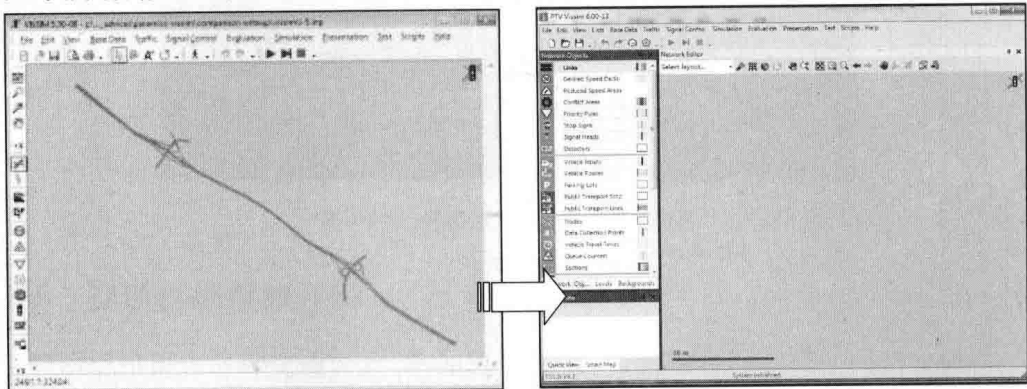


图 2-1-1 VISSIM 软件的版本变化