

智能交通系统（ITS）系列丛书

智能交通系统评价技术与方法

史其信 胡明伟 郑为中 著

中国铁道出版社

2005年·北京

内 容 简 介

本书共分九章，按以下内容展开：第1章对ITS的项目评价进行总体概述，包括ITS项目评价的概念、意义以及当前国内外的研究和应用现状等；第2章着重介绍ITS项目评价的框架，首先针对评价框架中涉及的一些基本概念，如评价主体、评价原则、评价特征年、评价区域、受影响群体和评价阶段，进行了介绍，然后着重介绍了ITS项目评价涵盖的技术、经济、社会和环境几方面评价的内容，并结合各个方面的评价，给出了评价的目标和主要目标下的评价指标，从而建立起一个对ITS项目进行评价的基本框架；第3、4、5章分别围绕ITS项目评价的几个主要方面，包括技术评价、经济评价、社会和环境评价，分别论述了各个方面评价的主要内容、评价指标和评价方法，其中特别就技术评价中的多目标层次分析法，经济评价中采用的费用效益分析法和数据包络分析，以及社会和环境评价中的模糊综合评判，分别做了理论和应用上的解释和探讨；第6、7、8章则围绕ITS项目评价中经常使用到的一些技术，如评价数据的现场采集技术、交通仿真技术以及评价数据的分析和处理技术，进行了详细的论述，这些技术为ITS的项目评价做好评价数据的采集、分析和准备，从而保证仿真的顺利进行；最后一章，即第9章，分别就ITS项目的现场评价以及项目前仿真评价，各给出了一个评价的实例，希望通过这些实例介绍，使读者对前面论述的ITS项目评价方法和技术有一个更加具体、深入的了解。

本书可作为大专院校ITS人才培养及其ITS项目培训教材，也可供ITS规划管理部门研究开发人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能交通系统评价技术与方法/史其信等著. —北京：中国铁道出版社，2004.12

(智能交通系统(ITS)系列丛书)

ISBN 7-113-06313-6

. 智... . 史... . 交通运输—自动化系统—
系统评价 . U495

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第137577号

书 名：智能交通系统(ITS)系列丛书

智能交通系统评价技术与方法

作 者：史其信 胡明伟 郑为中

出版发行：中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑：殷小燕

责任编辑：殷小燕

封面设计：陈东山

印 刷：北京市鑫正大印刷厂

开 本：787×960 1/16 印张： 字数：237千

版 本：2005年1月第1版 2005年1月第 次印刷

印 数：1~3000册

书 号：ISBN 7-113-06313-6/U·1759

定 价：22.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书，如有缺页、倒页、脱页者，请与本社发行部调换。

编辑部电话：市电(010)51873147 路电(021)73147 发行部电话：市电(010)51873172 路电(021)73172

前 言

ITS 是基于信息技术和新理念形成的先进的交通管理系统，该系统的建设将对一座城市乃至一个地域和整个国家的社会行为规范、人文自然环境、经济、科学技术等方面产生深刻的影响（包括正负影响）。

关于 ITS 及其项目的建设，各界最关注的问题是：（1）是否建设或采用 ITS 的某个项目（制定政策或决策者）？（2）是否投资 ITS 项目？投资 ITS 的哪个项目（投资者）？（3）如何优化系统的设计和运作（技术者或建设者）？

所谓“评估”或“评价”，就是评价与估计某个行动不同进程中的优缺点，并将此种资料用适当的形式，提供给各层面决策者的一个过程。评估有三个主要目的，分别是：（1）确定项目实施方案的价值（明确价值是如何衡量的、估计所建议的实施方案的效益及费用）；（2）为方案的最终决策者提供建议、权衡轻重等信息；（3）向技术者提供确定进一步研究的范围等。

智能交通系统项目评价是通过对其项目的经济性、技术性及其社会效益、环境影响和风险做出评价，为 ITS 项目的可行性研究以及对既有系统的优化整合提供科学依据，帮助投资者为自己将来的投资计划做出合理的决定。但是，由于 ITS 的新颖性及其复杂性，很难找到已建 ITS 系统提供丰富的经验，因此如何对 ITS 项目的实施效果进行评估，成为目前开展 ITS 规划与建设急需解决的难题。在我国 ITS 方兴未艾的建设与发展过程中，不言而喻是十分重要的，本项目的研究成果具有广泛的需求和实用价值。

欧美日发达国家 ITS 发展近 20 年以后，在 20 世纪 90 年代初认识到 ITS 项目评价可以为未来大范围的 ITS 项目实施提供强有力的技术支持和保障，于是投入了相当大的力量来进行这方面的研究，迄今已经取得了阶段性的成果，建立了一些评价指标体系和评价方法，在 ITS 项目的现场实施评价和仿真模型开发方面也积累了丰富的经验。而在国内，这方面的研究直到近几年才开始开展，而实际上国内目前对高技术、高投入也是高风险的 ITS 项目的规划和实施也都没有经过评价这一环节。从国外 ITS 项目的运营效果来看，并不是每一个 ITS 项目都取得了成功，也有不少效果不佳甚至失败的例子，由此看来，由于没有经过科学严密的评价，巨大的投资可能仅有很少的回报。

我国当前仍是一个发展中国家，基础建设资金还十分短缺，对 ITS 项目评价这

个关键环节更应加以重视，并在总结、吸收国外 ITS 发展的经验基础上，将其纳入《中国智能交通系统体系框架》中，开展了智能交通系统经济技术评价的初步研究。本书在研究成果基础上，对智能交通系统项目的评价方法及其相关技术进行了系统总结，较全面地介绍了 ITS 项目评价的目的意义、评价的内容与方法、评价目标及评价指标体系、评价的相关技术，并通过实例说明 ITS 项目的评价方法与技术。

本书共由 9 章构成，主要由史其信教授、胡明伟博士、郑为中博士撰写完成，其中也凝聚了清华大学、同济大学、天津大学、吉林工业大学、北京工业大学、交通部公路科学研究所、总后军事交通学院等参与研究的同志们的智慧，在此向参加 ITS 经济技术评价研究的同志表示感谢！

作者

2004 年 10 月

目 录

第 1 章 ITS 项目评价概述	1
1.1 ITS 项目评价的概念	1
1.1.1 智能交通系统 (ITS) 概述	1
1.1.2 ITS 项目的分类	3
1.1.3 ITS 项目评价的概念	5
1.2 ITS 项目评价的意义	7
1.3 国际和国内的现状和趋势	9
1.3.1 评价框架	9
1.3.2 评价指标	9
1.3.3 评价方法	10
1.3.4 效益评价	11
1.3.5 存在的差距	15
1.4 全书内容的组织	16
第 2 章 ITS 项目评价框架	17
2.1 若干基本概念	17
2.2 评价内容	20
2.3 评价目标和指标体系	21
2.3.1 评价目标的定义	21
2.3.2 评价指标体系的建立	22
2.4 评价框架	23
2.5 本章小结	24
第 3 章 ITS 项目的技术评价	25
3.1 技术评价的对象	25
3.2 技术评价指标	26
3.2.1 系统性能评价指标	26
3.2.2 运行性能评价指标	29

3.3 技术评价方法	33
3.3.1 多目标分析法	33
3.3.2 层次分析法	34
3.3.3 层次分析法应用实例	38
3.4 本章小结	41
第4章 ITS项目的经济评价	43
4.1 经济评价的内容	43
4.2 ITS项目的费用	44
4.3 ITS项目的效益	45
4.4 费用效益分析法	46
4.4.1 费用效益分析法的一般过程	46
4.4.2 独立方案的经济评价	48
4.4.3 互斥方案的经济评价	48
4.5 费用效果分析法	49
4.6 数据包络分析法	49
4.7 本章小结	51
第5章 ITS项目的社会和环境评价	53
5.1 社会和环境评价的内容	53
5.2 社会和环境评价的指标	54
5.2.1 直接效益评价指标	54
5.2.2 间接效益评价指标	56
5.2.3 社会和环境评价指标体系	57
5.3 社会和环境评价方法	58
5.3.1 单因素模糊综合评价	58
5.3.2 多层次模糊综合评价	59
5.3.3 广义模糊算子的综合评价模型	61
5.4 本章小结	62
第6章 评价数据的现场采集技术	63
6.1 现场数据采集技术概述	63
6.2 交通流信息采集技术	64
6.3 交通电视监控技术	68

6.3.1 模拟电视监控	69
6.3.2 数字电视监控	70
6.4 其他收集数据的方式	72
6.5 本章小结	72
第 7 章 交通仿真技术	73
7.1 交通仿真概述	73
7.1.1 仿真以及交通仿真的定义	73
7.1.2 交通仿真模型的分类	73
7.1.3 微观仿真模型在 ITS 影响评价中的应用	74
7.2 适用于 ITS 项目评价的仿真模型评述	75
7.2.1 商业化仿真模型	76
7.2.2 研究类仿真模型	84
7.3 适用于 ITS 项目评价的仿真软件介绍	89
7.3.1 PARAMICS	89
7.3.2 AIMSUN2	95
7.3.3 CORSIM	99
7.3.4 VISSIM	101
7.4 PARAMICS 在 ITS 项目模拟和评价中的应用	103
7.5 本章小结	104
第 8 章 数据的分析和处理技术	105
8.1 定量指标的分析和处理技术	105
8.2 定性指标的分析和处理技术	108
8.3 数据挖掘技术	110
8.4 数据仓库	112
8.5 本章小结	113
第 9 章 评价实例	114
9.1 交通测试评价的实例	114
9.1.1 系统描述	114
9.1.2 评价目标和框架	115
9.1.3 评价策略和方法	117
9.1.4 评价结果	120

4 智能交通系统评价技术与方法

9.1.5 匹兹堡地区交通拥挤改善评价	127
9.2 交通仿真评价的实例	132
9.3 本章小结	145
参考文献	146

第 1 章 ITS 项目评价概述

1.1 ITS 项目评价的概念

1.1.1 智能交通系统 (ITS) 概述

当今无论是发达国家还是发展中国家，交通需求的迅速增长使得交通运输系统几乎达到或超过了自身容量的极限，交通拥挤与事故，以及与交通有关的能源消耗和环境污染等问题，已成为政府和公众共同关注的热点和焦点问题。面对严峻的交通问题，人们常常采用增加供给的方式，然而国外发达国家的经验已经表明交通需求总是趋于超过交通设施的供给能力，光靠增加供给永远满足不了交通需求。随着全球环境和可持续发展战略的发展，以及信息化进程的加快，欧美、日本等发达国家从 20 世纪 80 年代开始大规模投入智能交通系统的研发。

但与传统交通基础设施建设项目不同的是，ITS 将在运输管理体系中采用包括信息、通信、控制和计算机处理等在内的一系列新技术，加强人、车、路之间的和谐和统一，从而建立起一类实时、全新、高效的运输综合管理系统。

智能交通系统 (Intelligent Transportation Systems, 简称 ITS) 是将先进的信息技术，数据通信传输技术、自动控制技术以及计算机处理技术等有效地运用于整个运输管理体系，使人、车、路密切地配合，和谐地统一，从而建立起一种在大范围内、全方位发挥作用的实时、准确而高效的运输综合管理系统。它将把交通运输也带入信息时代，从而为目前面临的诸多交通问题，包括交通的拥堵、交通带来的环境污染以及交通事故与行车安全等带来可行解决方案。

ITS 的实施给交通运输带来了巨大效益。从 1994 开始迄今为止，美国运输部已发布了多本关于 ITS 项目效益的评价报告。这些报告都表明智能交通系统及其所包含的各项子系统，如先进的主干道管理系统、高速公路管理系统、出行者信息系统和公共交通管理等系统和措施，在降低交通延误、提高交通安全性、减少燃油消耗和环境污染等方面均产生了明显效益。对加拿大多伦多、法国巴黎、美国洛杉矶、西班牙马德里等城市各智能交通子系统实施情况的调查也表明，先进的自适应交通信号控制系统可以使停车次数减少 10% ~ 41%，出行时间减少 2% ~ 20%，延误减少 14% ~ 44%；违章监视系统使交通违章降低了 20% ~ 75%；在事故条件下，安装出行信息设备的车辆，出行时间降低 8% ~ 20%，汽油消耗降低 6% ~ 12%，VOC



图 1.1 形形色色的智能交通系统

排放降低 25%，HC 排放降低 33%，NO_x 排放降低 1.5%；公共交通管理系统使出行时间降低 15%~18%，准时服务的可靠性提高 9%~23%，投资的年回报率为 45%。例如，在西班牙马德里，在对 107 个交叉口纳入自适应交通信号控制系统以后，通过浮动车调查，发现平均出行时间减少了 5%，停车次数减少 10%，延误减少 19%。智能交通系统为大中型城市提高运输效率和降低交通成本带来了新的契机。

在我国，近几年来由于经济的高速增长，相应带来了尖锐的车路矛盾，使得解决交通问题的要求更加迫切。各级政府和交通规划管理部门对 ITS 都给予了高度重视，目前全国各地已经有不少 ITS 项目正在积极规划和开展。在国家层面上，中国政府大力推动 ITS 的研究和应用，1999 年科技部批准成立国家 ITS 工程技术研究中心；2000 年成立了由多个部委组成的国家 ITS 协调领导小组；2000 年科技部组织国内数十家单位联合制定了《中国智能运输系统体系框架》和技术标准；2001 年国家“十五”科技攻关计划中将“智能交通系统关键技术开发和示范工程”列为重大项目，并设立了北京、上海、广州、天津、重庆、青岛、济南、杭州、深圳和中山 10 个

ITS 项目示范城市。在地方层面上，从 20 世纪 90 年代开始，国内的大城市陆续引进国外的自适应交通信号控制系统，例如北京和大连等城市采用了英国的 SCOOT 系统，上海、天津、沈阳、广州、杭州和苏州等城市采用了澳大利亚的 SCATS 系统，北京市交通管理部门目前正在实施交通流实时动态信息采集、处理/分析和发布系统。除了政府和管理部门的大规模投入之外，企业界也对智能交通系统表现了浓厚的兴趣，纷纷将 ITS 作为企业的主要发展方向之一并投入了大量的研发资金，积极开发各种适合中国交通条件的智能交通系统和产品。ITS 正在形成一个蓬勃发展的新兴高技术产业。

1.1.2 ITS 项目的分类

根据 ITS 的研究内容，对 ITS 项目进行分类的方法有很多种，这里采用的是美国国家 ITS 框架体系（《National ITS Architecture》）中对 ITS 的分类方法，将其分为 7 大子系统（如图 1.2），即：

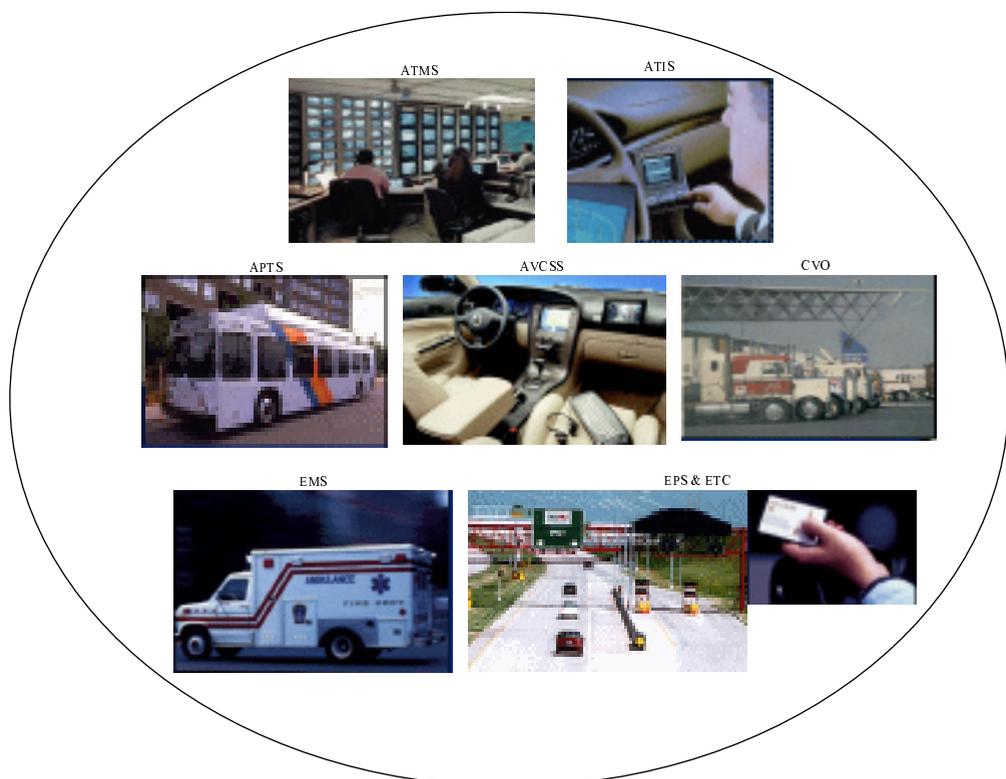


图 1.2 ITS 项目的分类

- (1) 先进的交通管理系统 (Advanced Traffic Management Systems, ATMS);
- (2) 先进的出行者信息系统 (Advanced Traveler Information Systems, ATIS);
- (3) 先进的公共交通系统 (Advanced Public Transportation Systems, APTS);
- (4) 先进的车辆控制及安全系统 (Advanced Vehicle Control and Safety Systems, AVCSS);
- (5) 商用车辆营运系统 (Commercial Vehicles Operations, CVO);
- (6) 紧急救援管理系统 (Emergency Management Systems, EMS);
- (7) 电子付费与电子收费系统 (Electronic Payment Systems & Electronic Toll Collection, EPS&ETC)。

对各系统,在此分述如下:

1. 先进的交通管理系统 ATMS (Advanced Traffic Management Systems)

ATMS 利用监测、通讯及控制等技术,将交通监控系统监测所得的交通状况,经由通讯网络传输到交通控制中心,中心再结合其他方面所获得的信息,制定及评估交通控制策略,执行整体性的交通管理,并将相关信息传送给出行者,以达到运输效率最大化及运输安全等目的。本系统主要特色是强调子系统间协调与实时控制的功能,提供匝道控制、信号配时方案、事件管理以及替代路线导引的参考等。

2. 先进的出行者信息系统 ATIS (Advanced Traveler Information Systems)

ATIS 由先进的信息、通讯及其他相关技术,提供出行者必要的信息,使其能于车内、家里、办公室、车站、途中等地点方便地取得所需的出行信息,作为出行方式与路线选择的决策参考,以顺利到达目的地。

3. 先进的公共交通系统 APTS (Advanced Public Transportation Systems)

APTS 采用各种智能技术促进公共交通的发展,如通过个人计算机、闭路电视等向公众就出行时间和方式、路线及车次选择等提供咨询,在公交车站通过显示屏向候车者提供车辆的实时运行信息。

4. 先进的车辆控制与安全系统 AVCSS (Advanced Vehicle Control and Safety Systems)

AVCSS 结合传感器、电脑、通讯、电机及控制技术应用于车辆及道路设施上,帮助驾驶员提高行车安全性,增加道路容量,减少交通拥挤。本系统主要特色是利用传感器弥补人类感官功能的不足,减少危险的发生;提高自动控制的程度,实施更安全、准确、可靠的控制,避免驾驶员因判断错误或技术不熟练所造成的损失。

5. 商用车辆营运系统 CVO (Commercial Vehicles Operations)

CVO 系利用前述 ATMS、ATIS 与 AVCSS 技术于商业营运车辆,例如车辆自动识别技术、车辆自动定位技术、车辆自动分类技术等,提高企业内部劳动生产率,提升运输效率及安全,改进对突发事件的反应能力,改善车队管理和交通状况,并

减少运输成本，提高生产力。所谓“商用车”不仅包括大型与重型车辆（如卡车、货车），也包括紧急救援用车辆（如救护车、拖吊车），以及每日运作的商用小型车（如出租车）等。

6. 紧急救援管理系统 EMS (Emergency Management Systems)

EMS 即为当紧急危难发生时，求援车辆如何求援、救援车辆如何在最短时间内到达现场，以及如何警示其他驾驶员的系统。本系统包括车辆故障与事故求援、事故救援派遣以及救援车辆优先通行等部分，为使事件能在最短时间获得解除，降低伤害的程度。

7. 电子付费与电子收费系统 EPS & ETC (Electronic Payment Systems & Electronic Toll Collection)

电子收费系统应用各种通讯和电子技术使得出行者和交通经营管理机构之间的交易变得更容易。电子收费乃是利用车上单元的电子卡与路侧单元作双向的通讯，经由电子卡登录的方式进行收费，以取代现行人工收费的方式。

1.1.3 ITS 项目评价的概念

由上述 ITS 的定义和实际应用情况来看，ITS 的一个主要特征是其系统集成度高，项目投资数额很大，对社会、经济、环境等方面带来多方面的效益和影响，况且 ITS 实施的效果本身与人们自身的行为、喜好、对信息的反应等心理和生理因素还有很大关系。如何对 ITS 这样一类全新项目的绩效进行预测和估计，已经成为规划人员、运营管理者 and 项目决策部门亟待解决的难题，“某个 ITS 项目是否应该实施？”、“应该如何实施？”、“哪些因素是重要的而哪些是可以忽视的？”等都已成为 ITS 项目大范围实施所面临的迫切问题。

解决这些问题的关键就是要对 ITS 项目进行科学的评价。智能交通系统项目评价（简称 ITS 项目评价）通过对智能交通系统项目的技术可行性、经济效益、社会和环境的影响做出评价，为智能交通系统项目的可行性研究、方案比选、实施效果分析以及系统运营优化提供科学依据，帮助投资者对未来的投资做决定。

尽管 ITS 在我国的发展前景十分喜人，然而对 ITS 项目的评价却远远跟不上目前的形势和发展要求。欧美发达国家早在 20 世纪 90 年代初认识到 ITS 项目评价可以为未来大范围的 ITS 项目实施提供强有力的技术支持和保障，于是投入了相当大的力量来进行这方面的研究，迄今已经取得了阶段性的成果，建立了一些评价指标体系和评价方法，在 ITS 项目的现场实施评价和仿真模型开发方面也积累了丰富的经验。而在国内，这方面的研究直到近几年才开始开展，而实际上国内目前对高技术、高投入也是高风险的 ITS 项目的规划和实施也都没有经过评价这一环节。欧美发达国家的建设资金充裕，尚且对 ITS 项目评价均给予了高度重视，而我国当前仍

是一个发展中国家，基础建设资金还十分短缺，对这个关键环节更应加以重视。从国外 ITS 项目的运营效果来看，并不是每一个 ITS 项目都取得了成功，也有不少效果不佳甚至失败的例子，由此看来，由于没有经过科学严密的评价，巨大的投资可能仅有很少的回报。

近些年来，这个问题的重要性已经逐渐引起了国家相关部门和行业发展的重视。2000 年在《中国智能运输系统体系框架》中就已开展了智能交通系统经济技术评价的初步研究，2001 国家“十五”科技攻关计划重大项目“智能交通系统关键技术开发和示范工程”也已将智能交通系统项目评价方法研究列为专项子课题之一。然而，ITS 项目评价是一个复杂的课题，就连国际上目前也还缺少一套像传统交通基础设施项目评价那样完整的项目评价理论和方法。

在我国和许多国家中，对传统交通基础设施的评价采用的都是以费用效益分析法（Cost Benefit Analysis，简称 CBA）为主框架的评价方法。例如，CBA 是美国政府机构考虑项目投资、运营和管理的主要决策依据，因此在所有的评价方法中占有支配地位。英国也使用 CBA 作为主要的评价方法，并形成了称为 COBA 的标准评价过程。法国从 20 世纪 60 年代起在道路投资分析中就开始应用 CBA，现阶段 CBA 已经延伸到其他交通方式，并成为公共项目投资分析程序的一部分。德国联邦交通基础设施计划（Federal Traffic Infrastructure Plan，简称 BVWP）的评价方法也是建立在 CBA 的基础上。但是 ITS 项目的评价和传统交通基础设施项目的评价有许多不同之处，费用效益分析法无法完全照搬到 ITS 项目评价中来，这也是 ITS 项目评价面临的困难所在。它们的不同点主要包括：

首先，传统交通基础设施项目的费用效益分析建立在良好历史数据积累基础之上，但对 ITS 项目来说，目前费用和效益方面的历史数据还很缺乏，而在项目实施以前，费用和效益通常都是不知道的，很多项目很可能还是头一次实施，根本没有已建项目的数据可供参考，因此在项目规划阶段要预测和估计 ITS 的效益和影响十分困难。另一方面，ITS 项目的实施情况与当地条件密切相关，其项目的费用和效益数据在时间和空间上的转移性让人怀疑。

第二，传统运输项目的评价常常是规划阶段的评价，而 ITS 项目评价除了规划阶段的评价，还要进行实施运营阶段的评价，并且这一评价还要考虑到交通状况的动态特性。例如在正常交通情况下和发生意外事件的情况下，ITS 的效果会有很大差别。有学者研究指出，在意外事件情况下 ITS 的效益非常显著，但是意外事件情况下的现场实测数据还相当缺乏，如何取得评价意外事件情况下 ITS 项目效益的数据也是一个难点。

第三，ITS 融合了大量的信息技术，人们对信息的反应必然影响到 ITS 项目实施的效果，因此 ITS 项目评价有时还需要考虑到社会学、行为、生理、心理等方面

的因素，而目前对这些问题的考虑都还不太成熟。

第四，ITS 包含了各种各样的子系统，例如先进的交通管理系统 ATMS、先进的出行者信息系统 ATIS、先进的公共交通系统 APTS、不停车电子收费系统 ETC 等，而且新的子系统还在不断增加，如何对各种子系统和多子系统的整合进行评价具有相当大的难度。

因此，对 ITS 项目评价理论和方法进行深入系统研究和应用的要求十分紧迫，其成果将能够直接为我国智能交通系统项目的规划、实施和运营管理提供科学有效的决策支持，并转化为生产力。同时，ITS 项目评价理论和方法的研究和应用具有重大的理论意义，而且 ITS 项目评价也是目前国际交通领域的研究热点，因此在我国“九五”和“十五”科技攻关计划中都将其列为研究内容。

1.2 ITS 项目评价的意义

这一节我们讨论为什么要评价 ITS。实际上，评价 ITS 的原因也正是规划一个 ITS 项目评价框架和相应的方法所必须解决的内容。ITS 项目评价的意义主要体现在以下 4 个方面：

1. 理解 ITS 项目产生的影响

评价 ITS 项目是为了能够更好地了解项目本身和与其相关的交通条件改善之间的关系。ITS 项目对交通系统及其使用者产生的影响，以及其导致的社会、经济和环境的影响，综合起来就构成了 ITS 项目评价的内容。而且，对 ITS 项目产生的影响有一个更好的认识也有助于将来其他类似 ITS 项目的实施。

2. 对 ITS 项目带来的效益进行量化

投资者决定要投资一个项目，就必须先对该项目所能带来的回报做到心中有数。无论是政府部门还是私人机构都希望能够量化自己投资的效益。但是，如果 ITS 项目评价仅仅局限于评价项目的经济效益，就可能只对决定政策的人和其他一些非技术（Non-technical）的参与者有用。在对智能交通系统进行评价时，我们还要回答诸如“我们为什么一定要这样做？”以及“我们如何才能达到预期的效果？”这样的问题。由于 ITS 项目与高科技产业是密不可分的，因而 ITS 项目评价也就自然会涉及更为广泛的领域。

3. 帮助对将来的投资做出决定

ITS 项目评价所提供的信息（关于具体实施的理想条件和可能产生的影响因素等等）可以帮助政府部门优化投资，同时也可以帮助对将来项目的投资和实施做出决定。ITS 项目评价所提供的信息也有助于私人机构在商业运作中做出明智正确的决定，而从目前看来，政府与私人机构之间的密切而有效的合作分工是中国 ITS 顺

利发展的必要条件。

4. 对已有的系统优化其运作和设计

ITS 项目评价可以帮助已有的交通设施和交通系统识别需要改进的方向，从而使管理者和设计者能够更好地管理、调整、改进和优化系统运作和系统设计。

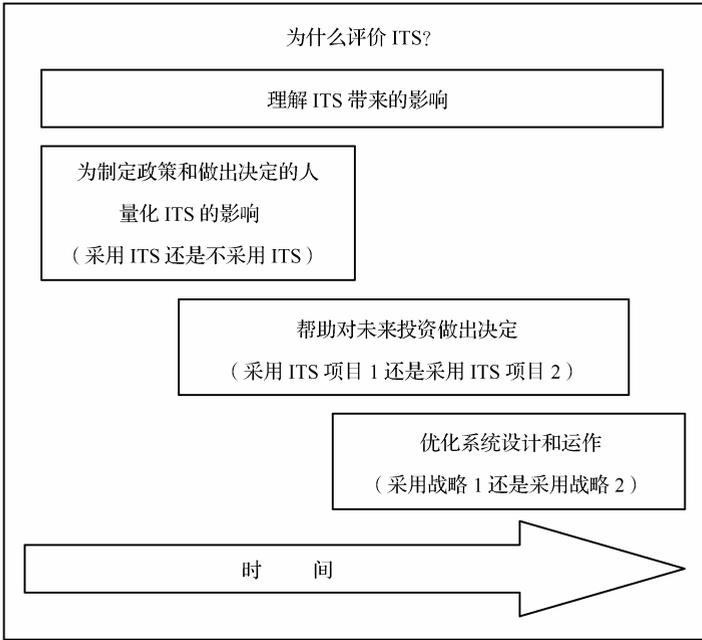


图 1.3 ITS 项目评价的意义

图 1.3 显示了 ITS 项目评价的意义，必须指出的是，如果将 ITS 项目评价集中于量化 ITS 项目所产生的影响是远远不够的。集中评价 ITS 项目带来的效益对于说服政策制定者和其他非技术问题作决定的人是必需的，它证明了 ITS 的技术和应用是成熟的，并且已经能够被使用。尽管这些效益研究对于说服政策制定者和做出决定的人，使他们相信 ITS 是一项有意义有回报的投资来说是必要的，但是我们必须同时清醒地认识到仅有这些效益研究是远远不够的。在我们试图说明某个项目是否可行时，会需要收集以往类似项目的费用效益分析 (Cost Benefit Analysis) 的信息。这种信息的数据库越全越具体，基于该数据库所做出的评价就会越准确，也就越有利于政策制定者做出决定。然而，效益研究对于帮助对未来的投资做出决定却贡献不大，而对于优化交通系统的运作就更无甚帮助了。所以 ITS 项目评价需要集中回答“为什么”和“怎么办”的问题（而不仅仅是绝对的经济尺度），全面理解 ITS 所产生的影响，以有助于对未来投资作出决策和优化系统运作。

1.3 国际和国内的现状和趋势

1.3.1 评价框架

在 ITS 项目评价框架研究领域, 2000 年在《中国智能运输系统体系框架》中, 清华大学、同济大学、天津大学、北京工业大学、吉林工业大学、交通部公路科学研究所、总后军事交通学院进行了 ITS 经济技术评价的联合攻关研究。最后研究成果中提出了中国 ITS 项目的评价框架, 并将 ITS 项目评价分为经济评价、技术评价、社会和环境评价、风险分析 5 个方面进行了研究, 在评价指标体系和评价方法的研究领域取得了阶段性成果。

美国《国家 ITS 项目计划(National ITS Program Plan)》和《国家 ITS 框架(National ITS Architecture)》基于提高全国交通系统的安全性等 6 个目标来建立评价框架, 与这 6 个目标相应的常用评价指标分别是撞车率、死亡率、出行时间、通行能力、用户满意度或接受度和成本。Underwood 和 Gehring (1993) 认为对 ITS 项目评价必须按社会效益、个人效益、企业效益对效益种类分类。社会效益, 主要是从社会整体来看, ITS 给社会带来的效益, 如减少交通堵塞、提高安全性、改善环境、减少能源消耗等。个人效益, 是从个人角度来看这些有利效益给自己带来的好处。企业效益, 是由于物流的合理化, 开拓出新市场而使销售量增加。Turner 等 (1999) 提出了在德克萨斯州评价 ITS 效果的框架, 评价目标有机动性和可达性、效果和效率、可选性和通达性、安全、环境和社会敏感性、经济增长和国际贸易, 相应于每个目标提出了评价指标。Zhang 等 (1998) 将评价范畴按目标分为技术评价、影响评价、用户接收度评价、社会经济评价、市场评价和财务评价。Caubet 等 (1997) 提出了包括出行安全、出行时间、用户舒适度和污染的 ITS 项目评价框架。Lo 等 (1994) 将 IVHS 评价分为三维, 即 IVHS 系统框架、IVHS 运营环境、对交通系统的影响。

1.3.2 评价指标

前面提到, 在美国国家 ITS 框架体系 (National ITS Architecture) 中, 围绕六大目标, 分别给出了针对每一类目标的效益评价指标, 形成了基于 ITS 目标的效益评价指标矩阵, 在这一评价指标矩阵中, 给出了六大类共 49 项指标。当然, 在实际进行一项 ITS 项目评价时, 通常并不需要计算出指标矩阵中 49 项指标中的每一项指标值, 而是根据本系统主要实现的目标来挑选一些指标进行计算和评价。FHWA 下属的联合计划办公室 (Joint Program Office, 简称 JPO) 1997 年建议只使用由当中几项指标组成的“一些好的指标”, 对这些指标的衡量基本就可以描述整个 ITS 战略计划的目标, 并用于每年跟踪 ITS 项目的实施情况。这些所谓“好的指标”包括的指

标有：交通事故数；死亡人数；出行时间；通行能力；用户对服务的满意或接受程度；项目成本。

在 ITS 项目（尤其是特定的 ITS 子系统）评价指标研究领域，Banks（1997）认为用 7 个指标可以衡量交通管理中心和高速公路的绩效，分别是出行时间及相关指标、匝道延误、交通流量、事故率、交通信息的准确度、事件清除时间和设备状态。Quiroga（2000）比较了拥挤管理系统（Congestion Management Systems）的三类绩效评价指标，即道路通行能力指标、排队相关的指标和基于出行时间的指标，认为基于出行时间的指标最好。Varaiya 等人（2001）开发的 PeMS（Performance Measurement System）采用了路段计算延误、车公里数 VMT、车小时数 VHT 和出行时间 4 个评价指标。McDonald 和 Chatterjee（2000）对欧洲 9 个城市做可变信息标志（VMS）的现场效果评价时，考虑了用户接受度、网络效率影响、环境影响和费用效果 4 个评价目标，并制定了相应的评价指标。陈小鸿，林鹏飞（2000）探讨了城市交通控制与诱导系统性能评价指标，目标是交通运行改善、交通安全改善、减少环境污染和社会资源的优化，由此导出的指标包括出行者的时间成本、出行者的运行成本、事故损失等。

1.3.3 评价方法

ITS 项目评价方法可以大致分为两类，一类是经济分析法；另一类评价方法是多目标分析法。

经济分析法以费用效益分析法为代表。Gillen 等（1999）研究了属于费用效益分析法范畴的三种方法来评价 ITS 项目，即费用效益分析法、影响分析和费用效果分析。IDAS（ITS Deployment Analysis Software）软件也是采用费用效益分析法对 ITS 项目实施效果进行评估。Peng 和 Beimborn（2000）用盈亏平衡分析来评价 ITS 的效益，确定 ITS 项目评价中的关键变量，筛选、排序和选择 ITS 项目。Zavergiu 等（1996）定义了四类受益者：用户个人、交通基础设施供应者和管理者、社会、潜在的私人投资者/ITS 供应商，费用和效益根据受益者来划分。Bošnjak（2000）将商业过程分析的价值链（Value Chain）用于 ITS 环境，将“净价值”的概念用于 ITS 项目评价。

另一类评价方法是多目标分析法。胡明伟、史其信（2001）探讨了费用效益分析法和多目标分析法在 ITS 项目评价中的具体应用，认为在 ITS 项目评价中仅采用费用效益分析法是不足的，层次分析法（Analytical Hierarchy Process，简称 AHP）等几种多目标分析法较适合于 ITS 项目评价，并对两类方法进行比较研究，探讨了在 ITS 项目评价中费用效益分析法和多目标分析法的应用范围。Underwood 和 Gehring（1993）将 IVHS 的评价方法分为 4 种：技术评价方法、经验评价方法、基

于模型的预测评价方法和主观评价方法。Longo 等 (2000) 探讨了多目标分析法在 ITS 项目评价中的应用。Levine 和 Underwood (1996) 采用层次分析法评价 FAST-TRAC 的交通规划目标, 得到各交通目标的权重。Mattingly 等 (2001) 将一种集成的多目标 - 多属性的评价方法用于加州 Anaheim 的 SCOOT 交通控制系统。Leviäkangas 和 Lähesmaa (2002) 讨论了多目标分析法在效益评价中的应用。隗志才等 (2001) 应用费用效益分析法和数据包络分析法对先进列队行驶技术的社会经济影响进行评价。

1.3.4 效益评价

美国运输部和欧盟经历了 20 多年 ITS 研发之后在 90 年代初开始认识到 ITS 项目效益评价的重要性。至今美运输部已耗费巨资对全国各地数十个 ITS 项目运营情况进行了评价, 得到相当多的效益信息, 而且美国运输部联邦公路署 (FHWA) 委托的 Mitretek Systems Inc. 正在建立各种 ITS 项目的费用和效益数据库。欧盟不甘落后, 也在伦敦、巴黎、都灵等城市积极开展了 ITS 项目效益的评价。

在 ITS 项目效益研究的领域, 以美国运输部发表的 ITS 项目效益研究报告较有参考价值。美国运输部 (U.S. DOT) 下属的 JPO 从 1994 年 12 月开始收集 ITS 项目效益的信息, 每年至少发布一本有关 ITS 项目效益的报告。从《ITS 效益评价: 早期结果 (Assessment of ITS Benefits: Early Results)》于 1995 年发布开始, 至 2003 年《ITS 效益: 2003 年度更新 (Intelligent Transportation Systems Benefits: 2003 Update)》为止, 已经发布关于美国全国范围内 ITS 项目效益综述报告十余本 (也包含少量的欧盟、日本、加拿大、澳大利亚等国的信息), 几乎每一本报告都包含了前人的成果, 并补充了新的 ITS 项目效益信息。表 1.1 显示了美国到 2003 年已有的大城市 ITS 项目效益数据。

表 1.1 美国到 2003 年已有的大城市 ITS 项目效益数据

可供参考的项目数	安全性 Safety	机动性 Mobility	通行能力 Capacity Throughput	生产率 Productivity	用户满意度 Customer Satisfaction	能源和环境效益 Energy & Environment
0 -						
1 至 3 -						
4 至 6 -						
7 至 10 -						
大于 10 -						
主干道管理系统 Arterial Management Systems						
高速公路管理系统 Freeway Management Systems						

续上表

可供参考的项目数 0 -  1 至 3 -  4 至 6 -  7 至 10 -  大于 10 - 	安全性 Safety	机动性 Mobility	通行能力 Capacity Throughput	产出性 Productivity	用户满意度 Customer Satisfaction	能源和环境效益 Energy & Environment
公交管理系统 Transit Management Systems						
事件管理系统 Incident Management Systems						
紧急救援管理系统 Emergency Management Systems						
电子支付 Electronic Payment Systems						
出行者信息 Traveler Information						
信息管理 Information Management						
碰撞预防和安全 Crash Prevention & Safety						
路面运营和维护 Roadway Operation & Maintenance						
道路天气管理 Road Weather Management						
商用车辆营运系统 Commercial Vehicle Operations						
多方式货运 Intermodal Freight						
碰撞警告系统 Collision Warning Systems						
驾驶辅助系统 Driver Assistance Systems						
碰撞通知系统 Collision Notification Systems						

为了对 ITS 项目效益作出全面、最新、可靠的综述，我们参考了美国和欧盟的多本关于 ITS 项目效益评价的报告。这里按照《ITS 效益：2003 年度更新 (Intelligent Transportation Systems Benefits: 2003 Update)》将 ITS 基础设施 (Intelligent Transportation Systems Infrastructure, 简称 ITSI) 分为主干道管理系统、高速公路管理系统、出行者信息系统、公共交通管理系统、事件管理系统、紧急救援管理系统、电子收费、电子费用支付，再依据各项评价指标罗列出效益，如安全性提高、延误减少、出行时间减少、排放减少等。此外，还叙述了集成 ITS 产生的效益。

1. 主干道管理系统 (Arterial Management Systems)

主干道管理系统用于管理城市交通和干线道路，它提供监视、信号控制功能，以及通过声音和视觉装置提供给出行者当前主干道的交通状况。美国交通工程师协会 (ITE) 指出交通信号的改进使出行时间降低了 8%~25%，交通流的通畅和延误减少降低了环境污染和能源消耗。先进的交通信号控制系统 (自适应控制) 产生了显著的正效益，停车次数减少 22%~41%，出行时间减少 8%~20%，延误减少 15%~44%，环境效益总体来说是正效益，虽然氮氧化物的排放会因为车速的增加而增加，但车速的增加会降低其他污染物的排放。研究显示先进的交通信号控制系统将使车速增加 14%~22%，燃油消耗降低 6%~12%，CO 排放降低 5%~13%，HC 排放降低 4%~10%。

2. 高速公路管理系统 (Freeway Management Systems)

高速公路管理系统包括三大主要部分，即高速公路的监视、控制、信息显示。匝道控制和可变速度限制是属于高速公路管理系统的监控部分，可变信息标志、电台、车内信息接收装置是属于高速公路管理系统的信息显示部分。匝道控制使事故率降低 15%~50%，车速增加 8%~60%，出行时间降低 20%~48%，公路通行能力提高 17%~25%，拥挤条件下燃油消耗降低 41%，环境正效益也是很可观的，美国底特律的分析显示年 CO 排放降低 122 000 t，年 HC 排放降低 1 400 t，年 NO_x 排放降低 1 200 t。

3. 出行者信息系统 (Traveler Information Systems)

出行者信息系统包括出行前信息和途中信息，给出行者提供多种交通方式的信息对出行者和信息服务提供商都是有益的，目前美国通过信息终端和网站为出行者提供时刻表、预期到达时间、预期旅途时间、路线计划服务等。这些服务使得用户能在信息充足的条件下对出发时间、路线选择和交通方式做出决定，而且有助于提高公交设施的利用率，当高峰期出行者推迟出行和选择其他路线时将有助于降低拥堵。在事故条件下，安装出行信息设备的车辆，出行时间降低 8%~20%，每次发生事故时延误降低 1 900 辆·h，燃油消耗降低 6%~12%，VOC 排放降低 25%，HC 排放降低 33%，NO_x 排放降低 1.5%。

4. 公共交通管理系统 (Transit Management Systems)

先进的公共交通系统是我国 ITS 发展的重点，因此公共交通管理系统的效益尤

其值得关注。公共交通管理系统包括管理和信息两大部分，它通过改进车辆的运行状态和交通网的整体性能来降低出行时间。车辆准时性的提高使旅客候车时间减少，换乘方便，降低了运营费用，提高了设备的利用率和生产效率。特别地，自动车辆定位和计算机辅助调度系统的效益显著。公共交通管理系统使出行时间降低 15% ~ 18%，准时服务的可靠性提高 12% ~ 23%，事故反应时间降低到 1 min，投资的年回报率为 45%。先进的公共交通系统（Advanced Public Transportation Systems，简称 APTS）通过对公交车辆状态和乘客活动的远程监视提供了较高的安全性，公交调度人员能通过自动车辆定位（Automated vehicle location，简称 AVL）和计算机辅助调度系统（Computer Aided Dispatch，简称 CAD）来安排时间表。在未来几年全美的 APTS 将产生 38 亿至 74 亿的效益（折算成 1996 年美元值），其中大约 44% 来源于公共交通管理系统，34% 来源于电子付费系统，21% 来源于先进的出行者信息系统（ATIS），1% 来源于适应需求的计算机辅助调度系统（CAD）。

5. 事件管理系统（Incident Management Systems）

事件管理系统包括事件监视、事件探测、事件反应等几部分。事件管理系统能明显缩短事件的探测时间，缩短救援车辆到达的时间，缩短交通基础设施恢复到正常状态的时间，公众对此系统的反映也是非常积极。前面提到的高速公路管理系统、主干道管理系统与事件管理系统紧密结合，将会取得显著的效益。表 1.2 是美国部分城市和日本事件管理系统效益的总结。

表 1.2 美国部分城市和日本事件管理系统效益

地 点	降低事件清除时间	降低反应时间	意外事件降低	二级事件降低	每年节省开支 (百万美元)	延误减少 (h/年)
布鲁克林	66.0%					
费 城			40.0%			
圣安东尼		20.0%	35.0%	30.0%	1.65	255 500
休斯顿					8.40	572 095
丹 佛					0.95	95 000
亚特兰大						2 000 000
明尼苏达					1.40	
日 本				50.0%		

6. 紧急救援管理系统 (Emergency Management Systems)

紧急救援管理系统包括紧急事件管理(如调度)和紧急车辆管理(导航)。新墨西哥州的 Albuquerque 在它的救护车调度中使用了基于电子地图的计算机辅助调度系统,这套系统使得调度者可以将救护车派到紧急事件发生的准确地点并进行救护车导航,这使机构的运营效率提高 10 到 15 个百分点。佛罗里达州的棕榈滩县安装的紧急车辆优先系统,将全球定位系统(GPS)与紧急车辆相连,能缩短大约 20% 的反应时间,当车辆接近信号灯时,它发送一个信号中断正常的信号周期,以便让紧急车辆不需停车通过,GPS 还可帮助调度者确定谁离出事地点最近。

7. 电子收费系统 (Electronic Toll Collection Systems)

ETC 大大降低了收费站的运营和管理费用,减少了车辆的延误。ETC 使运营费用降低 90%,通行能力提高 250%,燃油消耗降低 6%~12%,ETC 装置应用的范围内每英里 CO 排放降低 72%,HC 排放降低 83%,NO_x 排放降低 45%。

8. 电子付费系统 (Electronic Fare Payment Programs)

电子付费系统在公共汽车和铁路的应用为广大客户提供了方便和安全,因此收到了大众的欢迎。由于使用了电子付费系统,英国曼彻斯特的交通数据收集费用估计降低了 150 万美元,美国加州的 Ventura 估计降低了 500 万美元,纽约估计公共交通乘客数增长带来了 4 900 万美元的受益,新泽西的公交估计每年减少用于现金交易的开支 270 万美元,亚特兰大估计是 200 万美元。

9. 集成的大城市 ITS (Integrated Metropolitan ITS)

集成 ITS 建立在单个的 ITS 之上,包括资源共享、信息共享、ITS 各子系统的协同工作等。美国休斯顿的 TranStar 是一个成功的例子,它集成了高速公路管理、高速公路事件和主干道事件管理、交通信号控制、紧急救援管理等系统。高速公路事件处理时间平均节省 5 min,但对重大事件可能节省 30 min,年总体延误减少 572 095 辆·h,约合 840 万美元。TranStar 的匝道控制使出行时间估计每天节省 2 875 辆·h,约合 37 030 美元。在恶劣的气候、事故和其他事件发生时,延误减少折算成货币超过了 550 万美元。

上述数据表明,实施智能交通系统后,其经济效益、社会效益和环境效益是十分明显的,这也表明 ITS 的应用前景是相当乐观的。

1.3.5 存在的差距

尽管 ITS 项目评价的研究和应用已经取得一些成果,然而很多问题远远没有得到解决,例如:

第一,在评价指标研究方面,各研究者提出的评价指标很不相同,这使得不同项目的评价结果难以进行比较,很少有文献对 ITS 项目评价指标进行系统的研究,

因此必须制定一套系统、科学和实用的 ITS 项目评价指标体系。

第二，在评价方法方面，对各种评价方法做系统研究和比较研究的文献还相当少，因此本书将研究各种评价方法的优缺点，并对各类 ITS 评价确定合适的项目评价方法。

第三，以往对评价指标和评价方法的研究是脱节的，或者仅研究评价指标，或者仅研究评价方法，还没有文献从系统工程的角度对评价指标和评价方法进行统一的研究，缺乏一套系统的 ITS 项目评价理论框架。

第四，很多领域的 ITS 项目效益评价还存在不足，前面的表 1.1 显示了美国 ITS 各子系统可供参考的项目数，可见很多领域的数据还很缺乏。

1.4 全书内容的组织

在本章对 ITS 项目评价进行概述之后，本书其余各章节的内容组织如下：

第 2 章主要介绍 ITS 项目评价的框架，评价框架中涉及的一些基本概念，包括评价主体、评价原则、评价特征年、评价区域、受影响群体和评价阶段，首先进行了介绍；然后着重介绍了 ITS 项目评价涵盖的技术、经济、社会和环境几方面评价的内容，并结合各个方面的内容，给出了评价的目标和主要目标下的评价指标，从而建立起了一个基本的评价框架。

第 3、4、5 章分别围绕 ITS 项目评价的几个主要方面，即技术评价、经济评价、社会和环境评价，论述了各个方面评价的主要内容、评价指标和评价方法。

第 6、7、8 章则结合 ITS 项目评价中经常使用到的一些技术，如评价数据的现场采集技术、交通仿真技术以及评价数据的分析和处理技术，进行了详细的论述。这些技术为 ITS 的项目评价提供技术支撑。

最后一章，即第 9 章，分别就 ITS 项目的现场评价以及项目前仿真评价，各给出了一个评价的实例。通过实例，使对 ITS 项目评价的评价方法和评价技术有一个更具体和深入的了解。

第 2 章 ITS 项目评价框架

2.1 若干基本概念

本节中我们对评价框架中涉及的一些基本概念做出阐述，这些概念包括：

- (1) 评价的主体；
- (2) 评价的原则；
- (3) 评价的特征年；
- (4) 评价的区域；
- (5) 受影响的群体；
- (6) 评价的阶段。

1. 评价的主体

任何一个评价过程，都是从一定的评价主体的角度，以该主体对评价对象预期的理想状态为参照系进行的，ITS 项目评价也是如此，评价主体需要从用户主体（谁将是被服务的一方）中进行界定。按照《中国智能运输系统体系框架》，智能交通系统的用户主体可以分为六大类，如图 2.1 所示。

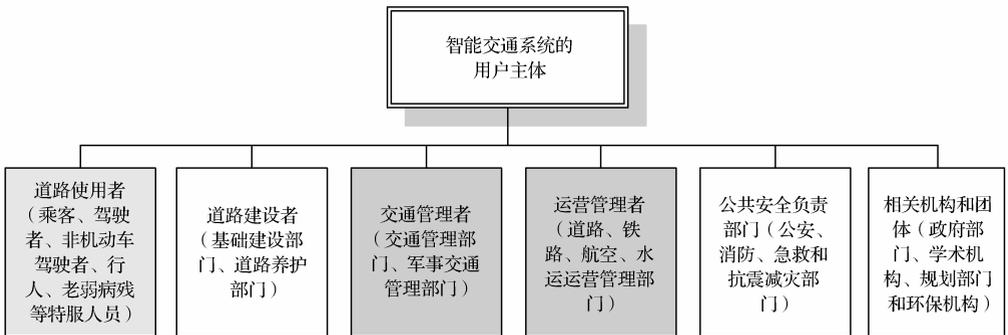


图 2.1 《中国智能运输系统体系框架》的用户主体

不同的用户主体对智能交通系统的预期是不同的，因此他们评价的重点也不同，交通管理者和运营管理者站在政府和国家的层面，从交通系统的角度甚至整个社会经济大系统的角度来研究 ITS 的效果。有的 ITS 基础设施项目初期投资很大，存在一定风险，如果仅从经济角度考虑也许很难收回投资，但是也许社会效益和环境效

益巨大，这时交通管理者和运营管理者就要考虑技术、经济、社会和环境诸多因素进行综合评价。

道路使用者则常常从个人感受的角度评价 ITS 项目，例如个人出行时间的节省、延误降低、车速提高、安全性和舒适性的提高等。道路使用者的评价目的有时与交通管理者和运营管理者是一致的，有时却有很大差别，这是由于交通管理者和运营管理者是从系统和全局的角度评价 ITS 项目，道路使用者感受到的是个人内部费用，而外部费用是感受不到的，例如 ITS 的应用带来出行环境的改善后，可能会导致更多人选择小汽车出行，这是交通管理者和运营管理者不希望看到的，因为由此带来环境污染等其他问题，导致外部费用的增加。

显然，不同 ITS 用户主体的评价目的不同，相应地，其评价指标和评价方法也差异很大。评价主体应以交通管理者和运营管理者为主，同时兼顾道路使用者。这样做的原因是考虑到现在和将来一定时期内，政府的交通管理部门和运营管理部门是 ITS 的主要规划者、投资者和运营管理者，迫切需要一套 ITS 项目评价理论和方法对 ITS 项目的规划和实施进行监督和管理，而建设 ITS 项目的根本目的又是为广大道路使用者服务，因此评价体系里也应该充分反映他们的利益。

2. 评价的原则

在符合《中国智能运输系统体系框架》的前提下，智能交通系统项目评价必须遵循一定的原则：

(1) 客观性——确保评价数据的客观性，应该实事求是地采集评价数据，尽量采取可以量化的客观性强的评价指标，采用客观性强的评价方法，评价人员应该持客观的态度，防止倾向性和外界干扰；

(2) 可比性——备选方案在实现系统功能上具有可比性；

(3) 综合性——从系统工程的角度来进行评价，既要考虑经济效益，又要考虑社会效益、环境影响和可持续发展，进行综合全面的评价。

3. 评价的特征年

ITS 所产生的效益一般包括国民经济效益、社会效益、环境效益和企业财务效益，但这些效益并不是随着 ITS 的实施就能够立即产生的，它们的出现通常需要一定的时间，而且不同效益的显现需要的时间往往也各不相同。因此，在进行 ITS 项目评价时，必须考虑各种效益的时间效应，以避免在具体的项目评价过程中过低估计 ITS 对企业盈利能力、国民经济发展和布局、社会进步及自然资源的合理利用与环境保护等的促进作用。

一般来说 ITS 实施后所带来的效益可以通过它的具体影响来体现，这些影响有些在短期内就能够较明显地显现出来，比如由于 ITS 项目的实施带来的道路通行能力的增加，出行舒适度的提高，货物运营成本的降低，旅客在路途时间的节约，交

通事故的减少,环境污染的降低等等;但是有些影响会需要较长时间才能体现出来,比如 ITS 的实施对国家信息产业发展的促进,对国家产业结构合理布局的调整能力直至对国民经济的拉动,社会收入的合理分配,社会就业人口的增加等。为了科学地客观地评价 ITS 的效益,必须考虑到效益的时间效应。因此确定了开展评价的 3 个特征年,即从基年起第 5 年、第 10 年、第 20 年,并将这三种效应称为短期效应、中期效应和长期效应。

短期效应 (Short Term Effect) ——在实施后 5 年之内就会发生的效益/影响。

中期效应 (Medium Term Effect) ——在实施后 5 年至 10 年之间发生的效益/影响。

长期效应 (Long Term Effect) ——在实施后 10 年至 20 年之间发生的效益/影响。

4. 评价的区域

这里将实施 ITS 项目评价的区域分为三类:城市内 (Urban)、城市间 (Inter-urban) 和乡村地区 (Rural)。

在作城市内的评价时,凡涉及分析有关智能交通系统的设备和服务的运行成本及其所带来的效益时,我们也必须将现有的设备和服务考虑在内,结合中国的国情,充分利用已有资源。在做城市间的评价时,需考虑如何使正在运行的或是即将实施的智能交通系统的各个组成部分在现有条件下得到最优的配置和运作。由于我国乡村地区的交通事业与其他发达国家相比还很落后,在近期内实施 ITS 的可能性几乎不存在,所以,我们在本书中,暂不考虑乡村地区的智能交通系统项目评价,而是侧重于城市内和城市间这两个区域。

5. 受影响的群体

许多传统的 ITS 项目效益分析多集中于交通使用者效益,例如总延迟,出行时间和速度,出行次数和撞车的严重程度。实际上,除此之外还有许多由于 ITS 的实施而受影响的其他群体或子群体。在 ITS 项目评价中,也应该考虑这些群体的效益或是对这些群体造成的影响,它们包括以下几个方面:

- ✓ 不同的使用者群体 (如:城镇的、郊外的、老年的和乘车上下班的人,等等);
- ✓ 非使用者群体 (如:居民、资产和商业占有者,等等);
- ✓ 政府机构执行人员 (如:警察、消防和警急反应部队,等等);
- ✓ 私人机构执行人员和私人企业 (如:货车运输、硬件/软件制造商)。

6. 评价的阶段

对 ITS 项目的评价应该贯穿于项目实施的各周期,但对不同阶段的评价和不同项目的具体应用是有差异的。

(1) 立项建议书阶段的评价

建议书阶段的评价是在对项目初步调查的基础上进行简单的技术经济分析,并

配合初步的社会评价、环境评价和风险分析，达到对诸因素进行初步的全面分析，供决策单位作为审批项目立项的依据。

(2) 可行性研究阶段的评价

这一阶段的评价在整个项目周期中具有非常重要的地位与作用，它是项目决策的主要依据之一，与立项建议书阶段的评价相比，该阶段的评价要求更全面、更详细、更具体、更深刻。通过详细的调查、研究、预测、计算与论证，运用定量分析与定性分析，动态分析与静态分析（以动态分析为主），宏观效益分析与微观效益分析相结合的方法，对项目的经济、技术、社会影响、环境影响等进行全面而深入的分析，并对其进行综合评判，比选推荐最佳方案。

(3) 实施阶段的评价

ITS 项目的实施是一个复杂的过程，带有明显的过程性，往往不能完全按事先的设计方案展开。由于涉及不同利益群体的相互协商、制约的作用，以及一些不确定因素的介入，项目的实施常常是一个动态、变化的过程。因此，项目管理人员需要不断及时了解项目的进展情况以及所遇到的问题，以便及时采取措施保证项目尽量按计划实施，这就需要建立一个较完善的评价机构，进行建设项目实施阶段的评价。

(4) 运营阶段的评价

该阶段的评价是在项目投入运营一段时间后，根据项目的实测资料与项目生命周期内其余年份的预测资料进行的评价。这个阶段将预测结果与实际效果对比分析，分析产生背离的原因，反馈评价结果，以提高将来的决策水平。它是对预测评价进行的内在分析评价，是项目管理的反馈环节。目的是总结经验教训，为将来建设同类项目提供经验。

2.2 评价内容

智能交通系统项目评价的内容很广，本书从评价主体即交通管理者和运营管理者的角度，将评价的内容划分为定量为主的评价和定性为主的评价两大类，定量为主的评价包括技术评价、影响评价、经济评价；定性为主的评价主要有社会和环境评价、用户接受度评价以及组织和体制评价等。

技术评价是从技术的角度出发，通过对项目中采用的系统各技术指标的分析和测算，从系统的功能和技术层面对 ITS 项目的合理性、可扩充性及其适用性和可实现性进行评价，考查项目是否达到了设计的技术目标。

影响评价是要反应一项 ITS 项目的实施可能对交通系统本身所带来的影响，包括交通通行能力、机动性与运行效率、交通安全性、交通环境与能耗以及交通舒适度等各个方面的改变。它一方面是 ITS 项目评价的一部分，同时也是进行下述经济

和环境评价的重要基础。

经济评价是比较实施一项 ITS 项目和不实施该项目或者不同的 ITS 方案，估计“社会”的所得和所失。通常意义上的经济评价又包含国民经济评价和财务评价，这主要是从不同的评价主体出发对项目提出的评价要求：国民经济评价是从国家整体的角度出发，考察项目的效益和费用，分析、计算项目对国民经济的净贡献，以判断项目的合理性；财务评价则是在现行国家财税制度和价格体系下，从企业财务角度出发，测算项目的财务效益和费用，考察项目的财务盈利能力和清偿能力，判别项目的财务可行性。前者一般适用于国家和政府机构的项目审批，而后者则通常为企业或私人机构投资决策所采用。站在政府公共机构的角度来进行 ITS 项目经济评价，就不但要考虑项目直接的费用和效益，而且要考虑对整个社会的更广范围（包括非用户群体）的影响，因此也要计算间接的费用和效益。

社会和环境评价就是从宏观的角度，分析项目对社会生活和环境所产生的影响以及带来各种直接的、间接的效益。ITS 项目对社会及环境的影响基本上可以分为直接社会和环境效益和间接社会和环境效益两类。直接社会和环境效益是指通过 ITS 项目给交通运输系统和城市环境带来的实际成果和利益，主要是从交通环境改善后交通参与者个体的角度来衡量的经济效益和直接的环境的改善。其具体表现为降低行车成本、减少旅行时间、延长车辆使用寿命、提高路网通行能力、减少空气污染、降低交通噪声等方面。间接社会和环境效益是从社会经济系统的角度，考察通过 ITS 项目改善交通环境，对促进城市建设和发展，促进经济繁荣等方面所产生的效益。

用户接受度评价是要通过研究用户对系统的态度和感觉，使得系统能够更好地满足用户的需求。用户接受度评价一般都是定性的，需要结合具体的项目来进行。

体制和组织评价的目的是为了理解与协调好组织与人员的关系等非技术事务，使得系统能够更有效地实施。体制和组织评价指标一般也是定性的，需要根据项目和项目的进程来制定，但通常都包括组织和管理、程序和规章制度、人力资源、资金、技术标准与技术整合等 5 个方面有关的事务。

2.3 评价目标和指标体系

2.3.1 评价目标的定义

评价目标的定义在 ITS 项目评价框架中是很重要的，因为评价指标体系将基于

评价目标来建立。评价目标是根据 ITS 项目评价主体最关心的问题来制定的，评价主体可以包括所有投资者、相关的政府部门、受影响的私人机构和普通公民。同时，评价目标也跟评价的内容息息相关，因此通常的做法是在每部分评价内容里，根据评价主体最关心的方面，列出评价的目标。在此，我们以影响评价为例，归纳出一些 ITS 的评价目标如下：

1. 提高运输系统的安全性
 - ✓ 减少人员伤亡的数量及其严重程度；
 - ✓ 降低撞车的严重程度。
2. 提高运输系统的运行效率及通行能力
 - ✓ 减少由于交通事故所引起的局部交通系统不能正常运作；
 - ✓ 改善提供给出行者的服务的水平及其方便程度；
 - ✓ 提高道路通行能力。
3. 减少交通拥挤造成的能源消耗和环境污染
 - ✓ 降低单位出行造成的有害物质排放；
 - ✓ 降低单位出行造成的能源消耗。
4. 提高运输系统的生产力
 - ✓ 降低车队的成本；
 - ✓ 减少出行时间；
 - ✓ 改进交通系统规划和管理。
5. 提高机动性和运输系统的方便舒适度
 - ✓ 为出行前和出行中的信息获得提供途径；
 - ✓ 提高出行安全度；
 - ✓ 减轻出行者压力。
6. 为繁荣 ITS 的发展和实施创造环境
 - ✓ 支持 ITS 产业（硬件、软件和服务）的建立。

2.3.2 评价指标体系的建立

评价指标用于估计系统能在多大程度上达到评价目标，它也是对照和衡量各个方案的统一尺度。如果评价指标过多时，可以加入一个准则层，准则层以下才是评价指标层，这样就形成一个“评价目的—评价准则—评价指标”的层次化综合评价指标体系。评价指标体系要实用、完整、合理、科学、客观、重点突出和分层次，尽可能全面地考虑各种因素，这样才能对各方案进行对比和评价。

指标选取要符合下面的原则：

- (1) 能够清楚地反映系统的绩效和影响，能够说明评价目的是如何被满足

的，指标要求实用、简单、容易理解、合理、敏感、定义清楚和易被评价主体接受；

- (2) 考虑到数据收集的经济性和可能性，采用一定的工具和手段能够量测；
- (3) 指标之间应尽可能避免显而易见的包含关系；
- (4) 指标的选择要保证可比性。

针对定义的 ITS 评价目标，将与各目标相对应的评价指标列成一个矩阵，用来衡量达到各种评价目标的过程。根据上面影响评价的前 5 个评价目标，我们相应列出了如表 2.1 所示的基本评价指标。在实际中，需要选择一些常用的而且性能良好的评价指标。复杂的评价指标可能在书面上显得非常完善可行，但是在实际操作中，有时却需要巨资来获取。

表 2.1 面向系统目标的基本评价指标

系统目标	基本评价指标
1. 提高运输系统的安全性	撞车的数量和严重程度 死亡数
2. 提高运输系统的运行效率及通行能力	交通流量 效益费用比
3. 减少交通拥挤造成的能源消耗和环境污染	能源（燃料）消耗 机动车排放量（NO _x ，SO _x ，CO，VOC）
4. 提高运输系统的生产能力	出行时间的节省 运营成本的节省 管理成本的节省
5. 提高机动性和运输系统的方便舒适度	出行时间 用户满意度 出行成本

2.4 评价框架

基于前面论述的若干基本概念、评价内容、评价目标和指标体系，我们确立评价框架由评价主体、评价内容、评价目标和评价指标组成，如图 2.2 所示。首先基于《中国智能运输系统体系框架》确定项目评价的主体，从评价主体的角度，提出了智能交通系统项目评价需要涵盖的内容，包括技术评价、影响评价、经济评价、社会和环境评价，然后仿照前面的思路提出每一部分内容的的评价目标，并基于评价目标分层次、有步骤地建立了评价指标体系。接下去我们将对框架的各组成部分和各个部分的评价作进一步的阐述。

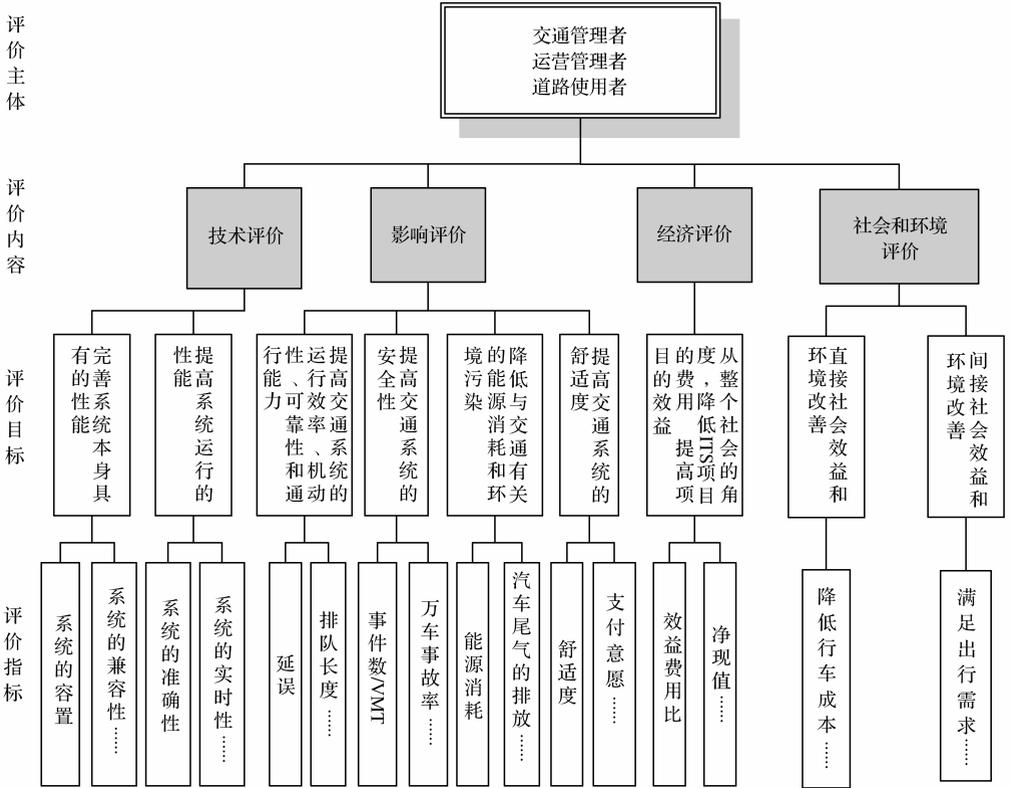


图 2.2 智能交通系统项目的评价框架

2.5 本章小结

本章结合 ITS 项目评价的框架，我们对评价框架中涉及的一些基本概念，包括评价主体、评价原则、评价特征年、评价区域、受影响群体和评价阶段，进行了介绍。然后着重介绍了 ITS 项目评价涵盖的技术、经济、社会和环境等几方面评价的内容，并结合各个方面的内容，给出了评价的目标和主要目标下的评价指标，从而建立起了一套完整的评价框架，这样一个框架基本涵盖和界定了进行一个具体 ITS 项目评价所涉及的各个方面，是进行 ITS 项目评价的指导和依据。第 3 章至第 5 章将就框架的实施以及实现技术，围绕技术、经济、社会和环境各个部分评价的技术方法和手段分别进行论述。

第3章 ITS项目的技术评价

3.1 技术评价的对象

技术评价是从技术的角度出发,通过对项目中采用的系统各技术指标的分析和测算,从系统的功能和技术层面对 ITS 项目进行评价,考查项目是否达到了设计的技术目标。ITS 项目的技术评价由其评价目标和对象所确定,因此,其基本前提条件是:

- ✓ ITS 系统和子系统基本框架(逻辑框架、物理框架)的建立;
- ✓ 系统和技术的存在性等。

ITS 项目技术评价对象可按技术领域加以划分。根据中国《中国智能运输系统体系框架》,智能交通系统的技术领域划分为以下 9 个部分:

1. 通用技术平台

主要内容:通用地理信息平台(桌面、车载)及与定位结合技术,环境和尾气排放管理。

2. 通信信息

主要内容:出行前信息、行驶中驾驶员信息、行驶中公共交通信息、个性化信息服务、路线引导及导航。

3. 车 辆

主要内容:视野的扩展、自动车辆驾驶、纵向防撞、横向防撞、安全状况(检测)、碰撞前的保护措施和智能公路。

4. 运输管理

主要内容:商用车辆的管理、路边自动安全检测、商用车辆的车载安全监测、商用车辆的车队管理、公共交通管理、公共交通需求、共乘管理。也可分为货物运输和旅客运输两个组成部分开展工作。

5. 交通管理和规划

主要内容:交通控制、紧急事件管理、需求管理、交通法规的监督和执行、交通运输规划支持、基础设施的维护管理。

6. 电子收费

主要内容:电子交通交易等。

7. 紧急事件和安全

主要内容:紧急情况的确证及个人安全、紧急车辆管理、危险品及事故的通告、

出行安全、对易受袭击道路使用者的安全措施和智能枢纽。

8. 综合运输（枢纽）

主要内容：综合枢纽、多式联运管理。

9. 智能公路

主要对象：先进的车路信息与运行系统等。

3.2 技术评价指标

ITS 项目技术评价的目标是完善系统本身具有的性能和提高系统运行的性能。因此，评价主要可从以下两方面进行：基于体系结构各部分特征的系统性能评价，即定性分析为主的评价；基于 ITS 各部分系统设计的运行性能评价，即定性定量相结合的评价。由此制定的 ITS 项目技术评价指标也包括定性和定量指标，其中与系统本身具有的性能相关的评价指标以定性为主，而与系统运行的性能相关的评价指标则以定量为主。给出 ITS 项目技术评价的评价体系如图 3.1 所示。

3.2.1 系统性能评价指标

对系统本身具有性能的评价指标包括以下 5 个方面：

1. 对 ITS 用户的支持

该指标是为了评价 ITS 体系结构的系统功能是否满足不同用户的需求。在中国的大部分城市，应充分考虑到公共交通用户的需求。

2. 系统的灵活性和可扩展性

该指标主要指体系结构在技术上是否具有灵活性和可扩展性，灵活性指体系结构对不同类型技术的兼容和限制程度，评价指标及其描述见表 3.1。

表 3.1 系统的灵活性和可扩展性评价指标及描述

指 标	描 述
通讯载体	体系结构与蜂窝式宽域通讯方式（与大部分现有的和新出现的通讯技术相兼容）的兼容性和影响 是否利用现有技术及是否开发车辆—路边设施的通信标准
传感技术	体系结构与所有传感器技术的兼容性
用户界面	是否有特定的用户界面标准或技术
管理中心协调水平	是否有各个管理中心之间的内部连接 协调和信息共享是否有法律上的保障

续上表

指 标	描 述
新增服务和功能	体系结构中新增服务和功能的可能性 体系结构对不同通信方式的兼容性
集中或分散的数据库运用	在系统部署时再决定
管理中心信息提供系统	任何管理子系统和出行信息提供子系统一体化以提高效率;
算法改进	在体系结构内部对软件的改进是否有约束条件

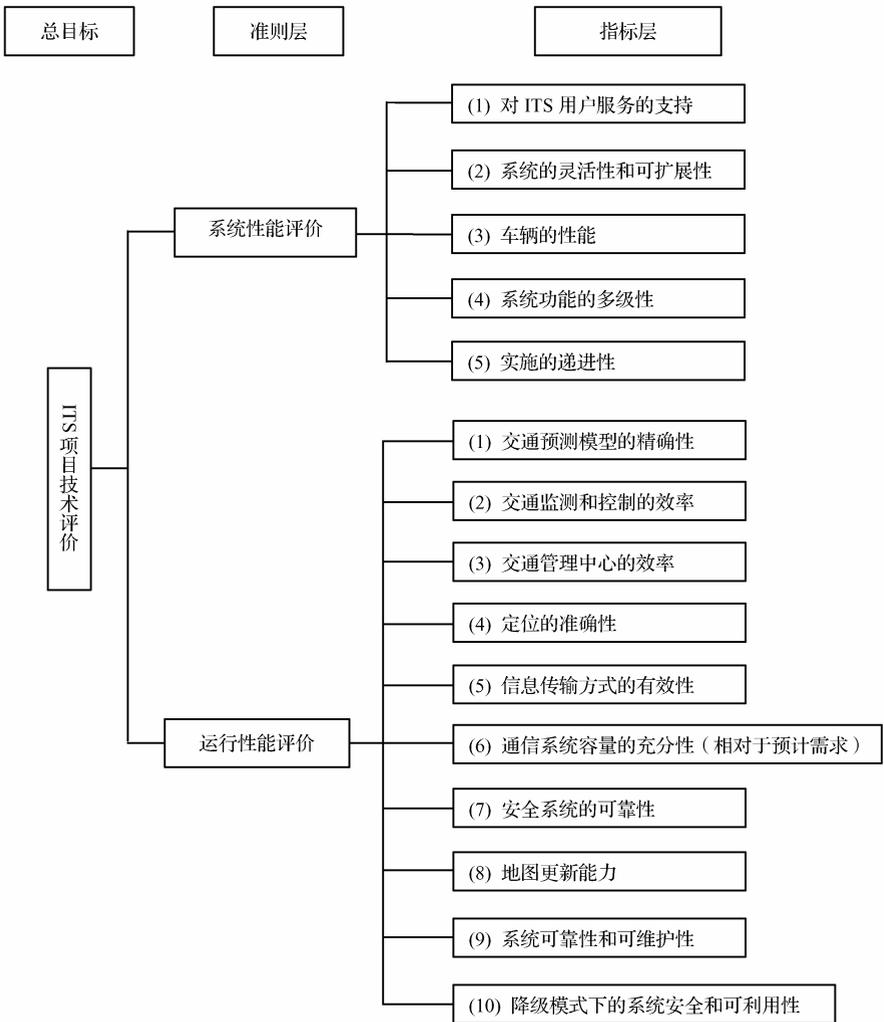


图 3.1 ITS 项目技术评价体系

3. 车辆的性能 (见表 3.2)

表 3.2 不同装备车辆的性能的评价

市 场 包	评 价 指 标			
	用户出行时间减少	用户安全性提高	非用户的出行时间减少	非用户的安全性提高
广播旅客信息				
交互旅客信息				
自动路线导行				
动态路线导行				
基于 ISP 的路线导行				
综合运输管理 / 路线导行				
黄页和其他社会资源				
动态换乘				
车内标示				
车辆安全监视				
驾驶者安全监视				
纵向安全警告				
侧面安全警告				
交叉口安全警告				
撞前约束部署 (Pre-crash Restraint Deployment)				
驾驶员能见度提高				
先进的车辆纵向控制				
先进的车辆横向控制				
交叉口防撞				
自动公路系统				

注：分 3 种情形表示： = 高收益 = 中等或低收益 空白=极少或无收益

4. 系统功能的多级性

该指标指体系结构对每一市场包内和市场包间不同功能的支持能力。为达到

系统功能的多级性的目的,体系结构首先必须模式化,便于把不同的功能分配到体系结构中不同的领域。在评价系统功能的多级性时,可以从下列两个子指标进行评价:

(1) 技术水平的兼容性:在体系结构的每一市场包内和市场包之间,结构功能能够兼容从低级到高级、差异变化大的各类技术。

(2) 界面的标准化:为了鼓励 ITS 产品和服务的多级化,必须使得 ITS 的产品具有可互换性和兼容性,从而界面的标准化显得至关重要。

5. 实施的递进性

该指标主要包含以下两方面:

(1) ITS 体系结构与现有设施的包容性和可协调性。

(2) 随着 ITS 相关技术的进步,ITS 体系结构的可发展性。

3.2.2 运行性能评价指标

对系统运行性能的评价指标主要包括:

1. 交通预测模型的精确性

ITS 的目标之一是更好地理解交通模式,以便预测交通流量和拥挤条件。为了达到这一目的,通常需要解决以下 3 个问题:

(1) 哪些数据可以用来预测交通模式;

(2) 如何实时处理交通数据,提供即将到来的交通条件的重要信息;

(3) 交通预测能力对运输系统效益的影响。

针对以上 3 类需求,给出该指标的 3 个子指标:

(1) 数据采集技术;

(2) 交通预测中交通数据的处理和算法;

(3) 对运输系统效益的影响。

2. 交通监测和控制的效率

该指标指体系结构中,交通管理子系统实时收集、处理和发布大量的出行方式和系统运行信息的能力。包含以下两个子指标:

(1) 数据的收集和实时传输的能力;

(2) 数据实时处理能力。

3. 交通管理中心的效率

该指标指交通管理中心(TMC)之间的协调水平,以及交通管理中心(TMC)和其他相关的管理中心之间(如信息提供者、公共交通管理中心、紧急事故管理中心等)的协调和协作水平。

4. 定位的准确性 (见表 3.3)

表 3.3 ITS 技术期望的定位要求

市 场 包	推荐精度*
与驾驶员和出行者信息交互式的 ATIS	5 ~ 20 m
救难信号支持	5 ~ 20 m
网络监控	50 ~ 100 m
探测监控	25 ~ 50 m
有效 TMC 和灵敏探测	25 ~ 50 m
排放与环境超标传感	5 ~ 20 m
交通系统维护	25 ~ 50 m
公交车辆跟踪	5 ~ 20 m
公共交通安全	5 ~ 20 m
车辆调度和线路安排	25 ~ 500 m (当地 vs. 长途运输)
物资追踪和响应	25 ~ 500 m (当地 vs. 长途运输)
纵向安全警报	1 m 以下
横向安全警报	1 m 以下
交叉口安全警报	1 ~ 5 m
防撞设施	1 m 以下
驾驶员视距改善	1 m 以下
先进的车辆纵向控制	1 m 以下
先进的车辆横向控制	1 m 以下
交叉口防撞	1 m 以下
自动公路系统	1 m 以下
紧急响应	25 ~ 50 m

5. 信息传输方式的有效性

信息传输方式一般可以分为两种：有线通信和无线通信。

由于有线通信相对于无线通信不存在传输容量的限制，也很少会发生传输障碍（除非线路被截断）。所以评价的重点是无线通信方式。

对于无线通信可以以下列主要指标进行评价：

- (1) 总流量；
- (2) 线路平均流量；
- (3) 线路延误统计。

6. 通信系统容量的充分性

相对于预测需求，通信系统容量是否满足需求的水平，以及可以扩充的余地。

7. 系统安全性能

该指标主要包含两方面：通信安全和数据库/信息安全。具体指标如表 3.4。

表 3.4 系统安全性能指标和描述

指 标		描 述
通信安全	身份识别	为了防止 ITS 系统中的欺诈行为的措施之一；即识别用户的需求，以及防止用户否认作过的需求申请
	匿名系统	为了防止非法者从 ITS 中追踪到车辆和个人的行踪，ITS 中的许多服务（如电子付费）需匿名进行，即在计算机系统中不应储存个人和车辆身份
数据库/信息安全	除了通信安全之外，对一些数据库，ITS 体系结构还需有防止安全泄露的安全承诺	

对不同系统的安全级别划分了四个等级：D，C，B，A；安全级别依次升高。更高级别的安全等级除了包含低级级别的条款之外，还包括额外的条款。表 3.5 简述了不同数据库的安全级别。从保护用户的隐私的角度出发，表 3.6 给出了一些数据库所需的安全等级。

表 3.5 安全分级特征简述

安全分级	功 能 和 特 征
D	提供最低限度的保护
C	“慎重”级别的保护和校核能力
C1	用户识别和授权
C2	通过用户登录可进行支付行为
B	指令保护
B1	清除控制（Clearance Control）和敏感性标签（Sensitivity Labels）

续上表

安全分级	功能和特征
B2	设备的安全标签和描述性政策模型
B3	给指定的目标分配用户名
A	正式的最高级说明书和证明 (Formal Top-Level Specification and Verification)

表 3.6 ITS 数据库中安全水平示例

数据库	安全等级 (Sec Div)	理由
信息控制数据库	B3	该控制信息必须加以保护，防止从系统外进入，而且只授权给监视人员管理
交通信息文档	B3	交通报告的有效性 (validity) 和流通需加以保护，对进入该数据的请求进行控制。可能的安全威胁：跟踪车辆和个人行踪；影响交通模式
事故文档	B3	防止滥用和随意修改事故文档。可能的安全威胁：影响交通模式
车载安全数据	C2	当出现危险物质时，对信息进行保护。可能的安全威胁：公共安全
紧急响应规划	B3	防止非授权进入数据系统，可能的安全威胁：影响交通；损害隐私权利
车辆和驾驶员安全数据	C2	可能的安全威胁：跟踪车辆和个人行踪；损害公民权和宪法赋予的权利
收费运行数据	C2	可能的安全威胁：窃取服务；影响交通模式
需求文档	C2	可能的安全威胁：窃取服务；影响交通模式
交通控制文档	B3	可能的安全威胁：影响交通模式
路边条件文档	C2	可能的安全威胁：影响交通模式
地图数据库	C2	可能的安全威胁：影响交通模式
换乘数据	B3	为了保护隐私，必须对个人信息进行保护。可能的安全威胁：跟踪车辆和个人行踪；损害公民权和宪法赋予的权利

8. 地图更新能力

该指标指 ITS 体系结构中, 用户通过一些方式定期进行地图更新的便利性和快捷性。

9. 系统可靠性和可维护性

系统的可靠性及可维护性指标主要指在体系结构内是否会出现一些风险, 导致服务和系统性能的不稳定。在系统结构中, 许多地方是很可能的, 但在实际中可以通过好的设计来降低这种风险。

10. 降级模式下的系统安全和可利用性

该指标主要指 ITS 体系结构中, 在系统实施的过程中降级服务的能力。

在降级服务模式中, 不仅有服务的降级, 还有到达最终用户时错误信息的升级。当系统在降级模式中有毫无意义和错误的信息通过时, 其运行的可靠性会有较大变化。这将影响服务损失的风险, 或者会影响服务设备的可靠性。

3.3 技术评价方法

3.3.1 多目标分析法

多目标分析法是决策学中针对多目标问题决策产生的方法。有关多目标分析法的理论问题, 有兴趣的读者可以参见相关的文献, 在此我们主要讨论多目标分析法在 ITS 项目技术评价中的应用。在下面首先简单阐述多目标分析法的一般理论, 再以一种有代表性的多目标分析法, 即层次分析法 (AHP) 为例详细说明如何在实际 ITS 项目技术评价中加以运用。多目标分析法具有下面的特点:

(1) 目标之间的不可公度性

各指标之间没有统一的度量标准, 难于直接进行比较。例如 ITS 项目技术评价指标既有定性指标也有定量指标, 指标的量纲也不相同。

(2) 目标之间的矛盾性

如果选择一种方案以改进某一指标的值, 可能会使另一指标的值变坏。例如实施 ATIS (先进的出行者信息系统), 可以减少拥堵、减少出行时间和降低延误, 然而由 ATIS 导致的诱增交通量可能导致环境污染的加剧。

目前已经发展了许多的多目标分析法, 这些方法各有不同的使用场合, 并非所有的方法都适合 ITS 项目技术评价。我们本着下面的原则来确定可用于 ITS 项目技术评价的多目标分析法。

1. 透明性 (Transparency)

整个评价方法对投资反映是透明的, 即该方法应该能为投资者很好地理解, 评

价过程中评价人员应与投资方达到很好的沟通。我们需要特别强调透明性，因为以往的评价方法常常仅能为少数专家和研究者掌握。

2. 鲁棒性 (Robustness)

指对不同类型的 ITS 项目评价的输入数据具有良好的适应性，并且能产生简单但有效的输出，以用于评价 ITS 对社会环境的直接影响和间接影响。具体地，鲁棒性体现在以下几方面上：(1) 数据要求；(2) 不确定性的处理；(3) 敏感性的处理。

3. 易操作性 (Simplicity)

评价方法并不是越复杂越好，方法太复杂了就很难做到对投资方“透明”，而且未必能很好地解决问题，重要的是能便于评价，而不在于方法是否复杂。我们认为易操作性指的是抓住实际问题的重要方面，而不是将实际过于简化。

下面的三种方法比较适合，分别是(1)层次分析法 (AHP)；(2)消去与选择转换法 (Elimination Et Choice Translating Reality)；(3)多属性效用度方法 (Multiattribute Utility Approach)。这三种方法符合上面的三个原则，建立在不同的数学模型上，本书在此主要讨论层次分析法 (AHP)。

3.3.2 层次分析法

层次分析法 (AHP) 是由美国运筹学家、匹兹堡大学教授 Satty 于 20 世纪 70 年代末提出的。十多年来，AHP 在国内外的各行各业中得到了广泛的应用，已成为使用最多的一种多目标决策分析方法。层次分析法基本过程是：把复杂问题分解成各个组成元素，按支配关系将这些元素分组、分层，形成有序的递阶层次结构，在此基础上通过两两比较方式判断各层次中诸元素的重要性，然后综合这些判断计算单准则排序和层次总排序，从而确定诸元素在决策中的权重。我们将 AHP 的一些成熟的成果引入到 ITS 项目技术评价中。AHP 对问题所涉及的因素进行分类，然后构造一个各因素之间相互联结的层次结构模型，将因素分为三类：第一为目标类；第二为准则类；第三为方案类。

AHP 应用于 ITS 项目技术评价的流程如下：

1. 建立层次结构模型

将包含的因素分组，每组作为一个层次，从上至下依次分为目标层（最高层），准则层（中间层）和方案层（底层），上一层次对相邻的狭义层次的全部或部分元素起着支配作用，形成自上而下的逐层支配关系，即递阶层次关系，典型的层次结构模型如图 3.2 所示。通过对待评价 ITS 项目的因素做深入细致的研究，建立一个合理而有效的层次结构模型对成功进行评价有决定性的意义。

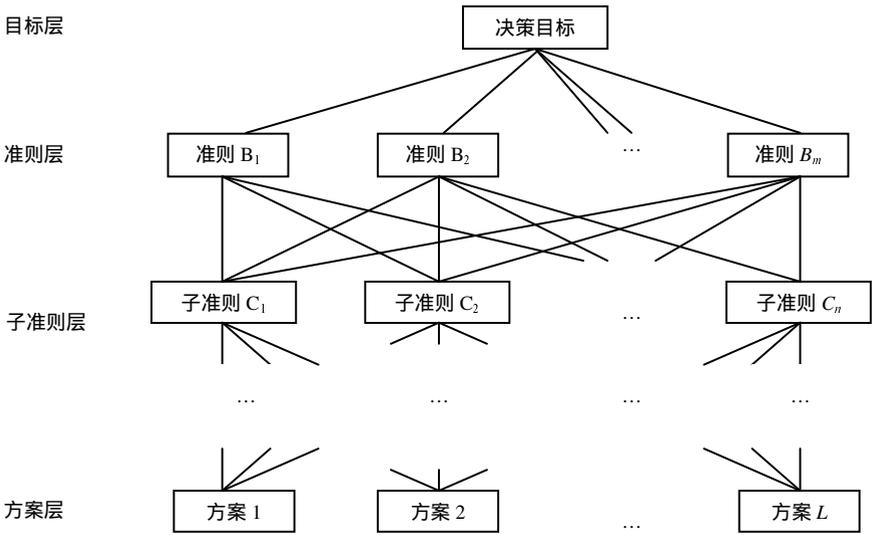


图 3.2 层次结构示意图

2. 构造判断矩阵 P

判断矩阵由层次结构模型中每层中的各因素的相对重要性的判断数值列表而成，判断矩阵表示针对上一层某因素，本层与之有关因素之间相对重要性的比较。例如，若 A 层次中因素 A_k 与下层次 B_1, B_2, \dots, B_n 有联系，则判断矩阵 P 如下：

A_k	B_1	B_2	...	B_n
B_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1n}
B_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2n}
			...	
B_n	b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nn}

b_{ij} 是判断矩阵 P 的元素，表示对因素 A_k 而言， B_i 对 B_j 相对重要性的数值，用 T.L.Saaty 提出的 1~9 标度法表示，如表 3.7 所示。

表 3.7 判断矩阵 P 元素 b_{ij} 1~9 标度法定义

标度 b_{ij}	定义
1	i 因素与 j 因素同等重要
3	i 因素比 j 因素略重要
5	i 因素比 j 因素重要
7	i 因素比 j 因素重要得多
9	i 因素比 j 因素绝对重要
2, 4, 6, 8	介于以上两种判断之间的状态的标度
倒数	若 j 因素与 i 因素比较, 结果为 $b_{ji} = 1/b_{ij}$

判断矩阵的元素都应满足

$$b_{ij} > 0 \quad b_{ii} = 1, \quad b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

称判断矩阵为完全互反矩阵。

当判断矩阵的元素完全满足

$$b_{ij} = \frac{b_{ik}}{b_{jk}} \quad (3.2)$$

称判断矩阵具有完全一致性, 此时矩阵的最大特征值为 $\lambda_{\max} = n$, 但实际中很难保证完全一致性, 因此在下面还要进行一致性检验。

3. 层次单排序, 并将判断矩阵的特征向量归一化

根据判断矩阵 $P = (b_{ij})_{n \times n}$ 求出这 n 个元素 B_1, B_2, \dots, B_n 相对于上层因素 A_k 而言的相对权重向量 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$, 即计算判断矩阵的最大特征值及对应的特征向量。可以用 Matlab 和 MathCAD 等数学软件求精确解, 近似的计算方法有和法、根法、幂法等。

4. 层次单排序一致性检验

在建立判断矩阵时, 由于主体认识的多样性以及客观事物的复杂性, 判断矩阵不可能完全满足式 (3.2), 就是说判断矩阵不可能具有完全一致性。而且进行 $n(n-1)/2$ 次两两比较判断可以从不同角度的反复比较中, 有利于导出一个较合理反映决策者判断的排序, 然而整个判断矩阵也不应偏离一致性太大。Satty 和其同事提出了如下的检验一致性的方法。设最大特征根为 λ_{\max} , 判断矩阵为 n 阶, 则有一

致性指标 $C.I$ (Consistency Index)

$$C.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{3.3}$$

式中 $C.I$ —— 层次单排序一致性检验指标；
 n —— 判断矩阵的阶数；
 λ_{\max} —— 判断矩阵的最大特征值。

当判断矩阵的维数 n 越大，需引入随机一致性指标 $R.I$ 进行修正，常见的 $R.I$ 数值见表 3.8。经修正的一致性指标用 $C.R$ 表示。即

$$C.R = C.I / R.I \tag{3.4}$$

其中 $R.I$ 为随机一致性指标。当 $C.R < 0.10$ 时，排序结果具有满意一致性，否则需调整判断矩阵的元素值。对于 1、2 阶矩阵，式 (3.2) 恒成立，总是满足完全一致性，不必进行一致性检验。

表 3.8 $R.I$ 数值

维数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R.I$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

5. 层次总排序

上面的层次单排序得到一组元素相对于上一层中某元素的权重向量，然而我们最需要的是最低层中的各方案（或与方案直接联系的属性层）相对于总准则的合成权重（或属性权重），以便进行方案比选。计算合成权重的过程称为层次总排序，合成权重的计算要由上至下进行，将单准则权重进行合成，最终进行到最低层得到合成权重。

记第 $k-1$ 层上有 n_{k-1} 个元素，相对于总准则的合成权重向量为

$$w^{(k-1)} = (w_1^{(k-1)}, w_2^{(k-1)}, \dots, w_{n_{k-1}}^{(k-1)})^T \tag{3.5}$$

第 k 层上有 n_k 个元素，相对于第 $k-1$ 层上第 j 个元素为准则的单权重向量为

$$P^{j(k)} = (P_1^{j(k)}, P_2^{j(k)}, \dots, P_{n_k}^{j(k)})^T \tag{3.6}$$

不受第 j 个元素支配的权重取零值

记矩阵

$$P^{(k)} = (P^{1(k)}, P^{2(k)}, \dots, P^{n_{k-1}(k)})_{n_k \times n_{k-1}} \tag{3.7}$$

表示第 k 层上有 n_k 个元素对第 $k-1$ 层上各元素的合成权重。

则第 k 层的元素对总准则的合成权重向量 $w^{(k)}$ 为

$$w^{(k)} = P^{(k)} w^{(k-1)} \tag{3.8}$$

递推可得

$$w^{(k)} = P^{(k)} P^{(k-1)} \dots w^{(2)} \quad (3.9)$$

式中 $P^{(k-1)}$ 为第 $k-1$ 层相对于上一层各元素的权重构成的 $n_{k-1} \times n_{k-2}$ 矩阵, $w^{(2)}$ 为第 2 层元素对总准则的单权重向量。

3.3.3 层次分析法应用实例

层次分析法主要有两方面的应用,一是用与方案比选,另一个用途是利用权重分析进行系统优化。我们分别举出两方面的实例加以说明。用与方案比选时最低层是方案层,用于权重分析时最低层是属性层。

实例 1 :方案 D_1 是一套自适应交通信号控制系统 ATSCS(Adaptive Traffic Signal Control Systems),方案 D_2 是一套事件管理系统 IMS(Incident Management Systems),因为篇幅的原因,我们略去了这两套系统的详细描述。现根据两套系统运营后的实测结果对两套系统进行比较。

按照 3.3.2 中给出的步骤:

1. 建立图 3.3 所示层次结构模型

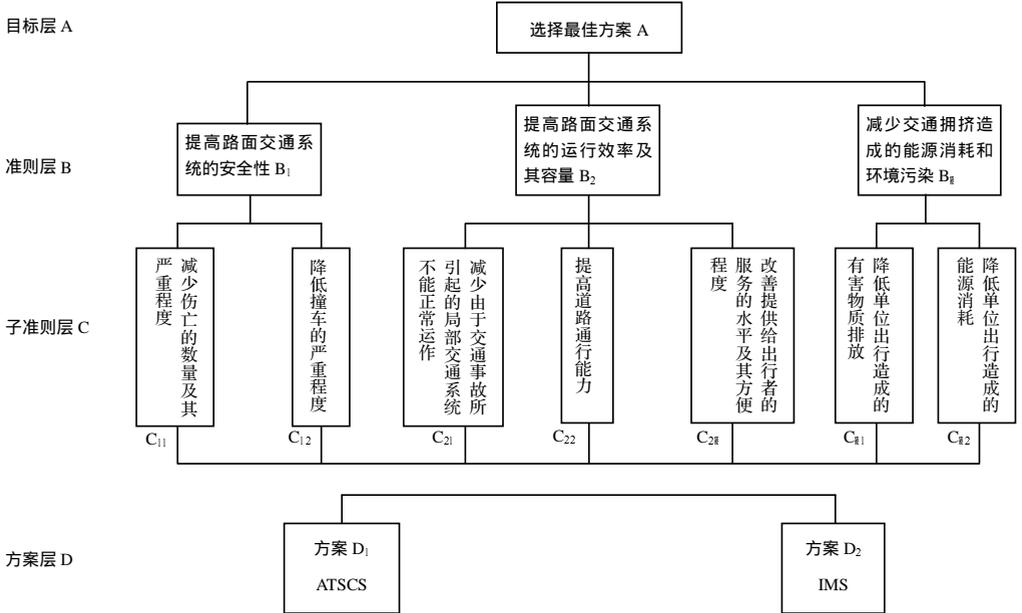


图 3.3 实例 1 的层次结构模型

2. 构造判断矩阵, 进行层次单排序和层次单排序一致性检验 (表 3.9 ~ 表 3.19)

表 3.9 A-B 判断矩阵

A	B ₁	B ₂	B ₃	权重 W
B ₁	1	3	3	0.6
B ₂	1/3	1	1	0.2
B ₃	1/3	1	1	0.2

$\lambda_{max}=3, C.R.=0$

表 3.10 B₁-C 判断矩阵

B ₁	C ₁₁	C ₁₂	权重 W
C ₁₁	1	3	0.75
C ₁₂	1/3	1	0.25

表 3.11 B₂-C 判断矩阵

B ₂	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	权重 W
C ₂₁	1	1/3	1/2	0.16
C ₂₂	3	1	2	0.54
C ₂₃	2	1/2	1	0.30

$\lambda_{max}=3, C.R.=0$

表 3.12 B₃-C 判断矩阵

B ₃	C ₃₁	C ₃₂	权重 W
C ₃₁	1	3	0.75
C ₃₂	1/3	1	0.25

表 3.13 C₁₁-D 判断矩阵

C ₁₁	D ₁	D ₂	权重 W
D ₁	1	1/5	0.166
D ₂	5	1	0.834

表 3.14 C₁₂-D 判断矩阵

C ₁₂	D ₁	D ₂	权重 W
D ₁	1	1/3	0.25

表 3.15 C₂₁-D 判断矩阵

C ₂₁	D ₁	D ₂	权重 W
D ₁	1	1/5	0.166
D ₂	5	1	0.834

表 3.16 C₂₂-D 判断矩阵

C ₂₂	D ₁	D ₂	权重 W
D ₁	1	5	0.834
D ₂	1/5	1	0.166

表 3.17 C₂₃-D 判断矩阵

C ₂₃	D ₁	D ₂	权重 W
D ₁	1	1/3	0.25
D ₂	3	1	0.75

表 3.18 C₃₁-D 判断矩阵

C ₃₁	D ₁	D ₂	权重 W
D ₁	1	4	0.8
D ₂	1/4	1	0.2

表 3.19 C₃₂-D 判断矩阵

C ₃₂	D ₁	D ₂	权重 W
D ₁	1	5	0.834
D ₂	1/5	1	0.166

3. 层次总排序

我们用数学软件 MathCAD 计算结果如下

$$w=(0.384,0.616)^T$$

于是得到最低层中的各方案相对于总准则的合成权重,可见方案 D₂ 事件管理系统 IMS (Incident Management Systems) 的实施效果优于方案 D₁ 自适应交通信号控制系统 ATSCS (Adaptive Traffic Signal Control Systems)。

层次分析法用于单方案时可以得到各评价指标的权重,这是层次分析法的另一个重要应用,人们使用层次分析法往往过分注意它在方案比选上的应用,它的这一重要用途被忽视了。在 ITS 这样关系到大众利益的项目实施中,公众的参与越来越受到重视,层次分析法将有广泛的应用前景。例如,在 ITS 的规划阶段,可以运用 AHP 分析调查(例如 Internet 网上调查)数据,得到人们期望该系统达到目标的权重,从而对系统的设计起到重要指导作用。注意:在运用 AHP 进行权重分析时,递阶层次的最低层是属性层,而并不是方案层。

实例 2:在美国的密歇根州 (Michigan) 的底特律 (Detroit) 奥克兰郡 (Oakland County), 1994 年对 ITS 项目 FAST-TRAC (Faster and Safer Travel through Traffic Routing and Advanced Controls) 进行了现场实验,为此组织了评价公众对该系统偏好性的研究。研究有二个目的:(1) 研究各类公众对系统目标的偏好性及其比较;(2) 通过从多方面研究各类公众偏好性的范围,以改进系统设计。

FAST-TRAC 主要的待评测的 ITS 目标有 7 个,即(1) 个人出行时间减少;(2) 商业出行时间减少;(3) 税收减少;(4) 驾驶难度减少;(5) 碰撞减少;(6) 节省能源;(7) 降低排放。

被调查的公众共 56 人,被分为 7 组,即(1) 公共运输部门;(2) 私人运输部门;(3) 教育或媒体机构;(4) 安全部门;(5) 其他商业部门;(6) 公共管理部门;(7) 市民团体。

建立层次结构模型如图 3.4 所示。

下面是运用层次分析法调查的结果。

图 3.5 显示了所有被调查者对 7 个系统目标的平均权重、25%权重、75%权重,例如,降低排放的平均权重为 0.12,25%的被调查者的权重在 0.06 以下,75%的被

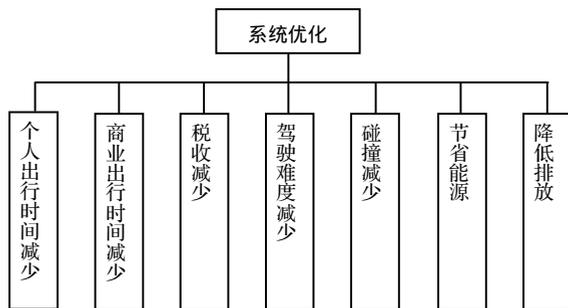


图 3.4 FAST-TRAC 系统的层次结构模型

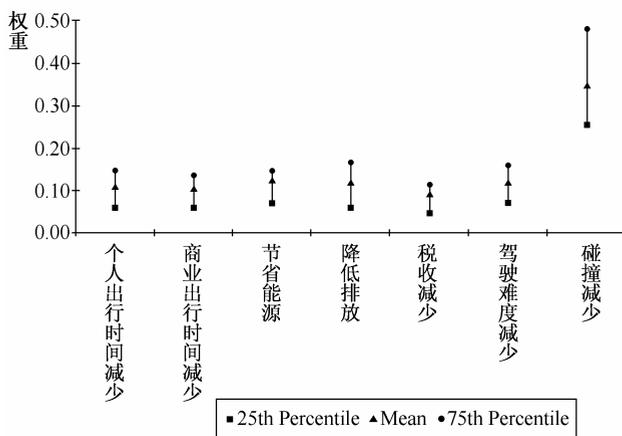


图 3.5 系统目标调查结果

调查者的权重在 0.17 以下。最明显的是大家一致认为实现碰撞减少是系统最重要的目标，以至于它的 25% 权重居然高于所有其他目标的 75% 权重。然而，以往的系统设计都是将减少出行时间作为首要目标的，这项调查显示公众的期望与设计者的意图是有差异的。这个实例表明层次分析法评价可以有效地改进系统设计。

3.4 本章小结

相对于其余评价部分的内容，技术评价是 ITS 项目评价中稍微独立的一个评价部分，它围绕 ITS 项目的系统本身性能和系统运行性能，对项目技术的科学性、合理性、可扩充性及其适用性和可实现性进行综合的评定，从而为项目方案建设以及项目优化运营提供技术上的依据。

在本章中分别给出了 ITS 项目的系统本身性能和系统运行性能两方面的评价指标，这些指标中既有定性的，也有定量方面的，并论述了在得到这些指标值后的一

种多目标分析的综合决策方法，并以层次分析法为例进行了介绍。在实际应用当中，由于 ITS 项目技术评价是一个困难而烦杂的课题，既有定性也有定量的评价，而多目标分析法恰恰是这样一种灵活、方便的方法，因此在 ITS 项目技术评价中，甚至在后文其他一些包含多重目标的评价部分当中，多目标分析法都是一种很有前途的方法。

第4章 ITS项目的经济评价

4.1 经济评价的内容

ITS项目的经济评价就是从经济角度，分析计算ITS项目所需投入的费用和获得的效益，以及ITS项目的发展对国民经济将产生的影响。经济评价通常包括国民经济评价和财务评价。国民经济评价是从国家整体的角度研究ITS项目对国民经济的净贡献，以判断ITS项目的合理性。财务评价是从ITS项目的财务角度，分析测算ITS项目的财务盈利能力和清偿能力，对ITS项目的财务可行性进行评价。对ITS项目的经济评价，应以国民经济评价为主。

对ITS项目的经济评价可以从几个层次上进行。首先，国家作为投资主体应考虑的问题是：ITS产业的发展对国民经济的发展能产生哪些影响。其次，企业作为投资主体所要考虑的问题是：ITS项目的投资是否能回收，回收期多长，收益率有多大等。最后，ITS的另外一个投资主体是个人，即车主。个人投资效果的评价与企业投资评价类似。

国民经济评价是按照资源合理配置的原则，从国家整体角度考虑项目的效益和费用，用影子价格、影子工资、影子汇率和社会折现率等经济参数分析、计算项目对国民经济的净贡献，评价项目的经济合理性。这个定义规定了国民经济评价是计算项目对国民经济的净贡献，从而评价项目的经济合理性。国民经济评价的服务对象是国家宏观决策，为制定政策的人和做出决定的人分析ITS对国民经济带来的影响。对于国民经济评价来说，具体的收益指标的评价意义并不大，更重要的是评价ITS项目的投资将对国民经济产生多大的影响。

财务评价是根据国家现行财税制度和价格体系，分析、计算投资者或项目直接发生的财务效益和费用，编制财务报表，计算评价指标，考察项目的盈利能力、清偿能力以及外汇平衡等财务状况，据此判别项目的财务与商业上的可行性。对于企业投资者和个人投资者来说，投资的目的主要是获得利润，因此，项目财务评价的服务对象主要是具体的ITS项目的企业投资者。项目财务评价的内容主要包括以下几个方面：

1. 经济效益分析

✓ 静态指标

投资回收期、投资利润率、投资利税率、资本金利润率等。

✓ 动态指标

财务内部收益率、财务净现值等。

2. 清偿能力分析

包括：借款偿还期、资产负债率、流动比率、速动比率等指标。

无论是国民经济评价和财务评价，都是以 ITS 项目的费用和效益的计算为基础的，因此我们在下面首先介绍 ITS 项目费用和效益的计算方法。

4.2 ITS 项目的费用

费用是产生一定质量的交通服务要求的资源。费用可分为直接费用（Direct Costs）和间接费用（Indirect Costs）。

直接费用是对交通服务提供者和用户而言的内部费用。对交通服务提供者，例如项目的土地、劳动力、规划、设计、施工的费用，运营和管理的费用。对用户，直接费用包括时间和为得到某交通服务的支出。

间接费用常常是由于项目实施的负面外部影响造成的，这些负面的外部影响包括车辆尾气排放和噪声等环境污染，由于这些费用被用户个人视为外部的，而是由政府和社会支付的，所以它们又被称为外部费用或社会费用。

ITS 服务的费用包括服务的整个生命周期（Life Cycle）的花费，包括直接费用和间接费用，并可进一步分为一次性费用、重复性费用和其他费用。

1. 一次性费用

是指规划、实施和建设 ITS 服务的一次性费用，发生在项目的规划和开发阶段。这些费用包括有土地购买、施工建设、软件和硬件购买、规划、设计、安装、调试和其他费用。

2. 重复性费用

是指在服务生命周期中的不间断的运营和维护费用，发生在项目的运营阶段。这些费用包括运营、维护、管理和支持人员的劳动力费用，燃料和能源的费用，运营和维护的供给费用，零部件修理费用，保险、税、许可证、培训和教育的费用。

3. 其他费用

包括清除环境影响如空气污染、噪声、对邻近居民的干扰和其他无形的费用。

对交通服务提供商而言，几乎所有的一次性费用和重复性费用都是直接费用；对用户而言，只有某些一次性费用和重复性费用对用户是直接费用，汽车和相应的通讯软硬件购买是一次性直接费用，燃料费和维护费是重复性直接费用。社会可能要承担一些由用户和提供商造成的外部费用。

4.3 ITS项目的效益

ITS项目的效益可以分为直接效益(Direct Benefits)和间接效益(Indirect Benefits)。

直接效益是ITS项目直接产生的效果或输出,能够以直接输出的支付意愿(Willingness to Pay)来衡量。

间接效益是ITS项目间接产生的效果,能够以间接效果的支付意愿来衡量。

ITS项目效益的受益者主要有三类:用户、提供商和研究区域内的非用户的团体/社会。用户的主要效益是关于安全性和时间节省,交通服务提供商的主要效益是关于交通网络效率提高、生产力和运营的提高,团体/社会的效益是关于车辆排放和交通拥挤降低以及社会服务安全和环境的改善。不过,这些效益首先都是基于ITS项目对于交通系统本身性能的改善之上,因此在对这些效益转化为经济货币衡量之前,需要对项目对交通系统本身的效益做出估量。具体说来,ITS项目的效益可以分为以下5类:

1. 费用的节省

ITS的应用可以降低劳动力和设备的需要,因而节省了劳动力和首期投资的费用,ITS的用户和提供商由于信息和交通基础设施服务的改进,也会降低购买燃料的费用和其他消耗性材料的费用。因此,用户和ITS服务提供商都是费用的节省的直接受益者。

2. 非生产性活动的时间节省

它是指不直接参加生产活动的个人用户的时间节省,如通勤者、休闲出行者和购物者。这部分时间的节省当然是有价值的,并且出行时间的节省也是机动性提高的标志。

3. 经济生产力的增长

经济生产力的增长包括人力和其他商业费用的节省。这些费用的节省是由与生产活动有关的时间节省和资源的有效利用带来的,这笔节省的费用可以用于新的生产活动以创造新的就业机会和税收,因而间接提高了社会的经济生产力。商业用户是经济生产力提高的主要受益者;交通服务提供商通过信息、服务的配套和综合,降低了首期和运营的费用,也从ITS服务中受益。

4. 安全的提高和环境的改善

安全的提高是指事故数量和严重性的降低,事故类型包括受伤、死亡和财产损失;环境的改善是指车辆尾气和其他污染物排放的降低。交通用户是安全的提高的直接受益者,如果要求他们为汽车使用带来的外部负效应负责的话,他们也是环境

改善的受益者。交通服务提供商也节省了修复事故损害和降低污染的费用。社会也从中获益，因为 ITS 降低了与事故和污染相关的社会服务的费用。

5. 个人可达性的提高

个人可达性的提高表现为由于提供了 ITS 服务，个人的出行机会和舒适度增加了，同时降低了费用和出行对个人的压力。交通用户是个人可达性的提高的直接受益者，同时由于实现了某种社会性的目标如可达性而使社会间接受益。

4.4 费用效益分析法

前面提到过，在美国和欧盟，费用效益分析法在项目的经济评价中占据了主导地位。采用费用效益分析法进行 ITS 项目评价首先需要明确的问题是 ITS 项目是否明显不同于其他传统运输项目（例如新建扩建道路），因而导致常规的费用效益分析法不能直接应用或是否需要做大量的修改？问题的答案是复杂的。其实以往的费用效益分析法仍然可被使用，但是传统运输项目的费用效益分析是建立在良好历史数据积累基础之上。然而 ITS 项目经常是缺乏费用和效益的历史数据的，因为很多项目可能是头一次实施，根本没有别的已建项目的数据可供参考。因此 ITS 项目评价的数据更多的基于模型（包括仿真）而非来源于历史数据的收集，在后面的章节我们将专门论述如何运用交通仿真来得到这些数据。

相对费用估计而言，效益估计是一个非常困难的工作，ITS 项目效益估计需要复杂的假设和仿真技术提供估计的输入，于是不同的假设和仿真技术将导致效益计算不同的输入，最终导致评价结果的差异，因此 ITS 项目评价人员应该充分意识到这些问题。如何为估算费用和效益做出合理的假设，需要 ITS 项目评价人员做出艰苦的努力。为了精确预计 ITS 项目的费用和效益，现在急需建立 ITS 项目的费用和效益的数据库（数据来源于仿真和现场实施监测），这个数据库应该包括工程、经济、社会、环境等方面的费用和效益方面的数据。

4.4.1 费用效益分析法的一般过程

费用效益分析的过程一般可分为 3 个阶段：

- (1) 确定备选方案；
- (2) 计算费用和效益；
- (3) 评价。

1. 确定备选方案

基础方案：不严格地说，基础方案就是“做最少”方案。

备选方案：可供选择的方案，例如是建设 ITS 设施，还是采用其他方案如新建

或拓宽道路等。

辅助设施：不管哪一个备选方案被选中，都有与之相关的一套辅助设施以确保该投资获得最大效益。

2. 计算费用和效益

根据 4.3 和 4.4 节，分别计算 ITS 项目的费用和效益

效益流

$$B_0, B_1, B_2, \dots, B_{t-1}, B_t$$

费用流

$$C_0, C_1, C_2, \dots, C_{t-1}, C_t$$

表示从当前时间 0 到项目终止的时间 t 的费用和效益，例如 B_0 是当前年的效益， B_1 是次年的效益，……，直到 B_t 是第 t 年的效益。由于在不同的时间付出或得到同样数额的资金在价值上是不同的，也就是说，资金的价值会随时间变化，因此应该将费用和效益的值换算到一个相同的时间点，假设折现率为 i ，

$$P = \frac{F}{(1+i)^t}$$

式中 P ——现值； F ——终值； i ——折现率； t ——时间周期数。

这个公式表示在折现率为 i ，时间周期数为 t 的条件下，现值 P 和终值 F 之间的等值关系。

于是效益流的现值是：

$$PVB = \frac{B_0}{(1+i)^0} + \frac{B_1}{(1+i)^1} + \frac{B_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{B_t}{(1+i)^t} = \sum_{n=0}^t \frac{B_n}{(1+i)^n} \quad (4.1)$$

于是费用流的现值是：

$$PVC = \frac{C_0}{(1+i)^0} + \frac{C_1}{(1+i)^1} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_t}{(1+i)^t} = \sum_{n=0}^t \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (4.2)$$

3. 评 价

计算各备选方案的总效益和总费用进行比较，确定项目的可行性和谁是最佳方案，比较的指标有：

(1) 效益费用比 B/C (Benefit-Cost Ratio)

$$B/C = \frac{\sum_{n=0}^t \frac{B_n}{(1+i)^n}}{\sum_{n=0}^t \frac{C_n}{(1+i)^n}} \quad (4.3)$$

(2) 净现值 (Net Present Value)

$$NPV = \sum_{n=0}^t \frac{B_n}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^t \frac{C_n}{(1+i)^n} = \sum_{n=0}^t \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} \quad (4.4)$$

如果 B/C 大于 1 或 NPV 大于 0，表明方案是可行的。

(3) 内部收益率 (Internal Rate of Return)

内部收益率是净现值为零时的折现率，由下面的方程得到

$$NPV(IRR) = \sum_{n=0}^t \frac{(B_n - C_n)}{(1+IRR)^n} = 0 \quad (4.5)$$

4.4.2 独立方案的经济评价

对任何一个方案，如果净现值满足

$$NPV \geq 0$$

或者内部收益率满足

$$IRR \geq i_0$$

就认为方案是可行的，其原则都是绝对经济效果指标是否满足一定的检验标准，采用净现值和内部收益率的结果是相同的。

4.4.3 互斥方案的经济评价

互不相容、互相排斥的方案成为互斥方案，对几个互斥方案进行比选时，只能选择其一。互斥方案的经济效果评价包括两部分，一是考察方案自身是否可行，即上面的绝对经济效果评价；二是考察哪个方案最好，称为相对经济效果评价。

在进行相对经济效果评价时，不能认为效益费用比 B/C 最大的方案就是最佳方案，而应该采用增量效益费用比：

$$(\Delta B/\Delta C) = \frac{\sum_{n=0}^t \frac{B_{jn}}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^t \frac{B_{kn}}{(1+i)^n}}{\sum_{n=0}^t \frac{C_{jn}}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^t \frac{C_{kn}}{(1+i)^n}} = \frac{\Delta B}{\Delta C} \quad (4.6)$$

式中 $(\Delta B/\Delta C)$ ——增量效益费用比；

B_{jn}, C_{jn} ——第 j 方案第 n 年的效益和费用 ($n=0,1,2,\dots,t$)；

B_{kn}, C_{kn} ——第 k 方案第 n 年的效益和费用 ($n=0,1,2,\dots,t$)；

$\Delta B = \sum_{n=0}^t \frac{B_{jn}}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^t \frac{B_{kn}}{(1+i)^n}$ ——增量效益现值；

$\Delta C = \sum_{n=0}^t \frac{C_{jn}}{(1+i)^n} - \sum_{n=0}^t \frac{C_{kn}}{(1+i)^n}$ ——增量费用现值。

设 $B > 0, C > 0$ ，如 $(B/C) > 1$ ，效益现值大的方案好；如 $(B/C) < 1$ ，

< 1, 效益现值小的方案好。

4.5 费用效果分析法

在 ITS 项目经济评价中, 有很多效益是很难用货币度量的, 例如 ITS 项目实施后带来时间的节省和安全性的提高, 如何衡量时间的价值和人的生命的价值。发达国家提供了这方面的一些计量参考数据, 然而这一直是个存在许多争议的问题。对它的另一个解决方法就是不将它货币化, 是什么效益就直接用其本身的单位度量, 称之为效果 (Effectiveness)。在费用效果分析法 (Cost Effectiveness Analysis, 简称 CEA) 中, 费用是用货币单位度量的, 效果是用非货币单位度量的。

也正是这个原因, CEA 不能像 CBA 那样用于绝对经济效果的评判, 就是无法判断一个项目本身在经济上是否是可行的。因此 CEA 评价的项目都是假设它们本身是可行, CEA 只是对它们的相对经济效果进行量测和比选。CEA 的使用要满足下面的 3 个条件:

- (1) 各方案有相同的目标或目的;
- (2) 方案数在 2 个或以上, 且是互斥方案;
- (3) 方案的效果和费用的单位分别统一, 即效果采用非货币的同一计量单位, 费用都用货币衡量。

方案的比选可以根据实际情况, 基本原则是计算各方案的效果费用比 (E/C), 最大者最优, 在实际运用中又有下列 3 种方式:

- (1) 费用固定法。在各方案具有相同费用的基础上, 按效果最大的准则进行选择, 适用于项目费用被严格限定的情况。
- (2) 效果固定法。在各方案具有相同效果的基础上, 按费用最小的准则进行选择, 适用于目标要求被严格限定的情况。
- (3) 效果费用比最大法。按效果费用比最大的准则进行选择, 即单位费用获得效果最大的方案是最优方案。此方法适用于目标要求和费用允许有一定变动的情况。

4.6 数据包络分析法

前面的费用效益分析法将项目的效益和费用都货币化, 进而进行绝对经济效果和相对经济效果评价, 即使是费用效果分析法也要求将费用货币化。有时这种货币化是相当困难的, 这也是这类方法一个颇有争议的地方。在有些情况下, 并不需要衡量项目的绝对经济效果, 仅需要对它们做出相对有效性的比较。数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, 简称 DEA), 是美国著名运筹学家 A. Charnes 等人以相

对效率概念为基础发展起来的一种效率评价方法，它可以用来研究多种方案之间的有效性。DEA 有下面的特点：

(1) DEA 方法在理论上是一种线性规划的优化方法，是使用线性规划模型比较具有多输入、多输出决策单元之间的相对有效性或效益问题的多目标决策方法。

(2) DEA 方法所评价的生产前沿面可以是量纲不统一的多输入、多输出指标情形，并且可以考察出生产前沿面上不同经济发展阶段的有效性。

DEA 方法的优越性特别表现在适用于具有多输入、多输出复杂系统的相对有效性或效益评价，尤其是允许量纲不统一性，使得项目投资效益的分析评价工作，从单纯的经济效益评价扩展到经济效益和社会效益综合分析评价。但 DEA 方法只能是对同一类型的系统有效性或相对效益的好坏做出比较评价，无法做出系统本身绝对效益的评价。

评价规模有效性和技术有效性的 C^2R 模型

设有 n 个决策单元 DMU，每个 DMU 的 m 种投入和 s 种产出用向量表示为：

$$\begin{aligned} X_j &= (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T \\ Y_j &= (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}) \end{aligned}$$

其中

x_{ij} ——第 j 个 DMU 的第 i 种投入量；

y_{rj} ——第 j 个 DMU 的第 r 种产出量；

$i=1, 2, \dots, m$ ； $j=1, 2, \dots, n$ ； $r=1, 2, \dots, s$ 。

构造线性规划模型

$$(D) \begin{cases} \min \theta = V_D \\ \text{s.t.} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \quad \theta X_{j_0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \quad Y_{j_0} \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (4.7)$$

该式表示 n 个 DMU 的某种组合，使得其产出在不低于第 j_0 个 DMU 的产出的投入尽可能减小。其中

λ_j —— n 个 DMU 的某种组合权重， $(j=1, 2, \dots, n)$ ；

$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_j$ ， $\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j$ ——按这种权重组合的虚构 DMU 的投入和产出向量；

X_{j_0} ， Y_{j_0} ——所评价的第 j_0 个 DMU 的投入和产出向量。

引入松弛变量，(4.7) 式成为

$$(D) \left\{ \begin{array}{l} \min \theta = V_D \\ \text{s.t.} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j + S^- = \theta X_{j_0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j - S^+ = Y_{j_0} \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ S^+ \geq 0, S^- \geq 0 \end{array} \right. \quad (4.8)$$

其中

$S^- = (s_1^-, s_2^-, \dots, s_m^-)^T$, $S^+ = (s_1^+, s_2^+, \dots, s_s^+)^T$ 为松弛变量。

这个模型在求解中还会有一些困难，实际上应用的是具有非阿基米德无穷小 ε 的 C^2R 模型。

$$(D_\varepsilon) \left\{ \begin{array}{l} \min[\theta - \varepsilon(\hat{E}^T S^- + E^T S^+)] = V_D \\ \text{s.t.} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j + S^- = \theta X_{j_0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j - S^+ = Y_{j_0} \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ S^+ \geq 0, S^- \geq 0 \end{array} \right. \quad (4.9)$$

其中 $\hat{E} = (1, \dots, 1)_{1 \times m}^T$, $E = (1, \dots, 1)_{1 \times s}^T$

有下面的定理：

设 ε 为非阿基米德无穷小，模型 (D_ε) 的最优解为

$$\lambda^*, S^{-*}, S^{+*}, \theta^*$$

(1) 若 $\theta^* = 1$ ，则第 j_0 个DMU为弱DEA有效。

(2) 若 $\theta^* < 1$ ，且 $S^{-*} = 0, S^{+*} = 0$ 则第 j_0 个DMU为DEA有效。

模型 (D_ε) 的求解需要用到单纯形法。

如果某个DMU是DEA有效的(C_2R)，意味着它同时满足技术有效和规模有效。

4.7 本章小结

费用效益分析法将项目的费用和效益都折算成货币，因此可以进行项目的绝对经济效果评价和相对经济效果评价，并且提供了若干具有实际经济意义的指标。可以说，费用效益分析法是一种直观的、易于理解的评价方法，而且费用效益分析法大量地被用于公用事业项目的评价，就目前为止，它也是在ITS项目经济评价中用的最多的一种评价方法。然而，这一方法目前本身也还存在很多问题，将项目的费

用和效益货币化就是它的软肋，而有些费用和效益很难甚至无法货币化。ITS 通过现代的通讯手段将丰富的出行信息提供给出行者，使出行者能够进行出行前和途中的出行计划，降低驾车和乘车的紧张和焦虑，提高安全性。例如利用公交电子站牌告知出行者下一趟车何时到达，与其说能够提高公交系统的运营效率，不如说它更多地是给广大乘客营造一个舒适的乘车环境，它的效益更多地体现为难以用货币衡量的心理方面的舒适度的改善。如何将 ITS 的费用和效益科学的量化，成为费用效益分析法面临的主要问题。

DEA 方法并不将其费用和效益都货币化，而是进行相对有效性分析，也正是这个原因，DEA 无法进行方案的绝对经济效果评价，而只能进行相对有效性评价。DEA 方法适用于具有多输入、多输出的复杂系统，而且允许量纲的不统一性，此外，DEA 方法中定义的技术有效和规模有效具有明确的经济含义。它的缺点是需要解线性规划方程组，虽然这可以用软件来进行，但毕竟还不如费用效益分析法那样易于被工程人员接受。

由于实际工作中，ITS 项目是各不相同的，选用何种经济评价方法也要依具体情况而定。如果既要作绝对经济效果评价，又要作相对经济效果评价，就必须选用费用效益分析法。而且如果能够转化为货币形式的影响越多，费用效益分析法计算的计算结果也将越精确。

第 5 章 ITS 项目的社会和环境评价

5.1 社会和环境评价的内容

社会和环境评价就是从宏观的角度，分析项目对社会生活和环境所产生的影响以及带来各种直接的、间接的效益。评价包括以下六方面的内容：

(1) ITS 项目的社会和环境影响评价

包括对社会政治、安全、人口、文化教育等方面的影响。例如：就业效益、公平分配效益等。

(2) ITS 项目的社会经济方面影响的评价

主要是从宏观角度分析项目对国家、地区（省、市）经济的影响，例如：ITS 项目的技术进步效益；ITS 项目节约时间的效益；ITS 项目促进地区经济的发展；ITS 项目促进部门经济的发展；ITS 项目促进国民经济的发展（改善国民经济结构、布局等）。

(3) ITS 项目的社会适应性分析

考虑 ITS 项目与国家、地方（省、市）发展协调的问题，如 ITS 项目是否适应国家、地方（省、市）发展的重点，ITS 项目在技术上的可接受性，对弱势人群的考虑。

(4) ITS 项目的公平性分析

公平原则在发展研究中已经被视为社会发展的一项主要目标，同时在国际社会中也视为建设项目评价的一个重要指标。在 ITS 项目的规划和实施中，我们认为应该根据 ITS 的发展情况和我国的国情，在宏观和微观两个层面上考虑公平原则。在宏观层面上，公平原则可作为项目立项阶段社会评价的一项重要指标。在微观层面上，将在以下两个角度上考虑到公平问题，首先，项目实施使某些人得到利益时将不损害其他任何人的利益，如果对他人的利益造成损害，必须对其进行补偿；其次，项目的实施不会加剧项目地区现有的人们之间的各种不平等现象，包括经济、政治、社会、自然的不平等。为了实现公平，评价专家还应分析实现公平的手段，提出一定的建设性意见。

(5) ITS 项目的参与问题

在 ITS 项目的立项、准备及实施阶段，各利益集团包括国家、项目所在地政府、

投资方、用户、其他相关人群的积极参与，可以改进项目的实施，获得各界的合作和支持，加强人们对项目的了解和所有感，帮助处于不利条件下的全体等。影响参与的因素有很多，大致可以分为社会文化因素、政治因素、人的因素等几类。

(6) ITS 项目的可持续发展

成立于 1983 年的世界环境与发展委员会在 1987 年发表的报告《我们共同的未来》认为可持续发展是既能满足当前的需要，又不危及下一代满足其需要的能力。这份报告系统地阐述了可持续发展的战略，并作为一个完整的概念被国际社会和各国政府所接受和传播。1992 年，在巴西通过的《关于环境与发展的里约热内卢宣言》中，对可持续发展确定的原则是：应以与自然相和谐的方式，在根除贫穷的条件下，使人人享有健康而富有的生活权利，把环境保护工作作为发展进程的整体的组成部分，满足今世与后代在发展与环境方面的需要。同时通过的纲领性文件《21 世纪议程》将可持续发展作为各国发展战略的基本规范。对于 ITS 项目，可持续性也应作为社会评价的一项内容，分析项目效果的可持续性。

5.2 社会和环境评价的指标

5.2.1 直接效益评价指标

ITS 项目对社会及环境的影响基本上可以分为直接社会环境效益和间接社会环境效益两类。直接社会环境效益是指通过 ITS 项目给交通运输系统和城市环境带来的实际成果和利益，主要是从交通环境改善后交通参与者个体的角度来衡量的经济效益和直接的环境的改善。其具体表现为降低行车成本、减少出行时间、延长车辆使用寿命、提高路网通行能力、减少空气污染、降低交通噪声等方面。

(1) 降低行车成本

行车成本主要包括两大部分，即：与行车距离有关的燃料消耗、发动机润滑油消耗、轮胎消耗、维修费用、按距离提取的折旧费；与时间有关的、以时间为基础的折旧及其他费用。在行车成本构成中，燃料消耗是最主要的构成因素。而影响燃料消耗主要因素为车辆的行车速度与车速的变化频率。例如不停车收费系统的建设，避免了车辆在收费处的停止和启动，车辆的速度变化频率将会减少。因此，建设 ITS 项目会降低行车成本。

(2) 减少出行时间

建设 ITS 项目，可以改善道路交通环境，减少交通参与者的出行时间。

(3) 提高车辆利用效率

道路交通系统改善以后，由于车辆的运行速度提高，使得完成同样车公里数所耗用的车小时数减少。所节约的车小时数可视为一种储备，用于满足未来的运输需求。这样就可以节约相当数量的车辆购置费及运营费，也就是节约与时间有关的车辆运营成本，提高了车辆利用效率。

(4) 延长车辆使用寿命

统计资料表明，车辆在低速行驶、频繁的起步、停车和速度变化阶段对车辆的磨损最为严重。因此，在 ITS 项目实施后，当交通环境改善后，可以减少行驶车辆的停车次数，提高车辆的行驶速度，同时会减缓车辆磨损程度，从而延长了车辆的使用寿命。

(5) 提高路网通行能力

在实施 ITS 项目后，可以有效提高车辆在收费处的行车速度，减少车辆行车延误，提高受控区域的道路服务水平，进而提高现有路网的通行能力。

(6) 减少交通事故造成的车辆和人身体的损失和伤害

在实施 ITS 项目后，车辆的行驶更加安全，同时对交通参与者的交通行为的监管力度将得到加强，可以减少交通参与者的违章行为，进而有效降低交通事故发生率。同时，ITS 也会提高对交通事故处理和援助能力，减少因事故造成的直接损失和间接损失。

(7) 减少交通对能源的需求

由于 ITS 能够避免车辆在收费处的频繁停车和启动，使单车的能源消耗减少，也使交通出行整体对能源的需求减少，为社会节约能源资源。

(8) 减少尾气污染，提高空气质量

道路交通对大气的污染主要是由汽车尾气排放造成的，这些尾气污染物主要有二氧化碳 CO、氮氧化物 NO_x、碳氢化合物 HC、空气悬浮物 TSP 等。汽车尾气的排放与车况密切相关，在车况近似的前提下，与行车速度和行驶时间相关。实施 ITS 后，由于行车速度提高，行驶时间减少，会降低因汽车造成的空气污染，进而减少对污染治理所需要的费用。

(9) 降低车辆行驶的噪声，减轻噪声污染

据环境监测部门调查，汽车启动、制动时产生的噪音比平时正常行驶时高出 7 倍，由汽车所产生的交通噪声占城市环境噪声的 70%，交通噪音已成为城市噪音的主要来源。实施 ITS 后，可以明显减少车辆的速度变化频率和停车次数，进而降低因汽车造成的噪声污染。

(10) 节省土地资源

智能交通系统使现有道路的实际通行能力得到充分发挥，路网的利用率提高，相对减少路网规划中新建、扩建的道路的数量，从而节省修建道路所占用的土地

资源。

(11) 减少危险品运输可能造成的灾害风险

通过对运输危险品的特殊车辆进行管理和各种自动、安全驾驶技术的应用，可以减少危险品运输车辆交通事故的发生，控制违反危险品运输规定的行为，减少运输途中发生爆炸、燃烧、污染等事故的可能性，降低了由此所造成的对道路及周边地区空气、土壤、水资源的恶性污染，使危险品的运输更加安全可靠。

5.2.2 间接效益评价指标

间接社会和环境效益是从社会经济系统的角度，考察通过 ITS 项目改善交通环境，对促进城市建设和发展，促进经济繁荣等方面所产生的效益。它一方面包括一些间接的经济效益，如有力地带动相关信息产业的发展，从而间接地促进了城市的经济发展。

另一方面，社会、环境效益更重要的是包括了许多无形效益。所谓无形效益是指由于道路交通环境的改善而给社会带来的无法用经济尺度来计量，或者虽可计量，但所得结果常常误差相当大的效益。这些指标大多是一些定性指标，如增强科技管理意识、改善出行结构、提高城市功能，提高交通参与者的守法意识等。

(1) 满足交通参与者的出行需求，提高生活质量

ITS 项目实施，改善了道路交通环境，缓解了交通运输的拥挤程度，人们出行更加方便，更加容易满足了人们出行的要求。ITS 项目满足交通参与者的出行需求主要从以下几个方面考虑：ITS 可以提高交通参与者出行的舒适性，ITS 的实施必然会使交通环境得到改善，行车速度提高、停车延误减少、车辆及道路的硬件水平和交通服务质量不断提高，使得出行更加舒适；ITS 可以提高交通参与者出行的安全性，还可以从心理上提高人们对交通出行的安全性和可靠性的认识。

(2) 提高国民素质

ITS 促进各学科高水平人才的培养。它是交通管理、系统工程、自动化、计算机、通讯等多项先进技术的综合集成，无论前期的研究、开发、设计、实施，还是后期的运行、维护，都会对上述领域提出大量的不同层次的人才和人员需要，促进各层次上人才的培养。

ITS 促进交通参与者守法意识的提高。ITS 项目实施后，对交通参与者的交通行为的监控力度将得到加强，监控手段进一步完善，对参与者的错误、违法行为的约束力不断加大，促使参与者的各种行为更加规范，使得参与者的守法

的观念得到加强。另外，交通状况的改善更能使交通参与者自觉地遵守交通法规，自觉维持交通秩序，从而提高了其作为交通参与者的守法意识。

提高人们对高新技术认知水平。通过使用各类 ITS 产品，接受 ITS 提供的各类服务，不断提高交通参与者应用 ITS 的技能和水平，进而提高对高新技术的认知水平和接受能力。

（3）提高交通管理服务水平

改善、加强交通管理的服务意识。交通管理的智能化是 ITS 的重要组成部分，随着 ITS 项目的实施，交通管理现代化的水平必然会显著提高。ITS 对交通管理的影响不仅在于提高其现代化水平，更主要的是将促进交通管理从目前单纯的被动管理型向主动管理服务型转变。

提高管理人员素质。ITS 运用各种先进技术解决交通问题，它的建立，必然提高交通管理人员运用先进理论、技术和方法，解决复杂交通问题的能力和水平；先进设备的使用也必然会提高交通执法和监督水平的科技含量，从而提高交通执法管理的执法水平和准确性，使各类执法行为更加规范；对于管理者的个体，通过应用 ITS，提高了自己运用先进的技术装备的能力。

（4）推动相关产业经济的发展

ITS 作为一个新兴的产业，以通讯、信息技术、计算机等相关产业为依托，ITS 的发展也离不开相关产业的参与，可以为这些行业或企业带来直接的经济效益。同时，ITS 的建立一定带来周边地区交通环境的整体改善，对该地区经济的全面发展起到一定的推动和促进作用。

（5）促进科学技术进步

ITS 是现代高新技术在交通领域的集成和应用，不仅使交通领域的现代化水平不断提高，同时也要求相关产业为 ITS 提供更先进的技术、产品和更高水平的服务，从而促进相关产业技术、服务的提高，密切了各产业之间的联系，进而改善产业结构，推动全社会的科技进步。

（6）影响社会的就业水平

ITS 的建立会造成劳动力在不同行业之间的重新分配，影响社会的就业水平。一方面，可能会增加相关领域中从事与相关 ITS 的产品的生产，提供技术、信息服务的行业和企业的就业机会；另一方面，可能会减少对直接参与交通运营和管理的人员需求，减少就业机会。

5.2.3 社会和环境评价指标体系

综合以上直接和间接效益两方面的评价指标，形成如图 5.1 所示的评价指标体系：

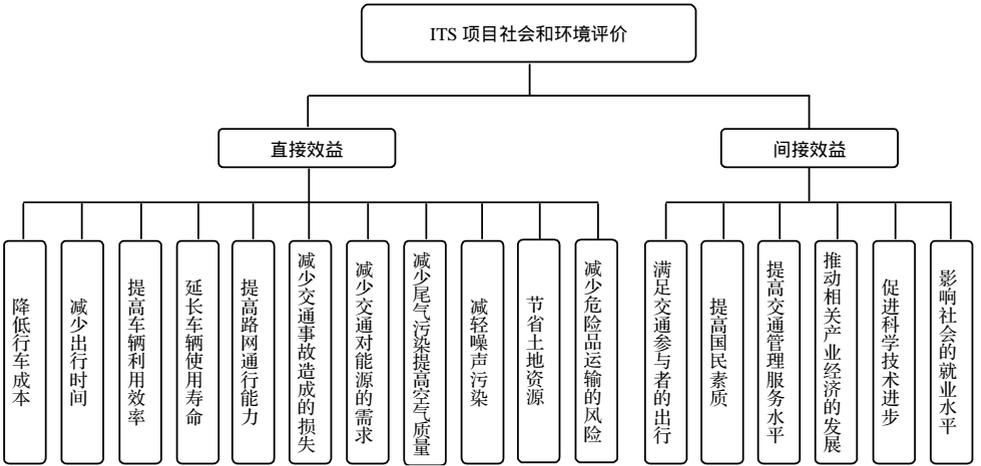


图 5.1 ITS 项目的社会和环境的评价指标体系

5.3 社会和环境评价方法

ITS 项目社会和环境评价中有部分指标很难量化，这是由于这些评价指标具有模糊性，这种情况可以采用基于 AHP 的模糊综合评价来进行评价。与常规模糊综合评价不同的是，这里用层次分析法（AHP）确定因素的权重，克服以往直接指定权重带来的主观随意性，从而使模糊综合评价更具有客观性。

5.3.1 单因素模糊综合评价

设评价对象的因素集为 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

评价集 $V = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$

建立一个因素集 U 到评价集 V 的模糊映射 f ，由 f 确定一个表示模糊关系的矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ ：

$$f : x_i \rightarrow f(x_i) = r_{i1}|y_1 + r_{i2}|y_2 + \dots + r_{im}|y_m \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

r_{ij} 表示因素 x_i 对评价集元素 y_j 隶属程度，称 R 为单因素评价矩阵，也即隶属关系矩阵。

对主观或定性指标而言，矩阵 R 的确定采用基于模糊统计试验为基础的等级比重法，就是要人们从若干因素对某一事物属于哪个等级作出判断，然后把从某因素将该事物评判为某等级的人数在全部评判人数中的比重作为 r_{ij} ，就得到了隶属关系矩阵。

对客观或定量指标，矩阵 R 的确定有 2 种方法：

(1) 隶属函数法：就是根据专业知识和样本资料分布情况， r_{ij} 从已知的各种隶属函数中选取一个合适的公式并确定其中的参数，代入数据后求得。

(2) 频率法：划分指标值在不同等级的变化区间，以指标值的历史资料在各等级变化区间出现的频率作为 r_{ij} 。

有 U 的模糊子集 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ ，满足 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ ， a_i 表示第 i 个因素 x_i 在综合评价中的作用，即权重，将 A 称为综合评价的权重向量。对于给定的权重 A ，综合评价就是因素集 U 到评价集 V 的一个模糊变换，综合评价也是评价集 V 的一个模糊集合。

$$T_f : A \rightarrow B = T_f(A) = A \bullet R$$

5.3.2 多层次模糊综合评价

将因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 中的因素（如图 5.2 中子准则层中的指标），按某些共性集中为 s 个子集 $U_j = \{u_{j1}, u_{j2}, \dots, u_{jn}\}$ ($j = 1, 2, \dots, s$) (相当于图 5.2 中的 B_1, B_2, B_3)，使得

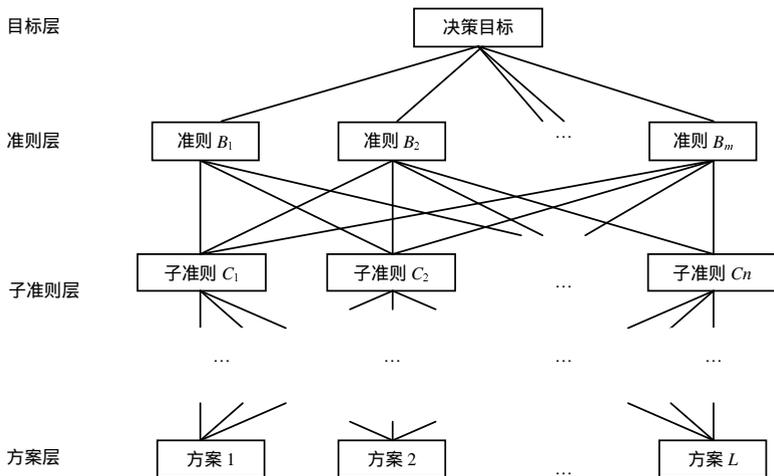


图 5.2 层次结构示意图

$$\bigcup_{i=1}^k U_i = U, \text{ 且 } U_i \cap U_j = \emptyset \quad (i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, s)$$

评价集为 $V = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$

对于每一个 U_j 进行单因素评价得出单因素评价矩阵 R_j ; 前面的层次分析法得到的 U_j 中各因素的权重

$$A_j = (a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jn})$$

满足 $\sum_{k=1}^n a_{jk} = 1$, 所以 U_j 的综合评价为

$$B_j = A_j \bullet R_j = (b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jm})$$

将 U_j 视为一个单独元素, 用 B_j 作为 U_j 的单因素评价, 得到因素集 $\{U_1, U_2, \dots, U_s\}$ 的单因素评价矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{s1} & \cdots & b_{sm} \end{bmatrix}$$

前面的层次分析法得到的 U_j 在 U 中的重要程度的权重

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_s)$$

得到综合评价

$$B = A \bullet R$$

以上得到二级综合评价模型, 按照同样程序还可以建立三级、四级和多级综合评价模型, 统称为多层次评价模型。

得到 $B = A \bullet R = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 后, 为得到综合评价的结论, 首先将 b_1, b_2, \dots, b_m 归一化:

$$B' = \left[\frac{b_1}{\sum_{j=1}^m b_j}, \dots, \frac{b_m}{\sum_{j=1}^m b_j} \right] = (b'_1, b'_2, \dots, b'_m)$$

这时有下面 3 种方法:

(1) 最大隶属度法

若 $b'_k = \max(b'_1, b'_2, \dots, b'_m)$, 就判定对此事物的评价为 y_k , 但如果有两个或两

个以上的分量相等时,该方法失效。

(2) 加权平均法

若评价集 $V = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ 中的各元素均可量化时,将 b'_j 看成 y_j 的权重,用 $f(y_j)$ 表示 y_j 的量化值,则 $y = \sum_{j=1}^m b'_j f(y_j)$ 就是综合评价的结论。

(3) 模糊分布法

就是把 $B' = (b'_1, b'_2, \dots, b'_m)$ 作为对此事物综合评判的结果,这种结果具体反映了此事物对于各评价等级隶属度的分布状况,使人们对此事物的等级有一个全面的了解。

5.3.3 广义模糊算子的综合评价模型

综合评价 $B = A \bullet R = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 中的模糊算子可以根据实际情况采用不同的类型,形成不同的综合评价模型。选用哪一种算子需要由具体的 ITS 项目评价问题的性质决定。

不同的模糊算子也决定现实应用问题的性质。

1. 主因素决定型模型:模糊算子采用扎德算子“ ”和“ ”,记作 $M(,)$, $a \bullet b$ 表示 $\max\{a, b\}$, $a \circ b$ 表示 $\min\{a, b\}$,这种算子仅考虑了主要因素,会丢失一些重要信息。

2. 主因素突出型模型:模糊算子采用“实数乘法”与“取大”运算,记作 $M(\bullet, \oplus)$

$$b_j = \bigoplus_{i=1}^n (a_i \bullet r_{ij}) = (a_1 \bullet r_{1j}) \oplus (a_2 \bullet r_{2j}) \oplus \dots \oplus (a_n \bullet r_{nj}) \quad (j=1,2,\dots,m)$$

3. 加权平均型模型:模糊算子采用“实数乘法”与“有界和”运算,记作 $M(\bullet, \oplus)$ 。它可以适当兼顾各因素,并保留单因素评判的全部信息。

$$b_j = \bigoplus_{i=1}^n (a_i \bullet r_{ij}) = (a_1 \bullet r_{1j}) \oplus (a_2 \bullet r_{2j}) \oplus \dots \oplus (a_n \bullet r_{nj}) \quad (j=1,2,\dots,m)$$

$a \oplus b$ 表示 $\min\{a+b, 1\}$ 。

另一种形式是 $M(\bullet, +)$, 有

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_i b_{ij}$$

5.4 本章小结

社会和环境评价是从宏观的角度，分析项目对社会生活和环境所产生的影响以及带来各种直接的、间接的效益，归纳给出这些效益方面的指标。由于部分评价指标具有的模糊性，本文提议采用模糊综合评价来进行评价。与常规模糊综合评价不同的是，这里采用层次分析法（AHP）确定因素的权重，从而使评价更具有客观性。

第 6 章 评价数据的现场采集技术

6.1 现场数据采集技术概述

现场数据采集是指在项目实施或运营的现场来收集评价指标的数据，在很多情况下，实施 ITS 所采用的监视和传感系统可以为 ITS 项目评价提供丰富的数据。在第 3 章技术评价部分的论述中，评价指标中列出了与系统本身具有的性能相关的评价指标和与系统运行性能相关的指标，而通过现场数据采集正好能够使这些评价指标具体化并获取这些指标的数据。此外，现场数据采集还可以对评价指标体系的建立起到一个有益的反馈作用，比如与操作人员进行访谈，研究评价指标是否合适，是否还需要增加新的评价指标等。表 6.1 列举了通过交通检测和监控系统自动收集数据的数据源、主要数据元素、典型采集设备和相关的评价目的。

表 6.1 可用于 ITS 项目评价的数据元素

数据源	主要数据元素	典型采集设备	相关的评价目的
高速公路和主干道交通流检测数据	流量 速度 占有率	环形线圈检测器 视频检测器 声波检测器 雷达/超声波检测器 微波检测器 红外检测器	效率、机动性、可靠性和通行能力 能源消耗和环境污染 经济效益
电视监控数据	车辆行驶路线 排队长度 车型分类 停车次数	CCTV（交通电视监控系统） 摄像机 图像处理技术	效率、机动性、可靠性和通行能力 安全性 能源消耗和环境污染 经济效益
不停车电子收费系统数据	车型分类 车辆计数	电子收费系统设备	效率 能源消耗和环境污染 经济效益
公交系统收集数据	上下车乘客数量 出行距离	车上电子收费装置 公交调度中心软件 计算机辅助调度系统（CAD）	效率 能源消耗和环境污染 经济效益

续上表

数据源	主要数据元素	典型采集设备	相关的评价目的
事件管理记录	事件反应时间 事件原因、类型、程度和持续时间	计算机辅助调度系统 计算机管理记录 AVI, GPS	效率、机动性和可靠性 安全性
侦测车数据	出行时间 出行时间可靠度 平均速度 出行距离	侦测车读卡机和车辆标签 车载 GPS	效率、机动性和可靠性

下面以出行时间为例，说明如何在现场数据采集中收集评价指标所需要用到的数据。出行时间是一个良好的评价指标，它简单而且容易为管理者和普通出行者理解，是导出其他一些指标例如速度和延误的基础。出行时间数据收集的方式大致分为3种：

1. 流动车技术

车内调查员在预先设置的地点或以一定的时间间隔记录行驶速度、出行时间或距离。可分为手工、电子测距装置（Distance Measuring Instruments，简称DMI）和GPS3种方式。手工方式是一人开车，一人记录，显然这种方式要耗费大量的人力，而且覆盖的空间和时间有限；电子测距装置只需要一人即可，但仪器需要经常校准；GPS是利用天基的卫星来实现定位测量。

2. 牌照识别技术

在特定的地点或时间记录车辆的牌照和时刻（Time Stamp），对车辆的牌照进行识别，将同一辆车在两点的时刻相减得到出行时间。牌照识别技术也有手工和自动之分，手工方式是用手工完成牌照识别，自动方式是运用图像识别技术自动完成牌照的识别。

3. 侦测车技术

利用在路网中被动安装了设备的车辆来收集出行时间。与流动车技术不同，侦测车（Probe Vehicle）是已经在路网中，它们是为自身目的而行驶的，是被动形式存在的；而流动车是安装了设备后再到现场完成数据收集工作，是主动形式存在的。侦测车可以是私车、出租车、公交车和商用车，对它们的侦测和数据采集分为5种方式：信标自动车辆定位技术（Automatic Vehicle Location，简称AVL）、自动车辆识别技术（Automatic Vehicle Identification，简称AVI）、地基无线电导航、手机定位和GPS。

6.2 交通流信息采集技术

交通流信息采集是通过交通流检测器进行的，检测器检测道路上车流的各种参

数，检测器的种类很多，其工作原理主要有3种：

- (1) 检测能使某种开关的触点闭合的机械力；
- (2) 检测因汽车的运动或存在而引起的能量变化；
- (3) 检测摄像机影像范围内的图像变化。

其常用类型有：

- 环形线圈检测器；
- 视频检测器；
- 微波检测器；
- 红外检测器；
- 超声波检测器；
- 电子标签。

1. 环形线圈检测器

环形线圈检测器是一种基于电磁感应原理的车辆检测器，它的传感器是一个埋在路面下、通有一定工作电流的环形线圈。当车辆通过线圈或停在线圈上时，车辆引起线圈回路电感量的变化，检测出车辆的存在、车辆占有率、速度等等。

环形线圈检测系统包括埋于路面下的环形线圈、接线盒、传输电缆、信号检测处理单元等。检测车辆时，将一个或多个线圈按一定方法埋于路面下，线头接入接线盒，信号由传输电缆送入信号检测处理单元。环形线圈检测系统与控制中心的主控机通过电缆连接、通信，主控机可发送信号，设置检测器的检测周期等工作状态，并监测检测器故障；检测器则将检测数据如车流量、速度、占有率等传送至主控机。它是目前使用比较广泛、技术比较成熟的检测手段。

2. 视频检测器

视频检测器是基于计算机图像处理技术，以软件来设置虚拟的传感器取代传统的感应线圈，实时统计交通数据、显示交通图像，同时监测多个车道交通状况，还可实时获得诸如车辆速度、车辆数量、车辆类型以及车道饱和度等信息。用摄像机监测交通路段时，可监测道路占用率，交通事故，交通阻塞，车辆抛锚等情况，运用视频及图像识别技术的视频检测器，适用于大桥、高架、隧道、高速公路等半封闭或全封闭的交通设施。如图6.1所示。

3. 微波检测器

微波检测器是一种工作在微波频段的雷达检测器。它可安装在路旁的灯杆上，安装简便、安全且不影响交通，维护方便。微波检测器可广泛应用于高速公路和城市道路管理监测系统。这种微型传感器可同时探测8条车道，收集各车道的车流量、占有率数据。微波检测器的输出信号与一般常见的检测器兼容，可通过数据接口与控制系统相连，或直接替代传统的多个环形线圈检测器。

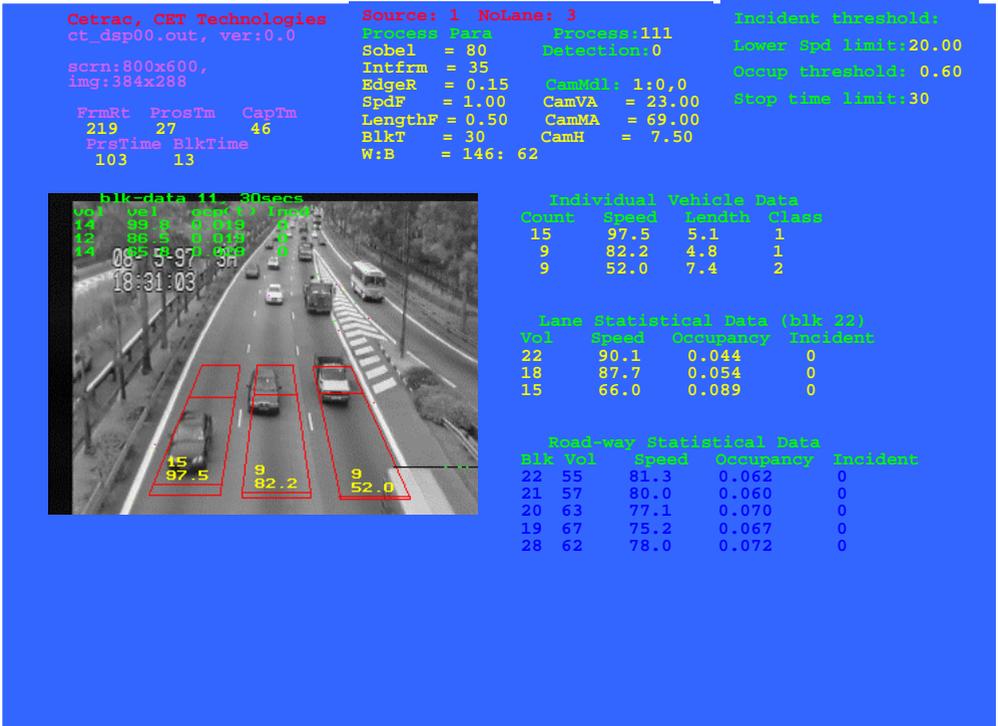


图 6.1 视频图像检测示例

微波检测器是以低功率微波信号在扇形区域内发射连续的调制微波，在表面上“画出”一道长长的投影。任何没有背景的目标都会返回给微波检测器目标的位置和所测试到的范围。

关于微波检测器测量范围，技术解决方案许可微波车流检测以 2 m 为一“层”的层面，在车辆掠过的范围内可最多构建 32 层。用户可为每一条车道定义一层或多层。微波检测器每 30 至 300 s，将一份包含每条车道上车辆的数据传输到控制中心。如图 6.2 所示。

4. 红外检测器

红外检测器一般采用反射式或阻断式检测技术。例如反射式检测探头，它包括一个红外发光管和一个接收管。无车时，接收管不受光；有车时，接收车体反射回来的红外线。其工作原理是由调制脉冲发生器产生调制脉冲，经红外探头向道路上辐射，当有车辆通过时，红外线脉冲从车体反射回来，被探头的接收管接收。经红外调制解调器解调，再通过选通、放大、整流和滤波后触发驱动器输出一个检测信号。



图 6.2 微波检测器

5. 超声波检测器

超声波检测器利用车辆形状对超声波波前的影响来实现检测。超声波检测器的探头具有发射和接收双重功能，被设置于道路的正上方或斜上方，向路面发射超声波，并接收来自车辆的反射波。

超声波检测器的工作原理可分为两种，传播时间差法和多普勒法。

(1) 传播时间差法

这是一种将超声波分割成脉冲射向路面然后接收其反射波的方法。当有车辆时，超声波会经车辆反射提前返回，检测出超前于地面反射的反射波，就表明车辆存在或通过。

(2) 多普勒法

超声波探头向空间发射超声波同时接收信号，如果有移动物体，那么接收到的反射波信号就会出现多普勒效应。利用此方法可检测正在驶近或正在远离的车辆，而不能检测处于检测范围内的静止车辆。

6. 电子标签

电子标签是一种可实现自动车辆识别的技术。所谓自动车辆识别是当车辆通过某一特殊区域时，不需驾驶员或外界进行任何操作，就能够准确快速地判别车辆身份的一种技术。

这种系统主要由三部分组成，包括一块安装在汽车挡风玻璃上、只有信用卡般大小的电子标签，一个设在路旁或道路上方的收发控制器，一台负责处理数据的计算机。所谓电子标签实际上一个无线发射或发射接收装置，可发射代表该车身份的编码形式的无线信号。这种系统一般采用微波为载波信号，车载电子标签与路旁设备之间无线地进行数据交换，因而车辆可以正常速度行驶。

对以上现行常用的交通流信息采集技术的比较如表 6.2：

表 6.2 现行常用采集技术的比较

技 术	优 点	缺 点
环形线圈检测	线圈电子放大器已标准化 技术成熟、易于掌握 计数非常精确	安装过程对可靠性和寿命影响很大 修理或安装需中断交通 影响路面寿命 易被重型车辆、路面修理等损坏
可见光视频检测	可提供事件前的可视图像 可检测车牌号 单台摄像机和处理器可检测多车道 可检测车队长度 可检测车速、车型等大量信息	摄像机架设太低时大型车辆有可能遮挡随行的小型车辆 阴影、积水反射或昼夜转换可能造成检测误差
微波多普勒检测	在恶劣气候下性能出色 直接检测速度	不能检测静止或低速行驶的车辆 以向前方式用定向天线跟踪单车道
微波真实现场检测	在恶劣气候下性能出色 可检测静止的车辆 可以侧向方式检测多车道 直接检测速度	不能检测车队长度
超声波检测	体积小，易于安装	购买和设置都比较昂贵 性能随环境温度和气流影响而降低
反射式红外线检测	最适合于照明条件一致的地方	昂贵 对环境光线和路面颜色敏感 对气候条件很敏感 由于反射率的差别不太准确
电子标签	准确性高 便于分类统计交通量 特别适合于高速公路不停车收费	读标签的系统昂贵 社会制约因素多，推广使用难度大

6.3 交通电视监控技术

交通电视监控系统（CCTV）就是由人通过屏幕上的图像监控路面道路交通运行情况，特别是重要交叉路口和交通干道与快速路等事故多发地的车流路况，以便及时了解可能发生交通意外的路面情况，及时调集警力赶赴事故现场，缩短到现场的时间和处理事故的时间，尽快疏导交通，降低事故的不良影响。由摄像机采集的交通视频图像如图 6.3 所示。

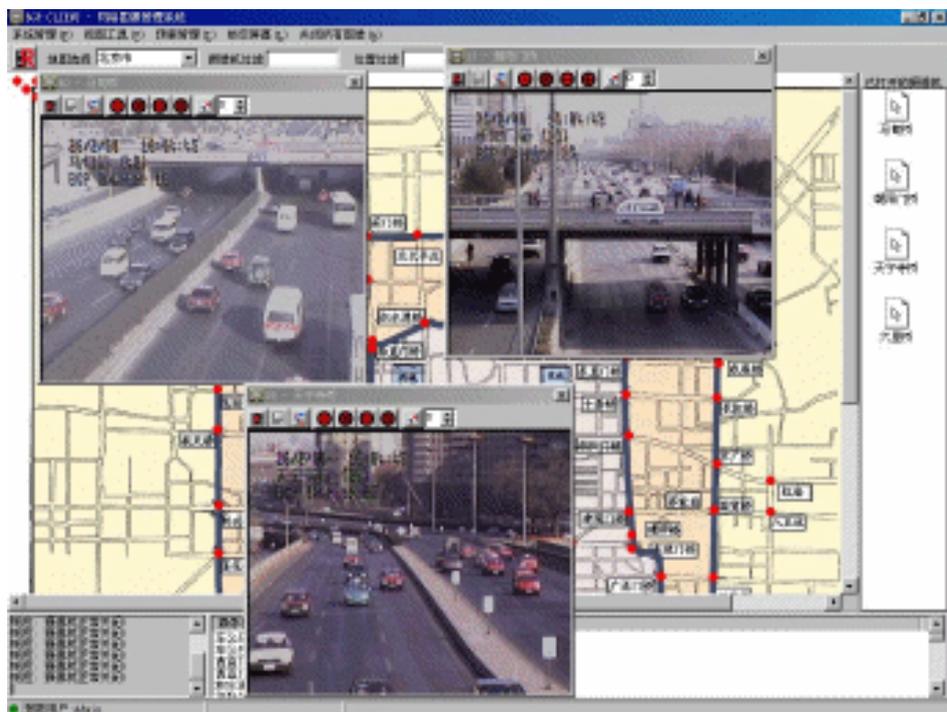


图 6.3 交通电视监控系统图像

6.3.1 模拟电视监控

前端摄像设备可由彩色或黑白的全天候型摄像机、室外全天候防护罩、室外全方位高速云台、室外解码器和避雷器组成。如果摄像机需监视的视场较大，可设置为可旋转摄像机。为了更好地完成监视功能，可对可旋转一体化摄像头中可旋转云台防护罩、摄像机和镜头分别配置，力争每一环节都达到最优。如图 6.4 所示。



图 6.4 前端一体化摄像头

传统的模拟闭路电视监控系统结构模式如图 6.5 所示。

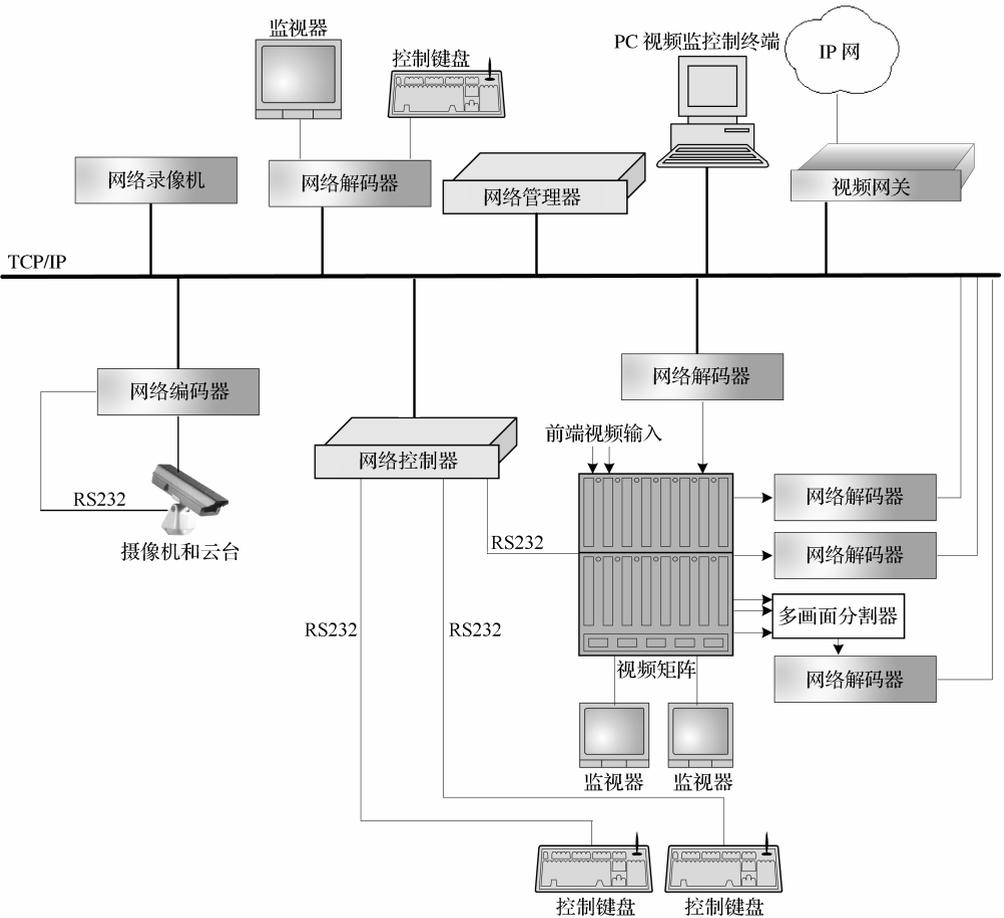


图 6.5 模拟闭路电视监控系统

传统的模拟闭路电视监控存有很大的局限性：

- ✓ 模拟视频信号经过多级传输后容易产生衰耗、畸变、群延时，并且易受干扰，使图像质量下降；
- ✓ 模拟视频信号数据的存储会耗费大量的存储介质（如录像带），查询取证时十分烦琐；
- ✓ 模拟视频信号的处理和信息发布受到极大限制。

6.3.2 数字电视监控

数字化电视监控的优点正好克服了模拟闭路电视监控的局限性：

- ✓ 数字化视频可以在计算机网络（局域网或广域网）上传输图像数据，基本上不受距离限制，信号不易受干扰，可大幅度提高图像品质和稳定性；
- ✓ 数字视频可利用计算机网络联网，网络带宽可复用，无须重复布线；
- ✓ 数字化存储成为可能，经过压缩的视频数据可存储在磁盘阵列中或保存在光盘中，查询十分简便快捷，也便于计算机进行数字图像的专业处理；
- ✓ 在 IP 技术广泛应用的今天，基于 IP 的数字化图像监控将成为图像监控技术发展的必然趋势。

数字化视频监控总的来说有两种方式：中心数字化与前端数字化。

1. 中心数字化

中心数字化是把数字化任务放置在信息中心完成。前端采取的模拟图像通过模拟线路传输到信息中心，经过视频信号的矩阵切换后传到数据编码服务器，生成比特流后传到后台的信息仓库以备后期的查询处理。在这种方式下，在中心要安装多个视频检测装置，共同由视频检测主机控制。此时视频检测的输入来自于中心的视频矩阵的切换输出。根据实际情况，操作员可把重要的图像切换到检测点的信息系统，进行交通信息采集和事件检测。中心数字化系统结构如图 6.6 所示。

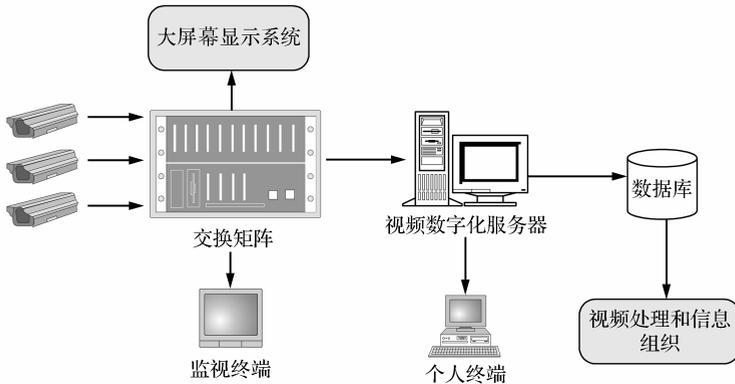


图 6.6 中心数字化系统结构示意图

2. 前端数字化

前端数字化是把图像的数字化处理前移至前端的图像采集设备处。前端的监控设备把采集到的图像通过前端的数字编解码器在本地就完成模/数转换，然后通过数字线路传到信息中心的数字服务器上，通过数字服务器进行下一步的任务分流。在这种方式下，视频检测是在现场完成。根据传输方式的不同，系统的组成也有两种方式。

前端数字化系统结构如图 6.7 所示。

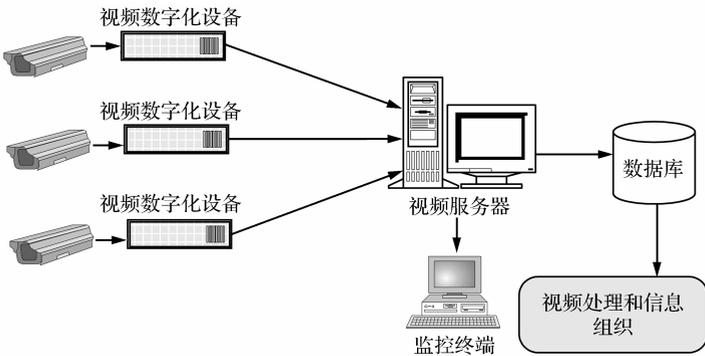


图 6.7 前端数字化系统结构示意图

6.4 其他收集数据的方式

定性评价指标的数据常常采用调查和访谈的方式收集，例如电话访谈、邮件调查、通过因特网调查、在商业中心（或路边）的个人访谈、家庭访问等，几种方式的对比如表 6.3 所示。

表 6.3 几种调查和访谈方式的对比

	电话	邮寄	家庭访问	在商业中心的访谈
信息质量	很好	很好	好	好
信息数量	有限	有限	很好	很好
样本的控制	很好	差	好	差
样本的回收率	可以	可以	可以	可以
调查的管理	很好	没有	可以	好
要求的时间	快	慢	慢	中等
费用	低	低	高	中
多功能性	可以	可以	很好	很好

6.5 本章小结

本章主要介绍了几种交通现场数据的采集方式，包括交通流信息的采集技术、交通电视监控技术以及定性指标数据的几种常用采集方式，它们均可以为 ITS 项目评价提供基础性的数据输入。

第7章 交通仿真技术

7.1 交通仿真概述

7.1.1 仿真以及交通仿真的定义

仿真(Simulation)指的是设计一种用于描述真实系统的数学或逻辑模型的程序,并在一系列系统运行准则的约束下进行实验,以此了解、解释或预测真实系统的行为表现或评价各种战略目的。仿真技术的主要优势在于,同大多数技术相比,它更加简单,运作起来不昂贵,而且更灵活,尤其方便用于对还未成形的系统或对已有系统在不真正改变其特征的情况下进行实验。不过不像传统的数学规划方法,仿真不能保证最优解。另外需要指出的是,仿真并不是对真实系统的完全复制,它只是在一定类似情况下对系统的近似描述,而且由于通常需要以伪随机理论作为仿真的基础,因此不同仿真的结果之间往往会出现一定的偏差,但多次仿真的结果仍可以为我们考察系统的行为特征提供参考,特别是当系统行为比较复杂,因而难于用数学模型描述或给出可行解的时候。

交通仿真(Traffic Simulation)就是用系统模型来复现交通流随时间、空间变化从而表征其行为特征的技术。作为对数学分析模型的有益补充,交通仿真模型可以用来进行集成和复杂的交通分析和影响评估,对于较复杂的交通系统尤为适用。交通仿真技术所具备的功能,使其在以下交通工程的应用领域得以广泛应用:

- ✓ 道路几何设计方案的评价分析;
- ✓ 交通管理系统设计方案的评价分析;
- ✓ 交通新技术和新设想的测试;
- ✓ 道路交通安全分析;
- ✓ 交通工程技术人员培训。

7.1.2 交通仿真模型的分类

依据仿真模型对交通系统描述的细节的程度,交通仿真模型可以划分为宏观(Macroscopic)、微观(Microscopic)和准微观(Mesosopic)3种交通仿真类型。

宏观仿真模型对系统实体、行为及相互作用的描述非常粗糙。例如,它采用某种集合方式来展现交通流,如交通流量、速度、密度以及它们之间的关系。宏

观模型很少涉及车流内车辆之间的相互作用，如车辆跟驰、车道变换，通常它假定交通流已被合理地分配给各个车道。

微观仿真模型非常细致地描述系统实体和它们间相互作用。例如，微观水平的车道变换不仅涉及当前车道中本车对前车的跟车定律，而且涉及目标车道的假定前车和后跟车的跟车定律，还有精细的驾驶员决策行为模拟，甚至整个车道变换的操纵过程也能被模拟出来，因而能非常灵活地反映各种道路和交通条件的影响。

微观仿真模型特别适合于在计算机上精确再现路网上的实际交通状况。这一特点也使得微观模型成为评价 ITS 影响最合适的工具。微观模型基本上由两大部分组成，一部分是路网几何形状的精确描述，包括信号灯、检测器、可变信息标示等交通设施。另外一部分是每辆车动态交通行为的精确模拟，这种模拟要考虑驾驶员的行为并根据车型加以区分，模拟中涉及对跟车、车道变换以及路径选择等模型的描述。因此，相比宏观仿真模型而言，微观交通的仿真通常需要更多的计算资源。

准微观仿真模型也能够细致地描述大多数系统实体，然而相对于微观模型而言，它对实体运动和相互作用的描述粗糙许多，例如它采用车队描述模型；对每辆车而言，车道变换则被描述成建立在相关车道实体基础上的瞬时决策事件，而非细致的车辆间相互作用。

宏观模型的重要参数是速度、密度和流量。微观模型的重要参数是每辆车的速度和位置。准微观模型则融合了微观模型和宏观模型的某些方面。由于宏观模型应用于 ITS 项目评价的功能比较有限，而计算机技术的飞速发展也使得在微机上已经能够实现微观仿真模型的运行，因此越来越多的微观交通仿真模型被开发和用于对 ITS 项目的影响进行评价。

7.1.3 微观仿真模型在 ITS 影响评价中的应用

微观仿真模型可以量化 ITS 项目带来的效益，特别是先进的出行者信息系统 (ATIS) 和先进的交通管理系统 (ATMS)，这些效益可以通过速度和出行时间等指标进行反映。用微观仿真模型量化其他的效益，如安全，环境方面的效益，则还需要一定的模型建立安全、环境效益指标与车流之间的关系。大致来说，微观仿真模型可以仿真的 ITS 领域包括有动态交通控制、事故管理方案、实时路径诱导、交叉口自适应信号控制、匝道和干线控制、收费站、车道控制 (车道使用标示、ETC、高占有率车道等) 等。一些仿真模型还能够进行设计参数的敏感性分析。当然，这并不意味着所有的模型都具有这些功能，不同的模型有不同的特色。表 7.1 显示了欧盟的 SMARTTEST 项目对 58 个微观 (准微观) 仿真模型进行研究后，得到模型对 ITS 功能的支持情况。根据 SMARTTEST 对用户发出的调查，仿真模型在两方面特别有价值，即信号控制 (自适应、协调信号、公交优先、匝道控制) 和事故与拥挤管

理（车辆探测、事故管理、可变信息标示、动态路径诱导、高速公路流量控制）。因此，城市交通控制（UTC）是微观交通仿真的主要应用领域。见表 7.1。

表 7.1 微观（准微观）仿真模型对 ITS 功能的支持

功 能	有此功能模型 占总数的百分比	功 能	有此功能模型 占总数的百分比
车辆探测	77%	自适应巡航控制	32%
自适应交通信号	74%	区域进入控制	29%
协调交通信号	68%	自动收费	29%
匝道控制	58%	拥挤收费	23%
静态路径诱导	52%	自动公路系统	19%
动态路径诱导	48%	自动车辆	19%
事故管理	45%	停车诱导	16%
车辆探测	42%	区域交通信息	10%
公交车辆优先	42%	行人和自行车的支持	10%
高速公路流量控制	39%	公共交通信息	6%
可变信息标示	35%		

注：数据来源于：SMARTTEST 项目报告。

7.2 适用于 ITS 项目评价的仿真模型评述

目前国外已经开发了许多交通仿真模型，不过，大多数仿真模型并不能完全适用于 ITS 的分析。原因是多方面的，一个重要的原因是很多交通仿真模型开发于 90 年代以前，那时 ITS 还没有像今天这样被广泛地应用，因此开发者也就没有太多的考虑 ITS 应用的问题。如果要用这些模型仿真 ITS 的话，就要对模型原有内部算法和底层结构作大量修改，其工作量是惊人的，即使这样，结果也不一定令人满意。

不适用于 ITS 项目效果分析的仿真模型的主要缺陷是：

- （1）缺乏对基于路径的动态交通的模拟；
- （2）缺乏驾驶者决策行为的模拟；
- （3）缺乏对先进信息系统环境下多种用户的模拟；
- （4）缺乏对一般化的路网（例如高速公路和城市道路）的适应能力。

在 ITS 提供的信息下，为了模拟驾驶员对实时交通信息的反映和路径的选择，

需要支持路径处理的基础数据结构（例如满足某种准则的路径选择，更新的路径出行时间等），而大多数已有模型都缺乏这种能力。而且还有一点就是，很多模型都缺乏支持不同控制策略仿真和分析的目标和数据结构。

总结起来，支持 ITS 影响评价的交通仿真模型需要满足下面的准则：

- (1) 清晰地表现路网的几何形状，包括交通设施，如信号灯、车检器等；
- (2) 清晰地表现驾驶员的行为；
- (3) 清晰地表现车辆间的相互作用，如跟车、车道变换时的相互作用；
- (4) 清晰地表现交通控制策略（定周期、自适应、匝道控制等）；
- (5) 能够模拟先进的交通管理策略，如采用 VMS 提供的路径重新选定、速度控制和车道控制等；
- (6) 提供与外部实时应用程序交互的接口；
- (7) 模拟动态车辆诱导，再现被诱导车辆和交通中心的信息交换；
- (8) 能够应用于一般化的路网，包括城市道路和高速公路；
- (9) 能够细致地仿真路网交通流的状况，例如交通需求的变化，模拟交通设施的功能；
- (10) 清晰地模拟公共交通；
- (11) 提供结果分析的工具；
- (12) 最好能提供图形化的交互界面（GUI）。

根据对目前世界上已有的近百个仿真模型的调研，我们筛选出一些比较适合进行 ITS 实施效果分析的模型进行评述。从总体上看，这些模型可以分为两大类：商业化模型和研究类模型。其中前者已经成为比较成熟的产品，在世界各地已有较广泛的应用，并且提供良好的技术支持、完备的使用文档和培训，如 PARAMICS，AIMSUN2，INTEGRATION，CORSIM，VISSIM，FLEXYT II，HUTSIM，CONTRAM，DRACULA 等模型；而后者一般是由某大学或研究机构为研究目的开发出的模型，也主要集中用于某一类问题的研究当中，其例子包括 MITSIM，DYNASMART，TRANSIMS，THOREAU，FREEVU，FlowSIM，MICROSIM，MELROSE，MICSTRAN/TRAS-TSC 等，下面我们按分类对上述模型进行简单评述，需要指出的一点是，基于微观交通仿真模型在 ITS 项目评价中的优势和主要地位，以下介绍的模型主要都为微观或准微观模型。

7.2.1 商业化仿真模型

1. PARAMICS

PARAMICS (PARAllel MICROscopic Simulator) 是英国 Quadstone 公司的产品。它从 1992 年开始开发，自 1996 年发布了第一个商用版本以来，已经在微观仿真市

场占有重要地位。PARAMICS 实时动态的三维可视化用户界面,对单一车辆进行微观处理的能力,多用户并行计算支持,以及功能强大的应用程序接口,使得它从发行伊始就在交通仿真软件市场上拥有重要反响。2003 年最新发布版本为 V4.1 版。

由于采用了并行计算技术,PARAMICS 仿真路网规模可以达到 100 万个节点,400 万个路段和 32 000 个区域。PARAMICS 在仿真 ITS 基础设施和拥挤道路网方面都有突出表现,它能仿真交通信号、匝道控制、可变情报板、车内信息顾问和路径诱导等各类管理和控制措施,用户还可以通过一定的 API 函数来添加这些措施的算法或定义其他一些特殊的控制策略。它也能够从 SATURN、NESA、TRIPS 等交通规划软件中读取有关路网节点和路段的信息。

作为一个专门化的交通仿真工具,PARAMICS 具有如下的特点:

(1) 强大的可视化功能,能在三维空间中精确刻画交通路网中的各主要元素,如道路、车辆、停车场等。在传统仿真模型中,用户需要估计路段的通行时间和交通容量作为基本输入,但在 PARAMICS 中,用户只需要定义路段长度、路口位置、车站位置以及信号控制信息等物理特征,系统会自动计算所需参数;

(2) 交互式的路网生成和编辑,交互式的信号控制以及仿真参数设定,这些通过简单的弹出式菜单就可以完成;

(3) 功能强大的应用程序接口,通过一定的 API 函数来添加各种管理和控制措施的算法或定义其他一些特殊的控制策略,从而实现对其的仿真;

(4) 高性能的软件技术提升系统功能,提供高精度的仿真结果可以实现对现实交通路网的动态模拟。

目前 PARAMICS 已在全世界许多国家与交通相关的政府部门和研究机构中得到使用,广泛用于交通规划、管理和决策以及项目咨询等各个环节。

2. AIMSUN2

AIMSUN2 (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks) 是西班牙 TSS (Transport Simulation Systems) 公司开发的产品,后来被集成到 GETRAM 软件包中,在这一软件包中,同时还包括图形路网编辑器 (TEDI) 和储存路网信息的数据库,因此有时也被称作为 GERTAM/AIMSUN2。2003 年最新发布的 V4.1 版本中,还添加了同 GIS、EMME/2、TRANSYT/10 和 SCATS 的接口,其中借助同 SCATS 的接口可以实现与 SCATS 的并行仿真。

AIMSUN2 可以用于包括高速公路和干道路网在内的城市道路交通仿真。每一辆车在仿真中都根据跟车理论、车道变换理论和车头间隔理论等驾驶行为准则予以详细描述。正是基于对路网中每一辆车的详细描述,AIMSUN2 可以仿真得到检测器的计数、占有率以及速度等信息,它同时提供对交通系统中的其他元素如信号灯、交通事故、干道入口以及交织冲突等的仿真。为了实现对 ITS 子系统的仿真,近来

AIMSUN2 还开发了一些扩展功能,包括:(1)自适应交通信号控制、交通管理系统和事故管理系统的仿真;(2)车辆导航、燃油消耗和排放的仿真;(3)公交车辆调度和控制系统的仿真。此外,GERTAM/AIMSUN2 也提供外部程序接口 GETRAM Extensions,与 GETRAM 进行通讯从而在仿真运行时调用 AIMSUN2 的内部数据,来影响仿真的过程。接口可以用来开发外部的各种控制程序或者调用仿真产生的各类数据,为各种评价服务。外部程序将以动态链接库(DLL)的形式被调用,与 AIMSUN2 之间进行通讯。

AIMSUN2 的特点包括:

(1)能够用于各种不同的路网:城市网络、高速公路、一般公路、交通干线或者混合情况;

(2)提供了两种不同方式的仿真:一种是基于输入交通流和转弯比例的,一种是基于 OD 和路径选择模型的。前者,车辆随机地分布于路网,后者,车辆在 OD 之间被分配了特定的路径;

(3)能够模拟不同的交通控制:有信号交叉口、无信号交叉口(让路或停车)、匝道控制;

(4)可以模拟 VMS 上显示的消息对交通行为的影响;

(5)提供细致的统计输出:流量、速度、出行时间等,还有环境影响,例如燃油消耗和污染排放;

(6)提供仿真的三维图形显示。

GETRAM/AIMSUN2 已经经历了 10 年的发展,并应用于工程项目,它可以很方便地用于各种交通规划和管理控制方案的评价。

3. INTEGRATION

INTEGRATION 于 20 世纪 80 年代中期由加拿大的 M. Van Aerde 教授开发,后成为商业软件,目前仍在不断发展,由 Queen's University 交通系统研究小组和 M. Van Aerde 咨询公司共同开发维护。

INTEGRATION 混合使用了单车和宏观的交通流理论,因而被认为是准微观模型。从微观上它可以在 1/12 的间隔内描述每一车辆的纵向及侧向运动,当中跟车模型的算法采用的是运动学模型,单车的速度是基于自由流、通行能力以及拥挤时的宏观交通流参数。INTEGRATION 能使沿路段的交通流密度连续变化,因此可以模拟车队的消散。它使用 5 种驾驶员类型来模拟实时交通条件下的行为。模型能在路网上以 1/12s 的水平内,再现跟车、变换车道、可接受车间距等行为,还可以利用动态 OD 进行高速公路、合流、分流、交织、瓶颈的分析。模型仿真路网的最大节点数为 10 000,最大路段数为 10 000,同时仿真车辆数最大为 150 000。

INTEGRATION 仿真的直接输出就是单个车辆移动和信号设置的实时模拟,并

且以图形界面在路网上显示出来。图形界面还允许就单个车辆或路段的状态进行查询。每次仿真时一系列的统计指标,包括旅行时间、距离、停车次数,排队长度,燃油消耗以及尾气排放等都被记录在案,以方便进行后续的进一步处理。

INTEGRATION 所提供详细的驾驶员(或车辆)行为模拟,能够用来评价路径诱导系统的有效性,匝道控制和信号控制策略的影响,事故的模拟等,而且就目前看来其在区域走廊带有实时路径诱导系统以及高速公路匝道控制改变交通流模式的场景评价中保持有一定优势地位。在该模型可以用于交通控制、路径诱导、分配、可变信息显示等的评价中,用户也可以修改模型参数。不过模型有一些弱点,包括不能进行多路径的分配,不能引入外部控制措施进行评价以及用户无法改变驾驶行为等。

4. CORSIM

CORSIM (CORridor microscopic SIMulation) 由美国联邦公路署(FHWA)开发,它综合了两个微观仿真模型,即用于城市的 NETSIM 和用于高速公路的 FRESIM,因此 CORSIM 能够同时仿真城市街道和高速公路的交通流。最近,作为微观交通仿真的组件,CORSIM 与其余 3 个组件(TRAFVU、TSHELL、TRAFED)一起被组合到了微观交通仿真 TSI 软件当中。TSI/CORSIM 软件由美国 ITT 公司负责维护,最新发布版本为 V5.1 版。

CORSIM 的目标主要是交通系统管理的开发和评价。它是一个能够真实再现动态交通的随机交通仿真模型,有先进的跟车模型和车道变化模型,以一秒为间隔模拟车辆的运动。它提供了很多指标来量化交通网的性能。CORSIM 提供动画显示以便于用户观察仿真结果。1997 年, FHWA 还发行了一个加强版,大大增强了对 ITS 的仿真功能,称为 TrEPGS (Traffic Estimation, Prediction, and Guidance System),主要增强了对高速公路、干线、交叉口、各种车型(小汽车、公交车、货车)控制策略的模拟。CORSIM 主要的缺点是缺少分配算法,使得评价匝道控制、事故、出行者信息引起的交通量转移难于进行。

CORSIM 被研究人员和交通工作者广泛接受和应用的原因,除了其相对较低的价格因素外,还由于其具有如下特点:

(1) 能模拟复杂几何条件。CORSIM 对路网的各组成部分编码灵活,能够仿真真实世界中各种复杂的路网几何形状,包括不同类型的城市道路平交、(互通式)立交、渠化道设置、高速公路多车道路段、不同类型出入口匝道等。

(2) 能模拟不同交通现象。CORSIM 通过标定,能够在很大程度上模拟真实世界的各种交通现象,如交通需求的变化、拥挤或阻塞的交通现象、交通事故的产生、车队在交叉口处的排队、起动和消散。在模拟过饱和交通流现象时,CORSIM 比传统的经验分析方法有着独特的优势。在交通需求接近道路通行能力时,如在实际应

用中采用《公路通行能力手册》所述的传统的分析方法就有严重的限制,而 CORSIM 能够预测出拥挤现象的发展和消散过程。

(3) 能模拟不同的交通控制、管理和操作。CORSIM 能够模拟不同的交通控制设施,如城市平面交叉路口的红绿灯控制、信号灯定时和实时的相位变化。另外还能模拟高速公路匝道检测器和 HOV(高占用率车辆)的运行,以及公交车辆的运行方式等。

(4) 能说明路网不同组成部分之间的相互作用。CORSIM 能够模拟由城市道路、高速公路主干道、匝道组成的完整的路网系统。CORSIM 能够仿真一种集成风格的路网交通流,这使得 CORSIM 能模拟溢出等情况,如对由于交通阻塞使得匝道与城市道路相互之间的排队溢出就能够进行有效地模拟。

(5) 模拟时变交通和控制情况。CORSIM 采用 Record Types (RTs) 形式组织数据的输入,如道路拓扑结构、交通流量和车辆类型、监视和检测设施、交通控制、工程标准、运算控制、输出形式等。根据这些数据,经运算后 CORSIM 仿真一周期的路网的交通情形。这些输入数据不仅可以因路网中节点间的变化进行相应地调整,而且能够根据需要随时间改变。用户可以通过连续的周期来表示仿真分析的时变部分。在各个周期中,CORSIM 允许有不同的交通需求、不同的交通运转方式和控制。

(6) 备有与外部控制逻辑和程序的接口。通过特殊的设计的 TSI 界面,CORSIM 能够与外部控制逻辑和程序进行数据和信息的交流互换。这种互换功能的一个典型程序如下:

- ✓ CORSIM 在动画模拟器中使车辆在路网移动;
- ✓ 经过特殊的接口,车辆运动的信息(如速度、位置等)能够送出至外接控制程序;
- ✓ 基于送来的信息,外接程序做出控制决策;
- ✓ 控制决策能通过接口返回至 CORSIM,这种控制决策立即又会影响车辆的运行,通过接口双向数据互换是实时进行的,这独特的接口特征使得 CORSIM 应用于 ITS 技术打开了方便之门,如在评价 RT-TRACS(交通实时自适应系统)试验模型和匝道检测器研究(FHWA 基金资助的项目)中都得到了成功应用。

5. VISSIM

VISSIM(在德语中为城镇内交通仿真的意思)是德国 PTV 公司的产品,它是一个离散的、随机的、以 $10^{-1}s$ 为时间步长的微观仿真模型。车辆的纵向运动采用了心理-生理跟车模型,横向运动(车道变换)采用了基于规则(Rule-based)的算法。不同驾驶员行为的模拟分为保守型和冒进型。VISSIM 提供了图形化的界面,用 2D 和 3D 动画向用户直观显示车辆运动,运用动态交通分配进行路径选择。2003 年 2 月最新发布 V3.70 版。

VISSIM 能够模拟许多城市内和城市间的交通状况，特别适合模拟各种城市交通控制系统，主要应用有：(1) 由车辆激发 (Vehicle-actuated) 的信号控制的设计、检验、评价；(2) 公交优先方案的通行能力分析和检验；(3) 收费设施的分析；(4) 匝道控制运营分析；(5) 路径诱导和可变信息标志的影响分析等。VISSIM 也能对自行车和行人的运动进行模拟。

VISSIM 是世界上少有的几个同时综合了城市道路和高速公路、常规交通和公交等一系列交通情形的一个微观仿真模型，它甚至可以加入对轨道交通的仿真。它也因此仿真先进公交系统和公交优先措施方面获得了很多青睐。

总体上说来，VISSIM 具有以下特点：

(1) 路网编辑易于实现：它可以在诸如交叉口布置示意图或区域航拍图片等背景图的基础上完成路网编辑。当中提供一系列路网元素（如速度决定单元、信号控制单元、路权优先规则）和随机单元（如速度分布、加速度函数、跟车行为准则）。此外，它还提供了与 PTV 公司的交通规划软件 VISUM 的接口，可以方便地导入路网结构以及 OD 出行矩阵等。VISSIM 还可以从别的一些工具软件，如 CROSSIG and SITRAFFIC P2 (Siemens 公司产品) 中导入路网结构以及定时交通信号控制方案等。

(2) 全面的车辆驾驶行为模型：VISSIM 采用科学的跟车模型，以 10^{-1} s 为时间步长描述城市道路和高速公路上的交通状况，所采用的车道变换模型考虑了多种实际的汇流情形。用户可以自行定义和加入车辆类型，同一车型的驾驶行为则分为保守型和冒进型。模型可以同时并行描述路网中的多类用户，如行人区域、公交专用线、高占有率车道以及货车的禁行等。

(3) 城市和区域交通控制：VISSIM 中对于非信号控制交叉口可以用详细的优先权准则描述；对于信号控制，则包括有定时控制、车辆自适应控制，用户也可以通过 VAP 语言，一种类似 C 的交通控制语言来自行定义信号控制的类型。用户还可以运用 VAP 来加入对一些 ITS 和区域交通控制措施的描述，如动态速度控制和路径导航等。

(4) 对仿真结果的全面分析以及有效展示：VISSIM 能就多项的统计指标，如流量、平均速度、旅行时间、延误、排队长度和停车次数等，给出用户指定需要的输出。借助 Mobile 5a 和其余车辆排放模型，系统也提供排放的计算结果。通过将不同的交通场景打印输出显示，以及用 2D 和 3D 动画直观显示车辆在路网中的运动，VISSIM 也能对非专业人员给予很好的展示。

6. FLEXYT II

FLEXYT II 是荷兰的微观交通仿真软件，它是基于事件的模型，能够预测交通控制策略的影响和进行方案比较。其主要用途是用于分析多个动态交通管理

措施的效果，包括交通信号设置、匝道控制、路网结构设置、收费站设置、特殊车道设置（如公交专用道、货车车道和高占有率车道）以及其他控制措施。软件由荷兰交通与公共事业部下辖的 AVV 交通研究中心开发维护，其最新发布版本为 V3.0。

在 FLEXSYT II 基于事件的模型中，只计算车辆、检测器和信号灯状态的变换。模型可以描述 8 种不同类型的移动体，包括小汽车、小货车、大货车、公交车、电车、自行车、行人和高占有率车辆。车辆以随机方式在路网中移动，路网被分割成多个路段，每个路段均含有其独特属性。车辆在彼此和环境的影响下发生反应，完成加速和减速操作。交通控制采用一种专门的交通控制编辑语言——FLEXCOL-76 进行模拟，从理论上说，该种语言可以用于任何一种交通控制措施的模拟。模型的缺点是目前还只能用于小规模路网，并且没有加入交通分配的算法，用户需指定每一交叉口上依时间变化的 OD 出行。

目前，FLEXSYT II 主要为荷兰和英国数量不多的用户所使用。

7. HUTSIM

HUTSIM 是由芬兰 Helsinki 技术大学交通工程实验室开发的仿真软件。模型开发源于 1989 年，到 1993 年发布了第一个商用版本。起初它是特别为信号控制模拟而开发的，它可以与实际的信号控制装置相连，从而对具体控制措施进行测试和评价。近来 HUTSIM 的应用范围扩大到了城市交通的仿真，因此还可以用于对城市交通布局、新控制系统的开发以及各种信息系统应用的评估。软件由芬兰 TRAFICON 公司负责发行，目前最新版本仍为 1996 年秋发布的 V4.2 版。

HUTSIM 的基本功能是将实际的信号控制装置接入仿真器中，以测试和评估不同的控制策略。但后期 HUTSIM 也加入了自行开发的控制策略，如协调定时控制、车辆激发控制以及模糊信号控制等。HUTSIM 采用的是面向目标的模型，因此它可以灵活构建各种不同的交叉口和交通环境。只需从各种不同种类的目标对象中用鼠标点击加入各种所需的对象，并且定义各对象间的连接和属性，这样完整配置的文件就可以用于仿真。

HUTSIM 基于规则的车辆动态特性描述提供了一个广泛用于各种交通状况的统一的驾驶行为模型。每辆车和其他物体均单独处理，其状态每秒钟内更新 2~20 次，这要取决于网络的规模，仿真车辆的最大数目也主要受电脑处理速度的限制。

HUTSIM 允许多种的输入和输出文件格式。输入文件可以用于在仿真时改变交通状况，或调入各种事件到仿真中。输出文件包括一个固定格式的报告，里面包括交通流和信号控制的结果，以及对每一事故详细描述的文件。HUTSIM 也提供关于仿真的详细动画演示。图 7.1 反映了 HUTSIM 中各种文件输入输出的情况。

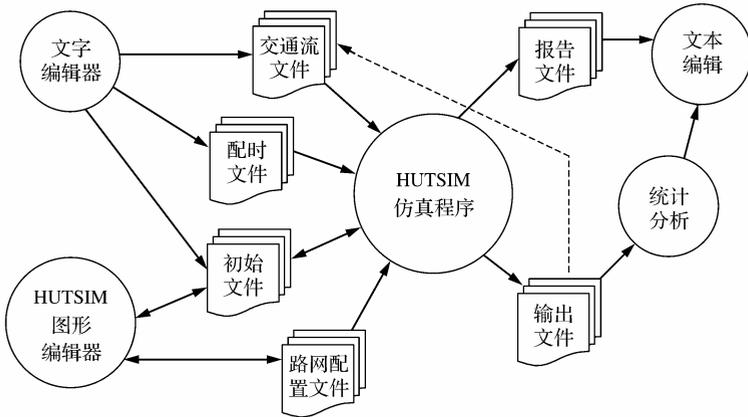


图 7.1 HUTSIM 中文件输入输出示意图

HUTSIM 采用了由各种交通分析器、视频检测和检测车辆收集的大量实测数据进行校准，因此其可靠性较高。它在北欧国家的芬兰、瑞典、丹麦、挪威得到普遍应用，在英国和美国也有少量的应用。它的缺点是路径分配算法中没有考虑动态路径诱导，另外对于建立大规模路网的仿真需要很长时间，路网交通负荷很重的情况下对计算资源要求也很高。

8. CONTRAM

CONTRAM (CONTinuous TRaffic Assignment Model) 最早是由英国交通研究实验室 (TRL) 在十九世纪七十年代末开发的仿真模型，后面经过 TRL 和 Mott MacDonald 公司连续不断地开发和维护，到目前为止，已经发布 8 个版本，目前最新发布版本为 V8.1，该版本中加入了动态 OD 矩阵估计和对 ITS 设施的建模。它同时提供单一集成模型及图形软件包。

CONTRAM 很适合用于大范围内和长时间的拥挤仿真，而且可以考虑复杂的交通行为以及一些措施诸如路径诱导等的效果。模型的核心是一个动态交通分配模型，可以随时间预测交通路线、路段流量、交叉口的排队和延误等，因此可以精确描述随时间变化的路网条件。在 ITS 应用的仿真方面，它可以详细描述信号配时的交叉口，包括相位延迟，反向转变以及多信号计划等，而在 CONTRAM8 中则还添加了驾驶员对交通事故反应、可变信息板等的考虑。通过 SATURN-CONTRAM 接口，可以在 SATURN 和 CONTRAM 两个软件间转换路网和出行矩阵。

CONTRAM 适用于不同的使用需求。如位于 Anaheim 的加州大学 Irvine 分校用作交通分配的工具，而加州大学 Berkeley 分校则用其对洛杉矶 Santa Monica 高速公路进行交通仿真。它在英国和北欧国家得到较普遍应用。

9 . DRACULA

DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning and micro-simulation) 是有英国利兹大学交通研究中心开发的都市交通仿真模型,其目的是提供一个描述城市交通路网每日高峰时段车流变化的工具,从而测试路网模型的一些基本功能,并评估一些实时的交通策略和复杂的交通行为,它也可以评估交通措施在油耗以及排放方面的影响。

DRACULA 中包括了一个模拟车辆在某一日期特定路网供给条件下在路网上移动的微观仿真模型,模型采用 C 语言编写。它是一个基于时间步骤的模型,以 1s 的独立间隔考察车辆的变化。路网条件随时间改变,受天气、照明等全局因素以及交通事故等局部因素影响。车辆独个进行描述,其在路网中的运动受跟车模型,车道变换模型以及路上的交通规章所支配。公交以专用车道表现,车站和公交港湾亦被描述在内。交通信号根据交通状况采用定时或自适应控制方案,还可为公交提供优先信号。

DRACULA 提供的是一个全新的模型思路,它从一开始就认定不同日期和驾驶员之间的差异会带来不同结果,因此在模型中考虑了这一点。同现有的大多数模型相比,DRACULA 中的需求模型和供给模型都是基于微观仿真,并且随日期不断变化。模型也连接到一个污染模型,从而根据车辆每秒内的运动,可以计算出其能耗和排放。它与 SATURN 之间也有直接接口,因此可以利用 SATURN 的路网和路径分配结果;但信号控制部分与别的控制软件间则还没有实现接口。

7.2.2 研究类仿真模型

1 . MITSIM

由麻省理工学院 (MIT) 的杨齐博士等开发,它是 MIT 开发的 MITSIMLab (Simulation Laboratory) 的核心部件, SIMLAB 用来评价动态交通管理系统。MITSIM 用于交通管理策略的评价和检验,包括动态交通控制和事故管理方案、实时路径诱导、自适应交叉口信号控制、匝道和主线控制、车道控制(例如车道使用标示、可变信息标示、ETC、高占有率车道等)。它也能对设计参数作敏感性分析和评价,如车道数、匝道长度、道路曲率和坡度、车道变化规则。

MITSIM 以车道细节水平描述路网,单个车辆的移动根据跟车模型、车道变换模型及对交通信号反应的逻辑予以描述。在路径导引系统提供实时道路交通信息的情况下,系统采用概率型路径选择模型捕捉驾驶员路径的决策行为。因此它可以用于构造评价交通管理系统的测试基地。

在研究应用方面, Masroor Hasan 采用 MITSIMLab 对匝道控制的两种控制算法——本地控制算法 (ALINEA) 和区域协调控制算法 (FLOW) 进行了评价和对

比；David Cuneo 等人采用 MITSIM 模型对波士顿中央通道/隧道的动态交通管理系统进行评价，该系统综合了高速公路控制和路径分流，采用了包括车道控制、可变速度控制、路径分流以及匝道控制等技术。Wilco Burghout 根据斯得哥尔摩的交通流特征对 MITSIM 模型进行标定后，用其对斯得哥尔摩的一些 ITS 措施进行了规划和评价，这些措施包括自动事故管理、公交优先措施以及动态路径和速度信息显示等，这一做法已被斯得哥尔摩市房产与交通管理局采用。目前 MIT 还正在和马来西亚科技大学合作进行一项研究，将 MITSIMLab 用于设计和评价吉隆坡的 ITS 实施计划及一条主线上的电子收费系统。

2. DYNASMART

DYNASMART (Dynamic Network Assignment simulation Model for Advanced Road Telematics) 是由美国的 Hani Mahmassani 教授在得克萨斯大学交通研究中心与其同事研制的准微观仿真模型。它既是分配模型也是用于 ITS 的仿真模型。在模型中，交通流根据连续性平衡方程以及修正的 Greenshields 速度 - 密度关系方程实现仿真，模型可用来仿真交通信号控制、匝道控制和交通事故等。

它目前的版本 DYNASMART-X 是一个实时的满足先进交通管理信息系统 (ATMIS) 需要的决策支持系统，DYNASMART-X 综合了先进的网络算法和出行者行为模型。它提供：(1) 路网交通条件的可靠预测；(2) 针对各种交通控制措施和信息发布策略的路网交通流的近期和中期预测；(3) 基于仿真的动态交通分配 (DTA) 系统；(4) 在不同的应用水平上将 ATMS 和 ATIS 完全集成化；(5) 与不同 ITS 框架 (集中式或分布式) 的兼容性。

DYNASMART 曾经用来研究美国得克萨斯州 Austin 和加利福尼亚州 Anaheim 的核心路网。

3. TRANSIMS

TRANSIMS (TRansportation ANalysis SIMulation System) 由美国洛斯阿拉莫斯国家实验室研制。它主要用于交通规划、不同交通基础设施建设的评价 (例如增加车道)、公交系统的建设以及 ITS 的建设等。TRANSIMS 是一套软件，例如它包括综合人口和出行活动生成的模块、方式选择、车辆诱导、分析等。它的计算速度很快，采用并行技术，在双工作站上，能够实时计算 100 000 辆车，在超级计算机上能够实时计算 5×10^6 辆车，能够进行区域级 (10^7 人口以上) 的交通分析。

TRANSIMS 模型集成了对人口和行为发生的描述，它可以用来描述某个城市区域，包括区域内人口、他们的活动和交通设施。通过模拟每个人每秒间隔内在路网中的移动，包括使用各种车辆的情况，从而描画出该区域内人们出行和驾驶行为的真实图景。从车辆互相作用的动态交通变化结果，模型可以估计出区域内车辆的排放，并判断整个交通系统的状况。

TRANSIMS 中采用的是简单的跟车和车道变换模型，它们基于细胞自主技术，空间间隔率受一定限制。信号控制交叉口只能采用固定信号计划，非信号交叉口则采用间隔理论描述。车道变换取决于车辆在路段末端需位于正确的车道之上。模型没有引入任何控制策略和算法。同样，车辆的路径分配取决于另一规划模块中所计算得到的路径计划，不过这一路径计划同时会基于微观仿真得到的路段旅行时间结果。

由于 TRANSIMS 中清晰地描述了区域内每个出行者的场所、路线、出行方式及其出行计划的执行情况，它可以用来评估某一交通方案，并确定区域内人们因交通改变而受到的影响，包括正面和负面的影响。因此，该模型适于用于区域水平内的交通规划和分析，而不是细到如单个交叉口的改造和设计。

4. THOREAU

THOREAU (Traffic and Highway Objects for REsearch, Analysis, and Understanding) 是由美国 Mitretek 公司开发的，用于量化 ITS 的效益，主要是 ATMS 和 ATIS，如各种自适应的交通控制算法和基于交通检测报告的路径诱导以及高速公路分流措施等。它主要供美国 FHWA 中的 ITS 项目联合计划办公室使用。

THOREAU 是一个面向对象的仿真程序，采用 MODSIM II.5 语言编写。每个信号装置、检测器和车辆都是一个有其事件表的对象。为保证运行速度和模块化，在 THOREAU 中采用了微观和准微观交通仿真两种方法，这两种方法统一于 THOREAU 模型中，最后都为得到单个车辆、路段、节点和出行的统计结果。微观仿真中根据车辆的当前位置、速度、驾驶员类型、最大加速/减速率和可利用车头时距来决定车辆在给定车道中的移动，也包括车辆的转向、车道变换以及多向河流等操作；而在准微观仿真中，车辆则根据速度 - 流量 - 密度关系方程从一个路段移动到相邻的下一个路段，从而在节点和路段格点处清楚地描述车辆的相互关系。

THOREAU 的创新之处在于它使用了路权判断准则、车辆避让事故行为以及跟车逻辑的模型，并且融入各种信号控制和路径诱导算法，因此可以方便地应用于对这些算法的评价。但它没有考虑公交和高占有率车道的情况。

5. FREEVU

FREEVU (FREeway Evaluation with Visual Understanding) 模型是由加拿大滑铁卢大学在两年期间 (1988 ~ 1990) 为评估卡车在高速公路车流中的影响而开发的，它和美国 FHWA 最早开发的 INTRAS 模型都是基于同一个跟车模型，INTRAS 后来发展成为 CORSIM 中核心模型之一的 FRESIM。不过，FREEVU 只能用于高速公路的模拟，包括出入匝道、纵向线形、车道数、车辆运营参数特征以及驾驶行为。

FREEVU 模型可以说是 INTRAS 模型的扩展和延伸。它在跟车逻辑中加入了避撞准则，并详细描述了强制性和自由方式的车道变换。在自由方式的车道变换中，

还包括了多种驾驶员决策行为模型。由于模型的初衷是评价考察卡车在车流中的影响，因此对车辆的运营特征也有详细的描述，用户还可以定义车流中各种运营特征车辆的组成。仿真有友好的数据输入界面，可以以图形方式展示车辆在交通流中的情况。但模型没有考虑任何的控制策略。

FREEVU 模型跟车模型的标定和校验结合了 INTRAS 模型的开发，其车道变换逻辑和车辆运营特征的描述则根据美国和加拿大等地的实测数据进行了验证。

6. FlowSIM

英国南安普敦大学吴建平等开发的 FLOWSIM 交通流仿真模型主要基于模糊逻辑和模糊集对驾驶员行为（包括车辆跟驰和车道变换行为）的描述，从模型的检验效果来看，它可以很好的近似实际的交通流系统，并且在很多情况下表现出比一般确定性模型（包括 Gipps、MISSION、GHR 模型）更好的模拟性能。这一模型的直接应用是用于高速公路队列行驶（Convoy Driving）的效果评价，评价结果显示，队列行驶极大地提高了高速公路车流的稳定性和通行能力。

7. MICROSIM

MICROSIM 是由德国科隆大学并行计算中心开发的仿真模型，用于对交通方案进行高速的微观交通仿真。它基于细胞自主模型，车辆按泊松分布或统一分布到达。它能详细地描述信号配时交叉口，以及带有让路标志的无信号交叉口。其他特征则包括可以描述路径计划、最大速度和加速度限制及其统计上的变动。模型采用了一系列交叉口和路段上车辆行为的复制数据进行校验。它的可以用来进行路线旅行时间估计、评估路网交通负荷下的反应，而且正尝试用于车辆的在线路径诱导。

8. MELROSE

MELROSE (Mitsubishi Electric Road traffic Simulation Environment) 是由日本 Mitsubishi 电气公司 Yukio Goto 等人开发的，模型的目的作为 ITS 规划的评价工具。它可以仿真城市道路和高速公路上的交通流，对整个交通系统的表现进行评估。

MELROSE 采用离散时间仿真展现车辆的运动。车辆的行为描述包括：跟驰前车、观察信号和反应、直行、转向、变换车道、等待、合流/分流等。车辆的模型包括一个决策模型和一个移动模型。在决策模型中，根据驾驶员的行为特征和外部因素决定车辆的加速、停车、车道变换等，驾驶员的行为特征采用从实际交通流模式中选取的一系列参数表征；在车辆移动模型中，车辆根据驾驶员的决策和车辆特征决定车辆的位置、速度和加速度。当时间间隔足够短时，就能够真实准确地模拟车辆的运行。虽然 MELROSE 最早是为了城市道路交通控制系统设计，但由于其仿真模型采用了面向对象的编程风格，以便于将其扩展并应用到各种 ITS 的措施。

9. MICSTRAN/TRAS-TSC

MICSTRAN (MICROscopic Simulator model for TRAffic Networks) 是日本国家治安管理科学研究中心所使用的四个交通仿真模型之一,其他几个是关于宏观仿真以及动态交通分配方面的模型,而 MICSTRAN 专用于大范围城市交通路网的微观仿真,1996 年它又发展成为新的仿真器 TRAS-TSC (TRAffic flow Simulator for evaluating Traffic Signal Control),用于一些交通管理策略如交通规则和交通信号控制措施实际实施前的评价。

MICSTRAN 能够详细描述单个车辆的行为,不过只涉及驾驶员的车道选择特征,而不涉及其路径选择行为,路径选择须在 MICSTRAN 运行之前由另一个模块 DYTAM 完成后导入。对于车道选择,模型会在驾驶员产生车道变换的时候和地点从周围的处境判断车道变换是否可能。车辆还可以只是暂时的变换车道,如果此时驾驶员又产生回到初始车道的想法,则车道变换将不被执行。

除了以上介绍的模型外,还有其他的一些研究模型,如法国的 ANATOLL (主要用于模拟电子收费)、AUTOBAHN (高速公路模拟)、CASIMIR (交通信号控制模拟)、SITRA-B+ (综合模拟);荷兰的 MIXIC (高速公路模拟)、FOSIM;意大利都灵的 NEMIS (综合模拟);德国杜伊斯堡的 OLSIM (高速公路模拟)、柏林的 SIMNET (高速公路模拟);英国诺丁汉的 PADSIM (高速公路模拟)、纽卡斯尔的 SIGSIM (信号控制模拟);美国的 PHAROS (信号控制模拟)、德克萨斯的 TEXSIM (信号控制模拟)、WATSIM (综合模拟)、WEAVSIM (综合模拟)等,有兴趣的读者可以自行参考有关的文献和网址。

以上介绍的都是国外模型的有关情况。在国内,目前采用交通流仿真模型对交通系统的规划方案或交通管理和控制措施的实施进行评价的研究相对还比较少。这主要是因为一方面我国对这类项目的评价仍沿用传统交通项目的评价方法,另一方面国内自主开发的成熟微观交通仿真模型还很少,应用也还很有限。

段进宇博士开发了名为 MicroSim 的高速道路微观交通仿真系统,并对系统中的车辆生成模型和车辆一般行驶模型进行了阐述,这两类模型构成了 MicroSim 系统完整的交通模型;作者还着重讨论了应用 MicroSim 来评价高速道路入口匝道范围交通流运行的影响因素,对高速道路匝道入口控制技术进行了探讨;用 MicroSim 仿真高速道路一般路段得到交通流的基本关系图式,这项工作的主要用途是用于评估自动道路系统 (AHS) 相关技术对通行能力和交通安全的影响。

天津大学的马寿峰等采用复合概率、模糊逻辑等方法建立了描述交通流中不确定性因素、车辆到达、路段行驶以及通过路口的微观仿真模型,并利用面向对象方法设计了一种基于这些模型的通用城市道路交通流微观仿真系统,可以比较真实地再现车辆在路网中的行驶过程。

同济大学的杨晓光教授在系统分析城市快速道路交通流特征的基础上,运用流体与离散型模型结合的方法,构筑了一个集进出口匝道通行能力和进出快速道路交通流影响要素以及快速道路网上的交通状态变化于一体的动态仿真模型,并介绍了这一城市高速道路交通流仿真模型在交通规划、交通设计以及交通控制与管理中的简单应用情况。

在微观交通仿真模型的应用上,北京工业大学的荣建等通过分析高速公路基本路段交通流特性及其通行能力的影响因素,提出了高速公路基本路段仿真模型的总体框架,并利用实测数据对仿真模型进行了标定和验证,最后通过一系列的仿真试验,求出了理想条件下高速公路基本路段的通行能力。

7.3 适用于 ITS 项目评价的仿真软件介绍

经过详细调研和以上的简单评述,我们挑选出几个成熟的商业模型和软件并将给予较详细的介绍,就现阶段而言,它们比较适合于作 ITS 项目的影响评价。我们将重点介绍以下 4 个软件,即 PARAMICS、AIMSUN2、CORSIM、VISSIM。

7.3.1 PARAMICS

PARAMICS 由 5 个主要工具模块组成,分别是建模工具 (Modeller)、处理工具 (Processor)、分析工具 (Analyser)、编程工具 (Programmer) 和监视工具 (Monitor),在 V4 以后的版本中还新近增加了 OD 反估工具 (Estimator)。其中建模工具是整个系统的核心部分。以下对各部分作一简介。

1. 建模工具 Modeller

建模工具 Modeller 是整个系统的核心,提供建立交通路网,三维交通仿真和统计数据输出等三大功能。所有这些功能均支持直观的图形用户界面。建模工具的功能涵盖了实际交通路网的各个方面,包括:混合的城市路网和高速路路网,高级交通信号控制,环形路网,左行和右行系统,公共交通,停车场,事故以及重型车和高容量车车道。因此,建模工具既可以细致模拟单个车辆在复杂、拥挤的交通路网中的运行,又能对整体交通状况进行宏观把握。如图 7.2 所示。

2. 处理工具 Processor

处理工具 Processor 允许用户用批处理的方式进行仿真计算,并得到统计数据输出。处理工具提供图形用户界面以设定仿真参数、选择输出数据和改变车辆特征。用批处理的方式进行仿真计算不显示仿真过程中车辆的位置和路网,因此大大加快了仿真的速度。处理工具输出的仿真结果与建模工具输出的结果是相同的,但是需要的运算时间较少。如图 7.3 所示。

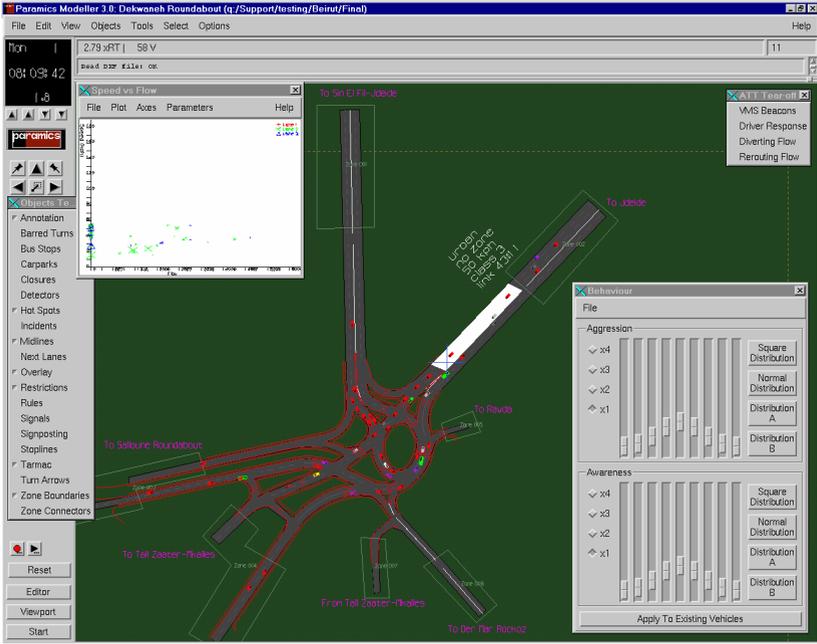


图 7.2 PARAMICS 的建模工具 Modeller

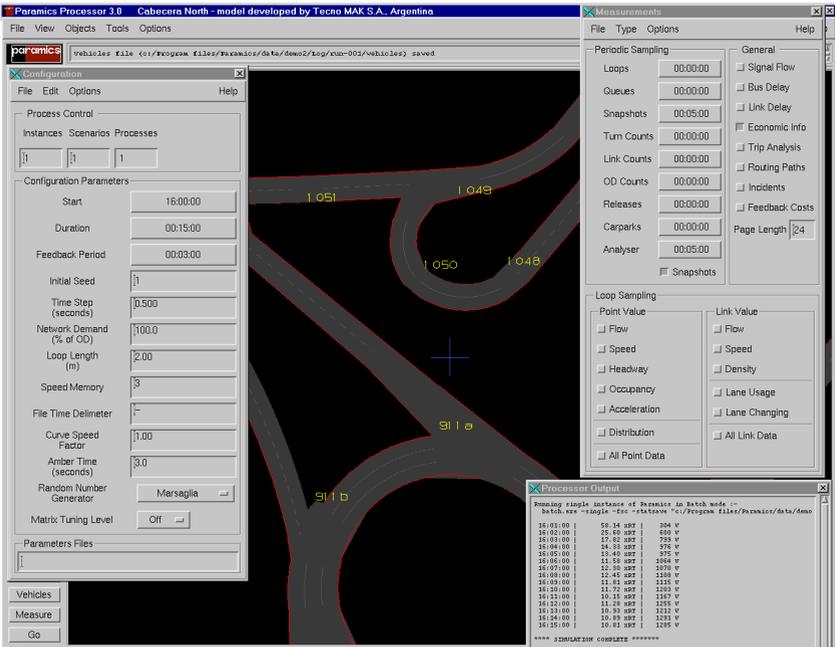


图 7.3 PARAMICS 的处理工具 Processor

3. 分析工具 Analyser

分析工具 Analyser 用于显示由建模工具或处理工具输出的仿真过程的统计结果。它提供灵活易用的图形用户界面将仿真过程中的各种结果进行可视化的输出，例如车辆行驶路线，路段交通流量，最大车队长度，交通密度、速度和延迟，以及服务水平参数等。除了可视化输出，分析工具也提供直接的数字输出或者将数据存为文本文件以备进一步的应用。另外，分析工具还包括了一个专门的 Excel 向导用于过滤大量的数据并直接输出不同仿真过程的比较结果和统计指标。如图 7.4 所示。

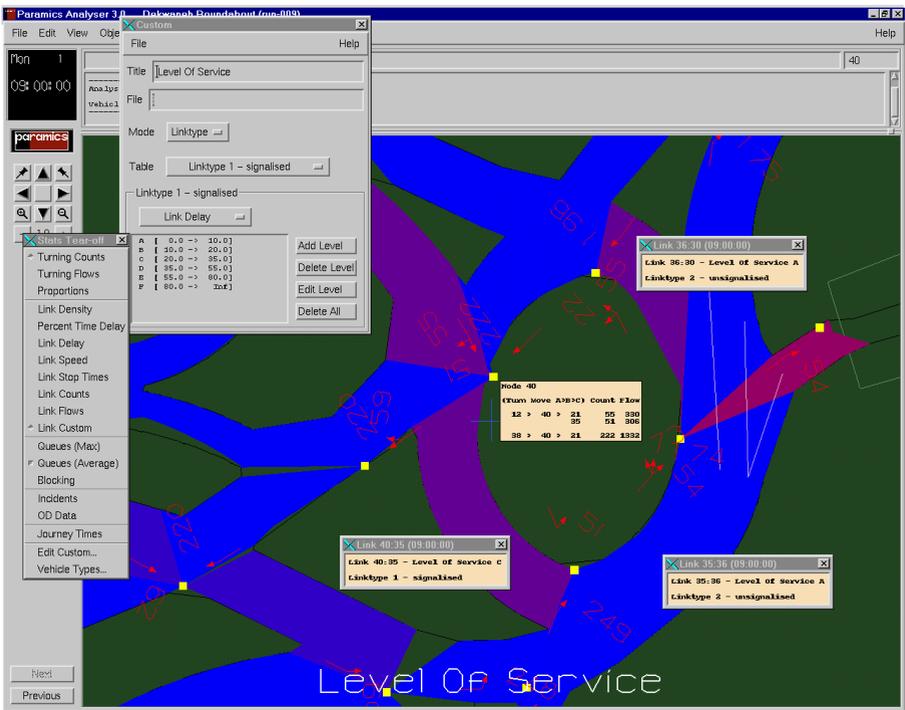


图 7.4 PARAMICS 的分析工具 Analyser

4. 编程工具 Programmer

编程工具 Programmer 为用户提供了基于 C++ 的应用程序接口 (API)。应用程序接口使 PARAMICS 具备更强的可移植性和扩充性。例如，PARAMICS 实际上基于英国的驾驶规则和车辆特性，当用于其他国家和地区时，需要用户编制适当的 API 程序使之适应当地需要。用户也可以利用 API 扩充 PARAMICS 的功能，通过加入 API 程序模块以设计和测试特殊的交通控制和管理策略。如图 7.5 所示。

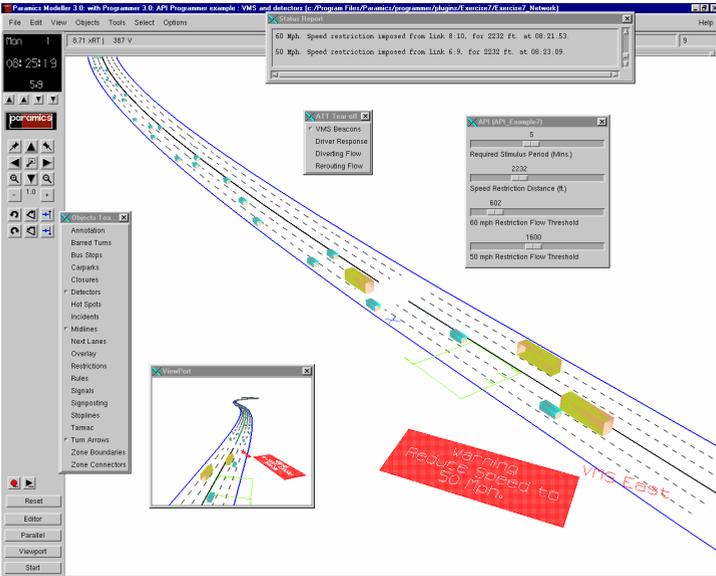


图 7.5 PARAMICS 的编程工具 Programmer

5. 监视工具 Monitor

监视工具 Monitor 是利用编程工具开发的 API 模块，它可以跟踪计算仿真的交通路网中所有车辆尾气排放的数量，并在仿真过程中进行可视化的显示。尾气水平数据每隔一定时间写入指定的统计文件保存。如图 7.6 所示。

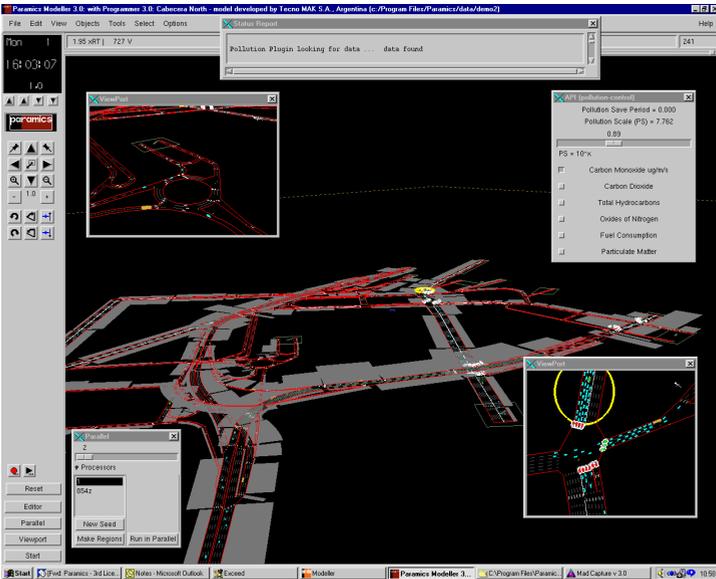
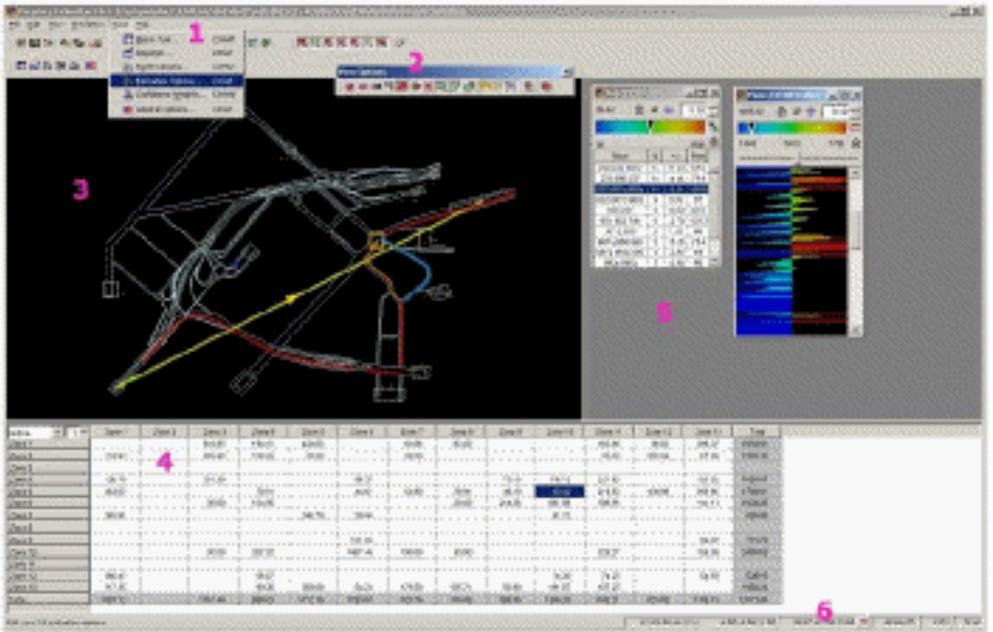


图 7.6 PARAMICS 的监视工具 Monitor

6. OD 反估工具 Estimator

OD 反估工具 Estimator 是一个用来估计 OD 矩阵的软件包，它与 PARAMICS 的核心程序紧密结合，特别设计用于微观层面上的 OD 反估。相比于传统的 OD 反估类似于一个黑盒程序，这个工具希望通过将工程师的技术和经验集成于系统的仿真内核，从而提供一个公开而且可视化的反估过程。OD 反估工具同时提供 API 接口，用户可以嵌入自己的反估算法，从而将工具用于实时 OD 反估或短期预测 OD 的反估。如图 7.7 所示。



错误！

图 7.7 PARAMICS 的 OD 反估工具 Estimator

作为微观仿真程序的核心部分，以下我们将着重介绍 PARAMICS 中的跟车及车道变换模型，二者都是描述车辆运动的关键要素。PARAMICS 的跟车和车道变换模型历经 5 年的时间才开发完成，虽然它参考了一些其他的模型，但其主要部分仍是独立开发出来的，并希望从数值结果和图形表现两方面都达到逼近现实。在 PARAMICS 的仿真中，每一个车辆单元都有一个目标车头时距，其均值维持在 1 s 左右，但随分配给该车的其他参数而波动。PARAMICS 中的车道变换采用两个步骤，可接受车间距准则和历史记录中适当车间距的可获得性。当车辆行驶在直道或弯道上时，仿真只需考虑一个方向，即它们在路段上的距离。但当在道路交叉口，模型就稍微复杂一些了。在拥挤条件下，对包括优先交叉口、信号交叉口

以及环岛等各种形状在内的交叉口对仿真模型的精度至关重要，因为拥挤通常源于交叉口而波及到上游的路段。PARAMICS 采用定位单元向量描述交叉口，即使用一个三维向量（ x 坐标， y 坐标，方位角），不仅描述车辆从交叉口到特定出口需朝向的点的位置，而且包括到达该点所需要的转向角度。PARAMICS 采用特定算法来定义了一种控制车辆从当前位置到任何目的地可行线路行驶的方法，同时结合考虑了转向角度和控制限度。转向角度的改变受车辆本身物理尺寸和其行驶速度的影响。

交通分配算法是仿真中的另一重要要素，它代表了驾驶员选择路径行为的准则，从而直接影响到车辆在起终点之间路径的选择。PARAMICS 中的交通分配算法适用于除公交及固定线路车辆以外的所有车辆。车辆到目的地的出行成本在所设定的每一时步内计算一次（默认值为每辆车每半秒计算一次）。PARAMICS 目前提供三种路径的分配算法，分别是全有全无算法，随机分配算法和动态反馈算法。全有全无算法假定所有的驾驶员行驶在两个小区之间都选择相同的路径，而路段成本与交通流水平无关；随机分配算法是要加入对行驶成本的变化以及驾驶员对这些成本变化的知觉的考虑，从而体现路径选择这一概率事件的机理，算法假定对每一路网路段的感知成本在一定范围内随机波动；动态反馈算法假定驾驶员对路况很熟悉，因而在当获知当前路上的交通状况后将重新选定路径，这一点尤其适合用来对车内信息系统下驾驶行为的模拟。具体实现的时候系统从 PARAMICS 内核模型中获取实时的交通路况信息，并用这些信息重新更新路径成本的计算。

应用方面，在英国，中央政府利用 PARAMICS 测试交通路网和高速路的设计，评价交通控制策略和尾气排放水平，以及研究中远期的交通规划、管理战略；地方政府则用之进行辅助交通管理和公交系统的管理。在美国，著名的橡树岭（Oak Ridge）国家实验室与联邦公路管理局合作利用 PARAMICS 对他们使用的一些其他交通软件进行评估和比较；加州交通厅在全州范围内使用 PARAMICS 进行高占有率车道和环形交叉口的设计运营，加州交通厅还通过在加州大学埃尔文分校用 PARAMICS 建立的网络试验基地进行智能交通系统方面的研究，例如与加州先进交通管理系统中心联合进行各类交通管理措施的设计和运营，这些管理措施包括：匝道控制，可变信息板、路径诱导和高占有率车道；另外，有一些私人咨询公司如 Kittelson & Associates，Dowling Associates 等也在使用 PARAMICS 进行设计和研究方面的咨询，如 Kittelson & Associates 公司借助 PARAMICS 对佛罗里达奥兰多市的一条州际高速公路上的可逆高占有率车道的近期和远期影响进行了分析，并且将分析结果和另外一个微观仿真程序 CORSIM 的结果进行对比，从而用于评价高占有率车道的效益。在日本，咨询公司 SSRI 应用 PARAMICS 为日本建设省的规划

项目——东京至名古屋 400km 自动高速公路系统 (AHS) 进行可行性研究, 为此, SSRI 通过 PARAMICS 的 API 接口将 AHS 关于车辆跟驰的算法加入到模型当中, 以反映出它对交通流的影响结果。此外, PARAMICS 还在法国、德国、加拿大、阿根廷等许多国家被使用。新加坡陆路交通管理局 (LTA) 也应用 PARAMICS 对城市交通规划、交通控制策略以及道路收费进行评估。

7.3.2 AIMSUN2

AIMSUN2 主要由路网编辑器 TEDI, 微观仿真器 AIMSUN, 三维仿真显示模块 AIMSUN 3D, 外部程序接口 GETRAM Extensions 以及一个存放路网的数据库等几个模块组成, 整个系统组成示意图如图 7.8 所示, 其中 AIMSUN 是整个系统仿真的核心部分。以下对各部分作一简介。

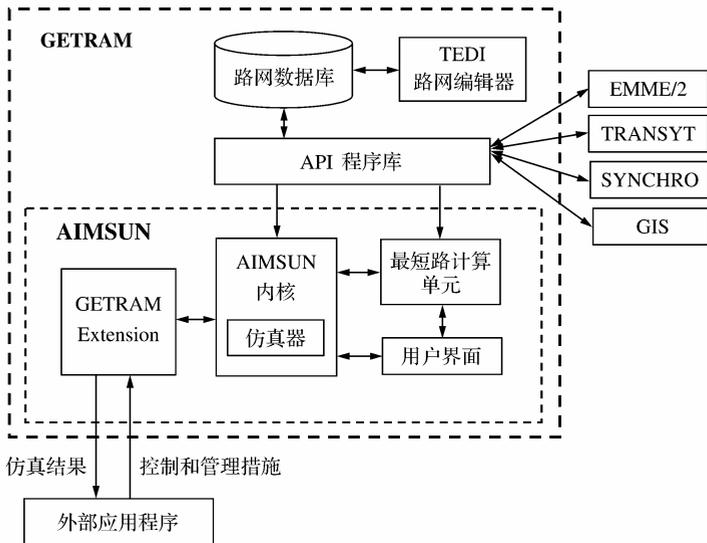


图 7.8 GETRAM/AIMSUN2 结构示意图

AIMSUN2 的运行界面如图 7.9 所示。

1. 路网编辑器

路网编辑器 TEDI (Traffic Network Graphical Editor) 的目的是为了让用户可以友好地进行路网数据的输入, 建立起满足仿真器 AIMSUN 的交通模型。编辑器可以使用路网区域的背景或图片资料作底层, 从而在其上建立节点、路段和整个路网。

编辑器支持城市内及城市间道路, 其细节程度涵盖诸如路测车道、匝道出入口、交叉口、信号灯以及匝道控制等元素。用户只要指定路段的几何形状, 节点

就会自动生成。在建立复杂类型的交叉口，包括定义转向，信号配时和控制相位

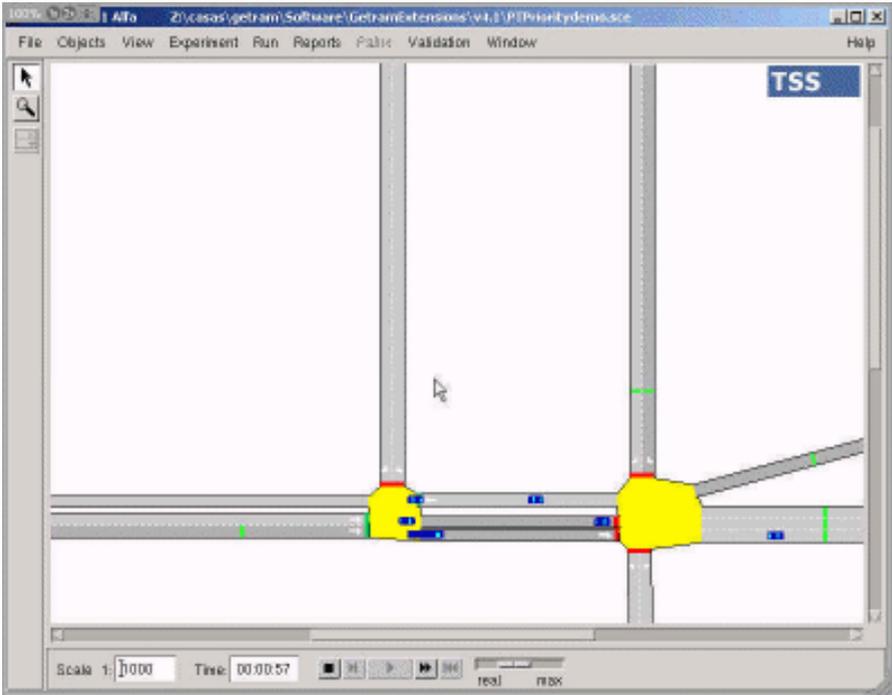


图 7.9 GETRAM/AIMSUN2 的界面

时，也只需点击各种内部已经建好的交叉口组成元素即可。用户还可以通过界面编辑自行定义的路径选择模型或出行成本函数，用于最短路的计算。出行 OD 矩阵则可以以列表 ASCII 文件形式导入或导出。但 AIMSUN2 也可以由用户自行定义的路网状态（包括进入交通流、转向比例和路段构成），从而在无需经历路径分配的情况下进行仿真，即所谓的非基于 OD 仿真。

同时，通过 GETRAM-GIS 接口，一个路网可以导出为成形文件，这种文件的格式可以被大多数 GIS 软件接受，例如 ArcInfo, ArcView and MapInfo 等。借此由仿真得到的结果通过开放式数据库互联（ODBC）也可在 GIS 界面上予以表现。

2. 微观仿真器

微观仿真器 AIMSUN 旨在通过电脑程序再现真实路网上的交通状况。它主要用于检验和评价新的交通控制系统和管理措施，也可以用来提供预测路网交通流状态，从而为车辆导航系统和其他实时应用提供数据服务。

前面提到过 AIMSUN2 采用的是微观仿真技术，即对每一辆车都在仿真时根据跟车理论、车道变换理论和车头间隔理论等驾驶行为的准则予以详细描述。这

也正是微观仿真器要完成的主要任务。仿真描述的车辆类型包括小汽车、公交车、货车等，不同类型的车也可以组合成某一个大类，从而在仿真的时候为该类车辆提供专用车道。公交车辆则一般根据其固定线路、发车间隔及到站停车安排单独给予描述。

AIMSUN 中的跟车模型是从最早的 Gipps 跟车模型发展而来的，并在原有模型的基础上，还综合考虑了以下三个方面的因素：一是对 Gipps 模型中车辆速度的算法作了改进，充分考虑了司机的驾驶冲动性，即倾向高速行驶及快速加速和刹车等行为特性；二是考虑了相邻车道车辆对驾驶的影响；三则还考虑了路段坡度对加速和跟车的影响。

AIMSUN 中的车道变换模型也是从 Gipps 车道变换模型发展而来的，在这里车道变换被描述成一个决策过程，在这个决策过程中要分析车道变换的必要性、要求的提出以及道路交通条件的可行性。车道变换模型希望借助以下逻辑来模仿驾驶员的行为过程：

(1) 首先，每当车辆的情况发生更新时，系统就提出问题：是否需要变换车道？对此问题的决策决定于以下几个因素：在现有车道上转向的可行性、距下一拐弯处的距离以及当前车道的交通状况，包括车速和排队情况等。当一辆车驾驶速度低于其期望值时，它就将设法超越前面车辆；而当驾驶员觉得速度太快时，他就倾向于回到慢车道。

(2) 如果对第一个问题的回答是肯定的话，为了完成车道变换，系统还必须回答以下两个问题：(a) 是否有意变换车道？这主要取决于观察变换车道后交通条件是否有所改善，从速度和排队长度两个方面来看，如果变换车道后速度比当前车道有提高，或排队距离更短，则会产生车道变换的愿望；(b) 是否可能变换车道？这主要是要考察车辆是否有足够的间隔来安全完成车道变换。为此，要计算下游车辆和变道车辆以及变道车辆和上游来车的减速比值，如果两个比值都在一定的范围内，则车道变换是可能的。AIMSUN 中的车道变换模型还同时考虑了转向交织和转向冲突等因素对车道变换的影响以及对禁止车道变换的描述。

AIMSUN 中的车头间隔模型主要用于车道变换模型中对车道变换是否可能的判断以及对让路模型的描述。影响车头间隔模型的几个主要参数包括：加速速率，期望速度，可接受速度和最大让路期限。其他参数，如交叉口的可视距离和转向速度，因同交叉口有直接关系，所以也对模型有一定影响，但最重要的几个参数是加速速率，最大让路期限和交叉口可视距离。加速速率给出车辆的加速能力，因此直接影响到车道变换或转向所需的安全间隔；最大让路期限用来判断如果一个司机无法找到一个间隔他将在何时开始变得不耐烦，当司机需要等待的时间超过这一最大让路期限，驾驶的安全性将会降低。

AIMSUN 中的另一重要构成就是路径分配的算法。先进出行信息系统、实时交通控制系统以及实时交通管理系统等新科技的发展,迫切要求交通模型能够描述交通系统之间的动态关系,亦即加入对需求随时间变化以及随时间而不同的排队长度等因素的考虑。为此,AIMSUN 中采用了启发式动态交通分配算法,其步骤列举如下:

- 步骤 1 根据最初估计的成本,计算最初的最短路;
- 步骤 2 根据已有路径信息仿真,得到新的路径成本;
- 步骤 3 考虑最新的路径成本,重新计算最短路;
- 步骤 4 将步骤 3 中计算得到的最新路径信息加入驾驶员对路况的感知;
- 步骤 5 回到步骤 2。

AIMSUN 中提供了多种路径选择的模型,包括固定模型,二项模型,多项 Logit 模型或其他用户自行定义的模型,用于将车辆分配到所有路径中。

AIMSUN 可以用来描述多种类型的交通控制,包括信号控制,让路标志控制和匝道控制等,也可以通过 TRANSYT/10 导入已优化的控制方案进行仿真,用户也可以通过动态连接库程序定义特有的实时控制办法。此外,AIMSUN 还能用于评估可变信息板(VMS)上显示的信息对交通行为的影响,包括对路径的重新选择和速度控制等。

AIMSUN 提供详细的统计输出结果,包括流量,速度,旅行时间以及环境方面的指标如能耗和污染排放等,用户可以选择将仿真结果以 ASCII 文件或以 ODBC 数据库的形式存贮,其中后者还可以导出到表格分析软件 Excel,数据库管理软件 Access 或统计软件 Minitab、SPSS 中用以进一步分析。仿真结果也可以用图形界面显示出来。

AIMSUN 3D 只是要将 AIMSUN 仿真的场景用三维表示出来,从而提供一个比二维仿真更加逼真的景象。它可以模仿和可视任何由 AIMSUN 创造的仿真场景,并且可以从任何一个角度建立对仿真的视图,视图假定从该角度有一摄像机来审视路网。

3. 外部程序接口

外部程序接口 GETRAM Extensions 其实是一个 API 接口,用户可以通过这个接口开发一些外部程序,来调用 AIMSUN 仿真时的内部数据。这些程序可以用 C/C++ 编写后以动态链接库的形式调用或直接用脚本语言编写。

外部程序可以是别的交通控制系统或其他实时自适应的交通控制系统。这些程序可以调用仿真检测器得到的流量和占有率等数据,从而来改变交通信号灯的控制,匝道控制和可变信息板信息显示等或其他交通控制和诱导措施。借助外部程序,用户也可以模拟交通事故的发生,控制车辆的产生或其路径的选择。对于仿真得到的数据,除了软件本身具有的统计功能外,用户还可以使用自己编制的外部程序,进行各种特定的统计输出;调用的数据也可以用于其他一些诸如计算能耗和污染排放的模型中。

7.3.3 CORSIM

前面提到过, CORSIM 是一个组合模型, 它综合了用于高速公路仿真的 FRESIM 模型和用于城市道路仿真的 NETSIM 模型, 并且在两个模型的基础上还添加了一些功能, 如支持高占有率车道、高速公路匝道控制以及扩大了仿真路网的规模等。以下我们着重介绍 FRESIM 和 NETSIM 的有关情况。

1. FRESIM

在 FRESIM 中, 每辆车的行为都通过它与周围环境的相互作用得到详细刻画, 包括与高速公路几何形状及其他车辆间的相互作用。它有全面的车道变换模型。它可以描述总共 9 种车型的运动情况, 其中包括 2 种客车和 4 种货车类型; 不同的驾驶行为, 被描述成 10 中不同的驾驶类型, 从保守型到极具冲动型不等。模型对各种类型的匝道控制以及高速公路监视系统也有充分的描述。

前面提到 CORSIM 采用 Record Types (RTs) 形式组织数据的输入, 包括道路拓扑结构、交通流量和车辆类型、监视和检测设施等。在 FRESIM 中, 交通流量的数据被组织成两种数据: 入口流量和匝道出口转向流量的百分比。一个重力模型被用来校准转向百分比, 从而形成一个百分比的 OD 矩阵, 实现交通分布。用户也可以通过第三种数据形式直接输入 OD 信息, 那么用户需要保证该 OD 和前面用两种数据推断出来的 OD 是平衡的, 即用户需要不断调整入口流量和匝道出口转向流量的百分比的值, 从而使其最终推出的 OD 与目标 OD 是一致的, 否则系统将无法准确地将流量分配到所有路段上。CORSIM 可以报告出 OD 矩阵, 从而有助于用户调试 OD 的输入数据。

FRESIM 输入和输出数据都采用 ASCII 文本文件形式, 借助 CORSIM 的组件之一的 TRAFVU, 也可以将 FRESIM 的输入和仿真结果用图形界面进行显示及模拟(图 7.10)。

FRESIM 采用了 20 世纪 80 年代中期的观察数据进行标定和验证, 适用于全美的各种高速公路的条件, 因此它也是目前为止最有力和具体的高速公路仿真模型。但它的缺陷在于无法直接描述高占有率车道的情况, 也没有考虑车道宽度的影响。

2. NETSIM

NETSIM 主要对信号配时路网的运营提供详细的仿真及评价。它是基于时步的仿真, 每秒钟车辆都被当作单独的描述对象予以描述, 每一控制设施和事件也在每秒内更新。车辆共分为四大类: 小汽车、多人共乘车辆, 卡车和公交车辆。总共可以指定 16 种不同的车辆类型, 每一种都有不同的操作和表现性能。此外, 还可以指定不同的驾驶行为特征, 如被动性或冲动型驾驶。车辆的状态则通过其运动特征(速度、加速度)和状态特征(排队或移动)予以描述。每一次车辆移动时, 它的位置

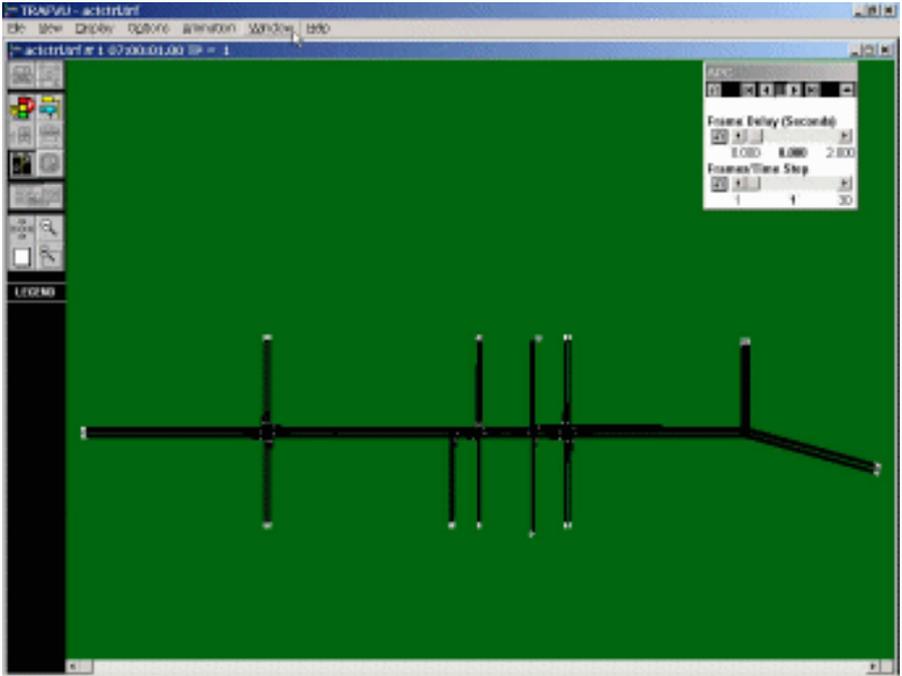


图 7.10 TRAFVU 的界面

(包括纵向和侧向) 速度、加速度以及它同其他车辆的关系都被重新计算并予以更新。车辆的移动受跟车逻辑, 对控制措施的反应以及对交通需求反应的影响。

NETSIM 当中加入了针对 OD 的交通分配算法。分配模型有两个目的: 将 OD 出行矩阵转化为实际的路网交通量负荷用于仿真以及评价由于运营措施变化带来的需求反应。用户在使用时可以输入指定交通分配中的各种参数, 如 BPR 函数的各项系数。在 TRAF 系统中, 提供了用户均衡以及系统最优分配模型两种分配技术。交通分配的结果将转化为各特定路段的转向比例, 以满足于仿真模型在分配过程结束之后便开始的仿真。交通分配模型中采用的阻抗函数为 FHWA 公式和修正 Davidson 排队公式, 它们将路段旅行时间和路段交通流量以及路段特征 (容量和自由流旅行时间) 等联系在了一起。算法采用的是 Frank-Wolfe 分解算法的一种, 每次迭代时根据前次得到的阻抗作全有全无分配, 再利用标号修正法得到一个最短路决策树, 每次迭代结束后都会得到路网总的出行成本, 而一个行搜索将用于寻找使总出行成本最小的路段交通流。当收敛性要求达到或一个指定迭代次数的上限达到时, 迭代即告结束。

NETSIM 可以仿真各种方案预设及实时的交通信号控制, 但其余各种 ITS 相关的控制措施则必须作为模型的外部措施。同 FRESIM 一样, NETSIM 输入和输出数据都采用 ASCII 文本文件形式, 或借助 TRAFVU 将输入和仿真结果用图形界面进

行显示及模拟。NETSIM 采用的是 70 年代中期的观察数据进行标定和验证,并广泛采用了世界各地的很多交通状况实例。

3. FRESIM 和 NETSIM 在 CORSIM 中的结合

在 CORSIM 中,一个混合的交通路网将被分割成多个不同的子网络来进行仿真。连接这些子网络的接口则是通过定义“界面节点”来实现的,这些节点代表了车辆离开一个子网络进入另一个子网络的地点。这些节点被赋予特殊的编号,以区别网络中的其他节点。“接口进入路段”用来指那些从相邻子网络接收交通流量的路段,“接口出去路段”用来指那些将交通流量输出到相邻子网络的路段,二者都是用来描述子网络交界处的路段的。只要用户定义好了各个子网络的结构,所有的交接界面处的处理将由模型根据交接逻辑内部自动完成。

以 CORMIS 为核心的 TSIS 在大量工程尤其是北美的各项工程中得到应用,如在 Iowa 和 North Dakota 州都被用以立交设计的分析,在 Maryland 和 Oklahoma,TSIS 被用以进行道路路线方案的规划分析;在 Virginia,TSIS 用来考察事故管理的效果并进行事故管理措施的辅助决策;此外 TSIS 还用来对在 Virginia 第 7 号路线上的三个连续交叉口上实施的紧急车辆信号优先进行了仿真分析,分析结果表明在这三个路口上实施紧急车辆信号优先的情况下,通行时间只比不实施紧急车辆信号优先的情况下提高了 1.6%,因而其效果是不明显的,分析同时指出,要提高其实施效果,较长的交叉口间距、长距离的车队消散和很长的信号周期长是有效的因素。在 FHWA 的交通研究试验中心(TreL),TSIS 已被指定为将实地设备接入仿真交通网络以对其进行测试的工具软件,上述 Virginia 第 7 号线上的试验只是其中的一个例子而已。

7.3.4 VISSIM

前面介绍时我们提到 VISSIM 中的交通流模型是一个离散的、随机的、以 10^{-1} s 为时间步长、将每一个驾驶车辆都作为单一研究对象的微观仿真模型,这个模型包含了心理-生理跟车的车辆纵向运动模型和基于规则算法的横向运动(车道变换)模型。这一模型是在德国卡尔斯鲁厄大学 Wiedemann 教授模型的基础上由 PTV 公司进一步校准和验证得到的,在这一模型中,车辆以振荡过程前后跟踪。当一个快速车辆在某个单一车道靠近一个慢行车辆时,它必须减速。意识反应的行动点取决于速度差异、相差距离和驾驶员的相应行为。在多车道路段行驶的车辆在每一时步内检查通过车道变换它们的行驶状况是否会有所改善,如果是的话,它们就检查相邻车道是否有可接受的插入间隔,以便完成车道变换操作。跟车模型和车道变换模型二者一起构成了 VISSIM 的模型内核。

早期的 VISSIM 并没有加入路径分配算法,各种车辆的路径都必须当作已知条件输入,或者从宏观交通仿真器 DYNEMO 或从静态分配模型如 VISUM 和 EMME/2

中导入。不过直到最近发布的版本中，添入了动态交通分配模型，用于处理依时间变化的 OD 出行矩阵的路径选择。在这一分配算法中，使用了一个广义成本函数，而不仅仅是出行时间，它是一个对旅行时间、距离和特定路段成本的加权总和，用户可以针对车辆类型自由分配权值。

应用方面，Loren Bloomberg & Jim Dale 同时将 VISSIM 和 CORSIM 用于华盛顿州西雅图 519 州线公路的方案选线分析，结果得出了比较一致的结果，这也确信了分析结果更为可信。在西雅图的 King County，为了提高公共交通服务的质量以减少交通拥挤，进行了公交车辆自动定位技术和区域公交信号优先的示范工程，为了对工程的实施效果进行分析，同时也是对其余各种公交优先措施进行交通影响分析，当地交通管理部门找到 PTV 和其联营企业 ITC 公司，运用 VISSIM 和 Signal 94 在两个街区针对不同的信号优先度进行模拟分析，测出了包括延误、旅行时间、平均速度和排放等一系列指标。在爱尔兰的都柏林，当地政府想在其城市交通信号控制系统中加入对轻轨公交的信号优先，为此需要研究其可行性和对地面交通的影响，为此 PTV 公司借助 VISSIM 对 4 种信号优先措施进行了仿真和评价，并从延误最小和保持地面交通畅通的角度最后给出了一种推荐措施；类似的工作在法兰克福也进行过。如图 7.11 所示。



图 7.11 VISSIM 的界面

7.4 PARAMICS 在 ITS 项目模拟和评价中的应用

由于 ITS 内部包含很多子系统，每个子系统都有其各自的系统特征和参数，而通常一个 ITS 项目会包含多个 ITS 子系统或多项 ITS 的技术，因此在对某一特定的项目进行评价时，需分别针对其所包含的每一 ITS 子系统或技术进行建模并通过一定接口嵌入到路网交通流的仿真中以反应其对特定路网交通流的影响，从而得出其效果评价。不过在对项目评价的时候，我们可以将项目所包含的各项子系统一起嵌入从而评价其总体带来的影响，这种思路我们称之为“单一各自建模，集成总体评价”。

应用 PARAMICS 的微观仿真来进行 ITS 项目的评价即可以很好地贯彻这样一个思路。PARAMICS 中的编程工具 Programmer 提供了与其仿真核心程序 Modeller 的接口，并且提供了大量的函数供外部程序调用。用户可以借助这些函数，或自行编写程序，来描述某个 ITS 子系统对路网中的驾驶员驾驶行为的影响，包括其路径的选择，车辆跟驰以及车道变换等。用户还可以实时调用仿真中间产生的数据结果，根据这些数据来决定驾驶员下一阶段的行为操作。通过这样的一个程序对某一项 ITS 技术进行完整描述后，将其编译成为动态链接库（DLL）文件，置于相应的目录中，系统仿真程序就将在下一次仿真中调用该外部程序，并影响仿真的过程和结果。在该目录中可同时放入多个外部程序的 DLL 文件，它们一并影响仿真的进行，而在最终的仿真结果中综合反映出来。PARAMICS 仿真主程序与外部插件之间的关系如图 7.12 所示。目前 PARAMICS 支持采用 C 语言，C++ 或 JAVA 语言编制的外部程序。

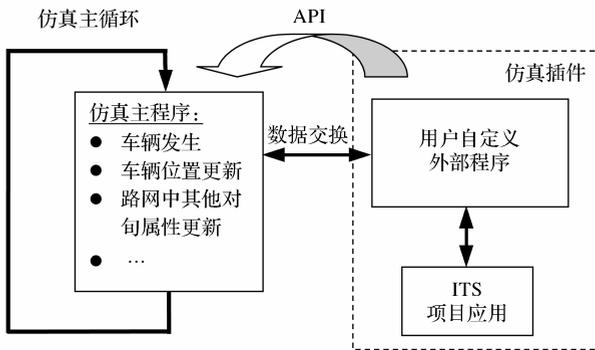


图 7.12 PARAMICS 仿真主程序与外部插件关系示意

目前在 PARAMICS 的编程工具中提供大约 700 个左右的函数，这些函数总共分为 4 大类：QPO、QPX、QPG、QPS。其中 QPO 类函数用于定义插件程序，这些

程序可以采用用户自己的行为逻辑准则,取代 PARAMICS 核心模型中本身所默认的标准行为准则,如改变其中的跟车准则及车道变化准则等;QPX 类函数则主要用于在插件程序中为 PARAMICS 模型中函数在已有功能的基础上,再添加某些功能,并将在一些事件点上得到触发;QPG 类函数用于从 PARAMICS 标准模型中取出某个变量的值,数值来源于仿真或图形引擎,变量可以是关于路网、节点、路段、小区、车辆、匝道、信号灯以及可变信息板信标等各个方面;QPS 类函数则是用于设置标准程序中某个变量的值,来取代其原有的值。编程工具所提供函数的统一形式为:函数类_作用对象_对象属性,例如,QPG_VHC_link(*vehicle)就表示返回当前指针(*vehicle)指向车辆所行驶在的路段编号。利用这些函数,用户可以对交通信号、匝道控制、检测器连接可变速度标志、可变信息板信息显示、车内路径显示装置以及车内信息导航等技术进行建模,从而嵌入仿真中对其进行评价。基于此基础之上,PARAMICS 可以对各类 ITS 项目进行仿真评价,尤其适用于先进交通管理系统(ATMS)、交通出行信息系统(ATIS)、先进公交系统(ATPS)以及自动高速公路系统(AHS)类的项目或综合了以上某几类系统的项目评价。

关于 PARAMICS 模型在 ITS 技术仿真评价方面的具体应用,可以参考第 9 章中给出的关于交通分流计划的评价实例。

7.5 本章小结

本章着重讨论了交通仿真在 ITS 项目评价中的应用。通过对交通仿真模型类别以及支持 ITS 项目评价的仿真模型的有关要求的论述,微观交通仿真模型被认为是最适合用于 ITS 的项目评价,目前全世界范围内都在积极开发和广泛采用微观仿真模型来进行 ITS 的项目评价研究。

我们对当前国内外常用的交通仿真模型,并主要集中于微观仿真模型的原理、特征及其应用进行了简单的评述,并从中挑选了四个成熟的商业模型:PARAMICS、AIMSUN2、CORSIM、VISSIM 进行了详细的论述。由于笔者在 PARAMICS 模型的理论及应用方面进行了较集中的研究,因此就 PARAMICS 模型的应用情况,结合下文中的实例,给出了研究和应用中的一些成果和体会,希望能给读者带来一些有益的启示。

第 8 章 数据的分析和处理技术

8.1 定量指标的分析 and 处理技术

ITS 项目实施前后，需要选择一些重要的定量指标（如出行时间、延误、停车次数、排队长度等），收集数据，进行数据分析，研究项目实施对这些指标是否有影响。

设实施前测得某评价指标的一组数据是 x_1, x_2, \dots, x_{n_1} ，这些数据的均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad (8.1)$$

方差为

$$s_x^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \left[\sum_{i=1}^{n_1} x_i^2 - n_1 \bar{x}^2 \right] \quad (8.2)$$

设实施后测得该评价指标的一组数据是 y_1, y_2, \dots, y_{n_2} ，这些数据的均值为

$$\bar{y} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} y_i \quad (8.3)$$

方差为

$$s_y^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \left[\sum_{i=1}^{n_2} y_i^2 - n_2 \bar{y}^2 \right] \quad (8.4)$$

假设评价指标数据实施前呈 $N(\mu_x, \sigma_x^2)$ 的正态分布，实施后呈 $N(\mu_y, \sigma_y^2)$ 的正态分布， μ 和 σ^2 分别表示评价指标数据总体的均值和方差，设 $\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma^2$ 。那么如何从收集到的有限个数据（称为样本）来推断项目实施是否导致评价指标值发生了变化？以出行时间评价指标为例，希望实施 ITS 项目后出行时间的均值减小，就是检验假设

$$H_0 \quad \mu_x - \mu_y = 0; \quad H_1 \quad \mu_x - \mu_y > 0 \quad (8.5)$$

如果 H_0 为真，表明项目实施前后出行时间均值没有变化，从降低出行时间这一点来说，项目是没有效果的。如果 H_1 为真，表明项目实施后的出行时间均值小于实施前的出行时间均值，项目取得了降低出行时间均值的效果。但在 H_0 实际上为真时，可能犯拒绝 H_0 的错误，称这类错误为“弃真”的错误，将犯这类错误的概率控制在不超过 α （比如 0.05）的范围内。例如在采用了自适应信号控制系统后，估计出行时间降低了 10%，不但要通过分析来验证是否真的降低了 10% 并且将做出误判的概率控制在小于等于 0.05。

针对 (8.5) 式的问题，计算下面的 t 值

$$t = \frac{(\bar{x} - \bar{y})}{s_w \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \tag{8.6}$$

其中
$$s_w^2 = \frac{(n_1 - 1)s_x^2 + (n_2 - 1)s_y^2}{n_1 + n_2 - 2} \tag{8.7}$$

如果

$$t > t_{\alpha}(n_1+n_2-2) \quad (t_{\alpha}(n_1+n_2-2) \text{由查 } t \text{ 分布表得到})$$

那么 H_1 为真，表明项目实施后的出行时间均值小于实施前的出行时间均值。

如果

$$t < t_{\alpha}(n_1+n_2-2)$$

那么 H_0 为真，表明项目实施前后出行时间均值没有变化。

上面以出行时间为例，通过假设检验分析了 ITS 项目实施对出行时间均值是否有影响，这个方法也同样适用于其他定量指标的评价。

前面考虑的都是评价指标受到是否实施 ITS 项目这样一个因素的影响，实际上评价指标还可能会受到其他因素的影响，例如评价指标还受到天气因素的影响（晴天、阴天、雨、雪等）。假定因素 A 表征是否实施 ITS 项目，那么因素 A 有 2 种水平 A_1 和 A_2 ， A_1 表示不实施 ITS 项目， A_2 表示实施 ITS 项目。因素 B 有 s 种水平 B_1, B_2, \dots, B_s ，例如表示晴天、阴天、雨、雪等。在因素 A 和 B 的每对水平组合 (A_i, B_j) ， $i=1, 2, j=1, 2, \dots, s$ 都有 t ($t \geq 2$) 个数据（比如出行时间数据），如表 8.1 所示：

表 8.1 因素 A 和 B 的每对水平组合

	B_1	B_2	...	B_s
A_1 (不实施 ITS 项目)	$x_{111}, x_{112}, \dots, x_{11t}$	$x_{121}, x_{122}, \dots, x_{12t}$...	$x_{1s1}, x_{1s2}, \dots, x_{1st}$
A_2 (实施 ITS 项目)	$x_{211}, x_{212}, \dots, x_{21t}$	$x_{221}, x_{222}, \dots, x_{22t}$...	$x_{2s1}, x_{2s2}, \dots, x_{2st}$

假设出行时间数据值 x_{ijk} 呈正态分布 $N(\mu_{ij}, \sigma^2)$ ，且设各 x_{ijk} 之间独立，即

$$x_{ijk} \sim N(\mu_{ij}, \sigma^2), \quad i=1, 2, j=1, 2, \dots, s, k=1, 2, \dots, t \tag{8.8}$$

引入记号

$$\text{总平均 } \mu = \frac{1}{2s} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^s \mu_{ij}$$

$$\mu_{i\bullet} = \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s \mu_{ij}, \quad i=1, 2$$

$$\mu_{\bullet j} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \mu_{ij}, \quad j=1, 2, \dots, s$$

水平 A_i 的效应 $\alpha_i = \mu_{i\bullet} - \mu$, $i=1,2$

水平 B_j 的效应 $\beta_j = \mu_{\bullet j} - \mu$, $j=1,2,\dots,s$

水平 A_i 和 B_j 的交互效应 $\gamma_{ij} = \mu_{ij} - \mu_{i\bullet} - \mu_{\bullet j} + \mu$

于是

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} \quad (8.9)$$

从而研究因素 A 即 ITS 项目对出行时间是否影响显著就成为检验假设

$$H_{01} \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 0, H_{11} \quad \alpha_1, \alpha_2 \text{ 不全为 } 0 \quad (8.10)$$

研究因素 B 即天气因素对出行时间是否影响显著就成为检验假设

$$H_{02} \quad \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_s = 0, H_{12} \quad \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_s \text{ 不全为 } 0 \quad (8.11)$$

研究交互作用是否影响显著就成为检验假设

$$H_{03} \quad \gamma_{11} = \gamma_{12} = \dots = \gamma_{rs} = 0, H_{13} \quad \gamma_{11}, \gamma_{12}, \dots, \gamma_{rs} \text{ 不全为 } 0 \quad (8.12)$$

引入记号

$$\bar{x} = \frac{1}{2st} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^t x_{ijk}$$

$$\bar{x}_{ij\bullet} = \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t x_{ijk}, \quad i=1,2, \quad j=1,2,\dots,s$$

$$\bar{x}_{i\bullet\bullet} = \frac{1}{st} \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^t x_{ijk}, \quad i=1,2$$

$$\bar{x}_{\bullet j\bullet} = \frac{1}{2t} \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^t x_{ijk}, \quad j=1,2,\dots,s$$

平方和分解式

$$SST = SSE + SSA + SSB + SSAB \quad (8.13)$$

其中

总平方

$$SST = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^t (x_{ijk} - \bar{x})^2 \quad (8.14)$$

误差平方和

$$SSE = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^t (x_{ijk} - \bar{x}_{ij\bullet})^2 \quad (8.15)$$

因素 A 的效应平方和

$$SSA = st \sum_{i=1}^2 (\bar{x}_{i\bullet\bullet} - \bar{x})^2 \quad (8.16)$$

因素 B 的效应平方和

$$SSB = 2t \sum_{i=1}^2 (\bar{x}_{\bullet j} - \bar{x})^2 \quad (8.17)$$

交互效应平方和

$$SSAB = t \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^s (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{i\bullet} - \bar{x}_{\bullet j} - \bar{x})^2 \quad (8.18)$$

计算 $F_A = \frac{SSA}{SSE/(2s(t-1))}$ 的值

如果

$$F_A > F_{\alpha}(1, 2s(t-1)) \quad (8.19)$$

那么 H_{11} 为真, 表明在这个 ITS 项目实施对出行时间是有显著影响的。

计算 $F_B = \frac{SSB}{SSE/(2s(t-1))}$ 的值

如果

$$F_B > F_{\alpha}(s-1, 2s(t-1)) \quad (8.20)$$

那么 H_{12} 为真, 表明天气因素对出行时间是有显著影响的。

计算 $F_{AB} = \frac{SSAB/(s-1)}{SSE/(2s(t-1))}$ 的值

如果

$$F_{AB} > F_{\alpha}((s-1), 2s(t-1)) \quad (8.21)$$

那么 H_{13} 为真, 表明交互作用对出行时间是有显著影响的。

对于多因素作用于评价指标的情况, 可以仿照上面两因素分析的思想, 以三因素为例, 因素记为 A 、 B 、 C , 三个因素对评价指标的影响可以分为 3 种:

- (1) 各因素的主效应, 即单个因素的不同水平对评价指标产生的影响;
- (2) 一阶交互效应, 在去掉主效应的影响后, 任意两个因素的不同水平组合 (AB 、 AC 、 BC) 对评价指标产生的联合影响;
- (3) 二阶交互效应, 在去掉主效应和一阶交互效应的影响后, 三个因素的不同水平组合 (ABC) 对评价指标产生的联合影响。

8.2 定性指标的分析和处理技术

本节研究如何对定性指标进行分析和处理, 在用户接受度评价、体制和组织评价中的定性指标常常取某些特定的范畴或类作为它们的“值”, 例如研究匝道控制系统实施前后对交通拥挤是否有改善, 而对驾驶者进行了问卷调查, 结果将形成下面

的表 8.2，表中元素是选择列中该项的人数。

表 8.2 匝道控制系统实施前后就交通拥挤对驾驶者的调查

	全线畅通	少量路段拥挤	一些路段拥挤	很多路段拥挤	大面积路段拥挤	合计
实施前						
实施后						
合计						

一般情况下会形成一个如下的 2 维的表 8.3，称为列联表。

表 8.3 $r \times s$ 列联表

B A	B_1	B_2	...	B_s	\sum_j
A_1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1s}	$n_{1\bullet}$
A_2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2s}	$n_{2\bullet}$
\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots
A_r	n_{r1}	n_{r2}	...	n_{rs}	$n_{r\bullet}$
\sum_i	$n_{\bullet 1}$	$n_{\bullet 2}$		$n_{\bullet s}$	n

与表 8.3 列联表对应的多项概率分布见表 8.4， p_{ij} 表示同时属于 A_i 和 B_j 的概率，即联合概率， $p_{i\bullet}$ 和 $p_{\bullet j}$ 是相应的边缘概率， $i=1,2,\dots,r$ ， $j=1,2,\dots,s$ 。

表 8.4 $r \times s$ 多项概率分布

B A	B_1	B_2	...	B_s	\sum_j
A_1	p_{11}	p_{12}	...	p_{1s}	$p_{1\bullet}$
A_2	p_{21}	p_{22}	...	p_{2s}	$p_{2\bullet}$
\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots
A_r	p_{r1}	p_{r2}	...	p_{rs}	$p_{r\bullet}$
\sum_i	$p_{\bullet 1}$	$p_{\bullet 2}$		$p_{\bullet s}$	1

为了研究拥挤程度与匝道控制的实施是否有关，需要检验假设

H_0 ：拥挤程度与匝道控制的实施无关，

H_1 ：拥挤程度与匝道控制的实施有关，

也就是

$$H_0: p_{ij} = p_{i \cdot} \cdot p_{\cdot j}, \quad H_1: \text{等式中至少有一个不成立} \quad (8.22)$$

$i=1,2,\dots,r, j=1,2,\dots,s$

计算

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{(nn_{ij} - n_{i \cdot} \cdot n_{\cdot j})^2}{n_{i \cdot} \cdot n_{\cdot j}} \quad (8.23)$$

如果

$$\chi^2 > \chi^2_{\alpha}((r-1)(s-1)) \quad (\chi^2_{\alpha}((r-1)(s-1)) \text{查 } \chi^2 \text{分布表得到}) \quad (8.24)$$

表明匝道控制的实施对拥挤程度是有显著影响的。

这里以匝道控制为例，同样的方法也可适用于其他系统的分类定性数据的评价。

8.3 数据挖掘技术

数据挖掘，英文是 Data Mining，中文又译作数据采掘。关于它一种比较公认的定义是：从大型数据库的数据中提取人们感兴趣的知识，这些知识是隐含的、事先未知的潜在有用信息，提取的知识可以表示为概念（Concepts）、规则（Rules）、规律（Regularities）、模式（Patterns）等形式。这种定义把数据挖掘的对象定义为数据库；而更广义的说法是：数据挖掘意味着在一些事实或观察数据的集合中寻找模式的决策支持过程。数据挖掘的对象不仅是数据库，也可以是文件系统，或其他任何组织在一起的数据集合，例如 WWW 信息资源以及数据仓库。

总之，数据挖掘是从大量的数据中抽取出潜在的、不为人知的有用信息、模式和趋势。数据挖掘的目的：提高决策能力；检测异常模式；在过去的经验基础上预言未来趋势等。数据挖掘是当前业界的热门技术，已经在多个应用领域产生了巨大的效益。数据挖掘不一定需要建立在数据仓库的基础上，但是如果将数据挖掘和数据仓库协同工作，则可以简化数据挖掘过程的某些步骤，从而大大提高数据挖掘的工作效率。并且因为数据仓库的数据来源于整个企业，保证了数据挖掘中数据来源的广泛性和完整性。数据挖掘技术是数据仓库应用中比较重要也是相对独立的部分。

目前，数据挖掘技术还处在发展当中。数据挖掘涉及数理统计、模糊理论、神经网络和人工智能等多种技术，技术含量比较高，实现难度较大。此外，数据挖掘技术还可以同可视化技术、地理信息系统、统计分析系统相结合，丰富数据挖掘技

术及工具的功能与性能。被挖掘知识的类型在多数文献中被称为数据挖掘任务 (Task), 主要分类有:

总结规则采掘——从用户指定的数据库中采掘出 (以不同的角度或在不同的层次上的) 平均/最小/最大值、总和、百分比等等。采掘结果用交叉表、特征规则、统计的曲线图表等表示。

关联规则采掘——从用户指定的数据库采掘出满足一定条件的依赖性关系。

分类规则采掘——已知训练数据的特征和分类结果, 为每一个类找到一个合理的描述或模型, 然后再用这些分类的描述或模型来对未知的新的数据进行分类。

聚类规则采掘——其宗旨在于实事求是地按被处理对象的特征分类, 有相同特征的对象被归为一类。它与分类规则采掘的区别在于分类是基于训练数据的, 而聚类直接对数据进行处理。

预测分析——当分类的工作偏向于插入漏掉的数据、预测数据分类或发展的趋势时, 这时的工作就叫做预测分析。

趋势分析——又叫时间序列分析, 它是从相当长的时间内的发展趋势中发现规律和趋势。

偏差分析——又叫比较分析, 它将找出一系列判别式的规则, 以区别用户设定的两个不同类。

在基于数据仓库和数据挖掘的交通管理决策支持系统中, 这些任务将在不同的场合被应用。

为了完成这些任务, 从统计学, 人工智能和数据库等领域借用基础研究成果和工具, 提出了多种数据挖掘方法。主要的挖掘方法及其要点如下:

(1) 统计分析方法

主要用于完成总结知识和关联知识挖掘。对关系表中各属性进行统计分析, 找到它们之间存在的关系。

(2) 决策树

用于分类。利用信息论中信息增益寻找数据库中具有最大信息量的字段, 建立决策树的一个结点, 再根据字段的不同取值建立树的分支; 在每个分支子集中重复建立下层结点和分支, 这样便生成一棵决策树。接下来还要对决策树进行剪枝处理, 然后把决策树转化为规则, 利用这些规则可以对新事例进行分类。

(3) 神经网络

用于分类、聚类、特征挖掘、预测和模式识别。神经网络模仿生物神经网络, 本质上是一个分布式矩阵结构, 它通过对训练数据的挖掘逐步计算网络连接的权值。

(4) 遗传算法

用于分类, 关联规则挖掘等。遗传算法模仿人工选择培育良种的思想, 从一个

初始规则集合(知识基因)开始,逐代地通过交换对象成员(杂交、基因突变),产生群体(繁殖),评价并择优复制(适者生存,不适应者淘汰),逐代积累计算,最终得到优化的知识集。

(5) 粗集

用于数据简化(例如,删除与任务无关的记录或字段),数据意义评估,对象相似或差异性分析,因果关系及范式挖掘等。

(6) 可视化技术

用直观图形将信息模式、数据的关联或趋势呈现给决策者,使用户能交互式地分析数据关系,可视化技术将人的观察力和智能融合入挖掘系统,极大地改善了系统挖掘速度和深度。

目前市场上专业的数据挖掘工具软件很多,一些代表性的如:Angoss Software公司的 Knowledge SEEKER,IBM公司的 Intelligent Miner for Data,Rightpoint公司的 Data Cruncher和SAS公司的 Enterprise Miner等。

8.4 数据仓库

关于数据仓库(Data Warehouse)的定义有:“数据仓库是集成信息的存储中心,这些信息可用于查询或分析”(斯坦福大学数据仓库研究小组)。数据仓库权威专家W. H. Inmon给出的定义是:“数据仓库是20世纪90年代信息技术构架的新焦点,它提供集成化的和历史化的数据;它集成种类不同的应用系统,数据仓库从事物发展和历史的角度来组织和存储数据,以供信息化和分析处理之用”。

从本质上说,数据仓库既是一种结构和富有哲理性的方法,也是一种技术。它把数据和信息从不同的数据源提取出来,然后把这些数据转换成公共的数据模型并且和仓库中已有的数据集成在一起。当用户向仓库进行查询时,需要的信息已经准备好了,数据冲突、表达不一致等问题已经得到了解决,这使得决策和查询更容易、更有效。

数据仓库一般包括以下3个基本的功能部分:

(1) 数据获取 这个部分负责从外部数据源获取数据。数据被区分出来,进行拷贝或重新定义格式等处理后,准备载入数据仓库。

(2) 数据存储和管理 这个部分负责数据仓库的内部维护和管理,提供的服务包括数据存储的组织、数据的维护、数据的分发、数据仓库的例行维护等。

(3) 信息访问 信息访问部分属于数据仓库的前端,面向不同种类的最终用户,这里主要由桌面系统的各种工具组成。数据仓库的最终用户在这里提取信息、分析数据集、实施决策,从而可望取得竞争优势。进行数据访问的软件工具,主要是查

询生成工具、多维分析工具和数据挖掘工具等。

作为数据仓库系统三要素之一的信息访问部分，是最终用户赖以从数据仓库中提取信息、分析数据、实施决策的必经途径，其最终目的也正是面向高层的决策支持，而这些决策支持的信息必须通过数据挖掘才能获得。事实上，数据仓库在纵向和横向也都为数据挖掘提供了更广阔的活动空间。由于数据仓库完成了数据的收集、集成、存储、管理等工作，使得数据挖掘面对的是经初步加工的数据，从而能更专注于知识的发现；另一方面，由于数据仓库所具有的新的特点，又对数据挖掘技术提出了新的更高的要求。可见，数据挖掘技术要充分发挥潜力，也必须和数据仓库的发展结合起来。

从目前市场上开发的数据仓库产品来看，除单独的一些数据仓库软件外，如 NCR 公司的 Teradata 数据仓库平台和 Brio Technology 公司的 Brio Enterprise 系列产品等，很多的数据仓库软件提供商都同时提供数据挖掘和决策支持系统的组件，例如 Red Brick 公司的 Red Brick Warehouse 中就包括可选数据挖掘组件 Red Brick Data Miner，Oracle 公司除提供多维数据的联机分析工具 Oracle Express OLAP，还有像 Oracle Discover 等的决策支持产品。

8.5 本章小结

本章主要讨论了 ITS 项目评价中所可能运用到的数据分析和处理的方法，其中包括针对定量指标的假设检验和方差分析以及交互效应分析等，针对定性指标的列联表分析，以及近些年来用于交通海量数据处理的数据挖掘和数据仓库技术等，这些方法将为 ITS 项目评价的数据准备提供技术支撑。

第9章 评价实例

本章将分别就项目实施测试评价和项目实施前的仿真评价给出一个评价的实例，用以说明本书前面部分论述的评价方法和过程。由于在我国还没有完整的 ITS 项目实施及前后评价的实例，因此我们选择了美国宾夕法尼亚州的一个交通信息服务系统的评价实例来进行说明。在仿真评价方面，我们采用 PARAMICS 微观交通仿真模型对交通拥挤管理中常用的分流技术和方案进行了模拟评估和比较。

9.1 交通测试评价的实例

9.1.1 系统描述

综合监控和交通数据管理的基础设施系统 (Integrated Surveillance and Data Management Infrastructure ,简称 ISDMI)是自 2000 年起分别在宾夕法尼亚州的匹兹堡和费城两地展开的交通数据采集、管理和信息服务系统。其主要目标是连同现有的监控基础设施，实时地、连续获得道路系统运行的数据，从而提供实时的、特定格式的交通信息服务。

ISDMI 系统由两个功能区域组成：(1) 数据采集功能区域，也就是城市交通区域 (MTA)；(2) 数据处理和存储功能区域，即国家交通数据中心 (NTDC)。MTA 的主要目的是在特定区域内通过不同的方式收集交通信息，传送到国家交通数据中心。国家交通数据中心的数据发布系统处理、存储和发布从采集系统获得数据后，通过对数据的处理提供实时交通状况信息，同时保留一个数据库来获取数据。公共和私人部门均可以通过一个基于 web 的事业型系统访问这一数据库，获取实时数据。

该系统同时还包含有位于市区范围内的传感器的网络，通过通讯网络与国家交通信息中心相连。每个传感器实时收集信息，连续地对道路进行监控，同时按照特定规则（目前是 60s 的间隔）把该时间段内收集到的信息送出。数据被国家交通数据中心收到以后，同时进行发布和存储。道路传感器的一些典型属性，例如流量、占有率和速度从定义的探测区域的设备得到，并按照日期和时间存为原始数据。这些数据被 ISDMI 系统用来计算交通拥堵程度和交通密度。

现在，匹兹堡区域有 114 个传感器，费城区域有 178 个传感器，这些传感器被安置于高速公路和主干道上。ISDMI 系统的验收检验于 2001 年 5 月在匹兹堡和 2001

年 11 月在费城分别进行。

整个 ISDMI 系统的体系结构如图 9.1 所示。

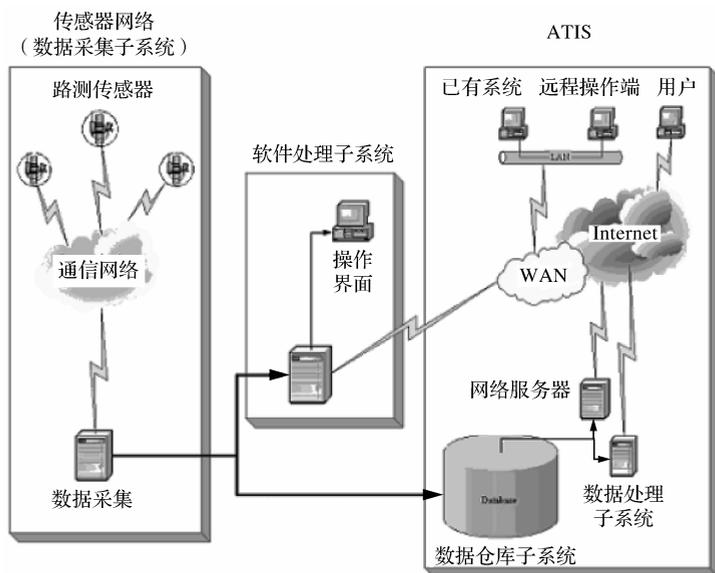


图 9.1 ISDMI 系统的体系结构

9.1.2 评价目标和框架

本次评价的主要目标是论证在诸如出行者信息服务、路径诱导、交通控制、事故管理等范围的智能交通系统项目在技术和制度上的可行性、成本以及取得的效益，从而推进该系统在其他城市的实施。评价的预期结果是业主所关心的对取得效益的分析，包括节省的费用以及由 ISDMI 系统提供的数据分析得到的消费者满意度。

因此，项目对 5 个主要的目标进行评价：系统运行、机动性、生产力及效率、安全和制度问题。为了对这些目标进行评价，设定从以下 6 个方面对所作的假定进行检验：

- 技术效率——主要以系统运行方面为评价目标。该方面的指标是评价系统完成制定功能的能力。
- 用户满意程度——着重研究生产力、效率和机动性。研究目标是得到用户的满意程度水平和用户希望改进的范围。
- 堵塞——研究主要针对机动性，研究交通堵塞的目的是检验由 ISDMI 系统提供的实时交通信息数据的实用性和准确性。
- 费用——研究着眼于生产力和效率，费用分析规定为量化与配置、实施、

维持该系统有关的可再生和不可再生价值。

- 安全——安全研究的目的是确定由配置 ISDMI 系统带来的可能的交通安全方面的受益。
- 制度问题——制度问题的研究是为了指出对新的技术的配置和实施时，可能遇到的政策问题和制度安排。

这些不同方面的评价目标组成了评价检验计划，表 9.1 为目标范围、进行的研究和假设检验。

表 9.1 目标范围、研究和假设

目标范围	研究	假设	采集得到数据
系统运行	技术效率	<ul style="list-style-type: none"> ● 准确、完整、可靠的交通数据 ● 更廉价地采集、存储、共享数据 ● 更快地处理、发布数据 ● 提供实时、存档的交通数据的能力 	是 是 是 是
生产力和效率	消费者满意程度 费用	<ul style="list-style-type: none"> ● 更少费用、更快地采集、处理交通数据 ● 提高数据质量（适时、准确、容易获得） ● 提高数据采集、处理和发布的效率 	是 是 是
机动性	堵塞 消费者满意程度	<ul style="list-style-type: none"> ● 改进出行者信息 ● 减少延误、堵塞 ● 改进出行计划 ● 为公交和其他用户提供改进的服务 	是 是 是 否（见 1）
安全	安全	<ul style="list-style-type: none"> ● 改进事故检测和反应 ● 更好的风险管理 	是（见 2） 否（见 3）
制度问题	制度问题	<ul style="list-style-type: none"> ● 改进各部门之间的相互作用 ● 简化共享和交换数据 ● 对其他区域适用 	是 是 是

注：（1）评价期间不能得到数据。

（2）只是定性估计，评价期间不能得到定量数据。

（3）评价期间不能得到数据。

评价的实施框架包括四个主要部分。首先是在评价会议上定义评价目标范围并区分各个目标的先后次序。评价会议上还应获取业主对于评价目标的多数人意见、评价目的和数据收集时机等的意见，同时考虑实施 ISDMI 系统的主要特点和期望引起的变化。关于评价目标的优先权也应该在评价会议上确定；其次，就各个评价目标范围确定进行评价指标。总体上，这些指标是进行评价的关键；第三，建立用以评价目标范围内的预期变化的假定，这些假定应反映系统实施以后每个目标范围内

的预期变化；最后，确定检验上述假定的收集相关数据的方法，作为评价的支持。

9.1.3 评价策略和方法

这部分围绕5个主要的评价目标范围，描述了在以下6个方面进行评价的技术方法。

1. 技术有效性

技术效率研究范围集中在系统运行目标上，研究中的指标评价了系统完成预定功能的能力。技术效率研究尝试强调以下几方面的问题：

- 在利用新系统采集、处理、存储、取用以及发布交通数据时遇到哪些困难？
- 从移动技术公司的传感器和存档数据库得到的数据质量怎样？
- 系统能否从存档数据库生成预定各式的报告？
- 传感器和通讯系统能否按照需要的格式采集、传送准确和及时的交通信息给所有用户？

技术效率分析的数据主要来自重要技术人员的采访和对运行数据的分析。对所有业主的访问可作为对以上问题的回答。这些访问被设计用来提供关于系统界面、数据质量以及可信度的定性和定量的评价。这些采访的信息与消费者满意程度也有一定关系。

通过人工以及其他自动方法获取数据，得到ISDMI系统传感器数据的精确性和数据质量。宾西法尼亚交通局规划研究署进行了区域测试来比较人工计数的交通流量和自动的ISDMI数据，这些测试以评价移动公司的传感器和数据库系统的方式进行，以下是系统运行数据分析的三个部分。

(1) 首先，人工计数的交通量数据与ISDMI系统的数据进行比较，目的是检验传感器采集交通流数据的准确性。

(2) 其次，自动车辆记录仪数据与数据库下载到的交通数据进行比较。目的是与自动车辆记录仪比较，检验传感器和数据库在记录和处理交通流数据的准确性。

(3) 第三，匹兹堡进行了所有传感器的全面数据质量分析，而费城只对一部分传感器的数据进行了分析。这些数据是从ISDMI系统的数据库下载得到，以进行对该系统的专门设计的一系列统计分析，从而获得关于采集、存储、处理数据的质量。进行质量检测的数据有5 min内的交通流量、车辆速度、车道占有率纪录。5 min数据记录是可得到的数据报告中最好的。

2. 用户满意度

为进行此项研究，主要考虑三个团体的消费者：(1) 业主；(2) 公众（大众和已知的ISDMI用户）；(3) 商业团体或媒体（例如广播与电视台）。用户满意度研究主要估计这些用户认识到的利益，这是由配置系统引起的每个用户的主观满意水平。

用户的满意对新技术的应用是至关重要的，系统的扩展甚至维持都需要系统能够使用户满意，并表示比以前方法的改进之处。消费者满意程度的客观研究是以两种方式收集用户的满意信息：定量的和定性的。为得到用户对于系统的满意程度，以及用户认为系统哪些地方还可以改进，设计这项研究时着重强调了以下的问题：

- 用户对于数据的接受程度和使用情况如何？
- 用户得到的交通信息是准确、可信的吗？
- 用户对系统的整体运行满意吗？
- 系统提供的产品是否有其他价值？
- 哪个方面被认为是比其他方面更有价值？

业主的满意程度通过对重要人员的采访获得，商业团体如媒体的满意程度通过一个调查获得。在匹兹堡的一个区域和费城的三个区域两个媒体单位提供了他们使用 ISDMI 系统提供的交通信息后的定性的满意程度。

- 对公众进行满意程度研究时，重点是收集知道、访问、接受、使用和评价等信息。这主要是基于之前的一个使用了 (Cluett, 2000) 模型的用户满意度研究。

对产品、服务知道的水平；

对产品或服务的访问；

接受程度（声称的对产品和服务的偏好）；

使用行为（显示的对产品或服务的偏好）；

评价（为产品或服务支付的意愿）。

当移动技术公司的信息在匹兹堡和费城通过网络和其他媒介（例如电视、广播等）发布给公众时，实施该系统进行评价相对为时较早。因此，用户满意程度研究仅关心用户对移动技术公司网站提供的信息的满意程度，以及该网站的运行情况。

为了得到适合移动技术公司 (Traffic.com) 网站的五个方面的用户满意程度数据，进行了两个调查：对潜在用户的随机电话调查（对公众）和对实际用户的网上调查，通过这两个调查得到了对该网站的了解程度和满意程度的信息。调查得到的数据被存储在一个数据库中并用 SAS 软件包进行了分析。

有几个基本的假设，例如检测的成功依赖于调查中能够得到足够的回复，在每个城市完成了 250 个电话调查。

3. 拥挤研究

拥挤研究的主要目的是强调机动性，因为拥挤与机动性是直接相关的。机动性在业主看来是配置系统最重要的目标，而预期的改变也主要与机动性相关。拥挤研究的主要目标是检验覆盖一个广域范围的 ISDMI 系统提供的关于拥挤方面的实时交通数据的有用性、准确性和可靠性。宾夕法尼亚交通局匹兹堡交通管理中心第 11

区以及费城第6区需要实时的交通数据，以通过可变信息牌（VMS）和高速路信息广播（HAR）提供给乘车者当前的交通状况信息。出行前的信息查询能够帮助出行者制定出行计划，而避开可能较拥挤的路线、施工和事故造成延误的路线。同样，及时、准确的交通数据被期望用来帮助交通事故管理从而避免延误和拥挤。

设计拥挤研究是为了能够得到以下重要问题的信息：

- 道路上车辆延误减少的百分比是多少，尤其是在高峰时间？
- 路网上某些选择点之间的旅行时间有什么变化？
- 系统实施后，拥挤街道的平均前进速度改变了多少？

这次研究包括采集并分析数据，以对用户得到交通状况信息和改进的出行者信息导致延误和拥挤的减少进行假设检验。系统被期望能够提供给交通管理者准确、实时的交通信息，从而通过VMS和HAR对公众提出出行的建议。同样，期望通过网络、广播和电视发布的出行者信息能够改进公众的出行计划和路线选择。

这些与数据有关的步骤包括现场访问、通过在选定地点的监控设备对交通流进行录像。另外，在交通管理中心（TMC）存档的交通流和速度也可以下载下来进行分析。与拥挤研究有关的参数包括旅行时间、速度和交通流量。分析的目的是确定路段拥挤的改变量，以及确定由ISDMI系统引起的改变的大概比例。

4. 费用研究

费用研究主要强调生产力和效率的目标。进行费用分析是为了定量分析系统实施、运行和维护造成的不可回收费用和可回收费用。评价指标的选择是基于配置该ITS技术的最终目标是提高生产效率和生产力的假设。设计费用分析是为得到回答以下问题的信息：

- 与ISDMI系统配置和运行相关的费用是什么（包括MTA和NTDC组成部分）？
- 数据采集、处理和存储的费用是多少？
- 该技术减少还是增加了采集、处理数据所需要的时间？
- 与得到实时数据相关的费用是多少？

费用数据可通过对业主的访问和对运行数据进行分析得到，但系统实施的费用很难得到。收集到的数据也主要是基于业主使用先前的系统采集、处理和发布数据的费用。

5. 安全研究

安全被认为是将受到系统实施影响的第二个最重要的目标。然而，实际上几乎不可能直接衡量系统对于安全的影响。因此安全研究的目的是确定ISDMI系统实施可能引起的安全上的利益。安全研究是为了得到能够回答以下问题的信息：

- 该系统能够改进事故管理吗（探测/反应时间）？

- 改进的事故管理对交通安全有什么潜在的影响？

与评价安全影响的必要数据主要通过对业主（尤其是交通管理中心）的访问获得，得到关于事故检测和反应时间的变化（认识到的或者是真实的）。为了评价，定义事故检测时间为从一事故发生到事故管理小组得到报告的时间。同样，事故反应时间定义为从检测到一事故到事故管理小组到达现场的时间。假如没有记录检测事故和反应的时间，直接估计 ISDMI 系统对交通安全的影响是不可能的，对安全影响的评价还受到 TMC 工作人员的传闻推断以及预感经验的限制。

6. 制度问题

制度问题研究的目的是确定政策问题和制度上的安排可能对新技术实施、运营的影响，突出可能阻止或是推进新技术实施的非技术因素，研究新技术可能引起的任何制度上的变化（法律、规则、组织结构等），该技术对于其他地方的适用性也将提及。设计此项研究是为了得到以下问题的信息：

- 与系统实施相关的制度问题是什么？
- 有哪些制度和非技术因素会阻碍或支持系统的实施？
- 为保证系统的适用性，需要哪些制度结构？

制度问题研究是通过业主和移动技术公司的人员的访问进行的。业主关于制度问题的信息在系统实施后的采访中获得，因为此时业主才能够使用该系统，并且从各自的角度出发对制度问题有更深刻的认识。以移动技术公司为例，关于制度问题的采访是在 2001 年 2 月进行的，而那时系统已经在匹兹堡完全开始运行了。

9.1.4 评价结果

以下介绍了在匹兹堡和费城进行的 6 个方面评价研究的结果，主要结论列举如下：

1. 技术效率

评价中的技术效率部分包括估计系统准确、完整地采集、存储和发布交通数据（数据质量保证不同的应用）的能力，定量估计传感器数据的准确程度和完整程度，定性估计系统进行采集、处理和发布高质量实时数据的能力。

（1）存档数据的精确度

数据精确度分析的目的在于检验 ISDMI 传感器采集、处理和存储交通流量数据的精确程度。这可通过与自动式车辆记录仪（ATR）获得的流量数据、人工计数得到的数据相比较得到。需要指出的是自动式车辆记录仪获得的数据和人工计数得到的数据也存在固有的误差。以下是统计分析后的主要结论：

ISDMI 传感器与 ATR 记录：用统计分析来反映传感器在采集和记录交通流量数据时的准确性。分析表明大约 81% 的 ISDMI 传感器数据比 ATR 数据小，当交通量

越大时,二者的差别越大,但是随着交通量的增加,相对误差越来越小。在95%的置信水平,如果交通量小于500辆/h,传感器数据精确度分布在ATR数据的正负74%范围内,如果交通量大于2500辆/h,传感器数据误差分布在ATR数据的正负7%范围内。

在费城,分析显示大约81%的ISDMI传感器数据比ATR的数据大,而且ISDMI传感器的全部数据保持相对平稳(± 175)。在95%的置信水平下,如果交通量小于500辆/h,传感器数据精确度分布在ATR数据的正负124%范围内,如果交通量大于2500辆/h,传感器数据误差分布在ATR数据的正负6%范围内。

匹兹堡和费城的交通流量数据准确性的差异还不是很清楚。尽管匹兹堡的分析包括系统进行验收检验前的数据,结果表明系统进行验收检验前后的数据质量是相似的。这些差异可能归结为许多因素,一种可能是由于匹兹堡的传感器比费城的配置的早,因此在匹兹堡的经验教训可能会在费城的配置过程中考虑进去。

ISDMI传感器与人工计数:在匹兹堡10处地点进行了传感器数据与人工记录数据的比较。每个比较的区域包括2~3h的单方向车流的人工计数。结果显示25组ISDMI传感器的数据中,有18组(72%)比人工计数的结果小。而且两者的差别相对于人工计数的结果在-20%和16%之间。这与和ATR的比较结果是一致的。

(2) 存档数据的完整性

这项分析是为了检验ISDMI传感器采集、处理和存储交通数据的完整程度,用来表征完整性的数据有:ISDMI传感器按5min间隔采集到的交通流量、占有率以及速度值。

匹兹堡的数据显示,从2001年1月到6月数据完整性不断改善,但从2001年6月到12月完整性却不断下降。3个变量全年的平均完整程度为70%,尤其是,3个量所有潜在的5min间隔的数据丢失了大概30%(流量丢失29%,占有率丢失27%,速度丢失31%)。流量和速度数据大概在3%的时间同时丢失,27%的时间3个量同时丢失。总的来说,速度数据比流量和占有率在一定程度上更容易丢失。

费城的数据表明98%的是完整的。显然,费城的传感器比匹兹堡的能够采集、处理、存储更多的数据。除了两个城市数据完整性的不同,其他结果与其他ITS数据比较还是可接受的。例如,最近的研究表明美国的10个不同城市,数据完整性分布在38%到93%。匹兹堡的70%的完整性与其他城市是在同一个水平上的,而费城98%的数据完整性要比多数现在其他途径的数据更好。实际上,并不希望有100%的完整性,而且对于得到的数据没有公布的区别好坏的界限。由于没有这个界限,衡量ITS数据的质量的唯一参考来自相似的研究或者相似的系统。

(3) 实时数据的定性评价

基于匹兹堡实时数据用户的讨论，做了关于系统和实时数据的定性评价。而在费城评价期间业主不能从 ISDMI 系统得到数据，因此对实时数据的质量不能提供信息。宾夕法尼亚交通局交通管理中心的工作人员指出匹兹堡的 ISDMI 系统正在以预定的功能为经营者提供及时的交通信息，同时为公众提供出行信息。因此交通管理中心的工作人员做了以下观测：

- ISDMI 传感器的数据可作为摄像资料的补充，而且可以被交通管理中心得到。
 - ISDMI 系统的交通流地图和发布功能，可以在任何时间给出交通状况的详细信息。而且，ISDMI 系统与摄像系统相比，能够覆盖更大的范围。交通管理中心能够提供摄像系统没有监控的道路的交通信息。
 - ISDMI 系统有一个触发机制，可在发生事故的时候对交通管理中心人员发出警报。该中心工作人员相信这项功能能够减少事故探测和反应的时间。
- 并且，交通管理中心能够对事故相关的道路上的车辆及时、准确地引导。

结论是该系统能够按照预定的功能，不受干扰并连续地采集、处理和存储交通数据。得到的数据的质量，以准确性和完整性来衡量，与其他研究相比较是可比的，并有改进的余地。结果显示传感器和通讯系统能够胜任采集、处理、传输实时交通数据，并按照需要的格式提供给用户。系统还能够依据存档数据库生成个性化的交通报告。

2. 用户满意度

用户满意程度研究要衡量三个用户团体的意见：公众（包括一般大众和移动技术公司的用户）、业主以及媒介。对公众采用了随机电话访问的方式，来获得对该系统的知道、访问、接受等不同程度的了解情况，对实际用户（移动技术网站的用户）进行了网上调查的方式，来获得他们对 ISDMI 系统的使用和评价。

总的来说，公众和媒介接受 ISDMI 系统的数据，超过 95% 的公众表示愿意继续使用这些信息，而媒介对这些交通信息表示满意，并表示会将这个信息源推荐给其他潜在的用户。这些用户表示系统的整体运行能够接受，提供的信息是有用的。另外，业主较晚开始使用 ISDMI 系统数据，因此无法得到他们对于该系统较多有意义的评价。目前使用系统数据的业主表示满意。

三个用户团体的结论如下：

大众

知道：根据电话调查，28% 的匹兹堡居民和 23% 的费城居民听说过 Traffic.com。网上调查显示，Traffic.com 网站的用户多数中匹兹堡的多数（32%）是通过电视、广播广告知道这个系统的，而费城的多数（35%）是通过传言得知。

网上调查做出反馈的人中，匹兹堡的 58%和费城的 69%知道 Traffic.com 提供点对点的旅行时间信息，更多的用户知道一些路线的旅行速度和地图等信息。

访问：匹兹堡大概有 65%的家庭能够访问国际互联网，而费城为 77%。对互联网的访问可看做是对 Traffic.com 信息访问的一种代表。因此，如果他们有需要的话，这两个地区 65%至 77%的人可以访问这个网站。

接受：几乎所有的网络调查反馈者（匹兹堡 95%，费城 97%）表示打算将来继续使用 Traffic.com 的信息，这暗示现在的用户认为这些信息有用，并会继续使用。

使用：Traffic.com 的用户中，匹兹堡的 16%和费城的 44%查询特定路线上的交通，匹兹堡的 6%和费城的 9%查询当前的行程时间。在网络调查的反馈者中，两个城市的 84%的用户称查询特定路线上的交通。

评价：根据网上调查的结果，匹兹堡有 68%的用户，费城有 86%的用户由于 Traffic.com 的信息而至少一次的改变出行路线；匹兹堡有 47%的用户，费城有 66%的用户由于 Traffic.com 的信息而改变出行时间；对于出行方式的影响相对较小，匹兹堡有 6%的用户，费城有 2%的用户由于 Traffic.com 的信息而改变了出行方式的选择。

网络调查中，匹兹堡的通勤者中的 75%和费城的 43%认为他们的通勤时间和原来一样，但匹兹堡有 18%的通勤者，费城的 47%认为 Traffic.com 的信息帮助他们减少了通勤时间。

结果显示，Traffic.com 提供的实时交通信息能够帮助乘汽车者决定他们的出行计划，在调查期间，匹兹堡少于 10%的用户和费城的 27%表示他们愿意为提供的这些服务付钱。

网上调查显示多数用户相信系统运行稳定，匹兹堡和费城有 70%的用户认为该网站便于访问，75%认为提供的信息容易理解，大约 65%的人认为信息是可靠的，73%的人指出他们欲查询的几乎所有路线的信息都包含在该系统中。

用户满意度研究表明，知道 Traffic.com 的公众成员都利用系统提供的信息来帮助做出出行选择。结果显示两个城市的用户反映出的满意程度一致，多于一半的用户表示提供的信息能够满足他们的要求。尽管调查中反馈的数量较小，结果仍然显示 Traffic.com 网站的信息对出行者选择路线的影响要大于时间的选择。而且这个系统相对较新，使用者将与日俱增。

业主

在用户满意度调查期间，匹兹堡五个业主中的两个，宾夕法尼亚州交通局十一区交通管理中心和 BPR，实际上已在访问或使用 ISDMI 系统的数据。在费城，只有交通管理中心于 2002 年 4 月在一个有限的基础上访问 ISDMI 系统数据。在评价数据收集期间业主没有能够访问或者使用 ISDMI 系统数据的原因可归结为：(1) 缺少

对数据质量的认识 ;(2) 业主对 ISDMI 系统产生的数据缺乏准备 ;(3) 其他可代替的数据源仍然有用,如遗留下来的其他系统 ;(4) ISDMI 系统没有完全与遗留下来的系统整合在一起。由于这些应用上的限制,要对业主对 ISDMI 系统的数据满意度做出全面的评价显然是不可能的。

这份报告中业主满意程度的描述只代表一部分业主,因此可能不能完全代表两个城市的所有业主的态度,这是因为每个业主用实时和交通数据有着不同的应用。有意思的是,匹兹堡和费城的交通管理中心对 ISDMI 数据的态度有不同看法。例如,匹兹堡交通管理中心的人员指出:(1) ISDMI 系统改进了公路系统的覆盖范围,改进了交通监督和事故管理(紧急响应);(2) 数据采集系统便利且有用,因为数据采集是连续并不可间断的。但是费城交通管理中心的人员更关注 ISDMI 系统数据应用于事故探测时的有效性和准确性,他们认为 ISDMI 系统信息应用于事故管理时没有什么用。

目前访问 ISDMI 系统数据的业主都认为页面是友好的,访问数据很容易。另外,网络页面比移动技术公司提供的基于个人电脑的软件也更有用。

媒体(广播和电视台)

匹兹堡的两家和费城的三家媒体单位被调查了他们对于 Traffic.com 提供的信息的满意度。平均来看,媒体在高峰时间通过 ISDMI 系统获得实时交通信息为每天 3 到 9 次。媒体对系统数据的传输格式、准确性、及时性、完整性以及可靠性等方面的质量表示满意。观察显示新的系统与传真等其他遗留下来的数据获取方式相比,能够更便利地通过网络提供交通信息。

3. 拥挤

拥挤研究的主要目标是检验 ISDMI 系统的信息是否对交通拥挤产生潜在的影响。公认的是交通流速度和流量与出行者可得到的出行信息之间并没有直接联系。拥挤分析的结果只能暗示得到出行者信息与拥挤之间可能的联系。

在匹兹堡,使用 ISDMI 系统的数据和录像记录的数据,两个历史上曾经拥挤的地点的交通速度和流量特性被及时地进行了比较。在费城进行了类似的分析,但没有使用录像数据。

评价发现,在匹兹堡的一个地点,晚高峰时的平均车速有了较大提高,该地点的晚高峰时交通量相应地减少,而早高峰的平均车速和流量维持原状。然而在另一地点,两个方向的交通流平均车速实际上和原来一样。在费城,一处的早高峰平均车速提高了,而另一处维持原状。这些结果并非由这些地点的出行者得到出行信息直接决定的。

匹兹堡交通管理中心的人员观察了匹兹堡地区的交通拥挤的变化,注意到没有摄像系统覆盖的道路拥堵情况有所改观。这大概是由于通过可变信息牌(VMS)

道路咨询广播 (HAR) 以及移动技术公司提供的商业广播服务等为乘车者提供了这些路段的交通信息。最终结果是更多的信息发布给更多的乘车者,尤其在高峰时间或者在事故发生以后,交通信息的利用能够帮助交通管理中心实施交通管理,帮助出行者做出行选择。ISDMI 系统应用以后,费城交通管理中心的人员没有发现对拥挤有明显的影

响。由于有许多因素影响交通流,ISDMI 系统对拥挤的直接影响不可能明确地用定量表示出来。而且,系统从实施到评价时间不长,因此不足以捕捉系统对于拥挤的影响效果。然而,准确、完整的实时交通数据的获得,能够为交通管理者和出行者提供更大范围的信息,改进路线选择从而最终影响拥挤。

在下一节中,我们还将就匹兹堡地区的交通拥挤方面给出详细的评价资料。

4. 费用分析

ISDMI 系统作为公私合营的项目,拥有独特的融资机制。因此,诸如不可回收的资源投入和私人资金投入等费用被认为是隐私,评价团体无法获取。美国交通局投入 200 万美元,宾夕法尼亚州交通局提供了 50 万美元,作为一次性的投资到 ISDMI 系统。公众部分并没有重复性投资的费用,私人合伙人承担了所有的重复费用。费用分析主要是要确定数据采集、处理、存储期间,各业主使用 ISDMI 系统取代过去系统的节省费用。不过费用分析仅限于估计业主的费用节省,因为他们被假设完全依赖于 ISDMI 系统提供的数据。

业主的费用节省本质上是实施新的数据采集系统的一次性投资和维持现有系统和新建系统的重复投入。如匹兹堡交通管理中心这样的业主,将 ISDMI 系统的数据作为现有系统的补充,如果每个业主的数据需求完全依赖于 ISDMI 系统,那么他们将认识到一些费用节省。

以下是不同业主潜在的节省费用:

- 匹兹堡交通管理中心——配置一个新的交通检测系统,估计一次性的费用为 57 万美元(也就是 57 个检测器,每个 10 000 美元),如果交通管理中心将 ISDMI 系统数据作为现有摄像系统的补充,将不会引起每年估计为 57 000 美元的维护费用。由于 ISDMI 系统并不是摄像系统的替代品,因此仍将保持每年用于摄像系统的维护费用。
- 公路管理局(BPR)——如果 BPR 完全依赖于 ISDMI 系统,那么每年用于现有系统数据采集(即 ATRs)、处理、存储和发布的费用即 63 580 美元可以节省。而且,配置双线圈自动车辆记录仪的成本估计为每处至少 184 000 美元(共 63 处),也就是可以节省 11 592 000 美元,还可以节省每年每处的维护费用 12 000 美元。
- 西南宾西法尼亚委员会(SPC)匹兹堡城市规划委员会(MPO),消耗了

每年的维护费用 130 000 美元的部分甚至全部,包括交通数据采集、处理和发布。这里面包括劳动力、车辆、维护、设备更新以及其他与数据采集和发布相关的操作费用。

- 费城交通管理中心——由于评价小组不能得到设备、运行以及维护的费用数据,因此对节省费用不能做出详细的估计。但是,假如交通管理中心访问、使用 ISDMI 系统的实时交通数据作为摄像系统的补充,那么每月潜在的费用节约为 90 000 美元(每年 1 080 000 美元)。这些费用作为实施交通数据的第二种资源,包括通过电话以及网络获取以及发布出行者信息的费用。

特拉华河谷地区区域规划委员会(DVRPC)——估计每年用于交通数据采集、处理、分析、发布的费用为 600 000 美元,包括工资和购买设备的费用。如果 DVRPC 的交通数据需求完全依赖于 ISDMI 系统,那么这笔费用也是可以节省的。

费城街道处——估计每年数据收集消耗国家的费用为 90 000 美元,如果 ISDMI 数据在质量和数量上能够满足该城市的需求,那么这笔费用也是可以节约的。

5. 安全

对安全的影响是定性考虑的。交通管理中心人员注意到二级事故的数量减少,而被看作是应用 ISDMI 系统实时交通信息在安全方面最大的受益。观察到的二级事故的减少主要归因于交通管理中心获得的交通情况和事故信息通过 VMS 和 HAR 及时发布给乘车者,而这些信息对他们是非常重要的,从而能够改进事故管理工作。同时 ISDMI 系统能够覆盖更广的范围,这也是交通管理中心能够监控比只有摄像系统时更大的范围的原因。这些信息能够提醒驾车者前方有事故,让他们做出相应反应或者提前做好准备,也可让驾车者选择其他的路线,而避免由事故引起的拥挤和延误。总之,交通管理中心人员在 ISDMI 系统的帮助下能够使事故管理工作进展得更好。

尽管费城交通管理中心人员没有能够提供关于交通安全方面影响的信息,但是在匹兹堡观察得到的覆盖范围和二级事故的减少在费城同样适用。

6. 制度问题

在匹兹堡和费城地区配置和使用该系统过程中没有提出重大的制度问题。ISDMI 在设计和配置方面的独特性在于它是个公私合营的项目。因此制度问题目前并没有浮出水面,但以后可能会比较明显。这些问题可能包括:数据质量、信息不完整或有错情况下公众可得到的信息、公众享有数据的权利(尽管不是时间问题)等。另外,竞争者可能因提供类似的数据而气馁。

公路管理局关于数据分析和发布的实施变化,希望与 ISDMI 系统的数据得到同时进行。技术上的进步正在实现这些,信息的详细水平和精确性也在不断改变,因为 ISDMI 系统提供的数据在时间和空间上都更加全面。例如,基于交通增长的假设

以及增长系数将被定制。

随着 ISDMI 系统的实施,其数据采集的职责可能转移。最近,匹兹堡和费城规划委员会(MPO)在为美国交通部采集交通数据。这样可以更加有效地利用资源。

迄今还不能为业主得到的数据即将可以获得,因此基于产量的分析和决定可以基于更大范围的数据基础之上,得到的结果也更可信。例如,高速路所有车道全天的数据都可以被 ISDMI 系统采集到。

9.1.5 匹兹堡地区交通拥挤改善评价

交通拥挤方面的改变反应了项目实施对路网交通带来的直接后果,同时也是其余一些方面效益和后果的基础。因此在此我们单独就 ISDMI 系统对匹兹堡地区交通拥挤方面的改善做进一步的具体分析。

在评估匹兹堡地区 ISDMI 系统在拥挤方面的潜在影响过程中,我们首先确定了两个历史性的拥挤段。这些地段由摄像机监控,它们是下午 3:00~6:00 晚高峰时的 I-367 Beechwood 路段(出城或向东),以及上午 6:00~9:00 早高峰时的 I-279 Rosslyn 农场路段(进城或向南)。拥挤分析由两个不同的数据来源指导,ISDMI 存档数据库和摄像记录。在这些地段关于交通情况的录像资料的采集时间是 2000 年 9 月和 2001 年 8 月各一个星期的星期二至星期四早晚高峰时期。存档数据下载于 ISDMI 存档数据库中的同一时期。我们假设任何一周的星期二到星期四之间的交通状况是相对稳定的。2000 年 9 月数据作为基线,而 2001 年 8 月数据作为系统应用后的对照情况。

拥挤评估的参数包括速度和交通流量(来自于存档数据)和两点间的出行时间(来自于摄像记录)。我们通过比较两个路段 2000 年 9 月和 2001 年 8 月的这些参数来调查 ISDMI 系统在交通拥挤方面的潜在影响。这些将在下面部分分别详细论述。

在解析拥挤分析的结果时,必须认识到出行速度的变化来自于多个因素,这些因素包括地段、一天中的时段、旅行的方向、天气、季节,交通量、事故的发生、可替换路线以及对地点交通状况的预知。本研究的分析中没有记入季节性影响,因为没有数据显示在选定地点交通量及速度如何随季节而变化。因此很难直接将出行速度和出行时间的任何变化和指定地点的关于拥挤的交通信息的可得性联系起来。就这项研究而言,我们假定道路使用者的出行信息可得性在所有其他因素不变的情况下来影响拥挤,而出行的信息包括汽车使用者通过因特网、VMS 系统和 HAR 获得的交通状况信息。

1. 存档数据评价

我们下载并分析了两个路段上的检测器记录的关于出行速度和交通量的存档数据。交通数据每 5 min 记录一次。和那些作为基准数据的录像一样,2000 年 9 月同

一时间的数据，和 2001 年 8 月的数据进行比较。我们也分析此间一些月份（2 月、4 月、5 月）的数据，以分析这些地段交通状况变化的趋势。较录像资料而言，存档数据为新的 ISDMI 系统对于交通状况的影响提供了更可信的定量评估。我们假定存档数据的质量和可信度在时间和空间上一致。

交通数据报告间隔为 5 min，每个月在每个 3 h 的高峰期我们分析 36 个数据点。结果显示在表 9.2 和图 9.2 中。表 9.2 显示了正负一个标准偏差下的平均速度和交通量，以及 2000 年 9 月和 2001 年 8 月的整体变化，后者表达为相对于 2000 年 9 月值的百分比。正负值分别表示相对于 2000 年 9 月值的增加和减少。图 9.2 显示了在这两个地点两个方向每月高峰时段平均车速。图 9.3 显示了在这两个地点两个方向每月高峰时段的平均交通量。

表 9.2 速度和交通量统计（存档数据）

平均速度 (mph)				
Beechwood Blvd.				
月 份	拥挤方向		非拥挤方向	
	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)
November (2000 年 11 月)	60.8 +/-3.1	27.7 +/-5.7	57.0 +/-2.6	62.3 +/-1.8
February (2001 年 2 月)	58.7 +/-5.2	28.2 +/-6.1	58.1 +/-2.4	61.8 +/-2.0
April (2001 年 4 月)	58.9 +/-4.6	30.5 +/-6.5	57.5 +/-2.9	60.6 +/-1.7
May (2001 年 5 月)	53.8 +/-10.1	32.2 +/-3.5	57.4 +/-2.3	61.5 +/-1.7
August (2001 年 8 月)	61.6 +/-2.2	30.2 +/-4.5	57.7 +/-3.0	62.8 +/-2.0
整体变化	1.3%	9.0%	1.3%	0.8%
Rosslyn Farm				
月 份	拥挤方向		非拥挤方向	
	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)
November (2000 年 11 月)	44.3 +/-5.2	34.3 +/-8.5	46.9 +/-3.3	46.5 +/-1.5
February (2001 年 2 月)	55.6 +/-2.0	37.8 +/-9.6	61.0 +/-2.7	50.8 +/-2.3
April (2001 年 4 月)	52.9 +/-6.3	52.6 +/-4.9	56.9 +/-6.9	55.7 +/-1.8
May (2001 年 5 月)	50.7 +/-2.5	63.5 +/-6.6	44.3 +/-10.0	65.3 +/-2.2
August (2001 年 8 月)	45.6 +/-4.8	66.4 +/-2.3	46.4 +/-3.6	61.9 +/-2.0
整体变化	3.0%	93.8%	-1.2%	33.0%

续上表

交通流量

Beechwood Blvd.

月 份	拥挤方向		非拥挤方向	
	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)
November (2000年11月)	286 +/-23	364 +/-37	201 +/-41	226 +/-29
February (2001年2月)	293 +/-26	370 +/-29	197 +/-40	222 +/-28
April (2001年4月)	289 +/-16	349 +/-35	204 +/-38	231 +/-18
May (2001年5月)	251 +/-31	301 +/-22	200 +/-33	233 +/-19
August (2001年8月)	275 +/-20	367 +/-23	181 +/-27	203 +/-22
整体变化	-3.9%	0.7%	-9.9%	-10.0%

Rosslyn Farm

月 份	拥挤方向		非拥挤方向	
	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)
November (2000年11月)	327 +/-49	308 +/-38	270 +/-33	363 +/-36
February (2001年2月)	311 +/-47	293 +/-37	248 +/-36	359 +/-28
April (2001年4月)	319 +/-40	306 +/-29	257 +/-24	358 +/-27
May (2001年5月)	325 +/-46	247 +/-26	262 +/-40	325 +/-28
August (2001年8月)	324 +/-40	241 +/-20	262 +/-33	338 +/-24
整体变化	-0.9%	-21.7%	-2.7%	-7.0%

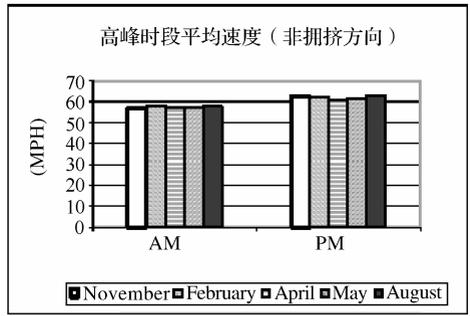
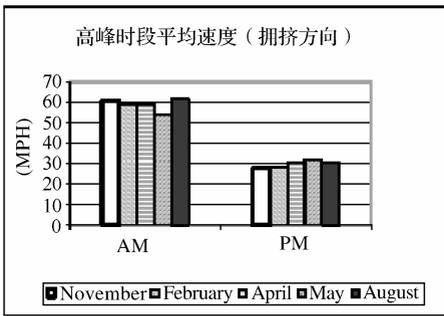
从结果中,可以注意到在 Beechwood 大街拥挤方向上晚高峰时间的平均车速在 2000 年 9 月和 2001 年 8 月间提高了 9%,而在拥挤方向上早高峰时的平均速度则没有明显改进(提高 1%)。在图 9.2 中我们也注意到在这个地点的平均高峰时速由 2000 年 9 月经由 2001 年 2 月、5 月至 8 月没有明显的波动。相似的,在这一时期平均交通量也保持大致不变(图 9.3)。然而在 2000 年 9 月和 2001 年 8 月之间,这个地点在每个高峰时期非拥挤方向上的平均交通量下降了 10%。

另一方面,在 Rosslyn 农场地段,2000 年 9 月至 2001 年 8 月间高峰时速有明显进步。我们注意到晚高峰时期的平均车速有明显进步,在拥挤方向和非拥挤方向分别有 94%和 33%。这个地点晚高峰的交通量在拥挤和非拥挤方向分别下降 22%和

7%。有趣的是，这个值对应于速度最高增量。早高峰时期的平均车速和交通量没有变化。对图 9.2 的分析显示自 2000 年 9 月经由 2001 年 2 月, 5 月至 8 月晚高峰时期平均车速稳定增长。而交通量在同一时期的变化并不显而易见 (图 9.3)。

在这些地点高峰时期交通速度的增加和交通量的减少暗示这些观察到的变化可能部分归结于旅行者获得改良后的交通信息。尽管是非决定性的，以上结果显示实时交通信息事实上可能影响旅行者的决策并因此影响拥挤。此外，结果显示及时获得交通状况信息可以改进 TMC 的交通管理操作和帮助旅行者的交通计划决策。

平均速度
Beechwood Blvd.



Rosslyn Farms

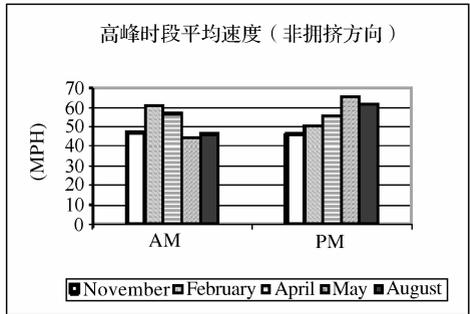
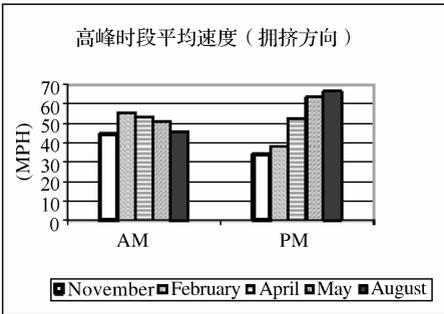
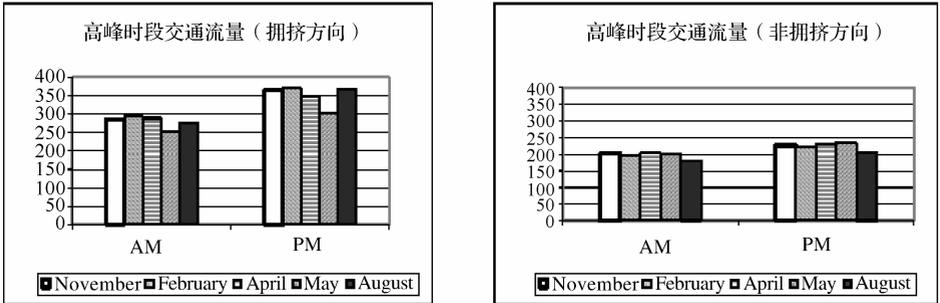


图 9.2 平均高峰时速 (存档数据)

为了更好的理解 ISDMI 对于拥挤的影响,我们也回顾了消费者满意度研究的结果。结果显示 16%的公共出行者确实通过查询实时交通信息来作出交通决策。据报道,大约 67%的被采访的机动车使用者根据从因特网上获取的信息改变了出行路线,大约 47%改变了最初的出行时间。虽然我们不可能将这些变化和由两个检测器监控的高等级公路路段的使用联系起来,但是这些结果的确显示了实时交通信息的可得性以及对它的访问影响出行决策,进而影响拥挤。

平均速度
Beechwood Blvd.



Rosslyn Farms

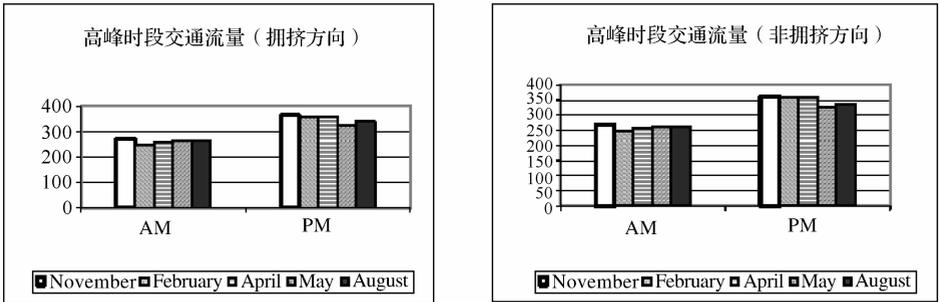


图 9.3 平均高峰交通流量 (存档数据)

2. 视频记录数据评价

从录像资料上测得两个预设点之间的行驶时间，即可用于对行驶时间的估计。我们在拥挤和非拥挤方向上做了同样的估计。由此得出行驶时间的描述性统计（平均值和标准差）。录像数据分析的结果是粗略的，用于提供一个在两个地点 2000 年 9 月和 2001 年 8 月间交通状况改变的大致情况。此外，录像资料用于验证检测器记录的信息。

分析的结果总结在表 9.3 中。它显示了 2000 年 9 月至 2001 年 8 月在正负 1 个标准差的出行时间和整体改变，其中后者为相对于 2000 年 9 月值的百分比。正负值分别表示相对于 2000 年 9 月值的增加和减少。在这些地点行驶时间的增加意味着速度的下降，反之亦然。

在 Beechwood 大街路段，2000 年 9 月至 2001 年 8 月通拥挤方向上早高峰车辆的行驶时间减少不到 5%，然而同一时期晚高峰汽车行驶时间却上升 200%。根据 2001 年录像记录的交通数据，我们注意到有一天下午 3:30 和 6:00 间汽车处于停顿状态。对那天事故摘要的回顾显示在那个地点附近发生一起事故，两小时后才被清除。

在 Rosslyn 农场路段，晚高峰行驶时间在拥挤方向上下降了 15%（平均速度增

表 9.3 出行时间的粗略统计 (录像数据)

Beechwood Blvd				
月 份	拥 挤 方 向		非拥挤方向	
	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)
November (2000 年 11 月)	13.4 +/-1.0	23.5 +/-7.3	11.9 +/-1.1	11.7 +/-0.6
August (2001 年 8 月)	12.8 +/-1.1	71.5 +/-19.3	11.9 +/-1.5	12.7 +/-1.2
整体变化	-4.5%	203.5%	-0.2%	8.7%

Rosslyn Farm				
月 份	拥 挤 方 向		非拥挤方向	
	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)	早高峰 (AM)	晚高峰 (PM)
November (2000 年 11 月)	4.4 +/-0.5	6.7 +/-2.8	3.8 +/-0.5	6.0 +/-0.8
August (2001 年 8 月)	4.7 +/-0.9	5.7 +/-1.0	5.3 +/-0.8	4.4 +/-0.7
整体变化	8.4%	-14.8%	40.7%	-26.7%

加), 在非拥挤方向上下降 27%, 但这个路段的早高峰行驶时间显示为增加。这些结果和前述的在这个路段的存档数据分析结果是一致的。这些结果也支持了实时交通信息可以实际影响出行决策, 并因此影响拥挤的假设。来自于消费者满意度的调查也包含实时交通信息可得性影响出行决策和拥挤的证据。随着知道、获取和使用这一系统行为的增加, 对拥挤的影响将会变得更加明显。

3. 交通管理中心 (TMC) 的定性评估

尽管 TMC 的职员观察到交通拥挤的变化是边缘的, 还是有一些显著的进步被观察到。例如, 在没有摄像机覆盖的地方, 拥挤仍然有所改善。这可能是基于通过 VMS、HAR 和商业广播报告提供给驾驶员包括受影响道路的通行限制在内的交通信息的结果。由于 TMC 不是在所有高等级路上都安装有摄像机, ISDMI 检测器就提供了一个对高等级路网的更广泛的覆盖, 并因此允许 TMC 同时就无摄像机路段提供交通咨询。而这一实施的最终结果是向更多的驾驶员提供更好的信息, 特别是在高峰时段或当有事故发生时。

9.2 交通仿真评价的实例

本节应用 PARAMICS 微观交通仿真模型对交通分流 (Traffic Diversion) 措施进

行评价。交通分流是交通拥挤管理的有效措施，主要用于因常发性交通拥挤或交通事故引发的交通堵塞，它在路网条件存在其他可选路径的情况下，将部分或全部交通流量转移到这些路径上，以缓解局部路段的严重拥堵。交通分流通常要借助于可变信息系统（VMS）或路边广播（HAR）等信息装置给出分流的建议得以实现，因此对交通分流措施的评价其实也就是对此类交通管理和路侧信息系统的评价。只不过在实施具体的分流措施时，通常需要确定一个详细的分流计划，例如分流路径的选择，各分流点需要分流车辆的流量比例以及分流时段的划分等，这也是此类项目评价的中心内容。在区域或全局路网的环境下对比评价各分流计划的效果，可以为某一干道或区域内的交通组织和管理提供良好的辅助决策。借助 PARAMICS 的微观交通仿真就可以通过编制一定路径控制的 API 来改变车辆的行驶路径来模拟交通分流，从而在计划实施前对其进行效果评价，以选出或加以改进得到较优的分流计划。

在本实例中，我们选取了新加坡亚逸拉惹高速公路（Ayer Rajah Expressway）及其附近区域的干道路网作为研究测试的路网，并模拟在高速公路某路段单一方向的中间车道发生交通事故（路网及事故地点见图 9.4 所示）。这一区域的路网特点是除了高速公路周围的干道路网比较发达以外，在高速公路的两侧同时还有单向的辅路，辅路为 2 车道，单向行驶，并和周围干道相连。事故发生后，我们根据车辆的目的地和车型制定了多种分流计划，指示部分车辆在事故发生路段的上游地点分批分流到高速公路的辅路和附近区域干道路网的可选路径上。在编制路径分流的 API 时，我们将在事故发生路段的上游分流点实时获取每一辆车经过此地段后的下一路段，这一操作可以通过 PARAMICS 编程工具（Programmer）中提供的函数 `qpg_VHC_nextExit (*vehicle)` 和 `qpg_LNK_exit (*link, i)` 来实现；根据此车辆是否将经过事故发生路段，我们利用函数 `qpo_RTM_decision (LINK* link, VEHICLE* vehicle)` 来覆盖模型本来要赋给车辆的下一路段，即改变其为另一可选路径中的某一路段编号。同时我们还根据事故的发生时间和系统的仿真时间来控制分流的时段；并根据车型决定是否对其进行路径分流调整。

在所测试的路网中，假定交通事故 8:05 发生在路段 704 : 528 自西向东的第 2 车道上，事故历时 27 min。假定事故发生后 5 min 被检测到并予以确认，即从 8:10:00 开始交通分流。我们选定事故上游的两个出口，即分别在路段 500 : 714 和 633 : 704 的前方进行分流（见图 9.5 放大示意），加上是否在事故清理之后继续延长进行分流计划，我们一共制定了如下 6 个方案，以作比较：

方案 1——不进行分流；

方案 2——只在较近的出口 633 : 704 处进行分流，时段为从事故被检测到直至事故清理为止；

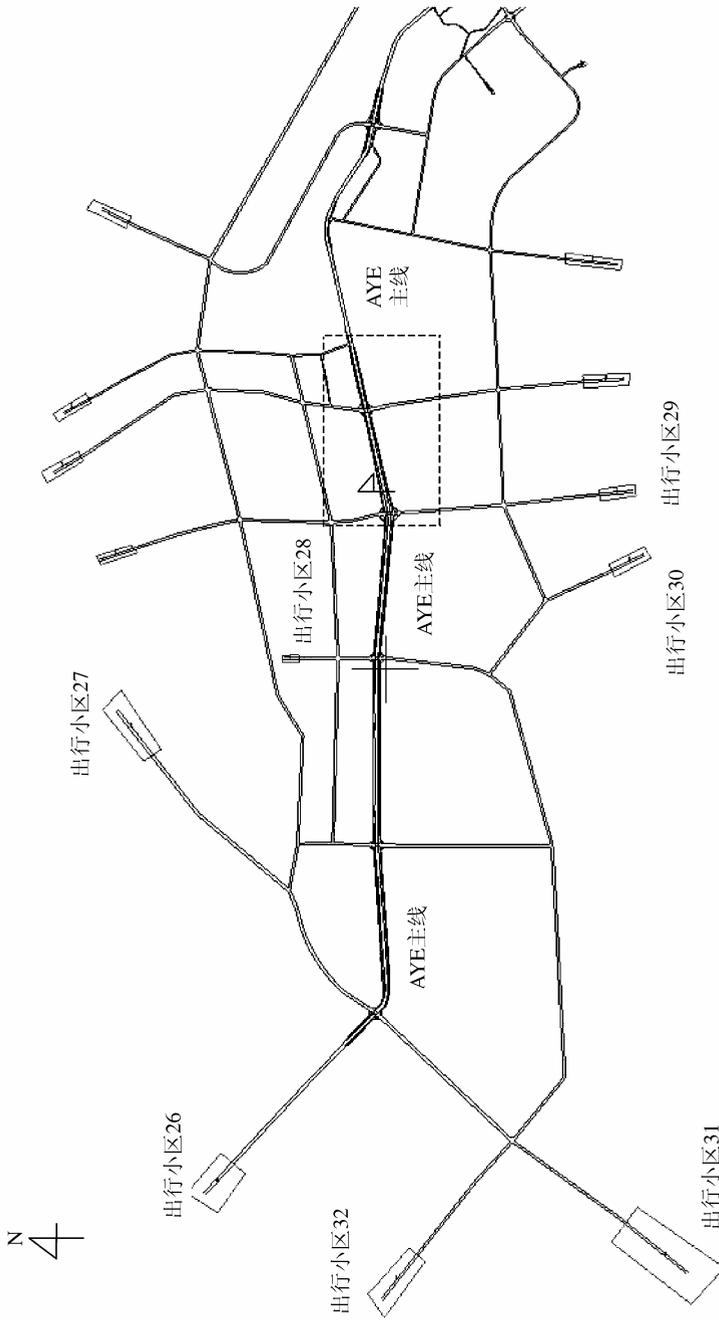


图 9.4 测试路网及事故发生地点标志 (注:  事故发生地点)

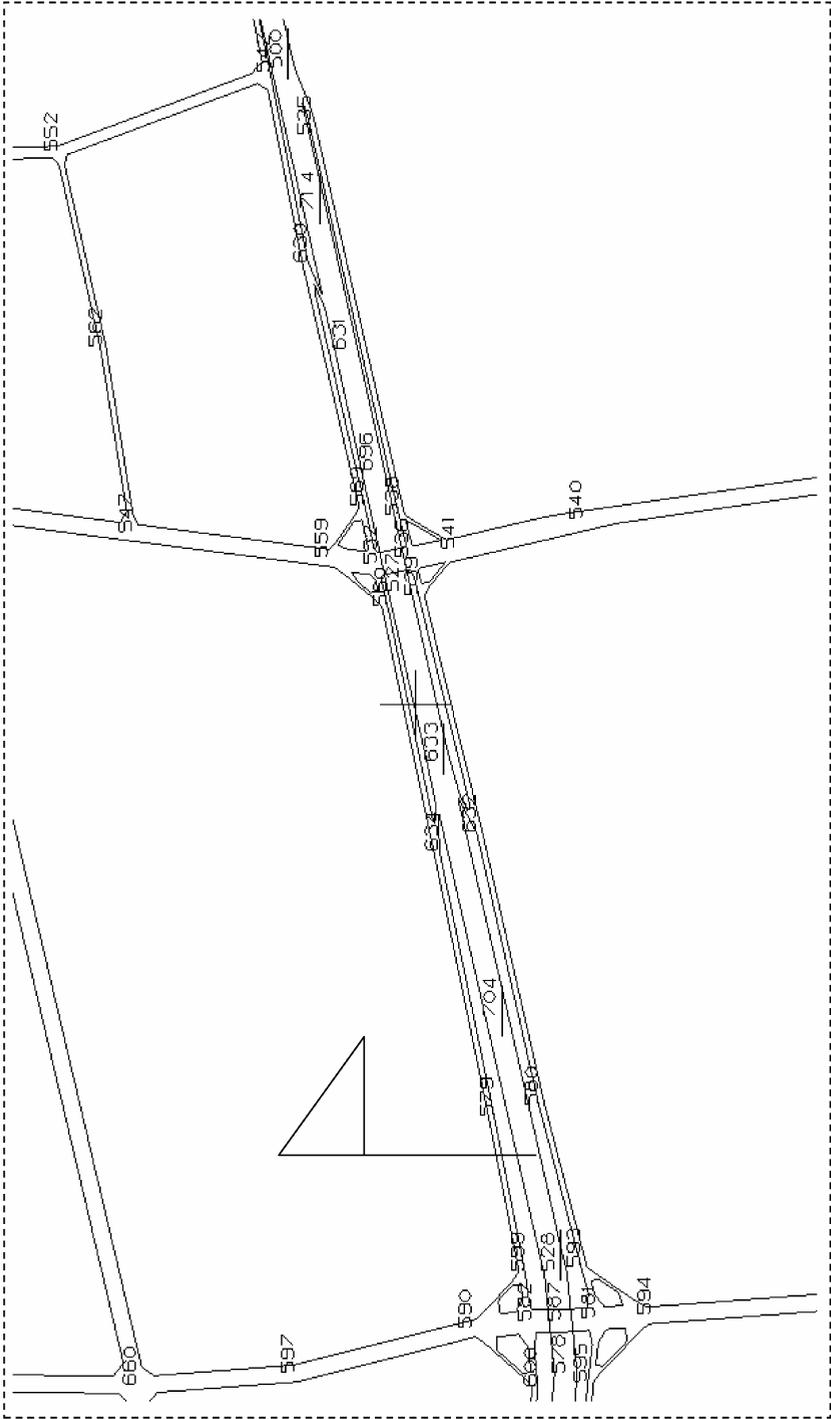


图 9.5 事故发生路段及周围路网放大图 (图 1 虚框部分)

方案 3——只在较近的出口 633 : 704 处进行分流,时段为从事故被检测到直至事故清理后再延长 10 min 为止;

方案 4——在上游两个出口都进行分流,时段同样为从事故被检测到直至事故清理为止;

方案 5——在上游两个出口都进行分流,时段为从事故被检测到直至事故清理为止,但在上游较远处的出口 500 : 714 处分流计划多延长 10 min ;

方案 6——在上游两个出口都进行分流,时段均为从事故被检测到直至事故清理后再延长 10 min 为止。

根据车辆的目的地小区和类型,设定路段 500 : 714 出口处主要分流至出行小区 29、30 和 32 的各类车辆,而路段 633 : 704 出口处则主要分流至出行小区 31 的各类车辆和至出行小区 26 的二类(重型)货运车辆。为了保证结果的稳定性和说服力,我们共选定 5 个随机数对 6 个方案进行 5 次仿真比较,其中对每组方案进行比较时需对每个方案都采用同一随机数运行仿真 1 h,即从 7:45:00 ~ 8:45:00。

对以上方案进行嵌入 PARAMICS 进行仿真之后,我们选取路网的总行程时间和平均行驶速度两个评价指标来比较不同方案之间的结果,各方案与方案 1 路网总行程时间的差值即为其带来的延误降低。其中一组的结果比较如下:

表 9.4 路网的总行程时间和平均行驶速度比较

	路网总行程时间(车辆·h)	总行程延误的降低(车辆·h)	路网平均车速(km/h)
方案 1	4 958.95	-	37.94
方案 2	4 923.34	34.6	38.42
方案 3	4 929.75	29.2	38.30
方案 4	4 920.41	38.5	38.12
方案 5	4 918.60	40.4	38.14
方案 6	4 926.61	32.3	38.10

从上表可看出,分流计划对于整个区域的交通流条件改善都是有益的,其中表现为路网总行程延误得到降低,而平均行驶速度得到提高。其中我们又可以看出,在分流点的选取上,采用两处分流的方案(方案 4、5)整体要优于单处分流的方案(方案 2、3),这是显然的。但对于分流计划延长的效果,则需要区别对待,从上述结果来看,方案 3 在方案 2 的基础上对分流计划延长,但结果是总体延误相当,平均车速则降低了,因此在离事故地点较近出口的分流点延长分流计划反而是不利的;

同样，方案 6 在方案 5 的基础上针对较近出口的分流计划进行延长，则同时导致了总体延误增加和行程速度降低。对于在离事故较远的上游出口延长分流计划（方案 5 对方案 4），在比较中没有发现很大分别，这或许是由于分流计划中从此出口分流的车辆即系统本身前往 29、30、32 三个目的小区的出行相对较少的缘故，但总体趋势仍然趋向于对系统减少延误的目标有利。

我们还专门针对事故周围地区在 8:30:00 ~ 8:45:00 区间内由于事故造成的拥堵状况，即其最大排队长度做了两两对比，对比的结果参照图 9.6 ~ 图 9.11 所示，图中所示阴影部分即为路段拥堵时的最大排队长度。

我们以终点到出行小区 26 的二类（重型）货运车辆的出行为例，它们的行驶路径受到分流计划的影响，对比其在 8:30:00 ~ 8:45:00 时间段内分流与不分流方案下的平均行程时间，列如表 9.5：

表 9.5 到出行小区 26 的二类（重型）货运车辆的平均行程时间对比

出行 OD	方案 1 (不分流)	方案 2 (1 处分流)	方案 3 (1 处分流)	方案 4 (2 处分流)	方案 5 (2 处分流)	方案 6 (2 处分流)
3 ~ 26	00:42:28	00:39:30	00:39:10	00:40:32	00:40:13	00:40:14
4 ~ 26	00:29:53	00:23:46	00:18:49	00:26:11	00:26:11	00:26:11
6 ~ 26	00:37:15	00:33:36	00:32:26	00:24:14	00:24:18	00:34:14
9 ~ 26	00:39:05	00:28:24	00:31:25	00:31:17	00:31:02	00:29:43
平均	00:39:37	00:37:50	00:38:19	00:36:54	00:36:07	00:37:51

从这部分用户的出行来看，分流是有助于降低他们的行程时间的，而且从较近和较远上游 2 处出口同时进行分流的方案总体上比从较近出口 1 处分流的方案要更有利。同样，在离事故地点较远出口的分流点延长分流计划总体对于这部分用户的旅程行程时间是有利的，但在离事故地点较近出口的分流点延长分流计划对于这部分用户的旅程行程时间则带来负面的影响。

分流对于其他用户会带来什么样的影响呢？我们抽取目的地在出行小区 27 的出行为例，它们的行驶路径不直接受分流计划影响。同样对比其在 8:30:00 ~ 8:45:00 时间段内分流与不分流方案下的平均行程时间，列如表 9.6：

表 9.6 到出行小区 27 的用户出行的平均行程时间对比

出行 OD	方案 1 (不分流)	方案 2 (1 处分流)	方案 3 (1 处分流)	方案 4 (2 处分流)	方案 5 (2 处分流)	方案 6 (2 处分流)
3—27	0:41:45	0:40:16	0:40:53	0:40:14	0:39:59	0:41:01

续上表

出行 OD	方案 1 (不分流)	方案 2 (1 处分流)	方案 3 (1 处分流)	方案 4 (2 处分流)	方案 5 (2 处分流)	方案 6 (2 处分流)
5—27	0:36:20	0:37:05	0:37:40	0:31:18	0:31:25	0:33:22
6—27	0:32:36	0:30:34	0:30:57	0:35:31	0:35:46	0:36:41
8—27	0:33:45	0:31:36	0:31:47	0:29:11	0:30:56	0:29:01
9—27	0:31:27	0:34:36	0:33:10	0:31:15	0:32:14	0:32:26
11—27	0:19:40	0:24:57	0:23:30	0:22:04	0:22:12	0:21:18
17—27	0:37:14	0:35:58	0:35:54	0:34:02	0:34:27	0:34:46
平均	0:32:20	0:30:47	0:30:39	0:31:22	0:31:37	0:31:38

从表 9.6 来看,对于不受分流计划直接影响的出行者来说,分流间接地对他们降低行程时间有利,这是因为通过将部分车流分散到周围路网,也就改善了原有路网的交通条件,从而有利于这一部分用户的出行。虽然 2 处分流方案只对当中的部分出行改善,平均行程时间相对 1 处分流的方案反而有所延长,但它们都比不分流方案下其行程时间来的低。综合分流计划对路网总行程延误的降低效果(表 9.5)和对分流部分用户的影响(表 9.6)来看,2 处同时分流以及在离事故较远处的上游路段将分流计划进行延长的方案,即本例中的方案 5,是较为理想的分流方案。

综合以上结果来看,通过仿真运行和比较后我们发现,在事故发生地段的上游提前根据车辆的目的地进行部分车辆的分流以及选取多个地点进行分流,都有助于减少车辆的拥堵和旅行延误,具体则表现为系统总的路段车辆行程时间降低,而平均行驶速度则得到提高;而对于接受分流建议而改变路径的用户而言,他们行程的延误也相对减少,分流对这一部分用户群体本身也是有益的;同时分流计划也给路网上原有的其他出行带来有利影响。但对于事故消失后在部分路段继续进行一段时间的分流,则要根据具体的路段和分流措施本身进行不同的考虑,同时还要兼顾分流计划影响到的出行量。综观之,正因为需要对路网几何结构、交通量需求以及事故性质和持续时间等因素的综合考虑,导致对于这样一个细部分流计划的影响进行评估和决策的复杂性,说明借用 PARAMICS 等一类的微观交通仿真模型来进行此类的评估和辅助决策工作是合适而有力的。

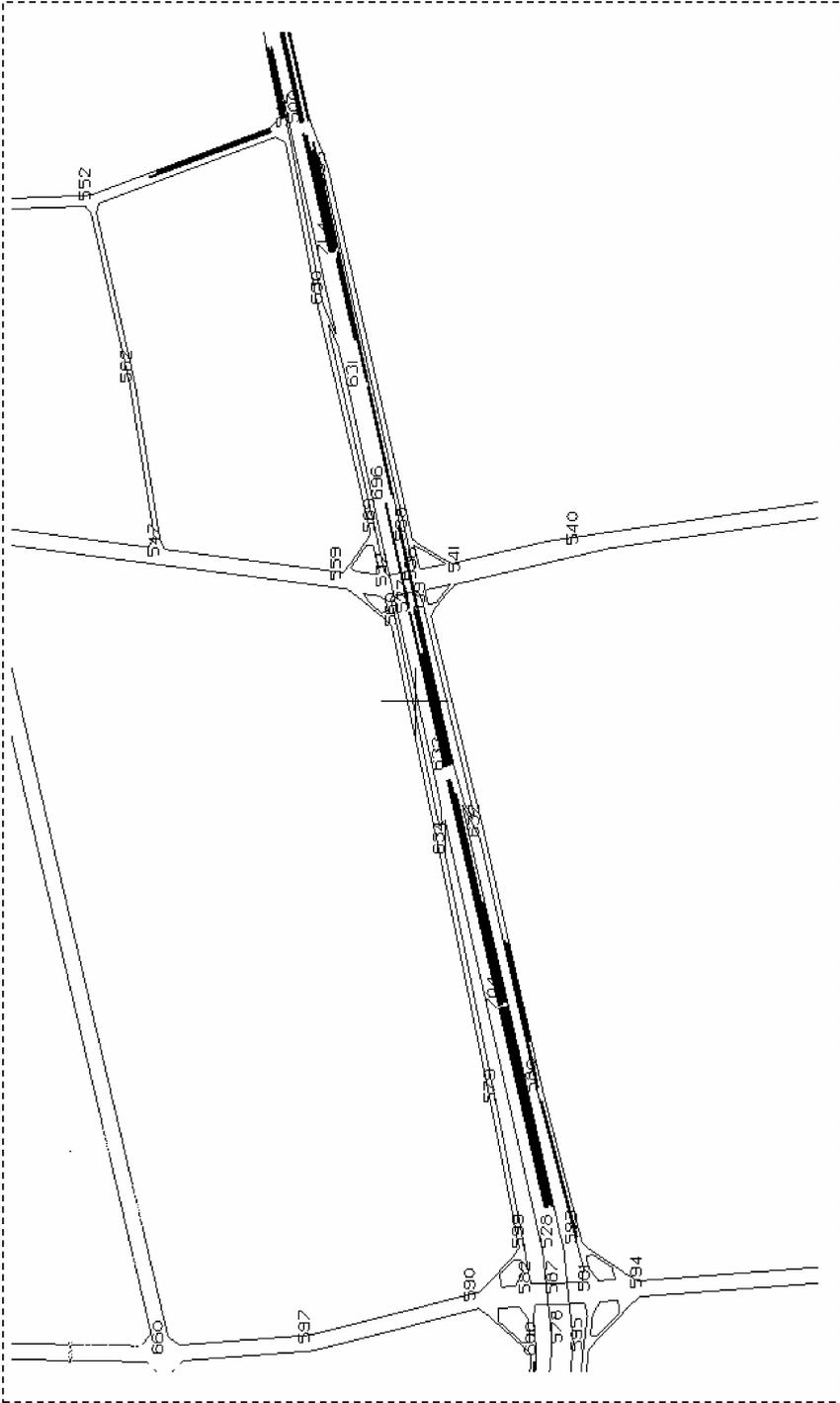


图 9.6 没有分流计划下事故周围路段的拥塞长度 (方案 1)

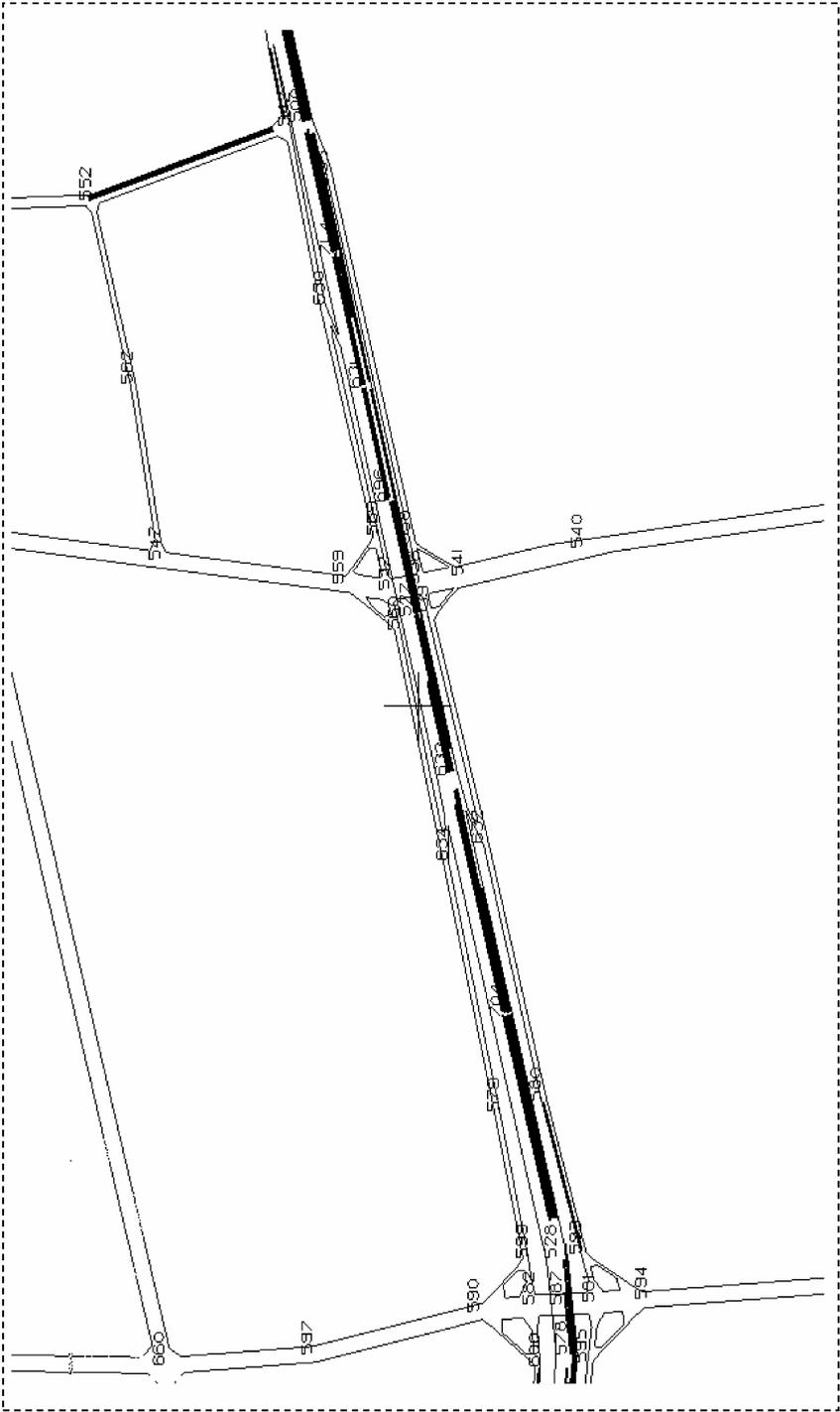


图 9.7 近出口分流计划下事故周围路段的拥塞长度 (方案 2)

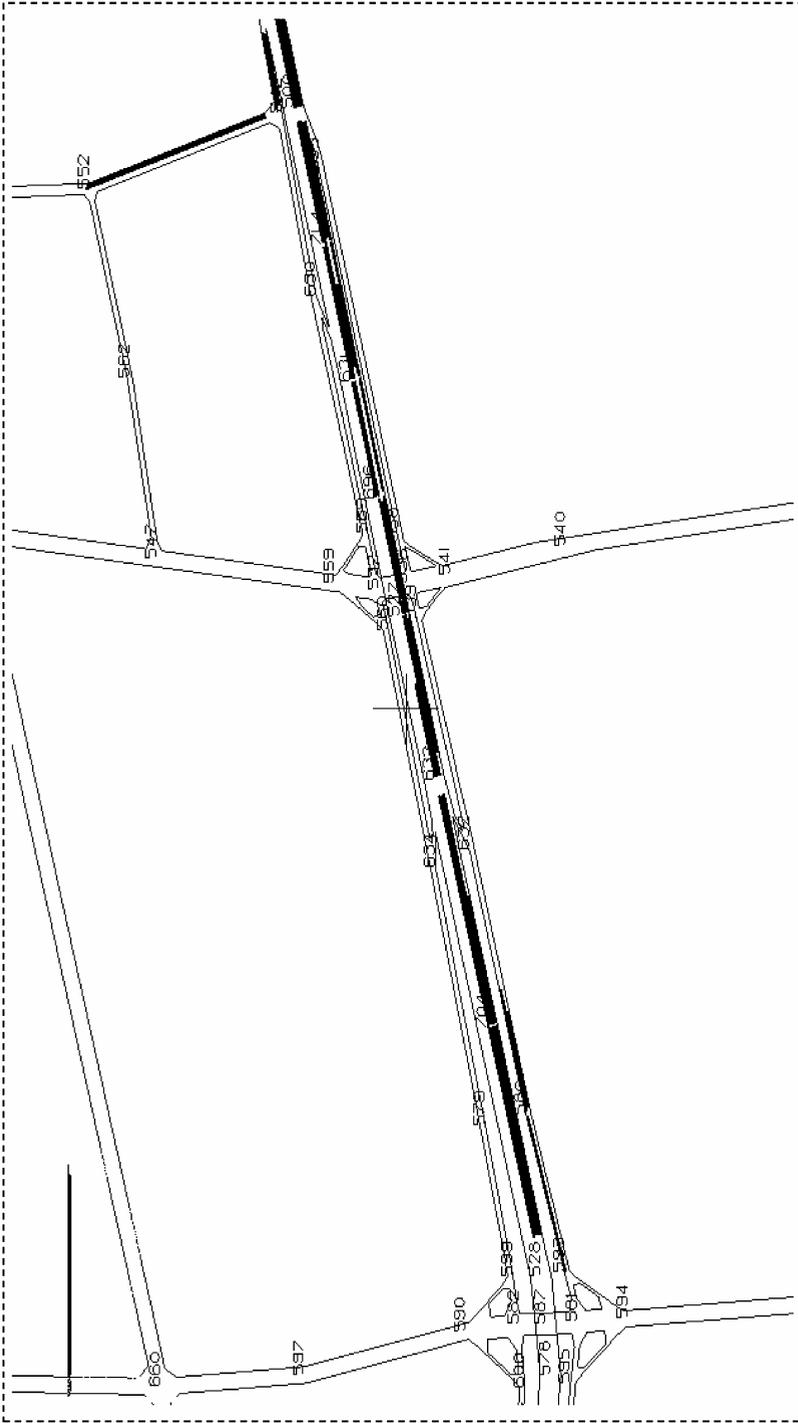


图 9.8 近出口分流计划延长下事故周围路段的拥塞长度 (方案 3)

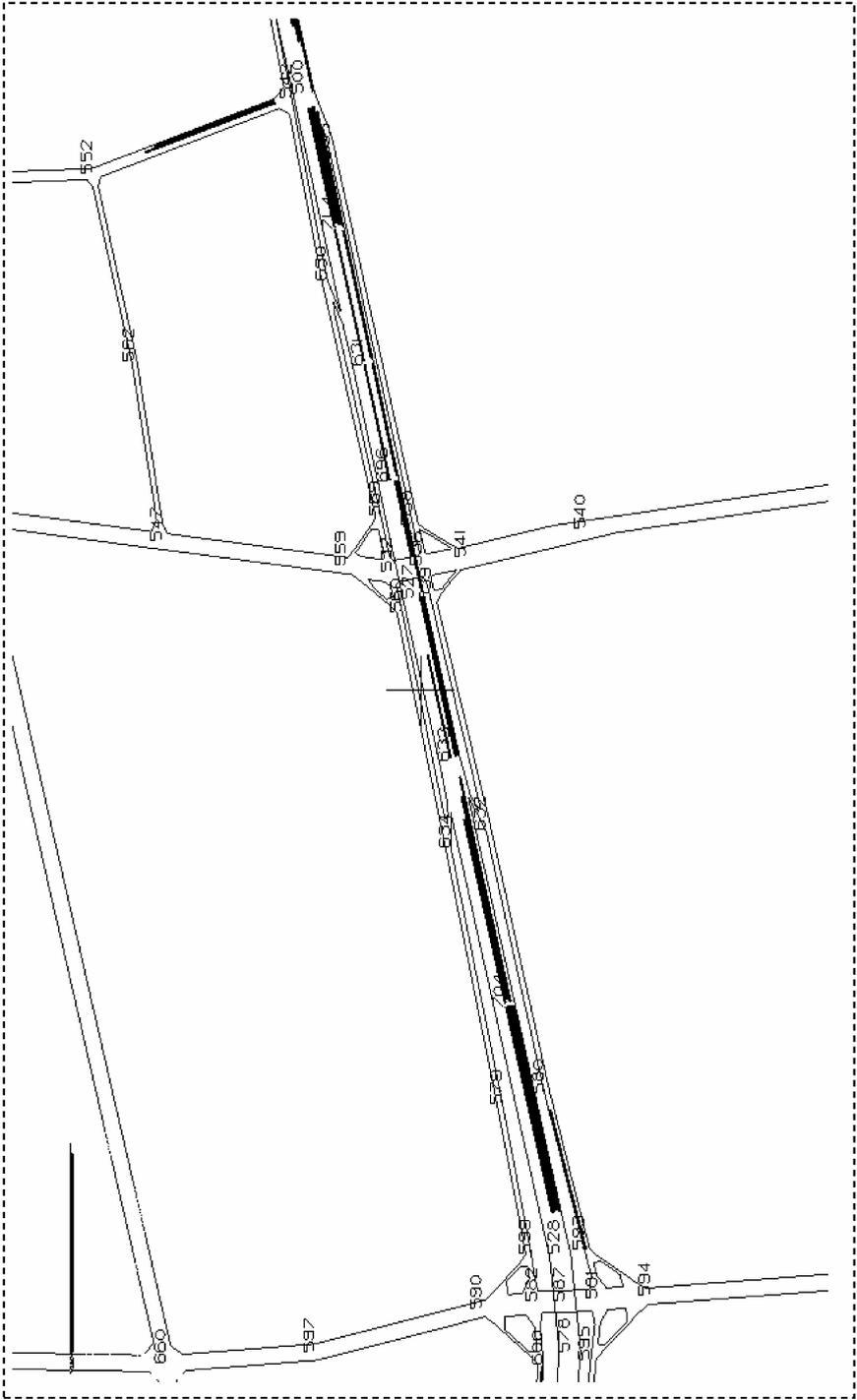


图 9.9 远、近出口分流计划下事故周围路段的拥塞长度(方案 4)

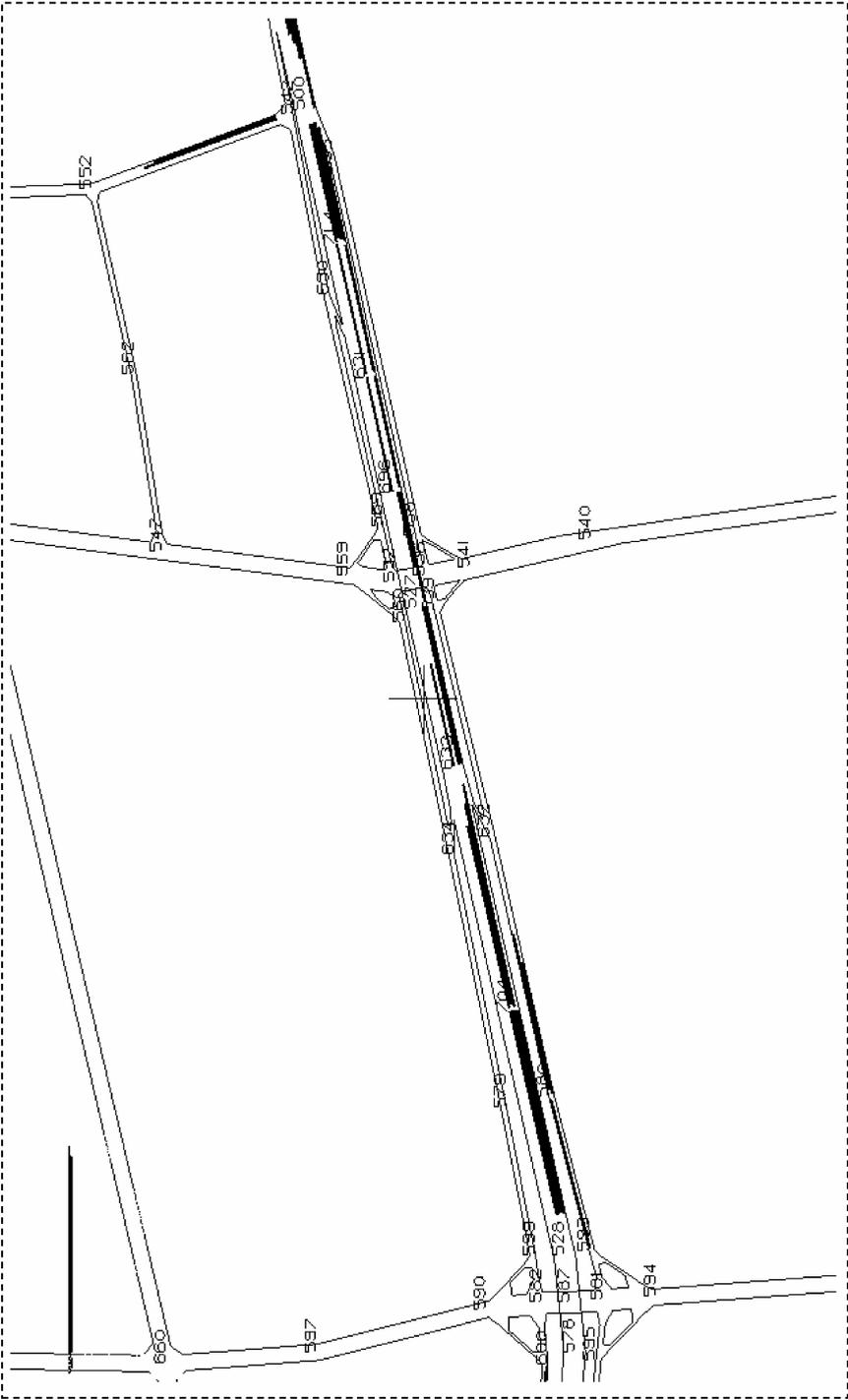


图 9.10 采用两出口分流（其中远出口分流计划延长）情况下事故周围的拥塞长度（方案 5）

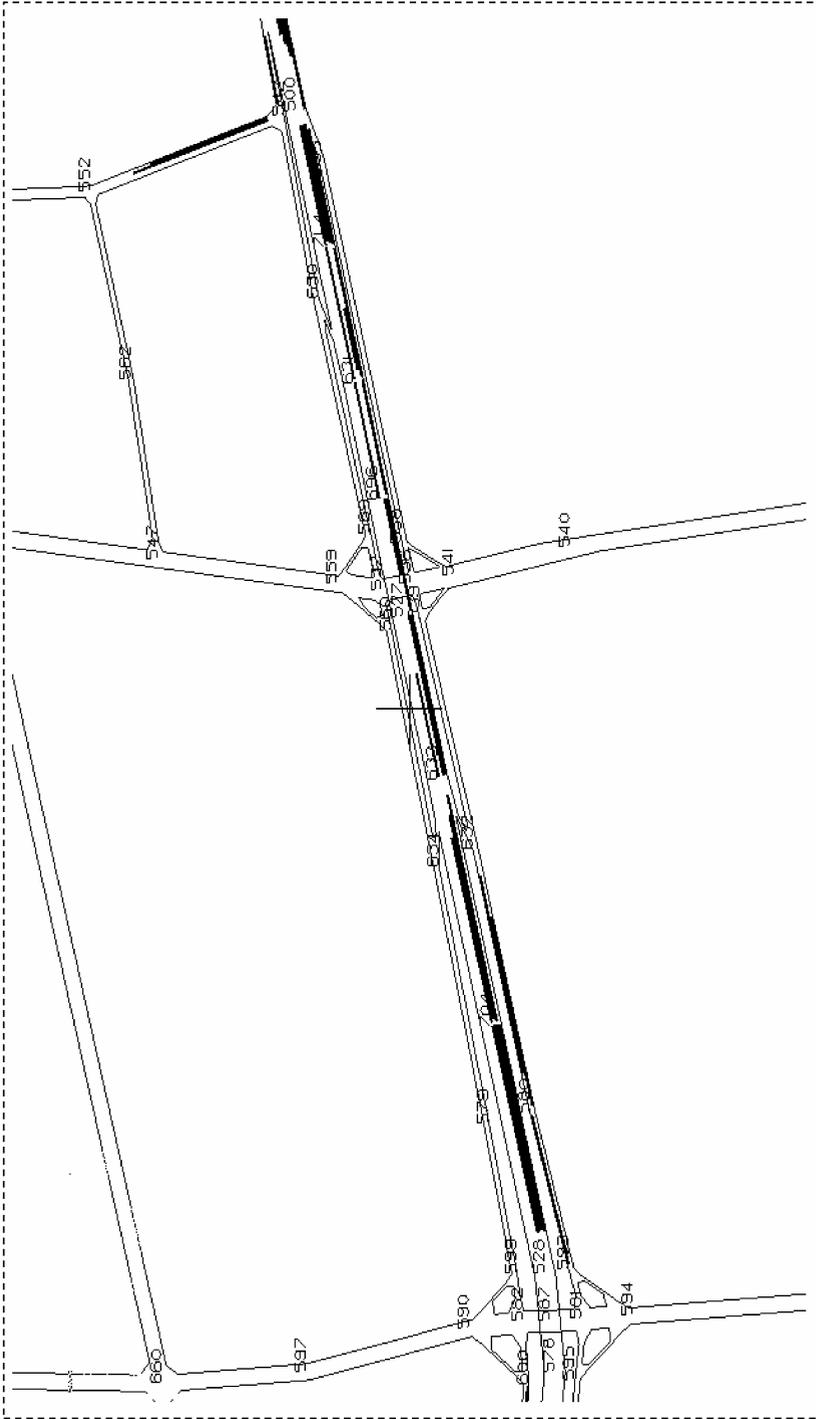


图 9.11 采用两出口分流（远、近出口分流计划均延长）情况下事故周围的堵塞长度（方案 6）

9.3 本章小结

本章分别就项目实施测试评价和项目实施前的评价给出了一个评价的实例，用以说明两类 ITS 项目评价的一般评价方法和过程。其中项目的实施测试评价通过跟踪一些项目的实施，测量和对比项目实施前后一些效益指标的数量值，并通过这类项目的实际评价，考察一个项目实施的效果及对其进行经济分析，同时借助项目建立起来的各类 ITS 项目效益和费用数据库，还可用于指导今后同类 ITS 项目的实施和评价。但如果在 ITS 项目实施前评价中缺乏同类项目效益和费用数据信息时，或者此项目乃为第一次实施，则需要寻找别的技术手段来评估项目可能带来的影响。近些年来，交通仿真模型作为一个有力的技术手段，广泛用于在模拟路网中添加 ITS 项目实施的内容，来进行各类 ITS 系统和项目的效益估算。

相比而言，通过 ITS 项目的实施和判断得到其在交通安全、缓解拥挤和缩短旅行时间等方面的效益，需要大量的资金作支持，而微观交通仿真模型则提供了一个在项目实施前对 ITS 技术进行评价可靠和实际的手段，这不但能降低对特定 ITS 项目的评价成本，而且还可以进行各种复杂的测试，回避 ITS 项目发展和实施可能带来的不确定性因素。

参考文献

- 1 Ajay K. Rathi, Lieberman E. Traffic Flow Theory. An update and expansion of the Transportation Research Board (TRB) Special Report 165, "Traffic Flow Theory". Washington, D.C.: US Department of Transportation, 1999
- 2 Al-Deek H., Kanafani A. Modeling the benefits of advanced traveler information systems in corridors with incidents. Transportation Research Part C, 1993, 1 (4): 303 ~ 324
- 3 Al-Deek H., Khattak A., Thananjeyan P. A combined traveler behavior and system performance model with advanced traveler information systems. Transportation Research Part A, 1998, 32 (7): 479 ~ 493
- 4 Apogee/Hagler Bailly. Intelligent transportation systems: real world benefits. Washington, D.C.: US Department of Transportation, 1998
- 5 Assessment of ITS benefits: early results. Washington, D.C.: US Department of Transportation, 1995
- 6 Banks J.H. Performance measurement for traffic management systems. Proceedings of the 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board, in CD-ROM. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1998
- 7 Banks J.H. Traffic management systems performance measurement: final report UCB-ITS-PRR-97-53. Berkeley: California PATH Program, 1997
- 8 Bernauer E., Breheret L., Algers S., et al. Review of micro-simulation models, SMARTTEST D3. U.K.: The Fourth Framework Program, 1997
- 9 Bernauer E., Breheret L., Algers S., et al. Review of micro-simulation models: Appendix D, SMARTTEST D3. U.K.: The Fourth Framework Program, 1997
- 10 Bloomberg L., Dale J. A comparison of the VISSIM and CORSIM traffic simulation models on a congested network. Proceedings of the 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board, in CD-ROM. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2000
- 11 Bošnjak I. Value-net concept in evaluation of ITS benefits. Proceedings of the 7th World Congress on ITS, in CD-ROM. Toronto: ITS World Congress, 2000
- 12 Boxill S.A., Yu L. An evaluation of traffic simulation models for supporting ITS development, SWUTC/00/167602-1. College Station: Texas Transportation Institute, 2000
- 13 Burghout W. Evaluation of MITSIMLAB in STOCKHOLM as a tool for Evaluation of ITS Strategies. Paper Presented at the 8th Annual World Congress on Intelligent Transportation

- Systems, Sydney, Australia, September 2001
- 14 Cambridge Systematics, Inc. ITS deployment analysis software user manual. Cambridge: Cambridge Systematics, Inc, 2001
 - 15 Caubet C., Lashermes C., Zerguini S. ITS evaluation and results proposal for a new framework, Proceedings of the 4th World Congress on ITS, in CD-ROM. Berlin: ITS World Congress, 1997
 - 16 Chen C., Petty K.F., Varaiya P., et al. Freeway performance measurement system: mining loop detector data. Proceedings of the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, in CD-ROM. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2001
 - 17 Clark, J.E., Koscielny, A.J., Lundgren, T.J. A graphics processor for comparative studies using microscopic traffic simulation models. *Mathematical and Computer Modelling*, 1998, 27 (9-11): 163 ~ 175
 - 18 CORSIM User's Guide - Version 5. ITT Industries, Inc. Colorado, USA, 2001
 - 19 Fekpe, E., Collin, S. Evaluation of Intelligent Transportation Infrastructure Program (ITIP) in Pittsburgh and Philadelphia, Pennsylvania (Final Report). Prepared for U.S. Department of Transportation, Battelle Corp., March 2003
 - 20 Euler G.W., Robertson H.D. National ITS program plan. First Edition, Volumes I and II. Washington, D.C.: US Department of Transportation, 1995
 - 21 Gillen D., Li J.L., Dahlgren J., et al. Assessing the benefits and costs of ITS projects: volume 1 methodology UCB-ITS-PRR-99-9. Berkeley: California PATH Program, 1999
 - 22 Hasan M., Jha M., Ben-Akiva M.E. Evaluation of ramp control algorithms using microscopic traffic simulation. *Transportation Research Part C*, 2002, 10 (3): 229 ~ 256
 - 23 Hu M.W., Lee D.H., Shi Q.X. Developing Beijing real-time traffic data collection, processing and information dissemination system design. Proceedings of the 5th Asia-Pacific ITS Forum, Seoul, 2002
 - 24 Hu M.W., Shi Q.X. Evaluation of its projects using analytic hierarchy process (AHP). Proceedings of the 9th World Congress on Intelligent Transportation Systems, in CD-ROM. Chicago: The World Congress on Intelligent Transportation Systems, 2002
 - 25 Hu M.W., Tang H., Lee D.H., Shi Q.X. Development of the Real-time Evaluation and Decision Support System for Incident Management. Proceedings of IEEE 6th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Shanghai, 2003
 - 26 Hu M.W., Wang Y.F., Shi Q.X. Developing Beijing traveler information systems framework. Proceedings of IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Singapore, 2002
 - 27 Hu T.Y., Mahmassani H.S. Day-to-day evolution of network flows under real-time information and

- reactive signal control. *Transportation Research Part C*, 1997, 5 (1): 51 ~ 69
- 28 <http://www.paramics-online.com/projects/>
- 29 <http://www.tss-bcn.com/>
- 30 <http://www.fhwa-tsis.com/>
- 31 <http://www.english.ptv.de/cgi-bin/produkte/vissim.pl>
- 32 <http://www.flexsyt.nl/indexuk.htm>
- 33 <http://www.hut.fi/Units/Transportation/HUTSIM/>
- 34 <http://www.contram.com/INTRO/CONTRAM8.HTM>
- 35 <http://web.mit.edu/its/mitsimlab.html>
- 36 <http://www-transims.tsasa.lanl.gov/index.html>
- 37 <http://www.its.leeds.ac.uk/software/dracula/>
- 38 Intelligent transportation infrastructure benefits: expected and experienced. Washington, D.C.: US Department of Transportation, 1996
- 39 ITS benefits: continuing successes and operational test results. Washington, D.C.: US Department of Transportation, 1997
- 40 Jha M., Madanat, S., Peeta S. Perception updating and day-to-day travel choice dynamics in traffic networks with information provision. *Transportation Research Part C*, 1998, 6 (3): 189 ~ 212
- 41 Kaman Sciences Corporation. TRAFVU User's Guide. McLean: Federal Highway Administration Turner-Fairbank Highway Research Center, 1997
- 42 Kaman Sciences Corporation. TSIS Version 4.01 User's Guide. McLean: Federal Highway Administration Turner-Fairbank Highway Research Center, 1997
- 43 Kosonen I. HUTISM - Urban traffic simulation and control model: principles and applications: [Ph.D. dissertation]. Helsinki: Helsinki University of Technology, 1999
- 44 Lee Jr. D.B. Methods for evaluation of transportation projects in the USA. *Transport Policy*, 2000, 7: 41 ~ 50
- 45 Lee S., Lee S.K. A simulation study on ITS benefits during non-recurrent traffic congestion. Proceedings of the 5th World Congress on ITS, in CD-ROM. Seoul, 1998
- 46 Leviäkangas P., Lähesmaa J. Profitability evaluation of intelligent transport system investments. *Journal of Transportation Engineering*, 2002, 128 (3): 276 ~ 286
- 47 Levine J., Underwood S.E. A multiattribute analysis of goals for intelligent transportation system planning. *Transportation Research Part C*, 1996, 4 (2): 97 ~ 111
- 48 Liu R.H., Dirck V.V., Watling D. Dracula - microscopic, day-to-day dynamic modelling of traffic assignment and simulation. Proceedings of the International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering. Reston: American Society of Civil

- Engineers, 1995. 444 ~ 448
- 49 Liu T.K., Haines, M. Travel Time Data Collection Field Tests - Lessons Learned, Report FHWA A-PL-96-010. Washington, D.C.: US Department of Transportation, 1996
- 50 Lo H., Chatterjee, A., Rath, A. K. Evaluation framework for IVHS. *Journal of Transportation Engineering*, 1994, 120 (3): 447 ~ 460
- 51 Longo G., Rosato P., Zanin L.T. Multiple criteria analysis and ITS evaluation. Proceedings of the 7th World Congress on ITS, in CD-ROM. Toronto: ITS World Congress, 2000
- 52 Mattingly S.P., Jayakrishnan R., McNally M.G. Application of an integrated multiple objective-attribute evaluation methodology to a new traffic control system. Proceedings of the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, in CD-ROM. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2001
- 53 McDonald M., Chatterjee K. VMS in urban areas: results of the CPC study. Southampton: The Fourth Framework Program, 2000
- 54 Mitretek System Inc. Intelligent transportation systems benefits: 2003 update. Washington, D.C.: US Department of Transportation, 2003
- 55 Mitretek System Inc. Intelligent transportation systems benefits: 2001 update. Washington, D.C.: US Department of Transportation, 2001
- 56 Montero L., Codina E., Barceló, J., et al. A combined methodology for transportation planning assessment. Application to a case study. *Transportation Research Part C*, 2001, 9 (3): 213 ~ 230
- 57 PARAMICS V4.0 System Overview. Edinburgh: Quadstone Limited, 2002
- 58 PARAMICS Analyser V4.0 Reference Manual. Edinburgh: Quadstone Limited, 2002
- 59 PARAMICS Analyser V4.0 User Guide. Edinburgh: Quadstone Limited, 2002
- 60 PARAMICS Modeller V4.0 Reference Manual. Edinburgh: Quadstone Limited, 2002
- 61 PARAMICS Modeller V4.0 User Guide. Edinburgh: Quadstone Limited, 2002
- 62 PARAMICS Monitor V4.0 User Guide. Edinburgh: Quadstone Limited, 2002
- 63 PARAMICS Programmer V4.0 Reference Manual. Edinburgh: Quadstone Limited, 2002
- 64 PARAMICS Programmer V4.0 User Guide. Edinburgh: Quadstone Limited, 2002
- 65 Peng Z.R., Beimborn E. A breakeven analysis for statewide ITS project identification and assessment. Proceedings of the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, in CD-ROM. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2001
- 66 Peng Z.R., Beimborn E. Framework and methods for evaluation of benefits of intelligent transportation systems. Milwaukee: Wisconsin Department of Transportation, 2000
- 67 Proper A.T., Maccubbin R. ITS benefits: data needs update 2000. Washington, D.C.: Mitretek System Inc., 2000

- 68 Quinet E. Evaluation methodologies of transportation projects in France. *Transport Policy*, 2000, 7: 27 ~ 34
- 69 Quiroga C.A. Performance measures and data requirements for congestion management system. *Transportation Research Part C*, 2000, 8 (1): 287 ~ 306
- 70 Review of ITS benefits: emerging successes. Washington, D.C.: US Department of Transportation, 1996
- 71 Rothengatter W. Evaluation of infrastructure investments in Germany. *Transport Policy*, 2000, 17 ~ 25
- 72 Sane K.J., Kosonen I. HUTISM 4.2 reference manual. Helsinki: Helsinki University of Technology, 1996
- 73 Shaw J.W., Nam D.H. Microsimulation, freeway system operational assessment, and project selection in southeastern Wisconsin: expanding the vision. Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, in CD-ROM. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2002
- 74 Shi Q.X., Hu M.W. Application of multicriteria methods in ITS evaluation. Proceedings of the 4th Asia-Pacific ITS Seminar, in CD-ROM. Beijing: Asia-Pacific ITS Forum, 2000
- 75 Sinha K., Peeta S., Sultan M., et al. Evaluation of the impacts of ITS technologies on the Borman expressway network. Indianapolis: Indiana Department of Transportation, 1998
- 76 Tang H., Elefteriadou L., Hu M.W. Optimization of Signalized Intersection Operation Using Markov Decision Control, in revision for publication in *Transportation Research, Part B*, 2001
- 77 Tang H., Hu M.W., Shi Q.X. Accident injury analysis for two-lane rural highways, *Journal of the East Asia Society for Transportation Studies*, 2003
- 78 The National ITS Architecture (Version 4.0). Washington, D.C.: US Department of Transportation, 2002
- 79 TSS-Transport Simulation Systems. Aimsun Microscopic Traffic Simulator: A Tool for the Analysis and Assessment of its Systems
- 80 Turner S.M. Advanced techniques for travel time data collection. *Transportation Research Record*, 1996, 1551: 51 ~ 58
- 81 Turner S.M., Best M.E. Measures of effectiveness for major investment studies. College Station: Texas Transportation Institute, 1997
- 82 Turner S.M., Stockton W.R. A proposed ITS evaluation framework for Texas. Austin: Texas Department of Transportation, 1999
- 83 Turner S.M., Stockton W.R., James S., et al. ITS benefits: review of evaluation methods and reported benefits. Austin: Texas Department of Transportation, 1998

- 84 Underwood S.E., Gehring S.G. Approaches to IVHS evaluation: Advanced Travelers Information Systems and Advanced Traffic Management Systems. IEEE-IEE Vehicle Navigation & Information Systems Conference. Ottawa: IEEE-IEE, 1993. 247 ~ 250
- 85 Varaiya P. Freeway performance measurement system: final report UCB-ITS-PWP-2001-1. Berkeley: California PATH Program, 2001
- 86 Vickerman R. Evaluation methodologies for transport projects in the United Kingdom. Transport Policy, 2000, 7: 7 ~ 16
- 87 VISSIM 3.0 User Manual. Karlsruhe: Planung Transport Verkehr AG, 2000
- 88 Wu J. et al. Fuzzy Sets and Systems for a Motorway Microscopic Simulation Model. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 116, No. 1, 2000
- 89 Wu J. et al. Effects of convoy driving on motorway flow stability and capacity. Paper Presented at the 10th International Conference on Road Transport Information and Control, April 2000
- 90 Wunderlich K.E., Bunch J.A., Larkin J.J. ITS impacts assessment for Seattle MMDI evaluation: modeling methodology and results. Washington, D.C.: Federal Highway Administration, 1999
- 91 Yang Q. A simulation laboratory for evaluation of dynamic traffic management systems: [Ph.D. dissertation]. Cambridge: MIT, 1997
- 92 Yang Q., Koutsopoulos H.N. A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems. Transportation Research Part C, 1996, 4 (3): 113 ~ 129
- 93 Yang Q., Koutsopoulos H.N., Ben-Akiva M.E. Simulation laboratory for evaluating dynamic traffic management systems. Transportation Research Record, 2000, 1710: 122 ~ 130
- 94 Zavergiu R.M., Johnson W.F., Sabounghi R.L. Development of an ITS benefit-cost framework. Proceedings of the 3rd World Congress on ITS, in CD-ROM. Orlando: ITS World Congress, 1996
- 95 Zhang X., Kompfner P., White C., et al. Guidebook for assessment of transport telematics applications: updated version. The Fourth Framework Program, 1998
- 96 中国智能运输系统体系框架课题组. 中国智能运输系统体系框架. 北京: 交通部公路科学研究所, 2001
- 97 陈小鸿, 林航飞. 城市交通控制与诱导系统性能评价指标研究. 公路交通科技, 2000, 17 (5): 42 ~ 45
- 98 胡明伟, 史其信. 基于系统目标的智能交通系统评价方法研究. 中南公路工程, 2002, 27 (4): 74 ~ 76.
- 99 胡明伟, 史其信. 微观交通仿真模型的现状和展望. 见: 徐海岩, 左洪福, 严新平, 编. 第四届青年交通学术会议——2001年交通会议. 北京: 中国民航出版社, 2001, 1007 ~ 1012
- 100 胡明伟, 史其信. 应用 PARAMICS 研究 ATIS 对若干评价指标的影响. 土木工程学报交通工程分册, 2002, 2 (1): 90 ~ 95

- 101 胡明伟, 史其信. 应用交通仿真软件 PARAMICS 验证交通分配模型. 中南公路工程, 2003, 28 (1): 1~3
- 102 胡明伟, 史其信. 支持 ITS 影响评价的交通仿真模型研究. 公路交通科技, 2001, 18 (6): 73~77
- 103 胡明伟, 史其信. 智能运输系统 (ITS) 评价方法研究. 公路交通科技, 2001, 18 (5): 46~50
- 104 胡明伟, 史其信. 智能运输系统 (ITS) 效益综述. 中南公路工程. 2002, 27 (1): 94~97
- 105 黄海军, 吴文祥. 交通事故信息发布的有效性分析. 系统工程理论方法应用, 2001, 10 (4): 298~301
- 106 隗志才, 吴建平, McDonald M. 先进列队行驶技术的社会经济影响评价. 公路交通科技, 2001, 18 (4): 95~99
- 107 史其信, 胡明伟. 发展我国智能运输系统 (ITS) 亟待解决的课题——智能运输系统 (ITS) 评价方法研究. 交通运输系统工程与信息, 2001, 1 (1): 23~29
- 108 段进宇. 高速公路微观交通仿真. 公路交通科技, 1998, 15(3): 21~24
- 109 马寿峰, 贺国光, 刘豹. 一种通用的城市交通流微观仿真系统的研究. 系统工程学报, 1998, 13(4): 8~16
- 110 杨晓光. 城市快速道路交通流仿真方法研究. 公路交通科技, 1999, 16(2): 53~58
- 111 荣建, 马建明, 任福田等. 利用交通仿真模型求解通行能力. 北京工业大学学报, 2001, 27(1): 4~7
- 112 Satty T.L. 层次分析法——在资源分配、管理和冲突分析中的应用. 北京: 煤炭工业出版社, 1988
- 113 Satty T.L. 领导者: 面临挑战与选择——层次分析法在决策中的应用. 北京: 中国经济出版社, 1993
- 114 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论. 北京: 中国人民大学出版社, 1990
- 115 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法——运筹学的新领域. 北京: 中国人民大学出版社, 1988
- 116 赵焕臣, 许树柏. 层次分析法——一种简易的新决策方法. 北京: 科学出版社, 1986
- 117 Han J.W., Kamber M. 数据挖掘 概念与技术 (范明, 孟小峰 等译). 北京: 机械工业出版社, 2001
- 118 Inmon W.H. 数据仓库 (王志海等译). 北京: 机械工业出版社, 2000