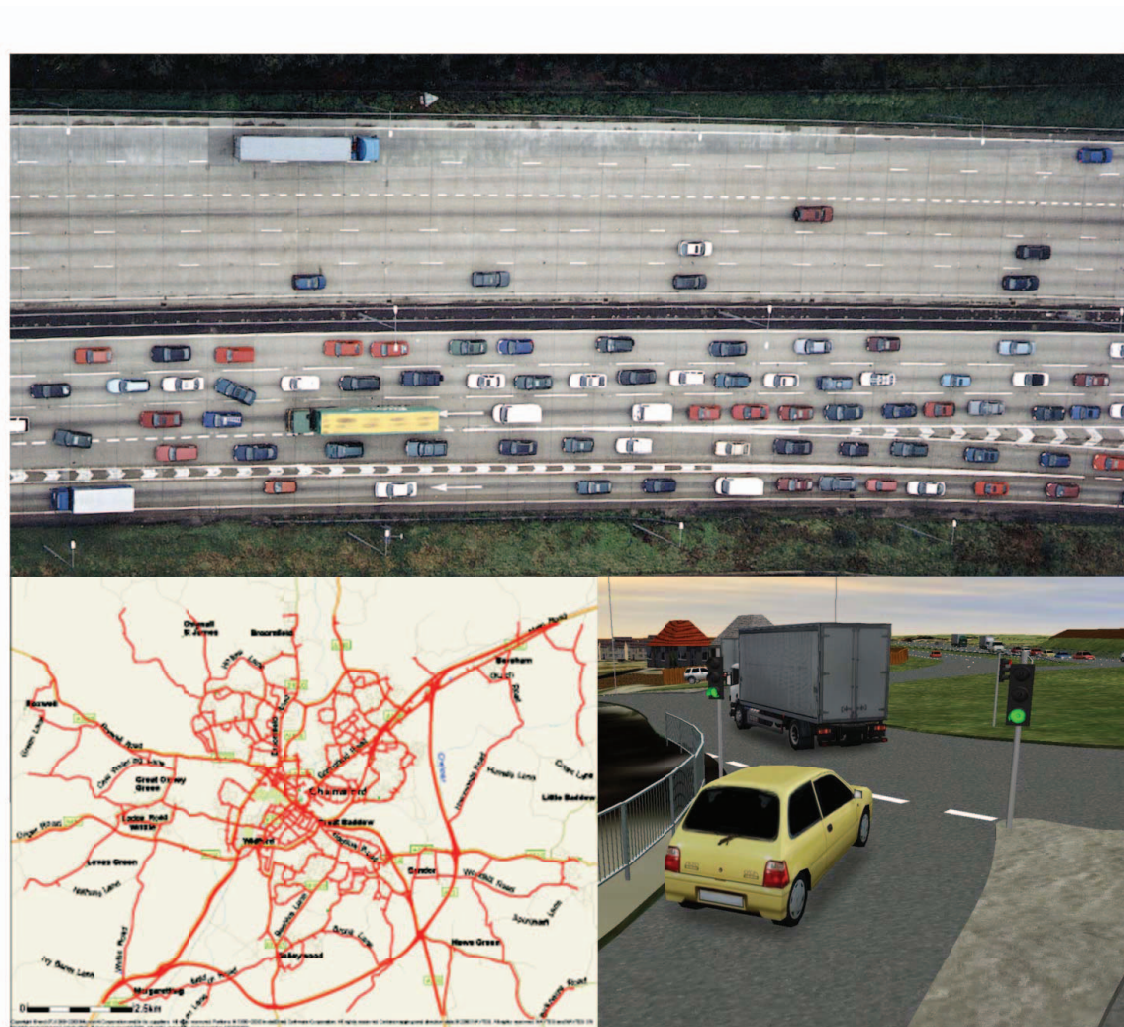


S-Paramics 微观交通仿真原理



the ultimate
road traffic
modelling system
for transport planners

S-Paramics Principles



S-Paramics 原理

Paramics Microsimulation
SIAS Limited
37 Manor Place
Edinburgh EH3 7EB
UK

译者 胡树成

技术支持: www.paramics-support.com
英文网站: www.sias.com
中文网站: www.sparamics.cn

版权所有 2009, Paramics 微观仿真, SIAS 公司
该文档受版权保护
未经 SIAS 公司同意, 任何部分都不得拷贝

目 录

目 录	i
图表目录	iii
1. 微观交通仿真简介	1
2. S-Paramics 概述	2
3. 建立模型	4
3.1 原理	4
3.2 路网构建	4
3.2.1 路网	4
3.2.2 交通小区划分	5
3.3 车辆和交通需求	6
3.3.1 车辆 (Vehicles)	6
3.3.2 出行需求 (Trip Demand)	6
3.3.3 分布图 (Profiles)	6
3.3.4 公共交通 (Public Transportation)	7
3.3.5 时段 (Time Periods)	7
3.4 演示	7
4. 路径选择	9
4.1 路网	9
4.1.1 道路等级	9
4.1.2 停车场	10
4.2 驾驶人知识	10
4.3 静态路径选择	10
4.4 动态路径选择	11
4.5 多级路径选择	12
5. 模型校准 (Calibration)	13
5.1 交通分配校准	13
5.2 交通需求校准	13
5.3 驾驶人行为校准	14
5.4 路网校准	14
5.4.1 变线点 (hazards) 和路标 (signposts)	14
5.4.2 可见度 (visibility)	15
5.4.3 可接受间隙 (Gap Acceptance)	15
5.4.4 路段属性 (Link Attributes)	16
6. 仿真运行 (Simulation)	17
7. 仿真结果分析 (Analysis)	18
7.1 数据分析工具 (Data Analysis Tool, DAT)	18
7.1.1 交通流 (Flows)	18
7.1.2 排队 (Queues)	19
7.1.3 旅行时间 (Journey Times)	20
7.1.4 事件 (Events)	20

7.2	经济评价 (PEARS)	20
8.	信号控制与智能交通系统 (ITS)	22
8.1	高级控制接口 (Advanced Control Interface, ACI)	22
8.1.1	交通信号	22
8.1.2	智能交通系统 (ITS)	22
8.2	ACI 实例	23
8.2.1	交通管理自动化 (Automated Traffic Management, ATM)	23
8.2.2	UTC 信号控制	23
9.	案例研究	25
9.1	大区域模型	25
9.1.1	普利茅斯市 (位于英格兰南部) (Plymouth)	25
9.1.2	切姆斯福德 (Chelmsford) (位于伦敦东部地区)	26
9.1.3	阿尔克马尔 (荷兰西北部城市) (Alkmaar)	26
9.2	城市交通控制系统和智能交通系统	27
9.2.1	英格兰 Hampton Court 花展 (大型活动交通组织)	27
9.2.2	伦敦 M25 环行高速路	28
9.2.3	停车场诱导系统	29
9.3	道路设计研究——超车研究	30

图表目录

图 1 S-Paramics 与 ITS 连接	1
图 2 路段、节点与交通小区	5
图 3 以小时为间隔的分布图 (a) 和以 5 分钟为间隔的分布图 (b)	7
图 4 不同演示效果	8
图 5 三维演示效果 (图片由 Baseplus 和 Truescape 公司提供)	8
图 6 道路等级划分	9
图 7 受‘扰动’影响的路径选择	11
图 9 环形交叉口可见度比较	15
图 10 交通流比较	18
图 11 含置信区间的交通流比较	19
图 12 交通流对比图	19
图 13 排队长度汇总	20
图 14 显示车道变化的事件图形	20
图 15 普利茅斯模型地域范围	25
图 16 切姆斯福德模型地域范围	26
图 17 阿尔克马尔市 S-Paramics 模型	27
图 18 Esher 镇附近的 A3 主干路	28
图 19 伦敦 M25 环行高速路某路段 S-Paramics 模型 (图片由 Hyder 公司提供)	29
图 20 停车场使用率	30
图 21 超车的下行路段利益	31

1. 微观交通仿真简介

微观交通仿真用计算机模型系统模拟路网中每个车辆和驾驶人行为。仿真模型在遵守道路规则的基础上，通过简单规则来研究道路中驾驶人的相互作用。个体车辆行为的仿真集合可以反映实际路网中道路交通流的真实情况。由于微观仿真能够实时显示可视化的输出结果，因此使其成为一种强有力的交流工具。

微观仿真技术（如 S-Paramics）与确定性交通模型（如 SATURN、TRIPS 及 VISUM）所采用的方法论存在很大差异。确定性交通模型在给定输入数据的前提下保证得出特定的输出结果。而现实生活中，交通数据很少是不变和可重复的，微观仿真方法论能够让交通建模人员在设计的解决方案中考虑交通可变性因素。

确定性模型系统不能解决事先没有设定的情况，因此作为预测性工具时会出现问题。拥挤路网中车辆的相互作用结果会很复杂，微观仿真可以自然地表示这种情况，使交通建模者能够了解设计方案在高密度交通量状况下的实施效果。

微观仿真模型可以详细地测试道路布局 and 交通需求、交通控制以及智能交通系统（ITS）变化的效果。如同在现实生活中一样，模型中小范围的局部设计改变可以对大范围的交通流产生很大的影响，其他方法论难以反映这种影响。

S-Paramics 与 ITS 和城市交通控制系统（Urban Traffic Control, UTC）的接口使模型可以用来制定事件或大型活动管理的控制策略，评估自适应信号优化、城市或道路控制方案。如图 1 所示。



图 1 S-Paramics 与 ITS 连接

S-Paramics 的优点是能够在大区域范围内进行微观交通仿真建模。微观交通仿真中“微观”是指模拟车辆间相互作用的层次，而对覆盖的地理范围大小没有限制。大型模型可以覆盖几百平方公里，这种能够将大区域交通问题的内在本质通过微观仿真进行表现的能力使 S-Paramics 成为交通建模者的强有力工具。

2. S-Paramics 概述

S-Paramics 是模拟交通流的个体组成要素和拥堵的软件系统，并提供交通管理和路网设计的实时可视化结果。S-Paramics 模拟路网中运行的每个车辆的行为及其相互作用，模型化详细的实际路网布局，包括公交运营特征、交通信号设置、驾驶人行为特点和车辆动力属性等特征。因此，S-Paramics 能描述和评价不同种类和规模的路网拥堵的变化环境。

S-Paramics 软件系统组件包括：

1) S-Paramics 浏览器 (S-Paramics Explorer, SPX)

S-Paramics 浏览器提供访问 S-Paramics 主要功能模块和不同维护工具的集中界面。它基于微软视窗 (Windows) 浏览器概念，主要功能是启动 S-Paramics 的各功能模块，帮助用户管理和切换不同的 S-Paramics 模型。同时还有其他功能包括软件授权管理、批处理器管理和运行、访问外部应用程序的接口。

2) 编辑/模拟/可视器 (Editor/Simulator/Visualiser, ESV)

编辑/模拟/可视器是 S-Paramics 的主要界面，用来创建和编辑模型、运行模型、显示模型中车辆运行状况，同时生成路网中的交通流统计数据。

3) 模拟/可视器 (Simulator/Visualiser, SV)

模拟/可视器是 ESV 的简化版。具有模拟和可视功能，但不允许对模型进行编辑和生成统计数据。SV 是附加模块，用来在没有完全 S-Paramics 授权情况下演示模型。

4) 批运行 (Batch Run)

批运行使用与 ESV 相同的模拟引擎，但是没有图形界面。它可以更快地运行模型，生成统计数据，但是没有编辑和可视功能。

5) 矩阵估计 (Matrix Estimation, ME)

矩阵估计可以输入以下三种数据：来自现有 S-Paramics 模型的路径信息、来自观测数据的初始矩阵、以及路边车辆计数数据。ME 根据以上输入数据计算出行矩阵。同时，ME 还可以进行敏感性分析，以评价调查数据的可靠性。

6) 统计 (Statistics)

统计模块，即 S-Paramics 数据分析工具 (Data Analysis Tool, DAT)，用于处理 ESV 和批运行模块产生的统计结果，并以图形或表格形式显示出来。

7) 批处理器 (Batch Farm)

批处理器是 SPX 的组成部分，它可以使用一个计算机网络环境内的多台计算机同时运行模型，并对大量的运行结果进行管理。

8) 经济评价 (Program for Economic Assessment of Road Schemes, PEARS)

经济评价模块通过对模型的输出结果进行汇总，来计算路网变化造成的经济影响，并与项目的实施成本进行比较。

9) 高级控制接口 (Advanced Controller Interface, ACI)

高级控制接口可以实现自适应信号控制，并与 ITS 系统直接连接。

10) 自动交通管理控制器 (Automated Traffic Management (ATM) Controller)

自动交通管理器代表了高级控制接口的一种特殊应用，专门用于高速公路的模拟，如车流管理、事件检测和管理、硬路肩行驶和匝道控制。同时还可用于评价高速公路日常管理中 ITS 管理工具的效果，以及根据事件发生后的不同反应时间来测试高速公路事件管理方案。

3. 建立模型

3.1 原理

在交通建模者以简单且有限的元素来描述路网和交通需求的条件下，S-Paramics 能够仿真复杂且有明显随机性的交通流。S-Paramics 不需要建模人员预测可能存在的交通问题或以其他的属性来表示这些问题，因为这些问题是微观交通仿真过程的自然结果。S-Paramics 反映现实世界的因果效应，而不依赖用人工模型和数学抽象表达道路交通。

例如，S-Paramics 不需要用户描述不同地点分车道的车流量大小，如在接近交叉口处。S-Paramics 能够定义驾驶人感知交叉口和决定变道的地点。每个车道的车流量取决于模型中驾驶人的决定。如果模型不能与观测数据相符，建模人员需要重新检查对向车流（Opposing flow）、转向车流以及驾驶人决定变道的地点。

S-Paramics 使用描述性方法控制驾驶人行为而不预先设定期望的结果。这样，在评价路网和出行需求变化时模型的预测能力将更加有效。

3.2 路网构建

仿真模型的建立包括一系列的关键步骤：首先必须确定研究区域的范围，该区域包含预期发生的直接或间接变化；接着，划分交通小区（zone）。交通小区既是道路用户进出路网的地点，又是需求的起讫点。需求代表了区与区间的出行。然后，建立路网模型，包括路段、小区连接线、交叉口和交通信号控制。最后为了加强模型的演示效果，模型中可以加入更详细的元素包括航拍图、3D 建筑或街边设施等。

模型建立之后，通过与现场观测结果对比可以评价它的表现能力。这通过模型校准（calibration）来完成。模型校准是一个迭代过程，用来调整网络属性以确保模型中的交通流能够正确反映实际交通流。

3.2.1 路网

S-Paramics 将道路描述为单向路段对的集合，路段则通过节点连接起来。路段（link）表示路网中的道路，包括许多属性，如速度、宽度、车道数和基于车道的限制如公交专用车道。一般地，节点（node）表示路段连接后形成的交叉口区域。节点也可以是路段特征属性发生变化的地点，包括任何属性，如速度限制、车道数量或者曲线与方向变化。图 2 显示了 S-Paramics 模型中节点、路段和交通小区是如何布局 and 编号的。

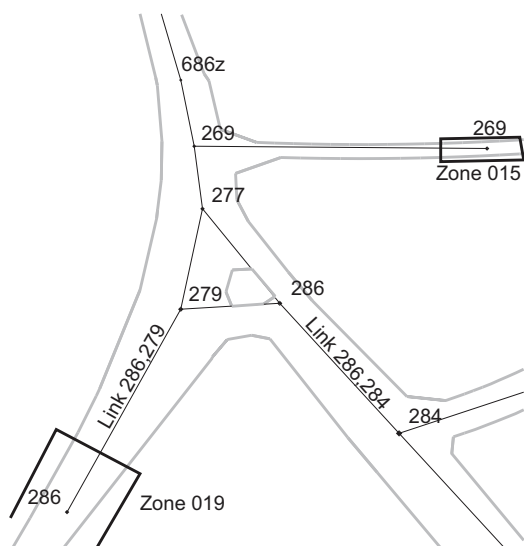


图 2 路段、节点与交通小区

在交叉口，停车线（stop line）是驾驶人等候车辆间隙和从一个路段驶向下一个路段的地点，同时也用于描述车辆行驶路径的轨迹。

S-Paramics 的路段可分为主要路段（major link）和次要路段（minor link）两种，并以此控制车辆的路径选择。由主要路段构成的路线为主要路线，由次要路段构成的路线则为次要路线。驾驶人被划分为对路网熟悉和不熟悉两类，对路网不熟悉的驾驶人更倾向于使用主要路线。

为了管理路段创建任务，S-Paramics 设置了路段种类集（road category），这一概念类似于 Word 处理器的样式列表。可以先定义路段种类，在建立模型时加以应用。同时 S-Paramics 预先设置了一些路段种类。种类设置后，路段可按照路段种类或单独进行修改。

模型中信号化交叉口可以添加信号。信号既可应用于单个节点，也可包括含有多个节点的更复杂的地理范围。接着，为每一走向的车流分配相位和相位阶段，设置相位阶段时间。需要的话，信号控制可通过简单的“计划”（plans）语言调整相位阶段时间，或者通过与外部信号控制器相连来控制。

3.2.2 交通小区划分

交通小区（zone）表示路网中车辆的进入与离开点。交通小区是车辆在网络中的逻辑进出点，也可能是特定的土地利用区域。当位于网络边界时，交通小区用来表示来自或去往某个方向的外部需求进入或离开网络。简单的单个交叉口或走廊模型可能只需要外部交通小区。

3.3 车辆和交通需求

3.3.1 车辆 (Vehicles)

S-Paramics 可以仿真许多类型的车辆，从小汽车到重型货车 (HGV)、轻轨、地铁车辆以及普通公共汽车。车辆类型可以按如下标准划分：

- 路网的车头距；
- 按车辆类型，如小汽车、轻型货车 (LGV)、重型货车和出租车；
- 按物理特征，如小型、中型或大型汽车；
- 按出行目的，如通勤、商务或休闲；
- 按尾气排放特征；
- 旅客运输车辆。

每辆车均有一组基本的物理属性如节数及每部分的大小（拖挂车）、最大速度、加减速，还包括其它一些参数：分配的需求矩阵和发动机类型，其中发动机类型决定车辆的尾气排放量。

模型中的车辆都有一个名义上的驾驶人，驾驶人被赋予了一定程度的“感知度”（awareness）和“急进度”（aggression）。感知度用于控制该车辆与其它车辆的协作程度，如通过调整车头时距允许其它车辆变道。急进度用于控制驾驶人速度选择和道路使用、车辆超速或与前方车辆保持较小车头时距的可能性。

车辆类型还定义物理外观，虽然这对仿真结果没有任何影响，但是在模型向大众（如公众听证会）演示时有重要的作用。演示效果包括从真实复杂的外形到简单的长方体。

3.3.2 出行需求 (Trip Demand)

S-Paramics 使用 OD 需求矩阵控制车辆进入路网的数量。OD 需求矩阵可能分解到不同的矩阵水平代表不同的车辆或出行种类，或者把开发区新增的出行添加到模型中。例如，一个模型可能包含当前的需求矩阵和另一个新开发区带来的额外需求矩阵。OD 需求还可能包含小型车辆的需求矩阵和单独的大型货车矩阵。

3.3.3 分布图 (Profiles)

用户定义的出发时间分布图控制车辆释放速率，可以单独分配到不同的矩阵。这些分布图的重要作用在于表示了一天需求不断变化的过程，能够在较大时间范围内有效地运用微观交通仿真模型。

比较图 3a 和图 3b，两张图片均表示了相同 3 个小时时段内的交通需求。图中每小时需求总量相同，但是需求分布表达的详细程度不同。图 3a 中以小时为单位表示的分布图过多估计了模型最初半小时的车辆数而低估了中间小时内高峰时段的车辆数。以小时为单位的分布图不能在模型中反映高峰和低谷时段的交通状况。

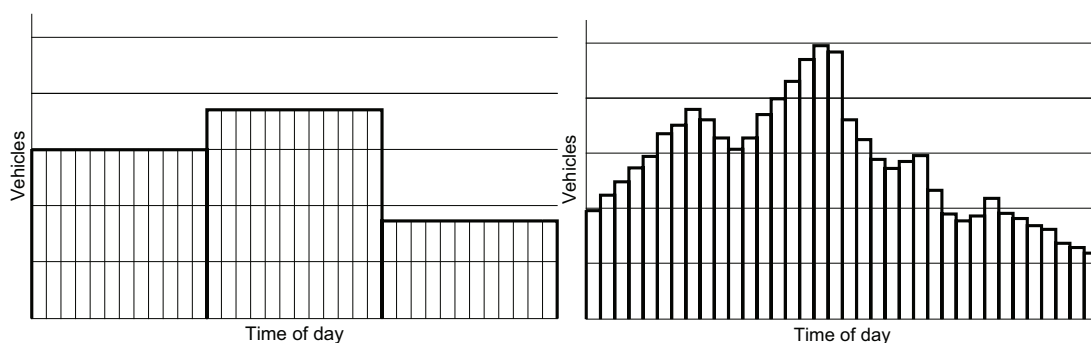


图 3 以小时为间隔的分布图（a）和以 5 分钟为间隔的分布图（b）

S-Paramics 允许建模人员以 5 分钟为单位调整车辆的产生数量，来反映实际发生的交通流。

3.3.4 公共交通（Public Transportation）

按时刻表运营的公共交通在仿真模型中通过固定行车路线、公交站和时刻表来建模。公交线路在指定开始和终止路段后以最短路方式自动创建。当公交线路不在最短路径上时，可以通过指定中间路段来解决。在复制一个模型后，如果路网发生变化，公交路线会根据变化的路网在相同的始发、中间和终到路段条件下自动重建。

3.3.5 时段（Time Periods）

时段用来对模型运行的全部时间进行分段。一般地，时段边界表示了模型基于时间的重要变化点。这些情形包括：

- 车道限制变化，如公交专用车道在高峰时段过后变为普通车道；
- 优先交叉口属性变化，如高峰时段禁止转弯；
- 车辆类型比例变化，如重型货车与小汽车比例变化。

时段也可以用来实现需求或信号配时的变化，但是这些情况通常更适合使用需求分布图功能或信号配时功能来实现。

3.4 演示

模型中可以通过加入标记、航拍照片、建筑物或其它三维景观增强演示效果。效果实现的详细程度取决于模型使用场合、演示对象和该部分的资金预算。

演示效果可以从简单的路网框架到完整的三维虚拟现实模型。S-Paramics 标准安装提供了简单的背景图片，包括通用建筑、景观对象和街道设施。如果要求高质量的表达效果则需要模型地区的三维自然景观和城市景观。图 4 显示了同一交叉口的三种不同演示效果，从左至右复杂程度逐渐增加，分别为：基本演示、加入航拍照片和车辆形状、以及加入三维物体。图 5 显示的是 S-Paramics 模型的模拟数据在复杂三维模型中的表现。



图 4 不同演示效果



图 5 三维演示效果（图片由 Baseplus 和 Truescape 公司提供）

4. 路径选择

交通分配 (assignment) 是微观交通仿真区别于确定性模型系统的一个方面。在确定性模型当中，分配是指在交通需求（以车辆表示）分配到路网当中，沿着预先确定的路径被同时分配到所有路段上。在微观交通仿真当中，分配是指车辆行驶的累计结果。

在模型中 S-Paramics 有一系列算法让车辆寻找路径。静态路径选择算法允许驾驶人基于路网中的静态信息选择路径。这些信息包括：

- OD 对间和路径位点 (waypoints) 间的驾驶人的期望出行成本，该成本包含了时间、距离和道路收费；
- 期望成本的变动；
- 道路等级。道路等级影响一些道路用户对某些路段的选择。

动态路径选择会把模型中不同区域拥堵造成的影响传递给驾驶人，使其根据拥堵状况调整行车路线。

4.1 路网

4.1.1 道路等级

S-Paramics 模型路网由两个等级的路段构成。主要路段 (major links) 对应于主干路，通常为具有路标的线路。次要路段 (minor links) 对应于支路。对“路况不熟悉”的驾驶人使用次要路段的成本会大大增加。图 6 显示了某区域的道路等级划分。黑色代表主要路段，灰色代表次要路段。



图 6 道路等级划分

在每一交叉口，针对驾驶人对路况的熟悉程度，该交叉口出口到路网中每个目的交通小区的成本用不同的成本表表示。驾驶人接近这些交叉口时会参照这些表格，根据到目的地的成本选择合适的出口。

S-Paramics 能够考虑路网中物理和法规方面的限制，如高度限制、高峰期城市中心区街道上禁止重型货车通行。

4.1.2 停车场

S-Paramics 能够通过停车场的使用来优化出行的起讫点。模型中停车场可以是实际的停车场、或者用于定义同一地区内出行的多个始发/终到点。停车场可以供单个或多个交通小区使用，由此与需求矩阵中的 OD 数据联系起来。每个停车场到相关交通小区中心分配有步行时间，并构成出行总成本的一部分。车辆选择出行总成本最低的停车场作为其出行始发和终到点。

模型运行时，停车场的占有率可以处于持续监测中。当一个停车场已经停满车辆，车辆会在停车场前等候直至有空闲车位出现，或者改变路线驶向其它有空闲车位的停车场。

4.2 驾驶人知识

在路径选择系统中驾驶人被分为对路况“熟悉”(familiar)和“不熟悉”(unfamiliar)两种类型，分别对应于他们对路网的熟悉程度，以及如何计算主次干路的旅行时间成本。对路况不熟悉的驾驶人倾向于选择主干路，而对路况熟悉的驾驶人主次干路都会使用。每种车辆类型的驾驶人都可设置熟悉与不熟悉的比例。例如，可以假设 100%的出租汽车驾驶人对路况熟悉。驾驶人的急进度和感知度属性也用于确定他们对拥堵的反应，是否接受额外的延迟或者是否使用每个可用的“支路”来节约旅行时间。

4.3 静态路径选择

静态路径基于时间、距离和道路收费最小化得出。不同的驾驶人对以上因素综合时会有所侧重。

评价一条路线的成本时，对于路况不熟悉的驾驶人而言，次要路段增加的成本会更高。因此，需要路径选择时，他们更可能选择由主要路段构成的路线，而不太可能采用支路绕道而行。

如果在交叉口有多条路线到达目的地，驾驶人必须确定哪个是最佳出口。为了反映驾驶人对每条路线真实成本的判断误差，在他们做出决定之前，这些成本会按预定值发生随机变化，这一过程称为“扰动”(perturbation)。有多条路线成本相近时，扰动可以确保每条路线都有被选择的机会。

图 7 中有两条路线可以到达同一目的地。其中一条路线的旅行时间为 10 分钟，另一条路线为 10 分钟 30 秒。如果扰动值为 10%，这两条路线的相对成本则有相互重叠部分，因此

两条路线都会被使用。

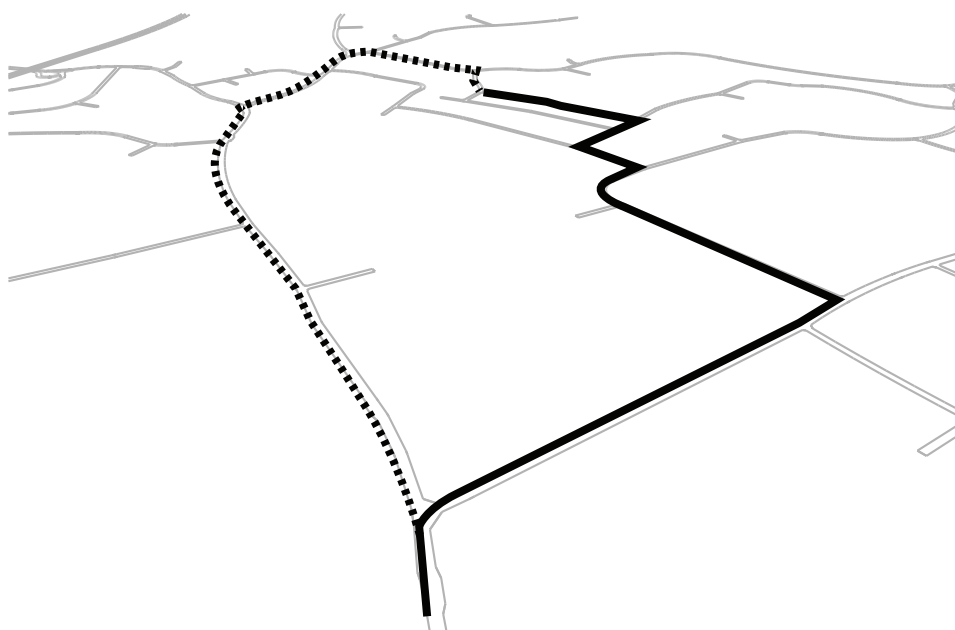


图 7 受‘扰动’影响的路径选择

基于路线成本选择交叉口出口的过程在每个交叉口都会重复。成本扰动确保驾驶人在同一始发点和终到点间旅行时会使用多条路线。成本最低的路线会被优先选择，而其它合理的路线也可能被选择。

4.4 动态路径选择

动态分配包括静态分配方法中所有的路径选择算法，同时驾驶人会具有对道路上拥堵的学习能力。根据其掌握的情况，驾驶人会对路线进行调整。由于每个驾驶人会做出不同的反应，因此拥堵的地点和程度也会改变。久而久之，驾驶人则会避免拥堵地段，找出到达其目的地的最快捷路径，从总体上达到累计旅行时间最小化。

S-Paramics 中的动态分配采用了务实的方法。对于可变的驾驶人行为、出行交通量和期望出行成本而言，唯一解决办法或完全优化的概念意义不大。在模型运行过程中，S-Paramics 使用动态反馈在一定的时间间隔内不断地调整每个路段的通行时间。对路况熟悉的驾驶人会根据掌握的路网拥堵状况，使用调整后的旅行时间实现出行成本最小化。对路网不熟悉的驾驶人则继续使用基于静态分配选择的路径，只是根据建议限速确定旅行时间。

驾驶人收到路段旅行时间反馈信息后可能会作出不同的反应。旅行优化程度取决于驾驶人急进度和感知度水平。基于驾驶人急进度和感知度分布，S-Paramics 允许建模人员让驾驶人对路网的拥堵作出不同的反应。

在 S-Paramics 模型中，不提倡对路径选择进行强制规定。例如，不能直接在模型中预设转向比例或车道使用，这样做可能会掩盖对模型中驾驶人行为的误解。在有实际观测数据支持情况下，也可以对路段成本进行单独改变。

4.5 多级路径选择

在现实生活中问过路的驾驶人会知道，根据路程的远近，得到的回答会有所不同。如果目的地很近，回答会十分详细，但目的地较远的话，回答则只会包括旅行中的关键点，而不会是详细的转向地点。通常，回答只包含最近路段的具体走法。

S-Paramics 通过在模型中的战略位置使用“路径位点”(waypoints)包含了以上两种思路。路径位点可看作是关键路径的决策点，可以是大型交叉口或可识别的地点，用来帮助定义长距离旅行的路线。

模型中使用路段分割点的车辆在始发交通小区到目的地交通小区间会有一条宏观(macro)层面的路线相连，这条路线可能会经过多个路径位点。这样整个旅行被分开，车辆在通过每一较小的路段时使用微观(micro)层面的路线。与交叉口间微观层面路径选择的方法相同，路径位点间的宏观层面路径选择也可通过成本公式、扰动和动态反馈来控制。

对于长距离旅行，如果使用单一水平的路径选择算法，在旅行的开始，由于扰动的作用，驾驶人选择的第一部分路线可能不是最优。如果使用路径位点，整个旅行中每个路段的微观路线都是独立导出的，因此不受长距离的扰动计算影响。

5. 模型校准（Calibration）

校准是指调整模型中的参数以确保模型准确反映输入数据的过程。而验证（validation）是模型输出结果与观测数据相比较过程，这部分观测数据并没有在校准过程中用于调整模型参数。通过使用相互独立的数据进行验证，可以保证模型用于预测手段时的可靠性。

5.1 交通分配校准

如果模型为简单的交通走廊或单一交叉口，交通分配可使用“全有全无”（all or nothing, AON）的方法实现。如果模型中包括了路径选择，车辆到路网的准确分配则成为校准的关键因素。分配校准是为了让路网模型能够反映真实的拥堵水平以及造成的系统延迟，由此生成高质量的需求矩阵（demand metrics）和车辆产生分布（release profiles）。分配校准过程是迭代过程。对需求矩阵和路网参数的调整会影响交叉口车流量以及造成的延迟，结果又能影响分配过程。S-Paramics 的 DAT 模块可以帮助建模者对模拟数据和调查数据进行比较来检查模型校准的进度。

5.2 交通需求校准

高质量的出行需求数据通常通过路边调查（roadside survey）收集，因为路边调查可以获得出行的起讫点信息。调查费用高且不易实施，通常自动车牌识别（automatic number plate recognition, APNR）系统是一种替代方法。APNR 提供的数据可以导出出行的起讫点。人工车辆分类计数（manual classified vehicle counts, MCC）可能对很小的模型（如单节点）是足够的。但是理想的数据最好采用以上多种方法调查取得，并使用国家人口普查数据进行补充、或进行基本的检验。

不论何种来源，这些数据都不会提供模型研究区域内所有起讫点间转向的全部情况，除非模型的研究区域很小。为了解决数据不全问题，S-Paramics 软件包含了矩阵分析（matrix estimation）模块对矩阵进行修正，使其能够全面地代表观测的交通状况。矩阵估计是一个迭代过程，使用模型中现有的分配和一个初始矩阵。初始矩阵能够较好地反映观测数据的 OD 交通需求估计。根据掌握的信息，如果有出行的可能，初始矩阵中未观测的单元格中则先填写数据。为了让从交通小区中的进出车辆数与交通小区的规模和人口特征相一致，也会使用其它的限制条件。矩阵估计过程对初始矩阵进行调整，达到估计的分配车流与调查车流相匹配。

交通需求量很少会长期保持不变。一日内的车流会有增有减。现实生活中路网的拥堵水平很大程度上取决于车流增减的发生频率。S-Paramics 中使用基于时间的车流分布来反映这种情况。车流分布以 5 分钟为单位控制模型中车辆的释放。具有分布属性的需求是模型校准的关键因素，对拥堵路网中车流的理解和表现是必不可少的。能够使交叉口车辆排队情况更加符合实际，这反过来又会对需求的动态分配产生显著地影响。

5.3 驾驶人为校准

S-Paramics 模型开发通常不需要调整影响驾驶人行为的总体参数。一般而言，驾驶人行为因特定路况而变化，而不应用改变整个网络范围属性来影响 S-Paramics 模型，除非有足够证据证明整个模型范围内驾驶人行为发生了显著变化。反映总体驾驶人行为的重要参数包括：

- 驾驶人急进度和感知度
- 路网的车头距

5.4 路网校准

模型校准的关键因素是实现路网中所有交叉口功能正常。这可以通过调整由停车让行线位置决定的车辆走行路线来实现。也可调整路段属性，确定每个车道的使用范围，以及驾驶人在何处评估对向（opposing traffic）车流状况，尤其在接近交叉口时。

停车线（stop line）控制车辆通过交叉口时的路线，是驾驶人停车等待对向行驶车辆间隔的地方。行驶轨迹的曲率控制车辆通过交叉口时的速度，急转弯时速度要比平缓转弯时的速度要低。

交叉口的每个入口车道都需定义其允许转向的车流，有时还需要指定出口车道。交叉口校准需要实现转向车道和车流走向的正确使用。在 S-Paramics 中，转向车流的优先权有三种：主要（major）、次要（medium）、或者最小（minor）。

在模型建立时 S-Paramics 根据对路网的描述自动生成停车线位置、车道上允许的转向车流和转向车流的优先权，但是复杂的交叉口需要建模人员进行修正。

5.4.1 变线点（hazards）和路标（signposts）

在远离交叉口或道路布局变化影响时，车辆速度和所在车道与道路布局和附近其它车辆有关。当接近交叉口或道路布局发生变化的节点（如车道增加或车道减少）时，驾驶人必须对下一步的车道选择重新评估。变线点是指驾驶人需要采取某种行动的地点，而驾驶人感知变线点的位置被称为路标点。图 8 显示了高速公路出口匝道处的分道（diverge）变线点。

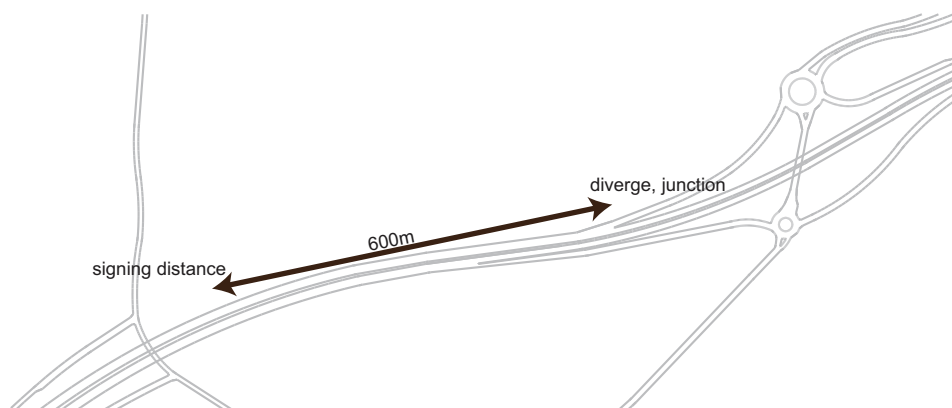


图 8 分道危险

驾驶人的急进度和感知度用于控制车辆速度和车头间距的设置，以及驾驶人接近路标点时对危险做出反应的速度。在没有路标点或危险存在的情况下，急进度水平低的驾驶人会尽量避免变道，除非速度存在很大差异。急进度水平高的驾驶人在速度差较小的情况下也会变换车道，选择速度较高的车道。在意识到危险时，急进度水平低的驾驶人会重新评价其车道选择，根据需要变道。而急进度水平高的驾驶人会延迟其对车道选择的重新评价。

5.4.2 可见度 (visibility)

可见度是在交叉口处具有次要或最小优先权车辆的关键校准参数。如果可见度为 0 米，驾驶人则会在停车线停下来以确认是否有间隙驶入。如果可见度大于 0 米，那么在距停车线的这一距离内，驾驶人则会边减速接近停车线边判断对向车流是否有间隙。如果间隙存在，驾驶人会不停车通过交叉口。

可见度水平由交叉口处的地理特征确定。图 9 显示两个环形交叉口，左图中由于接近交叉口时高墙和坡度对视线的影晌度，可见度较低。不可避免，驾驶人在接近交叉口时不得不停下来才能确定是否可以安全通过。右图中视野较宽阔，可见度会较高。这样，驾驶人则不太可能先停下来再进入环形交叉口。可见度对环形交叉口的排队有显著的影响。



图 9 环形交叉口可见度比较

5.4.3 可接受间隙 (Gap Acceptance)

可接受间隙参数有三类：车道合并 (lane merge)，车道交叉 (lane cross) 和路径交叉 (path cross)。这些参数控制驾驶人车道合并和交叉并道时可接受的间隙。通常只有在特定的情况下才需要改变这些间隙，包括特殊环境的交叉口、在拥堵的交叉口观测到驾驶人频繁地采用较小间隙、或可见度低的交叉口。同样，如果有足够证据，也可以修改个别路段上的默认车头间距。

5.4.4 路段属性 (Link Attributes)

虽然 S-Paramics 允许建模人员设定路段末端的速度和等待时间，但目的并不是为了通过改变排队行为来帮助模型校准。该功能是为了仿真减速障碍和收费站点而设置的。交叉口通过能力的校准应该通过采用准确的分配方法来正确地模拟双向交通流、调整车辆通过交叉口的路径、停车线位置和可见度来完成。而不应该通过加入人为延误或变速来进行。

6. 仿真运行 (Simulation)

ESV 的仿真模式可以运行模型，与此同时可视化模块能够实时显示模型中车辆的运行状况。

当仿真运行时，内部时钟与事件顺序同步进行。在每秒钟内，每个交通小区的需求和需求分布都会被检查，判断是否有车辆需要加入到路网中去。每辆车都会有一个目的交通小区构成其旅行终点，并通过在路网中的行驶而到达。

在每个仿真时间步长（一般为 0.5 秒），每个驾驶人基于以下 4 个简单的决策，决定下一步该怎么做：

- 应该在哪个车道中？
- 以何种速度？
- 如果正等待车辆间隙，判断是否能够移动？
- 下一个交叉口应该选择哪个出口？

驾驶人决策考虑其它车辆的影响。采用的速度可以确保车辆间保持一定的安全距离、选择的车道在前方交叉口允许转向、有适当的间隙时才进行变道。所有单个车辆驾驶人决策的累计影响和车辆间的相互作用共同构成路网中的交通流仿真。

每个驾驶人的决策都有随机因素，例如路线选择的变化、车辆释放到路网的准确时间和车道选择决策的地点。每个仿真运行开始时可以有不同的随机位置，因此模拟出的车流也会不一样。每次单个运行都模拟了模型中的车辆行为，只有通过多次运行进行分析才可以确定路网的平均状况及其内在可变性。多次运行可以代表典型路网中交通流的日常变化性。

仿真运行的同时可以收集统计结果。统计结果可用作进一步的分析，包括：

- 路段和转向流量；
- 交通小区间或预先设定路线上的旅行时间；
- 排队长度；
- 尾气排放量；
- 车道变化事件。

为了提高模型运行速度，S-Paramics 的批仿真模式允许在没有实时显示的情况下收集统计数据。

7. 仿真结果分析（Analysis）

7.1 数据分析工具（Data Analysis Tool, DAT）

DAT 用于对模型的多次运行结果进行汇总和比较。

7.1.1 交通流（Flows）

DAT 进行分析和汇总时可以使用分割（partitions）的方式，如定义分割核查线（screen line）、区域（cordon）、或者与某交叉口有关的路段。分割也可以是与调查数据有关的路段。DAT 对多次模型运行结果进行分析，并以图形方式表达。图 10 是对两个模型的平均交通流进行的比较。



图 10 交通流比较

对不同模型的交通流进行比较时应考虑其内在随机变化，以确认流量是否发生了实质性改变、还是只是样本的随机性在起作用。DAT 可用于显示模型运行结果的平均值和置信区间（图 11）。通过检查置信区间是否有重叠部分，建模人员可以确定该变化在统计学上的显著性。

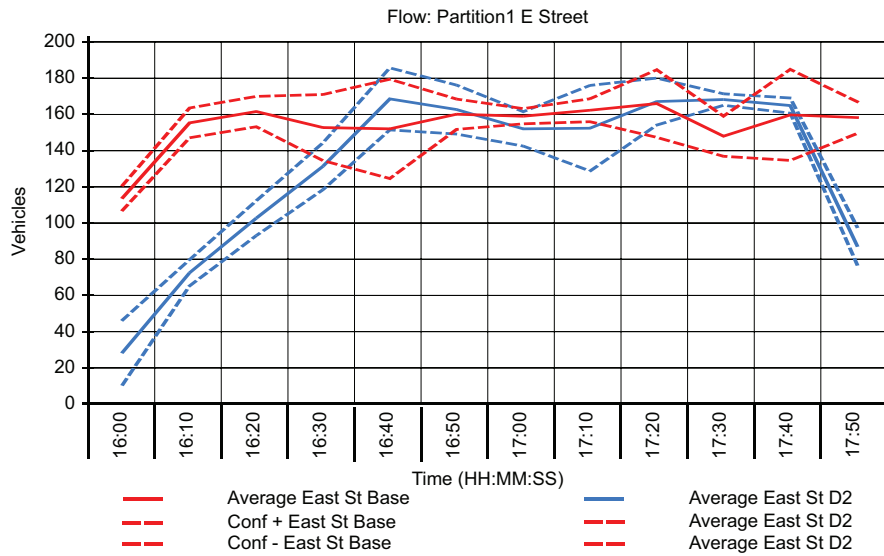


图 11 含置信区间的交通流比较

对不同模型的多次运行结果的交通流汇总可以用图形表示，并进行对比。如图 12 所示。图中红色代表车流量的增加，而蓝色代表车流量的减少。

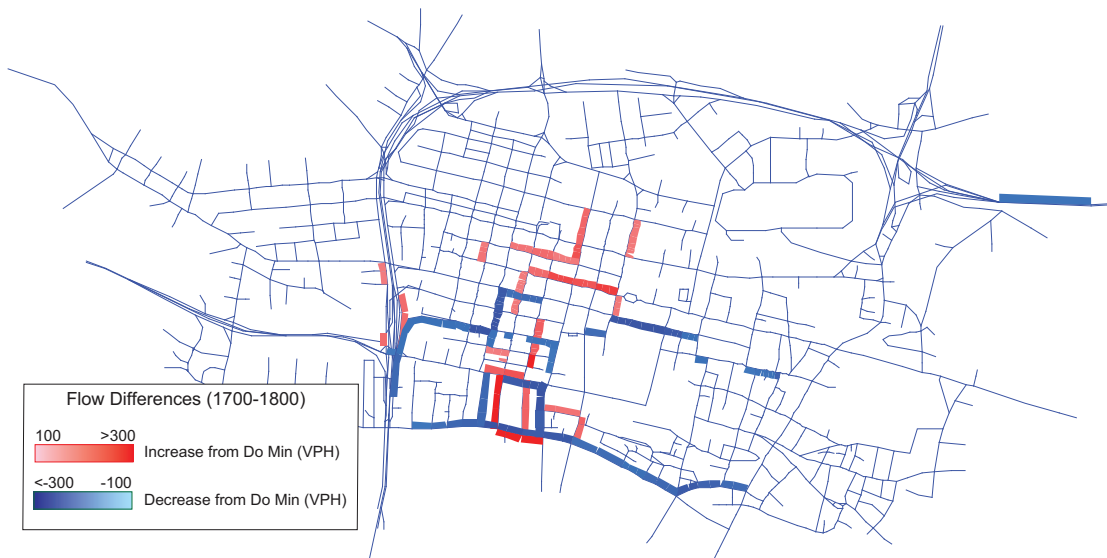


图 12 交通流对比图

7.1.2 排队 (Queues)

建模人员可以以米、车辆数或 PCU 为单位测量指定路径或路段上的排队车辆。可以在指定时间间隔内收集最小、最大或平均队长。在排队形成时，在指定的数据收集时间间隔内，按均值进行统计计算。

图 13 的左图显示了接近交叉口的排队路径，右图中显示了 1 日内最大、平均和最小队长。

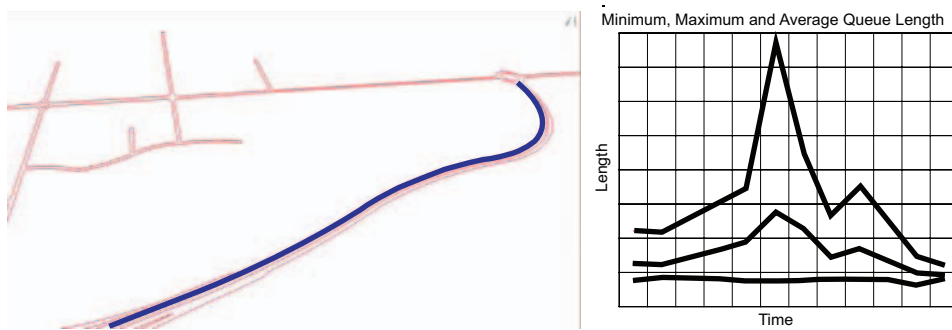


图 13 排队长度汇总

7.1.3 旅行时间 (Journey Times)

S-Paramics 可以计算 OD 对间整个出行的旅行时间，也可以计算模型中指定路径上的旅行时间。DAT 的统计分析可以对来自多次运行结果的旅行时间进行比较，以确保充分反映旅行时间的波动性。

7.1.4 事件 (Events)

S-Paramics 可以记录车道变化和超车等事件。DAT 能够用来分析发生变化的地点。图 14 是以 30 分钟为时间间隔的车道变化事件图，清晰地显示了显著的车辆交织区段。

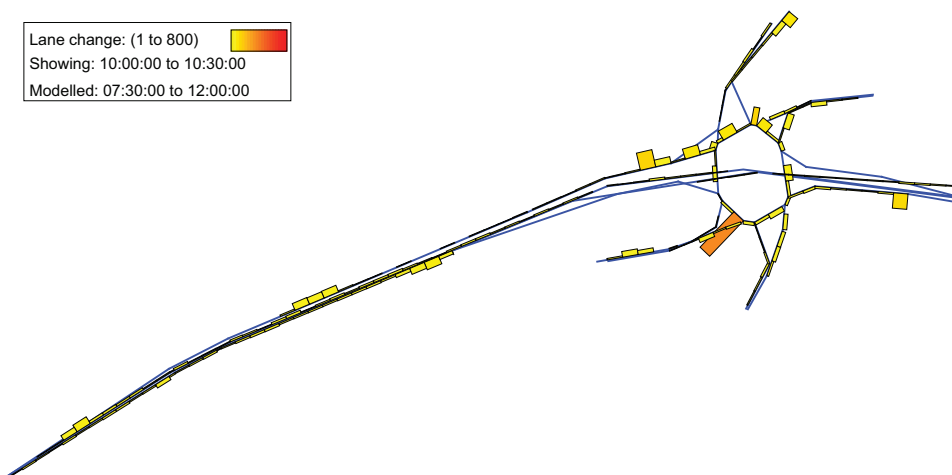


图 14 显示车道变化的事件图形

7.2 经济评价 (PEARS)

PEARS 是公路项目经济评价软件 (Program for the Economic Assessment of Road Schemes) 的英文缩写。该软件是受苏格兰交通部委托开发，作为微观仿真模型的经济评价软件。采用的方法和成本来自英国交通部交通分析指南的时间价值和运行成本部分 (UK TAG Unit 3.5.6 – Value of Time and Operating Costs (www.webtag.org.uk))。

PEARS 能够对基于出行的旅行时间成本和车辆运行成本的变化进行评价。出行成本通过对路网中每个模拟车辆的成本汇总得出。微观仿真能够提供有力的经济评价，原因是微观仿真：

- 网络的定义详细地反映了实际情况；
- 可以代表不同车辆类型的运行特征；
- 交通需求分布，确保了真实地反映交通流波动；
- 详细地表示了现实世界中的车辆队列行驶（**platooning**）、超车和排队现象；
- 可以对处于不断变化的速度和加速度状态下的车辆排放和燃料消耗进行评估。

PEARS 的输出结果包括项目成本和效益的标准表格。这些数据可以按照时间汇总并根据基准年进行折现，这样有助于确定道路项目建设的优先顺序。

8. 信号控制与智能交通系统（ITS）

8.1 高级控制接口（Advanced Control Interface, ACI）

高级控制接口能够从S-Paramics模型中模拟的数据采集设备中收集数据，并利用这些数据来控制模拟的车辆驾驶人。旨在将自适应信号控制和ITS硬件在环（hardware in the loop）系统与运行S-Paramics模型的计算机直接相连。高级控制接口使用“简单网络管理协议”（Simple Network Management Protocol, SNMP）通讯标准，这一标准被交通控制系统工程师广泛运用。通过ACI交换的数据与目前城市交通控制（UTC）系统使用的数据高度相似。举例如下：

- 感应回路数据：传统探测器测得的速度、流量和占用率
- 旅行时间数据：已知路径上的流量和速度——实质上可以代表自动号牌识别（Automatic Number Plate Recognition, ANPR）相机技术
- 尾气排放数据：路侧尾气排放探测设备得到的结果
- 拥堵探测器：测量排队长度
- 停车场占有率：每个停车场的泊位数和停车能力

仿真模型中通过ACI实施的功能旨在充分满足交通控制系统工程师的使用需求。

8.1.1 交通信号

在模型运行过程中，可以通过软件内部的基于时间的控制器来控制交通信号，控制器与相位阶段一致。另外，信号可以通过ACI由软件外部的控制器来控制。

外部控制器可以设置相位阶段时间在下一个信号周期内单次使用，或者在多个周期内连续使用。紧急需求可以终止当前阶段并移动至另一阶段，并且阶段运行次序也可以变化。

8.1.2 智能交通系统（ITS）

可变信息标志（Variable message signs, VMS）可以为通过某一地点的驾驶人提供相应信息。通过ACI也可以使用广播设备向仿真中的所有驾驶人或在某区域内传递信息。传递的信息包括3个部分：

- 由驾驶人接收的用于演示目的的字面信息
- 用于影响驾驶人行为的正式说明
- 反应分布，即定义哪些驾驶人会对相应信息作出反应

VMS可用于影响：

- 速度，可以是具有相同可变性的目标值、普通道路限速、或者不考虑驾驶人急进度的强制速度上限。
- 车头间距限制

- 车道限制
- 急进度和感知度的改变
- 交通拥堵警告，以额外延误的形式包含在路径计算中
- 绕道指示以便使用特定的路径位点
- 停车场诱导，以便改变目的地至某特定的停车场

反应分布由以下因素确定：

- 车型，如重型货车——既可是包含在内的也可能是排除在外的
- 驾驶人感知度和急进度——可以是大于或小于比较值
- 随机因素或固定的车辆百分比
- 车辆目的地交通小区或目的地停车场

一条信息可以包含多种理解和反应分布。例如，“新城交叉口延误20分钟”，乐观驾驶人可以理解为10分钟延误，大多数驾驶人会理解为20分钟延误，而悲观的驾驶人则会理解为30分钟延误。随后，每个驾驶人会把这些延误纳入到路径选择计算中去。

8.2 ACI 实例

8.2.1 交通管理自动化（Automated Traffic Management, ATM）

2001 年，有提议提出将伦敦 M25 伦敦环形高速公路最为繁忙路段拓宽成 14 车道，出于对此提议的反应，交通管理自动化开始被重视起来。拓宽的建议被认为是不切实际，因此开始计划对高速公路实行更为主动的管理。

S-Paramics ATM 控制器运用 ACI 来控制高速公路上的交通，采用了英国高速公路管理局（Highway Agency）制定的算法法则，涉及交通流管理、事件检测、硬路肩行驶、事件管理和匝道控制。还可以包括高速公路日常运营中的智能交通系统管理方案的效果。也可以用于测试高速公路事件管理方案，包括事件发生后不同响应时间的效果。

8.2.2 UTC 信号控制

S-Paramics 可以与不同的城市信号控制（Urban Traffic Control, UTC）系统连接起来。这样仿真模型可以包括大范围的协调自适应信号控制系统。

模型运行时，车辆检测器收集的数据被传送到UTC系统中，接着UTC系统对来自许多检测器的信息进行汇总。UTC系统使用其自身内部路网模型来确定信号调整的时间以优化路网交通流。信号指令又被送回到仿真模型，这样模型中的信号阶段也随之改变。

目前，S-Paramics可以与以下系统相连：

- SCOOT —— 英国交通研究实验室（TRL）（西门子公司版本）
- SCATS —— 澳大利亚道路交通局（RTA）
- MOVA —— 英国交通研究实验室（TRL）

- CCOL —— 荷兰 Vialis-TPA 公司
- Telent —— 英国 Sentinel 公司

9. 案例研究

9.1 大区域模型

9.1.1 普利茅斯市（位于英格兰南部）（Plymouth）

受普利茅斯城市政府委托，SIAS 公司开发了普利茅斯市及周边地区的 S-Paramics 模型。模型包括 230 个交通小区和 454 公里的路网，覆盖面积 700 平方公里（35 公里×20 公里）（图 15）。模型包含了 1300 个公交车站以及所有定时运营的公交线路。模型扩展至城市外的 Liskeard, Tavistock 和 Ivybridge 三个镇。

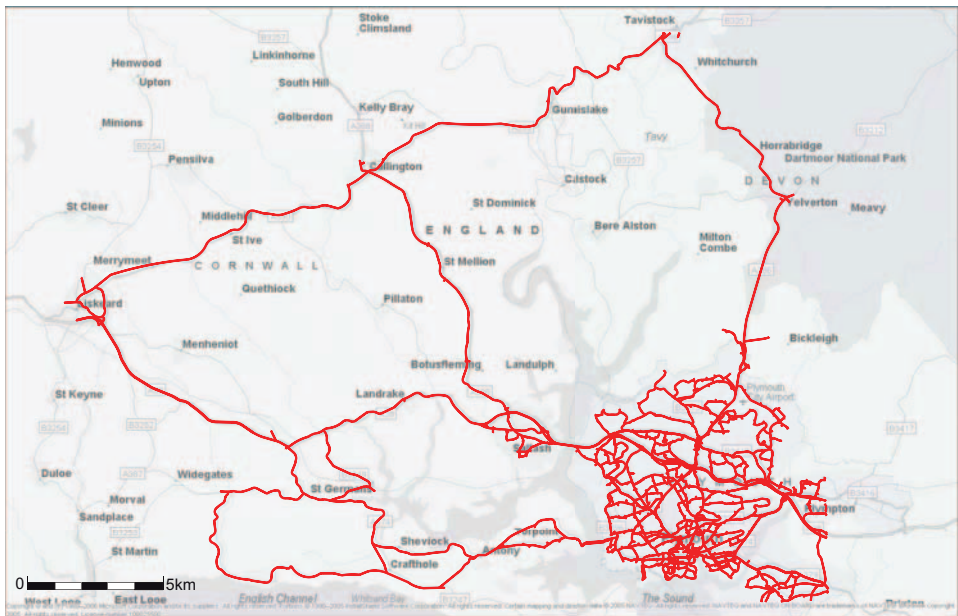


图 15 普利茅斯模型地域范围

普利茅斯模型的复杂性与其它城市模型有许多相同之处，同时又有其独特性。例如，模型中模拟了 Torpoint 轮渡服务，既包括了轮渡服务运营的整个过程，还包括了车辆排队和集结待发区域。模型中还包括了海军造船厂的检查点，可以评价安全等级临时提高时对路网其它地区的影响。

在 S-Paramics 模型的帮助下，普利茅斯市能够开展全面的交通影响评估和交通管理。模型验证达到了很高的标准，这样整个普利茅斯范围的土地开发项目都可以在同一整体框架下进行评估。可以评估交通规划的优先顺序、道路施工的阶段计划、本地和远程的交通影响，以及最适合的交通改善措施。

9.1.2 切姆斯福德（Chelmsford）（位于伦敦东部地区）

切姆斯福德 S-Paramics 模型是英国最大的微观仿真模型之一，从北部的 A120 到南部的达特福德（Dartford）桥（长度超过 50 公里）。该模型的一部分如图 16 所示。模型最初开发目的是评价城市东部建设绕城公路方案，现在已经用于评价市区内的各种交通管理设计方案，如安装行人过街信号设施。在工作日内早晚高峰期车流量达到 9 万辆，模型内同时行驶的车辆达到 1 万 2 千辆。模型中包含了位于在海陆军交叉口（Army and Navy Roundabout）处的定向高架公路，每日 14 点 30 分钟该路段行驶车流方向发生改变。另外，还包括了 2006 年 4 月开始使用位于 Sandon 的十分繁忙的停车换乘场。该换乘场 2006 年 4 月开始使用，现已扩大至 900 停车位。

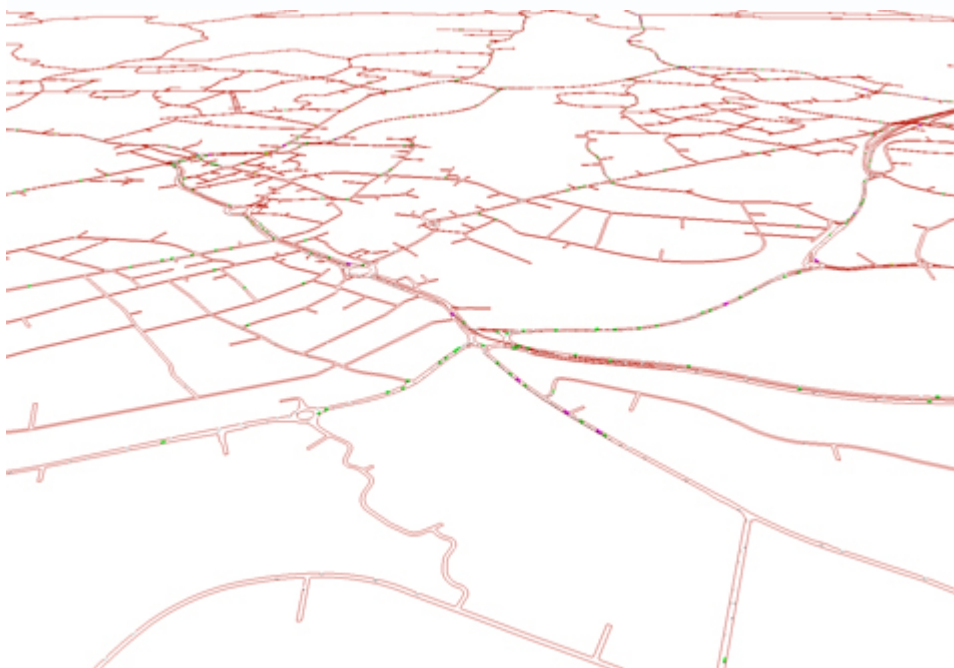


图 16 切姆斯福德模型地域范围

9.1.3 阿尔克马尔（荷兰西北部城市）（Alkmaar）

荷兰北部阿尔克马尔市大区域仿真模型的开发是为了对一系列建设项目和活动进行集中协调管理。选择 S-Paramics 软件建模的原因是其能够恰当地模拟大区域范围内的临时交通状况的能力，如车道关闭、交叉口改造和使用 ITS 的动态路径选择。同时微观仿真可以纪录基于车辆的旅行时间，有助于确定道路建设和维护期间警务和消防车辆的旅行时间。

阿尔克马尔市模型（图 17）能够对道路施工和大型活动影响进行详细的分析。预期的影响和道路施工的工期储存到数据库中。数据包括模型中的路线改变、大型活动组织中交通缓解预案和测试中发现的任何其它措施。数据库用于规划决策，并且被不断的更新和扩展。



图 17 阿尔克马尔市 S-Paramics 模型

9.2 城市交通控制系统和智能交通系统

9.2.1 英格兰 Hampton Court 花展（大型活动交通组织）

英国汉普顿宫（Hampton Court Palace）花展是由英国皇家园艺学会（Royal Horticultural Society， RHS）组织的年度展览，地点位于大伦敦西南部的汉普顿宫。汉普顿宫花展每年 7 月初举行，共持续 6 天，是世界上最大的年度花展。参加花展的车辆数达到日均 3,500 辆。由于这些车辆会集中到达，因此会造成交通拥堵。有时，排队车辆会从附近的 Esher 镇再延伸数公里至 A3 双车道主干路（连接伦敦市中心）。当 A3 开始出现排队车辆时，问题变得很严重，会导致驾驶人行为不稳定和行驶条件危险。2008 年萨里（Surrey）市政府制定了一系列的 SCOOT 城市信号系统策略来降低拥堵。这些策略均使用了与 Esher 镇 UTC 系统相连的 S-Paramics 模型进行了测试。

前期作了大量的规划工作，包括在 2007 年花展期间进行监测和数据收集。采用的方法遵循了《创新 UTC 方案实用手册》（A Best Practice Manual for Innovative UTC Schemes）（Biora et al., 1995）。测试的策略包括四种，均使用了 S-Paramics 模型和 SCOOT 系统结果进行评价。对其总体效果评价采用了综合指标，包含空气质量和安全。后者使用了 A3 主干路上排队车辆数来反映。

萨里市政府体会到采用微观仿真环境来测试各种策略的最大利益之一在于其能够观测车辆，并迅速地评估在大范围内的影响。这样可以快速地排除某一策略或作出进一步的调整，并在可控环境下加以测试。最终确定的策略为在 SCOOT 系统中对通过 Esher 镇的交通采用门控（gating）的方法。在 2008 年花展期间，所选策略满足了安全和通行能力目标。同时，模型预测车流和实测车流显示了高度相关性。展会期间，还使用了闭路电视对路网运营进行了密切监测，以确定是否需要调整策略。结果表明策略不需要进行调整，也没有收到

任何来自公众的不满意意见。图 18 中左侧照片显示了 2007 年交通状况，排队车辆延伸到了 A3 主干路。右图比较了匝道上 2007 年（右上图）和 2008 年（右下图）的车辆速度，表明了由于 UTC 系统变化降低了这一关键路段上队长。

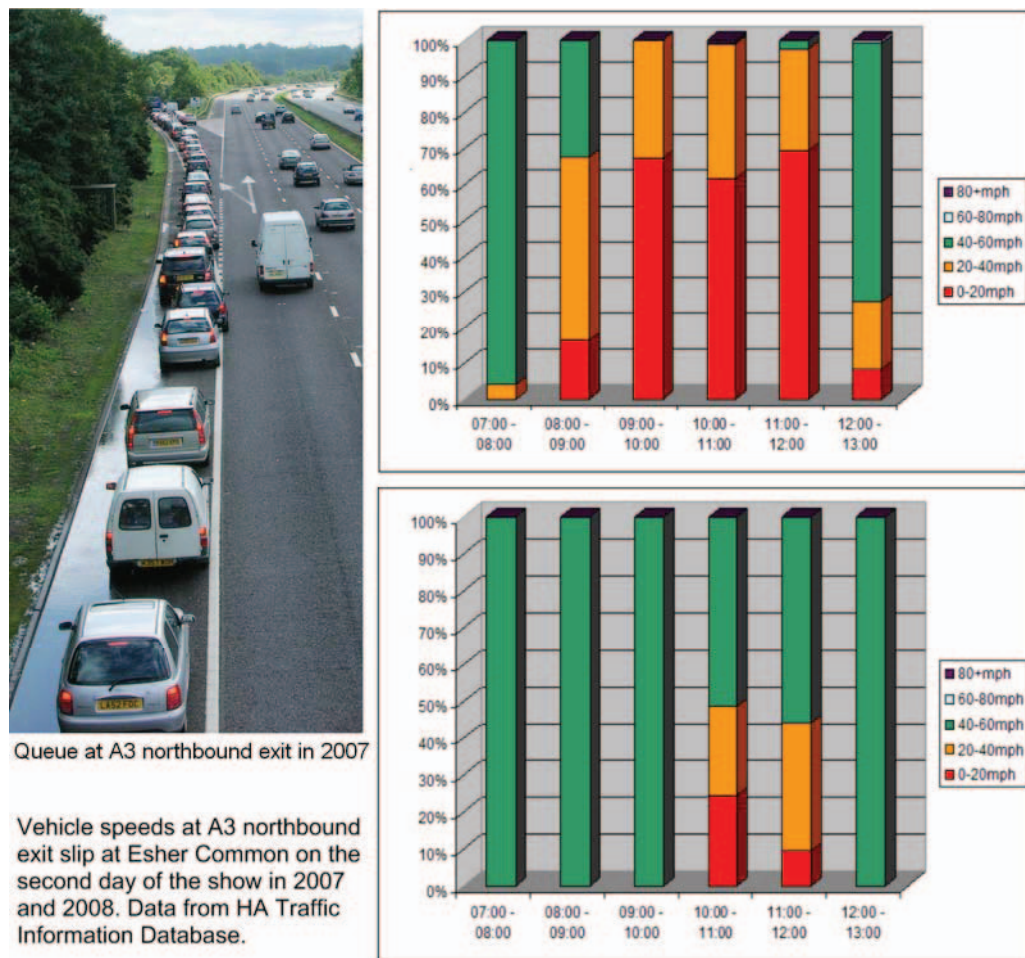


图 18 Esher 镇附近的 A3 主干路

9.2.2 伦敦 M25 环行高速路

为了测试高速路管理策略的效果,在伦敦 M25 环行高速路 10 号和 16 号交叉口间开发了 S-Paramics 模型 (图 19)。图中显示了模型与航拍照片的叠加。这可以通过对现有的高速路事件检测和自动信号技术 (Motorway Incident Detection and Automatic Signaling, MIDAS) 系统进行调整来实现。

通过与 ATM 控制器相连,在模型中引入 MIDAS 系统的运行。ATM 通过与模型中的空中显示牌和交通检测器的线圈相连,来复制 MIDAS 系统,对拥堵和事件做出反应进行速度管理和实现信号自动化。对 MIDAS 技术参数改变的测试结果显示旅行速度有所提高。更重要的是稳定了旅行时间,而这正是 M25 环行高速路的一个关键性能指标。

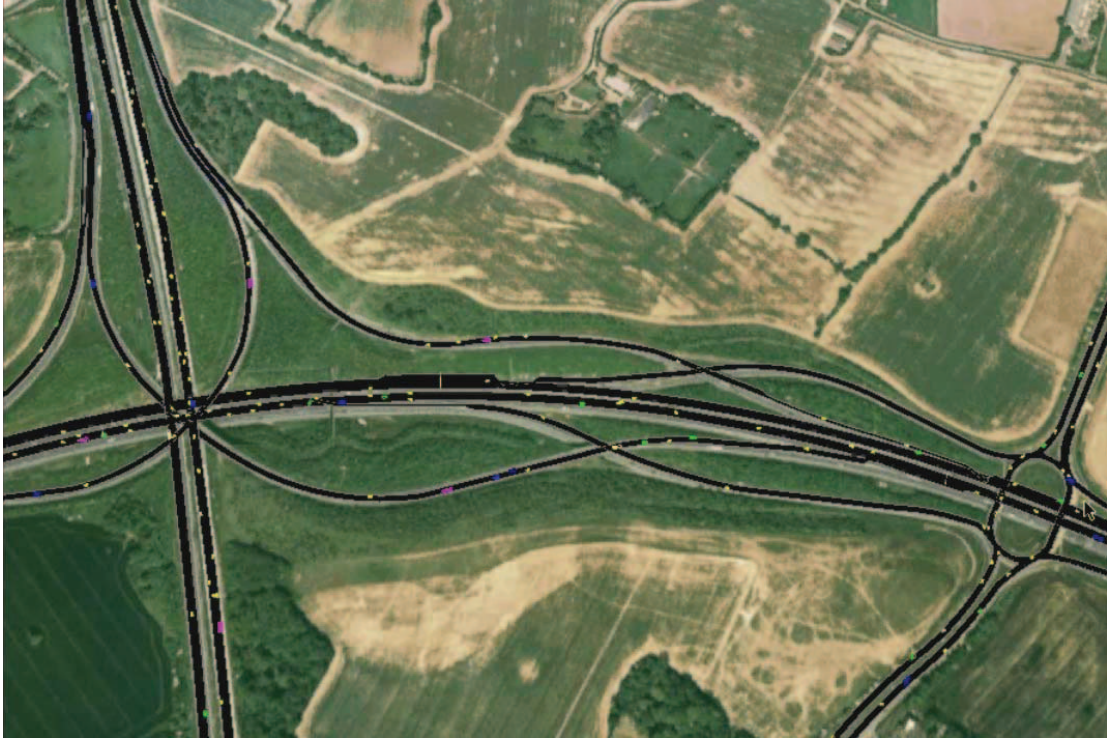


图 19 伦敦 M25 环行高速路某路段 S-Paramics 模型（图片由 Hyder 公司提供）

9.2.3 停车场诱导系统

荷兰的新维根市（Nieuwegein）正经历着快速的增长，2008 年制定了市中心开发计划，包括把市中心的停车位从 2759 提高到 4669。该市使用了 S-Paramics 模型来研究市中心增加交通量和建立一个步行区的影响。研究包括使用 ITS 方法，基于停车场容量和优先权，把车辆诱导到停车场，这样可以减少停车场间的行驶从而减少市内的交通量。

S-Paramics 模型的每个停车场均包括多个出入口。停车场可供多个始发和终到交通小区使用，市中心的交通小区可以使用多个停车场。到达某一停车场的车辆返程旅程也限于使用同一停车场。基础模型的验证包括把模拟的停车场占有率和实际情况进行比较。

图 20 显示了在使用和未使用停车场诱导系统两种情况下，在模拟运行结束前 ITS 系统对停车场占有率的影响。左图为没有 ITS 系统的情况，有两个停车场近乎停满车辆（红色）。右图中使用了 ITS 系统，车辆则更均匀的分布，每个停车场都有空闲车位。无论驾驶人是否遵守了 ITS 停车诱导系统的建议，他们都会从中受益，减少寻找停车场的需求。



图 20 停车场使用率

9.3 道路设计研究——超车研究

在单车道道路上，一组车辆会由于前面缓慢行驶的单个车辆（如重型货车或农用车辆）的影响而减速。结果便形成了车辆队列行驶（platoon），直至后面的车辆超过了前方的慢行车辆。如果采用了改善措施，如通过车道拓宽以便于车辆超车，这样后方车辆便可以超过前方慢行车辆，而从中受益，这一过程称为车队离散（platoon dispersion）。此利益不仅体现在超车路段，也会延伸至前方一定区域。

S-Paramics 包含一个超车模型，驾驶人首先基于目标速度与前方行驶车辆速度，评估超车的意愿。接着，基于以下因素来评估超车能力：1）被超车辆前方的间距；2）前方道路的能见度；和 3）有无车辆迎面驶来。当超车意愿和间距同时满足时，开始超车行为。

苏格兰交通部（Transport Scotland），联合英国交通部（Department of Transport）和英国高速公路管理局，委托了一项研究帮助准备一份新的技术建议书，讨论超车道设施的建设。该项研究考察了车辆队列行驶的形成、不同超车道长度的效果和下行路段车辆利益的延伸程度。

该项研究使用的 S-Paramics 模型包含了一个 15 公里长的单车道路段，模型中道路由三部分组成：临近路段、中间研究路段和下行路段。下行路段长度为 10 公里，这样可以计算模型中下行车辆的利益。模型校准包括调整超车参数，使模型中的车辆顺序和来自车牌匹配调查的车辆顺序一致。模型用来调查了部分路段增加超车车道（WS2+1；路面宽阔的双向单车道某些路段在某个方向增加一个车道，允许超车）的效果，并与当前使用对面车道超车的情况进行比较。

图 21 中对比了在有无超车路段存在的情况下，三种不同车流量时的车辆平均速度。结果表明：

- 在年平均每日交通量为 10,000 辆车时，车辆速度提高的利益延长至下行 5 公里左右路段；
- 在年平均每日交通量为 5,000 辆车时，超车实现的较早，车辆速度提高的利益持续也较短；
- 在年平均每日交通量为 15,000 辆车时，由于超车车辆很快会赶下一个车辆队列，因此车辆速度提高的利益也会持续较短。

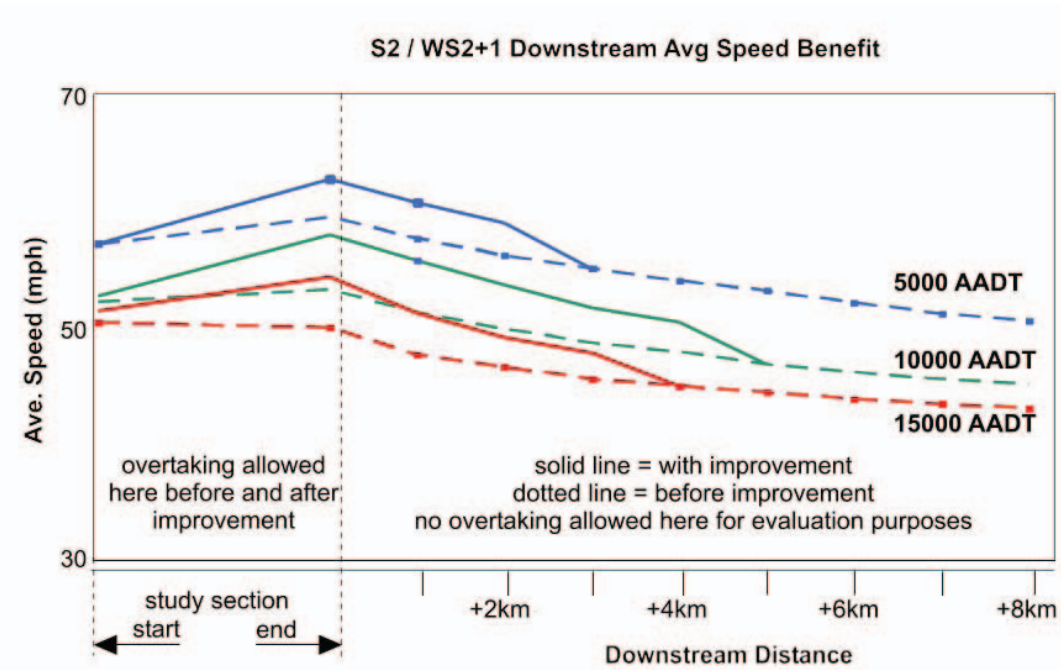


图 21 超车的下行路段利益

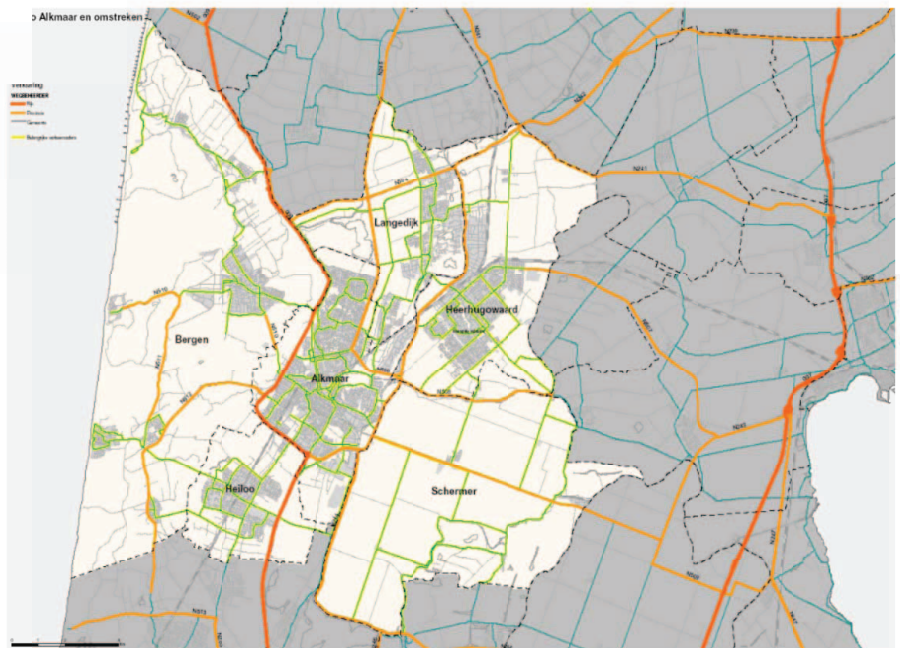
由于能够详细地模拟单个车辆行为，S-Paramics 可以准确地捕捉由于超车车道带来的经济利益，尤其是通过调整驾驶人行为的急进度参数可以产生速度差异和超车。在这种情况下队列行驶车辆的形成是内在的，是分析超车路段建设的经济利益的关键所在。

译者简介:

胡树成，博士，英国SIAS交通规划公司交通工程师。主要研究方向：交通规划与评估，交通模型、交通微观仿真等。电子邮件：shucheng.hu@sias.com

致谢:

本书翻译工作得到了兰州交通大学宋建业和王花兰两位教授的大力协助。在此表示感谢。



S-Paramics models at all scales - local, urban, inter-urban, rural & strategic as exemplified in the S-Paramics model of Alkmaar by Grontmij consultants

S-Paramics the microsimulation system

Paramics Microsimulation
SIAS Limited
37 Manor Place, Edinburgh EH3 7EB
#44(0)131-225 7900
paramics@sias.com / www.sias.com

