

动态交通分析技术

林 勇 博士

中山大学智能交通研究中心

山东省科学院自动化研究所

2008. 05. 27

主要内容

➡ 相关背景

- 交通估计与预测系统(TrEPS)概况
- 交通估计与预测系统理论框架
- 需求建模与仿真
- 供给建模与仿真
- 路径处理
- 滚动预测技术
- 系统参数标定
- 演示

交通拥堵问题

- 我国大多数大中城市普遍出现
 - 严重的交通拥挤
- 高速公路
 - 交通拥挤时有发生



北京市



上海市



广州市



南京市

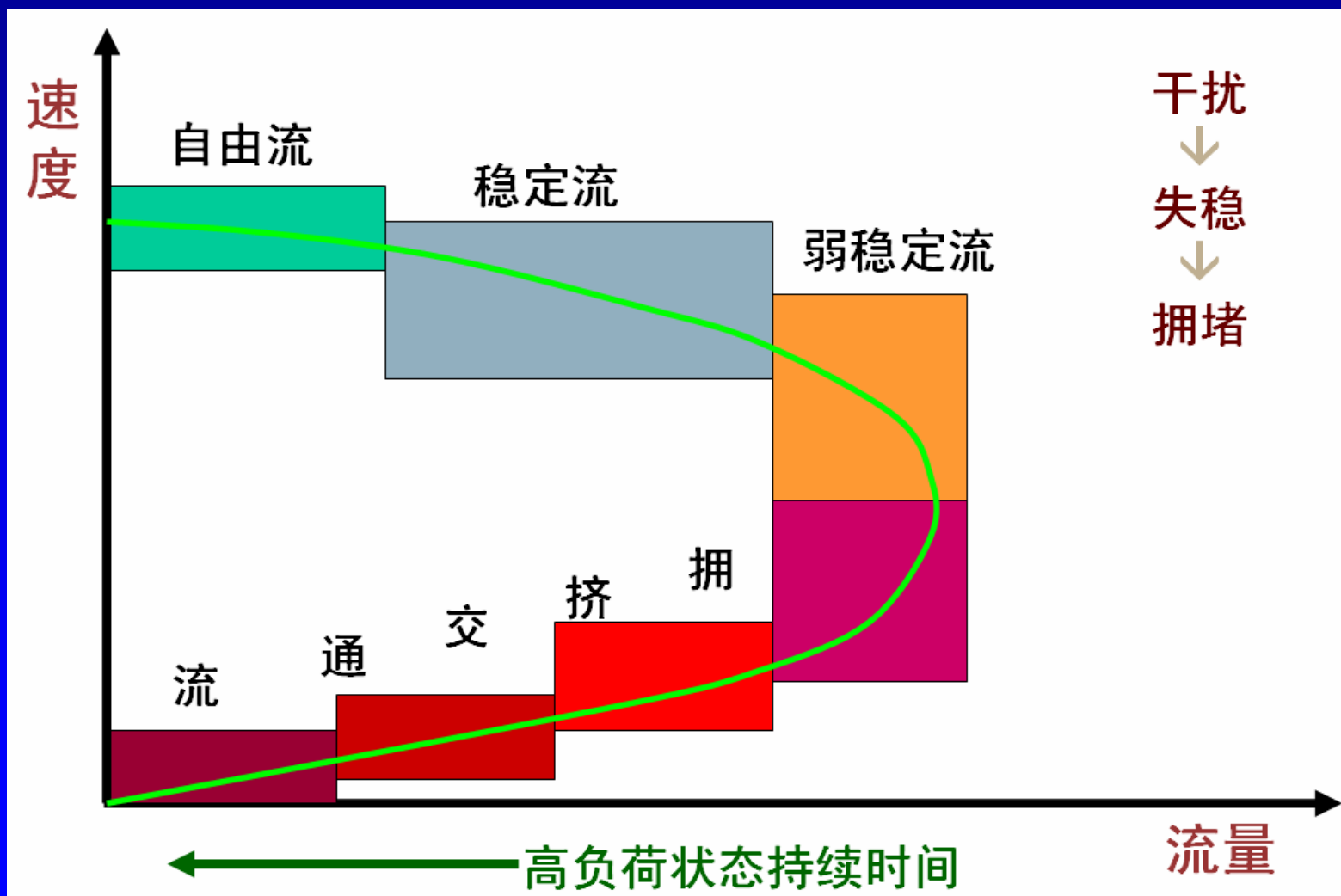


杭州市

交通拥堵的原因

- 城市交通需求与交通供给失衡——根本原因
 - 道路交通流大面积、持续的高负荷运行，使道路交通流处于弱稳定状态。
- 城市道路交通流运行状态失稳——诱发原因
 - 运行中的交通流由于受到某种干扰而失去稳定，造成局部路段的交通阻塞。
- 两者同时出现就会造成严重的交通拥堵

道路交通流：运行状态与失稳



缓解交通拥堵的根本方法

- 维持交通供需平衡，避免交通流处于持续、弱稳定状态
- 减少对交通流运行的干扰程度
- 重要途径：大力发展**ATMS/ATIS**等**ITS**子系统
 - 需深入分析动态交通需求、供给变化规律
 - 把握二者间复杂的相互作用机理

动态交通需求

- 城市的动态交通需求如何变化？
 - 从统计的角度，车流从哪里来、到哪里去，何时出发的？
 - 交通诱导信息、体育比赛、演唱会、天气等对交通需求有何影响，会怎样影响大家的出行方式、时间、路径？
- 需研究动态**OD**矩阵估计、出行行为模型

交通供给

- 道路上车流的平均速度如何受到车流密度的影响，速度、密度、流量三者关系描述
- 信号控制、道路施工、交通事件、天气变化对路段通行能力有何影响

对于交通需求与供给

- 需定量分析需求与供给之间的相互影响
 - 很难建立统一的解析数学模型
 - 交通仿真是研究ITS的必备手段
 - 解析法、仿真法结合使用是解决之道

动态交通分配(DTA)介绍

- 动态交通分配(DTA)理论是ITS基础理论
 - 如何把动态的交通需求在时间、空间上合理分布，实现供需动态平衡（严格地为动态最优）
- 解析DTA理论
 - 深挖复杂网络交通流运行机理，为实际应用提供理论指导并发现新的解决实际问题的途径
- 实际应用采取仿真DTA途径
 - 可生成交通诱导系统所需的估计与预测信息，更实际地评价各种交通规划和管理方案的性能

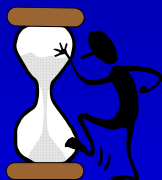
主要内容

- 相关背景
- ➡ 交通估计与预测系统(TrEPS)概况
- 交通估计与预测系统理论框架
- 需求建模与仿真
- 供给建模与仿真
- 路径处理
- 滚动预测技术
- 系统参数标定
- 演示

交通估计与预测系统特点



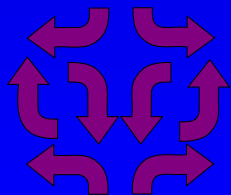
采用仿真法实现的动态交通分配系统



实时计算机系统



实时估计并预测网络中大面积范围的路况



提供出行信息

DynaCHINA

信息

控制

分层递阶实时控制系统

VMS

卫星

车载信息系统

20分钟到机场

事件

事件检测

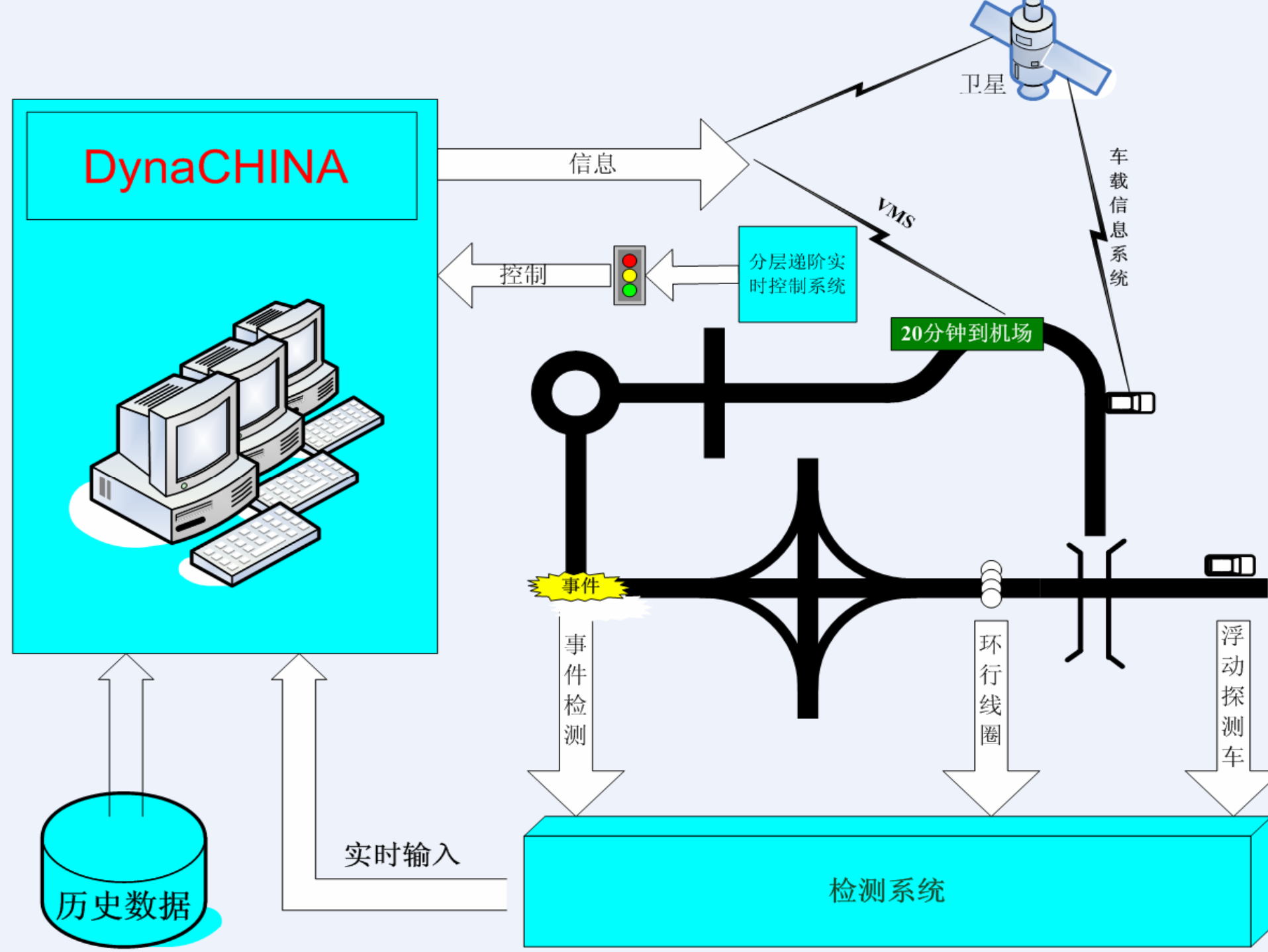
环形线圈

浮动探测车

实时输入

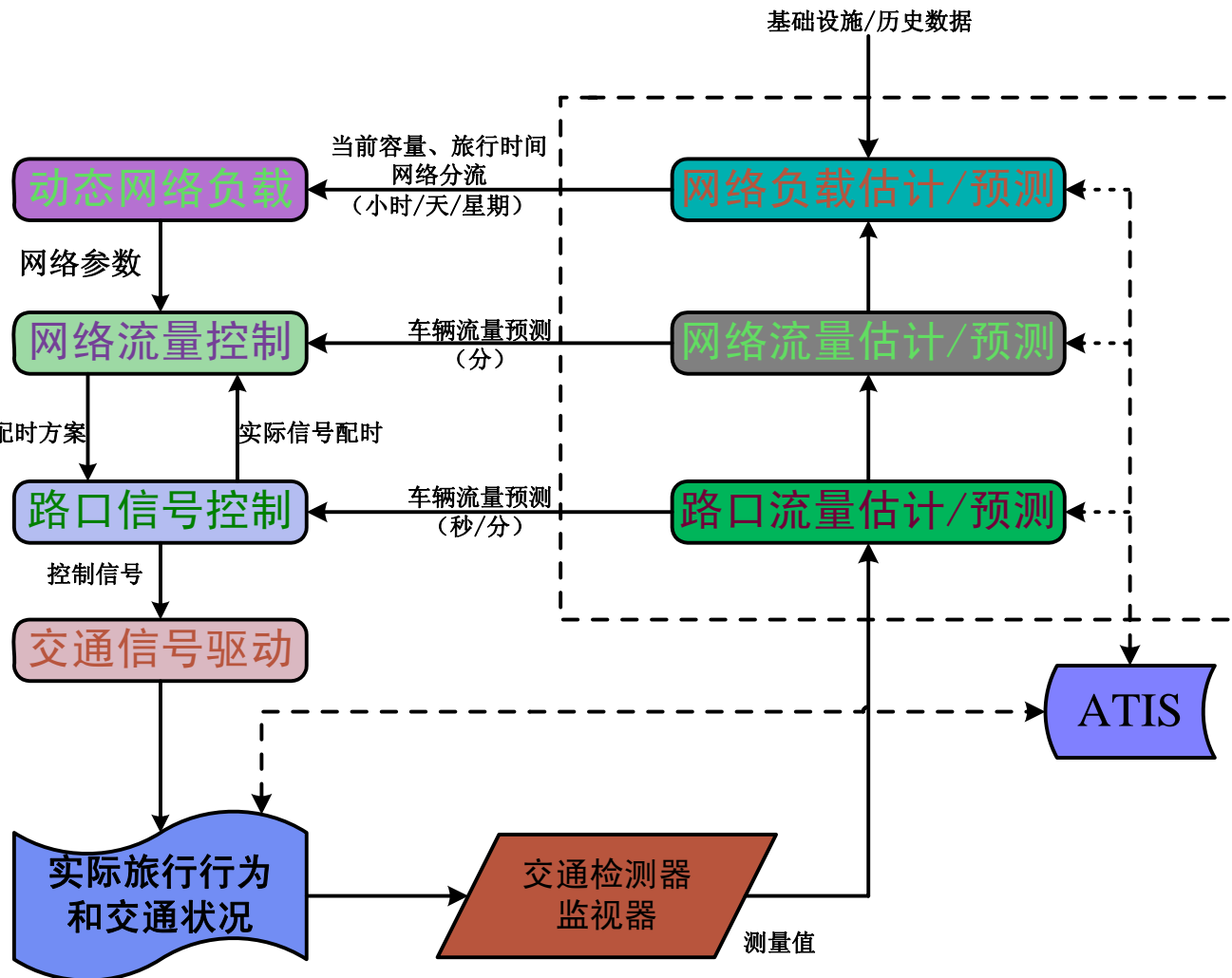
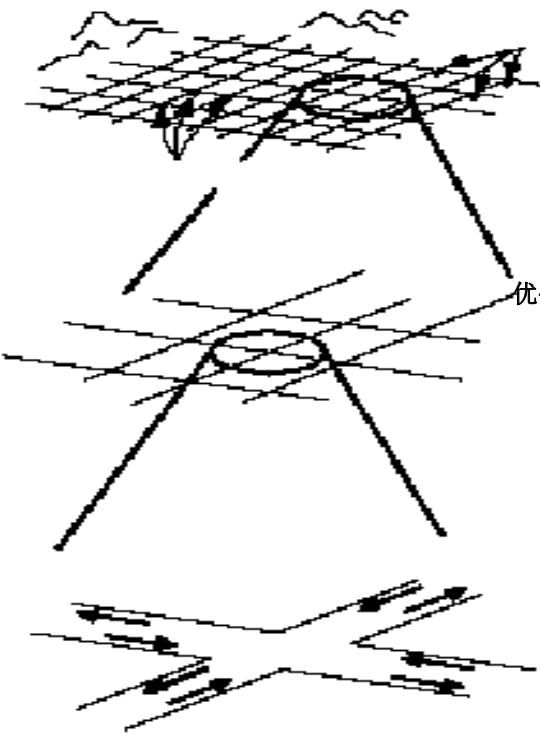
历史数据

检测系统



RHODES交通控制系统

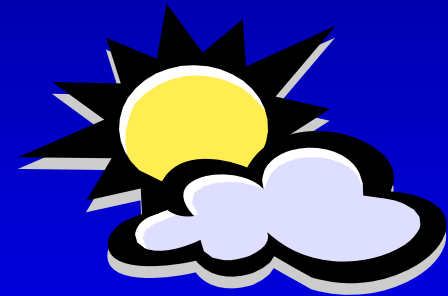
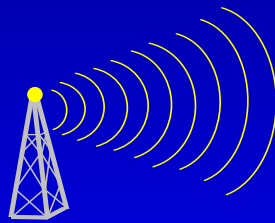
路网结构



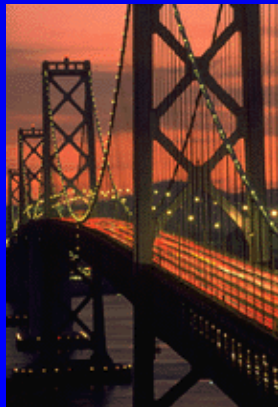
交通预报是个难题

- 动态交通管理系统最需要：交通预报！

天气预报不会改变天气！



但是交通预报会改变未来交通状况！



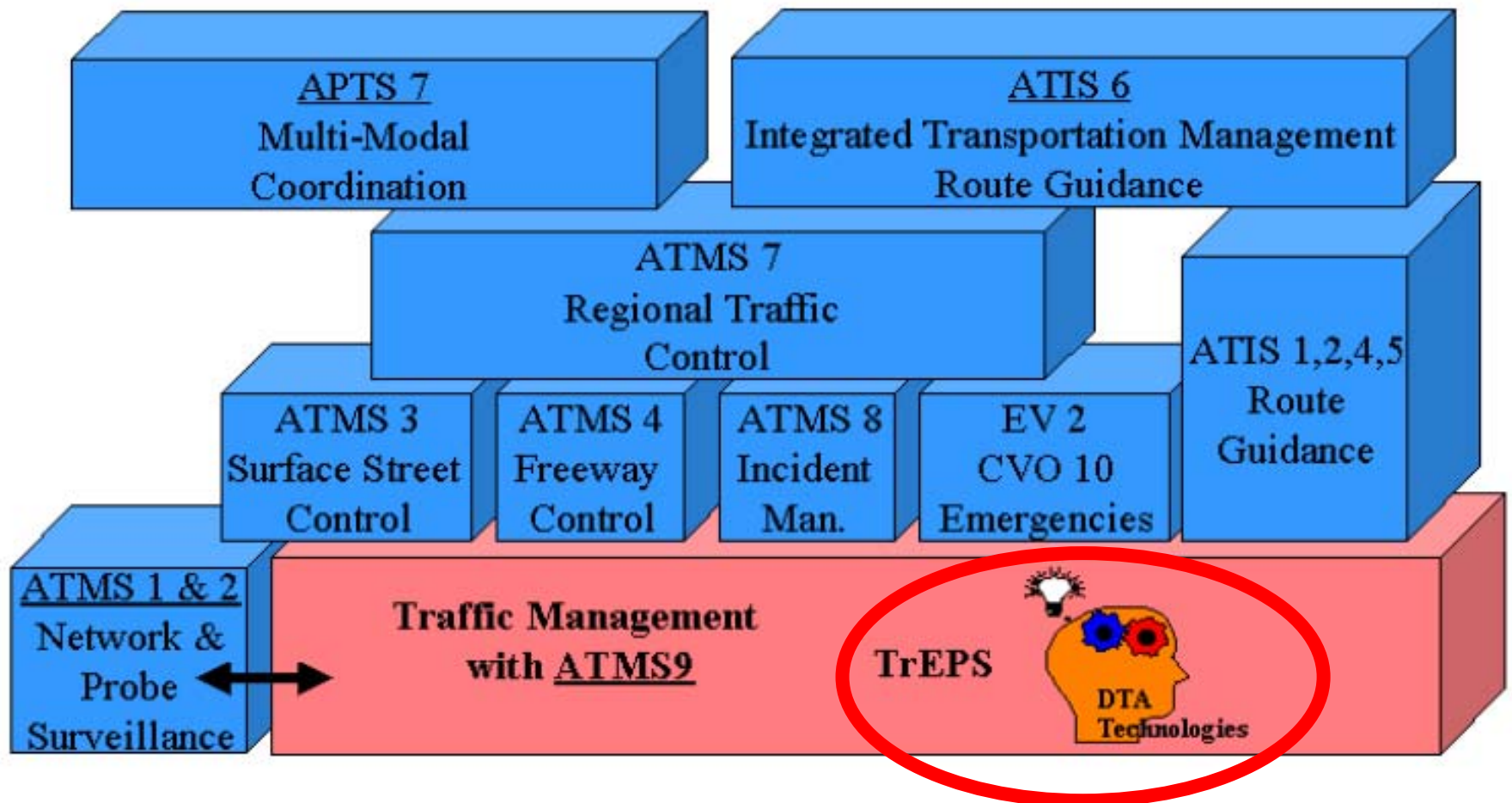
动态交通预报的重要意义

- 主动预防式动态交通管理、非被动响应
- 克服交通诱导系统中的“过度响应”行为
- 最大限度发挥交通控制和交通诱导的作用
- 应用
 - 生成并向出行者提供实时交通预告信息
 - 交通事件管理方案的生成与评价
 - 为交通管理中心提供信息支撑
 - 针对紧急情况产生交通疏导方案
 - 评价随时间、地点、路况而变化的拥挤收费方案

交通预报将像天气预报一样为日常生活关注！

*TrEPS*为ITS基础信息平台

(*T*raffic *E*stimation and *P*rediction *S*ystem)



TrEPS是FHWA的重要项目

- 95年立项，经费超过1500万美元
- FHWA的TrEPS项目中两套系统
 - *DynaSmart-X & P* (Hani Mahmassani, UT Austin, Maryland Univ.)
 - *DynaMIT-R & P* (Moshe Ben-Akiva, MIT)

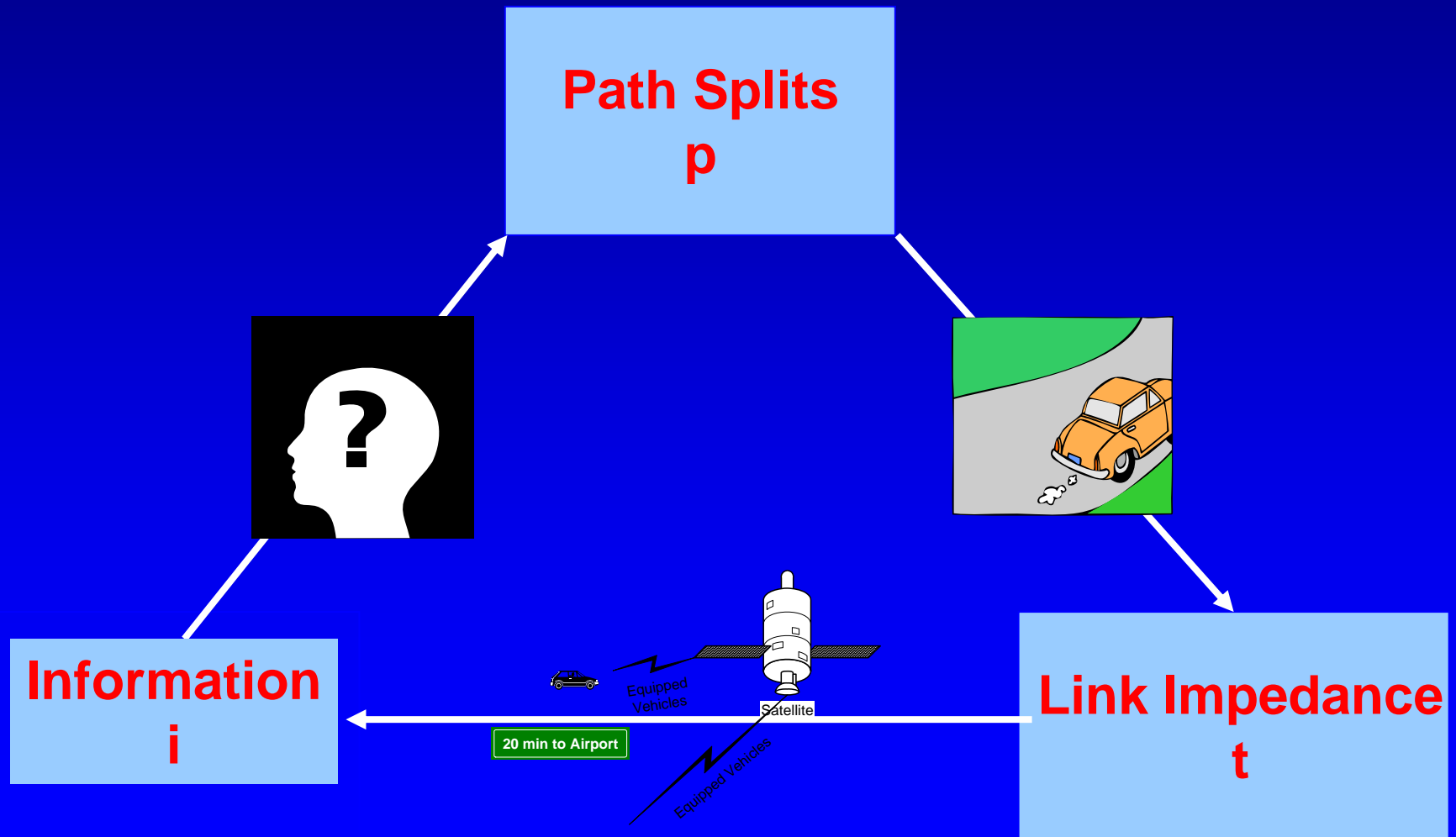
TrEPS近况

- 正在进行的现场测试
 - DynaMIT-R
 - Los Angeles稠密的、经常拥堵的交通网络，结合LA-ATCS, AIDA事件检测系统
 - 在Lower Westchester County(New York)测试，分析设备安装位置、产生实时交通诱导
 - 北京交通发展研究中心用于分析、预测交通拥堵
 - DynaSmart-X
 - Houston路网，结合RHODES, CLAIRE进行动态交通管理
- **DynaSmart-P商业软件**
 - 美国数个城市实际应用
 - 北京公安交通管理局，利用该软件针对北京市开发有效的交通疏导方案

主要内容

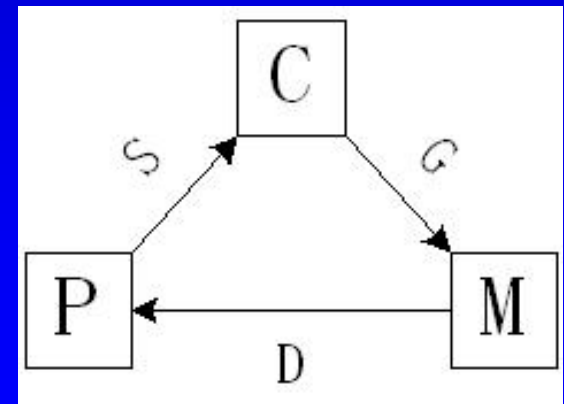
- 相关背景
- 交通估计与预测系统(TrEPS)概况
- ➡ 交通估计与预测系统理论框架
- 需求建模与仿真
- 供给建模与仿真
- 路径处理
- 滚动预测技术
- 系统参数标定
- 演示

一致性的诱导



一致性的诱导（续1）

- 交通诱导对应于路径流量集 P 、交通状况集 C 、诱导信息集 M 间的一个复合映射
- 一致性的交通诱导需求解复合映射的不动点问题
- 不动点问题的特征
 - 只能运用仿真法得到近似解
 - 问题的规模很大
 - 复合映射具有随机性

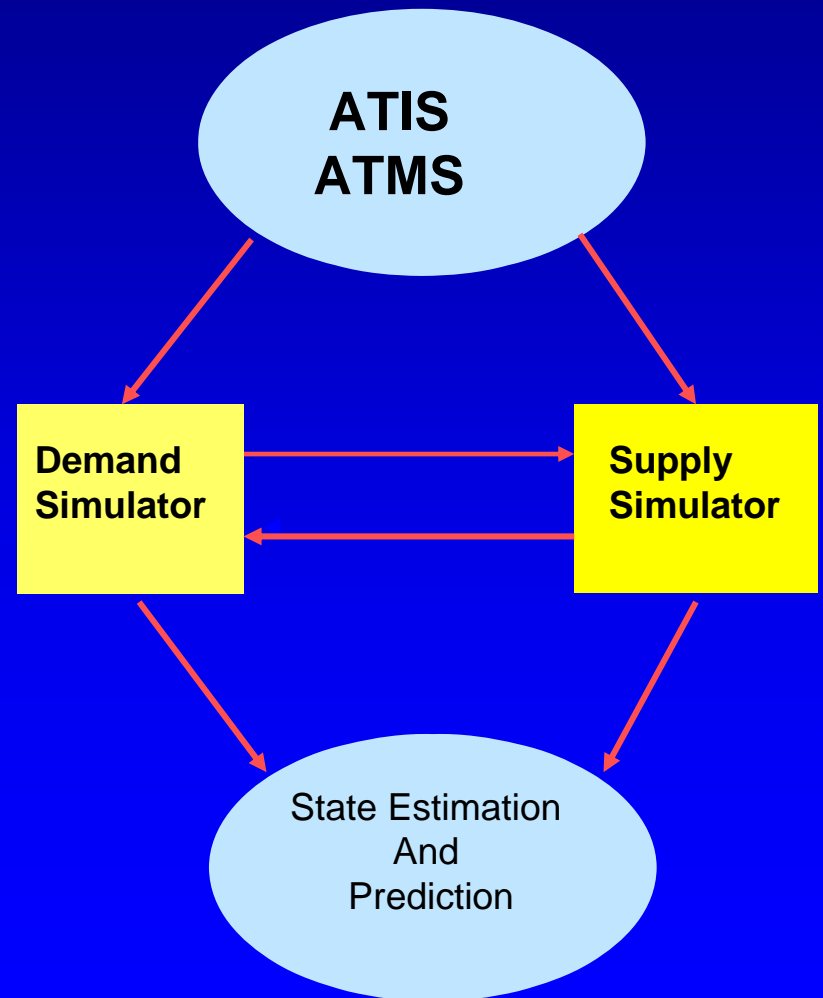


解决方案

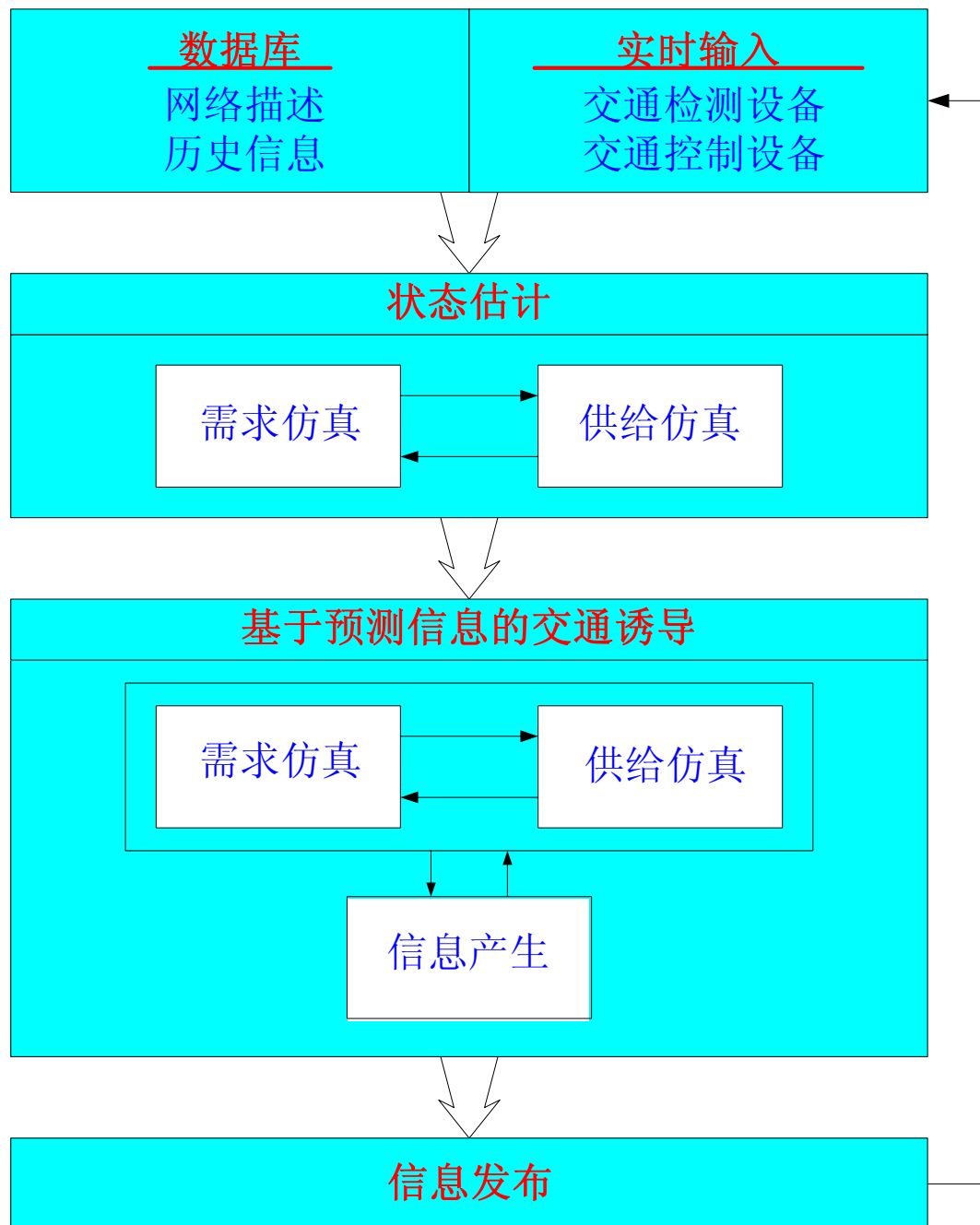
- 交通预测融入
 - 将来的OD流量
 - 驾驶员对信息的响应
- 一致性信息
- 结果
 - 克服对交通诱导的“过度响应”
 - 维持系统的可信度

TrEPS框架

- 需求
 - OD流量
 - 微观出行选择仿真器
- 供给
 - 中观交通仿真器
- 需求-供给交互



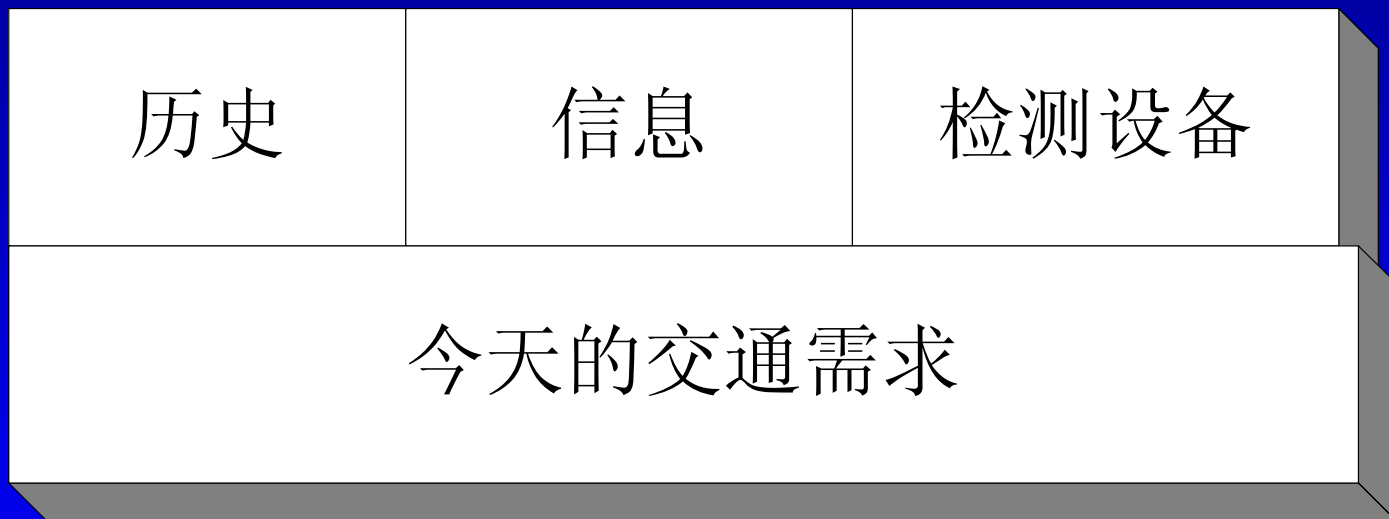
TrEPS理论 框架



主要内容

- 相关背景
- 交通估计与预测系统(TrEPS)概况
- 交通估计与预测系统理论框架
- ➡ 需求建模与仿真
- 供给建模与仿真
- 路径处理
- 滚动预测技术
- 系统参数标定
- 演示

需求结构



$$D = D_{History} + D_{Info} + D_{fluct} + \varepsilon$$

离线动态OD矩阵估计—滑动窗法

优化向量: $\mathbf{X}_h = [\mathbf{x}_h^T \quad \mathbf{x}_{h-1}^T \quad \dots \quad \mathbf{x}_{h-p'}^T]^T$

分配矩阵: $\mathbf{A}_h = [\mathbf{a}_h^h \quad \mathbf{a}_h^{h-1} \quad \dots \quad \mathbf{a}_h^{h-p'}]$

优化公式:
$$\hat{\mathbf{X}}_h = \arg \min [(\mathbf{X}_h - \mathbf{X}_h^a)^T \mathbf{W}_h^{-1} (\mathbf{X}_h - \mathbf{X}_h^a) + (\mathbf{y}_h - \mathbf{A}_h \mathbf{X}_h)^T \mathbf{R}_h^{-1} (\mathbf{y}_h - \mathbf{A}_h \mathbf{X}_h)]$$

实时动态OD矩阵估计算法

- 状态变量定义

$$\delta \mathbf{x}_h = \mathbf{x}_h - \mathbf{x}_h^H$$

- 状态方程

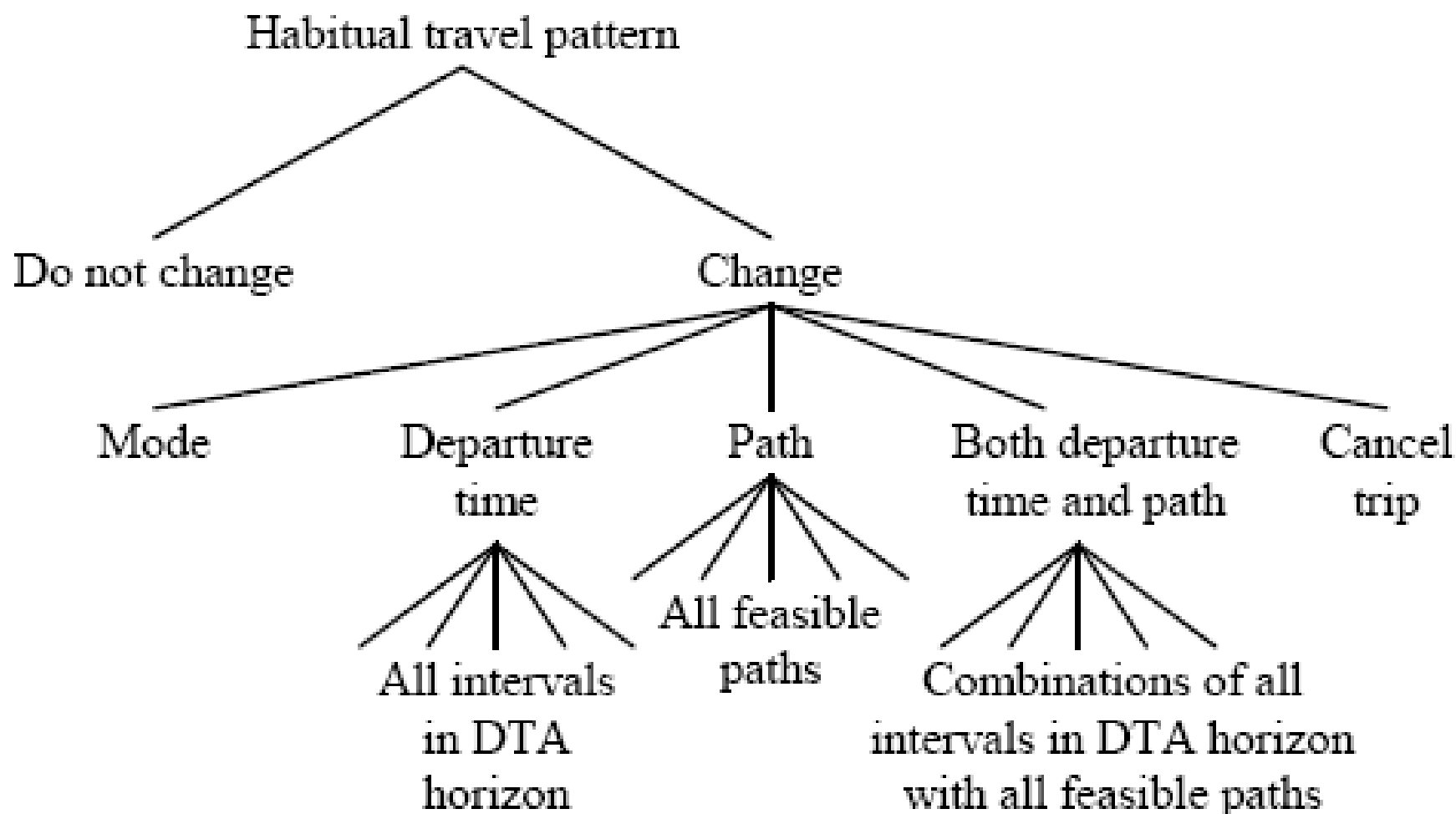
$$\delta \mathbf{x}_{h+1} = \sum_{p=h+1-q'}^h \mathbf{f}_{h+1}^p \delta \mathbf{x}_p + \mathbf{w}_{h+1}$$

- 量测方程

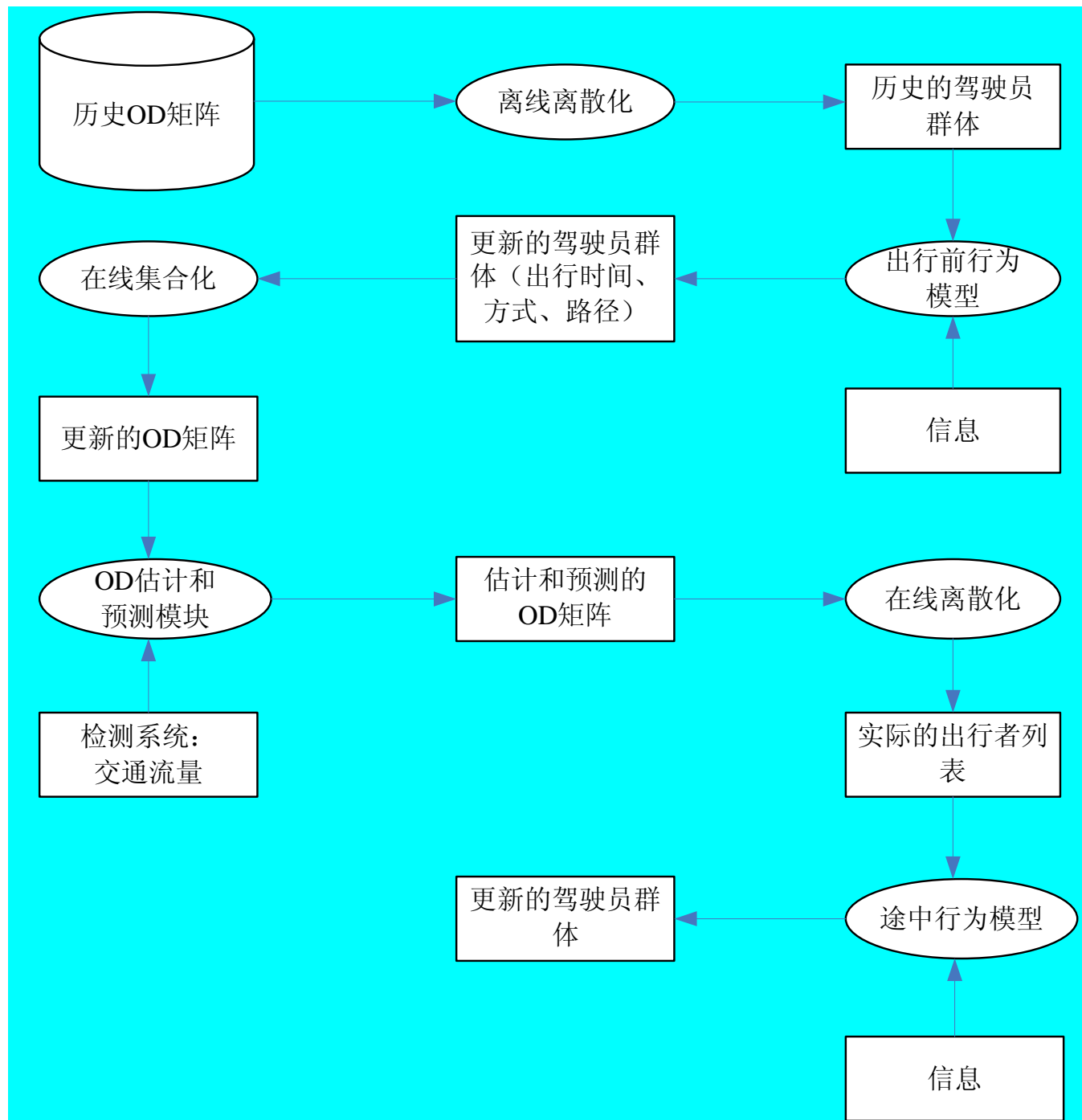
$$\delta \mathbf{y}_h = \sum_{p=h-p'}^h \mathbf{a}_h^p \delta \mathbf{x}_p + \mathbf{v}_h$$

$$\delta \mathbf{y}_h = \mathbf{y}_h - \mathbf{y}_h^H = \mathbf{y}_h - \sum_{p=h-p'}^h \mathbf{a}_h^p \mathbf{x}_p^H$$

出行前选择树—Logit模型族



需求仿真



主要内容

- 相关背景
- 交通估计与预测系统(TrEPS)概况
- 交通估计与预测系统理论框架
- 需求建模与仿真
- ➡ 供给建模与仿真
- 路径处理
- 滚动预测技术
- 系统参数标定
- 演示

主要分析

- 车流在路段上如何传播
- 抽象交通流
 - 根据实际需要对真实的交通流进行简化，抽象的程度取决于应用的目的



$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial t} = 0$$

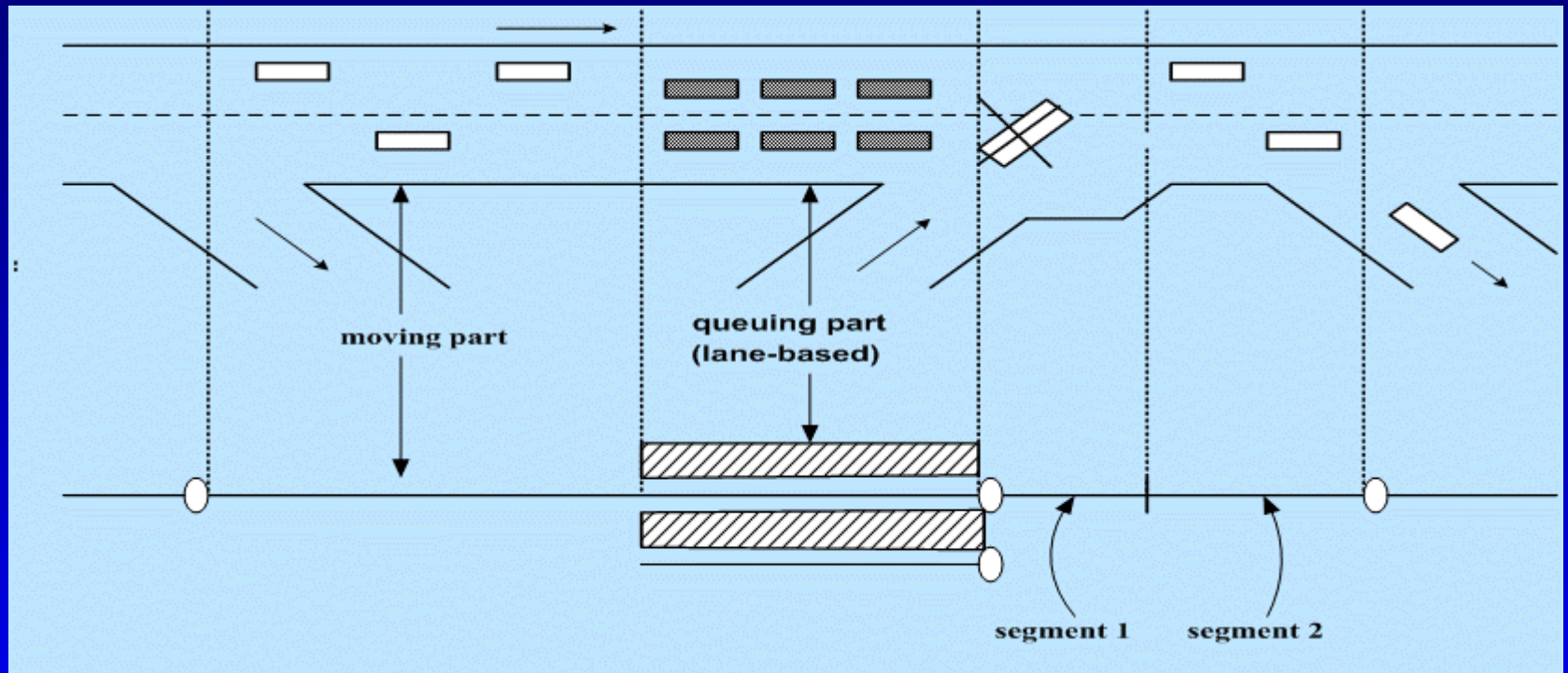
应 用

- 在**DTA**中用于网络状态估计、预测
- 信号控制系统性能指标实时在线评估
- 灵活的网络表示、运行时间和建模精度间的折中
- 较大规模网络的实时仿真
 - 交通网络的动态特征
 - 队列的形成与消散
 - 拥堵、回流

建模元素

- 网络表示
- 流量表示
- 交通动力学

网络表示



- 节点与连接线
- 阶段
 - 运动部分
 - 排队部分
 - 车道组
 - 车道

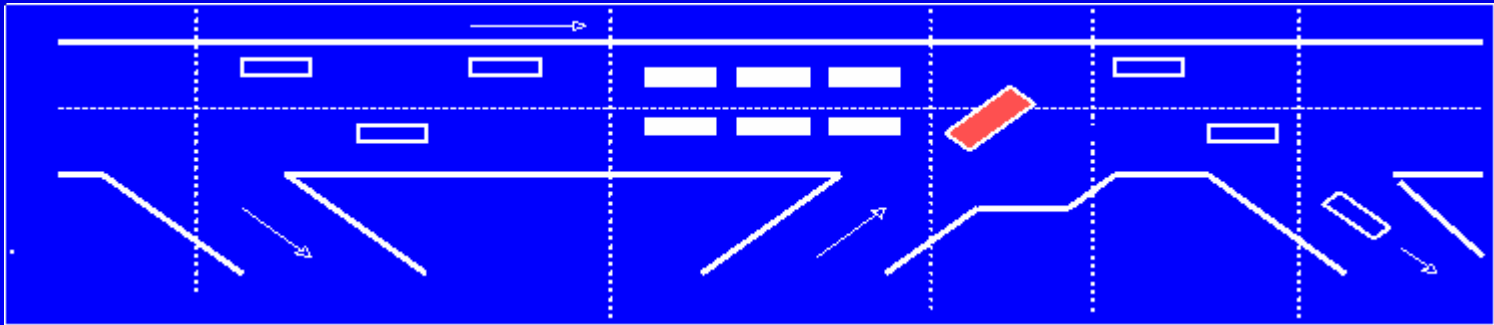
网络表示（续1）

- 网络表示的“多态”

- 正常交通状况下：节段



- 队列情况下：车道



流量表示

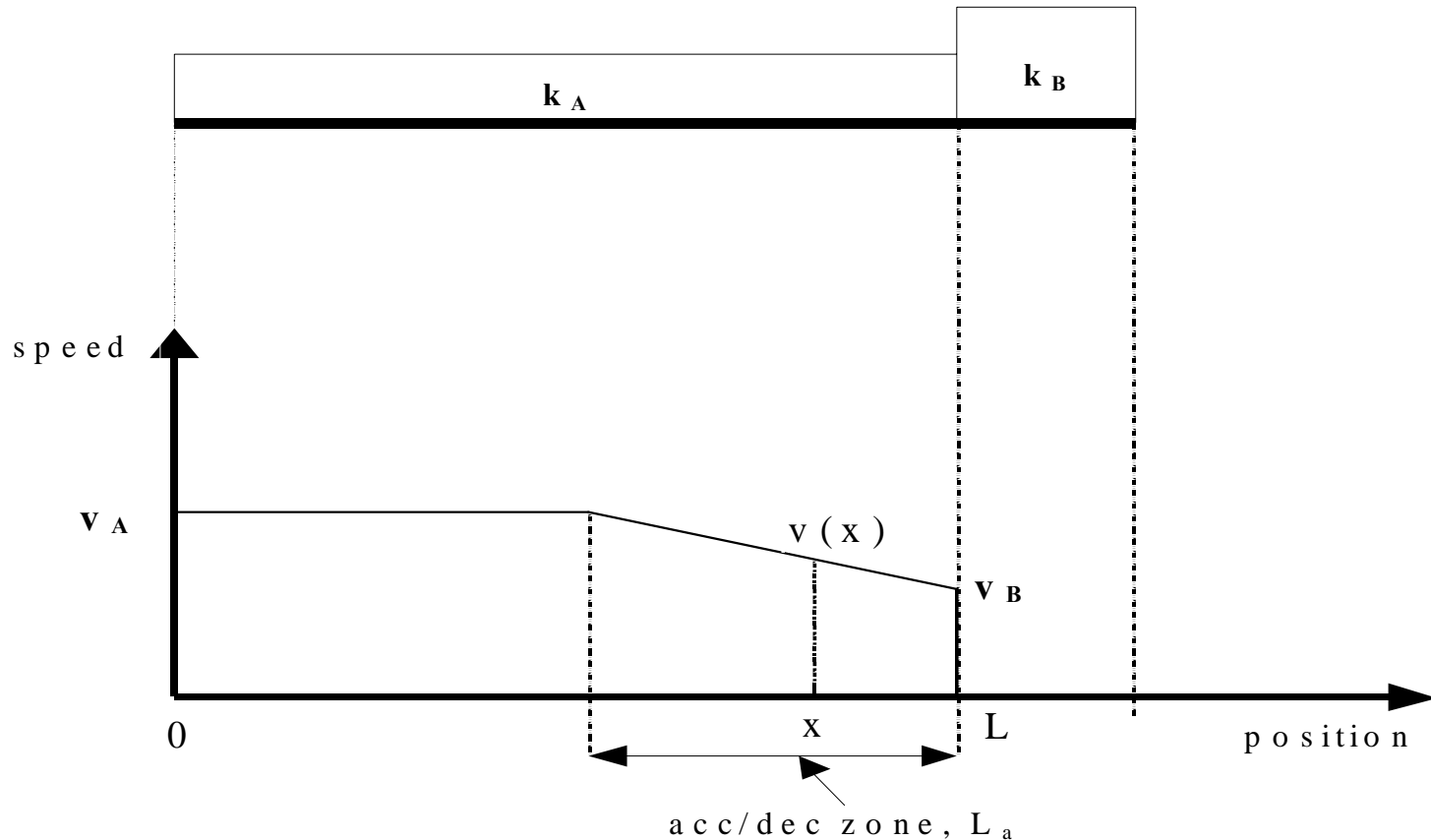
- 车辆加载
- 车辆聚集
一包

交通动力学

- 速度模型 (运动部分)
- 容量模型
- 排队模型
- 车辆运动算法

速度模型（续1）

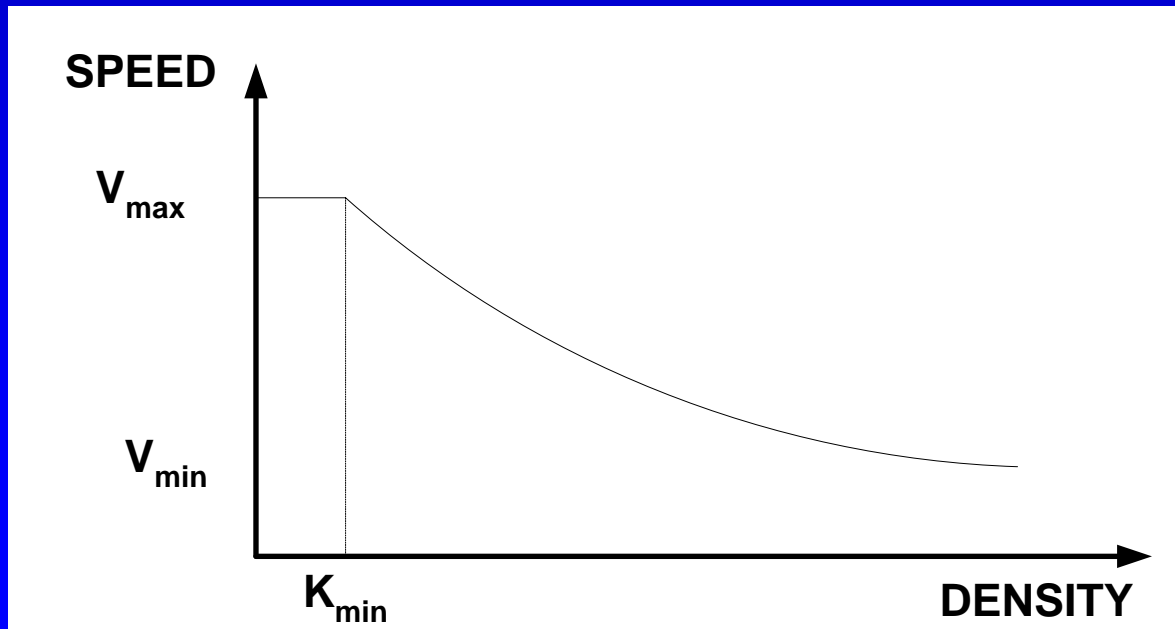
- 建模途径
 - 速度与车辆在节段中的位置有关



速度计算

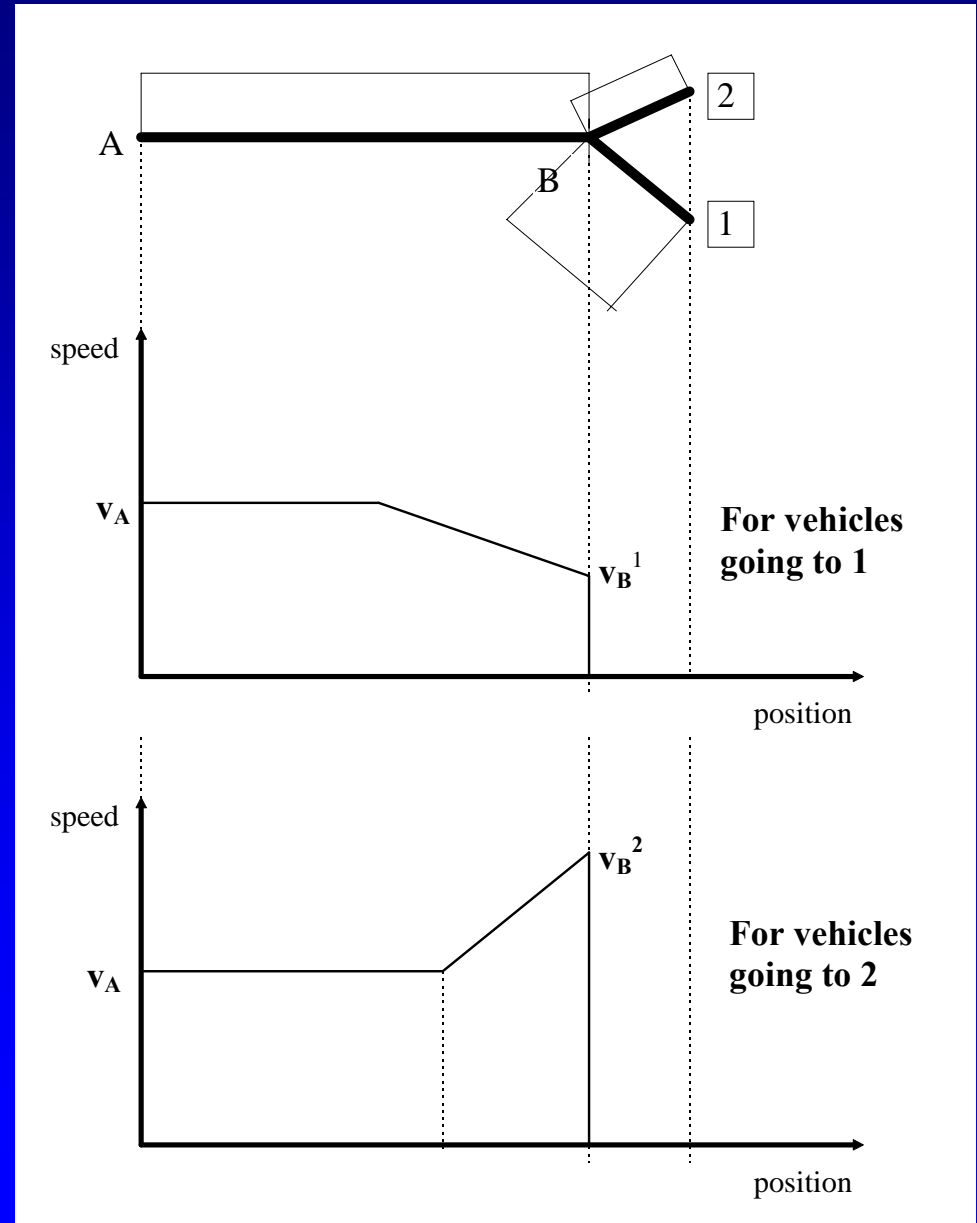
- 速度由速度—密度函数关系计算得到

$$v_A = \max \left\{ v_{\min}, v_{\max} \left(1 - \left(\frac{\max(k_A - k_{\min}, 0)}{k_{jam}} \right)^\beta \right)^\alpha \right\}$$



速度计算（续1）

- 上游速度使用节段的密度
- 下游速度要么基于相连接节段上游端点的速度、要么基于出口容量计算

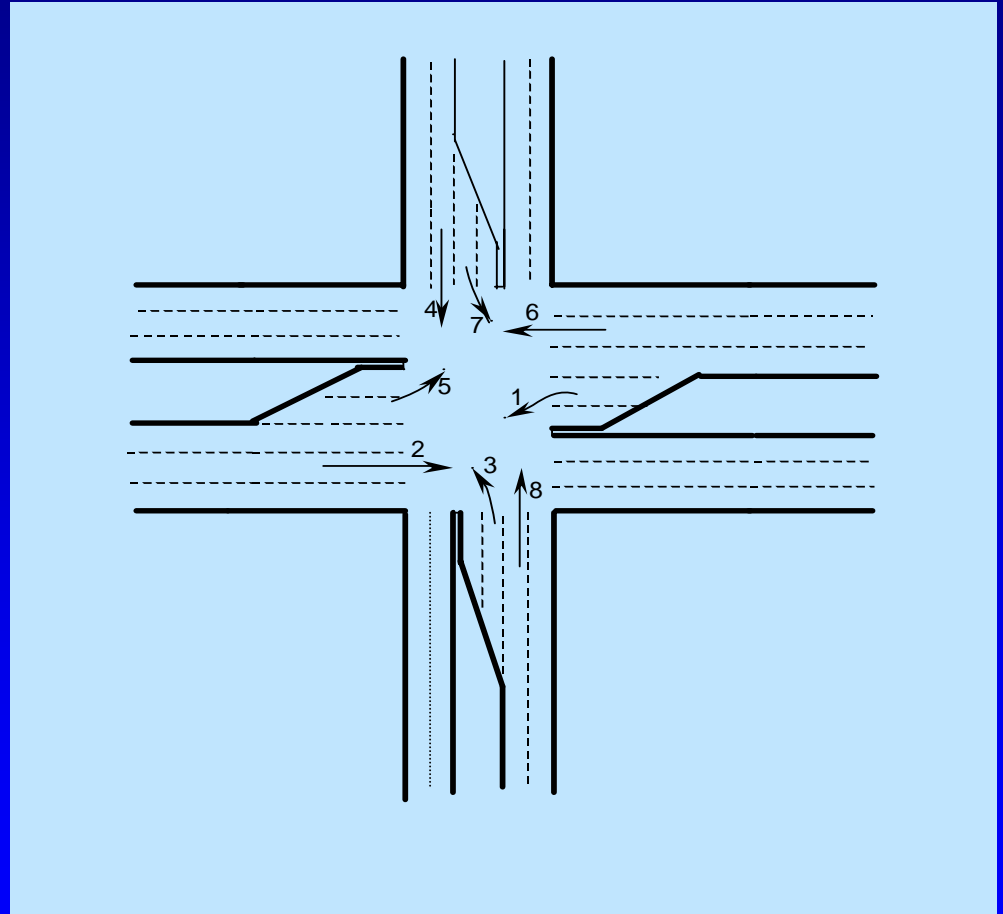


容量模型

- 起点与终点
 - 加载器容量
- 节段
 - 输出容量(车道组)
 - 接纳容量
- 最小时头距
 - 当前的交通特征
- 交叉口
 - 在不同的细节层次上为感应式信号建模

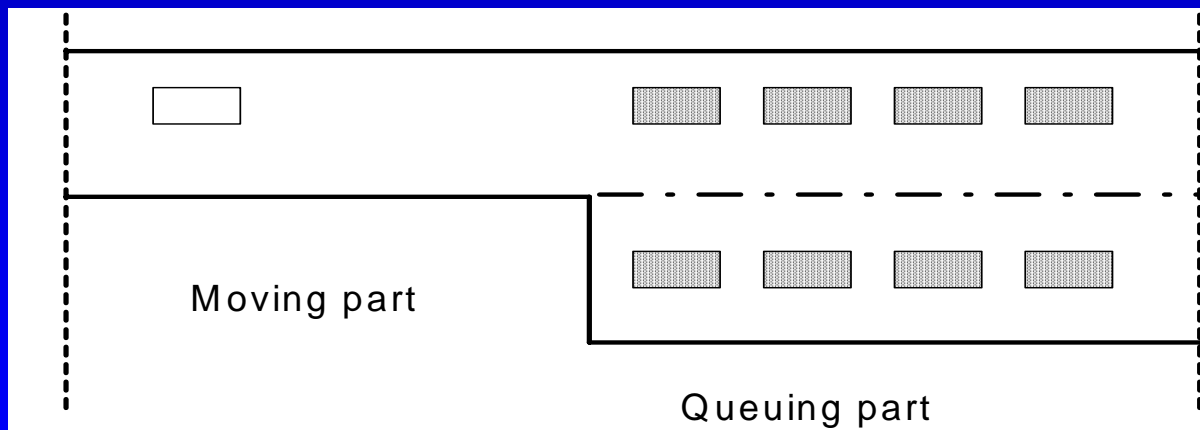
容量估计

- 预定时
- 感应式/自适应
- 进口道容量
 - $(g/c)_a$ 进口道 a 的有效绿信比
 - $(g/c)_a$ 近似的, 有赖于控制信号类型
 - s_a 进口道 a 的饱和流率



队列模型

- 队列产生是由于
 - 有限的输出容量
 - 下游节段的有限接收容量(交通回流)
- 车道相关的队列

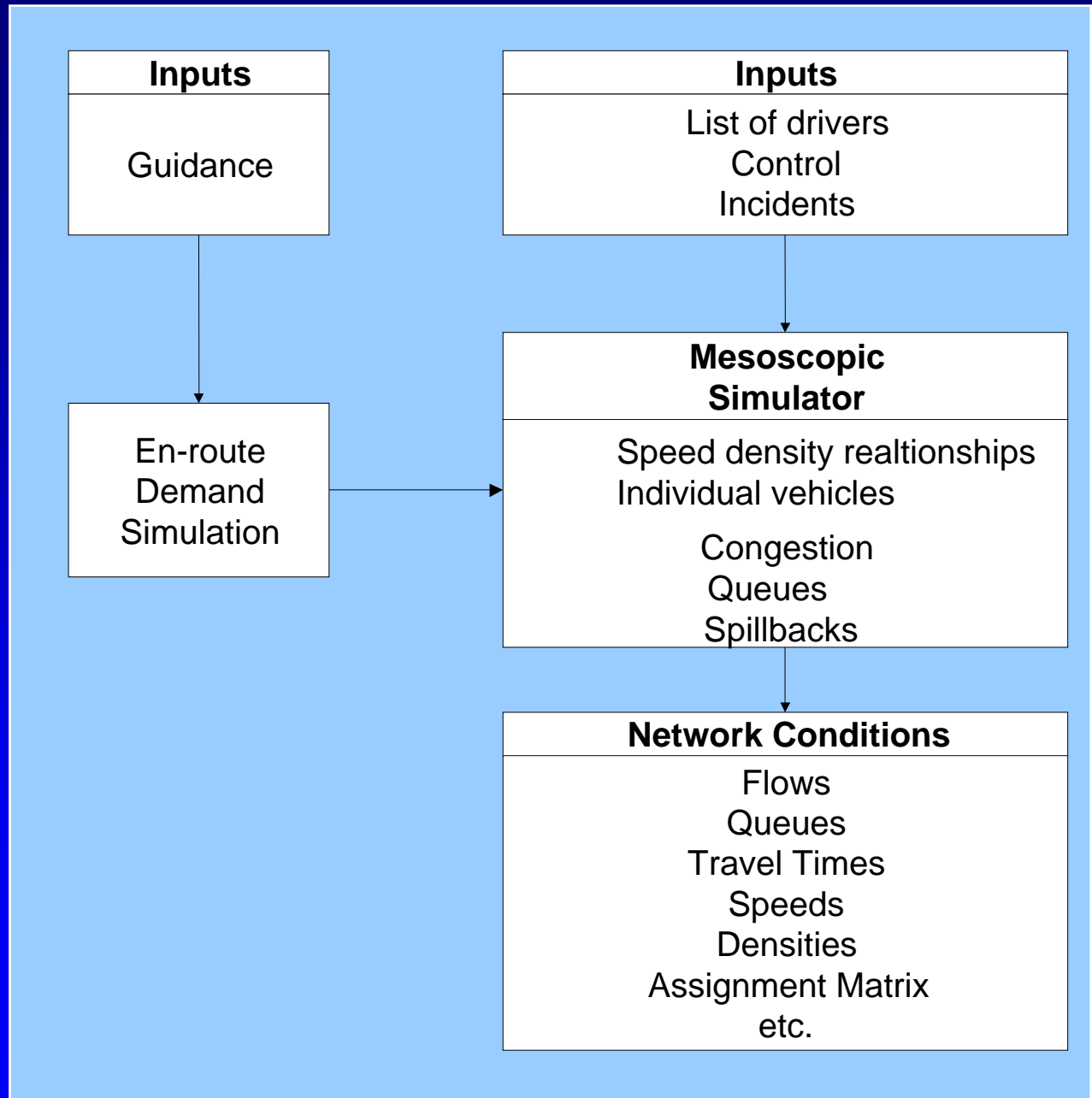


- 确定性队列模型

输出

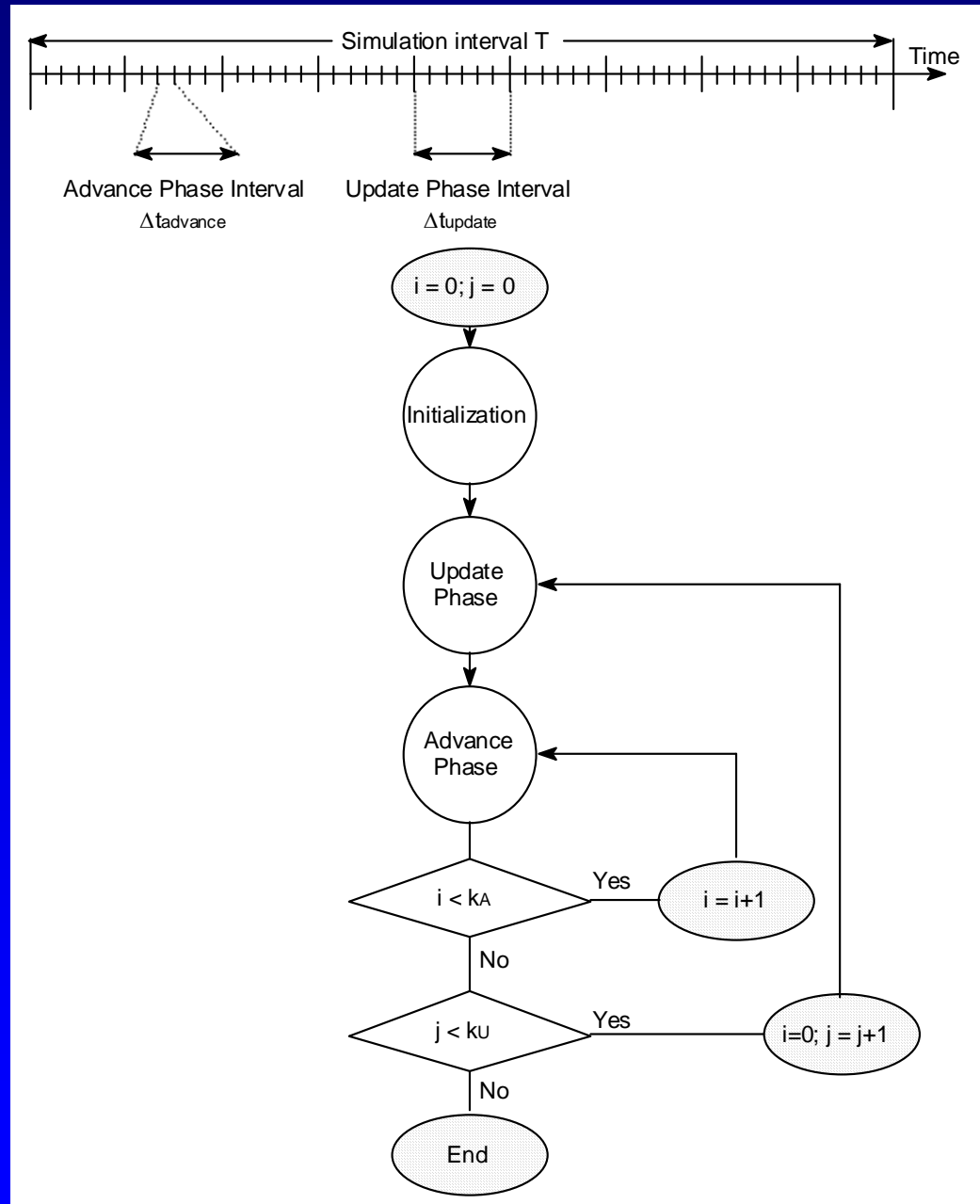
- 每条连接线、每个方向时变的旅行时间
- 密度
- 流量
 - 在检测器与任意指定的位置处
- 速度
 - 在检测器与任意指定的位置处
- 队列

供给 仿真器



仿真过程

- 离散时间
- 每个仿真周期包括
 - 一个更新阶段
 - 容量
 - 密度值
 - 速度
 - 几个前进阶段
 - 车辆沿着节段连续移动
 - 队列连续更新



计算性能

- 灵活的设计方便运行时间和精度的控制
 - 更新与前进阶段
 - 集合化层次
 - 时间
 - 车辆
- 网络表示的“多态性”
 - 正常条件下：节段
 - 队列条件下：车道

主要内容

- 相关背景
- 交通估计与预测系统(TrEPS)概况
- 交通估计与预测系统理论框架
- 需求建模与仿真
- 供给建模与仿真
- ➡ 路径处理
 - 滚动预测技术
 - 系统参数标定
 - 演示

路径处理

- 设计思想

- 离线产生路径并存储
- 在线周期性更新路径阻抗
- 从产生的路径集中选择有效路径分配给仿真车辆

- 路径阻抗函数定义

- 自由流行程时间、早高峰的行程时间、晚高峰的行程时间、路径上左转弯数量、 $k_1 \times$ 快速路长度 + $k_2 \times$ 其他道路长度、路径的信号交叉口数量，其他

路径处理(续1)

- 路径集生成过程

1. $P = \Phi$

2. 对每一个阻抗函数 I

$P \cup k - shortest(I, N)$, 此时 $P = P_h$

3. 对每一条路径 $p \in P_h$

对先前未访问的弧段 $l \in P$

- (a) $N^* = N \setminus l$

- (b) $P \cup j - shortest(I, N^*)$

其中, $k - shortest(I, N)$ 为在网络 N 中使用阻抗函数 I 得到的 k 条最短路径的集合

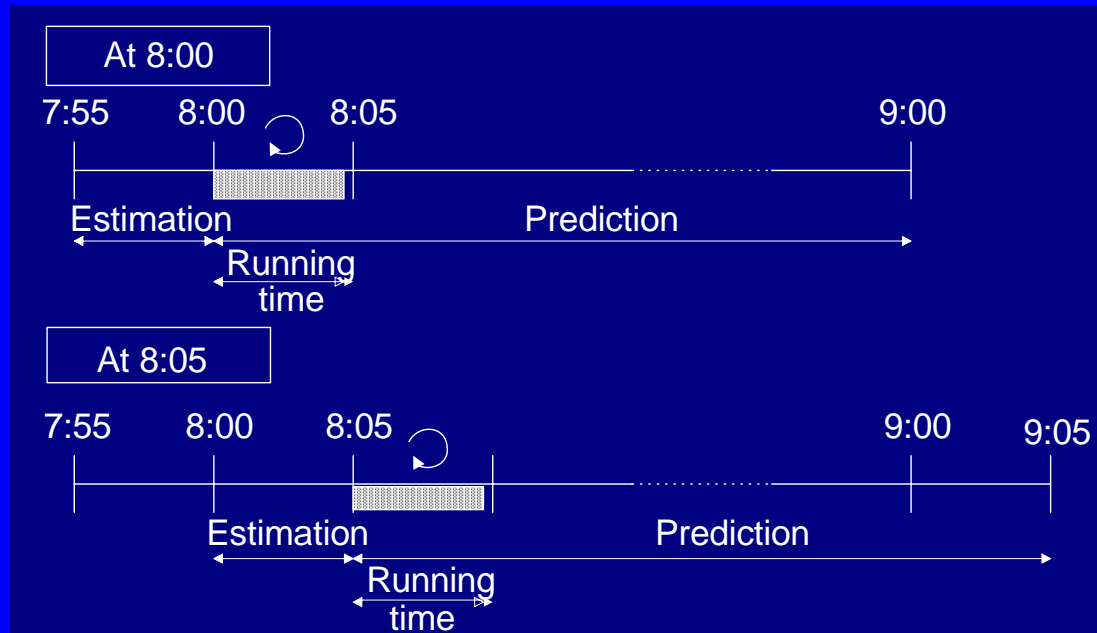
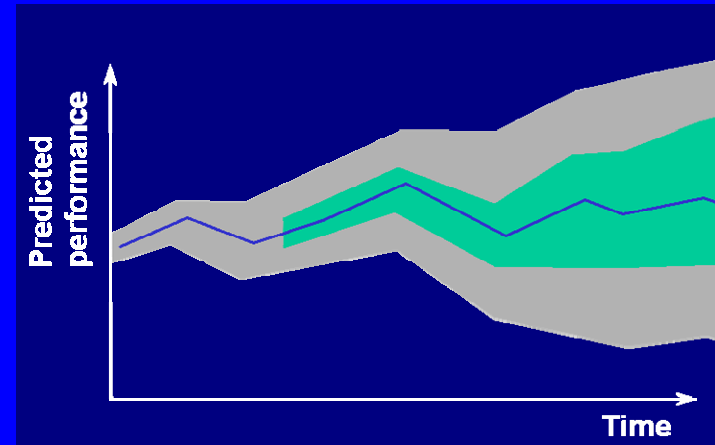
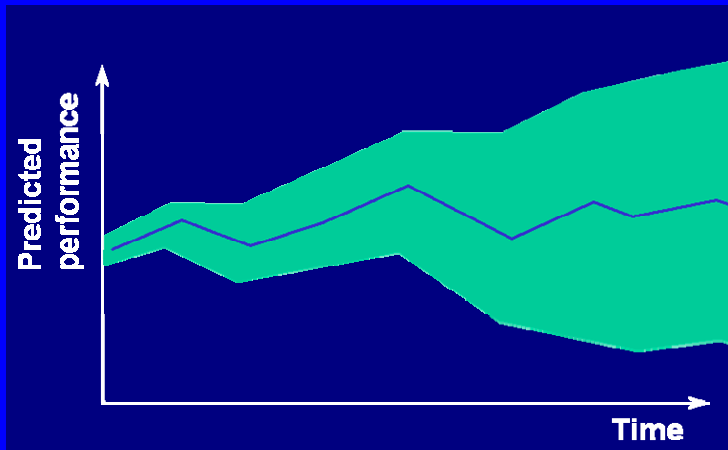
路径处理(续2)

- 有效路径满足“嵌套”特征
 - 如果 $L_1 \rightarrow L_2 \rightarrow L_3 \rightarrow \dots \rightarrow L_n$ 是从连接线 L_1 到目标节点D的有效路径，则 $L_2 \rightarrow L_3 \rightarrow \dots \rightarrow L_n$ 一定是从 L_2 到D的有效路径
- 一条路径的连接线（弧段）序列可采用如下两个字段递归地枚举出来
 - 当前连接线的下游连接线标识号
 - 从该下游连接线的下游端点离开的路径标识号
- 完整地描述一条路径仅需3个信息项：当前连接线ID、目标节点ID和路径ID

主要内容

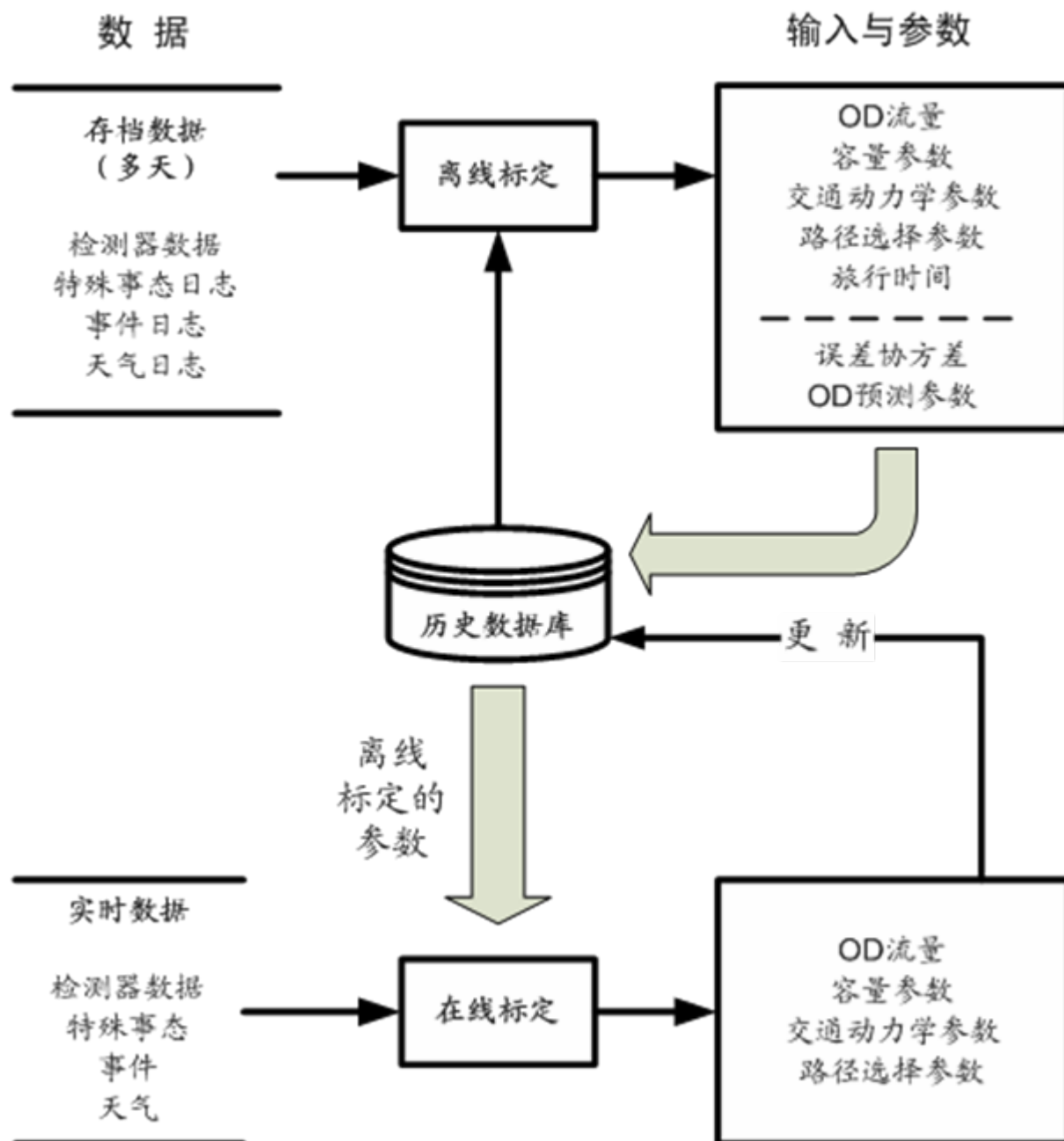
- 相关背景
- 交通估计与预测系统(TrEPS)概况
- 交通估计与预测系统理论框架
- 需求建模与仿真
- 供给建模与仿真
- 路径处理
- ➡ 滚动预测技术
- 系统参数标定
- 演示

滚动预测技术



主要内容

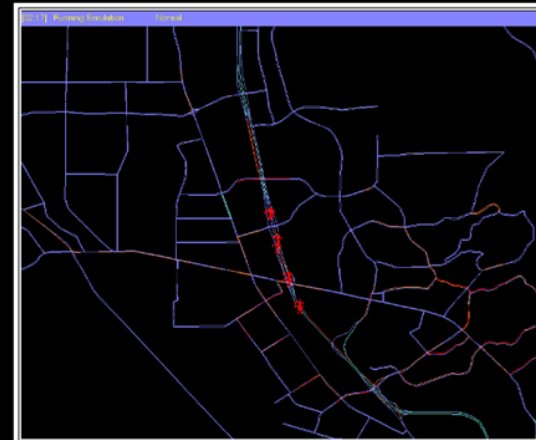
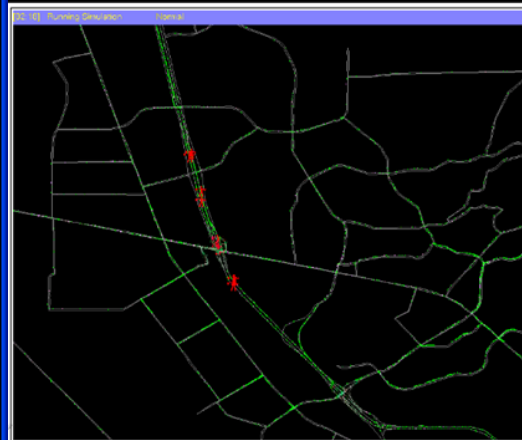
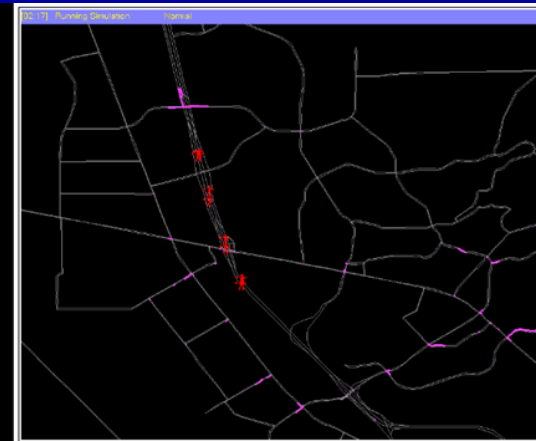
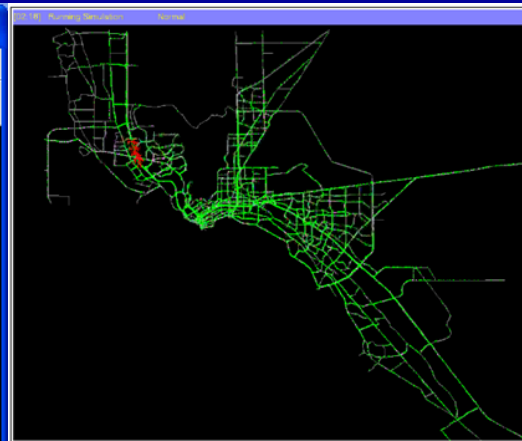
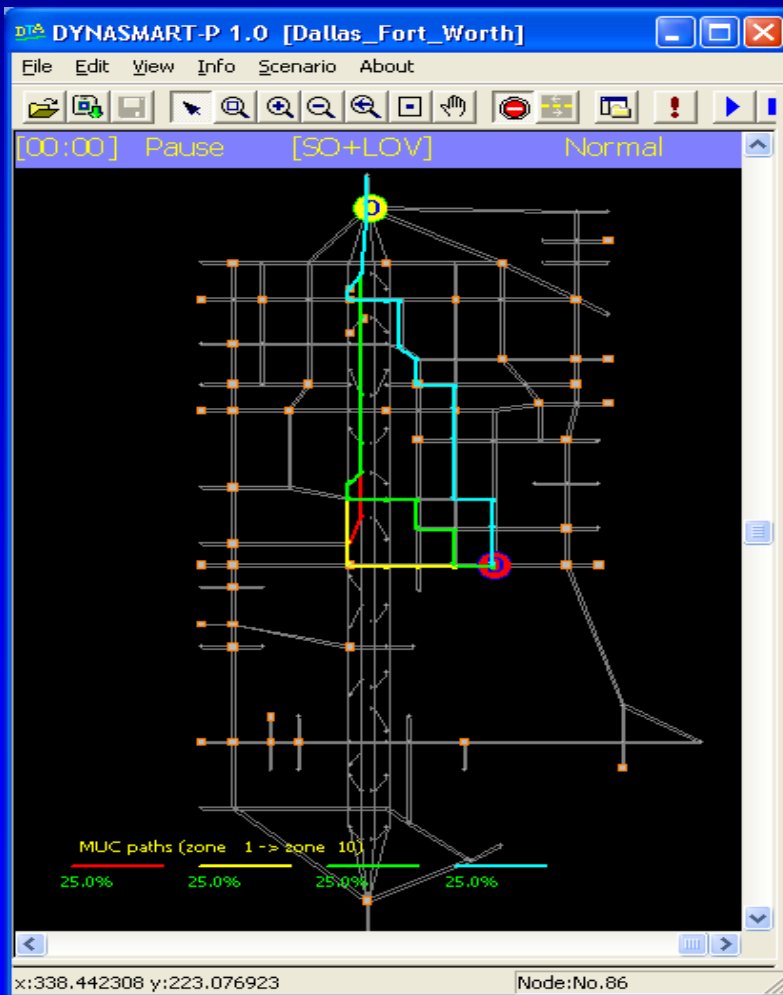
- 相关背景
- 交通估计与预测系统(TrEPS)概况
- 交通估计与预测系统理论框架
- 需求建模与仿真
- 供给建模与仿真
- 路径处理
- 滚动预测技术
- ➡ 系统参数标定
- 演示



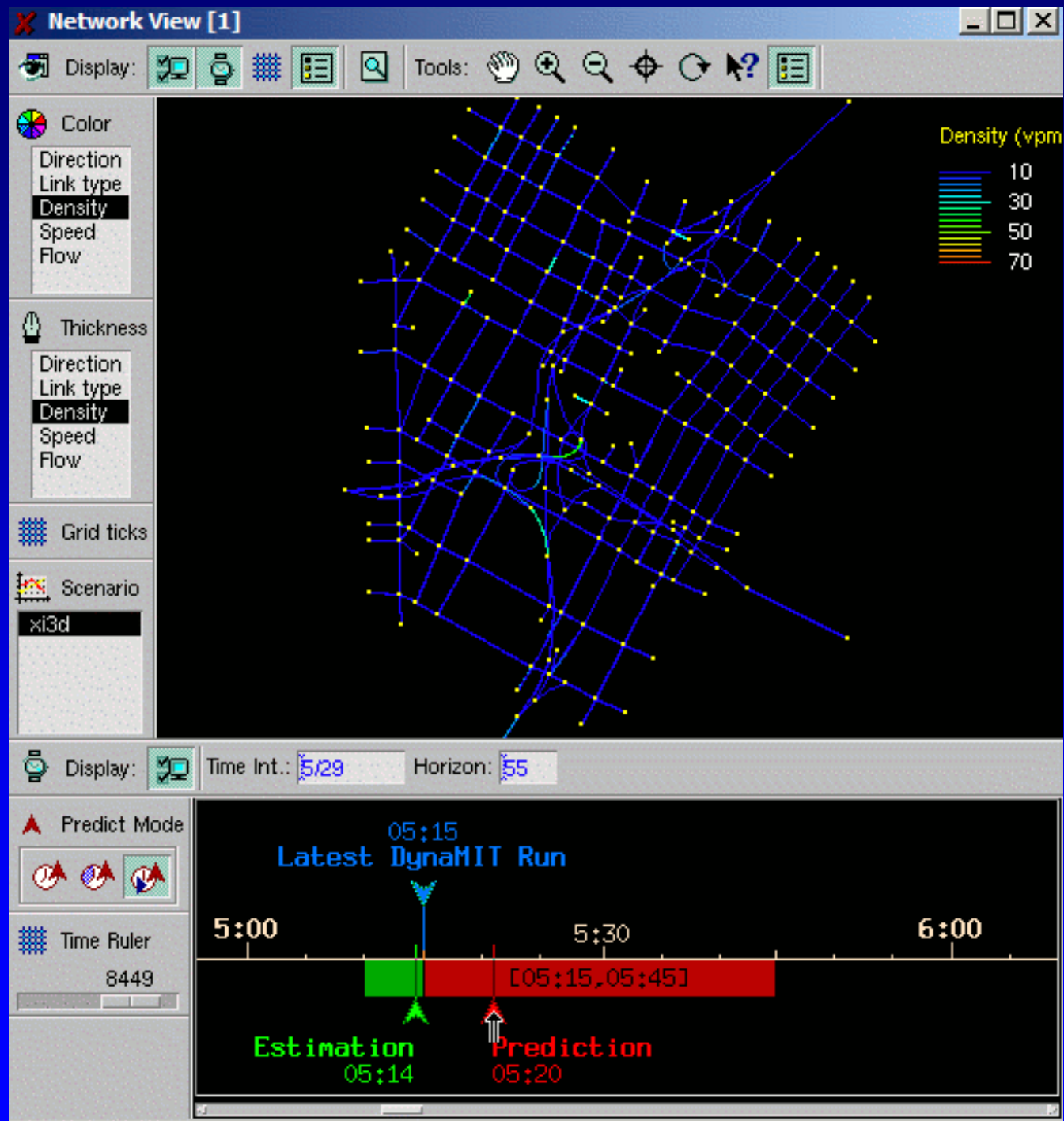
主要内容

- 相关背景
- 交通估计与预测系统(TrEPS)概况
- 交通估计与预测系统理论框架
- 需求建模与仿真
- 供给建模与仿真
- 路径处理
- 滚动预测技术
- 系统参数标定
- ➡ 演示

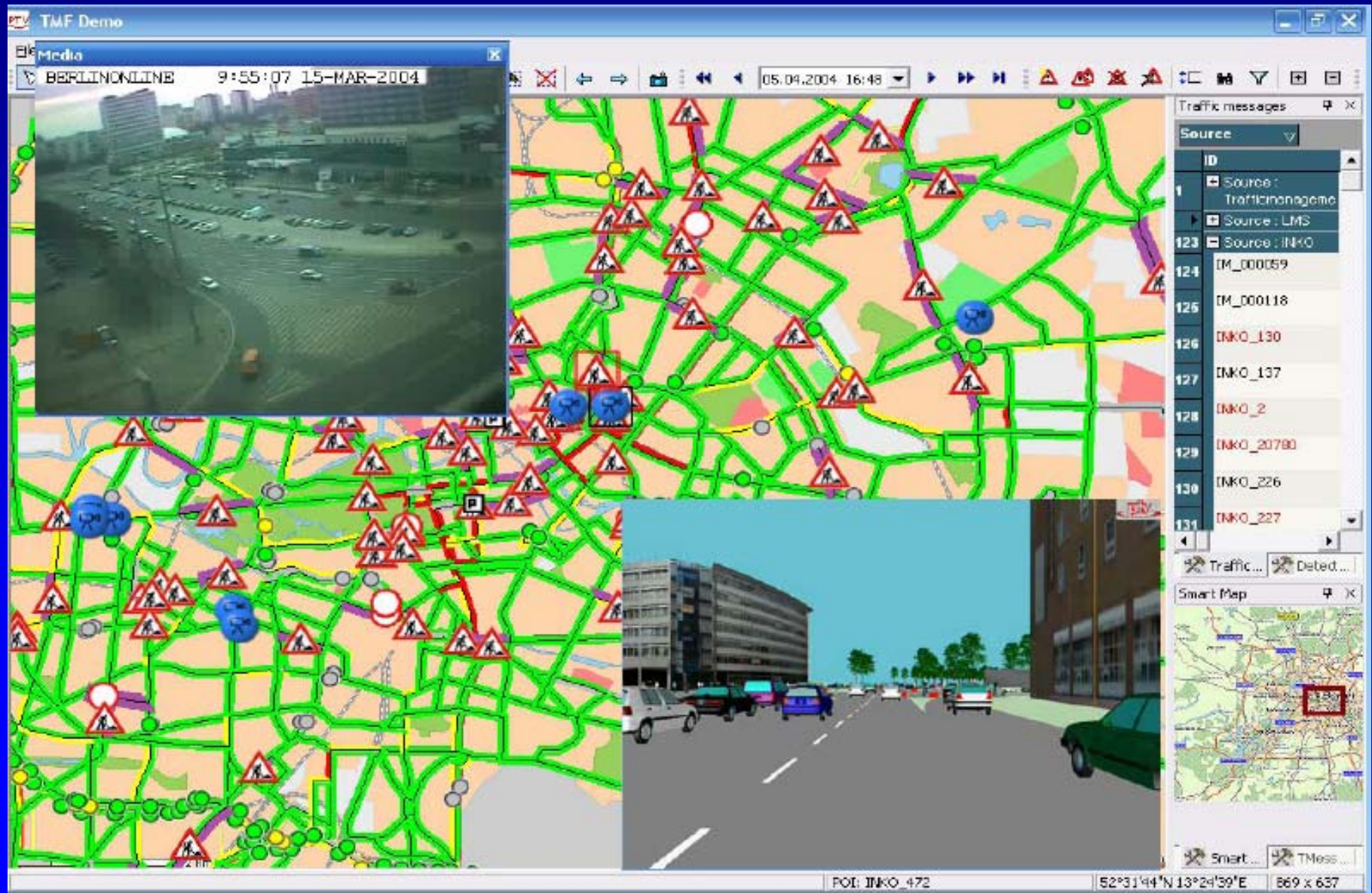
DynaSMART-P / DynusT (UT at Austin, MTI, UA)



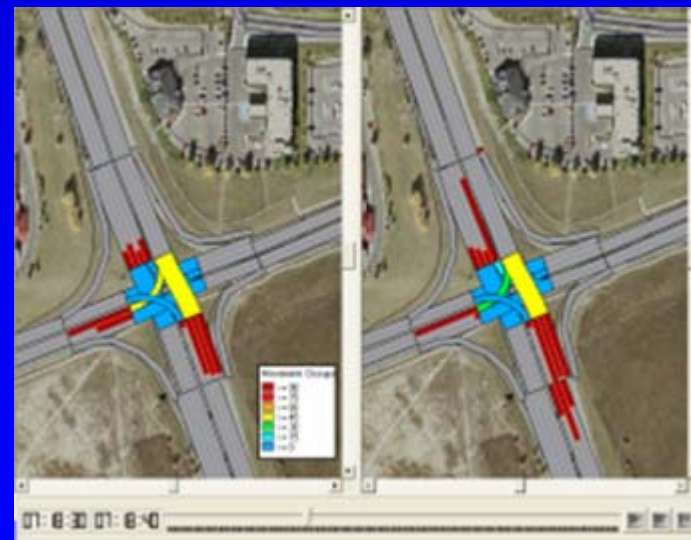
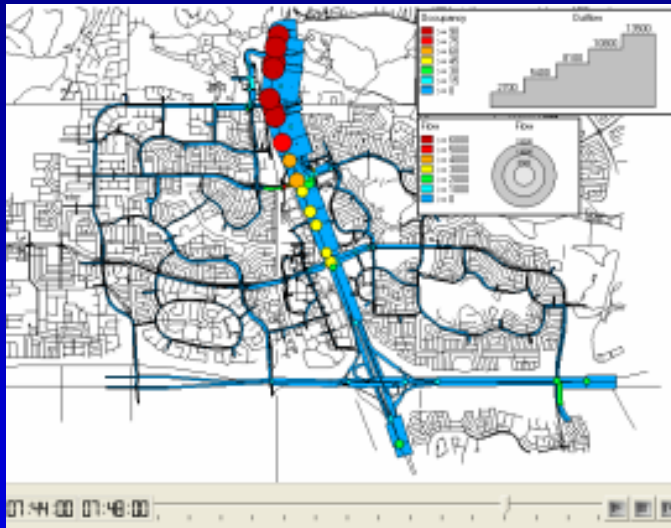
DynaMIT (MIT)



Visum-Online (PTV)



Dynameq (INRO)



DynaTAIWAN (台湾地区)

- 成功大学胡大瀛教授主持
- 用途
 - ITS背景下的交通规划
 - 实时交通估计与预测

DEMO

DynaCHINA—“动态中国”

*Dynamic Consistent Hybrid Information
based Network Assignment*

- 原型参考MIT开发的DynaMIT
- 独有的特点
 - “各向异性”中观交通模型
 - 混合交通流特性体现为模型参数与结构的变化
 - 交通需求与供给参数的同时在线标定

DEMO

谢谢！