

高速公路基本路段模拟模型中的道路模块

荣 建, 马建明, 刘小明, 任福田
(北京工业大学交通工程研究所, 北京 100022)

摘要: 提出高速公路基本路段模拟模型中道路模块的框架, 详细介绍道路模块中道路设施的基本对象和知识库的内容, 阐述了建模思想, 并讨论了建模中遇到的问题。
关键词: 道路模块; 模拟模型; 基本路段

Road Module of Basic Expressway Section Simulation Model

RONG Jian, MA Jian-ming, LIU Xiao-ming, REN Fu-tian
(Transportation Research Center, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

Abstract: This paper describes the frame of road module in basic expressway section simulation model. The primary road facilities and contents of library database are introduced in detail. Then, the principle of configuring road module is expounded. Finally the problems in configuring road module are discussed.
Key words: Road module; Simulation model; Basic expressway sections

0 引言

交通模拟已成为当今研究交通问题的一个重要手段。国外早在 60 年代, 就对高速公路交通流进行了模拟研究, 如今已将模拟技术广泛用于交通事故、动态交通分配、出入口控制、道路通行能力、路网运营分析等多个研究领域^[1]。虽然国外已在交通模拟方面取得了很多成果, 但由于我国高速公路上存在车辆性能差异大, 且交通流量小等不同于国外的特殊情况, 所以仍有必要根据我国高速公路交通流特性, 建立相应的交通模拟模型。目前我国正在进行公路通行能力的系统研究, 由于高速公路的饱和路段比较少, 使用回归方法或理论分析方法求解通行能力遇到困难, 这时, 运用交通模拟方法, 实验求解通行能力, 显得尤为重要。

1 道路模块在模拟模型中的地位

建立高速公路模拟模型的目的是为了研究高速公路基本路段的通行能力。该模型的基本结构如图 1。

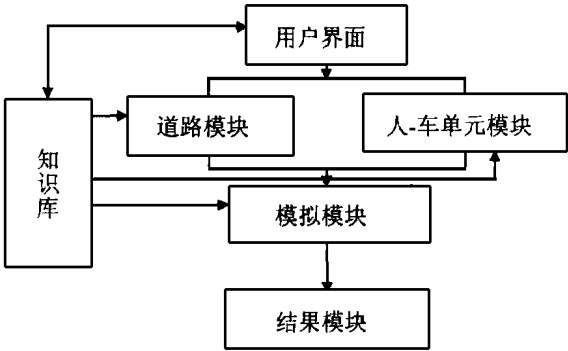


图 1 模拟模型结构示意图

由图 1 可见, 道路模块是模拟模型中的基础单元, 它描述了高速公路基本路段中的道路横断面、平面线形、纵断面线形、路面标线及限速标志等组成部分, 这些构成了交通模拟的静态外部环境, 它将与人-车单元模块建立的动态外部环境一起构成完整的交通模拟环境。道路模块的详细结构如图 2 所示。

道路模块建立的对象都是静态的, 相对动态对象的建立容易一些, 但是由于道路模块最终建立起来的是模拟的基本框架, 会始终对整个模拟模型产生深刻

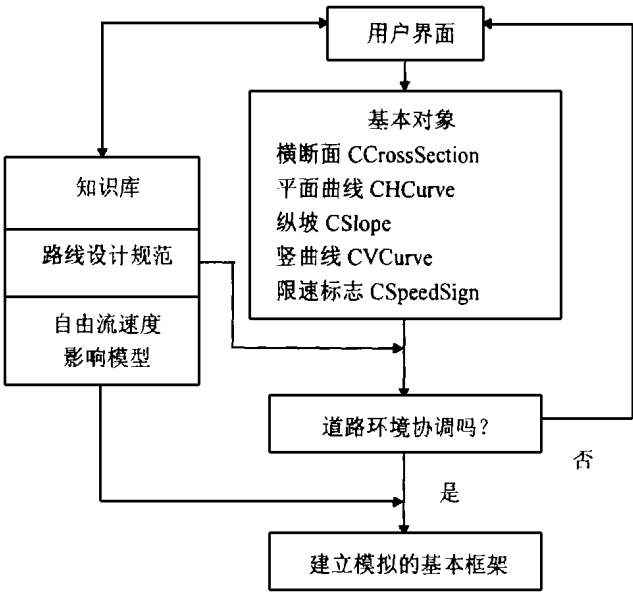


图2 道路模块结构示意图

的影响，故而必须重视道路模块的建立。以下介绍我们建立的道路模块内容，以及建立过程中所遇到的问题。

2 道路模块的内容

我们运用面向对象的设计思路，结合对道路环境的认识，在 Visual C++ 5.0 环境中编写了道路模块，充分考虑了该模块的可扩展性和可兼容性。

2.1 道路模块描述的基本对象

目前道路模块描述的组成部分包括横断面类 (CCrossSection)、平曲线类 (CHCurve)、纵坡类 (CSlope)、竖曲线类 (CVCurve) 和限速标志类 (CSpeedSign)。

横断面类 包括起点坐标、终点坐标、行车道宽度、车道数、路肩宽度、路缘带宽度和路面标线类型等 7 项特征参数。

平曲线类 包括起点坐标、终点坐标、平曲线半径、超高值、平曲线的转弯方向等 5 项特征参数。

纵坡类 包括起点坐标、终点坐标、纵坡坡度等 3 项数据。

竖曲线类 包括起点坐标、终点坐标、竖曲线半径、竖曲线类型等 4 项参数。

限速标志类 包括起点坐标、终点坐标、限速值等 3 项数据。

在道路模块中建立这些组成部分，主要是出于以下几个方面的考虑。

1. 运用面向对象的设计思路，按照人们认识道路设施的客观情况建立道路组成部分，主要是基于两个

方面的考虑。一方面，模拟环境中的道路部分是需要对用户开放的，这种设计方法有利于用户了解设计者的设计思路，便于用户组合道路各组成部分，建立模拟实验的道路环境；另一方面，国内进行的模拟研究不多，模拟模型的开发也还处于起步阶段，随着模拟研究的发展，对通行能力研究的深入，以及未来道路设施的发展，很可能在道路中需要添加新的组成部分。为了能够适应发展，这就要求目前各组成部分的特征参数必须便于调整，甚至补充新组成部分。面向对象的设计方法，恰好为将来丰富、完善模型，提供了方便。

2. 目前的模拟工作是针对高速公路基本路段通行能力研究进行的，所以道路各组成部分的特征数据并未完全反映该部分的各个细节，只设置了与高速公路相关，且能够显著影响通行能力的特征参数；而忽略了与高速公路通行能力关系不大的参数，如平曲线加宽，以及对通行能力影响不大的参数，如视距。由于只模拟半幅高速公路，所以还忽略了一些道路组成部分，如中央分隔带、紧急停车带等。

3. 虽然目前的模拟模型是为研究通行能力而开发的，但是从国外的模拟经验看出，模拟模型还可以广泛应用于交通安全、动态交通分配、出入口控制、路网运营分析等领域。所以，为了现在模拟模型能够用于将来其它领域的研究，应该使其具有足够的可兼容性，为将来的工作打下基础。

2.2 知识库

道路模块的知识库主要包括路线设计规范文件和自由流速度影响模型文件。这两个文件包括了路线设计规范的内容和自由流速度的影响模型及其标定参数。

2.2.1 路线设计规范

路线设计规范类 (CStandards) 的主要内容是《公路路线设计规范》^[2] 中道路各组成部分参数取值的各种限制，包括最大直线长度，最小直线长度，不设超高的最小平曲线半径，最小圆曲线半径，平曲线上超高设置的规定，圆曲线的最小长度，缓和曲线的最小长度，不设缓和曲线的最小半径，纵坡的最大坡度，最小纵坡值，纵坡坡长的限制，竖曲线半径的最小值，竖曲线最小长度以及平曲线半径和竖曲线半径的匹配等多项极限参数。

路线设计规范类中的数据主要是直线、平曲线、纵坡、竖曲线对象的设计极限值，以及为了保证行车的安全性、协调性而必须注意到的各组部分之间的协调性。由于道路环境是对用户开放的，用户可以根据模拟实验的要求，对道路设施进行自由组合，这无疑充分发挥了计算机模拟的优势，然而同时也产生一些

问题。自由组合而成的道路环境，未必都具有现实意义，如长直线段紧接小半径平曲线的情况，在现实的路线设计过程中就已经给排除掉，不可能出现在现实的道路环境中，特别是高速公路的道路环境中。在没有现实意义的道路环境中进行模拟，超出了模拟模型的界定范围，这样得出的模拟结果不可能说明任何问题。为了协调用户自由组合道路各组成部分与模拟模型界定范围的关系，避免用户浪费时间进行毫无意义的模拟实验，建立了路线设计规范类，检验用户建立的道路环境中各组成部分自身的合法性，以及各组成部分之间的协调性。如果用户建立的道路组成部分与路线设计规范类的规定有冲突，程序会自动给出提示信息，提醒用户修改当前不合理的道路组成部分，以满足路线设计规范和模拟模型的要求。

由于路线设计规范类是可连载的，所以它可以在需要的时候才读入。当然，路线设计规范类的对象可以是多种多样的，可以通过用户设定，保证模拟模型能够满足各种各样的需求。

2.2.2 自由流速度影响模型

为研究道路通行能力，将各道路组成部分对行驶速度、司机心理、车辆特性的影响综合考虑成各种道路组成部分对自由流速度的影响。自由流速度影响模型主要包括道路横断面影响模型、平曲线影响模型、纵坡影响模型和限速标志影响模型。

1. 横断面影响模型

$$\text{左侧车道 } V_1 = [a_1 (w_{11} - w_{10}) + b_1 (w_{21} - w_{20})] \cdot V_{10} + c_1$$

式中， V_1 ——受横断面影响后，左侧车道内自由流车辆的中位车速；

V_{10} ——理想条件下，左侧车道内自由流车辆的中位车速；

w_{10} ， w_{20} ——理想条件下，路缘带宽度和左侧车道宽度；

w_{11} ， w_{21} ——实际的路缘带宽度和左侧车道宽度；

a_1 ， b_1 ， c_1 ——模型的标定常数。

$$\text{中间车道 } V_1 = a_2 (w_1 - w_0) \cdot V_{20} + c_2$$

式中， V_1 ——受横断面影响后，中间车道内自由流车辆的中位车速；

V_{20} ——理想条件下，中间车道内自由流车辆的中位车速；

w_0 ——理想条件下，中间车道宽度；

w_1 ——实际的中间车道宽度；

a_2 ， c_2 ——模型的标定常数。

$$\text{右侧车道 } V_1 = [a_2 (w_{31} - w_{30}) + b_3 (w_{41} - w_{40})] \cdot V_{30} + c_3$$

式中， V_1 ——受横断面影响后，右侧车道内自由流车辆的中位车速；

V_{30} ——理想条件下，右侧车道内自由流车辆的中位车速；

w_{30} ， w_{40} ——理想条件下，路缘带宽度和右侧车道宽度；

w_{31} ， w_{41} ——实际的路缘带宽度和右侧车道宽度；

a_3 ， b_3 ， c_3 ——模型的标定常数。

2. 平曲线影响模型

$$\left(1/V_2\right)^2 = \left(1/V_1\right)^2 + b \left[1/r - 0.01\right]^{[3]}$$

式中， V_2 ——平曲线中，自由流车辆的中位车速；

V_1 ——平曲线入口处，自由流车辆的中位车速；

r ——平曲线半径值，m；

b ——模型的标定常数。

3. 限速标志影响模型

$$V_3 = \frac{V_2}{1 + c \cdot d^2}^{[3]}$$

式中， V_3 ——限速标志区间内，自由流车辆的中位车速；

V_2 ——进入限速标志区间前，自由流车辆的中位车速；

$z = v_g / V_2$ ，即限速标志的限速值 v_g 与 V_2 的比值；

c ， d ——影响模型的标定常数。

4. 纵坡影响模型

$$V_4 = V_3 + \Delta t \left[\frac{g}{1 + \delta} \left(\frac{P}{gV_3} - f + i - \frac{13KFV_3^2}{G} \right) \right]^{[4]}$$

式中， V_4 ——进入纵坡 Δt 后，车辆速度；

V_3 —— Δt 之前，车辆速度；

Δt ——模拟过程中的时间扫描间隔；

P ——车辆的功率重量比；

KF ， δ ——车辆的风阻系数和惯性阻力系数；

f ， i ——摩擦阻力，纵坡坡度；

g ——重力加速度；

G ——车辆空载重量和实际载重。

值得注意的是前 3 个模型中均是对中位车速进行修正，为了得到任意车速的修正速度，可按式计算

$$V_{0i}^0 - V_{3i}^0 = V_{0i}^0 - V_{3i}^0^{[3]}$$

式中， V_{0i}^0 ， V_{3i}^0 ——受道路条件影响前、后自由流车辆的中位车速；

V_{0i}^0 ， V_{3i}^0 ——受道路条件影响前、后自由流车

辆的任意车速;

Q ——修正系数, 其值越小, 表示对自由流速度的影响越大。

通过上述 4 个影响模型以及修正模型, 将理想条件下的自由流车辆的速度 V_0 , 转变成为受道路设施的限制而实际采用的自由流速度 V_s 。这样使整个模拟道路区间上原本不变的自由流速度, 形成了沿途间断的自由流速度, 其分布如图 3 所示。其中, 一个自由流速度均匀变化或不变的路段称为一个路段。

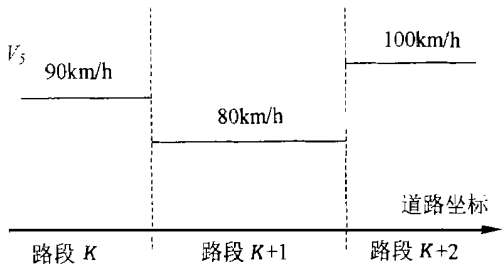


图 3 道路设施允许的自由流速度沿途分布示意图

但是在现实环境中, 车速不可能象从路段 K 到路段 $K+1$ 那样突变, 故在自由流车速发生突变的路段之间, 进一步细化路段, 使自由流车速在整个道路区间内呈连续变化。具体做法是在两个突变区间中前一个的尾部加入一个过渡路段, 在过渡路段中假设车辆采用匀加速运动, 使路段 K 的自由流速度连续变到路段 $K+1$ 的自由流速度。最后形成模拟的基本框架, 此时自由流车辆的中位车速沿途分布情况如图 4。

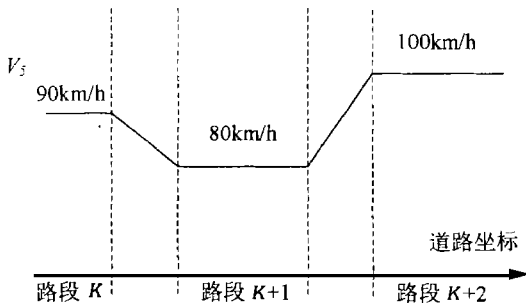


图 4 作为模拟基本框架的自由流速度沿途分布示意图

3 建立道路模块的问题讨论

3.1 道路设施基本对象类与模拟基本框架

面向对象的设计方法, 使道路各组成部分可由用户自由组合, 且具有良好的可扩展性和可兼容性。但是, 如果将这种单个描述道路设施的方法用于模拟过程, 却会造成模拟时间的巨大浪费, 因为模拟过程中人车单元在每个扫描间隔内, 都必须一遍又一遍地检索它所处道路环境中有哪些组成部分, 然后对各组成部分再做出相应的判断, 那必然会花费很多的模拟时

间。为了既保持道路组成部分, 又节约模拟时间, 我们在维持原有道路设施基本对象类的基础上, 新建了道路路段类 (CRoadBlock), 用这两组类共同描述道路设施。其中, 道路组成部分主要是为用户开放而建立的, 而道路路段类是为模拟过程而建立。由于目前的模拟模型是为研究通行能力而开发的, 所以在为模拟过程提供道路环境时, 只利用前面提到的 5 个自由流速度影响模型, 把各道路组成部分对通行能力的影响, 用调整后各道路区间的自由流速度来体现。这样既保证了向用户开放道路设施, 又节约了模拟时间。

3.2 路线设计规范的发展

过去的模拟, 主要是针对现有的道路进行, 所以通常没有设计道路设施合法性和协调性的检验。现在道路设施完全向用户开放, 所以我们加入了路线设计规范类, 可对道路设施基本对象进行粗略的检验, 协调用户自由组合的道路各组成部分。其实, 路线设计规范类可以包括很丰富的内容, 完全可以发展成为一个关于路线设计的专家系统, 可以按照《公路路线设计规范》中的所有条款, 对用户建立的道路环境进行细致的检验, 对不符合规范的对象给出警告和修改建议; 甚至可以结合高速公路的安全评价体系, 指出存在安全隐患的路段。从而协助公路设计人员的工作。

目前为通行能力研究建立的模拟模型道路模块, 为模拟提供了基本框架。以面向对象的设计思路, 按照人们对道路设施的认识, 建立了道路各组成部分, 保证了它们向用户完全开放; 建立了路线设计规范类, 检验用户自由组合的道路各组成部分是否协调; 建立了道路路段类, 结合知识库中的自由流速度影响模型, 描述了自由流速度受到各道路设施影响后的道路环境。不仅如此, 道路模块还充分考虑了道路设施基本对象的可扩充性和可兼容性, 这为完成整个模拟奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] Adolf D May. Models for Freeway Corridor Analysis. In: TRB Special Report 194. Washington DC: TRB, National Research Council, 1981.
- [2] 中华人民共和国交通部. 公路路线设计规范 JTJ0110-94. 北京: 人民交通出版社, 1994.
- [3] Anders Brodin, Arne Carlsson. The VTI Traffic Simulation Model. Sweden: Swedish Road and Traffic Research Institute 321A, 1986.
- [4] 任福田, 徐吉谦, 朱长仁. 交通工程学导论. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.