

# 高速公路基本路段交通流微观仿真建模与实现

易涛, 熊坚, 万华森

(昆明理工大学 交通工程学院, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 微观交通流仿真是研究交通问题的重要方法, 高速公路由于没有行人和非机动车的干扰, 交通流现象比较单纯, 所以本文从高速公路交通流研究入手, 介绍了自行开发的高速公路微观交通流仿真系统, 主要仿真模型以及本仿真系统的实现方法, 并给出了仿真应用实例. 改系统的开发成功, 不但丰富了昆明理工大学交通学院自行开发的驾驶模拟器的功能, 而且为以后更加深入的研究交通问题打下了坚实的基础.

**关键词:** 高速公路; 微观交通流; 系统仿真

**中图分类号:** U491. 1. 12    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007- 855X(2004)03- 0094- 04

## Modeling and Realization with Microcosmic Simulation of Traffic Flow on Highways

YI Tao, XIONG Jian, WAN Hua2sen

(Faculty Transportation Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

**Abstract:** Simulation of microcosmic traffic flow on highways is an important means of traffic research work. Because there is not the disturbing force such as foot passengers and bicycles, microcosmic traffic flow is easy to handle. The simulated system of the traffic flow is brought forward, and the simulated models and system are presented. At last, an example is introduced. With the achievement of this research work, not only are the functions of the driving simulator made by our university enriched, but also a solid foundation is laid for the traffic problem research.

**Key words:** highway; microcosmic traffic flow; system simulation

## 0 引言

利用计算机进行交通仿真是研究交通问题的重要手段之一, 早在 20 世纪 60 年代, 欧美发达国家就对高速公路的交通流进行研究, 创建了跟驰模型、超车模型等交通流模型<sup>[1]</sup>, 取得了许多成果<sup>[2]</sup>.

近年来, 随着计算机硬件功能不断增强, 仿真技术得到较大的发展. 仿真模型是以计算机模拟为手段, 编制软件来模拟道路、交通环境, 可高度再现出交通流. 通过仿真交通流, 人们不仅可以利用各种原始数据在短时间内得到改善后的交通状况, 也可以从系统的运行中获得其它方案所需的数据. 微观仿真系统能以较小的投入, 在较短时间内及时得到评估结果. 对于一些有困难, 甚至不可能进行现场实验的交通管理与控制措施, 可以利用交通流微观仿真系统来优化与解决.

我国也积极开展了交通流的仿真研究, 开发出了许多微观交通流的仿真程序. 为了进行交通工程方面的研究, 我们在也开发自己的交通流仿真系统, 可在驾驶模拟器上再现高速公路交通流. 实践证明该仿真系统具有一定的实用性.

## 1 基本路段道路模型

我们将高速公路基本路段设为单向两车道和单向三车道, 并设入口匝道和收费站. 以模拟出基本路段的交通流情况. 以下为单向三车道高速路基本路段的道路模型(仿真示意图见图 1).

收稿日期: 2003- 08- 26. 基金项目: 云南省科委培引计划项目(项目编号: 2000YP14 JTMN- 005).

第一作者简介: 易涛(1969. 11~), 男, 在读硕士研究生. 主要研究方向: 交通仿真. E-mail: toweryee@sohu.com

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

## 2 高速公路交通流的数学模型

交通流仿真建模的理论很多,就高速公路基本路段而言,用到的模型大致有两类:车辆生成模型,车辆运动模型.其中车辆的运动模型分为加速、减速、跟驰、超车、合流、排队等.下面分别介绍:

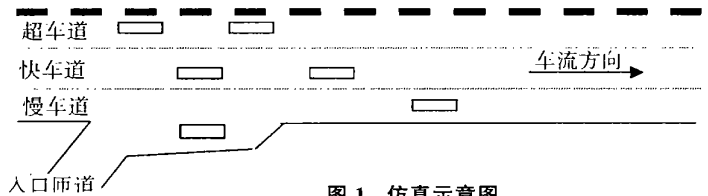


图1 仿真示意图

### 2.1 交通流生成模型

对仿真程序而言,生成车流是微观交通流模拟的第一步,也是至关重要的一步.根据用户设定的仿真参数(包括车辆类型、车道分布、车头时距分布、仿真流量和时间等),运用蒙特卡洛法可以随机生成符合特定分布的交通流.在发车模型中常用的分布形式有均匀分布、厄尔兰分布和正态分布<sup>[2]</sup>.

从交通流的特性来看,车辆的车头时距符合K阶爱尔兰分布,而车辆的速度符合正态分布.在生成车流的过程中,只要控制车间距,车辆初始速度以及对车道的分配就可以生成符合交通流特征的车流了.

在此类模型中,首先生成一个随机数种子,然后用蒙特卡洛法生成符合K阶爱尔兰分布和正态分布的随机数抽样<sup>[2]</sup>.用生成的均匀分布、K阶爱尔兰分布和均值与方差各异的正态分布的随机数,就可以控制生成的车辆数和车辆的初速度.对于车道分配,可按均匀分布进行仿真.

初始化车头时距、行驶速度和理想速度后,为避免车头时距与初始行驶速度不匹配,仿真模型在初始化仿真单体时,对各仿真单体进行了验证,保证仿真单体在最小反应时间内不会与前车发生碰撞,否则,就需要重新计算仿真单体的初始速度.仿真模型在仿真过程正式开始前,设置了长50m的虚拟路段,作为仿真过程的/预热0阶段,该路段的道路环境为理想的基本路段条件.经过/预热0路段的仿真单体,能够使整个仿真交通流的特性充分协调.

### 2.2 车辆跟驰模型

仿真车单体在运行过程中会遇到如下情况:当本车道最近前方车的速度低于本车,而且本车与最近前方车的实际车距小于期望车头距离,并且相邻车道的最近前后方车的间距又不允许超车时,就将进入跟驰状态.此时可以按以下的模型来处理该车的加减速:

1) 如果本车道最近前方车的速度低于本车,而且本车与最近前方车的实际车距小于期望车头距离,并且相邻车道的最近前后方车的间距又不允许超车时,就要按最大的减速度刹车.

2) 如果本车与最近前方车的实际车距大于期望车头距离,而且前车的速度高于后车的速度.就要加速,一直到后车的速度不小于前车的速度为止.

3) 加速度及减速度的值的确定.后车的制动距离S如下式:

$$S = v_a(t_r + t_a \frac{t_s}{2}) - \frac{v_a^2}{2a} + \frac{a}{24} t_s^2$$

一般第三项可以忽略

$t_r$  = 驾驶员的反应时间;  $t_a$  = 操作所需时间;  $t_s$  = 速度增长时间;

$t_v$  = 持续减速时间.

加速过程同上.

安全距离可以采用相对安全距离(假设前后两车以相同的减速度制动):

$$S_{\text{相对}} = v_a(t_r + t_a + \frac{t_s}{2}); \text{时距为: } t_{\text{相对}} = t_r + t_a + \frac{t_s}{2}$$

模拟中,系统按很短时间(0.05s)步长不断更新各车状态,驾驶员能随时发现前导车的状态变化,估计其发展(按跟驰模型),从而保证安全.

由此,可仿真出动态的符合实际的跟驰状况.

### 2.3 变换车道模型

相对来说,车辆变换车道的情况较为复杂,为了仿真方便,我们仅把换车道的情况分为紧急变换(超车)和非紧急变换(为了遵守交通规则或增加行驶的满意度).各车道不同,变换的方式也不同.本例采用了单向三车道的道路模型.在判断是否变换车道时,必须按车道的不同进行判断.

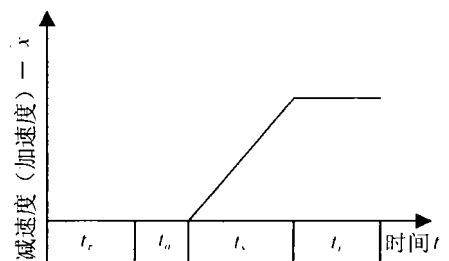


图2 加、减速度模型

1) 当车辆在慢车道行驶时. a. 当本车道的最近前方车距离本车过近(小于最小安全距离),且快车道有富余的行车空间时(快车道最近前方车与本车以及快车道的最近后方车与本车的距离高于最大安全距离),就可以变换到快车道上去. b. 当慢车道上的车速度过快,快车道上有较大的富余空间时,为了增加行驶的满意度,也可变换到快车道上去.

2) 当车辆在快车道上行驶时. a. 本车道上的最近前方车与该车的距离小于最小安全距离时,且后车的速度比前车快,如果超车道有富余的行车能力,就可以变换车道到超车道上去. b. 当由于跟驰等原因使车速减低,如果慢车道有空闲能力,就可以变换车道到慢车道上去.

3) 当车辆在超车道上行驶时. 由于交通规则,汽车不能在超车道上行驶过久.因此当车辆上了超车道后,会时刻注意快车道上的车辆行驶状态,如果相邻车道有了空闲能力,就应当快速变换车道到快车道上去.

4) 在变换车道时,如果由低速车道向高速车道变换就应在变换过程中以最大的加速度来加速;如果由高速车道向低速车道变换,在变换过程中,应当减速行驶.这样每车道的平均速度就可以互不相同,更符合交通流的特性.

#### 2.4 匝道汇入模型

匝道生成的车汇入主车流时,须判断是否可以汇合<sup>[4]</sup>.

如图3所示,在每个更新步长时间内,匝道鼻端的车都要判断可接受前档和可接受后档.当可接受前档和可接受后档都符合要求时,就可以考虑变换车道到慢车道上去.如果前后间歇不够,则车辆应在匝道鼻端上减速行驶,到达鼻端的最末端时停车.车在鼻端上任意时刻,只要有可变换车道的空隙,就应优先考虑变换车道.在变换的过程中,如车速过小(小于高速公路最低限速标准),应当加速.如果车速过快(高于高速公路最高限速标准),就应当减速.

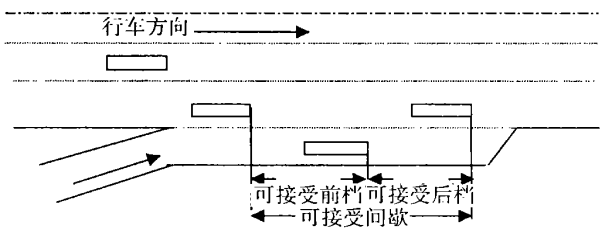


图3 匝道合流示意图

在模拟过程中很重要的一点是可接受间歇的大小判定:

可接受前档 = 两车最小安全距离 - (变换车道时加速或减速行驶的匝道车辆所行驶的距离 - 慢车道上最近后方车在匝道车辆变换车道时间内所行驶的距离)

可接受后档 = 两车最小安全距离 + (变换车道时加速或减速行驶的匝道车辆所行驶的距离 - 慢车道上最近前方车在匝道车辆变换车道时间内所行驶的距离)

这样就可避免在匝道合流时出现碰撞现象.当然,合流时将影响整个交通流的运行状态.

在匝道上如果有多辆车排队等待服务时,车与车之间如果距离过近就将进入跟驰状态,也会形成排队,这将在下面讨论.

#### 2.5 排队模型

1) 车辆到达收费站时,由于收费时间不同可能使车队出现典型的排队等待现象<sup>[3]</sup>.在本模拟系统中: a. 交通流的到达过程符合爱尔兰分布; b. 车队的排队规则是等待制,即先到先服务. c. 收费站的服务方式可能是1,2或3个窗口同时服务,服务时间的分布可以是定长分布,泊松分布,或k阶爱尔兰分布.

当车辆到达收费站时,按概率算出需要等待的服务时间,然后停车等待;到时间的终点时启动车辆,同时下一辆车接受服务.在排队中的车辆随时判断相邻车道有无空闲,如果有,就变换车道以便尽快地接受服务.

2) 当车辆在匝道合流时,为另一种形式的排队现象.车队在匝道鼻端时,由于相邻车道没有空闲,车队进入另一种排队形式,即排队的规则是在队伍中的任何一辆车,只要合流条件成熟就可以优先进入主车道.

### 3 微观交通流系统的仿真实现

周期扫描法是使模拟时钟按固定时间步长(必须足够小)向前推进,每推进一步,就扫描一次全部临近的未来事件产生时刻和产生条件.观察产生时刻是否等于或小于当前时刻和有无产生条件已得到满足的事件,如果有,则模拟该事件;否则就继续向前推进模拟时钟.如此不断地重复下去<sup>[2]</sup>.图4是运用周期扫描法的仿真数据流程图.

在周期扫描法中,间隔内发生的所有事件都被当作是在间隔的末端发生.一般的仿真系统较少采用周期扫描法.但有些特殊情况却适于采用这种方法.例如,事件以规则的方式出现,或进行某些大型系统模拟,而其中的各随机变量间的关系并不很明确或无已知关系时,采用周期扫描法则较合适.由于我们的系统是实时系统,每车每时刻都在运动,故适合采用该方法.

图5是我们开发的高速公路交通流仿真程序中的一个界面,它模拟了高速公路单向三车道基本路段的交通流状况,该程序实现了高速公路交通流微观仿真模型的应用,可再现跟驰,超车,排队,匝道合流等高速公路上出现的微观交通流现象.

### 4 结束语

论文对高速公路交通流的特性进行了分析,确立了微观交通流仿真模型,提出了仿真系统实现的思路,还解决了发车模型,换车道模型,匝道合流模型,排队模型在仿真系统中的实现.本仿真系统的建立对于交通流微观仿真研究工作具有较大的意义,同时也丰富了昆明理工大学交通工程学院自行研制的驾驶模拟器的功能.本研究仅针对高速公路基本路段的交通流进行,仿真程序的编制也有一定局限性,要达到在高速公路复杂路段上进行交通流仿真还须进一步进行路段建模研究,车辆自动寻径的研究.交通流仿真在驾驶模拟和ITS方向上有着广阔的应用前景,如果能够与交通控制和规划结合起来,将具有更大的现实意义.

#### 参考文献:

- [1] 郭冠英. 交通工程[M]. 上海: 同济大学出版社, 1994. 1~ 10.
- [2] 王维平, 朱一凡, 华雪倩, 等. 离散事件系统建模与仿真[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1997. 10~ 60.
- [3] 陆传贵. 排队论[M]. 北京: 北京邮电学院出版社, 1994. 5~ 20.
- [4] 罗霞, 等. 高等级公路交通流理论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1999. 45~ 62.

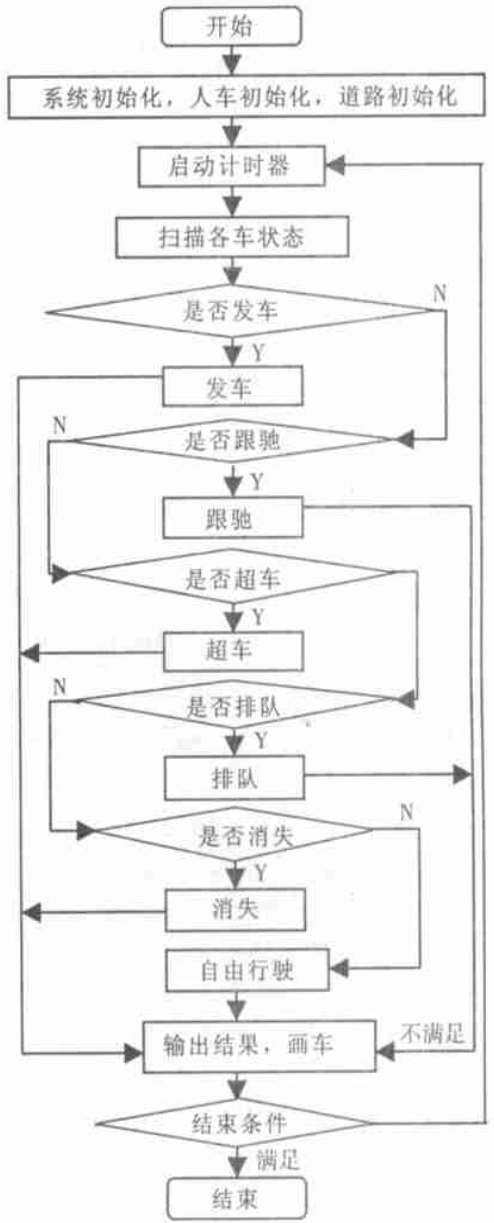


图4 系统仿真流程



图5 仿真结果