

文章编号:1671-6833(2011)06-0105-03

## 动态元胞传输模型仿真设计

李曙光, 张敬茹, 余洪凯, 杨康康

(长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064)

**摘 要:** 基于元胞传输模型(Link-Node Cell Transmission Model)给出了路网交通流仿真流程. 在 Matlab 环境下使用该流程对单向4车道高速公路上交通流进行仿真, 并分析了其交通拥挤波的形成过程和消散过程. 仿真结果表明:元胞传输模型能够很好地描述车辆排队形成和消散过程. 因此, 主干道宏观参数、交通事件的管理策略等对车辆的通行能力也有很大的影响.

**关键词:** 元胞传输模型; 元胞密度; 交通流量; 交通拥挤

**中图分类号:** U491

**文献标志码:** A

### 0 引言

交通仿真是研究复杂交通问题的重要工具. 利用交通仿真工具可以预测交通流在各种交通管理方案下的特性变化, 从而对管理方案进行评价和改进. 交通仿真模型分为微观、中观和宏观仿真模型. 以单个车辆和某一类型车辆为计算对象的微观和中观仿真模型需要广泛、复杂的数据和很大的计算成本, 这对于大的路网仿真来说, 采用微观或中观仿真模型需要花费很大的资源空间<sup>[1]</sup>. 但是宏观仿真模型, 尤其是元胞传输模型(Cell Transmission Model)需要少量的仿真路段宏观参数, 就可以准确描述车辆密度变化、车流量变化和车辆拥挤排队过程等特性.

Daganzo 通过简化交通流量和密度间的关系, 利用有限差分法为宏观道路交通流模型 LWR 模型<sup>[2-3]</sup>设计的一种新的近似方法—Traffic Cell Transmission Model (CTM)<sup>[4-5]</sup>. 它的原理与流体动力学模型是一致的, 它准确地描述交通流的干扰波的形成, 因此, 适用于描述路网在拥挤、非拥挤状态下交通流的特性<sup>[6]</sup>. 在 CTM 中, 车辆密度和车流量呈线性关系, 但是 CTM 要求将所仿真的路段必须划分为  $N$  个等长的元胞路段, 这给交通仿真带来了很大的局限性. 然而, Link-Node Cell Transmission Model(LN-CTM)<sup>[7-8]</sup>消除了原 CTM 的这种限制, 增大了 CTM 的灵活性和适用性.

笔者基于 LN-CTM 设计了高速公路路网的仿真流程, 介绍了 LN-CTM 下的密度流量的关系和车流量、密度计算的数学模型; 描述基于 LN-CTM 所设计的仿真流程; 利用设计的仿真软件对一段高速公路路网进行仿真并对结果进行分析和总结.

### 1 元胞传输模型(LN-CTM)的基本原理

在 LN-CTM 模型中, 仿真路网被划分为了节点(Node)和节点与节点之间的连接路段(Link)<sup>[7-8]</sup>. 一般情况下, LN-CTM 会将仿真路网上发生汇流、分流和车道数变换等导致车流量变化很大的地点设为节点, 将2个临近节点所连接的路段作为连接路段(Link). 同时, 连接路段分为源路段(Source link)、一般路段(Ordinary link)和目的路段(Destination link). 源路段是仿真路网上车辆产生驶入的路段, 起始处没有节点; 目的路段结尾处末尾节点且车辆驶离仿真路网. 因此, 路网上所有连接路段的长度是不等长的.

在 LN-CTM 模型中, 节点上车流量是按比例来分配的. 如图1所示, 一个节点上有  $m$  个驶入连接路段和  $n$  个驶出连接路段, 则对应有一个  $m \times n$  的分流系数矩阵  $B(k) = \{\beta_{ij}(k)\}$ ,  $j = 1, \dots, n$ ;  $i = 1, \dots, m$ . 且元素  $\beta_{ij}(k)$  定义了  $k$  时刻由连接路段  $i$  驶入连接路段  $j$  车流量与其驶入节点总车流量的比值. 则节点处车流量的计算如下:

收稿日期:2011-06-20; 修订日期:2011-09-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60804049); 长安大学中央高校基本科研业务费(CHD2010JC022)

作者简介:李曙光(1974-), 男, 安徽郎溪人, 长安大学副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为智能交通, E-mail:lxlg@vip.sina.com.

(1) 计算节点上游连接路段的车流量需求

$$\tilde{d}_i(k) = \min(v_i \rho_i(k-1), f_{i,\max}) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

式中:  $v_i$  为驶入节点路段  $i$  的自由流速度,  $f_{i,\max}$  为路段  $i$  的通行能力。

(2) 计算节点下游连接路段车流量需求

$$c_j(k) = \min(\omega_j(\bar{\rho}_j - \rho_j(k-1)), f_{j,\max}) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中:  $\omega_j$  为驶出节点路段  $j$  的拥挤波波速。

(3) 根据分流系数和驶出节点车流量需求调整车流量需求

$$D_{i,j}(k) = \beta_{i,j}(k) \tilde{d}_i(k) \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\hat{D}_{i,j}(k) = \frac{\min(d_j(k), c_j(k))}{d_j(k)} D_{i,j}(k) \quad (4)$$

(4) 驶出上游连接路段  $i$  的车流量

$$\hat{d}_i(k) = \sum_{j=1}^n \hat{D}_{i,j}(k) \quad (5)$$

$$\hat{f}_i(k) = \hat{d}_i(k) \min_j \left\{ \frac{\hat{D}_{i,j}(k)}{\hat{d}_i(k) \beta_{i,j}(k)} \right\} \quad (6)$$

(5) 驶入下游连接路段  $j$  的车流量

$$f_j(k) = \sum_{i=1}^m \beta_{i,j} \hat{f}_i(k) \quad (7)$$

而一般连接路段  $i$  在  $k$  时刻的车辆密度是其相邻节点上的车流量决定的。

$$\rho_i(k) = \rho_i(k-1) + \frac{\Delta t}{\Delta x_i} (f_i^a(k) - f_i^d(k)) \quad (8)$$

式中:  $\Delta x_i$  为连接路段  $i$  的长度;  $\Delta t$  为仿真时间步长且  $\Delta t = \min_{i \in N} \{\Delta x_i / v_{i,f}\}$ ;  $f_i^a(k)$  为驶入该连接路段的车流量;  $f_i^d(k)$  为驶出该连接路段的车流量。

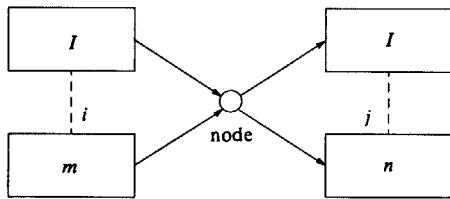


图1 LN-CTM 下路网模型

Fig.1 Road Model Based on LN-CTM

## 2 仿真流程设计

根据 LN-CTM 数学模型,在 Matlab 环境下建立交通流计算机仿真流程。LN-CTM 是个动态模型,它可以模拟各种交通事件对交通流产生影响。在仿真中,用连接路段的密度和流量来描述路网

上交通流的状况。在仿真开始前,须将现实路网划分为由节点和连接路段构成的计算机仿真路网,然后初始化交通路网仿真所需交通参数。仿真过程主要由 2 大部分构成:节点更新模块 (Nodes update) 和连接路段更新模块 (Links update),仿真流程图如图 2 所示。

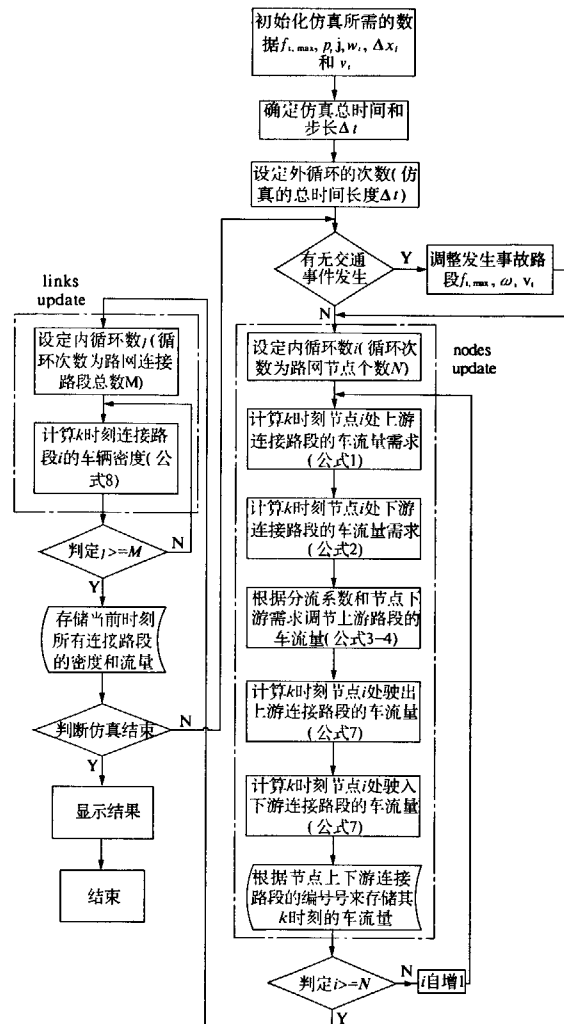


图2 算法流程图

Fig.2 Flow Diagram

在仿真中,利用多层 for 循环嵌套仿真一段时间的路网车流情况。最外层循环以  $\Delta t$  为时间步长,循环的次数为仿真总时间长度与仿真时间步长  $T_s$  的比值取整。在每一时刻的开始检测是否有事件发生,根据检测结果来实时调整相对应连接路段的交通参数,来无限接近现实。接着执行节点更新模块,即根据数学模型计算当前时刻每个节点上驶出上游连接路段车流量和驶入下游连接路段的车流量,并按照连接路段的唯一编号记录该流量数据。然后按照密度计算公式计算当前时刻每个连接路段的车密度,即执行连接路段更新模块。重复执行上述 2 个模块直到仿真总时间,最后

画出其三维图形以便分析数据.

### 3 仿真结果分析

如图3所示,以一段长36.56 km的高速公路为仿真对象.基于LN-CTM模型将其分为由32个节点的一段单向、4车道的高速公路.则连接路段长度为 $L = \{0.96, 1.0, 1.12, 1.12, \dots, 1.12, 1.12, 1.0\}$  km,且第19个节点处有分流匝道.假定所有连接路段的拥挤密度均设为480辆/km;自由流速度 $v = 39$  km/h;路段的最大通行能力 $F = 774$  辆/小时/每车道;出口匝道的分流系数 $\beta_{34} = 0.5$ ;进入仿真路网的主干道平均车流量1200辆/h;可算得仿真单位时间 $T_s$ 取1.5分钟.在第3分钟,连接路段15处发生交通事件,使得 $F_{15} = 516$  辆/小时/每车道, $n'_{15} = 210$  辆/km,仿真结果如图4,5所示.

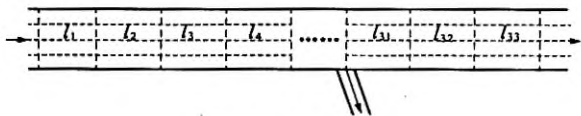


图3 仿真路网

Fig.3 Road Network of Simulation

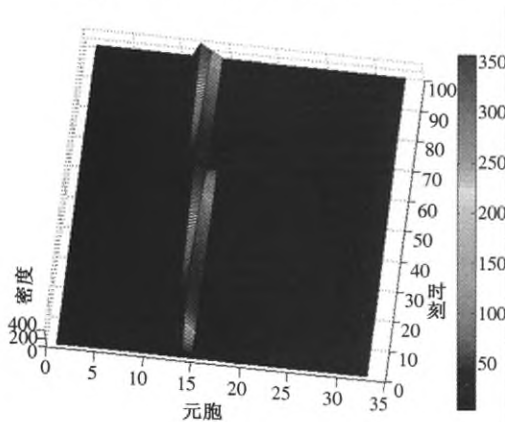


图4 密度三维图

Fig.4 Three Dimensional Figure of density

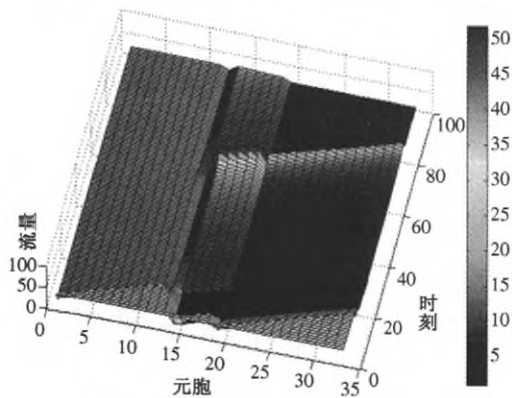


图5 流量三维图

Fig.5 Three Dimensional Figure of Flow

图4描述了仿真路网在经历100个步长时其连接路段上车辆密度的变化,共仿真了100步,即 $100 \times T_s$  ( $T_s = 1.5$  min)分钟.图5则描述了每一步驶出连接路段的车辆数.从连接路段密度变化以及流量变化中可以看出,连接路段15在第3分钟发生交通事件使得其密度变小、流量变小,但使上游连接路段的密度渐渐增大、流量变小,拥挤波形成并缓慢向上游传播.在第22分钟,连接路段15交通恢复正常,其密度和流量变大,拥挤波自上游连接路段到下游连接路段渐渐消散.在消散的过程中,由于速度的限制,驶出拥挤连接路段内车流量慢慢增大到一个最高点后才趋于稳定状态.

### 4 结论

基于LN-CTM,笔者设计的仿真流程可以模拟道路交通流状况和汇流、分流匝道对交通流影响,也可以仿真在不同交通管理方案下主干道交通流的变化和不同服务水平下收费站的瓶颈效应等交通仿真.然后根据仿真结果,可以设计高速公路的宏观参数,改进道路的管理以及收费站的服务水平等.

### 参考文献:

- [1] 裴玉龙,张亚平. 道路交通系统仿真[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 100-103.
- [2] Lighthill M J, Whitham J B. On kinematic waves: I. Flow movement in long rivers. II. A theory of traffic flow on long crowded road [J]. Proceedings of Royal Society, 1955, 299: 281-345.
- [3] Richards P I. Shockwaves on the highway [J]. Operations Research, 1956, 4(1): 42-51.
- [4] Daganzo C F. The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory [J]. Transportation Research, 1994, 28(4): 269-287.
- [5] Daganzo C F. The cell transmission model, part II: network traffic [J]. Transportation Research, 1995, 29, (2): 79-93.
- [6] 姬杨蓓蓓,张小宁,孙立军. 基于元胞传输模型的交通事件消散建模[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2008, 27(3): 442-445.
- [7] Muralidharan A. Imputation for the Link-Node Cell Transmission Model [EB/OL]. [2009-11-5]. [http://path.berkeley.edu/topl/pp/080606\\_AjithMuralidharan\\_ImputationForLinkNodeCTM](http://path.berkeley.edu/topl/pp/080606_AjithMuralidharan_ImputationForLinkNodeCTM).

(下转第112页)

要求的角度出发,器件选择合理,布局得当,整个系统按照干扰小、稳定性高以及成本低的原则进行设计.软件算法具有创新性、高效性和可移植性.该研究的成果在医学亚健康诊断及病态诊断和家庭医疗方面有广泛的应用价值.

#### 参考文献:

- [1] 燕海霞,王忆勤,李福凤.中医脉象传感器的研究进展[J].上海中医药大学学报,2005,19(1):62-64.
- [2] 王燕.中医脉象客观量化理论方法研究[J].世界科学技术—中医药现代化,2005,7(1):118-122.
- [3] 谭延亮,游开明,陈列尊,等.脉诊客观化研究新思

路,四川中医,2007(8):25-27.

- [4] 王建新,任勇峰,焦新泉.仪表放大器 AD623 在数采系统中的应用[J].微计算机信息,2007,23(7):175-177.
- [5] 袁江南.基于 USB2.0 与 FPGA 技术的高速数据采集系统的设计[J].电子技术应用,2007(7):122-124.
- [6] 刘来福.基于 CPLD 和 USB 的高速数据采集系统的设计[J].西安科技大学学报,2005(2):78-80.
- [7] 徐峰.基于 FT245BM 的快速 USB 接口设计[J].电子工程师,2007,33(3):64-66.

## The Design of the Real-Time Pulse Wave Information Processing System Based on FPGA and Matlab

GUO Guang-ling<sup>1,2</sup>, LI Zi-qiang<sup>2</sup>, WANG Yan-fang<sup>3</sup>

(1. Department of Control Science & Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;

2. College of Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** In order to detect the pulse wave accurate quickly with noninvasive heart function testing, get useful information in clinical medicine diagnosis, prevent and treat of disease effectively, this paper designed a kind of FPGA and Matlab high-speed real-time pulse figure information processing system. FPGA chip is the core in the system, using FT245BM fast USB interface chip and HK-2000 G pulse transducer, the system realized pulse signal collection, in the host with VB and Matlab programming technology, mixed by average differential and integral, fuzzy interpolation and hilbert-huang transform, yellow wavelet transform algorithm, complete the pulse information processing of time domain and frequency domain, the system can real-time display, store print pulse digital images and related information, automatic get pulse figure characteristic parameters. Through the pulse figure characteristic parameters test to different human body, pulse figure is effective and reliable. It has extensive application value in medical sub-health diagnosis and pathological diagnosis and family medical.

**Key words:** pulse wave; FPGA; Matlab; information processing

(上接第 107 页)

- [8] MURALIDHARAN A, DERVISOGLU G, HOROWITZ R. Freeway traffic flow simulation using the Link Node

Cell transmission model[C]//Proceedings of the 2009 conference on American Control Conference. St. Louis. MO: IEEE Press Piscataway, 2009: 2916-2921.

## The Design of Dynamic Simulation Based on Cell Transmission Model

LI Shu-guang, ZHANG Jing-ru, YU Hong-kai, YANG Kang-kang

(School of Electrical and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** The paper devises the process of traffic flow simulation based on link-node cell transmission model. Then, flow and density of the single-direction of a highway with four lanes is simulated with Matlab, and the formation and dissipation of crowded waves of the highway is analyzed. The result shows that cell transmission model can well describe the formation and the dissipation of vehicles' queues. Therefore, highways' macro parameters and traffic incident management strategies have a great impact on the ability of vehicles' passing.

**Key words:** cell transmission model; cell density; traffic flow; traffic jam