

# 含时空扰动的一个城市交通流离散模型

沙春宏<sup>1</sup>, 化存才<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 应用技术学院, 云南 昆明 650093; 2. 云南师范大学 数学学院, 云南 昆明 650092)

**摘要:** 交通流问题是当今社会正面临的一个严峻问题, 对交通流问题的研究有着重要的现实意义. 根据车辆跟驰模型和流体动力学模型的建模思想, 采用宏观和微观相结合的方法, 建立了一个含时空扰动因子的城市交通流离散模型. 同时, 设计了2个有红绿灯路口的交通流算例, 并将所建立的模型应用于该算例的数值模拟, 结果表明: 所建立的模型能够较好地模拟实际交通流的许多重要的基本特征.

**关键词:** 交通流模型; 数值模拟; 道路交叉口; 城市交通

**中图分类号:** O29    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-855X(2008)03-0119-03

## A New Discrete Model for Urban Traffic Flow with a Space - Time Perturbation

SHA Chun-hong<sup>1</sup>, HUA Cun-cai<sup>2</sup>

(1. Faculty of Applied Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;  
2. School of Mathematics, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

**Abstract:** Traffic flow is a rigorous problem facing the society at present. It is therefore of great practical significance to study this problem. Based on the ideas of car - following models and fluid dynamics models, a new discrete urban traffic flow model is established in this paper by combining micro models with macro models of traffic flow. Through analysis of the perturbations, two traffic - flow examples with traffic lights are designed. The new model is verified and applied by numerical simulation, and it is shown through the results that the model can simulate some important fundamental properties of the practical traffic - flow better.

**Key words:** traffic flow models; numerical simulation; intersection; urban traffic

## 0 引言

随着世界经济的发展, 当今社会, 不论是发达国家还是发展中国家, 不管是国际大都市还是中小城市, 都面临着一个共同的交通问题, 所以对交通流问题的研究具有重要的现实意义. 目前关于交通流模型的研究主要有车辆跟驰模型, 基于流体比拟的流体力学模型和元胞自动机模型3种<sup>[1-4]</sup>, 这些模型都从不同的方面反映了现实交通流的一些规律和特征, 但是由于上述这些模型主要是根据国外交通流的特点建立的, 所以在应用中往往不能很好地反映我国实际交通流的情况.

同国外交通情况相比, 我国的交通情况有诸多不同, 主要表现为以下的一些特点: 机动车与非机动车混合运行, 城市车道过窄, 行人与自行车流量较大等. 所以呈现出车速普遍偏低, 容易出现交通拥堵, 事故频繁的现状. 事实上, 城市道路交通系统是由人、车、路及含有许多随机因素的交通环境构成的开放的动态的巨系统, 道路上的交通流具有不确定性、随机性的特征, 交通流中的不确定现象是由随机因素造成的, “任何”确定型的模型都不能完全解释这一现象<sup>[5]</sup>. 实际交通流中的时空扰动因素很多. 例如, 行人横穿公路对交通流的干扰; 公交车停靠站台或从站台启动对交通流的干扰; 运行过程中某一车辆的突然加速或

**收稿日期:** 2007-11-21. **基金项目:** 教育部“春晖计划”启动项目(2004.1-2007.12); 昆明理工大学青年自然科学基金项目(2007.12-2009.12).

**第一作者简介:** 沙春宏(1976-), 男, 硕士, 讲师. 主要研究方向: 实际问题的数学建模与应用研究.

**E-mail:** sha\_chunhong@126.com

减速对交通流的干扰;交通事故与道路施工对交通流的干扰;红绿灯的交替变化对交通流的干扰等. 因此要想在交通流建模过程中能更好地再现实际交通流,更为准确地捕获交通流的实际现象,考虑含有扰动因子的建模方法是必要的. 在 Weits 模型中,引入了交通流随机扰动因素,并对交通密度的变化进行了随机分析<sup>[5]</sup>. 在文献[4]中,作者指出把微观和宏观相结合的方法建立交通流模型可以更好地推进交通流理论的发展,主要分析前两种模型的特点,并分别取各自优点对模型加以改进.

## 1 一个含时空扰动因子的交通流模型的建立

在交通流模型中主要考察3个最基本的参数,即交通流量 $q$ 、车流密度 $\rho$ 、车流速度 $v$ . 它们都是时空变量,并且同时受到多种因素的影响,如驾驶员的随机行为、交通环境因素(行人的行为,车辆的行为,道路故障等)、交通信号(如城市红、绿灯)等. 交通流中的不稳定现象正是由这些时空扰动因素造成的,在我国各大中城市的“混合”交通流中,各车辆的相互影响和干扰也是影响车流畅行速度及交通稳定性的重要因素,而且这些影响和干扰是不断变化的,很难量化. 为确保车辆安全行驶的前提下,在考虑城市交通流模型的建立时着重分析了时空扰动因素对交通流的影响. 我们假设:交通流具有流体的动力学性质,也有离散的粒子流的性质. 通过考虑含有扰动因子的交通流建模方法,再基于跟驰模型的思想:在跟车与头车间距大于安全行车间距时,考虑以略大于头车的速度行驶;反之,考虑以略小于头车的速度行驶,行车过程中车辆速度的变化受时空扰动因子和跟车与头车的间距的影响,并且不许超车. 由此得到了以下的交通流模型.

$$v(i, k) = \begin{cases} [1 + \delta_1(i, k)]v(i+1, k), & (\Delta x(i, k) > \Delta c) \\ [1 - \delta_2(i, k)]v(i+1, k), & (\Delta x(i, k) \leq \Delta c) \end{cases} \quad (1)$$

其中, $i$ 表示跟车, $i+1$ 表示头车; $k$ 表示记时点; $\Delta c$ 表示安全行车间距; $\Delta x(i, k)$ 表示跟车与头车的间距; $\delta_1(i, k)$ , $\delta_2(i, k)$ 分别表示跟车在考虑加速与减速时的时空扰动因子. 在不同的路段,模型(1)中的上述3个参量需要根据实际情况来加以判定,由实测数据的经验值,这是容易做到的.

此外,在车流处于中密度状态行驶时,即在跟车行驶过程中,根据 Greenshields 理论<sup>[1]</sup>,采用如下的速密关系

$$\rho = \rho_j \left(1 - \frac{v}{v_f}\right). \quad (2)$$

其中, $v_f$ 为该路段的自由行车速度, $\rho_j$ 为拥挤车流密度. 将该模型离散化得:

$$\rho(i, k) = \rho_j \left(1 - \frac{v(i, k)}{v_f}\right). \quad (3)$$

根据交通流流体力学模型的建模方法,有如下的传输方程

$$q = \rho v. \quad (4)$$

将其离散化得:

$$q(i, k) = \rho(i, k)v(i, k). \quad (5)$$

方程(1),(3),(5)构成了一个完整的含时空扰动的新的城市交通流离散模型.

## 2 算例分析与模型的应用

**算例 1** 红灯控制期间,车流运行情况模拟.

假设从红灯亮那一刻起,车辆排队等候,等候时间为90 s. 从距离道路交叉口500 m的这点算起,不妨设跟车与头车的间距 $\Delta x(x, t)$ 在的这一段构成单调递减的等差数列. 应用模型(1),通过 Matlab 软件编程计算可以得到,在红灯控制期间车辆排队等候的情形如图1所示.

从图1我们可以直观看到随着时间的变化,路段上各车辆的速度变化情况,即随着时间的增加,各车辆都在跟随头车不断减速慢慢靠近红灯控制交通路口. 并且,在第1计时时刻车流密度较小,在离红灯路口较远的位置整体车流速度相对较大. 而随着时间的推移,车流密度在增大,相反各个空间位置上车速在下降,直到慢慢地向红灯交通路口逼近. 在越靠近交叉路口的位置,车辆几乎是处于停滞不前的排队状态,

在离红灯控制交通路口较远的地方,车速在慢慢下降,车队进入近距离跟驰行驶.随着时间的推移,车辆数在增加,行车速度在减小,车队在增长,这与实际交通流的运行情况是符合的.

**算例 2** 绿灯放行期间,车流运行情况模拟.

假设从绿灯放行那一刻起,车队疏散,放行时间为 60 s. 从道路交叉口算起,在距离交叉口 500 m 的这一路段不妨设跟车与头车的间距在的这一路段构成单调递增的等差数列. 应用模型(1),通过 Matlab 软件编程计算可以得到,在绿灯放行期间车辆疏散的情形如图 2 所示.

从图 2 我们可以直观看到在交通路口绿灯放行期间,随着时间的变化,路段上各车辆的速度变化情况,即随着时间的增加,各车辆都在跟随头车慢慢远离绿灯放行的交通路口.而且,在第一计时时刻车流密度较大,整体而言车流速度相对较小.而随着时间的推移,

车流密度在减小,各个空间位置上车速在慢慢增大,直到渐渐地远离绿灯放行的交通路口,进入相对自由的交通流状态.在越远离交叉路口的位置,车辆从排队状态缓缓地加速行驶,随着时间的推移,车辆数在减少,行车速度在增大,车队正逐渐摆脱交通灯的控制,进入相对自由的行车状态.

总之,上述算例的分析主要是对模型的合理性和可操作性进行检验,其数值结果的成功模拟说明模型的建立是合理的.从模型的表达式看,该模型比传统的跟驰模型简单.在模型的应用过程中,需要确定的参数少,并且参数的辨识过程和应用机理简洁.

**参考文献:**

[1] 王殿海,严宝杰. 交通流理论[M]. 北京:人民交通出版社,2002,11:47,56,20.  
 [2] 李进平. 交通流的流体力学模型与数值模拟[D]. 武汉:武汉理工大学,2003,2:5.  
 [3] 吴正. 低速混合型城市交通流的流体力学模型[J]. 力学学报,1994,3,26(2):149-157.  
 [4] 吴清松,姜锐,李晓白,等. 微观宏观方法相结合推进交通流理论新发展[J]. 交通运输系统工程与信息,2005,6,5(3):108-115.  
 [5] 冯尉东,贺国光,流豹. 交通流理论评述[J]. 系统工程学报,1998,9,13(3):71-82.

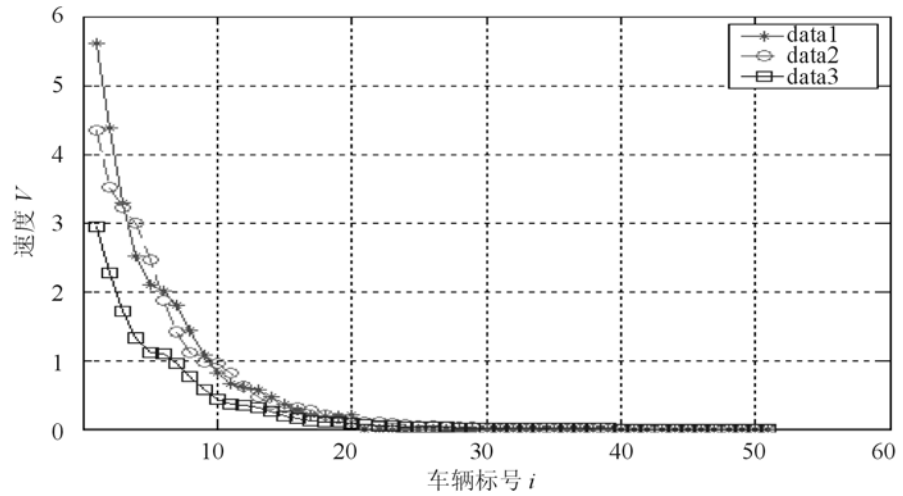


图1 第1,10,20时刻的速度空间图  
 Fig.1 The space-velocity diagram of the 1<sup>st</sup>,10<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> time

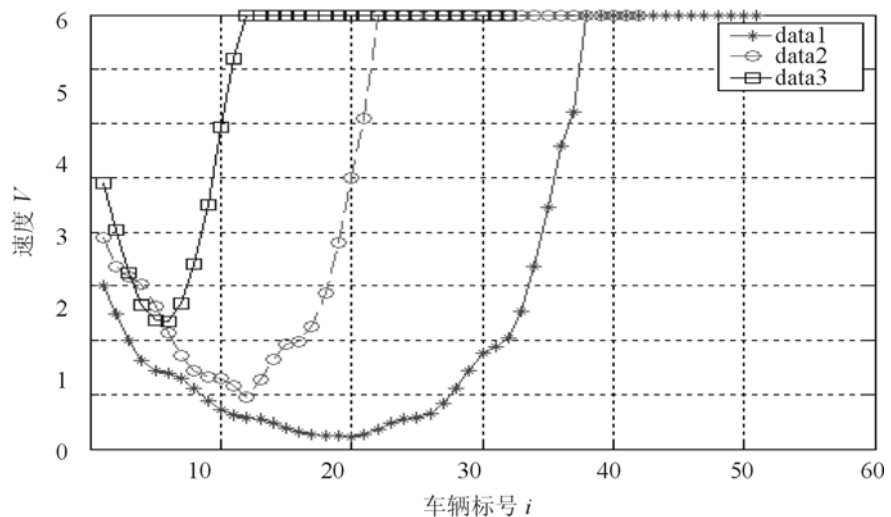


图2 第1,10,20时刻的速度空间图  
 Fig.2 The space-velocity diagram of the 1<sup>st</sup>,10<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> time