

# 高速公路动态交通流的 BP 神经网络建模

张玉梅, 曲仕茹, 温凯歌

ZHANG Yu-mei, QU Shi-ru, WEN Kai-ge

西北工业大学 自动化学院, 西安 710072

Institute of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

E-mail: zym0910@tom.com

ZHANG Yu-mei, QU Shi-ru, WEN Kai-ge. Expressway dynamic traffic flow modeling using BP neural networks. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(15): 9-11.

**Abstract:** In this paper, by analyzing the freeway macroscopic dynamic traffic flow model, Back Propagation (BP) neural network model is presented aiming at nonlinear and time-variant system of freeway traffic flow. Then, the BP neural network is trained by using traffic flow data from a section of freeway and the network model parameters can be obtained. Finally, the model is simulated under MATLAB for verifying its effectiveness and the simulation results are compared with the original model ones. It shows that the proposed method can accurately describe the real behavior of freeway traffic flow and can adapt well to the changes of traffic condition.

**Key words:** expressway; traffic flow; modeling; BP neural network

**摘要:** 通过对高速公路宏观动态交通流模型的分析, 针对高速公路交通系统的非线性时变特点, 应用 BP 神经网络建立了高速公路宏观动态交通流模型。并利用一段高速公路的交通流数据对 BP 神经网络进行训练, 得到网络参数。最后, 为了验证 BP 网络模型的有效性, 在 MATLAB 环境中对模型进行了仿真, 并将仿真结果与原始模型的结果进行了比较。结果表明, 该方法能较准确地描述高速公路交通流的真实行为, 并且能够适应交通状况的变化。

**关键词:** 高速公路; 交通流; 建模; BP 神经网络

文章编号: 1002-8331(2007)15-0009-03 文献标识码: A 中图分类号: TP273

## 1 引言

高速公路交通系统是一个复杂的包含人、车和路交互作用的系统。该系统的复杂性、非线性特征和随机行为使得获取精确的数学模型既困难又花费时间。国内外学者虽已提出了多种交通流模型, 但各种模型都有其适用的范围、优越性及局限性<sup>[1]</sup>。近年来, 智能控制理论得到迅速发展, 为解决上述问题提供了一种新的思路。在智能控制方法中, 由于神经网络方法本身所具有的非线性映射能力强、能够学习和适应不确定性系统的动态特性以及允许多输入多输出的特性, 使其在求解非线性和不确定性控制问题方面具有其它方法所不具备的优势与潜力<sup>[2]</sup>。

本文提出一种采用 BP 神经网络对高速公路交通流进行建模的方法。并利用 MATLAB 对模型进行了仿真研究。结果表明, 采用 BP 神经网络建立的交通流模型能以较高的精度准确地描述高速公路交通流的真实行为。

## 2 宏观动态交通流模型

高速公路的某个位置在某个时刻的交通状态与该位置在该时刻之前的交通状态以及该位置上下游相邻处的交通状态

有关, 即交通流过程是交通状态随着时间、空间演变的动态过程, 要对其精确描述需要采用微分方程。为使模型较为简单, 便于使用, 一般采用时间空间离散化对其处理, 使模型成为离散时间的差分方程<sup>[6]</sup>。一般来说, 高速公路动态交通流的基本模型有动态密度模型、动态流量模型以及动态速度模型三种, 分别如式(1)、(2)、(3)所示<sup>[7,8]</sup>:

$$\rho_i(k+1) = \rho_i(k) + \frac{T}{\Delta_i} [q_{i-1}(k) - q_i(k) + r_i(k) - s_i(k)]$$

$$i=1, 2, \dots, N; k=0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$q_i(k) = \alpha \rho_i(k) v_i(k) + (1-\alpha) [\rho_{i+1}(k) v_{i+1}(k) - r_{i+1}(k)] - s_i(k) \quad (2)$$

$$v_i(k+1) = v_i(k) + \frac{T}{\tau} [V(\rho_i(k)) - v_i(k)] +$$

$$\frac{T\xi}{\Delta_i} v_i(k) [v_{i-1}(k) - v_i(k)] - \frac{vT}{\tau \Delta_i} \frac{[\rho_{i+1}(k) - \rho_i(k)]}{\rho_i(k) + \lambda} \quad (3)$$

上述模型中包含的一些参数需要由交通流特性决定, 它会随着驾驶员的行为和交通模式的不同而变化。因此, 在特定时间段特定地点通过参数辨识得到的模型对于其它时间段或其它地点来说一般是不准确的, 即交通流数学模型的泛化能力差。动态交通流的非线性和不可预测特性使得建立一个针对所

基金项目: 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60134010)。

作者简介: 张玉梅(1977-), 女, 博士生, 主要从事交通运输规划与智能交通系统等方面的研究; 曲仕茹(1963-), 女, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 交通运输规划与管理、智能控制和图像处理等; 温凯歌(1976-), 男, 博士生, 主要从事交通运输规划与管理及智能控制等方面的研究。

有交通情况的通用模型非常困难。

### 3 BP神经网络建模

一种好的交通流模型应该具有自学习功能,能够自动适应交通状况的动态改变。本文提出了一种利用误差反向传播训练算法的神经网络(Back Propagation Neural Network, BPNN)建立高速公路动态交通流模型的方法。

#### 3.1 网络层数的确定

对任意一个连续函数或映射, BP神经网络均可用一个三层网络加以实现。虽然增加网络层数可以更进一步降低误差,提高精度,但同时也使网络复杂化,从而增加了网络的训练时间。而误差精度的提高也可以通过增加隐含层中的神经元数目来获得,其训练效果比增加层数更容易观察和调整。基于此,本文选择三层BP神经网络来实现动态交通流的建模。

#### 3.2 神经元数目的选择

由式(1),可以得到如下非线性映射:

$$\rho_i(k+1) = h_i(\rho_i(k), q_{i-1}(k), q_i(k), r_i(k), s_i(k)) \quad (4)$$

根据式(2),流量  $q_i(k)$  可用下列映射表示:

$$q_i(k) = h_1[\rho_i(k), v_i(k), \rho_{i+1}(k), v_{i+1}(k), r_{i+1}(k), s_i(k)] \quad (5)$$

由式(3)可知,一旦路段划分确定,可采用下面的离散方程来表示其动态关系:

$$v_i(k+1) = h_2[v_i(k), v_{i-1}(k), \rho_{i+1}(k), \rho_i(k)] \quad (6)$$

由式(4)至式(6)可得:

$$\rho_i(k+1) = g_i(\rho_{i-1}(k), v_{i-1}(k), \rho_i(k), v_i(k), r_i(k), s_i(k), \rho_{i+1}(k), v_{i+1}(k)) \quad (7)$$

不失一般性,式(7)可表示为:

$$\rho_i(k+1) = c\rho_i(k) + f_i(\rho_{i-1}(k), v_{i-1}(k), \rho_i(k), v_i(k), r_i(k), s_i(k), \rho_{i+1}(k), v_{i+1}(k)) \quad (8)$$

式中:  $c$  为常数,满足  $|c| < 1$ ,  $f_i$  表示交通流模型的非线性部分,用BP神经网络来近似。

通过以上分析可见,只要已知路段  $i$  当前时刻的  $\rho_i(k)$ 、 $v_i(k)$ 、 $r_i(k)$ 、 $s_i(k)$ ,以及上下游路段的  $\rho_{i-1}(k)$ 、 $v_{i-1}(k)$ 、 $\rho_{i+1}(k)$ 、 $v_{i+1}(k)$ ,就可以计算出路段  $i$  下一时刻的  $\rho_i(k+1)$  和  $v_i(k+1)$ 。因此,本文选取神经网络的输入层神经元数目为8,输出层神经元数目为2。文献[9]指出,隐层神经元的数目最多可以选择为输入层神经元数目的平方。考虑到计算精度和计算量等方面的因素,本文选取隐层神经元的数目为50。综上所述,可以得到BP神经网络的模型结构如图1所示。

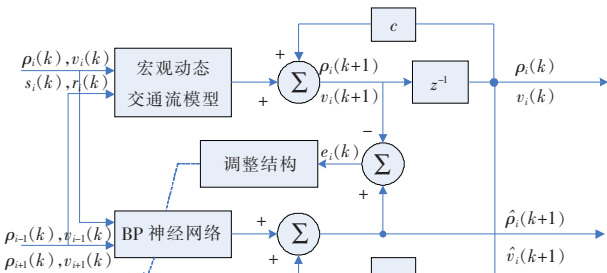


图1 路段  $i$  的BP神经网络模型结构

### 4 仿真研究

为简单且不失一般性,这里讨论长度为9 km的高速公路,按每段1 km分为9个等长路段,第3路段有一入口匝道,第8路段有一出口匝道,其结构示意图如图2所示。

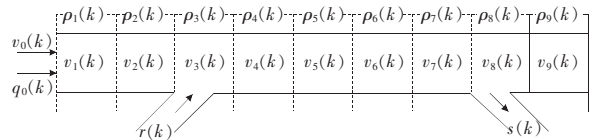


图2 某段高速公路示意图

#### 4.1 神经网络训练

首先,利用式(1)、(2)、(3)给定的宏观动态交通流模型模拟150 min内的交通流数据。采样周期取为10 s,因此共产生900组数据,将其作为BP神经网络的训练样本。为了使神经网络能够学习到交通流特性,训练样本选择了密度和速度从低逐渐升高再降低的变化信息,对神经网络进行学习。模型中的参数取为<sup>[10]</sup>:  $a=3, v=34.7, \xi=1, v_f=98 \text{ km/h}, \rho_{cr}=40 \text{ veh/km/lane}, \tau=19.4/3 \text{ 600}, \lambda=34.7, \alpha=0.95, \Delta=1 \text{ km}$ 。假定第1路段首端流量为1 600 veh/h、平均速度为80 km/h;入口匝道流量和出口匝道流量的变化曲线如图3所示。图4所示是路段3的实际交通密度、速度与神经网络训练结果的比较。图中实线表示实际值,虚线表示神经网络的输出值(下同)。

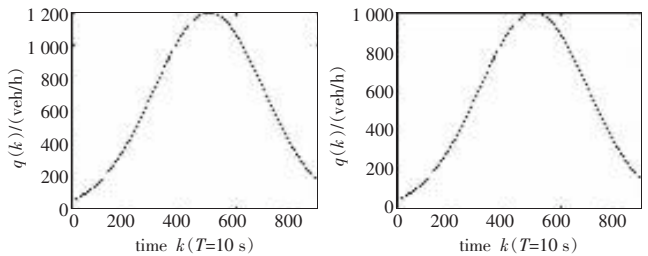


图3 入口匝道流量和出口匝道流量变化曲线

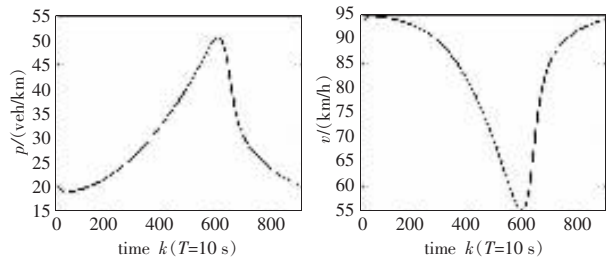


图4 路段3的实际交通密度、速度与神经网络的训练结果

#### 4.2 神经网络测试

对BP神经网络的训练完成后,再用宏观动态交通流模型来模拟150 min内的另外一组交通流数据作为BP神经网络的测试样本,采样周期取为10 s,假定第1路段首端流量不变,入口匝道流量和出口匝道流量如图5所示。图6和图7给出了路段3和路段8的实际交通流密度和平均速度以及利用BP神经网络得到的结果的比较。

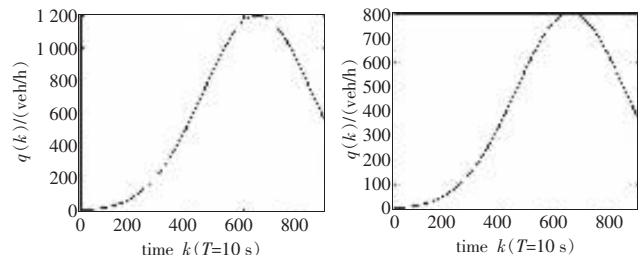


图5 入口匝道流量和出口匝道流量变化曲线

### 5 结束语

本文通过对宏观动态交通流模型的分析,针对该模型在各

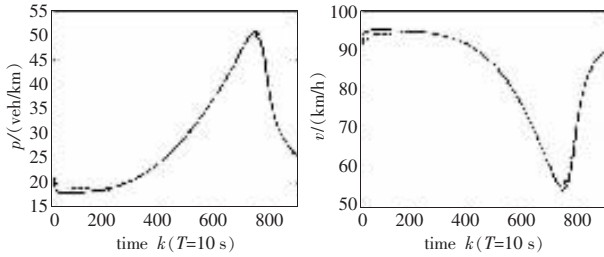


图6 路段3的交通流密度和平均速度

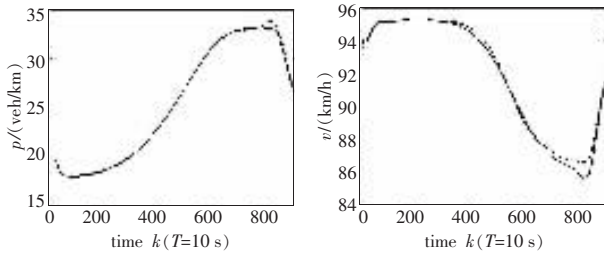


图7 路段8的交通流密度和平均速度

种交通流特性情况下泛化能力差的缺点以及动态环境下对交通流的在线建模和控制的要求,提出了一种应用BP神经网络对高速公路宏观动态交通流进行建模的方法。通过合理选择神经网络的训练样本,得到了较为准确的神经网络模型。仿真结果表明,该模型在建立高速公路交通流模型方面有很多优越的特性,能以较高的精度准确地描述高速公路交通流的真实行为,并能够适应交通状况的变化。同时本文介绍的方法对于交通流的在线建模和神经网络智能控制有着重要的意义。

(收稿日期:2007年1月)

(上接8页)

(9)通过验证,继续执行;

(10)违反规则1或2,拒绝访问,并从当前访问集中删除b。

#### 4.4.4 主客体安全级别的修改

网络隔离系统中实现的BLP访问控制,不允许主客体的安全标记在会话期间发生变化,只有通过安全管理员在会话前通过管理控制台才可以修改。管理控制台是一个客户端程序,服务程序位于隔离系统的内外网单元中。内外网单元中修改主客体安全级别的函数定义为:

```
int mSLevel(int sID, char newLevel) //将sID指示主体的安全标记更改为newLevel级别
```

```
int mOLevel(int inode, char newLevel) //将inode指示客体的安全标记更改为newLevel级别
```

对客体安全级别的修改需要调用前文所述的setLevel()函数。另外类似地还需提供修改主客体所属类别的函数接口供控制台使用。对主客体安全级别的修改可能会造成信息的泄密,因而在修改前应该先中断所有有关数据通信的会话。

## 5 结论

本文通过采用系统调用置间的方法实现了BLP对网络隔离系统中机密信息的多等级保护。基于此方法实现的访问控制其体系结构清晰,同时采用LKM技术能很好地利用模块化程序设计的优点,因此整个系统有较好的可维护性和可扩展性。其次文中所设计的体系结构有着较好的普遍性,适应于强制访问控制中其他模型的实现。但是BLP模型仅适用于对信息机密性的保护,在其基本特性的控制下,虽然不能发生信息泄密

## 参考文献:

- [1] Papageorgiou M. Modeling and real-time control of traffic flow on the southern part of Boulevard Peripherique in Paris: Part I modeling[J]. Transportation Research, 1990, 24(5): 345-359.
- [2] Papageorgiou M. Some remarks on macroscopic traffic flow modeling[J]. Transportation Research-A, 1998, 32(5): 323-329.
- [3] Kotsialos A, Papageorgiou M. Nonlinear optimal control applied to coordinated ramp metering[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2004, 12(6): 920-933.
- [4] Zhang Jian-long, Boitor A, Ioannou P. Design and evaluation of a roadway controller for freeway traffic[C]//Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Vienna, Austria, 2005: 543-548.
- [5] Zhang H M, Ritchie S G. Freeway ramp metering using artificial neural networks[J]. Transportation Research-C, 1997, 5(5): 273-286.
- [6] 刘伟铭. 高速公路系统控制方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [7] Kachroo P, Ozbay K, Grove D E. Isolated ramp metering feedback control utilizing mixed sensitivity for desired mainline density and the ramp queue[C]//2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings-Oakland(CA), 2001: 631-636.
- [8] Ho F, Ioannou P. Traffic flow modeling and control using artificial neural networks[J]. IEEE Control System Magazine, 1996, 16(5): 16-26.
- [9] 袁曾任. 人工神经网络及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [10] Xiao Jian-mei, Wang Xi-huai. Freeway traffic flow modeling based on neural network[C]//The IEEE 6th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2003: 136-139.

事件,但是可能会对信息完整性造成破坏。进一步的改进方法是增加Biba模型来控制信息的完整性,然而两个不同的模型同处一个系统中对同样的信息进行不同侧面的控制,使得系统变得复杂难以控制,因此保证信息机密性和完整性的统一模型将是强制访问控制方法中的研究重点。

(收稿日期:2007年2月)

## 参考文献:

- [1] Sandhu R. Access control: the neglected frontier[C]//Proc First Australasian Conference on Information Security and Privacy, Wollongong, Australia, June 23-26, 1996.
- [2] Bell D E, La Padula L J. Secure computer system: unified exposition and multics interpretation, MTR-2997[R]. Bedford, MITRE Corporation, 1976.
- [3] Bell D E, La Padula L J. Secure computer systems: mathematical foundations. ESD-TR-73-278, Vol I, AD 770 768, Electronic Systems Division, Air Force Systems Command, Hanscom AFB, Bedford, Massachusetts, November 1973.
- [4] 梁洪亮, 孙玉芳, 赵庆松, 等. 一个安全标记公共框架的设计与实现[J]. 软件学报, 2003, 14(3): 547-552.
- [5] Watson R, Feldman B, Migus A, et al. Design and implementation of the trusted BSD MAC framework[C]//Proceedings of the DARPA Information Survivability Conference and Exposition (DISCEX'03), 2003.
- [6] Juan-Mariano de Goyeneche Elena Apolinario Fernández de Sousa. Loadable Kernel Modules. Technical University of Madrid January/February 1999 IEEE Software.