第29卷 第6期 自 动 化 学 报 Vol. 29, No. 6
2003年11月 ACTA AUTOMATICA SINICA Nov., 2003

两相邻路口交通信号的协调控制[1)]

李灵犀 高海军 王飞跃
(中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室 北京 100080)
(E-mail: robertleelx@263.net; zkyghj@263.net)

摘 要 传统路口的控制算法大多研究单个路口的信号控制情况. 该文根据路口之间的相互关系,利用高阶广义神经网络及模糊推理提出了两个相邻交通路口的协调算法. 利用此算法设计的交通信号控制器,可以有效地协调两相邻路口的红绿灯信号,在一定程度上改善了交通路口的交通状况.

关键词 模糊推理, 高阶广义神经网络, 交通信号控制, 协调控制算法
中图分类号

Control Signal Coordination of Two Adjacent Traffic Intersections

LI Ling-Xi GAO Hai-Jun WANG Fei-Yue
(*The Key Laboratory of Complex System and Intelligent Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100080)
(E-mail: robertleelx@263.net; zkyghj@263.net)

Abstract Traditional traffic control algorithms have been focused on isolated road intersections. Based on the estimated interaction of two adjacent intersections, this paper proposes a traffic coordination algorithm for two adjacent traffic intersections using fuzzy rules and high-order generalized neural networks. Simulations with synthetic data indicate that the traffic controller based on the proposed algorithm can improve the traffic conditions at both intersections.

Key words Fuzzy logic, high-order generalized neural networks, traffic signal control, traffic signal coordination

1 引言

路口交通信号的工作很早就被研究,如Gartner(1983),Lin和Cooke(1986),Lin和Vi-

1) 国家杰出青年基金(60125310)和引进国外杰出人才基金([1999]0359)资助
Supported by the National Outstanding Young Scientist Research Awards(60125310) and the Oversea Outstanding Talent Program([1999]0359)
收稿日期 2001-11-20 收修改稿日期 2002-03-13
Received November 20, 2001; in revised form March 13, 2001

jayakumar(1988)等.最近的研究主要集中在人工智能技术上(专家系统,人工神经网络,模糊推理等),如 Pappis 和 Mamdani[1],Bisset[2]等等.但是他们多是研究单个交通路口的信号控制,而在实际情况中,两个相邻交通路口之间存在很大的相关性.因此,单个路口的信号控制很难描述实际的交通状况,所以其应用范围较窄;而对于两路口的协调控制而言,由于它综合考虑了路口相互影响的因素,扩展性较强,所以有相当的实用价值,因此应当对交通路口的信号协调控制进行深入的研究.

为了解决传统模型的不足,同时考虑相邻路口间的相关性,本文利用模糊推理[3]及高阶广义神经网络[4]提出了两个相邻路口间信号控制的协调算法,利用此算法有效地解决了两相邻路口间的红绿灯的信号控制问题.交通实践经验表明,路口相关性是有条件的,即两相邻路口之间的距离不大于 800 米,所以这里我们只讨论具有这种相关性的相邻路口.

2 路口模型及其分析

国内外许多学者对交叉路口的模糊控制作了研究[1,5,6],其中最早将模糊规则应用于路口控制的是 Pappis 等[1],我国陈洪等[6]学者在此基础上进行了进一步的研究.但是这些研究是针对孤立的交叉路口,没有考虑路口间的相关性,这和路口实际情况有相当的差别.

在两个相邻的路口中,中间路段的车流量是两路口协调控制的关键.如何比较精确地预测中间路段的车流量是两路口协调控制的重要问题.在本文中我们利用高阶广义神经网络来进行预测.高阶广义神经网络与普通神经网络的根本区别是其转移函数不是固定不变的一族函数,通过调节其参数可以确定神经元转移函数在特定时刻的形状,从而使得网络的学习过程更加容易.

我们在这篇文章中研究的是两个相邻路口的情况,其几何模型如图 1 所示.

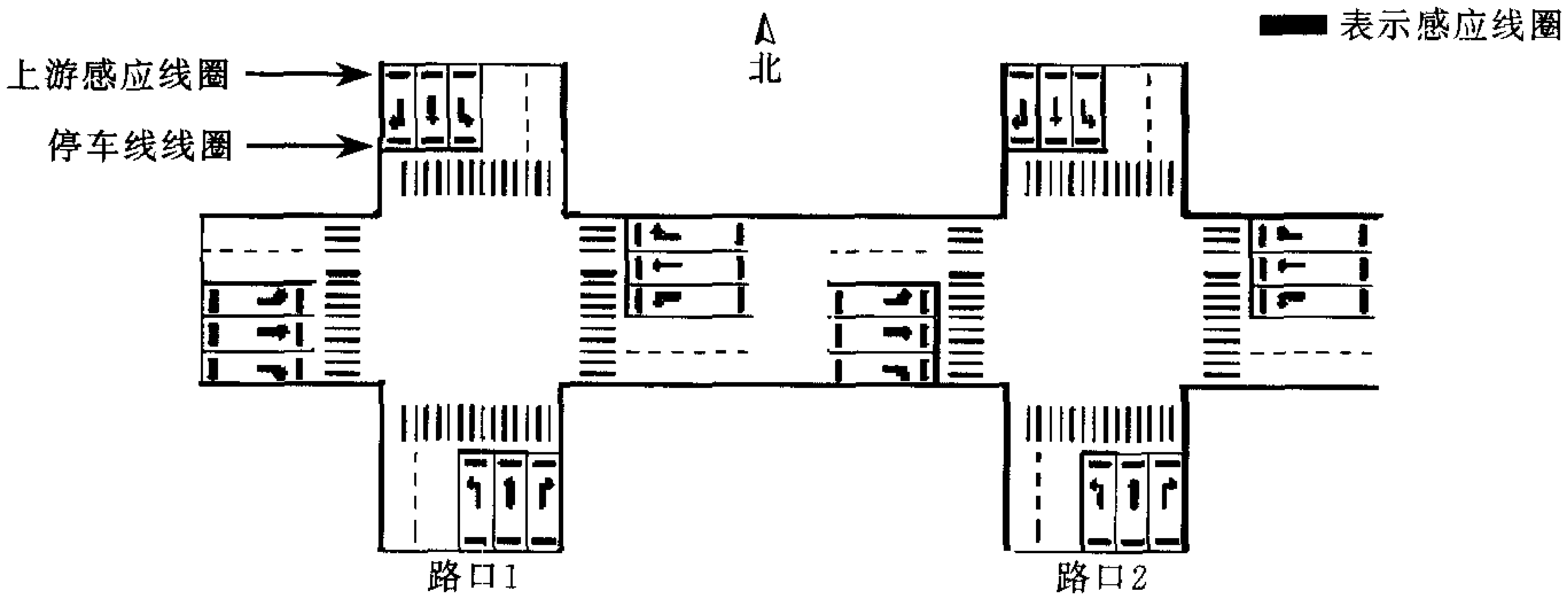

图 1 相邻路口的几何模型

Fig. 1 The geometry model of two adjacent intersections

从图中可以看出,每个路口有 4 个方向.每个方向有直行、左转、右转车道.每个车道都有两个感应线圈,上游感应线圈用来测量$(t-\Delta t,t)$时间内进入该方向车的数量.t 时刻两路口各车道等待车辆的长度分别定义为 $Q_{iL_j}(t)$,$Q_{iT_j}(t)$,$Q_{iR_j}(t)$.t 时刻两路口各方向通过上游感应线圈和停车线感应线圈的车辆数分别定义为 $I_{ij}(t)$和 $O_{ij}(t)$,其中 $i\in$(路口 1,路口 2),$j\in$(东,南,西,北).L,T,R 分别表示左转、直行和右转.

定义每车道上游线圈和停车线线圈之间的距离为 D',平均车辆的长度为 L',那么每车

道最大可检测的车队长度为 $Q_{limit}=D'/L'$. 所以，上述的所有等待车辆长度参数必须满足条件：$0\leqslant Q_i\leqslant Q_{limit}$. 此外，我们定义：$D$ 是路口 1 和路口 2 之间的距离，$Q_{12}(t)$ 是 t 时刻路口 1 到路口 2 中间路段的车辆数，$Q_{21}(t)$ 是 t 时刻路口 2 到路口 1 中间路段的车辆数. 这里 $Q_{12}(t)$，$Q_{21}(t)$ 是通过高阶广义神经网络预测得到的.

每个路口的信号控制是 4 相位的，如图 2 所示. 在我们的模型中，最小绿灯持续时间 T_{min} 表示每个相位被提供的最小绿灯时间，这样可以保证绿灯信号足够的长，使得单个汽车能够安全地通过交叉路口. 最大绿灯持续时间 T_{max} 代表了每个相位被提供的最大绿灯时间. 对于路口排队长度和两个感应线圈之间车辆数的计算请见文献[5].

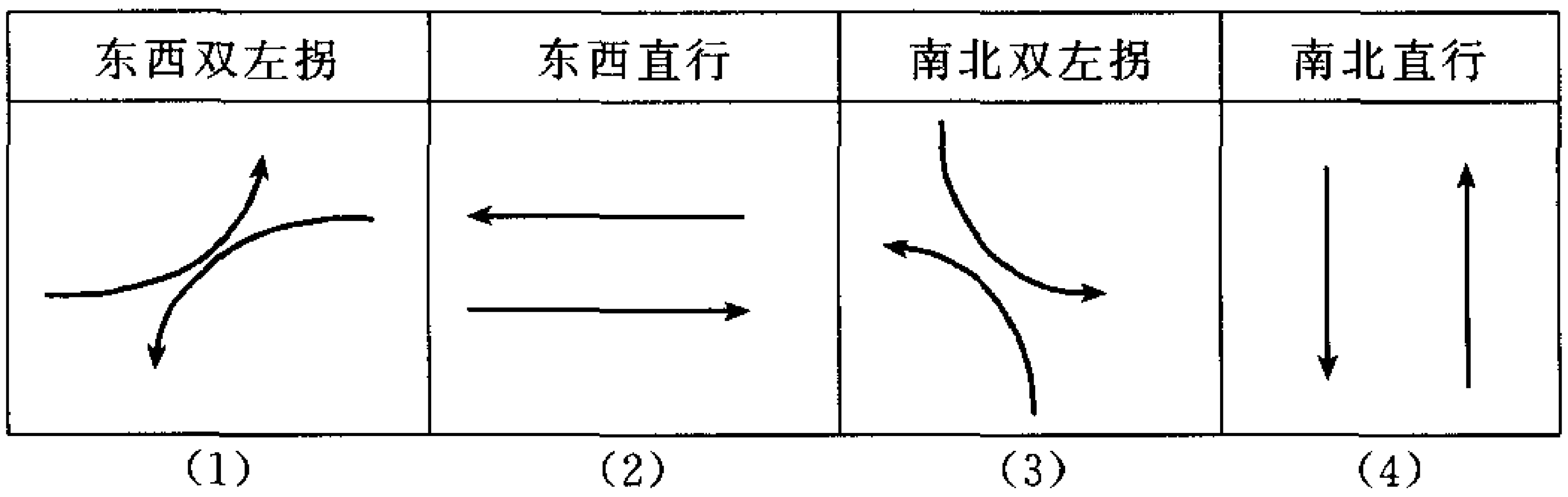

图 2　信号控制的 4 种相位描述
Fig. 2　The four-phases of control signal

3　多相位的协调控制算法

一般来说，当等待车辆队长较短时，相位时间应该短一些，但不能小于 15s，以免某一方向的绿灯时间小于 15s 使得车辆来不及通过路口而影响交通安全；当等待车辆队长较长时，相位时间应该长一点，但一般不能超过 150s，否则某一相位太长而影响司机的心里承受能力. 基于上述的基本原则我们提出两相邻路口的控制协调算法. 具体描述如下：

步骤 1. 两路口分别从初始相位 i_1，i_2 开始，把这两相位作上标记 $Tag=1$，其他各相位的标记 $Tag=0$，同时指定两路口各相位的最短绿灯时间 T_{min} 和最大绿灯时间 T_{max}；

步骤 2. 先给两初始相位以最短的绿灯时间 T_{min}；

步骤 3. 在 T_{min} 时刻末，计算两路口当前绿灯相位各车道上两感应线圈间车辆数和红灯相位各车道上等待车辆数，然后分别计算出各路口两感应线圈间车辆数的最大值 $Q_{1green}(t)$，$Q_{2green}(t)$ 以及两路口各车道上等待车辆长度的最大值 $Q_{1red}(t)$，$Q_{2red}(t)$；

步骤 4. 利用高阶广义人工神经网络计算出路口 1 到达路口 2 的车流量 $Q_{12}(t)$，以及路口 2 到达路口 1 的车流量 $Q_{21}(t)$；

步骤 5. 为了减少模糊输入量，定义函数 $F_1(t)=Q_{1green}(t)-Q_{1red}(t)$，$F_2(t)=Q_{2green}(t)-Q_{2red}(t)$，$M_1(t)=Q_{21}(t)-Q_{12}(t)$，$M_2(t)=Q_{12}(t)-Q_{21}(t)$，

$$k=\begin{cases}1, & k\text{ 是相位 }2,3\text{ 时}\\ -1, & k\text{ 是相位 }1,4\text{ 时}\end{cases}\quad(\text{相位如图 2 所示})；$$

步骤 6. 判断路口 k 的值(当 $k=1$ 时路口绿灯相位的车流量会对中间路段的车流量产生影响，当 $k=-1$ 时不会产生影响)，根据 $F_1(t)$，$F_2(t)$，$M_1(t)$，$M_2(t)$ 利用模糊推理规则分别来决定两个路口绿灯的延长时间 G_{T1}，G_{T2}；

步骤 7. 判断路口 1 相位标记是否都为 1，若不是，在 G_{T1} 时刻末计算出相位标记 $Tag=$

0 的车道上车辆排队长度最大的相位作为下一个开始相位并给以最短绿灯时间 T_{min}，返回步骤 3；若是，令所有相位标记为 0，并比较 G_{T1} 时刻后各相位的车队的长度，把车辆排队长度最大的相位作为下一周期的初始相位并作上标记 $Tag=1$，返回步骤 2. 路口 2 类似考虑.

4 模糊控制器的设计

输入变量：$F_1(t)$，$F_2(t)$，$M_1(t)$，$M_2(t)$.

输出变量：路口 1 的绿灯延长时间 G_{T1}，路口 2 的绿灯延长时间 G_{T2}.

$F_1(t)$，$F_2(t)$，$M_1(t)$，$M_2(t)$，G_{T1}，G_{T2} 各模糊语言变量的隶属函数如图 3 所示.

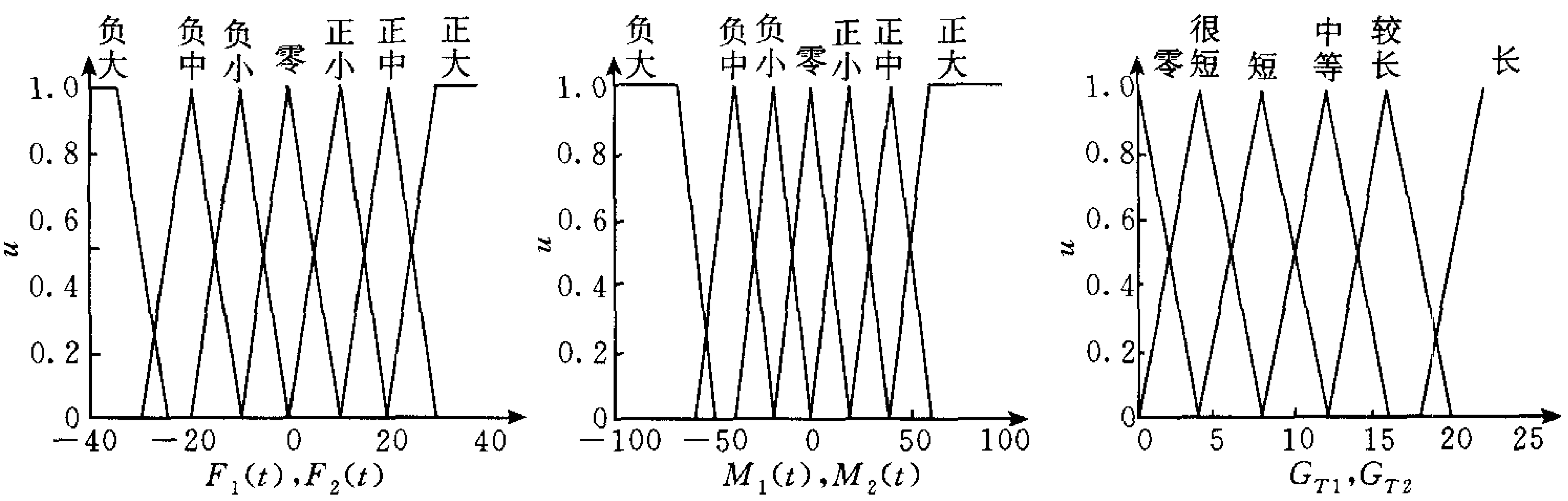

图 3 输入变量各语言变量的隶属函数

Fig. 3 Membership functions

具体的模糊规则如表 1、表 2 所示（路口 1 的模糊规则）.

表 1 $k=1$ 时规则

Table 1 The rules when $k=1$

$M_1(t)$ \ $F_1(t)$	负大	负中	负小	零	正小	正中	正大
负大	零	零	零	零	零	零	零
负中	零	零	零	零	零	零	很短
负小	零	零	零	零	零	很短	短
零	零	零	零	零	很短	短	中等
正小	零	零	零	很短	短	中等	较长
正中	零	零	很短	短	中等	较长	长
正大	零	很短	短	中等	较长	长	长

表 2 $k=-1$ 时规则

Table 2 The rules when $k=-1$

$M_1(t)$ \ $F_1(t)$	负大	负中	负小	零	正小	正中	正大
负大	零	零	零	零	零	很短	短
负中	零	零	零	零	很短	短	中等
负小	零	零	零	很短	短	中等	较长
零	零	零	很短	短	中等	较长	长
正小	零	很短	短	中等	较长	长	长
正中	很短	短	中等	较长	长	长	长
正大	短	中等	较长	长	长	长	长

路口 2 的模糊规则可以类似考虑.

5 仿真实验及结果分析

我们的仿真实验是在两路口交通流仿真软件上进行的，采用的目标函数为系统性能指标最小算法，即

$$J=(k_1T+k_2S)/k_3P \tag{1}$$

这里 T 表示车辆平均延误时间；S 表示平均停车数量；P 表示通过交叉口平均车辆数；k_1，k_2，k_3 为加权数. k_1，k_2，k_3 可以根据不同的要求进行适当地选择，根据我国的实际情况，本文

取 k_1 为 0.04 元/秒，k_2 为 0.6 元/秒，k_3 为 0.4 元/秒，这里各个性能指标用平均值计算，仿真时间为 60 分钟，仿真时所选的两路口是北京车公庄大街东西方向的两相邻路口. 仿真采用 4 相位，绿灯的最小时间为 15 秒，最长绿灯时间为 45 秒. 两路口之间的距离为 600 米，其各相位的饱和流量为 2100 辆/小时. 绿灯的损失时间为 5 秒. 本文采用负指数分布来描述交通流.

考虑中间路段的车流量是对两路口协调控制的性能指标影响最大的参数，我们在仿真实验中改变中间路段的总车流量，计算出不同流量下的性能指标，并把它和传统感应控制结果相比较，结果如图 4 所示.

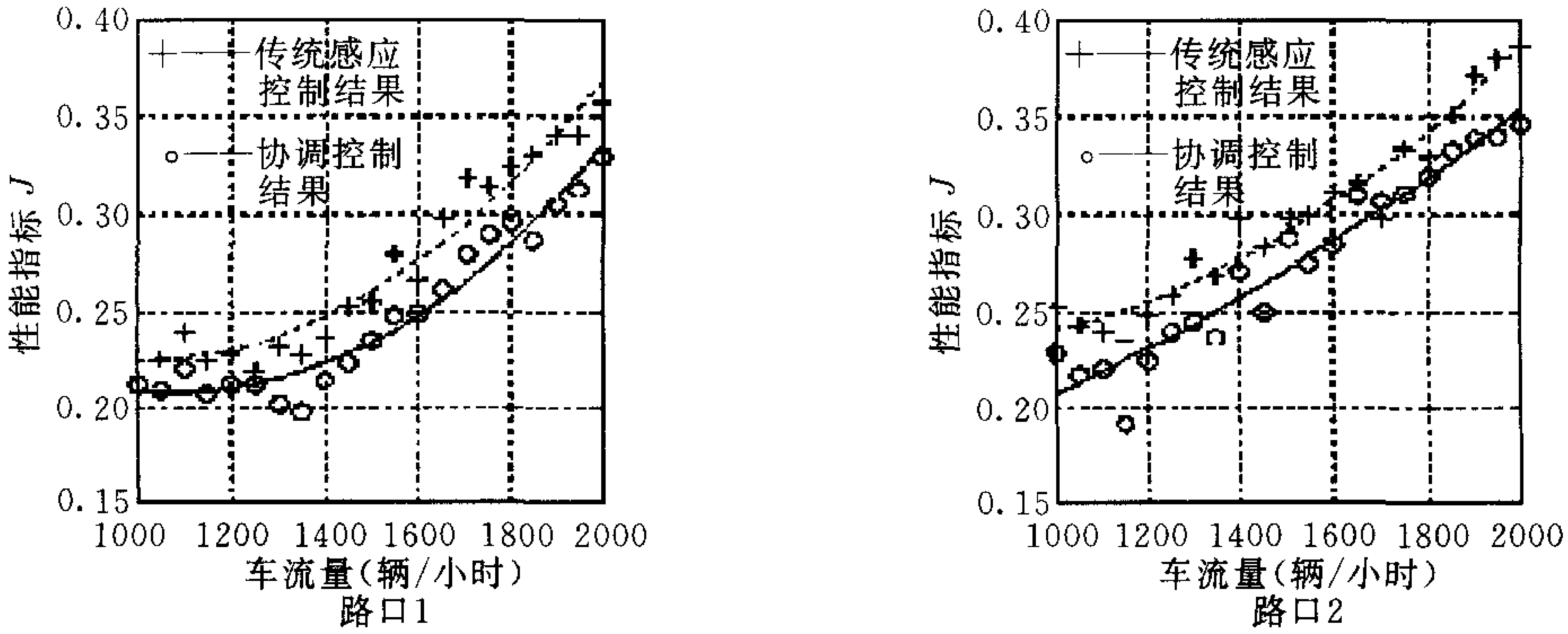

图 4　两种控制结果的比较

Fig. 4　The comparison of two control methods

从仿真结果中可以清楚地看到，两路口协调模糊控制算法比传统的感性控制算法的性能要优越. 所以，可以说本文的算法对于解决两路口车辆的协调控制问题是切实有效的.

6　结束语

城市交通的智能控制是今后发展的必然趋势，模糊控制是其中的一种有效方法. 本文提出了一种以模糊推理为基础的两相邻交叉路口信号控制的协调算法，从仿真实验中可以分析得出，该算法具有以下优点：

1)本文综合考虑了各个车道上的车队长度，以及各车道两感应线圈之间车的数量和两路口间的车流量，因此比以往的控制方法更接近人的决策过程；

2)该算法和其他算法相比能够比较灵活地进行信号配时，基本上能够保证从各方向通过交通路口的车辆所需等待的时间最少；

3)该算法的收敛速度非常迅速，能够满足现代交通控制的要求.

因此，该算法对解决两路口协调控制有着重要的意义，在以后的工作中我们还需要对算法进行更深入的研究. 对于两个路口而言，本文采用了 4 相位控制，如果要使交通通行效率更高，还可以尝试可变多相位控制. 对 3 个路口甚至多路口的情况，何时能够采用我们的算法进行协调，需要一个连动判据[7]，把 3 路口的其中两个相邻路口应用我们的算法进行协调控制，同时把这两个路口输入、输出变量提取出来，再利用该算法与第 3 个路口进行信号协调控制. 多路口的情况也可以类似考虑，两个路口之间进行配对协调，直至扩展到整个城市交通路口，实现整个交通网络的智能控制，对智能交通进行不断地优化.

References

1 Pappis C, Mamdani E. A fuzzy logic controller for a traffic junction. *IEEE Transactions on Systems Man Cybernetics*, 1977, **7** (10):707～717

2 Kelsey R L, Bisset K R. Simulation of traffic flow and control using fuzzy and conventional methods. In: Jamshidi M (ed). Fuzzy Logic and Control: Software and Hardware Applications. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1993. 262～278

3 Wang Fei-Yue , Kim Hung-Man. Implementing adaptive fuzzy logic controllers with neural networks: A design paradigm. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 1995, **3**(2): 165～180

4 Yang Zhao-Sheng. Inducement System Theories and Models for City Traffic Flow. Beijing: People's Traffic Publishing House,2000(in Chinese)

5 Trabia B, Kaseko S, Ande. A two-stage fuzzy logic controller for traffic signals. *Transportation Research Part C*, 1999, **7**(3): 353～367

6 Chen Hong,Chen Sen-Fa. A method of traffic real-time fuzzy control for an isolated intersection. *Signal and Control*, 1992,**21**(2):74～78(in Chinese)

7 Liu Xiao-Ming, Chen De-Wang,Gong Xiao-Yan,Tang Shu-Ming. Study on the criteria of road relative control based on self-organization theory. In:CASIA Annual Conference on Automation and Information Technology,2001. 129～144(in Chinese)

李灵犀 2000 年毕业于清华大学，现为中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室硕士研究生. 主要研究方向为智能高速公路系统、路网协调系统.

(**LI Ling-Xi** Graduated from Tsinghua University in 2000. He is a master student of the key laboratory of Complex Systems and Intelligent Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interests include intelligent freeway system and road network coordination system.)

高海军 2000 年毕业于宁波大学，现为中科院自动化所复杂系统与智能科学重点实验室硕士研究生. 主要研究方向为城市多路口协调系统、多智能体系统.

(**GAO Hui-Jun** Graduated from Ningbo University in 2000. He is a master student of the key laboratory of Complex Systems and Intelligent Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interests include urban multi-intersection coordination system and multi-agent system.)

王飞跃 1990 年毕业于美国伦瑟利尔理工学院，获博士学位，现为中科院自动化所复杂系统与智能科学重点实验室主任，美国亚利桑那大学系统与工程系终身教授，2003 年 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference General Chair, 2004 年 IEEE Intelligent Vehicles Conference Co-Program Chair. 主要研究方向为语言动力学、复杂系统、智能控制等等.

(**WANG Fei-Yue** Received his Ph. D. degree in Computer and Systems Engineering, RPI in 1990. He is the director of the key laboratory of Complex Systems and Intelligent Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, and also is the professor of Program for Advanced Research in Complex Systems, Department of Systems and Industrial Engineering, the University of Arizona, Tuson, USA. He is the General Chair of IEEE Intelligent Transportation Systems Conference in 2003 and the Co-Program Chair of IEEE Intelligent Vehicles Conference in 2004. His research interests include linguistic dynamics, complex system, and intelligent control.)