

基于多路口预测与实时配时合作的交通控制系统设计

杨乾坤, 王晓红

(上海理工大学 出版印刷与艺术设计学院, 上海 200093)

摘要: 交通流量的预测是实现智能交通控制的核心问题;利用电子车牌识别法对车辆进行计数,根据数理统计原理筛选对决策路口影响最大的样本数据,建立 NARX 动态神经网络预测模型,以路网多路口交通流的时间序列数据进行训练,预测后一天同时段的车辆数,计算出两方向总体配时差值,再分配于早晚高峰时段,并进行实验得出理想现象;严重拥堵情况下启动实时配时与应急方案;选取上海市长宁区常年拥堵的金沙江路与中山北路交叉口为中心点,进行 Matlab 仿真实验,所得预测数据与实际值比较差值较小,验证了以多路口数据预测单路口的创新设计能在实际交通中应用,且能与实时配时方案合作,缓解交通拥堵。

关键词: 多路口; NARX; 预测; 交通控制

Traffic Control System Design Based on Multi-road Prediction and Real-time Timing Cooperation

Yang Qiankun, Wang Xiaohong

(Publishing Printing and Art Design Institute Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The forecast of traffic flow is the core issue of intelligent traffic control. Using electronic license plate recognition method to count vehicles, according to the principle of mathematical statistics to filter the sample data that has the greatest impact on decision intersections, establish a NARX dynamic neural network prediction model, training the time series data of road traffic at multiple intersections to predict the number of vehicles in the same period of the next day. Calculate the total time difference between the two directions and redistribute them in the morning and evening the rush hours, and experiment to get the ideal phenomenon; Real-time timing and emergency plans are initiated under severe congestion. Selecting the intersection of Jinsha River Road and Zhongshan North Road as the center, which are always congested in Changning District of Shanghai, using Matlab to simulate, and the difference between the predicted data and the actual value was smaller. It verifies that the innovative design of a single intersection predicted by multi-road data can be applied in actual traffic and can cooperate with real-time time-planning solutions to alleviate traffic congestion.

Keywords: multiple intersections; NARX; forecast; traffic control

0 引言

截至 2017 年底全国机动车保有量达 3.10 亿辆,交通拥堵降低了城市运行效率,延误居民出行又增加环境污染。提高车辆行驶效率,既要求城市建设规划出合理的道路,又能够高效控制交通流。Zsolt Csaba Johanyák 提出基于历史数据创建的驾驶员模型微观交通模拟器^[1],针对不同的交通流量,利用模糊模型改变绿色周期比率。Huan Wang 利用 DSRC 检测实时交通流量,并运用机器学习技术预测下一个交通灯周期短时的流量变化^[2],使控制系统调整计时计划。张婧怡提出以平均排队长度作为路权影响因子的动态配时模型和以平均延误作为路权影响因子的动态配时模型^[3],仿真说明该模型更能直观的反映路面拥堵情况。

交通灯系统作为一个时变的具有随机性的动态系统,需要路网协同考察。上述研究未提出突发情况的配时方案;

未考虑多路口带来的影响;选择单个路口为研究点,以模糊算法建立配时系统,容易累积配时误差。故本文提出多路口预测与实时合作的交通控制方案。系统设计总体思路,采取电子车牌计数收集车总量,用 NARX (Nonlinear AutoRegressive models with Exogenous Inputs) 时间序列神经网络进行预测^[4],计算两方向配时时间差,并在局部加入实时配时方案解决严重拥堵情况。

1 训练数据车辆数的提取方法

1.1 视频图像采集计数

天网工程利用图像采集、传输、控制、显示等设备和控制软件组成,是对固定区域进行实时监控和信息记录的视频监控系统。视频图像采集计数中,可利用天网工程提取车辆图像^[5],并对 RGB 图像进行背景差分,分辨出运动车辆区域,通过在视频图像中设置固定虚拟检测区实现计数。但不宜计取动态车辆数目,且当同一道路排队车辆体积差别大时,图像采集误差较大。

1.2 DSRC 和 C-V2X 技术

DSRC 和 C-V2X 技术两种技术皆可实现车辆与外部的通信。通过建立车与路况之间的联系实时制定优化的驾驶

收稿日期:2018-05-15; 修回日期:2018-06-20。

作者简介:杨乾坤(1995-),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事机电一体化方向的研究。

王晓红(1971-),女,博士,教授,主要从事色彩管理和印品质量控制方向的研究。

路线，在行程中提前进行数据的不全面统计；实际计数时，只能实现短距离（10 m~30 m）的精确通信，要实现车流量的计数需设置多个路侧单元，加大了投入成本，且并非所有车辆可实现上述两种通讯协议。

1.3 电子车牌

2017 年，国务院《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》明确指出“研究使用汽车电子标识”，随着科技发展与国家政策的推进指导，电子车牌发展将快速进入黄金期。利用 RFID 的技术特点^[6]，在汽车的前挡风玻璃内侧装上一枚含有该汽车基本信息的电子识别标签，当车辆经过装有经授权的射频世界读写器时，后台管理系统将自动采集该车辆信息，有效实现车辆精细化管理。虽然电子车牌存在在高温情况下易失效的弊端，但车辆温度大多可控，能削弱不稳定性因素，在不增加交通成本的前提下能实现较好的车流计数。经以上各方法的对比，我们选择电子车牌识别技术采取车流量的方法。

2 NARX 神经网络模型的建立

时间序列分析定量预测方法承认事物发展的延续性与随机性，一般反映 3 种实际变化规律：趋势变化、周期性变化与随机性变化，较 BP 神经网络相比，它作为动态神经网络，增加了一定的序列学习能力，在分析、仿真、系统检测与控制等领域有重要应用。该模型也称为带外部输入的非线性自回归滤波器，优于全回归神经网络，并且可以和全回归神经网络互相转换，所以它是非线性动态系统中应用最广泛的一种神经网络。交通系统作为非线性动态系统，各道路交叉口相互影响，车流量的变化具有随机性也有一定的周期性，所以适于运用该预测模型。本模型建立的目的，是利用多路口车辆数历史数据，训练预测目标路口未来时间段内的两方向车流量。

2.1 基本假设

- 1) 道路交叉口的车流量是连续的；
- 2) 交通道路抽象为三横三纵网状结构；
- 3) 周围 8 个路口车流量，只考虑其经过车辆驶向中心路口方向车辆的影响。

2.2 道路模型的建立

为了后续所述交通控制体系的模拟及检测，选取上海市长宁区常年拥堵的⑨金沙江路与中山北路交叉口为中心点，

与其附近的①白兰路兰溪路、②白兰路与中山北路交叉口、③凯旋北路与曹杨路交叉口、④金沙江路枣阳路、⑤金沙江路凯旋北路、⑦华夏路与中山北路等 8 个临近交叉路口，抽象三横三纵交通路线，如图 1 所示。

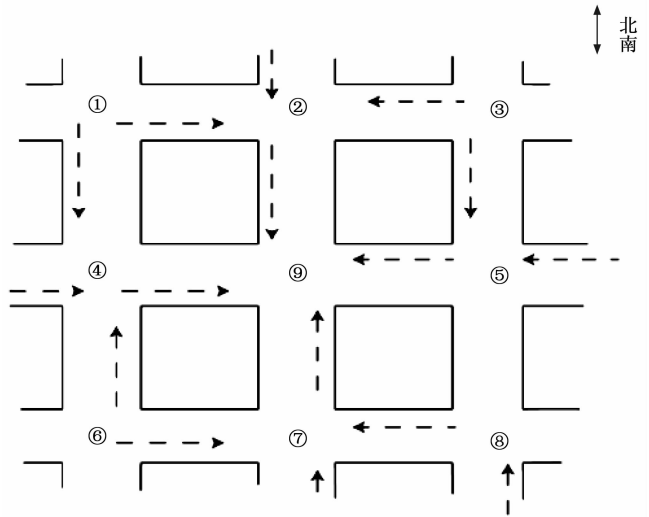


图 1 交通路线抽象图

2.3 车辆数据分析

利用电子车牌识别法统计经过车辆数，选取近 66 天九路口经过车辆进行数据分析。运用数理统计学计算周围八路口对中心路口车辆数的影响系数，得出对金沙江路与中山北路交叉口车流量影响最大的 6 个路口为②③④⑤⑦⑧。筛选最相似的此 6 种样本数据作为 NARX 神经网络训练输入量，该相似数据选取法（Similar Data Selective Learning）所获得的数据^[7]，含有最充分的信息量。选取训练数据过程中，考虑时间序列与不同位置的综合贡献，加大了输入层数据的质量；利于提高预测的时效性及目标准确性。

2.4 输入输出层的设计

我们将对⑨路口影响最大的 6 个路口近 66 天的车辆数数据作为输入，将对应的⑨路口南北及东西方向日经过车辆总数作为输出，所以输入层节点数为 6，输出层节点数为 1，加入反馈延迟输入变量，并用 Matlab 自带的 premmnx 函数将这些数据归一化处理^[8]。数据集 10 天历史数据如表 1 所示，其余未详细列举。

表 1 9 路口十天车辆数

第/天	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨南北	⑨东西
1	11234	26135	35123	33241	21312	32231	39142	41243	29005	18000
2	18213	21562	39231	21890	38235	32134	14138	34331	22100	17345
3	25331	29034	37012	19994	36002	22534	32131	38412	22112	20012
4	27354	20011	36254	20176	36221	21834	31232	28996	22332	17132
5	29001	21423	12167	30432	31005	26221	36100	32190	20012	18112
6	30003	31442	15234	40031	21998	27012	29890	28999	22888	16213
7	26023	18990	31765	29996	32116	32312	30145	21980	23223	18376
8	27112	21011	32001	30156	36110	32145	32100	32189	22801	17005
9	26144	27334	31003	29445	29443	30012	32176	32901	20001	17476
10	22109	29002	21065	30112	29001	32109	29667	31160	19002	21012

2.5 隐层设计

增加隐层数可以降低网络误差提高精度,但也使网络复杂化,从而增加了网络的训练时间和出现“过拟合”的倾向。一般来讲应设计神经网络应优先考虑 3 层网络(即有 1 个隐层)。一般地,靠增加隐层节点数来获得较低的误差,其训练效果要比增加隐层数更容易实现。隐层层数只要大于等于 1,动态神经网络就具有逼近一切非线性映射的能力,因此本文采用含有一个隐层的三层多输入单输出的预测模型。

$$N \leq \text{int} \{ [J(K-1) - (I-1)] \div 2 \}$$
 (1)

式中, N 为隐层层数; J 为输入层神经元个数; I 为输入层神经元个数; K 为标准样本个数隐层神经元数 L :

根据经验公式:

$$L = \sqrt{n+m} + a$$
 (2)

n 为输入层神经元个数, m 为输出层神经元个数, a 为 $[1, 10]$ 之间的常数,选取 $L=5$ 。

确定隐层节点数时,隐层节点数必须小于 $N-1$ (其中 N 为训练样本数),否则网络模型的系统误差与训练样本的特性无关而趋于零;训练样本数必须多于网络模型的连接权数,一般为 2~10 倍。 $Q_{(i)}$ 代表反馈延迟输入变量,考虑外部输入量对输出量的影响,提高模型预测精度。NARX 神经网络结构如图 2 所示。

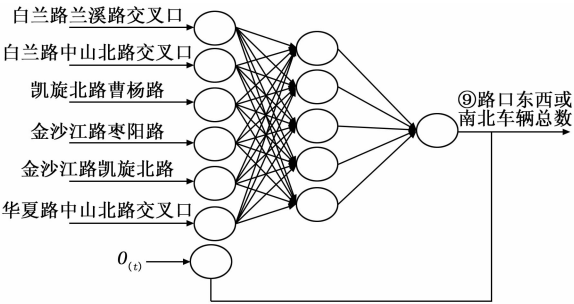


图 2 NARX 神经网络结构图

3 Matlab 仿真实验及预测配时

3.1 仿真实验

实验采用 Matlab 进行,训练算法选取收敛速度较快的 LM 算法。选取上文样本训练集,70%数据用于训练,15%用于检测,15%用于验证。当验证集误差上升,此时训练可以结束。保存并下载训练好的网络数据,输入 3 月 6 日之后 66 天的数据,预测金沙江路与中山北路交叉口未来 5 天车辆数目。得到两方向预测曲线如图 3 所示,与真实值对比线图如图 4 所示。

3.2 预测配时

将所得数据与电子车牌法统计得来的实际值作比较,预测数据与实际值计算得相比误差介于 1%~2.5%,精度能达到期望。故举例 5 月 12 日,金沙江与中山路交叉南北方向约经过 23700 辆汽车,东西方向经过 21000 辆汽车。调查知此路口早晚高峰时段车流量可达 4000 pcu/h。定义如下式:

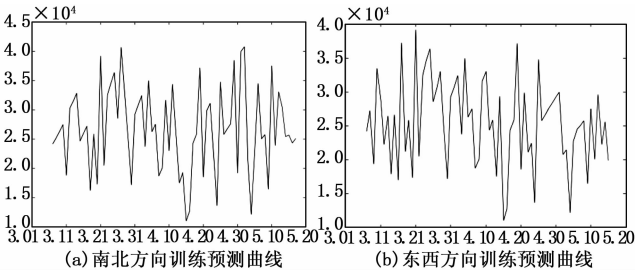


图 3 两方向预测曲线示意图

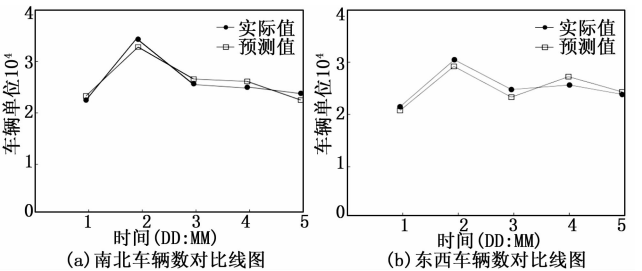


图 4 两方向车辆数对比线图

$$h = |m - n| \div tf$$
 (3)

h 代表交通灯红绿相位时间差, m 代表南北方向经过车辆数, n 代表东西方向经过车辆数, tf 代表车流量。依公式得: 5 月 12 日, $h=2\ 430\text{ s}$ 。则当日,东左转右转、西左转右转、南直行与北直行总时间要比其余相位交通灯指示方向时间长 2 340 s。将计算得到的时间长度分配在早高峰 7:30~9:00 与晚高峰 17:30~20:00。提前调整红绿灯的时间分配,为交通部门对拥堵点的控制提供了可靠的决策依据。

4 基于多路口预测与实时配时的交通灯控制系统

经以上 NARX 神经网络模型仿真实验,预测数据与真实值相差较小,让交通灯配时提前设定成为可能,将提前设定的配时方案作为“常规动态预测方案”。据此提出以下交通灯控制设计,因该路段高峰期平均车流量为 3000 pcu/h,60 辆车驶离交通路口花费时间约 60 s,此数据为平常红绿灯相位时间值^[9],所以选择 60 作为两方向比较差衡量值。系统设计如图 5 所示。

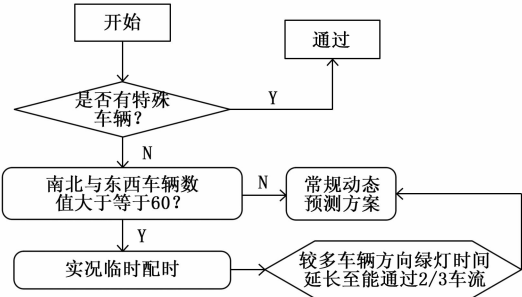


图 5 系统设计方案图

4.1 常规动态预测方案

依据 NARX 神经网络预测模型得出之后一天的中心路口南北与东西方向车辆总数,计算两方向车辆数差值,再

按前一天历史车流量计算交通灯单日时间差。按需分配于早晚高峰期,使车辆总数多的道路车辆行驶方向获得的绿灯相时间长,行车情况总体则变得流畅。当有特殊车辆通过,立即开启应急灯,应急灯开亮之前 2 秒其余相位灯全灭。

4.2 实况临时配时方案

当交叉路口出现严重拥堵情景,车辆等待超两个红灯相视为严重拥堵^[10],则需临时调取各车道车流量数据,得两方向道路车辆数差值,据历史同时段车流量计算其通行时间。立即将车辆数多的道路车辆驶离方向绿灯时间延长,考虑两方向等待公平,延长时间使能一次性通过拥堵车辆数的 2/3,延长时间按车辆差值与当时阶段平均车流量计算,之后继续执行常规动态预测方案。实况统计交叉口两方向车辆数,比较差值系统每一秒中刷新一次。

5 实验结果与分析

5.1 实验步骤和方法

选取上海市长宁区金沙江与中山路交叉口为实验地点,实验实施时间为 2018 年 5 月 12 日。①以之前 66 天车辆数据为样本,根据 MATLAB 仿真实验预测出南北与东西两方向各车辆总数;②经公式(3)计算得出时间差,将两方向的总时间依人工经验分配于早高峰与晚高峰,从而实施常规动态预测方案,如果发生严重拥堵情况则启动临时配时方案;③统计早高峰与晚高峰最后一小时的车辆经过数目,将此统计数据与上周同时段车辆经过数作比较。

5.2 实验数据

5 月 5 日车辆实际总经过数,南北向 22900 辆,东西向 21300,与 12 日预测总车辆数据相差约 1%。实验中,并未有特殊车辆通过且未发生严重拥堵情况。两日早晚高峰期末时间段车辆经过数如表 2、3 所示,对比结果有较大参考价值。其中 5 日为未经改变的交通灯控制方案;12 日则是实施常规动态预测方案,经预测并计算时间差,再利用人工将 2 340 s 中的 1 500 s 分配于早晚高峰,使得控制多车辆数方向绿灯时间比较少车辆数方向绿灯时间每个周期长 10 s,每个周期总时间设为 60 s。最后统计 12 日车辆实际经过数与早晚高峰末段的车辆数。

表 2 早高峰末时段车辆数统计表 辆

方向	日期/时间	8:00—8:20	8:20—8:40	8:40—9:00
南北	5 月 5 日	1300	1100	1100
	5 月 12 日	1350	1000	800
东西	5 月 5 日	1200	1090	990
	5 月 12 日	1200	1000	830

表 3 晚高峰末时段车辆数统计表 辆

方向	日期/时间	18:30—18:50	18:50—19:10	19:10—19:30
南北	5 月 5 日	1290	1200	1100
	5 月 12 日	1300	1090	890
东西	5 月 5 日	1260	1100	1000
	5 月 12 日	1200	1060	870

5.3 对实验结果进行分析

12 日全天车辆实际经过数在预测值允许误差范围内。经对比表 2、3 中数据,12 日早晚高峰末时段车辆经过数以 20%左右的下降速率减少,证明早晚高峰前时段单位时间内车辆通过数增加。绿灯时长的调整让通行速率整体提高,使得早晚高峰总时长缩短,提高了交通的运行流畅度,常规动态预测方案可实现预期效果。

由于实验过程未出现严重拥堵情况,实况临时配时方案并未启动。但实际调查 12 日市民满意度,普遍认为路口通行状况有所改善。日常实际运用中,时间差配时的方式后期还需要改变方式,不再人为设定,应利用软硬件自动化管理提高智能控制水平。

6 结束语

针对十字路口交通灯配时问题,本文提出预测配时与严重拥堵实时配时相结合的方案。以中心决策点周围多路口车辆数为训练样本,进行仿真实验证明,训练预测得出的数据与真实值相差较小,可实现早晚高峰提前配时,严重拥堵情况下实时配时可有效缓解堵塞问题。将此系统设计应用于交通灯控制,能有效提高运行效率。进一步研究工作将以各个交叉口为中心,建立多路网点关联性的预测模型,做到全局优化各路口协调控制;也将研究早晚高峰配时不再人为设定,并设置具体到分秒的动态实时分配。

参考文献:

[1] Johanyák Z C, Gil R P A. Fuzzy model for the average delay time on a road ending with a traffic light [Z]. IT Convergence and Security, 2017.

[2] Wang H, Liu J, Pan Z N, et al. Cooperative traffic light controlling based on machine learning and a genetic algorithm [A]. 2017. 23rd Asia — Pacific Conference on Communications (APCC) [C]. 2017: 1—6.

[3] 张婧怡,夏玮璐. 基于路口实时状况的交通灯智能动态配时模型研究 [J]. 科技与创新, 2017 (22): 26—28.

[4] 杨任农,张振兴,等. 基于 NARX 神经网络的飞机飞行性能模型预测 [J]. 西北大学学报, 2017 (1): 7—12.

[5] 薄其峰,王辣. 天网视频监控在受理报警中的应用 [J]. 冶金丛刊, 2016 (11): 222.

[6] 靳 智. 基于电子车牌的智能交通灯控制系统设计 [J]. 无线互联科技, 2017 (7): 54—55.

[7] 崔 炜. 基于 MapReduce 的相似数据查询方案 [J]. 计算机应用, 2014 (9): 2532—2536, 2542.

[8] 傅 贵,杨朝霞,等. 基于神经网络的交通控制诱导协同模型 [J]. 电脑与电信, 2017 (7): 17—22, 25.

[9] 莫 红,郝学新. 时变论域下红绿灯配时的语言动力学分析 [J]. 自动化学报, 2017 (12): 2202—2212.

[10] 刘 燕. 基于交通灯车流量检测的交通灯控制系统设计 [J]. 智能计算机与应用, 2018 (1): 148—150.