

# 城市主干道车辆交通流量自动管控系统研究<sup>\*</sup>

雷晓平<sup>1</sup>,王 敏<sup>1</sup>,马 磊<sup>2</sup>

(1.杨凌职业技术学院 陕西杨凌 712100;

2.江西省高速公路投资集团有限责任公司 南昌 100176)

**摘 要:** 针对城市主干道车辆过载问题,一定程度上造成主干道通行恶化,对道路功能发挥产生恶性影响的问题,设计一种有效的城市主干道车辆交通流量自动管控系统。硬件部分选用自上向下的方法,选用可编程逻辑器件 EPM7032 为控制器,利用可编程连线阵列将所有 LAB 连接在一起,在 PIA 上布线,并将器件中的信号连接至相应目的地。软件方面通过群优化变异方法,将适合值当成主干道交通管控节点的当前值。对出现事故路段上游交通流量进行分流处理,使主干道路网达到均衡,保证城市主干道的顺畅运行。实验结果表明,所设计系统在主干道出现交通事故与交通阻塞的情况下,通行能力明显更好,车均延误减少,饱和度降低,能够很好地完成对主干道车辆交通流的管控。

**关键词:** 城市主干道; 车辆; 交通流量; 自动管控; 系统

中图分类号: TP274

文献标识码: A

DOI 编码: 10.14016/j.cnki.1001-9227.2020.04.171

## Research on automatic control system of vehicle traffic flow on urban main road

LEI Xiaoping<sup>1</sup>, WANG Min<sup>1</sup>, MA Lei<sup>2</sup>

(1. Yangling Vocational & Technical College, Yangling Shanxi 712100, China;

2. Jiangxi provincial Expressway Investment Group Co. Ltd, Nanchang 330000, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of serious vehicle overload on urban arterial roads, to a certain extent, the problem of the negative impact on the function of roads, an effective automatic control system for urban vehicle traffic flow was designed. The hardware part adopts the top-down method, and the programmable logic device EPM7032 is selected as the controller. All programmable LABs are used to connect all LABs together, route them on the PIA, and connect the signals in the device to the corresponding destinations. In terms of software, through the group optimization mutation method, the suitable value is regarded as the current value of the main road traffic control node. The traffic flow upstream of the road is divided where the accident occurred, so that the trunk road network is balanced, and the smooth operation of the main road in the city is guaranteed. The experimental results show that the designed system can significantly improve the traffic capacity, reduce the average delay of vehicles, and reduce the saturation in the case of traffic accidents and traffic jams on the main road. It can complete the control of the vehicle traffic flow on the main road.

**Key words:** urban main road; vehicle; traffic flow; automatic control; system

## 0 引言

城市主干道在交通负荷高峰期,会出现很严重的交通堵塞问题,尤其在道路瓶颈部分,造成整个主干道和路网在高峰期运行效率大大降低<sup>[1-2]</sup>。主要表现在主干道没有达到预定效果,车辆基本通行被影响。保证主干道功能主要是针对高峰交通时段,解决主干道的瓶颈问题,提高主干道的流通性,因此,研究一种城市主干道车辆交通流量自动管控系统具有重要意义。

文献[3]提出基于 RFID 的交通流量自动管控系统,

采用 ATmega16 的车载主控制器和 STM32 交通灯控制器构建应急信息采集系统,根据 RFID 技术检测车辆信号,依据 FIFO 原理得到车辆最佳行车路径,实现城市智能车辆交通引导。文献[4]提出基于交通管理角度的禁行方向管控措施,在交通组织方面,以提升价值为目标,设计环境分区方案,安排各类交通流线,为车辆段流量管控提供帮助。文献[5]依据交通渠化对交叉口路段进行优化,构建了交通流量多维度数据模型。利用时间序列聚类对交通流量数据降维处理,根据机器学习方法训练结果设计分类器,完成交通流量预测模型的设计。但城市主干道为复杂系统,所有措施均存在一定的局限性,只利用上述渠道对城市主干道交通流进行优化,会在一定程度上造成主干道通行恶化,对道路功能的发挥产生不好的影响,为了解决负载的城市交通问题,需依据系统化技术,设计一种有效的城市主干道车辆交通流量自动管控系统,针对不同措施进行优化组合,保证主干道

收稿日期: 2019-12-30

<sup>\*</sup> 基金项目: 宝鸡市交通运输局项目: 关中环线眉县至岐山公路交通调查分析研究(No.BG2019-YB43)

作者简介: 雷晓平(1980-),男,陕西合阳人,硕士,讲师,主要从事公路工程施工及检测的研究与教学工作。

功能。

1 城市主干道车辆交通流量自动管控系统设计

1.1 系统总体设计

在进行城市主干道车辆交通流量自动管控系统设计时,选用自上向下的设计方法,这种方法按层次、模块完成设计,是利用复杂可编程器件完成系统设计的常用方法<sup>[6-7]</sup>。首先从整体角度对系统功能与性能进行规划,再进一步对系统进行模块分割,划分成规模小、功能相对简单的小模块,同时确定模块间的关联,逐渐划分,直至获取的单元能够映射至物理层<sup>[8]</sup>。

本节分析了怎样完成数字系统设计,系统框图用图1进行描述。其中传感器主要用于检测城市主干道是否存在车辆要求通过路口。主干道传感器发出的信号用 $I_a$ 进行描述,支干道传感器发出的信号用 $I_b$ 进行描述,信号为1时,代表有车辆要求通过路口,0代表没有车辆要求通过路口。时钟电路主要负责为设计系统提供稳定的脉冲信号,完成计时与系统的同步管控。定时器电路是通过控制器提供的计时信号cnt与清零信号cr实现定时功能的,同时向控制器提供7 s、15 s与35 s的计时信号<sup>[9-10]</sup>。控制器设计为系统的核心部分,主要按照传感器与定时器提供信号对系统状态进行管控,同时对定时电路的运行进行管理,并且提供合理的灯光调控信号。

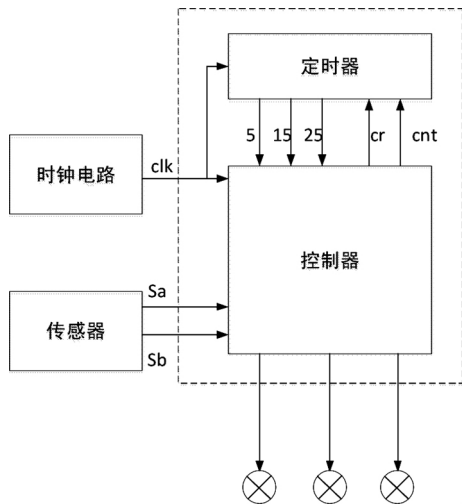


图1 设计系统框图

1.2 控制器结构

控制器选用可编程逻辑器件 EPM7032,该器件是 Altera 公司生产的第二代多阵列矩阵结构,同时利用先进的 CMOS EEPROM 方法制作<sup>[11]</sup>。器件主要由逻辑阵列块 LAB、可编程连线阵列 PIA 以及 I/O 控制块等构成。

EPM7032 器件中的所有逻辑阵列块均包含 16 个宏单元阵列,利用可编程连线阵列相连<sup>[12]</sup>。PIA 全局总线可通过专用输入、I/O 引脚和宏单元输入宏单元馈入信号中。EPM7032 器件能够独立配置为时序逻辑或组合逻辑工作方式。所有宏单元又包含逻辑阵列、乘积项选

择矩阵以及可编程寄存器。

利用可编程连线阵列将所有 LAB 连接在一起,建立所需逻辑。并且在 PIA 上布线,也可将器件中的某信号连接到相应目的地。

I/O 控制块允许所有 I/O 引脚独立完成输入、输出与双向工作,每个 I/O 引脚均配置三态缓冲器。

1.3 城市主干道车辆交通流信息采集

近年来,很多一线城市开始将地磁感应检测器与 RFID 识读器等交通流信息采集装置应用于交通流检测及车辆信息识别中<sup>[13]</sup>。

将多种交通感知技术融合在一起,完成对多源交通数据的采集,利用后台服务端将采集的多源数据集合在一起,并进行格式化处理,为交通管控提供准确数据<sup>[14-15]</sup>。将不同交通检测器、传感器以及感知终端结合在一起,得到覆盖大区域路网的感知网络,见图2所示。采用传感器技术与移动通信技术,通过信息融合技术与信息处理技术,对城市主干道车辆交通流信息进行采集,提高了采集精度与车辆身份识别精度。

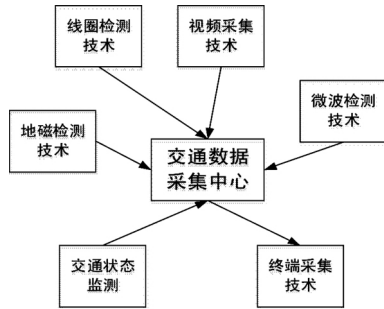


图2 交通流信息采集示意图

1.4 城市主干道车辆交通流量自动管控系统设计关键技术

城市主干道车辆交通流量管控系统需实现下述功能:

- (1) 结合不同采集技术与计算机信息处理技术对城市主干道车辆交通流实时信息进行采集;
- (2) 为了对城市主干道路网运行进行优化,对紧急事故进行有效处理,对交通流信息进行分析,需制定相应管控决策;
- (3) 依据交通信号配时方案,把相关管控决策转变为相应策略;
- (4) 实时展示交通流信息,与路径指示等交通流管控系统保持信息交换。

假设城市主干道不同方向交通灯的基本周期是一致的,周期的初始时间用 $t$ 进行描述, $t$ 时刻第 $i$ 个交叉口等待车辆数量用 $N_i(t)$ 进行描述,可通过下式求出:

$$N_i(t) = \frac{(x_i(t) - y_i(t))}{x_i(t)} \times x_i(t) \tag{1}$$

其中 $x_i(t)$ 、 $y_i(t)$ 依次用于描述 $t$ 时刻 $i$ 个不同方向等待车辆的长度。

在上式基础上,通过下式对交通流管控系统进行调整与控制:

$$S = N_i(t+1) \leq 0 \times \frac{d(t) \times t}{(x_c - y_c)} \tag{2}$$

其中  $x_c, y_c$  依次用于描述设计系统中各方向队列长度的设置阈值  $d(t)$  用于描述在  $t$  时刻绿色光的比例, 即控制变量。

#### 1.4.1 交通流管理系统集成

在对管控系统进行设计时, 群体变异为迁移情况下得到城市主干道车辆交通流管控最优解的关键因素, 所以, 其数量即可看作最优解数量。通过群优化变异方法, 形成初始解, 用  $x_i$  进行描述, 同时把适合值当成主干道交通管控节点当成当前值。群智能交通管理方案选择最优解的近似概率主要和最优解的概率  $P$  有关, 可通过下式求出:

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^n fit_n} \quad (3)$$

式中  $fit_i$  用于描述流量管理节点  $i$  的自适应值,  $n$  用于描述最优解数量。

为了得到与最优解最趋近的解, 需进行变异处理:

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (4)$$

其中  $\varphi_{ij}()$  代表变异操作。

通过下式获取新的城市主干道车辆交通流管控方案的最优解替换:

$$x'_i = x'_{\min} + rand[0, 1](x'_{\max} - x'_{\min}) \quad (5)$$

#### 1.4.2 出现事故时交通流管控策略

在城市主干道出现交通事故的情况下, 整个主干道的车辆通行能力会大大降低, 需按照交通事故的严重程度对交通流管控策略进行设计。从保证城市主干道车辆交通流管控系统最优与用户最优的角度进行分析, 为了令主干道路网达到均衡, 需对出现事故路段的上游交通流量进行分流处理。在需诱导其它车辆避开事故发生路段时, 首先选择行程时间最少的路线。为了保证没有事故发生路段的稳定运行, 防止排队时间长, 需令事故路段交通流量低于通行能力, 本节通过下述过程保证城市主干道的顺畅运行:

(1) 对事故严重性与城市主干道交通堵塞状态进行检测, 对主干道当前通行能力  $L_0$  进行估计, 获取信息发布滞后时间  $t_n - t_0$ ;

(2) 求出主干道中事故路段通行时间, 同时将其和绕行路线通行时间相比, 获取不同时段绕行交通量  $Q_r$ ;

(3) 对绕行事故位置最短路径  $l$ 、次最短路径  $l'$  进行计算, 将当前城市主干道通行能力、时刻  $t$  交通量依次用  $L_1, L_1', Q_r(t), Q_{r'}(t)$  进行描述;

(4) 在  $Q_r < L_1 - Q_{r'}(t)$  的情况下, 即需绕行车辆低于最短路径剩余通行能力的情况下, 诱导全部车辆绕行的最短路径。在  $Q_r > L_1 - Q_{r'}(t)$  的情况下, 诱导  $L_1 - Q_{r'}(t)$  的车辆绕行最短路径, 当前没有分配的交通量用  $Q_r = Q_r - [L_1 - Q_{r'}(t)]$  进行描述,  $l$  为最短路径, 反复进行这一步骤, 直到  $Q_r < 0$ ;

(5) 在事故现场被清理后, 依据事故发生前的通行能力获取行程时间, 同时对车辆行驶路线进行诱导。

在城市主干道出现交通事故后, 管理者可利用设计系统采集城市主干道出现事故的相关信息, 按照交通事

故的严重性获取事故位置的通行能力  $L_0$ 。在事故特别严重的情况下,  $L_0 = 0$ , 导致事故位置前后被封闭。当前需引导车辆绕行, 绕行量为  $Q_r = Q(t)$ , 其中  $Q(t)$  用于描述正常运行情况下的车辆交通流量。在  $L_0 \neq 0$  的情况下, 管理者可按照事故占用道路的状态, 对事故位置通行能力  $L_0$  进行估计。随着交通事故的逐渐严重,  $L_0$  值逐渐降低, 若事故位置上游交通需求  $Q(t)$  低于  $L_0$ , 则上游车辆会逐渐经过瓶颈点, 不会排队, 当前无需引导车辆出现绕行; 若上游交通需求  $Q(t)$  高于  $L_0$ , 在事故出现地点将会排队, 出现交通阻塞, 当前需将经过事故路段时间与绕行时间比较, 判断车辆是否需要引导绕行。

## 2 实验和验证

### 2.1 实验工具

实验工具选用 SUMO 交通流量模拟器, SUMO 产生的所有车辆均相互独立, 至少有 3 个属性, 分别是唯一标识、出发时间和在主干道上的行驶路线。

实验工具还包括开源离散事件网络模拟器 NS3, NS3 利用 C 语言把软硬件看作类, 最重要的概念是节点, 与现实中可联网的对象相应, 例如计算机或基站。

通过 SUMO 提供的 TraCI 接口, 在 NS3 和 SUMO 间塑造反馈循环, 通过 SUMO 建立城市主干道交通场景, 同时形成车辆流量, 通过 NS3 在 SUMO 形成的车辆建立节点与网络装置, 同时沿 SUMO 形成的道路设计路边单元。利用 TraCI 接口把交通场景中所有道路与车辆数据利用反馈指令传输至设计系统。通过设计系统对接收数据进行处理, 同时向 SUMO 下达控制指令, 对城市主干道交通情况、车辆速度、行驶路线进行管控。

### 2.2 实验场景建立

为了使模拟数据和实际城市主干道车辆交通环境更加真实, 通过 SUMO 建立模拟城市主干道场景, 模拟场景数据源于真实某城市主干道数据, 路网图用图 3 进行描述。

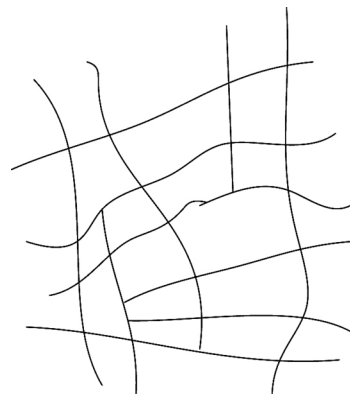


图3 模拟道路网络图示意图

为了验证本文设计的城市主干道车辆交通流管控系统在不同情况下的管控性能, 通过 SUMO 建立两个不同场景, 分别为车辆密度均匀与车辆密度不均匀两种。

在城市主干道车辆密度均匀的情况下, 利用 O/D 矩阵工具形成 13 500 辆车的虚拟车辆交通流, 将其均匀分布于各个区域中, 同时在半小时内随机出发, 任意开向

某区域。在城市主干道车辆密度不均匀的情况下,利用O/D矩阵工具形成9 200辆车,在半小时内出发,同时设置了2处交通堵塞,1处交通事故。

模拟车辆参数用表1进行描述。

表1 模拟车辆参数

参数	数值
车辆加速度	2.8 m/s
车辆制动加速度	5 m/s
车身长	5 m
最小车间距	1.5 m

在进行模拟实验的过程中,针对交通信号灯的设置,主要取决于两个因素:交通灯相位时长越短,那么整个城市主干道车辆等待时间将随之变短;需要考虑行人过马路需求。

一般情况下主干道道宽是20~23 m,同时有非机动车道与绿化带,行人通过马路则需行走约30 m,假设人行行走速度是1 m/s,为了最大程度降低交通信号灯相位间隔时间,保证人行行走时间,把交通信号灯相位时长设置成35 s。

2.3 实验结果及分析

为了验证本文设计城市主干道车辆交通流量自动管控系统的性能,将文献[3]系统与文献[4]系统作为对比进行测试。

采用本文系统、文献[3]系统与文献[4]系统对设定车辆密度均匀与车辆密度不均匀两种场景下主干道车辆交通流进行管控,得到的不同系统效益评价用表2进行描述。

表2 不同系统效益评价

系统状态	通行能力/pcu·h <sup>-1</sup>		饱和度		车均延误/s	
	场景一	场景二	场景一	场景二	场景一	场景二
现状	9.125	7.234	1	1.13	32.15	93.12
本文系统	11.219	10.193	0.72	0.86	23.56	23.28
文献[3]系统	9.926	7.915	0.85	0.95	29.49	65.76
文献[4]系统	10.038	7.852	0.81	1.02	30.26	59.38

分析表2可以看出,三种系统均可在一定程度上提高城市主干道车辆交通流通行效率,但针对车辆密度不均匀的场景,文献[3]系统与文献[4]系统通行能力较弱,而所设计系统的通行能力明显强于文献方法,且所设计系统的车均延误有所减少,饱和度降低,说明在出现交通事故与交通阻塞的情况下,所设计系统也可很好地完成对主干道车辆交通流的管控,可行性高。

3 结论

设计了一种城市主干道车辆交通流管控系统,选用可编程逻辑器件EPM7032对交通流管控系统进行调整

与控制,在对管控系统进行设计时,通过群优化变异方法,形成初始解,把适合值当成主干道交通管控节点当成当前值,对出现事故路段上游交通流量进行分流处理。实验表明所设计系统的通行能力明显更好,车均延误有所减少,饱和度降低,说明在出现交通事故与交通阻塞的情况下,所设计系统能够合理有效地完成对主干道车辆交通流的管控。

参 考 文 献

[1] 周鹏.数据挖掘技术下的智能化车辆管理系统实现[J].现代电子技术,2016,39(16):52-54.

[2] 吴浩,王泉,王睿轶,等.城市轨道交通车辆系统牵引逆变器专用测试平台研究[J].城市轨道交通研究,2017,20(12):83-86.

[3] 凌康杰,岳学军,王林惠,等.基于有源射频识别的应急车辆交通引导系统[J].计算机应用,2016,36(s1):273-277.

[4] 王岳颐,卢源,金山.北京地铁车辆段上盖综合开发设计优化[J].都市快轨交通,2017,30(6):21-28.

[5] 徐健锋,汤涛,严军峰,等.基于多机器学习竞争策略的短时交通流预测[J].交通运输系统工程与信息,2016,16(4):185-190.

[6] 邱小平,于丹,孙若晓,等.考虑坡道的元胞自动机交通流模型研究[J].计算机应用研究,2016,33(9):2611-2614.

[7] 常峰,旷文珍,刘海峰,等.关于道路交通流准确预测仿真研究[J].计算机仿真,2016,33(6):111-116.

[8] 刘恒宇,汝宜红.考虑交通拥堵及工作量平衡性的一致性车辆路径问题[J].西南交通大学学报,2016,51(5):931-937.

[9] 王晓蒙,彭玲,池天河,等.基于稀疏浮动车数据的城市路网交通流速度估计[J].测绘学报,2016,45(7):866-873.

[10] 朱兴琳.降雪天气下高速公路交通流特征分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2016,40(1):94-98.

[11] 董伟.随机交通流的组合控制预测模型和方法[J].沈阳工业大学学报,2018,40(1):88-93.

[12] 邓社军,叶晓飞,陈峻,等.路外停车驶入对出入口交通流影响模型[J].哈尔滨工业大学学报,2016,48(3):101-107.

[13] 马晓波.优化的长山水道船舶交通流量灰色系统预测模型[J].上海海事大学学报,2016,37(2):12-16.

[14] 沈犁,张桐,王周全.特大城市交通走廊通勤客流Nested-Logit模型研究[J].计算机工程与应用,2016,52(21):229-234.

[15] 李勇,蔡梦思,李黎,等.不同信息共享程度下交通拥塞控制研究[J].计算机工程与科学,2016,38(7):1391-1397.