

基于 STM32 的智能交通灯控制系统设计

任延凯¹, 石萌萌¹, 赵昌浩², 武奇生², 陈俊硕^{2*}

(1. 河南交通投资集团有限公司, 河南 郑州 450016;

2. 长安大学 能源与电气工程学院, 陕西 西安 710064)

摘要:随着城市车辆的快速增长, 道路交通的调控任务增多且愈加复杂, 传统采用固定时长的交通灯控制系统面临车流状况动态变化难以实现实时调节, 导致高峰期拥堵、非高峰期通行效率低下。该文设计了基于 STM32 单片机的智能交通灯控制系统, 首先, 采用光电检测开关实时监测道路车辆流量, 计算路口等待通行车辆数量。然后, 结合当前设定绿灯时间, 判断所有等待车辆能否在绿灯期间完全通过。其次, 根据车辆是否能完全通过, 动态增加或减小下次绿灯时间。最后, 经过实验验证所设计系统能够根据车流状况动态调整交通灯时长, 进而避免了车辆需等多个绿灯时间仍难以通过路口的情况, 减少了十字路口车辆拥堵等待绿灯的现象, 具有良好的经济效益和社会效益。

关键词:智能交通信号灯; 光电检测技术; 控制系统; STM32

中图分类号: TP273

文章编号: 1000-0682(2025)04-0010-06

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.04.002

Design of an intelligent traffic light control system based on STM32

REN Yankai¹, SHI Mengmeng¹, ZHAO Changhao², WU Qisheng², CHEN Junshuo^{2*}

(1. Henan Transport Investment Group Co., Ltd., Henan Zhengzhou 450016, China; 2. Chang'an University, Shaanxi Xi'an 710064, China)

Abstract: With the rapid growth of urban vehicles, the task of traffic management has become increasingly complex, and traditional traffic light control systems that use fixed-duration signals are facing difficulties in real-time adjustment due to the dynamic changes in traffic flow. This leads to congestion during peak hours and low efficiency during off-peak periods. This paper presents the design of an intelligent traffic light control system based on the STM32 microcontroller. First, an optoelectronic detection switch is used to monitor the traffic flow in real time, calculating the number of vehicles waiting at the intersection. Then, by combining the current green light duration, the system determines whether all waiting vehicles can pass through the intersection within the green light period. Next, based on whether the vehicles can completely pass, the green light duration for the next cycle is dynamically adjusted, either increasing or decreasing. Finally, experimental results validate that the designed system can dynamically adjust the traffic light duration according to traffic flow conditions, thereby avoiding situations where vehicles must wait through multiple green light cycles to pass through the intersection. This reduces congestion at the intersection and minimizes the waiting time for green lights, offering significant economic and social benefits.

Keywords: smart traffic lights; photoelectric detection technology; control system; STM32

收稿日期: 2024-11-18

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFB1600202); 河南交通投资集团有限公司科技项目(HNJT2024-35)

第一作者: 任延凯(1979—), 男, 高级工程师, 研究方向为交通管理与控制。E-mail: 11959779@qq.com

通信作者: 陈俊硕(1986—), 男, 副教授, 研究方向为交通系统优化与能源化。E-mail: jsch@chd.edu.cn

0 引言

近几年来随着社会的需要, 对于智能交通灯控制系统的设计呈现井喷式的爆发。国内的许多研究者都以车流量的测量为载体, 运用不同的车流量检测方法, 感知车辆信息, 进而进行智能交通信号灯控制系统的设计^[1-5]。国内相关学者在车流量检测方

面做出了不少的创新。2007年马枫^[6]等开发了一种基于以太网的超声波车流量自动检测系统。通过超声波检测模块实时检测车流量与流速,采用单片机以太网技术将信息以轻量级 TCP/IP 的方式发送到以太网络,使信息可通过现有的民用网络设施送达远程主机,从而有效解决交通信息的采集与传送问题。超声传感器成本低、易制作、工作稳定可靠、实用方便,比较适合广泛推广。2015年韩鹏^[7]等针对基于短时交通流预测进行了相关问题的研究。建立人工神经元数学模型。神经网络架构通过基于快速区域卷积神经网络,进行车辆的特征识别,实现端到端的车辆识别与检测。相较于国外 TRANSYT 系统,克服了需要大量采集数据并配时的缺点,实现了对交通的在线优化。2017年陈虹安学者通过利用地感线圈的磁场变化得到的电信号^[8],再进行放大和检波后,送入模数转换器,来实现车流量的检测。地磁感应检测利用霍尔效应实现磁电转换。霍尔传感器体积小,能在高温下工作,而且稳定性和线性度比较好,在复杂的道路环境下,仍有良好的表现。2013年张建学者利用 ZigBee 实现智能交通控制系统^[9]。通过 ZigBee 无线网络传递信号,无需挖地布线,具有方便操作、成本低、智能化程度高^[9]。ZigBee 广泛应用于监视、控制网络,其具有非常显著的低成本、低功耗、网络节点多、传输距离远等优势。在控制网络和有限监视领域具有非常好的前景。2023年韩立立等使用图像采集法,利用 OpenMV 机器视觉模块^[10]检测车距和车流量,根据车流量大小,控制交通灯的显示,智能分配通行时间,从而实现提高道路通行效率的目的。从 21 世纪年以来,学者们陆续发表了一系列相关研究。近年来研究的重点从单一交叉路口逐渐转向多个交叉路口交通信号灯相位选择^[11-16]及优化配时进行联合优化,对于车流量的监视也转向了图像的收集处理^[17-21]。

上述方案多依赖图像识别的方法来收集路口的车辆通行信息,来实现通行时间的调控。存在着实用性不佳和硬件成本过高的问题。该文以 STM32 为核心,硬件上使用简单的数码管、LED 灯来模拟十字路口状况,使用光电开关 E18 - D80NK 来统计十字路口的车辆,通过计算来评估当前绿灯时间能否保证车辆全部通过,以此为基础在默认 25 秒的通行时间上做出调整,直至通行时间匹配该路口的车流量,最终实现 35 秒时多数车辆能够通过,不会形成较长的拥堵,有效改善了拥挤道路的交通状况。

1 硬件电路的设计

1.1 智能交通灯控制系统通行方案的设计

交通灯设置在十字路口处,共分为东西和南北两个方向,每一时刻只有一个方向可以通行。初始状态东西方向可以通行,南北方向禁止通行。中间经过黄灯过渡,通行方向发生反转,东西方向禁止通行,南北方向允许通行,完成一次循环,两个方向的通行时间可以独立设置。具体的通行情况如图 1 所示。

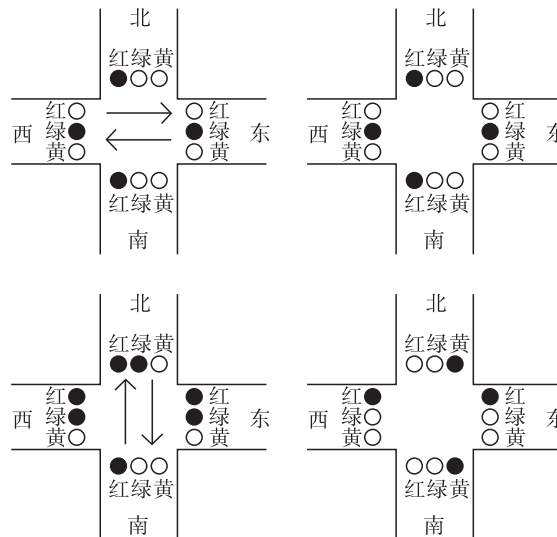


图 1 十字路口通行情况

状态一:东西方向绿灯点亮,黄灯熄灭,持续 20 秒(20 秒为初始设定值),同时南北方向红灯亮,绿灯灭。此时东西方向允许通行,南北方向禁止通行。

状态二:东西方向绿灯熄灭,黄灯点亮,持续 5 秒,南北方向依旧为红灯。此时所有方向都禁止通行,必须等待黄灯状态变换。

状态三:东西方向黄灯熄灭,红灯点亮,同时南北方向红灯熄灭,绿灯点亮,持续 20 秒。此时东西方向禁止通行,南北方向允许通行。

状态四:东西方向依旧为红灯,此时南北方向绿灯熄灭,红灯点亮,持续 5 秒。此时所有方向都禁止通行,必须等待黄灯状态变换。

表 1 通行状态

通行方向	状态 1	状态 2	状态 3	状态 4
东西方	通行	过渡	通行	禁行
南北方	禁行	禁行	禁行	过渡
东西方红灯	灭	灭	亮	亮
东西方绿灯	亮	灭	灭	灭
东西方黄灯	灭	亮	灭	灭
南北方红灯	亮	亮	灭	灭
南北方绿灯	灭	灭	亮	灭
南北方黄灯	灭	灭	灭	亮

该路口东西南北方向均有红黄绿 3 种灯以及 2 位数码管。在任何一个路口遇到红灯亮禁止通行,绿灯允许通行,黄灯需要等待 5 秒。

1.2 智能交通灯控制系统的基本构成和控制原理

该系统采用 STM32 单片机和 74HC245 驱动电路、2 次光电开关以及外侧的 6 个按键、4 个 2 位数码管和 4 组 LED 灯等部件,设计一个基于单片机的交通灯设计。设计通过 4 个 2 位共阴极数码管显示和 4 组 LED 灯显示,并能通过 6 个按键对各个方向通行时间进行合理的调整以及应对各种紧急情况。该系统实用性强、操作简单、扩展功能强。系统控制框架如图 2 所示。

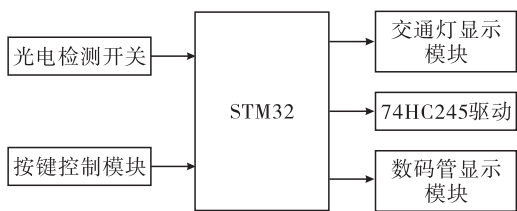


图 2 系统框架图

1.2.1 车流量检测模块

使用了两路光电开关 E18 - D80NK 来进行车流量的检测,用来智能调整时间。光电开关的原理是车辆经过光电开关时,对光电开关发射器将电信号转变为光信号,发出的光线遇到车辆被阻挡,光电开关的接收器不能接受到光信号,即为有物体阻挡,将此信号转变为电信号传回单片机,单片机对此进行记录,完成对一个车辆的检测。在绿灯时间内,完成对通行车辆数量的检测,粗略的判断车流量。

光电开关的原理图和内部结构如图 3 和图 4 所示。

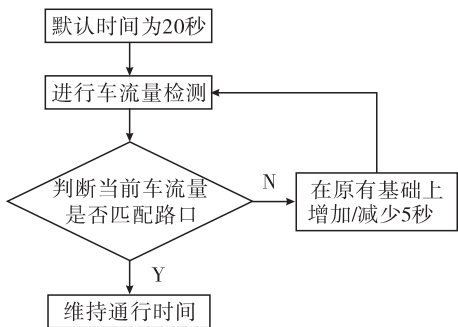


图 3 光电开关算法流程图

图 4(a) 东西光电开关和南北光电开关个引出 3 个引脚,东西光电开关输出引脚 OUT1,由单片机 A15 口引出。图 4(b) 中南北光电开关输出引脚 OUT2,由单片机 B3 口引出。

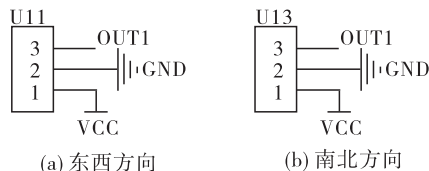


图 4 光电开关原理图

如图 5 所示,光电开关包括发射器和接收器 2 部分,其中发射器通过整流稳压和调制器调制周期性脉冲信号。接收器接受光敏信号,通过放大器对信号进行放大,经过解调器对高低电平进行计数。

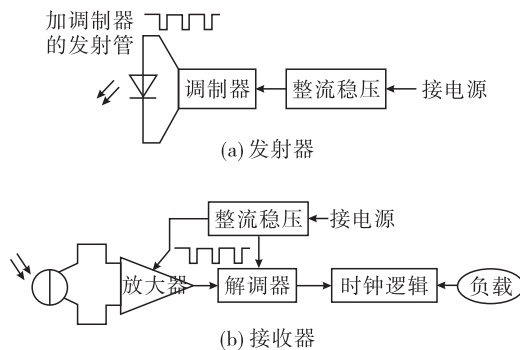


图 5 光电开关内部结构图

1.3 智能交通灯控制系统的功能实现

控制系统的设计用以模拟日常交通信号灯的控制,分别用绿灯,红灯,黄灯来表示通行,禁行和等待 3 种状态。4 个共阴极数码管来显示东南西北 4 个方向的时间,将数码管的阴极接到 STM32F103C8T6 的 IO 口上,阳极接到 74HC245 芯片上,通过单片机 IO 口控制 74HC245 芯片,起到驱动放大作用。12 个发光二极管用来实现 4 个路口绿灯,红灯,黄灯的点亮和熄灭。两路光电检测开关检测车流量,自动改变红绿灯时间。

按键一:进入夜间模式,黄灯闪烁,提醒给过路的行人和汽车。

按键二:进入紧急模式,红灯闪烁,禁止车辆和行人通行。

按键三:进入设置模式,可以分别对东西,南北方向的通行时间进行控制。

按键四:设置模式下,实现时间加。按键四单独按下时,进入车流量检测模式,东西方向绿灯亮时,开始对东西方向进行车流量检测,如果绿灯时间为 30 秒,30 秒钟通过的车辆为 15 辆(假设一辆车通行时间为两秒,30/2 = 15,自动向上取整),该方向上的绿灯时间下次自动加 5 秒,若小于 15 辆,下次自绿灯时间自动减 5 秒。当南北方向绿灯亮时,对南北方向进行车流量检测,原理同东西方向。计算式为式(1):

$$T = T_0 \pm 5 \times S \quad (1)$$

式中： T_0 为初始时间； S 为需要调整的次数； T 为调整后的时间。

按键五：设置模式下，实现时间减。车流量检测模式下，用以退出车流量检测模式。

按键六：实现设置模式下设置时间的确定。

通过上述按键的控制，便可实现简单的模拟交通灯控制系统。

2 系统软件程序设计

基于 STM32F103C8T6 单片机的智能交通灯系统通过初始化，按键控制，驱动电路放大，数码管显示，LED 闪烁等主程序循环，实现对十字路口交通灯的控制。满足通行状态转换，车流量实时检测的，紧急情况提醒等一系列功能，确保交通灯控制系统实时有效的控制。

2.1 系统主程序流程

系统主程序包括键按钮控制程序，二位数数码管控制程序，LED 显示程序，中断程序，光电开关检测计数程序。

系统上电后，STM32 驱动数码管和 LED 灯进行显示和点亮。数码管和 LED 根据初始的设定进行工作。主程序流程图展现了各个流程的逻辑关系和执行顺序，直观地展现程序运行的过程。

首先对系统进行定义，IO 初始化，将 2 位共阴极数码管个位和十位进行编码，定义数组，设置函数初始化状态，定义状态数组，定义字位码函数，之后进入主函数，完成定时器和外部中断初始化，进入 while 循环，调用各个子函数，程序结束，回到循环。流程如图 6 所示。

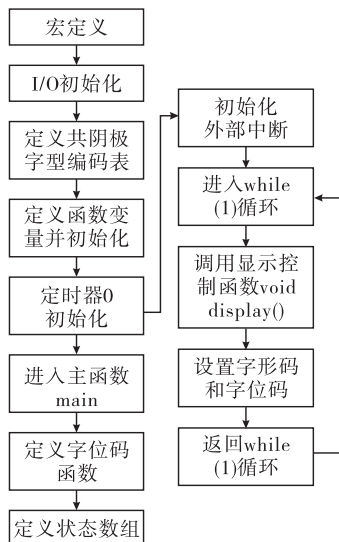


图6 主程序流程图

2.2 光电检测模块设计

光电检测模块是通过光电开关利用车辆对光信号的阻挡，由回路接通电路，检测此时是否有车辆通过。当光电检测开关被阻挡后，说明有车经过，输出低电平，光电开关有没有被阻挡，无车辆经过，输出高电平。

在光电检测程序中，若光电开关被阻挡，则光电开关向单片机输出一个低电平信号，完成一次记录；若光电开关没有被阻挡，则系统返回子程序入口，再次进行判断，直至完全记录通行时间内光电开关被阻挡的次数，算法的相关流程如图 7 所示。

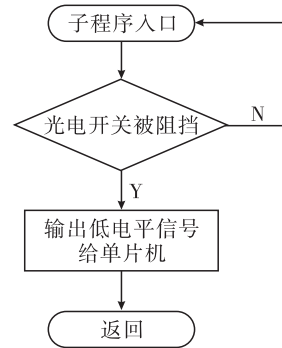


图7 光电检测流程图

3 控制功能测试

3.1 系统上电运行

如图 8 所示，STM32 单片机最小系统板位于最下方，正上方为 4 个 2 位数数码管和 4 组 LED 灯来简单模拟十字路口的交通情况，左边为检测东西方向车流量的光电检测开关，右侧为检测南北方向车流量的光电检测开关。最下方为 6 个黑色功能按键，右下方蓝色按钮为总开关。

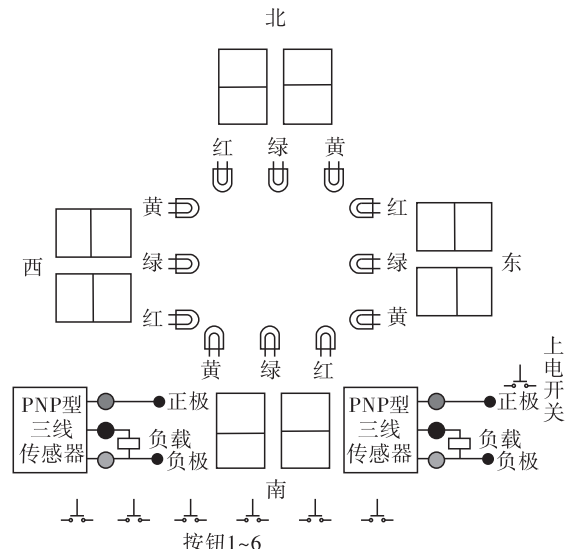


图8 单片机分布图

首先通过右侧 USB 接口给单片机上电,按下总开关,东西绿灯点亮,对应 2 位数码管显示 20 秒倒计时,南北红灯点亮,对应 2 位数码管显示 25 秒倒计时(时间以初始默认值东西方向绿灯 20 秒,南北方向 25 秒为准),到东西方向绿灯倒计时结束,绿灯熄灭,黄灯点亮并不断闪烁,5 秒倒计时开始。当时间再次结束,东西方向黄灯熄灭,红灯点亮,对应数码管显示 25 秒倒计时,南北方向红灯熄灭,绿灯点亮,对应数码管显示 20 秒倒计时,至此,完成一次通行方向的转换,后续继续进行以上循环。

3.2 交通灯特殊情况预警测试

为了应对特殊情况,设定按键一、二为特殊情况预警模式。如图 9 所示,在单片机上电之后,按下按键一,系统启动,东西南北 4 个方向的黄灯全部点亮,并且不断的闪烁,数码管都显示 00,满足设计要求。夜间模式开始运行,用来提醒过路的行人和车辆。按下按键 2,系统启动,东西南北 4 个方向的红灯全部持续点亮,4 个数码管都显示 00,满足设计要求。紧急模式启用,禁止车辆和行人通过(常用于 120 急救,警察执法等突发情况)。

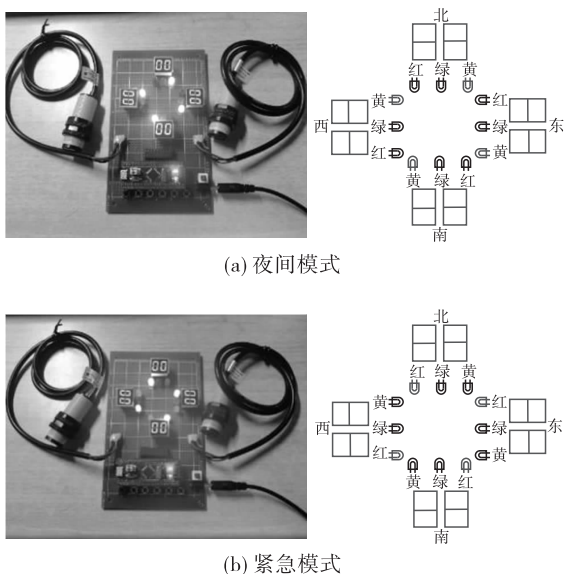


图 9 夜间模式和紧急模式

3.3 交通灯各个方向通行时间调节测试

验证系统能否对东西、南北两条通行线上通行时间进行独立的调节。

按键三用来调节两个方向上的通行时间。按键四和五用来控制通行时间的加和减,按键六对设置时间进行确认和退出。

当按键三首次被按下,南北方向数码管开始闪烁,LED 灯不点亮,此时南北方向通行时间可以开

始调节。这里南北方向通行时间由 25 秒增加到 30 秒,东西方向通行时间不变,连续按动按钮 4 5 次,即给南北方向通行时间增加 5 秒,按下按钮六对调节后的时间进行确定。

实验测试结果如图 10 所示,能够从 25 秒的通行时间基础上,根据车流情况实时,将绿灯通行时间增加为 30 秒。

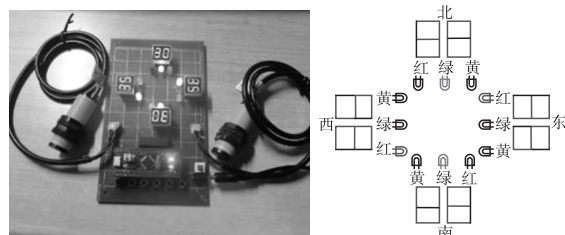


图 10 南北通行时间增加到 30 秒

3.4 交通灯光电检测开关测试

光电检测开关的原理是车辆经过光电开关时对光,车辆作为障碍物对光电开关进行阻挡,对阻挡的车辆个数进行计数,大致的用来判断该路口车流量的情况。为方便对光电检测开关进行测试,这里用手部或小障碍物的阻挡来简单模拟经过的车辆。

在单片机上电之后,单独按下按键四(这里区别对通行时间的调整中,在按下按键三后,再按下按键四),进入车流量检测功能,此时左侧光电开关检测东西方向的流量,右侧光电开关检测南北方向的车流量,只有当东西或南北方向允许通行,即为绿灯点亮情况,光电检测开关才可以开始进行工作。(这里以南北方向为例)

在按下按键三之后,各个方向的二位数数码管均显示 00,LED 灯仍然按照先前设定的时间进行通行方向的转换。经过一段时间的等待,南北方向变为绿灯,右侧的光电开关开始工作,这里以南北方向通行测量为 10 辆为例。这里的时间调整在初始状态南北方向通行时间 25 秒的基础上进行,用物体快速经过光电开关进行计数,待到南北方向计数 10 次后,停止动作。

根据计算法则, $25/2 = 12.5$, 向上取整为 13 辆(一辆车通行路口时间视为 2 秒),13 大于 10,通行时间内车辆可以全部通过,南北方向在 25 秒通行时间的基础减小 5 秒,变为 20 秒,按下按键五退出车流量计数模式,保存调整后的时间,示意如图 11 显示。至此南北方向的车辆检测结束,下一绿灯时段车辆均能顺利通过。

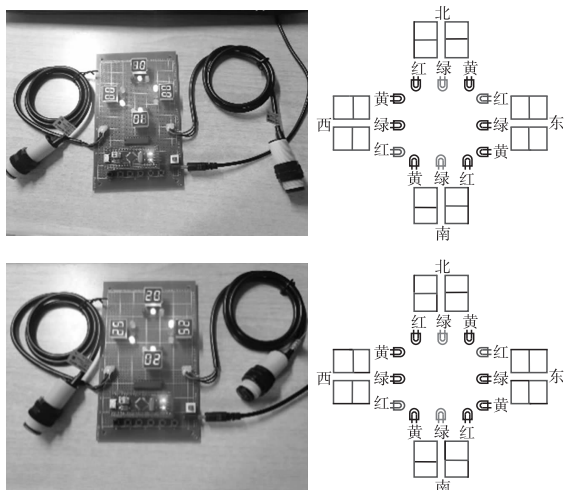


图 11 南北方向计数 10 次,通行 20 秒

表 2 中还展示了其他两种不同通行情况下车流量,直观地展现不同情况下,各个方向通行时间的变化。上一时刻绿灯持续时间为 20 秒,当前检测到的车流量为 8 辆车,绿灯通行时间调整为 15 秒;当检测到的车辆为 12 辆时,绿灯通行时间调整为 25 秒。

情况一:东西方向光电开关计数 8 次,南北方向光电开关计数 15 次。东西方向减小 5 秒,南北方向增加 5 秒。

情况二:东西方向光电开关计数 12 次,南北方向计数光电开关计数 15 东西方向增加 5 秒,南北方向增加 5 秒。

表 2 其他两种车流量情况

通行状态	持续 时间/秒	车流量	调整 后/秒	车流量	调整 后/秒
东西方向绿灯	20	8	15	12	25
南北方向绿灯	25	15	30	15	30

经过车流量模拟,光电检测开关可以正确检测到经过的车辆数量,系统程序也能够通过计算正确调整下一次绿灯的通行时间。

4 结论

该系统作为维持交通秩序的重要工具,在缓解交通拥堵,提高道路利用率,减少交通事故等方面发挥着不可或缺的作用。该设计以 STM32 为主体,采用按键控制模块,通过不同按键的控制,精确把握各个路口的通行时间。不仅如此,还能够根据各个路口的需要,自由的调节其通行时间。该系统的创新点在于系统能够实时检测车流量,即系统通过光电检测开关的原理,计数阻挡光电开关的车辆个数,合理的调整下次通行的时间,在控制方面更加智能和

科学,实现了智能控制系统预期的功能。该控制系统简单便捷,易于推广利用,为改善交通问题提供了又一可靠的方法,大大扩展了交通控制系统的思路。

参考文献:

- [1] 苏德福,陈彬晖,林诗雨,等. 基于模糊车流量估计的智能交通系统 SOPC 设计[J]. 电视技术,2023,47(05):41-44+50.
- [2] 韩旭东,韩乐乐,林邦演,等. 基于 STM32 的智能交通灯系统设计[J]. 时代汽车,2022(16):112-114.
- [3] 李洪中. 基于模糊控制的智能交通灯系统的研究与设计[D]. 兰州:兰州交通大学,2013.
- [4] 邢静,秦嘉宝. 智能交通信号灯控制系统研究[J]. 信息技术与信息化,2019(06):225-227+230.
- [5] 苏东海,王亮,马寿峰. 基于地磁感应的车辆检测方法的研究[J]. 交通与计算机,2007(03):9-13.
- [6] 马枫,张庆英. 基于以太网的超声波车流量自动检测系统设计[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2007(01):180-182.
- [7] 韩鹏. 基于短时交通流预测的交叉口优化配时研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2017.
- [8] 陈虹安. 地磁感应式车辆检测方法研究[D]. 江门:五邑大学,2016.
- [9] 张健. 基于 ZigBee 无线网络技术在智能交通信号灯控制中的应用[J]. 铜陵学院学报,2013,12(02):103-106.
- [10] 韩立立,刘晓然,刘文杰,等. 基于 OpenMV 的智能交通灯系统设计[J]. 微型电脑应用,2023,39(11):22-26.
- [11] 郭强,刘志峰,张爱平,等. 基于 STC89C52 单片机的智能交通灯控系统设计[J]. 机电一体化,2008,14(11):85-88+92.
- [12] 孙超,徐建闽,丁恒,等. 基于模糊控制算法的干道信号协调控制优化[J]. 交通与计算机,2008(04):55-58.
- [13] 郑瑞旭,张炎生. 基于 STM32 的智能交通灯控制系统设计[J]. 机电工程技术,2021,50(05):109-111.
- [14] 颜世凡. 智能交通灯 PLC 控制系统的设计[J]. 电子元器件与信息技术,2020,4(12):67-68+74.
- [15] 史亚维,杨斌. 智能交通灯自适应技术的研究与设计[J]. 电子世界,2019(23):150.
- [16] 范姝彤,李思思. 智能交通灯控制系统优化[J]. 微处理机,2019,40(04):57-60.
- [17] 付仕. 基于图像处理的智能交通灯控制系统的设计[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2019.
- [18] 秦侨,杨超,杨海涛,等. 结合模糊控制的深度强化学习交通灯控制策略[J]. 计算机应用研究,2024,41(01):165-169.

(下转第 48 页)

