

# 基于车速的自适应交通信号灯控制系统

李金洋<sup>1,2</sup>, 陈仪香<sup>1,2,3</sup>, 王振辉<sup>1,3</sup>

- (1. 华东师范大学 计算机科学与软件工程学院 嵌入式软件与系统系, 上海 200062;
2. 教育部软硬件协同设计技术与应用工程研究中心, 上海 200062;
3. 国家可信嵌入式软件工程技术研究中心, 上海 200062)

**摘要:**随着经济发展与人们生活水平的提高,城市机动车数量快速增长,城市交通引发的拥堵、环境污染等问题日益严重。智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)已经成为国内外研究人员讨论和研究的最热门课题之一,其中如何解决交通拥堵问题尤为重要。为了改善路口交通状况,提高通行效率,提出了一种基于车速的自适应交通信号灯控制系统。系统采用车联网 V2I (Vehicle to Infrastructure) 通讯模式,利用 V2I 通讯协议,实现汽车与交通信号灯之间数据的传输。汽车在通过路口时将车速信息发送给该路口的交通信号灯,系统通过分析十字路口和十字路口前方车速信息和交通信号灯当前状态,实时地控制红绿灯的显示,实现红绿灯控制依据实时车流量进行实时自动调整。该系统能够减少十字路口的拥堵,从而有效缓解交通拥堵,提高道路通行能力。

**关键词:**智能交通系统;自适应;交通信号灯控制;V2I 通讯

中图分类号:TP302

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)09-0021-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.09.005

## A Self-adaptive Traffic Light Control System Based on Speed of Vehicles

LI Jin-yang<sup>1,2</sup>, CHEN Yi-xiang<sup>1,2,3</sup>, WANG Zhen-hui<sup>1,3</sup>

- (1. Department of Embedded Software and Systems, School of Computer Science and Software Engineering, East China Normal University, Shanghai 200062, China;
2. MOE Engineering Research Center for Software/Hardware Co-design Technology and Application, Shanghai 200062, China;
3. The State Engineering Research Center for Trustworthy-embedded Software, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** With the development of economy and the improvement of people's living standard, the number of vehicles in city is growing rapidly, and the congestion and environment pollution and other problems caused by traffic are becoming more serious. ITS (Intelligent Transportation System) has become one of the hottest topics discussed by domestic and foreign researchers, and how to solve the traffic congestion problem is especially important in ITS. In order to improve traffic condition in intersections and to enhance traffic efficiency, a self-adaptive traffic light control system based on vehicle speed is proposed. It is an instance of V2I (Vehicle to Infrastructure) communication model, which realizes data transmission between vehicles and traffic light by using V2I protocols. Vehicles send speed messages to the traffic light when passing the intersection, and the system controls by itself the traffic light by analyzing the speed of cars in both cross and the front and current state of the traffic light. This system can improve the traffic capacity and ease traffic congestion effectively through decreasing the congestion in intersection.

**Key words:** ITS; self-adaptive; traffic light control; V2I

收稿日期:2015-09-19

修回日期:2016-02-24

网络出版时间:2016-08-23

基金项目:国家“973”重点基础研究发展计划项目(2011CB302802);国家自然科学基金资助项目(61370100);上海知识服务平台计划(ZF1213);上海市科委项目(14511100400)

作者简介:李金洋(1993-),女,硕士研究生,研究方向为软硬件协同设计;陈仪香,教授,研究方向为物联网、实时协同规范语言设计、程序语义模型、软件可信度量与评估。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160823.1343.038.html>

# 0 引言

交通与人们的生产、生活息息相关,可以说人们对交通的依赖十分强烈。交通体系一直在发展,但是在大部分国家和城市,道路交通建设的速度远远赶不上机动车数量增长的速度,这两者发展速度的不平衡导致了交通拥堵、交通事故频发、环境污染等问题的出现。其中最严重的就是交通拥堵问题。很长一段时间,国内外许多研究人员都致力于解决这一问题,随着智能交通系统<sup>[1-2]</sup>的发展,提出了许多交通控制系统。

目前,大部分交通信号灯采用的控制算法的制定流程是:对路口车辆流量信息进行采样方法统计调查,运用统计学原理计算两个方向交通信号灯的延迟时间并按此预先设定好<sup>[3]</sup>,信号灯属于静态自动调整。而实际中,路口交通的车流量和车速往往是动态的,不同时段路口的路况信息存在很大差异,固定时长的交通信号灯控制策略并不能满足实际路口的需要。所以必须寻求一种智能的交通控制系统,它能够根据道路车流量和车速变化实时自动地调节交通信号灯时间的长短,最大限度地减少路口的车辆滞留数目,有效缓解交通拥堵状况,实现交通控制系统的最优控制,这就是自适应交通信号灯控制系统。当前世界上比较完善的自适应控制系统有英国的 SCOOT 系统<sup>[4]</sup>和澳大利亚的 SCATS 系统<sup>[5]</sup>,这两个系统都是区域控制。此外还有针对单个交叉路口的自适应交通灯控制系统。例如,文献[6]提出一种基于光-电开关计数器计算车流量的自适应交通信号灯控制系统;文献[7-8]提出基于无线传感器网络的自适应交通灯控制系统;文献[9]提出协调模糊拥堵控制系统。但这些系统多是根据车辆数目信息来进行控制,不能完全反映路口状况。

文中对单个交叉路口自适应交通信号灯控制系统进行研究,设计了一种以车速信息为判断依据的自适应交通信号灯控制系统,实现智能交通。该系统能够动态调整交通信号灯显示状态和时长,以规避交通拥堵的发生,并且能够在一旦发生拥堵的情况下尽快缓解拥堵情况、疏通路口车辆。

## 1 系统设计

### 1.1 场景描述

该系统适应的场景为十字交叉路口。为了减小系统复杂性、便于实现,暂不考虑车辆左转或右转的情况,即假设每个方向通过路口的汽车都是直行。

交通信号灯控制系统可接收各个方向的汽车在通过路口时的速度和通过路口之后在下一路段的车速,以判断整个路口的通行情况,然后根据路口实时路况给红绿灯发出相应指令,如延长红绿灯时长、进行红绿灯转换等。万真敬据西方向红绿灯显示一致,南北方向

显示一致。该交通信号灯控制系统所起到的作用就相当于在十字路口站了一个经验丰富的交通警察,能够依据当前车流情况,实时控制整个路口的行车情况,指挥交通,尤其在拥堵发生时起到疏导作用。

### 1.2 通讯模式

V2I ( Vehicle to Infrastructure )<sup>[10-11]</sup> 通讯是车联网<sup>[12]</sup>中的概念,指汽车与道路基础设施之间的通讯,这些基础设施包括道路、路灯、交通灯、电子路障等。该系统是一个典型的 V2I 模式的通讯系统。从图 1 可以看出,系统通讯的网络拓扑采用星型网络拓扑结构,即所有通过路口的汽车都与基础设施交通信号灯进行通讯。

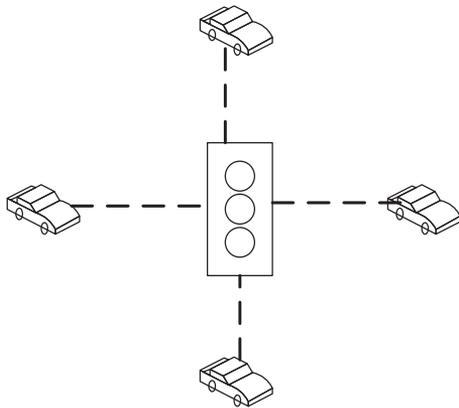


图 1 系统网络拓扑图

### 1.3 模块化体系架构

系统中两个主体为交通信号灯和汽车,按照功能可将其分为不同模块,其体系架构如图 2 所示。

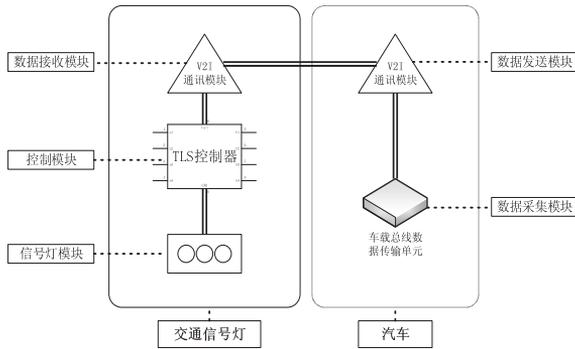


图 2 模块化体系架构

交通信号灯部分包括数据接收模块、控制模块和信号灯模块。数据接收模块负责接收由汽车发过来的数据;控制模块即 TLS ( Traffic Light System ) 控制器部分,负责数据处理和发出指令对信号灯进行控制;信号灯模块则负责显示。汽车上有数据采集模块和数据发送模块,分别负责汽车行驶过程中车速、位置、方向等数据信息的采集和发送。

在此架构下,系统活动可以描述为:当汽车驶入系统范围(即系统支持的最大数据传输距离)之内,汽车上的数据采集模块采集汽车行驶过程中一系列车辆信

息(如车速、位置、行驶方向等);然后由数据发送模块发送给交通信号灯上的数据接收模块;交通信号灯接收到数据之后将其传送给控制模块;控制模块则根据相应算法判断路口通行情况,做出相应处理,给信号灯下达正确指令;信号灯则受控制模块控制,延长信号灯时间或切换信号灯。整个过程是一直循环往复的。

## 2 系统实现

### 2.1 数据采集模块

系统中数据采集与发送所使用的装置为国家可信嵌入式软件工程技术研究中心研发的车载 OBD(On-Board Diagnostic System)<sup>[13]</sup> 设备。该设备能自动适配多种车辆总线,适应性较强,并且能够自主采集车辆数据,有针对性地进行车辆数据采集与数据整理。在使用时直接将其与汽车的 OBD 接口相连,便可对汽车数据总线的数据进行采集。对其进行配置并连接通讯模块即可按规定的数据格式发送数据。

### 2.2 V2I 通讯模块

#### 2.2.1 通讯设备

系统中的 V2I 通讯所使用的模块是 ZigBee 模块。ZigBee<sup>[14]</sup> 技术是一种短距离、低功耗、低成本的无线通信技术。ZigBee 在室内通常能达到 30 ~ 50 m 的作用距离,而在室外则能达到 100 m 左右,并且 ZigBee 有比较强的网络自组织、自愈能力,网络容量大,通讯可靠,所以能够满足系统需求。

#### 2.2.2 数据格式

系统中将汽车采集到的数据传输到交通信号灯时的数据格式定义如下:数据设为 19 个字节,分别为 Date[0] 到 Date[18]。其中,Date[0] 是数据头,使用固定值 0x55。然后是车辆 ID,占用 2 个字节。接下来是汽车的一系列信息,包括行驶速度 2 个字节,纬度 4 个字节,经度 4 个字节,行驶方向 4 个字节。车载 OBD 采集到的行驶速度单位为 km/h,并且全是整数,因此可直接转化为十六进制;经纬度是小数位为 5 位的标准经纬度,因此要将其化为整数后再转为十六进制传输;行驶方向用方位角来表示,以正北方为基准设为 0°,正东方为 90°,以此类推,方位角的范围是 0° ~ 360°,同样将其转为十六进制后按字节传输。最后的 Date[17][18] 设为固定值 0x0D 0xAA,作为一条数据的结尾,这里使用两个字节而不是使用单个字节是因为前面的数据都是随机的,可能出现 0D 或 AA,会影响判断,所以用两个字节表示数据尾来避免这种情况。

具体数据格式定义如表 1 所示。

车载 OBD 按照上述格式发送数据,控制模块接收到数据之后按照同样的逻辑将数据进行解析,分别得到每一个信息。

表 1 数据格式

字节编号	长度/byte	内容
0	1	数据头
1	2	车辆 ID
3	2	行驶速度
5	4	纬度
9	4	经度
13	4	行驶方向
17	2	数据尾

### 2.3 控制模块

#### 2.3.1 控制器

交通信号灯控制器是系统中最重要的一部分,负责运行控制算法以及控制信号灯。系统要求控制器可以接收车速信息作为输入,调整信号灯显示时长作为输出,以控制信号灯的显示。

#### 2.3.2 控制算法

交通信号灯控制算法要解决的问题是如何根据车速信息判断路口通行情况并给信号灯发送正确指令控制其显示,令其切换信号灯的状态或者延长显示时间,这是该系统的关键问题。

该控制算法的主要思想为:算法中考虑的是东西方向红绿灯的情况,由于当前硬件设备限制,南北方向红绿灯只是简单对其取反,即东西方向为红灯时,南北方向为绿灯,黄灯时两个方向都为黄灯;相反地,东西方向为绿灯时,南北方向为红灯。而且为了避免控制出现矛盾,只考虑由西向东和由南向北方向的车辆。在没有特殊条件的条件下,红灯和绿灯的基本亮起时间都是 60 s,红灯绿灯切换之间黄灯闪烁时间为 5 s。对于车速的判断为:设置两个临界车速  $V_{\max}$  和  $V_{\min}$ 。车速大于  $V_{\max}$  即表示畅通,车速小于  $V_{\min}$  时表示拥堵。由道路经验设定  $V_{\max}$  为 40 km/h,  $V_{\min}$  为 20 km/h。根据车速以及当前显示灯情况对信号灯进行控制:当前为绿灯时,有两种情况要延长绿灯时间,一是本方向畅通,另一方向拥堵,那么不让拥堵方向的车辆进入路口,要延长本方向绿灯时间;二是本方向没有发生拥堵,且有车要通过路口,这时另一方向没有车要通过,那么就延长本方向绿灯时间,减少道路资源浪费。一旦这个方向发生了拥堵,就将其变为红灯,红灯之前黄灯同样要闪烁 5 s。当前为红灯时,情况基本和绿灯条件下相似。但在改变显示灯状态时要注意剩余时间是否小于或大于 5 s,以避免资源浪费和显示灯切换过于频繁。具体算法如下:

算法 1:交通信号灯控制算法。

输入:不同方向位置车速;

输出:显示灯时间。

当前东西方向为绿灯:

若(  $V_{EW}^+ > V_{max}$  &&  $V_{EW}^\dagger > V_{max}$  )&&(  $V_{NS}^\dagger < V_{min}$  )&&(  $G\_time \leq 5$  )

则绿灯时间延长 10 s;

若(  $V_{EW}^+ > V_{min}$  &&  $V_{EW}^\dagger > V_{min}$  )&&! Empty( EW\_In )&& Empty( NS\_In )&&(  $G\_time \leq 5$  )

则绿灯时间延长 10 s;

若(  $V_{EW}^+ < V_{min}$  )&&(  $V_{NS}^\dagger > V_{min}$  )&&(  $G\_time > 5$  )

则绿灯变为黄灯,黄灯亮 5 s 后变红灯;

若(  $V_{EW}^\dagger < V_{min}$  )&&(  $V_{NS}^\dagger > V_{min}$  )&&(  $G\_time > 5$  )

则绿灯变为黄灯,黄灯亮 5 s 后变红灯;

其他情况则不对绿灯做延长或缩短处理。

当前东西方向为红灯:

若(  $V_{EW}^\dagger < V_{min}$  )&&(  $V_{NS}^+ > V_{max}$  )&&(  $V_{NS}^\dagger > V_{max}$  )&&(  $R\_time \leq 5$  )

则红灯时间延长 10 s;

若 Empty( EW\_In )&&(  $V_{NS}^+ > V_{min}$  )&&(  $V_{NS}^\dagger > V_{min}$  )&&! Empty( NS\_In )&&(  $R\_time \leq 5$  )

则红灯时间延长 10 s;

若(  $V_{EW}^\dagger > V_{min}$  )&&(  $V_{NS}^\dagger < V_{min}$  )&&(  $R\_time > 5$  )  
判断红灯剩余时间是否大于 5 s,若是,则红灯变为黄灯,黄灯亮 5 s 后变绿灯;

若(  $V_{EW}^\dagger > V_{min}$  )&&(  $V_{NS}^\dagger < V_{min}$  )&&(  $R\_time > 5$  )  
判断红灯剩余时间是否大于 5 s,若是,则红灯变为黄灯,黄灯亮 5 s 后变绿灯;

其他情况则不对红灯做延长或缩短处理。

(1)算法分析。

算法中各个符号表示的含义:  $V_{EW}^+$  表示由西向东的汽车在路口的车速;  $V_{EW}^\dagger$  表示由西向东的汽车驶出路口的车速;  $V_{NS}^+$  表示由南向北的汽车在路口的车速;  $V_{NS}^\dagger$  表示由南向北的汽车驶出路口的车速; Empty( EW\_In )表示东西方向无车驶入; Empty( NS\_In )表示南北方向无车驶入;  $R\_time$ ,  $G\_time$  分别表示红灯和绿灯的剩余时间。

(2)算法验证。

为了更清楚地描述算法并便于验证,将算法中的 8 种情况分别设为 case1, case2, ..., case8, 则该算法可用图 3 所示有限状态自动机来表示。

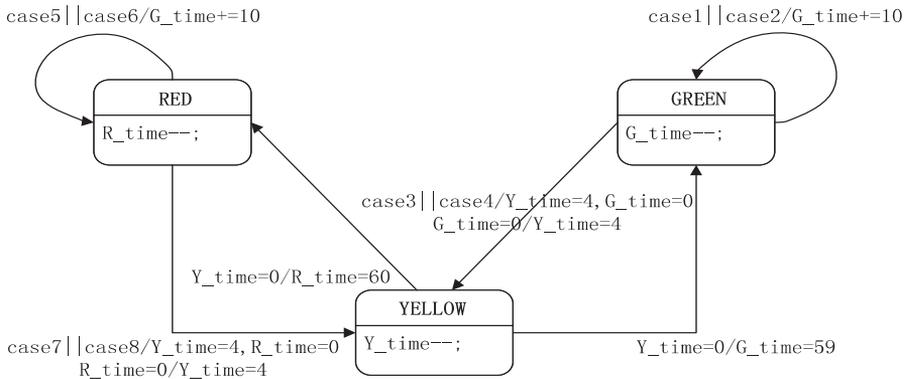


图 3 有限状态自动机

为了验证该算法是否正确,利用 Matlab/Simulink 对上述状态自动机进行了仿真验证。在路口没有异常的情况下,300 s 之内路口交通信号灯变化如图 4 所示。

图中 3 条线分别表示绿灯、黄灯和红灯的显示情况,高电平表示亮起,低电平表示不亮。可看出当前信号灯变化为绿灯亮 60 s,黄灯亮 5 s,红灯亮 60 s,按此

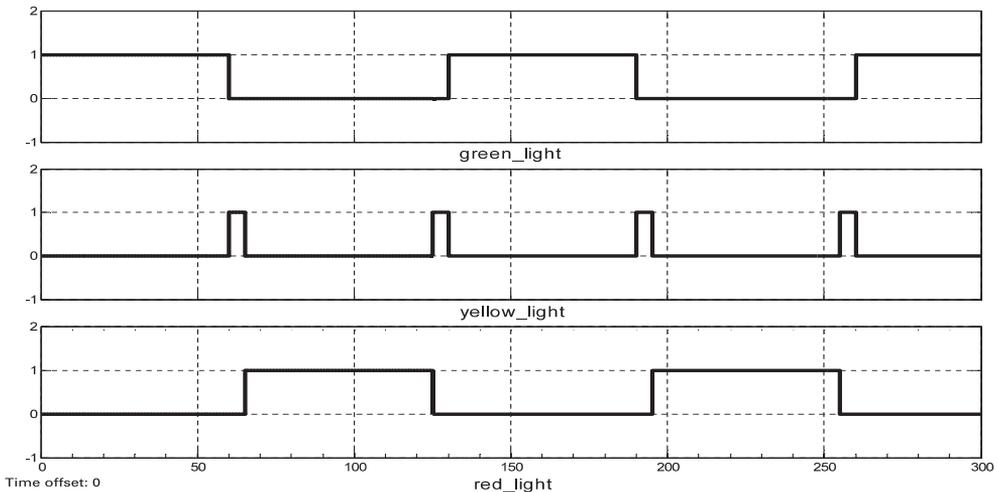


图 4 正常路口交通信号灯显示情况

循环。

为验证该交通信号灯能否正确判断路口实时情况

并调整信号灯时长,模拟了如图5所示的路口车速值,自上往下四条线分别为  $V_{EW}^+$ 、 $V_{EW}^\uparrow$ 、 $V_{NS}^+$  和  $V_{NS}^\uparrow$ 。

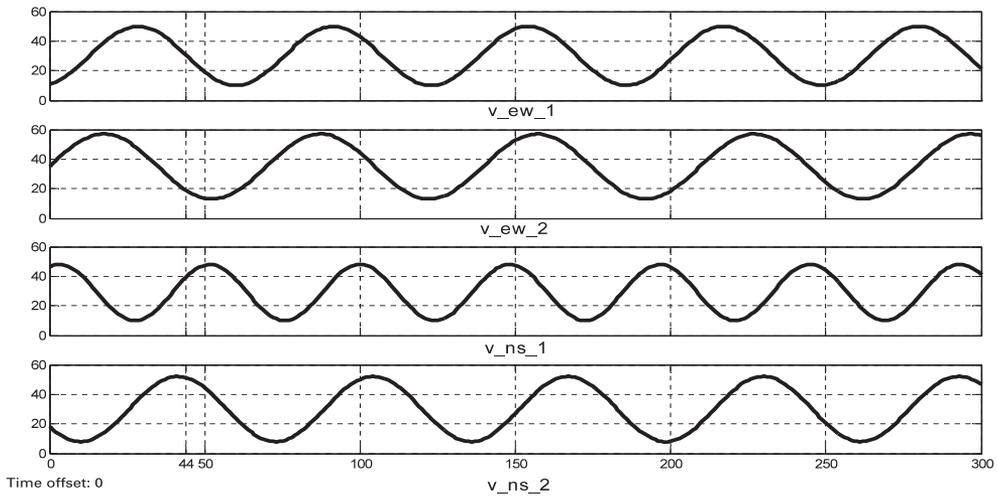


图5 模拟车速

从图6即接收了模拟车速之后的信号灯变化情况可以看出,在44 s的时候信号灯由绿灯变为了黄灯而后变为红灯,此时相应的车速:  $V_{EW}^+$  为 30.5、 $V_{EW}^\uparrow$  为

18.9、 $V_{NS}^+$  为 39.5 和  $V_{NS}^\uparrow$  为 51.2。说明此时东西方向下一路段已经发生了拥堵,符合 case4 的情况,按照控制算法绿灯变为红灯是正确的。其他情况与此类似。

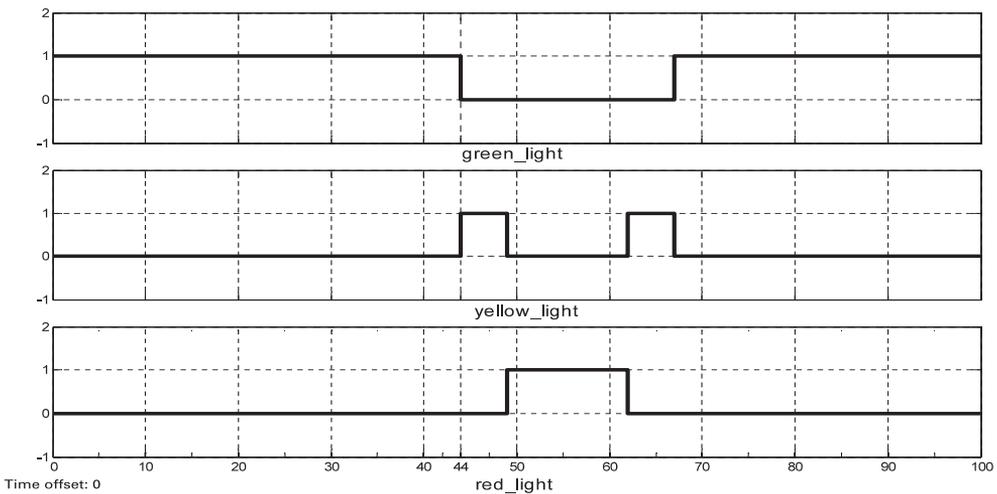


图6 信号灯变化情况

从仿真结果可以看出,系统能够利用该算法根据不同的车速情况进行自适应控制,调整交通信号灯的显示时间,表明算法是有效的。

### 3 结束语

交通拥堵问题是当今十分严重的交通问题之一,为了提高道路通行能力,缓解路口交通拥挤,文中利用 ZigBee、OBD 等技术设计并实现了一种自适应的交通信号灯控制系统。在该系统中,当汽车驶入路口一定范围时,会将采集到的车速信息发送给交通信号灯上的控制器,控制器根据这些车速信息对信号灯进行控制,信号灯做出相应变化,如切换信号灯或延长信号灯。与其他现有的自适应交通信号灯控制系统不同,该系统不以车辆数目为判断条件,而是以车速为依据

判断路口状况调节信号灯显示。相比于原有的固定时长的交通灯控制系统,该系统预计可以有效缓解路口通行压力、提高路口通行能力,为城市交通提供便利。

由于当前硬件等条件的限制,系统还存在诸多不足,例如现在的东西和南北两个方向的信号灯是绑定的,一方为红灯则另一方直接取反,而不是根据路况进行判断。在下一步工作中,将重点解决两个问题:一是实现对路口两个方向的信号灯进行协同控制;二是考虑转弯等情况对信号灯控制的影响。最终使得该交通信号灯控制系统更加完善。

#### 参考文献:

[1] Masaki I, Demir R, Crawley E F. System design for intelligent transportation systems [C]//Proceedings of the 1996 IEEE

系统并没有在自适应训练中将高能量的噪音加入到非语音模型的训练中,但是在高能量噪音很少的环境中,效果上几乎和传统模型VAD没有区别,而且自适应建模VAD的便利性和环境适应性弥补了效果上的不足。

## 5 结束语

文中提出了一种自适应建模的VAD方法,该方法结合了能量VAD和模型VAD的优点,采用了在线自适应训练GMM的方法,避开了传统模型VAD中繁杂的人工数据标注和线下模型训练的工作,并且不用担心不同场景下的信道以及背景音不同等问题。该方法在实验中取得了很好的效果, $F_1$ 指标比传统能量VAD提高了0.031,说话人分离错误率也比传统能量VAD降低了0.45%。但是该方法还存在一些不足,首先它对高能量噪音的过滤能力并不好,必须在较高的信噪比环境下才能很好地工作,其次由于是在线的训练模型,所以在运算速度上要弱于传统的能量VAD和传统的模型VAD,这些都是后续需要解决的问题。

## 参考文献:

- [1] 孙战先,储飞黄,王江.一种自适应语音端点检测算法[J].计算机工程与应用,2014,50(1):206-210.
- [2] Lamel L, Rabiner L, Rosenberg A, et al. An improved endpoint detector for isolated word recognition[J]. IEEE Transactions on Acoustics Speech & Signal Processing, 1981, 29(4):777-785.
- [3] 张仁志,崔慧娟.基于短时能量的语音端点检测算法研究[J].电声技术,2005(7):52-54.
- [4] 周明忠,吉立新.基于平均幅度和加权过零率的VAD算法及其FPGA实现[J].信息工程大学学报,2010,11(6):713-718.
- [5] Wu J, Zhang X L. An efficient voice activity detection algorithm by combining statistical model and energy detection[J]. Journal on Advances in Signal Processing, 2011(2):150-154.
- [6] 雷建军,杨震,刘刚,等.基于复高斯混合模型的鲁棒VAD算法[J].天津大学学报,2009,42(4):353-356.
- [7] 朱杰,韦晓东.噪声环境中基于HMM模型的语音信号端点检测方法[J].上海交通大学学报,1998,32(10):14-16.
- [8] 章钊,郭武.话者识别中结合模型和能量的语音激活检测算法[J].小型微型计算机系统,2010,31(9):1914-1917.
- [9] 郭武.复杂信道下的说话人识别[D].合肥:中国科学技术大学,2007.
- [10] Zhang X L, Wu J. Denoising deep neural networks based voice activity detection[C]//Proc of international conference on acoustics, speech, and signal processing. [s. l.]: [s. n.], 1988:853-857.
- [11] 黎林,朱军.基于小波分析与神经网络的语音端点检测研究[J].电子测量与仪器学报,2013,27(6):528-534.
- [12] Reddy A M, Raj B. Soft mask methods for single-channel speaker separation[J]. IEEE Transactions on Audio Speech & Language Processing, 2007, 15(6):1766-1776.
- [13] 张策.电话信道下说话人分离及识别研究[D].北京:中国科学院大学,2013.
- [14] intelligent vehicles symposium. [s. l.]: IEEE, 1996:323-326.
- [2] 赵娜,袁家斌,徐晗.智能交通系统综述[J].计算机科学,2014,41(11):7-11.
- [3] 赵金亮.自适应交通路口控制系统设计与实现[J].太原理工大学学报,2013,44(4):531-535.
- [4] Robertson D I, Bretherton R D. Optimizing networks of traffic signals in real time—the SCOOT method[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1991, 40(1):11-15.
- [5] 陈龙,彭森第,魏明. SCATS 优选配时方案的研究[J]. 硅谷, 2010(12):77-77.
- [6] 宋依青,张润.自适应交通灯控制系统的设计与实现[J].计算机测量与控制,2008,16(4):497-499.
- [7] 李清泉,刘瀚铎.基于无线传感器网络交通红绿灯控制系统研究[J].科协论坛:下半月,2010(6):71-73.
- [8] Yousef K M, Al-Karaki J N, Shatnawi A M. Intelligent traffic light flow control system using wireless sensors networks[J]. Journal of Information Science and Engineering, 2010, 26(3):753-768.
- [9] 叶文斌.基于红绿灯优化城市交通控制设计与仿真[D].上海:华东师范大学,2015.
- [10] Milanés V, Villagra J, Godoy J, et al. An intelligent V2I-based traffic management system[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012, 13(1):49-58.
- [11] 魏赞,鲁怀伟,何朝晖.基于OPNET的智能交通系统简单场景下的V2I通信性能研究[J].自动化与仪器仪表, 2015(1):8-10.
- [12] 王建强,吴辰文,李晓军.车联网架构与关键技术研究[J].微计算机信息,2011,27(4):156-158.
- [13] 孙龙,李孟良,徐达. OBD 技术的应用及其发展[J]. 汽车工程师, 2011(10):54-58.
- [14] 蒲泓全,贾军营,张小娇,等. ZigBee 网络技术研究综述[J]. 计算机系统应用, 2013, 22(9):6-11.

(上接第25页)