

集成射频与视频监控的交通流参数检测技术

刘海艳, 李俊敏

(南京理工大学紫金学院, 江苏 南京 210023)

摘要: 提出一种集成射频识别技术和视频监控技术的交通流参数测量方式。介绍了检测系统组成、基于射频技术(RFID)的车载电子车牌关键技术、道路视频图像处理技术等。系统根据射频终端信号实时调整视频采集速率, 对射频数据和视频数据进行及时处理得到车牌、车辆特征、车速以及车流量等有效交通流参数, 并将数据压缩之后通过云端网络发送至服务器端, 服务器端可远程监控各路段交通信息, 并可对视频信息进一步处理得到更多具体的信息, 为实现交通诱导、违章监控、速度监控等提供可靠准确的数据支持。

关键词: 射频识别; 电子车牌; 视频监控; 车速监控; 车流量

中图分类号: TN98

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200515

中文引用格式: 刘海艳, 李俊敏. 集成射频与视频监控的交通流参数检测技术[J]. 电子技术应用, 2021, 47(4): 77-81.

英文引用格式: Liu Haiyan, Li Junmin. Traffic flow parameter detection technology based on RFID and video monitoring[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(4): 77-81.

Traffic flow parameter detection technology based on RFID and video monitoring

Liu Haiyan, Li Junmin

(Nanjing University of Science and Technology Zijin College, Nanjing 210023, China)

Abstract: This paper presents a traffic flow parameter measurement method based on RFID and video monitoring technology. It introduces the composition of detection system, key technology of vehicle electronic license plate based on radio frequency(RFID), image processing technology of road video, etc. The detection system reads the electronic license plate information from the RFID terminals installed on the supports on both sides of the road. Master control unit adjusts the signal acquisition rate of video terminal, RFID data and video data for processing in time to get the traffic data such as license plate, vehicle characteristics, speed and effective traffic flow parameters, etc. These data also can be compressed and sent to the server through the cloud network. The server can remote monitoring the road traffic, and can get more detailed information after further processing. It provides reliable and accurate data support for traffic guidance, illegal monitoring and speed monitoring.

Key words: RFID; electronic license plate; video monitoring; speed monitoring; traffic flow

0 引言

随着国民经济发展迅速, 城市汽车持有量显著提升, 道路交通问题层出不穷, 交通拥堵与交通安全问题的关注度也随之不断提高。智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)是目前缓解城市交通压力、解决交通拥堵问题的一种高效方法。道路车辆的实时监测系统作为 ITS 的重要组成部分, 其工作效率和精度将直接影响 ITS 的智能化程度^[1-2]。

传统的交通流量检测器有电磁感应线圈、超声波检测器、微波检测器和红外光标及基于视频的流量检测器等多种方式^[3]。与其他检测方式相比, 基于视频的车流量统计方法具有不破坏路面、安装简单、获得参数更多、更直观、监测范围广等优点, 近些年得到越来越广泛的应用。但视频图像检测受外部环境的影响较大, 如检测中存在大型车辆能遮挡随行小型车辆; 受光照影响, 不同

时段车辆阴影位置变化, 可能导致两个或多个车辆目标粘连在一起而被错误的当作一个车辆; 积水反射或雨雾天气等都可能造成检测误差^[4-5]。本文提出将射频识别技术和视频技术相结合进行交通流参数测量, 具有高精度、高速识别、可工作于恶劣环境等特点, 应用在道路监控领域有其独特的优势。

1 系统组成

系统主要包括安装于机动车上的电子标签。安装于道路两侧的 RFID 读写器终端和视频监控单元通过远程网络与远端服务器进行通信, 当安装电子标识的车辆进入读写器可以识别的范围之内时, 触发高精度视频监控记录当前路面车辆信息。主控制器对读取到的电子标识所包含车辆信息与视频信息进行简单处理压缩, 通过无线网络传输至总服务器端。服务器端对获取信息进行综合处理, 将车辆编码信息、车辆位置实时传递给交通管

理中心,通过对信息、数据的分析、比对、统计等为交通指挥决策提供科学依据,提高交通管理的信息化水平。

1.1 车辆电子标识

2017年,国务院《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》提出研究使用汽车电子标识,建设智能路侧设施,提供网络接入、行驶引导和安全告警等服务^[6]。汽车电子标识系统工程是新型智慧城市建设的新入口,随着国家标准的确立,RFID汽车电子标识率先在无锡、北京、深圳等几个城市试点。

车辆电子标识(ERI)也称为汽车电子身份证,简称电子车牌,其关键部件是固定于车牌中的射频标签,主要利用RFID技术,将车牌号码、车辆信息等存储在射频标签中,固定安装于机动车车牌内。安装电子车牌的车辆通过装有相应射频识别读写器的路段时,读写器可对机动车电子车牌上的数据进行采集或写入,从而记录车辆行驶时间、路段等信息,为各类综合交通管理提供支持数据。

1.2 系统主控模块

系统主控模块如图1所示,CPU选用三星公司S3C2440A。当读写器单元接收到电子车牌发送的信息后,根据获取电子车牌的数量进行视频采集频率的设置,控制驱动触发高清图像传感器采集实时车辆图像,并可以同时记录接收到的车辆身份信息,并将这些信息打包压缩并通过无线模块传输到数据库中心服务器。服务中心对传输过来的数据进行解码,还原实时图片。然后对图片进行图形处理,获取相关交通流参数。

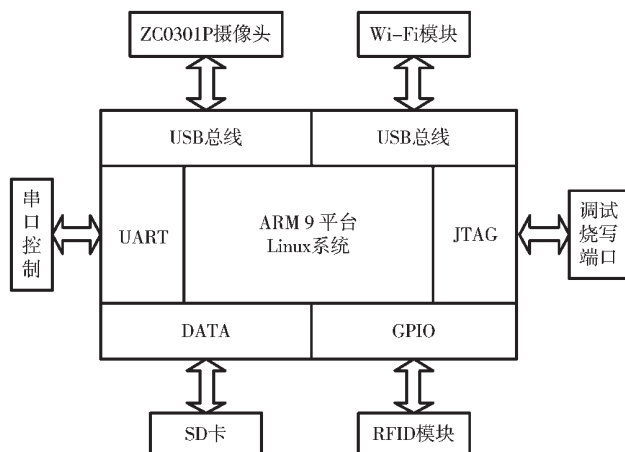


图1 系统主控模块框图

1.3 视频信号处理

目前,鉴于超高频RFID标签产品在国内尚未有统一的标准颁布和实施,产业和应用的发展存在制约因素,影响其发展。故本文提出将电子车牌与视频监控结合起来,对道路交通情况以及车辆的行驶情况进行记录。通过电子标签识别系统记录到的数据与对视频图像进行处理和分析得到数据互为补充,完成对道路上行驶

车辆运行轨迹、行驶速度、是否违章等进行有效记录,便于联网工作,有利于实现道路交通网的监视和控制流量的统计工作。交通流信息能否被准确采集主要取决于系统中应用的图像处理算法,车辆目标的检测技术的流程主要分为3个步骤:背景模型的建立及更新、背景差分法运动目标提取、基于卡尔曼滤波器的运动目标跟踪及车辆计数。

1.3.1 背景模型的建立与更新

常用的运动目标检测算法主要有:光流法、帧差法和背景差分法。背景差分法的优势在于简单可行,前景提取准确度高,但是其背景由于拍摄器材的抖动,运动场景的阴影和光线变化较大等影响,其背景模型对提取的准确性的影响巨大。为了适应背景变化对前景提取的影响,引入混合高斯模型来解决该问题,对复杂场景下的视频序列进行背景建模和前景提取,获取前景目标后利用前景目标的运动轨迹、图像特征等进行筛选^[7]。基本思想是对每个像素点呈现的颜色用 K 个高斯分布叠加表示,根据权值和方差不断训练决定哪些分布代表背景颜色,与采集到的帧图像进行匹配,可提取出前景。为适应由于光照、风速等引起的背景颜色的变化,对各分布的权值、均值和方差需要通过学习实时更新^[8]。则像素点 X_i 的混合高斯模型的概率分布 $P(X_i)$ 如式(1)所示:

$$P(X_i) = \sum_{i=1}^K \omega_{i,t} \times \eta(X_i, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (1)$$

其中,各个高斯分布分配有不同的权值 $\omega_{i,t}$ 。 $\mu_{i,t}$ 、 $\Sigma_{i,t}$ 分别表示在第 t 帧时第 i 个高斯分布的均值和协方差矩阵。 η 表示的是高斯分布密度函数,如式(2)所示:

$$\eta(X_i, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2} (X_i - \mu_{i,t})^T \Sigma^{-1} (X_i - \mu_{i,t})} \quad (2)$$

各个高斯分布总是按照权重从高到低的次序进行排列。在检测前景点时,按照优先级次序将新一帧的像素点 X_i 与各高斯分布逐一匹配,若没有表示背景分布的高斯分布与 X_i 匹配,则判定该点为前景点,否则为背景点。

基于概率密度原理,可以构建由 K 个高斯分布的混合高斯模型^[9-10]。

混合高斯模型背景建立的步骤如下。

(1) 参数初始化

定义参数学习率变量即AdaptLearningRate来反映高斯分布函数的收敛速度,第一帧图像的每个像素点的高斯分布的权重初始化为 $\omega_0=1/K$,并对均值和方差进行初始化,如式(3)、式(4)所示。

$$\mu_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{t=N-1} X_i \quad (3)$$

$$(\sigma_{i,0})^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{t=N-1} (X_i - \mu_0)^2 \quad (4)$$

(2) 参数更新

混合高斯模型的参数更新即高斯分布权重的参数更新,对于像素点 X_{i-1} 的 K 个高斯分布根据其权重的大小进行排序,然后进行重新的匹配,如式(5)所示:

$$|X_i - \mu_{i,t-1}| \leq C\sigma_{i,t-1} \quad (5)$$

其中, C 在混合高斯模型的建模中常取值为 2.5,即将每个像素值与当前的 K 个高斯分布模型进行比较,直到找到与其匹配的模型,符合匹配公式即为背景^[11],否则即为前景。而在视频变化时,需要利用如式(6)~式(8)所示方法更新权重参数。

$$\mu_{i,t} = (1-\rho)\mu_{i,t-1} + \rho X_i \quad (6)$$

$$(\sigma_{i,t})^2 = (1-\rho)(\sigma_{i,t-1})^2 + \rho(X_i - \mu_{i,t})^2 \quad (7)$$

若第 m 个高斯分布与 X_i 匹配,则:

$$\omega_{i,t} = \begin{cases} (1-\alpha)\omega_{i,t-1} + \alpha & i=m \\ (1-\alpha)\omega_{i,t-1} & i \neq m \end{cases} \quad (8)$$

其中, ρ 表示学习速率, α 为另一个表示模型更换快慢的常数。如果开始匹配时无任何匹配,则权重最小的模式被替换,标准差为初始较大值,权重为较小值。

(3)背景模型的建立

对 K 个高斯分布按照 $\frac{\omega_{i,t}}{\sigma_{i,t}}$ 进行降序排列,权重大、标准差小的模式排列靠前,选取前 B_i 个高斯分布作为背景模型,如式(9)所示:

$$B_i = \arg \min_k \left(\sum_{i=1}^k \omega_{i,t} > T \right) \quad (9)$$

式中, T 为自定义的权重阈值^[12]。

根据上述原理,在 MATLAB 深度学习工具箱下设置混合高斯模型的初始参数如下:

(1)高斯混合模型的权重分布数: NumGaussians=3; 在 MATLAB 中可对其选择范围为 3~5 的整数值。

(2)最小背景阈值大小:即背景模型建立中的权重阈值,可进行更改,本设计选取 MinimumBackgroundRatio=0.7000。

(3)用于训练背景模型的初始视频帧数: NumTraining-Frames=40; 针对不同视频该数值可以进行更改,针对本应用场景,选取前 40 帧用于训练背景模型。

(4)学习速率: LearningRate=0.0050。

1.3.2 背景差分法车辆提取

利用混合高斯模型建立了背景模型之后,通过可调参数的合理范围设置能够提取包含车辆目标的前景图像。在此基础上,从提取的前景图像中获得车辆目标,即完成车辆目标的分割处理,图像分割是在包含前景的图像中确定目标即完成目标检测,本文所选用的目标检测方法为基于背景差分法,即首先基于混合高斯模型完成背景的提取,然后利用前景图像减去背景图像进行差分,得到前景图像的二值化图像。利用形态学运算对目标区域进行处理,消除噪声及小散点的干扰,填充孔洞区域,提取车辆目标,原始图像及处理结果如图 2~图 4 所示。

1.3.3 车辆跟踪

车辆目标跟踪和预测使用的方法是卡尔曼滤波,对



图 2 原始图像



图 3 二值化处理结果



图 4 利用形态学闭运算进行填充

车辆的行驶轨迹进行估计,即对车辆的运动质心进行估计,预测出下一时刻的车辆质心位置和区域,需要在预测区域内对目标车辆进行搜索,利用卡尔曼滤波器进行车辆质心的位置预测和框选矩形框进行下一帧目标的搜索。卡尔曼滤波的迭代过程分为两部分:第一步为预测,即利用前一帧的车辆信息预测下一时刻的目标车辆可能的位置;第二步为校正,在第一步预测值的基础上,与当前时刻数据对比,对车辆信息调整,获取最优位置信息^[13]。

卡尔曼滤波方法由前一时刻的状态得到后一时刻的状态的基本方程如式(10)所示:

$$x_k = Fx_{k-1} + B\mu_k + \omega_k \quad (10)$$

式中, x_k 表示 k 时刻的车辆目标的状态向量; F 为传递矩阵,其维数为 n ; μ_k 的功能是施加于系统的外部控制; B 是控制矩阵,是外部控制与状态变化之间的关系; ω_k 是具有高斯分布的随机变量。因为,卡尔曼滤波在校正过程还需利用当前的测量值^[14-15],而当前的测量值是很难直接获取的,可通过测量值进行转换,如式(11)所示:

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (11)$$

式中, H 为测量矩阵; v_k 是测量过程产生的误差, 假设具有高斯分布。

卡尔曼滤波的预测和校正循环的 5 个方程如式(12)~式(16)所示:

$$\tilde{x}_k = F\hat{x}_{k-1} + B\mu_k + \omega_k \quad (12)$$

$$\tilde{P}_k = F\hat{P}_{k-1}F^T + Q_{k-1} \quad (13)$$

$$K_k = \tilde{P}_k H_k^T (H_k \tilde{P}_k H_k^T + R_k)^{-1} \quad (14)$$

$$\hat{x}_k = \tilde{x}_k + K_k(z_k - H_k \tilde{x}_k) \quad (15)$$

$$\hat{P}_k = (1 - K_k H_k) \tilde{P}_k \quad (16)$$

其中, 上标 \sim 表示的均是卡尔曼滤波的预测结果, 上标 $\hat{\cdot}$ 表示的是校正结果, k 表示的是当前时刻, -1 表示前一个时刻; P 为误差协方差; K 表示更新率, 即增益值。其中前两个等式表示的是卡尔曼滤波预测阶段, 后两个等式表示的是校正阶段, 可以看出: 预测阶段的 k 时刻的状态向量与误差值由 $k-1$ 时刻估计值得到, k 时刻的状态向量和误差方差的校正值, 即最优解可以由卡尔曼滤波的预测结果和增益结果得到^[16]。

1.3.4 基于 GUI 的车流量检测系统的建立

基于前述视频处理原理, 建立了基于 MATLAB GUI 的车流量检测系统, 该系统由几部分组成: 视频信息的导入和处理、当前车辆目标的数量显示、车辆总数的显示、识别的车辆目标的实时跟踪和轨迹显示^[17]。其显示界面如图 5 所示。

2 交通流参数计算

服务器对得到的射频统计信号和视频信号进行处理, 即可根据这些信息统计分析得到车流量、车辆类别、时空占有率、车速等具体交通流参数信息^[18]。

(1) 车速计算, 如式(17)所示:

$$v_A = \frac{\Delta x}{N\Delta t} \quad (17)$$

其中, Δx 表示车辆前后图像帧的位移距离, N 表示图像

处理时选取的两帧之间帧数差, Δt 表示相邻两图像帧间时间差。

(2) 车流量计算, 如式(18)所示:

$$Q_A = \sum_{t=1}^T P_{At} \quad (18)$$

其中, P_{At} 为单位时间 T 内经过检测 A 点的车辆数。目前可以利用视频图像处理得到, 如电子车牌普及, 则 P_{At} 利用 RFID 读写器进行计数所得。

3 实验分析

本文采集来自 2 段不同路段视频进行处理, 如图 6 所示。图 6(a)截取自绕城闸道入口, 车流密度较低; 图 6(b)截取自城市道路主路口, 车流密度较大。



(a) 车流密度较低路段



(b) 车流密度较高路段

图 6 不同路段视频



图 5 MATLAB 车辆计数跟踪系统计数

因电子车牌未能普及,所以主要验证视频图像处理结果,利用设计的基于 MATLAB GUI 的车流量检测系统进行数据处理,实验数据如表 1 所示,从表中可以看出对于车流量较小的场合,本系统算法准确率较高。在车流量密度较大的场合,多个车辆互相遮挡,导致车辆前景分割时发生粘连,则多个车流量被认为是一个运动目标,分割不准确,进而导致计数错误。

表 1 交通流参数计算(处理时间为 1 min)

数据	图 6(a)视频段	图 6(b)视频段
实际车流量/辆	10	86
计算车流量/辆	10	82
准确率/%	100	95.3

4 结论

本系统融合 RFID、数字图像、无线通信网络等技术,设计集成射频识别技术和视频技术的交通流参数测量方法及系统,既解决了传统视频监控的破坏性、不稳定性等诸多缺陷,又解决了新兴 RFID 技术的隐蔽性和不可视化,真正有效地提高了车辆识别的效率和精度,为道路交通流参数测量提供了一种新的测量方法。

参考文献

- [1] 李钦铭.面向智能交通的交叉路口车流量预测技术研究[D].北京:北京邮电大学,2017.
- [2] 柳长源,曹园园,罗一鸣.基于视频图像的车辆实时检测系统[J].计算机工程,2019(8):265-269,277.
- [3] 邱梦.基于视频图像处理的车流量检测理论研究[D].沈阳:东北大学,2016.
- [4] 陆键,项乔君.关于我国智能运输系统 ITS 产业化发展方向的思考[J].东南大学学报(自然科学版),2002(3):488-494.
- [5] 韩学昌.基于视频图像处理的车流量传感器的研究与设计[D].沈阳:东北大学,2015.
- [6] 周吉天白.基于超高速下超高频射频识别信道仿真模型的研究[J].科学技术与工程,2019,19(34):234-238.
- [7] 夏莹杰,欧阳聪宇.面向高速公路抛洒物检测的动态背景建模方法[J].浙江大学学报(工学版),2020,54(7):1-7.
- [8] 王海涛,侯静静.基于混合高斯模型融合背景减差的猪只运动跟踪[J].浙江农业科学,2020,61(2):329-332.
- [9] 刘云霄.基于图像信息的道路车流量检测算法研究与实现[D].南京:南京航空航天大学,2019.
- [10] 王腾.基于视频检测技术的交通车流量研究[D].银川:宁夏大学,2014.
- [11] 李婷俐.基于多特征级联分类器的道路车辆检测方法研究[D].长沙:湖南大学,2012.
- [12] 胡宏宇.基于视频处理的交通事件识别方法研究[D].长春:吉林大学,2010.
- [13] 吴志伟.基于视频的车流量检测技术研究[D].广州:华南理工大学,2012.
- [14] 谢衍祺.基于 MATLAB 的车辆识别系统[J].电子技术与软件工程,2017(9):65.
- [15] 汪惠兰,林航飞,李赔龙.基于 Matlab 实时运动目标跟踪检测系统[J].计算机安全,2012(3):17-20.
- [16] 彭春华,刘建业,刘岳峰,等.车辆检测传感器综述[J].传感器与微系统,2007,26(6):4-7.
- [17] 陈曦,殷华博.基于视觉运动目标跟踪技术分析[J].无线电工程,2011,41(6):22-24.
- [18] 普伟.基于视频的交通流量参数检测[D].西安:西安电子科技大学,2007.

(收稿日期:2020-06-16)

作者简介:

刘海艳(1982-),女,硕士,讲师,主要研究方向:传感器技术、虚拟仪器。

李俊敏(1970-),女,硕士,副教授,主要研究方向:PLC 应用、机电控制。

(上接第 76 页)

- [14] 李保利.基于类别层次结构的多层文本分类样本扩展策略[J].北京大学学报(自然科学版),2015,51(2):357-366.
- [15] Zhai Chengxiang, LAFFERTY J. A study of smoothing methods for language models applied to information retrieval[J]. ACM Transactions on Information Systems, 2004, 22(2): 179-214.

(收稿日期:2020-04-08)

作者简介:

高凡(1987-),通信作者,女,博士研究生,副研究员,主要研究方向:交通信息工程、计算机控制,E-mail:right870202@163.com。

王富章(1962-),男,博士,研究员,主要研究方向:交通信息工程及控制、铁路应急、大数据、铁路信息化。

张铭(1979-),女,博士,研究员,主要研究方向:交通信息工程及控制、城轨大数据。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所