

文章编号: 2096-1472(2016)-07-01-04

交通标志识别研究综述

倪钰婷, 梁宇峰, 郝博闻, 钟 玲

(沈阳工业大学软件学院, 辽宁 沈阳 110023)

摘要: 随着社会经济的发展, 我国的道路交通系统发展迅速, 人们生活变得便利的同时, 也随之带来了相应的安全隐患。道路交通识别系统为上述问题提供了一种解决方法, 因此受到学者们的广泛关注。TSR通过安装在机动车上的摄像机提取自然场景图像, 系统会对图像进行交通标志检测与识别, 最后将识别结果告知驾驶员, 以提高交通运行速率, 降低交通事故的发生。本文对多年来各位学者的研究成果加以总结得出结论, 如何有效利用交通标志的多种特征、融合线性以及非线性子空间特征提取方法的优势, 研究出具有高鲁棒性和高实时性的交通标志识别方法, 将是今后的主要发展方向。

关键词: 交通标志; ITS; 模板匹配; 神经网络; 深度学习

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

A Review of the Research on Traffic Sign Recognition

NI Yuting, LIANG Yufeng, HAO Bowen, ZHONG Ling

(School of Software, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China)

Abstract: With the development of social economy, the road transportation system has developed rapidly in our country. While the people's life becomes more convenient, potential security risks also come along. The road traffic identification system provides a solution to the above problem and arouses wide concern of scholars. After TSR extracts natural scene images through the camera installed on the motor vehicle, the system detects and recognizes the images with traffic signs. The recognition result will be sent to the driver, in order to increase the traffic operation speed and decrease the traffic accident rate. In this paper to summarize the results of years of research of the scholars concluded, how to effectively use the various features of a traffic sign, the advantages of integration of linear and non-linear subspace feature extraction method, developed with high robustness and high real-time traffic sign recognition method will be the main future direction of development.

Keywords: traffic signs; ITS; template matching; neural network; deep learning

1 引言(Introduction)

交通问题日益严峻, 传统的人工管理办法已经无法满足实际的需要。20世纪80年代, 美国提出了智能交通这一新的概念, “智能交通系统(Intelligent Transportation System, 简称ITS)”。ITS使道路交通中人、机动车辆和道路三者之间相互融洽相互协调, 如图1所示。ITS的使用减小了交通事故的发生率, 同时也提高了交通运行效率, 建立一个便捷的交通体系。而且, 管理人员可以通过对机动车辆、驾驶员和交通道路实时信息的采集来提高管理效率, 目的是尽可能的充分利用交通资源。

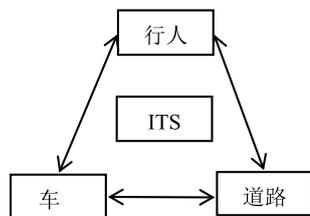


图1 三者间的交互

Fig.1 Interaction among the three

交通标志识别是智能交通系统领域的一项重要研究课题, 在无人驾驶车辆和辅助驾驶系统等领域都是必不可少的一部分^[1-4]。其主要有三方面的应用: (1)碰撞识别; (2)道路识别; (3)交通标识识别。本文的第二部分主要介绍国内国外的发展状况, 相关算法的研究和应用情况。接下来第三部分介绍的是交通标志识别的技术理论和难点。最后第四部分是对交通标志识别系统现状的总结和对未来的展望。

2 国内外发展状况(The development situation at home and abroad)

2.1 国外发展现状

交通标志的检测和识别的发展最早开始于20世纪70年代, 由于受限于计算能力, 无法对算法进行准确的实验验证, 因此其相关技术发展较慢。但是随着计算机性能的提高, 越来越多的学者和各大汽车厂商纷纷投入到交通标志检测和识别的研究中^[5]。

日本在20世纪80年代就已经开始了针对TSR相关领域的研究, 当时比较主流的方法是采用阈值分割算法来进行交通标志检测^[6], 然后利用模板匹配的方法来实现交通标志的识

别。但由于系统的阈值分割和模板匹配算法是用硬件设备完成的,所以当该系统在机器上运行时,针对每幅交通标志的检测时间是1/60秒,识别时间是0.5秒^[7]。其中图像匹配法是将取得的图像和标准图像库中的图像在空间上进行匹配,通过选择特定的特征、较合适的搜索方法以及特征间的相似性准则来确定匹配的图像,一般分为基于特征的匹配和基于灰度图的图像匹配^[4-8]。文献[27]中利用Surf特征的实时性和鲁棒性,将它运用到交通标志识别系统中大大提高了识别的准确高效性。

在20世纪90年代后,西方各国也投入到了交通标志检测和识别的研究当中来。并各自提出了一些不同的检测和识别方法。其中,美国在开发了Advanced Driver Information System(ADIS),该系统应用颜色聚类的方式进行识别,仅对停车标志的识别率可达100%,但该系统并不是实时系统^[9]。Piccioi与Micheli利用颜色确定交通标志大概的位置,再利用它的几何特征进行分析,可以比较准确有效地判断出三角形和圆形等图形的标志^[3]。再比如基于距离的算法、基于径向函数的算法、神经网络分类法、形状分割等^[4]。

其中神经网络分类法最为常见。神经网络分类法是常用的分类算法,它是模仿人的神经系统,将大量简单的神经元互相连接组成一个复杂的非线性动态系统^[10]。神经网络分类法为主流方法。法国的一家公司开发了一种新型TSR系统,该系统是针对红颜色类型的交通标志进行交通标志的检测,并利用人工神经网络算法完成交通标志的特征提取和分类识别工作,这个系统对红色标志的平均识别率达94.9%^[11]。戴姆勒-奔驰汽车公司和德国的科布伦茨-兰道大学的研究人员进行了合作,研发出了具有实时性的交通标志识别系统,此系统运行在SParlo机器。实验显示它的最快识别速度为3.2s/幅,在一个拥有40000多幅图像的图像库中进行检验,它的识别准确率为98%^[9]。神经网络分类识别法是最常见的交通标志的识别方法。

来到21世纪后,交通标志检测与识别的研究更加得到了广泛的关注和研究,计算机技术和算法也日趋成熟。在2005年,Gareth Loy实验室和Nick Barnes研究所共同开发了一套利用对称性与质心位置来识别交通标志的系统,其识别率可以达到95%左右^[7,8]。同年,Australia和Sweden共同开发了一套TSR系统,该系统先基于形状对称性定位交通标志的质心,然后再对此区域交通标志图像进行下一步分类识别,实验结果表明该系统的分类正确率达到95%^[5-8]。Wisconsin大学的Liu和Ran开展了交通标志识别的研究,该研究只识别“停止”标志。该系统是基于HSI空间的颜色阈值法进行交通标志的检测,并用神经网络方法进行识别。在540多幅图像上进行了实验,显示了该系统的识别准确率达到95%^[4]。2007年,Moutarde等人开发了一套以欧美地区的限速标志作为识别目标的交通标志识别系统,其中包括了交通标志检测以及目标

的跟踪,通过在欧美地区的280个限速标志上的识别实验,显示了本系统的识别准确率是89%^[4]。

还有学者提出基于统计模式的识别和句法分类法,统计模式的识别的实质就是利用各种类的分布特征来实现分类功能,一般通过对样本集进行训练分类、特征提取以确定被识别模式的种类,最后再进采用类别内的匹配识别^[5],它也是常用的分类识别方法。而句法分类法的应用情况相对来说比较局限,其在知识的表示和分析方面存在不足,还需要改进。在2010年,西班牙的Makionado等人的交通标志识别研发是基于一个包含了约193类、36000幅的交通标志图像的数据库。识别方法是支持向量机,该方法的识别准确率达到95.5%。该方法未公开实验数据集,其进行实验的训练样本与测试样本并没有区分开来^[10]。2013年Kim J.B.认为颜色形状容易受周围环境影响,可能会提高视觉显著性模型进行交通标志检测且具有较高的实时性^[12]。

2.2 国内发展现状

我国在这方面相比外国起步较晚,近年来也有一些相关研究^[12],目前为止能够运用到实际中的交通标志识别系统不多。很多学者和科研机构都在研发着交通标志识别系统。交通标志识别算法这一方面,国内的一些学者也取得了成果^[13]。以厦门大学李翠华教授、北京工业大学孙光民教授^[14]、宁波大学的朱双东^[15]等带领的研究团队对交通标志识别进行方法上的探索研究与初步试验。

我国在20世纪90年代后,国内各校也开始关注交通标志识别研究,杭州大学蒋刚毅教授通过利用数学形态学方法提取交通标志的特征,再利用模板匹配算法来进行分类识别,其实验结果表明该系统能比较好对10类警告标志进行识别,而且具有较高的识别正确率与算法鲁棒性等优点^[16]。许少秋等人也采用基于模板匹配的算法来对交通标志进行识别,再通过HSI颜色空间对图像进行分割,再经过图像预处理后提取可以得到交通标志的形状特征,实验结果表示该方法对于平移、旋转、遮挡等情况下的交通标志都具有较高的识别准确率,但其识别效率还有待提高^[15]。

进入21世纪后,主要方法就是神经网络分类法。2004年,王坤明等人使用BP神经网络对交通标志进行识别,该算法能够识别出11种不同的警告、禁止和指示标志^[15]。2006年张航、黎群辉等人提出基于概率的神经网络算法来识别交通标志,取得了好的效果。2007年,东北大学东软汽车电子先行研发中心在汽车辅助驾驶系统方面进行了深入的探究,开始了交通标志识别算法探究工作,并且取得了一定成果。从2009年开始,国家自然科学基金委员会提出重大的研究计划“视听觉信息的认知计算”。同时“中国智能车未来挑战赛”也开始举办,迄今为止已经举办了四届比赛,其中交通标志的识别是无人驾驶汽车平台环境感知部分的重要测试项目。该项赛事的举办在一定程度上促进了国内交通标志

识别技术的发展,其中国防科技大学、清华大学、北京理工大学、西安交通大学、军事交通学院、中科院合肥物质研究所、武汉大学、中南大学、重庆大学、浙江大学以及南京理工大学等院校^[17]科研院所也参与了该课题的研究,并且进行了相关技术的探索,其中的一个研究内容就是无人驾驶车辆的视觉计算研究^[18]。

2010年,盛业华、张卡等人提出了一种交通标志识别算法,这个算法基于图像的颜色特征进行检测,来获得目标区域的图像;接着采用中心投影变的换算法获取图像目标区域的形状特征;最后利用测试过的概率神经网络分类器来进行分类识别。这个算法具有较高的识别正确率与算法效率,但人工神经网络的参数设置至今仍然没有一个成熟有效的解决方案。台湾大学的资讯工程所也做过一些相关的研究^[19,20]。他们采用动态视觉模型^[20]进行了交通标志的检测,囊括了大部分类别的标志类型。还有杨斐等人将BP神经网络分类器用在交通标志识别,汪虹等人基于概率的支持向量机识别交通标志^[21]。

3 交通标志识别的技术理论(The technical theory of traffic sign recognition)

3.1 交通标志的基本识别框架

考虑到系统的实时性的要求,交通标志识别的系统框架设计应该针对中国现有的交通标志国家标准,从识别算法的结构实现的角度提出的交通标志识别的系统框架^[22],如图2所示。

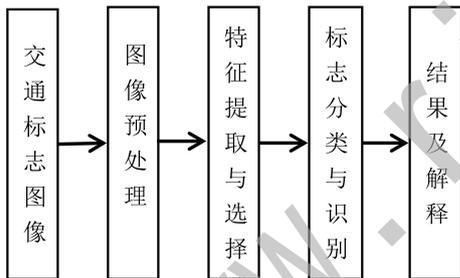


图2 交通标志识别的系统框架

Fig.2 Traffic sign recognition system framework

3.2 交通标志识别的关键技术

(1)预处理技术:预处理的目的是为了得到满意的图像,在交通标志识别时,要解决交通标志图像的实时采集与图像的复原问题。交通标志图像的预处理主要涉及两个方面,一是对交通标志特征颜色的分割;而是对交通标志图像质量的提高。这两方面对于交通标志的正确识别有非常重要的意义。

(2)特征提取与选择技术:检测出交通标志的具体位置之后,为了对交通标志进行识别,就需要对这些感兴趣区域图像进行特征的提取,以此作为依据和判别条件对交通标志的内容进行分析和判定^[23]。特征提取是其中极为重要的一步,它的有效性将直接影响后续训练和判别的准确率和效率。目前主要选择图像的纹理、颜色、几何形状作为图像的特征。特征提取与选择要解决等待识别的固有的、本质的和重要的特

征的量测以及尽量减少特征矢量的维数等问题。

(3)交通标志识别法:交通标志分类法有很多,其中神经网络分类算法和其他的方法比较,具有较强的容错性,能够识别带有噪声或变形的输入模式,具有很强的自学习、自组织能力,采用并行分布式信息存储处理,识别速度快,因而在模式分类中获得广泛的应用。神经网络分类法作为交通标志识别的一项重要手段,在计算视觉和模式识别的众多领域获得广泛的应用。分类识别要根据对象的知识以及分类识别的理论和方法,将等待识别的对象进行分类与理解,在交通标志识别中,要解决交通标志的分类与理解问题^[22]。

3.3 交通标志识别的难点

中国的道路交通标志是由《道路交通标志和标线》统一制定的,交通标志通过特定颜色的符号、图案和文字传递出交通管理信息,以此来实现管制交通的安全管理设施。交通标志的安装位置及高度是有规定的,但大部分情况下都是要适应具体的场景。自然场景下有很多的因素制约着交通标志的检测和识别效率^[24],并且存在着很多研究难点^[25]。其原因可以归结为六点。(1)颜色失真:光线及褪色等因素导致交通标志颜色的失真。(2)场景限制:自然场景下获取的交通标志图像以及视频中包含着大量干扰物。(3)种类繁多:国际标准的交通标志(不包括派生类型)种类数有116种,并且这个数量还在快速的增加。如此众多的种类数对于分类算法的可扩展性提出了非常高的要求。(4)尺寸变化:随着汽车的运动,背景中同一个交通标志的尺寸大小会随距离而不断变化。(5)视角变化:车载摄像机和交通标志之间的角度会不断地变化,使得交通标志图像会出现任意视角的畸变。(6)形状失真:交通标志牌由于破损或变形导致的形状严重不同于标准形状。

不仅如此,该课题的研究对于系统也有很高的要求。(1)准确性:准确性低,不仅起不到预想的辅助驾驶作用,而且容易引发交通事故。(2)实时性:交通标志识别系统要求具备非常快的处理速度,单帧处理速度小于100ms才刚刚称得上是实时,所以要求算法和硬件设备支持高速化处理。(3)经济性:交通标志识别系统不仅要克服各个难点,系统的经济成本也是其中重要的因素。

4 交通标志识别系统的展望(Prospect of traffic sign recognition system)

交通标志识别系统的应用十分广泛。十几年来,尤其在无人驾驶的汽车领域中,交通标志识别系统的研究工作已经取得了相应的成果。现在有很多公司在研究无人驾驶汽车,其中就会用到该技术^[26]。目前为止,已成功将交通标志识别用到智能车辆机器视觉领域的研究中的主要有日本、美国、德国、瑞士等^[17]。2010年,谷歌公司研发的无人驾驶车在公路上进行了实地测试,可靠行驶了约22.5万公里,其中交通标志识别系统对该车辆的自动驾驶提供可靠的安全保障。此外,澳大利亚、西班牙、以色列等国家各有一些比较成熟的工

作。如图3所示是交通标志识别系统的PC界面。



图3 宝马和沃尔沃V40的交通标志识别系统
Fig.3 Traffic sign recognition system for
BMW and Volvo V40

大多现有的研究是基于某一类特殊的交通标志进行的,例如限速标志、禁令标志,或者是基于有某种特征的标志进行的,例如圆形标志、三角形标志、矩形标志。但时至今日还是没有研究能够在实时性和准确性上都非常出色。

(1)针对交通标志的识别目前只是对部分的交通标志进行识别,未来可能需要加入更多的交通标志,这就使得识别功能更加完善,能识别更多的交通标志。

(2)在交通标志图像的特征提取方面,综合考虑图像的HOG特征、灰度特征和PCA特征。但在图像处理与模式识别中,仍然有较多其他种类的特征。

(3)如何提高计算速度也是今后研究的方向,因为检测和识别的方法计算复杂度较高,满足不了自然场景下交通标志识别的实时性。

(4)图像的特征匹配方法有很多并且各有优缺点。其中,加拿大多伦多大学教授Hinton等人提出了一种全新的机器学习方法即深度学习^[27]。深度学习的概念源于人工神经网络方法,其原因是想建立一个能模拟人脑进行学习分析的神经网络,该网络能通过多个非线性变换组合低层特征形成更加抽象的高层特征或属性,以发现数据的分布式特征表示,深度学习方法可以说是机器学习的第二次浪潮。深度学习网络则不同与其他的方法,它不需要事先提取图像人工特征,而是直接对原始图像进行操作,经过迭代训练学习的操作后,对2320个测试样本的识别率则达到了98.4%。取得了较高的识别率,并对出现遮挡、光照不均匀以及形状变化的交通标志也有一定的鲁棒性。2013年4月,《MIT Technology Review》(麻省理工学院技术评论)评选出了年度十大突破科技,其中深度学习位居首位。可见,深度学习在学术界和工业界受到了极大的关注和重视。不过深度学习模型在其结构和学习方法上仍然还有很大的提升和改进空间。因此,怎样利用深度学习提高交通标志检测和识别的时间和效率是当今需要进一步的研究课题。

5 结论(Conclusion)

汽车行业的高速发展以及辅助驾驶系统的初步应用,使交通标志识别成为模式识别领域里的研究热点。本文较全面地介绍了交通标志识别中常用的几种方法,包括模板匹配、

神经网络以及数学形态等。总结了国内外自20世纪70年代至今的研究成果以及交通标志识别系统现状,简要阐述了技术理论和难点。

由于交通标志图像采集过程中存在诸多不确定因素,普遍存在背景干扰及采集角度不假引起的目标变形,所以如何有效利用交通标志的多种特征、融合线性以及非线性子空间特征提取方法的优势,研究出具有高鲁棒性和高实时性的交通标志识别方法,将是今后的主要发展方向。

参考文献(References)

- [1] A.Mogelmoose,M.M.Trovedo,T.B.moeslund.Vision-based traffic sign detection and analysis for intelligent driver assistance systems:Perspectives and survey[J].IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,2012,13(4):1484-1497.
- [2] J.Stallkamp,et al.Thegerman traffic sign recognition benchmark:a multi-class classification competition[C].The 2011 International Joint Conference on Neural Networks.IEEE,2011:1453-1460.
- [3] S.Houben,J.Stallkamp,J.International Joint Conference on Neural Network.IEEE,2013:1-8.
- [4] G.Wang,et al.Arobust,coarse-to-fine traffic sign detection method[C].The 2013 International Joint Conference on Neural Networks.IEEE,2013:1-5.
- [5] 张曙.自然环境下交通标志的检测及识别算法研究[D].武汉理工大学,2014,(6):3-6.
- [6] Yu F,Xue F W.Study on Motion Blur Image Research[J].Advanced Materials Research,2013,2526(753):2976-2979.
- [7] Akatsuka H,Imai S.Road Signposts Recognition System[J].SAE Vehicle Highway.Infrastructure:Safety Compatibility,1987:189-196.
- [8] 王准.基于移动设备的交通标志高速识别系统[D].华东师范大学,2015,26(5):2-3.
- [9] 王铿.基于稀疏表示的交通标识识别[D].南京理工大学,2013,13(3):1-2.
- [10] N-Barne,A.Zelinsky.Real-time radial symmetry for speed sign detection[C].IEEE Intelligent Vehicles Symposium,2004:566-571.
- [11] 吴峰.基于机器学习的道路交通标志识别方法研究[D].北京交通大学,2015.
- [12] 叶阳阳.交通标志检测和识别算法研究[D].北京交通大学,2015,27(3):1-4.
- [13] 朱正平.基于外观特征与神经网络的交通标志识别[J].自动化与仪器仪表,2009,(1):60-63.
- [14] 孙光民,等.自然背景总交通标志的检测与识别[J].北京工业大学学报2010,36(10):1337-1340.
- [15] 刘鑫,杨立敬,朱双东.快速交通标志检测预处理方法[J].计算机工程与应用,2010,46(29):229-231.
- [16] 蒋刚毅,郑义.形态骨架匹配算法及其在交通标志识别中的应用[J].电路与系统学报,1996,1(3):16-23.

- [17] P.Gil-Jimenez,S.Lafuente-Arroyo,It Gomez-Moreno,F. Lopez-Ferreras,S.Maldonado-Bascon.Traffic sign shape classification evaluation.Part II.FFT applied to the signature of blobs[C].Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium,2005:607-612.
- [18] 唐睢睢.交通标志识别算法研究[D].北京交通大学,2014,13(3):1-2.
- [19] 杨修铭,刘昆灏,刘昭麟.干扰状况下之交通标志侦测及辨别[M].第七届人工智能与应用研讨会论文集(TAAI'02),台中,台湾,2002:555-560.
- [20] C.Y.Fang,et al.An automatic road sign recognition system based on a computational model of human recognition processing[J].Computer Vision and Image Understanding,2004,96(2):237-268.
- [21] 欧阳维力.基于单目视觉的交通标志检测与识别算法研究[D].机械与运载工程学院,2014,27(5):4-5.
- [22] 张航.自然场景下的交通标志识别算法研究[D].中南大学,2006,4:16-33.
- [23] KhaldiAmine,MerouaniHayeteRange.Image Segmentation Classification[J].International Journal of Computer Science Issues.2012.9(4):311-317.
- [24] Li B,Zhan Z H.Research on Motion Blurred Image Restoration[C].Image and Signal Processing(CISP),2012 5th International Congress on.IEEE,2012:1307-1311.
- [25] 陈雪.基于多线索混合的交通标志识别算法的研究与实现[D].东北大学,2008.
- [26] Yibin Ye,Stefano Squartin,Francesco Piazza.ELM Based TimeVariant Neural Networks with Incremental Number of Output Basis Functions[J].Lecture Notes in Computer Science,2011,6675:403-410.
- [27] 杨恒,刘肖琳.基于SURF的车载实时交通标志识别系统[J].微计算机信息,2011,27(6):101-102;149.

作者简介:

倪钰婷(1996-),女,本科生.研究领域:图像处理数据挖掘.
梁宇峰(1993-),男,本科生.研究领域:图像处理数据挖掘.
郝博闻(1996-),女,本科生.研究领域:图像处理数据挖掘.
钟玲(1970-),女,硕士,副教授.研究领域:图像处理数据挖掘.

(上接第9页)

- Multicast Throughput in Undirected Networks[J].IEEE Transactions on Information Theory,2013,52(6):2467-2485.
- [7] Lijun Chen,Tracey Ho,Steven H.Low.Optimization Based Rate Control for Multicast with Network Coding[C].In INFOCOM,2011.
- [8] Chuan Wu,Baochun Li.rStream:Resilient and Optimal Peer-to-Peer Streaming with Rateless Codes[C].In INFOCOM,2011.
- [9] Zhan Zhang,Shigang Chen,Yibei Ling.Capacity-Aware Multicast Algorithms on Heterogeneous Overlay Networks[J].IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems,2009,17(2):135-147.
- [10] Rahimian F,et al.Vitis:A Gossip-based Hybrid Overlay for Internet-scale Publish/Subscribe Enabling Rendezvous Routing in Unstructured Overlay Networks[C].In IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS),2011:746-757.
- [11] S.Shenker.Fundamental design issues for the future Internet[J].IEEE J.Sel. Areas Commun,1995,13(7):1141-1149.
- [12] K.Sripanidkulchai,A.Ganjam.The Feasibility of Supporting Large-Scale Live Streaming Applications with Dynamic Application End-Points[C].In Proceedings of the SIGCOMM,2009.

作者简介:

郑力明(1978-),男,硕士,教授.研究领域:网络计算,移动计算.
符永铨(1983-),男,博士,讲师.研究领域:网络计算,数据库技术.
李晓冬(1982-),女,硕士,讲师.研究领域:网络计算.