芯片标识识别调研

光学字符识别（Optical Character Recognition，OCR）主要包括文本检测和文本识别两部分。文本检测指使用机器视觉检测出图像中包含有字符内容的部分区域，文本识别指识别出所检测字符区域中字符的具体内容。

目前常见的文本检测方法主要有传统方法和深度学习方法。传统方法主要使用投影分割、二值化等形态学方法来检测字符区域，方法较为简单但只能处理背景简单、排列统一的字符图像且鲁棒性较低。深度学习方法主要分为基于候选框（Bounding Box）回归和基于语义分割（Semantic Segmentation）的检测。基于候选框回归的检测在图像中寻找包含有字符的边界框，可使用Faster R-CNN[12]和SSD[13]等模型进行检测。Liao[14]等人提出的TextBoxes算法在SSD的基础上做出改进，调整了卷积核与默认锚框的比例。其后续提出的TextBoxes++算法[15]又进一步扩展了卷积核和默认锚框的多样性。Nabati[16]等人提出了旋转区域候选网络（Rotation Region Proposal Network，RRPN)，在标注中加入角度信息并在网络中引入旋转候选框，能够实现不同方向文本的检测。基于语义分割的方法在像素级别上寻找字符区域，多用于检测不规则形状的文本。Dai[17]等人提出的FTSN在语义分割网络的基础上加入多尺度特征融合，使用基于分割掩码的非极大值抑制（Non-Maximum Suppression ，NMS）算法代替传统的NMS 算法，能够实现对高度倾斜文本的检测。Baek[39]等人提出了一个字符级别的文本检测网络CRAFT，使用卷积神经网络产生字符区域得分和亲和力得分，能够检测出复杂场景下多种方向和形状的文本图像。

早期的文本识别方法主要是通过模板匹配的方法，为每个字符都设置一个标准的模板图像，将需要预测的字符与模板进行匹配，相似度最高的模板即为最终的匹配结果。模板匹配方法需要人工设计模板，且不适用于背景复杂的文本图像。机器学习方法使用支持向量机（Support Vector Machine, SVM）、随机森林（Random Forest，RF）、人工神经网络（Artificial Neural Network，ANN）等等进行分类，相比于模板匹配取得了更好的效果，但只适用于单字符识别。深度学习方法能够学习到图像中的高维特征[38]，以词汇或者行为单位进行文本识别，大大提高了识别效率和鲁棒性。Jaderberg[41]等人提出将场景文本识别作为一个分类问题，使用CNN对其进行分类，但这种方式需要预先定义词汇表。Zihlmann[18]等人提出了一个卷积循环神经网络模型和CTC损失函数[19]，能够实现高精度的文本序列识别。Cheng[44]等人将输入图像编码为四个方向的四个特征序列，可以处理不规则的文本。Shi[20]等人使用空间变换网络（Spatial Transformer Networks，STN）实现了不规则文本区域的校正并识别。Shi[21]等人后续提出的ASTER算法将STN校正和序列识别网络融合起来，进一步提高了识别准确率。Li[42]等人通过对STN使用额外的监督并在数据集中标记一部分转换参数进一步改善了校正结果。Liu[43]等人引入不包含几何形变的“干净”图像作为额外的监督，使用编码器-生成器-鉴别器-解码器网络指导图像特征学习，能够识别弯曲路径上的文本但无法处理背景混乱的文本。Yang[40]等人提出对称性约束的校正网络ScRN，通过文本的几何属性约束来校正文本，能够校正高度弯曲的文本并使用额外的识别模块进行识别。Wan[45]等人使用文本识别框架TextScanner对文本进行识别，使用类别分支对字符进行分类，使用几何分支对字符的位置和顺序进行预测。Wang[46]等人将传统的注意力机制解码器解耦分为卷积对齐模块和解耦文本解码器消除了注意力方法中存在的对齐问题。Hu[47]等人提出GTC对CTC模型引导训练，并使用图卷积网络（Graph Convolutional Network，GCN）来学习提取特征的局部相关性。

随着OCR技术延伸至工业领域，研究人员开始将其用于芯片标识识别。芯片标识字符识别过程一般要经过预处理、字符定位、字符分割与字符识别四个步骤。预处理阶段通过各种方法减弱光照、对比度等原因对图像中标识造成的影响，字符定位阶段检测出图像中的字符并对其进行定位，字符分割阶段对检测出的字符进行分割，得到一个个的单个字符，字符识别阶段对分割后的单个字符进行逐一识别。

在对芯片标识进行识别的一系列研究中，MacLean[3]等人使用图像梯度提取IC芯片图像的相关系数值并对其进行改进，将传统的相关系数计算简化成四项加减运算，最后使用金字塔方法加快芯片的匹配速度，但该方法要求图像大小、方向、光照等条件相对稳定。Jiang[4]等人提出了使用灰度互相关法检测IC芯片标识字符，使用二值化以及膨胀、腐蚀、图像细化等操作来处理图像并使用归一化互相关方法进行识别，但其IC标记类型较少、方向角度较为固定。Ganapathy [5]等人使用专家系统进行字符识别，对二值化图像中的字符进行细化，将其转化为骨架结构后再利用模板提取字符图像中的各种字符特征，然后对字符进行识别，大大加快了识别速度。Chen[6]等人使用一套自动化IC芯片检测系统，使用多分辨率金字塔加快感兴趣区域（Region of Interest，ROI）的搜索速度，进行噪声滤波后对单字符进行识别。Fan等人[28]使用SVM构建了一个IC字符自动识别系统。Jian[32]等人使用随机森林算法进行标识检测，并构建了一个嵌入式字符识别系统。Hu[34]等人使用基于版面分析和边缘检测的方法对芯片区域进行定位，采用灰度投影法对字符进行分割并针对分割时存在的字符粘连断裂问题进行优化，构建了一个基于卷积神经网络的字符检测识别系统。Zhu[33]等人使用改进的LeNet-5网络模型对芯片标识进行检测，能够适应同时存在水平和垂直字符的情况。Khannakum[35]等人使用最大稳定极值区域（Maximally Stable Extrernal Regions，MSER）算法寻找标记区域，使用联通组件标记算法对标记目标进行分割后再使用基于离散余弦变换（Discrete Cosine Transform，DCT）和有限脉冲响应滤波器（Finite Impulse Response，FIR）的系统进行字符识别。Gao[36]等人在对图像字符进行分割后使用一个轻量级的人工神经网络对字符进行识别，并对标记的逆序排列进行了识别并处理。Gorokhovatskyi[37]等人提出了一种简化的Neocognitron网络结构对光学标记进行识别，但其识别类型只有三种类型的标记符号。胡洋[7]对IC图像进行预处理后，通过连通性分析得到芯片区域并校正方向，在对字符进行分割后使用BP神经网络进行识别，但由于训练集较大且训练时间较长，导致其实时性较低。张静平[23]提出了一种结合字符多种特征的识别方法，但流程较为复杂且没有考虑图像倾斜带来的影响。林慧[24]通过一种小字符端到端识别算法和模糊芯片图像去模糊算法以及芯片字符识别数据增强算法，在小样本场景下取得了较好的识别结果但在芯片字符倾斜情况下仍然存在不足。郭晓峰等[22]通过基于字符几何特征的字符分割方法和基于字符轮廓最小外接圆的归一化与重定位方法，提高了字符分割的准确性并实现了一定程度的图像校正。柯一剑[25]提出了一种根据字符特征先分类再编码匹配的识别算法，对字符进行了抗干扰处理，一定程度上增加了识别准确率并能够识别多种类型的字符，但其算法复杂性随着模板字符类型的增加而增加，有大量芯片要识别时实时性得不到保证。王文平[26]搭建了一个基于Halcon的芯片字符识别系统，在识别速度和准确率上得到了不错的结果，但其只适用于字符尺寸相同时且受光照影响较大。肖剑[27]使用改进的投影分割算法和基于两字符距离的匹配算法取得了不错的识别效果，但识别效果依赖于字符模板库的存储量且系统效率不高。法弘理[29]结合2D与3D图像，设计开发了基于3D视觉的PCB字符识别系统，但需要对2D和3D图像进行配准且识别的速度有待提高。陈中舒[1]通过光照增强、方向修正等方法识别倾斜图像标识，通过一种基于弱监督学习的文本检测方法解决了标识小、紧密排列的问题，但其假设芯片标识方向只有0°、90°、180°和270°四个倾斜方向，在芯片标识向其他方向倾斜时需要改进。邵俊豪[30]提出了一种形状模板匹配方法，能够在遮挡、混乱等情况下识别晶圆标识符，但其需要手工设计模板图片并微调模型参数。万乃嘉[31]设计实现了一个基于领域自适应的芯片字符识别系统，解决了工业环境下图片质量低、数量少的问题。

（文献7）常用的字符特征提取方法有直方图特征[8]、区域网格统计法[8]、矩特征[9]、基于线的特征[10]、霍夫变换[11]等。

直方图特征输入归一化后的二值化图像，统计二值化图像中每一行、每一列的字符前景像素的数量，从而获得每一行、每一列的前景像素分布情况。算法比较简单，对印刷字符较为实用但对噪声敏感并且在特征提取前要对字符图像旋转校正。

区域网格统计法将归一化的字符分割成n×n块后统计每一块字符中前景像素的比例。算法简单，适用于印刷字符但同样需要进行旋转校正。

矩特征主要提取面积、质心等图像的全局特征，输入图像可以是灰度图也可以是二值化图像，大多用于图像识别领域。

基于线的特征先对字符图像进行骨架化再使用边缘追踪的方法得到边缘的细化结构。霍夫变换可以通过方程来检测各种特定的形状，计算量较大，通常用于检测直线、圆等特征。

参考文献

[1] 陈中舒. 基于改进深度卷积网络的焊后芯片标识高速识别方法研究[D].电子科技大学,2021.DOI:10.27005/d.cnki.gdzku.2021.000836.

[2] Chen Z, Zhang C, Zuo L, et al. An Adaptive Deep Learning Framework for Fast Recognition of Integrated Circuit Markings[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021, 18(4): 2486-2496.

[3] MacLean J, Tsotsos J. Fast Pattern Recognition Using Gradient-Descent Search in an Image Pyramid[C]. Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition. IEEE Computer Society, 2000:2873.

[4] Jiang B C, Tasi S, Wang C. Machine vision-based gray relational theory applied to IC marking inspection[J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2002, 15(4):531-539.

[5] K. Ganapathy, C. G. Fernando and A. Davari, "Fast character recognition system using expert systems," Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium on System Theory, 2005. SSST '05., 2005, pp. 272-275, doi: 10.1109/SSST.2005.1460920.

[6] Chen S, Liao T. An automated IC chip marking inspection system for surface mounted devices on taping machines[J]. Journal Ofentific & Industrial Research, 2009, 68(5):361-366.

[7] 胡洋. IC芯片印刷字符识别算法研究与应用[D].华中科技大学,2015.

[8] Li L, Yu-tang Y, Yu X, et al. Serial Number Extracting and Recognizing Applied in Paper Currency Sorting System Based on RBF Network[C]. International Conference on Computational Intelligence & Software Engineering. IEEE, 2010:1-4.

[9] Khotanzad A, Hong Y H. Invariant Image Recognition By Zernike Moments[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1990, 12(5):489-497.

[10] 王庆有，CCD 应用技术，天津大学出版社（2000）

[11] Ke-liang W, Li Y, Fu-geng Z. The Application of BP Neural Network in Evaluating Enterprise Network Marketing Performance[J]. Commercial Research, 2008.

[12] Girshick R. Fast r-cnn[C]//Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. 2015: 1440-1448.

[13] Liu W, Anguelov D, Erhan D, et al. Ssd: Single shot multibox detector[C]//European conference on computer vision. Springer, Cham, 2016: 21-37.

[14] Liao M, Shi B, Bai X, et al. Textboxes: A fast text detector with a single deep neural network[C]//Thirty-first AAAI conference on artificial intelligence. 2017.

[15] Liao M, Shi B, Bai X. Textboxes++: A single-shot oriented scene text detector[J]. IEEE transactions on image processing, 2018, 27(8): 3676-3690.

[16] Nabati R, Qi H. Rrpn: Radar region proposal network for object detection in autonomous vehicles[C]//2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). IEEE, 2019: 3093-3097.

[17] Dai Y, Huang Z, Gao Y, et al. Fused text segmentation networks for multi-oriented scene text detection[C]//2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). IEEE, 2018: 3604-3609.

[18] Zihlmann M, Perekrestenko D, Tschannen M. Convolutional recurrent neural networks for electrocardiogram classification[C]//2017 Computing in Cardiology (CinC). IEEE, 2017: 1-4.

[19] Graves A, Fernández S, Gomez F, et al. Connectionist temporal classification: labelling unsegmented sequence data with recurrent neural networks[C]//Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning. 2006: 369-376.

[20] Shi B, Wang X, Lyu P, et al. Robust scene text recognition with automatic rectification[C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016: 4168-4176.

[21] Shi B, Yang M, Wang X, et al. Aster: An attentional scene text recognizer with flexible rectification[J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2018, 41(9): 2035-2048.

[22] 郭晓峰,王耀南,毛建旭.基于几何特征的IC芯片字符分割与识别方法[J].智能系统学报,2020,15(01):144-151.

[23] 张静平. 基于机器视觉的QFN芯片表面检测系统设计[D].东南大学,2017.

[24] 林惠. 基于深度学习的芯片字符实时识别方法研究[D].华中科技大学,2019.

[25] 柯一剑. PCB元器件定位与识别技术研究[D].南京理工大学,2016.

[26] 王文平. 基于Halcon的芯片字符识别[D].大连交通大学,2018.

[27] 肖剑. 基于机器视觉的半导体表面字符质量检测系统研究[D].西安科技大学,2020.DOI:10.27397/d.cnki.gxaku.2020.000863.

[28] J. Fan, L. Haotian, B. Bing and Z. Xiaojin, "Automatic IC Character Recognition System for IC Test Handler Based on SVM," 2016 8th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2016, pp. 239-242, doi: 10.1109/IHMSC.2016.106.

[29] 法弘理. 基于3D视觉的PCB元器件字符识别方法研究[D].江南大学,2021.DOI:10.27169/d.cnki.gwqgu.2021.000462.

[30] 邵俊豪. 复杂背景下晶圆标识符识别系统研究[D].哈尔滨工业大学,2021.

[31] 万乃嘉. 基于领域自适应的芯片字符检测技术研究[D].电子科技大学,2021.DOI:10.27005/d.cnki.gdzku.2021.003484.

[32] Jian, C. W., Ibrahim, M., Seong, T. W., Wei, T. E., & Khatun, S. (2018). Embedded Character Recognition System using Random Forest Algorithm for IC Inspection System. Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC), 10(1-3), 121–125. Retrieved from <https://jtec.utem.edu.my/jtec/article/view/3498>

[33] Y. Zhu, H. Zhang, L. Zhang and X. Zhu, "Chip Surface Character Recognition Based on Improved LeNet-5 Convolutional Neural Network," 2020 39th Chinese Control Conference (CCC), 2020, pp. 7142-7147, doi: 10.23919/CCC50068.2020.9189395.

[34] Yutong Hu, Peng Wang, Jun Wu, Tingting Xu, and Jiahan Wang "Design of chip character recognition system based on neural network", Proc. SPIE 11439, 2019 International Conference on Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Measurement Technology and Systems, 1143908 (12 March 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2541127>

[35] Wirat Khannakum, Kaset Sirisantisamrid, "IC chip marking inspection using FIR system," Proc. SPIE 11519, Twelfth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2020), 115191R (12 June 2020); https://doi.org/10.1117/12.2573005

[36] S. Gao, T. Qiu, G. Wang, A. Huang and J. Yu, "Printing Characters Recognition of Chip Resistors Based on the Combination of Image Segmentation and Artificial Neural Network," 2021 16th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE), 2021, pp. 643-647, doi: 10.1109/ICCSE51940.2021.9569404.

[37] O. Gorokhovatskyi, "Neocognitron as a tool for optical marks recognition," 2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), 2016, pp. 169-172, doi: 10.1109/DSMP.2016.7583533.

[38] 王建新,王子亚,田萱.基于深度学习的自然场景文本检测与识别综述[J].软件学报,2020,31(05):1465-1496.DOI:10.13328/j.cnki.jos.005988.

[39] Baek Y, Lee B, Han D, et al. Character region awareness for text detection[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019: 9365-9374.

[40] Yang M, Guan Y, Liao M, et al. Symmetry-constrained rectification network for scene text recognition[C]//Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2019: 9147-9156.

[41] Jaderberg M, Simonyan K, Vedaldi A, et al. Reading text in the wild with convolutional neural networks[J]. International journal of computer vision, 2016, 116(1): 1-20.

[42] G. Li, S. Xu, X. Liu, L. Li and C. Wang, "Jersey Number Recognition with Semi-Supervised Spatial Transformer Network," 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2018, pp. 1864-18647, doi: 10.1109/CVPRW.2018.00231.

[43] Liu Y, Wang Z, Jin H, et al. Synthetically supervised feature learning for scene text recognition[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). 2018: 435-451.

[44] Cheng Z, Xu Y, Bai F, et al. Aon: Towards arbitrarily-oriented text recognition[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018: 5571-5579.

[45] Wan Z, He M, Chen H, et al. Textscanner: Reading characters in order for robust scene text recognition[C]//Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2020, 34(07): 12120-12127.

[46] Wang T, Zhu Y, Jin L, et al. Decoupled attention network for text recognition[C]//Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2020, 34(07): 12216-12224.

[47] Hu W, Cai X, Hou J, et al. Gtc: Guided training of ctc towards efficient and accurate scene text recognition[C]//Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2020, 34(07): 11005-11012.