

武汉理工大学

(申请理学硕士学位论文)

手写粗体汉字的细化与
特征提取研究

手写粗体汉字的细化与特征提取研究

宋莹

武汉理工大学

培养单位：理学院

学科专业：应用数学

研 究 生：宋 莹

指导教师：王展青 教授

2014 年 10 月

分类号_____

密 级 _____

UDC _____

学校代码 10497

武汉理工大学

学 位 论 文

题 目_____手写粗体汉字的细化与特征提取研究_____

英文题目_____The Research of Refinement and Feature Extraction for_____

_____Handwritten Chinese Character in Bold_____

研究生姓名_____宋 莹_____

姓名_____王展青_____职称_____教授_____学位_____博士_____

指导教师

单位名称_____理 学 院_____邮编_____430070_____

申请学位级别_____硕士_____学科专业名称_____应用数学_____

论文提交日期_____2014.10_____论文答辩日期_____2014.12_____

学位授予单位_____武汉理工大学_____学位授予日期_____

答辩委员会主席_____评阅人 _____

2014 年 10 月

独 创 性 声 明

本人声明，所呈交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得武汉理工大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签 名：_____日 期：_____

关于论文使用授权的说明

本人完全了解武汉理工大学有关保留、使用学位论文的规定，即学校有权保留、送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

签 名： 导师签名： 日 期：

摘要

手写体汉字识别是模式识别的一个重要研究课题，目前已有很多研究成果。手写粗体汉字属于手写体汉字的一个研究分支，这些汉字多出现在圆柱体对联、碑文以及书法字中，由于手写粗体汉字的文字获取存在一定困难，且笔画较粗，特征提取复杂，使得整个手写粗体汉字识别系统的建立难于普通的汉字识别系统。考虑专门的研究文献较少，借助类似的识别系统方法，本文建立了初步的手写粗体汉字识别系统。在手写粗体汉字识别系统中，并行与串行细化算法的结合可以弥补单个算法的不足；LGBP 算子作为特征提取的算法，简单易操作，Gabor 特征能够多尺度多角度反映图像的特征，它们在识别领域已得到较好的应用；同时 SVM 在分类算法中取得较好的效果，这些算法的结合应用为手写粗体汉字的识别奠定了基础，并能够为古汉字的研究以及历史人文研究提供有利的工具。

本文的重点在于圆柱面汉字获取、手写粗体汉字细化及特征提取，主要做了以下工作：

(1)圆柱面手写粗体汉字获取及预处理。借助全景图投影和反投影的思想，提出了改进的柱面反投影方法获得平面的手写粗体汉字。然后对平面手写体粗体汉字进行灰度化、平滑去噪、二值化、图像增强以及文字切分等处理。

(2)针对手写粗体汉字细化会出现的细化模板较多，细化不全和串行算法的骨架非对称现象，提出了基于并行模板的手写粗体汉字串行细化算法，实验仿真表明该算法模板较少，速度较快，细化完全，骨架对称性较好。

(3)介绍了手写体汉字的结构和统计特征提取算法，重点分析了 Gabor 特征和 LBP 算法的优点，最终利用 LGBP+Gabor 算法实现对手写粗体汉字的特征提取。

(4)利用 LGBP+Gabor+SVM 组合的算法对手写粗体汉字进行识别。SVM 算法是一种基于统计学理论的机器学习算法，有较好的识别效果，通过与其他识别算法比较，证明了本文识别算法对手写粗体汉字识别的有效性。

最后，本文建立了手写粗体汉字的初步识别系统，并对所做的工作进行了总结与展望。

关键字：手写粗体汉字，细化，特征提取，LGBP，Gabor，支持向量机

Abstract

Handwritten Chinese character recognition is an important pattern recognition research and at present there are a lot of research results about it. Handwritten Chinese character in bold belongs to a branch of study of the handwritten Chinese character. These characters mostly appear in cylinder couplet, inscriptions and calligraphy. Handwritten Chinese character in bold recognition system is more difficult to be found than ordinary Chinese character recognition system, because it has some difficulties in getting Chinese character and has thick strokes and complex feature extraction. Considering of less specialized research literatures, this paper establishes a preliminary handwriting character in bold recognition system with some similar identification system approaches. In bold handwriting character recognition system, the combination of parallel and serial refinement algorithms can compensate for the shortcoming of a single algorithm; LGBP operator as a feature extraction algorithm is simple and easy to be operated; Gabor feature can reflect the images characters in multi-scale and multi-angle. They have been better used in the field of recognition; Simultaneously, SVM algorithm achieves a good result in classification algorithm. The combination algorithm makes a foundation in identifying handwritten Chinese characters in bold and provides a powerful tool about ancient Chinese character and historical and cultural research.

The focus of this paper is to obtain the cylindrical surface characters, refine handwritten Chinese character in bold and extract feature. Mainly to do the following work:

(1) Obtain the cylindrical surface handwritten character in bold and pre-process. With the thought of panorama projection and back-projection, proposes a improved cylinder back-projection method to obtain the plane handwritten in bold character. Then makes per-process for the plane handwritten Chinese character, such as graying, smoothing and denoising, binarization, image enhancement and cutting text processes and so on.

(2) To reduce the number of thinning masks and deal with the problems of incomplete thinning in the parallel thinning algorithm and non-symmetry skeletons in the sequential algorithm, proposes a sequential thinning algorithm of handwritten Chinese in bold on parallel masks. Experimental result shows that the algorithm has less masks and faster speed and can thin completely and get better symmetry

skeletons.

(3)Introduces the structural and statistical feature extraction algorithms of the handwritten Chinese character; then analyzes the advantages of Gabor features and LBP algorithm; eventually uses LGBP algorithm(a combination of Gabor feature and LBP algorithm)and Gabor algorithm to extract features for the handwritten character in bold.

(4)Uses LGBP+Gabor+SVM algorithm in handwritten Chinese character in bold recognition. SVM algorithm is a machine learning algorithm based on statistical theory with a better recognition results. By comparing with other recognition algorithms, proves the validity of LGBP+Gabor+SVM recognition algorithms in handwritten Chinese character in bold.

Finally, this paper establishes a preliminary recognition system for the handwritten Chinese character in bold and makes some summaries and outlooks.

Keywords: handwritten Chinese character in bold, refinement, feature extraction, LGBP algorithm, Gabor, support vector machines

目 录

摘要	I
Abstract.....	II
第一章 绪论	1
1.1 选题背景及意义.....	1
1.1.1 选题背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	2
1.2 国内外研究现状.....	2
1.3 本文内容安排.....	5
第二章 手写粗体汉字的获取及预处理技术.....	6
2.1 基于柱面反投影的手写粗体汉字获取.....	6
2.1.1 全景图的柱面反投影算法.....	6
2.1.2 柱面手写粗体汉字的反投影算法.....	7
2.2 手写粗体汉字的预处理方法.....	9
2.2.1 图像灰度化及平滑去噪.....	9
2.2.2 图像增强算法及二值化.....	11
2.2.3 图像中汉字的切分.....	12
2.3 小结.....	15
第三章 手写粗体汉字的细化处理.....	16
3.1 细化算法的准则.....	16
3.2 细化算法.....	17
3.2.1 基本知识.....	17
3.2.2 Hiditch 细化算法.....	17
3.2.3 ZS 算法.....	18
3.2.4 基于数学形态学的细化算法.....	20
3.3 基于并行模板的手写粗体汉字串行细化算法.....	22
3.3.1 串行的类 ZS 算法.....	22
3.3.2 基于改进删除模板的算法.....	23
3.3.3 基于逆向扫描法的串行的类 ZS 算法.....	23
3.3.4 新算法步骤设计.....	25
3.3.5 多种算法细化效果对比.....	25
3.4 小结.....	28
第四章 手写粗体汉字的特征提取.....	29
4.1 结构特征提取.....	29
4.1.1 基于特征点的结构特征提取.....	29
4.1.2 基于笔画的结构特征提取.....	30
4.1.3 基于部件的结构特征提取.....	31
4.2 统计特征提取.....	32
4.2.1 网格特征.....	32
4.2.2 方向像素特征.....	33
4.2.3 Gabor 特征.....	35
4.3 基于 LGBP 算法的手写粗体汉字特征提取.....	39
4.3.1 基于 LBP 的特征提取.....	39

4.3.2 基于 LGBP 的手写粗体汉字特征提取.....	43
4.4 小结.....	44
第五章 基于 LGBP+Gabor+SVM 的手写粗体汉字识别	45
5.1 支持向量机理论.....	45
5.1.1 SVM 线性可分性	46
5.1.2 SVM 非线性可分	47
5.1.3 手写粗体汉字识别的核函数选择.....	48
5.1.4 手写粗体汉字的 SVM 多分类算法	49
5.2 手写粗体汉字的特征分类比较.....	50
5.3 手写粗体汉字识别系统及仿真分析	51
5.4 小结.....	54
第六章 结论和展望	55
6.1 结论.....	55
6.2 展望.....	55
致谢	56
参考文献	57
攻读硕士学位期间发表的论文.....	60

第一章 绪论

1.1 选题背景及意义

1.1.1 选题背景

随着中国经济的快速发展以及国际影响力的加深,中华文化也在世界范围内广泛传播。汉字作为中华文化的重要载体,是一种记录几千年文明发展的工具。通过研究古汉字到现代汉字的演变可以探索人类的发展史。

中国汉字的字体繁多,有行书、楷书、隶书、草书乃至现代的宋体、仿宋体、黑体等,字体形态多变,从古至今由于各种需要,产生了大量的手写粗体汉字。手写粗体汉字多数存在于圆柱体刻文(图 1-1),碑文(图 1-2)以及书法体汉字(图 1-3)中,这些文字是人类宝贵的文化遗产,记录了当时的政治、经济、文化等内容,对于文化历史研究具有重要意义。这些文字由于历史久远,或者受到自然风化的影响,出现破损,因此通过一定技术手段获取汉字进行研究,重现文物原貌是有必要的。



图 1-1 圆柱体刻字



图 1-2 碑文



图 1-3 毛笔字

此类汉字的获取一般采用“拓片”形式,从原物上直接拓印下来,这种方法工作量大、需要专业人员操作,易受人为因素影响。随着现代科技的发展,通过

拍照获取文字信息的方法更为准确。对于粗体汉字的研究仍会出现文字一些困难：

(1)受特殊条件限制，获取照片不清晰。例如受文物保护的要求，图片只能远距离拍摄，图像质量较差，或者文字载体本身受损。

(2)汉字图像变形。如圆柱面雕刻的文字，曲面的文字在拍摄后，显示会出现变形，需要汉字校正。如调整角度，化曲为直。

(3)手写粗体汉字笔画较粗，笔画复杂，细化不易。

(4)粗体汉字所占的像素点较多，在特征提取时，特征维数会过多。

(5)关于各种字体的手写粗体汉字没有建立完善的字体库，不利于汉字识别。

对于手写体汉字的研究较多，多数研究对象为书写相对规范、笔画均匀细窄的汉字，专门的粗体汉字识别过程却没有形成系统化，因此，本课题的研究是有必要的。

1.1.2 研究意义

手写粗体汉字存在范围较广，如对联柱子，雕刻门匾、石碑、书法字等，这些汉字反映了当时当代人的美好意愿、风俗人情、传统组训、文学艺术等，较普通文本的手写体汉字复杂，它的研究体现了一个民族对于自身文化和国家文化软实力的重视，对保护物质文化遗产和非物质文化遗产方面起到了积极的作用。

近年来，对于手写体汉字的研究不断深入，方法也逐渐成熟，这些方法多使用于一般的硬笔手写体汉字，它们的整体复杂度小于软笔书写字或者雕刻的粗体汉字，说明手写粗体汉字的研究具有一定的特殊性和难度。本课题的研究具有一定的应用价值，比如在鉴赏文物、赏析书法、研究古籍、解读古代文化等方面的应用。

随着计算机科技的发展，图像处理技术更加完善先进，借助计算机图像处理技术可为研究手写粗体汉字提供较好的工具。同时，手写体汉字识别的研究方法也为手写粗体汉字提供了理论方法，在此基础上，本文可以对手写粗体汉字进行更深入的探索。

1.2 国内外研究现状

在模式识别和人工智能的基础上，先开始了英文和数字的研究，然后展开了对汉字的识别研究，研究对象分别为联机手写体汉字识别、印刷体汉字识别以及脱机手写体汉字识别。

汉字识别技术有着很广阔的应用前景，但它的发展只有 30 多年，从上世纪的六十年代开始，IBM 公司率先开始了对印刷体汉字识别研究工作，IBM 的 Casey 和 Nag 在 1966 年用模板匹配方法识别了将近 1000 个印刷体汉字。与

此同时,联机手写体汉字识别的研究也开始了。1977年到1983年,日本开始了汉字识别的研究工作,研制出了能识别2000个印刷体汉字的实验装置,并进行了限制性手写体与印刷体汉字识别兼容的研究工作。

我国的汉字识别研究起于70年代末,从70年代末期到80年代末期十年期间,我国主要研究的是印刷体汉字识别的算法和方案。90年代后,我国印刷体和联机手写体汉字识别研究进入了平稳上升阶段,对手写体汉字研究的趋势转向了应用研究,如邮政地址识别、银行票据识别等具体系统的研究。在国家863计划的资助下,我国自主研究出了一系汉字OCR系统,如清华紫光,中文字文,等,目前,印刷体汉字和联机手写体汉字的识别率已到达99%以上,但脱机自由手写体汉字的识别率却只有80%,难以满足社会的迫切需要。同时,我国对汉字识别成果缺乏标准的鉴定和评价依据,尚未建立标准的手写体汉字测试样本库和测试机制,这使得目前的研究成果无法进行比较和评判^[1]。手写粗体汉字的研究,针对的为书法字和石刻碑文的粗体汉字,而且对于它们的识别研究较少。

目前对于粗体汉字的专门研究有书法字、碑文、古汉字的研究。常用的检索识别方法,分为基于形状相似性^{[2][3]}检索方法和基于骨架相似性^[4]的检索方法,俞凯和和吴江琴^[5]在提取精细的书法体汉字骨架后,提出了基于骨架结构相似性的二次分层检索方法,与单层检索方式相比,时间缩半。

在图像分割处理方面,模糊聚类方法^[6-7]被应用于碑文拓片的图像分割,能很好地反映图像的不确定性和模糊性,其中,潘振赣^[6]提出了FCM聚类算法对碑文拓片图像进行分割,黄维^[7]利用加权空间聚类融合算法(TAFCM)和基于加权空间聚类和形态学的图像分割算法(FCMM),提高了古汉字的识别率。

考虑圆柱面上的粗体汉字,利用全景图^[8-10]投影与反投影思想对其平面展开,从而实现变形文字的修复。对于图像的灰度化算法,有最大值法、平均值法和加权平均值法^{[11][12]},其中周金等^[13]对传统的灰度化算法做了总结,并提取出彩色图像的有选择灰度化模型,实现了颜色空间映射的灰度化处理。汉字图像中会出现噪声,需要平滑去噪,文献[14-16]对常用的平滑去噪算法利用不同指标进行了评估。由于图片会出现背景和前景对比不够明显,为增强图像对比度,常利用灰度变换法^[17]和直方图均衡化^[18]来对图像进行增强,以及两者的改进算法。图像切分算法主要有基于直方图投影切分算法^[19],基于连通区域切分算法^[20],基于笔段的边界盒算法^[21]。

对于汉字的细化,有很多研究文献,T.Y.Zhang和C.Y.Suen^[22]在1983年提出的快速并行细化算法(简称ZS算法)为后续的细化算法^[23-27]奠定了基础,人们不断对删除模板和保留模板进行改进,克服细化中出现的问题,Wei Chen和Li chuan Sui^[28]对经典的ZS算法进行了改进,并利用串行细化方式对图像进行细化。Zhao Chun-jiang^[29]等采用分层模板分析法对书法字细化后的毛刺进行了很好的

处理。本文考虑不同算法的优缺点以及汉字本身的特点,提出了基于并行模板的串行细化算法,对手写粗体汉字的细化效果明显。

汉字的特征提取在汉字识别中占有重要的地位,常用的特征提取算法有结构特征提取算法和统计特征提取算法,结构特征多根据汉字的特征点^[30]、笔画结构^[31-32]以及部件结构^[33]对汉字进行特征提取,近几年,人们对于 Gabor 特征的研究较多,其中统计特征提取中网格特征^[34-35]和 Gabor 特征^[36-37]成为常用的特征提取技术,王学文和丁晓青^[36]提出了一种有效的 Gabor 滤波器,对滤波参数进行优化,使得汉字识别有很好的鲁棒性。DENG HB 等^[37]提出了一种新的多尺度局部 Gabor 滤波器组,在汉字识别率上优于多尺度的全局 Gabor 滤波器组。Gabor 滤波器可以很好地提取汉字的结构特征。近几年,由于局部二值化算法(LBP 算法)可以把特征用直方图形式表示出来,有效地降低了特征的维数和复杂度,成为了流行的特征表示算法。王玲^[39]采用滑动窗口、多层分块及单一分块等多种方式实现 LBP 特征提取,对手写数字进行了有效的识别;王宪^[40]和 Ahonen T^[41]对人脸进行分块处理,提出了基于分块的完备 LBP 算子的人脸识别方法;随着研究发展, LGBP 的被得到很好地应用,于明和胡全胜等^[42]提出 LGBP 算法与稀疏表示原理结合的算法对大面积遮挡的人脸图像有很好的识别率;谢琼裕和戴群^[43]进一步将 Gabor 和 LGBP 算法进行融合,在人脸识别表现出了良好的性能。

分类识别算法目前常用的有贝叶斯分类算法、神经网络分类算法和支持向量机(SVM)分类算法;其中 SVM 方法与其他汉字识别方法相比,能够在高维数的特征空间找到边界进行分类,比贝叶斯分类器更优秀,同时 SVM 在小样本分类中有较强的分类能力,相对于神经网络分类算法,区分相似字的能力更强^[45]。由于单个特征对汉字的识别较难,孙华^[46]提出了多个特征融合后再利用 SVM 进行分类的算法;叶超^[47]提出了基于 Gabor 特征和 SVM 的特征提取算法,使得 SVM 在分类中充分体现了 Gabor 小波的良好性能。徐红侠^[48]设计利用 LGBP 和 SVM 结合的方法对人脸表情进行识别,并与 Gabor+SVM 和 LBP+SVM 算法的识别效果进行比较,三者的识别率分别为 97.28%, 95.18%, 88.4%, 从而得出前者在人脸识别的优越性。高涛^[49]利用 M-HSLBP(多级 LBP 直方图)提取人脸特征,这种特征可以同时反映人脸的局部和整体特征,结合径向基网络分类器,对不同的人脸库识别,得出识别率都在 98%以上。考虑到本文主要针对是规范的粗写简体汉字,虽然书法字的分类识别相对精确,但过程复杂,特征维数较高,本文仍选用手写体汉字的识别算法。具体的样本集可以通过书法空间(<http://9610.com/zidian/index.htm>)、快典网(<http://sf.kdd.cc/index.asp>)以及中国书法网(<http://www.shufa.coni/zd/>)等获取。

以上的研究方法,在人脸识别领域和汉字识别方面取得了很好的效果,这将为手写粗体汉字提供较好的设计思路。

1.3 本文内容安排

由于手写粗体汉字从载体上获取较为复杂，字体笔画较粗、细化不易，特征维数较高，加大了识别的难度。目前，对于粗体汉字识别的专门研究较少，研究对象多为笔画均匀、连笔较少、书写相对规范的手写粗体汉字。本文主要利用全景图反投影思想，把柱面粗体文字展成了平面文字，校正了变形；同时提出基于并行模板的串行细化算法有效地细化了粗体汉字；并分析了传统特征提取算法，选择利用 LGBP+Gabor 算法提取手写粗体汉字特征；最后结合 SVM 分类算法的优势，对少量手写粗体汉字集进行了有效识别，最终建立了手写粗体汉字初步的识别系统。具体内容安排如下：

第一章，阐述了手写粗体汉字的研究背景、研究意义以及国内外的研究趋势及发展现状，给出研究面临的困难，说明本文重点研究的内容。

第二章，针对圆柱体上的粗体汉字，利用改进的柱面反投影方法获得了平面的手写粗体汉字，然后介绍了手写粗体汉字的灰度化、平滑去噪、二值化、图像增强以及文字切分等基本算法。

第三章，考虑手写粗体汉字细化中出现的问题，选用并行模板，并根据串行算法特点和书写运笔规律，采用逆向扫描法遍历整个图像，提出了基于并行模板的手写粗体汉字串行细化算法。

第四章，详细介绍了常用的结构特征提取算法和统计特征提取算法，重点分析了 Gabor 特征算法和 LBP 算法的优势，提出了利用 LGBP+Gabor 算法提取手写粗体汉字特征。

第五章，介绍了支持向量机的基本知识，通过与 SVM 算法的结合，比较多种算法的识别效果，最终提出利用 LGBP+Gabor+SVM 结合的方法对手写粗体汉字进行识别，给出手写粗体汉字识别的初步系统，并进行了实验仿真分析。

第六章，总结与展望。对本文的内容进一步总结和展望。

第二章 手写粗体汉字的获取及预处理技术

在手写粗体汉字识别系统中，汉字的图片获取和预处理是非常关键的步骤，获得较好的平面粗体汉字进行预处理，可以得到更好的图片信息，这有利于后期的细化及特征提取。本文的研究对象是手写的粗体汉字，主要包括圆柱上的粗体汉字和纸面上的粗体汉字。由于前者在曲面上，汉字出现变形，本节先应用柱面反投影方法获得平面的手写粗体汉字，然后对平面手写体汉字进行了灰度化、平滑去噪、二值化、图像增强以及文字切分处理，对于粗体汉字的细化处理将在第三章详细介绍。

2.1 基于柱面反投影的手写粗体汉字获取

部分粗体文字以圆柱体为载体，直接采集的照片，在成像过程中会发生字体纹理的变形失真。针对这一问题可以应用柱面的反投影变换算法重建三维物体的表面纹理，即将拍摄到的圆柱体表面图像纹理投影到圆柱体切平面上，生成平面矩形纹理图像。

本节主要介绍柱面的反投影算法，结合粗体汉字位于圆柱面中间，字体中间变形较小，两端变形较大等特点，提出了一种相对简单的反投影算法。

2.1.1 全景图的柱面反投影算法

全景图的生成多使用柱面投影和反投影算法，有很多文献对公式进行了改进，从而使参数合理，公式简易。

全景图的生成步骤：

- (1) 在同一视点利用相机环绕拍摄一组的实景图像片。
- (2) 将这些图片利用柱面正投影公式投影到一个圆柱体上，得到一个 360 度无缝对接的圆柱体(图 2-1)。
- (3) 对圆柱体划定区域，对每个区域利用柱面反投影公式把圆柱面图像投影到平面上，记录下反投影后的像素点信息，最终所有像素点信息显示在同一个平面上，得到拼接的平面全景图。

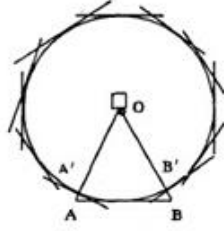


图 2-1 圆柱面投影模型的俯视图

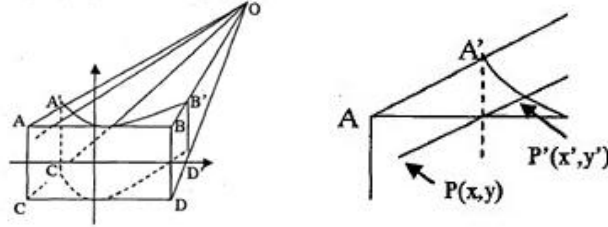


图 2-2 照片的柱面投影及局部放大图

以上是全景图生成步骤，图 2-1 展示了环绕拍摄的图片投影到圆柱面的俯视图，其中 O 为相机所在位置，图 2-2 是照片 ABCD 柱面投影后得到柱面 A'B'C'D' 的局部放大图，具体柱面投影公式可以根据在 x 方向投影的几何关系(图 2-3)和 y 方向投影的几何关系(图 2-4)来推导。其中 P 为照片上的点，P' 是投影到柱面后的点。

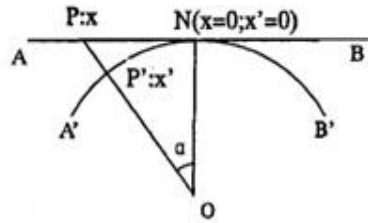


图 2-3 某点 P 与 p' 的投影关系

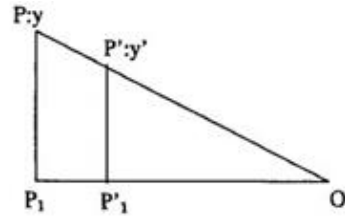


图 2-4 O 到 P 与 p' 的关系图

设圆柱面的半径为 r，根据几何关系以及文献结论可知柱面正投影公式为：

$$\alpha = \arctan(x/r) \quad (2-1)$$

$$x' = r \times \alpha = r \times \arctan(x/r) \quad (2-2)$$

$$y' = y \times \cos \alpha \quad (2-3)$$

反投影公式为：

$$\alpha = \arctan(x'/r) \quad (2-4)$$

$$x = r \times \tan(x'/r) \quad (2-5)$$

$$y = y' / \cos \alpha \quad (2-6)$$

2.1.2 柱面手写粗体汉字的反投影算法

对于圆柱体上的粗体汉字，因为拍摄的是单张图片，且汉字在实物中位于圆柱体的前半面，位置居中，选择较好的拍摄角度，此时照片在垂直方向没有偏转

变形,对于图片只需进行左右方向的角度调整,使字体不再倾斜,而后进行水平方向的变形校正即可。因为汉字居于正中间,字体部分在两端会有较大变形,对于这类情况本文采用改进的柱面反投影公式来解决。

首先,拍摄一张圆柱体粗体汉字照片,处理图片尽量得到只包含圆柱体的图像,记录下每一点的像素点信息,得到图片的高度 H 和宽度 W ,每一个像素点都对应到一个柱面半径为 $r = \frac{W}{2}$,圆柱高度为 H 的圆柱面上。然后,把这些点投影到圆柱的切平面上,得到一个高为 H ,宽为 πr 的矩形平面(图 2-5),这个平面即为所求的柱面展开平面。

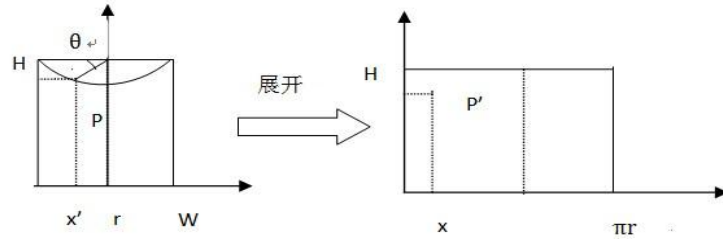


图 2-5 柱面展成平面的过程

假设照片上某一点的像素点坐标为 (y', x') , 其对应到柱面的坐标为
 当 $x' < r$ 时 $(y', x') \rightarrow (y', r - x')$
 当 $r \leq x' \leq 2r$ 时, $(y', x') \rightarrow (y', x' - r)$
 令柱面反投影变换后的坐标为 (y, x) , 对于每一点的 y 采用直接水平投影, 从而有 $y = y'$; 对于 x 要校正变形, 需要等弧长变换, 即用弧度乘以半径。从而得到柱面反投影算法公式为:

当 $x' < r$ 时

$$\theta = \arccos(1 - x'/r) \quad (2-7)$$

$$x = r \times \theta \quad (2-8)$$

$$y = y' \quad (2-9)$$

当 $r \leq x' \leq 2r$ 时

$$\theta = \arcsin(x'/r - 1) \quad (2-10)$$

$$x = r \times \theta \quad (2-11)$$

$$y = y' \quad (2-12)$$

其中 $r = \frac{W}{2}$

利用公式(2-7)~(2-12), 可以把采集的柱面实景图(图 2-6)转换为平面矩形(图 2-7), 获得柱面上文字的平面纹理信息。因为投影后的矩形纹理图像长度增加, 或者新位置坐标不为整数, 会导致一些像素缺失, 因此需要采用线性插值对缺失的像素点进行填充, 常用的方法是双线性插值法, 双线性插值后的结果如图 2-8 所示。



图 2-6 原图像 图 2-7 柱面展开图像 图 2-8 双线性插值后的图片

图 2-6 的图片左边光线较暗，本节是先对图片进行了锐化处理，再进行了柱面反投影变换，可以看到汉字部分被很好地展平了。本文的柱面反投影算法，公式简单，操作方便，大大减少了实际测量的变量个数，可以快速把柱面汉字进行平面校正。同时，此算法为拍摄的圆柱体的变形校正提供了一种方法，为三维物体的研究提供了一种思路。

2.2 手写粗体汉字的预处理方法

预处理在手写粗体汉字识别系统中是非常关键的步骤，通过预处理可以得到较好的图像信息。良好的处理结果易于特征提取，提高识别率。本文采集的柱面文字，由于自然风雨的侵蚀以及采集时的光照等影响，会出现噪点和光线明暗不均的现象，因此需要进行预处理，预处理包括：灰度化、平滑去噪、图像增强以及汉字切分等。

2.2.1 图像灰度化及平滑去噪

1 图像灰度化

图像的灰度化就是把彩色图像经过相应处理转化为灰度图像的过程。在计算机视觉中，图像灰度化可以提高图像检测速度，便于图像处理算法的实现，好的图像灰度化算法可以有效保持边缘的结构信息，反映图像局部和整体的亮度以及色度等级变化。彩色图像中的每个像素的颜色由 R，G，B 分量决定，每个分量有 256 个取值，这样每个像素点就有约 1600 多种颜色变化，处理时会占用较大的存储空间，而灰度图像是 R，G，B 三个分量相同的特殊的彩色图像，因此它的每个像素点有 256 种变化，占用空间大大减少，而且本文研究对象为圆柱上的粗体汉字和纸面的手写粗体汉字，柱面和纸面背景较单一，且字体一般多为黑色或者其他的纯色，故采用灰度图像对后续处理影响较少。

传统的灰度化方法主要有三种：最大值法、平均值法和加权平均值法。其中