

学校编码: 10384

分类号____密级____

学号: 23120091152688

UDC_____

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

旋转运动模糊图像快速恢复算法分析
及其硬件设计研究

Analysis and Hardware Design of Fast Restoration Algorithm
for Rotational Motion Blurred Images

杨银涛

指导教师姓名: 周剑扬 副教授

专业名称: 微电子学与固体电子学

论文提交日期: 2012年 月

论文答辩时间: 2012年 月

学位授予日期: 2012年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2012年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

近年来,旋转运动模糊图像的复原技术已经成为国内外数字图像处理领域的主要研究课题之一。该技术可以用来解决相机在成像过程中与物体之间的相对旋转运动导致的图像中某些有用信息被掩盖的问题,因此,该复原技术具有非常重要的应用价值。

论文首先介绍了与运动模糊图像恢复有关的理论基础,如推导了旋转运动模糊图像的退化模型,给出了图像质量评价的一些常用指标,阐述了逆滤波、有约束最小二乘方、维纳滤波和 Richardson-Lucy 四种恢复方法的原理,在有噪声和无噪声两种条件下对其做了运动模糊恢复实验,并根据当前的研究成果选择了在恢复效果以及计算时间上均优于其它算法的维纳滤波法。

分析研究了一种旋转运动模糊图像的快速恢复算法,即利用 bresenham 画圆算法的思想将空间变化模糊转变为空间不变模糊,利用维纳滤波实现一维的去卷积,再变换回原空间,达到快速复原图像的目的,从而实现模糊图像的实时恢复。然后利用计算机仿真产生的旋转运动模糊图像验证了该算法的正确性,并进行了相关模块的 C 语言算法分析,对比了单双精度浮点两种数据类型下仿真结果的差异。

论文最后进行了算法的硬件设计研究,将流水线、并行以及数字强度缩减等 VLSI 设计方法应用在核心算法的硬件架构设计中。选用 Xilinx FPGA Virtex-5 型号器件作为实验平台,选择浮点 IP 核进行硬件实现的浮点运算,得到运算工作频率性能的提升,并对硬件资源的利用情况进行了分析。最后探讨了如何采用调度技术在满足性能指标的条件下实现速度和硬件资源利用的平衡。

关键词: 旋转运动模糊; 维纳滤波去卷积; 硬件设计研究

This Page Intentionally Left Blank

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

In recent years, restoration of rotating motion blurred images has become one of the main research subjects in digital image processing field at home and abroad. This technology can be used to solve the problem that precision-guided weapons can not accurately identify and track the target because of images fuzzy in high speed rotating flight process, and the problem that some useful information is masked because of the relative rotation between objects in the process of camera imaging. Therefore, this restoration technology has very important application prospect.

Firstly, the thesis introduces the theoretical background related to motion blur image recovery, such as the degradation model of rotating motion blurred image, some commonly used indexes of the image quality assessment. This thesis presents the recovery principle of the inverse filtering, constrained least two powers, wiener filtering and Richardson-Lucy. The motion blur recovery experiment is performed under noise and non-noise conditions. According to the current research results, the paper selects wiener filtering method that is superior to other algorithms both in restoring effect and computing time.

Secondly, the thesis analyzes and researches a fast algorithm for real-time hardware restoration of rotating motion blurred images. This algorithm transforms the spatial variable fuzzy into spatial invariant fuzzy with bresenham circle algorithm, and then realizes one-dimensional deconvolution with wiener filtering, at last, fall back to the original space again. This method achieves the purpose of fastly restoring image, and realizes real-time recovery of the blurred image. This thesis uses rotating motion blurred images produced by computer simulation to verify the accuracy of the algorithm, and transforms some algorithm modules into C language, and furthermore, contrasts the differences of the simulation results with single floating-point data type and double floating-point data type.

Finally, the thesis implements the hardware design of the proposed algorithm

with the pipeline, parallel and digital strength reduction etc. which are VLSI design methodologies used in the hardware architecture of core algorithm. This thesis selects Xilinx FPGA Virtex-5 type device as experimental platform, and uses IP core to realize hardware floating point arithmetic, and analyzes the hardware resources utilization. The last but not least, the thesis discusses how to make use of scheduling to achieve the balance of speed and resources.

Keywords: Rotation Motion Blurred; Wiener Filtering Deconvolution; Hardware Design

目录

第 1 章	绪论	1
1.1	论文的研究背景	1
1.2	国内外研究现状	2
1.3	研究目的和意义	3
1.4	论文章节安排	4
第 2 章	运动模糊图像恢复算法理论基础	6
2.1	图像的退化模型	6
2.1.1	连续退化模型.....	6
2.1.2	离散退化模型.....	8
2.1.3	匀速直线运动模糊图像的退化模型.....	9
2.1.4	旋转运动模糊图像的退化模型.....	11
2.2	图像复原评价参数	13
2.2.1	主观评价.....	13
2.2.2	客观评价.....	14
2.3	运动模糊图像的恢复算法	17
2.3.1	逆滤波恢复法.....	17
2.3.2	维纳滤波恢复法.....	18
2.3.3	有约束最小二乘恢复法.....	19
2.3.4	Richardson-Lucy 滤波恢复算法.....	21
2.4	本章小结	22
第 3 章	旋转运动模糊图像快速恢复算法分析	24
3.1	Bresenham 画圆算法	24
3.2	计算机仿真旋转运动模糊图像	26
3.3	旋转运动模糊图像的快速恢复算法	30
3.4	仿真验证与分析	34
3.5	C 语言算法分析.....	37

3.5.1 缩放与舍入噪声.....	37
3.5.2 空间变换部分.....	40
3.5.3 维纳滤波去卷积部分.....	43
3.6 本章小结	46
第 4 章 算法硬件设计研究	47
4.1 VLSI 模型分析	47
4.1.1 流水线处理模型.....	47
4.1.2 并行处理模型.....	49
4.1.3 数字强度缩减.....	51
4.2 架构设计分析	52
4.2.1 空间变换模块.....	53
4.2.2 图像恢复模块.....	55
4.3 本章小结	70
第 5 章 总结与展望	71
5.1 论文总结	71
5.2 研究展望	72
参考文献.....	73
致 谢.....	77
攻读硕士学位期间发表的论文	78

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research Background of Thesis.....	1
1.2 Overseas and Domestic Research Status.....	2
1.3 Research Purpose and Meaning	3
1.4 Arrangement of Thesis	4
Chapter 2 Theoretical Basis of Motion Blurred Image.....	6
2.1 Image Degradation Model.....	6
2.1.1 Continuous Degradation Model.....	6
2.1.2 Discrete Degradation Model.....	8
2.1.3 Linear Motion Blurred Degradation Model.....	9
2.1.4 Rotation Motion Blurred Degradation Model.....	11
2.2 Evaluation Parameter of Image Restoration.....	13
2.2.1 Objective Evaluation.....	13
2.2.2 Subjective Evaluation	14
2.3 Restoration Algorithm of Motion Blurred Image	17
2.3.1 Inverse Filtering.....	17
2.3.2 Wiener Filtering	18
2.3.3 Constrained Least-squares Filtering	19
2.3.4 Richardson-Lucy Filtering	21
2.4 Summary.....	22
Chapter 3 Restoration Algorithm Analysis of Rotation Motion Blurred Image	24
3.1 Bresenham Circle Algorithm	24
3.2 Computer Simulation for Rotation Motion Blurred Image.....	26
3.3 Fast Restoration Algorithm of Rotation Motion Blurred Image.....	30
3.4 Simulation Identification and Analysis	34

3.5	C Language Analysis.....	37
3.5.1	Scaling and Rounding Noise.....	37
3.5.2	Spatial Transformation Part	40
3.5.3	Wiener Filtering Deconvolution Part.....	43
3.6	Summary.....	46
Chapter 4 Algorithm Hardware Design		47
4.1	VLSI Model Analysis	47
4.1.1	Pipeline Processing Model.....	47
4.1.2	Parallel Processing Model.....	50
4.1.3	Digital Strength Reduction	51
4.2	Architecture Design Analysis	52
4.2.1	Spatial Transformation Module.....	53
4.2.2	Image Restoration Module.....	55
4.3	Summary.....	67
Chapter 5 Summary and Prospect		71
5.1	Thesis Summary.....	71
5.2	Future work.....	72
References.....		70
Acknowledgements		74
Publications		75

第1章 绪论

1.1 论文的研究背景

在用相机拍摄景物期间，如果相机与景物之间存在足够大的相对运动，就会造成图片的模糊，我们称这种模糊为运动模糊。运动模糊是成像过程中普遍存在的问题，在飞机或宇宙飞行器上拍下来的照片，以及用照相机拍摄高速运动物体的照片均可能存在这种现象。随着机器视觉和计算机主动视觉技术的发展，越来越多的成像系统将要安装在运动平台上，这为各种运动模糊图像的恢复提供了极大的应用空间^[1]。

图象复原算法的研究也是数字图象处理中非常重要的一个领域，它的研究成果也被广泛地应用到各个研究和生产领域。图象复原的目的就是根据图象退化的先验知识，找到一种相应的反过程方法来处理图象，从而尽量得到原来图象的质量，以满足人类视觉系统的要求，以便观赏、识别或者其他应用的需要^[2]。造成图象变质或者说使图象模糊的原因很多，如果是因为在摄像时相机和被摄景物之间有相对运动而造成的图象模糊则称为运动模糊。所得到图象中的景物往往会模糊不清，我们称之为运动模糊图象。运动模糊图象复原是图象复原的一个重要分支。运动模糊是图象模糊中最常见的一种情况，在日常生活中普遍存在，给人们的实际生活带来了许多不便^{[3][4]}。

运动模糊图象复原的关键是要知道图象退化的过程，即要知道图象的退化模型，并据此采取相反的过程以求得原始清晰图象。由于图象中往往伴随着噪声，噪声的存在不仅使图象质量下降，而且也影响了对图象退化模型的获取，进而影响模糊图象的复原效果。从日常生活的拍照，到电视制导，运动模糊图象的复原在光学防抖，机器视觉，视频监控等等很多领域都有着十分广泛的应用。由于运动产生的图象模糊会给后期的工作造成困难，因此它也是模式识别，图象匹配，电子稳像等等后继工作的基础，有着十分重要的研究价值，如何找到一种复原效果理想且实时性好的复原算法是整个图象处理过程的基础。旋转运动模糊是一种常见的运动模糊，它的存在会导致图象模糊一片，无法观察图象和识别目标^[3]。因此，本文基于该研究背景，针对旋转运动模糊图象的复原，进行了一系列研究

探讨。

1.2 国内外研究现状

图像恢复起源于上世纪五十年代美苏两国一系列的太空计划。这些太空计划如漫游者号、月球轨道号和水手 4 号等拍摄的图像由于卫星的晃动以及卫星相对星球的运动均受到不同的退化。在以后的载人航天飞行中，宇航员在无重力环境下无法保持身体的稳定，所以拍出的照片也会模糊^[5]。考虑到太空飞行的巨大成本，对这些模糊的图像进行处理势在必行。

在六十年代中期，美国的喷气推进实验室（JPL）对徘徊者飞行器发回的月球照片进行了图像恢复处理，并取得了清晰的图像^[6]。这些对图像恢复的早期研究，主要强调尽可能使模糊图像恢复到原貌，增加它的判读性。随着这项技术在军事和工业控制中的大量运用，同时发展了很多的恢复方法^{[7][8]}。最经典的图像恢复算法是 Nathan^[9]所使用的逆滤波算法以及 1967 年 Helstrom^[10]提出的维纳滤波算法。逆滤波恢复方法在没有噪声的情况下，可精确的恢复图像，但在存在噪声的情况下，将对恢复图像产生严重的影响，尽管对其滤波函数经过修改，有噪声的图像也能恢复，但仅适用于极高信噪比条件下的图像恢复问题^[11]。利用逆滤波恢复方法进行运动模糊的恢复处理时，会发生下列情况，当传输函数为零时，公式无意义，呈现病态特性，此时即使没有噪声，也无法精确的恢复图像^[12]。维纳滤波恢复方法通过选择变换函数，同时利用图像和噪声的统计信息来极小化均方误差，这虽然在一定程度上克服了逆滤波恢复方法的缺点，但是维纳滤波法需要较多有关图像的先验知识，如需要假设退化图像满足广义平稳过程，还需要知道非退化图像的相关函数或功率谱特性等等。而在实际应用中，要获得这些先验知识有较大的困难。而且，对于非线性、空间可变的运动模糊图像的恢复显得无能为力。

在轻微模糊和适度噪声条件下，Andrews 和 Hunt 对逆滤波器、维纳滤波器进行了对比研究^[13]。其结果表明：在上述条件下，采用去卷积（逆滤波）效果较差；而维纳滤波器会产生超过人眼所希望的严重的低通滤波效应。Andrews 和 Hunt 提出一种基于线性代数的图像恢复方法^[14]。它为恢复滤波器的数值计算提供了一个统一的设计思路。这种方法可以适用于各种退化图像的复原，但是由于

涉及到的向量和矩阵尺寸都非常大,因此线性代数方法可能无法给出一种高效的实现算法。

1988年, Y T Zhou 等首次将神经网络技术用于图像恢复的研究^[15],但其计算量大,精度很难保证,易陷入局部收敛点。针对这些缺点, Paik 等提出了全并行的改进 Hopfield 模型,使网络的规模和图像恢复的时间得到了很大的改善^[16]。但是,不能保证网络能量精确的收敛到全局最小,因此将直接影响恢复图像的质量。1988年 Chua 提出了细胞神经网络,用于对有噪声的二值图像和灰度图像进行恢复处理,但是对于运动模糊图像的恢复问题,仍需要进一步的研究^[17]。

目前在图像恢复领域,盲图像恢复技术更为困难和具有挑战性,已经成为国内外一些学者研究新的热点。所谓盲图像恢复就是一边估计退化参数一边进行恢复处理,一般来说是一些迭代算法,在迭代过程中与一些已预定的标准进行比较并不断调整算法中用到的一些参数,以达到预期的恢复效果。很多迭代算法要求有初始值,这些初始值对最终计算的结果影响很大,如果选取不当,不仅恢复效果不佳,甚至会引起迭代过程不收敛,陷入死循环或出现奇异问题。另外,盲图像恢复算法一般来说算法复杂、运算量大、容易发散。盲图像恢复处理借鉴和融合了一些其它学科理论,如神经网络、遗传算法、模拟退火、小波算法等等,发展比较迅速,是将来进一步研究的方向^[18]。图象恢复发展到现在,已经有了许多成熟的算法,但是还是存在许多问题,等待着我们去解决。

1.3 研究目的和意义

无人侦察机在高速运动中进行拍摄,由于振动、飞机的运动及相机的摆动等原因使相机在曝光时被照物影像与感光介质间存在相对运动,这种相对运动会造成图象的模糊,使图象产生拖尾效应,极大的影响了相机成像质量,使航空拍摄图象的分辨率明显下降。这种图象会造成目标很难识别或无法提取,所以必须对其进行恢复。除此之外,对于运动模糊图象的复原方法研究也非常具有现实意义。因为运动模糊图象在日常生活中普遍存在,给人们的实际生活带来了许多不便甚至危及人的生命安全。一个典型的例子就是随着我国经济迅速发展,城市中的汽车越来越多。汽车的增多引发了很多交通事故,其中一个很重要的原因就是有些司机缺乏交通安全意识,在灯控路口,乱闯红灯或超速行驶。这些交通事故不仅

危害到人们的生命安全，而且给国家带来大量的经济损失。现在很多城市的一些重要交通路口都设置了“电子眼”——交通监视系统，它能够及时记录下闯红灯车辆的车牌号。由于车辆在闯红灯时的速度较高，所以摄像机摄取的画面有时是模糊不清的，这就需要运用运动模糊图象复原技术进行图象复原，来得到违章车辆可辨认的车牌图象。综上所述，无论是在日常生活还是在工业应用领域，运动造成图象模糊现象普遍存在，这给人们的生活和航空侦察等造成很多不便，所以很有必要对运动模糊图象的恢复做深入研究^[19]。

对于旋转运动模糊这种空间可变运动模糊图像的复原一直是图像处理领域的难点。对于随空间改变的模糊，一种直接而且有效的恢复方法是坐标变换恢复^[20]。其想就是对退化图象进行几何变换，使得到的模糊函数具有空间不变性。然后采用普通的空间不变恢复方法对其进行恢复，再用一个和先前几何变换相反的逆变换将模糊图象恢复为原始图象。利用这种方法，Rabbins 和 Huang 对彗星图象进行了处理^[21]。Sawchuk 研究了由于非线性运动、像散和像场弯曲造成的退化图象^[22]。对于这些随空间变化的退化图象，在所需的几何变换已知的情况下，恢复是相当有效的。但是由于坐标几何变换过程中，需要大量的灰度级插值运算，因此大大增加了算法的复杂度。另一方面，由于大量的插值运算，造成了算法本身造成的近似误差很大，由此引入的图像恢复误差也很严重。这些都注定了通过几何变换的处理方法很难运用于实际的处理系统^[23]。为此，在对常用的图像恢复算法进行研究的基础上，针对旋转运动模糊图像的实时硬件恢复分析研究了一种快速恢复算法，并对该算法的硬件实现进行了分析研究。

1.4 论文章节安排

第一章是绪论。主要介绍了运动模糊图象复原的发展历程、应用领域以及算法分类，阐述了运动模糊图象恢复的国内外发展和现状，并说明了本文的研究目的和意义。

第二章是运动模糊图像恢复算法理论基础。推导了旋转运动模糊图像的退化模型，给出了图象质量评价的一些常用指标，阐述了逆滤波、有约束最小二乘方、维纳滤波和 Richardson-Lucy 四种恢复方法的原理，在有噪声和无噪声两种条件下对其做了运动模糊恢复实验，并根据当前的研究成果选择了在恢复效果以及计

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库