

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 23320071152161

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于边缘保持的超分辨率
图像复原方法研究

Research on Super Resolution Image Reconstruction
Based on Edge Preservation

黄福利

指导教师姓名: 张晓玲 助理教授

专业名称: 信号与信息处理

论文提交日期: 2010年5月

论文答辩日期: 2010年6月

学位授予日期: 2010年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010年5月

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

摘要

超分辨率图像复原是病态反问题，通常采用基于正则化的方法进行求解。超分辨率图像复原最初只是在频域进行，但是频域方法的观测模型仅局限于全局平移运动模型和线性移不变模糊，实用范围有限，目前研究方法基本都在空域。最大后验概率 (Maximum a priori, MAP) 方法因为可以在解中可以直接加入先验约束、有较好的降噪能力和收敛稳定性高等特点，是空域法中的一种主流方法。

本文在充分分析各种常用的先验模型对超分辨率复原效果影响的情况下，为了更好的保持图像的弱边缘，基于 MAP 框架，提出了两种有效的边缘保持超分辨率图像复原方法。一是在双边滤波 MAP 超分辨率复原方法基础上，提出了基于自适应梯度模板的先验模型正则化方法。二是对常用 L_p 范数所得目标泛函极小点唯一性讨论，提出了采用 Geman&McClure 范数来构造数据拟合项的超分辨率复原方法。

第一，在传统 MAP 超分辨率图像复原方法中，采用 L_2 范数来进行数据拟合以及正则化的实现，S.Farsiu 等首先采用 L_1 范数来进行数据拟合以及双边滤波正则化的实现，提出了稳健的超分辨图像复原。本文围绕基于双边滤波的超分辨率图像复原模型进行开展研究，在此框架下，讨论了位势函数与相似度函数的选择以及它们对复原结果的影响，对 Tikhonov、全变分 (Total variation, TV)、Huber、Hampel、双边全变分 (Bilateral total variation, BTV) 函数进行研究，并对试验结果进行综合比较。在 BTV 模型的基础上，提出了基于自适应梯度模板的先验模型正则化项，实验证明了该方法在对去除噪声和边缘保持有很好的效果。

第二，在双边滤波与 MAP 超分辨率图像复原方法之间理论联系的基础上，本文采用 Geman&McClure 范数来构造数据拟合项，并且讨论该范数所得目标泛函极小点的唯一性；除此之外，本文提出了一种能更有效利用方向信息的正则化模型，该模型根据迭代次数来自适应选择正则化参数。实验表明，该方法比采用 L_1 范数和 L_2 范数能更好的抑制噪声和保持边缘，在视觉效果和峰值信噪比 (Peak signal noise ratio, PSNR) 两个方面都有一定的提高。

关键词：超分辨率；Geman&McClure 范数；BTV

Abstract

SR reconstruction is an ill-posed inverse problem, usually it needs regularization approaches to stabilize the result, and SR reconstruction approach is proposed in frequency domain originally, however the observation model is limited in global translational motion and LSI (Linear shift invariant) blur, the frequency domain related approach is limited in practice, so the spatial domain related approach is much more attractive. MAP (Maximum a posterior) SR reconstruction is one of the most popular and effective spatial SR reconstruction approach, which can provide a flexible and convenient way to model a priori knowledge concerning the solution, have good capacity of denoising and convergence.

In this paper, we analyze the influence of prior model to reconstruction results, and proposes two effective SR reconstruction methods that can keep image edge based on MAP frame. First, we propose an adaptive gradient template regularization SR reconstruction method based on bilateral filtering. Second, we discuss the uniqueness of the minimum point of the objective function based on L_p norm and SR reconstruction method by using the Geman&McClure norm to measure the data approximation item.

First, in traditional MAP approach, L_2 norm is used to measure data approximation item and regularization item. S.Farsiu et al provide us a robust SR reconstruction method by using L_1 norm to measure data approximation item and regularization. This paper focuses on the SR reconstruction frame based on bilateral filtering, discusses the potential function, the similarity function and their influence on the reconstruction under the model, and makes related experiment of Tikhonov、TV、Huber、Hample、BTV function and their influence on the result. Finally proposes an adaptive gradient template prior model regularization method of SR reconstruction based on BTV model. The experiment results proves this method could remove noise and keep edge effectively.

Second, this paper proposes a new method of super resolution image reconstruction, which uses the Geman&McClure norm to measure the data approximation item based on the relation of bilateral filtering with MAP approach,

and discusses the uniqueness of the minimum point of the objective function based on this norm. This paper also proposes a new priori image model based on BTV model, which can use more different directional information and choose the regularization parameters adaptively. The results indicate that the proposed method can remove noise and keep edges better, and has considerable effectiveness in terms of both visual evaluation and PSNR compared with L1 norm and L2 norm.

Key words: super-resolution; Geman&McClure norm; BTV

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 应用状况	4
1.3 论文主要内容和结构	5
第二章 超分辨率图像复原的基本问题	7
2.1 观测模型	7
2.2 病态反问题	8
2.3 数学物理基础	10
第三章 超分辨图像复原方法概述	13
3.1 图像配准	13
3.1.1 图像配准基本理论	13
3.1.2 常用图像配准方法	15
3.2 图像插值	16
3.2.1 最近邻域法	16
3.2.2 线性插值法	17
3.2.3 三次卷积插值法	17
3.2.4 三次 B 样条插值	18
3.3 图像复原	19
3.3.1 频域方法	19
3.3.2 空域方法	21
第四章 基于自适应梯度模板的 MAP 超分辨率图像复原算法	27
4.1 MAP 估计理论基础	27
4.2 MAP 估计先验模型	28
4.2.1 Markov 随机场模型	29
4.2.2 Gibbs 随机场模型	30
4.2.3 双边滤波框架下的各种势函数	32
4.3 基于自适应梯度模板的复原算法	36
4.3.1 L_p 范数数据拟合	36
4.3.2 自适应梯度模板	39
4.4 实验结果分析	40
4.5 本章小结	45

第五章 基于 Geman&McClure 范数的 MAP 超分辨率图像复原算法	47
.....
5.1 基于 Geman&McClure 范数的数据拟合	47
5.2 算法实现	48
5.3 实验结果分析	50
5.4 本章小结	54
第六章 总结与展望	55
.....
6.1 总结	55
6.2 展望	56
参考文献	57
致谢	59
附录	61

厦门大学博硕士学位论文摘要

Table of Contents

Chapter 1 Foreward	1
1.1 Background of the subject	1
1.2 Appliactions in practive	4
1.3 Main work and content arrangments of the thesis.....	5
Chapter 2 Basic problem of SR reconstruction	7
2.1 Observation model	7
2.2 Ill-posed and inverse problem	8
2.3 Basic knowledge of mathematics and physics.....	10
Chapter 3 Summarization of SR reconstruction methods.....	13
3.1Image registration	13
3.1.1 Basic theory of image registration	13
3.1.2 Conventional methods of image registration.....	15
3.2 Image interpolation	16
3.2.1 Nearest neighborhood method	16
3.2.2 Linear interpolation method.....	17
3.2.3 Bi-cubic convolution method.....	17
3.2.4 Cubic B-spline method.....	18
3.3 Image reconstruction.....	19
3.3.1 Frequency domain method	19
3.3.2 Spatial domain method.....	21
Chapter 4 A MAP method based on adaptive gradient template.....	27
4.1 Basic theory of MAP estimation.....	27
4.2 Priori model of MAP estimation	28
4.2.1 Markov random field model.....	29
4.2.2 Gibbs random field model.....	30
4.2.3 Potential functions based on the frame of bilateral filtering	32
4.3 A new reconstruction method based on adaptive gradient template.....	36
4.3.1 Data fitting based on based on Lp norm.....	36
4.3.2 Adaptive gradient template.....	39
4.4 Analysis of experiment results.....	40
4.5 Brief summary	45
Chapter 5 SR image reconstruction based on Ge&Mc norm.....	47
5.1 Data fitting based on Ge&Mc norm	47
5.2 Realization of the algrithm	48
5.3 Analysis of experiment results.....	50
5.4 Brief summary	54

Chapter 6 Conclusion and expectation	55
6.1 Conclusion	55
6.2 Expectation	56
References	57
Acknowledgements	59
Appendix	61

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景

图像分辨率是评价成像系统的一项重要技术指标,图像分辨率可分为图像的空间分辨率、灰度分辨率和频谱分辨率,其中空间分辨率描述了成像系统对图像细节的分辨能力,也是图像中目标细微程度的指标,它表示景物信息的详细程度,本文所指的是空间分辨率。随着数字图像处理技术在遥感、医学领域、监视系统和视频处理以及高清电视中的广泛应用,人们对图像分辨率的要求也越来越高,这些高分辨率图像不仅可以给人提供清晰的照片,在许多应用领域中,还可以为分析提供非常重要的细节,但是由于受到各种因素的限制,通过现有的条件往往很难达到所需求的分辨率,如红外成像仪和 CCD 相机等,在快速采集图像的过程中,受固有的传感器阵列密度的限制,图像的分辨率不可能很高^[1];同时欠采样又会造成图像的频谱混叠,使获取的图像因变形效应而发生退化。如何利用低分辨率相机获取高分辨率图像已经成为目前我国航空航天、军事领域的一项必不可少关键技术。

图像复原技术就是试图利用退化现象的某种先验知识来复原被退化的图像,尽量使其复原成没有退化前的理想图像,最终达到改善图像的目的。通常,我们需要知道图像的退化原因,利用图像退化的某种先验知识重建或恢复原始图像,所以图像复原的难易程度主要取决于对退化过程以及先验知识掌握的精确程度。按照傅立叶光学的观点,光学成像系统是一个低通滤波器,由于受到光学衍射的影响,其传递函数在由衍射极限分辨率所决定的某个截止频率以上值均为零。普通的图像复原技术如去卷积技术等只能将物体的频率复原到衍射极限相应的频率处,而不能超越它,这样截止频率之外的能量和信息被无可奈何的丢失了^[2]。超分辨率(SR, Super resolution)图像复原就是试图复原截止频率之外的信息,以使图像获得更多的细节和信息。事实上,传统意义上的图像复原可以看作是超分辨率图像复原的一个特例,它是在给定相同场景的情况下,对相同分辨率的退化图像进行估计,恢复原始图像。超分辨率图像复原与传统图像复原相比,不仅可以利用物体的先验信息和单幅图像的信息,还可以充分利用不同图像间的互补

信息,如图 1.1 所示。目前,超分辨率图像复原被认为是图像复原的第二代问题,成为国内外图像处理的热点研究领域。从所利用低分辨率图像的多少,超分辨率图像复原可分为单幅图像的超分辨率复原和多幅图像的超分辨率复原。

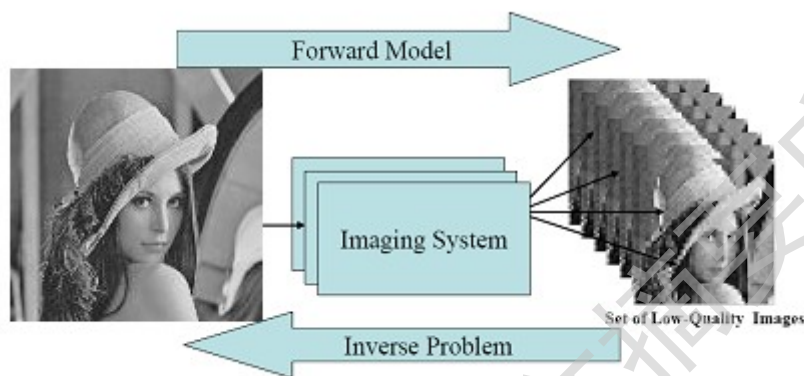


图 1.1 超分辨率图像复原示意图

与此同时,超分辨率图像复原的难度又要远远大于图像复原,其主要原因是超分辨率图像复原除了要考虑图像复原中去模糊和抑制噪声的问题以外,还必须考虑图像的配准和下采样的问题。在对图像的超分辨率复原中,许多方法都是假定系统降质点扩展函数、下采样的倍数是知道的,同时还假定运动估计的结果是准确的。但在实际应用中,除了下采样的倍数可以假定之外,系统降质点扩展函数是不可能精确知道的,而运动估计的结果也会存在一定程度的误差,这二者都会严重影响图像超分辨率复原的质量。

超分辨率图像复原技术可分成频域和空域两类算法,在早期的研究中大量的工作都集中在频域里,但是随着更多通用的退化模型被建立出来,近几年的研究工作几乎全部都集中在空域里^[3]。

上世纪 60 年代,就有人提出超分辨率图像复原的概念和方法,其理论基础主要包括解析延拓理论,信息叠加理论和非线性操作等。随后有许多人对其进行了研究,并相继提出了各种复原方法,如长椭球波函数法、线性外推法、叠加正弦模板法。这些方法虽然得到了令人印象深刻的仿真结果,但由于图像中噪声等因素的影响,在实际应用中并没有获得理想的结果,超分辨率被当作一个“神话”曾被放弃^[2]。

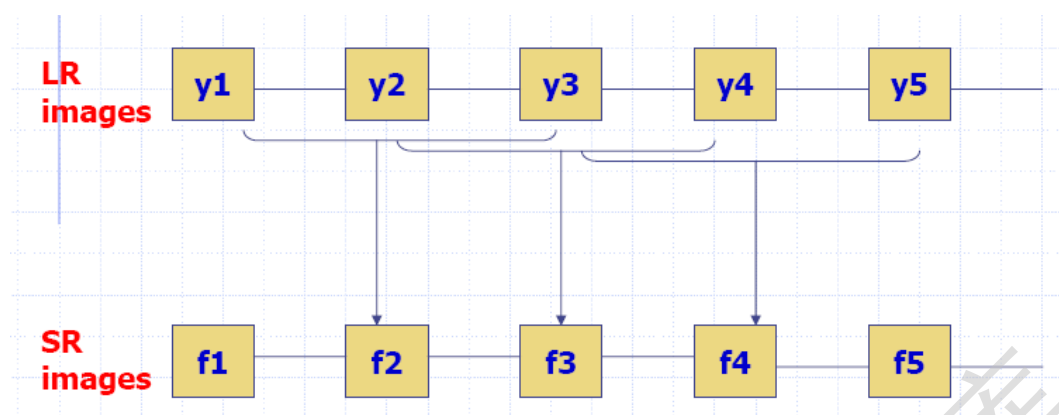


图 1.2 低分辨率图像序列复原高分辨率图像

20 世纪 80 年代以来，人们在超分辨率图像复原方法研究上取得了突破性进展。在 1984 年，Tsai 和 Huang^[4]提出可利用同一场景的多幅图像来获取该场景的一幅高分辨率图像（如图 1.2），因为多幅图像包含的信息量要大于单幅图像。这个观点的提出，推动了图像超分辨率处理技术又一次发展。超分辨率图像复原方法可分为空域和频域方法，现在研究主要集中在空域，目前研究较多的是最大后验概率（Maximum a priori, MAP）^[5]估计方法和凸集投影方法（Projection onto convex sets, POCS）^[6]。POCS 方法的优点是可以方便地加入先验信息，可以很好地保持高分辨率、图像上的边缘和细节；而缺点是解不唯一、依赖于初始估计、收敛性慢、运算量大和收敛性不高等，为了提高凸集投影算法的收敛性，可以采用松弛投影算子，但松弛投影算子不利于保持图像的边缘和细节。MAP 方法是一种正则化方法，由于超分辨率图像复原是一个病态反问题，采用正则化方法来使问题变为良态，从而获得稳定的解。基于 MAP 正则化方法的优点是可以充分利用先验知识，确保解的存在性和唯一性，具有较好的降噪能力和收敛稳定性；缺点是收敛慢和运算量大。近年来随着超分辨率图像复原技术已经成为图像处理领域的研究热点之一，出现了很多新的方法，如 Capel 等^[7]提出基于全变分（Total variation, TV）模型的超分辨率复原方法；Farsiu 等^[8,9]提出基于 L1 范数拟合双边全变分（Bilateral total variation, BTV）模型超分辨率复原算法；Giannis.K 等^[10]提出基于快速配准的 L2 范数拟合 MAP 方法。其中 TV 正则化方法可以利用周围像素的信息，能较好的保持边缘；BTV 正则化方法在 TV 正则化方法的基础上，不仅能利用更多周围像素的信息，还利用周围像素灰度值之间的关系，能更好的保持边缘和去除噪声。但是 TV 和 BTV 方法并没有利用更多方向上的信息；基

于快速配准的 MAP 方法在能够在快速配准的同时较好的保留边缘信息，需要做预处理，分几步进行求解，复杂度较高。

总得来说，对于未压缩图像和视频的超分辨率复原，考虑的主要问题是全面去除成像过程所带来的模糊和噪声，并且能在降质的环境中有效的实现运动估计。

1.2 应用状况

近年来，超分辨率复原技术已成为信号处理领域的一个研究热点，该技术利用多个低分辨率图像之间的相对运动信息，将它们融合到单幅图像中，同时去除图像中的噪声及由于有限检测器尺寸和光学元件所产生的模糊。由于该技术利用多幅图像序列进行处理，能提取序列图像中的附加空域、时域信息，使得复原视觉效果超过任何一幅低分辨率图像的结果。目前该技术已广泛应用于遥感，医学成像和高清晰电视等多个领域，如：

1. 增强图像效果：根据低分辨率视频信号来打印高分辨率静态图像，其目的是扩大图像尺寸和增加细节以满足人类视觉系统对静态图像质量更高分辨率的要求。

2. 高清晰电视信号：把标准清晰度电视（SDTV）信号转化成高清晰度电视（HDTV）接收机质量和性能匹配的信号，或产生合成视频变焦，把视频显示的一个区域按某一倍数进行放大，然后重新播放。

3. 军事与遥感图像：目前，遥感图像数据量存在一个矛盾，遥感图像数据量既多又少，即获取的数据量多，有用的信息少。陆地资源卫星每天约绕地球旋转 14 圈，18 天左右就能对地面同一区域覆盖一次，这样，就能够获得同一地区多次重复的图像数据，但由于成像设备的硬件技术原因，我们往往得不到想要的高分辨率图像；同时，由于军事或遥感设备造价与体积等的限制，需要在不改变卫星图像探测系统的前提下，利用低分辨率相机获取的图像数据进行超分辨率复原，以达到降低风险和成本，提高现有图像资料的应用价值和军事目标的识别能力。

4. 医学图像：医学上不管是基础医学还是临床医学，都需要大量的医学图像处理。人们所熟知的 X 射线图像、显微镜图像、放射线同位素图像、超声波图像、磁共振成像等各种各样的图像，都成为辅助诊断中模式识别的对象。所以

从该领域研究的开始，图像的质量和精度以及图像的复原问题，就已经成为医学图像研究的重要目标之一，尤其是在染色体分析、血球的自动分类、胸部 X 射线照片的鉴别、眼底照片的处理、利用荧光染料的血管造影分析等方面都有着广泛地应用。

CT 技术就是利用多方向投影实现断层图像复原的成功实例。医学检测中往往需要通过 CT 技术识别并确定出病体（如肿瘤）的精确位置及详细情况：如阴影的边缘、异物占位的大小及位置等。由于硬件设备及现有成像技术的限制，还不能够获取满足高要求的高清晰图像。由于 CT 技术的特殊机理，超分辨率图像复原技术可以在该领域获得重要应用。采用超分辨率技术对 CT 图像的质量改善和变换以及图像精度的提高等仍然是今天医学图像处理中正在讨论的课题。

5. 监控系统：视频信号是由连续的多帧图像序列排列的，若对视频信号中的某一段进行处理，就可以得到更高分辨率的静止图像，此即为视频信号“冻结”的技术。这对于普通摄像机监控系统，能更有效的提高识别能力。比如，超分辨率图像复原技术可以利用普通监视录像资料，重建出高清晰的目标图像，从而有利于相关人员的辨识，以达到目标识别与定位、环境监测、牌照识别等目的。

6. 计算机视觉领域：超分辨率图像复原技术有可能使图像实现从检出水平（Detection level）分辨率向粗识水平（Recognition level）分辨率的转化，或更进一步实现向细辨水平（Identification level）分辨率的转化。超分辨率图像复原技术可提高对图像的认识能力和识别精度，也可以实现目标物的分析，从而可以获取关注区域的更高分辨率的图像，而不必直接采用数据量巨大的高分辨率图像配置。

1.3 论文主要内容和结构

论文主要对图像超分辨率复原方法进行了研究。在对各种方法深入研究和比较之后，在 TV 和 BTV 正则化方法的基础上，利用 MAP 方法的基本思想，用 Geman&McClure 范数来构造数据拟合项，达到更好的去噪和复原效果，同时论文还给出了在双边滤波框架下，讨论在 L_p 范数拟合目标函数极小点唯一性问题，对比不同位势函数对复原结果的影响，提出了基于自适应梯度模板的超分辨率图像复原方法，具体安排如下：

第一章主要介绍超分辨率图像复原的研究意义、国内外研究现状、以及常用

的方法和应用领域。

第二章主要介绍超分辨率图像复原最常用的观测模型，阐述该问题的病态性以及数学物理基础，在理论上说明该问题实现的可能性以及基本解决思路。

第三章概述图像插值和图像配准在超分辨图像复原中的应用并详细概括超分辨率图像复原的常用方法以及各种方法的应用。

第四章讨论在 L_p 范数拟合目标函数极小点唯一性问题，并且研究图像超分辨率复原的双边滤波框架模型中位势函数的选取以及对复原结果的影响，对 Tikhonov、TV、Huber、Hampel、BTV 函数做相关试验，并对试验结果进行综合比较。并在 BTV 模型的基础上，提出了一种新的边缘保持的超分辨率图像复原方法。

第五章实现采用 Geman&McClure 范数构造数据拟合项来对多帧 LR 图像超分辨率复原，在不同正则化方法以及不同噪声模型的情况下，与 L1 范数和 L2 范数比较，讨论该范数在复原中的稳健特性。

第六章是结束语，回顾总结论文的全部工作，指出以后进一步的研究方向。

最后是参考文献和致谢。

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