

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 22420051302404

UDC _____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文

基于 Contourlet 变换的图像融合算法
An Image Fusion Algorithm Based on Contourlet Transform

卓 琳

指 导 教 师 : 闫 敬 文 教 授

专 业 名 称 : 信 号 与 信 息 处 理

论 文 提 交 日 期 : 2008 年 月

论 文 答 辩 日 期 : 2008 年 月

学 位 授 予 日 期 : 2008 年 月

答 辩 委 员 会 主 席 : _____

评 阅 人 : _____

2008 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

兹呈交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非盈利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
 - 2、不保密（ ）
- （请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

摘要

图像融合是一项综合同一场景多源图像信息，得到一幅同一场景图像的技术，在图像理解和计算机视觉领域中有重要的应用价值。从军事应用为目的的数据融合技术开始，融合技术已广泛用于资源管理、城市规划、气象预报、作物及地质分析等领域。本文从变换方法和融合算法两个方面综合研究了多源图像融合技术，提出了一种基于Contourlet变换的改进PCNN融合算法。该算法从变换域和融合算法两个方面对融合进行改进，通过对比多层PCNN神经元的点火次数，更好地提取源图像特征系数，有效保留图像的纹理细节，大大改善了融合结果。

首先介绍了基于小波分解的图像融合算法，给出了小波分解图像融合的实现方案，并对影响该算法的融合结果的因素进行了讨论。小波分解方法由于其多分辨率和非冗余性特性，在一维图像融合方面具有显著的优势，然而这种优势却不能简单推广到多维应用中，不能最优地表示含有线或面奇异的高维函数。本文引入Contourlet变换方法，该方法具有多分辨率、各项异性以及方向性的特点，这些特点决定了它在图像处理领域的潜力和优势。

其次介绍了多尺度变换方法，详细描述了Contourlet变换的原理，通过对理想图像融合的对比实验，说明了Contourlet变换对小波变换的优越性。另外还介绍了非下采样Contourlet变换的原理及其在图像融合中的应用。

接着本文通过多种融合算法的对比，针对一般融合算法的相关性较小，对整体细节把握较差的问题，引入了神经网络方法在图像融合上的应用，提出了一种能有效保留源图像细节和边缘的改进的PCNN融合算法。

最后，针对融合评价标准的局限性，本文提出了主客观综合把握的评价方法，主观视觉感觉和客观结果数据综合分析。通过实验结果表明，改进的并行PCNN的融合算法大大提高图像在边缘、纹理、保留更多源图像信息等方面的综合性能，是一种通用性比较强的高效融合方法。该方法分别应用于多聚焦图像和多光谱图像，并对实验结果进行分析比较，发现PCNN方法对于多光谱图像具有更突出的融合结果。

关键词：图像融合；耦合脉冲神经网络；非下采样Contourlet变换；扇形滤波器组；融合效果评价

Abstract

Image fusion, which is an important and useful technique for image analysis and computer vision in recent years, is a technique to combine multiple images of the same scene into a new one. This technique has been widely used not only in military application, but also in industry and agriculture fields, such as resources management, town planning, weather forecast and geological analysis. With studying the multi-resource image fusion methods on the base of transform domain and fusion methods, a new improved PCNN fusion algorithm is proposed in this thesis. By comparing the firing times of different PCNN, we can get better coefficients, keep the texture details efficiently and improve the fusion results a lot.

In the first part of this thesis, image fusion algorithm based on wavelet transform and its processing schedule is introduced, and the factors of impacting the fusion results are analyzed. Wavelet analysis has many advantages on one dimension image processing because of its multi-resolution and non-redundancy. However, this advantage can not be applied in two dimensional applications because of its characters in dealing with multi-dimensional images. On the above analysis, the Contourlet transform is put forward for its multi-resolution and directional advantages, which shows its benefits on image processing domain.

Secondly, multi-scale transform methods are discussed particularly in this thesis. And we conclude that the Contourlet transform is better than the wavelet transform by the comparing experiments on ideal images. The nonsubsampling Contourlet transform and its use of image fusion is also introduced.

What's more, on comparing the fusion methods, in order to overcome problems of low correlation and detail keeping, a new improved paralleled PCNN fusion algorithm is proposed in this thesis, which can efficiently keep the detail and edge information effectively.

Finally, to get through the limitations of the fusion evaluation rules, a new evaluation rule is presented, with which the final results can be analyzed using both the subjective evaluation method and the result data. By the comparison of the results

of PCNN fusion rules on different fire times, the new improved PCNN fusion method performs much better than the traditional methods in details. After comparing its applications on multi-focus images and multi-spectrum images, the algorithm proposed shows its superior on multi-spectrum image fusion.

Key Words: Image fusion; PCNN; NSCT; QFB; Fusion result evaluation

厦门大学博硕士论文摘要库

目录

第一章	绪论	1
1.1	课题研究的目的是和意义	1
1.2	图像融合技术的研究现状和存在的问题	2
1.2.1	图像融合算法现状及发展	2
1.2.2	经典图像融合方法	3
1.2.3	存在问题及研究方向	6
1.3	本课题的主要研究内容	6
第二章	基于小波变换的图像融合	8
2.1	小波变换及图像的小波分解	8
2.1.1	小波变换的起源	8
2.1.2	连续小波变换	9
2.1.3	离散小波变换	9
2.1.4	多分辨率分析	10
2.1.5	MALLAT 快速算法	10
2.2	基于小波变换的图像融合原理	13
2.2.1	图像融合原理	13
2.2.2	图像融合影响因素	14
2.3	本章小结	16
第三章	基于多尺度变换的图像融合	17
3.1	脊波 (Ridgelet) 变换	17
3.2	Bandelet 变换	18
3.3	Curvelet 变换	19
3.3.1	Curvelet 变换分解	19
3.3.2	Curvelet 变换合成	20
3.4	Contourlet 变换	21
3.4.1	LP 变换	22
3.4.2	方向滤波器组	23
3.4.3	基于 Contourlet 变换的图像融合	26
3.5	NSCT 原理及应用	27

3.5.1	NSCT 原理	27
3.5.2	NSCT 融合实现	29
3.6	本章小结	30
第四章	图像融合算法	31
4.1	均值法	31
4.2	最大值法	32
4.3	基于区域的最大值法	32
4.4	基于区域能量的融合算法	33
4.5	PCNN 融合算法原理	37
4.5.1	PCNN 的基本模型	37
4.5.2	PCNN 融合设计及实现	39
4.5.3	改进的 PCNN 图像融合算法	43
4.6	本章小结	45
第五章	实验结果及性能分析	46
5.1	融合效果评价准则	46
5.1.1	主观评价	46
5.1.2	客观评价	47
5.2	图像融合结果分析	50
5.2.1	多聚焦图像的融合	50
5.2.2	多光谱图像的融合	53
5.2.3	融合小结	55
第六章	总结与展望	57
6.1	全文工作总结	57
6.2	工作展望	57
	参考文献	59
	攻读硕士期间的项目科研成果	62
	致 谢	63

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 课题研究的目的是和意义

图像融合是二十世纪七十年代后期提出的新概念,它是一门综合了传感器、图像处理、信号处理、显示、计算机和人工智能等技术的现代高新技术。由于图像融合系统具有突出的探测优越性(时空覆盖宽、目标分辨力与测量维数高、重构能力好、冗余性、互补性、时间优越性以及相对低成本等),在国际上技术先进国家受到高度重视并已取得相当的进展^[1]。

多源图像融合是指综合两个或多个源图像的信息,以获取对同一场景的更精确、更全面、更可靠的图像描述,使之成为更适合人的视觉和计算机视觉的一幅图像^[2]。对图像融合来说,融合源图像可能是在同一个时间段,来自多个传感器的图像,也可能是单个传感器在不同时间提供的图像序列。一般来说,图像是对客观实际的一种反映,是一个不完全、不精确的描述。图像融合充分利用多幅图像资源,通过对观测信息合理支配和使用,把多幅图像在空间或时间上的互补信息依据某种准则融合,获得对场景的一致性解释或描述,使融合后的图像具有比参加融合的任意一副图像更优越的性质,更精确地反映客观实际^[3]。

对于一维分段光滑信号,小波变换是最合适的工具,某种意义上,小波能为一维分段光滑信号提供最优表示,并且小波变换拥有方便的树状算法,这些都是小波变换的许多信号处理应用中取得成功的重要原因。然而,自然图像并不同于一维分段光滑信号,它的不连续点是沿着曲线进行排列的。在二维乃至多维信号源图像中,方向信息是非常重要的特征,但是二维可分离小波只拥有有限的方向表示,不能很好的表示图像中的方向信息。这些缺点注定了小波变换不是最适合图像处理稀疏表示方法。

由于小波算法无法识别自然图像中固有的线奇异和面奇异,同时其捕获的方向性信息也受到限制。2001年,Do和Vetterli构建了针对高维信号处理的多尺度几何分析工具Contourlet^{[4][5]},Contourlet是比小波更为稀疏的二维信号表示方法,具有良好的多分辨率、局部化、方向性和各向异性,更适于处理具有超平面奇异性的图像信号。

因此,本文对Contourlet变换的原理及其在图像处理的相关应用中进行了研

究,意在希望探索出新的、更适合与多传感器图像融合的新算法。

1.2 图像融合技术的研究现状和存在的问题

1.2.1 图像融合算法现状及发展

图像融合分为三个层次,即像素级融合、特征级融合和决策级融合。常用的像素级数据融合的算法有IHS(Intensity Hue Saturation)变换^[6]、PCA (Principle Component Analysis)^[7]、高通滤波法(HPF)、线型加权法及基于小波变换的融合方法等。特征级融合则是在像素级融合的基础上,使用模式相关、统计分析的方法进行目标识别、特征提取,并得到融合结果。这种方法包括基于假设前提及统计分析的方法和基于知识的方法。前者包括Bayesian理论方法, D-S推理法,相关聚类法等,后者则有神经网络方法,模糊逻辑方法,专家系统方法等。决策级融合则是在上述两种处理的基础上,采用大型数据库和专家决策系统,模拟人的分析、推理过程,以增加判决的智能化和可靠性。通常分为两类,即基于辨识的决策融合方法和基于知识的决策融合方法^[8]。包括贝叶斯估计法、专家系统、神经网络法、模糊集理论等。现有常用的变换域方法都是基于像素级融合的方法。

早先简单的图像融合方法,其基本原理是对参加融合的源图像不进行任何图像变换或分解,直接对源图像中各对应像素分别进行选择、平均或加权平均等简单处理,融合成一幅新的图像。其优点在于它尽可能多地保留了场景的原始信息,获取的信息量最多、检测性能最好。在某些特定的场合,简单的图像融合方法可获得较好的融合效果,但在多数应用场合,这些方法无法获得满意的融合结果。

现有的图像像素级融合方法发展大体可以归纳成三个阶段:传统的简单融合方法、基于塔式分解和重建算法的融合方法以及基于小波变换的图像融合方法。小波变换是一种多分辨分析,它可以将图像分解成一个最低层逼近和不同尺度不同方向的细节,是目前图像融合领域的主流方法。但研究表明,在高维情况下,小波分析并不能充分利用数据本身特有的几何特征,并不是最优的和“最稀疏”的函数表示方法。

因此人们致力于发展一种新的高维函数的最优表示方法,目前提出了Ridgelet变换、Bandelet变换、Curvelet变换和Contourlet变换等。1998年, Cande's 在其博士论文^[9]中给出了脊波(Ridgelet)变换的基本理论框架。脊波变换是一种非自

适应的高维函数表示方法,对含直线奇异的多变量函数能达到“最优”的逼近阶。脊波变换因能有效的处理边缘,在一些实际应用中已经获得初步应用。例如在图像处理领域,基于脊波变换的图像去噪方法能够获得信噪比非常高的去噪结果,尤其,对于原图像中的边缘恢复视觉效果要远远好于传统的基于小波变换的去噪方法^[10]。法国学者Pennec和Mallat于2000年提出了Bandelet变换^[11]。Bandelet变换提供了一种新的基于边缘的图像表示方法,能自适应地跟踪图像的几何正则方向。理论上可以证明:对于几何正则图像,采用Bandelet基函数可以实现最佳稀疏表示^[12]。与经典的小波变换相比,Bandelet变换在图像压缩和去噪方面体现出一定的优势和潜力^[13]。E.J.Candes和D.L.Donoho于1999年提出曲波(Curvelet)变换理论^[14]也就是第一代Curvelet,该理论由Ridgelet理论衍生而来,是由一种特殊的滤波过程和多尺度Ridgelet变换组合而成的。Curvelet继承了小波分析优良的空域和频域局部特性,是又一个新的图像多尺度几何分析工具,其相对于小波的优势在于增加了一个方向参量,因此具有更好的方向辨识能力,更加适合描述图像的几何特征,因此也更适合图像处理应用。

1.2.2 经典图像融合方法

图像融合算法种类繁多,大致分为三类:一类是从图像增强算法发展而来的较为简单的传统图像融合方法。即针对各个图像通道,利用一些替换,算术等简单的方法来实现。应用较广的有线性加权法,HPF(高通滤波)法,HIS变换法,PCA(主分量分析)法等。第二类是自80年代初发展起来的多分辨融合算法,主要是塔式算法和小波变换融合法。首先把原始图像在不同的分辨率下进行分解,然后在不同的分解水平上对图像进行融合,最后通过重构来获得图像。第三类主要是最近几年出现的神经网络、Contourlet等超小波变换方法。现对这三类方法分别的代表算法进行具体的分析和论述。

(1) 线性加权法

线性加权法是一种最简单的图像融合方法,它直接对多幅原图像的对应像素点进行加权叠加。如果 $A_k(i, j)$ 为 n 幅图像 A_k 在对应位置 (i, j) 的灰度值,那么融合后图像 $B_k(i, j)$ 可通过下式得到:

$$B_k(i, j) = \sum_{k=1}^n W_k(i, j) A_k(i, j) \quad (1.1)$$

$$\sum_{k=1}^n W_k(i, j) = 1 \quad (1.2)$$

线性加权法的优点在于概念简单，计算量非常小，适合实时处理。缺点是融合后的图像包含很强的噪声，特别是当融合图像的灰度差异很大时，就会出现明显的拼接痕迹，视觉效果差。

(2) HPF（高通滤波）法

HPF法(High Pass Filtering)实现遥感图像融合的概念比较简单。一幅图像通常由不同的频率成分组成。根据一般图像频谱的概念，高的空间频率对应图像中急剧变化的部分，而低的频率代表灰度缓慢变化的部分。对于遥感图像来说，高频分量包含了图像的空间结构，低频部分则包含了光谱信息。由于进行遥感图像融合的目的在于尽量保留低分辨率的多光谱图像的基础上加上高分辨率全色图像的细节信息，因此，可以用高通滤波器算子提取出高分辨率图像的细节信息，然后简单地采用像素相加的方法，将提取出的细节信息叠加到低分辨率图像上，这样就实现了多光谱的低分辨率图像和高分辨率全色图像之间的数据融合。

高通滤波法的优点在于其算法简单，计算量小，而且没有波段数的限制变换融合法只能用一个波段进行融合，所以使用此种方法在使融合后图像空间分辨率有了较大改善的同时，又充分保持了多光谱图像的光谱信息。缺点在于使用固定大小滤波器难以完全提取出包含有不同尺寸大小地物的高分辨率图像的细节信息，融合图像仍然包含比较大的噪声。高通滤波器的大小选择分辨率倍数的两倍左右。

(3) PCA（主分量分析）法

多光谱遥感图像包含着多个单色光谱的图像信息，而全色遥感图像则具有某种白光的特性。基于这一点，可以考虑将多光谱图像的各个波段的图像通过某种变换，合成类似于白光的图像。对两幅白光图像进行融合，通过这种融合，我们可以尽可能多地保留全色遥感图像的细节信息。然后，对融合后的图像进行反变换，即可得到包含丰富细节信息的多光谱遥感图像。这种变换在图像融合中通常采用PCA。

采用主分量变换法对图像进行融合时，首先对图像进行主分量变换。在这里不是由图像间的协方差矩阵而是由相关矩阵求特征值和特征向量，然后求得各主

分量。由相关矩阵求特征值和特征向量主要是由于相关矩阵中各波段的方差都归一化，从而使各波段具有不同等的重要性。

(4) IHS变换融合方法

IHS变换是在遥感图像融合中经常用到的一种方法，它将多光谱的TM图像数据变换到IHS空间，得到3个独立的分量。首先将SPOT图像数据经过适当的伸缩，以保证它的均值和方差变换到和I分量一致，然后用伸缩后的数据替换I分量，得到 I' ，再分别对H和S进行反差扩展，得到 H' 和 S' ，最后将 I' 、 H' 和 S' 变换回RGB空间，得到融合图像。

(5) 金字塔方法

高斯金字塔、拉普拉斯金字塔、梯度金字塔、比率低通金字塔、形态学金字塔被统称为多分辨金字塔。多分辨金字塔是目前较为常用的图像融合方法。在这类算法中，原图像不断地被滤波，形成一个塔状结构。在塔的每一层都用一种算法对这一层的数据进行融合，从而得到一个合成的塔式结构，然后对合成的塔式结构进行重构，最后得到合成的图像，合成图像包含了原图像的所有重要信息^[15]。

(6) 小波变换法

小波变换的方法在不同频率通道上对图像进行处理，首先将源图像进行小波分解，得到一系列子图像，再在变换域上进行特征选择，创建融合图像，最后通过逆变换重建融合图像。与金字塔方法相似，小波分解过程中同样会产生一个小波金字塔。但金字塔方法产生的数据有冗余，且不同级的数据之间相关，而小波变换方法则能克服这两点缺陷，且能更加有效地描述图像在时域和频域上的局部特征^[16]。

(7) Contourlet变换

由于小波算法无法识别自然图像中固有的线奇异和面奇异，同时其捕获的方向性信息也受到限制。2001年，Do和Vetterli构建了针对高维信号处理的多尺度几何分析工具Contourlet变换，它是一种比小波更为稀疏的二维信号表示方法，具有良好的多分辨率、局部化、方向性和各向异性，更适于处理具有超平面奇异性的图像信号。下图1.1表示了Contourlet变换的原理图。

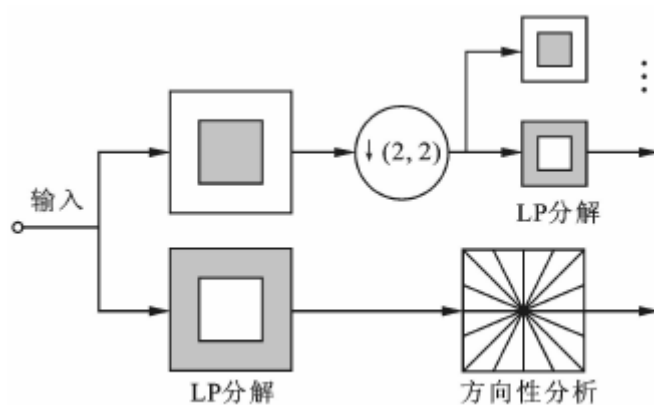


图 1.1 Contourlet 原理变换图

以上介绍了几种图像融合的变换域方法，其他的空域方法，如NSCT（nonsubsampled Contourlet transform）等也常用于某些领域的图像融合，本文在最后一章对NSCT加以介绍。

1.2.3 存在问题及研究方向

总的来说，学术界在图像融合领域已取得了很大的成绩，图像融合方法也各种各样。但是图像融合技术的研究还刚刚开始，有许多问题急需解决。首先，图像融合技术缺乏理论指导，虽然关于图像融合技术的公开报道很多，但是每篇文章都是针对一个具体的应用问题，对图像融合技术还没有一个统一的理论框架，建立图像融合的理论框架是目前的一个发展方向。由于图像的特殊性，在设计图像融合算法时一定要考虑到计算速度和所需的存储量，如何得到实时、可靠、稳定、实用的融合算法是目前研究的一个热点。另外建立客观的图像融合技术评价标准也是急需解决的问题。

1.3 本课题的主要研究内容

本文的主要工作是对多传感器图像融合算法进行研究。文中对图像融合的概念、图像融合的内容和意义、常用的图像融合算法、图像融合的应用做了一般性的描述；对基于小波多分辨率方法和基于Contourlet变换的图像融合算法进行了较为详细的探讨；重点研究了的多聚焦图像融合方法，并通过大量的不同类型图像的融合实验，对融合结果的性能评价进行了探索。本文共分为六章，第二至六章的安排如下：

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