

基于小波变换的医学图像融合技术的实现

周 朋 奚日辉 宋玲玲 吴小丹

(上海大学通信与信息工程学院生物医学工程系, 上海 200072)

摘 要 研究目的: 为了对医学图像进行基于小波变换的融合。方法: 首先通过学习和研究小波理论的有关知识来研究小波理论在图像融合中的应用目的和实现方法, 并借助 MATLAB 平台, 通过小波工具箱实现了图像融合, 同时比较了使用这两种方法实现图像融合的效果; 然后借助 MATLAB 中的函数, 通过编程实现了图像融合算法。结果: 由两幅非同源的医学图像 (CT 图像和 MRI 图像) 的融合结果可见, 两种方法得到的融合图像的效果一致, 其对于两幅图像中同一部位相对位置偏移量小的融合效果较好, 但对偏移量较大以及存在形变情况的融合则效果不好。结论: 通过小波工具箱可以实现一些简单的医学图像融合, 但是随着医学图像融合技术的进一步发展和医学图像的复杂度的进一步加深, 尤其是对于腹部和胸部的医学图像, 则要通过非刚性配准之后才能再进行融合显像, 其过程更加复杂。

关键词 图像融合 图像配准 小波变换

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)11-1720-04

Realization of Medical Image Fusion Based on Wavelet Transform

ZHOU Peng, XI Ri-hui, SONG Ling-ling, WU Xiao-dan

(Biomedical Engineering, School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072)

Abstract Purpose: In this paper, we accomplish image fusing of CT and MRI images using wavelet. Methods: As wavelet is of comfortable effect in image fusing, more and more researchers are working on it. And, in Matlab, there is a toolbox called Wavelet Toolbox 3.0, with which we can finish some image fusing simply. With some drawbacks, the toolbox works not so well with some kinds of image pairs, such as a picture of ct and a picture of pet, if the pet image is gray image instead of a counterfeit color image. Then the resulted image if of bad quality with low-lying effect. In order to achieve a good result of image fusing we should think about many aspects of it and realize them by program. Result: We strive to fulfill the program and compare the result to what we have got by toolbox. And the effect is comfortable. Conclusion: By wavelet toolbox, some simple medical image fusing can be accomplished. But with the development of technique of image fusing and the deepening of complexity of medical images, the process of image fusing would be more complex especially those images rooted from abdomen and chest. So more methods must be called for rather than toolboxes.

Keywords image fusion, image registration, wavelet transform

1 引 言

近年来,随着计算机处理技术的飞速发展和信息时代的到来,医学成像已经成为现代医疗技术不可或缺的一部分,其应用贯穿于整个临床工作,不仅

广泛用于疾病诊断,而且在外科手术^[1]和放射治疗等的计划设计、方案实施以及疗效评估方面也发挥着重要作用。目前,医学图像分为解剖图像和功能图像两个部分,其中解剖图像主要描述人体形态信息,其主要包括 X 射线透射成像、CT、MRI,以及各类内窥镜获取的序列图像等;而功能图像则主要描

收稿日期:2006-07-15; 改回日期:2006-08-15

第一作者简介:周朋(1982~),男,2004年毕业于西安邮电学院电子与信息工程系,获电子与信息工程专业学士学位。现为上海大学通信与信息工程学院生物医学工程专业硕士研究生。主要研究方向为医学图像融合。E-mail: zhoupeng_2004@163.com

述人体代谢信息,其中包括正电子发射计算机断层成像 (positron emission tomography, PET)、单光子发射计算机断层成像 (single photon emission computerized tomography, SPECT)、功能性核磁共振 (functional MRI, fMRI) 等。

虽然各种医学成像为疾病的诊断提供了大量的信息,但是,由于图像的成像原理不同,各种成像设备反映的诊断信息各不相同,其在诊断上有局限性,所以为了整合和突出图像的有用信息,可以将多种成像方式的图像结合起来,将各自提供的信息在同一幅图像中进行表达,称为医学图像融合。由于医学图像融合能够使各种图像的有用信息互补,因此具有重要的临床价值,其主要用于病灶的精确定位^[2]。

医学图像融合方法种类繁多,主要可以分为基于互信息和基于特征点 (也可以是特征线或特征面) 的两类方法。近年来,随着科研人员对小波技术研究的进一步深入,小波技术在图像融合中得到了充分地利用。小波技术在图像融合中的应用是本文阐述的重点和核心。

2 小波变换在图像融合中的运用^[3]

小波变换的多分辨率分析是当前信息和图像处理等领域的研究热点,小波变换可将原始图像分解成一系列具有不同空间分辨率和频域特性的子图像,还可以充分反映原始图像的局域化特征,这就为图像数据融合提供了有利条件。

Campbell 和 Robson 的实验表明,人的视网膜是在不同的频率信道中进行不同的信号处理,而基于小波分解的图像融合也是在不同的频率信道上进行融合处理,这样就能获得与人的视觉特性更接近的融合效果。

2.1 图像融合中小波变换的理论基础

Mallat 在图像的分解与重构的塔式算法启发下,根据多分辨率理论,提出了小波分解与重构的快速算法,称为 Mallat 算法,此算法在小波变换中的地位相当于 FFT (fast Fourier transform) 在傅里叶变换中的地位。

本文将介绍的是 CT 和 MRI 的图像融合,由于两者都是反映人体结构信息的图像,所以属于 2 维断层图像之间的结构——结构融合和多模态融合。如何把这两种图像有机地结合并很好地显示是研究的目标。在图像融合过程中,融合规则及融合算子

的选择对于融合的质量至关重要,它仍然是图像融合至今还在不断探索的难点之一。图像融合过程是首先对 CT 与 MRI 图像进行小波交换,分解成低频子图像和高频子图像,然后对分解后的子图像进行分块处理,并根据局部区域方差准则计算融合系数,再对每个子块图像进行数据融合,最后对融合数据进行显像。

2.1.1 图像融合的流程

基于小波变换的图像融合流程图如图 1 所示。

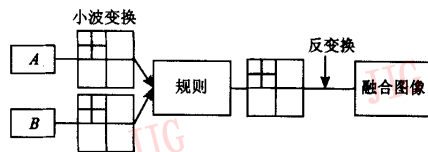


图 1 基于小波变换的图像融合流程图

Fig.1 The procedure of image fusion based on wavelet transformation

本文中待融合的两幅源图像是人脑同一部位不同时刻的不同模式的图像,其中一幅是 CT 图像,另一幅是 MRI 图像。

2.2 MATLAB 中图像融合的实现

2.2.1 图像融合技术的实现^[4]

为了得到较好的融合效果,先对 MRI 图像 X_2 进行图像增强。为了找到一种更适合 MRI 图像的图像增强方法,分别尝试了直接灰度变换方法中的非线性变换,直方图灰度变换,直方图均衡化和对比度自适应直方图均衡化 4 种方法的融合效果。其融合结果如图 2 所示。

根据 4 种方法的增强效果,最终选择对比度自适应直方图均衡化方法进行图像增强。因为,在某些应用中,可能只需要对图像的某个部位进行均衡化,如 MRI 图像中的软组织部分,为此,可以用对比度自适应直方图均衡化代替直方图均衡化来进行增强。融合过程如下:

首先对 CT 图像 X_1 进行小波分解,即通过 $[C_1, S_1] = \text{wavedec2}(X_1, 2, 'sym4')$ 完成, C_1 是一个向量, $C_1 = [A(N) | H(N) | V(N) | D(N) | H(N-1) | V(N-1) | D(N-1) | \dots | H(1) | V(1) | D(1)]$, 其中, A 为平滑逼近系数, H 为水平方向的细节系数, V 为垂直方向的细节系数, D 为对角线方向的细节系数, S_1 是一个矩阵,其代表着 N 级分解的平滑逼近系数和各级分解细节系数的尺寸;然后对 MRI 图像进行小波分解,即通过 $[C_2, S_2] = \text{wavedec2}(X_2, 2, 'sym4')$

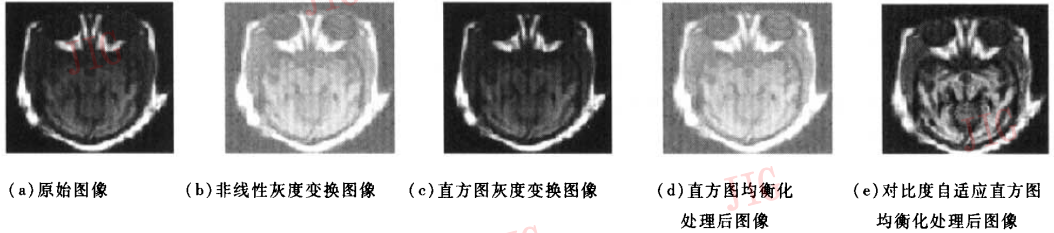


图 2 图像增强方法处理后的 MRI 图像

Fig. 2 The image of MRI after the process of image enhancing

实现。经过小波变换,分解成高频子图像和低频子图像,然后对分解后的子图像进行分块处理,并根据局部区域方差准则计算融合系数,最后通过对每个子块图像进行数据融合来重建图像。

设 $C(x,y)$ 和 $M(x,y)$ 分别为 CT 图像和 MRI 图像的高频或低频子图像数据值, $F(x,y)$ 为相应的子图像融合值,则 $F(x,y)$ 数值计算步骤为:

(1) 将 $C(x,y)$ 和 $M(x,y)$ 分成若干个 4×4 子块图像;

(2) 对每个子块图像进行数值分布统计,并计算其平均值和方差;

(3) 确定 CT 和 MRI 图像的每个子块图像的加权系数 K_1, K_2 。如果 CT 图像子块的方差大于 MRI 图像子块方差,则 $K_1 \geq K_2$, 否则 $K_1 < K_2$;

(4) 确定每个子块图像的数据融合数值,即 $F(x,y) = K_1 \times C(x,y) + K_2 \times M(x,y)$ 。重复计算准则步骤,即可得到全部子块图像的融合值。

重建后的融合图像显示如图 3(d) 所示。

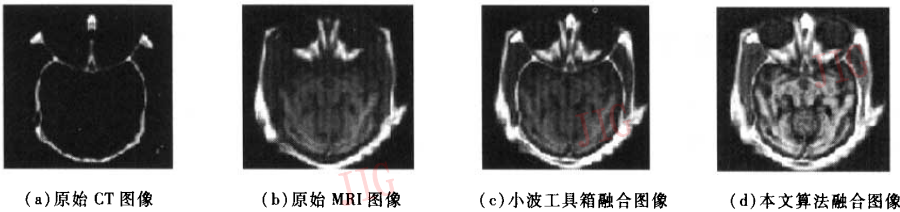


图 3 CT/MRI 图像融合

Fig. 3 The image fusing of CT/MRI images

2.2.2 小波工具箱 3.0 实现图像融合

小波工具箱 3.0 中的图像融合功能,是 MATLAB7.0 中新添加的一项功能,其操作在相关书籍中有详细说明,这里不作过多说明。通过小波工具箱实现的融合图像如图 3(c) 所示。融合结果证明,工具箱虽可以方便地实现融合,但是融合图像的效果远不如本文方法融合效果好。

3 实验结果和结论

结合本文提出的方法,对图 3 中的图像进行了数据分析。若把图像的模糊部分看作是噪声干扰,则可以通过比较图像融合前后的信噪比或均方差来说明融合效果。设大小为 $M \times N$ 的原始图像为 $f(x,y)$,简记为 f ,含噪声图像为 $\hat{f}(x,y)$,简记为 \hat{f} ,则含

噪声图像的信噪比定义为

$$SNR = 10 \lg \left[\frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f - \bar{f})^2}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f - \hat{f})^2} \right]$$

其中, \bar{f} 表示图像 $f(x,y)$ 的均值。该图像的均方差为

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f - \hat{f})^2$$

表 1 中列出了用以上两种融合方法融合前后图像的信噪比和均方差的对比情况,由表 1 可以很明显的看到,本文提到的融合方法较之用小波工具箱实现的融合图像信噪比提高了很多,均方差明显减少,同时对标准偏差、绝对平均偏差和绝对中值偏差进行了比较。

从融合的结果看,无论是通过目视判读还是通过统计特性的比较来看,融合效果都很好。在小波

表 1 小波变换数据融合前后图像的各参数比较

Tab. 1 The comparison of images parameter before and after data fusing by wavelet transformation

	信噪比	均方差	标准偏差	绝对平均偏差	绝对中值偏差
a	12.342 4	100.853 2	36.451 3	17.395 2	0.000 0
b	13.501 9	97.169 7	57.870 0	42.668 1	22.000 0
c	15.198 4	32.153 7	42.445 3	35.041 1	15.000 0
d	19.351 6	12.345 2	37.424 4	27.687 4	24.000 0

变换应用到图像融合的过程中,小波对应的分解和重建滤波器系数及分解尺度的选择对图像融合的效果有较大的影响,如 Haar 小波会引起斑块效应等。本文实验选用 sym4 小波,在 $j=2$ 时,效果比较好。由于小波分解的近似图像包含了图像的绝大部分能量,而小波系数则包含了图像的纹理信息,且小波系数的均值基本为零,因而此方法融合的结果基本上保持了原来图像的亮度与色调,而且这也为将要使用小波工具箱的工作者提供了一个参考,该方法的研究和应用将具有普遍意义。

参考文献 (References)

- 1 Garg Shruti, Ushah K, Mohan Ran, *et al.* Multilevel medical image fusion using segmented image by level set evolution with region

competition [A]. In: Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference [C], Shanghai, China, 2005: 7680 ~ 7683.

- 2 Xie Hu-chen, Li Guang, Ning Holly, *et al.* 3D voxel fusion of multimodality medical images in a clinical treatment planning system [A]. In: Proceedings 17th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS) [C], Bethesda, MD, USA, 2004: 48 ~ 53.
- 3 Hill P R, Bull D R, C N. Canagarajah. Image fusion using a new framework for complex wavelet transforms [A]. In: Proceedings IEEE International Conference on Image Processing [C], Genova, Italy, 2005, 2: 1338 ~ 1341.
- 4 Fei Si. Research Center for Scientific Product. Theory of wavelet analyzing and implement of MATLAB 7.0 [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry. [飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与 MATLAB7 实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.]