

· 论 著 ·

基于小波变换的多模态医学图像融合算法*

张 彬^{1#}, 郑永果¹, 马 芳², 东野长磊¹

(1. 山东科技大学信息科学与工程学院, 山东青岛 266510; 2. 山东电力中心医院内科, 山东济南 250001)

摘要:目的 探讨一种基于小波变换的医学图像融合的新算法, 为充分发挥现有医学成像系统的功能提供一种可靠手段。
方法 采用一种基于小波变换的医学图像融合新算法。首先对已配准的医学图像进行小波分解, 把图像分解成低频和高频子图像, 采用加权因子的融合规则对低频系数进行融合, 采用基于区域能量的融合规则对高频系数进行融合, 最后通过重构得到融合图像。
结果 该算法有效地将多模态医学图像所提供的信息融合在一起, 为临床诊断提供了更充分、更可靠的信息。
结论 该算法是一种可行有效的医学图像融合算法。

关键词: 研究; 小波变换; 融合规则; 医学图像; 图像融合

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2011.07.011

文献标识码: A

文章编号: 1671-8348(2011)07-0652-03

A new algorithm of medical image fusion based on wavelet transform*

Zhang Bin^{1#}, Zheng Yongguo¹, Ma Fang², Dongye Changlei¹

(1. College of Information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China; 2. Department of Internal Medicine, Central Hospital of Shandong Electrical Power Industry, Jinan, Shandong 250001, China)

Abstract: **Objective** Medical image fusion is the special application of imaging technique in medicine. It combines the anatomical images and functional images and brings the morphologic diagnosis into integrated imaging diagnosis. **Methods** This paper adopts a new medical image fusion algorithm based on the wavelet transform. Firstly, medical images of the registration were decomposed through the wavelet into low and high frequency sub-images. Then we fuse the low-frequency coefficients through the fusion rule of weighted factor, and we fuse the high-frequency coefficients based on the fusion rule of regional energy. Finally the fused image can be acquired through the reconstruction. **Results** The algorithm can fuse the information provided by the multi-modal medical image effectively, and can provide a more reliable information for the clinical diagnosis. **Condwision** This method is a effective fusion algorithm of medical image.

Key words: research; wavelet transform; fusion rule; medical image; image fusion

随着计算机技术和医学影像工程的不断发展, 近三十多年来出现了许多先进的成像设备, 如 CT、MRI 等, 为临床诊断提供了多种模态的医学图像^[1]。在实际临床应用中, 单一模态的图像往往不能提供医生所需要的足够的信息, 通常需要将不同模态的图像融合在一起, 得到更全面而互补的信息以便了解病变组织或器官的综合信息, 从而作出准确的诊断, 制订出合适的治疗方案。因此, 多模态医学图像融合具有重要的临床意义^[2-5]。

近年来, 在医学图像融合的研究领域涌现出很多新的方法, 其中基于小波变换的图像融合算法是目前该领域研究的热点之一^[6]。小波变换将变尺度、变分辨率特性与人视觉的空间频率多通道特性相吻合, 基于小波变换的医学图像融合能较多地获得多源图像的解剖结构和功能代谢信息, 很好地保留了源图像的边缘和纹理特征, 是医学图像融合中可取的方法^[7]。

本文采用一种基于小波变换的多模态医学图像融合算法。首先对两幅医学图像进行小波分解, 对分解后图像低频部分采用基于选择与加权因子相结合的融合规则, 对高频部分采用基于区域能量的融合规则, 进行小波逆变换得到最终的融合图像。实验结果表明, 本文算法可以获得较好的融合效果, 具有一定的应用价值。

1 材料与方法

1.1 二维图像的小波分解 针对二维的图像信号, 小波分解通常采用 Mallat 快速算法^[8], 通过两个一维的高通和低通分

解滤波器, 先后作用于图像的行和列, 从而实现图像的二维小波变换。Mallat 分解算法可表示为:

$$C_{j-1}(m,n) = \sum_{k,l} C_j(k,l) h_{k-2m} h_{l-2n} C_{j-1}^1(m,n) = \sum_{k,l} C_j(k,l) h_{k-2m} g_{l-2n} C_{j-1}^2(m,n) = \sum_{k,l} C_j(k,l) h_{k-2m} h_{l-2n} C_{j-1}^3(m,n) = \sum_{k,l} C_j(k,l) h_{k-2m} g_{l-2n} C_{j-1}^4(m,n)$$

图像的多尺度小波分解过程见图 1, 在每一个分解尺度上都可以得到 4 个不同的次级子图像, 其中 LL 是低频的部分, 它代表图像的主要信息, 集中了图像的绝大部分能量, 而 HL、LH 和 HH 是高频部分, 分别代表图像的水平方向的细节、垂直方向的细节和对角线方向的细节^[9]。如果对图像的低频部分继续进行进一步小波分解, 就可以得到多个尺度的图像时频信息, 从而实现多分辨的小波分析。

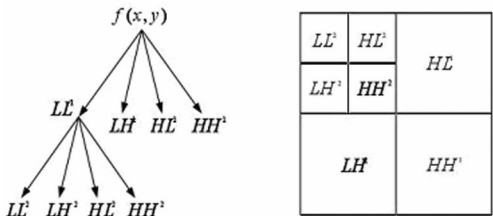


图 1 二维图像的小波分解 (树形分解和塔形结构)

* 基金项目: 国家高技术研究与发展计划(“863”计划)资助项目(2009AA0627018); 山东省教育厅计划资助项目(J08LJ10); 山东科技大学研究生科技创新基金资助项目(YCA100208)。 # 山东科技大学信息科学与工程学院 2008 级在读博士研究生。

1.2 融合规则 融合规则及融合因子的选择是图像融合中的核心内容^[10]。一般的融合规则有基于像素的融合规则,不考虑相邻像素之间的相关性;另一种是基于区域的融合规则,这种方法充分考虑了图像相邻像素间的高度相关性,能降低边缘的敏感性^[11-12]。基于小波变换的图像融合算法见图 2。本文对高频系数和低频系数分别采用不同的融合规则。

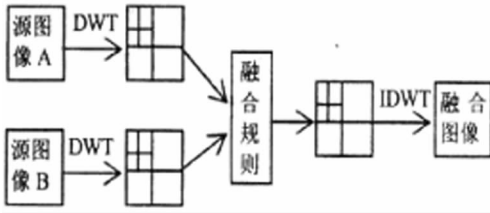


图 2 基于小波变换的图像融合算法

1.2.1 低频系数的融合规则 对于医学图像来说,低频分量 LL 对恢复图像质量影响很大,能够对病灶的定位起到很好的作用^[13-14]。本文采用选择与加权因子相结合的融合规则。通过下式进行计算:

$$A(j, \kappa) = (A_1(j, \kappa) + K \cdot A_2(j, \kappa)) \cdot \alpha - A_1(j, \kappa) - K \cdot A_2(j, \kappa) \cdot \beta \quad (2)$$

其中 κ, α, β 为加权因子。通过调节因子 κ , 可以达到调整两幅图像的占优比例的作用, 可以均衡两幅亮度不同的图像; 因子 α 增大, 图像会加亮, 随着因子 β 增大, 图像的边缘得到加强。对于不同类型的图像, 适当地调整因子即可以消减模糊边缘, 并且确保在消减时不过度地丧失图像的边缘信息。

1.2.2 高频系数的融合规则 设 HA^* 和 HB^* 分别为源图像经过提升小波变换后得到的各个高频分量, 融合后的结果为 HF^* ($K=HL, LH, HH$)。首先计算以各高频系数为中心的区域能量, 区域的大小为 $M \times N$ (M, N 取奇数, 且 $M \geq 3, N \geq 3$)。

$$VA^*(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-v}^v |HA^*(i+m, j+n) - M_A^*(i, j)| \quad (3)$$

$$VB^*(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-v}^v |HB^*(i+m, j+n) - M_B^*(i, j)| \quad (4)$$

$$M_A^*(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-v}^v |HA^*(i+m, j+n)| \quad (5)$$

$$M_B^*(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=-l}^l \sum_{n=-v}^v |HB^*(i+m, j+n)| \quad (6)$$

$$l = \frac{M-1}{2}, v = \frac{N-1}{2} \quad (7)$$

通过上式计算出两幅图像各个高频分量的区域匹配度:

$$M^*(i, j) = \frac{2VA^*(i, j)VB^*(i, j)}{[VA^*(i, j)]^2 + [VB^*(i, j)]^2} \quad (8)$$

通过选择一个阈值 Y , 如果 $M^*(i, j) \geq T$, 则:

$$HF^*(i, j) = \frac{1}{2}[HA^*(i, j) + HB^*(i, j)] \quad (9)$$

当 $M^*(i, j) \geq T$ 时, 则:

$$HF^*(i, j) = \frac{1}{2}[HA^*(i, j) + HB^*(i, j)] \quad (10)$$

当 $M^*(i, j) < T$, 则:

$$HF^*(i, j) = \begin{cases} HA^*(i, j) & VA^*(i, j) \geq VB^*(i, j) \\ HA^*(i, j) & VA^*(i, j) < VB^*(i, j) \end{cases} \quad (K=HL, LH, HH) \quad (11)$$

1.3 评估指标 为了客观、定量地评价融合图像的效果, 采用以下评价参量。

1.3.1 熵 (Entropy) 融合后图像的熵值的大小反映了融合图像所包含的平均信息量的多少^[15]。图像的熵定义为:

$$H = - \sum_{k=1}^{L-1} P_i \log(P_i) \quad (12)$$

其中, L 为图像的总灰度级数, P_i 为 i 的像素的概率

密度。

1.3.2 交叉熵 (Cross entropy) 交叉熵亦称相对熵 (Relative entropy), 交叉熵可用来度量两幅图像间的差异。交叉熵越小, 说明融合后图像与标准参考图像间的差异越小^[16], 即融合效果越好。若标准参考图像为 R , 融合后图像为 F , 则参考图像 R 与融合图像 F 的交叉熵为:

$$CERF = \sum_{i=1}^{L-1} P_{Ri} \log \frac{P_{Ri}}{P_{Fi}} \quad (13)$$

1.3.3 互信息 (MI) 源图像 A, B 和融合图像 F 之间的互信息定义为^[17]:

$$\begin{cases} I_{FA}(f, a) = \sum_{f,a} P_{FA}(f, a) \log \frac{P_{FA}(f, a)}{P_F(f)P_A(a)} \\ I_{FB}(f, a) = \sum_{f,a} P_{FB}(f, a) \log \frac{P_{FB}(f, a)}{P_F(f)P_B(a)} \end{cases} \quad (14)$$

则总的互信息量为:

$$MI^A_{BF} = I_{FA}(f, a) + I_{FB}(f, b) \quad (15)$$

其中 P_{FA} 和 P_{FB} 为联合概率密度。互信息的值越大表示融合图像从源图像中获取的信息越丰富, 融合效果越好。

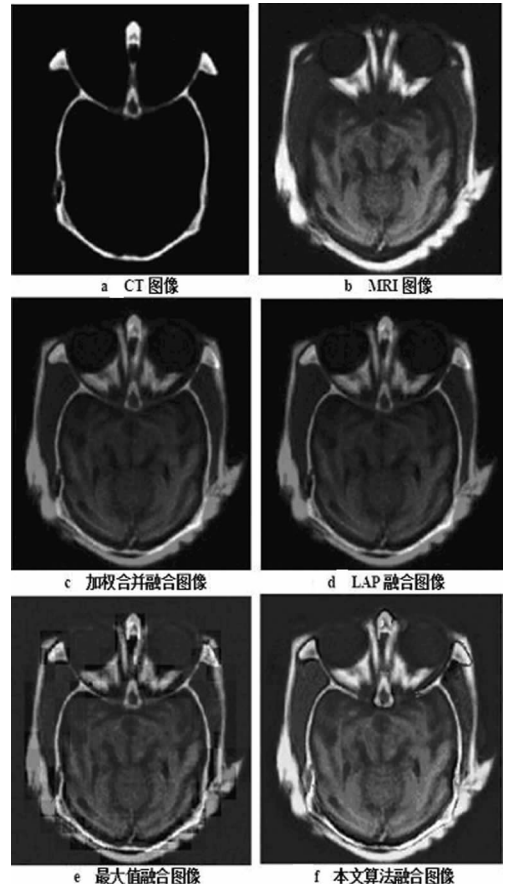


图 3 CT 和 MRI 图像及其各种方法融合的结果

2 结 果

为了验证本文所提算法的合理性和有效性, 对来源于同一个人同一颅脑部位的 CT 影像与 MRI 影像进行融合实验 (图 3)。其中图 3a 为 CT 图像, 图 3b 为经过配准后的相应 MRI 图像, 对这两幅图像分别采用基于加权合并融合算法 (融合结果如图 3c 所示)、基于 Laplacian 塔形融合算法 (融合结果如图 3d 所示)、基于最大值融合算法 (融合结果如图 3e 所示)、本文算法融合结果 (如图 3f 所示)。

本文采用熵、互信息和交叉熵 3 项客观指标来对融合图像质量进行定量分析。可以看出, 本文算法的评价指标明显优于

其他算法,并具有良好的视觉效果。图像融合结果见表 1。

表 1 图像融合结果的客观性能评价

图像\评价准则	熵	互信息	交叉熵
c	4.3210	6.1274	3.5694
d	4.9875	6.3678	3.1746
e	5.2136	6.7142	2.9815
f	5.4692	6.8637	2.5984

3 讨 论

在医学图像融合过程中,不同的融合规则会对融合结果产生很大影响,基于此,本文采用了一种基于小波变换的多模态医学图像融合新算法,基于小波分解过程中低频子图像和高频子图像代表的信息不同,本文对它们分别采用不同的融合规则进行融合实验,提高了图像的融合质量和视觉效果。实验结果表明,CT 图像具有很高的分辨力,骨骼成像非常清晰,为病灶的定位提供了良好的参照,但对病灶的显示较差。而 MRI 图像虽然空间分辨力不如 CT 图像,而且又缺乏刚性的骨组织作为定位参照,但是它对于软组织成像清晰,有利于确定病灶范围^[18-21]。本文算法得到的融合图像结构清晰、层次完整、视觉效果较好,很好的保留了图像的全局和局部特征,为充分发挥现有医学成像设备的功能提供了一种可靠手段,同时也对疾病诊断治疗有着重大的临床意义。

参考文献:

[1] 吴奇,程薇曦.虚拟现实技术在医学手术中的实现与应用[J].重庆医学,2008,37(21):2489-2491.
[2] 刘锋,曾凡,黄昊.基于局域网的临床手术示教系统的构建[J].重庆医学,2009,38(21):2656.
[3] 张明慧,卢振泰,陈武凡.基于高维互信息量的图像配准[J].计算机工程与设计,2007,34(18):4420-4421,4468.
[4] 陶观群,李大鹏,陆光华.基于小波变换的不同融合规则的图像融合研究[J].红外与激光工程,2003,29(2):173-176.
[5] 武杰,聂生东,汪红志,等.基于局部特征的医学图像融合方法[J].中国医学影像技术,2009,20(3):496-498.

(上接第 651 页)

[4] 林庆芳.女性生殖道支原体感染及药敏分析[J].临床和实验医学杂志,2010,9(16):1252-1253.
[5] 杜振元,张玉芝.不孕妇女中支原体属和脲原体属的检出率及其耐药性分析[J].中华医院感染学杂志,2010,20(13):1990-1991.
[6] 王元枝,李元清,高艳.女性泌尿生殖道支原体感染情况及耐药性分析[J].现代诊断与治疗,2010,21(4):234-235.
[7] 明岩.妊娠期妇女泌尿生殖道解脲脲原体与人型支原体感染调查及药敏分析[J].中华医院感染学杂志,2010,20(11):1625-1627.
[8] 张金平,胡慧寅,吴茅,等.妇科门诊 4 635 例支原体培养及药敏分析[J].浙江检验医学,2007,5(4):31.
[9] 覃爱萍,郑文军,潘尚领,等.广西地区宫颈炎患者病原体感染状况及其与年龄关系的分析[J].广西医科大学学报,2005,22(1):13-15.

[6] 陈铭生,赖炬铭,孙季丰.基于离散多小波变换的医学图像融合[J].江西科学,2006,31(4):209-212.
[7] 全海英,杨源,张懿,等.一种基于第 2 代小波变换的图像融合算法[J].系统工程与电子技术,2001,23(5):74-75.
[8] 鹿红,李兵,朱锡旭.医学图像融合技术在肿瘤放射治疗中的应用[J].现代肿瘤医学,2009,20(8):1571-1574.
[9] 李莹.小波变换在医学图像处理上的应用[J].计算机工程与设计,2006,49(7):1279-1281.
[10] 陈浩,刘艳滢.基于提升小波变换的红外图像融合算法研究[J].激光与红外,2009,39(1):97-100.
[11] 杨立才,刘延梅,刘欣,等.基于小波包变换的医学图像融合方法[J].中国生物医学工程学报,2009,15(1):12-16.
[12] 文明,彭志平,柏玮,等.PET/CT 融合图像在体部转移性肿瘤中的诊断价值一与 CT、SPECT 或 PET 的比较研究[J].重庆医科大学学报,2006,32(5):240-243.
[13] 余霞,葛红,李彬,等.医学图像融合的并行实现[J].计算机工程与应用,2008,27(34):172-174.
[14] 刘晴,郭希娟,许慎洋.基于互信息的 N 维多模医学图像配准[J].中国图像图形学报,2009,33(10):2061-2068.
[15] 葛雯,高立群.基于非分离小波的多模态医学图像融合算法[J].计算机应用研究,2009,19(5):1965-1967.
[16] 谈泉,林家瑞.多模态医学图像融合技术的研究与进展[J].国际生物医学工程杂志,2006,4(3):158-160.
[17] 李伟,朱学峰.基于第 2 代小波变换的图像融合方法及性能评价[J].自动化学报,2007,18(8):817-822.
[18] 顾勇,龙在云,赵艳秋.基于快速整数提升小波变换的医学图像融合[J].数据采集与处理,2008,37(5):575-579.
[19] 王林艳,陶玲,王惠南.CT 与 MRI 图像融合的评价方法研究[J].生物医学工程研究,2006,43(4):247-250.
[20] 刘贵喜,杨万海.基于小波分解的图像融合方法及性能评价[J].自动化学报,2002,23(6):927-934.
[21] 龚昌来.基于局部能量的小波图像融合新方法[J].激光与红外,2008,38(12):1266-1269.

(收稿日期:2010-09-10 修回日期:2010-11-10)

[10] 刘朝晖,张淑增,任翊.解脲脲原体在正常人群宫颈的存在情况及分群分型[J].中国实用妇科与产科杂志,2003,19(3):161-163.
[11] 郑卫东,胡菊.174 例妇女生殖道病原体 DNA 检测及分析[J].中国妇幼保健,2005,20(1):90-91.
[12] 王维鹏,金正江.不孕不育患者解脲脲原体培养及耐药性研究[J].中华医院感染学杂志,2007,17(1):110-111.
[13] 韦金杏.多西环素和阿奇霉素治疗支原体感染 76 例临床观察[J].重庆医学,2009,38(9):1111.
[14] 张大军.米诺环素治疗泌尿生殖道支原体感染 43 例临床观察[J].临床医学工程,2010,17(6):60-61.
[15] 杨安波,孙良,陈瑞娥,等.生殖支原体、解脲脲原体对 12 种抗生素的药物敏感性分析[J].山东医药,2010,50(27):28-29.

(收稿日期:2010-04-10 修回日期:2010-09-10)