技术与方法 文章编号:0253-3626(2011)02-0188-04

医学图像融合算法的应用与研究

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,青岛 266510;2. 山东电力中心医院内科,济南 250001)

【摘 要】目的:不同的医学影像为医生提供不同的医学信息,图像融合技术逐渐成为临床诊断和医学研究的重要手段。方法:本文采用了一种基于不可分离小波框架的图像融合算法。算法首先对已配准的医学图像进行非分离小波分解,把图像分解成低频和高频子图像,针对高频分量和低频分量不同的特点,采用不同的融合规则对其进行融合,最后进行小波逆变换,得到最终的融合图像。此外,文中引入了熵、平均梯度,融合均匀度对融合图像进行评价。结果:实验结果表明,本文算法获得的融合图像包含更丰富、更全面的细节信息,优于传统的小波变换方法。结论:采用基于不可分离小波框架的图像融合算法是一种有效的医学图像融合方法,提高了疾病诊断的准确性和正确性。

【关键词】小波变换;梅花形采样;医学图像;效果评价

【中国图书分类法分类号】TP 391.4 【文献标志码】A 【收稿日期】2010-09-26

Research and application of medical image fusion algorithm

ZHANG Bin, et al

(*College of Information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology*)

【Abstract】*Objective*: Doctors can get different details from different medical images because of the different imaging theory of medical instruments and application, image fusion become a key means in clinic diagnose and medical research. *Methods*: This paper adopted an image fusion method based on non-separable wavelet frame transform. Firstly, having finished the registration, medical image was decomposed with non-separable wavelet decomposition, and into low and high frequency sub-image. According to the

作者介绍:张 彬(1981-),男,博士,研究方向:医学图像融合、图形图像处理等。

基金项目:国家高技术研究与发展计划("863"计划)项目(编号:2009AA0627018);山东省教育厅计划资助项目(编号:J08LJ10);山东科技大学研究生科技创新基金项目(编号:YCA100208)。

参 考 文 献

[1] Jr.McCracken G H. Aminoglycoside toxicity in infants and children [J]. Am J Med, 1986, 80 (6): 172-178.

[2] 中华人民共和国国家药典委员会. 中华人民共和国药典, 二部 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.737.

[3] 湛海鄰,胡小莉,江 虹.伊文思蓝光度法测定硫酸阿米卡星的含量[J].分析科学学报, 2004, 20 (2): 169-171.

[4] 胡小莉,安兰香,刘绍璞,等.同多钨酸 - 阿米卡星相互作用的共振瑞利散射光谱及其分析应用[J].应用化学,2009,26(5): 587-592.

[5] Sánchez-Martínez M L, Aguilar-Caballos M P, Gómez-Hens A. Selective kinetic determination of amikacin in serum using long-wavelength fluorimetry[J]. J. Pharm Biomed Anal, 2004, 34(5): 1021-1027.

[6] Ramos Fernández J M, Bosque-Sendra J M, García-Campaña A M, et al. Chemiluminescence determination of amikacin based on the inhibition of the luminol reaction catalyzed by copper[J]. Pharm Biomed Anal, 2005, 36(5): 969-974.

[7] 翟海云,路新卫,吴燕红,等.硫酸阿米卡星的毛细管电泳法快速测定[J].分析测试学报,2008,27 (7): 769-771.

[8] Papp E A, Knupp C A, Barbhaiya R H. High-performance liquid chromatographic assays for the quantification of amikacin in human plasma and urine[J]. Chromatogr, 1992, 574(1): 93-99.

[9] Caturla M C, Cusido E, Westerlund D. Solid-phase extraction for the high-performance liquid chromatographic determination of indomethacin, suxibuzone, phenylbutazone and oxyphenbutazone in plasma, avoiding degradation of compounds[J]. Chromatogr, 1992, 581(1): 101-107.

[10] 王明娟,胡昌勤,金少鸿. 硫酸阿米卡星注射液及有关物质的 HPLC 法分析[J].中国抗生素杂志,2001,26 (5): 345-347.

[11] Lu W, Fernández Band B S, Yu Y, et al. Resonance light scattering and derived techniques in analytical chemistry: past, present, and future [J]. Microchim Acta, 2007, 158: 29-58.

[12] Antonov L, Gergov G, Petrov V, et al. UV-Vis spectroscopic and chemometric study on the aggregation of ionic dyes in water[J]. Talanta, 1999, 49(1): 99-106.

[13] 李原芳,黄承志,胡小莉.共振光散射技术的原理及其在生化研究和分析中的应用[J].分析化学,1998,26(12): 1508-1515.

[14] 刘绍璞,蒋治良,孔 玲,等.$[HgX_2]_n$ 纳米微粒的吸收光谱、Rayleigh 散射和共振 Rayleigh 散射光谱[J].中国科学:B 辑,2002,32 (6): 554-560.

(责任编辑:张学颖)

different characteristics of high frequency and low frequency components, the paper acquire different fusion rule to fuse the images, then through the inverse wavelet transform, we can acquire the fused image. In addition, the paper introduced the entropy, average gradient, uniformity of fusion to evaluate the fused image. *Results*: The results showed that this method could enhance the detail and brightness information of fused image, which is superior to traditional wavelet transform. *Conclusion*: It is an effective method of medical image fusion based on the non-separable wavelet framework image fusion algorithm, which could improve the accuracy and validity of disease diagnosis.

【Key words】wavelet transform; quincunx sampling; medical image; evaluate measures

医学图像融合作为信息融合的一个重要领域,已受到学术界的广泛重视。它是当代信息科学、医学影像科学与计算机技术相交叉的一个研究课题,是医学图像处理技术的一个新的研究热点[1]。医学成像模式可分为解剖成像和功能成像两类。前者主要描述人体的形态信息,后者主要描述人体血液流动和人体代谢方面的信息。它们为医学诊断提供了不同模态的图像,各有优缺点。因此,当单一模态的图像所提供的医学信息不能满足辅助诊断与治疗的需求时,可以考虑将不同模态的医学图像进行适当融合,使得解剖信息与功能信息有机结合,在一幅融合图像中同时表达不同模态图像的信息[2]。融合后的图像可以获得比单幅图像更全面、更实用的信息。医学图像融合就是对多幅不同模态的医学图像进行处理,使它们的信息有机结合,提高图像置信度,降低模糊度,最大限度发掘图像的信息资源,为医学诊断、人体的功能和结构等方面的研究提供更充分的信息[3,4]。

近年来,随着小波理论的发展和应用,小波变换在时域、频域突出信号局部特征的能力已被越来越多的人所认可,各种类型的小波变换得到了广泛的应用和发展[5]。小波变换在医学图像融合中的应用也得到了领域学者的普遍重视。目前基于小波变换的融合方法中讨论的多是可分离小波[6]。但是,可分离小波有很多缺点:第一,基于可分离小波分析的方法具有各向异性,使得融合图像中部分边缘信息丢失和某些细节模糊[7];第二,可分离小波的子带分析只局限于水平、垂直和对角 3 个方向上,方向性较差[8]。

本文针对 CT 及 MRI 影像的特征,采用基于梅花形采样离散小波框架变换的方法,克服了基于传统小波变换融合方法的不足。针对高、低频子图像的不同特点,采取不同的融合规则:低频分量采用基于区域能量的融合规则;高频分量采用基于区域平均梯度的融合规则。实验结果表明,采用本文方法可以达到比较好的融合效果。

1 梅花形采样离散小波框架

1.1 梅花形采样离散小波框架

与图像的可分离小波变换相似,图像的不可分离小波变换也是对图像的低通部分重复进行滤波已经重采样,从而产生新的低通和细节信号[9]。但与其隔行隔列重采样的方式不同,不可分离小波变换利用采样矩阵进行重采样。本文采用一种基于梅花形采样离散小波框架(Quincunx-sampled discrete wavelet frame, QSDWF)的融合算法[10],梅花形抽样矩阵如下:

$$D=\begin{bmatrix}1 & 1\\ 1 & -1\end{bmatrix} \tag{1}$$

它是通过去掉不可分离小波变换中的重采样过程,并且修改滤波器的系数得到的,与传统小波变换相比,它具有近似的平移不变性和较低的冗余度,将其应用到医学图像融合方案中可以快速的得到高质量的融合效果。

1.2 QSDWF 的特性

QSDWF 的具有以下 2 个特性。第一,具有移不变性。对等尺度下 QSDWF 的时域分辨率高于 DWT,因而移不变性更好[11]。第二,其冗余度及计算复杂度较少。设输入图像大小为 N,分解级数为 I,相同的图像,基于无下采样离散小波变换的分解系数比离散小波变换多 31 倍, 而 QSDWF 多出不到 2 倍,甚至低于双树复小波变换。

2 图像融合算法

图 1 以医学图像为例给出 QSDWF 算法融合示意图[12]。设 A 为 CT 源图像、B 为 MRI 源图像, F 为融合后的图像。CT 图像密度分辨率高,显示骨质结构和钙化最佳[13]。MRI 图像软组织分辨率比较高,如果对 CT 图像和 MRI 图像进行融合,就可以得到骨骼和软组织信息都比较清晰地图像,为临床诊断提供可靠地信息[14]。在图像融合过程中, 融合规则及融合算子的选择是图像融合中的关键,规则的好坏直接影响融合图像的速度和质量。本文采用不同的融合规则对高频子图像和低频子图像进行融合处理。

2.1 低频系数的融合规则

图像的低频部分包含的平滑概貌信息,也就是大尺度特征[15]。本文采用了基于区域能量的融合规则,选择区域能量较大者作为融合图像的低频信息,即:

$$LF(i,j)=\begin{cases}LA(i,j) & LAE(i,j)\geqslant LBE(i,j)\\ LB(i,j) & LAE(i,j)<LBE(i,j)\end{cases} \tag{2}$$

$1\leqslant i\leqslant m, 1\leqslant j\leqslant n$

式中区域能量定义为:

$$LXE(i,j)=\sum_{-p}^{p}\sum_{-q}^{q}\omega(p,q)|LX(i+p,j+q)| \tag{3}$$

其中 X 代表源图像 A 或 B。

2.2 高频系数的融合规则

高频信息代表了图像边缘等突变的细节信息，对它处理主要是保留边缘等细节信息[16]。平均梯度可以反映图像的细节反差，体现了图像的清晰度。本文采用基于平均梯度的融合准则，选择区域平均梯度较大者作为融合后图像的高频信息，即：

$$L_B^F(x,y)=\begin{cases}L_i^I(x,y) & G_I(R_B)\geq G_V(R_B)\\ L_i^V(x,y) & G_I(R_B)<G_V(R_B)\end{cases} \quad (4)$$

式中平均梯度 G 的计算公式如下：

$$G(R)=\frac{1}{N}\sum_{x,y\in R}\sqrt{\frac{\Delta f_x^2(x,y)+\Delta f_y^2(x,y)}{2}} \quad (5)$$

3 融合评价指标及实验结果分析

3.1 图像融合效果的客观评价准则

本文采用熵、平均梯度和融合均匀度 3 个指标，从不同角度客观评价图像融合效果。融合性能评价的准则是：熵值的大小表示图像所包含的平均信息量的多少，熵值越大，融合效果越好[17]；平均梯度具备反映图像细节反差程度和纹理变化特征的功能，同时也反映了图像的清晰度，平均梯度值越大，表明图像越清晰[18]；图像融合均匀度的值越小表明融合效果越好[19]。

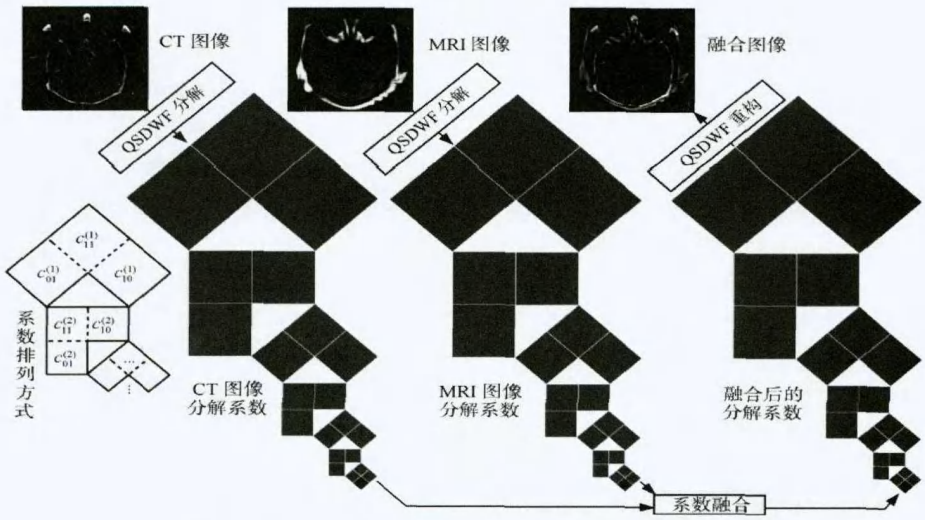
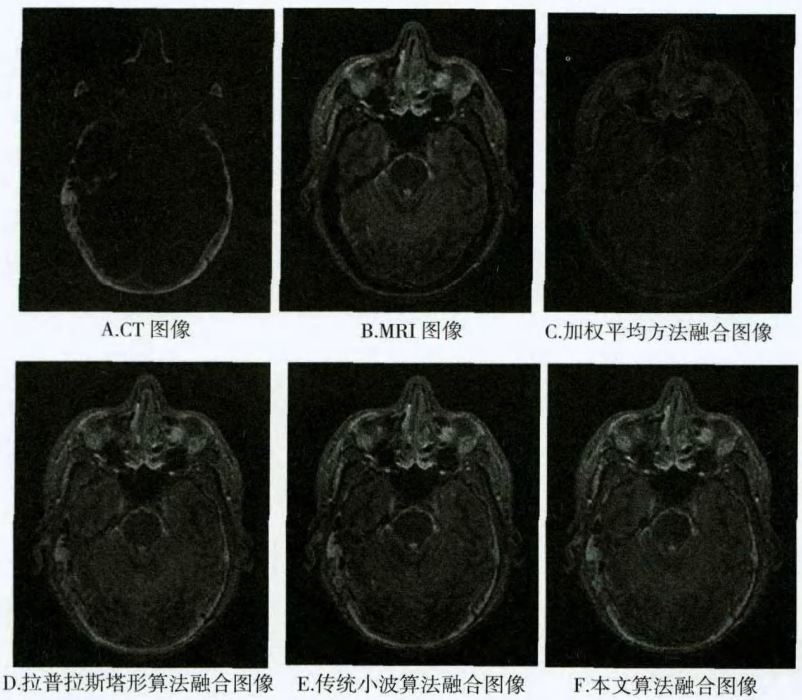


图 1 基于梅花形采样离散小波框架的图像融合算法示意图



A.CT 图像 B.MRI 图像 C.加权平均方法融合图像

D.拉普拉斯塔形算法融合图像 E.传统小波算法融合图像 F.本文算法融合图像

图 2 CT 和 MRI 图像和各种方法融合结果

表 1 图像融合结果的客观性能评价

图像/评价准则		熵	平均梯度	融合均匀度
图 2	A	1.667 2		
	B	1.377 5		
	C	2.413 0	7.325 8	0.109 1
	D	2.943 6	7.428 0	0.085 7
	E	2.954 1	7.596 3	0.076 3
	F	2.976 5	7.841 2	0.057 4

3.2 融合实验结果

为了验证本文算法的效果，采用 Matlab 编程环境，对医学诊断过程中常见的 CT 与 MRI 图像进行了融合实验，如图 2 所示。其中 A 为 CT 图像；B 为经过严格配准的相应的 MRI 图像。对这 2 幅 CT 和 MRI 图像分别采用：基于加权平均融合算法，融合结果如 C 所示；基于 Laplacian 塔形融合算法，融合结果如 D 所示；基于普通小波变换融合算法，融合结果如 E 所示；本文算法的融合结果如 F 所示。

CT/MRI 图像融合结果的定量评估如表 1 所示。从视觉效果和评价指标的计算结果来看，本文算法取得了更好的融合效果。

4 结 论

本文采用的基于梅花形采样离散小波框架的图像融合算法是一种低冗余的融合算法，它具有近似移不变性和较好的频率响应特性等优点，本文将其运用到医学图像融合中，同时应用基于区域能量取大和基于区域平均梯度取大的融合规则。实验结果表明，本文算法有效地保留了原始图像的边缘和纹理特征，避免了融合图像的平均化，从而获得了骨组织和软组织都十分清晰的图像，并且融合后的图像强化了图像的纹理特征，明显改善了图像的视觉效果，为医学诊断提供了更完善的信息。

参 考 文 献

[1] 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，2009，28(1)：12-16.

[2] 李振华，敬忠良，孙韶媛，等.基于不可分离小波框架变换的多聚焦图像融合算法[J].上海交通大学学报，2005，39(4)：557-560.

[3] 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，2009，26(5)：1965-1967.

[4] 刘 坤，郭 雷，陈敬松.基于区域分割的序列红外图像融合算法[J].红外与激光工程，2009，38(3)：553-558.

[5] 邓 谦，熊邦书，吴开志.基于小波帧变换的多聚焦图像融合算法[J].南昌航空大学学报：自然科学版，2009，23(2)：68-72.

[6] 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(英文)[J].光子学报，2004，33(2)：221-224.

[7] 龙 燕，姜 威，涂春美.基于正交小波变换的 CT/PET 医学图像融合[J].计算师工程与应用，2007，43(30)：239-241.

[8] 徐国荣，刘金涛.基于多小波基的医学图像融合[J].现代电子技术，2009，28(8)：112-114.

[9] 葛 雯，高立群.基于模糊熵和非分离小波变换的图像融合算法[J].计算机科学，2009，36(9)：287-289.

[10] 李树涛，王耀南.基于树状小波分解的多传感图像融合[J].红外毫秒波学报，2006，28(7)：431-434.

[11] 陶冰洁，王敬儒，许俊平.基于小波分析的不同融合规则的图像融合研究[J].红外技术，2006，28(7)：431-434.

[12] 杨 波，敬忠良.梅花形采样离散小波框架图像融合算法[J].自动化学报，2010，36(1)：12-22.

[13] 傅 鹂，王 丹，吕海翠.一种基于提升小波变换的图像融合新算法[J].微电子学与计算机，2009，26(4)：64-66、69.

[14] 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.

[15] 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，2008，23(5)：575-579.

[16] 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－与 CT、SPECT 或 PET 的比较研究[J]. 重庆医科大学学报，2006，31(5)：742-746.

[17] 曾基兵，陈怀新，王卫星.基于改进局部方差的小波图像融合方法[J].计算机工程与应用，2007，43(32)：72-74.

[18] 李 伟，朱学峰.基于第二代小波变换的图像融合方法及性能评价[J].自动化学报，2007，33(8)：817-822.

[19] 杨粤涛，朱 明，贺柏根，等.基于区域分割和非采样 Contourlet 变换的红外和可见光图像融合[J].激光与红外，2010，40(11)：1250-1257.

（责任编辑：冉明会）