

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005305

一种自动化三维乳腺超声全景图的自动拼接算法*

耿如霞¹ 颜光前² 吴俊¹ 孙亮³ 罗华友³ 舒若³(1. 云南大学 电子工程系 昆明 650091; 2. 昆明医科大学第一附属医院科教部 昆明 650032;
3. 昆明医科大学第一附属医院胃肠与疝外科 昆明 650032)

摘要: 自动化三维乳腺超声(ABUS)设备因受探头尺寸的限制而导致其成像视野有限。通过将其不同视野的图像数据进行拼接实现了对乳腺组织的全景超声检查。算法首先采用自动定位乳头位置的算法来识别和标记 ABUS 图像中的乳头位置;其次将乳头位置指定为后续拼接算法的特征匹配点,通过匹配特征点对图片进行融合,从而完成对 ABUS 乳腺超声全景图的自动拼接。结果表明,本算法可有效地自动拼接 ABUS 乳腺超声全景图,无需人工干预,医生可通过全景图对乳腺癌筛查病例实现更为准确和客观地诊断,具有非常重要的临床应用价值。

关键词: ABUS 技术;超声全景图;自动定位;自动拼接

中图分类号: TN911.73 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 310.6110

Automatic stitching method of ultrasound panorama of mammary gland in ABUS

Geng Ruxia¹ Yan Guangqian² Wu Jun¹ Sun Liang³ Luo Huayou³ Shu Ruo³

(1. Department of Electronic Engineering, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. Department of Science and Education, First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, China; 3. Department of Gastrointestinal and Hernia Surgery, First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, China)

Abstract: Automated 3-D breast ultrasound (ABUS) equipment has limited imaging field due to the limitation of probe size. By stitching image data of different fields of view, a panoramic ultrasound inspection of breast tissue is revising. The algorithm first uses the algorithm to locate the nipple position to identify and mark the nipple position in the ABUS image. Secondly, the nipple position is designation as the feature matching point of the subsequent stitching algorithm, and the image is integrated the matching feature points to complete the ABUS breast ultrasound panorama. Automatic splicing of pictures. The results show that this algorithm can effectively stitch the ABUS breast ultrasound panoramic images without manual intervention. Doctors can use the panoramic images to diagnose breast cancer screening cases more accurately and objectively, which has very important clinical application value.

Keywords: ABUS technology; ultrasonic panorama; automatic positioning; automatic splicing

0 引言

近年来,随着医学影像技术的进步,其中自动化三维乳腺超声(automated 3-D breast ultrasound, ABUS)技术随之发展迅速^[1-2],其逐渐弥补了传统二维手持式超声图像对于医生依赖性高的缺陷,ABUS 设备可以实现全自动地采集大容积的信息^[3],但对比目前使用的 CT(电子计算机断层扫描)和 MRI(磁共振成像)设备,ABUS 设备显示出成像视野仍然较为有限。导致这一情况主要原因是 CT 和 MRI 可对患者全身进行成像,而 ABUS 设备的成像则会受

探头尺寸的限制。

Weng 等在 1997 年提出了超声宽景成像这一概念,其原理为用 B 超探头在被观察组织的表面沿一定方向缓慢移动,获得一系列具有重叠区域的 B 超图像,然后利用图像配准与拼接技术生成具有扩展视野的宽景图像,所使用方法配准的精确度低,多依赖人工操作^[4-6]。Kong 等尝试将 SIFT 算法应用于肌骨超声图像的特征检测及配准中,其实验结果表明,相比于传统的 Weng 超声图像配准方法,SIFT 算法的图像配准精确度更高^[7]。但是,并未对 SIFT 提取的特征点进行评估,即未考察检测出的特征点分布是

收稿日期:2020-11-03

* 基金项目:国家自然科学基金(61661050)、云南省科技厅-昆明医科大学联合基金(2018FE001(-134))项目资助

• 98 •

否均匀、是否有效,特征匹配正确率如何也未可知,且至今无应用于 ABUS 乳腺超声检测之中。

本文克服 SIFT 原始拼接算法的局限性,同时解决了在超声全景图的拼接过程中超声信号存在低信噪比和阴影、斑点和其他噪声,以及医生在对病人进行超声检查时,在不同的检测位置探测时的力度和与接触程度可能会不尽相同产生的影响^[8],进而提出一种 ABUS 乳腺超声全景图的自动拼接算法。此算法指定乳腺组织中的乳头位置为拼接算法所使用的匹配特征点,提升了自动拼接超声图像算法的准确率,无需人工干预,医生可通过全景图对乳腺癌筛查病例实现更为准确和客观地诊断,具有重要的临床应用价值。

1 方 法

本文所提出的 ABUS 超声全景图拼接算法可分为超声图像数据准备过程、自动定位标记乳头位置、自动拼接超声全景图 3 个过程。详细算法流程如图 1 所示。

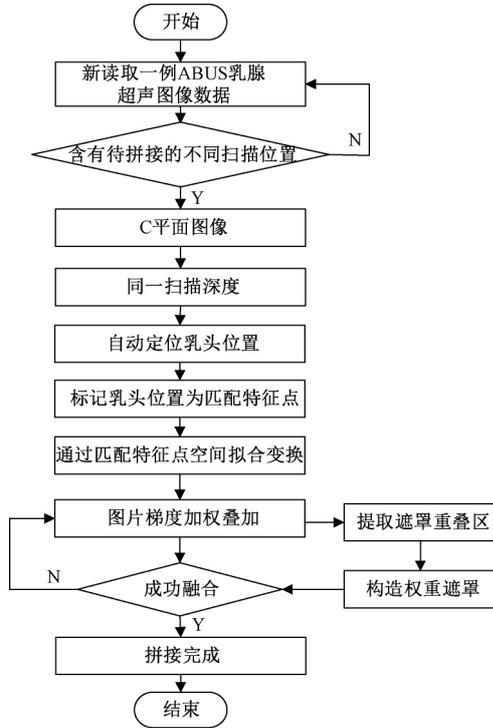


图 1 算法流程

1.1 超声图像数据准备

新读取 ABUS 乳腺超声图像数据,判断读取后数据中是否含有待拼接的不同扫描位置,若判断此读取后的图像数据中含有待拼接的不同扫描位置,则进行后续处理。其中图 2 所示为 ABUS 设备在乳腺组织上的不同扫描位置。如:前后(AP),侧面(Lateral),中间(Medial)。

经正确读取判断后的 ABUS 图像数据中包含了 H 平面(横断面),S 平面(矢状面),C 平面(冠状面)3 个平面的

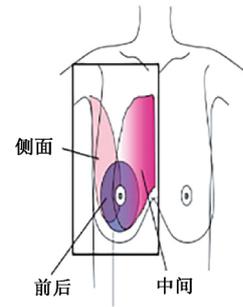


图 2 ABUS 扫描位置

图像数据,如图 3 所示,从中自动选择其中处于同一扫描深度的冠状面超声图像数据进行后续拼接,即可完成数据准备过程。

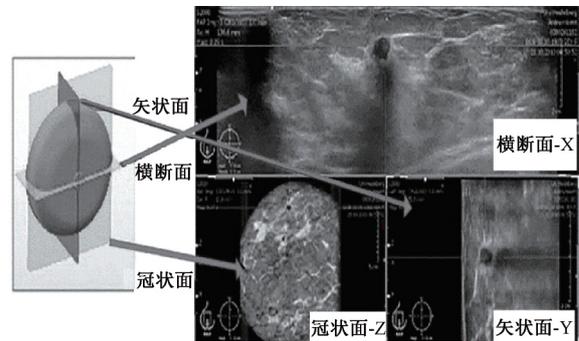


图 3 ABUS 影像诊断工作站

1.2 自动定位标记乳头位置

本文所提出算法使用乳头位置为拼接算法中的匹配特征点,而自动定位标记乳头位置则包括如下步骤。

1)自动提取图像的 ROI(region of interest),此过程需对图像作如下处理:消除超声图像背景区域的点状高亮杂质,进行阈值和边界平滑的处理,即生成 ABUS 冠状面的前景掩模,利用生成的前景掩模可提取出超声图像的 ROI^[9]。过程如图 4 所示。

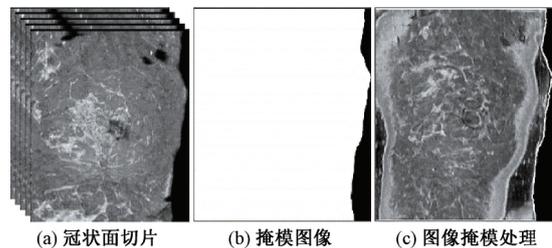


图 4 自动提取 ROI 结果

2)对此 ROI 进行预处理,其中包括图像斑点的降噪,降噪后的图像二值化、开闭和反相运算的处理^[10],最后删除其中与图像边框相连的白色区域和预定面积以内的白色目标。在此预处理过程中,由于超声图像的特性,本文利用

ISRAD 算法进行图像斑点的降噪^[11], ISRAD 算法可自动选取最优同质区域, 再由所选同质区域精确计算出扩散参数 $q_0(t)$, 而 ISRAD 的实际应用效果就取决于对 $q_0(t)$ 估算的准确性, 对 $q_0(t)$ 的计算公式为:

$$q_0(t) = \frac{\sqrt{\text{var}[Z(t)]}}{Z(t)} \quad (1)$$

式中: $\text{var}[Z(t)]$ 和 $Z(t)$ 分别代表 ISRAD 算法选取的超声同质区域所计算的方差和均值。利用此算法进行迭代运算, 通过确定图像的迭代循环次数再根据参数计算结果, 即可实现对图像的斑点降噪过程^[12]。

3) 在完成对超声图像的预处理之后, 利用一种改进的霍夫(Hough)变换的圆检测算法对图像进行乳头位置的自动检测^[13]。Hough 变换圆检测算法的基本思想是将图像中的边缘点坐标映射到参数空间坐标中, 映射后的参数空间坐标点的元素均利用对应的累加器进行累加统计, 根据局部的最大累加值判断圆的半径和圆心所在位置, 进而实现对乳头位置的自动检测, 这也叫做一种投票算法^[14]。此基本算法存在抗干扰力差, 计算量大, 提取准确率低的问题, 为此本文在 Hough 算法的基础上利用圆形本身的几何特性, 由圆上点确定圆心与半径, 减少计算量。具体步骤如下: 首先, 对于预处理后图像进行边缘提取, 将图像的边缘像素信息保存在一个集合 S 中, 然后在集合 S 中随机的抽取一个像素点 X , 构造 3 个直角三角形, 分别沿着水平方向和垂直方向构造直角三角形 A_1 , 沿 -45° 和 45° 构造直角三角形 A_2 , 沿 -15° 和 75° 构造直角三角形 A_3 ; 3 个三角形的斜边相交于一点 B , 以 B 为中心, 得到 X 的对称点 Y ; 最后如果 3 个三角形的斜边和 X 与 Y 成的直线满足圆形的几何性质, 则将此圆的圆形和半径信息加入集合 C 中。当遍历完集合 S 的像素点后, 输出集合 C , 即此改进的 Hough 变换圆检测算法最终要找的点。

虽然算法利用了圆形本身的性质来减少虚假圆心, 但是因为 Hough 变换的结果受图像预处理效果的影响, 加之超声图像的复杂性^[15], 则会导致边缘提取的效果很差, 那么即使利用了多种改进方案, 依然无法避免虚假圆心的产生。因此在此过程完成之后, 还需要排除误识别的圆, 其中主要是根据一种提高 Hough 变换识别圆形物体准确率的方法实现^[16], 具体方法为: 以 $\Delta\theta = 2\pi/360$ 作为角度的步长, 将 θ 从 $0 \sim 2\pi$ 范围内对圆心为 (a, b) , 半径为 r 的圆搜索其边缘点, 并用数组 $\text{theta}[]$ 保存每个边缘点的角度 θ , 其中数组长度为 360; 然后将边缘点的角度数组代入式(2)中, 求标准差 σ :

$$\sigma = \sqrt{E[\text{theta} - E(\text{theta})]^2} \quad (2)$$

式中: $E(\text{theta})$ 是角度数组 $\text{theta}[]$ 的期望。最后判断累加单元 $A(a, b, r)$ 与标准差 σ 的比值 K 是否 >1 , >1 属于正确识别, <1 则属于错误识别, 以此确定乳头的所在正确位置坐标, 即可将此乳头位置指定为匹配特征点。

• 100 •

1.3 自动拼接超声全景图

自动拼接过程需要先将处理好的超声图像进行空间拟合变换, 为后续叠加融合图像做准备。首先, 计算 ABUS 超声图像进行空间拟合变换后的需要的坐标大小范围, 以坐标最大值为范围, 对每个投影变化找到输出的空间坐标限制值, 由此确定范围之后, 以新的图像坐标范围建立坐标系, 确定变换所需范围之后对图像实施空间拟合变换, 其中本文采用一种相似变换的方式。

叠加融合过程主要利用梯度遮罩的算法, 此算法具体为提取图像的遮罩重叠区, 提取图像遮罩坐标, 根据坐标分别构造图像的权重遮罩, 利用梯度加权方式, 将图像分别映射到最终显示结果的全景图像上, 最后重叠其映射后图像即可完成自动拼接过程, 生成 ABUS 乳腺超声全景图。

2 实验及结果分析

为验证本文算法的可行性, 利用 ABUS 系统扫描采集得到的乳腺三维超声图像数据, 对其进行自动拼接。软件 MATLAB2018a 为数据处理工具, 最后得到 ABUS 超声全景图。

2.1 读取 ABUS 三维超声图像实验数据

由于本实验使用数据量多, 因此在文中选取其中两例具有代表性的实例显示。图 5 所示为一被检查者 A 的 ABUS 乳腺图像数据, 本实验经判断自动选择其处于深度为 12.454 mm 的冠状面超声图像数据进行后续拼接, 此例数据包含了被检查者 A 左右两侧乳房的前后, 侧面检测位置。

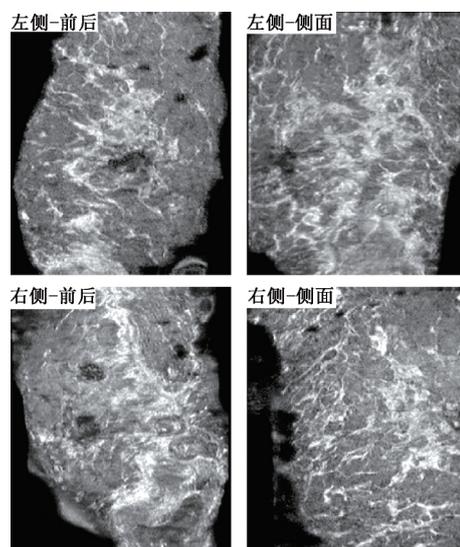


图 5 被检查者 A 数据选取结果

图 6 所示为一被检查者 B 的超声图像数据, 本实验经判断自动选取被检查者 B 处于深度为 9.123 mm 的冠状面图像数据进行实验, 此例数据包含被检查者 B 右侧乳房的前后、侧面、中间 3 个检测位置。

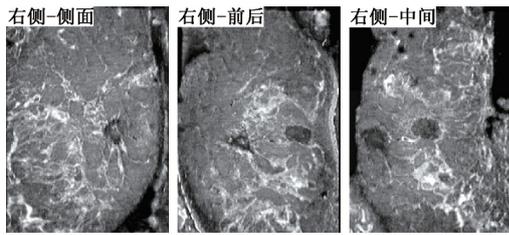


图 6 被检查者 B 数据选取结果

2.2 自动定位乳头位置结果

本实验利用改进的 Hough 变换圆检测对 ABUS 乳腺超声图像数据进行自动定位标记乳头位置。通过实验,其中被检查者 A 实验中总共排除 3 个错误位置,最终正确确定乳头的所在位置坐标。图 7 所示为被检查者 A 的左右两侧乳房通过自动定位标记乳头位置的结果,其中白色虚线圆环标记的位置即为乳头位置。

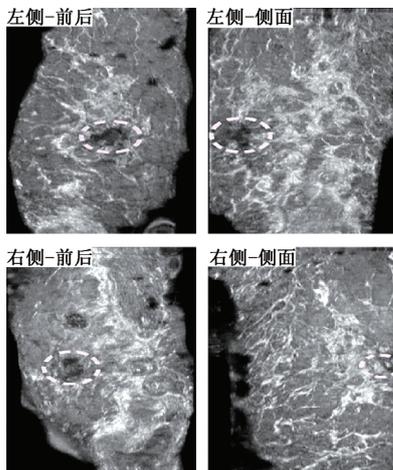


图 7 被检查者 A 数据自动标记乳头位置结果

通过实验,其中被检查者 B 在实验中总共排除错误识别圆 2 个,最终确定正确乳头位置,被检查者 B 的右侧乳房通过自动定位标记乳头位置的结果如图 8 所示,其中白色虚线圆环标记的位置即为乳头位置。

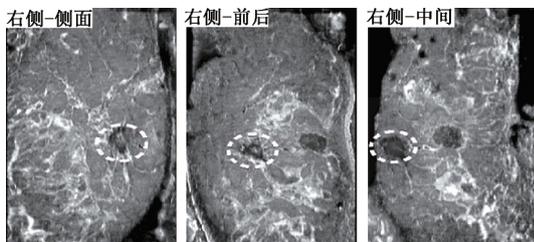


图 8 被检查者数据 B 自动标记乳头位置结果

2.3 ABUS 乳腺超声全景图自动拼接结果

实验中将确定的乳头位置指定为特征匹配点,将其坐标放入矩阵,指定为本文所提自动拼接算法的特征点。利

用特征点进行空间拟合变换,分别计算从检查者 A 和检查者 B 选择出的 3 例图像经过空间变换后需要的坐标大小范围,对其中每个投影变化找到其输出的空间坐标限制值,以这个限制值为坐标最大值的范围,在完全确定范围之后以新的图片范围建立坐标系,开始实施变换。变换之后,进行图片融合,提取 3 例图像数据遮罩重叠区,准备亮度拉伸参数,提取图片遮罩左边坐标,分别找到进行拼接的两张图片的非零位置最小坐标,通过比较两边最小坐标构造图片左右权重遮罩的坐标矩阵,权重遮罩构造完成之后将图像重叠起来,注意将其中的矩阵类型转换为 unit8 之后,进行最终的图像相加融合。

经过本实验,显示被检查者 A 的左侧乳房拼接结果如图 9 所示,被检查者 A 右边乳房拼接结果如图 10 所示,被检查者 B 右侧乳房拼接结果如图 11 所示。

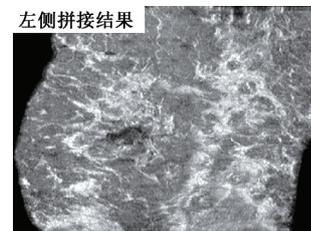


图 9 被检查者 A 左侧乳房数据自动拼接结果

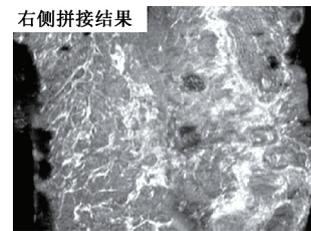


图 10 被检查者 A 右侧乳房数据自动拼接结果

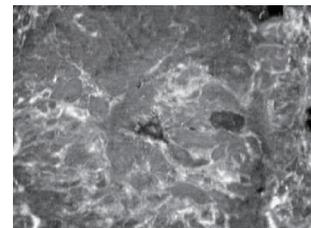


图 11 被检查者 B 数据自动拼接结果

3 结 论

ABUS 乳腺超声全景图能完整保留且呈现图像的重要特征,通过上述实验拼接结果可以清楚观察到患有癌症的乳腺组织和正常乳腺组织的结构外貌差别,直观反映超声全景图在准确和客观地诊断乳腺癌筛查病例中的优势以及临床应用价值。

本文巧妙利用乳腺组织的特殊结构乳头位置作为匹配特征点,加之算法可自动定位乳头位置,利用特定拼接方法,采用具体临床数据进行实验来支撑其可行性及优势,不仅保留原始图像的特征信息,且将不同检测位置的超声图像无缝衔接为一张全景图,拼接准确率明显比将常规拼接方法应用到 ABUS 数据中时高。此算法对于解决人工审查 ABUS 超声图像数据的耗时和低效问题具有较好的辅助意义,具有实际应用价值,且未来的研究中希望继续提高本算法鲁棒性,比如在出现不同外观活动度、包括乳头凹陷等情况时进行准确判断,以及在图像边缘衔接、拼接潜在重叠区域的处理中达到更好的效果。

参考文献

- [1] 王娟. 超声影像特征在乳腺癌检测中的应用[J]. 大家健康(学术版), 2015(4):59-60.
- [2] GOLATTA M, HARCOS A, JUNKERMANN H, et al. Interobserver reliability of automated breast volume scanner (ABUS) interpretation and agreement of ABUS findings with hand held breast ultrasound (HHUS), mammography and pathology results [J]. European Journal of Radiology, 2013, 82(8):e332-e336.
- [3] LIN X, WANG J, HAN F. Analysis of eighty-one cases with breast lesions using automated breast volume scanner and comparison with handheld ultrasound[J]. European Journal of Radiology, 2012, 81(5):873-878.
- [4] 孙艳丽,周伟,张亚周,等. 基于 SIFT 的航空侦查图像拼接算法[J]. 电子测量技术, 2020, 43(19):112-116.
- [5] 熊苗苗,王鹏,郜辉,等. 基于 SIFT 算法的图像拼接技术[J]. 数字技术与应用, 2016(11):129-130.
- [6] 吴俊,文乐,汪源源,等. 基于自动化三维超声冠状面图像的腹壁手术切口检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(S1):23-27.
- [7] 颜焕欢,张培镇,王伊依,等. 肌骨超声图像特征检测及拼接[J]. 中国图象图形学报, 2020, 25(5):1032-1042.
- [8] 闵一迪,吴俊,汪源源,等. 三维 ABUS 图像多平面联合显示平台的 MATLAB 实现方法[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(2):73-77.
- [9] 赵柳,颜光前,吴俊,等. 基于 ABUS 冠状面图像的乳头位置自动检测算法[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2019, 41(3):464-469.
- [10] 赵柳,吴俊,陈悦,等. 自动化三维超声图像无探头耦合区域的计算机辅助排除算法[J]. 电子测量技术, 2017, 40(7):113-116.
- [11] WU J, WANG Y, YU J, et al. Intelligent speckle reducing anisotropic diffusion algorithm for automated 3-D ultrasound images [J]. Journal of the Optical Society of America A Optics Image Science & Vision, 2015, 32(2):248-57.
- [12] 骆科扬,刘俊. 鲁棒的各向异性扩散三维超声图像去噪算法 [J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(11):135-138,143.
- [13] 龚昕,张楠. 基于 Hough 变换的圆检测算法的改进[J]. 信息技术, 2020, 44(6):89-93,98.
- [14] 刘晶,吴昊,麦晓明,等. 基于霍夫变换及相似度检测的圆形表计检测方法 [J/OL]. 电测与仪表, 2021: 1-7 [2021-01-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20200910.1359.004.html>.
- [15] SPRATLING M W. A neural implementation of the Hough transform and the advantages of explaining away[J]. Image & Vision Computing, 2016, 52:15-24.
- [16] 何扬名,戴曙光. 提高霍夫变换识别圆形物体准确率的算法[J]. 微计算机信息, 2009, 25(10):279-281.

作者简介

耿如霞(通信作者),硕士研究生,主要研究方向为医学图像处理等。

E-mail:grxlz333@163.com