

# 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\*

赵柳<sup>1</sup> 吴俊<sup>1</sup> 陈悦<sup>2</sup> 陈林<sup>2</sup> 罗华友<sup>3</sup> 孙亮<sup>3</sup> 舒若<sup>3</sup>

(1. 云南大学电子工程系 昆明 650091; 2. 复旦大学附属华东医院超声科 上海 200040;

3. 昆明医科大学第一附属医院胃肠与疝外科 昆明 650032)

**摘要:** 自动化三维超声成像时,只有在探头和皮肤间存在良好耦合接触的区域才能形成有效超声信号。通过构建一个二维冠状面图像掩模实现了对非耦合区域图像的计算机辅助排除。算法首先通过分别对多帧连续和间断的二维冠状面图像相同位置的像素点做均值处理,得到冠状面均值图像;然后分别将对连续和间断冠状面做均值处理后的图像使用双峰阈值分割法进行阈值处理,得到二值图像,再使用形态学图像处理方法对二值图像进行处理,在处理后的两张二值图像中选择最优二值图像作为掩模图像;最后使用掩模图像对待处理冠状面图像的非耦合区域进行排除并使用伪彩色显示冠状面耦合区域。结果表明,本算法可实现对自动化三维乳腺超声(ABUS)数据无探头耦合区域的自动排除,能有效避免后续图像处理过程对非耦合区域的无效运算。

**关键词:** 自动化三维超声;非耦合区域;图像掩模;伪彩色处理;排除算法

**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

## Computer-aided exclusion algorithm for areas without probe coupling of automated 3D ultrasound images

Zhao Liu<sup>1</sup> Wu Jun<sup>1</sup> Chen Yue<sup>2</sup> Chen Lin<sup>2</sup> Luo Huayou<sup>3</sup> Sun Liang<sup>3</sup> Shu Ruo<sup>3</sup>

(1. Department of Electronic Engineering, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Department of Ultrasound, Huadong Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China;

3. Department of Gastrointestinal and Hernia Surgery, The First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, China)

**Abstract:** In automated 3D ultrasound imaging, effective ultrasonic signal can only be acquired if a good contact between the probe and the skin exists. To be able to achieve computer-aided exclusion for areas where were uncoupled, a 2D image mask was generated in the coronal plane. Firstly, the average coronal images were obtained by averaging a series of 2D coronal slices which were continuous or intermittent. Secondly, the binary images were obtained by applying bimodal thresholding method on the coronal projection. The masks were obtained by applying morphology image processing method on the binary image, and choosing the best mask as the finally mask image. Finally, pending coronal plane image's uncoupled areas were excluded by using the mask, and coupled areas were shown by applying pseudo-color processing. It is shown in the results that the proposed method achieves automated exclusion for areas without probe coupling of the automated 3D breast ultrasound (ABUS) data which can effectively avoid invalid operating of uncoupled areas in the subsequent image processing.

**Keywords:** automated 3D ultrasound; uncoupled areas; image mask; pseudo-color processing; exclusion algorithm

## 1 引言

在自动化三维乳腺超声(ABUS)成像时,只有当探头和

皮肤间存在良好的耦合接触时才能获取到超声信号。因此,仅有在容积数据中位于良好耦合区域下方的体素才含有有效信息<sup>[1]</sup>。这里将全体含有有效信息的体素定义为前景。

收稿日期:2016-11

\* 基金项目:国家自然科学基金(61661050)、云南省教育厅科学研究基金重点项目(2015Z013)、上海申康医院发展中心临床辅助科室(超声医学)能力建设项目(SHDC22015013)资助

显然,没有必要对无效的背景区域做后续的图像识别<sup>[2]</sup>。

解剖学规定人体有三个基本切面,它们与人体的3个基本轴相对应,分别称作横断面(Axial Plane)、矢状面(Sagittal Plane)和冠状面(Coronal Plane)。横断面是横切直立人体,与地面平行的切面,即ABUS探头最初通过线性移动扫描所获得的原始切面。矢状面是将人体对称分为左右两部分的切面。冠状面是与人体面部平行,将人体分为前后两部分的切面。由此发现,冠状面是医生最容易发现病变并分析病变的平面。

因此,综合以上两点因素,为实现在对病变区域的检测与分析过程中避免对非耦合区域的无效运算,应对冠状面图像非耦合区域进行自动排除<sup>[3-6]</sup>。

Tan于2012年提出了对ABUS数据无效区域的排除算法,该算法是对提取的多帧连续冠状面图像进行处理,构建了一个冠状面2D图像掩模,实现对非耦合区域的排除。为提高排除无效区域的准确性,避免对有效区域的排除,本文采用两种方法提取多帧冠状面,并对提取的多帧冠状面图像进行一系列图像处理,构建了一个冠状面2D图像掩模,并将该掩模应用于容积数据中的冠状面图像<sup>[7-12]</sup>,这样便使非耦合区域不参与后续的图像处理过程,避免对非耦合区域的无效运算。

## 2 方法

本文所提出的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可概述为对多帧ABUS冠状面(C-plane)图像的均值处理,阈值分割和形态学图像处理,图像掩模和伪颜色处理。详细算法流程如图1所示。

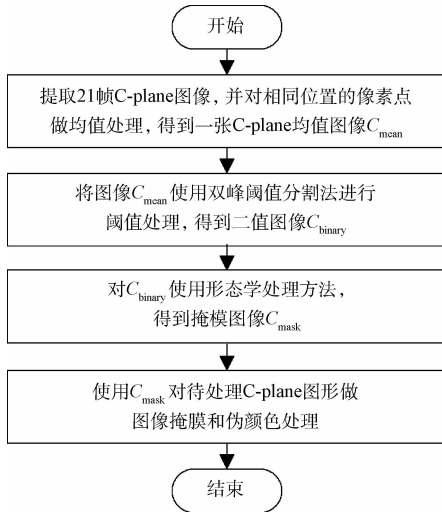


图1 本方法流程

### 2.1 多帧C-plane图像同一位置像素点做均值处理

C-plane图像耦合区域灰度值不为0,非耦合区域灰度值为0,为检测非偶然性原因造成C-plane图像灰度值为0的情况,本实验采用了两种方法:

第1种是将多帧连续C-plane图像相同位置的像素点做均值处理的方法,即提取待处理C-plane图像及其前后各连续10帧C-plane图像对相同位置的像素点做均值处理。如本实验确定待处理C-plane图像是第180帧,则提取的C-plane图像为第170~190共21帧。待处理C-plane图像如图2所示。

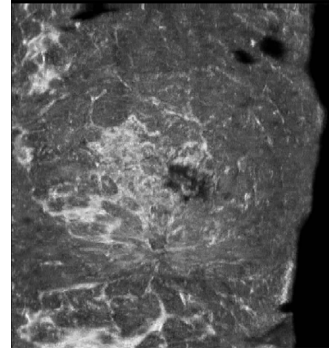


图2 待处理的C-plane图像

第2种是对多帧间断C-plane图像相同位置的像素点做均值处理,即21帧C-plane图像为间隔提取,间隔距离为5,每5帧便提取1帧C-plane图像。如本实验确定待处理C-plane图像是第180帧,则提取的C-plane图像分别为第130、135、140、145、150、155、160、165、170、175、180、185、190、195、200、205、210、215、220、225、230共21帧。

图3(a)所示为连续冠状面图像像素点均值处理实验,图3(b)为间断冠状面图像像素点均值处理实验。由图3可知,提取间断C-plane图像做均值处理显示的非耦合区域的面积明显小于提取连续C-plane图像做均值处理的结果。

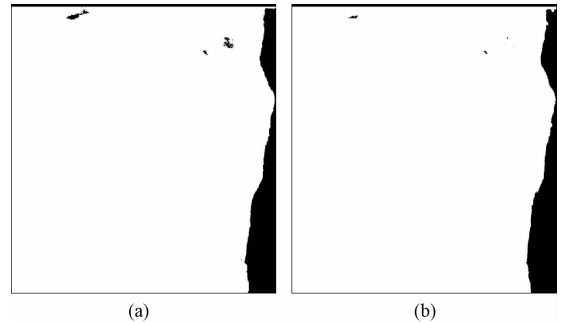


图3 多帧冠状面图像像素点均值处理实验

### 2.2 阈值分割和形态学图像处理

对C-plane均值图像使用双峰阈值分割法进行阈值处理,确定超声图像中每个像素点应该属于耦合区域还是非耦合区域,将灰度图转化为二值图像,即耦合区域的值设为1,非耦合区域的值设为0。其结果如图4(a)、(b)所示,图4(a)为图3(a)的阈值分割结果,图4(b)为图3(b)的阈值分割结果。

对二值图像使用形态学图像处理方法中的膨胀和腐蚀操作,使之在不明显改变非耦合区域的面积来对二值图像

中的连通区域进行边界平滑处理,并对黑色区域中的白色空洞进行填充,从而得到掩模图像。如图 4(c)、(d)所示,图 4(c)为图 4(a)的膨胀和腐蚀操作结果,图 4(d)为图 4(b)的膨胀和腐蚀操作结果。

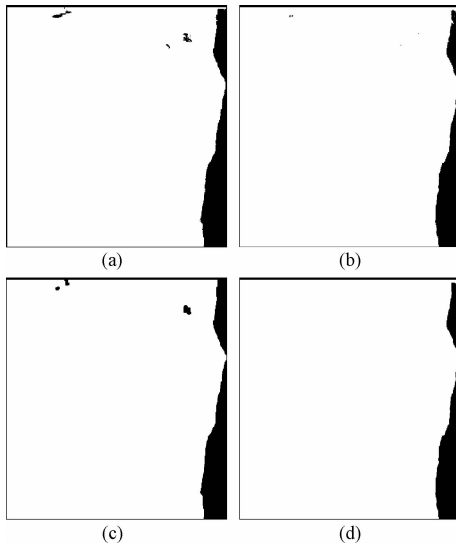


图 4 阈值分割和形态学图像处理结果

### 2.3 图像掩模和伪颜色处理

掩模图像的作用是对非耦合区域进行排除,为避免掩模对耦合区域产生屏蔽作用,确定最优掩模图像,可对比图 4(c)和(d),发现后者非耦合区域的面积明显小于前者,所以采用提取间断 C-plane 图像处理后的结果作为掩模图像。

该掩模用于对待处理 C-plane 图像的非耦合区域进行屏蔽,使其不参加处理或不参加处理参数的计算,从而避免对非耦合区域的无效运算,可以提高检测并提取感兴趣区域的速度。如图 5(a)所示,为明显区分耦合区域和非耦合区域,在耦合区域和非耦合区域边界用黄色线条来加以区分。本实验最后使用伪颜色处理,其作用是标志出耦合区域,从而更容易发现病变区。其结果如图 5(b)所示。

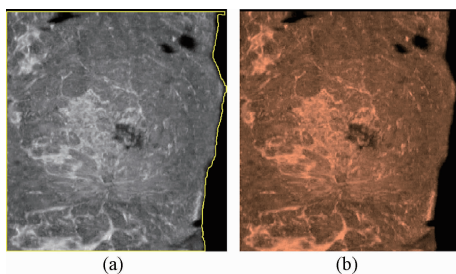


图 5 图像掩模和伪颜色处理结果

## 3 实验结果分析

### 3.1 多帧 C-plane 图像同一位置像素点做均值处理实验结果分析

为获取掩模图像,本文采用了两种方法对多帧 C-plane

做均值处理,最终使用提取多帧间断 C-plane 图像相同位置的像素点做均值处理的方法,以下通过对比实验验证采用该方法对非耦合区域的排除更准确。

人工手动标测非耦合区域非常耗时,而且无法保证对同一 ABUS 数据多次标测的非耦合区域完全相同,因此,主要考虑到检测非耦合区域的准确性和有效性,将专家手动标测的非耦合区域作为标准值,并分别比较了不同提取 C-plane 方式的实验物理深度与所得掩模图像的非耦合区域占整幅图像的比例。

表 1 3 种方法对比实验结果

方法	实验物理深度/mm	非耦合区域占整幅图像的比例/%
专家人工提取	3.189 5	6.71
提取间断冠状面	5.281 0	6.87
提取连续冠状面	1.098 0	7.35

从表 1 中可以看出,提取相同帧数的 C-plane 进行实验,采用间断提取的方法实验物理深度更大,所得掩模图像的非耦合区域占整幅图像的比例更小,且与人工手动标测的结果更接近,说明采用这种实验方法对非耦合区域的排除更准确。

两种方式提取 C-plane 的帧数相同,但实验结果不同,造成这种现象可能的原因有两种:1) 间隔提取方法对应的物理深度更大,所包含的有效超声信号更多;2) 如果超声信号含有误差信息,那么这些误差信息往往以比较集中的方式存在,无法通过连续提取 C-plane 的方式去除误差信息。

采用间隔提取方法做均值处理所得结果如图 3(b)所示,从图中可发现:1) 白色区域为耦合区域,黑色区域为非耦合区域,因当探头和皮肤间存在良好的接触时才能获取到超声信号,即耦合区域存储有效信息,而探头和皮肤之间因为耦合剂失效等原因,造成探头与皮肤之间有空气的存在,使 ABUS 不能采集到有效信息,即非耦合区域存储无效信息,因此,为提高后续图像处理过程的效率,需要对非耦合区域进行屏蔽;2) 该方法划分出来耦合区域和非耦合区域的边界和轮廓,为掩模图像的生成提供重要模型。

### 3.2 阈值分割和形态学图像处理实验结果分析

为获取掩模图像,另一个重要因素是对均值处理后的灰度图使用图像阈值分割技术,利用超声图像中耦合区域与非耦合区域在灰度特性上的差异,非耦合区域灰度值比较单一,且两类区域的灰度有较强对比的情况下,把超声图像看作具有不同灰度级的两类区域(耦合区域和非耦合区域)的组合,选取一个比较合理的阈值,以确定图像中的每个像素点应该属于耦合区域还是非耦合区域,从而产生相应的二值图像,得到封闭且连通的区域边界。

本文使用的是双峰阈值分割法,它是一种比较简单的阈值分割方法,这种方法是建立在图像目标和图像背景灰

度差别比较大的基础上使用的。因超声图像的耦合区域和非耦合区域灰度差别比较大,且区域灰度特点比较明显,双峰阈值分割法满足于本文对阈值分割的要求,且其比较简单,所以本文采用双峰阈值分割法做阈值分割处理。

采用形态学图像处理方法对阈值分割后的二值图像中的连通区域进行边界平滑处理,消除小物体,并对黑色区域中的白色空洞进行填充,从而得到掩模图像。

### 3.3 图像掩模和伪颜色处理实验结果分析

对非耦合区域的排除是通过图像掩模实现的。图像掩模对超声图像的非耦合区域进行屏蔽,如图5(a)所示,对整张待处理 C-plane 来说,对无效区域的屏蔽作用减少了后续图像处理操作(比如:超声图像降噪,目标检测等)的计算量,提高了检测并处理感兴趣区域的效率。

对掩模图像使用伪彩色处理,使超声图像的耦合区域明显区别于非耦合区域。耦合区域显示为红色,其结果如图5(b)所示。

## 4 结 论

在 ABUS 数据感兴趣容积的自动提取中,通过对整个 ABUS 数据进行处理,以获取可疑病变区域。显然,通过对整个 ABUS 数据进行处理的操作会加大计算量,使图像处理过程的时间变长,这时,对非耦合区域的屏蔽作用显的尤为重要。

非耦合区域的自动排除是处理医学超声图像的一项重要内容,对医学图像感兴趣区域的提取有着重要的意义。本文提出了分别对多帧连续和间断 C-plane 图像相同位置的像素点做均值处理,通过实验对比专家与两种方法的实验物理深度和非耦合区域占整幅图像的比例的结果表明,用提取间断 C-plane 图像得到的 2D 图像掩模做掩模处理的结果准确性更高,从而得出使用多帧间断 C-plane 图像灰度值均值处理的阈值分割结果做掩模图像的结论。本文巧妙运用图像掩模的作用,使用形态学图像处理后的二值图像对冠状面的非耦合区域进行屏蔽,使非耦合区域不参与处理或不参加处理参数的计算,能有效避免后续图像处理过程中对非耦合区域的无效运算。本文研究对于排除医学超声图像非耦合区域具有实用意义。

## 参考文献

- [1] TAN T. Computer-aided lesion diagnosis in automated 3-D breast ultrasound using coronal spiculation [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2012, 31(5): 1034-1042.
- [2] TAN T. Detection of breast cancer in automated 3D breast ultrasound [C]. Proceedings of SPIE, 2012, 8315(5): 1-8.
- [3] LIN X, WANG J, HAN F, et al. 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] GOLATTA M, FRANZ D, HARCOS A, et al. Interobserver reliability of automated breast volume scanner (ABVS) interpretation and agreement of ABVS findings with hand held breast ultrasound (HHUS), mammography and pathology results[J]. European Journal of Radiology, 2013, 82(8): 332-336.
- [5] 张年, 钱盛友, 谭乔来, 等. 基于 SURF 算法的 HIFU 治疗前后超声图像配准研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(6): 917-922.
- [6] WOJCINSKI S, FARROKH A, HILLE U, et al. The automated breast volume scanner (ABVS): initial experiences in lesion detection compared with conventional handheld b-mode ultrasound: a pilot study of 50 cases [J]. International Journal of Women's Health, 2011(3):337-346.
- [7] TAN T, PLATEL B, TWELLMANN T, et al. Evaluation of the effect of computer-aided classification of benign and malignant lesions on reader performance in automated three-dimensional breast ultrasound [J]. Academic Radiology, 2013, 20(11): 1381-1388.
- [8] TAN T, PLATEL B, HICKS M, et al. Finding lesion correspondences in different views of automated 3D breast ultrasound [C]. Medical Imaging 2013: Computer-Aided Diagnosis, 2013: 867086701N.
- [9] TAN T, PLATEL B, MANN R M, et al. Chest wall segmentation in automated 3D breast ultrasound scans[J]. Medical Image Analysis, 2013, 17(8): 1273-1281.
- [10] 董路, 汪友生, 金铭. 血管内超声图像序列的自动降噪方法[J]. 电子测量技术, 2015, 38(2): 47-50.
- [11] 谭振坤, 冯登超, 陈刚, 等. 医学超声病灶图像预处理[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(3): 89-91.
- [12] 吴一全, 宋昱, 周怀春. 基于各向异性数学形态学的火焰图像边缘检测[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(8): 1818-1825.

## 作者简介

吴俊(通讯作者),1999年出生,博士,现为云南大学讲师,主要研究方向为医学图像处理、超声成像和医学超声工程。

E-mail:wujun@ynu.edu.cn