

三维 ABUS 图像多平面联合显示 平台的 MATLAB 实现方法*

闵一迪¹ 吴俊¹ 汪源源^{2,3} 徐丹¹ 罗华友⁴ 孙亮⁴ 舒若⁴

(1. 云南大学电子工程系 昆明 650091; 2. 复旦大学电子工程系 上海 200433; 3. 上海市医学图像处理与计算机辅助手术重点实验室 上海 200032; 4. 昆明医科大学第一附属医院胃肠与疝外科 昆明 650032)

摘要: 西门子公司的创新型三维自动化乳腺超声(ABUS)系统已获得国内外医院的广泛应用,但其成像结果只能通过配套的 SIEMENS ABUS Workplace 影像工作站进行显示。由于该影像工作站长期被临床检查所占用,很难满足医生额外的教学和科研阅片需求。同时,该影像工作站专用于乳腺病变诊断,无法扩展面向下肢静脉曲张、腹壁疝诊断等拓展应用的定制功能。为了解决这两个问题,本文在深入分析 ABUS 系统 DICOM 文件结构的基础上,提出了基于 MATLAB 的三维 ABUS 图像多平面联合显示平台实现方法,该方法对三维 ABUS 图像的处理和分析具有很大的应用优势和临床价值。

关键词: 三维自动化乳腺超声(ABUS)图像;DICOM;多平面联合显示平台;MATLAB

中图分类号: 310.6110 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** TN957.52

MATLAB implementation scheme of multiplanar visualization platform for 3D ABUS images

Min Yidi¹ Wu Jun¹ Wang Yuanyuan^{2,3} Xu Dan¹ Luo Huayou⁴ Sun Liang⁴ Shu Ruo⁴

(1. Department of Electronic Engineering, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China; 3. Key Lab of Medical Imaging Computing and Computer Assisted Intervention of Shanghai, Shanghai 200032, China; 4. Department of Gastrointestinal and Hernia Surgery, The First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, China)

Abstract: SIEMENS' innovative 3D automated breast ultrasound (ABUS) system has been widely used by hospitals at home and abroad, but its imaging results could only be displayed by SIEMENS ABUS Workplace image workstation. Due to this image workstation is always occupied by clinical examination, it is difficult to meet the doctor's extra image review demands for teaching and scientific research purposes. Meanwhile, this image workstation is specifically designed for breast lesions diagnosis, it cannot extend custom functionalities for diagnosis of lower extremity varicose veins and abdominal hernia. In this paper, a MATLAB implementation scheme of multiplanar visualization platform for 3D ABUS images is proposed to solve above problems. The proposed implementation scheme has great application advantages and clinical value for processing and analysis of 3D ABUS images.

Keywords: 3D automated breast ultrasound (ABUS) images; DICOM; multiplanar visualization platform; MATLAB

1 引言

三维自动化乳腺超声(automated breast ultrasound, ABUS)是一种创新的超声成像模式,该模式通过探头的线性移动提供了扫描区域内从皮肤到胸腔的三维超声图像。由于其数字化特性,可以对所保存容积中的任意一个

切面进行可视化,从而避免了调查者依赖性和文档存储的非标准化^[1-5]。

当前,西门子公司的 ABUS 系统已获得国内外医院的广泛应用,但其成像结果只能通过配套的 SIEMENS ABUS Workplace 影像工作站进行显示。由于该影像工作站长期被临床检查所占用,很难满足医生额外的教学和

收稿日期:2016-11

* 基金项目:国家自然科学基金(11474071, 61540062, 61661050)、云南省教育厅科学研究基金重点项目(2015Z013)资助

科研阅片需求。同时,该影像工作站专用于乳腺病变诊断,无法扩展面向下肢静脉曲张、腹壁疝诊断等拓展应用的定制功能^[6-12]。

针对上述问题,本文在深入分析 ABUS 系统 DICOM 文件结构的基础上,使用 MATLAB 作为开发工具,提出一种三维 ABUS 图像多平面联合显示平台构建方法以适应当前 ABUS 系统的实际临床应用需求。

2 方法

ABUS 系统将扫描数据存储于 DICOM 格式文件中。通过对 ABUS 系统 DICOM 文件结构的深入分析,编制相应代码获取其中的三维超声图像数据即可用于后续显示程序。

2.1 读取 ABUS 系统三维体数据

在 ABUS 系统输出的 DICOM 文件中,ABUS 扫描所得三维体数据以四维矩阵的形式存储在 DICOM 文件头之后。该四维矩阵的尺寸可表示为 $(sizeY, sizeX, 1, sizeZ)$,其中第 3 项的 1 表示在该体数据中,每一个体素均只有灰度信息;而其中的 $sizeY, sizeX$ 和 $sizeZ$ 则表示该体数据在 Y、X 和 Z 方向的尺寸(单位:像素)。该四维矩阵可理解为:连续存储 $sizeZ$ 帧分辨率为 $sizeY \times sizeX$ 像素的 XY-平面二维灰度图像。ABUS 扫描所得三维体数据方向与被检查人体方位之间的关系如图 1 所示。

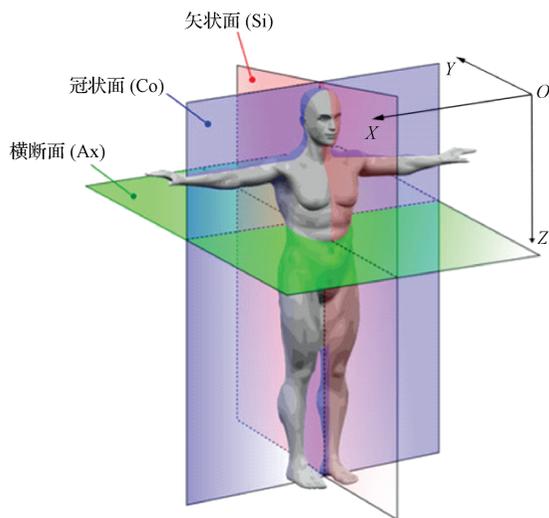


图 1 三维体数据方向与被检查人体方位示意^[13]

以容积尺寸为 $730 \times 573 \times 318$ 体素的 ABUS 三维体数据为例,通过 MATLAB 将其读入计算机内存后构成一个尺寸为 $730 \times 573 \times 1 \times 318$ 元素的四维矩阵,730、573、318 分别对应于矩阵在 Y、X、Z 3 个方向的尺寸。该四维矩阵可理解为:连续存储 318 帧分辨率为 730×573 像素的 XY-平面灰度图像。

2.2 切面视图的尺寸变换

在 ABUS 的三维体数据中,各体素间在 Y、X、Z 3 个方向的实际物理间距是不一致的。若不对原体数据进行尺寸变换就直接显示其各个切面,则得到的切面视图会出现严重的尺寸比例失真。

为对 ABUS 体数据进行正确地尺寸变换,首先需要从 DICOM 文件头中提取出如表 1 所示的体素间实际物理间距信息。对于西门子公司 ABUS 系统,表 1 中的 *Physical Units X Direction* 与 *Physical Units Y Direction* 两项数据取值为 0003H,代表 *Physical Delta X* 与 *Physical Delta Y* 两项数据的单位均为 mm/像素。

通过表 1 中给出的体素间实际物理间距信息,使用式(1)即可计算出西门子公司 ABUS 系统三维体数据的实际物理尺寸。

$$\begin{cases} actualY = sizeY \times Physical\ Delta\ Y \\ actualX = sizeX \times Physical\ Delta\ X \\ actualZ = sizeZ \times Spacing\ Between\ Slices \end{cases} \quad (1)$$

式中: $actualY, actualX,$ 和 $actualZ$ 分别代表体数据在 Y、X 和 Z 方向的实际物理尺寸,mm。同理,用户所选取的三维空间兴趣点 (y, x, z) 在 Y、X 和 Z 3 个方向与基准点 O 的物理距离可由式(2)进行计算:

$$\begin{cases} pointY = y \times Physical\ Delta\ Y \\ pointX = x \times Physical\ Delta\ X \\ pointZ = z \times Spacing\ Between\ Slices \end{cases} \quad (2)$$

式中: $pointY, pointX,$ 和 $pointZ$ 分别代表三维空间兴趣点 (y, x, z) 在 Y、X 和 Z 方向的实际物理坐标,mm。

作为例子,图 2 对比给出了尺度变换前后的 ABUS 体数据各切面视图。由图 2(a)可见,直接显示原体数据时出现了严重的比例失真,而图 2(b)是经过尺度变换后,以实际比例显示的 ABUS 体数据三切面视图。

表 1 体素间实际物理间距

属性	标签	属性描述
Physical Delta X	0018,602C	X 方向的体素物理间距
Physical Delta Y	0018,602E	Y 方向的体素物理间距
Spacing Between Slices	0018,0088	Z 方向的图像帧间距
Physical Units X Direction	0018,6024	X 方向的物理增量单位
Physical Units Y Direction	0018,6026	Y 方向的物理增量单位

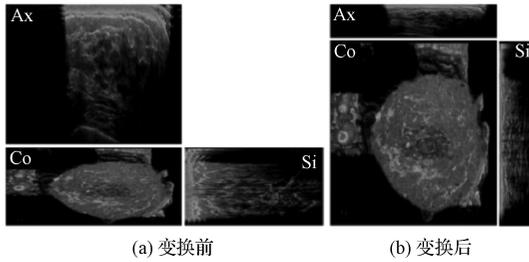


图2 尺度变换前后的 ABUS 体数据各切面视图

2.3 ABUS 图像显示分辨率调整

为将 ABUS 各切面视图适当地显示于临床医生的电脑屏幕上,以临床医生所使用计算机显示器的屏幕分辨率来定义 ABUS 图像显示分辨率变量 $rate$ (单位:像素/mm)。则在计算机屏幕上显示的切面图像大小可由如下式(3)得出:

$$\begin{cases} displayY = sizeY \times Physical\ Delta\ Y \times 10 \times rate \\ displayX = sizeX \times Physical\ Delta\ X \times 10 \times rate \\ displayZ = sizeZ \times Spacing\ Between\ Slices \times 10 \times rate \end{cases} \quad (3)$$

式中: $displayY$ 、 $displayX$ 和 $displayZ$ 分别代表 ABUS 图像在 Y、X 和 Z 方向的屏幕显示尺寸,像素。

经由式(3)的图像显示分辨率变换,可以根据临床医生所使用的计算机屏幕分辨率自适应调整图像显示尺寸,使 ABUS 三维体数据的切面视图能够良好地显示于不同屏幕分辨率的计算机上。在需要缩小图像显示尺寸时,本文采用的是等间距采样。而在需要扩大图像显示尺寸时,常用的插值方法有最近邻插值、线性插值和 3 次样条插值。为了保证图像边缘差分的值足够大,从而有利于图像边缘检测,本文最终采用最近邻插值的方法来扩大原始图像的显示尺寸。

2.4 所选兴趣点与三平面序号换算

在 SIEMENS ABUS Workplace 影像工作站操作界面中,用户除了可以通过滚动轴逐帧移动某一个切面视图以外,还可以通过鼠标点选任意切面视图中的一个兴趣点,程序就会自动对另外两个切面视图进行切换。即能够实现对任意兴趣点的三平面联合显示。为在以二维数组的形式保存图像的 MATLAB 中对应实现此项功能,若设图像上某点的坐标为 (r, c) ,图像点坐标的增长方向如图 3(a)所示,而相应的横断面(Ax),矢状面(Si),冠状面(Co)视图的坐标增长方向如图 3(b)、(c)和(d)所示。那么,该点的坐标 (r, c) 与其在 ABUS 三维体数据中的坐标 (y, x, z) 可通过公式(4)~(6)进行相互换算。

横断面(Ax):

$$\begin{cases} x = round(c / (rate \times Physical\ Delta\ X \times 10)) \\ y = round(r / (rate \times Physical\ Delta\ Y \times 10)) \end{cases} \quad (4)$$

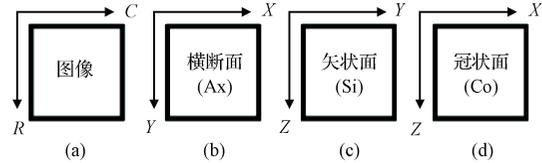


图3 二维数组与 ABUS 结果切面的坐标增长方向

矢状面(Si):

$$\begin{cases} y = round(c / (rate \times Physical\ Delta\ Y \times 10)) \\ z = round(r / (rate \times Spacing\ Between\ Slices)) \end{cases} \quad (5)$$

冠状面(Co):

$$\begin{cases} x = round(c / (rate \times Physical\ Delta\ X \times 10)) \\ z = round(r / (rate \times Spacing\ Between\ Slices)) \end{cases} \quad (6)$$

式中: $round(number)$ 表示对 $number$ 进行四舍五入取整。

3 实现与讨论

本文采用 MATLAB R2013a 作为软件开发工具,搭建基于 MATLAB 的 ABUS 图像多平面联合显示平台。借助 MATLAB 提供的图像处理工具箱,使编程操作得到了极大地简化。

3.1 MATLAB 实现方案的编程要点

3.1.1 三维体数据的读取

使用 MATLAB 图像处理工具箱中的 `dicomread()` 库函数可实现对 ABUS 系统 DICOM 文件中三维体数据的读取,具体实现语句如下:

```
data = dicomread([dataPathname,dataFilename]);
% 得到 DICOM 文件存储的四维数组
volume = squeeze(data); % 转换得到三维体数据
```

其中, $dataPathname$ 为 DICOM 文件的存储路径, $dataFilename$ 为 DICOM 文件的文件名。 $volume$ 即为所读取出的三维体数据。

3.1.2 各切面视图的获取

在得到三维体数据后,相应的横断面(Ax),矢状面(Si),冠状面(Co)视图可由以下语句获得:

```
tempImageHorizontal = volume(:,:,Z);
%第 Z 帧横断面图像(非实际尺寸)
tempImageSigittal = squeeze(volume(:,X,:));
%第 X 帧矢状面图像(非实际尺寸)
tempImageCoronal = squeeze(volume(Y,:,:));
%第 Y 帧冠状面图像(非实际尺寸)
```

3.1.3 DICOM 文件头信息的获取

使用 MATLAB 图像处理工具箱中的 `dicominfo()` 库函数可实现对 DICOM 文件头信息的获取。该函数可将 DICOM 文件的文件头数据全部读出,并存储于一个结构体数组中,具体实现语句如下:

```

deminfo = dicominfo ([ dataPathname, data-
Filename]);
PhysicalDeltaX =
deminfo. SequenceOfUltrasoundRegions. Item _ 1.
PhysicalDeltaX;
PhysicalDeltaY =
deminfo. SequenceOfUltrasoundRegions. Item _ 1.
PhysicalDeltaY;
SpacingBetweenSlices = dcminfo. SpacingBetween-
Slices;

```

3.1.4 对任意兴趣点的三平面联合显示

要实现计算机屏幕上某一次鼠标点击事件的响应, Windows 平台可通过调用 Win32API 或 MFC 类库的方法实现; Linux 平台可通过调用 Qt 类库中相关函数的方法实现。而在 MATLAB 中, 可通过调用 GUI 窗口的 WindowButtonDownFcn 回调函数来实现对鼠标点击事件的响应。同时, 还可以通过调用 Axis 控件的相应属性来获得鼠标点击位置的坐标(r, c), 具体实现语句如下:

```

currentPointAxesHorizontalPlane =
get(handles. AxesHorizontalPlane, 'CurrentPoint');
r = currentPointAxesHorizontalPlane(1,1);
c = currentPointAxesHorizontalPlane(1,2);

```

通过上述 MATLAB 语句, 即可得到鼠标在 AxesHorizontalPlane 控件上单击时, 单击位置在二维图像中的对应坐标(r, c)。再通过该(r, c)坐标重新显示对应的三切面视图, 即可实现对任意兴趣点的三平面联合显示。

3.2 本文方法与西门子图像工作站显示方法的比较

西门子公司的 SIEMENS ABUS Workplace 影像工作站与本文搭建的基于 MATLAB 的 ABUS 图像多平面联合显示平台对同一例 ABUS 三维扫描数据的显示结果分别如图 4(a)、(b)所示。由图可见, 本文方法能够对 ABUS 系统的扫描结果进行三平面联合显示和三维兴趣点的任意选取, 显示结果与 SIEMENS ABUS Workplace 影像工作站的显示结果类似。但本文方法使用 MATLAB 进行实现, 用户可自行添加额外的特定功能模块, 具有更好的可扩展性。

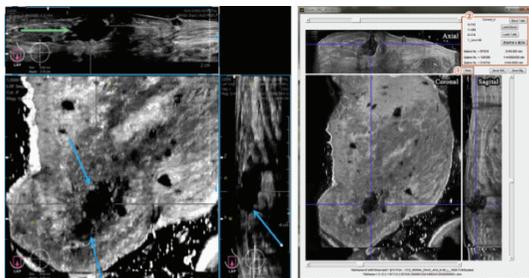


图 4 ABUS 三维扫描数据显示结果对比

图 4 (a) 西门子图像工作站显示结果 (b) 本文方法显示结果

4 结 论

本文在深入分析 ABUS 系统 DICOM 文件结构的基础上, 提出了基于 MATLAB 的三维 ABUS 图像多平面联合显示平台实现方法, 使 ABUS 系统输出的检查结果能够在通用电脑上进行显示, 为医生和科研人员提供了一种具有可扩展性和开放性的 ABUS 数据处理平台。该平台对三维 ABUS 图像的处理和分析具有很大的应用优势和临床价值, 有助于 ABUS 系统的推广普及和拓展应用。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] ARLEO E K, SALEH M, IONESCU D, et al. Recall rate of screening ultrasound with automated breast volumetric scanning (ABVS) in women with dense breasts: a first quarter experience[J]. Clinical Imaging, 2014, 38(4):439-444.
- [5] SKAANE P, GULLIEN R, EBEN E B, et al. Interpretation of automated breast ultrasound (ABUS) with and without knowledge of mammography: a reader performance study [J]. Acta Radiologica, 2014, 56(4):404.
- [6] DIAO X. H., CHEN Y., CHEN L., et al. Automated volume scanner system ultrasonography for evaluation of varicose veins of the lower extremities[J]. Journal of International Medical Research, 2012, 40(6):2160-2166.
- [7] WU J, WANG Y Y, YU J H, et al. Intelligent speckle reducing anisotropic diffusion algorithm for automated 3-D ultrasound images[J]. Journal of the Optical Society of America A, 2015, 32(2):248-257.
- [8] WU J, WANG Y Y, YU J H, et al. Identification of

- implanted mesh after incisional hernia repair using automated breast volume scanner[J]. Journal of Ultrasound in Medicine, 2015, 34(6): 1071-1081.
- [9] 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.
- [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.
- [13] TERMS L G. Transverse, sagittal and coronal planes [EB/OL]. <https://quizlet.com/4333873/lab-general-terms-flash-cards/>, 2016-6-19.

作者简介

吴俊(通讯作者),1999年,2009年于云南大学分别获得学士、硕士学位,2015年于复旦大学获得博士学位,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

(上接第 58 页)

- [5] 邱雷,袁慎芳,王强. 基于 Lamb 波主动结构健康监测系统的研制[J]. 压电与声光,2009,31(5):763-766.
- [6] QIU L, YUAN S. On development of a multi-channel PZT array scanning system and its evaluating application on UAV wing box[J]. Sensors & Actuators A Physical, 2009, 151(2):220-230.
- [7] CHEN G, DU L B, HE H J, et al. Research on key techniques of expendable conductivity temperature depth measuring system[J]. Instrumentation, 2015, 2(2):18-27.
- [8] 陈静,彭宇,李祺,等. 数据驱动的机载设备 PHM 软件系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(10): 1536-1543.
- [9] 陈福彬,柴海莉,高晶敏. 基于 LabVIEW 的自动化测试平台的设计[J]. 国外电子测量技术, 2012(11): 9-14.
- [10] 张黎,蔡亮. 基于 LabVIEW 的虚拟信号发生器的设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(1): 82-85.
- [11] 王树东,何明. 基于 LabVIEW 高速采集系统方法的研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(7):84-87.
- [12] 张持健,陈航,李辉,等. 分布式仪器终端和虚拟仪器技术集成的智能测量分析控制系统[J]. 国外电子测量技术, 2014,33(10):76-82.
- [13] 杨慧玉,任兵,合焯,等. 基于 LabVIEW 的数字采集仪的线校准系统设计与开发[J]. 中国测试, 2013, 39(1):64-68.

作者简介

张申宇,1992年出生,工学硕士研究生,主要研究方向为结构健康监测系统软件集成。

E-mail:zsy@nuaa.edu.cn

邱雷,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为结构健康监测与预测、数据采集与信号处理、传感器及系统集成。