

基于模板匹配的3维超声心动图 四腔切面自动检测

刘小平¹⁾ 杨新¹⁾ 吴兰平²⁾ 孙锬²⁾

¹⁾(上海交通大学图像处理与模式识别研究所,上海 200240) ²⁾(上海交通大学儿童医学中心,上海 200127)

摘要 在利用实时3维超声心动图诊断心脏病的过程中,医生手动寻找各关键剖视图既繁琐又费时;四腔切面是最重要的观察切面之一,为便于诊断,提出了基于模板匹配的自动检测3维超声心动图四腔切面的方法。首先,在医生指导下选择一幅四腔切面图像作为模板;其次,从3维心动图中提取一系列切面建立待检索图像库;最后,用两种不同的相似测度依次进行粗检索和精检索,找到与模板图像最相似的切面,即为该3维心动图中的四腔切面。利用该方法对28组正常人数据和22组非正常人数据进行实验,正确率分别为96%及86.3%。该方法仅利用一幅模板图像,初步实现了不同人3维超声心动图四腔切面的自动检测;其计算复杂度低,易于实现实时处理,避免了人工寻找切面的诸多弊端,对测量及配准等后续的计算机辅助诊断有重要意义。

关键词 实时3维超声心动图 模板匹配 图像检索

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2009)09-1858-04

Four-chamber View Detection in 3D Echocardiographic Images by Template Matching

LIU Xiao-ping¹⁾, YANG Xin¹⁾, WU Lan-ping²⁾, SUN Kun²⁾

¹⁾(*Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240*)

²⁾(*Shanghai Children's Medical Center, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200217*)

Abstract In clinical heart disease diagnosis by real-time 3D echocardiography, it is time-consuming and tedious for doctors to manually search the best views to detect the complex cardiac anatomy, when they routinely check a large amount of patients' 3D echocardiographic images. Since the apical four-chamber (a4c) view is one of the most important screening planes, the purpose of this study is to detect the a4c plane in the 3D echocardiographic image automatically. Firstly, a typical a4c image is chosen as a template image. Then to find the a4c image in a 3D echocardiographic volume data, a series of cross-sections are extracted from this data to build an ultrasound image database. Via a coarse to fine retrieval, the cross-section in the database most similar to the template is taken as the a4c image in this 3D data. Tested on 28 datasets of normal children and 22 datasets of children suffering from congenital heart disease, this method achieved the accuracy rates of 96% and 86.3%, respectively. By only one template image, this method can detect the a4c image planes in the echocardiographic volumetric datasets of different subjects. With low computational complexity and simple implementation, the proposed method gives promising results for applying the auto-detection of the a4c view to clinical diagnosis, which is significant for following computer-aided diagnosis approach such as registration and measurement.

Keywords real-time three-dimensional echocardiography, template matching, image retrieval

基金项目: 国家科技攻关项目(2004BA714802)

收稿日期: 2007-10-12; 改回日期: 2008-06-27

第一作者简介: 刘小平(1981~), 女, 上海交通大学模式识别与智能系统专业博士研究生。主要研究方向为医学图像处理。

E-mail: lxp_0710@sjtu.edu.cn

1 引言

目前,实时3维超声系统可实时观察整个心脏的结构和运动,通过选择任意位置的切面还可以观测心脏内部的情况^[1]。然而,当检查大量3维超声心动图时,由医生逐一手动寻找观测切面比较繁琐和费时,且容易造成漏诊。四腔切面是观测心脏畸变的重要切面^[2],找到四腔切面有助于其他关键切面的定位,因此,提出一种自动检测四腔切面的方法来辅助3维超声心动图诊断。

通过3维超声体数据与已知四腔位置的3维超声心动图模板图像的配准^[3-4],可实现该数据中四腔切面的自动检测;但由于心脏做非刚体运动,且不同人的心脏大小和形状变化较大,因此,不同人的3维超声心动图配准实现难度很大。近年来,不少学者从事四腔切面图像检索的研究^[5-8]。基于这些四腔图像检索算法的启发,本文提出一种基于模板匹配的方法。首先从3维超声心动图中提取出一系列切面图像,然后从中检索出与模板四腔图像最相似的一幅图像作为该数据中的四腔切面。

2 方法

实时3维超声探头通常从心尖、旁胸骨和肋下3处采集数据。其中,从心尖采集的数据可观察到整个心内结构及大部分心脏畸变,所以,本文主要研究这类数据中四腔切面的自动检测。

图1为心尖采集的舒张末期体数据图像,从中可观察到四腔切面的大致位置。每个体数据都包括

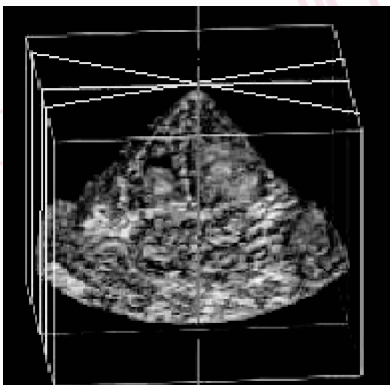
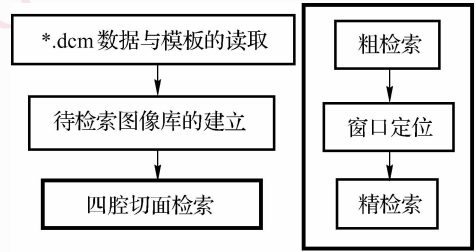


图1 心尖采集心脏舒张末期体数据图像
Fig. 1 Diagram of the end-diastolic volume of the apical dataset

数据区域和背景区域,其中数据区域为中间的金字塔形部分,背景区域灰度值为0。通常,金字塔的顶点位于心尖或心尖附近;过该顶点沿竖直方向的直线可看做心脏长轴,以该心脏长轴为中心轴的一系列旋转切面中必有四腔切面。因此,可设计以下流程检测四腔切面,如图2所示,整体流程主要分为3部分:(1)选取模板;(2)建立待检索图像库;(3)四腔切面检索。其中第3部分又包括:粗检索、窗口定位及精检索3步。



(a) 算法整体流程图 (b) 四腔切面检索流程图

图2 程序流程图

Fig. 2 Program frame

2.1 模板选取

图3为一幅具有清晰腔室壁的正常人四腔图像,模板图像为该四腔图像中央包含有“十”字纤维组织的矩形窗口部分的图像。该矩形窗口仅包含“十”字纤维组织,其对于不同大小、形状的心脏数据变化较小,因而对于不同人的心脏图像,都可以仅用这样的一幅模板图像,而无需庞大的模板库。

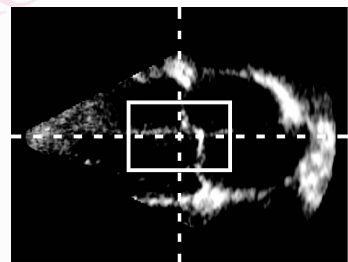


图3 四腔切面及窗口定位示意图

Fig. 3 The rectangular region defined in the apical 4C image

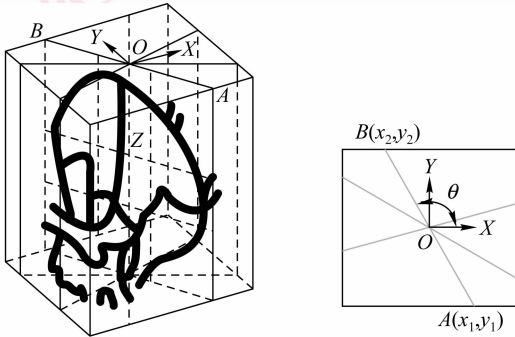
2.2 建立待检索图像库

根据心尖体数据的特点,建立如图4所示的坐标系,原点O为金字塔形区域的顶点,Z轴为包括四腔切面在内的一系列旋转切面的中心轴。提取180幅旋转切面($\theta = 0^\circ, 1^\circ, \dots, 179^\circ$),作为待检索图像

库。切面在 XOY 面上投影为直线如 AB , 设 AB 与 X 轴夹角为 θ ($0^\circ \leq \theta < 180^\circ$), 切面宽度为: $L = \overline{AB} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ 。给定 θ 与 l (l 为点 P 在 XOY 面的投影点沿 AB 到点 A 的距离, $l \leq L$), 切面上任意点 P 满足:

$$\begin{cases} x = x_1 + l \cos \theta \\ y = y_1 + l \sin \theta \end{cases} \quad (0^\circ \leq \theta < 180^\circ) \quad (1)$$

由此得到大小为 $L \times n_z$ 的任意角度切面上所有点的坐标, 其中 n_z 为体数据在 OZ 方向的高度。



(a) 体数据及切面位置示意图 (b) 切面在 XOY 面投影示意图

图 4 心尖体数据坐标系

Fig. 4 The coordinate system of the apical volumetric data set

2.3 四腔切面检索

为提高检索四腔切面的速度和正确率, 采用由粗到精的分步检索策略。首先, 利用直方图特征进行粗检索去除与模板相异程度较大的 120 幅图像。为实现自动从每幅切面中截取大小相同的窗口图像, 将窗口矩形边界的几何中心设为切面矩形边界的几何中心。由于窗口位置均按理想情况来自动截取, 而病人呼吸及手动放置探头位置误差会造成不同图像中央的“十”字纤维的位置存在偏差。直方图特征对图像仿射变换鲁棒性强, 因此基于直方图的图像测度受图像的位置偏差影响很小。粗检索中的基于直方图的图像相异测度表示为

$$\delta_{\text{dissim}}(\mathbf{G}, \mathbf{S}) = \sum_{i=0}^{255} |g(i) - s(i)| \quad (2)$$

式中, \mathbf{G}, \mathbf{S} 分别为两幅图像, i 为灰度级数, $g(i)$, $s(i)$ 分别为 \mathbf{G}, \mathbf{S} 的累积直方图函数

$$g(i) = \sum_{k=0}^i \frac{n_k}{\text{NUM}}, \quad \text{NUM 为图像像素的总数, } n_i \text{ 为图像中灰度级为 } i \text{ 的像素个数。}$$

其次, 在精检索之前, 为避免自动截取窗口图像造成的图像位置偏差, 对剩下的 60 幅图像利用模板

匹配来定位窗口。可选择互相关系数作为相似测度, 利用单纯形优化^[9]找到最佳匹配的窗口位置。通过匹配得到最佳窗口图像, 使得精检索中基于小波特征的相似测度受图像平移、旋转或缩放等变化的影响大大减少, 提高了精检索的准确率。

最后, 由于四腔图像中心“十”字状纤维的边缘特征明显, 因此采用剩下 60 幅图像中匹配得到的窗口部分的小波高频特征, 进行精检索, 找到最相似的图像。db 小波具有较好的正交性、紧支撑性、较高的消失矩^[10], 本文选用 db2 小波作为小波变换的母函数, 将窗口图像分解为 LL_1, HL_1, HV_1, HD_1 4 个频带, 利用高频子带的小波系数矩阵的均值及方差作为特征^[11], 如下:

$$E = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |x(m, n)| \quad (3)$$

$$V = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |x(m, n)^2 - E^2| \quad (4)$$

式中, \mathbf{x} 分别为 HL_1, HV_1, HD_1 3 个高频子带的系数矩阵, 矩阵大小为 $m \times n$ 。两幅图像的相异测度由特征向量 $\mathbf{f} = (E_{HL_1}, V_{HL_1}, E_{HV_1}, V_{HV_1}, E_{HD_1}, V_{HD_1})^T$ 的 Euclidean 距离表示, 如下:

$$\delta_{\text{dissim}}(\mathbf{I}_1, \mathbf{I}_2) = |\mathbf{f}_{I_1} - \mathbf{f}_{I_2}| \quad (5)$$

3 实验结果

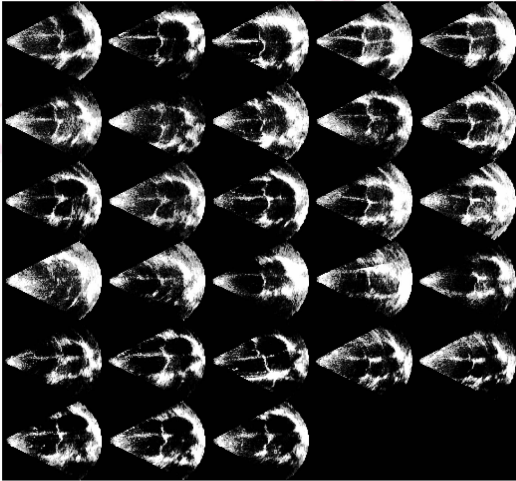
实验数据由 Philips Sonos 7500 型实时 3 维超声诊断仪的 3 维矩阵探头采集的 Full-volume 数据。16 位正常人不同时刻的 28 组以及 14 位共同瓣患者的 22 组 Full-volume 数据由上海儿童医学中心提供, 每个 Full-volume 数据包含一个心动周期内连续多帧体数据, 每个体数据大小为 $144 \times 160 \times 208$ 。图 5(a) 为 28 例正常数据的四腔切面检测结果, 图 5(b) 为 22 例非正常数据的检测结果。

由于人体组织形状是连续的, 四腔切面附近的切面均可看作四腔切面, 所以, 四腔切面并不是一幅有确定位置的唯一切面。为便于对实验结果进行定量分析, 用图 4(b) 中的 θ ($0^\circ \leq \theta < 180^\circ$) 来表示四腔切面的旋转方位, 在一定范围内的 θ 都可以看作是有效的检测结果。为了评估本文中算法的有效性, 由经验丰富的临床医生手动寻找每组实验数据的四腔切面, 给出 θ 的合理范围。将实验结果所得 θ 与医生给出的合理范围进行比较后, 28 例正常人数据中仅一例实验结果落在范围之外, 正确率达

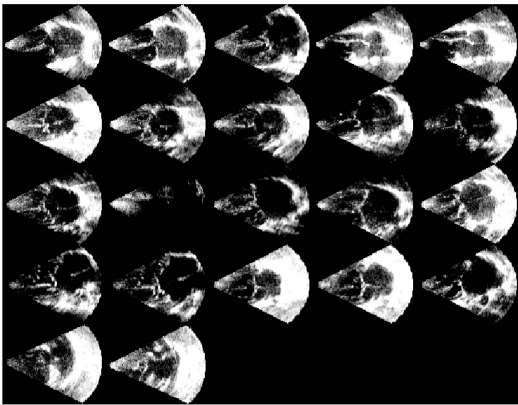
该算法易于实现,有助于医生使用实时3维超声技术诊断心脏病,在此基础上还可以研制基于3维超声图像的心脏病计算机辅助诊断或提示系统。

参考文献 (References)

- 1 Panza J A. Real-time three-dimensional echocardiography: an overview [J]. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, 2001, **17**(3): 227-235.
- 2 Goktekin O, Matsumura M, Omoto R, *et al.* Evaluation of mitral valve prolapse using newly developed real-time three-dimensional echocardiographic system with real-time volume rendering [J]. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, 2003, **19**(1): 43-49.
- 3 Shekhar R, Zagrodsky V. Mutual information-based rigid and non-rigid registration of ultrasound volumes [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2002, **21**(1): 9-22.
- 4 Shekhar R, Zagrodsky V, Garcia M J, Thomas J D. Registration of real-time 3-D ultrasound images of the heart for novel 3-D stress echocardiography [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2004, **23**(9): 1141-1149.
- 5 Kwak D M, Kim B S, Yoon O K, *et al.* Content-based ultrasound image retrieval using a coarse to fine approach [J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2002, **980**: 212-224.
- 6 Zhou S K, Park J H, Georgescu B. Image-based multiclass boosting and echocardiographic view classification [A]. In: *Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]*, New York, NY, USA, 2006: 1559-1565.
- 7 Ebadollahi S, Chang S F, Wu H. Automatic view recognition in echocardiogram videos using parts-based representation [A]. *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]*, New York, NY, USA, 2004: 2-9.
- 8 Matthew E O, Jinbo B, Sriram K, Bharat R, *et al.* Automatic view recognition for cardiac ultrasound images [A]. In: *Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Vision for Intravascular and Intracardiac Imaging at Annual Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI'06-CVII) [C]*, Copenhagen, Denmark, 2006: 187-194.
- 9 Lagarias J C, Reeds J A, Wright M H, *et al.* Convergence properties of the nelder-mead simplex method in low dimensions [J]. *SIAM Journal of Optimization*, 1998, **9**(1): 112-147.
- 10 Daubechies I. The wavelet transform time-frequency location and signal analysis [J]. *IEEE Transactions on IT*, 1990, **36**(5): 961-1005.
- 11 Laine A, Fan J. Texture classification by wavelet packet signatures [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, **15**(11): 1186-1191.



(a) 28例正常数据四腔切面检测结果



(b) 例非正常数据四腔切面检测结果

图5 实验结果

Fig. 5 Experimental results

96%; 22例非正常数据中有3例结果落在范围之外,正确率为86.3%。经实验发现,模板图像质量越好,尤其是有清晰室壁的模板图像,实验效果越好。

4 结论

本文利用同一幅模板图像,初步实现了不同人心脏的3维超声数据中四腔切面的快速自动检测;该方法通过采用两种不同的相似测度依次进行粗检索和精检索,减少了检索的时间和错误率;对于质量差、有部分数据缺失、心脏位置与理想检测位置有一定偏差的图像,仍能有效地检测到四腔切面的位置。