



# 实时交互的 自由臂三维超声成像系统

RIF-3DUSIS (Real-time and Interactive Freehand Three-dimensional Ultrasound Imaging System)

单 位: 中国科学院自动化研究所  
医学影像研究室

网 址: [www.mitk.net](http://www.mitk.net)

作 者: 戴亚康, 田 捷\*, 薛 健

# 主要内容



自由臂三维超声成像系统

实时交互的自由臂三维超声成像方法

RIF-3DUSIS的软硬件设计与实现

RIF-3DUSIS的部分实验结果



中国科学院自动化研究所

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences

# 自由臂三维超声成像系统



## ◆背景介绍:

获取**三维**超声图像的方法被称为**三维超声成像方法**，它是自二维B超成像以来医学诊断技术史上的又一次飞跃。

**自由臂三维超声成像系统**是三维超声成像系统中的一种，由于其**造价相对低廉**且**使用方便灵活**，而成为三维超声成像系统研究和临床应用领域中**非常活跃的部分**。



# 自由臂三维超声成像系统



## 自由臂三维超声成像原理:

由二维B超图像及其方位信息**重建出**三维超声图像



计算机

自由臂  
系统

B超  
仪



定位仪

接收器  
发射器



接收器

探头

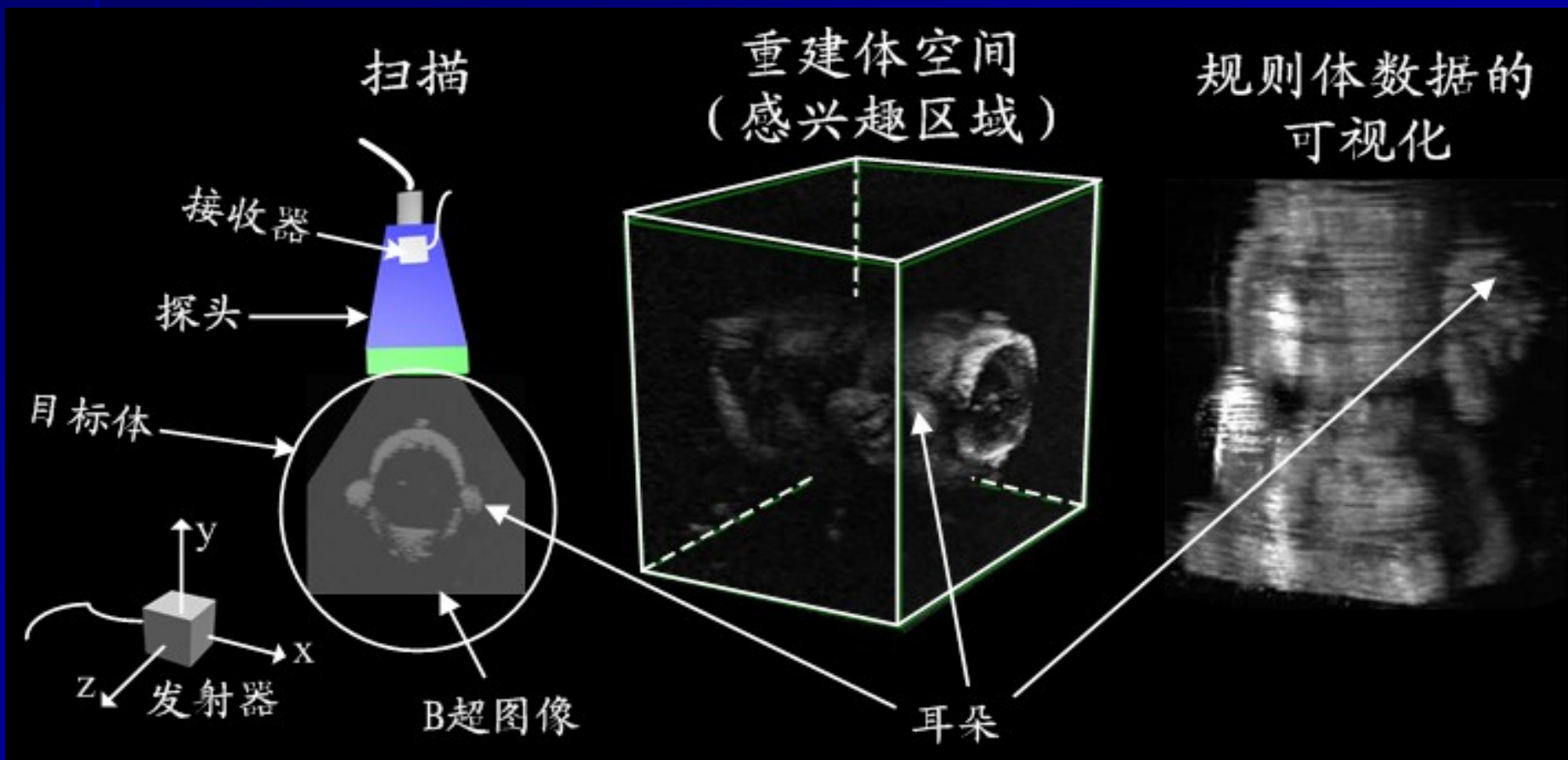






# 自由臂三维超声成像系统

- 利用传统自由臂系统对诊断部位进行检查的过程可以分为**扫描**（完成序列B超图像及其方位信息的采集）、**三维重建**和**可视化**三个阶段。



# 自由臂三维超声成像系统



- 传统的自由臂系统将扫描、三维重建和可视化分离，从而不能为操作者提供扫描和重建的反馈信息。

扫描

三维重建

可视化

体显示

面显示

任意面



中国科学院自动化研究所

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences

# 自由臂三维超声成像系统



➤ Welch et al., Gobbi et al. 基于高性能的工作站，开发了在扫描的同时进行采集、重建和显示的自由臂三维超声成像系统，可以在扫描重建过程中提供一些反馈信息，引导操作者进行扫描。

## ◆ 具有实时性和交互性

- Jacqueline Nerney Welch, Jeremy A. Johnson, Michael R. Bax, Rana Badr and Ramin Shahidi. A real-time freehand 3-D ultrasound system for image-guided surgery. IEEE Trans. on Ultrasonics Symposium, 2000,2:1061-1064;
- David G. Gobbi, Terry M. Peters. Interactive intra-operative 3D ultrasound reconstruction and visualization. In: T. Dohi and R. Kikinis, eds. Proc. of the MICCAI 2002. LNCS 2489, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. 156-163



# 自由臂三维超声成像系统



- Welch et al. 开发的自由臂系统是面向外科手术引导而设计的, 没有考虑三维成像内容的完备性, 不适合应用于临床诊断。
- Gobbi et al. 开发的自由臂系统显示的只是重建体的三个正交切平面的图像, 不能给操作者提供扫描重建的较完整的信息。

其他研究者在这方面的作品.....



# 自由臂三维超声成像系统



- 但现有的此类自由臂三维超声成像系统的实时交互性还不够，不能给操作者提供实时重建的比较充分的反馈信息。
- 为克服上述缺陷，我们提出了一种实时交互的自由臂三维超声成像方法 **RIF-3DUSIM** (Real-time and Interactive Freehand Three-dimensional Ultrasound Imaging Method)，并基于该方法设计、实现了一个实时交互的自由臂三维超声成像系统 **RIF-3DUSIS**。





# 主要内容



自由臂三维超声成像系统

实时交互的自由臂三维超声成像方法

RIF-3DUSIS的软硬件设计与实现

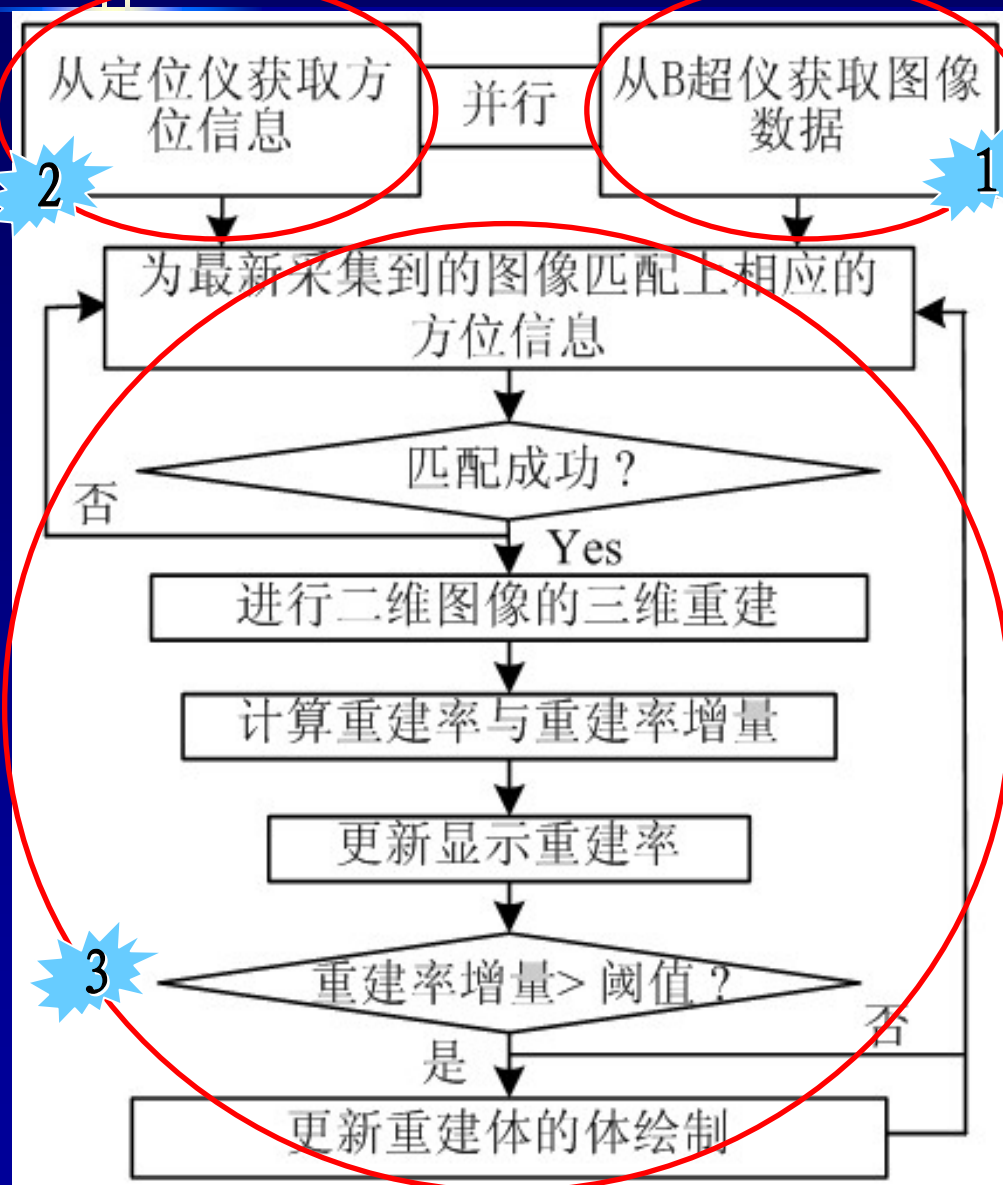
RIF-3DUSIS的部分实验结果



中国科学院自动化研究所

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences

# 实时交互的自由臂三维超声成像方法



◆ RIF-3DUSIM(方法)是 RIF-3DUSIS(系统)的核心。

RIF-3DUSIM  
的总体流程

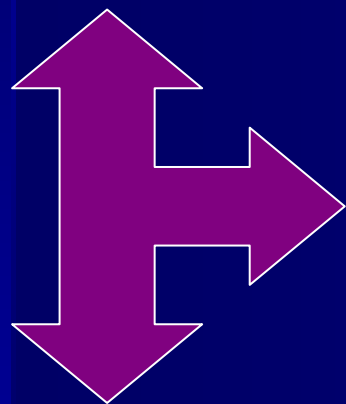


# 实时交互的自由臂三维超声成像方法



## ► 创新点

RIF-3DUSIM



现有  
方法

1

在扫描过程中  
同时提供**定性**  
的(体显示)和  
**定量**的(重建率)  
反馈信息

VS

可视化反馈

2

采用**重建率增**  
**量**驱动可视化的  
策略,以在**PC**  
**机**上很好地完  
成实时交互的  
扫描重建

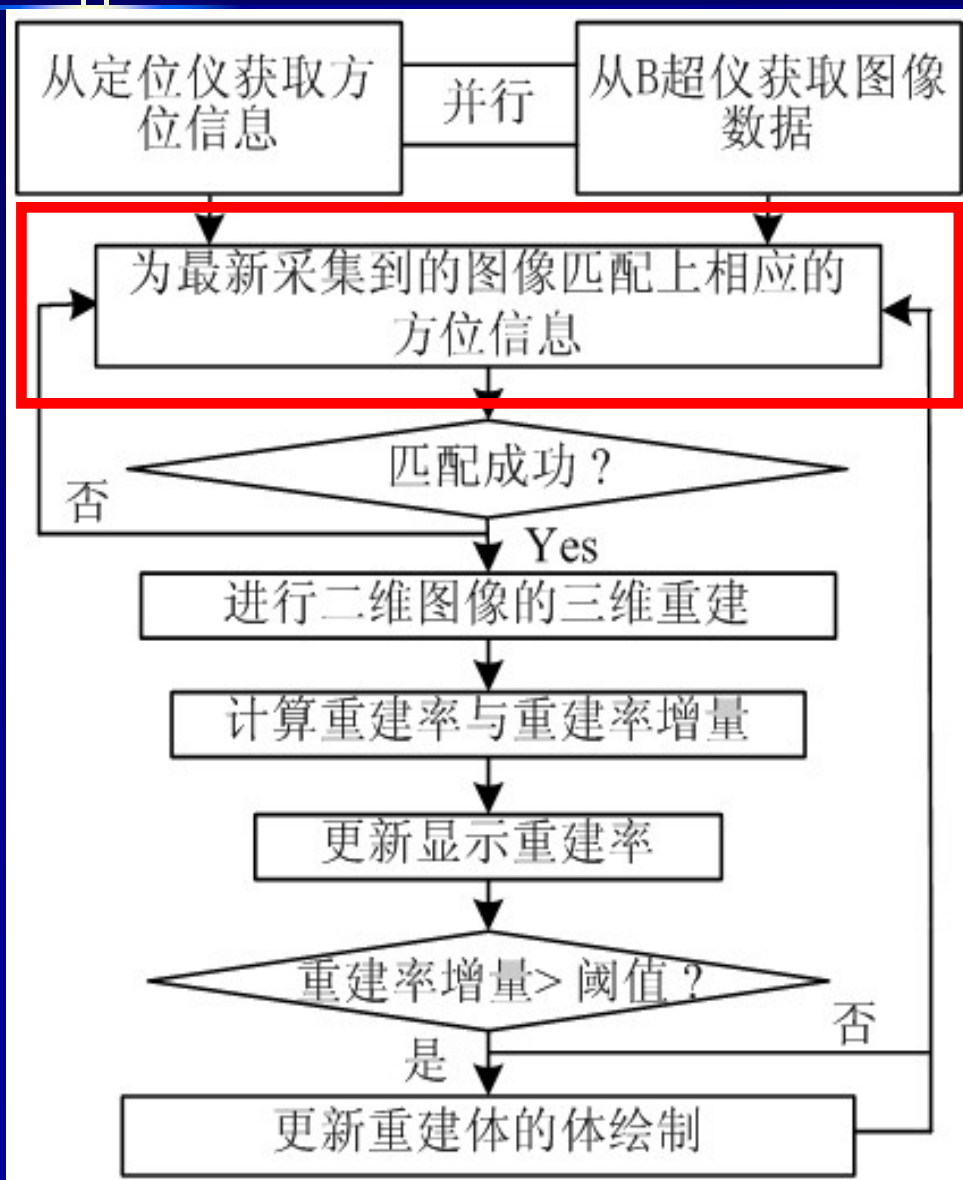
VS

定时或定幅驱  
动可视化策略



中国科学院自动化研究所  
Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences

# 实时交互的自由臂三维超声成像方法



◆ B超图像和方位信息的采集是异步地进行的，并且采集间隔也不相同。



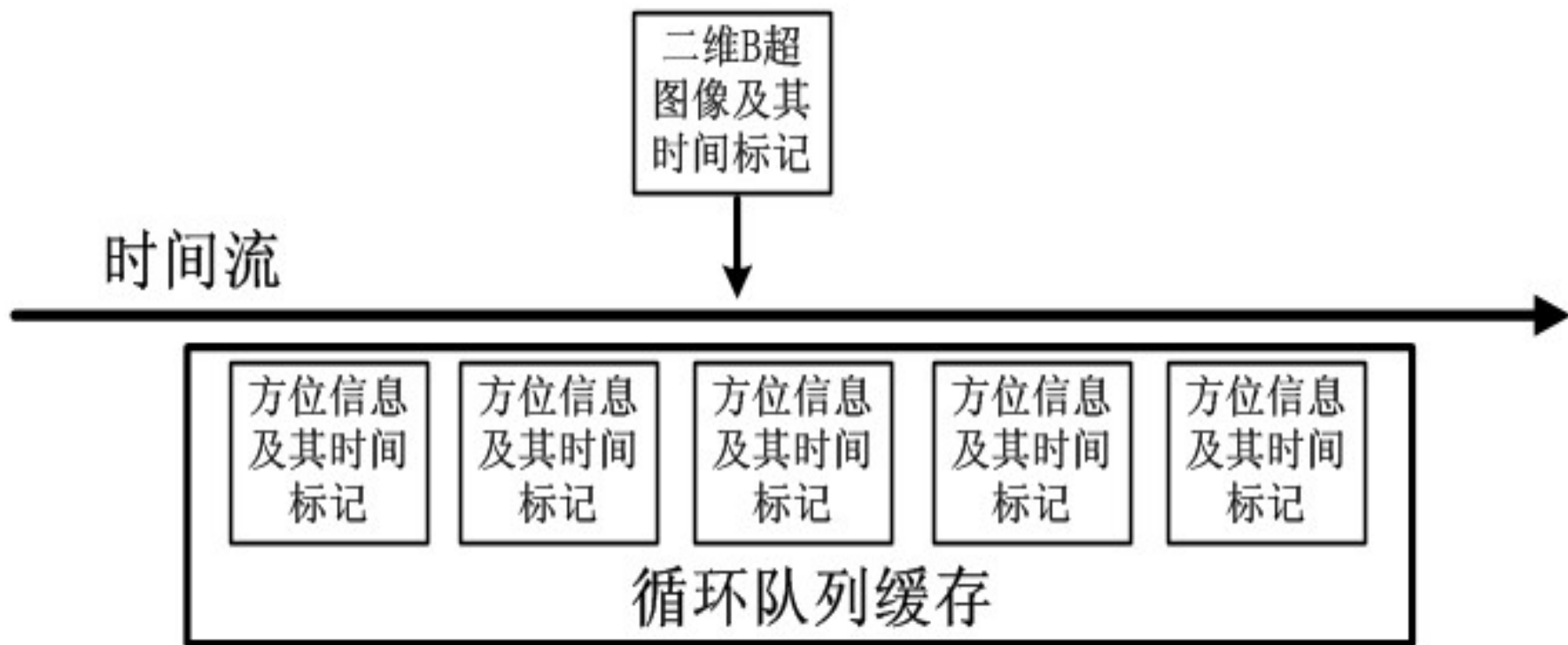
◆ 在三维重建前，进行B超图像的方位信息匹配。



# 实时交互的自由臂三维超声成像方法

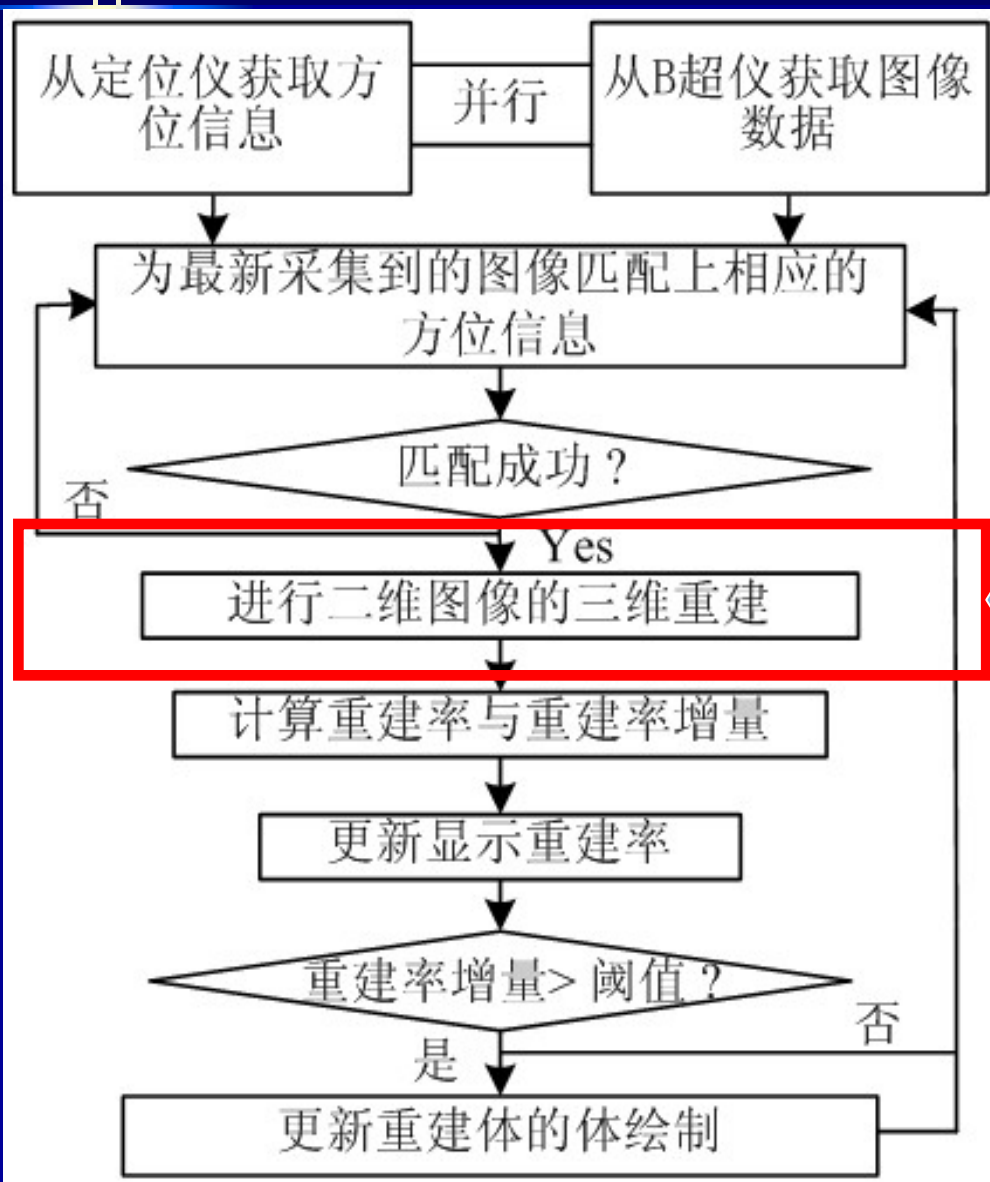


- ◆ 用与B超图像采集时间最接近的前、后两个方位信息插值出相应于该B超图像的方位信息。





# 实时交互的自由臂三维超声成像方法



◆ 在得到最新采集的B超图像及其方位信息后，对该B超图像进行三维重建。



# 实时交互的自由臂三维超声成像方法



◆ B超图像的一个像素的三维重建过程可分为 对该像素进行坐标变换 和 在重建体空间中对该像素进行体采样 两个阶段。

图像像素  
及其  
方位信息



坐标变换



体采样



空间  
体素



中国科学院自动化研究所

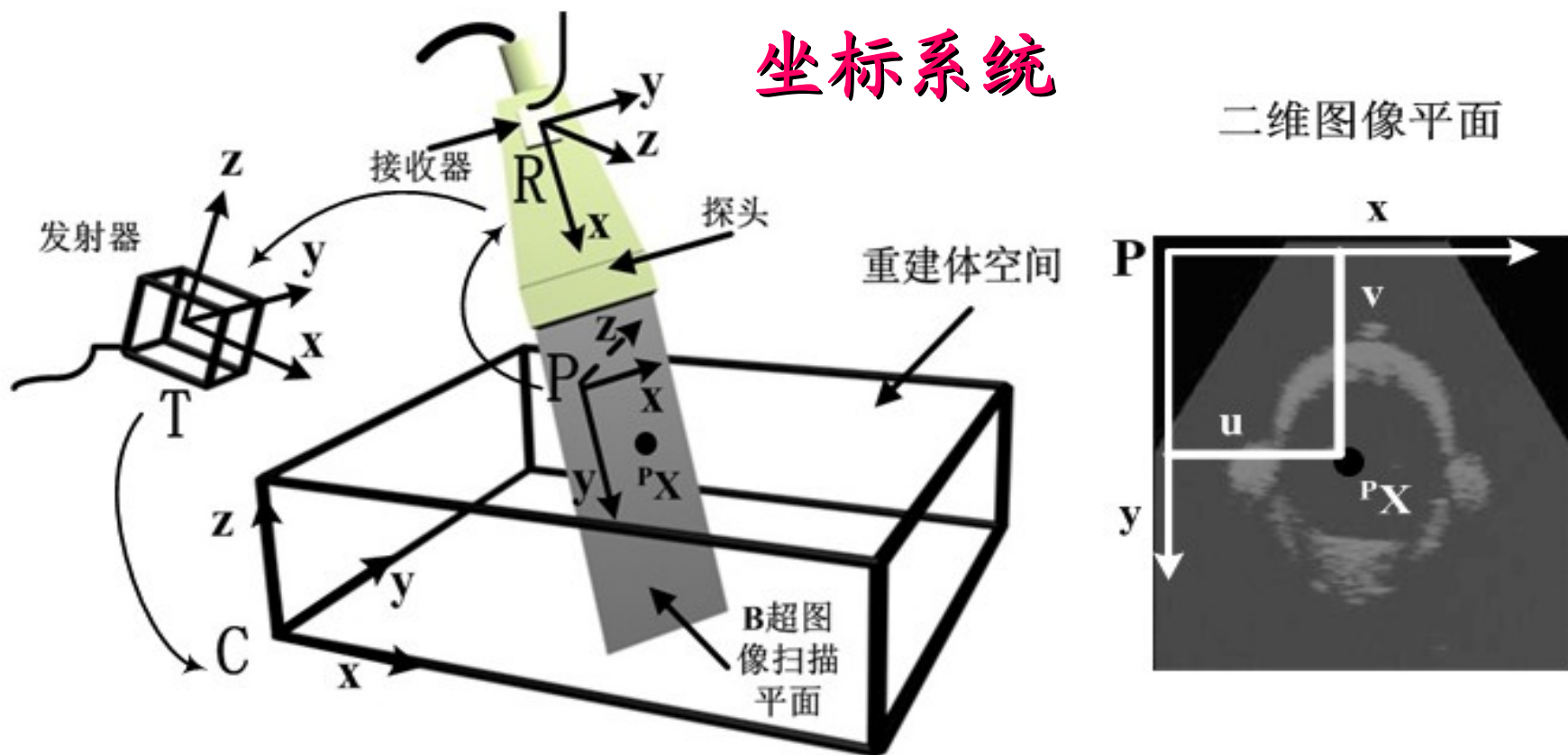
Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences

# 实时交互的自由臂三维超声成像方法

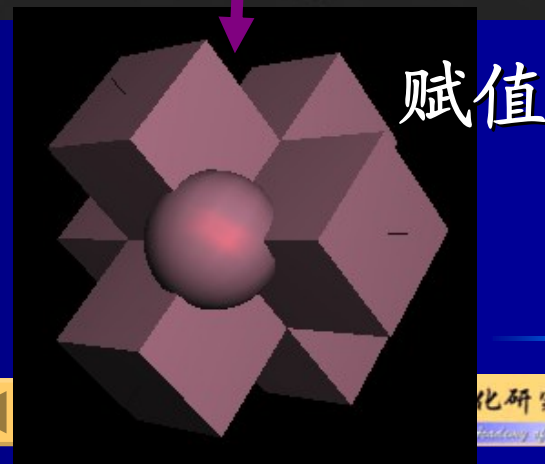
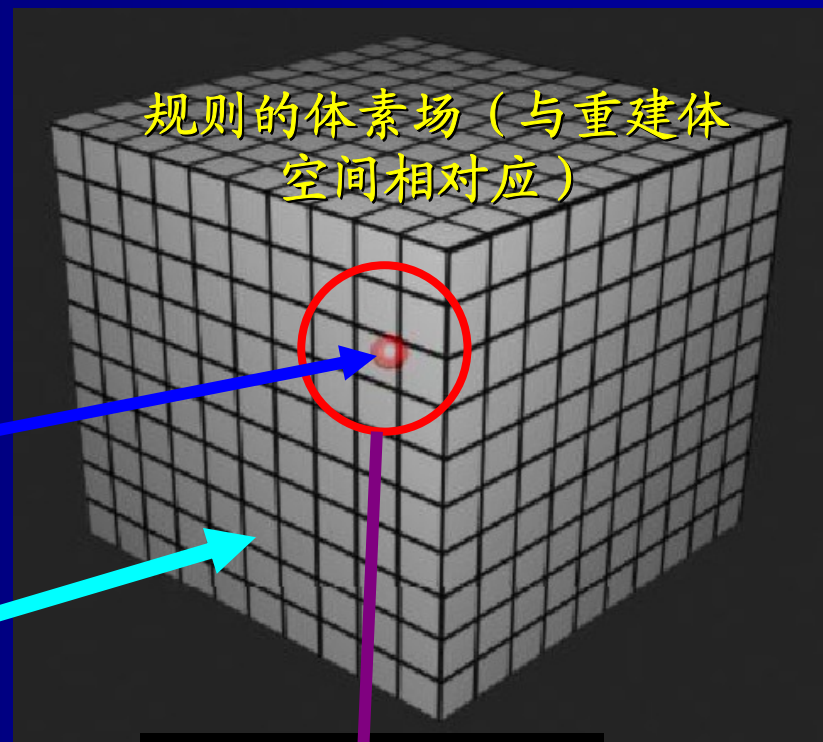
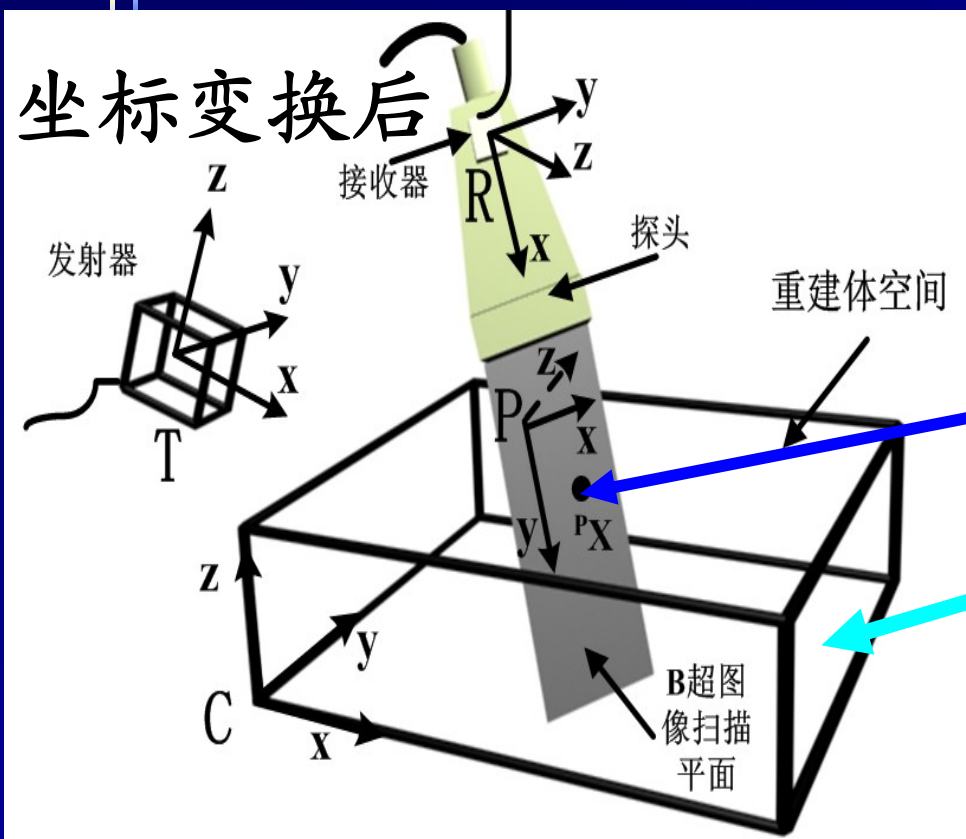


◆ 像素坐标变换的数学模型:  $C_X = {}^C T_T \cdot {}^T T_R \cdot {}^R T_P \cdot {}^P X$

■ R. W. **Prager**, R. N. Rohling, A. H. Gee, L. Berman. Rapid calibration for 3-D freehand ultrasound. Ultrasound in Medicine & Biology, 1998,24(6):855-869.



# 实时交互的自由臂三维超声成像方法



- ◆ 在重建体空间中对像素进行体采样

# 实时交互的自由臂三维超声成像方法



体采样



体素  
取值方法

Hold

Average

其它

取体素值为**第一次**  
被赋予的像素值

取体素值为被赋予  
像素值的**平均**

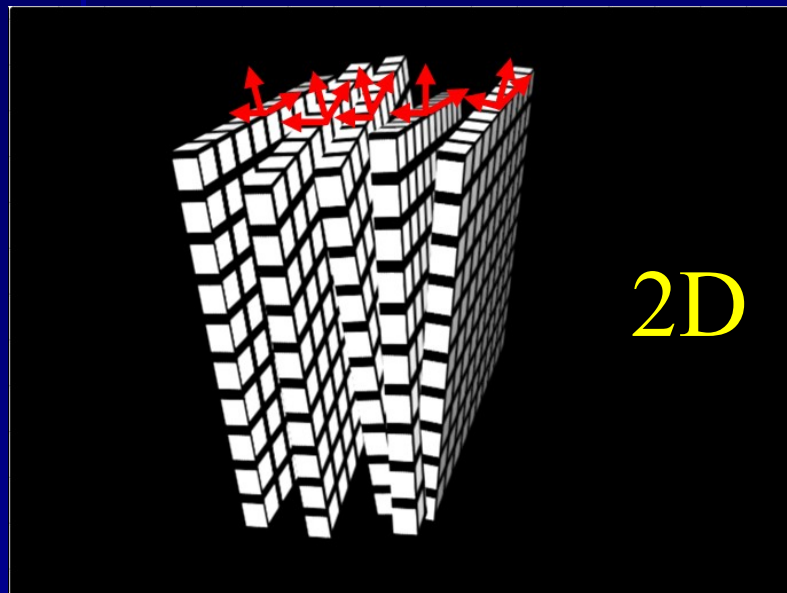




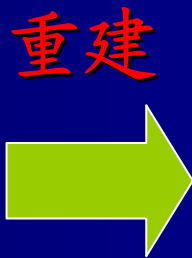
# 实时交互的自由臂三维超声成像方法



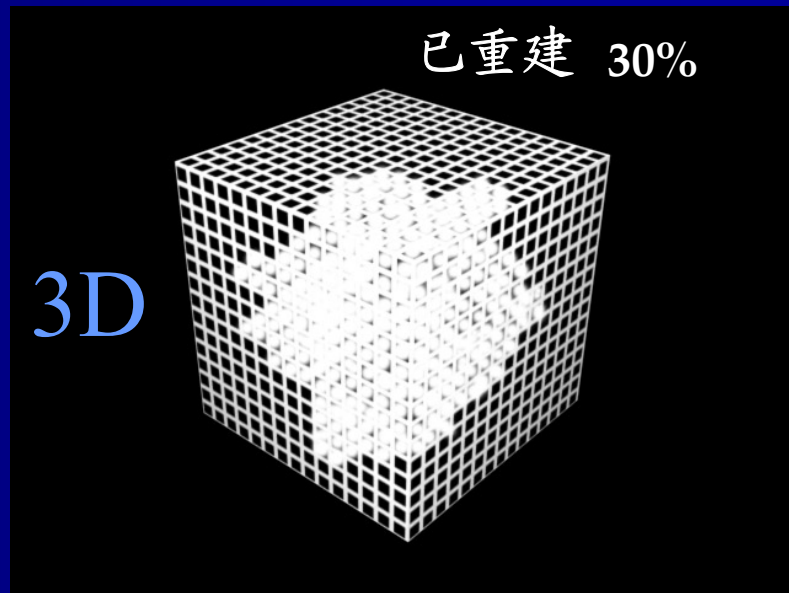
- ◆ 在对一幅B超图像的每个像素进行三维重建后，就完成了这幅B超图像的三维重建。



2D



3D



- 在该B超图像的三维重建后，计算体的重建率和重建率增量，然后更新显示体的重建率，并由重建率增量驱动扫描重建体的重新体绘制。之后等待下一幅B超图像，并重复匹配、三维重建和信息反馈过程，直到停止扫描重建。



# 主要内容



自由臂三维超声成像系统

实时交互的自由臂三维超声成像方法

RIF-3DUSIS的软硬件设计与实现

RIF-3DUSIS的部分实验结果



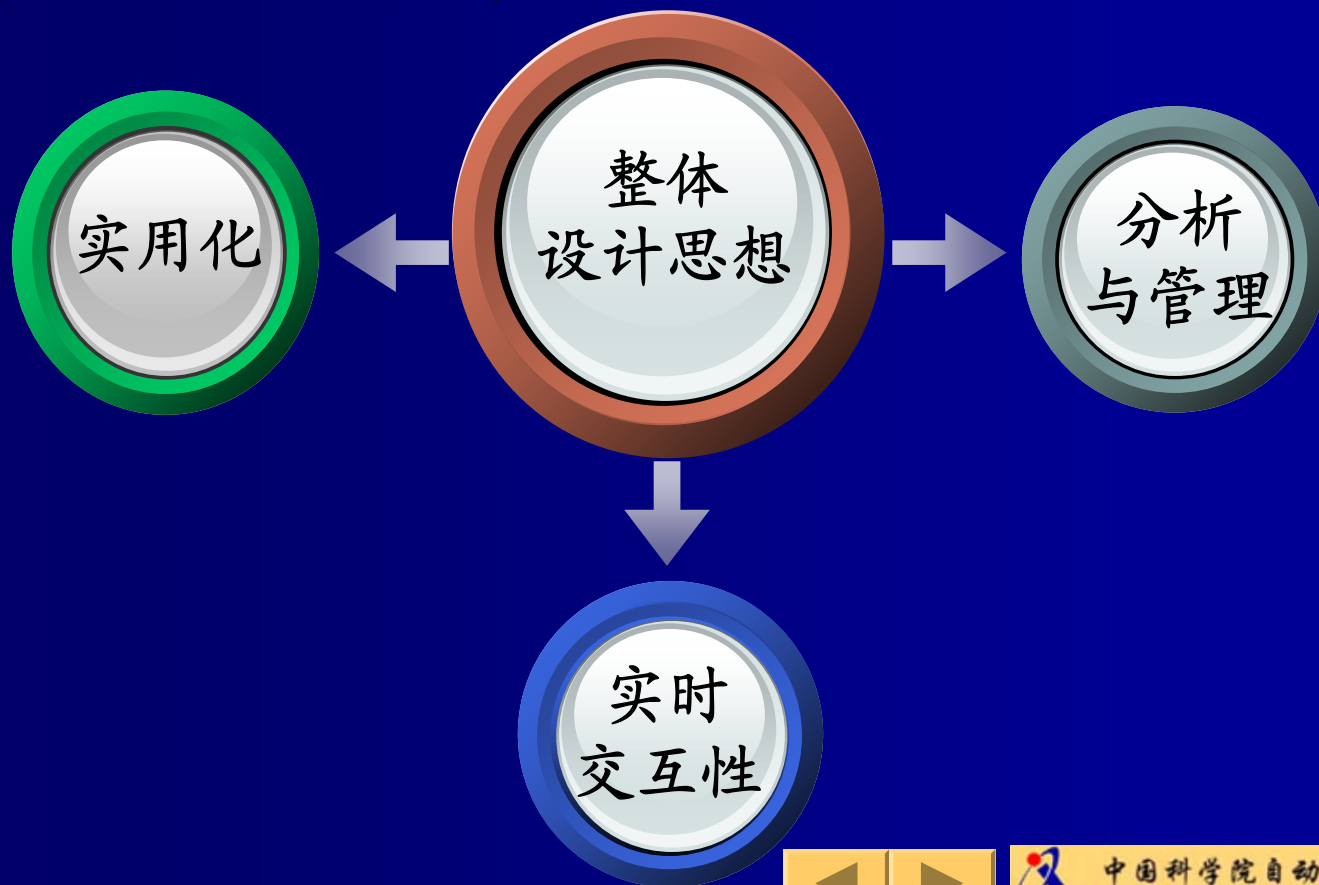
中国科学院自动化研究所

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences

# RIF-3DUSIS的软硬件设计与实现



➤ RIF-3DUSIS 是**基于**RIF-3DUSIM，并**面向**临床诊断，以能**实时交互**地进行扫描重建、能**自由灵活**地进行操作和能进行**分析与管理**为目的而设计的。



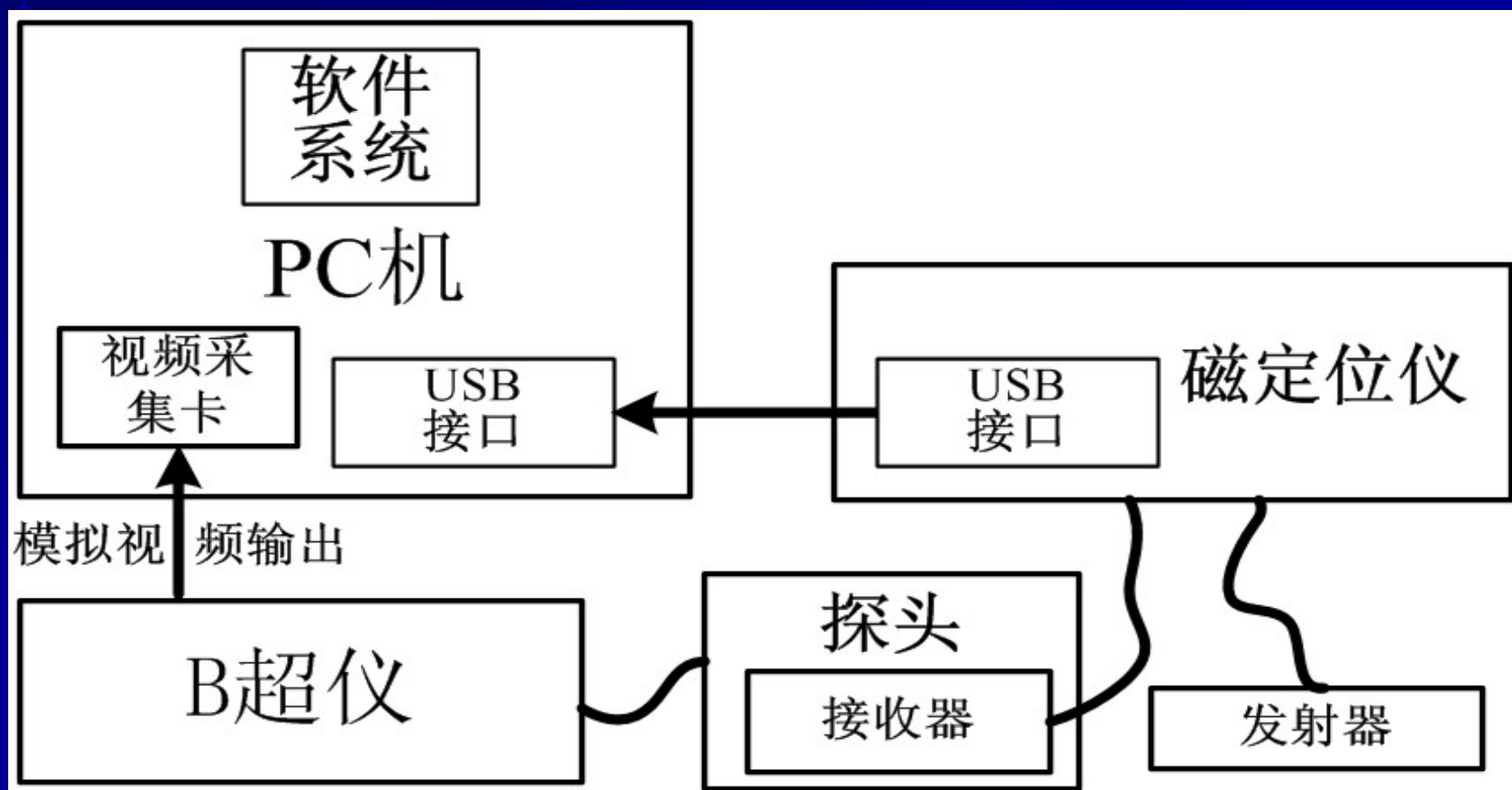
# RIF-3DUSIS的软硬件设计与实现



## ◆ 硬件系统结构:

B超仪(WEUT-70X) + 磁定位仪

+ 视频采集卡 (OK\_M10A) + PC机 → 三维超声设备



# RIF-3DUSIS的软硬件设计与实现

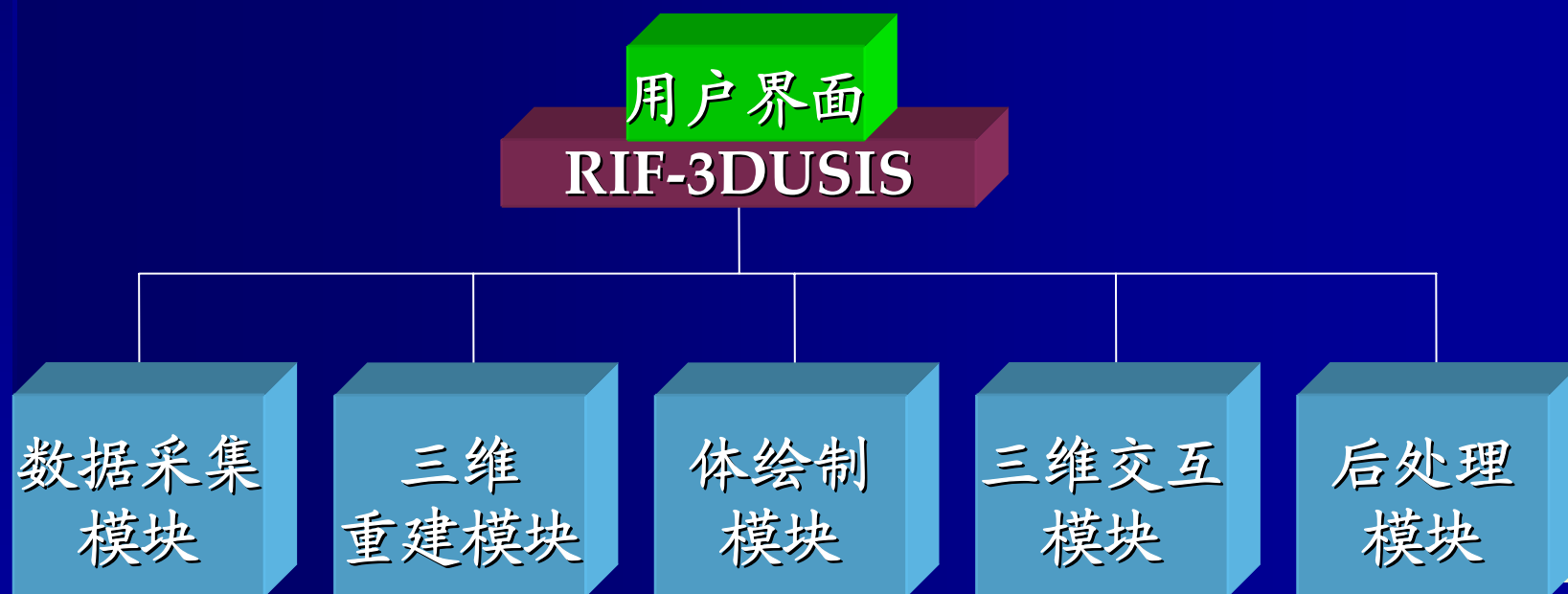


## ◆ 软件系统结构:

数据采集模块 + 三维重建模块

+ MITK( [www.mitk.net](http://www.mitk.net) )

+ Qt ( [www.trolltech.com](http://www.trolltech.com) ) ➡ 三维超声成像平台





# 主要内容



自由臂三维超声成像系统

实时交互的自由臂三维超声成像方法

RIF-3DUSIS的软硬件设计与实现

RIF-3DUSIS的部分实验结果



中国科学院自动化研究所

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences

# RIF-3DUSIS的部分实验结果



## ◆ 实验设计

- (1) 利用**水室** (装了一定量水的塑料水箱) 模拟胎儿的体环境。基于水的声阻抗与人体软组织, 尤其是胎儿体环境的声阻抗相近, 因此利用水环境能很好地模拟胎儿的生长环境;
- (2) 利用**塑料象**模拟胎儿, 基于塑料的声阻抗与生物组织声阻抗相近;
- (3) 用RIF-3DUSIS对模拟胎儿体环境中的**胎儿模型**进行实时交互的扫描成像。



# RIF-3DUSIS的部分实验结果



## 实验环境一

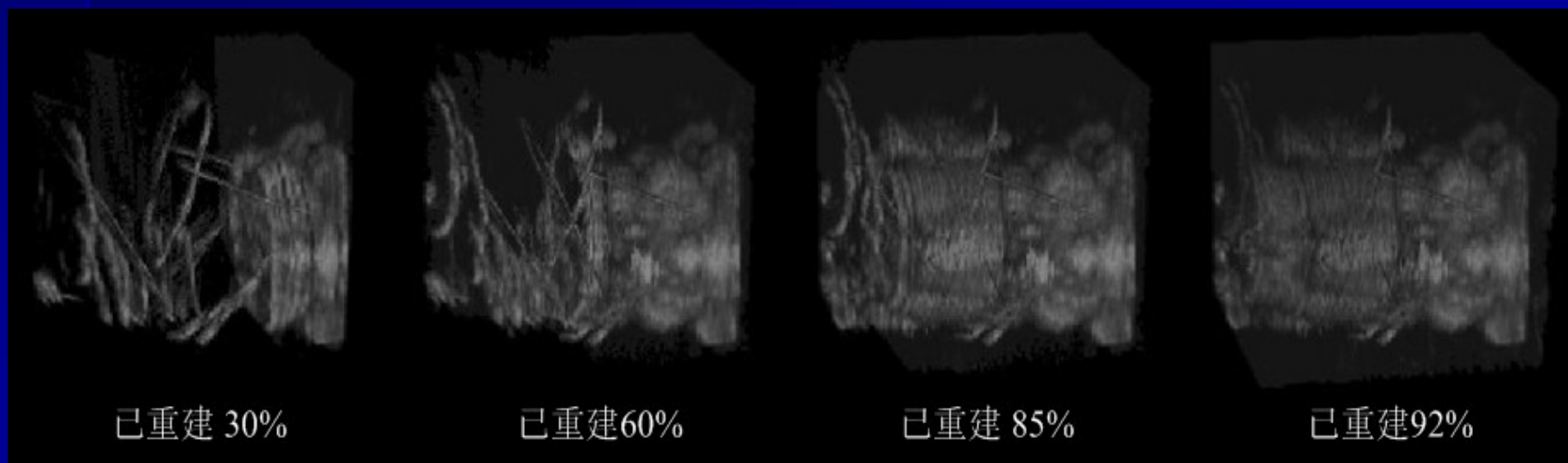
- ◆ 基于**hold**体采样算法;
- ◆ 在**CPU P4, 2.4 GHz, 512M**内存,操作系统为**Windows XP**的PC机上实验;
- ◆ 选择重建体大小 $200 \times 200 \times 200$ , 体素大小为 $0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ , 采集图像大小为 $552 \times 274$ , 像素大小为 $0.35\text{mm} \times 0.4\text{mm}$ , 重建率增量阈值为5%。



# RIF-3DUSIS的部分实验结果



- 在扫描过程中，系统不仅动态显示实时重建的可视化结果，而且不断更新显示扫描重建体的重建率；
- 我们根据可视化结果灵活地改变扫描策略，同时根据重建率定量地把握扫描成像的进度。



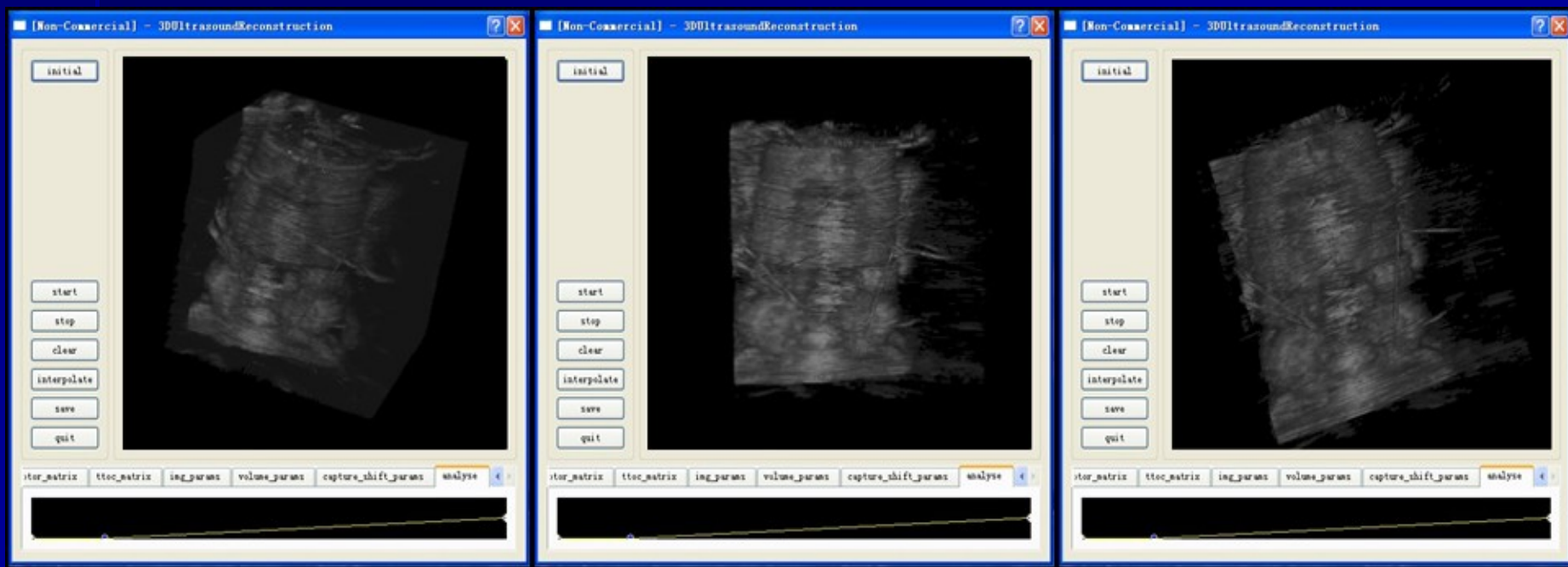
实时重建的动态交互过程



# RIF-3DUSIS的部分实验结果



- 在完成目标体**绝大部分区域**的扫描重建后停止扫描。之后可对重建得到的三维图像进行**在线的交互分析**。

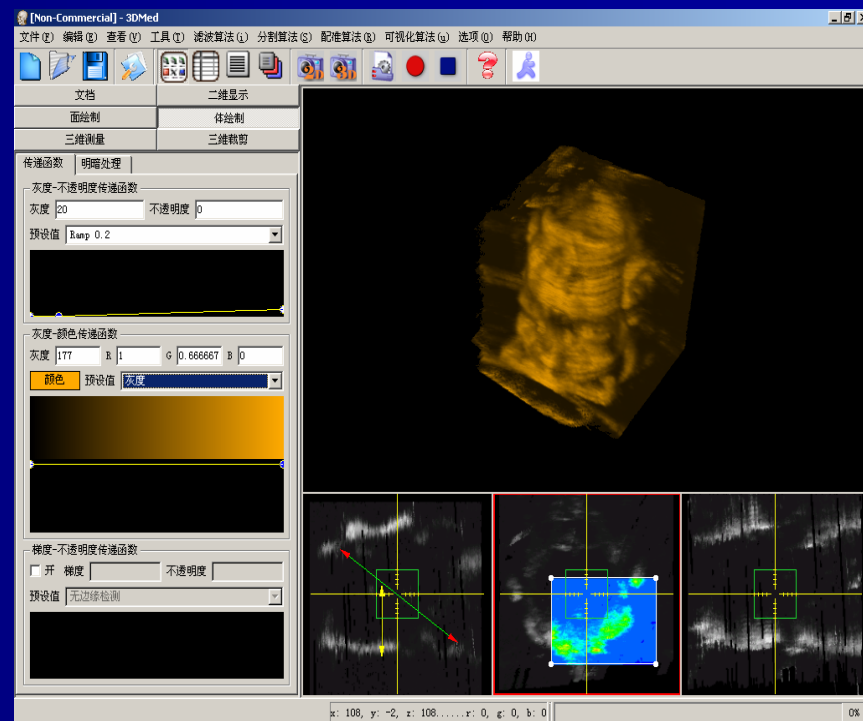
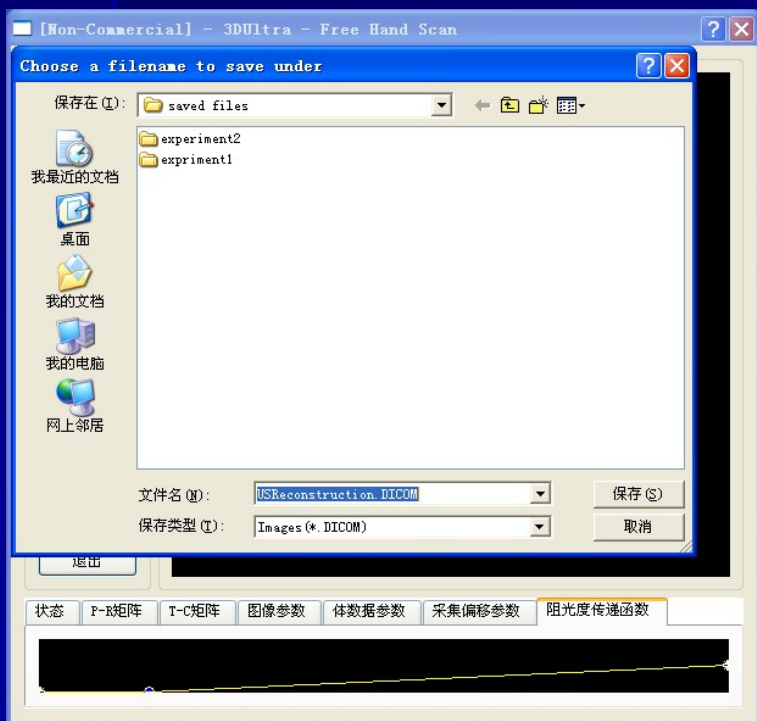




# RIF-3DUSIS的部分实验结果



- 利用软件系统平台提供的输出接口，将重建体数据存档为标准的医学图像DICOM文件，然后用我们实验室开发的三维医学图像处理和分析平台3DMed( [www.3dmed.net](http://www.3dmed.net) )进行更专业的后处理和分析。

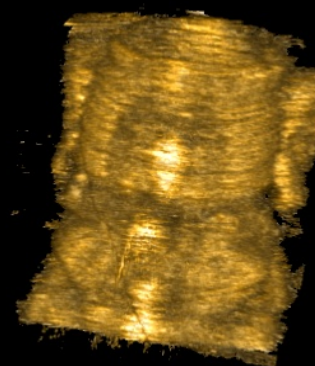
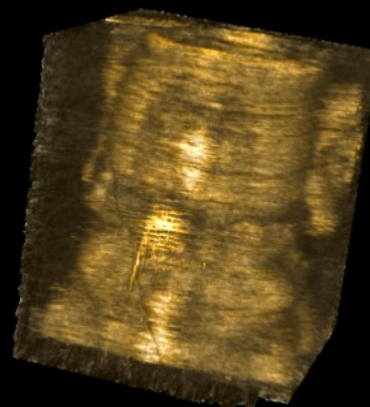




# RIF-3DUSIS的部分实验结果



在3DMed中的  
体绘制结果



# RIF-3DUSIS的部分实验结果

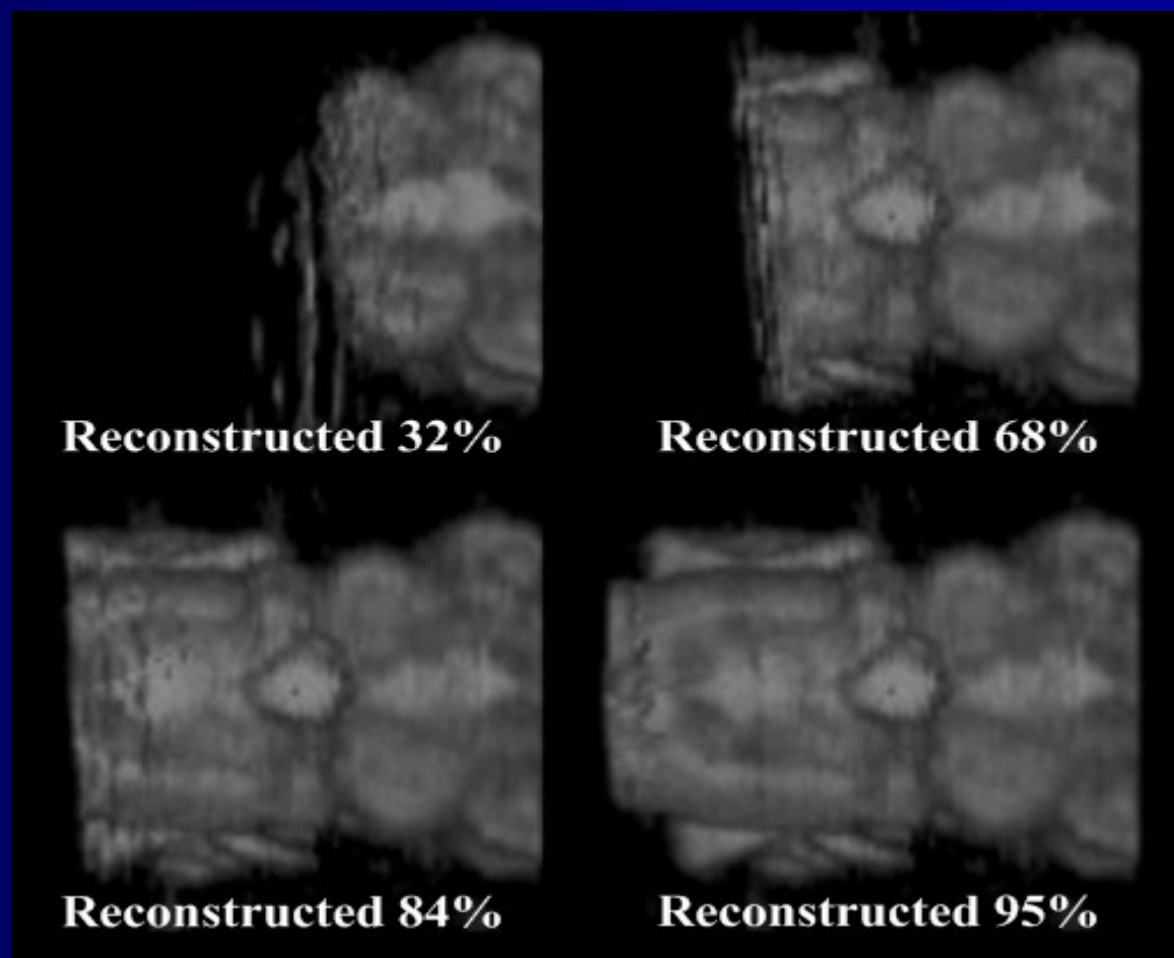


## 实验环境二

- ◆ 基于**average**体采样算法;
- ◆ 在**CPU P4, 3.0 GHz, 512M**内存,操作系统为**Windows 2000**的PC机上实验;
- ◆ 选择重建体大小 $200 \times 200 \times 200$ , 体素大小为 $0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ , 采集图像大小为 $552 \times 274$ , 像素大小为 $0.35\text{mm} \times 0.4\text{mm}$ , 重建率增量阈值为5%。



# RIF-3DUSIS的部分实验结果



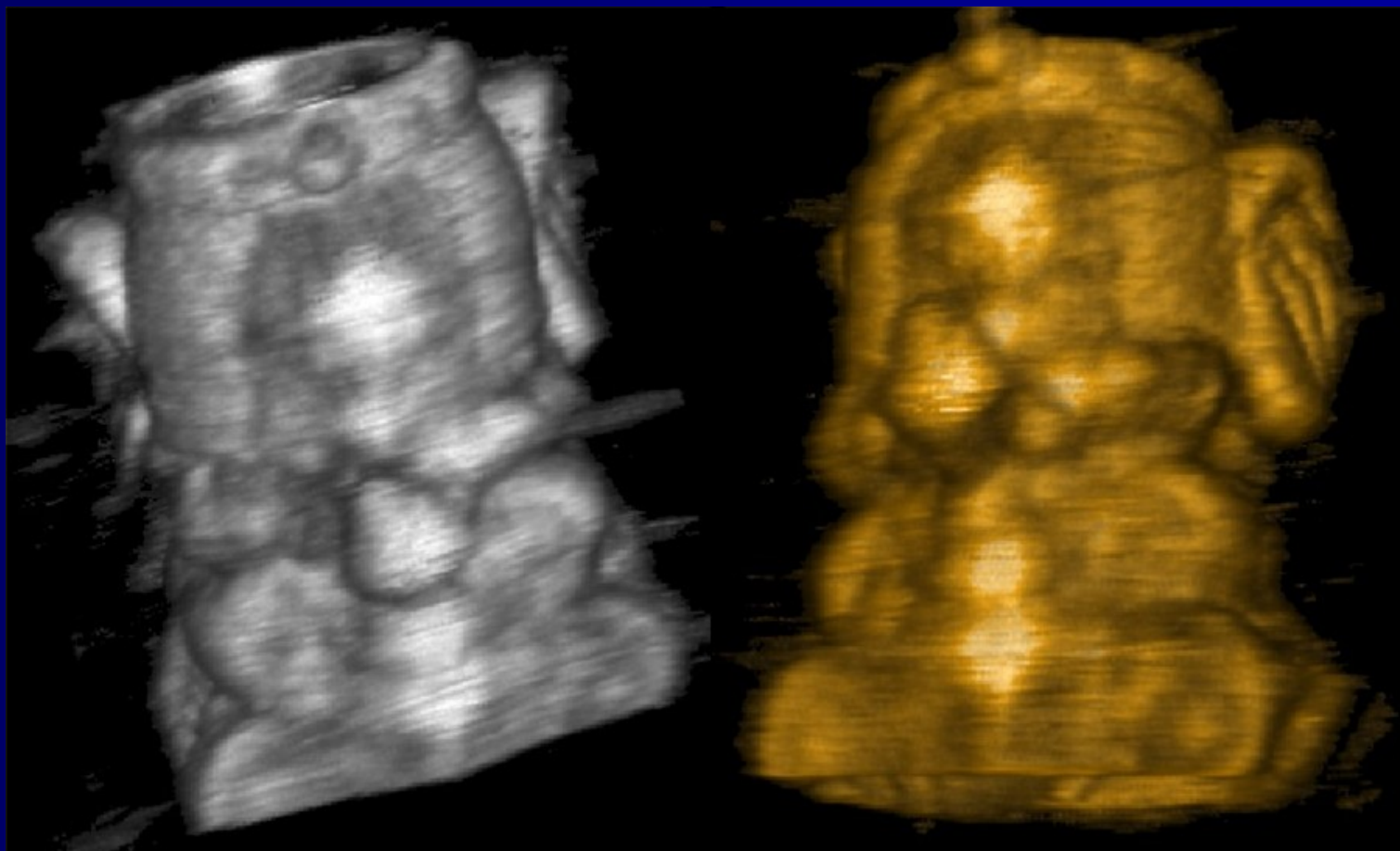
实时重建的动态交互过程



中国科学院自动化研究所

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences

# RIF-3DUSIS的部分实验结果



在3DMed中的体绘制结果

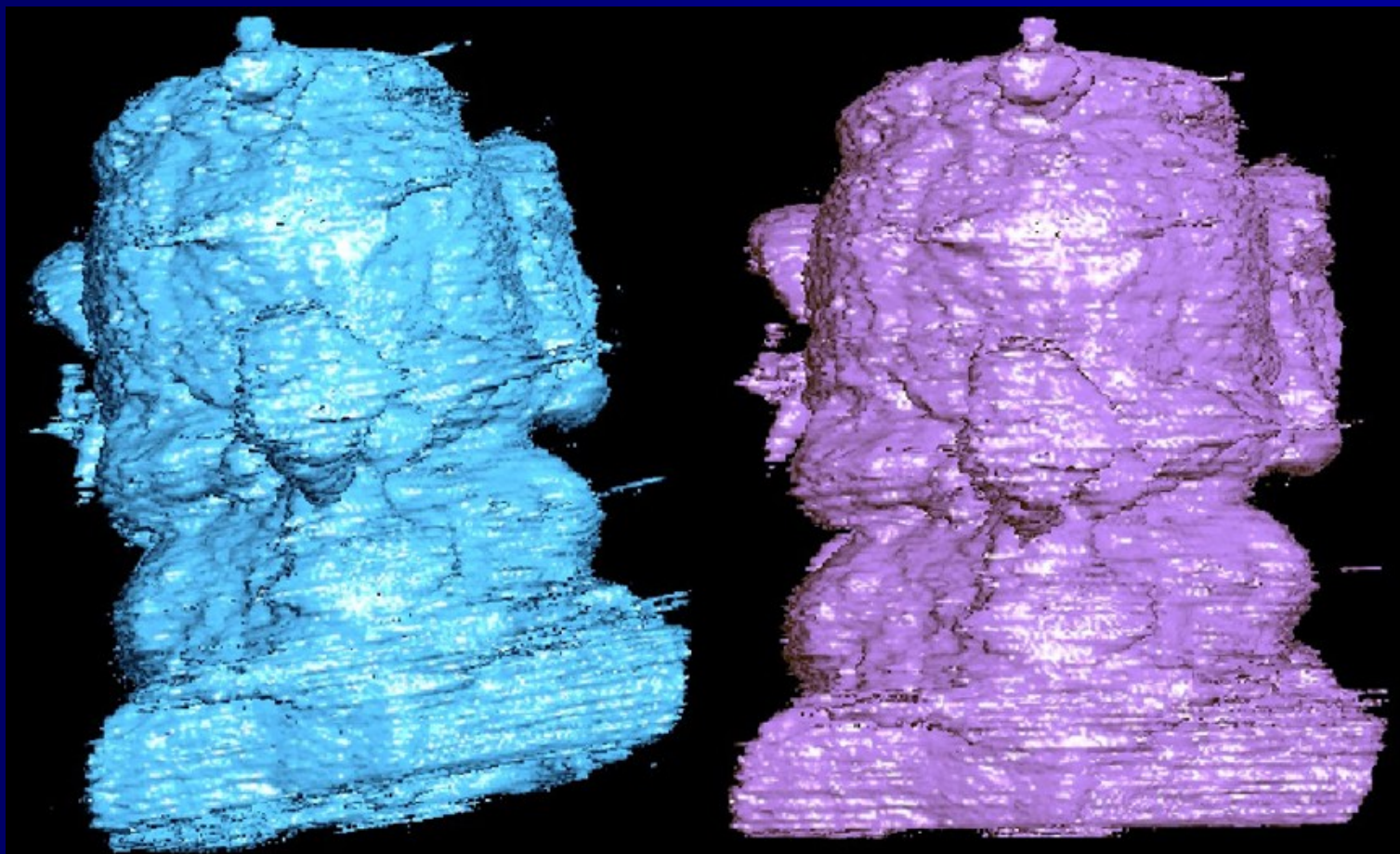


中国科学院自动化研究所

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences



# RIF-3DUSIS的部分实验结果



在3DMed中的面绘制结果



中国科学院自动化研究所

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences



# RIF-3DUSIS的部分实验结果



- ◆ 在实验环境二下，进行**10次**扫描成像实验，计算得到各项参数的**平均值**。



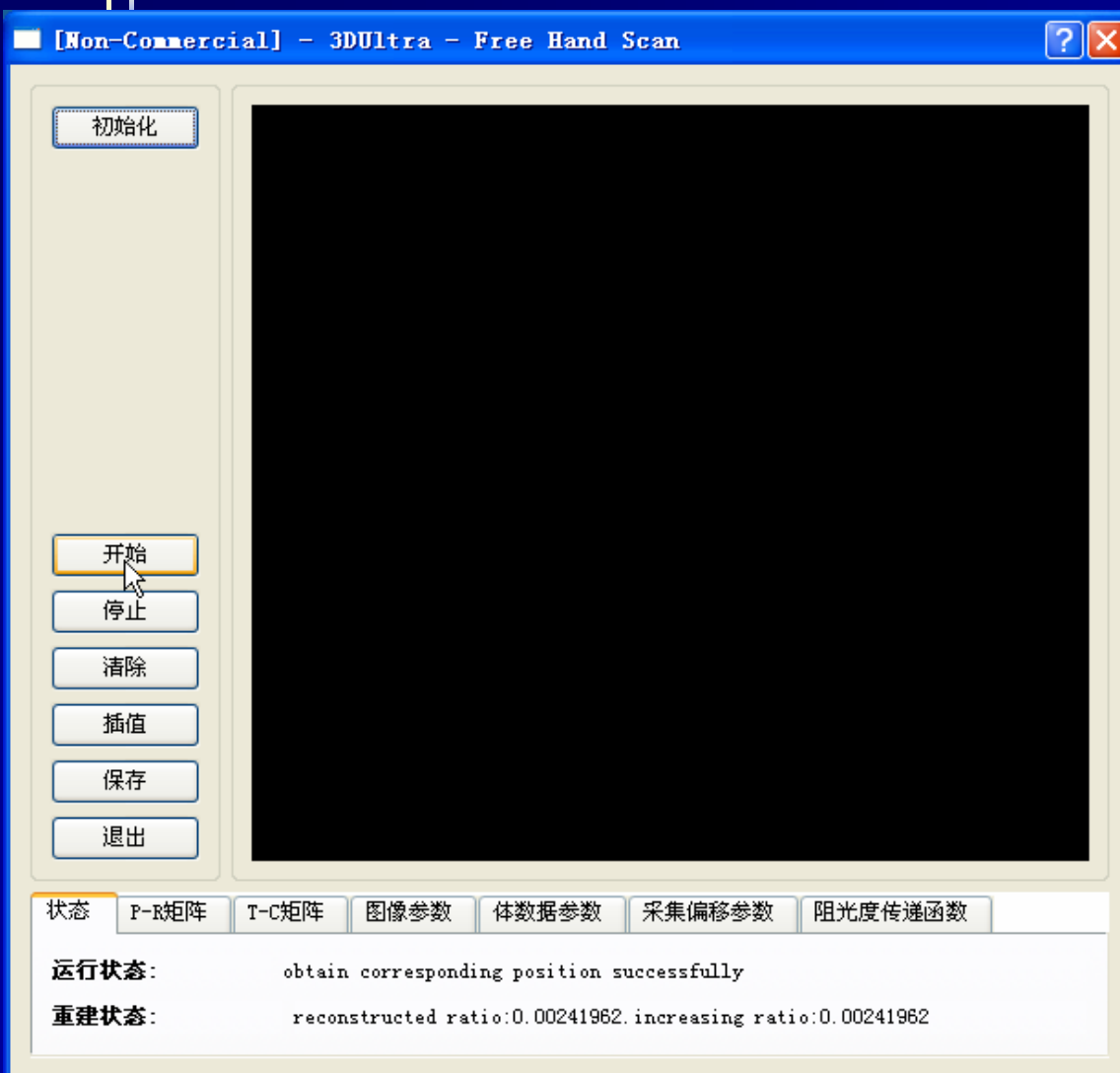
单幅B超图  
像的重建  
速度为43  
ms/frame  
(**23frames/s**)

整个重建  
体的重建  
速度为  
80ms/frame(**12.5frames/s**)

重建完成  
整个体的  
95%所需  
要的时间  
为**70s**



# RIF-3DUSIS的部分实验结果



自由扫描



实时处理



重建实例  
(实验环境一)



# 展望



- 进一步改进可视化的驱动策略，使**显示实时性**和**扫描时间**两者达到多目标最优；
- 采用更加简单的方法来交互地**选择重建体空间**；
- 在现有工作基础上进行深入的**临床实验**。



# 相关参考文献:



- <http://www.imagingeconomics.com/library/200412-08.asp>
- José-Estépar RS, Martín-Fernández M, Caballero-Martínez PP, Alberola-López C and Ruiz-Alzola J. A theoretical framework to three-dimensional ultrasound reconstruction from irregularly sampled data. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2003,29(2):255-269.
- Gee A, Prager R, Treece G, Berman L. Engineering a freehand 3D ultrasound system. *Pattern Recognition Letters*, 2003,24(4-5):757-777.
- Invivo ScanNt.  
<http://a7www.igd.fhg.de/projects/invivo/medicine/freehand>
- Stradx. <http://mi.eng.cam.ac.uk/~rwp/stradx>
- Welch JN, Johnson JA, Bax MR, Badr R and Shahidi R. A real-time freehand 3-D ultrasound system for image-guided surgery. *IEEE Trans. on Ultrasonics Symposium*, 2000,2:1061-1064.
- Gobbi DG, Peters TM. Interactive intra-operative 3D ultrasound reconstruction and visualization. In: Dohi T and Kikinis R, ed. *Proc. of the MICCAI 2002*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. 156-163.



# 相关参考文献:



- Varandas J, Baptista P, Santos J, Martins R, and Dias J. VOLUS—a visualization system for 3D ultrasound data. *Ultrasonics*, 2004,42(1-9):689-694.
- Prager RW, Rohling RN, Gee AH, Berman L. Rapid calibration for 3-D freehand ultrasound. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 1998,24(6):855-869.
- Mercier L, Lango T, Lindseth F, Collins DL. A review of calibration techniques for freehand 3-D ultrasound systems. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2005,31(4):449-471.
- Pagoulatos N, Haynor DR and Kim Y. A fast calibration method for 3-d tracking of ultrasound images using a special localizer. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2001,27(9):1219-1229.
- Rousseau F, Hellier P, Barillot C. Confhustus: A robust and fully automatic calibration method for 3-D freehand ultrasound. *Medical Image Analysis*, 2005,9:25-38.
- Prager RW, Gee A, Berman L. Stradx: real-time acquisition and visualization of freehand three-dimensional ultrasound. *Medical Image Analysis*, 1998,3(2):129-140.





# 相关参考文献:



- Treece GM, Gee AH, Prager RW, Cash CJC, Berman LH. High-definition freehand 3-D ultrasound. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2003,29(4):529-546.
- Gooding MJ, Kennedy SH and Noble JA. Temporal calibration of freehand three-dimensional ultrasound using image alignment. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2005,31(7):919-927.
- Rohling R, Gee A and Berman L. Three-dimensional spacial compounding of ultrasound images. *Medical Image Analysis*, 1997,1(3):177-193.
- Michailovich OV and Tannenbaum A. Despeckling of medical ultrasound images. *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, 2006,53(1):64-78.
- MITK (Medical Image Toolkit). <http://www.mitk.net>
- QT. <http://www.trolltech.com>
- 3DMed (3-Dimensional Medical Image Processing and Analyzing System). <http://www.3dmed.net>
- 赵明昌,田捷,薛建,朱珣,何晖光,吕科.医学影像处理与分析开发包MITK的设计与实现.软件学报,2005,16(4):485-495.





谢谢！



# 仪器参数



## ◆ B 超 仪

- 数字扫描变换器：512 线/帧， $512 \times 512$ ；
- 帧率：25 帧/秒，PAL 制输出；
- 分辨率：横向  $\leq 2$  mm，纵向  $\leq 1$  mm；
- 灰阶：256。

## ◆ 定位 仪

- 静态精度：1 mm， $0.1^\circ$ ；
- 分辨率：0.005 mm， $0.025^\circ$ ；
- 数据更新速率：120 updates/second；
- 测量到数据输出的延迟：4 ms。

## ◆ 采集 卡

- PAL 制：总采集点数  $945 \times 625$ ；
- 采集帧率：25 帧/秒；
- 有效区： $768 \times 576$ ；
- A/D：8 Bits。



# 坐标变换



$$C_X = {}^C T_T \cdot {}^T T_R \cdot {}^R T_P \cdot {}^P X$$

$${}^P \underline{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} s_x u \\ s_y v \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = {}^C \mathbf{T}_T {}^T \mathbf{T}_R {}^R \mathbf{T}_P \begin{pmatrix} s_x u \\ s_y v \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$${}^J \mathbf{T}_A(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma & x \\ \sin \alpha \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma & y \\ -\sin \beta & \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \cos \gamma & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



# 空间校准



$${}^J T_A(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma - \sin \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma & x \\ \sin \alpha \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \alpha \sin \gamma & y \\ -\sin \beta & \cos \beta \sin \gamma & \cos \beta \cos \gamma & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

设计实验，使其他四个参数为已知量，从而算出P到R的变换矩阵。



?

$$C_X = {}^C T_T \cdot {}^T T_R \cdot {}^R T_P \cdot {}^P X$$





# 时间校准



由B超仪，视频采集卡，定位仪的各项时间参数估算出B超图像的采集延时和方位信息的采集延时，得到实际采集的时刻，从而消除了相对延时。

