



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101770650 A

(43) 申请公布日 2010.07.07

(21) 申请号 200910104840.1

(22) 申请日 2009.01.07

(71) 申请人 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司

地址 518057 中国广东省深圳市南山区高新技术产业园区科技南十二路迈瑞大厦

(72) 发明人 田勇 余跃 姚斌 胡勤军

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 张亚宁 王丹昕

(51) Int. Cl.

G06T 11/00(2006.01)

A61B 8/13(2006.01)

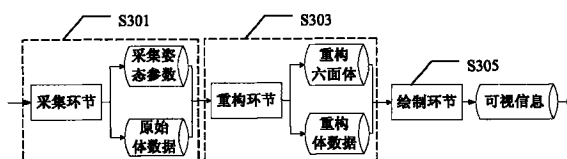
权利要求书 4 页 说明书 16 页 附图 5 页

(54) 发明名称

三维超声实时成像方法与装置以及成像系统

(57) 摘要

本发明公开了一种三维超声实时成像方法与装置以及包括该装置的超声成像系统。利用解析方法和图形化方法来表达体数据的重构多面体,从而能够快速、准确地将光线裁剪到重构多面体范围内,由此实现实时而高质量的三维超声成像。



1. 一种用于超声成像的重构方法,包括生成步骤,用于从原始体数据生成重构体数据;其特征在于,还包括:

构造步骤,根据采集模式确定重构多面体的各面形状,并根据采集姿态参数确定重构多面体各面的曲面方程,由曲面的交割构成重构多面体;以及

变换步骤,根据重构体数据确定体数据坐标至几何体坐标的变换关系,以将体数据坐标变换至几何体坐标。

2. 根据权利要求1所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于:所述多面体为六面体或五面体。

3. 根据权利要求1所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于:在所述构造步骤中,将指向多面体内部的方向确定为曲面的内侧,并用法向量的指向来定性表示曲面上所有法向量的方向。

4. 根据权利要求1所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于:对于凸阵,采集姿态参数包括探头半径和线间夹角;对于线阵,采集姿态参数包括线间距离;另外,对于凸阵和线阵采集姿态参数还包括点间距离、ROI左、右位置和上、下位置。

5. 根据权利要求1所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于:对于扇扫,采集姿态参数包括扇扫半径和帧间夹角;对于平扫,采集姿态参数包括帧间距离;另外,对于扇扫和平扫采集姿态参数还包括采集帧数。

6. 根据权利要求1所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于,对于凸阵扇扫采集模式:

上、下曲面为圆环面,通过母圆方程确定上、下曲面方程;其中上曲面法向量向外,下曲面法向量向内;

左、右曲面为圆锥面,通过母线方程确定左、右圆锥面方程;其中左曲面法向量向右,右曲面法向量向左;以及

前、后曲面为斜平面,通过扇扫张角来确定前、后斜平面方程;其中根据平面方程可确定前、后斜平面法向量。

7. 根据权利要求6所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于,还包括:

利用母圆上的三个点确定的椭圆方程以及该椭圆绕坐标轴旋转形成的椭圆曲面,来逼近上、下曲面。

8. 根据权利要求1所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于,对于凸阵平扫采集模式:

上、下曲面为圆柱面,通过基圆方程确定上、下曲面方程;其中上曲面法向量向外,下曲面法向量向内;

左、右曲面为斜平面,通过ROI张角来确定左、右斜平面方程;其中根据平面方程可确定左、右斜平面法向量;以及

前、后曲面为正平面,通过平扫行程来确定前、后正平面方程;其中根据平面方程可确定前、后正平面法向量。

9. 根据权利要求1所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于,对于线阵扇扫采集模式:

上、下曲面为圆柱面,通过各自的基圆方程确定上、下曲面方程;其中上曲面法向量向

外,下曲面法向量向内;

左、右曲面为正平面,通过 ROI 宽度来确定左、右平面方程;其中根据平面方程可确定左、右平面法向量;以及

前、后曲面为斜平面,通过扇扫张角来确定前、后斜平面方程;其中根据平面方程可确定前、后斜平面法向量。

10. 根据权利要求 1 所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于,对于线阵平扫采集模式:

上、下曲面为正平面,通过 ROI 高度来确定上、下正平面方程;其中根据平面方程可确定上、下平面法向量;

左、右曲面为正平面,通过 ROI 宽度来确定左、右正平面方程;其中根据平面方程可确定左、右平面法向量;以及

前、后曲面为正平面,通过平扫行程来确定前、后正平面方程;其中根据平面方程可确定前、后正平面法向量。

11. 根据权利要求 1 所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于,在所述变换步骤中,根据重构体数据确定体数据坐标 (x', y', z') 至几何体坐标 (x, y, z) 的变换关系为:

$$\begin{cases} x = x' - \frac{W_x}{2} \\ y = y' - W_y - D; \\ z = z' - \frac{W_z}{2} \end{cases};$$

其中几何体坐标系 X、Z 方向的原点位于重构体数据在 X、Z 方向的中心位置, W_x 、 W_y 、 W_z 为重构体数据在 X、Y、Z 三个方向上的尺寸, D 为几何体坐标系原点距离重构体数据上表面的距离且以向上为正。

12. 根据权利要求 11 所述的用于超声成像的重构方法,其特征在于:

对于凸阵扇扫采集模式 $D = (r_0 + y_u p_0) \cos \frac{\varphi}{2} + R_0 - r_0$;

对于凸阵平扫采集模式 $D = (r_0 + y_u p_0) \cos \frac{\varphi}{2}$;

对于线阵扇扫采集模式 $D = (R_0 + y_u p_0) \cos \frac{\theta}{2}$; 以及

对于线阵平扫采集模式 $D = -\frac{W_y}{2}$;

其中 r_0 为探头半径, R_0 为扇扫半径, φ 为 ROI 张角, p_0 为扫描线内相邻两点之间的距离, θ 为扇扫张角, y_u 为 ROI 的上位置, W_y 为重构体数据在 Y 方向上的尺寸。

13. 一种用于超声成像的绘制方法,其中包括由曲面的交割构成重构多面体,其特征在于,所述方法包括:

裁剪步骤,通过求解光线方程与重构多面体的各曲面方程组成的方程组,将该光线在该曲面内侧的部分确定为该光线对该曲面的独立有效区间,对确定的多个独立有效区间求交集得到联合有效区间;以及

投射步骤,利用光线对联合有效区间中的体数据进行采样,并对每个采样点进行插值与合成,以得到当前像素的灰度值;

其中得到所有像素的灰度值后,就完成了绘制过程。

14. 根据权利要求 13 所述的用于超声成像的绘制方法,其特征在于:对于重构多面体中的平面,如果所述方程组有 0 个解,将光线起点 (P_x, P_y, P_z) 带入平面方程,若结果为正,则独立有效区间为 $(-\infty, +\infty)$,否则为空区间 Φ ;如果所述方程组有一个解 t_1 ,计算光线步进向量 (dx, dy, dz) 与平面法向量的点积,若点积为正,则独立有效区间为 $(t_1, +\infty)$,否则为 $(-\infty, t_1)$ 。

15. 根据权利要求 13 所述的用于超声成像的绘制方法,其特征在于:对于重构多面体中的圆柱面,如果所述方程组有 0 个解,当光线起点位于曲面内侧时,则独立有效区间为 $(-\infty, +\infty)$,否则为空区间 Φ ;如果所述方程组有两个解 t_1 和 t_2 ,若曲面法向量向外,则独立有效区间为 $(-\infty, t_1) \cup (t_2, +\infty)$,若曲面法向量向内,则独立有效区间为 (t_1, t_2) 。

16. 根据权利要求 13 所述的用于超声成像的绘制方法,其特征在于:对于重构多面体中的圆锥面,如果所述方程组有 0 个解,则独立有效区间为 $(-\infty, +\infty)$;如果所述方程组有一个解 t_1 ,若光线步进向量的 X 分量方向与圆锥面的定性法向量方向一致时,则独立有效区间为 $(t_1, +\infty)$,否则为 $(-\infty, t_1)$;如果所述方程组有两个解 t_1 和 t_2 ,则独立有效区间为 $(-\infty, t_1) \cup (t_2, +\infty)$ 。

17. 根据权利要求 13 所述的用于超声成像的绘制方法,其特征在于:对于重构多面体中的圆环面或椭球面,如果所述方程组有 0 个解,若定性法向量向外,则独立有效区间为 $(-\infty, +\infty)$,若定性法向量向内,则独立有效区间为空区间 Φ ;如果所述方程组有两个解 t_1 和 t_2 ,若定性法向量向外,则独立有效区间为 $(-\infty, t_1) \cup (t_2, +\infty)$,若定性法向量向内,则独立有效区间为 (t_1, t_2) 。

18. 根据权利要求 13 所述的用于超声成像的绘制方法,其特征在于:所述联合有效区间包括多段连续区间组成的集合。

19. 根据权利要求 18 所述的用于超声成像的绘制方法,其特征在于:将第一个连续区段起点到最后一个连续区段终点之间的区间作为光线步进的有效范围。

20. 根据权利要求 13 所述的用于超声成像的绘制方法,其特征在于:在所述投射步骤中,如果联合有效区间的连续区段个数为零,则结束当前光线投射;如果联合有效区间的连续区段个数不为零,则从第一个连续区段的起点开始采样,并按照步进向量逐步行进。

21. 根据权利要求 20 所述的用于超声成像的绘制方法,其特征在于:如果采样点到达第一个连续区段的终点时还没有满足光线中止条件,则从下一个连续区段的起点开始采样,并按照步进向量逐步行进。

22. 根据权利要求 13 所述的用于超声成像的绘制方法,其特征在于:所述多面体为六面体或五面体。

23. 一种三维超声成像方法,包括:

采集步骤,用于获取三维超声体数据;

其特征在于,还包括权利要求 1 至 12 中任何一项所述的重构方法,以及权利要求 13 至 22 中任何一项所述的绘制方法。

24. 一种用于超声成像的重构装置,包括生成模块,用于从原始体数据生成重构体数据;其特征在于,还包括:

构造模块,根据采集模式确定重构多面体的各面形状,并根据采集姿态参数确定出重

构多面体各面的曲面方程,由曲面的交割构成重构多面体;以及

变换模块,根据重构体数据确定体数据坐标至几何体坐标的变换关系,以将体数据坐标变换至几何体坐标。

25. 一种用于超声成像的绘制装置,其中包括由曲面的交割构成重构多面体,其特征在于,所述装置包括:

裁剪模块,通过求解光线方程与重构多面体的各曲面方程组成的方程组,将该光线在该曲面内侧的部分确定为该光线对该曲面的独立有效区间,对多个独立有效区间求交集得到联合有效区间;以及

投射模块,利用光线对联合有效区间中的体数据进行采样,并对每个采样点进行插值与合成,以得到当前像素的灰度值;

其中得到所有像素的灰度值后,就完成了绘制过程。

26. 根据权利要求 24 所述的用于超声成像的重构装置或根据权利要求 25 所述的用于超声成像的绘制装置,其特征在于:所述多面体为六面体或五面体。

27. 一种三维超声成像装置,包括:

采集模块,用于获取三维超声体数据;

其特征在于,还包括权利要求 24 所述的重构装置,以及权利要求 25 所述的绘制装置。

28. 一种三维超声成像系统,其特征在于,包括权利要求 27 所述的三维超声成像装置。

三维超声实时成像方法与装置以及成像系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种成像方法与装置,特别是涉及一种三维超声实时成像方法与装置,以及包含该装置的超声成像系统。

背景技术

[0002] 传统医疗影像设备仅提供人体内部的二维图像,医生只能凭经验由多幅二维图像去估计病灶的大小及形状,以此想像病灶与其周围组织的三维几何关系,这给治疗带来了困难。而三维可视化技术可以由一系列二维图像重构出三维形体,并在终端显示出来。因此不仅能得到有关成像物体直观、形象的整体概念,而且还可保存许多重要的三维信息。另外,由于超声成像较CT和MRI具有无创、无电离辐射以及操作灵活等明显优势,所以超声三维成像势必会在医学临床上得到广泛的应用,开展超声领域中的三维可视化研究显得十分必要。

[0003] 按照一种现有的加快三维超声成像速度的方法,在已知原始体数据和采集姿态参数的基础上,得到一个虚拟的重构体数据。为了将重构体数据的直角坐标映射为原始体数据的极坐标,需要建立一个查找表,称为“重构变换表”。该表的每个元素对应重构体数据的一个体素,除了记录当前体素的坐标变换结果,还需要记录当前体素是否位于重构六面体内。若当前体素完全位于重构六面体之内,则称为“有效体素”;若当前体素完全位于重构六面体之外,即残余空间以内,则称为“无效体素”;若当前体素位于重构六面体和残余空间的交界之处,则称为“临界体素”。

[0004] 重构变换表用于体绘制,这里的绘制方法仍然是基于光线投射算法的。从视平面的当前像素发射出一条光线,首先利用重构包围盒的边界将其裁剪为线段,称为“盒内线段”。然后从盒内线段的起点开始,以一定步长沿光线方向行进,得到一系列采样点。将当前采样点的坐标取整,得到当前体素,然后查询重构变换表;若当前体素是无效体素,则当前采样点一定位于残余空间;若当前体素是有效体素,则当前采样点一定位于重构六面体内;若当前体素是临界体素,则当前采样点所位于的区间未定,需要补充进行一次双线性插值(Bilinear Interpolation)运算,才能决定该采样点是位于重构六面体内还是残余空间内。经过上述判断之后,若当前采样点位于残余空间内,则略过该采样点;若当前采样点位于重构六面体内,则需根据当前采样点坐标的小数部分,以及当前体素的坐标变换结果,进行一次三线性插值(Trilinear Interpolation)运算,得到当前采样点的灰度值,并以此进行光线合成。一旦得到第一个位于重构六面体内的采样点,则不再判断后续的采样点,而一律以重构六面体内情况下的方法进行插值和合成。如此逐步行进,直到采样点抵达盒内线段终点,或者累计的不透明度值达到给定的阈值为止,后者称为“光线中止”。然而,该现有技术存在有以下几个缺点:

[0005] 1. 采样点首次进入重构六面体之前,需要逐一判断采样点是否位于重构六面体内,导致效率较低。尤其当采样点取整得到的体素为临界体素时,判断方法比较复杂,严重影响了成像速度;

[0006] 2. 一旦得到第一个位于重构六面体内的采样点,则后续的采样点一律以重构六面体内情况下的方法进行插值和合成。但是,这种处理方法是不妥的,因为在很多情况下,后续采样点可能未达到光线中止条件时就穿出了重构六面体,若还按照重构六面体内情况下的方法进行插值和合成,即使不会导致计算出错,也将带来无谓的计算开销,影响了成像速度;

[0007] 3. 因为采样点是以一定步长行进的,因此第一个位于重构六面体内的采样点往往不是位于重构六面体的表面,而是已经穿入表面一定深度(在此称为“误差深度”)。每条光线的误差深度可能各不相同,虽然该深度总是小于光线步长,但其仍会对该光线的合成结果产生一定影响。随着光线的空间分布,误差深度表现出一定的周期性,导致成像结果出现环状、网状、锯齿状等特定形状的纹理,即产生了走样(Aliasing)现象,严重影响了成像质量。若通过设置较小的光线步长,可以缓解误差深度导致的走样现象,但很难完全消除,而且将导致成像速度的进一步下降;

[0008] 4. 为了标记采样点是否在重构六面体内,重构变换表内需要计算几个专门的字段,而且该表在整个成像过程中需要一直保持,增加了处理的时间和空间开销;

[0009] 5. 三维超声至少有四种采集模式,而该现有技术只给出了凸阵扇扫采集模式下的方法。

发明内容

[0010] 本发明的目的是为了克服现有技术存在的缺陷,提供一种三维超声实时成像方法与装置。为了实现这一目的,本发明所采取的技术方案如下。

[0011] 按照本发明实施例的第一方面,提供一种用于超声成像的重构方法,包括生成步骤,用于从原始体数据生成重构体数据;还包括:构造步骤,根据采集模式确定重构多面体的各面形状,并根据采集姿态参数确定出重构多面体各面的曲面方程,由曲面的交割构成重构多面体;以及变换步骤,根据重构体数据确定体数据坐标至几何体坐标的变换关系,以将体数据坐标变换至几何体坐标。

[0012] 按照本发明实施例的第二方面,提供一种用于超声成像的绘制方法,其中包括由曲面的交割构成重构多面体,所述方法包括:裁剪步骤,通过求解光线方程与重构多面体的每个曲面方程组成的方程组,将该光线在该曲面内侧的部分确定为该光线对该曲面的独立有效区间,对确定的六个独立有效区间求交集得到联合有效区间;以及投射步骤,利用光线对联合有效区间中的体数据进行采样,并对每个采样点进行插值与合成,以得到当前像素的灰度值;其中得到所有像素的灰度值后,就完成了绘制过程。

[0013] 按照本发明实施例的第三方面,提供一种三维超声成像方法,包括采集步骤,用于获取三维超声体数据;还包括按照本发明实施例第一方面的重构方法,以及按照本发明实施例第二方面的绘制方法。

[0014] 按照本发明实施例的第四方面,提供一种用于超声成像的重构装置,包括生成模块,用于从原始体数据生成重构体数据;还包括:构造模块,根据采集模式确定重构多面体的各面形状,并根据采集姿态参数确定出重构多面体各面的曲面方程,由曲面的交割构成重构多面体;以及变换模块,根据重构体数据确定体数据坐标至几何体坐标的变换关系,以将体数据坐标变换至几何体坐标。

[0015] 按照本发明实施例的第五方面,提供一种用于超声成像的绘制装置,其中包括由曲面的交割构成重构多面体,所述装置包括:裁剪模块,通过求解光线方程与重构多面体的每个曲面方程组成的方程组,将该光线在该曲面内侧的部分确定为该光线对该曲面的独立有效区间,对六个独立有效区间求交集得到联合有效区间;以及投射模块,利用光线对联合有效区间中的体数据进行采样,并对每个采样点进行插值与合成,以得到当前像素的灰度值;其中得到所有像素的灰度值后,就完成了绘制过程。

[0016] 按照本发明实施例的第六方面,提供一种三维超声成像装置,包括:采集模块,用于获取三维超声体数据;还包括按照本发明实施例第四方面的重构装置,以及按照本发明实施例第五方面的绘制装置。

[0017] 按照本发明实施例的第七方面,提供一种三维超声成像系统,包括按照本发明实施例第六方面的三维超声成像装置。

[0018] 按照本发明实施例的方法与装置相对于现有技术所取得的有益效果主要体现在:

[0019] 1. 利用解析方法计算出联合有效区间,效率较高,提高了成像速度;

[0020] 2. 保证了计算的正确性和速度;

[0021] 3. 准确定位光线起点,解决了走样问题;

[0022] 4. 节省时间和空间开销;

[0023] 5. 现有技术只给出了凸阵扇扫采集模式下的方法,内容不完整。而本发明给出了四种采集模式下的方法,内容更完整。

[0024] 总之,本发明克服了现有技术中的主要缺点,从而可以实现实时而高质量的三维超声成像。

[0025] 下面将结合附图并通过具体的实施例对本发明进行进一步说明。

附图说明

[0026] 图 1 是四种采集模式的重构六面体和重构包围盒的示意图;

[0027] 图 2 是光线投射算法的示意图,P 为当前像素, R_1 、 R_2 ... 为当前光线的一系列采样点;

[0028] 图 3 是按照本发明实施例的三维超声成像方法的流程图;

[0029] 图 4 是按照本发明实施例的用于超声成像的重构方法的流程图;

[0030] 图 5 是按照本发明实施例的凸阵扇扫采集模式的 XY 面和 YZ 面,其中阴影部分是重构六面体在这两个面的剖面;

[0031] 图 6 是按照本发明实施例的用椭球面逼近圆环面的示意图;

[0032] 图 7 是按照本发明实施例的凸阵平扫采集模式的 XY 面和 YZ 面,其中阴影部分是重构六面体在这两个面的剖面;

[0033] 图 8 是按照本发明实施例的线阵扇扫采集模式的 XY 面和 YZ 面,其中阴影部分是重构六面体在这两个面的剖面;

[0034] 图 9 是按照本发明实施例的线阵平扫采集模式的 XY 面和 YZ 面,其中阴影部分是重构六面体在这两个面的剖面;

[0035] 图 10 是按照本发明实施例的用于超声成像的绘制方法的流程图;

[0036] 图 11 是按照本实施例的三维超声成像装置的结构框图；

[0037] 图 12 是结合了按照本实施例的三维超声成像装置的成像系统框图。

具体实施方式

[0038] 三维超声成像过程主要包括三个环节：采集、重构和绘制。所谓采集 (Acquisition) 就是获取三维超声体数据 (Volume) 的过程，目前主要有两种方法：第一种是使用自由臂 (Freehand) 扫描，即手持普通探头，沿着探头厚度方向作匀速平行拖动或匀速扇形摆动，获取一系列空间位置关系可估计的二维超声图像，进而以离线方式获取三维体数据；另一种则需要使用专门的容积探头进行扫描，在探头位置固定的情况下，获取一系列空间位置关系可以确定的二维超声图像，从而得到实时的三维体数据。采集得到的体数据由顺序排列的体素 (Voxel) 组成，每个体素都代表了被扫描的三维空间中特定位置的一个点。

[0039] 上面所说的空间位置关系由采集过程的多个图像姿态参数决定，本发明称为“采集姿态参数”。采集使用的探头可能是凸阵或线阵，探头运动的方式可能是平扫或扇扫，由此就构成了凸阵扇扫、凸阵平扫、线阵扇扫、线阵平扫四种组合，本发明称为“采集模式”，它也可以被认为是采集姿态参数的一部分。

[0040] 所谓重构 (Restruction, 又作 Scan Conversion, 译为扫描变换)，是将采集的体数据由极坐标 (Polar coordinates) 变换到直角坐标 (Cartesian coordinates, 又译作笛卡尔坐标)，从而得到相对位置与真实空间一致的体数据。重构环节的目的在于，只有生成了直角坐标系下的体数据，在下一步的绘制环节中才能得到准确的、没有变形的成像结果。本发明称重构前的体数据为“原始体数据”，重构后的体数据为“重构体数据”。

[0041] 原始体数据在极坐标系下分布为一个规整的长方体，而经过重构后，将成为一个特定形状的六面体，本发明称这个几何体为“重构六面体”。对于各种采集模式，重构六面体的形状各不相同，如图 1 中的几何体所示。为了保存重构体数据，需要将重构六面体扩展为一个恰好能够容纳它的长方体，本发明称这样的几何体为“重构包围盒”，如图 1 中的黑色框架所示。对于重构六面体以外、重构包围盒以内的空白区域，本发明称为“残余空间”。

[0042] 所谓绘制 (Rendering, 又译为渲染)，是指对体数据使用可视化算法进行计算，从而获得可视信息，并以显示设备进行显示。目前超声图像的三维可视化算法主要分为两大类：一类是表面绘制方法 (Surface Rendering)，该方法需要对体数据进行分类，并由此构造出中间几何元素，然后由传统的计算机图形学技术实现绘制。但是由于超声图像特有的噪声问题，此算法极易造成虚假的面显示和空洞现象，因此在三维超声成像中通常不采用。另一类是直接体绘制方法 (Direct Volume Rendering)，该算法直接由体数据产生屏幕上的二维图像，它不需要对体数据进行分类和构造中间几何元素，保留了三维医学细节信息，增强了整体绘制效果。而且该方法对噪声的敏感性远远低于表面绘制方法，因此在三维超声成像中得到了广泛的应用。

[0043] 光线投射 (Ray Casting) 算法属于一种直接体绘制方法，也是三维超声成像中应用最普遍的绘制方法。其原理是：通过指定的视点位置与视平面图像上每个像素的连线方向，发射虚拟光线穿透体数据，光线对体数据进行重采样，并根据光学的吸收 - 发散模型进行合成 (Blending)，最终得到当前光线的合成结果，也就是当前像素的灰度值，如图 2 所

示。当所有的像素位置都得到了灰度值,就完成了了一次绘制过程。

[0044] 按照本实施例的三维超声成像方法,其总流程如图 3 所示。经过采集环节 (S301),可以确认采集姿态参数,并得到原始体数据。该原始体数据经过重构环节 (S303),得到重构六面体和重构体数据,其中重构六面体是以整体图形的方式,而非逐个体素标记的方式进行表达。重构六面体和重构体数据经过绘制环节 (S305),利用重构六面体进行光线裁剪,再利用重构体数据进行插值和合成,就可以得到可视信息,于是完成了整个三维成像过程。下面按照本实施例的三维超声成像方法的三个主要环节分别进行具体说明。

[0045] 首先,对于采集环节,得到原始体数据的过程并不复杂,关键在于确认采集姿态参数,它与采集模式有关。由于采集模式是探头类型和探头运动方式组合而成的,现在可将这两项属性分开讨论。

[0046] 若探头类型是凸阵,需要知道:探头半径 r_0 ,即探头表面到探头圆心的距离,单位为像素;以及线间夹角 ϕ_0 ,即相邻两条扫描线之间的夹角,单位为弧度。

[0047] 若探头类型是线阵,需要知道:线间距离 l_0 ,即相邻两条扫描线之间的距离,单位为像素。

[0048] 另外,无论哪种探头类型,都需要知道:

[0049] 点间距离 p_0 ,即扫描线内相邻两点之间的距离,单位为像素;

[0050] ROI 左、右位置 x_l 、 x_r ,即 ROI 左沿和右沿的线号,由最左边扫描线开始向右计数,无量纲;

[0051] ROI 上、下位置 y_u 、 y_d ,即 ROI 上沿和下沿的点号,由探头表面开始向下计数,无量纲。

[0052] 其中所谓 ROI 就是感兴趣区域,即由用户选择的线号和点号范围构成的矩形区域。通常情况下,扫描线的推进方向为右,与其相反为左;超声波束的发射方向为下,与其相反为上;通常情况下,探头沿厚度方向移动的方向为前、后方向,具体来说,当右方向和上方向确定以后,用右手定则可以确定前方向。

[0053] 若探头运动方式是扇扫,需要知道:扇扫半径 R_0 ,即扇扫旋转轴到探头表面中心点的距离,单位为像素;以及帧间夹角 θ_0 ,即相邻两帧图像之间的夹角,单位为弧度。

[0054] 若探头运动方式是平扫,需要知道:帧间距离 f_0 ,即相邻两帧图像之间的距离,单位为像素。

[0055] 另外,无论哪种探头运动方式,都需要知道:采集帧数 n ,即采集的图像总帧数,无量纲。

[0056] 以上给出了两种探头类型和两种探头运动方式所需要获取的参数,对于任一采集模式,需要获取的参数就是它包含的两项属性的参数组合。另外,上面以像素为单位的各个参数,需要将实际物理距离以统一的标准进行量化。例如,指定扫描线内相邻两点之间的距离为一个像素,这时 $p_0 = 1$;或者指定 1 毫米长度为一个像素,等等。

[0057] 如图 4 所示,是按照本发明实施例的用于超声成像的重构方法的流程图。其中在生成步骤 401 中,从原始体数据生成重构体数据;在构造步骤 403 中,根据采集模式确定重构六面体的各面形状,并根据采集姿态参数确定出重构六面体各面的曲面方程(包括但不限于完备曲面方程),由曲面的交割构成重构六面体,以给出重构六面体的整体图形化表达;以及在变换步骤 405 中,根据重构体数据确定体数据坐标至几何体坐标的变换关系,以

将体数据坐标变换至几何体坐标。由于坐标变换的方法已经非常成熟,所以在此将阐述的重点集中于重构六面体的表达方法。

[0058] 为了描述的方便,需要建立两个坐标系:体数据坐标系,用于表示重构体数据;几何体坐标系,用于表示重构六面体。这两个坐标系的方向一致,而原点位置不同。且它们的量度均与重构体数据的体素量度一致,而体素量度又是与上文提到的像素量度是一致的。

[0059] 体数据坐标系的 X 方向对应扫描的线间方向,向右为正,原点位于重构体数据的最左端位置;Y 方向对应扫描的点间方向,向上为正,原点位于重构体数据的最下端位置;Z 方向对应扫描的帧间方向,向前为正,原点位于重构体数据的最后端位置。

[0060] 几何体坐标系的 X、Y、Z 方向定义与体数据坐标系相同,而原点位置不同。对于各种采集模式,X、Z 方向的原点都位于重构体数据在 X、Z 方向的中心位置。对于凸阵扇扫和线阵扇扫模式,Y 方向原点位于扇扫旋转轴处;对于凸阵平扫模式,Y 方向原点位于探头圆心处;对于线阵平扫模式,Y 方向原点位于重构体数据在 Y 方向的中心位置。

[0061] 显然,重构六面体的表面由六个不同形状的曲面组成,若能给出各个曲面的方程,则重构六面体就可以唯一地表达。本实施例首先需要确认曲面的形状,它与采集模式有关,如表 1 所示:

[0062] 表 1 四种采集模式下,重构六面体各表面的曲面形状

[0063]

模 式 位 置	凸阵扇扫	凸阵平扫	线阵扇扫	线阵平扫
上、下曲面	圆环面	圆柱面	圆柱面	正平面
左、右曲面	圆锥面	斜平面	正平面	正平面
前、后曲面	斜平面	正平面	斜平面	正平面

[0064] 其中正平面是与坐标轴垂直的平面,斜平面是不与坐标轴垂直的平面。圆柱面是一条直线绕与之平行的一条直线旋转一周形成的曲面,圆锥面是一条射线绕过其端点的一条直线旋转一周形成的曲面,圆环面是一个圆绕与之共面的一条直线旋转一周形成的曲面。圆柱面的另一种定义是:一个圆沿与之所在平面垂直且过其圆心的直线移动所形成的曲面,本实施例将使用这种定义,并称这个圆为“基圆”,这条直线为“主轴”。而圆锥面、圆环面的共同特点是,它们都是一条曲线绕与之共面的一条直线旋转一周得到的曲面。通常称这条曲线为“母线”,这条直线为“旋转轴”,本实施例称圆环面的母线为“母圆”。按照本实施例的坐标系定义,主轴和旋转轴可以刚好与 X 轴或 Z 轴重合,这样的定义将给计算带来很大的便利。这时,基圆可以定义在垂直主轴的任意平面上,母线和母圆可以定义在经过旋转轴的任意平面上,但同样为计算便利起见,本实施例将它们指定到 XY 平面或 YZ 平面。

[0065] 在上面定义的各种曲面中,平面、圆锥面、圆柱面都是在空间无限延伸的,圆环面虽然是有限的,但也存在冗余的部分。本实施例称上述曲面为“完备曲面”,重构六面体的各个表面实际只是上述曲面的一部分,称为“局部曲面”。例如,在线阵平扫采集模式下,各个完备曲面为平面,而局部曲面为空间中的长方形。若使用局部曲面进行计算,无论曲面表示还是光线裁剪都是非常复杂的。因此,本实施例的作法是:将局部曲面扩展为完备曲面,并

使用六个完备曲面依次进行光线裁剪,将六次裁剪得到的区间求得交集,就是最终的光线裁剪结果。

[0066] 为了进行光线裁剪,需要在光线与曲面相交时判断光线是穿入还是穿出重构六面体,因此需要给出各个曲面的法向量。若称向着几何体内部的方向为曲面的内侧,向着几何体外部的方向为曲面的外侧,则可以指定曲面法向量的正向为垂直曲面并指向曲面内侧的方向。为提高时间和空间效率,本实施例并没有逐点计算法向量,而是将整个曲面的法向量特征集中表示出来,本实施例称为“整体法向量”。平面上各点的法向量是相同的,因此可以整体给出准确值,本实施例称为“定量法向量”;而其他形状的曲面上各点法向量是随位置而变化的,但是可以整体给出定性值,本实施例称为“定性法向量”。定性法向量的表示方法看似不太严格,但是在后面可以看到,这样的表示方法足以满足本实施例计算的需要。

[0067] 以下将针对各种采集模式,给出组成重构六面体表面的六个完备曲面的表达式,并且按照上、下、左、右、前、后的顺序逐一给出。

[0068] 首先,讨论凸阵扇扫采集模式,如图 5。上、下曲面为圆环面,在 XY 平面给出母圆方程为:

$$[0069] \quad x^2 + (y-R)^2 = r^2 \quad (1)$$

[0070] 其中, R 是母圆圆心到旋转轴的距离,由于上、下曲面的母圆是同心圆,其 R 值相同,计算公式为:

$$[0071] \quad R = r_0 - R_0 \quad (2)$$

[0072] r 是母圆的半径,上、下曲面具有不同的 r 值。若将上曲面的 r 值另记作 r_u ,则有

$$[0073] \quad r_u = r_0 + y_u p_0 \quad (3)$$

[0074] 若将下曲面的 r 值另记作 r_d ,则有

$$[0075] \quad r_d = r_0 + y_d p_0 \quad (4)$$

[0076] 由于圆环面的有效部分是母圆在 X 轴下方的部分旋转而成的,即满足 $y < 0$,那么将 y 替换为 $-\sqrt{y^2 + z^2}$,得到圆环面的方程

$$[0077] \quad x^2 + (\sqrt{y^2 + z^2} + R)^2 = r^2 \quad (5)$$

[0078] 展开该式,得

$$[0079] \quad 2R\sqrt{y^2 + z^2} = r^2 - R^2 - x^2 - y^2 - z^2 \quad (6)$$

[0080] 为消去根号,将两边平方并整理得

$$[0081] \quad z^4 + 2y^2 z^2 + 2x^2 z^2 + (-2r^2 - 2R^2)z^2 + y^4 + 2y^2 x^2 + (-2r^2 - 2R^2)y^2 + x^4 + (-2r^2 + 2R^2)x^2 + (r^2 - R^2)^2 = 0 \quad (7)$$

$$[0083] \quad + (-2r^2 - 2R^2)y^2 + x^4 + (-2r^2 + 2R^2)x^2 + (r^2 - R^2)^2 = 0$$

[0084] 为了避免平方引起的增根,需加以限制条件

$$[0085] \quad r^2 - R^2 - x^2 - y^2 - z^2 \geq 0 \quad (8)$$

[0086] 式 7 和式 8 实际是与式 6 等价的有理化表示,本实施例将式 7 称作“扩展方程”,式 8 称作“约束条件”,它们联合构成了正确的上、下曲面方程。

[0087] 这里还需要给出上、下曲面的整体法向量。对于上曲面,圆环面外部对应重构六面体内部,因此法向量向外,定性法向量只需记录向外即可;对于下曲面,圆环面内部对应重构六面体内部,因此法向量向内,定性法向量只需记录向内即可。

[0088] 以上给出了凸阵扇扫采集模式上、下曲面的准确表示方法,即表示为圆环面的方法。可以看到,该方程的形式较为复杂,而且次数较高,增加了光线裁剪过程中建立和求解联立方程的计算量。为简化曲面方程,达到进一步提高速度的目的,可以考虑曲面逼近方法。由于圆环面是XY面上的弓形绕X轴旋转得出的,因此一种较好的逼近方法是用主轴定义在X轴和Y轴上的椭圆逼近该弓形,从而可以用椭球面逼近圆环面。本实施例给出两种逼近方案,如图6。

[0089] 方案一,令椭圆过ACE三点,则XY平面的椭圆方程可以直接写出

$$[0090] \quad \frac{x^2}{r^2 - R^2} + \frac{y^2}{(r - R)^2} = 1 \quad (9)$$

[0091] 其中r和R与式1中用到的变量相同。

[0092] 椭圆绕X轴旋转,得到椭球面的方程是

$$[0093] \quad \frac{x^2}{r^2 - R^2} + \frac{y^2 + z^2}{(r - R)^2} = 1 \quad (10)$$

[0094] 方案二,令椭圆过BCD三点,则XY平面的椭圆方程可以表示成

$$[0095] \quad \frac{x^2}{\lambda} + \frac{y^2}{(r - R)^2} = 1 \quad (11)$$

[0096] 其中r和R与式1中用到的变量相同, λ 是待定系数。将D点坐标 $(r \sin \frac{\phi}{2}, R - r \cos \frac{\phi}{2})$ 代入式11可解出 λ ,进而写出椭圆方程为

$$[0097] \quad \frac{1 - (\frac{r \cos \frac{\phi}{2} - R}{r - R})^2}{r^2 \sin^2 \frac{\phi}{2}} x^2 + \frac{y^2}{(r - R)^2} = 1 \quad (12)$$

[0098] 上述椭圆绕X轴旋转,得到椭球面的方程:

$$[0099] \quad \frac{1 - (\frac{r \cos \frac{\phi}{2} - R}{r - R})^2}{r^2 \sin^2 \frac{\phi}{2}} x^2 + \frac{y^2 + z^2}{(r - R)^2} = 1 \quad (13)$$

[0100] 式13可化简为:

$$[0101] \quad [1 - \frac{2R}{(1 + \cos \frac{\phi}{2})r}] x^2 + y^2 + z^2 - (r - R)^2 = 0 \quad (14)$$

[0102] 式10和式14分别给出了方案一和方案二的表示方程。与原方案相比,无论方案一还是方案二,表示方程的次数都由四次降低为二次,而且不需要求解约束条件,因此可以有效减少建立和求解联立方程的计算量。另外,从图6可以看到,方案一的椭圆曲线与弓形曲线还存在一定偏差,而方案二的椭圆曲线几乎与弓形曲线完全重合。也就是说,方案二的曲线逼近准确程度很高,从而用椭球面逼近圆环面的准确程度也很高。虽然式14看似比式10复杂很多,但是由于曲面方程只需在重构环节中计算一次,由此增加的计算量可以忽略不计。因此,出于对速度和质量的折衷考虑,本实施例优选地选择方案二。

[0103] 另外,椭球面作为表1未给出的一种曲面形状,其整体法向量的标记方法与圆环

面完全相同,即上曲面的定向法向量向外,下曲面的定向法向量向内。至此,给出了凸阵扇扫采集模式上、下曲面的表示方法。

[0104] 凸阵扇扫采集模式的左、右曲面为圆锥面,在 XY 平面给出母线方程为:

$$[0105] \quad y = kx + R \quad (15)$$

[0106] 其中 R 仍由式 2 给出, k 是母线的斜率,左、右曲面具有不同的 k 值。若将左曲面的 k 值另记作 k_l ,则有

[0107]

$$k_l = (\tan \frac{\varphi}{2})^{-1} \quad (16)$$

[0108] 若将右曲面的 k 值另记作 k_r ,则有

[0109]

$$k_r = -(\tan \frac{\varphi}{2})^{-1} \quad (17)$$

[0110] 其中 φ 是 ROI 张角,即 ROI 左沿和右沿的夹角,计算公式为

[0111]

$$\varphi = (x_r - x_l)\varphi_0 \quad (18)$$

[0112] 由于圆锥面的有效部分是母线在 X 轴下方的部分旋转而成的,即满足 $y < 0$,那么将 y 替换为 $-\sqrt{y^2 + z^2}$,得到圆锥面的方程

$$[0113] \quad -\sqrt{y^2 + z^2} = kx + R \quad (19)$$

[0114] 为消去根号,两边平方并整理得

$$[0115] \quad z^2 + y^2 - k^2 x^2 - 2kRx - R^2 = 0 \quad (20)$$

[0116] 为了避免平方引起的增根,应该加以限制条件

$$[0117] \quad -kx - R \geq 0 \quad (21)$$

[0118] 类似前面的定义,式 20 为扩展方程,式 21 为约束条件,它们联合构成了正确的左、右曲面方程。在此指出,在本实施例提到的各种曲面形状中,只有圆环面和圆锥面的曲面方程需要采用扩展方程和约束条件联合的方式,而其他各种曲面都将使用独立的方程表示。

[0119] 另外,还需要给出左、右曲面的整体法向量。圆锥面的外部对应重构六面体的内部,其方向与圆锥尖指向方向一致。因此对于左曲面,定性法向量只需记录向右即可;对于右曲面,定性法向量只需记录向左即可。

[0120] 凸阵扇扫采集模式的前、后曲面为斜平面。前曲面的表示方程为

$$[0121] \quad -z - \tan \frac{\theta}{2} y = 0 \quad (22)$$

[0122] 后曲面的表示方程为

$$[0123] \quad z - \tan \frac{\theta}{2} y = 0 \quad (23)$$

[0124] 其中 θ 为扇扫张角,即采集首帧和末帧间的夹角,计算公式为

$$[0125] \quad \theta = n \theta_0 \quad (24)$$

[0126] 这里还需要给出前、后曲面的整体法向量。事实上,对于任意平面方程,将 x、y、z 的系数顺序排列构成的向量,将与平面法向量方向一致或相反。由于本实施例在给出式 22 和式 23 中已经注意到系数的符号,可以保证这样构成的向量是与平面法向量一致的。这

样,前曲面的定量法向量为 $(0, -\tan \frac{\theta}{2}, -1)$,后曲面的定量法向量为 $(0, -\tan \frac{\theta}{2}, 1)$ 。由于本实施例给出的平面方程可以唯一确定平面的定量法向量,因此对于平面而言,不需要专门计算和存储定量法向量,于是节省了时间和空间开销。在下文的阐述中,所有平面方程一律表示为与法向量一致的形式,因此定量法向量将隐含给出,无需表示。

[0127] 以上给出了凸阵扇扫采集模式下的六个曲面方程和整体法向量,由此确定了该模式下的重构六面体表达方法。

[0128] 现在讨论凸阵平扫采集模式。如图 7 所示,上、下曲面为圆柱面,在 XY 平面给出基圆方程为:

$$[0129] \quad x^2 + y^2 = r^2 \quad (25)$$

[0130] 对上曲面取 $r = r_u$,下曲面取 $r = r_d$,且 r_u 和 r_d 仍由式 3 和式 4 给出。

[0131] 式 25 就是上、下曲面的表示方程,也就是说曲面表示方程与其基圆方程是完全相同的。

[0132] 这里还需要给出上、下曲面的整体法向量。对于上曲面,圆柱面外部对应重构六面体内部,因此法向量向外,定性法向量只需记录向外即可;对于下曲面,圆柱面内部对应重构六面体内部,因此法向量向内,定性法向量只需记录向内即可。

[0133] 凸阵平扫采集模式的左、右曲面为斜平面。左曲面的表示方程为

$$[0134] \quad -y + (\tan \frac{\varphi}{2})^{-1} x = 0 \quad (26)$$

[0135] 右曲面的表示方程为

$$[0136] \quad -y - (\tan \frac{\varphi}{2})^{-1} x = 0 \quad (27)$$

[0137] 左、右曲面的整体法向量已由平面方程隐含给出。

[0138] 凸阵平扫采集模式的前、后曲面为正平面。前曲面的表示方程为

$$[0139] \quad -z + \frac{f}{2} = 0 \quad (28)$$

[0140] 后曲面的表示方程为

$$[0141] \quad z + \frac{f}{2} = 0 \quad (29)$$

[0142] 其中 f 为平扫行程,即采集首帧和末帧间的距离,计算公式为

$$[0143] \quad f = n f_0 \quad (30)$$

[0144] 前、后曲面的整体法向量已由平面方程隐含给出。

[0145] 以上给出了凸阵平扫采集模式下的六个曲面方程和整体法向量,由此确定了该模式下的重构六面体表达方法。

[0146] 现在讨论线阵扇扫采集模式。如图 8 所示,上、下曲面为圆柱面,在 YZ 平面给出基圆方程为:

$$[0147] \quad y^2 + z^2 = r^2 \quad (31)$$

[0148] r 是基圆的半径,上、下曲面具有不同的 r 值。若将上曲面的 r 值另记作 r_u' ,则有

$$[0149] \quad r_u' = R_0 + y_u p_0 \quad (32)$$

[0150] 若将下曲面的 r 值另记作 r_d' , 则有

$$[0151] \quad r_d' = R_0 + y_d p_0 \quad (33)$$

[0152] 式 31 就是上、下曲面的表示方程, 也就是说曲面表示方程与其基圆方程是完全相同的。

[0153] 这里还需要给出上、下曲面的整体法向量。对于上曲面, 圆柱面外部对应重构六面体内部, 因此法向量向外, 定性法向量只需记录向外即可; 对于下曲面, 圆柱面内部对应重构六面体内部, 因此法向量向内, 定性法向量只需记录向内即可。

[0154] 线阵扇扫采集模式的左、右曲面为正平面。左曲面的表示方程为

$$[0155] \quad x + \frac{l}{2} = 0 \quad (34)$$

[0156] 右曲面的表示方程为

$$[0157] \quad -x + \frac{l}{2} = 0 \quad (35)$$

[0158] 其中 l 为 ROI 宽度, 即 ROI 左沿与右沿之间的距离, 计算公式为

$$[0159] \quad l = (x_r - x_l) l_0 \quad (36)$$

[0160] 其中左、右曲面的整体法向量已由平面方程隐含给出。

[0161] 线阵扇扫采集模式的前、后曲面为斜平面, 其方程与凸阵扇扫采集模式的前、后曲面相同, 见式 22 和式 23。

[0162] 以上给出了线阵扇扫采集模式下的六个曲面方程和整体法向量, 由此确定了该模式下的重构六面体表达方法。

[0163] 现在讨论线阵平扫采集模式。如图 9 所示, 上、下曲面为正平面, 上曲面的表示方程为

$$[0164] \quad -z + \frac{p}{2} = 0 \quad (37)$$

[0165] 下曲面的表示方程为

$$[0166] \quad z + \frac{p}{2} = 0 \quad (38)$$

[0167] 其中 p 为 ROI 高度, 即 ROI 上沿与下沿之间的距离, 计算公式为

$$[0168] \quad p = (y_d - y_u) p_0 \quad (39)$$

[0169] 上、下曲面的整体法向量已由平面方程隐含给出。

[0170] 线阵平扫采集模式的左、右曲面为正平面, 其方程与线阵扇扫采集模式的左、右曲面相同, 见式 34 和式 35。

[0171] 线阵平扫采集模式的前、后曲面为正平面, 其方程与凸阵平扫采集模式的前、后曲面相同, 见式 28 和式 29。

[0172] 至此, 已经给出了所有采集模式下重构六面体的表达方法。这时, 重构六面体被看作六个曲面组成的几何体, 由于每个曲面的表达已经足够充分, 因此在后面的光线裁剪中, 将不再需要考虑当前的采集模式, 也不需要考虑当前曲面来自上、下、左、右、前、后的哪个方向。

[0173] 以上表达是在几何体坐标系下给出的, 而光线方程通常在体数据坐标系下给出, 采样点插值也只能在体数据坐标系下完成, 因此, 需要能够给出两个坐标系下的坐标互相

变换的方法。

[0174] 既然已经得到了重构体数据,必然知道它在 X、Y、Z 三个方向上的尺寸,记为 W_x 、 W_y 、 W_z 。由于几何体坐标系 X、Z 方向的原点都位于重构体数据在 X、Z 方向的中心位置,因此这两个方向的坐标变换关系很容易确定。为确定 Y 方向的坐标变换关系,设几何体坐标系原点距离重构体数据上表面为 D,以向上为正。可以计算出,对于凸阵扇扫采集模式

[0175]

$$D = (r_0 + y_u p_0) \cos \frac{\varphi}{2} + R_0 - r_0 \quad (40)$$

[0176] 对于凸阵平扫采集模式

[0177]

$$D = (r_0 + y_u p_0) \cos \frac{\varphi}{2} \quad (41)$$

[0178] 对于线阵扇扫采集模式

$$D = (R_0 + y_u p_0) \cos \frac{\theta}{2} \quad (42)$$

[0180] 对于线阵平扫采集模式

[0181]

$$D = -\frac{W_y}{2} \quad (43)$$

[0182] 至此,可以确定两个坐标系间的变换关系,设某点在几何体坐标系下的坐标为 (x, y, z),该点在体数据坐标系下的坐标为 (x', y', z'),则从几何体坐标系变换到体数据坐标系的变换关系是

$$[0183] \quad \begin{cases} x' = x + \frac{W_x}{2} \\ y' = y + W_y + D \\ z' = z + \frac{W_z}{2} \end{cases} \quad (44)$$

[0184] 从体数据坐标系变换到几何体坐标系的方法是

$$[0185] \quad \begin{cases} x = x' - \frac{W_x}{2} \\ y = y' - W_y - D \\ z = z' - \frac{W_z}{2} \end{cases} \quad (45)$$

[0186] 以上完成了重构环节,现在开始执行绘制环节。如图 10 所示,是按照本发明实施例的用于超声成像的绘制方法的流程图。其中在裁剪步骤 1001 中,通过求解光线方程与重构六面体的每个曲面方程组成的方程组,将该光线在该曲面内侧的部分确定为该光线对该曲面的独立有效区间,对确定的六个独立有效区间求交集得到联合有效区间;以及在投射步骤 1003 中,利用光线对联合有效区间中的体数据进行采样,并对每个采样点进行插值与合成,以得到当前像素的灰度值;其中得到所有像素的灰度值后,就完成了绘制过程。下面对按照本实施例的用于超声成像的绘制方法进行具体说明。

[0187] 绘制方法仍然是基于光线投射算法的。设当前光线的起点为 (P_x, P_y, P_z),由每个

采样点到下一个采样点的向量为 (d_x, d_y, d_z) , 本实施例称这样的向量为当前光线的“步进向量”。这时, 当前光线的姿态已经完全确定, 可以计算出, 第 t 个采样点的坐标 (x, y, z) 是

$$[0188] \quad \begin{cases} x' = P_x + d_x t \\ y' = P_y + d_y t \\ z' = P_z + d_z t \end{cases} \quad (46)$$

[0189] 这可以看作关于 t 的参数方程, 如果上述坐标是在体数据坐标系下给出的, 则需要根据式 44 变换到几何体坐标系, 得到几何体坐标系下的坐标 (x, y, z) , 其表达式仍然是关于 t 的参数方程。

[0190] 对光线进行裁剪, 实际就是求出满足采样点 (x, y, z) 在重构六面体范围内的参数 t 范围, 本实施例称这样的范围为当前光线的“联合有效区间”。由于重构六面体的形状可能是不凸的, 因此联合有效区间除了可能是空区间和一段连续区间之外, 还可能是多段连续区间组成的集合。本实施例称这样的每个连续区间为联合有效区间的“连续区段”。事实上, 对于已有的四种采集模式, 联合有效区间最多由两个连续区段组成。为计算联合有效区间, 本实施例将使用基于图形的解析方法, 这与逐点查表计算方法具有本质的不同。

[0191] 显然, 各个连续区段的端点一定对应光线与某个曲面的交点。为了求得光线与曲面的交点, 需要求解光线方程和曲面方程联立构成的方程组, 本实施例称为“光线曲面方程组”。由于光线方程相对比较简单, 通常是将光线方程代入曲面方程。如果曲面方程是由扩展方程和约束条件联合构成的, 将光线方程代入扩展方程解出 t 之后, 还需要将各个解代入约束条件检查是否适合, 最终只保留适合的解。

[0192] 显然, 若原来的曲面是 N 次的, 则光线曲面方程组通常可以化为一个关于 t 的一元 N 次方程, 本实施例称为“联立方程”。至于曲面的次数, 与表面形状有关, 其中平面为一次曲面, 椭球面、圆锥面、圆柱面为二次曲面, 圆环面为四次曲面, 因此它们对应的 N 分别等于 1, 2, 4。根据有关数学定理, 四次以下的方程可以用解析方法求解, 而高于四次的方程一般只能用数值方法求解。由于联立方程最高是四次的, 因此都可以用解析方法求解。

[0193] 光线与曲面的交点对应着联立方程的实数解, 若其中有 n 重实数解, 则需当作 n 个解处理。一般来说, 一元 N 次方程最多有 N 个实数解, 但对本实施例给出的情况, 每个曲面与光线最多有两个交点, 因此每个联立方程最多有两个实数解。本实施例不考虑无穷多个解的情况, 此情况表示光线完全位于曲面上, 实际是一种临界状态, 可当作无解处理。

[0194] 对每个联立方程求解之后, 还需要根据解集确定光线对当前曲面而言的有效区间, 即光线在曲面内侧的部分, 本实施例称这样的区间为当前曲面决定的“独立有效区间”。以下将根据曲面的不同形状, 介绍由解集确定独立有效区间的方法。

[0195] 对于平面, 根据平面的几何性质, 光线与平面的联立方程可能得到 0 个解或一个解。若光线与平面平行, 联立方程将得到 0 个解; 若光线与平面相交, 联立方程将得到一个解。

[0196] 若联立方程有 0 个解, 将光线起点 (P_x, P_y, P_z) 代入平面方程的左边, 若结果为正, 则独立有效区间为全区间 $(-\infty, +\infty)$, 否则独立有效区间为空区间 Φ 。

[0197] 若联立方程有一个解, 设其为 t_1 。计算光线步进向量 (d_x, d_y, d_z) 与平面法向量的点积, 若点积为正, 则独立有效区间为右区间 $(t_1, +\infty)$, 否则独立有效区间为左区间 $(-\infty, t_1)$ 。

[0198] 对于圆柱面,根据圆柱面的几何性质,光线与圆柱面的联立方程可能得到 0 个解或两个解。若光线与圆柱面平行,联立方程将得到 0 个解;若光线与圆柱面相交两次,联立方程将得到两个解。

[0199] 若联立方程有 0 个解,当光线起点位于曲面内侧时,即光线起点位于圆柱内且定性法向量向内,或者光线起点位于圆柱外且定性法向量向外时,独立有效区间为全区间 $(-\infty, +\infty)$, 否则独立有效区间为空区间 Φ 。

[0200] 若联立方程有两个解,设其为 $\{t_1, t_2\}$,当曲面法向量向外时,独立有效区间为外区间 $(-\infty, t_1) \cup (t_2, +\infty)$;当曲面法向量向内时,独立有效区间为内区间 (t_1, t_2) 。

[0201] 对于圆锥面,根据圆锥面的几何性质,光线与圆锥面的联立方程可能得到 0 个解、一个解或两个解。若光线与圆锥面相离,联立方程将得到 0 个解;若光线与圆锥面相交一次,联立方程将得到一个解;若光线与圆锥面相交两次,联立方程将得到两个解。

[0202] 若联立方程有 0 个解,独立有效区间为全区间 $(-\infty, +\infty)$ 。

[0203] 若联立方程有一个解,设其为 t_1 。当光线步进向量的 X 分量方向与圆锥面的定性法向量方向一致时,即 $d_x > 0$ 且定性法向量向右,或 $d_x < 0$ 且定性法向量向左时,独立有效区间为右区间 $(t_1, +\infty)$, 否则独立有效区间为左区间 $(-\infty, t_1)$ 。

[0204] 若联立方程有两个解,设其为 $\{t_1, t_2\}$,独立有效区间为外区间 $(-\infty, t_1) \cup (t_2, +\infty)$ 。

[0205] 对于圆环面,根据圆环面的几何性质,光线与圆环面的联立方程可能得到 0 个解或两个解。若光线与圆环面相离,联立方程将得到 0 个解;若光线与圆环面相交两次,联立方程将得到两个解。

[0206] 若联立方程有 0 个解,当定性法向量向外时,独立有效区间为全区间 $(-\infty, +\infty)$;当定性法向量向内时,独立有效区间为空区间 Φ 。

[0207] 若联立方程有两个解,设其为 $\{t_1, t_2\}$,当定性法向量向外时,独立有效区间为外区间 $(-\infty, t_1) \cup (t_2, +\infty)$;当定性法向量向内时,独立有效区间为内区间 (t_1, t_2) 。

[0208] 对于椭球面,方法与圆环面完全相同。

[0209] 以上给出了各种曲面形状下由解集生成独立有效区间的方法。对重构六面体的六个表面,以此逐一计算,将得到六个独立有效区间。对六个独立有效区间求交集,就得到了联合有效区间,也就是用重构六面体对当前光线进行裁剪的结果。

[0210] 在本实施例中提出的联合有效区间是以解析方法计算出的,每个连续区段的起点对应的参数 t 可以是小数,因此可以将各段光线的起点准确定位到重构六面体的表面,从而解决了走样问题。

[0211] 完成光线裁剪之后,可以依据联合有效区间进行当前光线的投射。若联合有效区间的连续区段个数为零,表示光线与重构六面体没有交点,可直接结束当前光线投射。若联合有效区间的连续区段个数不为零,则从第一个连续区段的起点开始进行采样,并按照步进向量逐步行进。若有两个连续区段,且采样点到达第一个连续区段的终点时还没有满足光线中止条件,则从第二个连续区段的起点开始采样,并按照步进向量逐步行进。总之,结束当前光线投射的条件是,要么采样点到达最后一个连续区段的终点,要么满足光线中止条件。另外,光线投射中应用联合有效区间的方法还可改变,例如当出现多个连续区段时,可取从第一个连续区段起点到最后一个连续区段终点之间的区间作为光线步进的有效范

围。

[0212] 对当前光线经过的每个采样点进行插值和合成,最终得到当前光线的合成结果,也就是当前像素的灰度值。当所有的像素位置都得到了灰度值,就完成了绘制环节,这时得到的结果就是可视信息,可送入显示设备进行显示。

[0213] 如图 11 所示,是按照本实施例的三维超声成像装置的结构框图,包括采集模块 1101、重构装置 1103 和绘制装置 1105,其中采集模块 1101 用于获取三维超声体数据。

[0214] 重构装置 1103 进一步包括生成模块 1113、构造模块 1123 和变换模块 1133。其中生成模块 1113 用于从原始体数据生成重构体数据;构造模块 1123 根据采集模式确定重构六面体的各面形状,并根据采集姿态参数确定出重构六面体各面的曲面方程(包括但不限于完备曲面方程),由曲面的交割构成重构六面体,以给出重构六面体的整体图形化表达;以及变换模块 1133 根据重构体数据确定体数据坐标至几何体坐标的变换关系,以将体数据坐标变换至几何体坐标。

[0215] 绘制装置 1105 进一步包括裁剪模块 1115 和投射模块 1125。其中裁剪模块 1115 通过求解光线方程与重构六面体的每个曲面方程组成的方程组,将该光线在该曲面内侧的部分确定为该光线对该曲面的独立有效区间,对六个独立有效区间求交集得到联合有效区间;以及投射模块 1125 利用光线对联合有效区间中的体数据进行采样,并对每个采样点进行插值与合成,以得到当前像素的灰度值;得到所有像素的灰度值后,就完成了绘制过程。

[0216] 按照本实施例的上述各模块可以通过软件、硬件或者固件、以及软件、硬件或者固件的组合来实现。

[0217] 图 12 是结合了按照本实施例的三维超声成像装置的成像系统框图。一组通过延迟聚焦的脉冲通过发射电路发送到探头,探头向受测机体组织发射超声波,经一定延时后接收从受测机体组织反射回来的超声波。回波信号进入波束合成器,完成聚焦延时、加权和通道求和。其输出信号经过信号处理,再经按照本实施例的三维超声成像装置处理后,就可以通过显示设备进行显示。当然,按照本实施例的三维超声成像装置也可以通过软件、硬件或者固件、以及软件、硬件或者固件的组合实现在各种超声成像系统中。

[0218] 以上通过具体的实施例对本发明进行了说明,但本发明并不限于这些具体的实施例。具体来说,重构六面体中的具体表示方法可以改变,例如:(1)采集模式不一定局限为本实施例给出的四种,如果出现其他模式,可以仿照本实施例的方法进行计算和表示;(2)采集姿态参数的具体形式可以改变,例如以像素为单位可以改为以毫米为单位,ROI 左沿位置与右沿位置可以改为 ROI 左沿位置与左右距离,等等,只需将计算公式进行适当的转换,最终可以达到同样的效果;(3)局部曲面不一定需要扩展为完备曲面,可以直接使用局部曲面进行表示和计算;其中局部曲面的完整表达可以由一个完备曲面方程和若干个限制条件联合构成。在进行光线裁剪时,先以完备曲面求出有效范围,再根据限制条件对此范围进行取舍,可以得到光线相对于当前局部曲面的裁剪结果;(4)完备曲面的范围可以变化,例如凸阵扇扫模式上曲面的完备曲面可以表示为满足 $Y < 0$ 的半圆环面;(5)凸阵扇扫模式上下曲面的准确形状为圆环面,在通常情况下,可以近似表示为椭球面;(6)凸阵扇扫模式左右曲面的准确形状为圆锥面,在扇扫张角 θ 较小的情况下,可以近似表示为平面,平面向方程与式 15 给出的母线方程相同;(6)线阵扇扫模式上曲面的准确形状为圆柱面,在其半径 r_u' 较小的情况下,可以忽略该曲面,这时重构六面体退化为五面体,也就是说,图形表

达使用的曲面个数为六个并不是必须的；(7) 不一定使用整体法向量和定性法向量，例如可以逐点计算准确法向量；(8) 几何体坐标系的定义方法可以改变，例如凸阵扇扫和线阵扇扫模式，Y 方向原点位置原来定义在扇扫旋转轴处，可以改为定义在探头圆心处，这时曲面表示方程将相应改变，几何体坐标系与体数据坐标系之间的变换关系也将相应改变。其次，利用重构六面体对光线进行裁剪的具体方法可以改变。例如：(1) 进行光线裁剪前可进行一些预处理，如可首先将重构六面体投影到视平面，得到视平面内的一个有效区域，这样可以预先淘汰不经过有效区域内像素的光线；(2) 由光线曲面方程组得到联立方程的方法可以改变，本发明是将光线方程代入曲面方程，可以改为将曲面方程参数化后代入光线方程；(3) 求解联立方程的方法可以改变，例如可以将解析方法改为数值方法，另外当出现无穷多个解的情况时，解集可以由取空集改为取全集；(4) 由解集确定独立有效区间的方法可以改变，例如二次方程出现两个相等实根时，本发明将此情况与两个不等实根的情况等同处理，可以改为对此情况作专门处理；(5) 在确定独立有效区间时应用法向量的方法可改变，例如可由应用整体法向量改为应用交点处的准确法向量。再次，光线投射的实现方法可以改变，例如：(1) 投影方式可以改变，除了使用透视投影，还可以改用平行投影等方法；(2) 插值方法可以改变，除了使用三线性插值，还可以改用最近邻插值等方法；(3) 合成方法可以改变，除了使用吸收-发散模型进行合成，还可以改用最大值合成、最小值合成、X-Ray 合成等方法。

[0219] 本领域技术人员应该明白，还可以对本发明做各种其他修改、等同替换、变化等等，例如将上述实施例中的一个步骤或模块分为两个或更多个步骤或模块来实现，或者相反，将上述实施例中的两个或更多个步骤或模块的功能放在一个步骤或模块中来实现。但是，这些变换只要未背离本发明的精神，都应在本发明的保护范围之内。另外，本申请说明书和权利要求书所使用的一些术语，例如“上”、“下”、“左”、“右”、“前”、“后”等等，都是相对的，并不是限制，仅仅是为了便于描述。

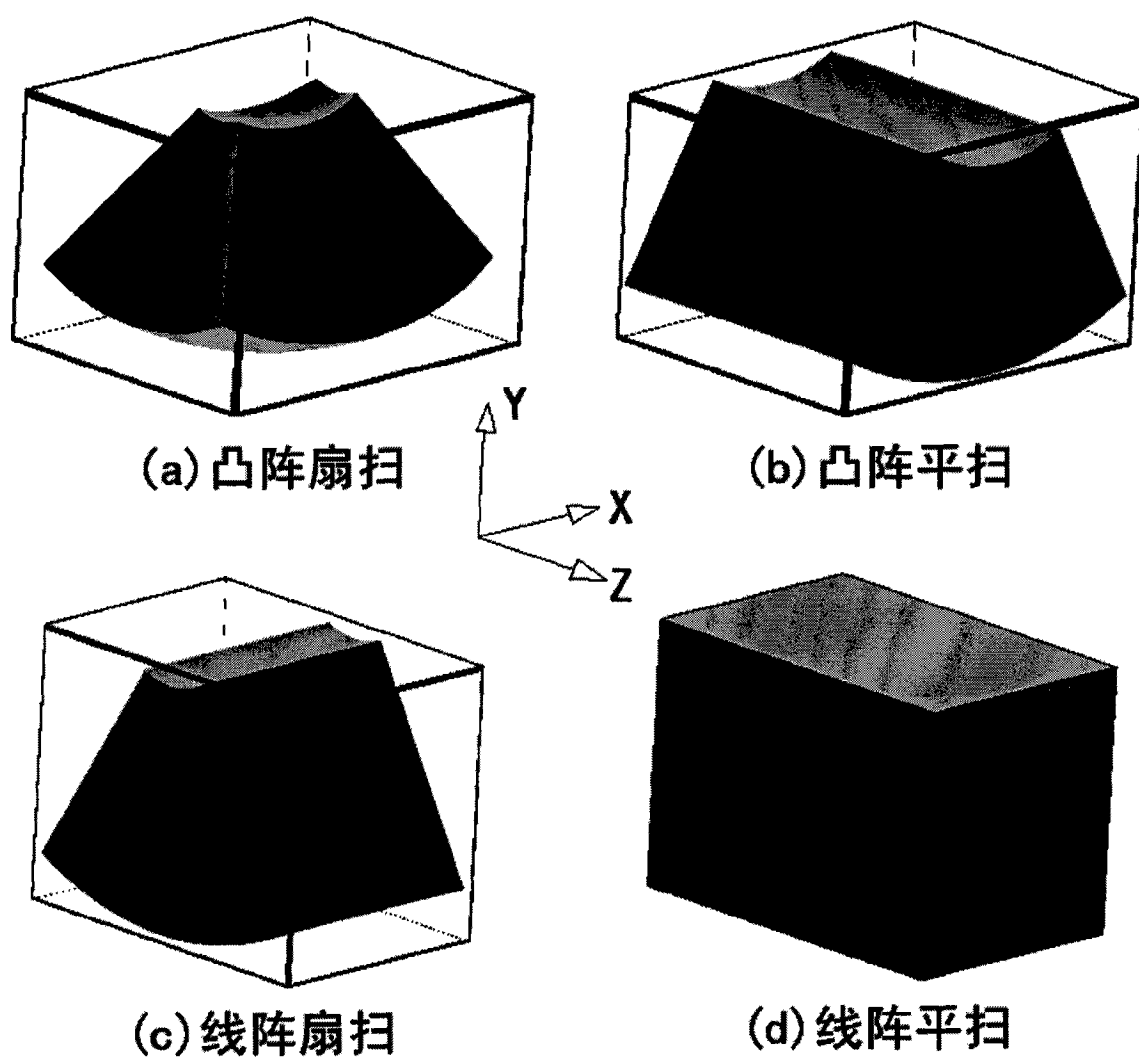


图 1

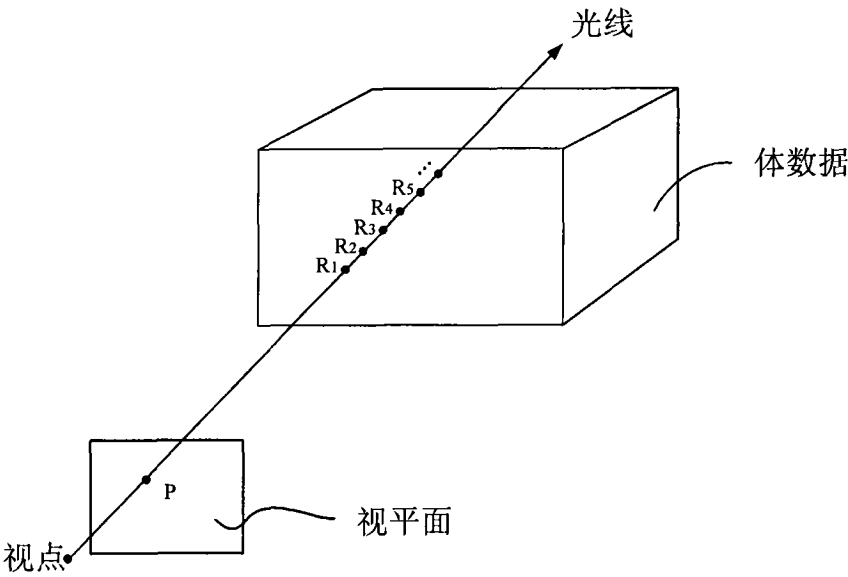


图 2

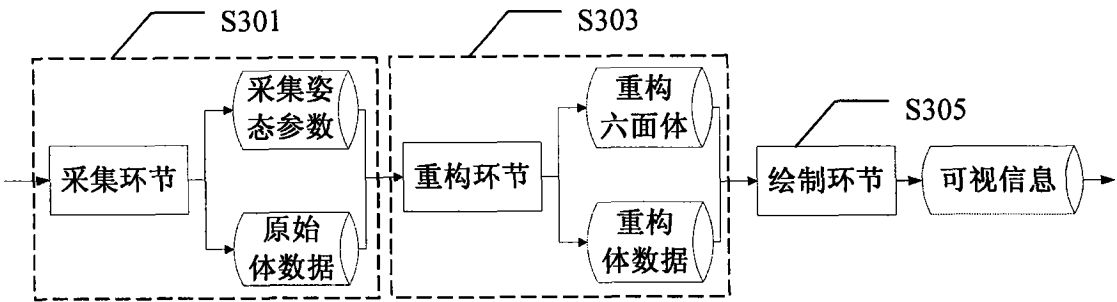


图 3

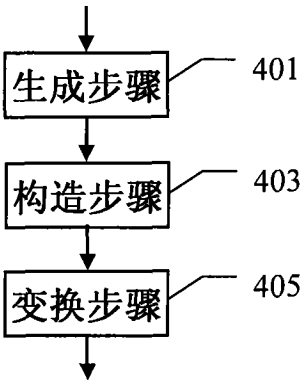


图 4

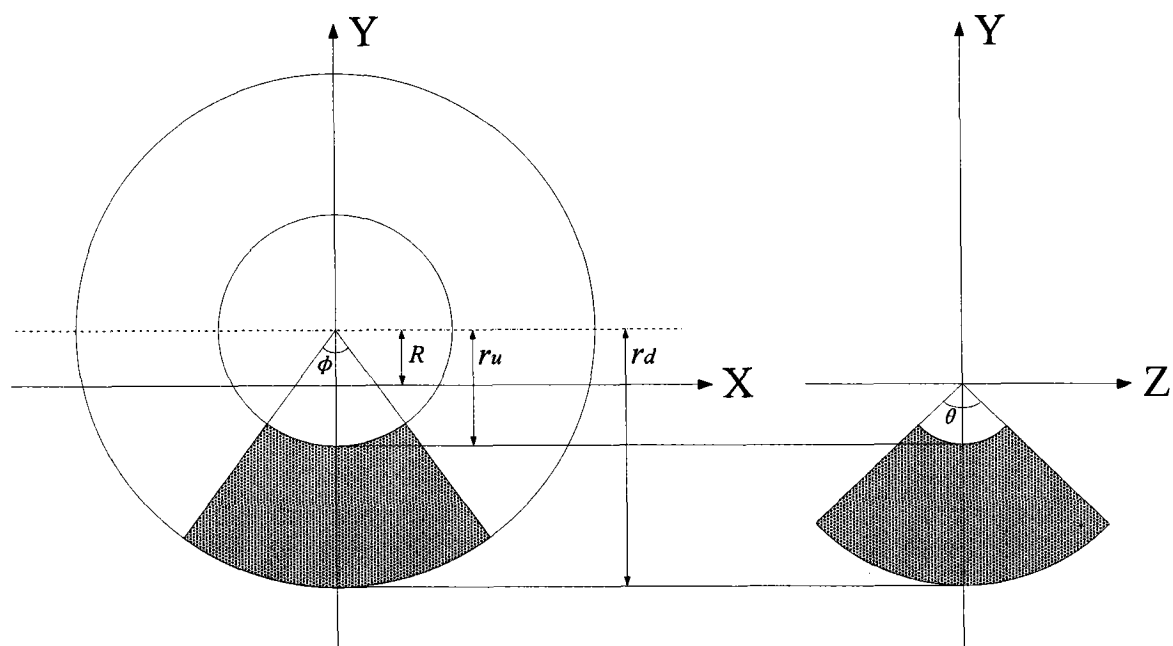


图 5

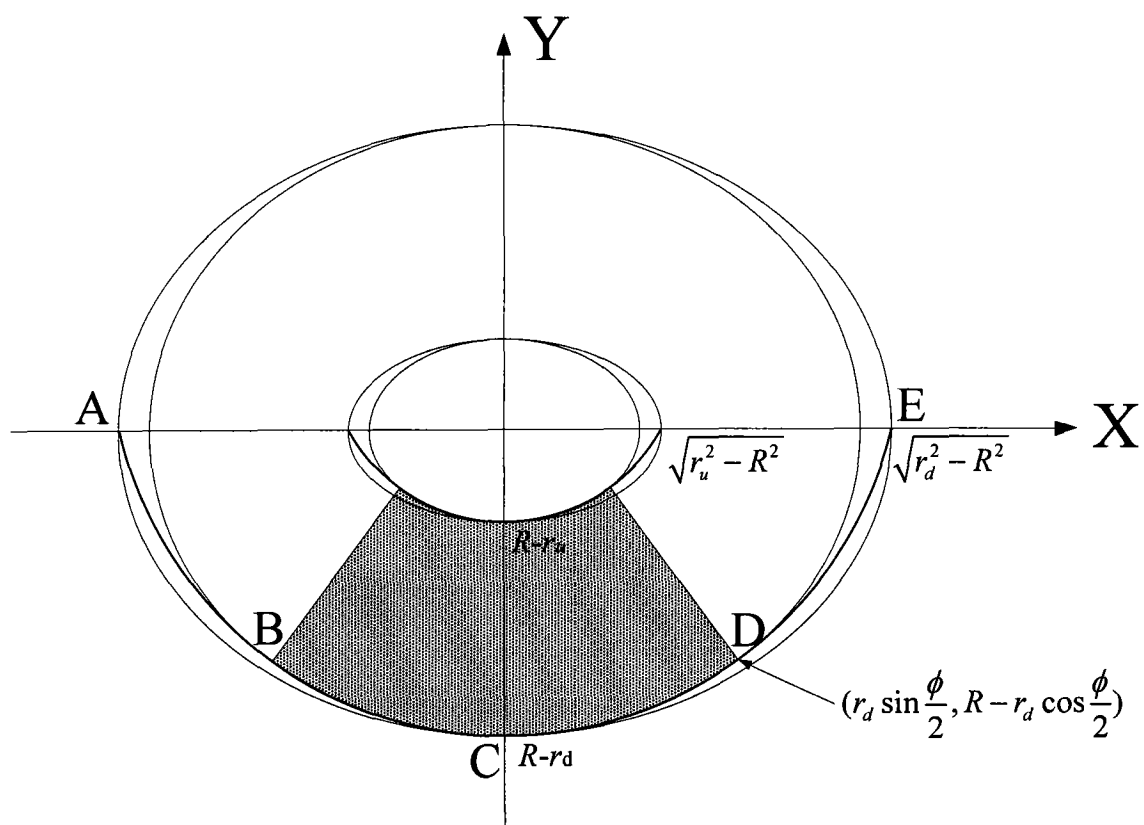


图 6

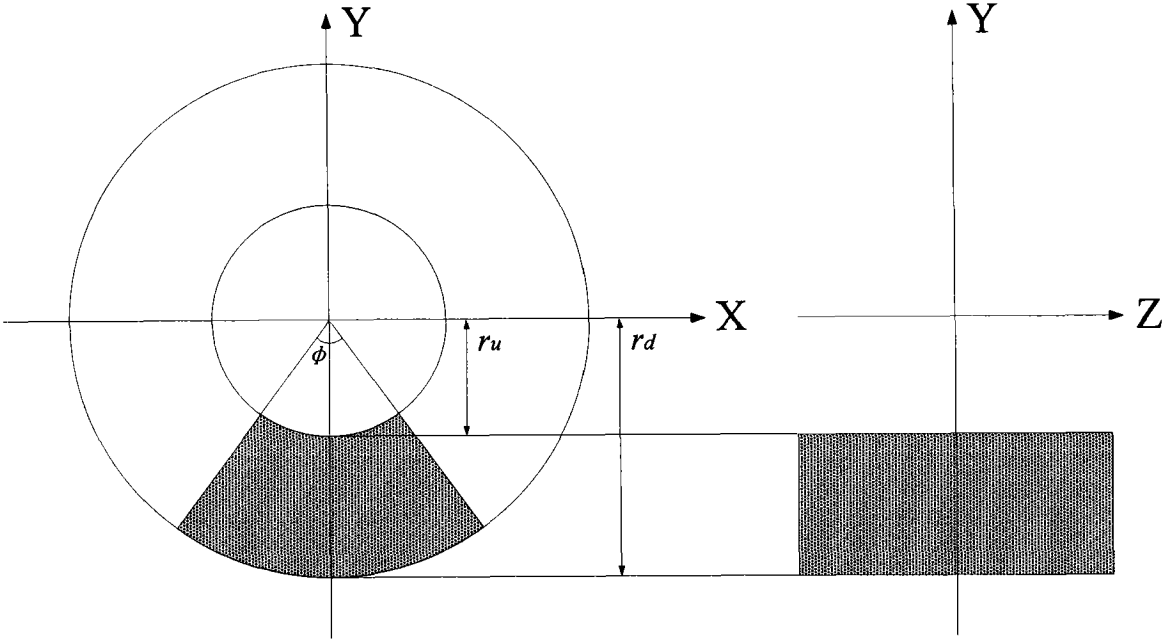


图 7

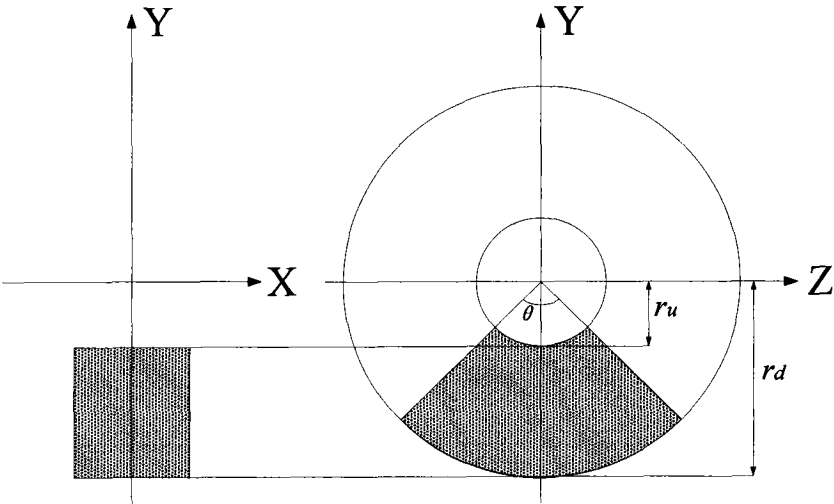


图 8

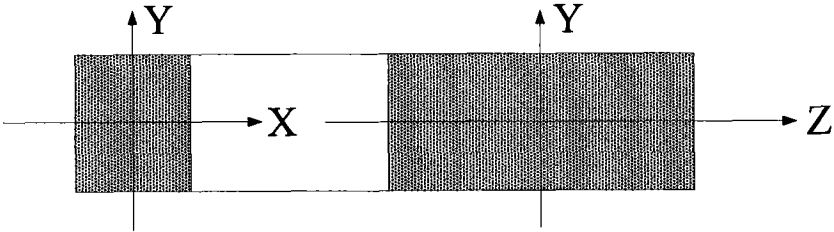


图 9

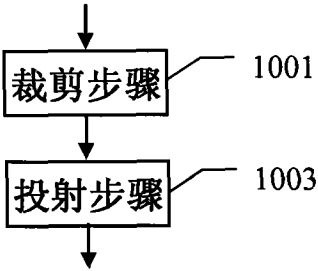


图 10

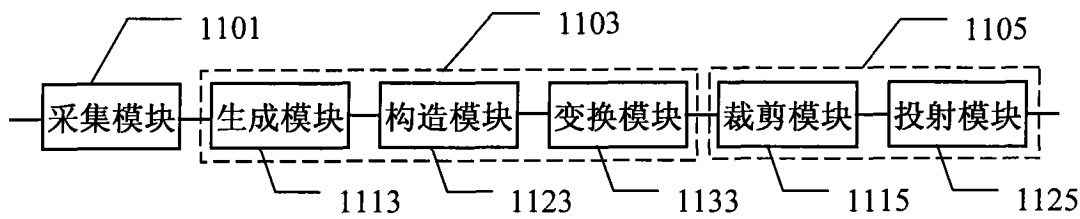


图 11

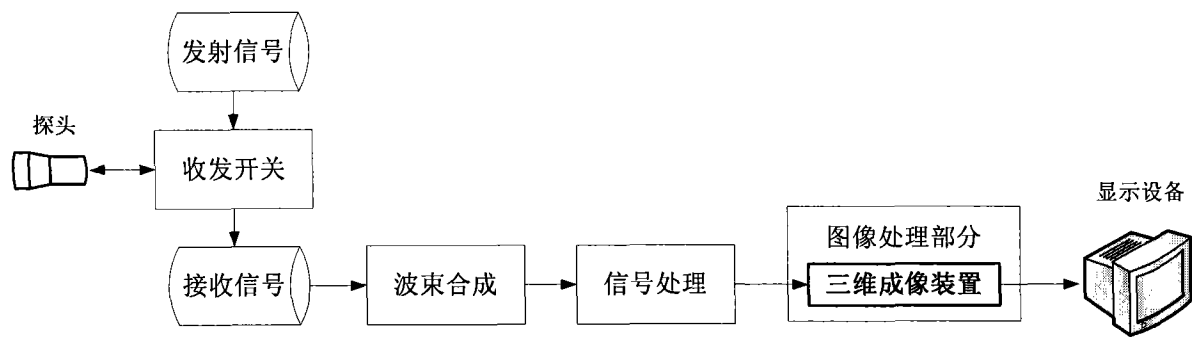


图 12

专利名称(译)	三维超声实时成像方法与装置以及成像系统		
公开(公告)号	CN101770650A	公开(公告)日	2010-07-07
申请号	CN200910104840.1	申请日	2009-01-07
[标]申请(专利权)人(译)	深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司		
申请(专利权)人(译)	深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司		
[标]发明人	田勇 余跃 姚斌 胡勤军		
发明人	田勇 余跃 姚斌 胡勤军		
IPC分类号	G06T11/00 A61B8/13		
代理人(译)	张亚宁		
其他公开文献	CN101770650B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种三维超声实时成像方法与装置以及包括该装置的超声成像系统。利用解析方法和图形化方法来表达体数据的重构多面体，从而能够快速、准确地将光线裁剪到重构多面体范围内，由此实现实时而高质量的三维超声成像。

