



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107004283 B

(45) 授权公告日 2021.07.27

(21) 申请号 201580062573.X

(22) 申请日 2015.11.10

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107004283 A

(43) 申请公布日 2017.08.01

(30) 优先权数据  
14194069.2 2014.11.20 EP(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.05.18(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2015/076115 2015.11.10(87) PCT国际申请的公布数据  
W02016/078958 EN 2016.05.26(73) 专利权人 皇家飞利浦有限公司  
地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 H·H·霍曼 K·埃哈德

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

代理人 李光颖 王英

(51) Int. Cl.

G06T 11/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101777192 A, 2010.07.14

CN 102655810 A, 2012.09.05

CN 103379291 A, 2013.10.30

CN 102763137 A, 2012.10.31

CN 102793555 A, 2012.11.28

CN 104135935 A, 2014.11.05

US 2007183564 A1, 2007.08.09

US 2004264626 A1, 2004.12.30

US 2010135558 A1, 2010.06.03

US 2007092055 A1, 2007.04.26

David Gur et al. Dose Reduction in Digital Breast Tomosynthesis (DBT) Screening using Synthetically Reconstructed Projection Images.《Academic Radiology》.2012,第19卷(第2期),摘要,第167页左栏第2-3段.

杨宏成.基于压缩传感理论的锥束CT断层图像重建算法研究.《中国博士学位论文全文数据库 信息科技辑》.2014,第2014年卷(第9期),

(续)

审查员 崔芳婷

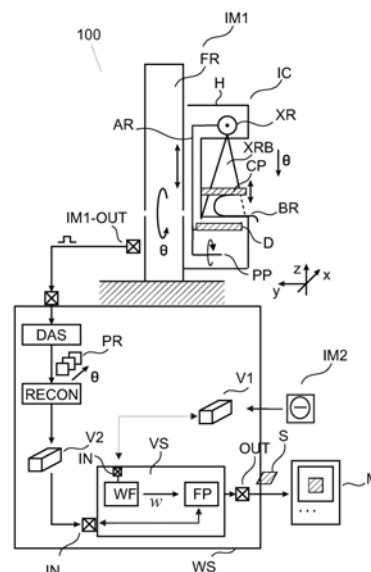
权利要求书1页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

用于根据断层合成数据生成合成乳房摄影图的方法

(57) 摘要

一种用于合成投影图像(S)、方法和相关装置(VS),其尤其用于在乳房摄影中使用。其被提出以根据一个图像体积(V1)计算权重函数,并且然后被用来实施通过另一图像体积块的加权正向投影,以计算跨块(V2)的合成投影图像(S)。



[转续页]

[接上页]

**(56) 对比文件**

Guido van Schie et al. Generating Synthetic Mammograms From Reconstructed Tomosynthesis Volumes.《IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING》.2013,第32卷(第12期),

Peter Rautek et al. Semantic Layers for Illustrative Volume Rendering.《IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS》.2007,第13卷(第6期),

1. 一种用于形成投影图像的图像处理方法,包括:

基于从由断层摄影成像系统采集的第一组数据获得的第一图像(V1),通过计算以下度量中的任何或组合来计算权重函数:信息理论量、边缘度量量、强度度量量,其中,所述第一图像是以下中的任一个:根据由光子计数探测器探测到的数据重建的谱图像、根据多尺度分解导出的重建的空间频率分量图像;

基于从由断层摄影成像系统采集的第二组数据获得的不同于所述第一图像(V1)的至少第二图像(V2),沿着期望的投影方向跨所述第二图像(V2)进行正向投影以产生投影图像,其中,所述第二图像是重建的能量加权的图像体积,其中,所述第一图像或所述第二图像是断层合成体积,并且所述投影图像是合成图像,其中,所述正向投影根据所述权重函数进行加权,并且其中,通过应用插值方案,所述权重函数被重新采样以匹配所述第二图像(V2)的采样。

2. 根据权利要求1所述的图像处理方法,其中,所述第一图像(V1)和所述第二图像(V2)是从具有能量解析的光子计数探测器单元的谱断层摄影成像系统的至少两个不同能量通道导出的,并且预定义的投影几何结构被选择为类似于2D乳房摄影投影几何结构。

3. 根据权利要求1或2所述的图像处理方法,其中,所述权重函数的计算包括局部滤波和/或平滑。

4. 根据权利要求1或2所述的图像处理方法,其中,所述权重函数是来自多个分辨率水平特异性权重函数中的一个,每个分辨率水平特异性权重函数是针对所述第一图像(V1)的不同分辨率水平计算的。

5. 根据权利要求4所述的图像处理方法,其中,所述第二图像是根据多尺度分解导出的,其中,所述第二图像的分辨率水平对应于分辨率特异性权重函数的分辨率水平。

6. 根据权利要求1或2所述的图像处理方法,其中,所述权重函数是通过使用具有不同尺寸的一系列核来计算的。

7. 根据权利要求4所述的图像处理方法,其中,不同权重函数的计算基于的度量随着所述分辨率水平而变化。

8. 根据权利要求1或2所述的图像处理方法,其中,所述投影图像是合成乳房摄影图。

9. 根据权利要求1或2所述的图像处理方法,其中,所述第一图像(V1)和所述第二图像(V2)是动态4D体积,并且其中,所述投影图像对应于动态2D投影视图。

10. 一种图像处理装置(VS),包括被装备为执行根据权利要求1-9中任一项所述的方法的数据处理器。

11. 一种乳房摄影成像系统(MIS),包括根据权利要求10所述的装置。

12. 一种计算机可读介质,其上存储有用于控制根据权利要求10所述的装置的计算机程序,所述计算机程序当被处理单元执行时适于执行根据权利要求1-9中任一项所述的方法的步骤。

## 用于根据断层合成数据生成合成乳房摄影图的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及图像处理方法、图像处理装置、乳房摄影成像系统、计算机程序单元、以及计算机可读介质。

### 背景技术

[0002] 在X射线断层合成中,来自不同角度的多个X射线投影(例如,乳房摄影图)被采集并且计算地被组合为3D断层摄影图像体积。

[0003] 通常,至少一个常规2D乳房摄影图也被采集作为参考图像。然而,这以又一辐射剂量暴露为代价。

[0004] 另一选项是使用计算方法来根据可用3D断层摄影图像体积生成“合成”乳房摄影图视图。

[0005] 计算合成乳房摄影图的方法基于最大强度投影(MIP)方法,并且在US7760924中进行了描述。

### 发明内容

[0006] 可以有对用于计算投影图像的备选方法和相关装置的需要。

[0007] 由独立权利要求的主题来解决本发明的目的,其中,进一步的实施例被包含在从属权利要求中。应当指出,本发明的以下描述的方面同样应用于图像处理装置、乳房摄影图像系统、计算机程序单元、以及计算机可读介质。

[0008] 根据本发明的第一方面,提供了一种用于形成投影图像的图像处理方法,其包括:

[0009] 基于从由断层摄影成像系统采集的第一组数据获得的第一图像,通过计算以下度量中的任何或组合来计算权重函数:信息理论量、边缘度量量、强度度量量,其中,所述第一图像是以下中的任一个:根据由光子计数探测器探测到的数据重建的谱图像、根据多尺度分解导出的重建的空间频率分量图像;基于从由断层摄影成像系统采集的第二组数据获得的至少第二图像,沿着期望的投影方向跨所述第二图像进行正向投影以产生投影图像,其中,所述第二图像是重建的能量加权的图像体积,其中,所述第一图像或所述第二图像是断层合成体积,并且所述投影图像是合成图像,其中,所述正向投影根据所述权重函数进行加权,并且其中,通过应用插值方案,所述权重函数被重新采样以匹配所述第二图像的采样。

[0010] 换言之,图像结构从第一“结构池”图像获取,并且获得的信息然后在跨第二图像的正向投影中被使用,以例如通过加权第二图像中的该图像结构来进行突出。换言之,某些图像结构可以在第一图像中更好地可见,在所述第一图像中权重函数被计算。例如,已经发现密集的组织结构(诸如癌)在到脂肪和腺体组织分量的谱分解的腺体部分中更好地可见。将(从第一图像习得的)权重函数应用于第二图像将会增强这些图像结构,这些图像结构否则可能会第二图像中不可辨别。因为第一图像和第二图像的体积可以不同,所以通过应用插值方案,基于第一图像的权重函数被重新采样以匹配第二图像的采样。假如体积相同,则重新采样可以仅是恒等函数。

[0011] 权重计算将需要针对第一图像完成仅一次,并且然后能够用于另一、第二图像中或实际上多个其他图像中的每一个中的正向投影。这提供了有效的计算实施方式。

[0012] 所述权重函数通过计算以下度量中的任何或组合来计算:信息理论量(诸如熵,具体地香农度量)、边缘度量量、强度度量量、和其他合适的度量。可以设想的是,组合两个或更多个度量以形成组合度量,并且通过将这些度量加权并归一化为单个度量来合并这些度量以捕获不同结构。

[0013] 根据图像处理方法的一个实施例,所述第一图像和所述第二图像是从具有能量解析的光子计数探测器单元的谱断层摄影成像系统的至少两个不同能量通道导出的,并且预定义的投影几何结构被选择为类似于2D乳房摄影投影几何结构。

[0014] 根据一个实施例,所述权重函数的计算包括局部滤波和或平滑。

[0015] 根据一个实施例,所述权重函数是来自多个分辨率水平特异性权重函数中的一个,每个分辨率水平特异性权重函数是针对所述第一图像的不同分辨率水平计算的。

[0016] 根据一个实施例,所述第二图像是根据多尺度分解导出的,其中,所述第二图像的分辨率水平对应于分辨率特异性权重函数的分辨率水平。

[0017] 根据一个实施例,所述权重函数通过使用具有不同尺寸的一系列核来计算。

[0018] 根据一个实施例,不同权重函数的计算基于的度量随着所述分辨率水平而变化。

[0019] 根据一个实施例,所述第一图像或所述第二图像是断层合成体积,并且所述投影图像是合成乳房摄影图。

[0020] 根据一个实施例,所述图像是动态4D体积,并且其中,所述投影图像对应于动态2D投影视图。

[0021] 根据一个实施例,所述图像元素是个体体素或者是所述体积的更粗糙分区的元素。在一个实施例中,图像元素的尺寸能够被调节,由此提供找到在分辨率要求与计算时间和/或存储器约束之间的有用平衡的手段。

[0022] 提出的方法的主要应用(但是不限于)是在X射线乳房摄影中的筛查和诊断。利用本方法,可以省略常规2D乳房摄影图(即,除了先前采集的断层合成体积块之外的实际图像采集(非合成的)),并且合成的图像可以代替常规2D乳房摄影图。诸如肺部/胸部断层合成、整形断层合成的任何种类的断层合成应用将受益于该方法。该方法也能够被应用到提供3D体积的其他成像模态,例如,乳房CT、胸部CT、胸部MR以及其他。

[0023] 由正向投影器使用的投影可以是平行投影或中心投影或其他。

## 附图说明

[0024] 现在将参考以下附图来描述本发明的示范性实施例,其中:

[0025] 图1示出了包括视图合成器的成像布置的方框图;

[0026] 图2示出了在3D图像体积上的图1的视图合成器的操作;

[0027] 图3示出了图像处理方法的流程图;

[0028] 图4示出了示范性影像。

## 具体实施方式

[0029] 参考图1,示出了成像布置100。在一个实施例中,布置100包括诸如(3D)断层合成

乳房摄影成像扫描器(MIS)(在文本中也被更一般地称为“成像器”)的成像模态IM1和用于控制MIS的操作的工作站WS。尽管成像模态IM1在下面被更详细地解释,但是也替代地想到其他(类型)的成像模态,诸如CT(计算机断层摄影)扫描器、MRT等。

[0030] MIS包括被安装在墙上或独立式的框架FR。刚性成像器支架IC被安装在所述框架FR上,从而可沿着垂直轴y滑动。成像器支架可由合适的致动器-控制器布置来供电,以用于沿着所述轴精确定位,从而由此使成像系统适应其乳房BR要被成像的患者的高度要求。

[0031] 成像器支架IC包括可移动臂(或“机架”)AR,X-射线源XR被安装在其一个上端上并且朝向另一下端的X-射线辐射敏感探测器D。臂AR的另一下端终止在枢转点PP中。因此,当臂AR围绕所述枢转点PP摆动时,探测器D和X-射线源XR一起描绘出围绕所述枢转点PP的相应弧段。这在图1a中以插图的方式示出,其提供了MIS上的沿着y-轴的示意前视图。在一个实施例中,臂AR进一步包括被布置在探测器D与X-射线源XR之间的(前置)准直器。支架IC被容纳在具有开口的壳体H中,所述开口定义在X射线源XR与探测器D之间的检查区域。臂AR因此被布置在支架IC中,该探测器D被定位为跨检查区域与辐射源XR相对,以在辐射射束XBR穿过感兴趣区域ROI之后接收所述辐射射束。在检查区域中,具有可(沿着垂直z-轴)滑动布置的压板CP,其能够人工地或通过经由合适的致动器-控制器布置对其供电而在X射线源XR与探测器D之间穿梭。

[0032] 经由合适的接口器件MIS-OUT并且跨通信网络将成像系统MIS连接到工作站WS。通常,工作站是计算系统,利用其,临床医师(“用户”)够控制成像系统的操作。根据一个实施例,也具有显示单元或监视器M,其由工作站WS控制并且其允许显示由成像系统采集的图像。工作站WS运行操作系统,所述操作系统继而控制多个模块的运行,下面将更详细地解释所述多个模块的操作。

[0033] 在使用中,支架IC接收来自工作站WS的控制信号,并且因此被指令以倾斜到相对于检查区域的期望主成像位置 $\theta$ 中(在图1a中, $\theta$ 在12点,尾颅(CC)接近角),并且支架移动到高度合适的z-位置中。

[0034] 然后请求患者将相关乳房BR引入到检查区域中。然后压板CP向下滑动,并且滑动到与乳房BR接触,以抵靠被布置在板CP与探测器D之间的乳房支撑体(未在图1中示出)轻轻地挤压乳房BR以确保图像质量。压板CP和乳房支撑体被如下布置在支架IC中:使得臂AR能够围绕其下枢转点摆动。X-射线源XR围绕乳房BR沿轨道而行并且探测器D描绘出乳房BR下方的扫描弧,同时板CP和乳房支撑体(以及因此乳房BR)两者保持固定。

[0035] 当探测器描绘出扫描弧段时,X射线源XR被供电以发射穿过乳房组织的X射线射束XRB。在一个实施例中(但是不一定在所有实施例中),成像器MIS被配置为X-射线吸收成像器,并且感兴趣量是在所述X-射线射束XRB穿过乳房组织时由所述X-射线射束经历的不同衰减水平。衰减水平是乳房组织中的密度分布的函数。

[0036] 正是如此衰减的X射线射束XRB然后入射在探测器D的图像平面上,当探测器描绘出其扫描弧时,衰减的X-射线由探测器D从围绕主投影方向的不同投影方向 $\alpha_i$ 探测到。探测器D的图像平面由多个个体探测器像素组成。每个像素用来将辐射射束PRX的入射射线的辐射能量换能为电信号或光信号。具体地并且根据一个实施例,探测器D是能量积分类型的。在替代性优选实施例中,MIS具有谱成像能力,并且探测器D是光子计数类型的。在一个实施例中,探测器像素以离散的间隔开的“线”(其在图1a中延伸到纸面内,y-方向)的方式布置。

在一个实施例中,准直器的开口(狭缝)与探测器线的间距配准。

[0037] 当探测器D以上述的方式描绘出乳房BR下方的扫描弧时,来自不同投影方向 $\alpha_i$ (在图1a的前视图中仅示出了两个 $\alpha_{1,2}$ )的投影数据集被获得。因此,概述的成像流程非常类似于CT(实际上,在一个实施例中,成像器可以正好是CT或其他成像器,如图1中示出的MIS仅是一个示范性实施例),但是在乳房摄影中,投影方向不是跨全圆或半圆,而是被限制到相对小的弧段。通常,仅有两个主方向或接近角,针对上面提到的CC视角的 $\theta_{CC}$ 以及针对ML0(内外斜位)的 $\theta_{ML0}$ (当按照图1a在前视图中沿着y轴查看MIS时在12点钟和近似2点钟),其中,各自的弧段 $\theta_{CC} - \Delta\alpha \leq \alpha_i \leq \theta_{CC} + \Delta\alpha$ 和 $\theta_{ML0} - \Delta\alpha \leq \alpha_i \leq \theta_{ML0} + \Delta\alpha$ 围绕两个主视角中的每个。

[0038] 如通过探测器D(不论其类型)像素探测到的投影“原始”数据由DAS(数据采集系统)进行处理,以形成ROI的不同数字化投影图像PR,针对每个投影方向 $\alpha_i$ 一幅数字化投影图像。具体地,所述原始数据信号的集合被DAS转换为表示感兴趣量的相应数字(像素)值,例如在吸收成像中,这是在即时投影方向 $\alpha$ 上沿着相应射线跨乳房BR的累积密度。

[0039] 在期望时,上述扫描成像流程能够在整个成像器支架被倾斜以从一个主方向CC或ML0(接近角)改变为另一个主方向CC或ML0(接近角)之后被重复。

[0040] 多个投影图像PR然后被传到断层合成重建器RECON。断层合成重建器RECON被配置为根据投影图像PR重建3D图像体积(块)V2,其能够被认为由在图像切片SL中利用用于不同切片z中的每个的平面内坐标(x,y)组织的体素(x,y,z)组成。在合适的绘制之后的每个切片能够可视化关于乳房BR的内部的横截面视图,使得能够识别诊断相关结构,诸如微钙化或组织异常。从文献中获知用于断层合成的重建算法。它们被调谐以应对可用的有限数量的投影图像和有限的断层摄影角(相比于CT成像)。迭代重建技术或如已经在其他地方报道的其他重建技术可以被使用。

[0041] 有时用户可能想要具有类似于常规2D乳房摄影图的完整乳房BR的投影视图或图像(“乳房摄影图”),其将V2断层合成块的图像信息汇总或合成为单幅2D图像,以帮助用户导航V2体积,这比在更低的2D空间中更困难和耗时。换言之,2D投影图像能够充当可以包括高度复杂的结构的T断层合成块上的“概观”图像。注意,2D原始投影视图通常不适合于该目的,因为它们通常利用比常规2D乳房摄影图低得多的X射线剂量来采集,并且因此呈现比常规2D乳房摄影图或重建的3D体积明显更高的噪声。

[0042] 为了解决该需要,如本文提出的布置包括视图合成器VS,其允许根据可用断层合成块V2沿着如来自虚拟x-射线源VXR的期望的(虚拟)投影方向以计算方式合成期望的2D投影视图S。因此,不需要操作成像器MIS来实际地采集另外的2D乳房摄影图。能够避免患者的因此的另外的辐射暴露。

[0043] 如本文中提出的视图合成器VS使用加权正向投影算法。权重函数根据另一图像块V1来计算。图像块V1(其还包括对象BR的图像信息)通过相同或不同的成像模态IM2来采集。

[0044] 视图合成器VS包括输入端口IN、权重函数查找器WF、正向投影器FP以及输出端口OUT。简言之,视图合成器VS接收块V2(或引用其的存储/存储器)和期望的视图或投影方向。然后权重函数查找器WF和正向投影器FP以下面更详细描述的方式操作在所述块V1、V2上,以产生期望的合成乳房摄影图S,其然后在输出端口OUT处被输出。然后,能够绘制合成乳房摄影图S,以便显示在监视器M上。提出的视图合成器VS的操作因此可以被理解为以两阶段的方式进行。在结构探索或评估阶段中,利用合适的结构度量根据第一体积块V1计算权重

函数,合适的结构度量诸如信息理论度量或边缘度量或其他度量。不同的这样的度量也可以被组合为组合度量(通过根据不同的度量形成共同的分数,诸如平均值或加权平均值),或不同的度量可以用于体积的不同部分或用于图像的不同频率分量等。在第二“投影合成器”阶段中,如此计算的权重函数然后被正向投影器FP用来计算合成乳房摄影图S。

[0045] 第一图像块V1可以包括与块V2中的图像信息不同的图像信息。例如,来自两个块V1、V2的图像信息可以源自于(相同模态IM1或其他模态IM2的)不同成像通道,诸如谱成像中的不同能量通道或干涉相位对比成像中的吸收、相移或暗场信号的不同图像通道。而且,一个图像V1、V2可以与主要图像信号有关,而另一图像是通过计算而偏离主要信号的“次要”图像,例如,如在基于谱图像数据的物质分解成像中:那里,来自两个(或更多个)能量通道的图像数据被处理以产生两个(或更多个)图像,针对想要分解成的每种材料一个。分解为脂肪和腺体影像是来自乳房摄影领域的非限制性范例。一般来说,两个图像块V1、V2基于不同的物理或成像原理来编码同一对象BR的不同图像信息/感兴趣量。一个块V1中的更高对比度或结构信息能够用来提高跨另一块V2的正向投影中的结构的对比度,在另一块V2中这样的结构对比度可能还不是可容易辨别的。在此意义上,提出的2相可视化工具VS允许使用“交叉块”的结构信息,以更好地利用并合并来自不同通道/模态采集的多个图像体积的总图像信息。

[0046] 现在参考图2,其在左侧部分中示出了3D体积V2的简化表示。出于解释性目的仅示出了块V2的4个切片,应当理解3D体积V2通常由数十个这样的切片组成。

[0047] 第一,根据一个优选实施例,基于信息理论度量根据源块V1计算权重函数w,但是在本文中也设想其他度量。在V1中,针对体积V1的每个切片的每个图像元素(体素或局部邻域)局部地绘制信息内容(例如,香农熵能够用来测量信息),并且将信息内容转换为针对相应元素位置的权重。权重转换可以包括合适的归一化。在一些实施例中,在给定图像元素处的更高度量(在这种情况下,香农度量)将会吸引更高权重用于所述元素。

[0048] 当定义权重函数w时选择V1中的足够小的邻域区域(例如,作为非限制性范例,  $2 \times 2 \text{mm}^2$  - 未在图2中示出) 确保,更小的特征以及更大的组织结构的边缘被考虑。如本文中提出的方法能够通过预先计算V1中的信息度量(以及因此权重函数w)并应用插值方案而被有效地实施。更准确地,权重函数首先在V1的粗糙网格上通过计算每个x-y平面中的  $2 \times 2 \text{mm}^2$  的交叠区域中的香农熵度量来计算。为了匹配图像块V2的采样,权重函数首先在具有图像块V2的采样的网格上进行插值,并且然后沿着z-坐标被归一化。以此方式,归一化且重新采样的权重函数被获得。现在转向图2的左侧部分,合成乳房摄影图S通过利用多个虚拟x-射线(在图2中仅示出了一个)的通过断层合成体积V2的正向投影来生成,每个虚拟x-射线描述从虚拟x-射线投影源VXR到合成投影图像的一个像素的路径。每个虚拟投影射线与体积V2的所有切片都相交。在计算沿着该特定射线的正向投影之前,每个交叉点与归一化且重新采样的权重函数的对应值相乘。

[0049] 在一个具体实施例中,权重函数被定义为伴随的最大熵值,并且因此仅(相应邻域中)具有最高信息内容权重的切片(图2中自顶部的第三个切片)中的像素被选择,并且在每个投影射线的合成乳房摄影图的计算中被使用。

[0050] 该方法确保例如当跨V2的视图S是用于观察设备(诸如监视器MT)上的演示目的时,来自3D断层合成体积V1的所有相关信息都被传播到块V2的2D合成视图S中以用于可靠



且有效的读取工作流程。

[0051] 在图2的范例中,针对刚好平行于z-轴的投影方向(即沿着两个主方向CC、ML0中的任一个)计算合成乳房摄影图S。当沿着z-轴投影时,涉及的计算变得尤其简单,因为不要求插值,正如针对不平行于主图像采集(z-)轴的其他方向的情况。也设想其他投影方向,并且在一个实施例中,其他投影方向是用户可调节的,例如在其中体积没有优选方向的背景下,诸如,各向同性的磁共振图像(MRI)。

[0052] 根据提出的方法通过将加权投影应用于3D加权体积V2而根据重建的3D体积V2的3D加权平均值计算合成乳房摄影图S,其中,权重函数由权重查找器WF根据不同的块V1来计算。这能够在下式中被形式地总结为:

$$[0053] \quad \frac{FP(w(r) \cdot T(r))}{FP(w(r))} \quad (1)$$

[0054] 其中,i)在体积V2中的3D-体素位置r,ii)空间适应性3D权重函数w(r),其确保感兴趣结构保持锐化,并且当利用正向投影算子FP(.)进行正向投影时不被模糊。在权重函数不仅仅附接每切片(或,一般地,每超平面)的权重而是跨正向投影器要投影通过其的3D块的基本上所有维度(具体地,组成切片自身中的每个的平面内体素)分配权重的意义上,如本文提出的加权w为3D或“全空间”适应的。

[0055] 在一个实施例中,也具有确保在每个投影线上的体素值之间的相对关系被保留的归一化(即,乘以1/FP(w(r)))。归一化尊重,即保留,沿着每条投影线的相对幅值。归一化可以针对每条投影线被单独获得,并且归一化的权重合计为沿着每条投影线的一。

[0056] 操作

[0057] 现在将参考图3的流程图更详细地解释视图合成器VS的操作。

[0058] 在步骤S305处,用于在加权正向投影中使用的权重函数w通过上面介绍的权重函数查找器WF来计算。权重函数根据第一3D图像体积V1来计算。在一个实施例中,这通过使用合适的图像结构度量e来完成。在一个实施例中,在每个体素的局部邻域中计算信息内容(例如,利用熵度量,例如香农熵)。在一个实施例中,这被实施如下:令e(r)是针对在3D断层合成体积V1内的每个体素位置r或邻域U(r)定义的合适的图像结构度量。除了香农熵(或其他信息理论度量)外,设想的图像结构还包括基于Sobel算子或Canny边缘检测器或类似的滤波器的边缘度量。结构度量e的响应一般与想要在体积V1中进行量化的信息内容成“比例”(或至少随所述信息内容直接变化)。然后令w(r)=f[e(r)]为局部权重,其中,f[.]是用于“整形”权重的函数,换言之,实际度量e响应被映射到合适的尺度,使得它们能够被用作采取期望形式的权重。例如,可能想要具有仅正数作为权重,或权重要处于单位间隔中,或者大的响应要吸引小的权重或大的权重等。根据一个实施例,权重整形器f是恒等函数,因此滤波器响应自身被用作权重,但是这是否可能取决于权重查找器WF的数值范围。

[0059] 在一个实施例中,源体积是根据投影数据重建的(断层合成)体积,如上面在附图中为了说明性目的而解释的。在优选实施例中,投影数据在具有能量解析的光子计数探测器单元的谱断层合成系统上进行采集。优选地,当采集投影数据时,相对低的剂量(低于常规乳房摄影中的剂量)被使用。更具体地,在一个实施例中,源体积V1通过基于谱光子计数投影数据的材料分解来获得。具体地,图像可以是如从谱乳房摄影获知的腺体图像。

[0060] 在步骤S310处,给定用于合成投影的(用户或协议可调节的)期望正向投影方向,

投影图像S (诸如合成乳房摄影图) 通过将权重函数应用于另一图像体积V2 (不同于结构池图像体积V1) 并通过重建体积V2计算加权正向投影来计算。

[0061] 在一个实施例中, 体积V2是另一重建的断层合成体积。在一个实施例中, 另一重建的体积V2是根据能量加权的谱投影数据计算的重建体积。在一个实施例中, V1和V2分别是在光子计数成像或双能量成像中获得的高能量图像和低能量图像的不同线性组合。

[0062] 而且, 从以上内容将认识到, 结构度量的实际计算在步骤S305中仅针对源块V1进行计算以导出权重。一旦权重经由V1得到, 结构度量计算就不再被需要用于V2。在V2中, 仅权重用来计算正向投影。这允许有效的计算实施方式。

[0063] 在步骤S310的 (如通过正向投影器FP实施的) 加权正向投影中, 在一个实施例中, 然后 (如通过来自源块V1的权重函数w记录的) 每个体积体素的权重确定在对投影点FP1的值的计算中所述体积体素值的相对“贡献”。然后合成乳房摄影图S能够根据上式 (1) 被计算为加权投影。根据一个实施例, 当用于乳房摄影时, 正向投影将沿着两个主图像采集方向CC、ML0中的任一个操作。换言之, 正向投影将正交地通过断层合成切片操作以避免插值。然后合理地将几何匹配的网格或坐标系用于先前体积重建, 使得断层合成伪影与网格对齐。这等同于有效地重新缩放切片中的每个, 使得X射线锥形束的放大效应得到补偿。

[0064] 在这样的情况下, 等式 (1) 能够被写为,

$$[0065] \quad S(x, y) = \sum_{z=0}^N w'(x, y, z) \cdot V2(x, y, z) \quad (2)$$

[0066] 其中x和y是每切片SL的平面内坐标, z是贯穿平面坐标 (通常在X射线的方向中), 并且N指示断层合成体积中的重建的切片的数量。此外, w' 指代归一化的空间适应性权重函数  $w'(x, y, z) = f[e(x, y, z)]$ , 其中, f是某一权重整形器, 并且e指示返回潜在度量 (诸如香农熵或基于Sobel或Canny算子的边缘度量) 的函数。权重被归一化, 使得沿着贯穿平面坐标z保留 (如编码在体素值中的) 平均衰减度。在US7702142中描述了转换为所述几何匹配的网格的一个方法。

[0067] 在一些实施例中, 权重函数将权重“1”分配给沿着相应投影方向具有最高度量 (例如最高香农度量) 的切片中的图像元素, 而其余切片中的沿着射线的所有图像元素都吸引零权重。换言之, 权重函数是二进制指示函数, 并且仅在具有对投影图像S中的目标投影点作出贡献的最高度量的图像元素处。

[0068] 在步骤S320中, 经由输出端口OUT输出合成的投影图像。然后投影图像可以被绘制, 以便在显示单元M上查看, 或被存储在数据库中或以其他方式被图像处理。

[0069] 返回参考上面提到的谱成像实施例, 能量解析的 (谱) 断层合成投影数据通过利用能量解析探测器将入射光子分离到高能分箱和低能分箱中来进行采集。以此方式, 在一个实施例中, 谱断层合成投影数据能够随后用于组织特异性组织的材料分解和计算, 以重建结构池图像V1。例如, V1可以被重建为如可基于谱图像数据和图像对象BR (乳房仅仅是一个范例) 的材料分解的模型从材料分解获得的脂肪图像和/或腺体图像。在另一实施例中, V1可以利用来自一系列代数重建技术 (ART) 的断层合成重建算法被重建为乳房密度 (“腺体”) 图像和/或 “乳房厚度” 图像。此外在一个实施例中, 谱投影数据可以通过能量加权来进行处理, 在一个实施例中, 断层合成体积数据集V2根据所述谱投影数据重建, 这对于在观察设备上的演示是有用的。应当理解, 将本方法应用于谱图像数据 (和从这样的数据导出的图像) 的乳房摄影的范例仅仅是一个范例, 并且本文中同样设想了对其他材料分解和/或

要被成像的器官BR或对象BR的应用。

[0070] 在优选实施例中,基于熵的权重函数仅根据乳房密度图像V1来计算,并且该权重函数然后被应用在跨来自能量加权的投影数据的断层合成重建体积V2的加权正向投影中。

[0071] 在该实施例中,权重函数通过归一化的香农熵度量来定义,所述归一化的香农熵度量在由矩形窗口定义的局部邻域中的乳房密度图像V1中的每个体素处进行计算。归一化确保沿着正向投影中的每个射线的权重的总和相加到一。在归一化之前,权重函数可以被局部地滤波和/或阈值化。例如,权重函数可以首先被细分成子区域。然后,在子区域中的每个上,在某一阈值之下的所有体素都被设定为零,而在该阈值之上的体素被分配以1的权重。在该实施例中,通过随后的例如利用高斯滤波核的该函数的平滑和每个子区域中的归一化,权重函数被导出。基于该归一化的香农熵的度量也被设想用于除了来自能量加权的投影数据的乳房密度图像或断层合成重建体积之外的体积V1、V2。

[0072] 在一个实施例中,步骤305中的权重函数的计算利用多分辨率方法来实现。该多分辨率方法能够与本文中描述的所有实施例进行组合。

[0073] 在一个实施例中,多分辨率方法能够通过计算如先前描述的香农熵度量而非利用固定窗口/核尺寸来实现,香农熵度量现在在具有增大的尺寸的一连串窗口/核中进行计算。然后获得一系列不同的权重函数,针对如通过窗口/核尺寸定义的每个分辨率水平一个权重函数。

[0074] 该组不同的加权函数然后通过将这些权重函数相加并归一化而被组合为最终加权函数,其然后被应用于图像V2。

[0075] 在另一实施例中,使用基于本领域中的已知方法(诸如高斯拉普拉斯金字塔分解或小波分析)对图像V1和图像V2的多分辨率分解。图像一般被分解为高通分量以及各种低通分量和带通分量。权重函数在针对V1的每个分解水平下进行计算,并且然后被应用于断层合成体积V2的对应分解水平。

[0076] 在一个实施例中,被用来在多分辨率分解的不同尺度下计算权重函数的度量依赖于所述尺度/水平。例如,在一个实施例中,如上面讨论的基于香农熵的权重函数针对在某一阈值频率之下的低频图像分量进行计算,而诸如最大亮度度量的不同度量在图像的高频部分上被使用。

[0077] 作为又一改进,在一个实施例中,来自标准平均投影的低空间频率与熵加权的合成乳房摄影图S的低频内容进行融合,以获得常规2D乳房摄影图的典型背景外貌。

[0078] 如上面提到的,香农熵度量仅仅是定义权重函数的一个范例。用于权重定义的度量的其他实施例是(通过Canny或Sobel算子实施的)边缘度量。

[0079] 在另外的其他实施例中,权重查找器WF包括CAD(计算机辅助设计)图像特征检测器。在CAD中,操作基于特征或模板的库,诸如针对不同类型的病变的不同尺寸的不同形状、钙化程度,或者在除了乳房摄影背景的其他背景下,基于诸如血管或脑部结构等的某些感兴趣器官的形状足迹。CAD检测器对体积T进行扫描,并且检测匹配所述形状模板的那些体素。匹配的体素可以组成对指示病变针状块等的可疑形状。针对用户可定义置信度水平测量,然后决定给定的体素是否形成这样的可疑形状结构的部分。取决于给定体素的置信度水平,相应地分配权重:高置信度将吸引更高的权重,而低置信度对应地将吸引更低的权重。

[0080] 权重函数查找器实施例中的一些(诸如Sobel算子或CAD检测器)操作在体素邻域上。根据一个实施例,(例如,跨体素单元测量的)邻域尺寸可通过用户交互来调节。例如,在一个实施例中,设想了允许用户调节邻域尺寸的图形用户界面,滤波器模块FL要在所述邻域尺寸上进行操作。在一些实施例中,同样设想了基于文本的输入手段。调节体素邻域尺寸,当与不同滤波器模块交接时,尺寸增加灵活性程度,每个滤波器模块要求不同邻域尺寸。在该实施例中,在步骤S305处,接收邻域中的至少一个的尺寸的规范,并且相应地重新调整邻域的尺寸。

[0081] 与基于CAD的技术的组合可以在上面讨论的多分辨率实施例中是有利的。仅包括几个像素的非常小的结构(例如微钙化)可能会对局部邻域的熵贡献太少并且可能会在最大熵投影中丢失。因此,仅在高空间频率上进行操作的基于CAD的钙化检测能够被应用以恢复这样的结构。然而一般来说,已经发现如本文中提出的方法是非常好地工作,而无需求助于CAD检测。

[0082] 尽管在优选实施例中,权重函数查找器WF用于将信息内容权重基本上分配给体积V1中的所有体素,但是设想了其中不是这种情况的实施例。例如,在一个实施例中,用户能够指定要沿着其获取正向投影的子体积。该体积限制将允许节省CPU时间。在该实施例中,设想了用户例如通过触摸屏或在3D体积T被显示在其上的图形用户界面中的指针工具动作来指定“投影窗”(或视场FoV)或出于投影目的的切片的子集。在图2中,这通过虚线圆指示,但是投影窗FoV可以采取任何期望的形状,诸如方形或矩形。然后投影线仅跨如此指定的子体积被投射。

[0083] 根据又一实施例,为了节省CPU时间,视图合成器VS通过使用欠采样算法向用户提供使3D体积“粗糙化”的功能:邻近体素被倒塌为新的更粗糙的图像元素,体积V1、V2被划分成其的所述新的更粗糙的图像元素。换言之,3D体积的尺寸被缩小,使得在等式(2)中的总和将跨更少项延伸,并且更少的权重将需要被计算。

[0084] 在一个实施例中,在每个体素处的梯度的计算也包括时间梯度分量。当要针对动态3D体积,即针对3D体积的时间系列,也被称为4D图像体积,合成投影图像时,这是特别相关的。因为时间梯度,跨不同3D体积随时间强烈变化的图像部分将吸引高权重。在该实施例中,合成的投影图像对应于动态2D投影视图,其允许用户查看演变,即,沿着期望的投影方向的投影视图中跨3D体积的结构随时间的改变。

[0085] 例如,在心脏成像中,在闭合圆形路径上的圆形断层合成被使用。在“滑动窗口”技术中,重建体积的时间系列 $V2_t$ 被重建,其然后能够被正向投影以产生2D视图的对应系列S。这能够在导管实验室应用中用来模拟荧光透视。此外,在该实施例中,V1、V2图像体积对可以通过在谱圆形断层合成中获得的高能量图像和低能量图像来给出。

[0086] 在一个实施例中,第一模态IM1(例如,MIS)可以包括用于相位对比成像的干涉测量光栅,并且V2可以包括用于相位对比或吸收信号的图像信息,而源体积V1由暗场信号形成。

[0087] 在一些实施例中,可以有根据不同图像块 $V1_i$ 计算的多个权重函数,并且用户然后能够取决于哪些结构要在合成的投影图像S中被突出而在用户交互中选择(来自哪个图像块 $V1_i$ 的)哪个权重函数要在正向投影中被使用。

[0088] 视图合成器VS的部件,即权重函数查找器WF和正向投影器FP,可以被编程在合适

的科学计算平台(诸如Matlab®)中,并且然后被转化为保持在库中的C++或C例程并且当由工作站WS调用时被链接。例如,Matlab利用SOBEL算子模块特征化“图像处理工具箱”。部件可以被布置为专用FPGA或布置为硬连线独立芯片。

[0089] 现在参考图4,示出了提出的方法与最大强度投影(MIP)的比较:示出了断层合成体积的选定切片(左侧)。MIP(中间)保持来自所有切片的相关明亮特征。然而,相比于原始切片,高频图像噪声和实质纹理退化。提出的方法(右侧)维持这些敏感图像特征,同时还传播所有相关特征和边缘。

[0090] 本发明的主要应用是根据数字乳房断层合成采集生成合成乳房摄影图。除此以外,提供3D体积的其他成像模态也可以受益于针对高质量虚拟投影视图的计算的提出的构思。这包括乳房CT、胸部CT、胸部MR、和许多其他方式。

[0091] 提出的方法(尤其在当香农熵度量被使用时的组合中)具有以下重要优点:相关信息被有效地选择并被传播到合成视图,而不需要任何特征检测和高频噪声(即信噪比(SNR)和噪声功率谱)以及切片的实质纹理被保存,使得不需要单独的图像滤波和调谐。

[0092] 在本发明的另一示范性实施例中,提供了一种计算机程序或计算机程序单元,其特征在于适于在合适系统上运行根据前述实施例中的一个所述的方法的方法步骤。

[0093] 因此,计算机程序单元因此可以被存储在计算机单元上,所述计算机单元也可以是本发明的实施例的部分。该计算单元可以适于执行或诱发上述方法的步骤的执行。此外,其可以适于操作上述装置的部件。计算单元能够适于自动操作和/或适于执行用户的命令。计算机程序可以被加载到数据处理器的存储器中。因此,数据处理器可以被装备为执行本发明的方法。

[0094] 本发明的该示范性实施例涵盖从最开始使用本发明的计算机程序和借助于更新将现有程序转变为使用本发明的程序的计算机程序两者。

[0095] 此外,计算机程序单元可以能够提供所有必要步骤,以实现如上描述的方法的示范性实施例的流程。

[0096] 根据本发明的又一示范性实施例,提出了一种计算机可读介质,诸如CD-ROM,其中,所述计算机可读介质具有被存储在其上的计算机程序单元,前述章节描述了所述计算机程序单元。

[0097] 计算机程序可以被存储和/或分布在合适的介质上,诸如与其他硬件一起被提供或作为其他硬件的部分被提供的光学存储介质或固态介质,但是所述计算机程序也可以以其他形式分布,诸如经由互联网或其他有线或无线通信系统分布。

[0098] 然而,计算机程序也可以被提供在如万维网的网络上并且能够从这样的网络下载到数据处理器的存储器中。根据本发明的又一示范性实施例,提供一种用于令计算机程序单元可用于下载的介质,所述计算机程序单元被布置为执行根据本发明的前面描述的实施例中的一个的方法。

[0099] 必须指出,参考不同主题描述了本发明的实施例。具体地,参考方法类型的权利要求描述了一些实施例,而参考设备类型的权利要求描述了其他实施例。然而,除非另有说明,本领域技术人员将从以上和以下描述中获悉,除属于一个类型的主题的特征的任何组合之外,涉及不同主题的特征之间的任何组合也被视为由本申请所公开。然而,能够组合所有特征,从而提供比特征的简单加和更多的协同效果。

[0100] 尽管已经在附图和上述描述中详细图示并描述了本发明,但是这些图示和描述应被视为是说明或示范性的,而不是限制性的。本发明不限于所公开的实施例。通过研究附图、说明书和从属权利要求,本领域技术人员在实践所请求保护的本发明时能够理解并实现所公开的实施例的其他变型。

[0101] 在权利要求中,“包括”一词不排除其他元件或步骤,并且词语“一”或“一个”不排除多个。单个处理器或其他单元可以实现在权利要求中记载的若干项目的功能。尽管在互不相同的从属权利要求中记载了特定措施,但是这并不指示不能有利地使用这些措施的组合。权利要求书中的任何附图标记都不应被解释为对范围的限制。





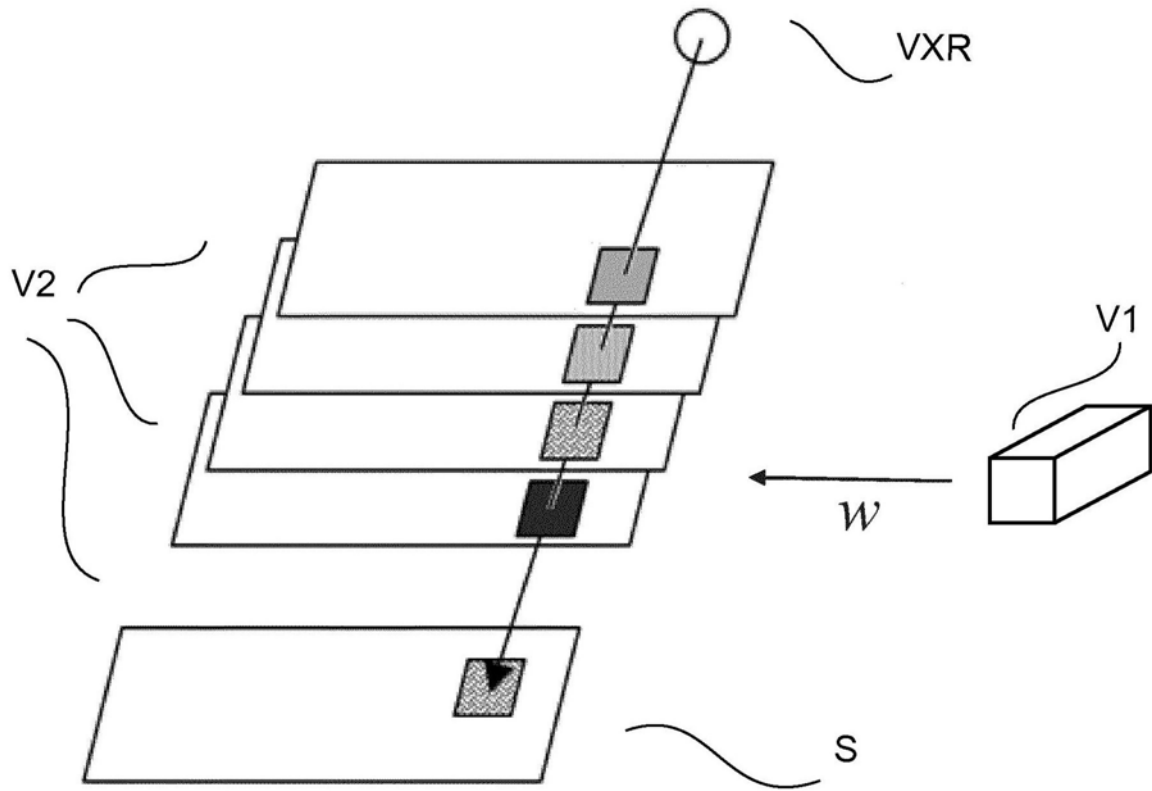


图2

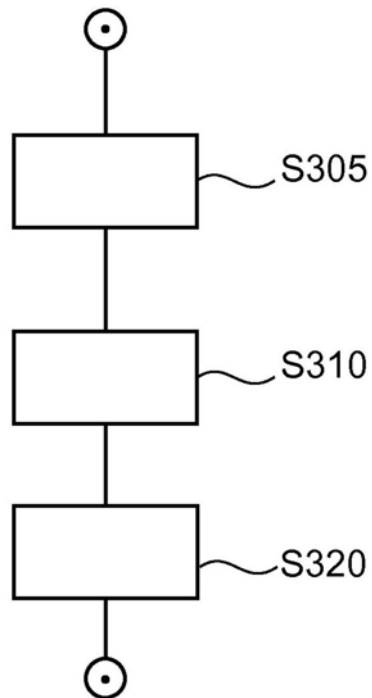


图3



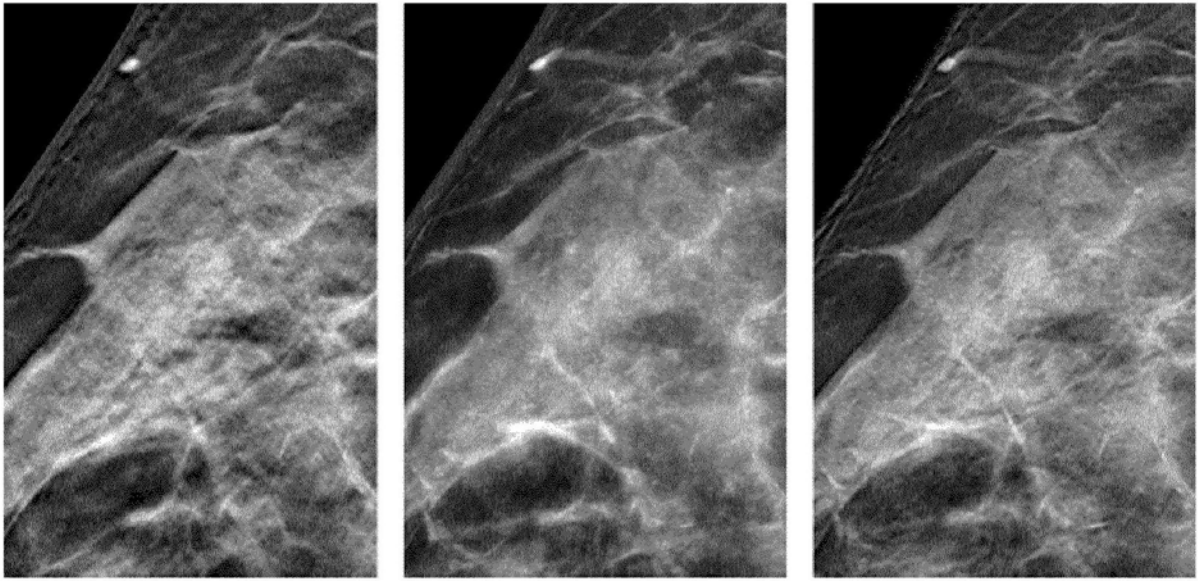


图4