



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102222331 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 25

(21) 申请号 201110125385. 0

[0043]、[0047]、[0050]-[0052]、[0065] 段,附图 4-5、8.

(22) 申请日 2011. 05. 16

审查员 王晓燕

(73) 专利权人 付东山

地址 100039 北京市海淀区金沟河路 10 号
北综合楼 4 单元 7 号

(72) 发明人 付东山

(74) 专利代理机构 北京大成律师事务所 11352

代理人 潘建华

(51) Int. Cl.

G06T 7/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101248441 A, 2008. 08. 20, 全文.

CN 101903908 A, 2010. 12. 01, 全文.

US 2007/0127845 A1, 2007. 06. 07, 说明书第

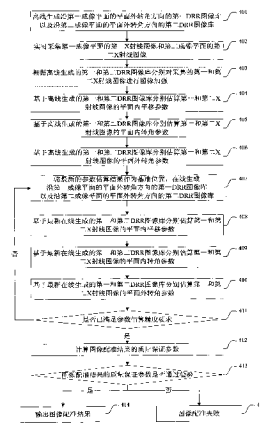
权利要求书 7 页 说明书 17 页 附图 6 页

(54) 发明名称

一种基于双平板的二维 - 三维医学图像配准方法及系统

(57) 摘要

一种基于双平板的二维 - 三维医学图像配准方法及系统, 上述方法包括: 生成被成像体的三维图像, 并离线生成沿第一和第二成像平面的平面外转角方向的第一和第二 DRR 图像库; 分别在第一和第二成像平面采集被成像体的第一和第二 X 射线图像; 分别以离线生成的第一和第二 DRR 图像库的 DRR 图像为基准图像, 对第一和第二 X 射线图像的位置参数进行估算; 分别根据第一和第二 X 射线图像的参数估算结果对三维图像进行调整, 在线生成第一和第二 DRR 图像库; 分别以在线生成的第一和第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像, 对第一和第二 X 射线图像的位置参数进行估算。采用本发明的方法及系统, 可降低图像配准的复杂度, 提高配准速度、精度和成功率。



1. 一种二维 - 三维医学图像配准方法, 其特征在于, 该方法包括:

A: 生成被成像体的三维图像, 并分别离线生成沿第一成像平面和沿第二成像平面的平面外转角方向的第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库;

B: 分别在第一成像平面和第二成像平面采集被成像体的第一 X 射线图像和第二 X 射线图像;

C: 以离线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像, 分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算, 得到第一 X 射线图像的参数估算结果; 并以离线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像, 分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算, 得到第二 X 射线图像的参数估算结果;

D: 以第一 X 射线图像的最新参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整, 在线生成沿第一成像平面的两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库; 并以第二 X 射线图像的最新参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整, 在线生成沿第二成像平面的两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库;

F: 以最新在线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像, 分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算; 并以最新在线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像, 分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算;

在所述步骤 F 之后还包括如下步骤:

G: 判断是否已满足参数估算精度要求, 如果未满足, 则重复执行步骤 D 及后续步骤;

步骤 G 中, 采用如下方式之一判断是否已满足参数估算精度要求:

方式一: 判断在线生成第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库的次数 k 是否等于预先设定的值 N , 如果 $k = N$, 则判定已满足参数估算精度要求; 如果 $k < N$, 则判定未满足参数估算精度要求;

方式二: 判断本次估算的参数值与上一次估算的相应参数值的差值是否小于预先设定的参数差值, 如果小于, 则判定已满足参数估算精度要求; 否则, 判定未满足参数估算精度要求; 所述参数值包括以下一种或多种: 第一 X 射线图像的平面内平移参数, 第一 X 射线图像的平面内转角参数, 第一 X 射线图像的平面外转角参数, 第二 X 射线图像的平面内平移参数, 第二 X 射线图像的平面内转角参数, 第二 X 射线图像的平面外转角参数。

2. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于,

在所述步骤 B 和 C 之间, 还包括如下步骤:

B1: 以所述离线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为参考, 对所述第一 X 射线图像进行图像加强; 并以所述离线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为参考, 对所述第二 X 射线图像进行图像加强。

3. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于,

所述步骤 G 中, 如果判定已满足参数估算精度要求, 则执行如下步骤:

H: 计算参数估算结果所对应的质量保证参数, 并对其进行检验, 如果检验通过, 则输出图像配准结果。

4. 如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于,

采用如下方式离线生成所述第一 DRR 图像库：

A01：设定包含 M_{01} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{x1} 和 N_{01} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{y1} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$ ； $\phi_{x1}(i)$ 和 $\phi_{y1}(j)$ 分别满足： $\phi_{x1_L}[0] \leq \phi_{x1}(i) \leq \phi_{x1_H}[0]$ ， $\phi_{y1_L}[0] \leq \phi_{y1}(j) \leq \phi_{y1_H}[0]$ ；

A02：对每一 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像，从而生成包含 $M_{01} \times N_{01}$ 个 DRR 图像的第一 DRR 图像库；

步骤 A01 和 A02 中， $i = 1, 2, \dots, M_{01}$ ； $j = 1, 2, \dots, N_{01}$ ； M_{01} 、 N_{01} 为大于 1 的整数； $\phi_{x1_L}[0]$ 和 $\phi_{x1_H}[0]$ 分别表示离线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x1}(i)$ 的取值范围的下限和上限； $\phi_{y1_L}[0]$ 和 $\phi_{y1_H}[0]$ 分别表示离线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y1}(j)$ 的取值范围的下限和上限；

采用如下方式离线生成所述第二 DRR 图像库：

A11：设定包含 M_{02} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{x2} 和 N_{02} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{y2} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$ ； $\phi_{x2}(i)$ 和 $\phi_{y2}(j)$ 分别满足： $\phi_{x2_L}[0] \leq \phi_{x2}(i) \leq \phi_{x2_H}[0]$ ， $\phi_{y2_L}[0] \leq \phi_{y2}(j) \leq \phi_{y2_H}[0]$ ；

A12：对每一 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像，从而生成包含 $M_{02} \times N_{02}$ 个 DRR 图像的第二 DRR 图像库；

步骤 A11 和 A12 中， $i = 1, 2, \dots, M_{02}$ ； $j = 1, 2, \dots, N_{02}$ ； M_{02} 、 N_{02} 为大于 1 的整数； $\phi_{x2_L}[0]$ 和 $\phi_{x2_H}[0]$ 分别表示离线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x2}(i)$ 的取值范围的下限和上限； $\phi_{y2_L}[0]$ 和 $\phi_{y2_H}[0]$ 分别表示离线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y2}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

5. 如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，

采用如下方式第 k 次在线生成第一 DRR 图像库：

D01：设定包含 M_{k1} 个不同的平面外转角 ϕ_{x1} 和 N_{k1} 个不同的平面外转角 ϕ_{y1} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$ ； $\phi_{x1}(i)$ 和 $\phi_{y1}(j)$ 分别满足：

$\phi_{x1_L}[k] \leq \phi_{x1}(i) \leq \phi_{x1_H}[k]$ ， $\phi_{y1_L}[k] \leq \phi_{y1}(j) \leq \phi_{y1_H}[k]$ ；

D02：对每一 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像，从而生成包含 $M_{k1} \times N_{k1}$ 个 DRR 图像的第一 DRR 图像库；

步骤 D01 和 D02 中， $i = 1, 2, \dots, M_{k1}$ ； $j = 1, 2, \dots, N_{k1}$ ； M_{k1} 、 N_{k1} 为大于 1 的整数； $\phi_{x1_L}[k]$ 和 $\phi_{x1_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时，平面外转角参数 $\phi_{x1}(i)$ 的取值范围的下限和上限； $\phi_{y1_L}[k]$ 和 $\phi_{y1_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时，平面外转角参数 $\phi_{y1}(j)$ 的取值范围的下限和上限；

采用如下方式第 k 次在线生成第二 DRR 图像库：

D11：设定包含 M_{k2} 个不同的平面外转角 ϕ_{x2} 和 N_{k2} 个不同的平面外转角 ϕ_{y2} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$ ； $\phi_{x2}(i)$ 和 $\phi_{y2}(j)$ 分别满足： $\phi_{x2_L}[k] \leq \phi_{x2}(i) \leq \phi_{x2_H}[k]$ ， $\phi_{y2_L}[k] \leq \phi_{y2}(j) \leq \phi_{y2_H}[k]$ ；

D12：对每一 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像，从而生成包含 $M_{k2} \times N_{k2}$ 个 DRR 图像的第二 DRR 图像库；

步骤 D11 和 D12 中， $i = 1, 2, \dots, M_{k2}$ ； $j = 1, 2, \dots, N_{k2}$ ； M_{k2} 、 N_{k2} 为大于 1 的整数； $\phi_{x2_L}[k]$ 和 $\phi_{x2_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时，平面外转角参数 $\phi_{x2}(i)$ 的

取值范围的下限和上限； $\phi_{y2_L}[k]$ 和 $\phi_{y2_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时，平面外转角参数 $\phi_{y2}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

6. 如权利要求 5 所述的方法，其特征在于，

$\phi_{x1_L}[k]$ 、 $\phi_{x1_H}[k]$ 、 $\phi_{y1_L}[k]$ 和 $\phi_{y1_H}[k]$ 分别满足：

$\phi_{x1_L}[k] > \phi_{x1_L}[k-1]$ ；

$\phi_{x1_H}[k] < \phi_{x1_H}[k-1]$ ；

$\phi_{y1_L}[k] > \phi_{y1_L}[k-1]$ ，

$\phi_{y1_H}[k] < \phi_{y1_H}[k-1]$ ；

$\phi_{x2_L}[k]$ 、 $\phi_{x2_H}[k]$ 、 $\phi_{y2_L}[k]$ 和 $\phi_{y2_H}[k]$ 分别满足：

$\phi_{x2_L}[k] > \phi_{x2_L}[k-1]$ ；

$\phi_{x2_H}[k] < \phi_{x2_H}[k-1]$ ；

$\phi_{y2_L}[k] > \phi_{y2_L}[k-1]$ ；

$\phi_{y2_H}[k] < \phi_{y2_H}[k-1]$ 。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其特征在于，

离线生成第一 DRR 图像库时，各 $\phi_{x1}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x1}[0]$ ，各 $\phi_{y1}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y1}[0]$ ；第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时，各 $\phi_{x1}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x1}[k]$ ，各 $\phi_{y1}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y1}[k]$ ；

$\Delta \phi_{x1}[k]$ 和 $\Delta \phi_{y1}[k]$ 分别满足： $\Delta \phi_{x1}[k] < \Delta \phi_{x1}[k-1]$ ； $\Delta \phi_{y1}[k] < \Delta \phi_{y1}[k-1]$ ；

离线生成第二 DRR 图像库时，各 $\phi_{x2}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x2}[0]$ ，各 $\phi_{y2}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y2}[0]$ ；第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时，各 $\phi_{x2}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x2}[k]$ ，各 $\phi_{y2}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y2}[k]$ ；

$\Delta \phi_{x2}[k]$ 和 $\Delta \phi_{y2}[k]$ 分别满足： $\Delta \phi_{x2}[k] < \Delta \phi_{x2}[k-1]$ ； $\Delta \phi_{y2}[k] < \Delta \phi_{y2}[k-1]$ 。

8. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，

步骤 C 中，采用如下方式对第一 X 射线图像和第二 X 射线图像的平面内平移参数进行估算：

C01：在 DRR 图像上确定优化配准窗口；

C02：根据确定的优化配准窗口对平面内平移参数进行估算。

9. 如权利要求 8 所述的方法，其特征在于，

采用如下方式在 DRR 图像上确定优化配准窗口：

C011：在 DRR 图像的感兴趣区内的不同位置确定多个尺寸小于感兴趣区的配准窗口；

C012：分别计算多个配准窗口内图像的梯度值并相加，得到各配准窗口的梯度相加值；

C013：选取梯度相加值大的一个或多个配准窗口作为优化配准窗口。

10. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，

被成像体所对的所述第一成像平面与所述第二成像平面之间的夹角为 $180^\circ - 2\alpha$ ；其中， α 大于等于 25° 且小于等于 35° 。

11. 一种二维 - 三维医学图像配准系统，包含：第一 X 射线图像采集单元，第二 X 射线图像采集单元，三维图像生成单元，其特征在于，该系统还包含：DRR 图像库生成单元，图像配准单元；其中：

所述三维图像生成单元,用于生成被成像体的三维图像,并将其输出至 DRR 图像库生成单元;

所述 DRR 图像库生成单元,用于根据接收到的三维图像分别离线生成沿第一 X 射线图像采集单元的第一成像平面和沿第二 X 射线图像采集单元的第二成像平面的平面外转角方向的第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库,并输出离线生成的第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库中包含的 DRR 图像;

所述第一 X 射线图像采集单元,用于在第一成像平面采集并输出被成像体的第一 X 射线图像;

所述第二 X 射线图像采集单元,用于在第二成像平面采集并输出被成像体的第二 X 射线图像;

所述图像配准单元,用于将接收到的第一 X 射线图像作为被配准图像,以接收到的离线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果;

所述图像配准单元,还用于将接收到的第二 X 射线图像作为被配准图像,以接收到的离线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果;

所述 DRR 图像库生成单元,还用于以接收到的第一 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第一成像平面的两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至所述图像配准单元;

所述 DRR 图像库生成单元,还用于以接收到的第二 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第二成像平面的两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至所述图像配准单元;

所述图像配准单元,还用于以接收到的在线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果;

所述图像配准单元,还用于以接收到的在线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果;

所述图像配准单元,还用于判断是否已满足参数估算精度要求,如果未满足,则所述图像配准单元和所述 DRR 图像库生成单元重复执行如下操作,直至所述图像配准单元判定满足参数估算精度要求:

所述图像配准单元将第一 X 射线图像的参数估算结果和第二 X 射线图像的参数估算结果输出至所述 DRR 图像库生成单元;

所述 DRR 图像库生成单元以接收到的第一 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第一成像平面的两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至所述图像配准单元,并以接收到的第二 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第二成像平面的两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至所述图像配准单元;

所述图像配准单元以接收到的在线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,

分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算,并以接收到的在线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算;

所述图像配准单元采用如下方式之一判断是否已满足参数估算精度要求:

方式一:判断在线生成第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库的次数 k 是否等于预先设定的值 N ,如果 $k = N$,则判定已满足参数估算精度要求;如果 $k < N$,则判定未满足参数估算精度要求;

方式二:判断本次估算的参数值与上一次估算的相应参数值的差值是否小于预先设定的参数差值,如果小于,则判定已满足参数估算精度要求;否则,判定未满足参数估算精度要求;所述参数值包括以下一种或多种:第一 X 射线图像的平面内平移参数,第一 X 射线图像的平面内转角参数,第一 X 射线图像的平面外转角参数,第二 X 射线图像的平面内平移参数,第二 X 射线图像的平面内转角参数,第二 X 射线图像的平面外转角参数。

12. 如权利要求 11 所述的系统,其特征在于,

所述系统中还包含图像加强单元;

所述图像加强单元,用于接收所述第一 X 射线图像采集单元输出的第一 X 射线图像,并以接收到的离线生成的第一 DRR 图像库中包含的 DRR 图像为参考,对第一 X 射线图像进行图像加强,并将加强后的第一 X 射线图像输出至所述图像配准单元;

所述图像加强单元,还用于接收所述第二 X 射线图像采集单元输出的第二 X 射线图像,并以接收到的离线生成的第二 DRR 图像库中包含的 DRR 图像为参考,对第二 X 射线图像进行图像加强,并将加强后的第二 X 射线图像输出至所述图像配准单元。

13. 如权利要求 11 所述的系统,其特征在于,

所述系统中还包含:质量保证参数检验单元;

所述图像配准单元在判定已满足参数估算精度要求后,还用于将参数估算结果输出至所述质量保证参数检验单元;

所述质量保证参数检验单元,用于计算接收到的参数估算结果所对应的质量保证参数,并对其进行检验,如果检验通过,则输出图像配准结果。

14. 如权利要求 11 所述的系统,其特征在于,

所述 DRR 图像库生成单元采用如下方式离线生成第一 DRR 图像库:

A01:设定包含 M_{01} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{x1} 和 N_{01} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{y1} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$; $\phi_{x1}(i)$ 和 $\phi_{y1}(j)$ 分别满足: $\phi_{x1_L}[0] \leq \phi_{x1}(i) \leq \phi_{x1_H}[0]$, $\phi_{y1_L}[0] \leq \phi_{y1}(j) \leq \phi_{y1_H}[0]$;

A02:对每一 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{01} \times N_{01}$ 个 DRR 图像的第一 DRR 图像库;

A01 和 A02 中, $i = 1, 2, \dots, M_{01}$; $j = 1, 2, \dots, N_{01}$; M_{01}, N_{01} 为大于 1 的整数; $\phi_{x1_L}[0]$ 和 $\phi_{x1_H}[0]$ 分别表示离线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x1}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y1_L}[0]$ 和 $\phi_{y1_H}[0]$ 分别表示离线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y1}(j)$ 的取值范围的下限和上限;

所述 DRR 图像库生成单元采用如下方式离线生成第二 DRR 图像库:

A11:设定包含 M_{02} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{x2} 和 N_{02} 个不同的平面外转角参数

ϕ_{y_2} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x_2}(i), \phi_{y_2}(j))$; $\phi_{x_2}(i)$ 和 $\phi_{y_2}(j)$ 分别满足: $\phi_{x_{2_L}}[0] \leq \phi_{x_2}(i) \leq \phi_{x_{2_H}}[0]$, $\phi_{y_{2_L}}[0] \leq \phi_{y_2}(j) \leq \phi_{y_{2_H}}[0]$;

A12: 对每一 $(\phi_{x_2}(i), \phi_{y_2}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像, 从而生成包含 $M_{02} \times N_{02}$ 个 DRR 图像的第二 DRR 图像库;

A11 和 A12 中, $i = 1, 2, \dots, M_{02}$; $j = 1, 2, \dots, N_{02}$; M_{02}, N_{02} 为大于 1 的整数; $\phi_{x_{2_L}}[0]$ 和 $\phi_{x_{2_H}}[0]$ 分别表示离线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x_2}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y_{2_L}}[0]$ 和 $\phi_{y_{2_H}}[0]$ 分别表示离线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y_2}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

15. 如权利要求 14 所述的系统, 其特征在于,

所述 DRR 图像库生成单元采用如下方式第 k 次在线生成第一 DRR 图像库:

D01: 设定包含 M_{k1} 个不同的平面外转角 ϕ_{x_1} 和 N_{k1} 个不同的平面外转角 ϕ_{y_1} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x_1}(i), \phi_{y_1}(j))$; $\phi_{x_1}(i)$ 和 $\phi_{y_1}(j)$ 分别满足:

$\phi_{x_{1_L}}[k] \leq \phi_{x_1}(i) \leq \phi_{x_{1_H}}[k]$, $\phi_{y_{1_L}}[k] \leq \phi_{y_1}(j) \leq \phi_{y_{1_H}}[k]$;

D02: 对每一 $(\phi_{x_1}(i), \phi_{y_1}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像, 从而生成包含 $M_{k1} \times N_{k1}$ 个 DRR 图像的第一 DRR 图像库;

D01 和 D02 中, $i = 1, 2, \dots, M_{k1}$; $j = 1, 2, \dots, N_{k1}$; M_{k1}, N_{k1} 为大于 1 的整数; $\phi_{x_{1_L}}[k]$ 和 $\phi_{x_{1_H}}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时, 平面外转角参数 $\phi_{x_1}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y_{1_L}}[k]$ 和 $\phi_{y_{1_H}}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时, 平面外转角参数 $\phi_{y_1}(j)$ 的取值范围的下限和上限;

所述 DRR 图像库生成单元采用如下方式第 k 次在线生成第二 DRR 图像库:

D11: 设定包含 M_{k2} 个不同的平面外转角 ϕ_{x_2} 和 N_{k2} 个不同的平面外转角 ϕ_{y_2} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x_2}(i), \phi_{y_2}(j))$; $\phi_{x_2}(i)$ 和 $\phi_{y_2}(j)$ 分别满足: $\phi_{x_{2_L}}[k] \leq \phi_{x_2}(i) \leq \phi_{x_{2_H}}[k]$, $\phi_{y_{2_L}}[k] \leq \phi_{y_2}(j) \leq \phi_{y_{2_H}}[k]$;

D12: 对每一 $(\phi_{x_2}(i), \phi_{y_2}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像, 从而生成包含 $M_{k2} \times N_{k2}$ 个 DRR 图像的第二 DRR 图像库;

D11 和 D12 中, $i = 1, 2, \dots, M_{k2}$; $j = 1, 2, \dots, N_{k2}$; M_{k2}, N_{k2} 为大于 1 的整数; $\phi_{x_{2_L}}[k]$ 和 $\phi_{x_{2_H}}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时, 平面外转角参数 $\phi_{x_2}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y_{2_L}}[k]$ 和 $\phi_{y_{2_H}}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时, 平面外转角参数 $\phi_{y_2}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

16. 如权利要求 15 所述的系统, 其特征在于,

$\phi_{x_{1_L}}[k]$ 、 $\phi_{x_{1_H}}[k]$ 、 $\phi_{y_{1_L}}[k]$ 和 $\phi_{y_{1_H}}[k]$ 分别满足:

$\phi_{x_{1_L}}[k] > \phi_{x_{1_L}}[k-1]$;

$\phi_{x_{1_H}}[k] < \phi_{x_{1_H}}[k-1]$;

$\phi_{y_{1_L}}[k] > \phi_{y_{1_L}}[k-1]$,

$\phi_{y_{1_H}}[k] < \phi_{y_{1_H}}[k-1]$;

$\phi_{x_{2_L}}[k]$ 、 $\phi_{x_{2_H}}[k]$ 、 $\phi_{y_{2_L}}[k]$ 和 $\phi_{y_{2_H}}[k]$ 分别满足:

$\phi_{x_{2_L}}[k] > \phi_{x_{2_L}}[k-1]$;

$\phi_{x_{2_H}}[k] < \phi_{x_{2_H}}[k-1]$;

$\phi_{y_{2_L}}[k] > \phi_{y_{2_L}}[k-1]$;

$$\phi_{y2_H}[k] < \phi_{y2_H}[k-1]。$$

17. 如权利要求 16 所述的系统,其特征在于,

所述 DRR 图像库生成单元离线生成第一 DRR 图像库时,各 $\phi_{x1}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x1}[0]$,各 $\phi_{y1}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y1}[0]$;第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时,各 $\phi_{x1}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x1}[k]$,各 $\phi_{y1}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y1}[k]$;

$$\Delta \phi_{x1}[k] \text{ 和 } \Delta \phi_{y1}[k] \text{ 分别满足: } \Delta \phi_{x1}[k] < \Delta \phi_{x1}[k-1]; \Delta \phi_{y1}[k] < \Delta \phi_{y1}[k-1];$$

所述 DRR 图像库生成单元离线生成第二 DRR 图像库时,各 $\phi_{x2}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x2}[0]$,各 $\phi_{y2}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y2}[0]$;第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时,各 $\phi_{x2}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x2}[k]$,各 $\phi_{y2}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y2}[k]$;

$$\Delta \phi_{x2}[k] \text{ 和 } \Delta \phi_{y2}[k] \text{ 分别满足: } \Delta \phi_{x2}[k] < \Delta \phi_{x2}[k-1]; \Delta \phi_{y2}[k] < \Delta \phi_{y2}[k-1]。$$

18. 如权利要求 11 所述的系统,其特征在于,

所述图像配准单元采用如下方式对第一 X 射线图像和第二 X 射线图像的平面内平移参数进行估算:

在 DRR 图像上确定优化配准窗口;

根据确定的优化配准窗口对平面内平移参数进行估算。

19. 如权利要求 18 所述的系统,其特征在于,

所述图像配准单元采用如下方式在 DRR 图像上确定优化配准窗口:

在 DRR 图像的感兴趣区内的不同位置确定多个尺寸小于感兴趣区的配准窗口;

分别计算多个配准窗口内图像的梯度值并相加,得到各配准窗口的梯度相加值;

选取梯度相加值大的一个或多个配准窗口作为优化配准窗口。

20. 如权利要求 11 所述的系统,其特征在于,

被成像体所对的所述第一成像平面与所述第二成像平面之间的夹角为 $180^\circ - 2\alpha$;其中, α 大于等于 25° 且小于等于 35° 。

一种基于双平板的二维 - 三维医学图像配准方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及医学图像配准方法及系统,尤其涉及一种基于双平板的 2D-3D(二维 - 三维)医学图像配准方法及系统。

背景技术

[0002] 图像引导放射治疗(IGRT)是近十年逐步发展起来的肿瘤放射治疗和肿瘤放射外科手术的 latest 理论和最新技术,是现代放射治疗的一个里程碑。IGRT 通过先进的影像设备及图像处理技术对患者的病灶在治疗前和治疗中进行定位追踪,实现对肿瘤的精确放射治疗,降低对肿瘤周边正常组织的损伤,改善病人的治疗效果。IGRT 是所有现代新兴放射治疗技术的基础,如立体定向神经放射外科手术(SRS)、立体定向体部放射治疗(SBRT)、图像引导的调强放射治疗(IG-IMRT),而图像引导是 IGRT 的核心技术。

[0003] 目前 IGRT 的图像引导主要采用 kV 级 X 射线成像技术或机载锥形 CT(CBCT)技术。基于 X 射线成像技术的图像引导技术,是通过单个或多个 X 射线透视图像和治疗计划 CT 的 2D-3D 图像配准,来确定病人或肿瘤的位置,通过在治疗前移动治疗床来调整病人位置、或在治疗中调整治疗射线,实现对肿瘤的精确治疗。而基于 CBCT 技术的图像引导技术,是通过在线生成的 CBCT 和治疗计划 CT 的三维 - 三维(3D-3D)图像配准来实现治疗前的病人定位。

[0004] 现有的基于 X 射线成像技术的图像引导所采用的 2D-3D 图像配准方法的配准速度、配准精度和配准成功率较低,需要改进。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是,克服现有技术的不足,提供一种可提高配准速度、配准精度和配准成功率基于双平板的二维 - 三维医学图像配准方法及系统。

[0006] 为了解决上述问题,本发明提供一种基于双平板的二维 - 三维医学图像配准方法,该方法包括:

[0007] A:生成被成像体的三维图像,并分别离线生成沿第一成像平面和沿第二成像平面的平面外转角方向的第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库;

[0008] B:分别在第一成像平面和第二成像平面采集被成像体的第一 X 射线图像和第二 X 射线图像;

[0009] C:以离线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,得到第一 X 射线图像的参数估算结果;并以离线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,得到第二 X 射线图像的参数估算结果;

[0010] D:以第一 X 射线图像的最新参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第一成像平面的两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库;并以第二 X 射线图像的

最新参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第二成像平面的两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库;

[0011] F:以最新在线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算;并以最新在线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算。

[0012] 此外,在所述步骤 B 和 C 之间,还包括如下步骤:

[0013] B1:以所述离线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为参考,对所述第一 X 射线图像进行图像加强;并以所述离线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为参考,对所述第二 X 射线图像进行图像加强。

[0014] 此外,在所述步骤 F 之后还包括如下步骤:

[0015] G:判断是否已满足参数估算精度要求,如果未满足,则重复执行步骤 D 及后续步骤。

[0016] 此外,所述步骤 G 中,如果判定已满足参数估算精度要求,则执行如下步骤:

[0017] H:计算参数估算结果所对应的质量保证参数,并对其进行检验,如果检验通过,则输出图像配准结果。

[0018] 此外,采用如下方式离线生成所述第一 DRR 图像库:

[0019] A01:设定包含 M_{01} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{x1} 和 N_{01} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{y1} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$; $\phi_{x1}(i)$ 和 $\phi_{y1}(j)$ 分别满足: $\phi_{x1_L}[0] \leq \phi_{x1}(i) \leq \phi_{x1_H}[0]$, $\phi_{y1_L}[0] \leq \phi_{y1}(j) \leq \phi_{y1_H}[0]$;

[0020] A02:对每一 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{01} \times N_{01}$ 个 DRR 图像的第一 DRR 图像库;

[0021] 步骤 A01 和 A02 中, $i = 1, 2, \dots, M_{01}$; $j = 1, 2, \dots, N_{01}$; M_{01} 、 N_{01} 为大于 1 的整数; $\phi_{x1_L}[0]$ 和 $\phi_{x1_H}[0]$ 分别表示离线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x1}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y1_L}[0]$ 和 $\phi_{y1_H}[0]$ 分别表示离线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y1}(j)$ 的取值范围的下限和上限;

[0022] 采用如下方式离线生成所述第二 DRR 图像库:

[0023] A11:设定包含 M_{02} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{x2} 和 N_{02} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{y2} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$; $\phi_{x2}(i)$ 和 $\phi_{y2}(j)$ 分别满足: $\phi_{x2_L}[0] \leq \phi_{x2}(i) \leq \phi_{x2_H}[0]$, $\phi_{y2_L}[0] \leq \phi_{y2}(j) \leq \phi_{y2_H}[0]$;

[0024] A12:对每一 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{02} \times N_{02}$ 个 DRR 图像的第二 DRR 图像库;

[0025] 步骤 A11 和 A12 中, $i = 1, 2, \dots, M_{02}$; $j = 1, 2, \dots, N_{02}$; M_{02} 、 N_{02} 为大于 1 的整数; $\phi_{x2_L}[0]$ 和 $\phi_{x2_H}[0]$ 分别表示离线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x2}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y2_L}[0]$ 和 $\phi_{y2_H}[0]$ 分别表示离线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y2}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

[0026] 此外,采用如下方式第 k 次在线生成第一 DRR 图像库:

[0027] D01:设定包含 M_{k1} 个不同的平面外转角 ϕ_{x1} 和 N_{k1} 个不同的平面外转角 ϕ_{y1} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$; $\phi_{x1}(i)$ 和 $\phi_{y1}(j)$ 分别满足:

[0028] $\phi_{x1_L}[k] \leq \phi_{x1}(i) \leq \phi_{x1_H}[k]$, $\phi_{y1_L}[k] \leq \phi_{y1}(j) \leq \phi_{y1_H}[k]$;

[0029] D02:对每一 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{k1} \times N_{k1}$ 个 DRR 图像的第一 DRR 图像库;

[0030] 步骤 D01 和 D02 中, $i = 1, 2, \dots, M_{k1}$; $j = 1, 2, \dots, N_{k1}$; M_{k1}, N_{k1} 为大于 1 的整数; $\phi_{x1_L}[k]$ 和 $\phi_{x1_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时,平面外转角参数 $\phi_{x1}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y1_L}[k]$ 和 $\phi_{y1_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时,平面外转角参数 $\phi_{y1}(j)$ 的取值范围的下限和上限;

[0031] 采用如下方式第 k 次在线生成第二 DRR 图像库:

[0032] D11:设定包含 M_{k2} 个不同的平面外转角 ϕ_{x2} 和 N_{k2} 个不同的平面外转角 ϕ_{y2} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$; $\phi_{x2}(i)$ 和 $\phi_{y2}(j)$ 分别满足: $\phi_{x2_L}[k] \leq \phi_{x2}(i) \leq \phi_{x2_H}[k]$, $\phi_{y2_L}[k] \leq \phi_{y2}(j) \leq \phi_{y2_H}[k]$;

[0033] D12:对每一 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{k2} \times N_{k2}$ 个 DRR 图像的第二 DRR 图像库;

[0034] 步骤 D11 和 D12 中, $i = 1, 2, \dots, M_{k2}$; $j = 1, 2, \dots, N_{k2}$; M_{k2}, N_{k2} 为大于 1 的整数; $\phi_{x2_L}[k]$ 和 $\phi_{x2_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时,平面外转角参数 $\phi_{x2}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y2_L}[k]$ 和 $\phi_{y2_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时,平面外转角参数 $\phi_{y2}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

[0035] 此外, $\phi_{x1_L}[k]$ 、 $\phi_{x1_H}[k]$ 、 $\phi_{y1_L}[k]$ 和 $\phi_{y1_H}[k]$ 分别满足:

[0036] $\phi_{x1_L}[k] > \phi_{x1_L}[k-1]$;

[0037] $\phi_{x1_H}[k] < \phi_{x1_H}[k-1]$;

[0038] $\phi_{y1_L}[k] > \phi_{y1_L}[k-1]$,

[0039] $\phi_{y1_H}[k] < \phi_{y1_H}[k-1]$;

[0040] $\phi_{x2_L}[k]$ 、 $\phi_{x2_H}[k]$ 、 $\phi_{y2_L}[k]$ 和 $\phi_{y2_H}[k]$ 分别满足:

[0041] $\phi_{x2_L}[k] > \phi_{x2_L}[k-1]$;

[0042] $\phi_{x2_H}[k] < \phi_{x2_H}[k-1]$;

[0043] $\phi_{y2_L}[k] > \phi_{y2_L}[k-1]$;

[0044] $\phi_{y2_H}[k] < \phi_{y2_H}[k-1]$ 。

[0045] 此外,离线生成第一 DRR 图像库时,各 $\phi_{x1}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x1}[0]$,各 $\phi_{y1}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y1}[0]$;第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时,各 $\phi_{x1}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x1}[k]$,各 $\phi_{y1}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y1}[k]$;

[0046] $\Delta \phi_{x1}[k]$ 和 $\Delta \phi_{y1}[k]$ 分别满足: $\Delta \phi_{x1}[k] < \Delta \phi_{x1}[k-1]$; $\Delta \phi_{y1}[k] < \Delta \phi_{y1}[k-1]$;

[0047] 离线生成第二 DRR 图像库时,各 $\phi_{x2}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x2}[0]$,各 $\phi_{y2}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y2}[0]$;第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时,各 $\phi_{x2}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x2}[k]$,各 $\phi_{y2}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y2}[k]$;

[0048] $\Delta \phi_{x2}[k]$ 和 $\Delta \phi_{y2}[k]$ 分别满足: $\Delta \phi_{x2}[k] < \Delta \phi_{x2}[k-1]$; $\Delta \phi_{y2}[k] < \Delta \phi_{y2}[k-1]$ 。

[0049] 此外,步骤 C 中,采用如下方式对第一 X 射线图像和第二 X 射线图像的平面内平移参数进行估算:

- [0050] C01 :在 DRR 图像上确定优化配准窗口 ;
- [0051] C02 :根据确定的优化配准窗口对平面内平移参数进行估算。
- [0052] 此外,采用如下方式在 DRR 图像上确定优化配准窗口 :
- [0053] C011 :在 DRR 图像的感兴趣区内的不同位置确定多个尺寸小于感兴趣区的配准窗口 ;
- [0054] C012 :分别计算多个配准窗口内图像的梯度值并相加,得到各配准窗口的梯度相加值 ;
- [0055] C013 :选取梯度相加值大的一个或多个配准窗口作为优化配准窗口。
- [0056] 此外,步骤 G 中,采用如下方式之一判断是否已满足参数估算精度要求 :
- [0057] 方式一 :判断在线生成第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库的次数 k 是否等于预先设定的值 N ,如果 $k = N$,则判定已满足参数估算精度要求 ;如果 $k < N$,则判定未满足参数估算精度要求 ;
- [0058] 方式二 :判断本次估算的参数值与上一次估算的相应参数值的差值是否小于预先设定的参数差值,如果小于,则判定已满足参数估算精度要求 ;否则,判定未满足参数估算精度要求 ;所述参数值包括以下一种或多种 :第一 X 射线图像的平面内平移参数,第一 X 射线图像的平面内转角参数,第一 X 射线图像的平面外转角参数,第二 X 射线图像的平面内平移参数,第二 X 射线图像的平面内转角参数,第二 X 射线图像的平面外转角参数。
- [0059] 此外,被成像体所对的所述第一成像平面与所述第二成像平面之间的夹角为 $180^\circ - 2\alpha$;其中, α 大于等于 25° 且小于等于 35° 。
- [0060] 本发明还提供一种二维 - 三维医学图像配准系统,包含 :第一 X 射线图像采集单元,第二 X 射线图像采集单元,三维图像生成单元,该系统还包含 :DRR 图像库生成单元,图像配准单元 ;其中 :
- [0061] 所述三维图像生成单元,用于生成被成像体的三维图像,并将其输出至 DRR 图像库生成单元 ;
- [0062] 所述 DRR 图像库生成单元,用于根据接收到的三维图像分别离线生成沿第一 X 射线图像采集单元的第一成像平面和沿第二 X 射线图像采集单元的第二成像平面的平面外转角方向的第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库,并输出离线生成的第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库中包含的 DRR 图像 ;
- [0063] 所述第一 X 射线图像采集单元,用于在第一成像平面采集并输出被成像体的第一 X 射线图像 ;
- [0064] 所述第二 X 射线图像采集单元,用于在第二成像平面采集并输出被成像体的第二 X 射线图像 ;
- [0065] 所述图像配准单元,用于将接收到的第一 X 射线图像作为被配准图像,以接收到的离线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果 ;
- [0066] 所述图像配准单元,还用于将接收到的第二 X 射线图像作为被配准图像,以接收到的离线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估

算结果；

[0067] 所述 DRR 图像库生成单元,还用于以接收到的第一 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第一成像平面的两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至所述图像配准单元；

[0068] 所述 DRR 图像库生成单元,还用于以接收到的第二 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第二成像平面的两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至所述图像配准单元；

[0069] 所述图像配准单元,还用于以接收到的在线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果；

[0070] 所述图像配准单元,还用于以接收到的在线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果。

[0071] 此外,所述系统中还包含图像加强单元；

[0072] 所述图像加强单元,用于接收所述第一 X 射线图像采集单元输出的第一 X 射线图像,并以接收到的离线生成的第一 DRR 图像库中包含的 DRR 图像为参考,对第一 X 射线图像进行图像加强,并将加强后的第一 X 射线图像输出至所述图像配准单元；

[0073] 所述图像加强单元,还用于接收所述第二 X 射线图像采集单元输出的第二 X 射线图像,并以接收到的离线生成的第二 DRR 图像库中包含的 DRR 图像为参考,对第二 X 射线图像进行图像加强,并将加强后的第二 X 射线图像输出至所述图像配准单元。

[0074] 此外,所述图像配准单元,还用于判断是否已满足参数估算精度要求,如果未满足,则所述图像配准单元和所述 DRR 图像库生成单元重复执行如下操作,直至所述图像配准单元判定满足参数估算精度要求；

[0075] 所述图像配准单元将第一 X 射线图像的参数估算结果和第二 X 射线图像的参数估算结果输出至所述 DRR 图像库生成单元；

[0076] 所述 DRR 图像库生成单元以接收到的第一 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第一成像平面的两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至所述图像配准单元,并以接收到的第二 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第二成像平面的两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至所述图像配准单元；

[0077] 所述图像配准单元以接收到的在线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,并以接收到的在线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算；

[0078] 所述图像配准单元判断是否已满足参数估算精度要求。

[0079] 此外,所述系统中还包含:质量保证参数检验单元；

[0080] 所述图像配准单元在判定已满足参数估算精度要求后,还用于将参数估算结果输出至所述质量保证参数检验单元；

[0081] 所述质量保证参数检验单元,用于计算接收到的参数估算结果所对应的质量保证参数,并对其进行检验,如果检验通过,则输出图像配准结果。

[0082] 此外,所述 DRR 图像库生成单元采用如下方式离线生成第一 DRR 图像库:

[0083] A01:设定包含 M_{01} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{x1} 和 N_{01} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{y1} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$; $\phi_{y1}(i)$ 和 $\phi_{y1}(j)$ 分别满足: $\phi_{x1_L}[0] \leq \phi_{x1}(i) \leq \phi_{x1_H}[0]$, $\phi_{y1_L}[0] \leq \phi_{y1}(j) \leq \phi_{y1_H}[0]$;

[0084] A02:对每一 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{01} \times N_{01}$ 个 DRR 图像的第一 DRR 图像库;

[0085] A01 和 A02 中, $i = 1, 2, \dots, M_{01}$; $j = 1, 2, \dots, N_{01}$; M_{01} 、 N_{01} 为大于 1 的整数; $\phi_{x1_L}[0]$ 和 $\phi_{x1_H}[0]$ 分别表示离线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x1}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y1_L}[0]$ 和 $\phi_{y1_H}[0]$ 分别表示离线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y1}(j)$ 的取值范围的下限和上限;

[0086] 所述 DRR 图像库生成单元采用如下方式离线生成第二 DRR 图像库:

[0087] A11:设定包含 M_{02} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{x2} 和 N_{02} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{y2} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$; $\phi_{x2}(i)$ 和 $\phi_{y2}(j)$ 分别满足: $\phi_{x2_L}[0] \leq \phi_{x2}(i) \leq \phi_{x2_H}[0]$, $\phi_{y2_L}[0] \leq \phi_{y2}(j) \leq \phi_{y2_H}[0]$;

[0088] A12:对每一 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{02} \times N_{02}$ 个 DRR 图像的第二 DRR 图像库;

[0089] A11 和 A12 中, $i = 1, 2, \dots, M_{02}$; $j = 1, 2, \dots, N_{02}$; M_{02} 、 N_{02} 为大于 1 的整数; $\phi_{x2_L}[0]$ 和 $\phi_{x2_H}[0]$ 分别表示离线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x2}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y2_L}[0]$ 和 $\phi_{y2_H}[0]$ 分别表示离线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y2}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

[0090] 此外,所述 DRR 图像库生成单元采用如下方式第 k 次在线生成第一 DRR 图像库:

[0091] D01:设定包含 M_{k1} 个不同的平面外转角 ϕ_{x1} 和 N_{k1} 个不同的平面外转角 ϕ_{y1} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$; $\phi_{x1}(i)$ 和 $\phi_{y1}(j)$ 分别满足:

[0092] $\phi_{x1_L}[k] \leq \phi_{x1}(i) \leq \phi_{x1_H}[k]$, $\phi_{y1_L}[k] \leq \phi_{y1}(j) \leq \phi_{y1_H}[k]$;

[0093] D02:对每一 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{k1} \times N_{k1}$ 个 DRR 图像的第一 DRR 图像库;

[0094] D01 和 D02 中, $i = 1, 2, \dots, M_{k1}$; $j = 1, 2, \dots, N_{k1}$; M_{k1} 、 N_{k1} 为大于 1 的整数; $\phi_{x1_L}[k]$ 和 $\phi_{x1_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时,平面外转角参数 $\phi_{x1}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y1_L}[k]$ 和 $\phi_{y1_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时,平面外转角参数 $\phi_{y1}(j)$ 的取值范围的下限和上限;

[0095] 所述 DRR 图像库生成单元采用如下方式第 k 次在线生成第二 DRR 图像库:

[0096] D11:设定包含 M_{k2} 个不同的平面外转角 ϕ_{x2} 和 N_{k2} 个不同的平面外转角 ϕ_{y2} 的不同平面外转角参数组合 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$; $\phi_{x2}(i)$ 和 $\phi_{y2}(j)$ 分别满足: $\phi_{x2_L}[k] \leq \phi_{x2}(i) \leq \phi_{x2_H}[k]$, $\phi_{y2_L}[k] \leq \phi_{y2}(j) \leq \phi_{y2_H}[k]$;

[0097] D12:对每一 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$ 生成一个对应的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{k2} \times N_{k2}$ 个 DRR 图像的第二 DRR 图像库;

[0098] D11 和 D12 中, $i = 1, 2, \dots, M_{k2}$; $j = 1, 2, \dots, N_{k2}$; M_{k2} 、 N_{k2} 为大于 1 的整数; $\phi_{x2_L}[k]$

$\phi_{x2_L}[k]$ 和 $\phi_{x2_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时, 平面外转角参数 $\phi_{x2}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y2_L}[k]$ 和 $\phi_{y2_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时, 平面外转角参数 $\phi_{y2}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

[0099] 此外, $\phi_{x1_L}[k]$ 、 $\phi_{x1_H}[k]$ 、 $\phi_{y1_L}[k]$ 和 $\phi_{y1_H}[k]$ 分别满足:

[0100] $\phi_{x1_L}[k] > \phi_{x1_L}[k-1]$;

[0101] $\phi_{x1_H}[k] < \phi_{x1_H}[k-1]$;

[0102] $\phi_{y1_L}[k] > \phi_{y1_L}[k-1]$,

[0103] $\phi_{y1_H}[k] < \phi_{y1_H}[k-1]$;

[0104] $\phi_{x2_L}[k]$ 、 $\phi_{x2_H}[k]$ 、 $\phi_{y2_L}[k]$ 和 $\phi_{y2_H}[k]$ 分别满足:

[0105] $\phi_{x2_L}[k] > \phi_{x2_L}[k-1]$;

[0106] $\phi_{x2_H}[k] < \phi_{x2_H}[k-1]$;

[0107] $\phi_{y2_L}[k] > \phi_{y2_L}[k-1]$;

[0108] $\phi_{y2_H}[k] < \phi_{y2_H}[k-1]$ 。

[0109] 此外, 所述 DRR 图像库生成单元离线生成第一 DRR 图像库时, 各 $\phi_{x1}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x1}[0]$, 各 $\phi_{y1}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y1}[0]$; 第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时, 各 $\phi_{x1}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x1}[k]$, 各 $\phi_{y1}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y1}[k]$;

[0110] $\Delta \phi_{x1}[k]$ 和 $\Delta \phi_{y1}[k]$ 分别满足: $\Delta \phi_{x1}[k] < \Delta \phi_{x1}[k-1]$; $\Delta \phi_{y1}[k] < \Delta \phi_{y1}[k-1]$;

[0111] 所述 DRR 图像库生成单元离线生成第二 DRR 图像库时, 各 $\phi_{x2}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x2}[0]$, 各 $\phi_{y2}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y2}[0]$; 第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时, 各 $\phi_{x2}(i)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{x2}[k]$, 各 $\phi_{y2}(j)$ 之间的差值为 $\Delta \phi_{y2}[k]$;

[0112] $\Delta \phi_{x2}[k]$ 和 $\Delta \phi_{y2}[k]$ 分别满足: $\Delta \phi_{x2}[k] < \Delta \phi_{x2}[k-1]$; $\Delta \phi_{y2}[k] < \Delta \phi_{y2}[k-1]$ 。

[0113] 此外, 所述图像配准单元采用如下方式对第一 X 射线图像和第二 X 射线图像的平面内平移参数进行估算:

[0114] 在 DRR 图像上确定优化配准窗口;

[0115] 根据确定的优化配准窗口对平面内平移参数进行估算。

[0116] 此外, 所述图像配准单元采用如下方式在 DRR 图像上确定优化配准窗口:

[0117] 在 DRR 图像的感兴趣区内的不同位置确定多个尺寸小于感兴趣区的配准窗口;

[0118] 分别计算多个配准窗口内图像的梯度值并相加, 得到各配准窗口的梯度相加值;

[0119] 选取梯度相加值大的一个或多个配准窗口作为优化配准窗口。

[0120] 此外, 所述图像配准单元采用如下方式之一判断是否已满足参数估算精度要求:

[0121] 方式一: 判断在线生成第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库的次数 k 是否等于预先设定的值 N , 如果 $k = N$, 则判定已满足参数估算精度要求; 如果 $k < N$, 则判定未满足参数估算精度要求;

[0122] 方式二: 判断本次估算的参数值与上一次估算的相应参数值的差值是否小于预先设定的参数差值, 如果小于, 则判定已满足参数估算精度要求; 否则, 判定未满足参数估算精度要求; 所述参数值包括以下一种或多种: 第一 X 射线图像的平面内平移参数, 第一 X 射线图像的平面内转角参数, 第一 X 射线图像的平面外转角参数, 第二 X 射线图像的平面内平

移参数,第二 X 射线图像的平面内转角参数,第二 X 射线图像的平面外转角参数。

[0123] 此外,被成像体所对的所述第一成像平面与第二成像平面之间的夹角为 $180^\circ - 2\alpha$;其中, α 大于等于 25° 且小于等于 35° 。

[0124] 综上所述,本发明基于双平板的医学图像配准方法及系统采用 X 射线成像技术、基于体内解剖特征进行 2D-3D 医学图像配准,通过将两个在不同平板实时采集的二维 X 射线图像分别与离线和在线生成的 DRR 图像库进行对比,进行位置参数的估算,得到分别与两个平板的成像平面相对应的参数估算结果,并将其转换为一个三维的位置参数估算结果,最终确定病人的病灶在三维扫描时和放射治疗时的位置偏差,从而引导放射治疗系统调整病人位置,达到对肿瘤进行精确地放射治疗的效果。在图像引导放射治疗中,本方法可应用于颅脑、脊椎、肺、肝等部位的肿瘤定位和追踪。

[0125] 由于本发明基于双平板的医学图像配准方法及系统基于沿平面外转角方向离线和在线生成的 DRR 图像库分别对平面内平移、平面内转角和平面外转角进行估算,降低了图像配准的复杂度,提高了配准速度、配准精度和配准的成功率。

附图说明

[0126] 图 1 描述了采用本发明的二维 - 三维医学图像配准方法的 DR(数字投影)双平板图像引导系统的成像几何及坐标系;

[0127] 图 2 描述了 DR 双平板图像引导系统的一种具体的实现结构;

[0128] 图 3 描述了 DR 双平板图像引导系统中的两个单平板坐标系;

[0129] 图 4 是本发明应用于双平板图像引导系统的二维 - 三维医学图像配准方法流程图;

[0130] 图 5 为本发明在基准 DRR 图像上确定多个优化配准窗口的示意图;

[0131] 图 6 为本发明基于双平板的二维 - 三维医学图像配准系统的结构示意图。

具体实施方式

[0132] 本发明的核心是,生成沿第一成像平面的平面外转角方向的第一 DRR 图像库和沿第二成像平面的平面外转角方向的第二 DRR 图像库;以第一成像平面的第一 X 射线图像作为被配准图像,第一 DRR 图像库中的 DRR 图像作为基准图像分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数进行估算;以第二成像平面的第二 X 射线图像作为被配准图像,第二 DRR 图像库中的 DRR 图像作为基准图像分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数进行估算;根据第一 X 射线图像和第二 X 射线图像的各参数估算结果得到图像配准结果。

[0133] 首先对本发明涉及的 X 射线成像几何与坐标系,以及 DR 双平板图像引导系统的具体实现结构进行描述。

[0134] 图 1 描述了采用本发明的二维 - 三维医学图像配准方法的 DR 双平板图像引导系统的成像几何及坐标系;图 2 描述了上述 DR 双平板图像引导系统的一种具体的实现结构;图 3 描述了上述 DR 双平板图像引导系统中的两个单平板坐标系。

[0135] 如图 1 所示,第一 X 射线源发射的 X 射线穿透三维被成像体(病人),在二维的第一成像平面上产生一个透视图像,该透视图像称为第一 X 射线图像;第二 X 射线源发射的 X

射线穿透三维被成像体（病人），在二维的第二成像平面上产生一个透视图像，该透视图像称为第二 X 射线图像。

[0136] 图 1 中， O_{s1} 和 O_{s2} 分别表示第一 X 射线源和第二 X 射线源的中心坐标点， O_{p1} 和 O_{p2} 分别表示第一成像平面和第二成像平面的中心；三维坐标系（ $oxyz$ ）为病人坐标系，病人位置由六个参数来描述，包括三个平移参数（ x, y, z ）和三个转角参数（ ϕ_x, ϕ_y, ϕ_z ）。2D-3D 图像配准就是使用两个 X 射线图像和一个三维图像（例如，CT 图像）找到病人位置变化的六个参数（ $x, y, z, \phi_x, \phi_y, \phi_z$ ）。

[0137] 如图 1 所示，第一 X 射线源的中心 O_{s1} 到第一成像平面的垂直线与第二 X 射线源的中心 O_{s2} 到第二成像平面的垂直线之间的夹角为 2α ；也就是说，第一成像平面与第二成像平面之间的夹角（三维被成像体所对的夹角）为 $180^\circ - 2\alpha$ 。

[0138] 在将本发明应用于针对肺部等器官肿瘤的引导放射治疗时，可以将 α 值设定为大于等于 25° 且小于等于 35° ，以便得到更好的治疗效果；优选地， $\alpha = 30^\circ$ 。

[0139] 图 3 中虚线的左右两侧分别描述了第一 X 射线源和第一成像平面所对应的平板 1 的三维坐标系（ $o_1x_1y_1z_1$ ）、成像平面二维坐标系（ $o_{p1}x_{p1}y_{p1}$ ），以及第二 X 射线源和第二成像平面所对应的平板 2 的三维坐标系（ $o_2x_2y_2z_2$ ）、成像平面二维坐标系（ $o_{p2}x_{p2}y_{p2}$ ）。在每一个成像平面上，病人位置的变化由五个参数来描述：两个平面内平移参数（ x_p, y_p ），平面内转角参数 ϕ_z 和两个平面外转角参数（ ϕ_x, ϕ_y ）。

[0140] 本发明通过分别对平板 1 和平板 2 进行单平板 2D-3D 图像配准（即，使用单个 X 射线图像和与其对应的由三维 CT 图像或 MRI 图像生成的 DRR 图像库进行图像配准），分别确定平板 1 和平板 2 的五个病人位置变化参数： $(x_{p1}, y_{p1}, \phi_{z1}, \phi_{x1}, \phi_{y1})$ 和 $(x_{p2}, y_{p2}, \phi_{z2}, \phi_{x2}, \phi_{y2})$ 。

[0141] $(x, y, z, \phi_x, \phi_y, \phi_z)$ 与 $(x_{p1}, y_{p1}, \phi_{z1}, \phi_{x1}, \phi_{y1})$ 和 $(x_{p2}, y_{p2}, \phi_{z2}, \phi_{x2}, \phi_{y2})$ 的关系可以由以下公式确定：

$$[0142] \quad x = (a_1x_{p1} - a_2x_{p2}) / 2 \quad (\text{公式 1})$$

$$[0143] \quad y = (a_1y_{p1} - a_2y_{p2}) \cos \alpha \quad (\text{公式 2})$$

$$[0144] \quad z = (a_1y_{p1} + a_2y_{p2}) \cos \alpha \quad (\text{公式 3})$$

$$[0145] \quad \phi_x = (\phi_{x1} + \phi_{x2}) / 2 \quad (\text{公式 4})$$

$$[0146] \quad \phi_y = (\phi_{y1} - \phi_{y2}) \cos \alpha \quad (\text{公式 5})$$

$$[0147] \quad \phi_z = (\phi_{z1} + \phi_{z2}) \cos \alpha \quad (\text{公式 6})$$

[0148] 其中：常数 a_1 和 a_2 为成像几何转换系数：

$$[0149] \quad a_1 = \frac{|O O_{s1}|}{|O_{s1} O_{p1}|}, a_2 = \frac{|O O_{s2}|}{|O_{s2} O_{p2}|}。$$

[0150] 根据上述公式，本发明将双平板 2D-3D 图像配准问题转化为两个单平板投影 2D-3D 图像配准和二维到三维的几何转换问题。

[0151] 本发明描述了采用两个 X 射线数字投影图像（DR 双平板）的图像引导技术中的 2D-3D 图像配准方法，该方法基于骨骼解剖或器官解剖特征，通过比较两个实时采集的二维 X 射线图像和三维 CT 或 MRI（磁共振成像）图像，来确定病人的病灶在三维扫描时和放射治疗时的位置偏差，从而引导放射治疗系统调整病人位置，达到肿瘤精确放射治疗的效果。

[0152] 在图像配准过程中,首先对三维的 CT 图像或 MRI 图像进行二维透视投影,生成数字重建透视图(Digitally Reconstructed Radiograph,简称 DRR)图像库,作为图像配准的基准图像;然后,将实时采集的 X 射线图像作为被配准图像,用图像相似性测量比较 X 射线图像和 DRR 图像库,以探测病人在 X 射线成像与在 CT/MRI 扫描之间的位置变化。

[0153] 下面将结合附图和实施例对本发明进行详细描述。

[0154] 图 4 是本发明应用于双平板图像引导系统的二维-三维医学图像配准方法流程图。如图 4 所示,该方法包括如下步骤:

[0155] 401,生成三维被成像体的三维图像,并分别离线生成沿第一成像平面的平面外转角方向的第一 DRR 图像库和沿第二成像平面的平面外转角方向的第二 DRR 图像库;

[0156] DRR 图像是利用 CT/MRI 扫描影像序列的数字化重建透视,是仿真的 X 射线透视图,生成 DRR 图像需要获知成像系统的几何参数,具体地说,需要获知 X 射线源和 X 射线探测器在成像系统坐标系中的准确位置以及 X 射线的投影方向。

[0157] 上述沿第一成像平面的平面外转角为图 3 所示三维坐标系 $(o_1x_1y_1z_1)$ 中绕 x_1 和 y_1 坐标轴方向的两个转角。

[0158] 本步骤中,沿两个平面外转角方向离线生成的第一 DRR 图像库由不同角度组合的两个平面外转角参数 (ϕ_{x_1}, ϕ_{y_1}) 所对应的多个 DRR 图像组成。

[0159] 离线生成第一 DRR 图像库时,需要在预先设定的角度范围内定义 M_{01} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{x_1} 和 N_{01} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{y_1} ,以生成 $M_{01} \times N_{01}$ 个不同的平面外转角参数组合 $(\phi_{x_1}(i), \phi_{y_1}(j))$;其中, $i = 1, 2, \dots, M_{01}$; $j = 1, 2, \dots, N_{01}$ 。对每个角度组合生成一个对应于这两个平面外转角的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{01} \times N_{01}$ 个 DRR 图像的第一 DRR 图像库; M_{01} 、 N_{01} 为大于 1 的整数。

[0160] 本步骤中生成的第一 DRR 图像库中包含在比较大的角度范围内定义的不同角度组合的两个平面外转角参数 $(\phi_{x_1}(i), \phi_{y_1}(j))$ 所对应的 DRR 图像。也就是说,本步骤中, $\phi_{x_1}(i)$ 和 $\phi_{y_1}(j)$ 分别满足:

[0161] $\phi_{x_{1L}}[0] \leq \phi_{x_1}(i) \leq \phi_{x_{1H}}[0], \phi_{y_{1L}}[0] \leq \phi_{y_1}(j) \leq \phi_{y_{1H}}[0]$ 。

[0162] 其中, $\phi_{x_{1L}}[0]$ 和 $\phi_{x_{1H}}[0]$ 分别表示离线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x_1}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y_{1L}}[0]$ 和 $\phi_{y_{1H}}[0]$ 分别表示离线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y_1}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

[0163] 本步骤中, $\phi_{x_{1L}}[0]$ 和 $\phi_{y_{1L}}[0]$ 可以等于 -10 度; $\phi_{x_{1H}}[0]$ 和 $\phi_{y_{1H}}[0]$ 可以等于 +10 度,而各 $\phi_{x_1}(i)$ 之间的差值 $\Delta \phi_{x_1}[0]$ 以及各 $\phi_{y_1}(j)$ 之间的差值 $\Delta \phi_{y_1}[0]$ (即角度间隔)可以较大(例如,角度间隔为 1 度),即可满足初步估算的精度要求。

[0164] 上述沿第二成像平面的平面外转角为图 3 所示三维坐标系 $(o_2x_2y_2z_2)$ 中绕 x_2 和 y_2 坐标轴方向的两个转角。

[0165] 本步骤中,沿两个平面外转角方向离线生成的第二 DRR 图像库由不同角度组合的两个平面外转角参数 (ϕ_{x_2}, ϕ_{y_2}) 所对应的多个 DRR 图像组成。

[0166] 离线生成第二 DRR 图像库时,需要在预先设定的角度范围内定义 M_{02} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{x_2} 和 N_{02} 个不同的平面外转角参数 ϕ_{y_2} ,以生成 $M_{02} \times N_{02}$ 个不同的平面外转角参数组合 $(\phi_{x_2}(i), \phi_{y_2}(j))$;其中, $i = 1, 2, \dots, M_{02}$; $j = 1, 2, \dots, N_{02}$ 。对每个角度组合生成一个对应于这两个平面外转角的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{02} \times N_{02}$ 个 DRR 图像的第二

DRR 图像库。 M_{02} 、 N_{02} 为大于 1 的整数。

[0167] 本步骤中生成的第二 DRR 图像库中包含在比较大的角度范围内定义的不同角度组合的两个平面外转角参数 ($\phi_{x2}(i)$, $\phi_{y2}(j)$) 所对应的 DRR 图像。也就是说,本步骤中, $\phi_{x2}(i)$ 和 $\phi_{y2}(j)$ 分别满足:

[0168] $\phi_{x2_L}[0] \leq \phi_{x2}(i) \leq \phi_{x2_H}[0]$, $\phi_{y2_L}[0] \leq \phi_{y2}(j) \leq \phi_{y2_H}[0]$ 。

[0169] 其中, $\phi_{x2_L}[0]$ 和 $\phi_{x2_H}[0]$ 分别表示离线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x2}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y2_L}[0]$ 和 $\phi_{y2_H}[0]$ 分别表示离线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y2}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

[0170] 本步骤中, $\phi_{x2_L}[0]$ 和 $\phi_{y2_L}[0]$ 可以等于 -10 度; $\phi_{x2_H}[0]$ 和 $\phi_{y2_H}[0]$ 可以等于 +10 度,而各 $\phi_{x2}(i)$ 之间的差值 $\Delta \phi_{x2}[0]$ 以及各 $\phi_{y2}(j)$ 之间的差值 $\Delta \phi_{y2}[0]$ (即角度间隔) 可以较大 (例如,角度间隔为 1 度),即可满足初步估算的精度要求。

[0171] 402,在平板 1 和平板 2 上分别实时采集三维被成像体的 X 射线图像,即实时采集第一成像平面的第一 X 射线图像和第二成像平面的第二 X 射线图像。

[0172] 403,分别以离线生成的第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库中的基准 DRR 图像作为参考,对采集的第一 X 射线图像和第二 X 射线图像进行图像加强,使加强后的 X 射线图像与对应的 DRR 图像库中的 DRR 图像在视觉上相似,以提高图像配准的精度;

[0173] 上述基准 DRR 图像可以是 DRR 图像库中两个平面外转角都为 0 度所对应的 DRR 图像。

[0174] 本实施例中,可以采用如下方式实现 X 射线图像的加强:以基准 DRR 图像的直方图作为参考,调整 X 射线图像的直方图,使之与基准 DRR 图像的直方图达到最大限度的相似。当然,也可以采用现有技术中的其它方法实现 X 射线图像的加强。

[0175] 本步骤为可选步骤。

[0176] 404,将第一 X 射线图像作为被配准图像,以离线生成的沿两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库中的基准 DRR 图像为基准,对第一 X 射线图像的两个平面内平移参数 (x_{p1} , y_{p1}) 的值进行初步估算,得到估算值: ($x_{p1}[0]$, $y_{p1}[0]$); 并将第二 X 射线图像作为被配准图像,以离线生成的沿两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库中的基准 DRR 图像为基准,对第二 X 射线图像的两个平面内平移参数 (x_{p2} , y_{p2}) 的值进行初步估算,得到估算值: ($x_{p2}[0]$, $y_{p2}[0]$);

[0177] 具体地说,本步骤中可以在基准 DRR 图像上确定优化配准窗口,采用二维 (2D) 搜索法,在比较大的平移搜索范围内 (例如, -40mm ~ +40mm),根据优化配准窗口,对平面内平移参数 (x_{p1} , y_{p1})、(x_{p2} , y_{p2}) 的值进行初步估算 (即以优化配准窗口内的特征在 X 射线图像中寻找对应的位置),分别得到估算值: ($x_{p1}[0]$, $y_{p1}[0]$) 和 ($x_{p2}[0]$, $y_{p2}[0]$)。

[0178] 上述 2D 搜索法是指在规定的二维参数空间范围内,比较被配准图像与基准图像的相似性测量,以确定这两个参数的数值。本步骤中采用 2D 搜索法确定的参数为:平面内平移参数 (x_{p1} , y_{p1}) 和平面内平移参数 (x_{p2} , y_{p2})。

[0179] 本发明中,相似性测量可以采用现有技术中的归一化相关相似法或互信息相似法,本文不再赘述。

[0180] 优化配准窗口可以是基准 DRR 图像的一部分,也可以是整幅基准 DRR 图像。

[0181] 本实施例中,可以采用如下方法确定优化配准窗口:在 DRR 图像感兴趣区内的不

同位置,确定多个尺寸小于感兴趣区的配准窗口;由于优化配准窗口应当包含更丰富的图像特征,以便提高对两个平面内平移的初步估算结果的精确度和可靠性,因此可以以梯度相加值作为图像特征,分别计算多个配准窗口内图像的梯度值并相加,得到各配准窗口的梯度相加值;然后,按照梯度相加值的大小,对所有配准窗口进行排序,选取梯度相加值大的一个或多个配准窗口,作为优化配准窗口。

[0182] 当然,计算图像特征的方法不限于计算图像梯度,也包括计算图像熵等其它方法。

[0183] 以估算平面内平移参数 (x_{p1}, y_{p1}) 的值为例,如果如图 5 所示在第一 DRR 图像库中的基准 DRR 图像上确定了多个优化配准窗口,则可以针对每个优化配准窗口初步估算平面内平移参数 (x_{p1}, y_{p1}) 的值,再通过中值滤波器在各优化配准窗口所对应的平面内平移参数 (x_{p1}, y_{p1}) 估算值中选择一个估算值 $(x_{p1}[0], y_{p1}[0])$ 。估算平面内平移参数 (x_{p2}, y_{p2}) 的具体方法类似。

[0184] 405,将第一 X 射线图像作为被配准图像,以离线生成的沿两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库中的基准 DRR 图像为基准,对第一 X 射线图像的平面内转角参数 ϕ_{z1} 的值进行初步估算,得到估算值: $\phi_{z1}[0]$;并且将第二 X 射线图像作为被配准图像,以离线生成的沿两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库中的基准 DRR 图像为基准,对第二 X 射线图像的平面内转角参数 ϕ_{z2} 的值进行初步估算,得到估算值: $\phi_{z2}[0]$;

[0185] 具体地说,本步骤中可以采用一维(1D)搜索法,在比较大的转角搜索范围内(例如, -10 度~ +10 度),分别对平面内转角参数 ϕ_{z1} 和 ϕ_{z2} 的值进行初步估算,得到估算值: $\phi_{z1}[0]$ 和 $\phi_{z2}[0]$ 。

[0186] 上述 1D 搜索法是指在规定的—维参数空间范围内,比较被配准图像与基准图像的相似性测量,以确定这个参数的数值。本步骤中采用 1D 搜索法确定的参数为:平面内转角参数 ϕ_{z1} 和平面内转角参数 ϕ_{z2} 。

[0187] 406,将第一 X 射线图像作为被配准图像,以离线生成的沿两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库中的所有 DRR 图像为基准,对第一 X 射线图像的两个平面外转角参数 (ϕ_{x1}, ϕ_{y1}) 的值进行初步估算,得到估算值: $(\phi_{x1}[0], \phi_{y1}[0])$;并且将第二 X 射线图像作为被配准图像,以离线生成的沿两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库中的所有 DRR 图像为基准,对第二 X 射线图像的两个平面外转角参数 (ϕ_{x2}, ϕ_{y2}) 的值进行初步估算,得到估算值: $(\phi_{x2}[0], \phi_{y2}[0])$;

[0188] 具体地说,本步骤中可以采用 2D 搜索法,在整个离线生成的第一 DRR 图像库的搜索范围内,对第一 X 射线图像的两个平面外转角参数 (ϕ_{x1}, ϕ_{y1}) 的值进行初步估算,得到估算值: $(\phi_{x1}[0], \phi_{y1}[0])$,在整个离线生成的第二 DRR 图像库的搜索范围内,对第二 X 射线图像的两个平面外转角参数 (ϕ_{x2}, ϕ_{y2}) 的值进行初步估算,得到估算值: $(\phi_{x2}[0], \phi_{y2}[0])$ 。

[0189] 407,使用对第一 X 射线图像的平面内平移参数 (x_{p1}, y_{p1}) 、平面内转角参数 ϕ_{z1} 、平面外转角参数 (ϕ_{x1}, ϕ_{y1}) 的最新估算结果所对应的 CT 基准位置对三维图像进行调整,沿第一成像平面的两个平面外转角方向在线生成第一 DRR 图像库;并且使用对第二 X 射线图像的平面内平移参数 (x_{p2}, y_{p2}) 、平面内转角参数 ϕ_{z2} 、平面外转角参数 (ϕ_{x2}, ϕ_{y2}) 的最新估算结果所对应的 CT 基准位置对三维图像进行调整,沿第二成像平面的两个平面外转角方向在线生成第二 DRR 图像库;

[0190] 第 1 次沿第一成像平面的两个平面外转角方向在线生成第一 DRR 图像库时,以步骤 404 ~ 406 中对各参数的估算结果: $(x_{p1}[0], y_{p1}[0])$ 、 $\phi_{z1}[0]$ 、以及 $(\phi_{x1}[0], \phi_{y1}[0])$ 所对应的基准位置,在线生成第一 DRR 图像库;第 $k+1$ 次沿第一成像平面的两个平面外转角方向在线生成第一 DRR 图像库时,则以步骤 408 ~ 410 中对各参数的估算结果: $(x_{p1}[k], y_{p1}[k])$ 、 $\phi_{z1}[k]$ 、以及 $(\phi_{x1}[k], \phi_{y1}[k])$ 为基准位置,在线生成第一 DRR 图像库; k 为沿两个平面外转角方向在线生成第一 DRR 图像库的次数。

[0191] 在线生成第一 DRR 图像库时,需要在预先设定的角度范围内定义 M_{k1} 个不同的平面外转角 ϕ_{x1} 和 N_{k1} 个不同的平面外转角 ϕ_{y1} ,以生成 $M_{k1} \times N_{k1}$ 个不同的平面外转角参数组合 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$;其中, $i = 1, 2, \dots, M_{k1}$; $j = 1, 2, \dots, N_{k1}$ 。对每个角度组合生成一个对应于这两个平面外转角的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{k1} \times N_{k1}$ 个 DRR 图像的第一 DRR 图像库。 M_{k1} 、 N_{k1} 为大于 1 的整数。

[0192] 本步骤中生成的第一 DRR 图像库包含在比较小的角度范围内定义的不同角度组合的两个平面外转角参数 $(\phi_{x1}(i), \phi_{y1}(j))$ 所对应的 DRR 图像。也就是说,本步骤中, $\phi_{x1}(i)$ 和 $\phi_{y1}(j)$ 分别满足:

[0193] $\phi_{x1L}[k] \leq \phi_{x1}(i) \leq \phi_{x1H}[k], \phi_{y1L}[k] \leq \phi_{y1}(j) \leq \phi_{y1H}[k]$ 。

[0194] 其中, $\phi_{x1L}[k]$ 和 $\phi_{x1H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x1}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y1L}[k]$ 和 $\phi_{y1H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第一 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y1}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

[0195] 本步骤中,由于需要进行更为精确的计算, $\phi_{x1L}[k]$ 和 $\phi_{y1L}[k]$ 可以大于等于 -2 度; $\phi_{x1H}[k]$ 和 $\phi_{y1H}[k]$ 可以小于等于 +2 度,而各 $\phi_{x1}(i)$ 之间的差值 $\Delta \phi_{x1}[k]$ 以及各 $\phi_{y1}(j)$ 之间的差值 $\Delta \phi_{y1}[k]$ (即角度间隔)应当较小,例如,角度间隔小于等于 0.1 度。

[0196] 此外,由于可能需要重复执行本步骤,多次在线生成第一 DRR 图像库,因此,可以令:

[0197] $\phi_{x1L}[k] > \phi_{x1L}[k-1], \phi_{x1H}[k] < \phi_{x1H}[k-1], \Delta \phi_{x1}[k] < \Delta \phi_{x1}[k-1]$;

[0198] $\phi_{y1L}[k] > \phi_{y1L}[k-1], \phi_{y1H}[k] < \phi_{y1H}[k-1], \Delta \phi_{y1}[k] < \Delta \phi_{y1}[k-1]$ 。

[0199] 第 1 次沿第二成像平面的两个平面外转角方向在线生成第二 DRR 图像库时,以步骤 404 ~ 406 中对各参数的估算结果: $(x_{p2}[0], y_{p2}[0])$ 、 $\phi_{z2}[0]$ 、以及 $(\phi_{x2}[0], \phi_{y2}[0])$ 所对应的基准位置,在线生成第二 DRR 图像库;第 $k+1$ 次沿第二成像平面的两个平面外转角方向在线生成第二 DRR 图像库时,则以步骤 408 ~ 410 中对各参数的估算结果: $(x_{p2}[k], y_{p2}[k])$ 、 $\phi_{z2}[k]$ 、以及 $(\phi_{x2}[k], \phi_{y2}[k])$ 为基准位置,在线生成第二 DRR 图像库; k 为沿两个平面外转角方向在线生成第二 DRR 图像库的次数。

[0200] 在线生成第二 DRR 图像库时,需要在预先设定的角度范围内定义 M_{k2} 个不同的平面外转角 ϕ_{x2} 和 N_{k2} 个不同的平面外转角 ϕ_{y2} ,以生成 $M_{k2} \times N_{k2}$ 个不同的平面外转角参数组合 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$;其中, $i = 1, 2, \dots, M_{k2}$; $j = 1, 2, \dots, N_{k2}$ 。对每个角度组合生成一个对应于这两个平面外转角的 DRR 图像,从而生成包含 $M_{k2} \times N_{k2}$ 个 DRR 图像的第二 DRR 图像库。 M_{k2} 、 N_{k2} 为大于 1 的整数。

[0201] 本步骤中生成的第二 DRR 图像库包含在比较小的角度范围内定义的不同角度组合的两个平面外转角参数 $(\phi_{x2}(i), \phi_{y2}(j))$ 所对应的 DRR 图像。也就是说,本步骤中, $\phi_{x2}(i)$ 和 $\phi_{y2}(j)$ 分别满足:

[0202] $\phi_{x2_L}[k] \leq \phi_{x2}(i) \leq \phi_{x2_H}[k]$, $\phi_{y2_L}[k] \leq \phi_{y2}(j) \leq \phi_{y2_H}[k]$ 。

[0203] 其中, $\phi_{x2_L}[k]$ 和 $\phi_{x2_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{x2}(i)$ 的取值范围的下限和上限; $\phi_{y2_L}[k]$ 和 $\phi_{y2_H}[k]$ 分别表示第 k 次在线生成第二 DRR 图像库时平面外转角参数 $\phi_{y2}(j)$ 的取值范围的下限和上限。

[0204] 本步骤中, 由于需要进行更为精确的计算, $\phi_{x2_L}[k]$ 和 $\phi_{y2_L}[k]$ 可以大于等于 -2 度; $\phi_{x2_H}[k]$ 和 $\phi_{y2_H}[k]$ 可以小于等于 +2 度, 而各 $\phi_{x2}(i)$ 之间的差值 $\Delta \phi_{x2}[k]$ 以及各 $\phi_{y2}(j)$ 之间的差值 $\Delta \phi_{y2}[k]$ (即角度间隔) 应当较小, 例如, 角度间隔小于等于 0.1 度。

[0205] 此外, 由于可能需要重复执行本步骤, 多次在线生成第二 DRR 图像库, 因此, 可以令:

[0206] $\phi_{x2_L}[k] > \phi_{x2_L}[k-1]$, $\phi_{x2_H}[k] < \phi_{x2_H}[k-1]$, $\Delta \phi_{x2}[k] < \Delta \phi_{x2}[k-1]$;

[0207] $\phi_{y2_L}[k] > \phi_{y2_L}[k-1]$, $\phi_{y2_H}[k] < \phi_{y2_H}[k-1]$, $\Delta \phi_{y2}[k] < \Delta \phi_{y2}[k-1]$ 。

[0208] 408, 采用 2D 搜索法, 在比较小的平移搜索范围内 (例如, -2mm ~ +2mm), 将第一 X 射线图像作为被配准图像, 以第 k 次沿两个平面外转角方向在线生成的第一 DRR 图像库中的基准 DRR 图像为基准, 对第一 X 射线图像的两个平面内平移参数 (x_{p1}, y_{p1}) 的值进一步进行估算, 得到估算值: $(x_{p1}[k], y_{p1}[k])$; 并将第二 X 射线图像作为被配准图像, 以第 k 次沿两个平面外转角方向在线生成的第二 DRR 图像库中的基准 DRR 图像为基准, 对第二 X 射线图像的两个平面内平移参数 (x_{p2}, y_{p2}) 的值进行初步估算, 得到估算值: $(x_{p2}[k], y_{p2}[k])$ 。

[0209] 409, 采用 1D 搜索法, 在比较小的转角搜索范围内 (例如, -2 度 ~ +2 度), 将第一 X 射线图像作为被配准图像, 以第 k 次沿两个平面外转角方向在线生成的第一 DRR 图像库中的基准 DRR 图像为基准, 对第一 X 射线图像的平面内转角参数 ϕ_{z1} 的值进一步进行估算, 得到估算值: $\phi_{z1}[k]$; 并将第二 X 射线图像作为被配准图像, 以第 k 次沿两个平面外转角方向在线生成的第二 DRR 图像库中的基准 DRR 图像为基准, 对第二 X 射线图像的平面内转角参数 ϕ_{z2} 的值进一步进行估算, 得到估算值: $\phi_{z2}[k]$ 。

[0210] 410, 采用 2D 搜索法, 将第一 X 射线图像作为被配准图像, 在第 k 次沿两个平面外转角方向在线生成的第一 DRR 图像库的所有 DRR 图像的搜索范围内, 对第一 X 射线图像的两个平面外转角参数 (ϕ_{x1}, ϕ_{y1}) 的值进一步进行估算, 得到估算值: $(\phi_{x1}[k], \phi_{y1}[k])$; 并且将第二 X 射线图像作为被配准图像, 在第 k 次沿两个平面外转角方向在线生成的第二 DRR 图像库的所有 DRR 图像的搜索范围内, 对第二 X 射线图像的两个平面外转角参数 (ϕ_{x2}, ϕ_{y2}) 的值进一步进行估算, 得到估算值: $(\phi_{x2}[k], \phi_{y2}[k])$ 。

[0211] 411, 判断当前是否已满足参数估算精度要求, 如果已满足, 则执行下一步, 如果未满足, 则跳转至步骤 407;

[0212] 本步骤中, 可以采用如下方式之一判断当前是否已满足参数估算精度要求:

[0213] 方式一: 迭代次数 (即在线生成第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库的次数) k 是否等于预先设定的值 N (例如, $N = 2$), 如果 $k = N$, 则判定已满足参数估算精度要求; 如果 $k < N$, 则判定未满足参数估算精度要求。

[0214] 方式二: 如果本次估算的参数值与上一次估算的相应参数值的差值的绝对值小于预先设定的参数差值, 则判定已满足参数估算精度要求; 否则, 判定未满足参数估算精度要求; 例如, 当满足以下一个或多个条件时, 判定已满足参数估算精度要求:

[0215] (1) $|x_{p1}[k] - x_{p1}[k-1]| \leq \Delta x_{p1}$, Δx_{p1} 为预先设定的参数 x_{p1} 的差值;

- [0216] (2) $|x_{p2}[k]-x_{p2}[k-1]| \leq \Delta x_{p2}$, Δx_{p2} 为预先设定的参数 x_{p2} 的差值 ;
- [0217] (3) $|y_{p1}[k]-y_{p1}[k-1]| \leq \Delta y_{p1}$, Δy_{p1} 为预先设定的参数 y_{p1} 的差值 ;
- [0218] (4) $|y_{p2}[k]-y_{p2}[k-1]| \leq \Delta y_{p2}$, Δy_{p2} 为预先设定的参数 y_{p2} 的差值 ;
- [0219] (5) $|\phi_{z1}[k]-\phi_{z1}[k-1]| \leq \Delta \phi_{z1}$, $\Delta \phi_{z1}$ 为预先设定的参数 ϕ_{z1} 的差值 ;
- [0220] (6) $|\phi_{z2}[k]-\phi_{z2}[k-1]| \leq \Delta \phi_{z2}$, $\Delta \phi_{z2}$ 为预先设定的参数 ϕ_{z2} 的差值 ;
- [0221] (7) $|\phi_{x1}[k]-\phi_{x1}[k-1]| \leq \Delta \phi_{x1}$, $\Delta \phi_{x1}$ 为预先设定的参数 ϕ_{x1} 的差值 ;
- [0222] (8) $|\phi_{x2}[k]-\phi_{x2}[k-1]| \leq \Delta \phi_{x2}$, $\Delta \phi_{x2}$ 为预先设定的参数 ϕ_{x2} 的差值 ;
- [0223] (9) $|\phi_{y1}[k]-\phi_{y1}[k-1]| \leq \Delta \phi_{y1}$, $\Delta \phi_{y1}$ 为预先设定的参数 ϕ_{y1} 的差值 ;
- [0224] (10) $|\phi_{y2}[k]-\phi_{y2}[k-1]| \leq \Delta \phi_{y2}$, $\Delta \phi_{y2}$ 为预先设定的参数 ϕ_{y2} 的差值 ;

[0225] 其中, $k(k \geq 1)$ 表示在线生成第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库的次序, $x_{p1}[k]$ 、 $y_{p1}[k]$ 、 $\phi_{z1}[k]$ 、 $\phi_{x1}[k]$ 、 $\phi_{y1}[k]$ 为基于第 k 次在线生成的第一 DRR 图像库估算得到的参数 ; $x_{p1}[0]$ 、 $y_{p1}[0]$ 、 $\phi_{z1}[0]$ 、 $\phi_{x1}[0]$ 、 $\phi_{y1}[0]$ 为基于离线生成的第一 DRR 图像库估算得到的参数 ; $x_{p2}[k]$ 、 $y_{p2}[k]$ 、 $\phi_{z2}[k]$ 、 $\phi_{x2}[k]$ 、 $\phi_{y2}[k]$ 为基于第 k 次在线生成的第二 DRR 图像库估算得到的参数 ; $x_{p2}[0]$ 、 $y_{p2}[0]$ 、 $\phi_{z2}[0]$ 、 $\phi_{x2}[0]$ 、 $\phi_{y2}[0]$ 为基于离线生成的第二 DRR 图像库估算得到的参数。

[0226] 412, 计算图像配准结果的质量保证参数。

[0227] 413, 对计算得到的质量保证参数进行检验, 如果检验通过 (即图像配准成功), 则执行步骤 414, 否则执行步骤 415 ;

[0228] 计算和检验质量保证参数, 是图像配准算法对自身配准结果的自身验证, 计算及检验图像配准结果的质量保证参数可以采用现有技术中的多种方法实现, 例如 :

[0229] 当采用归一化相关相似法作为图像配准的相似性测量法, 对平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的值进行估算时, 分别得到对应于平面内平移参数、平面内转角参数和平面外转角参数的归一化相关系数, 如果各归一化相关系数大于预先设定的某门限值, 则通过质量保证参数的检验。

[0230] 414, 图像配准成功, 输出图像配准结果, 本流程结束 ;

[0231] 图像配准结果可以是对上述参数估算结果并经过公式 1 ~ 6 转换得到的参数 $(x, y, z, \phi_x, \phi_y, \phi_z)$ 的值, 当然也可以将 $(x_{p1}, y_{p1}, \phi_{z1}, \phi_{x1}, \phi_{y1})$ 和 $(x_{p2}, y_{p2}, \phi_{z2}, \phi_{x2}, \phi_{y2})$ 的最终估算值作为配准结果输出。

[0232] 415, 图像配准失败, 没有可输出的图像配准结果, 本流程结束。

[0233] 图 6 为本发明二维 - 三维医学图像配准系统的结构示意图 ; 如图 6 所示, 该系统包含 : 第一 X 射线图像采集单元, 第二 X 射线图像采集单元, 三维图像生成单元, DRR 图像库生成单元, 图像配准单元, 图像加强单元, 质量保证参数检验单元 ; 其中 :

[0234] 第一 X 射线图像采集单元, 用于在第一成像平面采集并输出被成像体的第一 X 射线图像 ; 第一 X 射线图像采集单元的成像平面称为第一成像平面 ;

[0235] 第二 X 射线图像采集单元, 用于在第二成像平面采集并输出被成像体的第二 X 射线图像 ; 第二 X 射线图像采集单元的成像平面称为第二成像平面 ;

[0236] 被成像体所对的第一成像平面与第二成像平面之间的夹角可以为 $180^\circ - 2\alpha$; 其中, α 大于等于 25° 且小于等于 35° 。

[0237] 三维图像生成单元,用于生成被成像体的三维图像,并将其输出至 DRR 图像库生成单元;

[0238] 三维图像生成单元可以是 CT 或 MRI;

[0239] DRR 图像库生成单元,用于根据接收到的三维图像分别离线生成沿第一 X 射线图像采集单元的第一成像平面和沿第二 X 射线图像采集单元的第二成像平面的平面外转角方向的第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库,并输出离线生成的第一 DRR 图像库和第二 DRR 图像库中包含的 DRR 图像;

[0240] 图像配准单元,用于将接收到的第一 X 射线图像作为被配准图像,以接收到的离线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果;

[0241] 图像配准单元,还用于将接收到的第二 X 射线图像作为被配准图像,以接收到的离线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果;

[0242] DRR 图像库生成单元,还用于以接收到的第一 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第一成像平面的两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至图像配准单元;

[0243] DRR 图像库生成单元,还用于以接收到的第二 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第二成像平面的两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至图像配准单元;

[0244] 图像配准单元,还用于以接收到的在线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果;

[0245] 图像配准单元,还用于以接收到的在线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,并输出参数估算结果。

[0246] 此外,本发明的二维 - 三维医学图像配准系统中还可以包含图像加强单元,用于接收第一 X 射线图像采集单元输出的第一 X 射线图像,并以接收到的离线生成的第一 DRR 图像库中包含的 DRR 图像为参考,对第一 X 射线图像进行图像加强,并将加强后的第一 X 射线图像输出至图像配准单元;

[0247] 图像加强单元还可以用于接收第二 X 射线图像采集单元输出的第二 X 射线图像,并以接收到的离线生成的第二 DRR 图像库中包含的 DRR 图像为参考,对第二 X 射线图像进行图像加强,并将加强后的第二 X 射线图像输出至图像配准单元。

[0248] 图像配准单元,还用于判断是否已满足参数估算精度要求,如果未满足,则图像配准单元和 DRR 图像库生成单元重复执行如下操作,直至图像配准单元判定满足参数估算精度要求:

[0249] 图像配准单元将第一 X 射线图像的参数估算结果和第二 X 射线图像的参数估算结果输出至 DRR 图像库生成单元;DRR 图像库生成单元以接收到的第一 X 射线图像的参数估

算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第一成像平面的两个平面外转角方向的第一 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至图像配准单元,并以接收到的第二 X 射线图像的参数估算结果作为基准位置对三维图像进行调整,在线生成沿第二成像平面的两个平面外转角方向的第二 DRR 图像库,并将其中包含的 DRR 图像输出至图像配准单元;图像配准单元以接收到的在线生成的第一 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第一 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算,并以接收到的在线生成的第二 DRR 图像库中的 DRR 图像为基准图像,分别对第二 X 射线图像的平面内平移参数、和 / 或平面内转角参数、和 / 或平面外转角参数的值进行估算;图像配准单元判断是否已满足参数估算精度要求。

[0250] 此外,本发明的二维-三维医学图像配准系统中还可以包含:质量保证参数检验单元;

[0251] 图像配准单元在判定已满足参数估算精度要求后,还用于将参数估算结果输出至质量保证参数检验单元;

[0252] 质量保证参数检验单元,用于计算接收到的参数估算结果所对应的质量保证参数,并对其进行检验,如果检验通过,则输出图像配准结果。

[0253] 上述各单元的具体功能和参数详见图 4 所示方法流程中的描述。

[0254] 综上所述,本发明基于双平板的医学图像配准方法及系统采用 X 射线成像技术、基于体内解剖特征进行 2D-3D 医学图像配准,通过将两个在不同平板实时采集的二维 X 射线图像分别与离线和在线生成的 DRR 图像库进行对比,进行位置参数的估算,得到分别与两个平板的成像平面相对应的参数估算结果,并将其转换为一个三维的位置参数估算结果,最终确定病人的病灶在三维扫描时和放射治疗时的位置偏差,从而引导放射治疗系统调整病人位置,达到对肿瘤进行精确地放射治疗的效果。在图像引导放射治疗中,本方法可应用于颅脑、脊椎、肺、肝等部位的肿瘤定位和追踪。

[0255] 由于本发明基于双平板的医学图像配准方法及系统基于沿平面外转角方向离线和在线生成的 DRR 图像库分别对平面内平移、平面内转角和平面外转角进行估算,降低了图像配准的复杂度,提高了配准速度、配准精度和配准的成功率。

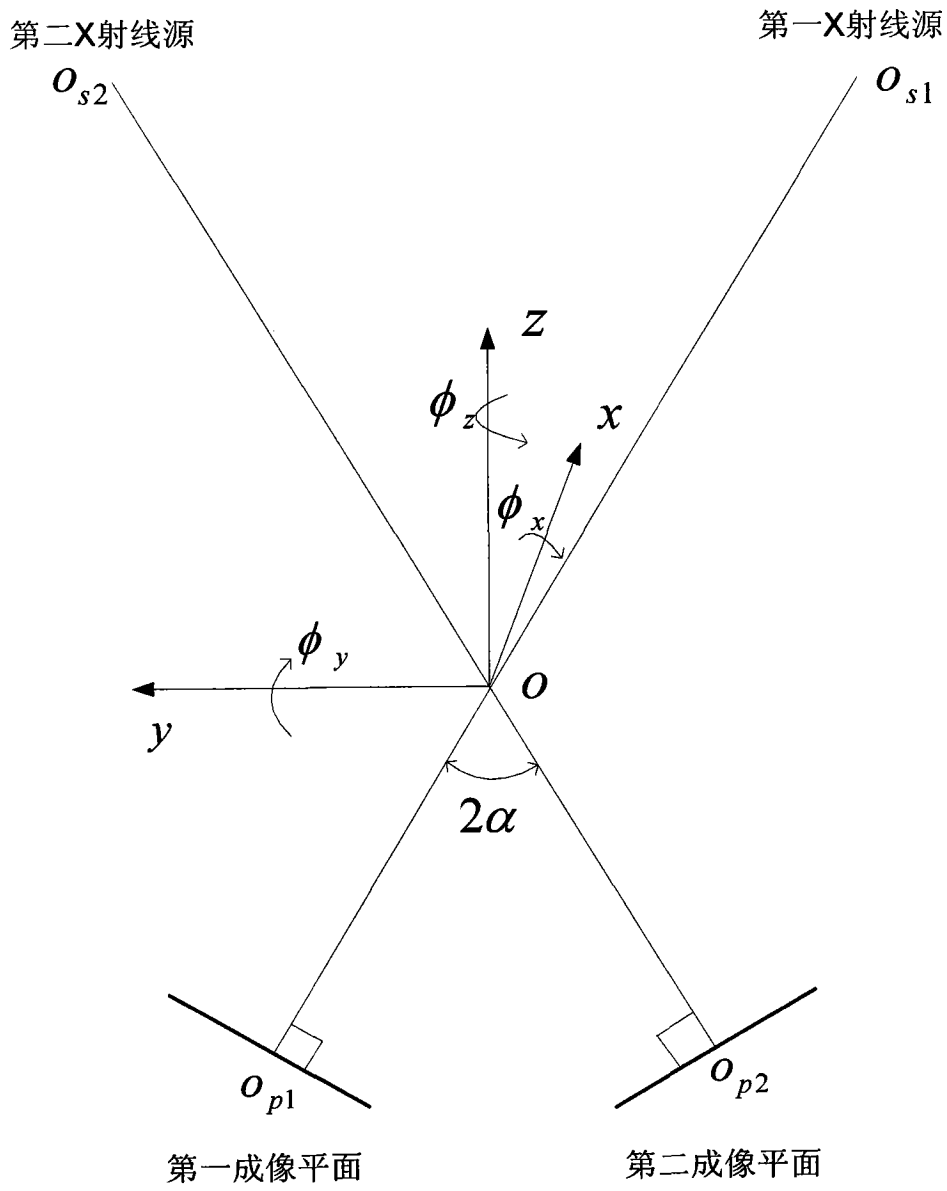


图 1

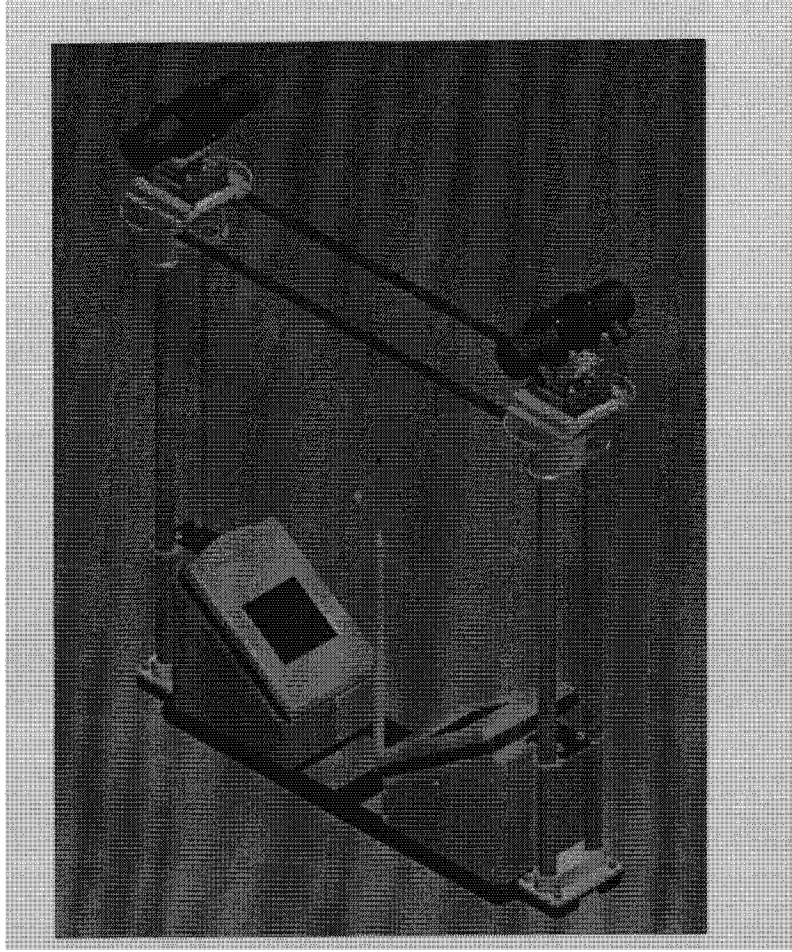


图 2

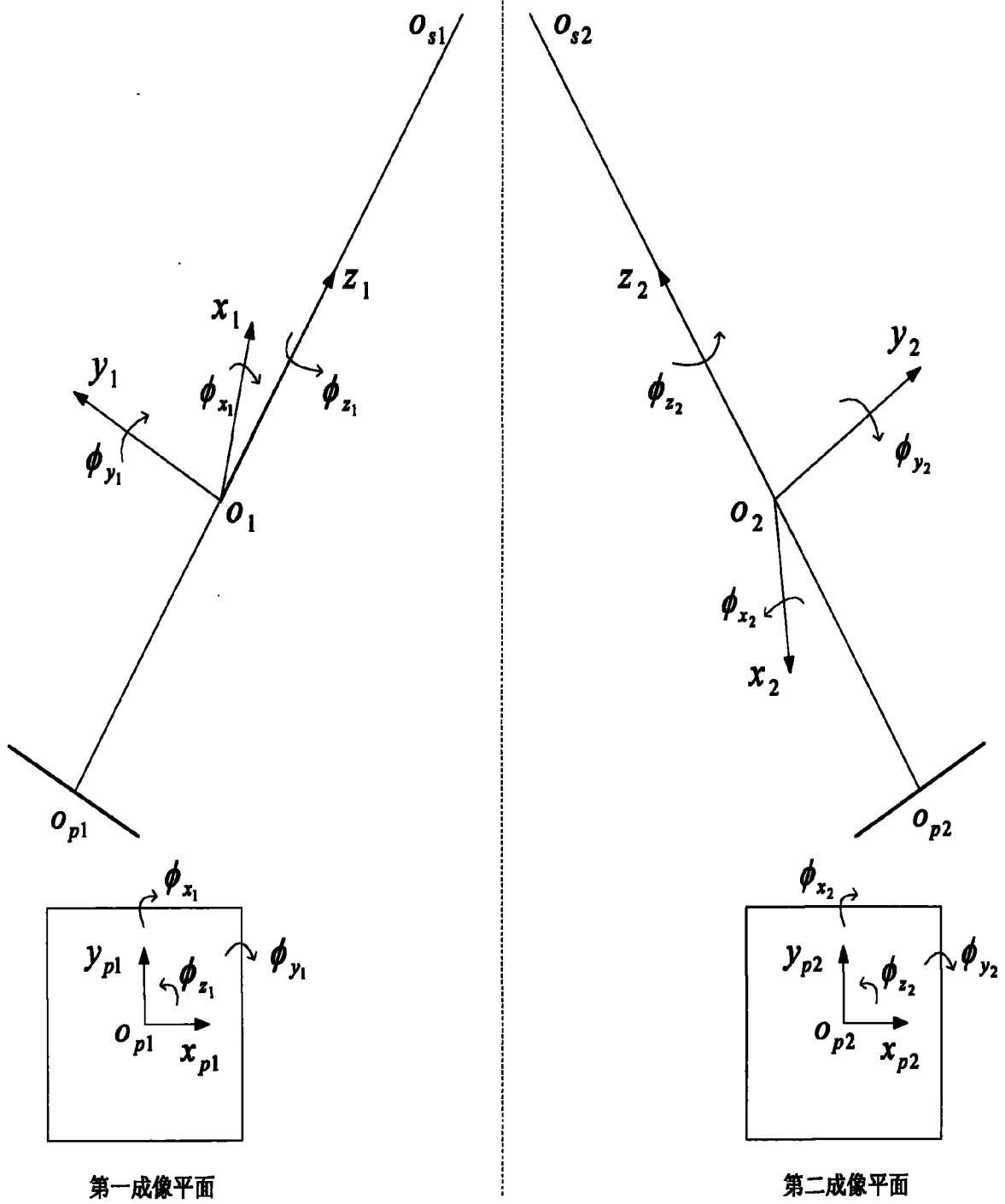


图 3

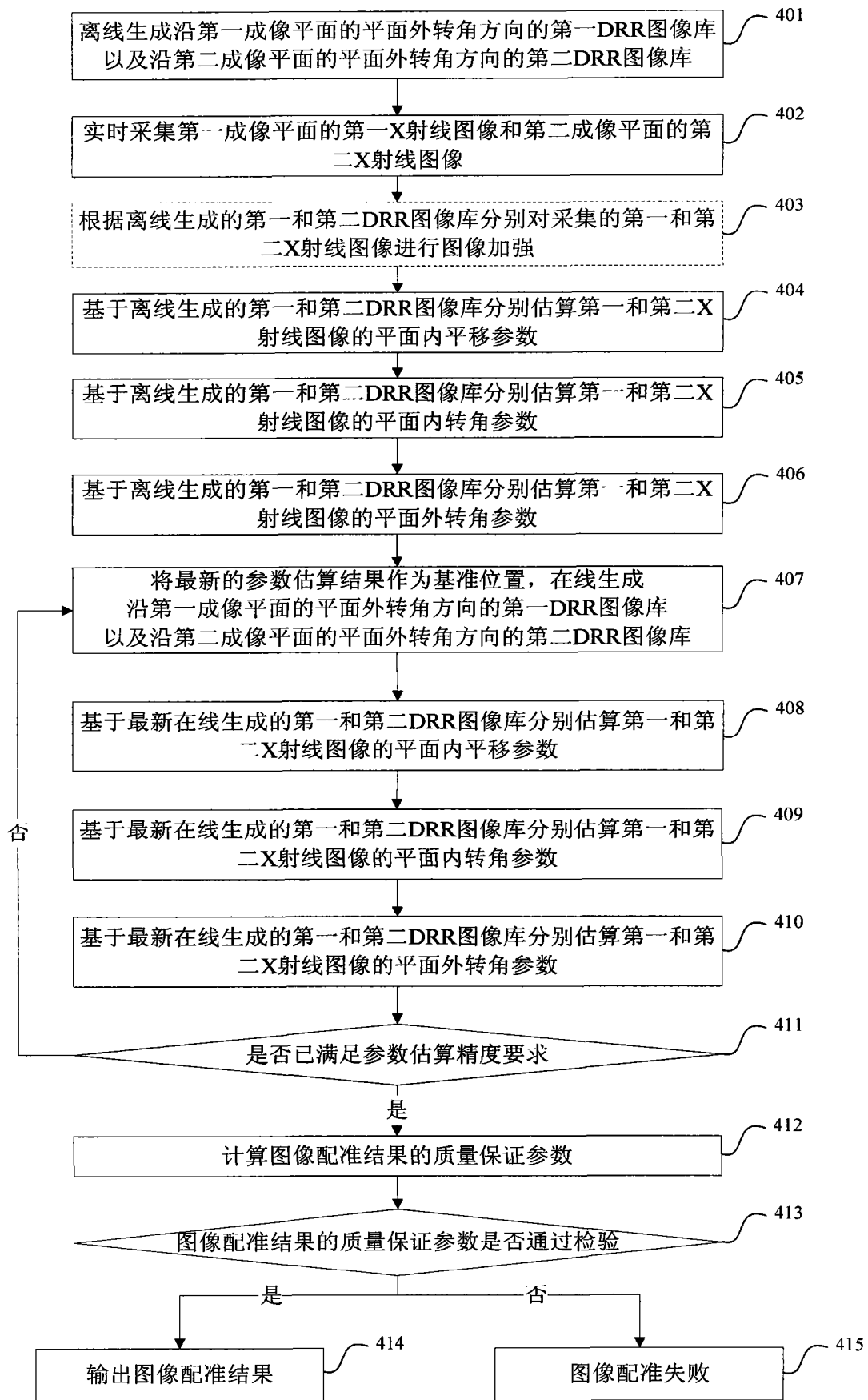


图 4

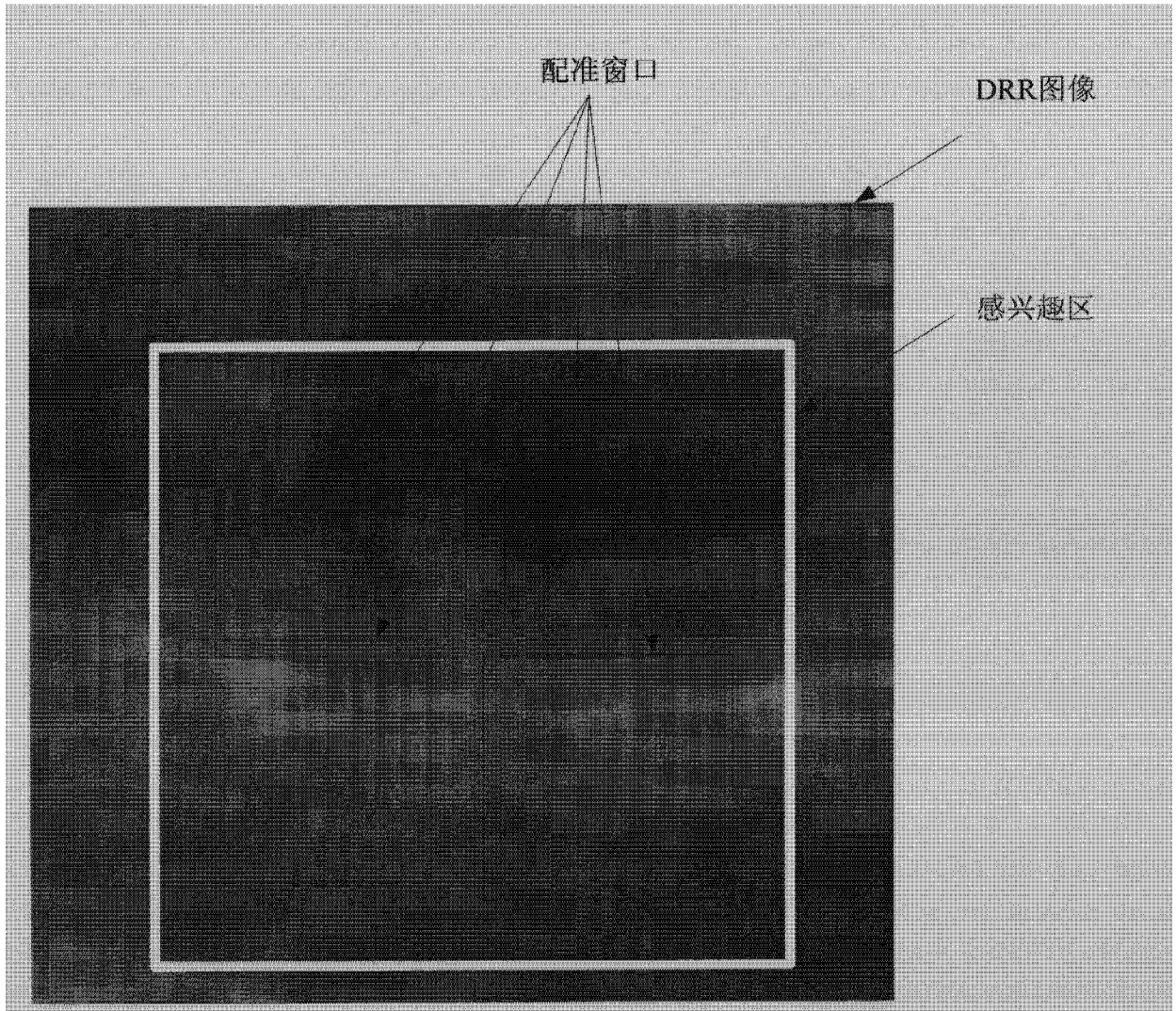


图 5

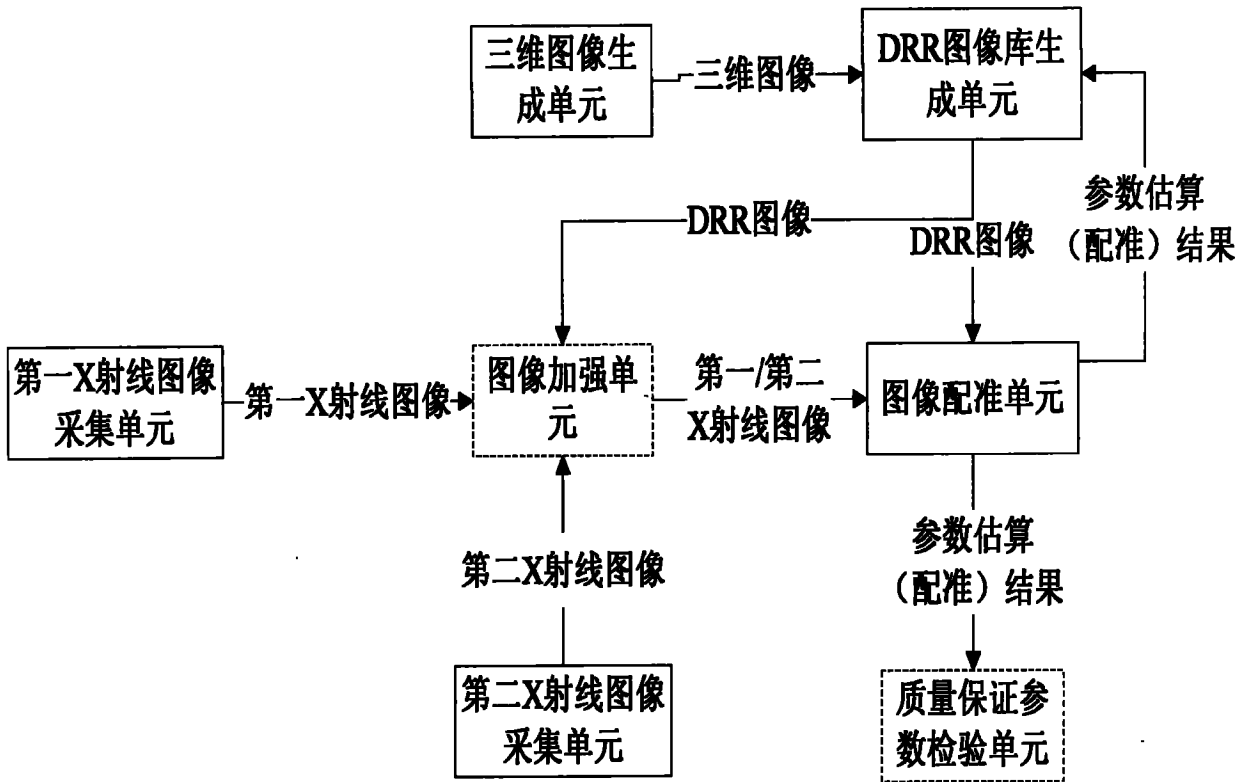


图 6