



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103839229 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 04

(21) 申请号 201210488570. 0

(22) 申请日 2012. 11. 26

(71) 申请人 上海联影医疗科技有限公司

地址 201815 上海市嘉定工业区兴贤路  
1180 号 8 栋

(72) 发明人 孙洪雨

(74) 专利代理机构 上海思微知识产权代理事务  
所（普通合伙） 31237

代理人 郑玮

(51) Int. Cl.

G06T 5/00 (2006. 01)

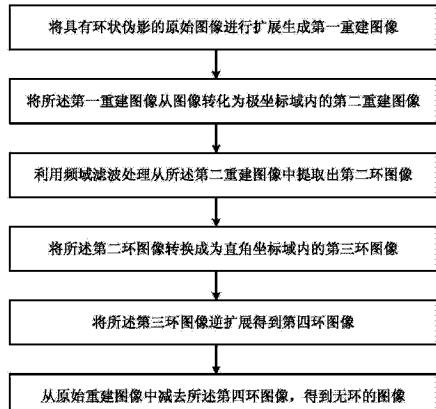
权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

去除图像中环状伪影的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种去除 CT 图像中环状伪影的处理方法，包括：在直角坐标域内，将具有环状伪影的原始重建图像进行扩展生成第一重建图像，使所述第一重建图像的建像中心与机架的旋转中心重合；将所述第一重建图像从图像转化成为极坐标域内的第二重建图像；在极坐标域内，利用频域滤波处理从所述第二重建图像中提取出第二环图像；将所述第二环图像转换成为直角坐标域内的第三环图像；将所述第三环图像进行逆扩展得到与所述原始重建图像大小相同的第四环图像；从具有环状伪影的原始重建图像中减去所述第四环图像，得到直角坐标域内的无环的图像。对于任意建像中心的情况，都可以采用本发明的方法去除环状伪影。



1. 一种去除图像中环状伪影的方法，包括：

在直角坐标域内，将具有环状伪影的原始重建图像进行扩展生成第一重建图像，使所述第一重建图像的建像中心与机架的旋转中心重合；

将所述第一重建图像从图像转化成为极坐标域内的第二重建图像；

在极坐标域内，利用频域滤波处理从所述第二重建图像中提取出第二环图像；

将所述第二环图像转换成为直角坐标域内的第三环图像；

将所述第三环图像进行逆扩展得到与所述原始重建图像大小相同的第四环图像；

从具有环状伪影的原始重建图像中减去所述第四环图像，得到直角坐标域内的无环的图像。

2. 如权利要求 1 所述的去除图像中环状伪影的方法，其特征在于，所述将具有环状伪影的原始重建图像进行扩展生成第一重建图像的步骤包括：

在直角坐标域内，确认原始重建图像的建像中心是否与机架的旋转中心重合；

对原始重建图像进行扩展生成第一重建图像，使所述第一重建图像的建像中心与机架的旋转中心重合。

3. 如权利要求 2 所述的去除图像中环状伪影的方法，其特征在于，在所述确认原始重建图像的建像中心是否与机架的旋转中心重合的步骤中，包括以下三种情况：

a. 建像中心与机架的旋转中心重合；

b. 建像中心与机架的旋转中心不重合，但建像视野中包含机架的旋转中心；以及

c. 建像中心与机架的旋转中心不重合，并且建像视野中也不包含机架的旋转中心。

4. 如权利要求 3 所述的去除图像中环状伪影的方法，其特征在于，所述将具有环状伪影的原始重建图像进行扩展生成第一重建图像的步骤包括以下三种情况：

对所述 a 情况，维持原始重建图像；

对所述 b 情况进行扩展，扩展方法如下：

通过以下公式计算得出机架的旋转中心在图像矩阵的索引值  $\text{RoC}_x$  和  $\text{RoC}_y$ ；

$$\text{RoC}_x = (\text{int})(-\text{ReconC}_x \times \frac{N-1}{\text{Fov}} + (N-1) \times 0.5) + 0.5$$

$$\text{RoC}_y = (\text{int})(-\text{ReconC}_y \times \frac{N-1}{\text{Fov}} + (N-1) \times 0.5) + 0.5$$

通过以下公式计算出原始重建图像需要扩展的偏移量  $X_{\text{offset}}$  和  $Y_{\text{offset}}$ ；

$$X_{\text{offset}} = \text{RoC}_x - (N-1) \times 0.5$$

$$Y_{\text{offset}} = \text{RoC}_y - (N-1) \times 0.5$$

以  $(\text{RoC}_x, \text{RoC}_y)$  为中心，分别沿着 x 轴扩展  $X_{\text{offset}}$  个像素单元，沿着 y 轴扩展  $Y_{\text{offset}}$  个像素单元，被扩展的像素单位的值用零填充；

其中， $(\text{ReconC}_x, \text{ReconC}_y)$  为所述建像中心的坐标，N 为原始重建图像矩阵大小，Fov 为建像视野；

对所述 c 情况进行扩展，扩展方法如下：

通过下述公式计算出所要转换极坐标的最小半径长度  $R_{\text{min}}$ 、最大半径长度  $R_{\text{max}}$ 、周向起始角度  $\theta_{\text{start}}$  和周向终止角度  $\theta_{\text{end}}$ ：

最小半径长度为：

$$R_{\min} = \sqrt{(ReconC_x + Fov \times 0.5)^2 + (ReconC_y + Fov \times 0.5)^2}$$

最大半径长度为：

$$R_{\max} = \sqrt{(ReconC_x - Fov \times 0.5)^2 + (ReconC_y - Fov \times 0.5)^2}$$

周向起始角度为：

$$\theta_{\text{start}} = \arctan(ReconC_x + Fov \times 0.5) / (ReconC_y - Fov \times 0.5)$$

周向终止角度为：

$$\theta_{\text{end}} = \arctan(ReconC_x - Fov \times 0.5) / (ReconC_y + Fov \times 0.5)$$

其中， $(ReconC_x, ReconC_y)$  为所述建像中心的坐标， $Fov$  为建像视野。

5. 如权利要求 1 所述的去除图像中环状伪影的方法，其特征在于，所述利用频域滤波处理提取出所述第二重建图像中第二环图像的步骤包括：

在极坐标域内，提取所述第二重建图像的图像边缘；

去除所述第二重建图像的所述图像边缘得到第三重建图像；

对所述第三重建图像进行第一次平滑处理，得到第四重建图像；

从所述第二重建图像中减去所述第四重建图像，得到第五重建图像；

对所述第五重建图像进行频域滤波处理，得到第六重建图像；

从所述第五重建图像中减去所述第六重建图像，得到第一环图像

对所述第一环图像沿着周方向进行第二次平滑处理，得到第二环图像。

6. 如权利要求 5 所述的去除图像中环状伪影的方法，其特征在于，对所述第三重建图像进行第一次平滑处理步骤中包括：

S11：进行 3 点 2 次平滑；

S12：进行 5 点 3 次平滑；

多次重复所述 S11 至 S12 步骤。

7. 如权利要求 6 所述的去除图像中环状伪影的方法，其特征在于，所述重复所述 S11 至 S12 步骤的次数为 60 次 ~100 次。

8. 如权利要求 7 所述的去除图像中环状伪影的方法，其特征在于，所述重复所述 S11 至 S12 步骤的次数为 80 次。

9. 如权利要求 5 所述的去除图像中环状伪影的方法，其特征在于，对所述第五重建图像进行频域滤波处理的步骤，包括：

S21：采样所述第五重建图像中的所有列，利用下述公式构造周期信号：

$$y(n) = \sum_{i=0}^{M-1} y_i(n+iN)$$

其中， $n \in [1, N]$ ， $N$  为单个周期的长度， $y_i(n)$  表示第  $i$  个周期； $i \in [0, M-1]$ ， $M$  为所述第五重建图像的列数；

S22：对所述采样周期信号  $y(n)$  进行傅里叶变换，得到  $Y(k)$ ；

S23：用下述频域滤波器  $F(k)$  与所述  $Y(k)$  相乘，得到结果  $G(k)$ ；

$$F(k) = \begin{cases} 0 & \kappa = (2t-1) \quad t \in \left[1, \frac{N}{2}\right] \\ 1 & \text{其他} \end{cases}$$

其中,  $t$  为  $\left[1, \frac{N}{2}\right]$  内的整数。

S24 : 对所述  $G(k)$  进行反傅里叶变换, 得到  $g(n)$ ;

S25 : 采用下列公式对  $g(n)$  恢复每列的数据

$$C_i(mn) = (g_i(n+iN) - g_i(n+iN + \frac{N}{2})) / 2$$

其中,  $C_i(mn)$  为上述第五重建图像的第  $i$  列的第  $m$  个点的采样信号;

重复所述 S21 至 S25 的步骤, 直到每列的所有点都被采集到。

10. 如权利要求 5 所述的去除图像中环状伪影的方法, 其特征在于, 对所述第一环图像沿着周方向进行第二次平滑处理的步骤包括: 多次重复 3 点 2 次的平滑处理。

11. 如权利要求 10 所述的去除 CT 图像中环状伪影的处理方法, 其特征在于, 重复 3 点 2 次的平滑处理的次数为 10 次 ~30 次。

12. 如权利要求 11 所述的去除 CT 图像中环状伪影的处理方法, 其特征在于, 重复 3 点 2 次的平滑处理的次数为 20 次。

## 去除图像中环状伪影的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及医学图像处理技术领域,特别涉及一种去除图像中环状伪影的方法。

### 背景技术

[0002] 在目前商用的 CT (computed tomography)当中,由于像元通道对射线强度响应的非线性,像元通道之间对射线强度响应的不一致性,像元通道对射线能谱响应的非线性,探测器暗场和亮场的不稳定性等等,会导致在 CT 图像中出现一种环状伪影。环状伪影大大降低了 CT 图像的图像质量,具体表现为环状伪影严重影响了 CT 图像的 C t 值(C t 值代表 X 射线穿过组织被吸收后的衰减值.)的准确性,影响 CT 图像的均匀性,从而严重影响临床诊断,甚至在某些特殊情况下,会直接导致误诊、漏诊。因此,去除或者最大程度地减轻这种环状伪影成为一个必须解决的问题。

[0003] 目前,去除环状伪影的方法可以分为前处理和后处理两类:

[0004] 前处理的方法是通过直接校正检测器接收到的投影数据达到去除环状伪影的目的。前处理方法存在如下缺点:对于较轻的环状伪影,检测器接收到的在投影数据在检测器上的表现非常弱而且不一致,很难被检测出来,也就是说,前处理的方法对于较轻的环状伪影很难处理;投影数据的任何改变,都会影响整个图像,因此前处理方法很容易降低图像质量或者引入新的伪影。

[0005] 后处理的方法是将重建出来的图像作为输入图像进行处理,该类方法一般是基于空域的处理方法,后处理的方法具有如下优点:后处理方法的移植性非常好,可以适用于不同的 CT 型号;对于伪影强度较轻的环状伪影,处理效果较好。但是目前的后处理方法也存在如下缺点:空域处理的整幅图像,在去除环状伪影的同时,会去除图像的其他信息,从而降低了原始重建图像的空间分辨率;对于偏心重建的情况,环状伪影识别比较困难;对于环状伪影强度较重的情况,通过空域的处理方法很难将环状伪影去除干净,处理之后如果放大观察,还会发现有环状伪影残留。

[0006] 另外,现有的去除环状伪影的后处理方法,只能应用于原始重建图像的建像中心与 CT 机架的旋转中心重合的情形,对于原始重建图像的建像中心与 CT 机架的旋转中心不重合的情形,现有的去除环状伪影的后处理方法无法适用。

### 发明内容

[0007] 本发明提供一种去除 CT 图像中环状伪影的处理方法,达到能够适用于任意建像中心 CT 图像的目的,以解决现有后处理方法无法适用于偏心原始重建图像的问题。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明提一种去除图像中环状伪影的方法,包括:

[0009] 在直角坐标域内,将具有环状伪影的原始重建图像进行扩展生成第一重建图像,使所述第一重建图像的建像中心与机架的旋转中心重合;

[0010] 将所述第一重建图像从图像转化成为极坐标域内的第二重建图像;

[0011] 在极坐标域内,利用频域滤波处理从所述第二重建图像中提取出第二环图像;

- [0012] 将所述第二环图像转换成为直角坐标域内的第三环图像；
- [0013] 将所述第三环图像进行逆扩展得到与所述原始重建图像大小相同的第四环图像；
- [0014] 从具有环状伪影的原始重建图像中减去所述第四环图像，得到直角坐标域内的无环的图像。
- [0015] 可选的，所述将具有环状伪影的原始重建图像进行扩展生成第一重建图像的步骤包括：
- [0016] 在直角坐标域内，确认原始重建图像的建像中心是否与机架的旋转中心重合；
- [0017] 对原始重建图像进行扩展生成第一重建图像，使所述第一重建图像的建像中心与机架的旋转中心重合。
- [0018] 可选的，在所述确认原始重建图像的建像中心是否与机架的旋转中心重合的步骤中，包括以下三种情况：
- [0019] a. 建像中心与机架的旋转中心重合；
- [0020] b. 建像中心与机架的旋转中心不重合，但建像视野中包含机架的旋转中心；以及
- [0021] c. 建像中心与机架的旋转中心不重合，并且建像视野中也不包含机架的旋转中心。
- [0022] 可选的，所述将具有环状伪影的原始重建图像进行扩展生成第一重建图像的步骤包括以下三种情况：
- [0023] 对所述 a 情况，维持原始重建图像；
- [0024] 对所述 b 情况进行扩展，扩展方法如下：
- [0025] 通过以下公式计算得出机架的旋转中心在图像矩阵的索引值  $\text{RoC}_x$  和  $\text{RoC}_y$ ；
- [0026] 
$$\text{RoC}_x = (\text{int})(-\text{ReconC}_x \times \frac{N-1}{\text{Fov}} + (N-1) \times 0.5) + 0.5$$
- [0027] 
$$\text{RoC}_y = (\text{int})(-\text{ReconC}_y \times \frac{N-1}{\text{Fov}} + (N-1) \times 0.5) + 0.5$$
- [0028] 通过以下公式计算出原始重建图像需要扩展的偏移量  $X_{\text{offset}}$  和  $Y_{\text{offset}}$ ；
- [0029] 
$$X_{\text{offset}} = \text{RoC}_x - (N-1) \times 0.5$$
- [0030] 
$$Y_{\text{offset}} = \text{RoC}_y - (N-1) \times 0.5$$
- [0031] 以  $(\text{RoC}_x, \text{RoC}_y)$  为中心，分别沿着 x 轴扩展  $X_{\text{offset}}$  个像素单元，沿着 y 轴扩展  $Y_{\text{offset}}$  个像素单元，被扩展的像素单位的值用零填充；
- [0032] 其中， $(\text{ReconC}_x, \text{ReconC}_y)$  为所述建像中心的坐标，N 为原始重建图像矩阵大小，Fov 为建像视野；
- [0033] 对所述 c 情况进行扩展，扩展方法如下：
- [0034] 通过下述公式计算出所要转换极坐标的最小半径长度  $R_{\text{min}}$ 、最大半径长度  $R_{\text{max}}$ 、周向起始角度  $\theta_{\text{start}}$  和周向终止角度  $\theta_{\text{end}}$ ：
- [0035] 最小半径长度为：
- [0036] 
$$R_{\text{min}} = \sqrt{(\text{ReconC}_x + \text{Fov} \times 0.5)^2 + (\text{ReconC}_y + \text{Fov} \times 0.5)^2}$$
- [0037] 最大半径长度为：
- [0038] 
$$R_{\text{max}} = \sqrt{(\text{ReconC}_x - \text{Fov} \times 0.5)^2 + (\text{ReconC}_y - \text{Fov} \times 0.5)^2}$$

- [0039] 周向起始角度为：
- [0040]  $\theta_{\text{start}} = \arctan(\text{ReconC}_x + \text{Fov} \times 0.5) / (\text{ReconC}_y - \text{Fov} \times 0.5)$
- [0041] 周向终止角度为：
- [0042]  $\theta_{\text{end}} = \arctan(\text{ReconC}_x - \text{Fov} \times 0.5) / (\text{ReconC}_y + \text{Fov} \times 0.5)$
- [0043] 其中， $(\text{ReconC}_x, \text{ReconC}_y)$  为所述建像中心的坐标，Fov 为建像视野。
- [0044] 可选的，所述利用频域滤波处理提取出所述第二重建图像中第二环图像的步骤包括：
- [0045] 在极坐标域内，提取所述第二重建图像的图像边缘；
- [0046] 去除所述第二重建图像的所述图像边缘得到第三重建图像；
- [0047] 对所述第三重建图像进行第一次平滑处理，得到第四重建图像；
- [0048] 从所述第二重建图像中减去所述第四重建图像，得到第五重建图像；
- [0049] 对所述第五重建图像进行频域滤波处理，得到第六重建图像；
- [0050] 从所述第五重建图像中减去所述第六重建图像，得到第一环图像
- [0051] 对所述第一环图像沿着周方向进行第二次平滑处理，得到第二环图像。
- [0052] 可选的，对所述第三重建图像进行第一次平滑处理步骤中包括：
- [0053] S11：进行 3 点 2 次平滑；
- [0054] S12：进行 5 点 3 次平滑；
- [0055] 多次重复所述 S11 至 S12 步骤。
- [0056] 可选的，所述重复所述 S11 至 S12 步骤的次数为 60 次 ~ 100 次。
- [0057] 可选的，所述重复所述 S11 至 S12 步骤的次数为 80 次。
- [0058] 可选的，对所述第五重建图像进行频域滤波处理的步骤，包括：
- [0059] S21：采样所述第五重建图像中的所有列，利用下述公式构造周期信号：
- [0060]  $y(n) = \sum_{i=0}^{M-1} y_i(n+iN)$
- [0061] 其中， $n \in [1, N]$ ，N 为单个周期的长度， $y_i(n)$  表示第 i 个周期； $i \in [0, M-1]$ ，M 为所述第五重建图像的列数；
- [0062] S22：对所述采样周期信号  $y(n)$  进行傅里叶变换，得到  $Y(k)$ ；
- [0063] S23：用下述频域滤波器  $F(k)$  与所述  $Y(k)$  相乘，得到结果  $G(k)$ ；
- [0064]
- $$F(k) = \begin{cases} 0 & \kappa = (2t-1) \quad t \in \left[1, \frac{N}{2}\right] \\ 1 & \text{其他} \end{cases}$$
- [0065] 其中，t 为  $\left[1, \frac{N}{2}\right]$  内的整数。
- [0066] S24：对所述  $G(k)$  进行反傅里叶变换，得到  $g(n)$ ；
- [0067] S25：采用下列公式对  $g(n)$  恢复每列的数据
- [0068]  $C_i(mn) = (g_i(n+iN) - g_i(n+iN + \frac{N}{2})) / 2$
- [0069] 其中， $C_i(mn)$  为上述第五重建图像的第 i 列的第 m 个点的采样信号；
- [0070] 重复所述 S21 至 S25 的步骤，直到每列的所有点都被采集到。

[0071] 可选的,对所述第一环图像沿着周方向进行第二次平滑处理的步骤包括:多次重复3点2次的平滑处理。

[0072] 可选的,重复3点2次的平滑处理的次数为10次~30次。

[0073] 可选的,重复3点2次的平滑处理的次数为20次。

[0074] 在本发明中,对于存在偏心的原始重建图像,首先,将原始重建图像进行扩展生成第一重建图像,使所述第一重建图像的建像中心与机架的旋转中心重合;再将所述第一重建图像从图像转化成为极坐标域内的第二重建图像;接着,利用频域滤波处理提取出所述第二重建图像中第二环图像;接着,将所述第二环图像转换成为直角坐标域内的第三环图像;接着,将所述第三环图像进行逆扩展得到与所述原始重建图像大小相同的第四环图像;最后,从具有环状伪影的原始重建图像中减去所述第四环图像,得到直角坐标域内的无环的图像。采用上述方法,可以很好的保持原始重建图像的空间分辨率,从而不降低原始重建图像的质量。因此对于任意建像中心的情况,都可以采用上述方法去除环状伪影,并且在去除环状伪影的同时不损失原始重建图像的质量。

## 附图说明

[0075] 图1为一具有环状伪影的直角坐标系下的CT图像;

[0076] 图2为一具有环状伪影的极坐标系下的CT图像;

[0077] 图3为去除CT图像中环状伪影的处理方法的流程图;

[0078] 图4为一建像中心与机架的旋转中心重合情形下的具有环状伪影的直角坐标系下的CT图像;

[0079] 图5为一建像中心与机架的旋转中心不重合,但建像视野包含机架的旋转中心情形下的具有环状伪影的直角坐标系下的CT图像;

[0080] 图6为一建像中心与机架的旋转中心不重合,并且建像视野也不包含机架的旋转中心情形下的具有环状伪影的直角坐标系下的CT图像;

[0081] 图7为在图5情形下的对原始重建图像进行扩展的示意图;

[0082] 图8为在图6情形下的对原始重建图像进行扩展的示意图。

## 具体实施方式

[0083] 为了使本发明的目的,技术方案和优点更加清楚,下面结合附图来进一步做详细说明。

[0084] 为了便于说明本发明的对任意建像中心都适用的频域去环方法,先简单说明后处理方法的基本思路。

[0085] 去除CT图像中环状伪影的后处理是在一具有环状伪影的图像上进行的,为了便于分析,可以将原始直角坐标系带环的图像 $f(x, y)$ 分解为直角坐标中的无环的图像 $g(x, y)$ 和直角坐标中的环的图像 $h(x, y)$ 之和,即

$$f(x, y) = g(x, y) + h(x, y) \quad (1)$$

[0087] 去环的目的是为了得到 $g(x, y)$ ,后处理的方法是先得到直角坐标中的环的图像 $h(x, y)$ ,然后根据式(1)从直角坐标系带环的图像 $f(x, y)$ 中减去直角坐标中的环的图像 $h(x, y)$ ,进而得到直角坐标中的无环的图像 $g(x, y)$ 。

[0088] 图 1 为具有环状伪影的直角坐标系下的 CT 图像。如图 1 所示,直角坐标系下的环状伪影是围绕旋转中心的为圆心的圆环。将直角坐标系转换为极坐标后,直角坐标系下的环状伪影在极坐标系下就表现为一条带状直线,如图 2 所示。在极坐标的图像中,可以采用滤波方式将环状伪影的带状直线提取出来。

[0089] 接着,将提取出来的环状伪影的带状直线转化为直角坐标中的环的图像  $h(x, y)$ 。然后,从原始直角坐标系带环的图像  $f(x, y)$  中减去直角坐标中的环的图像  $h(x, y)$  即可得到直角坐标中的无环的图像  $g(x, y)$ 。

[0090] 下面结合图 3 至图 8 详细说明本发明的对任意建像中心都适用的频域去环方法的过程。

[0091] 如图 3 所示,去除 CT 图像中环状伪影的处理方法的主要步骤如下:

[0092] 在直角坐标域内,将具有环状伪影的原始重建图像进行扩展生成第一重建图像,使所述第一重建图像的建像中心与机架的旋转中心重合;

[0093] 将所述第一重建图像从图像转化成为极坐标域内的第二重建图像;

[0094] 在极坐标域内,利用频域滤波处理提取出所述第二重建图像中第二环图像;

[0095] 将所述第二环图像转换成为直角坐标域内的第三环图像;

[0096] 将所述第三环图像进行逆扩展得到与所述原始重建图像大小相同的第四环图像;

[0097] 从具有环状伪影的原始重建图像中减去所述第四环图像,得到直角坐标域内的无环的图像。

[0098] 以下结合附图详细说明上述各个步骤。

[0099] (一) 将具有环状伪影的原始重建图像进行扩展,包括以下步骤:

[0100] (1) 在直角坐标域内,确认原始重建图像的建像中心是否与机架的旋转中心重合,确认结果分为 3 类:

[0101] (a) 如图 4 所示,建像中心与机架的旋转中心重合,即建像中心的坐标为  $(0, 0)$ ;

[0102] (b) 如图 5 所示,建像中心与机架的旋转中心不重合,但建像视野中包含机架的旋转中心;

[0103] (c) 如图 6 所示,建像中心与机架的旋转中心不重合,并且建像视野中也不包含机架的旋转中心。

[0104] (2) 对原始重建图像进行扩展生成第一重建图像,使所述第一重建图像的建像中心与机架的旋转中心重合。

[0105] 对于 a 情况,环状伪影的中心与图像中心重合,无需对图像进行扩展,维持原始重建图像。

[0106] 对于 b 情况,如图 7 所示,对原始重建图像进行扩展,扩展的方法如下:

[0107] 通过以下公式(2)-(3)计算得出机架旋转中心在图像矩阵的索引值  $RoC_x$  和  $RoC_y$

$$RoC_x = (\text{int})(-\text{ReconC}_x \times \frac{N-1}{\text{Fov}} + (N-1) \times 0.5) + 0.5 \quad (2)$$

$$RoC_y = (\text{int})(-\text{ReconC}_y \times \frac{N-1}{\text{Fov}} + (N-1) \times 0.5) + 0.5 \quad (3)$$

[0110] 其中,  $(\text{ReconC}_x, \text{ReconC}_y)$  为建像中心坐标,  $N$  为原始重建图像矩阵大小,  $\text{Fov}$  为建像视野。

[0111] 通过以下公式(4) - (5)计算图像需要扩展的偏移量  $X_{\text{offset}}$  和  $Y_{\text{offset}}$

$$[0112] X_{\text{offset}} = \text{RoC}_x - (N-1) \times 0.5 \quad (4)$$

$$[0113] Y_{\text{offset}} = \text{RoC}_y - (N-1) \times 0.5 \quad (5)$$

[0114] 扩展后的图像矩阵大小  $N_{\text{ex}}$  为 :

$$[0115] N_{\text{ex}} = (\frac{N}{2} + \max(|X_{\text{offset}}|, |Y_{\text{offset}}|)) \times 2 \quad (6)$$

[0116] 扩展之后的图像视野  $\text{Fov}_{\text{ex}}$  为 :

$$[0117] \text{Fov}_{\text{ex}} = \frac{N_{\text{ex}}}{N} \times \text{Fov} \quad (7)$$

[0118] 以  $(\text{RoC}_x, \text{RoC}_y)$  为中心, 分别沿着 x 轴扩展  $X_{\text{offset}}$  个像素单元, 沿着 y 轴扩展  $Y_{\text{offset}}$  个像素单元, 被扩展的像素单位的值用零填充, 图 7 中虚线所限定的区域为所述第一重建图像的图像区域。

[0119] 对于 c 情况, 如图 8 所示, 对图像进行扩展, 扩展的方法如下:

[0120] 通过下述公式计算出所要转换极坐标的最小半径长度  $R_{\min}$ 、最大半径长度  $R_{\max}$ 、周向起始角度  $\theta_{\text{start}}$  和周向终止角度  $\theta_{\text{end}}$ :

[0121] 最小半径长度为 :

$$[0122] R_{\min} = \sqrt{(\text{ReconC}_x + \text{Fov} \times 0.5)^2 + (\text{ReconC}_y + \text{Fov} \times 0.5)^2} \quad (8)$$

[0123] 最大半径长度为 :

$$[0124] R_{\max} = \sqrt{(\text{ReconC}_x - \text{Fov} \times 0.5)^2 + (\text{ReconC}_y - \text{Fov} \times 0.5)^2} \quad (9)$$

[0125] 周向起始角度为 :

$$[0126] \theta_{\text{start}} = \arctan(\text{ReconC}_x + \text{Fov} \times 0.5) / (\text{ReconC}_y - \text{Fov} \times 0.5) \quad (10)$$

[0127] 周向终止角度为 :

$$[0128] \theta_{\text{end}} = \arctan(\text{ReconC}_x - \text{Fov} \times 0.5) / (\text{ReconC}_y + \text{Fov} \times 0.5) \quad (11)$$

[0129] 其中,  $(\text{ReconC}_x, \text{ReconC}_y)$  为建像中心坐标,  $\text{Fov}$  为建像视野。

[0130] (二) 将所述第一重建图像从图像转化成为极坐标域内的第二重建图像; 以所述第二重建图像的中心为坐标原点, 将直角坐标图像转换为极坐标图像转换的公式为

$$[0131] \begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \end{cases} \quad (12)$$

[0132] (三) 在极坐标域内, 利用频域滤波处理提取出所述第二重建图像中第二环图像

[0133] 从所述第二重建图像中提取第二环图像步骤, 包括以下步骤:

[0134] (1) 在极坐标域内, 提取所述第二重建图像的图像边缘;

[0135] 采用 Canny 算子, 对所述第二重建图像进行边缘检测, 对检测到的图像边缘进行标记。Canny 算子的高斯噪声的强度和窗函数的宽度与原始重建图像的卷积核相关。

[0136] 提取图像边缘的目的是为了下一步的平滑操作。

[0137] (2) 去除所述第二重建图像的所述图像边缘得到第三重建图像;

[0138] (3) 对所述第三重建图像进行第一次平滑处理, 得到第四重建图像;

[0139] 沿着极坐标图像的径向方向, 对所述第三重建图像进行第一次平滑处理:

[0140] S11: 采用 3 点 2 次平滑;

[0141] S12: 进行 5 点 3 次平滑。经过多次重复上述步骤 S11 和 S12 后, 可以完全去除直

线,得到第四重建图像。重复上述步骤 S11 和 S12 次数为 60 次 ~100 次,优选的,平滑的次数为 80 次。

- [0142] (4) 从所述第二重建图像中减去所述第四重建图像,得到第五重建图像;
- [0143] 从所述第二重建图像中减去所述第四重建图像,得到包含环状伪影的第五重建图像。
- [0144] (5) 对所述第五重建图像进行频域滤波处理,得到第六重建图像;
- [0145] 对所述第五重建图像进行频域滤波处理,包括如下步骤:
- [0146] S21:对所述第五重建图像中的所有列进行采样;
- [0147] 假设极坐标域内,所述第五重建图像具有 M 列,每列的点数为 mN/2,其中 N 为偶数,第 i 列的信号用  $C_i(n)$  表示,其中  $i \in [0, M-1]$ 。
- [0148] 假设存在周期信号  $y(n)$ ,  $y(n)$  的单个周期的长度为 N, 第 i 个周期用  $y_i(n)$  表示,那么具有 M 个周期的周期信号  $y(n)$  为

$$[0149] y(n) = \sum_{i=0}^{M-1} y_i(n + iN) \quad (13)$$

- [0150] 其中,  $n \in [1, N]$ 。

[0151] 对于所述第五重建图像的第 i 列信号  $C_i(n)$   $m$  个点采样一次,这样会得到  $N/2$  个点,这些点就组成了第 i 个周期的周期函数  $y_i(n)$ ,当对所述第五重建图像的所有列进行采集之后,就得到了  $m$  个周期组成的周期信号  $y(n)$ 。

- [0152] S22:对所述采样周期信号  $y(n)$  进行傅里叶变换,得到  $Y(k)$ ;
- [0153]  $Y(k) = \text{FFT}(y(n)) \quad (14)$
- [0154] S23:用下述频域滤波器  $F(k)$  与所述  $Y(k)$  相乘,得到结果  $G(k)$ ;
- [0155]  $G(k) = F(k) \times Y(k) \quad (15)$
- [0156] 其中,频域滤波器为
- [0157]

$$[0157] F(k) = \begin{cases} 0 & \kappa = (2t-1) \quad t \in \left[1, \frac{N}{2}\right] \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (16)$$

- [0158] 其中,  $t$  为  $\left[1, \frac{N}{2}\right]$  内的整数。

- [0159] S24:对所述  $G(k)$  进行反傅里叶变换,得到  $g(n)$ ;
- [0160]  $g(n) = \text{FFT}^{-1}(G(k)) \quad (17)$

- [0161] S25:采用下列公式对  $g(n)$  恢复每列的数据

$$[0162] C_i(mn) = (g_i(n+iN) - g_i(n+iN + \frac{N}{2})) / 2 \quad (18)$$

- [0163] 其中,  $C_i(mn)$  为第五重建图像的第 i 列的第 m 个点的采样信号;
- [0164] S26:重复所述 S21 至 S25 的步骤,直到每列的所有点都被采集到。
- [0165] (6) 从所述第五重建图像中减去所述第六重建图像,得到第一环图像;
- [0166] (7) 对所述第一环图像沿着周方向进行第二次平滑处理,得到第二环图像。
- [0167] 具体的,对所述第一环图像沿着周方向进行第二次平滑处理的步骤包括:多次重复 3 点 2 次的平滑处理,可选的,重复 3 点 2 次的平滑处理的次数为 10 次 ~30 次,优选的,

重复 3 点 2 次的平滑处理的次数为 20 次。

[0168] (四) 将所述第二环图像转换成为直角坐标域内的第三环图像；

[0169] 将所述第二环图像转换回直角坐标域内的图像，得到第三环图像。

[0170] (五) 将所述第三环图像进行逆扩展得到与所述原始重建图像大小相同的第四环图像；

[0171] (六) 从具有环状伪影的原始重建图像中减去所述第四环图像，得到直角坐标域内的无环的图像。

[0172] 综上所述，在本发明中，对于存在偏心的原始重建图像，首先，将原始重建图像进行扩展生成第一重建图像，使所述第一重建图像的建像中心与机架的旋转中心重合；再将所述第一重建图像从图像转化成为极坐标域内的第二重建图像；接着，利用频域滤波处理提取出所述第二重建图像中第二环图像；接着，将所述第二环图像转换成为直角坐标域内的第三环图像；接着，将所述第三环图像进行逆扩展得到与所述原始重建图像大小相同的第四环图像；最后，从具有环状伪影的原始重建图像中减去所述第四环图像，得到直角坐标域内的无环的图像。采用上述方法，可以很好的保持原始重建图像的空间分辨率，从而不降低原始重建图像的质量。因此对于任意建像中心的情况，都可以采用上述方法去除环状伪影，并且在去除环状伪影的同时不损失原始重建图像的质量。

[0173] 显然，本领域的技术人员可以对发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样，倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则本发明也意图包括这些改动和变型在内。

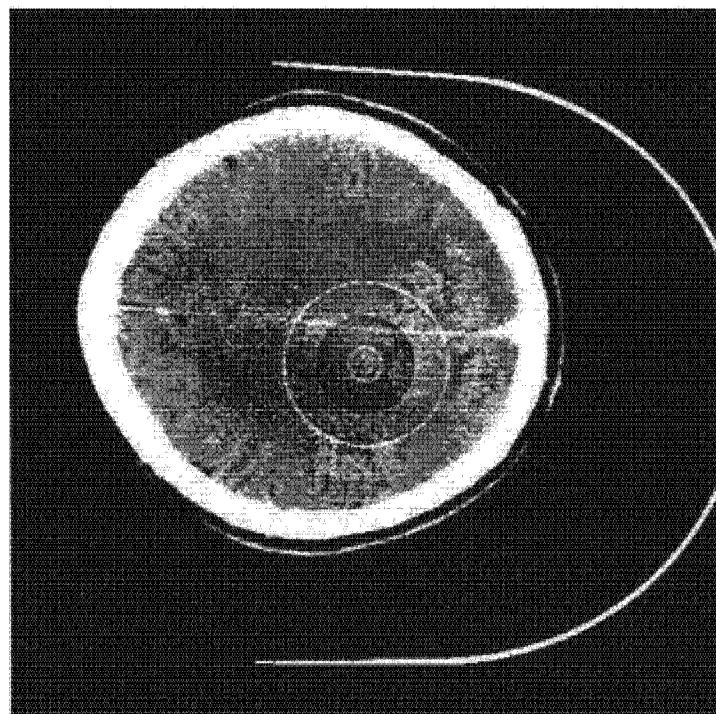


图 1

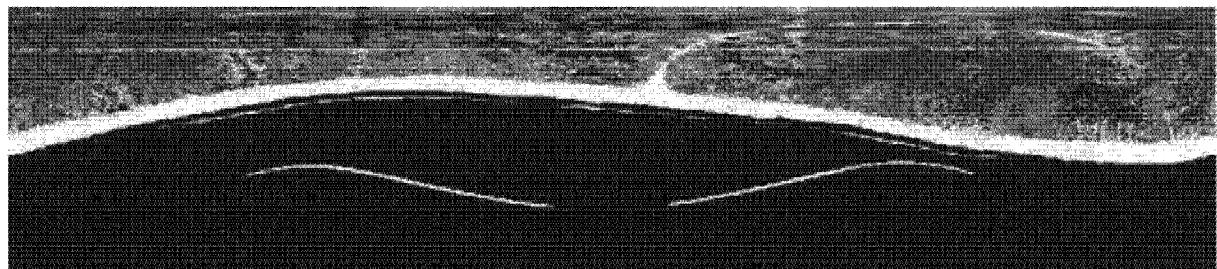


图 2

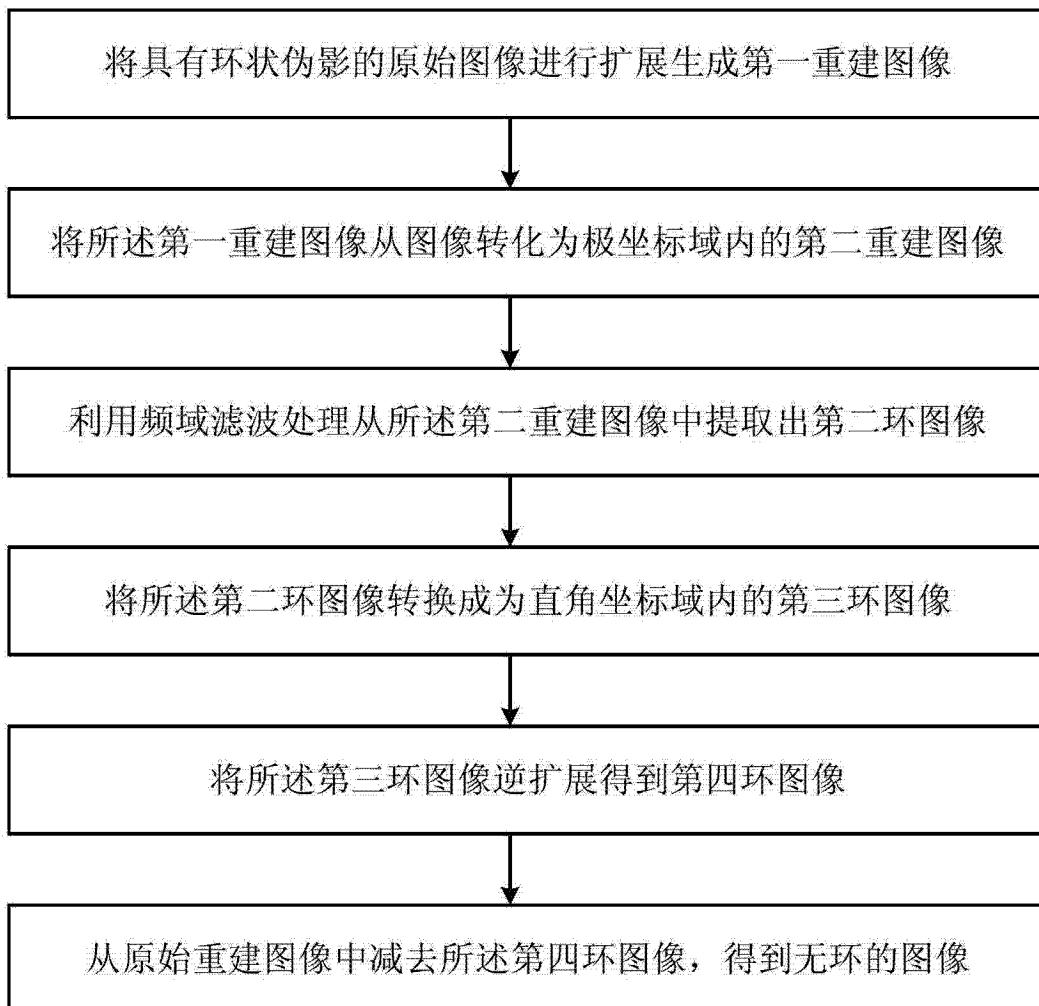


图 3

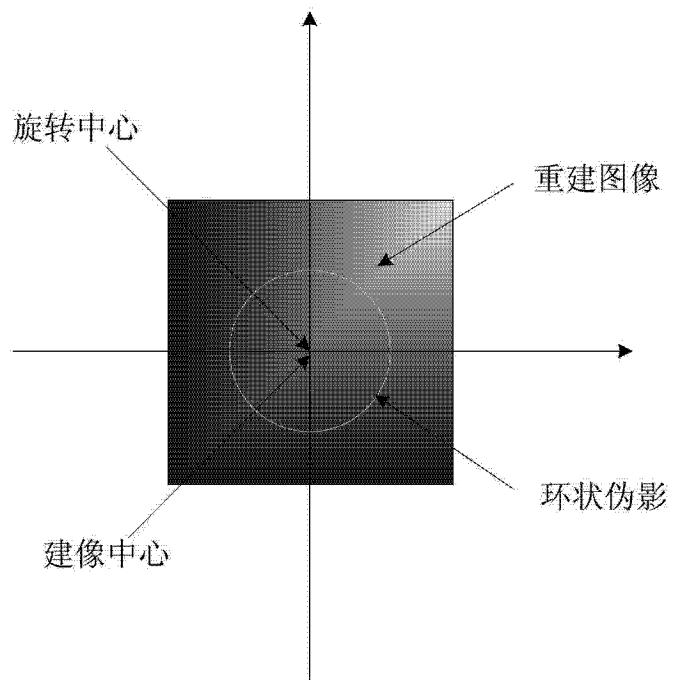


图 4

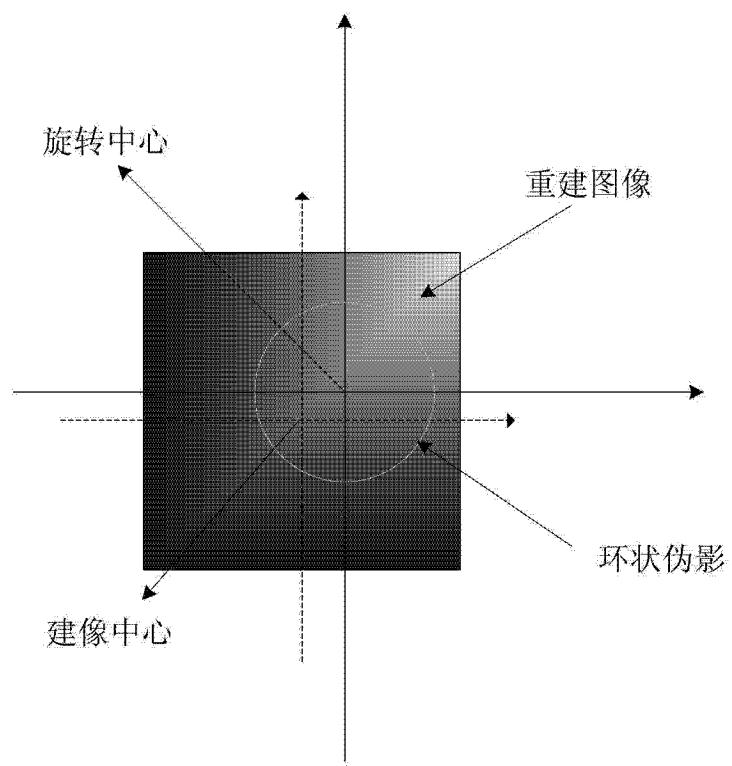


图 5

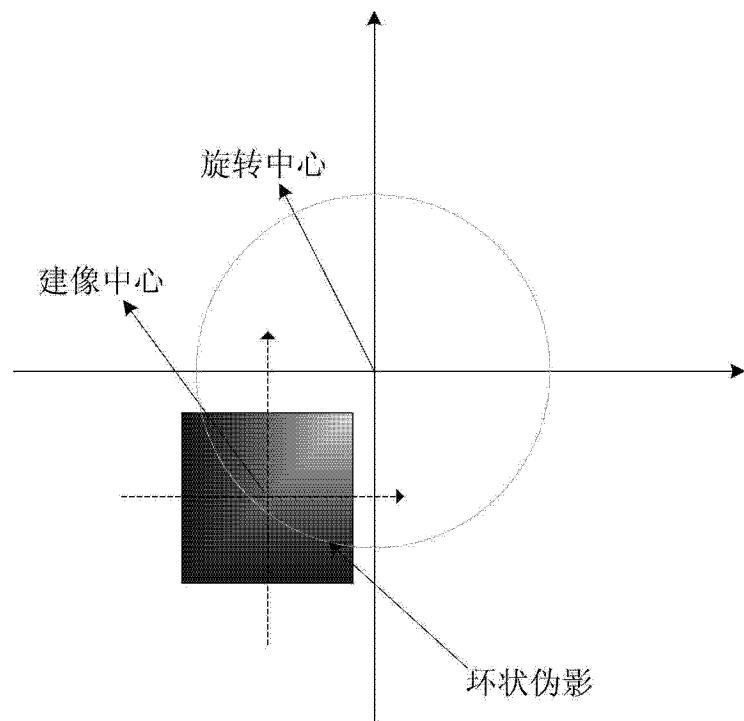


图 6

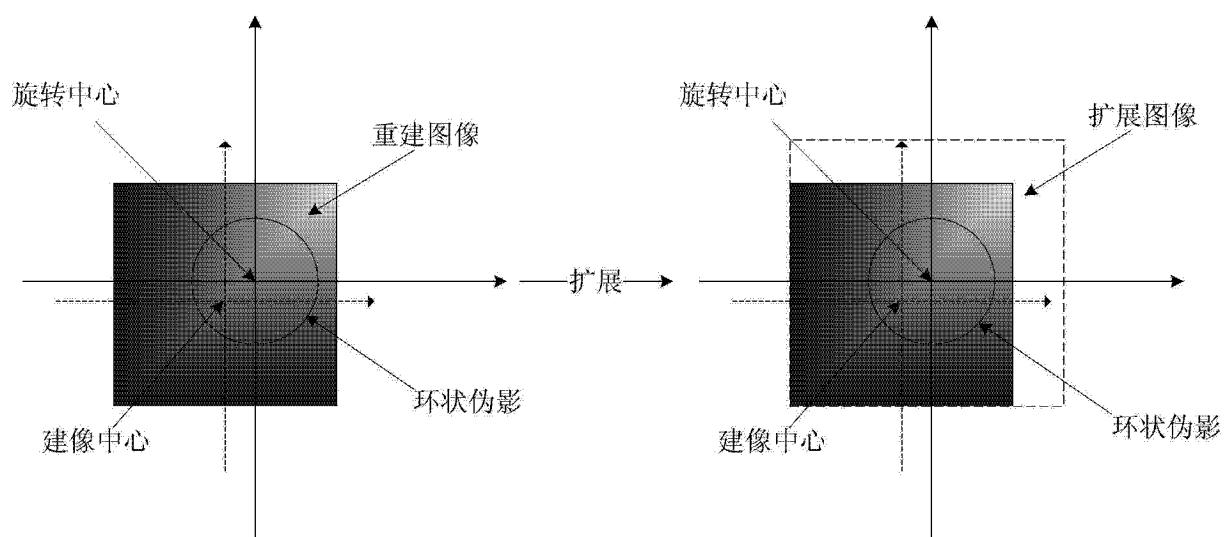


图 7

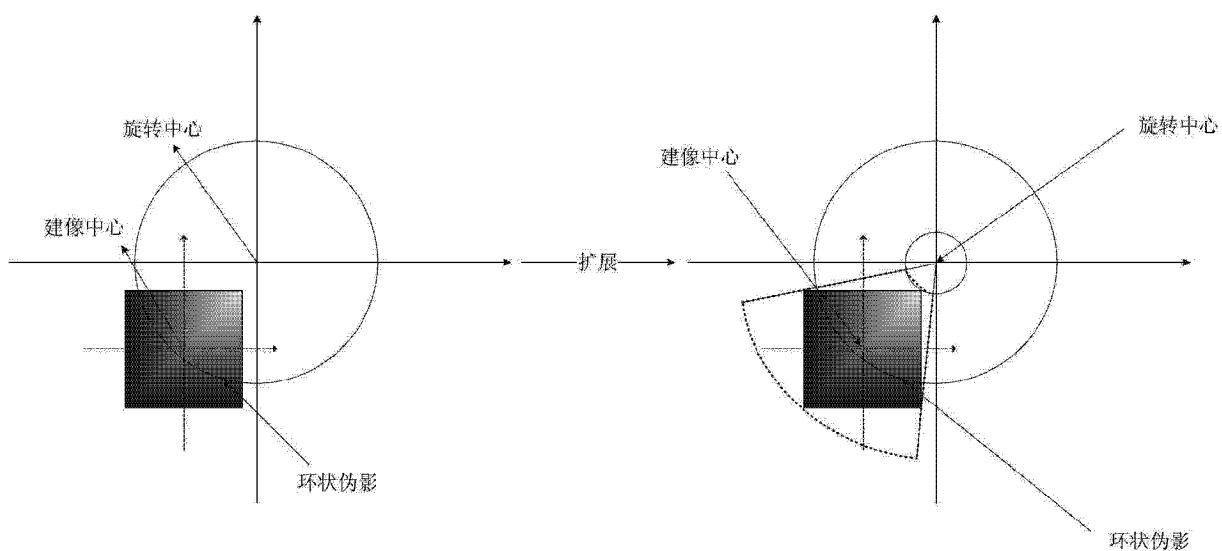


图 8