



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107292824 A

(43)申请公布日 2017. 10. 24

(21)申请号 201610192388.9

(22)申请日 2016.03.30

(71)申请人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市南塔街114号

(72)发明人 罗海波 张俊超 惠斌 常铮
赵耀宏 刘海峥

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002
代理人 徐丽 周秀梅

(51)Int. Cl.
G06T 5/00(2006.01)

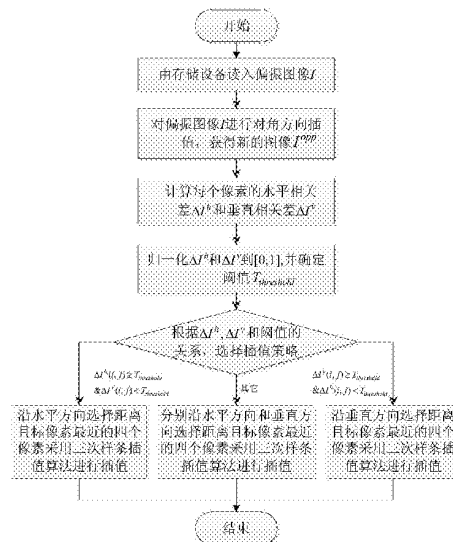
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,包括以下步骤:采用自适应的插值算法进行对角方向插值,以获得相对应角度的强度值;利用偏振强度相关性区分边缘与平滑区域,以及进行边缘方向的判定;采用三次样条插值算法分别对平滑区域和边缘进行插值。本发明方法可有效地降低瞬时视场误差,达到更小的重构误差,更好地逼近原始场景的偏振信息。



1. 一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,其特征在于,包括以下步骤:

获取包含四个偏振方向的原始图像;

通过目标像素的邻域的像素值计算原始图像中该像素的 45° 和 135° 方向的梯度,并进行对角方向插值,以获得相对应角度的强度值;

计算原始图像中每个像素的水平相关差和垂直相关差;

利用偏振强度相关性区分边缘与平滑区域,以及进行边缘方向的判定;

利用偏振强度相关性判定的结果,进行插值策略的选择,获得插值后的图像。

2. 根据权利要求1所述的一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,其特征在于,所述四个偏振方向为 0° 、 45° 、 90° 、 135° 方向。

3. 根据权利要求1所述的一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,其特征在于,所述邻域的形状根据需要设定,选择矩形邻域、圆形邻域或其它形状的邻域。

4. 根据权利要求1所述的一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,其特征在于,所述邻域的大小根据需要设定,设定为 $m \times m$,其中 m 为奇数。

5. 根据权利要求1所述的一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,其特征在于,所述计算原始图像中每个像素的 45° 和 135° 方向的梯度,采用一阶微分、二阶微分或一阶微分和二阶微分的联合值作为目标像素的梯度值。

6. 根据权利要求1所述的一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,其特征在于,所述进行对角方向插值,以获得相对应角度的强度值,根据 45° 和 135° 两方向的梯度值大小关系判断插值方向,然后选用最近邻插值、双线性插值、双三次插值、分形插值、双三次样条插值或基于保边性插值算法沿着该方向进行插值。

7. 根据权利要求1所述的一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,其特征在于,所述计算原始图像中每个像素的水平相关差和垂直相关差,利用等式(6)和目标像素的邻域像素值计算水平和垂直相关差

$$I_{0^\circ} + I_{90^\circ} = I_{45^\circ} + I_{135^\circ} \quad (6)$$

8. 根据权利要求1所述的一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,其特征在于,所述利用偏振强度相关性区分边缘与平滑区域,以及进行边缘方向的判定,根据水平方向的相关差和垂直方向的相关差与设定阈值的大小关系,判断边缘以及确定边缘方向。

9. 根据权利要求1所述的一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,其特征在于,所述插值策略的选择,包括:

①如果 $\Delta I^h(i, j) \geq T_{\text{threshold}}$ 且 $\Delta I^v(i, j) < T_{\text{threshold}}$,则边缘是水平方向的,分别在原始图像和其对应角度方向的图像中沿水平方向根据所选择邻域的大小选择距离目标像素最近的相同偏振方向的若干像素,采用插值算法进行插值;

②如果 $\Delta I^v(i, j) \geq T_{\text{threshold}}$ 且 $\Delta I^h(i, j) < T_{\text{threshold}}$,则边缘是垂直方向的,分别在原始图像和其对应角度方向的图像中沿垂直方向根据所选择邻域的大小选择距离目标像素最近的相同偏振方向的若干像素,采用插值算法进行插值;

③其他情况判定为平滑区域,在原始图像中分别沿水平方向和垂直方向根据所选择邻域的大小选择距离目标像素最近的相同偏振方向的若干像素,采用插值算法进行插值。

10. 根据权利要求9所述的插值算法,其特征在于,所述的插值算法采用最近邻插值、双线性插值、双三次插值、分形插值、双三次样条插值或基于保边性插值算法。

一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种偏振成像信息处理技术领域,具体地说是一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法。

背景技术

[0002] 偏振成像是20世纪60年代发展起来的一项具有巨大应用价值的前沿技术。偏振成像在传统强度成像基础上增加了偏振信息维度,不仅能获取二维空间光强分布,还能获得图像上每一点的偏振信息。目前偏振成像已应用在隐身、伪装、虚假目标的探测识别,海面目标的探测和识别,水下目标的探测和识别,烟雾气候环境条件下的导航,医学诊断等领域。

[0003] 在进行偏振探测时,需要得到3幅或者4幅目标在不同偏振角度下的图像,目前主要的探测方式是分时探测。此种探测方式由于是非实时探测,大大限制了此种探测方式的应用范围,且只能对静止的目标进行探测。分振幅和分孔径探测方式虽能满足实时探测要求,但是这两种探测方式需要精确配准。分焦平面探测方式是将微偏振片阵列集成在成像焦平面上,微偏振片阵列的每2x2单元分别刻有 0° 、 45° 、 90° 和 135° 的偏振方向的光栅,该探测方式具有高透过率、高消光比、高实时性等优点,由于Stokes矢量所需的各个分量是通过邻域像元重建得到,而相邻像元的瞬时视场不重叠,导致了瞬时视场误差,同时该探测方式降低了空间分辨率。为了弥补分焦平面探测方式的不足,需要采用插值算法对偏振图像进行误差补偿。

[0004] 现有的分焦平面偏振图像插值算法主要有双线性插值、双三次插值和双三次样条插值。这三种算法在一定程度上可以抑制瞬时视场误差,但是这些算法本质上是低通滤波器,平滑了图像的细节信息。

发明内容

[0005] 针对现有的分焦平面偏振图像插值算法的不足,本发明从偏振强度相关性出发,考虑了边缘方向的插值,提出了一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法。

[0006] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种基于相关性的分焦平面偏振图像插值方法,包括以下步骤:

[0007] 获取包含四个偏振方向的原始图像;

[0008] 通过目标像素的邻域的像素值计算原始图像中该像素的 45° 和 135° 方向的梯度,并进行对角方向插值,以获得相对应角度的强度值;

[0009] 计算原始图像中每个像素的水平相关差和垂直相关差;

[0010] 利用偏振强度相关性区分边缘与平滑区域,以及进行边缘方向的判定;

[0011] 利用偏振强度相关性判定的结果,进行插值策略的选择,获得插值后的图像。

[0012] 所述四个偏振方向为 0° 、 45° 、 90° 、 135° 方向。

[0013] 所述邻域的形状根据需要设定,选择矩形邻域、圆形邻域或其它形状的邻域。

[0014] 所述邻域的大小根据需要设定,设定为 $m*m$,其中 m 为奇数。

[0015] 所述计算原始图像中每个像素的 45° 和 135° 方向的梯度,采用一阶微分、二阶微分或一阶微分和二阶微分的联合值作为目标像素的梯度值。

[0016] 所述进行对角方向插值,以获得相对应角度的强度值,根据 45° 和 135° 两方向的梯度值大小关系判断插值方向,然后选用最近邻插值、双线性插值、双三次插值、分形插值、双三次样条插值或基于保边性插值算法沿着该方向进行插值。

[0017] 所述计算原始图像中每个像素的水平相关差和垂直相关差,利用等式(6)和目标像素的邻域像素值计算水平和垂直相关差

$$[0018] \quad I_{0^\circ} + I_{90^\circ} = I_{45^\circ} + I_{135^\circ} \quad (6)$$

[0019] 所述利用偏振强度相关性区分边缘与平滑区域,以及进行边缘方向的判定,根据水平方向的相关差和垂直方向的相关差与设定阈值的大小关系,判断边缘以及确定边缘方向。

[0020] 所述插值策略的选择,包括:

[0021] ①如果 $\Delta I^h(i, j) \geq T_{\text{threshold}}$ 且 $\Delta I^v(i, j) < T_{\text{threshold}}$,则边缘是水平方向的,分别在原始图像和其对应角度方向的图像中沿水平方向根据所选择邻域的大小选择距离目标像素最近的相同偏振方向的若干像素,采用插值算法进行插值;

[0022] ②如果 $\Delta I^v(i, j) \geq T_{\text{threshold}}$ 且 $\Delta I^h(i, j) < T_{\text{threshold}}$,则边缘是垂直方向的,分别在原始图像和其对应角度方向的图像中沿垂直方向根据所选择邻域的大小选择距离目标像素最近的相同偏振方向的若干像素,采用插值算法进行插值;

[0023] ③其他情况判定为平滑区域,在原始图像中分别沿水平方向和垂直方向根据所选择邻域的大小选择距离目标像素最近的相同偏振方向的若干像素,采用插值算法进行插值。

[0024] 所述的插值算法采用最近邻插值、双线性插值、双三次插值、分形插值、双三次样条插值或基于保边性插值算法。

[0025] 本发明具有以下优点及有益效果:

[0026] 1.本发明方法充分考虑了边缘方向的插值,有效地降低了瞬时视场误差,重构了更高精度的偏振图像。

[0027] 2.本发明方法进行对角方向插值时,考虑了一阶微分和二阶微分的共同作用,重构了更高精度的对应偏振方向的信息。

[0028] 3.本发明方法利用偏振强度相关性区分边缘与平滑区域,以及进行边缘方向的判定,提出了一种有别于传统的判定边缘的方法。

附图说明

[0029] 图1A~1D为本发明中所用测试图像,依次为 0° , 45° , 90° , 135° 图像;

[0030] 图2为本发明方法详细流程图;

[0031] 图3A~3C为本发明方法计算的强度图、偏振度图、偏振角图与真实强度图、偏振度图、偏振角图的比较,第一排为真实图,第二排为本发明方法计算的图像。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0033] 下面结合本发明方法流程图2和具体实例描述插值过程,主要按以下步骤操作:

[0034] 第一步:读取图像I,并进行存储,该图像包含了四个偏振方向的信息。

[0035] 第二步:每一个像素敏感一个偏振方向的光响应,该像素其它偏振方向的光响应由其邻域相应方向的像素的响应插值得到,以四方向(0° 、 45° 、 90° 、 135°)偏振成像体制为例,如果当前待处理的像素为敏感 0° 偏振方向光响应的像素,则其 45° 方向光响应由其邻域内若干敏感 45° 偏振方向的像素的响应插值得到。以此类推,其 90° 和 135° 方向的光响应分别由其邻域内若干敏感 90° 和 135° 偏振方向的像素的响应插值得到。所述邻域大小可以根据需要设定;所述邻域的形状可以根据需要设定,如可以选择矩形或圆形邻域,也可以选择其它形状的邻域。

[0036] 根据公式(1)计算图像I中每个像素的 45° 和 135° 方向的梯度,然后按照公式(2)和(3)进行对角方向插值。整幅图像插值完成后,获得一幅新的图像 I^{opp} ,并进行存储,该图像 I^{opp} 与源图像I对应位置处具有相对应偏振方向的信息,比如源图像I位置(1,1)记录了 0° 方向的偏振信息,而图像 I^{opp} 位置(1,1)记录了 90° 方向的偏振信息。

[0037] 所述通过目标像素的邻域像素值计算原始图像中该像素的 45° 和 135° 方向的梯度,并进行对角方向插值,以获得相对应角度的强度值:采用一阶微分与二阶微分的联合值作为目标像素的梯度值,采用 $3*3$ 矩形邻域计算目标像素 45° 和 135° 方向的梯度:

[0038]

$$\begin{cases} \Delta D_{45^\circ} = |I(i-1, j+1) - I(i+1, j-1)| + |2I(i, j) - I(i-2, j+2) - I(i+2, j-2)| \\ \Delta D_{135^\circ} = |I(i-1, j-1) - I(i+1, j+1)| + |2I(i, j) - I(i-2, j-2) - I(i+2, j+2)| \end{cases} \quad (1)$$

[0039] 其中 $I(i, j)$ 表示像素(i, j)的强度值。某一方向梯度越小,说明目标像素与此方向的像素值越相似,然后沿着该方向进行插值,插值公式为:

$$I^{opp}(i, j) = \begin{cases} A & , \Delta D_{45^\circ} < \Delta D_{135^\circ} \\ B & , \Delta D_{45^\circ} > \Delta D_{135^\circ} \\ \frac{A+B}{2} & , \Delta D_{45^\circ} = \Delta D_{135^\circ} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} A = \frac{I(i-1, j+1) - I(i+1, j-1)}{2} + \frac{2I(i, j) - I(i-2, j+2) - I(i+2, j-2)}{4} \\ B = \frac{I(i-1, j-1) - I(i+1, j+1)}{2} + \frac{2I(i, j) - I(i-2, j-2) - I(i+2, j+2)}{4} \end{cases} \quad (3)$$

[0042] 其中 $I^{opp}(i, j)$ 表示像素(i, j)相对应角度方向的强度值,比如:偏振方向为 0° 像素的相对应方向为 90° ,偏振方向为 45° 像素的相对应方向为 135° 。

[0043] 第三步:根据公式(8)计算图像I中每个像素的水平相关差 ΔI^h 和垂直相关差 ΔI^v 。

[0044] 从探测器的输出中得到的光强响应为:

$$I_\theta = (s_0 + s_1 * \cos 2\theta + s_2 * \sin 2\theta) / 2 \quad (4)$$

[0046] 其中, I_θ 表示当偏振方向分别位于 0° , 45° , 90° 和 135° 四个不同角度时的光强, s_0 , s_1 和 s_2 表示Stokes矢量的前三个分量。把 $\theta = 0^\circ$, 45° , 90° 和 135° 分别代入公式(4)得到公式(5):

$$[0047] \quad \begin{cases} I_{0^\circ} = (s_0 + s_1)/2 \\ I_{45^\circ} = (s_0 + s_2)/2 \\ I_{90^\circ} = (s_0 - s_1)/2 \\ I_{135^\circ} = (s_0 - s_2)/2 \end{cases} \quad (5)$$

[0048] 根据上面的四个等式,可以推出下面的等式:

$$[0049] \quad I_{0^\circ} + I_{90^\circ} = I_{45^\circ} + I_{135^\circ} \quad (6)$$

[0050] 利用上述等式,我们可以根据其邻域的值估计一个给定位置处的强度值:

$$[0051] \quad \begin{cases} \hat{I}_{0^\circ} = \bar{I}_{45^\circ} + \bar{I}_{135^\circ} - \bar{I}_{90^\circ} \\ \hat{I}_{45^\circ} = \bar{I}_{0^\circ} + \bar{I}_{90^\circ} - \bar{I}_{135^\circ} \\ \hat{I}_{90^\circ} = \bar{I}_{45^\circ} + \bar{I}_{135^\circ} - \bar{I}_{0^\circ} \\ \hat{I}_{135^\circ} = \bar{I}_{0^\circ} + \bar{I}_{90^\circ} - \bar{I}_{45^\circ} \end{cases} \quad (7)$$

[0052] 其中 $\hat{I}_\theta, \theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 表示像素 (i, j) 的估计值, \bar{I}_θ 表示平均值,它是根据像素 (i, j) 的邻域值进行计算的。

[0053] 根据上述等式,我们可以定义水平和垂直相关性差:

[0054]

$$\begin{cases} \Delta I^h(i, j) = |\sum_{s=1}^2 (-1)^{s-1} * \sum_{k=-1}^1 \sum_{t=-1}^1 \omega_s(k, t) * I(i+k, j+t)| \\ \Delta I^v(i, j) = |\sum_{s=3}^4 (-1)^{s-1} * \sum_{k=-1}^1 \sum_{t=-1}^1 \omega_s(k, t) * I(i+k, j+t)| \end{cases} \quad (8)$$

$$[0055] \quad \omega_H^1 = \begin{bmatrix} -1/2 & 1/2 & -1/2 \\ 1/2 & -1 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 0 \end{bmatrix} \quad \omega_H^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 0 \\ 1/2 & -1 & 1/2 \\ -1/2 & 1/2 & -1/2 \end{bmatrix}$$

$$[0056] \quad \omega_V^1 = \begin{bmatrix} -1/2 & 1/2 & 0 \\ 1/2 & -1 & 1/2 \\ -1/2 & 1/2 & 0 \end{bmatrix} \quad \omega_V^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & -1/2 \\ 1/2 & -1 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & -1/2 \end{bmatrix}$$

[0057] 其中, $\omega_1 = \omega_H^1, \omega_2 = \omega_H^2, \omega_3 = \omega_V^1, \omega_4 = \omega_V^2, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ 为相关性矩阵。

[0058] 第四步:利用偏振强度相关性区分边缘与平滑区域,以及进行边缘方向的判定。

[0059] 所述利用偏振强度相关性区分边缘与平滑区域,以及进行边缘方向的判定:将第三步计算的水平和垂直相关性差 ΔI^h 和垂直相关性差 ΔI^v 进行归一化处理,归一化到 $[0, 1]$,并确定判定阈值 $T_{\text{threshold}}$,当阈值在 0.15 左右时,能够获得较优的插值效果,本实验中采用的阈值 $T_{\text{threshold}}$ 为 0.16。判断平滑区域,边缘以及边缘方向具体包括:

[0060] ①如果 $\Delta I^h(i, j) \geq T_{\text{threshold}}$ 且 $\Delta I^v(i, j) < T_{\text{threshold}}$,则边缘是水平方向。

[0061] ②如果 $\Delta I^v(i, j) \geq T_{\text{threshold}}$ 且 $\Delta I^h(i, j) < T_{\text{threshold}}$,则边缘是垂直方向。

[0062] ③其他情况判定为平滑区域。

[0063] 第五步:利用偏振强度相关性判定的结果,进行插值策略的选择,获得插值后的图像。利用第四步判断的结果进行插值策略的选择。边缘处插值则是沿着边缘方向上利用距离目标像素最近的相同偏振方向的四个像素进行三次样条插值;平滑区域插值则是分别沿

水平和垂直方向选择距离目标像素最近的相同偏振方向的四个像素进行三次样条插值。插值策略的选择具体包括：

[0064] ①如果 $\Delta I^h(i, j) \geq T_{\text{threshold}}$ 且 $\Delta I^v(i, j) < T_{\text{threshold}}$ ，则边缘是水平方向的，分别在图像 I 和图像 I^{opp} 中沿水平方向选择距离目标像素最近的相同偏振方向的四个像素采用三次样条插值算法进行插值。

[0065] ②如果 $\Delta I^v(i, j) \geq T_{\text{threshold}}$ 且 $\Delta I^h(i, j) < T_{\text{threshold}}$ ，则边缘是垂直方向的，分别在图像 I 和图像 I^{opp} 中沿垂直方向选择距离目标像素最近的相同偏振方向的四个像素采用三次样条插值算法进行插值。

[0066] ③其他情况判定为平滑区域，在图像 I 中分别沿水平方向和垂直方向选择距离目标像素最近的相同偏振方向的四个像素采用三次样条插值算法进行插值。

[0067] 为了检验本发明所提出方法的性能，我们采用分时探测器获得四幅不同偏振角度的标准图像，如图1A~1D，四幅偏振图像分别记录了 0° 、 45° 、 90° 和 135° 的信息。分时探测器是由灰度相机(DMK22AUC03)和线性偏振旋转台(Thorlabs PRM1Z8E)组成。其次，对四幅标准图像进行降采样；然后对四幅降采样的图像采用不同的插值算法进行插值重构，通过比较插值重构图像与标准图像的标准差进行性能的判定。比较结果如下表：

[0068]

	Bilinear	Bicubic	Bicubic Spline	本发明
$I(0^\circ)$	2.6976	2.4080	2.2152	2.0814
$I(45^\circ)$	2.7924	2.4894	2.3282	2.1867
$I(90^\circ)$	2.9169	2.6267	2.4595	2.2728
$I(135^\circ)$	2.7208	2.4441	2.2433	2.1065
S_0	4.0224	3.5431	3.2583	2.6855
$DoLP$	0.0169	0.0149	0.0141	0.0132
AoP	0.3493	0.3176	0.3091	0.2978

[0069] 实验结果表明，用本发明对偏振图像进行插值重构，能够达到更小的重构误差，由图像3A~3C可知，用本发明重构的强度图、偏振度图像和偏振角图像均能很好地逼近原始场景的偏振信息。

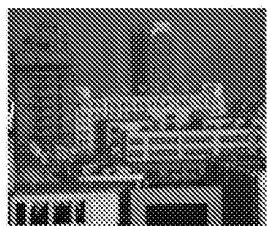


图1A



图1B

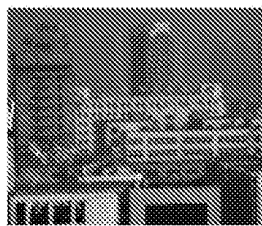


图1C

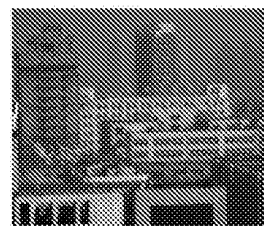


图1D

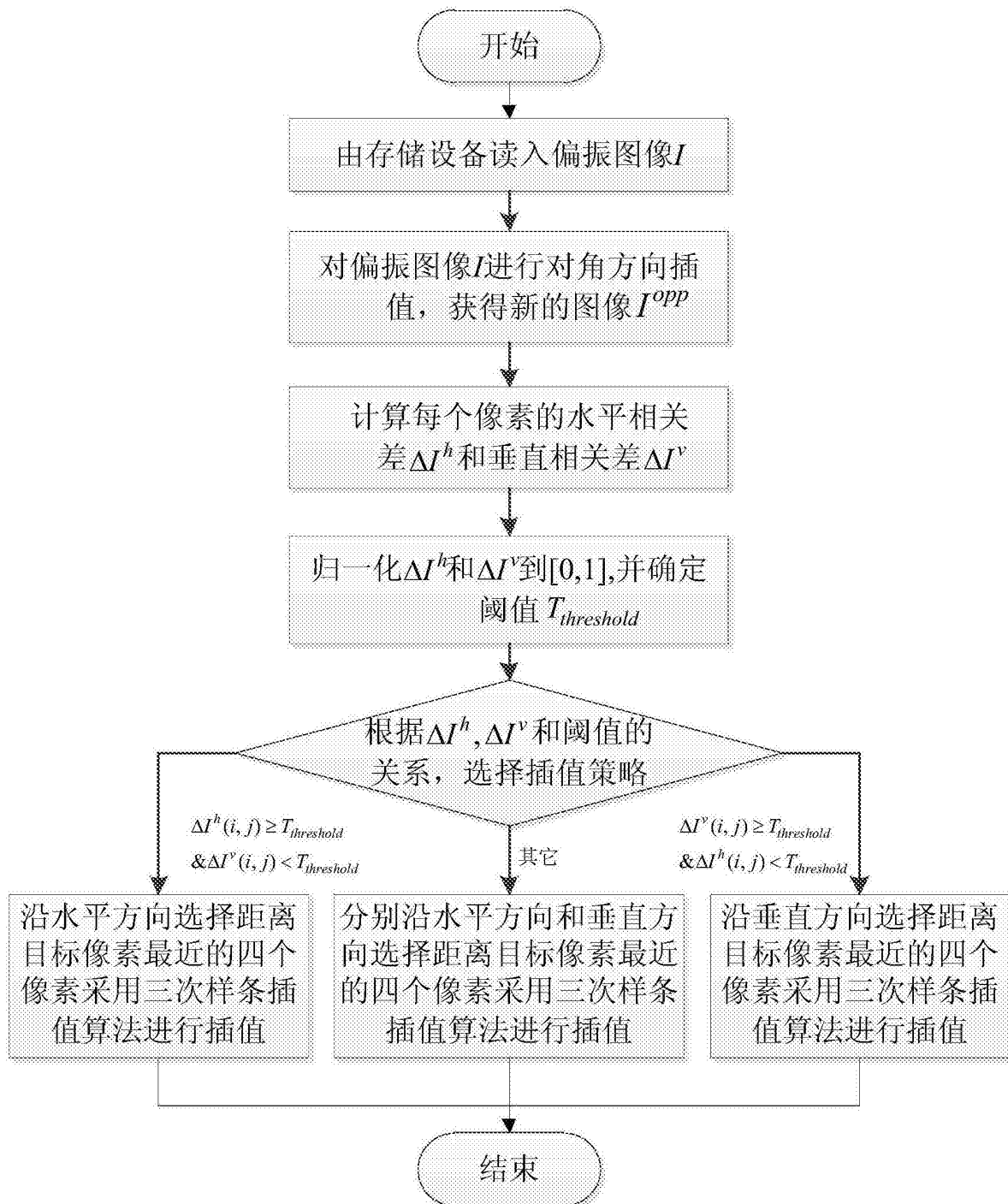


图2

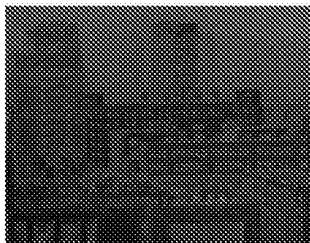
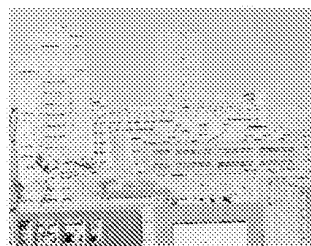
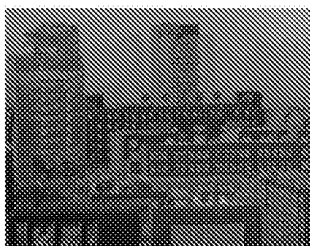


图3A

图3B

图3C