



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102314672 A

(43) 申请公布日 2012.01.11

(21) 申请号 201110216522.1

(22) 申请日 2011.07.29

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号

(72) 发明人 张星祥 陶明慧 任建岳

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 王淑秋

(51) Int. Cl.

G06T 5/00(2006.01)

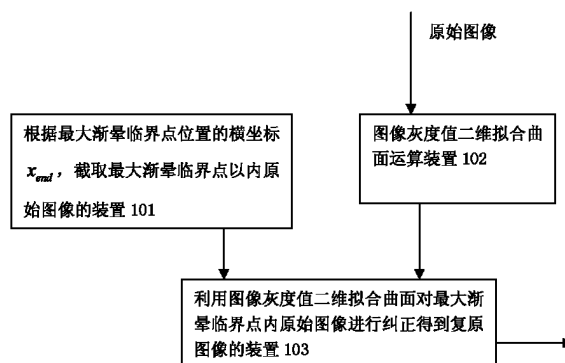
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 4 页

(54) 发明名称

基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置

(57) 摘要

本发明涉及一种基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置,该装置包括:根据最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} , 截取最大渐晕临界点以内原始图像的装置;图像灰度值二维拟合曲面运算装置;利用图像灰度值二维拟合曲面对最大渐晕临界点内原始图像进行纠正得到复原图像的装置。本发明不需要测量相关的光学和几何参数,不需要事先进行相关试验以确定渐晕系数;只对在最大渐晕临界点内的数据进行处理,数据量小、速度快、效率高;采用最速下降法求解曲面参数得到图像二维拟合曲面,能够获得比较准确的参数估计,并且简化了求解过程;本发明能够应用于实际工程项目中,具有广泛适用性。



1. 一种基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置,其特征在于包括:

根据最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} ,截取最大渐晕临界点以内原始图像的装置;

对最大渐晕临界点以内原始图像进行纠正得到复原图像的装置。

2. 根据权利要求 1 所述的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置,其特征在于所述最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} 通过下述方法得到:

根据光学临界边缘的衍射能量分布,经过最小二乘拟合法拟合得到反射镜拼接渐晕光能量分布图,然后利用公式 $I-1 < E$,求解出最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} ,其中 I 为光能量幅值, E 为临界误差。

3. 根据权利要求 2 所述的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置,其特征在于 $E \leq 0.01$ 。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置,其特征在于所述对最大渐晕临界点以内原始图像进行纠正得到复原图像的装置包括:

图像灰度值二维拟合曲面运算装置:利用式 (1)、(2) 进行迭代运算直至 $|g| = \sqrt{g_1^2 + g_2^2 + g_3^2 + g_4^2 + g_5^2} < \varepsilon$,得到图像灰度值二维拟合曲面;

$$t_k = \frac{(g^k)^T g^k}{(g^k)^T H^k g^k} \quad (1)$$

$$X^{k+1} = X^k - t_k g(X^k) \quad (2)$$

其中

$$g = g(X) = \nabla F(X) = \left(\frac{\partial F}{\partial x_0}, \frac{\partial F}{\partial y_0}, \frac{\partial F}{\partial r_x}, \frac{\partial F}{\partial r_y}, \frac{\partial F}{\partial c} \right)^T = (g_1, g_2, g_3, g_4, g_5)^T \quad (3)$$

$$H = H(X) = \nabla^2 F(X)$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial x_0^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial c^2} \end{pmatrix} \quad (4)$$

X 为与原始图像上任一像素对应的图像灰度值二维拟合曲面上的点的灰度值, $X = X(x, y)$;

ε 为目标约束函数 $F(X)$ 的约束精度;

式 (3)、(4) 中

$$F = F(X)$$

$$F(X) = \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m [f(\bar{x}, \bar{y}) - f_{xy}]^2 \quad (5)$$

$\nabla F(X)$ 为目标约束函数 $F(X)$ 的梯度；

式 (5) 中，

$$f(\bar{x}, \bar{y}) = \tanh(r_x(x - x_0) + r_y(y - y_0)) + c \quad (6)$$

其中 $f(\bar{x}, \bar{y}) = X(x, y)$

式 (3)、(4)、(5)、(6) 中 x, y 是图像上任一像素点的坐标, $m \times n$ 表示图像大小 (m 为图像像素点的行数, n 为图像像素点的列数); r_x 和 r_y 表示沿图像 x 轴和 y 轴的光能量衰减率; x_0, y_0 表示参考图像亮度中心坐标; c 表示常偏移量; \bar{x}, \bar{y} 是归一化后的任一像素点的坐标, $-0.5 \leq \bar{x} \leq 0.5, -0.5 \leq \bar{y} \leq 0.5$; f_{xy} 为实测的原始图像上任一像素点的 x, y 灰度值;

利用图像灰度值二维拟合曲面对最大渐晕临界点内原始图像进行纠正得到复原图像的装置。

5. 根据权利要求 4 所述的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置, 其特征在于所述目标约束函数 $F(X)$ 的约束精度 $\varepsilon \leq 0.1$ 。

6. 根据权利要求 5 所述的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置, 其特征在于所述目标约束函数 $F(X)$ 的约束精度 $\varepsilon = 0.001$ 。

7. 根据权利要求 4 所述的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置, 其特征在于所述式 (1)、(2) 中, X 的初始值 X^0 等于原始图像上像素点灰度值的平均值 $\overline{f_{xy}}$; 式 (3)、(4)、(5)、(6) 中 x_0, y_0 的初始值为图像中心坐标 x_0^0, y_0^0 , r_x 和 r_y 的初始值为

$$r_x^0 = r_y^0 = \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m (f_{xy} - \overline{f_{xy}})^2, c \text{ 的初始值为 } c^0 = \overline{f_{xy}}。$$

基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置

技术领域

[0001] 本发明属于图像复原技术及图像处理领域,涉及一种用于消除反射镜拼接型相机拍摄影像时拼接边界发生渐晕现象的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置。

背景技术

[0002] 随着航天相机向着宽成像谱段、大覆盖范围和实时传输方向的不断发展,相机所需要的焦平面越来越大,但是单片 CCD 成像器件的像元数有限,其像元总长度不能满足成像的视场要求,就需要使用多个 CCD 器件进行拼接,形成一个大成像视场结构。

[0003] 目前比较常见的 CCD 拼接方式主要有光学拼接和机械拼接两种,光学拼接是利用棱镜的分光原理形成一对光程相等的共轭面,将 CCD 交错分置于这一对等光程的共轭面上,首尾搭接。光学拼接中的分光形式包括半反半透镜、全反全透镜和反射镜。反射镜拼接型 CCD 相机入射光一部分直接成像在直射面 CCD 上,另一部分经反射镜反射后成像在反射面 CCD 上。反射镜拼接型 CCD 相机具有能量利用率高、热稳定性好、体积重量小、拼接精度高和拼接长度较长的优势,更重要的一点是反射镜拼接不会出现漏缝现象,而且焦平面可形成一条共轭直线或一个完整连续的焦面,是光学拼接的发展方向。但反射镜拼接的方法在反射镜拼接界面会产生渐晕现象,需要利用后续图像处理工作进行消除。目前国内采用反射镜拼接的实际应用很少,所以针对反射镜拼接渐晕现象目前没有一套完整的消除办法。

[0004] 在实际反射镜拼接型 CCD 相机光学系统中,由于反射镜的遮挡和直边衍射,部分光束无法参与成像,导致交界处光照度较弱,这就产生了渐晕现象。反射镜边缘与光轴成 45° 夹角,接收屏 (CCD) 成像的渐晕程度随着接收屏距离反射镜的距离而变化,所以接收屏距离反射镜距离越大,渐晕分布区域越大。

[0005] 传统的渐晕补偿方法有:查表法,逐行扫描法和函数逼近法。查表法需要事先利用标准影像获取渐晕系数对照表,因此每次拍摄都必须满足相同的条件,不适合工程应用;逐行扫描法利用实际获取的图像数据进行逐行拟合,拟合出整幅图片灰度变化的趋势后进行恢复,当实际图像相邻两行灰度变化较大时,此方法会产生线性条纹;函数逼近法是通过多次定标,对各个照度下单个像元的补偿因子进行标定,然后将各个像元的补偿因子进行拟合,得出各个像元的渐晕恢复公式,与前两种相比,此方法有一定的优越性,但它运算量大、占存储空间多且需要硬件测试设备,同时受拍摄环境和相机参数的限制。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是提供一种能够快速消除渐晕现象的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置。

[0007] 为了解决上述技术问题,本发明的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置包括:

[0008] 根据最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} ,截取最大渐晕临界点以内原始图像的装置;

[0009] 对最大渐晕临界点以内原始图像进行纠正得到复原图像的装置。

[0010] 本发明只对最大渐晕临界点内的数据进行处理,数据量小、速度快、效率高。

[0011] 所述最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} 通过下述方法得到:

[0012] 根据光学临界边缘的衍射能量分布,经过最小二乘拟合法拟合得到反射镜拼接渐晕光能量分布图,然后利用公式 $I-1 < E$,求解出最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} ,其中 I 为光能量幅值, E 为临界误差。

[0013] 所述临界误差 E 小于 0.01。

[0014] 采用上述方法计算最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} ,不需要测量相关的光学和几何参数,不需要事先进行相关试验,具有广泛的适用性。

[0015] 所述对最大渐晕临界点以内原始图像进行纠正得到复原图像的装置包括:

[0016] 图像灰度值二维拟合曲面运算装置:利用式 (1)、(2) 进行迭代运算直至 $|g| = \sqrt{g_1^2 + g_2^2 + g_3^2 + g_4^2 + g_5^2} < \varepsilon$,得到图像灰度值二维拟合曲面;

$$[0017] \quad t_k = \frac{(g^k)^T g^k}{(g^k)^T H^k g^k} \quad (1)$$

$$[0018] \quad X^{k+1} = X^k - t_k g(X^k) \quad (2)$$

[0019] 其中

$$[0020] \quad g = g(X) = \nabla F(X) = \left(\frac{\partial F}{\partial x_0}, \frac{\partial F}{\partial y_0}, \frac{\partial F}{\partial r_x}, \frac{\partial F}{\partial r_y}, \frac{\partial F}{\partial c} \right)^T = (g_1, g_2, g_3, g_4, g_5)^T \quad (3)$$

$$[0021] \quad H = H(X) = \nabla^2 F(X)$$

$$[0022] \quad = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial x_0^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial c^2} \end{pmatrix} \quad (4)$$

[0023] X 为与原始图像上任一像素对应的图像灰度值二维拟合曲面上的点的灰度值, $X = X(x, y)$;

[0024] ε 为目标约束函数 $F(X)$ 的约束精度;

[0025] 式 (3)、(4) 中

[0026] $F = F(X)$

$$[0027] \quad F(X) = \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m [f(\bar{x}, \bar{y}) - f_{xy}]^2 \quad (5)$$

[0028] $\nabla F(X)$ 为目标约束函数 $F(X)$ 的梯度;

[0029] 式 (5) 中,

$$[0030] \quad f(\bar{x}, \bar{y}) = \tanh(r_x(x - x_0) + r_y(y - y_0)) + c \quad (6)$$

[0031] 其中 $f(\bar{x}, \bar{y}) = X(x, y)$

[0032] 式 (3)、(4)、(5)、(6) 中 x, y 是图像上任一像素点的坐标, $m \times n$ 表示图像大小 (m 为图像像素点的行数, n 为图像像素点的列数); r_x 和 r_y 表示沿图像 x 轴和 y 轴的光能量衰减率; x_0, y_0 表示参考图像亮度中心坐标; c 表示常偏移量; \bar{x}, \bar{y} 是归一化后的任一像素点的坐标, $-0.5 \leq \bar{x} \leq 0.5, -0.5 \leq \bar{y} \leq 0.5$; f_{xy} 为实测的原始图像上任一像素点的 x, y 灰度值;

[0033] 利用图像灰度值二维拟合曲面对最大渐晕临界点内原始图像进行纠正得到复原图像的装置。

[0034] 所述式 (1)、(2) 中 k 的初始值为 0; X 的初始值 X^0 等于原始图像上像素点灰度值的平均值 $\overline{f_{xy}}$ 。

[0035] 式 (3)、(4)、(5)、(6) 中 x_0, y_0 的初始值为图像中心坐标 x_0^0, y_0^0 , r_x 和 r_y 的初始值为 $r_x^0 = r_y^0 = \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m (f_{xy} - \overline{f_{xy}})^2$, c 的初始值为 $c^0 = \overline{f_{xy}}$ 。

[0036] 本发明的有益效果: ①不需要测量相关的光学和几何参数, 不需要事先进行相关试验以确定渐晕系数, 特别是针对 CCD 片数较多的拼接焦面, 更表现出其优越性; ②只对最大渐晕临界点内的数据进行处理, 数据量小、速度快、效率高; ③采用最速下降法求解曲面参数得到图像二维拟合曲面, 能够获得比较准确的参数估计, 并且简化了求解过程; ④求解速度快, 可实时处理, 能够应用于实际工程项目中, 具有广泛适用性。本发明还可用于任何存在中心遮拦或其它曲面遮拦引起渐晕的图像处理, 用于线阵 CCD 或 TDICCD 推扫及摆扫成像图像处理。

附图说明

[0037] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0038] 图 1 是反射镜拼接原理图。

[0039] 图 2 是直射面 CCD 渐晕现象分布示意图。

[0040] 图 3 是本发明的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置结构框图。

[0041] 图 4 是经过最小二乘拟合法拟合得到的反射镜拼接渐晕光能量分布图。

[0042] 图 5 是中心遮挡和直边挡板遮挡在成像图片上引起的渐晕现象。

[0043] 图 6 是外场成像实验图片。

[0044] 图 7 是外场成像实验整幅图片灰度分布图。

[0045] 图 8 二维拟合曲面结果灰度分布图。

[0046] 图 9 渐晕消除后的成像实验图片。

[0047] 图 10 渐晕消除后的实验图片灰度分布图。

具体实施方式

[0048] 如图 1 所示, 反射镜拼接型 CCD 相机反射镜 2 的反射面与入射光成 45° 夹角, 入射

光一部分直接成像在直射面 CCD3 上,另一部分经反射镜 2 反射后成像在反射面 CCD1 上。

[0049] 如图 2 所示,直射面 CCD3 的像面与反射镜 2 距离越大,渐晕分布区域 4 也越大,反射面 CCD1 的渐晕分布类似于直射面 CCD3。

[0050] 如图 3 所示,本发明的基于曲面拟合的反射镜拼接渐晕消除装置包括:

[0051] 根据最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} ,截取最大渐晕临界点以内原始图像的装置 101;

[0052] 对最大渐晕临界点以内原始图像进行纠正得到复原图像的装置。

[0053] 以直射面 CCD 图像渐晕校正为例,最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} 可通过下述方法得到:

[0054] 根据光学临界边缘的衍射能量分布,经过最小二乘拟合法拟合得到反射镜拼接渐晕光能量分布图,如图 4 所示;使用公式 $I-1 < E$,求解出最大渐晕临界点位置的横坐标,记为 x_{end} ;其中 I 为光能量幅值, E 为临界误差。 E 取值应小于 0.01,本发明中选择 $E = 0.001$ 。

[0055] 最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} 还可以通过定标方法得到。

[0056] 反射面 CCD 最大渐晕临界点位置横坐标的确定与直射面 CCD 上最大渐晕临界点位置横坐标 x_{end} 的确定相同。

[0057] 本发明根据最大渐晕临界点位置的横坐标 x_{end} 截取最大渐晕临界点以内原始图像,反射镜拼接渐晕校正不需要将整幅图像进行处理,只需处理最大渐晕临界点以内的图像即可,这样就大幅度地减少了数据处理量,提高了图像处理的效率。

[0058] 所述对最大渐晕临界点以内原始图像进行纠正得到复原图像的装置包括:

[0059] 图像灰度值二维拟合曲面运算装置 102;

[0060] 利用图像灰度值二维拟合曲面对最大渐晕临界点内原始图像进行纠正得到复原图像的装置 103。

[0061] 图像灰度值二维拟合曲面可通过下述方法得到:

[0062] 根据实际渐晕图像退化情况,提出图像退化模型近似为公式 (6),可利用此公式 (6) 来对退化的图像进行拟合,以实现图像的灰度补偿。

$$[0063] \quad f(\bar{x}, \bar{y}) = \tanh(r_x(x - x_0) + r_y(y - y_0)) + c \quad (6)$$

[0064] 其中, $f(\bar{x}, \bar{y})$ 表示拟合出的退化模型的图像灰度值(即图像灰度值二维拟合曲面上任意一像素点 (x, y) 的灰度值 $X(x, y)$), (x, y) 是图像上任一像素点的坐标, $x = 1, 2, \dots, m; y = 1, 2, \dots, n; m \times n$ 表示图像大小, r_x 和 r_y 表示沿图像 x 和 y 轴的光能量衰减率; (x_0, y_0) 表示参考图像亮度中心,它不一定是图像中心; c 表示常偏移量。只要得到合适的沿 x 和 y 轴的光能量衰减率,可以用这个公式模拟亮度变化趋势; (\bar{x}, \bar{y}) 是归一化后的像素坐标,其中 $-0.5 \leq \bar{x} \leq 0.5, -0.5 \leq \bar{y} \leq 0.5$ 。只要能够得到 x_0, y_0, r_x, r_y, c 这 5 个参数,就可以利用公式 (6) 补偿渐晕临界点以内任意一像素点的灰度值。

[0065] 退化模型各参数 (x_0, y_0, r_x, r_y, c) 可采用下述方法求解:

[0066] 求参数值的过程转化为使目标约束函数 $F(X)$

$$[0067] \quad F(X) = \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m [f(\bar{x}, \bar{y}) - f_{xy}]^2 \quad (5)$$

[0068] 达到最小, X 为与原始图像上任一像素 (x, y) 对应的图像灰度值二维拟合曲面上的点的灰度值, $X = X(x, y)$; f_{xy} 为实测的原始图像上任一像素点 (x, y) 的灰度值。

[0069] 由于直接令 $F(X)$ 的梯度等于零, 解方程组求 x_0, y_0, r_x, r_y, c 比较复杂, 故本发明采用最速下降法来求 $F(X)$ 的极小值, 令初始时 $g^0 = g(X^0) = \nabla F(X^0)$, $k = 0$ 。其中 $\nabla F(X^0)$ 为初始化的目标约束函数的梯度, 则目标约束函数 $F(X)$ ($F(x_0, y_0, r_x, r_y, c)$) 在图像灰度值二维拟合曲面上任意一点 (x, y) 灰度的梯度可以表示为

$$[0070] \quad g(X) = \nabla F(X) = \left(\frac{\partial F}{\partial x_0}, \frac{\partial F}{\partial y_0}, \frac{\partial F}{\partial r_x}, \frac{\partial F}{\partial r_y}, \frac{\partial F}{\partial c} \right)^T = (g_1, g_2, g_3, g_4, g_5)^T \quad (3)$$

[0071] Hesse 矩阵:

$$[0072] \quad H(X) = \nabla^2 F(X) = (h_{xy})_{4 \times 4}$$

[0073]

$$= \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial x_0^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_0 \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial y_0 \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_x \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial r_y \partial c} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial x_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial y_0} & \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial r_x} & \frac{\partial^2 F}{\partial c \partial r_y} & \frac{\partial^2 F}{\partial c^2} \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

[0074] 由于反正切函数中存在指数函数, 即 e^x 项, 用泰勒级数展开, 则 $e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + L$,

考虑到复杂度的影响, 算法只取前三项来近似指数函数。

[0075] 在理论上最速下降法对任意初始值都能收敛, 但如果初始值选取不当, 会导致收敛时间过长, 由于在实际应用中满足条件: $1 < x_0 < m, 1 < y_0 < n$, 因此 X 的初始值 X^0 可近似选为: $c = \overline{f_{xy}}$; x_0, y_0 取图像中心坐标 x_0^0, y_0^0 ; r_x 和 r_y 的初始值为

$$(r_x^0 = r_y^0 = \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m (f_{xy} - \overline{f_{xy}})^2) \quad r_x = r_r = \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m (f_{xy} - \overline{f_{xy}})^2$$

。根据选定的 X^0 及很小的正数 ε (如 $\varepsilon = 0.001$), 计算 $F^0 = F(X^0)$, $g^0 = g(X^0) = \nabla F(X^0)$, 令 $k = 0$, 将上述给定的初始值代入公式 (1)、(2) 进行迭代, 估计结果。

$$[0076] \quad \text{计算 } t_k = \frac{(g^k)^T g^k}{(g^k)^T H^k g^k}, \quad (1)$$

$$[0077] \quad X^{k+1} = X^k - t_k g(X^k); \quad (2)$$

$$[0078] \quad F^{k+1} = F(X^{k+1}); \quad F^k = F(X^k)$$

$$[0079] \quad g^{k+1} = g(X^{k+1}); \quad g^k = g(X^k)$$

$$[0080] \quad X^k = f^k(\overline{x}, \overline{y})$$

[0081] 如果 $|g| = \sqrt{g_1^2 + g_2^2 + g_3^2 + g_4^2 + g_5^2} < \varepsilon$, 则算法结束, 输出所有像素点经过迭代得到的灰度值; 否则, 令 $k = k+1$, 重新计算。

[0082] 根据最速下降法的线性变化收敛特性, 为避免结果产生“锯齿现象”, 对约束精度 ε 提出一定的要求, 根据实验结果显示, 当约束精度 ε 达到 0.1 时即可获得较好的参数估计效果, 进一步提高约束精度 ε 对结果影响不大。本发明中选择 $\varepsilon = 0.001$ 。

[0083] 对最大渐晕临界点以内原始图像进行纠正得到复原图像的装置还可以采用查表法, 逐行扫描法和函数逼近法等对原始图像进行纠正。

[0084] 使用图像灰度值二维拟合曲面纠正原始影像, 基本可以消除渐晕现象, 实现图像复原。

[0085] 图 5 是中心遮挡和直边挡板遮挡在成像图片上引起的渐晕现象, 均可以运用本发明进行渐晕处理。

[0086] 为验证本发明在实际工程中的有效性, 选用实验室自制的焦距为 180mm、像元尺寸为 $8.3 \mu\text{m} \times 8.3 \mu\text{m}$ 、单面阵 CCD 有效像素为 782×582 的双 CCD 反射镜拼接型相机拍摄的影像图, 利用本发明对其进行复原处理。从图 6 中可以看出, 反射镜拼接带来的渐晕现象非常明显, 拼接缝隙处的像元明显较暗, 其灰度变化情况如图 7 所示。

[0087] 由拟合到的反射镜拼接渐晕光能量分布图得到本实验所用的相机的最大临界点位置为 $0.56\text{mm}/8.3 \mu\text{m} \approx 67.5$, 实验取 $x_{\text{end}} = 70$ 。

[0088] X 的初始值 X^0 可近似选为: $c = \overline{f_{xy}}$; x_0, y_0 取图像中心;

$r_x = r_r = \sum_{y=1}^n \sum_{x=1}^m (f_{xy} - \overline{f_{xy}})^2$, 利用上述给定的初值进行迭代, 估计结果。得到的实验所用相机的二维拟合曲面任意一点灰度值为:

[0089] $f(\overline{x}, \overline{y}) = \tanh(0.297(x - 0.556) + 0.112(y - 0.098)) + 0.5$ (20)

[0090] 图像灰度值二维拟合曲面纠正后的影像灰度分布图如图 10 所示, 从图中可以看出, 影像灰度整体分布已近均匀, 渐晕现象基本消除。

[0091] 实验使用 GPU 通用计算技术, 实验测试平台的 GPU 为 GeForce8800GTS (显存 500M), CPU 是 P4 主频 3.0G, 内存为 1G。测试程序在 VC6.0SP6 环境下编译完成, 程序共开辟了 2048 个并行线程。在测试平台上对像素大小为 $2 \times 782 \times 582$ 实验影片进行处理, 程序运行时间为 16.75ms, 满足工程需求。

[0092] 本发明使用 Xinlinx XC3S1000FPGA 实现反射镜拼接渐晕消除。实验使用的双 CCD 相机工作频率为 29.5MHz, 跟踪动态目标时帧频达到 50f/s。使用本算法的实现反射镜拼接渐晕消除电路功耗为 46mW; 占用 FPGA 的可编程逻辑块为 396-CLB, 约占有效资源的 20%; 占用 2-Block RAM 的 FPGA 块存储器, 约占 FPGA 块存储器资源的 8%。本发明只需要少数几次迭代运算就可以得到良好的复原结果图像, 在最大迭代次数为 8 次, 像素更新平均增量为 0 时, 即达到最大迭代次数时, 才终止迭代计算, 本发明所用电路在 29.5MHz 工作频率下, 执行 8 次迭代, 能够以 26f/s 的帧频完成尺寸为 $2 \times 782 \times 582$ 的渐晕图像复原处理, 可见完全能够满足实时跟踪的要求。

[0093] 采用定标的方法进行渐晕处理的过程如下: 在暗室中使用积分球对 CCD 相机进行定标, 为了能够更加准确的拟合出所需要的定标图像, 需测得多幅不同照度下的成像图片,

在每个照度下用相机进行多次成像,实验中对 50 次成像结果求平均值,得到每个照度下同一点的 $I_{ref}(r)_{(i,j)}$ 和各个照度下 $I_{ref. average}$, 使用公式 $k(r) = \frac{I_{ref}(r)_{(i,j)}}{I_{ref. average}}$ 计算每一像素的

补偿因子,再使用 MATLAB 对不同照度下的补偿用最小二乘法进行多项式拟合,记拟合的曲线满足 $y = ax^2+bx+c$ 。将渐晕区域每个像素的曲线参数值 a, b, c 存入存储区中,对渐晕图像进行补偿时,将获得的渐晕图像中渐晕区域各点的数码值代入相应的补偿因子公式,计算原始图像数码值,消除渐晕。同样使用 Xinlinx XC3S1000FPGA 实现渐晕消除的电路,使用此方法的电路功耗为 74mW ;占用 FPGA 的可编程逻辑块为 412-CLB ;占用 16-Block RAM 的 FPGA 块存储器,约占 FPGA 块存储器资源的 66%,实验结果显示运行时间为 98.267ms,计算速度慢,占用大量存储空间,并且还需要大量的硬件测试设备。

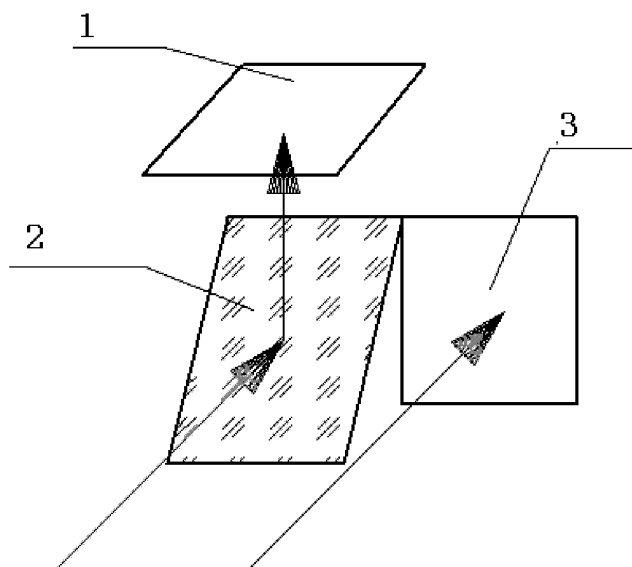


图 1

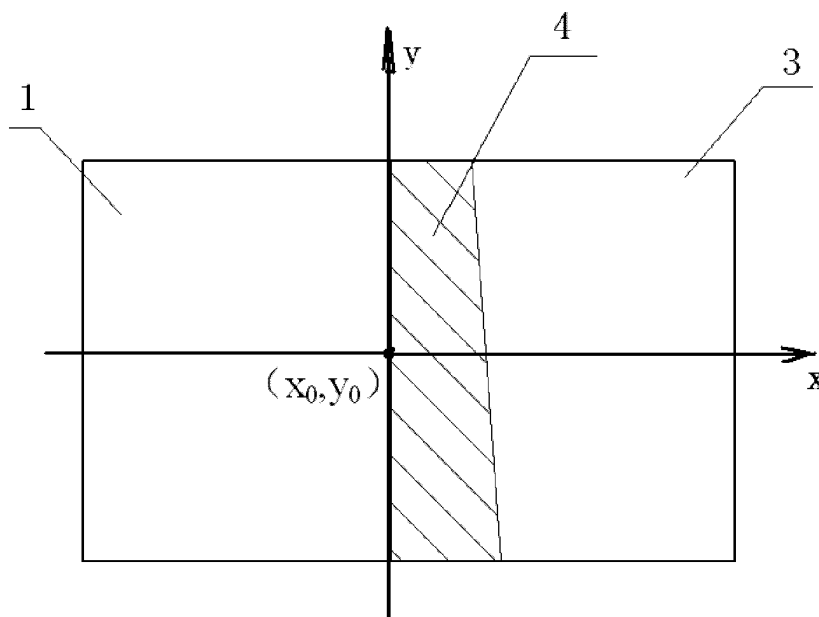


图 2

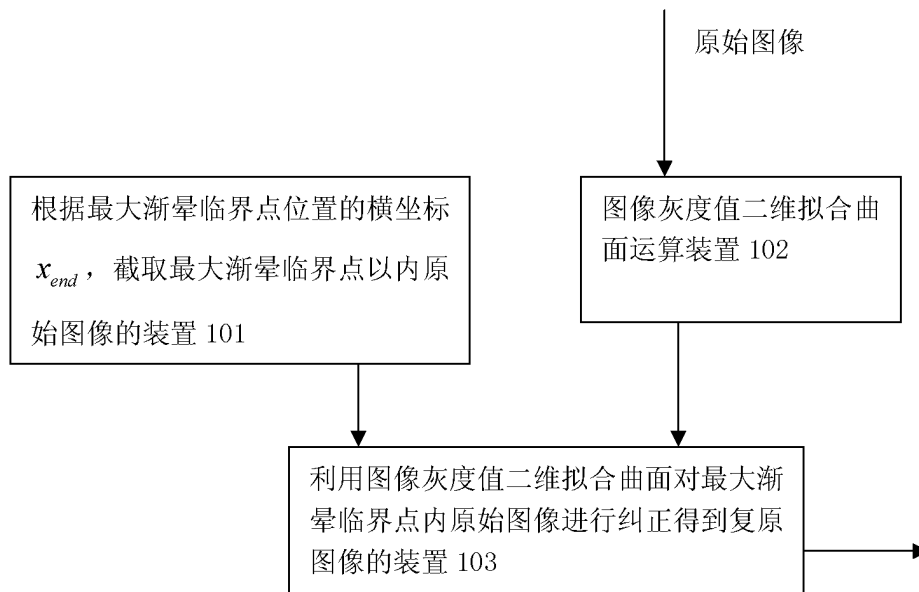


图 3

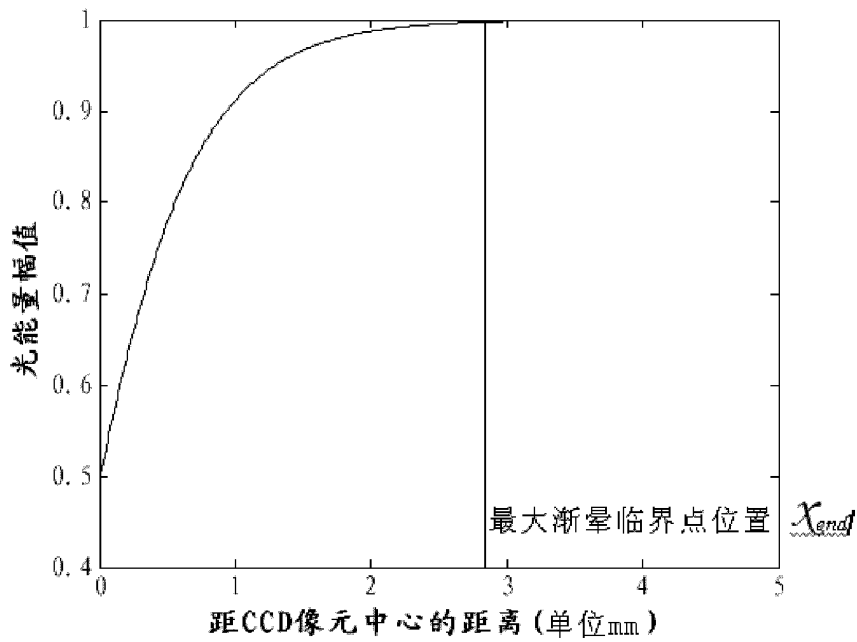


图 4

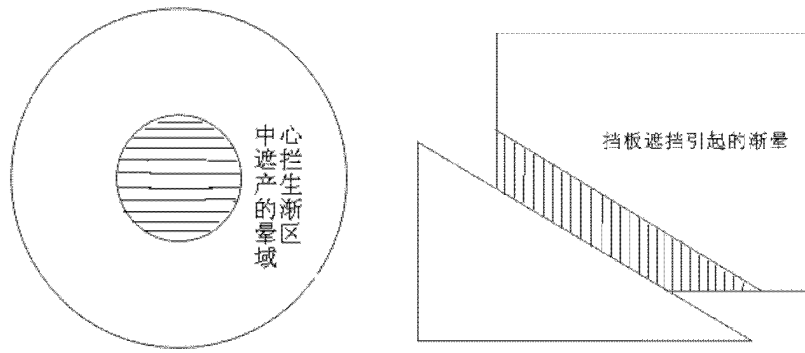


图 5

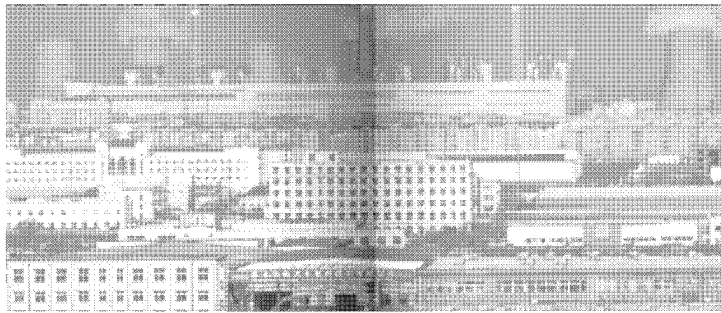


图 6

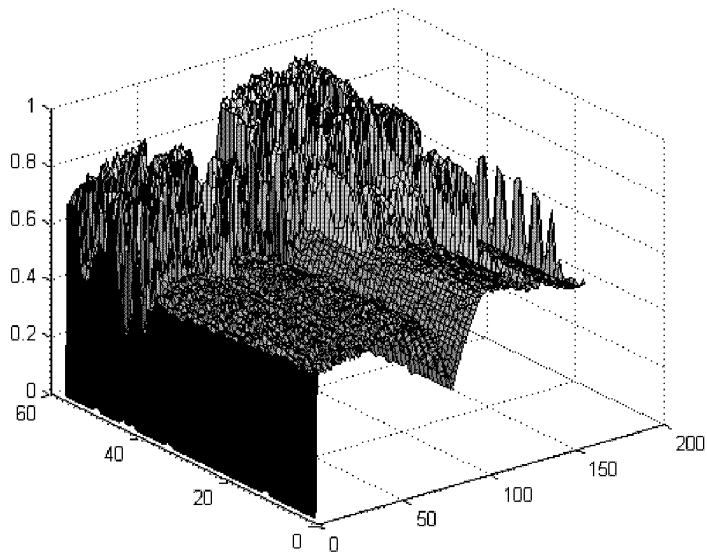


图 7

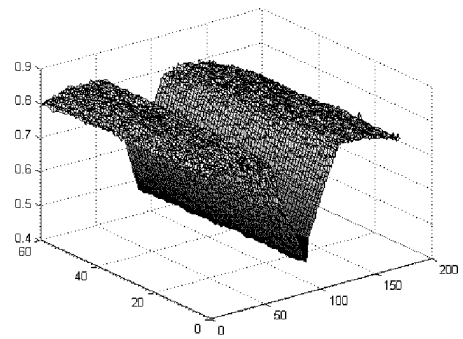


图 8

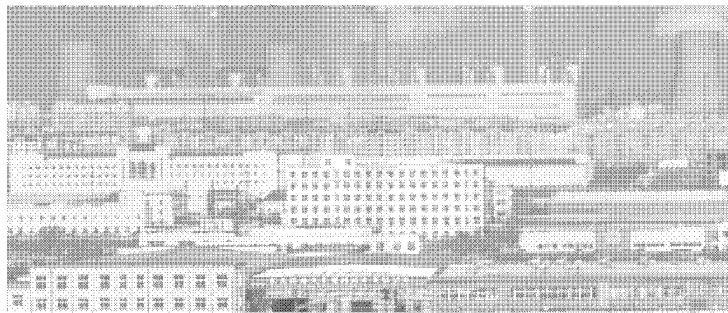


图 9

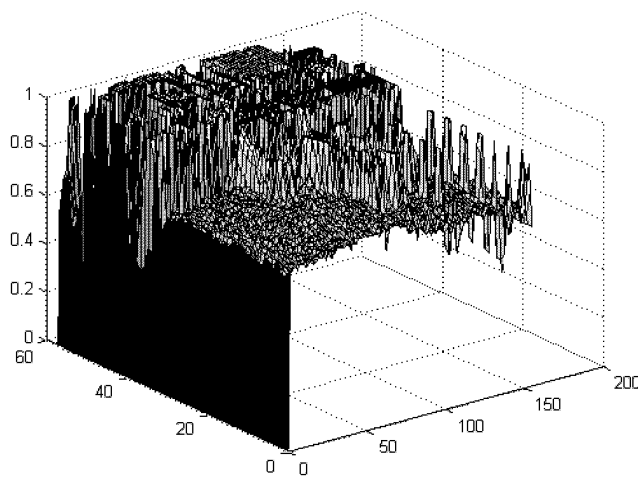


图 10