



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101232578 B

(45) 授权公告日 2010.06.23

(21) 申请号 200710301669.4

US 20020114081 A1, 2002.08.22, 全文.

(22) 申请日 2007.12.29

WO 2006090660 A1, 2006.08.31, 全文.

US 20020025482 A1, 2002.02.28, 全文.

(66) 本国优先权数据

200610171661.6 2006.12.31 CN

审查员 陈荣华

(73) 专利权人 北京泰邦天地科技有限公司

地址 101149 北京市通州区北苑 155 号主楼
422 室

(72) 发明人 贾伟

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 刘长威

(51) Int. Cl.

H04N 5/225 (2006.01)

G03B 41/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1263282 A, 2000.08.16, 全文.

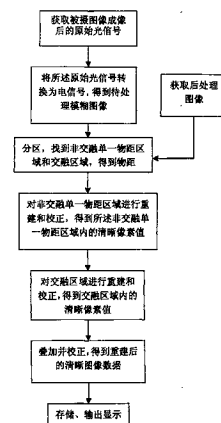
权利要求书 3 页 说明书 17 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种全焦距无像差图像摄取方法及系统

(57) 摘要

本发明涉及一种全焦距无像差图像摄取方法及系统,利用该方法和系统依据线性空变的条件和成像原理,通过摄像装置的镜头获取被摄图像的模糊图像数据后,通过图像分区按物距划分出单一物距的非交融单一物距区域,混合多个物距的交融区域,并对非交融单一物距区域、交融区域带进行全焦距无像差重建、校正,并叠加到一个平面,得到全视野的清晰数字图像,并可得到视野内各点的物距。通过本发明,应用实现全焦距无像差拍摄,使被拍摄的图像理论上的清晰程度达到和在光学系统聚焦平面图像的清晰程度完全一致的水平,整个图像提供全视野,全焦距的无像差清晰图像,获得最大的信息量。



1. 一种全焦距无像差图像摄取方法,其特征在于,包括步骤:

(a) 获取待处理的模糊图像,将所述模糊图像保存在数据存储装置中;

(b) 将所述模糊图像进行图像分区,得到非交融单一物距区域和交融区域及分别与所述非交融单一物距区域和交融区域对应的物距;

(c) 依据所述非交融单一物距区域的物距调用点分布函数或光学传递函数库中对应的点分布函数或光学传递函数,对所述非交融单一物距区域进行重建和校正,得到所述非交融单一物距区域重建分布的清晰像素值;

(d) 依据所述交融区域的物距调用所述点分布函数或光学传递函数库中对应的点分布函数或光学传递函数,对所述交融区域进行重建和校正,得到交融区域重建分布的清晰像素值;

(e) 将所述非交融单一物距区域和交融区域的清晰像素值进行叠加并校正,得到重建后的清晰图像数据;

(f) 将所述重建后的清晰图像数据进行存储并输出显示。

2. 如权利要求 1 所述的全焦距无像差图像摄取方法,其特征在于,所述数据存储装置中存储有符合光学特性的点分布函数或光学传递函数库,所述点分布函数或光学传递函数库存储与物距对应的点分布函数或光学传递函数,所述点分布函数或光学传递函数具有与物空间坐标一一对应的特征分布,所述物空间坐标包括物距,所述特征分布包括弥散半径。

3. 如权利要求 1 所述的全焦距无像差图像摄取方法,其特征在于,获取图像所用镜头或镜头组包括具有特定透过率分布介质的透镜或透镜组。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的全焦距无像差图像摄取方法,其特征在于,在步骤 (a) 中,获取待处理的模糊图像为现有图像,或为通过摄像装置的镜头或镜头组获取被摄场景的原始光信号在图像传感器上成像时将所述原始光信号转换为电信号,对所述电信号处理得到获取待处理的模糊图像。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的全焦距无像差图像摄取方法,其特征在于,在步骤 (c) 中,调用所述点分布函数或光学传递函数对所述非交融单一物距区域图像进行重建和校正方法为,利用非交融单一物距区域模糊图像的分布像素值在空域为来自某一物距平面的理想图像中的分布像素值与对应的点分布函数的卷积关系,在频域为来自某一物距平面的理想图像频谱与对应的光学传递函数的乘积关系,得到对应所述非交融单一物距区域中重建分布的清晰像素值。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的全焦距无像差图像摄取方法,其特征在于,在步骤 (d) 中,对所述交融区域进行重建和校正的方法为依据为,利用所述交融区域的模糊图像分布像素值在空域为对应不同物距平面的理想图像中的分布像素值与对应的点分布函数卷积后的叠加的关系,在频域为对应不同物距平面的理想图像频谱与对应的光学传递函数的乘积后的叠加的关系,得到所述交融区域中对应的重建分布的清晰像素值。

7. 如权利要求 4 所述的全焦距无像差图像摄取方法,其特征在于,在步骤 (b) 中,将所述模糊图像数据进行图像分区利用下述方法中的任一种或组合:

(b-1) 测距法:利用测距硬件辅助工具,对所述模糊图像数据视场内的光源的每一点或主要点进行测距,由所得物距确定所述非交融单一物距区域的边界从而推算出非交融单一物距区域及交融区域;

(b-2) 色差特性分区法 :利用同源异色传输存在位置差,通过所述模糊图像数据不同物距的不同颜色图像间的位置差来判别物距,由所述物距确定所述非交融单一物距区域和交融区域,其中所述位置差通过所述模糊图像数据不同色位置突变的边界差判定;

(b-3) 频谱过零点分区法 :将所述模糊图像数据转换到频域得到频谱,依据所述频谱的过零点间距得到点分布函数或光学传递函数的特征值,依据所述点分布函数或光学传递函数库求出与点分布函数或光学传递函数对应的物距,确定非交融单一物距区域和交融区域;

(b-4) 利用小波分析法确定所述模糊图像数据属于同一频谱特征的区域,确定所述非交融单一物距区域和交融区域;

(b-5) 拟和求解分区法 :对所述点分布函数或光学传递函数的特征量进行假设后进行图像重建,根据重建后再模糊图像的误差判断所述特征量的选择正确性并重新选择,直至找到满足系统要求的误差,判断得出正确的特征量及其对应的物距,确定所述非交融单一物距区域和交融区域;

(b-6) 人工分区法 :对所述模糊图像数据利用视觉进行划分区域,确定所述非交融单一物距区域和交融区域。

8. 如权利要求 4 所述的全焦距无像差图像摄取方法,其特征在于,在步骤 (c) 中,非交融单一物距区域图像重建的方法为下述任一种或其组合:

(c-1) 频域逆滤波图像重建方法及校正 :在频域通过逆滤波对非交融单一物距区域的图像进行重建和校正;

(c-2) 非线性图像重建法及校正 :在空域中应用非线性的迭代算法,对非交融单一物距区域的图像进行重建和校正;

(c-3) 反卷积法图像重建及校正 :在空域应用反卷积的算法对非交融单一物距区域和交融区域进行图像重建和校正;

(c-4) 拟合求解法重建及校正 :对点分布函数或光学传递函数的特征值进行假设后进行图像恢复求解,根据求解后的误差判断特征值的选择正确性并重新选择,直至找到满足系统要求的误差,判断得出正确的点分布函数或光学传递函数及其对应的物距,并完成图像重建和校正;

(c-5) 用小波分析的方法进行图像重建和校正 :通过对模糊图像的各频段小波分析,结合点分布函数或光学传递函数库分频段对图像进行处理,结合能量守恒的关系,搬移频谱各段的能量,得到重建的图像;

(c-6) 递推迭代法进行图像重建及校正 :根据边缘数据或者已求出的数据,通过模糊图像和清晰图像的映射数学关系,用迭代递推的方式求解出相邻的像素值,得到重建的图像;

(c-7) 对于后处理图像的人工参与重建及校正 :对于后处理图像,对分区后的模糊图像进行弥散特征值判断,根据 (c-4) 的方法进行图像非交融单一物距区域的重建,并根据经验参数对该区域的图像进行校正;

在步骤 (d) 中交融区域图像重建及校正的方法为下述任一种或其组合:

(d-1) 边缘递推法重建交融区域图像重建及校正 :根据分区求出的来自周边非交融单一物距区域的各个传递函数和重建的图像数据,通过交融区域模糊图像和清晰图像的空域

卷积和频域乘积的数学关系,用迭代递推的方式求解出相邻的像素值,得到交融区域的重建后的清晰图像数据;

(d-2) 小波分析复原法重建及校正:通过对模糊图像的各频段小波分析,结合点分布函数或光学传递函数库分频段对图像进行处理,结合能量守恒的关系,搬移频谱各段的能量,得到交融区域重建后的清晰图像数据;

(d-3) 对于后处理图像的人工参与重建及校正:对于后处理图像,对分区后数字化的模糊图像进行弥散特征值判断,根据(c-4)的方法进行图像交融区域的重建,并根据经验参数对图像交融区域的图像进行校正。

9. 如权利要求2所述的全焦距无像差图像摄取方法,其特征在于,所述点分布函数或光学传递函数库的建立方法包括步骤:

(f-1) 设计光源模型,对于摄像装置内系统的不同颜色、不同物空间坐标或典型坐标,及不同光强度下的光源模型的点分布函数或光学传递函数特性进行测量,得到测量数据;

(f-2) 用设计的数据或测量的数据进行图像重建和校正,用重建和校正后的图像与由光源模型的图像数据值进行比较,用误差的反算值修正设计光源模型的点分布函数或光学传递函数,得到符合系统误差的物空间不同点的不同颜色对应的点分布函数或光学传递函数,得到所述点分布函数或光学传递函数库。

10. 一种全焦距无像差图像摄取系统,其特征在于,包括:

图像获取模块,用于获取待处理的模糊图像数据;

图像处理模块,包括模糊图像分区子模块、非交融单一物距区域图像重建及校正子模块、交融区域图像重建及校正子模块和图像融合及校正子模块;

所述模糊图像分区子模块,用于将所述模糊图像数据进行图像分区,得到非交融单一物距区域和交融区域及与所述非交融单一物距区域和交融区域分别对应的物距;

所述非交融单一物距区域图像重建及校正子模块,用于依据所述非交融单一物距区域的物距调用所述点分布函数或光学传递函数库中对应的点分布函数或光学传递函数,利用所述点分布函数或光学传递函数对所述非交融单一物距区域进行重建和校正,得到所述非交融单一物距区域内的清晰像素值;

所述交融区域图像重建及校正子模块,用于依据交融区域的物距调用所述点分布函数或光学传递函数库中对应的点分布函数或光学传递函数,利用所述点分布函数或光学传递函数对所述交融区域进行重建和校正,得到交融区域内的清晰像素值;

图像融合及校正子模块,用于将重建和校正后的所述非交融单一物距区域和交融区域进行融合并校正,得到重建后的整幅的清晰图像数据,

图像存储、显示输出模块,用于将所述重建后的清晰图像数据存储、输出显示。

一种全焦距无像差图像摄取方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及通过聚焦特性而实现影像摄取技术领域（如光学，红外成像等），尤其涉及一种实现全焦距无像差图像摄取方法及系统。

背景技术

[0002] 在现代社会的各个方面，非相干光照相都有着广泛的应用。图像（照片，录像等）作为一种重要的现代信息载体是这个时代最重要的社会要素之一，其基本功能就是以图像的形式记录信息。传统的相机由于其原理的限制，使得光学成像在景深范围内是清晰的，而对景深之外的图像信息就失真降质了。图像的清晰度就意味着图像承载的信息量的多少，具有足够信息量的图像，也就是清晰精确的图像一直是各个领域的影像专业追求的目标。

[0003] 在很多和光学有相似成像原理的领域，如红外成像等，也有类似的由于“透镜”的特性而无法全焦距聚焦的问题。

[0004] 图 1 所示为光学成像原理示意图，由图 1 可见，来自某一个平行于镜头 1 平面的，透过聚焦照相镜头的光线总能够聚焦在镜头后的共轭平面 4 内。如果共轭平面和成像平面 3 重合，则图像会非常清晰，否则（成像于聚焦平面之前或之后）图像会模糊，一个点的物象会形成一个光斑 2，整个平面内的图像就是一幅模糊的图像。

[0005] 以上的失焦模糊和像差就是光学照相发展到今天一直都无法解决的问题。

发明内容

[0006] 为了解决失焦图像模糊和消除像差的问题，利用本发明提供一种全焦距无像差图像摄取系统及方法，使照相视野内的所有图像都能像在焦平面内的图像一样的清晰。

[0007] 为实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

[0008] 一种全焦距无像差图像摄取方法，包括步骤：

[0009] (a) 获取待处理的模糊图像，将所述模糊图像保存在数据存储装置中；

[0010] (b) 将所述模糊图像进行图像分区，得到非交融单一物距区域和交融区域及分别与所述非交融单一物距区域和交融区域对应的物距；

[0011] (c) 依据所述非交融单一物距区域的物距调用点分布函数或光学传递函数库中对应的点分布函数或光学传递函数，对所述非交融单一物距区域进行重建和校正，得到所述非交融单一物距区域重建分布的清晰像素值；

[0012] (d) 依据所述交融区域的物距调用所述点分布函数或光学传递函数库中对应的点分布函数或光学传递函数，对所述交融区域进行重建和校正，得到交融区域重建分布的清晰像素值；

[0013] (e) 将所述非交融单一物距区域和交融区域的清晰像素值进行叠加并校正，得到重建后的清晰图像数据；

[0014] (f) 将所述重建后的清晰图像数据进行存储并输出显示。

[0015] 其中，所述数据存储装置中存储有符合光学特性的点分布函数或光学传递函数

库,所述点分布函数或光学传递函数库存储与物距对应的点分布函数或光学传递函数,所述点分布函数或光学传递函数具有与物空间坐标一一对应的特征分布,所述物空间坐标包括物距,所述特征分布包括弥散半径。

[0016] 其中,获取图像所用镜头或镜头组包括具有特定透过率分布介质的透镜或透镜组。

[0017] 其中,在步骤(a)中,获取待处理的模糊图像为通过摄像装置的镜头或镜头组获取被摄场景的原始光信号在图像传感器上成像时将所述原始光信号转换为电信号,对所述电信号处理得到获取待处理的模糊图像。

[0018] 其中,在步骤(c)中,调用所述点分布函数或光学传递函数对所述非交融单一物距区域图像进行重建和校正方法为,利用所述非交融单一物距区域模糊图像的分布像素值在空域为来自某一物距平面的理想图像中的分布像素值与对应的点分布函数的卷积关系,在频域为来自某一物距平面的理想图像频谱与对应的光学传递函数的乘积关系,得到对应所述非交融单一物距区域中重建分布的清晰像素值。

[0019] 其中,在步骤(d)中,对所述交融区域进行重建和校正的方法为依据为,利用所述交融区域的模糊图像分布像素值在空域为对应不同物距平面的理想图像中的分布像素值与对应的点分布函数卷积后的叠加的关系,在频域为对应不同物距平面的理想图像频谱与对应的光学传递函数的乘积后的叠加的关系,得到所述交融区域中对应的重建分布的清晰像素值。

[0020] 其中,在步骤(b)中,将所述模糊图像数据进行图像分区利用下述方法中的一种或组合:

[0021] (b-1) 测距法:利用测距硬件辅助工具,对所述模糊图像数据视场内的光源的每一点或主要点进行测距,由所得物距确定所述非交融单一物距区域的边界从而推算出非交融单一物距区域及交融区域;

[0022] (b-2) 色差特性分区法:利用同源异色传输存在位置差,通过所述模糊图像数据不同物距的不同颜色图像间的位置差来判别物距,由所述物距确定所述非交融单一物距区域和交融区域,其中所述位置差通过所述模糊图像数据不同色位置突变的边界差判定;

[0023] (b-3) 频谱过零点分区法:将所述模糊图像数据转换到频域得到频谱,依据所述频谱的过零点间距得到点分布函数或光学传递函数的特征值,依据所述点分布函数或光学传递函数库求出与点分布函数或光学传递函数对应的物距,确定非交融单一物距区域和交融区域;

[0024] (b-4) 利用小波分析法确定所述模糊图像数据属于同一频谱特征的区域,确定所述非交融单一物距区域和交融区域;

[0025] (b-5) 拟和求解分区法:对所述点分布函数或光学传递函数的特征量进行假设后进行图像重建,根据重建后再模糊图像的误差进行判断所述特征量的选择正确性并重新选择,直至找到满足系统要求的误差,判断得出正确的特征量及其对应的物距,确定所述非交融单一物距区域和交融区域;

[0026] (b-6) 人工分区法:对所述模糊图像数据利用视觉进行划分区域,确定所述非交融单一物距区域和交融区域。

[0027] 其中,在步骤(c)中,非交融单一物距区域图像重建的方法为下述任一种或其组

合：

[0028] (c-1) 频域逆滤波图像重建方法及校正：在频域通过逆滤波对非交融单一物距区域的图像进行重建和校正；

[0029] (c-2) 非线性图像重建法及校正：在空域中应用非线性的迭代算法，对非交融单一物距区域的图像进行重建和校正；

[0030] (c-3) 反卷积法图像重建及校正：在空域应用反卷积的算法对非交融单一物距区域和交融区域进行图像重建和校正；

[0031] (c-4) 拟合求解法重建及校正：对点分布函数或光学传递函数的特征值进行假设后进行图像恢复求解，根据求解后的误差判断特征值的选择正确性并重新选择，直至找到满足系统要求的误差，判断得出正确的点分布函数或光学传递函数及其对应的物距，并完成图像重建和校正；

[0032] (c-5) 用小波分析的方法进行图像重建和校正：通过对模糊图像的各频段小波分析，结合点分布函数或光学传递函数库分频段对图像进行处理，结合能量守恒的关系，搬移频谱各段的能量，得到重建的图像；

[0033] (c-6) 递推迭代法进行图像重建及校正：根据边缘数据或者已求出的数据，通过模糊图像和清晰图像的映射数学关系，用迭代递推的方式求解出相邻的像素值，得到重建的图像；

[0034] (c-7) 对于后处理图像的人工参与重建及校正：对于后处理图像，对分区后的模糊图像进行弥散特征值判断，根据 (c-4) 的方法进行图像非交融单一物距区域的重建，并根据经验参数对非交融单一物距区域的图像进行校正。

[0035] 其中，在步骤 (d) 中交融区域图像重建及校正的方法为下述任一种或其组合：

[0036] (d-1) 边缘递推法重建交融区域图像重建及校正：根据分区求出的来自周边非交融单一物距区域的各个传递函数和重建的图像数据，通过交融区域模糊图像和清晰图像的空域卷积和频域乘积的数学关系，用迭代递推的方式求解出相邻的像素值，得到交融区域的重建后的清晰图像数据。

[0037] (d-2) 小波分析复原法重建及校正：通过对模糊图像的各频段小波分析，结合点分布函数或光学传递函数库分频段对图像进行处理，结合能量守恒的关系，搬移频谱各段的能量，得到交融区域重建后的清晰图像数据；

[0038] (d-3) 对于后处理图像的人工参与重建及校正：对于后处理图像，对分区后数字化的模糊图像进行弥散特征值判断，根据 (c-4) 的方法进行图像交融区域的重建，并根据经验参数对图像交融区域的图像进行校正。

[0039] 其中，所述点分布函数或光学传递函数库的建立方法包括步骤：

[0040] (f-1) 设计光源模型，对于摄像装置内系统的不同颜色、不同物空间坐标或典型坐标，及不同光强度下的光源模型的点分布函数或光学传递函数特性进行测量，得到测量数据；

[0041] (f-2) 用设计的数据或测量的数据进行图像重建和校正，用重建和校正后的图像与由光源模型的图像数据值进行比较，用该误差的反算值修正设计光源模型的点分布函数或光学传递函数，得到符合系统误差的物空间不同点的不同颜色对应的点分布函数或光学传递函数，得到所述点分布函数或光学传递函数库。

- [0042] 一种全焦距无像差图像摄取系统,包括:
- [0043] 图像获取模块,用于获取待处理的模糊图像数据;
- [0044] 图像处理模块,包括模糊图像分区子模块、非交融单一物距区域图像重建及校正子模块、交融区域图像重建及校正子模块和图像融合及校正子模块;
- [0045] 所述模糊图像分区子模块,用于将所述模糊图像数据进行图像分区,得到非交融单一物距区域和交融区域,及与所述非交融单一物距区域和交融区域分别对应的物距;
- [0046] 所述非交融单一物距区域图像重建及校正子模块,用于依据所述非交融单一物距区域的物距调用所述点分布函数或光学传递函数库中对应的点分布函数或光学传递函数,利用所述点分布函数或光学传递函数对所述非交融单一物距区域进行重建和校正,得到所述非交融单一物距区域内的清晰像素值;
- [0047] 所述交融区域图像重建及校正子模块,用于依据交融区域的物距调用所述点分布函数或光学传递函数库中对应的点分布函数或光学传递函数,利用所述点分布函数或光学传递函数对所述交融区域进行重建和校正,得到交融区域内的清晰像素值;
- [0048] 图像融合及校正子模块,用于将重建和校正后的所述非交融单一物距区域和交融区域进行融合并校正,得到重建后的整幅的清晰图像数据,
- [0049] 图像存储、显示输出模块,用于将所述重建后的清晰图像数据存储、输出显示。
- [0050] 通过本发明,应用现有技术完全有可能对实现全焦距无像差拍摄,使得被拍摄的在整个视野内的影像具有完全清晰的图像,极大地改善各个物距(景深)的光源的成像,整个图像提供全视野,全焦距无像差的清晰图像,获得最大的信息量。

附图说明

- [0051] 图 1 为光学成像原理示意图;
- [0052] 图 2 为光学系统成像有像差示意图;
- [0053] 图 3 为光学系统理想成像无像差示意图;
- [0054] 图 4 为光学系统在远距模式成像示意图;
- [0055] 图 5 为本发明的全焦距无像差图像重建原理图;
- [0056] 图 6 为本发明的方法流程示意图。
- [0057] 图中:1、镜头;2、光斑;3、成像面;4、共轭平面;5、A 点理想成像;6、B 点理想成像;7、理想成像面;8、A 点的无像差聚焦成像;9、B 点的有像差不聚焦成像;10、光源;11、有像差的光斑; u 、物距; v 、像距; f 、焦距; S 、透镜和感光面的距离。

具体实施方式

- [0058] 以下实施例用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。
- [0059] 1. 本发明实现全焦距无像差的原理
- [0060] 任何物距都可以成像于其共轭平面,其特点是完全聚焦。共轭平面的图像和其投影平面(感光平面)的图像有着一对一的对应关系,理论上说这种对应关系是互逆的因果关系,因此就可以根据感光平面的模糊的影像数据求出共轭平面的清晰的虚拟影像,进一步可以将共轭平面的虚拟聚焦清晰影像数据进行理论上的延光心(消像差)投射线的方向再次映射到感光平面内,推导出感光平面内的聚焦清晰的映射的影像。

[0061] 从数学关系上看,光学图像摄取系统是线性空变系统,其点分布函数 / 点分布函数或光学传递函数 PSF/OTF 是随光源的位置 (物距,离轴的坐标及光的颜色)变化的。这种变化是有规律的。这个线性空变系统的数学描述有连续表达方式和离散表达方式和。下面给出其详细描述。

[0062] 1.1 线性空变系统数学描述的连续表达方式

[0063] 来自同一 (系统误差可接受的接近的)物距的光源的成像区域内看成是单一物距区域,其共同边缘是交融区域,其内部是非交融单一物距区域。在非交融单一物距区域内,每个颜色的 PSF/OTF 是在精度范围内不变的或近似不变的,符合线性空不变的原则;在交融区域,在每个颜色共存两个或多个 PSF/OTF 同时作用于该区域,在这些 PSF/OTF 固定的前提下 (即边界两边的区域对应的物距不变的前提下),符合线性空不变的原则,但作用 PSF/OTF 是超过一个的、固定 (跟随邻域 PSF) 的、叠加的。在单物距平面内,PSF/OTF 随空域坐标的渐变如果不能忽略,则在该平面内也是线性空变系统,但为有规律的空变,即 PSF/OTF 变化是有规律的,PSF/OTF 的特征量是单特征的。

[0064] 线性空变系统中,在交融区域的模糊图像与理想图像具有连续表达方式:

$$[0065] \quad u(x, y) - n(x, y) = v_a(x, y) * h_a(x, y; x_0, y_0)$$

$$[0066] \quad + v_b(x, y) * h_b(x, y; x_0, y_0) + v_c(x, y) * h_c(x, y; x_0, y_0) + \dots$$

[0067] 其中, $u(x, y)$ 为通过透镜得到的原始模糊图像中某点的像素值,该点的横坐标为 x 、纵坐标为 y ,以下通称 $u(x, y)$ 为模糊图像; $n(x, y)$ 为作用于原始模糊图像中某点的加性噪声值,该点的横坐标为 x 、纵坐标为 y ,以下通称 $n(x, y)$ 为加性噪声; $v_a(x, y)$ 为来自物距为 a 的平面的理想图像中某点的像素值,该点的横坐标为 x 、纵坐标为 y ; 同样, $v_b(x, y)$ 为来自物距为 b 的平面的理想图像中某点的像素值,该点的横坐标为 x 、纵坐标为 y ; $v_c(x, y)$ 为来自物距为 c 的平面的理想图像中某点的像素值,该点的横坐标为 x 、纵坐标为 y 。以下分别通称 $v_a(x, y)$ 、 $v_b(x, y)$ 、 $v_c(x, y)$ 为来自物距为 a 、 b 、 c 的理想图像。

[0068] 其中,分别来自物距为 a 、 b 、 c 的理想图像 $v_a(x, y)$ 、 $v_b(x, y)$ 、 $v_c(x, y)$ 对应的点分布函数为 $h_a(x, y; x_0, y_0)$ 、 $h_b(x, y; x_0, y_0)$ 、 $h_c(x, y; x_0, y_0)$,理想图像中的像素值与对应于该理想图像的点分布函数进行卷积运算得到输出的模糊图像。

[0069] 在该线性空变系统的模糊降质模型中,对于在非交融单一物距区域模糊图像与理想图像具有连续表达方式:

$$[0070] \quad u(x, y) - n(x, y) = v_a(x, y) * h_a(x, y; x_0, y_0)$$

[0071] 与交融区域表达式中的含义相同, $u(x, y)$ 为通过透镜得到的原始模糊图像中某点的像素值,该点的横坐标为 x 、纵坐标为 y ; $n(x, y)$ 为作用于原始模糊图像中某点的加性噪声值,该点的横坐标为 x 、纵坐标为 y ; $v_a(x, y)$ 为来自物距为 a 的平面的理想图像中某点的像素值,该点的横坐标为 x 、纵坐标为 y ; $h_a(x, y; x_0, y_0)$ 来自物距为 a 的平面的理想图像对应的点分布函数。

[0072] 1.2 线性空变系统数学描述的离散表达方式

[0073] 通过共轭平面的使用,C2B (清晰到模糊)锥形映射、B2C (模糊到清晰)锥形逆映射方法的使用建立了失焦模糊 (blurred) 图像和其对应的精确清晰 (clear) 图像的对应关系 (B2C 方程):

[0074]

$$Z'_{i,j} = \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} K_{\alpha} \frac{i,j}{p,q} * X_{\alpha p,q} + \sum_{p=i-b}^{i+b} \sum_{q=j-b}^{j+b} K_{\beta} \frac{i,j}{p,q} * X_{\beta p,q} + \sum_{p=i-c}^{i+c} \sum_{q=j-c}^{j+c} K_{\gamma} \frac{i,j}{p,q} * X_{\gamma p,q} + \dots$$

[0075] 该方程表示模糊图像及其对应的精确清晰图像的对应关系,其中 $Z'_{i,j}$ 为模糊图像矩阵的一个元素点 (i, j) 的像素值, $X_{\alpha p,q}, X_{\beta p,q}, X_{\gamma p,q}, \dots$ 分别为来自不同物距平面的、被处理后的、映射到成像平面的清晰图像矩阵中的能映射到 (i, j) 点的一点 (p, q) 的像素值, $K_{\alpha} \frac{i,j}{p,q}, K_{\beta} \frac{i,j}{p,q}, K_{\gamma} \frac{i,j}{p,q}, \dots$ 分别为 $X_{\alpha p,q}, X_{\beta p,q}, X_{\gamma p,q}, \dots$ 映射到模糊平面的 (i, j) 点的映射系数, a, b, c, ... 为来自不同物距平面的不同非交融单一物距平面的弥散半径;

[0076] 在对离散的图像数据进行分析时,视野内的影像透过镜头在成像平面内的投影的影像矩阵为 Z' , 该影像包括清晰聚焦的影像 (焦点附近) 和模糊聚焦的影像 (失焦)。

$$[0077] \quad Z' = \begin{bmatrix} Z'(-n-h), (-m-h), \dots, Z'(-n-h), 0, \dots, Z'(-n-h), (m+h) \\ \dots \\ Z'0, (-n-h), \dots, Z'0, 0, \dots, Z'0, (m+h) \\ \dots \\ Z'(n+h), (-m-h), \dots, Z'(n+h), 0, \dots, Z'(n+h), (m+h) \end{bmatrix}$$

[0078] 其中 $(2n+2h+1), (2m+2h+1)$ 分别为数码影像传感到的纵横点数, h 为正整数, 为图像 Z' 的最大的弥散半径, $2m+1, 2n+1$ 为要求的清晰矩阵的纵横像素点数。

[0079] 然后定义视野内具有不同的物距的物体透过同一镜头在成像平面内的投影分别为矩阵 $X_{\alpha}', X_{\beta}', X_{\gamma}' \dots$ 。则 Z' 矩阵就是 $X_{\alpha}', X_{\beta}', X_{\gamma}' \dots$ 的线性叠加。

$$[0080] \quad X_{\alpha}' = \begin{bmatrix} X_{\alpha}'(-n-a), (-m-a), \dots, X_{\alpha}'(-n-a), 0, \dots, X_{\alpha}'(-n-a), (m+a) \\ \dots \\ X_{\alpha}'0, (-m-a), \dots, X_{\alpha}'0, 0, \dots, X_{\alpha}'0, (m+a) \\ \dots \\ X_{\alpha}'(n+a), (-m-a), \dots, X_{\alpha}'(n+a), 0, \dots, X_{\alpha}'(n+a), (m+a) \end{bmatrix}$$

$$[0081] \quad X_{\beta}' = \begin{bmatrix} X_{\beta}'(-n-b), (-m-b), \dots, X_{\beta}'(-n-b), 0, \dots, X_{\beta}'(-n-b), (m+b) \\ \dots \\ X_{\beta}'0, (-m-b), \dots, X_{\beta}'0, 0, \dots, X_{\beta}'0, (m+b) \\ \dots \\ X_{\beta}'(n+b), (-m-b), \dots, X_{\beta}'(n+b), 0, \dots, X_{\beta}'(n+b), (m+b) \end{bmatrix}$$

$$[0082] \quad X_{\gamma}' = \begin{bmatrix} X_{\gamma}'(-n-c), (-m-c), \dots, X_{\gamma}'(-n-c), 0, \dots, X_{\gamma}'(-n-c), (m+c) \\ \dots \\ X_{\gamma}'0, (-m-c), \dots, X_{\gamma}'0, 0, \dots, X_{\gamma}'0, (m+c) \\ \dots \\ X_{\gamma}'(n+c), (-m-c), \dots, X_{\gamma}'(n+c), 0, \dots, X_{\gamma}'(n+c), (m+c) \end{bmatrix}$$

[0083] 并且 $Z' = X_{\alpha}' + X_{\beta}' + X_{\gamma}' + \dots$

[0084] 其中 Z' , X_{α}' , X_{β}' , $X_{\gamma}' \dots$ 的所有元素都为正实数 (像素值), $(2n+2h+1)$, $(2m+2h+1)$ 分别为数码相机影像传感到纵横像素点数, h 为 $a, b, c \dots$ 的最大值, 正整数 $a, b, c \dots$ 分别为 X_{α}' , X_{β}' , $X_{\gamma}' \dots$ 的弥散半径。

[0085] 接着定义视野内具有不同的物距的物体透过同一镜头在其各自的共轭平面内的清晰成像的矩阵分别为 $X_{\alpha}^c, X_{\beta}^c, X_{\gamma}^c \dots$ 。定义透过光心 O 、映射矩阵 $X_{\alpha}^c, X_{\beta}^c, X_{\gamma}^c \dots$ 到感光平面的映射矩阵分别为 $X_{\alpha}, X_{\beta}, X_{\gamma} \dots$, 其线性叠加的和为 Z 。即

$$[0086] \quad Z = X_{\alpha} + X_{\beta} + X_{\gamma} + \dots$$

[0087] 具体表示为

$$[0088] \quad Z = \begin{bmatrix} Z(-n), (-m), \dots, Z(-n), 0, \dots, Z(-n), m \\ \dots \\ Z0, (-m), \dots, Z0, 0, \dots, Z0, m \\ \dots \\ Zn, (-m), \dots, Zn, 0, \dots, Zn, m \end{bmatrix}$$

$$[0089] \quad X_{\alpha} = \begin{bmatrix} X_{\alpha}^{(-n)}, (-m), \dots, X_{\alpha}^{(-n)}, 0, \dots, X_{\alpha}^{(-n)}, m \\ \dots \\ X_{\alpha}^0, (-m), \dots, X_{\alpha}^0, 0, \dots, X_{\alpha}^0, m \\ \dots \\ X_{\alpha}^n, (-m), \dots, X_{\alpha}^n, 0, \dots, X_{\alpha}^n, m \end{bmatrix}$$

$$[0090] \quad X_{\beta} = \begin{bmatrix} X_{\beta}^{(-n)}, (-m), \dots, X_{\beta}^{(-n)}, 0, \dots, X_{\beta}^{(-n)}, m \\ \dots \\ X_{\beta}^0, (-m), \dots, X_{\beta}^0, 0, \dots, X_{\beta}^0, m \\ \dots \\ X_{\beta}^n, (-m), \dots, X_{\beta}^n, 0, \dots, X_{\beta}^n, m \end{bmatrix}$$

$$[0091] \quad X_\gamma = \begin{bmatrix} X_{\gamma(-n),(-m),\dots}, X_{\gamma(-n),0,\dots}, X_{\gamma(-n),m} \\ \dots \\ X_{\gamma 0,(-m),\dots}, X_{\gamma 0,0,\dots}, X_{\gamma 0,m} \\ \dots \\ X_{\gamma n,(-m),\dots}, X_{\gamma n,0,\dots}, X_{\gamma n,m} \end{bmatrix}$$

[0092] 并且 $Z = X_\alpha + X_\beta + X_\gamma + \dots$

[0093] 将任何矩阵都在物理上定义为一个平面。所以以上提到各个矩阵分别为 Z' , Z , X_α' , X_β' , X_γ' ... X_α^c , X_β^c , X_γ^c ... X_α , X_β , X_γ ... 平面, 后面还有 $X_\alpha''_{i,j}$, $X_\beta''_{i,j}$, $X_\gamma''_{i,j}$... 平面。本文中每个平面或矩阵的坐标都是统一的 $(0,0)$ 。

[0094] 1.2.1 线性空变系统中图像清晰点到其光斑的映射关系 --- (C2B 锥形映射)

[0095] 定义 $X_\alpha, X_\beta, X_\gamma$... 中任一元素 $X_{\alpha i,j}, X_{\beta i,j}, X_{\gamma i,j}$... (i 的范围是 $[-n, n]$, j 的范围是 $[-m, m]$) 映射回 $X_\alpha^c, X_\beta^c, X_\gamma^c$... 平面然后再映射到 Z' 成像平面, 则散发为一个光斑, 该光斑矩阵定义为 $X_\alpha''_{i,j}, X_\beta''_{i,j}, X_\gamma''_{i,j}$... ,

[0096] 其中任一元素 $X_\alpha'' \frac{p,q}{i,j}, X_\beta'' \frac{p,q}{i,j}, X_\gamma'' \frac{p,q}{i,j}, \dots$ 表示点 $X_{\alpha i,j}, X_{\beta i,j}, X_{\gamma i,j}$... 在 $X''_\alpha, X''_\beta, X''_\gamma, \dots$ 平面上 p, q 点的投影 (p, q 分别为投影点, 投影为光斑, 如果透镜的物理性质理想, 投影光斑为圆 (但实际的情况不一定是标准圆), 这里定义其在正方矩阵, 光斑外正方范围内的点的值定义为零。

[0097] 该矩阵表示为

[0098]

$$X_\alpha''_{i,j} = \begin{bmatrix} X_\alpha'' \frac{(i-a),(j-a)}{i,j}, \dots, X_\alpha'' \frac{(i-a),j}{i,j}, \dots, X_\alpha'' \frac{(i-a),(j+a)}{i,j} \\ \dots \\ X_\alpha'' \frac{i,j-a}{i,j}, \dots, X_\alpha'' \frac{i,j}{i,j}, \dots, X_\alpha'' \frac{i,j+a}{i,j} \\ \dots \\ X_\alpha'' \frac{(i+a),(j-a)}{i,j}, \dots, X_\alpha'' \frac{(i+a),j}{i,j}, \dots, X_\alpha'' \frac{(i+a),(j+a)}{i,j} \end{bmatrix}$$

[0099]

$$X_{\beta}''_{i,j} = \begin{bmatrix} X_{\beta}'' \frac{(i-b),(j-b)}{i,j}, \cdots, X_{\beta}'' \frac{(i-b),j}{i,j}, \cdots, X_{\beta}'' \frac{(i-b),(j+b)}{i,j} \\ \cdots \\ X_{\beta}'' \frac{i,(j-b)}{i,j}, \cdots, X_{\beta}'' \frac{i,j}{i,j}, \cdots, X_{\beta}'' \frac{i,(j+b)}{i,j} \\ \cdots \\ X_{\beta}'' \frac{(i+b),(j-b)}{i,j}, \cdots, X_{\beta}'' \frac{(i+b),j}{i,j}, \cdots, X_{\beta}'' \frac{(i+b),(j+b)}{i,j} \end{bmatrix}$$

[0100]

$$X_{\gamma}''_{i,j} = \begin{bmatrix} X_{\gamma}'' \frac{(i-c),(j-c)}{i,j}, \cdots, X_{\gamma}'' \frac{(i-c),j}{i,j}, \cdots, X_{\gamma}'' \frac{(i-c),(j+c)}{i,j} \\ \cdots \\ X_{\gamma}'' \frac{i,(j-c)}{i,j}, \cdots, X_{\gamma}'' \frac{i,j}{i,j}, \cdots, X_{\gamma}'' \frac{i,(j+c)}{i,j} \\ \cdots \\ X_{\gamma}'' \frac{(i+c),(j-c)}{i,c}, \cdots, X_{\gamma}'' \frac{(i+c),j}{i,j}, \cdots, X_{\gamma}'' \frac{(i+c),(j+c)}{i,j} \end{bmatrix}$$

.....

[0101] 基于以上分析,根据能量守恒定律,我们可以得到物理关系及清晰点和其映射光斑的关系:

$$[0102] \quad X_{\alpha i,j} = X_{\alpha}'' \frac{(i-a),(j-a)}{i,j} + \cdots + X_{\alpha}'' \frac{(i-a),j}{i,j} + \cdots + X_{\alpha}'' \frac{(i-a),(j+a)}{i,j}$$

[0103] +.....

$$[0104] \quad + X_{\alpha}'' \frac{i,(j-a)}{i,j} + \cdots + X_{\alpha}'' \frac{i,j}{i,j} + \cdots + X_{\alpha}'' \frac{i,(j+a)}{i,j}$$

[0105] +.....

$$[0106] \quad + X_{\alpha}'' \frac{(i+a),(j-a)}{i,j} + \cdots + X_{\alpha}'' \frac{(i+a),j}{i,j} + \cdots + X_{\alpha}'' \frac{(i+a),(j+a)}{i,j}$$

$$[0107] \quad = \sum_{p=(i-a)}^{(i+a)} \sum_{q=(j-a)}^{(j+a)} X_{\alpha}'' \frac{p,q}{i,j}$$

$$[0108] \quad X_{\beta i,j} = \sum_{p=(i-b)}^{(i+b)} \sum_{q=(j-b)}^{(j+b)} X_{\beta}'' \frac{p,q}{i,j}$$

$$[0109] \quad X_{\gamma i, j} = \sum_{p=(i-c)}^{(i+c)} \sum_{q=(j-c)}^{(j+c)} X_{\gamma}'' \frac{p, q}{i, j}$$

[0110] 根据物理学原理, 由于光学系统的特性, 被映射点的能量和映射点的能量是成正比关系的, 其比例关系在这里定义为 K.

$$[0111] \quad X_{\alpha}'' \frac{p, q}{i, j} = K_{\alpha} \frac{p, q}{i, j} \cdot X_{\alpha i, j}$$

$$[0112] \quad X_{\beta}'' \frac{p, q}{i, j} = K_{\beta} \frac{p, q}{i, j} \cdot X_{\beta i, j}$$

$$[0113] \quad X_{\gamma}'' \frac{p, q}{i, j} = K_{\gamma} \frac{p, q}{i, j} \cdot X_{\gamma i, j}$$

[0114] p, q 的范围分别为 $\{[i-a, i+a], [j-a, j+a]\}$, $\{[i-b, i+b], [j-b, j+b]\}$, $\{[i-c, i+c], [j-b, j+c]\} \dots K_{\alpha} \frac{p, q}{i, j}, K_{\beta} \frac{p, q}{i, j}, K_{\gamma} \frac{p, q}{i, j} \dots$ 是在以 i, j 点为中心, 2a, 2b, 2c... 为边长的正方矩阵。其物理意义表示点 (i, j) 的光能 (光照强度即像素值) $X_{\alpha i, j}, X_{\beta i, j}, X_{\gamma i, j}, \dots$ 在 $X''_{\alpha}, X''_{\beta}, X''_{\gamma}, \dots$ 平面上 p, q 点的投影能量分量的系数。投影为光斑, 如果透镜的物理性质理想, 投影光斑为圆, (但实际的情况不一定是标准圆), 这里将其在光斑外正方矩阵内的点的像素值定义为零。

[0115] 根据能量守恒原理, 我们可以得出

$$[0116] \quad \sum_{p=(i-a)}^{(i+a)} \sum_{q=(j-a)}^{(j+a)} K_{\alpha} \frac{p, q}{i, j} = 1$$

$$[0117] \quad \sum_{p=(i-b)}^{(i+b)} \sum_{q=(j-b)}^{(j+b)} K_{\beta} \frac{p, q}{i, j} = 1$$

$$[0118] \quad \sum_{p=(i-c)}^{(i+c)} \sum_{q=(j-c)}^{(j+c)} K_{\gamma} \frac{p, q}{i, j} = 1$$

[0119] 1. 2. 2 可映射的清晰点和模糊点的映射关系 --- (B2C 锥形逆映射) 根据分析, 我们可以得到另一个物理关系

$$[0120] \quad X_{\alpha}' i, j = X_{\alpha}'' \frac{i, j}{(i-a), (j-a)} + \dots + X_{\alpha}'' \frac{i, j}{(i-a), j} + \dots + X_{\alpha}'' \frac{i, j}{(i-a), (j+a)}$$

$$[0121] \quad + \dots$$

$$[0122] \quad + X_{\alpha}'' \frac{i, j}{i, (j-a)} + \dots + X_{\alpha}'' \frac{i, j}{i, j} + \dots + X_{\alpha}'' \frac{i, j}{i, (j+a)}$$

$$[0123] \quad + \dots$$

$$[0124] \quad + X_{\alpha}'' \frac{i, j}{(i+a), (j-a)} + \dots + X_{\alpha}'' \frac{i, j}{(i+a), j} + \dots + X_{\alpha}'' \frac{i, j}{(i+a), (j+a)}$$

$$[0125] \quad = \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} X_{\alpha}'' \frac{i, j}{p, q} = \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} K_{\alpha} \frac{i, j}{p, q} \cdot X_{\alpha p, q}$$

$$[0126] \quad X_{\beta}' i, j = \sum_{p=i-b}^{i+b} \sum_{q=j-b}^{j+b} X_{\beta}'' \frac{i, j}{p, q} = \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} K_{\beta} \frac{i, j}{p, q} \cdot X_{\beta p, q}$$

$$[0127] \quad X_{\gamma}{}'_{i,j} = \sum_{p=i-c}^{i+c} \sum_{q=j-c}^{j+c} X_{\gamma}{}''_{p,q} \frac{i,j}{p,q} = \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} K_{\gamma} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\gamma p,q}$$

[0128] 根据物理关系, p, q 的范围分别为 $\{[i-a, i+a], [j-a, j+a]\}$, $\{[i-b, i+b], [j-b, j+b]\}$, $\{[i-c, i+c], [j-b, j+c]\}$...。这里的 $K_{\alpha} \frac{i,j}{p,q}$, $K_{\beta} \frac{i,j}{p,q}$, $K_{\gamma} \frac{i,j}{p,q}$... 的值在矩阵内, 在满足 $(p-i)^2 + (q-j)^2 > a^2$ 的条件下为零。

[0129] 所以 $Z' = X_{\alpha}' + X_{\beta}' + X_{\gamma}' + \dots$

[0130] 即:

$$[0131] \quad Z'_{i,j} = X_{\alpha}'_{i,j} + X_{\beta}'_{i,j} + X_{\gamma}'_{i,j} + \dots$$

$$[0132] \quad = \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} X_{\alpha}''_{p,q} \frac{i,j}{p,q} + \sum_{p=i-b}^{i+b} \sum_{q=j-b}^{j+b} X_{\beta}''_{p,q} \frac{i,j}{p,q} + \sum_{p=i-c}^{i+c} \sum_{q=j-c}^{j+c} X_{\gamma}''_{p,q} \frac{i,j}{p,q} + \dots$$

[0133]

$$= \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} K_{\alpha} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\alpha p,q} + \sum_{p=i-b}^{i+b} \sum_{q=j-b}^{j+b} K_{\beta} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\beta p,q} + \sum_{p=i-c}^{i+c} \sum_{q=j-c}^{j+c} K_{\gamma} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\gamma p,q} + \dots$$

[0134] 已知 $h = \max[a, b, c, \dots]$, a, b, c, ... 是正常整数, 这就是模糊 / 精确图像的像素间关系, 本文中称之为 B2C 方程

[0135] 1.3 用连续表达式和离散表达式之间的关系

[0136] 上面式子中 $X_{\alpha p,q}$ 和 $v_{\alpha}(x, y)$ 表示同一个区域的清晰图像; $K_{\alpha} \frac{i,j}{p,q}$ 和 $h_{\alpha}(x, y; x_0, y_0)$ 表示同一个区域的点分布函数或 PSF。

[0137] 1.4 近距模式、远距模式及其和特征量的关系

[0138] 其中, 近距模式、远距模式及其和特征量的关系为:

[0139] 根据几何光学原理, 对于简单的对称凸透镜光学系统, 如果透镜的焦距是透镜中心到感光面的距离, 图 4 所示的在远距模式下, 光源 10 经镜头 1 后在成像面 3 成像, 其物距为 u, 相距为 v, 透镜的焦距为 f, 透镜和感光面间的距离为 S, 可以推导出:

$$[0140] \quad R = \frac{1}{2} SD \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{S} - \frac{1}{U} \right) = \frac{1}{2} SD \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{S} \right) - \frac{1}{2} SD \frac{1}{U} = C - \frac{SD}{2U}$$

[0141] C 对于一个相机系统是常量, 其物理意义是最大弥散半径, D 为透镜的孔径, 该公式中用 U 表示物距, R 为在远距模式是光源在无穷远处时的弥散半径。

[0142] 可见弥散半径或弥散特征值 R 和物距有如上的一一对应的关系。

[0143] 在近距模式, 可以推导出:

$$[0144] \quad R = \frac{1}{2} SD \left(1 - \frac{S}{f} \right) + \frac{1}{2} SD \frac{1}{U} = C + \frac{SD}{2U}$$

[0145] 同样弥散半径或弥散特征值 R 和物距有如上的一一对应的解析关系。

[0146] 1.5 点分布函数 PSF 的特性

[0147] 在光学系统固定的前提下, 点分布函数 PSF 具有以下特性:

[0148] 1) 同形 PSF 的归一性和不同尺度性: 在同一离轴坐标不同物距的位置的单色 (或单频) PSF 是同一 PSF, 但具有不同的空频尺度变换 (空间压扩 / 频域压扩) 特性, 压扩的同时具有归一性, 物距和图像模糊特征是一一对应的关系;

[0149] 2) 同物距不同离轴度 (或方位) 的性质: 在同一物距下, 不同位置的单色 PSF 的变化是渐变的, 渐变是符合像差规律的, 是可以根据规律修正的;

[0150] 3) 同一点的光源不同色 (或频) 的 PSF 是同一 PSF 但在特征尺度上有微弱的有规律的变化, 物距大时变化大, 物距小时变化小, 近轴时变化同心圆对称, 离轴时变化非同心, 是可以根据规律修正的;

[0151] 4) 衰减性: 不同的光学系统的 PSF 具有不同的衰减性, 如对特点颜色的衰减, 对某些强度范围的衰减, 对离轴光源表现为渐晕的衰减, 近轴一般强度无源弱衰减或无衰减特性等, 这些衰减在数字图像中是有规律的是可以修正的, 在一般的系统中是可以忽略的;

[0152] 5) 时不变性和先验数据库及图像复原: 光学系统是一个时不变系统, 可以针对不同颜色 (频率) 的光, 用事先测定并结合计算得到典型位置的 PSF, 根据实验数据并结合理论计算得到在要求的精度下的所在所需的各个坐标物距位置的 PSF, 根据分区的结果, 把模糊图像的各个点所在的坐标物距等位置作为索引信息, 调用对应于该点 (该区域的) 的各个颜色的 PSF 用于图像复原; 该数据库包含 PSF/OTF 随物距、随不同的方位位置、随颜色 (频率), 如果需要还有随入射光强度的变化曲线、补偿规律和插值规律, 补偿包括暗角、暗边、渐晕、杂光、偏色和强度传输非线性的修正补偿。该数据库命名为 Alf-Nabi 库。

[0153] Alf 是 all focus 的缩写, 为全焦距之意;

[0154] Nabi 是 No aberration Image 的缩写, 为无像差之意。

[0155] PSF/OTF 是信息光学理论中的定义, 点分布函数或光学传递函数之意, PSF 和 OTF 互为傅立叶变换对。

[0156] Alf-Nabi 库就是全焦距无像差库, 也叫 PSF/OTF 库。

[0157] 即点分布函数 $h_a(x, y; x_0, y_0)$ 就是对于理想无像差成像点 (x_0, y_0) 的分布函数并得以包括如下各种像差的修正: 弥散 (不聚焦), 球差, 慧差, 象散, 场曲, 畸变, 色差, 杂光, 渐晕, 光强度传输非线性 (成像系统传输特性对于强度的传输呈非线性), 实现无像差重建。

[0158] 1.6 全焦距无像差图像的定义

[0159] 通过光学系统, 在成像面上, 全焦距无像差的定义为:

[0160] A. 物空间的点成像为理想的点 (消几何像差);

[0161] B. 直线成像为理想的直线 (消几何像差);

[0162] C. 面成像为理想的面 (消几何像差);

[0163] D. 同一光源点发出的各颜色的光成像在同一点 (消色差);

[0164] E. 等物距面上各点各色光源的成像, 其各色各像点的强度是和光源点的各色光源点强度成正比的, 并符合同一个比例的; (同物距下颜色的强度同一性, 消暗角, 消色偏, 消不均匀);

[0165] F. 无杂光、无渐晕。

[0166] 图 2 所示有像差的成像示意图, 图 2 中上半部分为中远焦模式, 下半部分为近焦模式, 图 2 中可以看出, 由于存在像差, 在成像面 3 得到的是有像差的成像。

[0167] 如图 3 所示解释一部分无像差的定义, 在理想成像面 7 上可以得到 A 点的理想成像 5 和 B 点的理想成像 6, 理想成像面 7 几何对称于真实成像面 3, 在真实成像面 3 上, A 点为无像差聚焦成像 8, B 点为有像差不聚焦成像 9。

[0168] 从理论上讲,以下所有定义都是在等效薄透镜镜头系统中,针对单一频率的光的定义,从技术上讲,是根据系统精度定义的一个光的频段。

[0169] 理想成像面在理论上是以透镜中心的主面为对称中心面,对称于真实成像面的虚拟平面;

[0170] 理想成像点的位置是光心到光源点连线与理想成像面的交点,(这对于同一点发出的各色光是一个理想成像点);

[0171] 理想成像点的光强定义为任何视野内的光源点垂直照射到镜头主面时的出瞳范围内的所有能量的集合,即在不考虑透镜损耗的情况下真实成像面的感光强度,这是校准渐晕的理论方法和技术手段;

[0172] 1.7 获取无像差图像的原理

[0173] 考虑到暗角效应,边界部分角度遮挡效应;考虑到光学系统的对各色(频)的非线性传输和衰减(高精度下),考虑到动态范围的限制带来的强度传输、感应、记录的非线性,考虑到杂光,渐晕等因素,数字图像可以根据 Alf-Nabi 库进行一定的修正或校准,以得到更加理想的恢复图像。

[0174] 2. 本实施例获取全焦距无像差图像的方法

[0175] 本实施例获取全焦距无像差图像的方法包括以下步骤:

[0176] (a) 依据设计、测量、前面所述的 PSF/OTF 的特性及验算建立 alf-nabi 库,所述 alf-nabi 库存储与物距对应的 PSF/OTF,通过摄像装置的镜头或镜头组获取被摄图像成像后的原始光信号;

[0177] 根据具体的应用,摄像装置可以采用普通光学镜头或镜头组,或组合特定透过率分布介质的透镜镜头或镜头组,或使用多焦距景深级联或覆盖的光学镜头或镜头组;

[0178] (b) 通过图像传感器将所述原始光信号转换为数字信号,得到待处理的模糊图像数据;

[0179] (c) 将所述模糊图像数据进行图像分区,得到非交融单一物距区域和交融区域,及与所述非交融单一物距区域和交融区域分别对应的物距;

[0180] 具体实施时,对所述模糊图像数据进行图像分区可以使用下述方法中的任一种:

[0181] (b-1) 硬件测距分区法

[0182] 通过测距硬件辅助工具,对视场内的光源的每一点或主要点进行测距,由测得的物距确定不同物距的非交融单一物距平面和交融平面,由所述物距与传函特征量存在对应关系这一特性确定 PSF 的特征量;

[0183] (b-2) 利用色散分区法

[0184] 利用同源异色传输存在位置差,红绿蓝 RGB 三基色的传递函数是不一样的,在成像上有位置差,RB 即红蓝基色之间的位置差呈同心圆但不重合,物距越大色间位置差越大,该差和物距/PSF 的特征值差别有关,所以可以通过不同物距的不同色差来判别物距和 PSF,由所述物距确定所述非交融单一物距区域和交融区域,其中所述位置差可以通过所述模糊图像数据不同色如红蓝两色的位置突变的边界差判定;

[0185] (b-3) 频谱传函过零点相对关系判断物距分区法

[0186] 将所述模糊图像数据转换到频域得到相位频谱,求出相位频谱的过零点,在光线性传输系统,相位频谱的过零点与传函的特征有特定的关系,依据所述相位频谱的过

零点间距得到 PSF/OTF 的特征值,又因为传函特征与物距存在特定关系,因此依据所述 alf-nabi 库求出与 PSF/OTF 对应的物距,确定非交融单一物距区域和交融区域,典型的传递函数设计为抽样函数就是一个例子,通过测量经抽样函数变换后的输出信号频谱的过零点的间距,计算出抽样函数的抽样直径(即点分布函数 PSF 直径),从而求出物距和抽样函数,利用该方法不仅可以分区,也可以直接算出输入函数;

[0187] (b-4) 小波分析分区法

[0188] 根据小波分析的空频联合分析特性,沿纵横两个方向求解所述模糊图像数据各个点对应的频谱,对频谱的带宽和幅度进行分析,找出一定的精度范围内的共同特性,结合每一点即周围点纵横两个方向的分析结果进行综合判断,得到图像的区域特性进行区域划分;

[0189] (b-5) 人工分区法

[0190] 对于后处理的图像,根据所述模糊图像数据根据视觉人工进行手工粗略区域划分,再用算法进行拟合求解,精确划分;

[0191] 在摄像装置具有组合特定透过率分布介质的透镜镜头或镜头组情况下,可以使用遮挡法进行图像分区,具体为:

[0192] 利用特定透光率分布介质的透镜镜头,通过对成像的透光调制,利用透光特性和物距相关的频谱特征或者边缘特征,根据先验的 PSF/OTF 库中包括了这些特征的信息,计算出传函的特征量和对应的物距,确定图像的交融区域和非交融单一物距区域;

[0193] (c) 依据所述非交融单一物距区域的物距调用所述 alf-nabi 库中对应的 PSF/OTF,利用所述 PSF/OTF 对所述非交融单一物距区域进行重建和校正,得到所述非交融单一物距区域内的清晰像素值;

[0194] 本实施例利用所述 PSF/OTF 对所述非交融单一物距区域进行重建和校正的方法可以采用下面所述的任一种:

[0195] (c-1) 频域逆滤波图像重建方法及校正

[0196] 根据具体应用条件,在频域通过各类逆滤波的手段对非交融单一物距区域的图像进行重建和校正,本例中用维纳滤波重建;

[0197] (c-2) 非线性图像重建法及校正

[0198] 根据具体应用条件,在空域中应用非线性的迭代算法,对非交融单一物距区域的图像进行重建和校正,根据模糊图像求出描述图像棱边的权矩阵,根据受限制的自适应复原算法,不断迭代,重建图像;

[0199] (c-3) 反卷积法图像重建及校正

[0200] 根据具体应用条件,在空域应用反卷积的算法对非交融单一物距和交融区域进行图像复原和校正;

[0201] (c-4) 拟合求解法(非线性迭代)及校正

[0202] 根据具体应用,结合成像系统的 PSF/OTF 特点,对 PSF/OTF 进行假设后进行图像恢复求解,根据求解的后的误差进行判断 PSF/OTF 的选择正确性并重新选择,直至找到满足系统要求的误差,判断得出正确的 PSF/OTF 及其对应的物距,并完成图像恢复;

[0203] (c-5) 用小波分析的方法进行图像恢复和校正

[0204] 通过对模糊图像的各频段小波分析,结合 alf-nabi 库的 PSF/OTF 特点,分频段对

图像进行处理,结合能量守恒的关系,搬移频谱各段的能量,得到恢复的图像。

[0205] (c-6) 递推迭代法及校正

[0206] 根据边缘数据或者已求出的数据,通过模糊图像和清晰图像的数学关系,用迭代递推的方式求解出相邻的像素值,该方法可应用于非交融单一物距区域和交融区域的求解。

[0207] (d) 依据所述交融区域的物距调用所述 alf-nabi 库中对应的 PSF/OTF,利用所述 PSF/OTF 对所述交融区域进行递推迭代法重建和校正,得到交融区域内的清晰像素值;

[0208] 该步骤中交融区域图像重建及校正的方法为下述任一种或其组合:

[0209] (d-1) 边缘递推法重建交融区域图像重建及校正:根据分区求出的来自周边非交融单一物距区域的各个传递函数和重建的图像数据,通过交融区域模糊图像和清晰图像的空域卷积和频域乘积的数学关系,用迭代递推的方式求解出相邻的像素值,得到交融区域的重建后的清晰图像数据。

[0210] (d-2) 小波分析复原法重建及校正:通过对模糊图像的各频段小波分析,结合 alf-nabi 库分频段对图像进行处理,结合能量守恒的关系,搬移频谱各段的能量,得到交融区域重建后的清晰图像数据;

[0211] (d-3) 对于后处理图像的人工参与重建及校正:对于后处理图像,对分区后数字化的模糊图像进行弥散特征值判断,根据 (d-4) 的方法进行图像交融区域的重建,并根据经验参数对该区域的图像进行校正。

[0212] (e) 将重建和校正后的所述非交融单一物距区域和交融区域进行融合并校正,得到重建后的清晰图像数据;

[0213] (f) 将所述重建后的清晰图像数据传送到摄像装置的存储、显示输入输出装置。

[0214] 本实施例中可以用拟和求解法对所述模糊图像数据进行图像分区,具体方法为:

[0215] 在已知的成像平面内,划出几个正方或长方区域,区域的四周在一定的范围 a 内和区域内的像素特性没有很大的变化(即亮度,色度没有明显的变化),区域的边长为预期的弥散半径的三、四倍以上,如下方程条件的区域边长 $2u, 2v$ 是给定范围 a 的三、四倍。

[0216] 假设该区域是在同一个物距平面内,即有一个统一的弥散半径 a,则可利用离散方程

$$[0217] \quad Z'_{i,j} = \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} K_{\alpha} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\alpha p,q}$$

[0218] 求解。其中 i, j 分别在 $[i-u, i+u], [j-v, j+v]$ 的范围内, $Z'_{i,j}$ 为模糊图像数据矩阵的一个元素点 (i, j) 的像素值, $X_{\alpha p,q}$ 为来自某一物距平面的、被处理后的、映射到成像平面的清晰图像矩阵中的能映射到 (i, j) 点的一点 (p, q) 的像素值, $K_{\alpha} \frac{i,j}{p,q}$ 分别为 $X_{\alpha p,q}$ 映射到模糊图像数据矩阵 (i, j) 点的映射系数

[0219] 求解时假设在 $a = 1 \sim$ 某一个正整数的范围内循环作为一个条件去拟合和上面的方程。

[0220] 求解时假设区域精确矩阵外的点的像素值等于其边界值或等于其边界内一定范围内的平均值,在此条件下拟合求解,求出 $[i-u, i+u], [j-v, j+v]$ 范围内的清晰像素值 $X_{i,j}$, 而在 $[i-a, i+a][j-a, j+a]$ 范围内的清晰像素值 $X_{i,j}$ 就是精确值。如果系数矩阵是一个

高斯分布会很有效,传递误差会收敛。如果系数矩阵是一个均匀分布,则传递误差会衰减很慢。

[0221] 用如上的不同的弥散半径 a 拟合,求出矩阵清晰像素值矩阵 X_a ,利用清晰矩阵与模糊矩阵之间的关系,在反推回到模糊图像数据矩阵 Z' ,在 $[i-a, i+a][j-a, j+a]$ 范围内,如果在系统误差内相符,则 a 值求出, X_a 求出。

[0222] 求出 $[i-a, i+a][j-a, j+a]$ 范围内的 $X_{a,i,j}$,就可以反推回周围的所有的 $X_{a,i,j}$,直至非单一的交融边界。递推迭代过程中遇见不能符合 Z' 的连续像素点,则是遇见了交融边界。

[0223] 由于交融区域具有特点:交融区域是两个或多个物距差别较大的平面在模糊图像数据矩阵 Z' 表示的平面上的投影,其特点是各个平面投影有可能两两相交融,也可能多个同时互相交融,但其相互间的交融半径有较大的差别。因此本实施例为交融部分的求解提供了解决方法。

[0224] 本实施例中迭代递推求解法求解交融带的像素值的过程如下:

[0225] 单一物距平面内及单一物距平面的交融带之外,包括延交融带法线方向的 Z' 值和 X_a 的值符合

$$[0226] \quad Z'_{i,j} = \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} K_{\alpha} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\alpha p,q}$$

[0227] 关系,随着接近,接触交融带,像素的数值就有了来自另一个单一物距平面的弥散因素(而且只能是来自另一个而不是同时多个平面的弥散因素),因此该项素值就符合关系

$$[0228] \quad Z'_{i,j} = \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} K_{\alpha} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\alpha p,q} + \sum_{p=i-b}^{i+b} \sum_{q=j-b}^{j+b} K_{\beta} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\beta p,q} \circ$$

[0229] 由于已知了所有的单一物距平面内的像素值,则可迭代求出来自另一个单一物距平面的交融带最边缘的一条线的像素弥散数值,进而求出来自另一个单一物距平面的交融线最边缘的一条线的像素值,再进一步迭代则求出自另一个单一物距平面的交融带最边缘的第二条线的像素弥散数值,进而求出来自另一个单一物距平面的交融线最边缘的第二条线的像素值。以此类推,求出整个的来自两个单一物距平面交融带范围内的精确矩阵像素值。

[0230] 用迭代递推法对多个平面交融带求解

[0231] 多个平面交融实际上是在两个平面交融后再和这两个平面之外的其他平面的交融,交融带内的像素值符合关系

$$[0232] \quad Z'_{i,j} = \sum_{p=i-a}^{i+a} \sum_{q=j-a}^{j+a} K_{\alpha} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\alpha p,q} + \sum_{p=i-b}^{i+b} \sum_{q=j-b}^{j+b} K_{\beta} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\beta p,q} + \sum_{p=i-c}^{i+c} \sum_{q=j-c}^{j+c} K_{\gamma} \frac{i,j}{p,q} \cdot X_{\gamma p,q} + \dots$$

[0233] 每交融一个,则增加上述关系中的一项。其求解也是应用交融带边缘的来自独立新平面的像素弥散值的求解,进而求出来自这个独立新平面的交界点的像素值。

[0234] 对应后处理的图像,人可以作为一个反馈决策环节参与到图像恢复中去,对与迭代类的图像恢复,人在环内的参与将提高收敛速度和控制精度。

[0235] 虽然本发明是具体结合几个优选实施例示出和说明的,但熟悉该技术领域的人员可以理解,其中无论在形式上还是在细节上都可以作出各种改变,这并不背离本发明的精

神实质和专利保护范围。

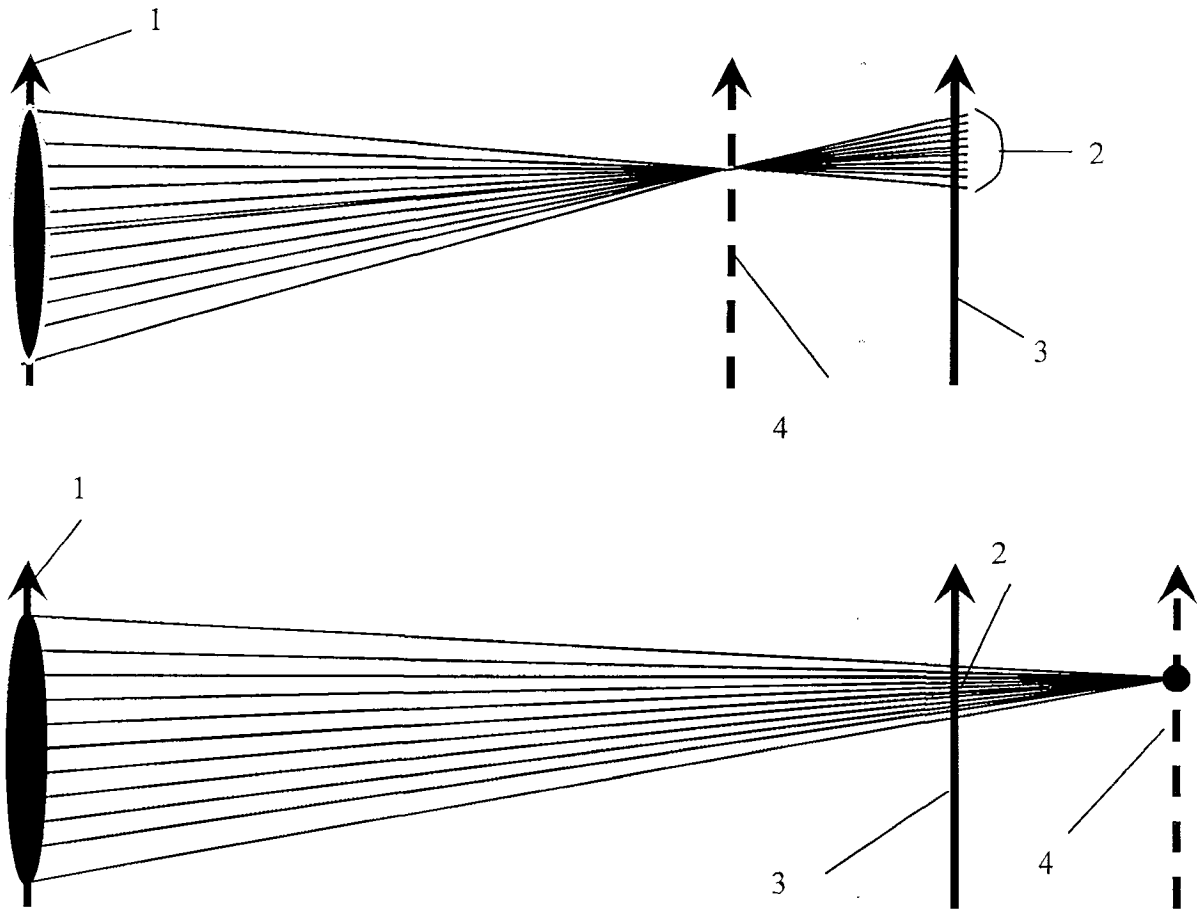


图 1

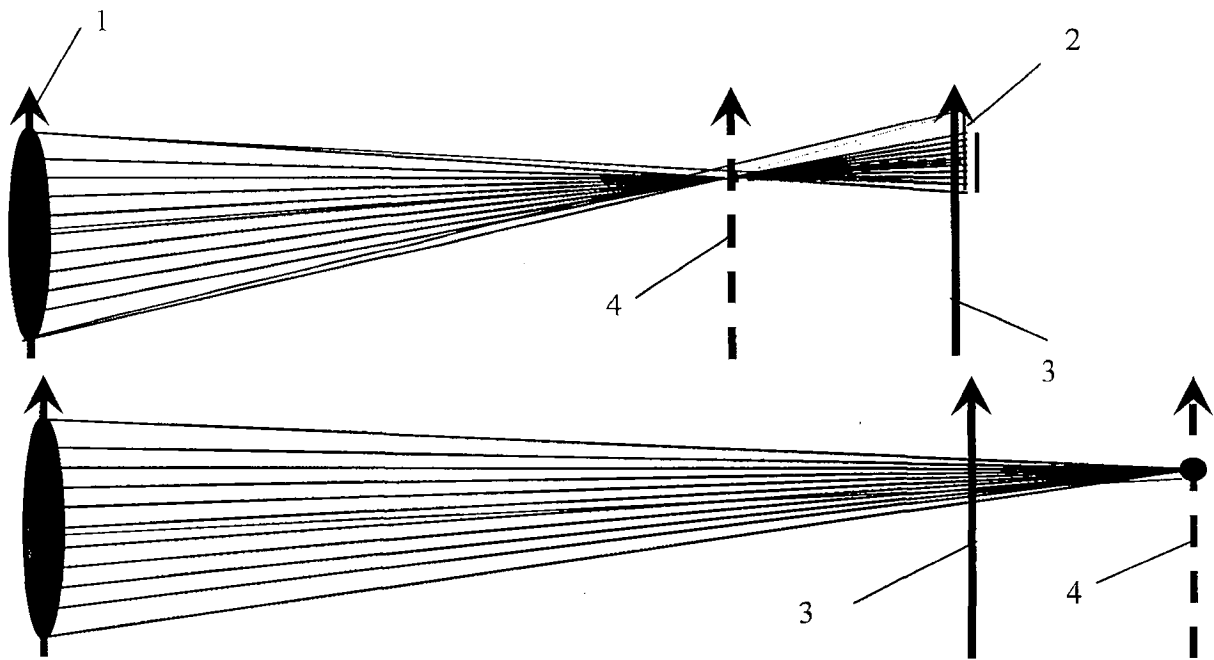


图 2

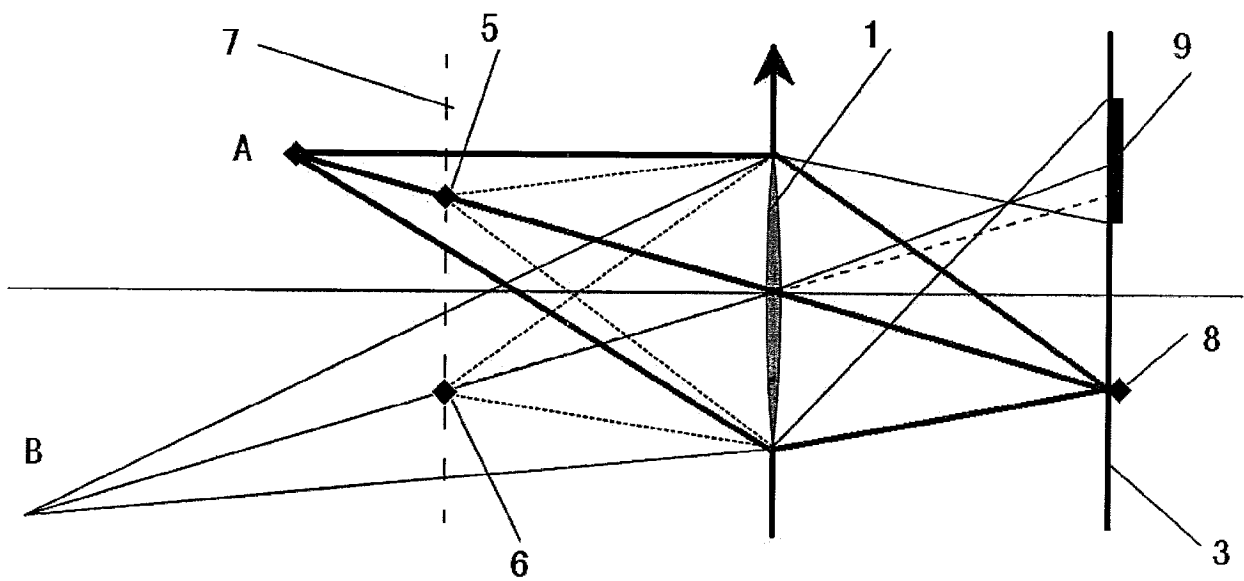


图 3

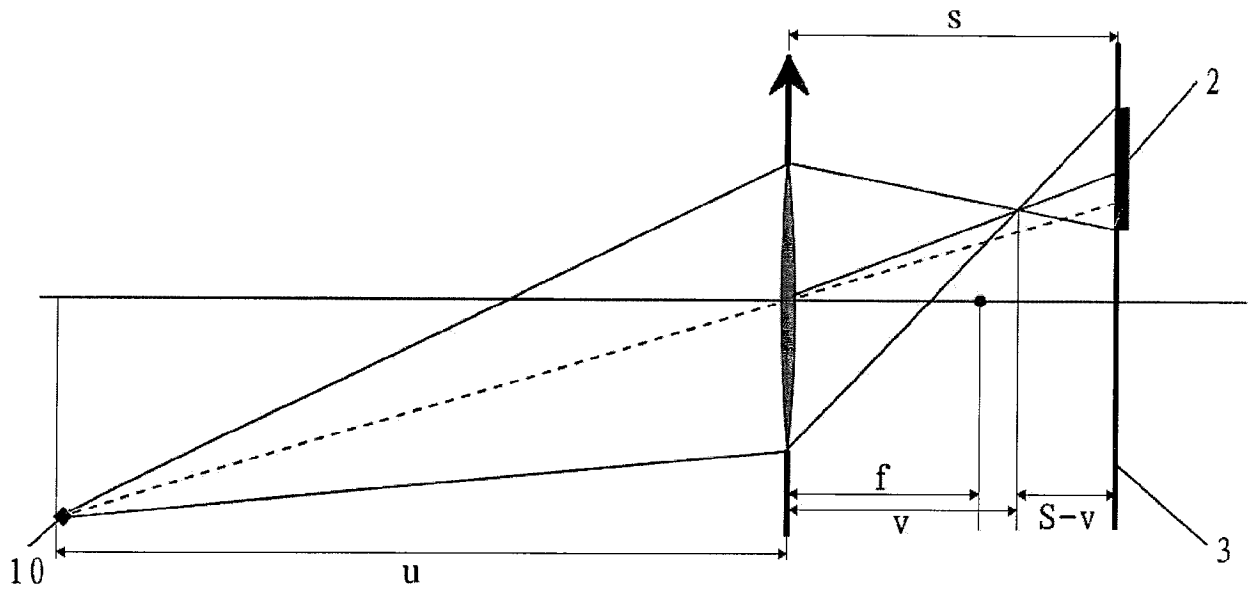


图 4

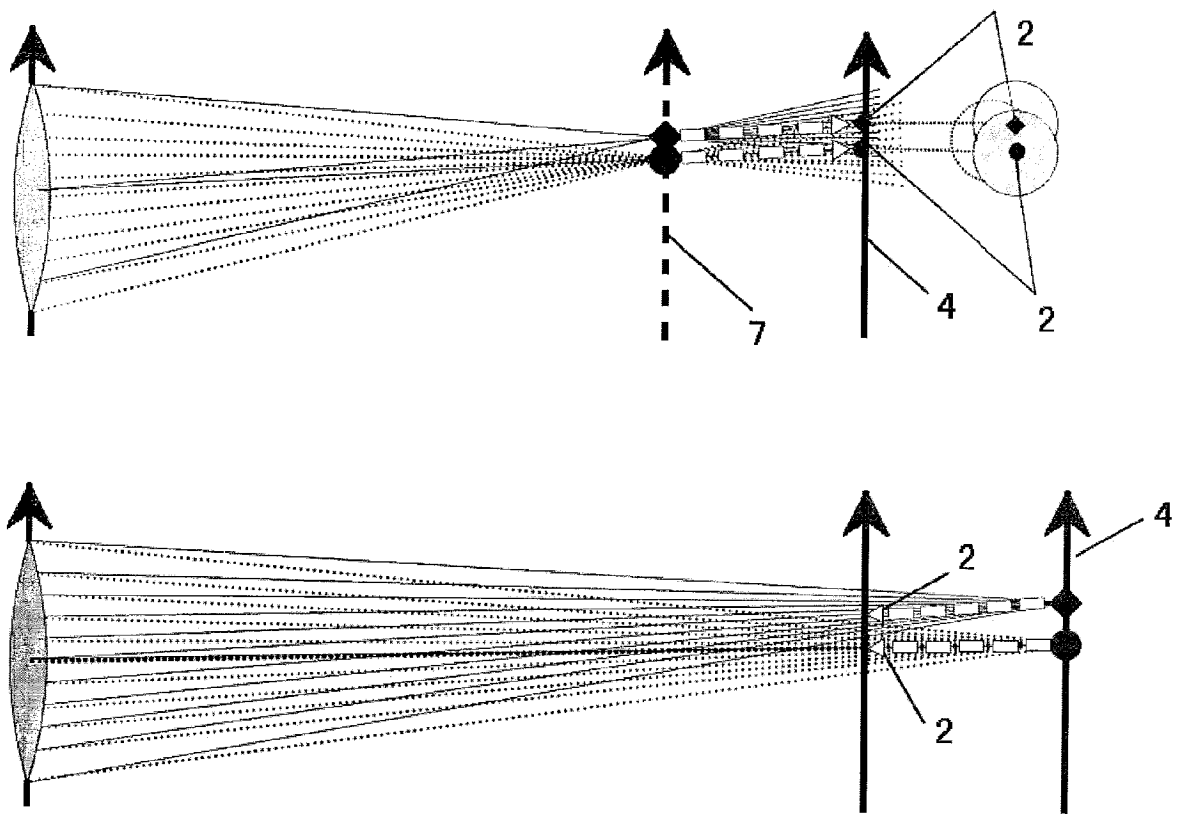


图 5

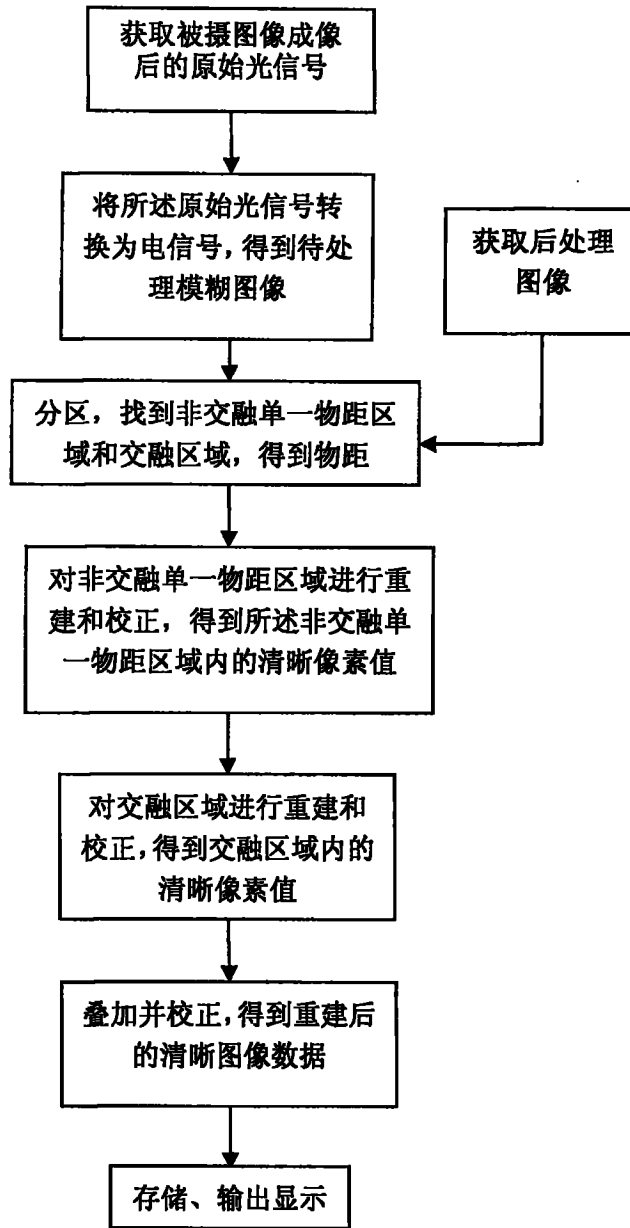


图 6