



(21) 申请号 201510587511.2

G06T 5/00 (2006.01)

(22) 申请日 2015.09.15

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

US 2011205402 A1, 2011.08.25

申请公布号 CN 105430310 A

US 2011205402 A1, 2011.08.25

(43) 申请公布日 2016.03.23

US 2011128421 A1, 2011.06.02

(30) 优先权数据

CN 104580879 A, 2015.04.29

2014-189133 2014.09.17 JP

(73) 专利权人 佳能株式会社

Leh-Nien D. Loo等. Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 4. Effect of unsharp masking on the detectability of simple patterns. 《Medical Physics》. 1985, 第12卷 (第2期), 正文第II部分.

地址 日本东京都大田区下丸子3-30-2

(72) 发明人 鬼木崇 畠山弘至

Christian J. Schuler等. Non-stationary correction of optical aberrations. 《2011 IEEE International Conference on Computer Vision》. 2011, 正文第660页右侧栏第3-5段.

(74) 专利代理机构 北京怡丰知识产权代理有限公司 11293

代理人 迟军

(51) Int. Cl.

H04N 5/74 (2006.01)

H04N 9/31 (2006.01)

审查员 葛晓兰

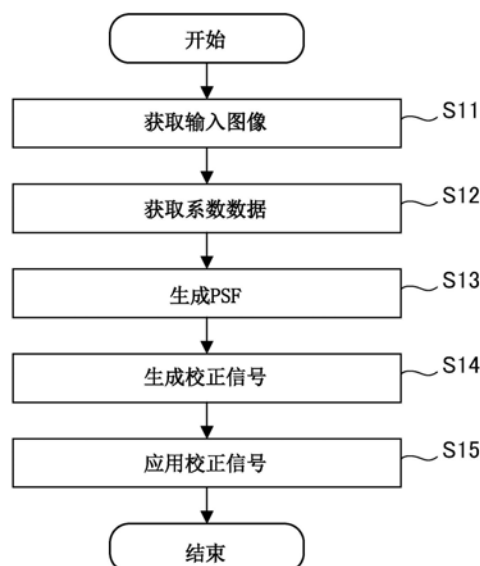
权利要求书3页 说明书12页 附图15页

(54) 发明名称

图像处理方法和摄像装置以及图像处理装置

(57) 摘要

本发明提供了一种图像处理方法、摄像装置以及图像处理装置。一种非暂时性计算机可读存储介质存储有使计算机执行图像处理方法的图像处理程序, 所述图像处理方法包括以下步骤: 获取步骤, 获取经由光学系统的摄像生成的输入图像; 生成步骤, 通过使用与对应于所述光学系统的摄像条件的点扩展函数近似的函数的系数数据, 来生成点扩展函数; 以及提供步骤, 使用基于通过使用所述系数数据生成的所述点扩展函数的信息而生成的过滤器, 对所述输入图像提供反锐化掩模处理。所述过滤器是具有二维数据的过滤器。



1. 一种图像处理方法,所述图像处理方法包括获取步骤,获取经由光学系统的摄像生成的输入图像,

其特征在于,所述图像处理方法还包括如下步骤:

生成步骤,通过使用与对应于所述光学系统的摄像条件的点扩展函数近似并且能够形成旋转非对称分布的函数的系数数据,来生成点扩展函数;以及

提供步骤,通过向所述输入图像应用基于通过使用所述系数数据生成的所述点扩展函数的信息而生成的校正信号,对所述输入图像提供反锐化掩模处理,

其中,所述校正信号具有二维抽头数据。

2. 根据权利要求1所述的图像处理方法,其特征在于,所述提供步骤包括:

生成步骤,通过计算将过滤器应用于所述输入图像而获得的图像与所述输入图像之间的差分,来生成所述校正信号,以及

锐化步骤,通过将所述校正信号乘以常数并将相乘后的校正信号与所述输入图像相加,或者通过利用与所述输入图像的位置相对应的调整系数对所述校正信号进行调整并将调整后的校正信号与所述输入图像相加,来使所述输入图像锐化,

其中,所述过滤器是反锐化掩模。

3. 根据权利要求1所述的图像处理方法,其特征在于,所述提供步骤包括:

过滤器生成步骤,基于使用所述系数数据生成的所述点扩展函数与理想点像之间的差分信息而生成过滤器;

校正信号生成步骤,通过使所述输入图像与所述过滤器卷积,来生成所述校正信号;以及

锐化步骤,通过将所述校正信号乘以常数并将相乘后的校正信号与所述输入图像相加,或者通过利用与所述输入图像的位置相对应的调整系数对所述校正信号进行调整并将调整后的校正信号与所述输入图像相加,来使所述输入图像锐化。

4. 根据权利要求1所述的图像处理方法,其特征在于,所述提供步骤包括以下步骤:

生成步骤,通过将使用所述系数数据生成的所述点扩展函数与理想点像之间的差分信息乘以常数并将相乘后的差分信息与所述理想点像相加,或者通过利用与所述输入图像的位置相对应的调整系数对该差分信息进行调整并将调整后的差分信息与所述理想点像相加,来生成过滤器,以及

锐化步骤,通过使所述输入图像与在所述生成步骤中生成的所述过滤器卷积,来使所述输入图像锐化。

5. 根据权利要求1所述的图像处理方法,其特征在于,所述提供步骤包括:

生成步骤,基于1和常数的总和与理想点像的积、与所述常数和通过使用所述系数数据生成的所述点扩展函数的积之间的差分信息,或者基于1和依据所述输入图像中的位置的调整系数的总和与理想点像的积、与利用所述调整系数调整的所述点扩展函数之间的差分信息,来生成过滤器,以及

锐化步骤,通过使所述输入图像与所述过滤器卷积,来使所述输入图像锐化。

6. 根据权利要求1-5中任一项所述的图像处理方法,其特征在于,所述摄像条件包括像高、焦距、 f 值以及被摄体距离中的至少一者。

7. 根据权利要求1-5中任一项所述的图像处理方法,其特征在于,所述系数数据包括改

变所述点扩展函数的对称性的系数。

8. 根据权利要求1-5中任一项所述的图像处理方法,其特征在于,通过使在多个摄像条件下使用的基准分布与改变分布形状的过滤器卷积,来生成所述点扩展函数。

9. 根据权利要求2-5中任一项所述的图像处理方法,其特征在于,所述锐化步骤对构成所述输入图像的多个颜色分量中的各个颜色分量或一个颜色分量提供锐化。

10. 根据权利要求2-5中任一项所述的图像处理方法,其特征在于,所述输入图像是针对各个颜色分量离散且规则地排列的图像数据,并且对于针对要由反锐化掩模处理校正的各个颜色分量插值过的图像提供所述生成步骤和所述锐化步骤。

11. 根据权利要求2-5中任一项所述的图像处理方法,其特征在于,
针对所述输入图像中设置的多个区域中的各个,按至少两个像高生成所述点扩展函数,

所述图像处理方法还包括插值步骤,利用从与所述输入图像的所述多个区域相对应的、所生成的点扩展函数获得的多个图像数据,在像高方向上进行插值处理以生成一个图像数据,并且

所述生成步骤基于在所述插值步骤中生成的所述一个图像数据,来生成所述校正信号。

12. 根据权利要求2-5中任一项所述的图像处理方法,其特征在于,
针对所述输入图像中设置的多个区域中的各个,按至少两个像高生成所述点扩展函数,

所述生成步骤基于生成的多个点扩展函数来生成多个校正信号,

所述图像处理方法还包括插值步骤,利用所述多个校正信号在像高方向上进行插值处理以生成一个校正信号,并且

所述锐化步骤通过应用所述一个校正信号来使所述输入图像锐化。

13. 根据权利要求2-5中任一项所述的图像处理方法,其特征在于,
针对所述输入图像中设置的多个区域中的各个,按至少两个像高生成所述点扩展函数,

所述生成步骤基于生成的多个点扩展函数来生成多个校正信号,

所述锐化步骤通过对所述输入图像应用所述多个校正信号的各个来获取多个锐化后的图像,并且

所述图像处理方法还包括插值步骤,利用所述多个锐化后的图像在像高方向上进行插值处理以生成一个锐化后的图像。

14. 一种图像处理装置,所述图像处理装置包括获取器,其被构造为获取经由光学系统的摄像生成的输入图像,

其特征在于,所述图像处理装置还包括:

生成器,其被构造为使用与对应于所述光学系统的摄像条件的点扩展函数近似并且能够形成旋转非对称分布的函数的系数数据,来生成点扩展函数;以及

处理器,其被构造为通过向所述输入图像应用基于通过使用所述系数数据生成的所述点扩展函数的信息而生成的校正信号,对所述输入图像提供反锐化掩模处理,

其中,所述校正信号具有二维抽头数据。

15. 根据权利要求14所述的图像处理装置,其特征在于,所述处理器包括:

生成器,其被构造为通过计算将过滤器应用于所述输入图像而获得的图像与所述输入图像之间的差分,来生成所述校正信号,以及

锐化器,其被构造为通过将所述校正信号乘以常数并将相乘后的校正信号与所述输入图像相加,或者通过利用与所述输入图像的位置相对应的调整系数对所述校正信号进行调整并将调整后的校正信号与所述输入图像相加,来使所述输入图像锐化,

其中,所述过滤器是反锐化掩模。

16. 根据权利要求14所述的图像处理装置,其特征在于,所述处理器包括:

生成器,其被构造为基于通过使用所述系数数据生成的所述点扩展函数与理想点像之间的差分信息而生成过滤器,并通过将所述过滤器与所述输入图像卷积来生成所述校正信号,以及

锐化器,其被构造为通过将所述校正信号乘以常数并将相乘后的校正信号与所述输入图像相加,或者通过利用与所述输入图像的位置相对应的调整系数对所述校正信号进行调整并将调整后的校正信号与所述输入图像相加,来使所述输入图像锐化。

17. 根据权利要求14所述的图像处理装置,其特征在于,所述处理器包括:

生成器,其被构造为通过将使用所述系数数据生成的所述点扩展函数与理想点像之间的差分信息乘以常数并将相乘后的差分信息与所述理想点像相加,或者通过利用与所述输入图像的位置相对应的调整系数对使用所述系数数据生成的所述点扩展函数与理想点像之间的差分信息进行调整并将调整后的差分信息与所述理想点像相加,来生成过滤器,以及

锐化器,其被构造为通过使所述输入图像与所述过滤器卷积,来使所述输入图像锐化。

18. 根据权利要求14所述的图像处理装置,其特征在于,所述处理器包括:

生成器,其被构造为基于1和常数的总和与理想点像的积、与所述常数和通过使用所述系数数据生成的所述点扩展函数的积之间的差分信息,或者基于1和依据所述输入图像中的位置的调整系数的总和与理想点像的积、与利用所述调整系数调整的所述点扩展函数之间的差分信息,来生成过滤器,以及

锐化器,其被构造为通过使所述输入图像与所述过滤器卷积,来使所述输入图像锐化。

19. 一种摄像装置,所述摄像装置包括:

图像传感器,以及

根据权利要求14至18中任一项所述的图像处理装置。

图像处理方法、摄像装置以及图像处理装置

技术领域

[0001] 本发明涉及图像锐化处理。

背景技术

[0002] 已知反锐化掩模处理将原始图像与如下差分相加或相减来使图像锐化,所述差分是通过对原始图像应用反锐化掩模获得的模糊图像与原始图像之间的差分。在模糊图像与输入图像之间的差分大时使图像更锐化。日本特开2010-81263号公报公开了以下方法:通过对在像高方向上排列的像素信号应用非对称的一维过滤器,来降低光学系统的点扩展函数(point spread function, (PSF))的影响。

[0003] 当采用旋转对称过滤器作为反锐化掩模时,难以使由于PSF的复杂形状(例如,非对称像差和矢状光环)的影响而劣化的图像锐化。具体而言,在具有大像差的方位角方向上的像差的校正引起在具有小像差的方位角方向上的下冲(undershoot),而下冲的抑制导致像差的不充分校正。

[0004] 日本特开2010-81263号公报的方法考虑仅在像高方向上的非对称性,并且校正过滤器是一维的,因此无法改善像高方向以外的方向上的非对称性。像高方向是子午线的方位角方向。此外,因为通过调整负抽头系数的个数来调整过滤器的非对称性,并且关于像高方向的校正,过滤器引起了与由光学系统的PSF引起的模糊不同的模糊,所以通过传统的方法无法实现充分的锐化。

发明内容

[0005] 本发明提供了各自能够降低生成校正信号所需的记录数据量并具有优良的锐化效果的图像处理装置、摄像装置、图像处理方法以及存储图像处理程序的非暂时性计算机可读存储介质。

[0006] 本发明的一方面提供了一种图像处理方法,所述图像处理方法包括:获取步骤,获取经由光学系统的摄像生成的输入图像;生成步骤,通过使用与对应于所述光学系统的摄像条件的点扩展函数近似的函数的系数数据,来生成点扩展函数;以及提供步骤,使用基于通过使用所述系数数据生成的所述点扩展函数的信息而生成的过滤器,对所述输入图像提供反锐化掩模处理。所述过滤器具有二维数据。

[0007] 通过以下参照附图对示例性实施例的描述,本发明其他的特征和方面将变得清楚。

附图说明

[0008] 图1是根据本发明的实施例1、实施例2和实施例3中的各个的摄像装置的框图。

[0009] 图2是根据实施例1、实施例2和实施例3中的各个的图像处理方法的流程图。

[0010] 图3A和图3B是通过反锐化掩模处理进行锐化的模式图。

[0011] 图4A和图4B是在xy平面上的摄像光学系统的PSF的模式图。

- [0012] 图5A和图5B是利用旋转对称的反锐化掩模进行锐化处理的模式图。
- [0013] 图6A和图6B是利用非旋转对称的反锐化掩模进行锐化处理的模式图。
- [0014] 图7A和图7B是反锐化掩模的模式图和示意性截面图。
- [0015] 图8A至图8C是根据本发明的实施例1的图像处理方法的流程图。
- [0016] 图9是拜耳排列的模式图。
- [0017] 图10是输入图像的分割方法的说明图。
- [0018] 图11是输入图像在像高方向上的插值方法的说明图。
- [0019] 图12是根据本发明的实施例2的图像处理方法的流程图。
- [0020] 图13是根据本发明的实施例3的图像处理方法的流程图。
- [0021] 图14是系数数据的说明图。
- [0022] 图15A至图15D各自是点扩展函数的等高线图。
- [0023] 图16是生成的点扩展函数的截面图。

具体实施方式

[0024] 图3A和图3B示意性例示了反锐化掩模处理(图像锐化)。在图3A中,实线代表要处理的输入图像,长点线(虚线)代表通过向输入图像提供反锐化掩模而模糊的图像。短点线代表锐化后的图像。图3B中的实线代表校正分量。在图3A和图3B中,横轴代表坐标,纵轴代表像素值或亮度值。图3A和图3B各自对应于稍后描述的图4A和图4B的预定方向(例如,X方向)上的截面。

[0025] 当以 $f(x, y)$ 表示原始图像(输入图像)并且以 $h(x, y)$ 表示校正分量时,可以由式(1)代表锐化后的图像 $g(x, y)$:

$$[0026] \quad g(x, y) = f(x, y) + m \times h(x, y) \dots (1)$$

[0027] 在式(1)中,将校正分量 $h(x, y)$ 乘以常数 m 并与代表输入图像的 $f(x, y)$ 相加。在式(1)中,可以使常数 m 变化以调整校正量。常数 m 可以是恒定常数,而与输入图像的位置无关。作为另选方案,可以使用随着输入图像的位置而变化的调整系数 $m(x, y)$,以依据输入图像的位置来调整校正量。常数 m 和调整系数 $m(x, y)$ 可以根据诸如光学系统的焦距、光圈值和被摄体距离的摄像条件而变化。在随后的描述中,可利用用调整系数 $m(x, y)$ 替换常数 m 。

[0028] 当由USM表示反锐化掩模时,校正分量 $h(x, y)$ 表示如下:

$$[0029] \quad h(x, y) = f(x, y) - f(x, y) * \text{USM}(x, y) \dots (2)$$

[0030] 其中, $\text{USM}(x, y)$ 是例如在USM的坐标 (x, y) 处的抽头值。

[0031] 作为另选方案,式(2)的右边可以改写为下式(3)。

$$[0032] \quad h(x, y) = f(x, y) * (\delta(x, y) - \text{USM}(x, y)) \dots (3)$$

[0033] 符号 $*$ 代表卷积(卷积积分,乘积和),符号 δ 代表积分为1的 δ 函数(理想点像)。这里, δ 函数是如下数据,其在抽头数等于 $\text{USM}(x, y)$ 的抽头数并且其值为中心值1以外的0。

[0034] 式(3)就计算方法而言不同于式(2)。然而,由于可以通过改写式(2)来获得式(3),因此式(3)代表与式(2)等价的处理。为此,以下使用式(2)来描述校正分量的生成。

[0035] 式(2)计算输入图像 $f(x, y)$ 与通过利用反锐化掩模USM使输入图像 $f(x, y)$ 反锐化而获得的图像之间的差分,并生成校正分量 $h(x, y)$ 。在一般的反锐化掩模处理中,反锐化掩模USM是诸如高斯过滤器、中值过滤器和移动平均过滤器等的平滑过滤器。

[0036] 例如,当对图3A的实线所示的输入图像 $f(x,y)$ 应用作为反锐化掩模USM的高斯过滤器时,利用图3A的虚线来例示通过使输入图像 $f(x,y)$ 反锐化获得的图像。因此,如式(2)所示,校正分量 $h(x,y)$ 是输入图像 $f(x,y)$ 与反锐化图像之间的差分。因此,从图3A的实线减去图3A的虚线得出代表校正分量的、图3B的实线。使用由此计算出的校正分量来计算式(1)以使图3A的实线所示的输入图像 $f(x,y)$ 锐化并获得图3A的短点线所示的图像。

[0037] 接下来,描述通过对由摄像光学系统(以下,也简称为光学系统)劣化的被摄体的光学图像进行反锐化掩模处理的图像锐化。当由 $I(x,y)$ 表示穿过光学系统前的原始图像(被摄体图像)并且由 $psf(x,y)$ 表示代表光学系统对点光源的响应的函数PSF(点扩展函数)时,通过光学系统形成的输入图像 $f(x,y)$ 表示为:

$$f(x,y) = I(x,y) * psf(x,y) \dots (4)$$

[0039] 如果光学系统为旋转对称的共轴光学系统,则与图像的中心部相对应的PSF为旋转对称。如上所述,通过应用旋转对称的USM使得锐化处理能够使输入图像 $f(x,y)$ 更接近图像的中心部处的原始图像 $I(x,y)$ 。由于校正量为拍摄图像与通过反锐化掩模处理而获得的反锐化图像之间的差分,因此更精确的校正需要使用形状上更类似于 $psf(x,y)$ 的反锐化掩模USM,而不使用简单的平滑过滤器。这是由于以下原因。例如,当由于具有旋转对称影响的球面像差使图像劣化时,诸如高斯过滤器的平滑过滤器具有不同于球面像差影响的PSF的分布形状。因此,在要降低旋转对称反锐化的影响时,使用光学系统的PSF使得能够更精确的校正。

[0040] 因此,本实施例使用PSF作为USM。为了简化描述,虽然图3A所示的输入图像 $f(x,y)$ 为对称形状图像,但是输入图像的形状也可以不对称。当形状非对称时,仍然可以利用旋转对称的USM来使原始图像 $I(x,y)$ 锐化,只要对应于 $psf(x,y)$ 和用在原始图像上的劣化函数为旋转对称即可。

[0041] 另一方面,在图像的中心部以外的位置处,即使在光学系统为旋转对称的共轴光学系统时,PSF通常为非对称。图4A和图4B示意性例示了xy平面上的光学系统的PSF:图4A例示了光轴上的PSF,图4B例示了光轴外的PSF。

[0042] 例如,如果原始图像(被摄体图像)是理想点像,式(4)示出了输入图像 $f(x,y)$ 为光学系统的PSF。当理想点像存在于与图4B相对应的视角中,并且由于光学系统的PSF而使原始图像(被摄体图像)劣化时,作为输入图像而获得的图像为具有图4B所示的形状的模糊图像。接下来,描述通过反锐化掩模处理对这种非对称模糊的图像进行锐化。

[0043] 图5A和图5B与图6A和图6B示意性示出了对非对称劣化图像的反锐化处理。图5A和图5B例示了利用旋转对称的反锐化掩模进行的反锐化处理,图6A和图6B例示了利用旋转非对称的反锐化掩模进行的反锐化处理。纵轴和横轴与图3A和图3B的相同。

[0044] 图5A和图6A的实线代表沿图4B的y方向的截面,虚线代表通过利用各个反锐化掩模使输入图像模糊而获得的图像。图5A和图5B的旋转对称的反锐化掩模为高斯过滤器。另一方面,图6A和图6B的旋转非对称的反锐化掩模为光学系统的PSF。

[0045] 图5B和图6B分别例示了作为通过利用各自的反锐化掩模使输入图像模糊而获得的图像与原始输入图像之间的差分的校正分量。为了便于说明,在图5A和图6A中,将Y轴的正侧设置为通过PSF模糊的输入图像具有延伸裙(skirt)的方向。

[0046] 在图5A中,反锐化图像与原始输入图像之间的差分在相对于实线的峰值位置的正

侧更小,而相对其在负侧更大。因此,图5B所示的校正分量在中心峰值位置的右侧(正侧)比左侧(负侧)具有更大的极值。

[0047] 如图5A和图5B的曲线之间的比较所示,利用校正量在图像的正侧更小而在裙不延伸的负侧更大的校正分量,无法通过式(4)代表的锐化来校正非对称模糊。例如,假定通过改变式(4)中的常数 m 而不改变反锐化掩模来调整校正量。当将大常数 m 用于充分校正输入图像的正侧时,输入图像的负侧被过度校正(下冲)。与此相反,当将常数 m 设置为使得适当地校正输入图像的负侧时,输入图像的正侧未被充分地校正。

[0048] 利用旋转对称的反锐化掩模对非对称模糊输入图像进行的反锐化掩模处理,难以改善非对称性并使图像锐化。当使用高斯过滤器以外的旋转对称的过滤器作为旋转对称的反锐化掩模时,会发生同样的问题。

[0049] 另一方面,反锐化图像与原始输入图像之间的差分在图6A的实线的峰值位置的正侧更大,而在负侧更小,这与图5A的关系相反。因此,图6B所示的校正分量在中心峰值位置的左侧(负侧)比右侧(正侧)具有更大的极值。

[0050] 应用于图6A的实线所示的输入图像的校正分量在大模糊存在的峰值位置的正侧具有大校正量,而在小模糊存在的负侧具有小校正量。

[0051] 由此使用非对称的反锐化掩模使输入图像的模糊和校正分量的校正量具有类似的分布,这降低了利用旋转对称的反锐化掩模发生的过度和不充分校正。此外,与旋转对称的反锐化掩模相比,使用非对称的反锐化掩模更不可能引起过度校正,因此可以将式(4)中的常数 m 设置得相对大,从而进一步降低非对称性和并图像锐化。为了更精确的校正,由于校正分量的校正量是模糊图像与原始图像之间的差分,因此由光学系统的PSF更模糊的部分需要通过反锐化掩模比其他部分更模糊。因此,为了更精确的校正,理想地使用光学系统的PSF作为反锐化掩模。

[0052] 在使用光学系统的PSF作为反锐化掩模中,由于光学系统的PSF依据诸如像高、焦距、 f 值和被摄体距离等的摄像条件而改变,因此需要根据摄像条件来生成用于锐化的反锐化掩模。为了根据依据摄像条件改变的PSF来改变反锐化掩模,可以想到从针对摄像条件的所有组合预先计算出的PSF当中选择合适的PSF,但是该方法需要大存储容量。

[0053] 本实施例近似于光学系统的PSF并且存储近似的PSF作为系数。本实施例然后在生成反锐化掩模时生成PSF,从而实现减少要存储的数据量并最大化锐化效果。可以通过利用连续函数及其系数来近似光学系统的PSF的第一方法,或通过利用分布(基准分布)作为基准和改变分布形状的过滤器来近似光学系统的PSF的第二方法,执行生成反锐化掩模的PSF的近似。

[0054] 第一方法首先针对各个摄像条件计算PSF。可以由光学系统的设计数据来计算PSF或者可以从通过拍摄例如图表获得的图像来估计PSF。接下来,计算出的PSF近似于计算其系数的适当函数。近似中使用的函数不是诸如高斯分布(正态分布)等的旋转对称函数,而是用于形成旋转非对称分布的函数。这是因为光学系统的PSF未必为旋转对称,并且PSF需要近似于能够具有旋转非对称分布的形状的函数并且按照其系数表示。用于提供近似的非对称函数例如为式(5)。式(5)中的 $F(x)$ 和 $G(x)$ 分别以式(6)和式(7)表示。

[0055] $PSF(x) = F(x) \times G(x) \quad \Delta \quad (5)$

$$[0056] \quad F(x) = \frac{1}{1 + \exp(-ax + \mu)} \quad \Lambda \quad (6)$$

$$[0057] \quad G(x) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}\sigma^2} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad \Lambda \quad (7)$$

[0058] 在此, a 、 μ 和 σ 是用于近似PSF的系数数据。式(5)是利用 a 为0时的平均值 μ 和标准偏差 σ 的正态分布,并且式(5)是 a 为非0时的非对称分布。因此,可以通过使用式(5)的近似来产生旋转对称分布和非旋转对称分布。通过调整能够改变分布形状的对称性的系数,可以生成用于光学系统的非对称像差的PSF。为了简化,作为一维形式的式(5)也适用于二维的情况。在二维情况下,例如, $F(x)$ 和 $G(x)$ 可以如下表示。

$$[0059] \quad F(x, y) = \frac{1}{1 + \exp\{(-ax + \mu) + (-by + \eta)\}} \quad \Lambda \quad (8)$$

$$[0060] \quad G(x, y) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}\sigma^2} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2 + (y-\eta)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad \Lambda \quad (9)$$

[0061] 可以通过调整 $F(x, y)$ 中的 a 和 b 来控制PSF的非对称性。图15A至图15D各自为使用式(8)和式(9)生成的PSF的分布形状(等高线图)的模式图。图15A示出了可以利用式(8)中的 $a=0$ 和 $b=0$ 生成的旋转对称分布形状。图15B示出了可以通过将式(8)中的 a 和 b 设置为非0值获得的非对称分布。如图15C和图15D所示,可以通过重写式(9)来在水平方向(x 轴方向)和垂直方向(y 轴方向)上改变分布的半径如下。

$$[0062] \quad G(x, y) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}\sigma^2} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} - \frac{(y-\eta)^2}{2\xi^2}\right\} \quad \Lambda \quad (10)$$

[0063] 在式(10)中,如图15C所示,设置 $\sigma > \xi$ 使得在 X 轴方向上比在 Y 轴方向上分布延伸更远;如图15D所示,设置 $\sigma < \xi$ 使得在 Y 轴方向上比在 X 轴方向上分布延伸更远。使用式(5)、式(8)和式(10)的拟合能够针对如图15A至15D所示的各种形状分布计算系数数据。

[0064] 作为另选方案,可以使用正交化多项式代替诸如式(5)的函数作为模型来提供拟合,并使用由此计算出的系数。然后,针对各摄像条件计算出这些系数 a 、 b 、 μ 、 η 和 σ ,并将这些系数与摄像条件相关联。

[0065] 图14是生成的系数组的模式图。图14列出了针对特定焦距、 f 值和被摄体距离的不同像高的系数。虽然图14列出了像高的系数,但是可以针对各组焦距、 f 值和被摄体距离获得相似的模式图。输出唯一指定摄像条件的各组系数。

[0066] 第二方法生成了与原始PSF一致的基准分布以及要应用于基准分布的过滤器,该过滤器被应用于基准分布以改变其分布形状。例如,为了以在摄像条件下拍摄的图像的任意像高生成PSF,将通过以预定抽头数对轴上的PSF进行采样获得的数据设置为基准分布,针对像高存储应用于采样的、轴上的PSF的过滤器。

[0067] 第一方法存储用于改变分布形状的多个系数(例如 a 和 b),如图14所示,然而第二

方法存储由多个系数构成的过滤器。例如,当具有对称分布的数据(过滤器)与非对称过滤器卷积时,具有对称分布的原始数据变为非对称。应用不同的过滤器生成了不同的数据分布,可以通过该应用来近似PSF。以这种方式,第二方法输出了针对改变基准分布的形状的过滤器的系数数据。

[0068] 基准分布和应用于基准分布的过滤器可以是一维或二维,过滤器可以包括多个过滤器。例如,当具有图15A所示分布的过滤器针对X轴方向上的各行与在X轴方向上布置的 $[0.25 \ 0.5 \ 0.25]$ 的一维过滤器(1×3)卷积时,如图15D所示形成在X轴方向上分布的形状。当图15A中的过滤器针对Y轴方向上的各列与Y轴方向上布置的 $[0.25 \ 0.5 \ 0.25]$ 的一维过滤器(3×1)卷积时,如图15C所示形成在X轴方向上分布的形状。当图15A中的过滤器针对Y轴方向上的各列与 $[0.1 \ 0.5 \ 0.4]$ 的非对称过滤器(3×1)卷积时,如图15B所示形成关于原点(此处,X和Y都为0)不对称分布的形状。

[0069] 上述为系数数据的生成方法,在本实施例中描述从系数数据生成PSF的方法。

[0070] 接下来,描述在稍后描述的各个实施例中使用的过滤器和校正信号,以及根据各个实施例的反锐化掩模处理。

[0071] 在实施例1中,使用从式(1)和式(2)导出的下式来提供锐化。

[0072] $g(x,y) = f(x,y) + m \times \{f(x,y) - f(x,y) * USM(x,y)\} \dots (11)$

[0073] 在实施例2中,使用从式(1)和式(3)导出的下式来提供锐化。

[0074] $g(x,y) = f(x,y) + m \times f(x,y) * \{\delta(x,y) - USM(x,y)\} \dots (12)$

[0075] 在实施例3中,使用从式(12)变换的下式来提供锐化。

[0076] $g(x,y) = f(x,y) * \{\delta(x,y) + m \times (\delta(x,y) - USM(x,y))\} \dots (13)$

[0077] 式(13)可以变换为下式。

[0078] $g(x,y) = f(x,y) * \{(1+m) \times \delta(x,y) - m \times USM(x,y)\} \dots (14)$

[0079] 在实施例3中,可以使用式(13)提供锐化,但是也可以使用式(14)提供锐化。

[0080] [实施例1]

[0081] 图1是根据实施例1的摄像装置100的框图。在摄像装置100中,将对输入图像进行锐化处理(图像处理方法)的程序安装在存储器120中,并由摄像装置100的图像处理器104(图像处理装置)执行锐化处理。存储器120由ROM和硬盘驱动器构成,但是稍后描述的记录器108可以用作为存储器。

[0082] 摄像装置100包括摄像光学系统101(镜头)和摄像装置主体(照相机主体)。摄像光学系统101包括孔径光阑101a和聚焦透镜101b,并且与摄像装置主体(照相机主体)一体化构成。然而,本实施例不限于此,还可以适用于包括安装有可更换摄像光学系统101的摄像装置主体的摄像装置。

[0083] 图像传感器102是诸如CCD(charge coupled device,电荷耦合器件)或CMOS(complementary metal-oxide semiconductor,互补金属氧化物半导体)的二维图像传感器。图像传感器102对经由摄像光学系统101获得的被摄体图像(成像光)进行光电转换并生成图像。图像传感器102将被摄体图像光电转换为模拟信号(电信号)。A/D转换器将该模拟信号转换为随后被输入到图像处理器104的数字信号。

[0084] 图像处理器104是对该数字信号提供预定反锐化掩模处理以及预定处理的图像处理单元。在本实施例中,摄像装置的图像处理器提供锐化处理,但是个人计算机(PC)或作为

图像处理装置的专用装置也可以提供锐化处理。

[0085] 图像处理器104从状态检测器107获取摄像装置100的摄像条件信息。摄像条件信息是孔径、被摄体距离和变焦镜头的焦距的信息。状态检测器107直接从系统控制器106获取摄像条件信息,但是不限于此。例如,还可以从摄像光学系统控制器105获取摄像光学系统101的摄像条件信息。

[0086] 随后,图像处理器104对输入图像提供锐化处理。图像处理器104包括校正信号生成器(校正信号生成单元)202、校正信号应用器(校正信号应用单元)203、系数信息获取器(校正信息获取单元)204以及PSF生成器(PSF生成单元)205。然而,当图像处理器104用作图像处理装置时,摄像装置100的系统控制器106可以将像差信息与图像相关联地存储。

[0087] 以预定格式将由图像处理器104处理的输出图像存储在记录器108中。记录器108还用作存储摄像光学系统101的摄像条件和生成近似摄像光学系统的PSF的PSF所需的系数数据的存储器。

[0088] 图像显示单元112能够显示在锐化处理之后被提供了预定显示处理的图像。图像显示单元112可以显示为了实现快速显示而被提供了简化处理的图像。

[0089] 通过系统控制器106控制这一系列处理。系统控制器106被构造为例如微型计算机和CPU(处理器)。基于来自系统控制器106的命令,通过摄像光学系统控制器105控制摄像光学系统101的机械驱动。

[0090] 摄像光学系统101可以包括诸如低通过滤器和红外截止过滤器的光学元件。在使用对诸如低通过滤器的PSF特性有影响的光学元件的情况下,在制造反锐化掩模时就考虑到光学元件的影响,使得能够更精确地进行图像锐化处理。在使用对作为光谱波长的PSF的积分值的RGB信道(RGB颜色分量)中的各个的PSF(特别是R信道的PSF)有影响的红外截止过滤器的情况下,期望在制造反锐化掩模时就考虑到光学元件的影响。

[0091] 接下来,参照图2描述根据本实施例的图像处理方法。图2是例示本实施例的整体处理的流程图,其中“S”代表“步骤(过程)”。图2所示的流程图可实现为使计算机执行各个步骤的功能的程序(图像处理程序)。以相同的方式也可以实现其他的流程图。基于来自系统控制器106的命令,由图像处理器104执行图2中的各个步骤。

[0092] 首先,获取图像作为输入图像(S11),随后系数信息获取器204从记录器108获取与输入图像的摄像条件相对应的摄像光学系统的PSF(获取步骤S12)。

[0093] 接下来,PSF生成器205基于系数数据来生成PSF(生成步骤S13),并且校正信号生成器202使用生成的PSF作为反锐化掩模来生成校正信号(生成步骤S14)。接下来,校正信号应用器203通过使用在S14中生成的校正信号,对输入图像提供锐化处理(锐化步骤S15)。稍后将描述步骤S15中的处理。

[0094] 图8A、图8B和图8C是例示根据本实施例的处理的详情的流程图。基于来自系统控制器106的命令,由图像处理器104执行图8A、图8B和图8C中的各个步骤。

[0095] 在图8A中,首先,图像处理器104获取图像作为输入图像(S11)。用作输入图像的颜色分量数据是例如去马赛克后的G信道的图像数据。然而,颜色分量数据可以是R信道或B信道的图像数据、全部RGB信道的图像数据、或去马赛克前的图像数据。

[0096] 图9是典型的拜耳排列的模式图。输入图像具有针对各个颜色分量的离散有序排列的图像数据。例如,可以对作为RGB的各个信道的数据的输入图像或作为特定信道的数据

的输入图像提供处理。作为另选方案,如图9所示,可以将G信道分成G1和G2,这总共提供了4个信道。利用上述将G信道分成2个的结构,针对R、G1、G2和B中的各个的图像数据具有相同的分辨率,这有助于图像处理和数据处理。可以对作为校正对象的颜色分量插值的图像提供锐化。

[0097] 通过上述两个方法提供步骤S112中的系数数据的获取和步骤S113中的PSF的生成。

[0098] 在使用连续函数及其系数来近似和生成的第一方法中,在S112中,系数信息获取器204从记录器108获取生成与输入图像相对应的图像的PSF所需的系数数据。系数数据涉及PSF的分散和对称性,依据摄像条件获取系数。

[0099] 在使用式(5)由原始PSF生成系数数据的情况下,式(6)中的系数 a 影响分别的对称性。如果摄像光学系统是旋转对称的共轴光学系统,则与图像的中心相对应的PSF为旋转对称,因此与图像的中心相对应的系数 a 为0或接近0。另一方面,由于诸如在某些情况下的彗差的非对称像差而导致与图像的周边部相对应的PSF为非对称的PSF,因此原始PSF的非对称程度越大,则相应的系数的绝对值越大。

[0100] 在式(7)中,系数 σ 影响分布的分散,典型地,在摄像光学系统具有越好性能的图像中心附近,系数 σ 越小。另一方面,典型地,与图像的中心附近相比,摄像光学系统很可能在图像的周边部具有退化的性能。在这种情况下,原始PSF很可能具有更大的分散值,因此与图像的中心附近的系数 σ 相比,系数 σ 很可能在图像的周边部更大。

[0101] 本实施例描述了使用式(5)生成系数数据的情况,但是也可以使用式(5)以外的函数来生成系数数据,只要该函数能够提供与影响式(5)中的分布的分散的系数 σ 和影响其非对称性的系数 a 相对应的系数即可。

[0102] 可以将间接影响分布的分散和非对称性的系数应用于本发明。例如,可以使用埃米特(Hemite)多项式和勒让德(Legendre)多项式代替式(5)中的函数,以通过与系数数据的计算方法相同的方法来近似原始PSF,可以使用至特定次数为止的系数作为本发明的系数数据。

[0103] 接下来,PSF生成器205基于在步骤S112中获取的系数数据来生成PSF(S113)。基于系数数据和用于计算系数数据的函数来生成PSF,在本实施例中PSF被用作反锐化掩模。

[0104] 接下来,参照图7A和图7B描述反锐化掩模。依据摄像光学系统的像差特性和锐化的要求精度,来确定反锐化掩模的抽头数。图7A中的反锐化掩模是例如 11×11 个抽头的二维掩模。图7A省略了各个抽头的值(过滤器系数),图7B例示了反锐化掩模的截面。在图7B中,横轴代表抽头,纵轴代表抽头处的值(过滤器系数),虚线代表从系数数据生成的反锐化掩模的分布。

[0105] 在图7B中,符号 \times 表示与生成的PSF的抽头相对应的值,对在步骤S113中生成的反锐化掩模以被视为数字数据的方式提供离散化和量子化处理。在该处理中,由于可以由系数来建立连续函数以生成反锐化掩模,因此可以采用可变抽头数和可变节距。图16例示了PSF的截面图。为了在区域A中重新生成PSF的一部分作为反锐化掩模,可以通过在比区域A稍大的区域B中提供拟合来生成系数。以这种方式,当针对例如不同的可更换镜头改变抽头数和节距时,可以改变反锐化掩模以包括更大的区域。

[0106] 作为另选方案,当抽头数、节距、PSF生成的精度等被预先确定并不被改变时,可以

根据相应的光学系统和传感器在区域中生成反锐化掩模。由于要生成的反锐化掩模的一个抽头的尺寸基本上需要与获取图像的图像传感器的一个像素的尺寸一致,因此生成反锐化掩模使得其抽头尺寸等于可以唯一确定反锐化掩模时的传感器的像素尺寸。由于在本处理中,使用生成反锐化过滤器的更大数量的系数导致改善锐化的校正精度,因此可以根据要求的精度来提供系数的生成和PSF生成。

[0107] 接下来,仅对使用改变基准分布的形状的过滤器来提供近似和生成的第二方法与第一方法的不同之处S112和S113进行描述,第二方法与第一方法具有相同的基本流程。在S112中,通过第二方法获取系数数据,获取改变基准分布的形状的过滤器作为系数数据。同时,可以从记录器108获取将获取的系数数据(过滤器)应用于的基准分布。作为另选方案,可以预先保持基准分布。基准分布不必不同,但是可以在不同的摄像条件之间共享基准分布,并且可以针对摄像条件的一部分(例如,相同的焦距、f值和被摄体距离)来共享基准分布。

[0108] 接下来,在S113中,从系数数据和基准分布来生成PSF。第二方法使基准分布与生成近似原始PSF的PSF的系数数据卷积,并使用生成的PSF作为反锐化掩模。可以提供两次或更多次系数数据的卷积,并且可以通过使基准分布与多个系数数据卷积或通过使基准分布与各个系数数据卷积并将结果分布相加在一起,来生成PSF。

[0109] 可以通过使用第一方法和第二方法中的任一个来提供S112和S113中的处理。由于任一方法获取系数数据并从系数数据生成近似摄像光学系统的原始PSF的PSF,因此与存储与摄像光学系统的PSF相对应的数据的情况相比,使用该方法能够实现存储容量大幅下降,同时维持校正精度。

[0110] 例如,如图7A所示,针对 11×11 个抽头需要存储121个数据,因此针对RGB的三个颜色需要存储363个数据。另一方面,当存储相同的数据作为系数时,当采用式(8)和式(9)时,需要存储5个系数和针对RGB的15个系数。因此,如图7A所示,存储系数代替存储抽头处的值能够实现大幅下降。

[0111] 由于PSF随着像高而变化,因此期望反锐化掩模依据像高变化以提高校正精度,但是记录器108中的记录数据导致成本增加。为此,在本实施例中,为了使得反锐化掩模能够随着像高变化,针对各个区域,基于至少2个像高的PSF的信息,将输入图像划分成多个区域并执行插值处理,从而生成中间反锐化掩模。稍后在S115中描述插值方法的详情。

[0112] 接下来,描述将输入图像划分成区域。图10是输入图像的模式图,其中输入图像的长边方向和短边方向分别被认为是X方向和Y方向,图像的中心被认为是坐标的原点。在本实施例中,如图10所示,作为示例,将输入图像划分成8个区域A至H,针对各区域的周边部和原点来获取点扩展函数的信息。区域的分割数不限,可以根据例如摄像条件和摄像光学系统的光学特性,或者记录器的数据容量,来确定区域的分割数。

[0113] 接下来,校正信号生成器202使用在S113中生成的PSF来提供滤波处理(S114)。在本实施例中,PSF被用作反锐化掩模,并对输入图像提供与反锐化掩模的卷积处理(卷积积分、乘积和)。由于在S113中生成的PSF的数量总共为9个(包括8个周边区域和原点),因此生成9个与相应的反锐化掩模模糊的输入图像(即,通过反锐化掩模过滤的图像数据)。

[0114] 接下来,校正信号生成器202使用由在S114中生成的反锐化掩模过滤的多个图像数据,来提供像高方向上的插值处理,并且生成由反锐化掩模过滤的一个图像数据(插值步

骤S115)。

[0115] 接下来,参照图11描述像高方向上的插值处理。在图10中,针对原点的区域C和区域A的方向分别被认为是正X方向和正Y方向,因此图11例示了X轴和Y轴两者都为正的输入图像的第1象限。在图11中,P0表示原点,P1、P2和P3分别表示区域A、区域B和区域C的周边图像点,PSF生成器205在步骤S113中针对图像点P0、P1、P2和P3中的各个生成PSF。

[0116] 在图11中,白点例示的点Pn代表图像中的任意点(图像点),区域B中的点Pn使用通过基于点P0和点P2的PSF的信息、在S114中生成的反锐化掩模过滤的输入图像的数据。同样地,区域A和区域C中的点Pn分别通过与点P0和点P1、点P0和P3的像高相对应的反锐化掩模,来使用S114中过滤的输入图像的数据。

[0117] 接下来,描述在区域中按2个像高生成与在任意点Pn处的过滤数据相对应的插值数据。如图11所示,区域B中的点Pn在距原点P0的距离d0和距点P2的距离d2处。当由F0和F2分别表示基于与点P0和点P2相对应的PSF、在S114中过滤的输入图像时,由下式来代表与任意点Pn相对应的插值数据Fn。

[0118] $F_n = F_0 \times (1 - d_0) + F_2 \times d_2 \dots (15)$

[0119] 这种插值处理生成在各个区域内的任意像高的插值数据,并且在S114中基于对输入图像通过反锐化掩模进行过滤而生成的多个图像数据,来生成一个图像数据。由此生成的图像数据少于根据像高使用不同的PSF通过反锐化掩模过滤的输入图像的数据,从而导致提高处理速度。虽然与通过使用预先为精细设置的像高和图像的位置准备的PSF的反锐化掩模过滤的情况相比,精度稍微退化,但是插值处理能够实现大幅降低数据量和提高处理速度。

[0120] 虽然式(15)用于第1象限的区域B,但是对于其他区域和其他象限的相似计算能够生成插值数据。不仅可以通过式(15),而且也可以通过2次曲线来执行像高插值,或者通过常数乘法来对各个过滤的输入图像进行加权。

[0121] 接下来,校正信号生成器202基于在S115中生成的插值数据来生成校正信号(S116)。在本实施例中,由式(2)代表校正分量并基于输入图像与在S115中生成的插值数据之间的差分来生成校正分量。

[0122] 接下来,校正信号应用器203对输入图像应用在S116中生成的校正信号并使图像锐化(S117)。在本实施例中,校正信号的应用对应于式(1),式(1)中,基于图像噪声和校正锐化的过度与不充分来确定常数m。由此确定的常数m、在S116中生成的校正信号和输入图像用于提供锐化处理。

[0123] 针对正常数m将式(1)表示为第1项和第2项的相加,针对负常数m将式(1)表示为第1项和第2项的相减。因此,当在本实施例的锐化处理中,对输入图像应用校正信号时,依据常数m的符号,应用表示为相加或相减。然而,由于相加和相减被理解为仅符号的差异,本质上是相同的,因此根据常数m的符号,计算可以为相加或相减。在本实施例中,由于生成的摄像光学系统的PSF被用作反锐化掩模,因此仍然可以精确地对由于摄像光学系统的非对称PSF导致输入图像的周边部退化的输入图像进行校正和锐化。

[0124] 在本实施例中,对过滤后的图像提供像高方向上的插值,但是也可以对校正信号(图8B)和锐化后的图像(图8C)提供像高方向上的插值。

[0125] 图8B例示了在生成校正信号之后在像高方向上的插值处理。校正信号生成器202

在S124中从通过反锐化掩模对输入图像进行过滤获得的过滤数据,来生成校正信号(S125)。通过式(2)由输入图像与过滤后的数据之间的差分,来生成校正信号。在S124中,以通过反锐化掩模进行过滤生成的数据量,生成这些校正信号。

[0126] 接下来,校正信号生成器202基于S125中生成的校正信号,提供像高方向上的插值处理(S126)。对不同于S114中的插值处理的插值对象进行插值处理,但是处理的流程基本与S115中的插值处理的流程相同。在S115中,在像高方向上,对与作为反锐化掩模的、在S113中生成的PSF卷积的输入图像的数据进行插值。另一方面,在S126中,与反锐化掩模卷积的输入图像的数据、与输入图像之间的差分被用作校正信号,利用校正信号进行像高方向上的插值处理。S115中的处理在像高方向上对式(2)中的 $f(x,y)*USM$ 进行插值,然而S126中的处理在像高方向上对 $h(x,y)$ 进行插值。

[0127] 因此,将S115中的 $f(x,y)*USM$ 的数据替换为 $h(x,y)$ 的数据,来提供S126的插值处理。通过校正信号应用器203对输入图像应用由此插值的校正信号(S127)。S127中校正信号的应用与S117中的处理相同。

[0128] 图8C例示了对校正信号应用于的输入图像在像高方向上的插值。校正信号应用器203基于在S135中生成的校正信号对输入图像提供锐化处理(S136)。在S135中,从在S133中生成的PSF中生成的多个反锐化掩模的量中,生成校正信号。S136的锐化处理基于式(1)对输入图像应用在S135中生成的校正信号。

[0129] 接下来,在像高方向上,对通过在S136中将校正信号应用于输入图像而生成的多个锐化图像进行插值(S137)。对不同于S115或S126中的插值处理的插值对象提供插值处理,但是处理的流程基本与S115或S126中的插值处理的流程相同。S126中的处理在像高方向上对式(1)中的 $h(x,y)$ 进行插值,然而S137中的处理在像高方向上对 $g(x,y)$ 进行插值。因此,将S126中的 $h(x,y)$ 的数据替换为 $g(x,y)$ 的数据,来提供S137的处理。

[0130] [实施例2]

[0131] 根据实施例2的摄像装置具有与根据实施例1的摄像装置相同的结构。实施例2与实施例1的不同之处在于:使用图12所示的图像处理方法代替图8A至图8C所示的图像处理方法。图12是根据实施例2的图像处理方法的流程图,基于来自系统控制器106的命令,由图像处理器104执行各个步骤。

[0132] 本实施例使用不同于实施例1的校正信号的生成方法。S211、S212和S213中的处理与S111、S112和S113中的处理相同。虽然实施例1基于式(2)生成校正信号,但是本实施例基于式(3)生成校正信号。为了生成校正信号,根据本实施例的校正信号生成器202首先计算理想点像与由PSF生成器205生成的PSF之间的差分,并基于该差分信息来生成过滤器(S214)。接下来,校正信号生成器202使输入图像与生成的过滤器卷积以生成校正信号(S215)。S216、S217和S218中的处理与S115、S116和S117中的处理相同。以这种方式,能够基于式(12)执行锐化处理。

[0133] 如实施例1所述,可以对校正信号提供像高方向上的插值,或者对利用校正信号锐化的输入图像提供像高方向上的插值。

[0134] [实施例3]

[0135] 根据实施例3的摄像装置具有与根据实施例1的摄像装置相同的结构。实施例3与实施例1的不同之处在于:使用图13所示的图像处理方法代替图8A至图8C所示的图像处理

方法。图13是根据实施例3的图像处理方法的流程图,基于来自系统控制器106的命令,由图像处理器104执行各个步骤。

[0136] 本实施例使用不同于实施例1和实施例2的校正信号的生成方法和校正信号的应用方法,本实施例基于式(13)生成校正信号并对输入对象应用生成的校正信号。因此,图13中的流程图与实施例1和实施例2的流程图的相同之处在于:在S314中生成校正信号和在S315中应用校正信号。S311、S312和S313中的处理与S111、S112和S113中的处理相同。

[0137] 本实施例使用在S313中生成的PSF作为反锐化掩模以生成与式(13)中的波形括号中的项相对应的校正信号(S314)。在本实施例中,由校正信号生成器202生成的校正信号等价于过滤器。接下来,校正信号应用器203使输入图像与在S314中生成的校正信号卷积以使图像锐化(S315)。在根据本实施例的锐化处理中,通过使图像与作为反锐化掩模的、基于摄影光学系统的PSF生成的过滤器(校正信号)一度卷积,来提供锐化。

[0138] [其他实施例]

[0139] 还可以通过读出并执行记录在存储介质(也可更完整地称为“非临时性计算机可读存储介质”)上的计算机可执行指令(例如,一个或更多个程序)以执行上述实施例中的一个或更多个的功能、并且/或者包括用于执行上述实施例中的一个或更多个的功能的一个或更多个电路(例如,专用集成电路(ASIC))的系统或装置的计算机,来实现本发明的实施例,并且,可以利用通过由系统或装置的计算机例如读出并执行来自存储介质的计算机可执行指令以执行上述实施例中的一个或更多个的功能、并且/或者控制一个或更多个电路执行上述实施例中的一个或更多个的功能的方法,来实现本发明的实施例。计算机可以包括一个或更多个处理器(例如,中央处理单元(CPU),微处理单元(MPU)),并且可以包括分开的计算机或分开的处理器的网络,以读出并执行计算机可执行指令。计算机可执行指令可以例如从网络或存储介质被提供给计算机。存储介质可以包括例如硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、分布式计算系统的存储器、光盘(诸如压缩光盘(CD)、数字通用光盘(DVD)或蓝光光盘(BD)TM)、闪存设备以及存储卡等中的一个或更多个。

[0140] 虽然参照示例性实施例对本发明进行了描述,但是应当理解,本发明并不限于所公开的示例性实施例。所附权利要求的范围应当被赋予最宽的解释,以便涵盖所有这类变型例以及等同的结构和功能。

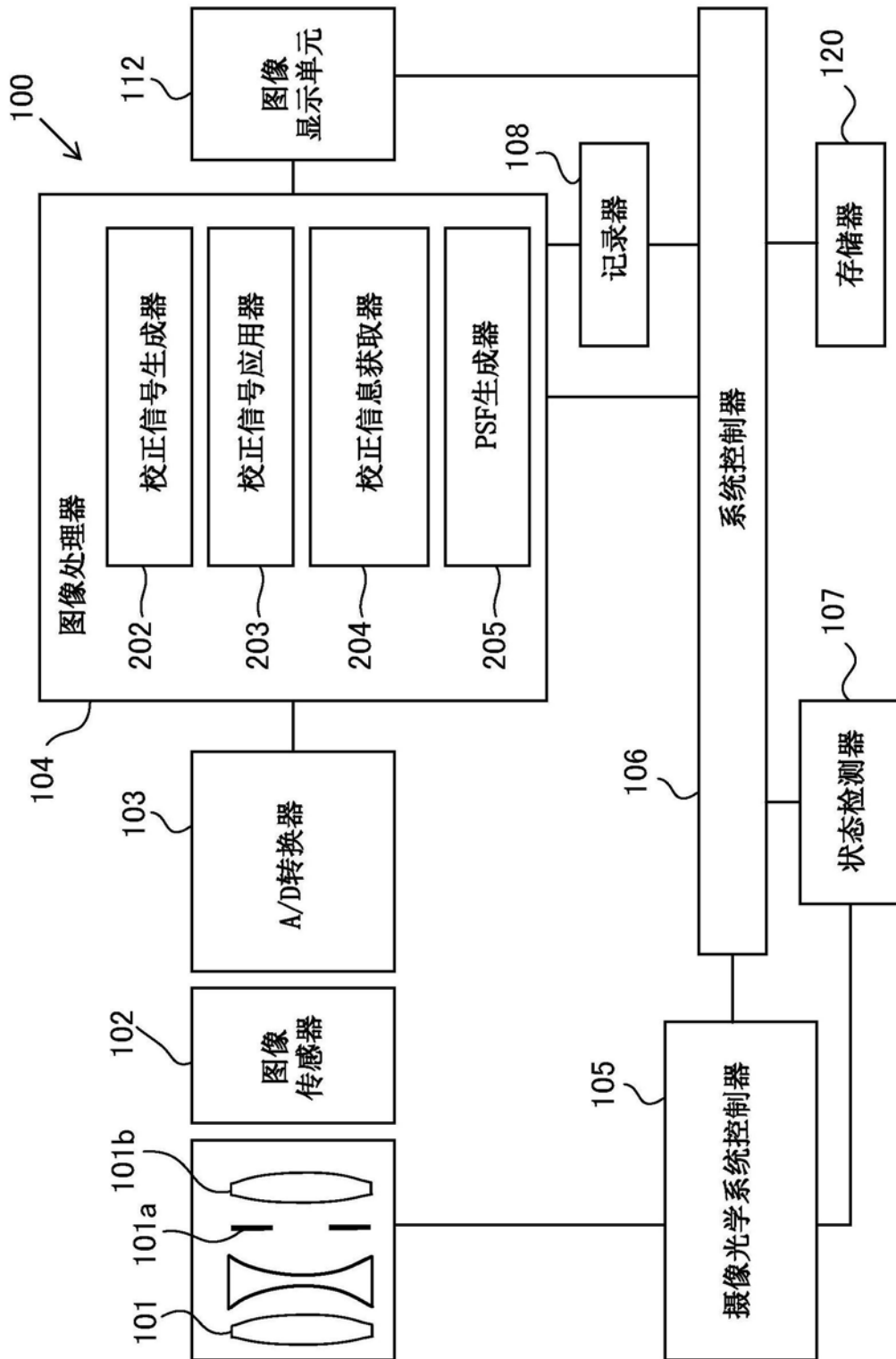


图1

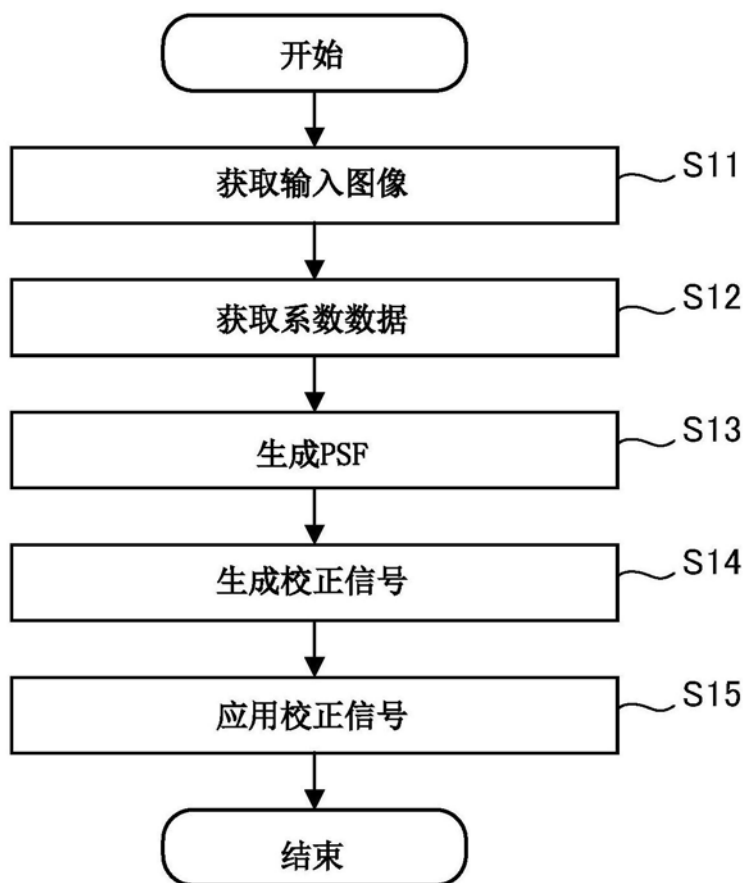


图2

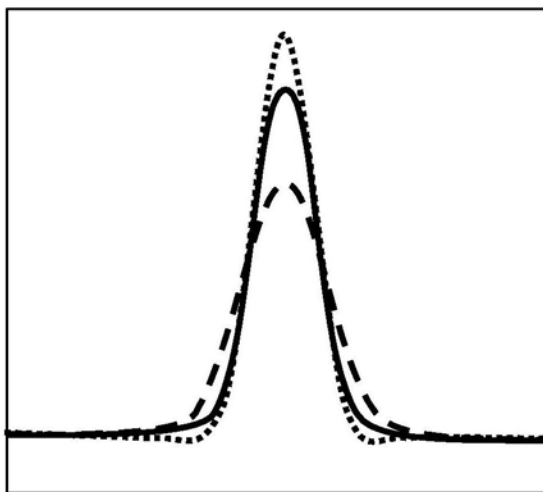


图3A

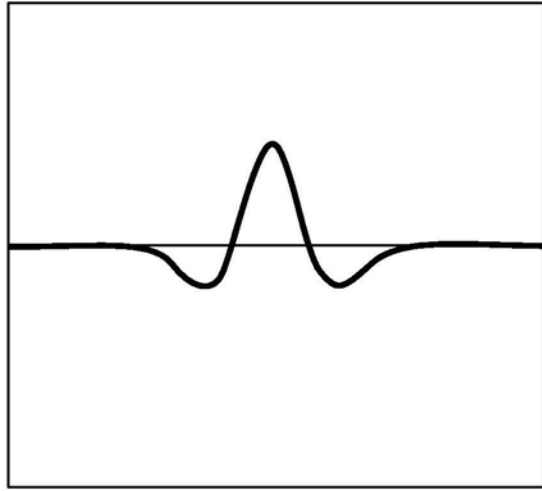


图3B

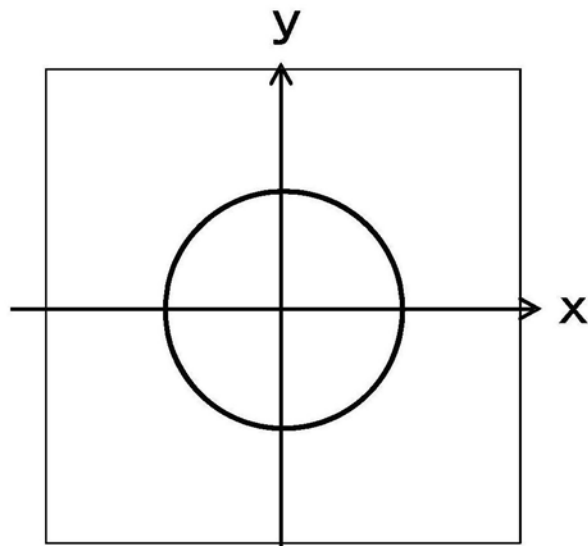


图4A

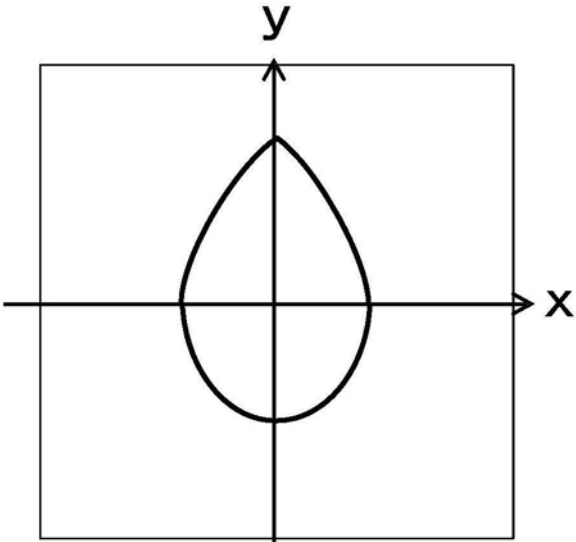


图4B

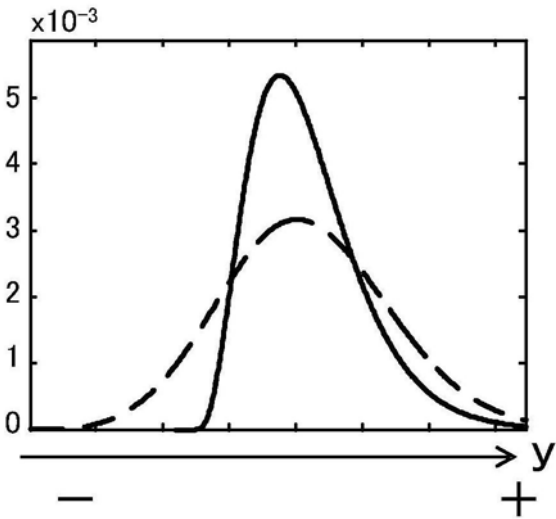


图5A

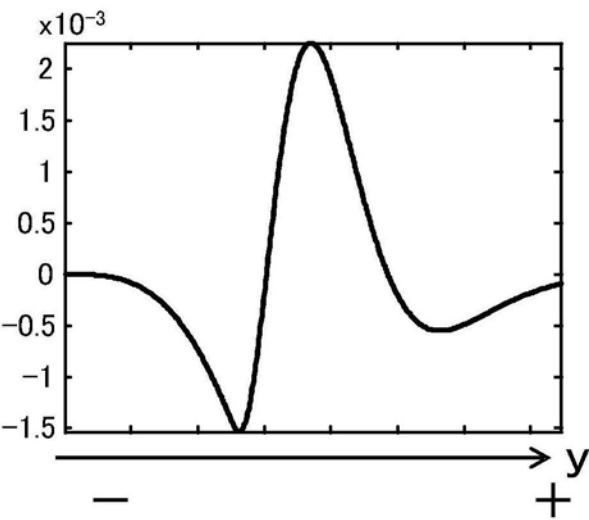


图5B

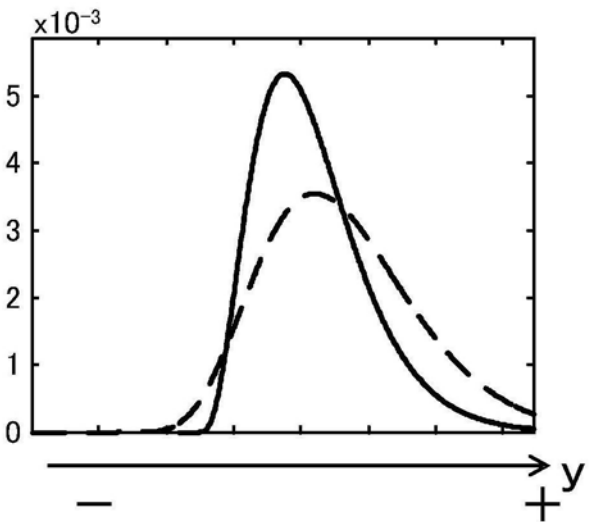


图6A

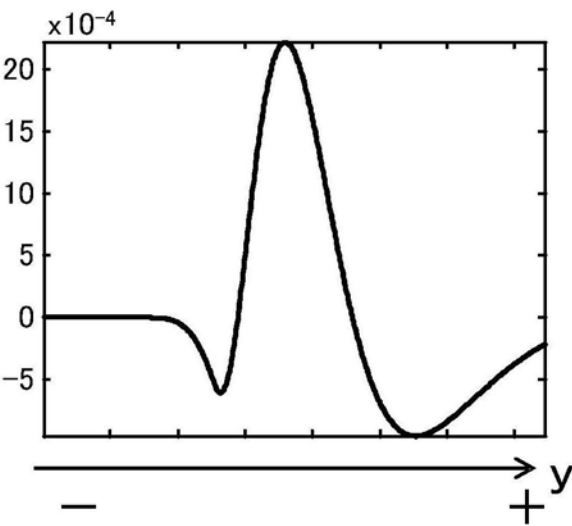


图6B

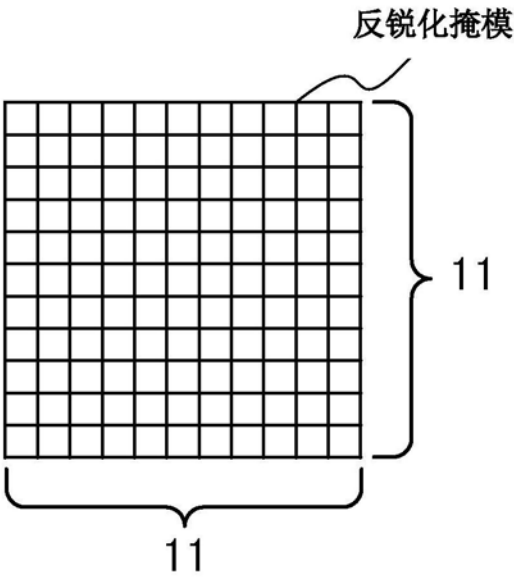


图7A

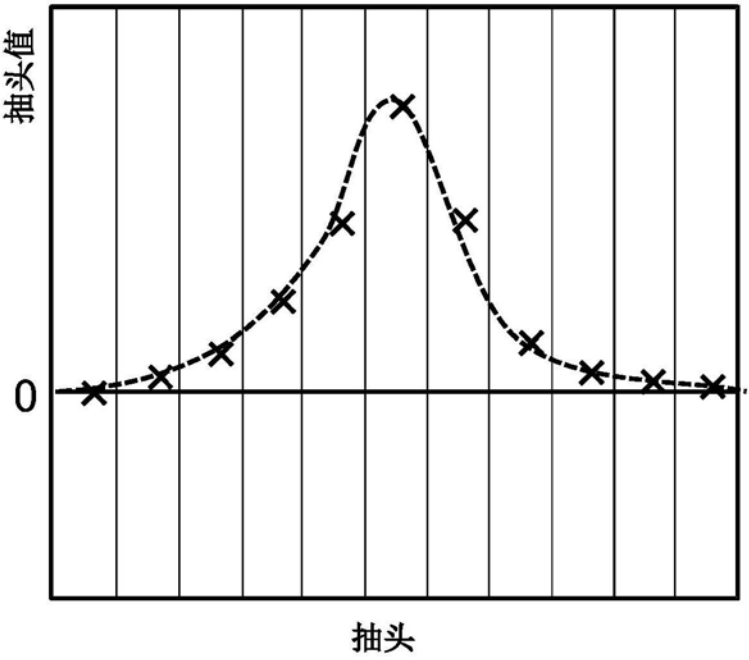


图7B

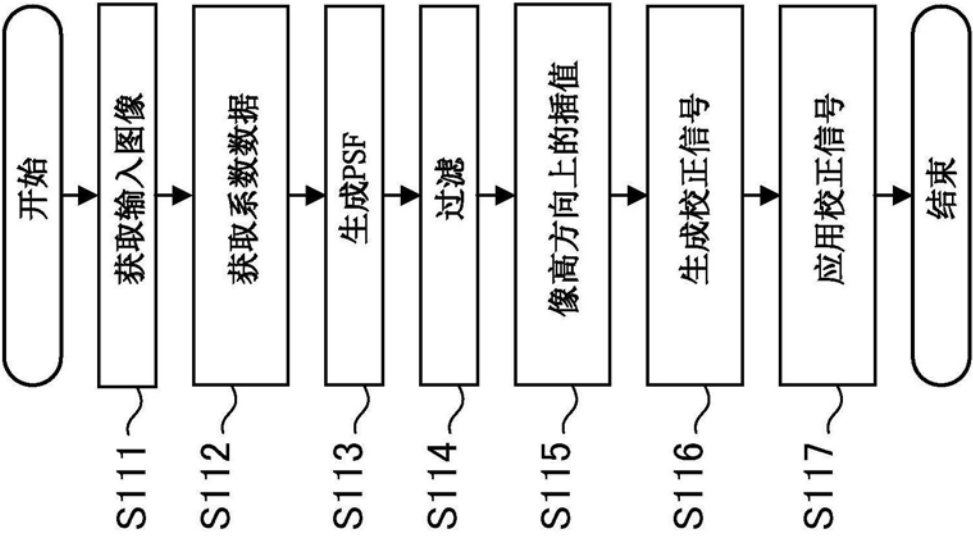


图8A

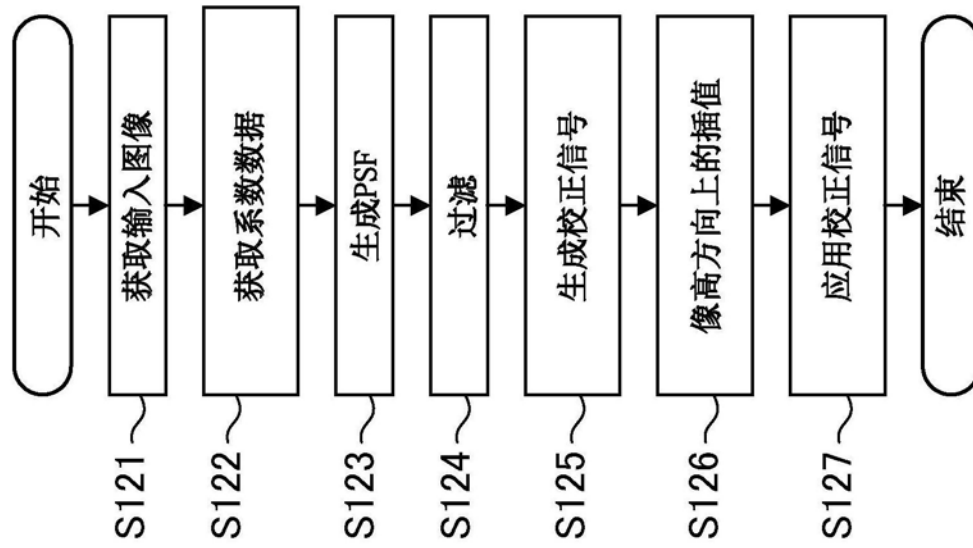


图8B

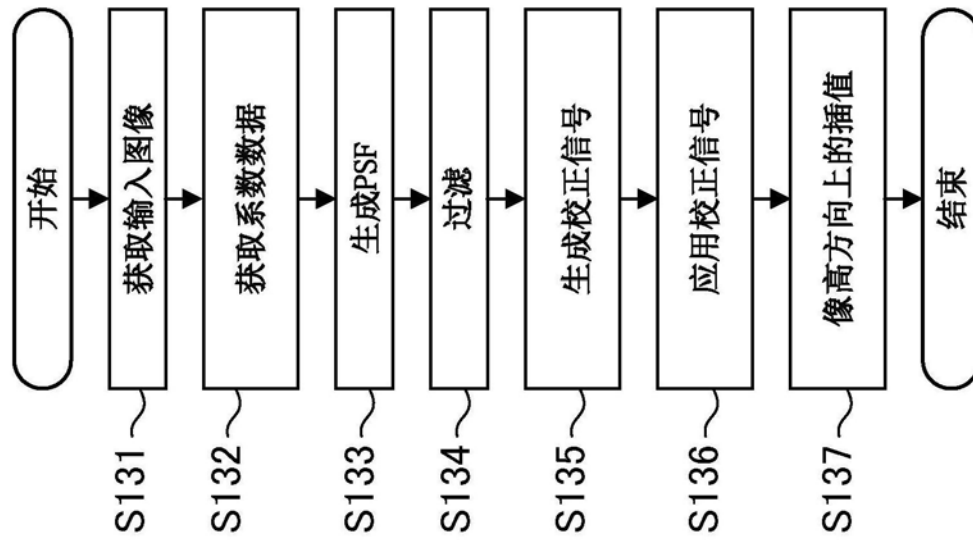


图8C

G1	B	G1	B
R	G2	R	G2
G1	B	G1	B
R	G2	R	G2

图9

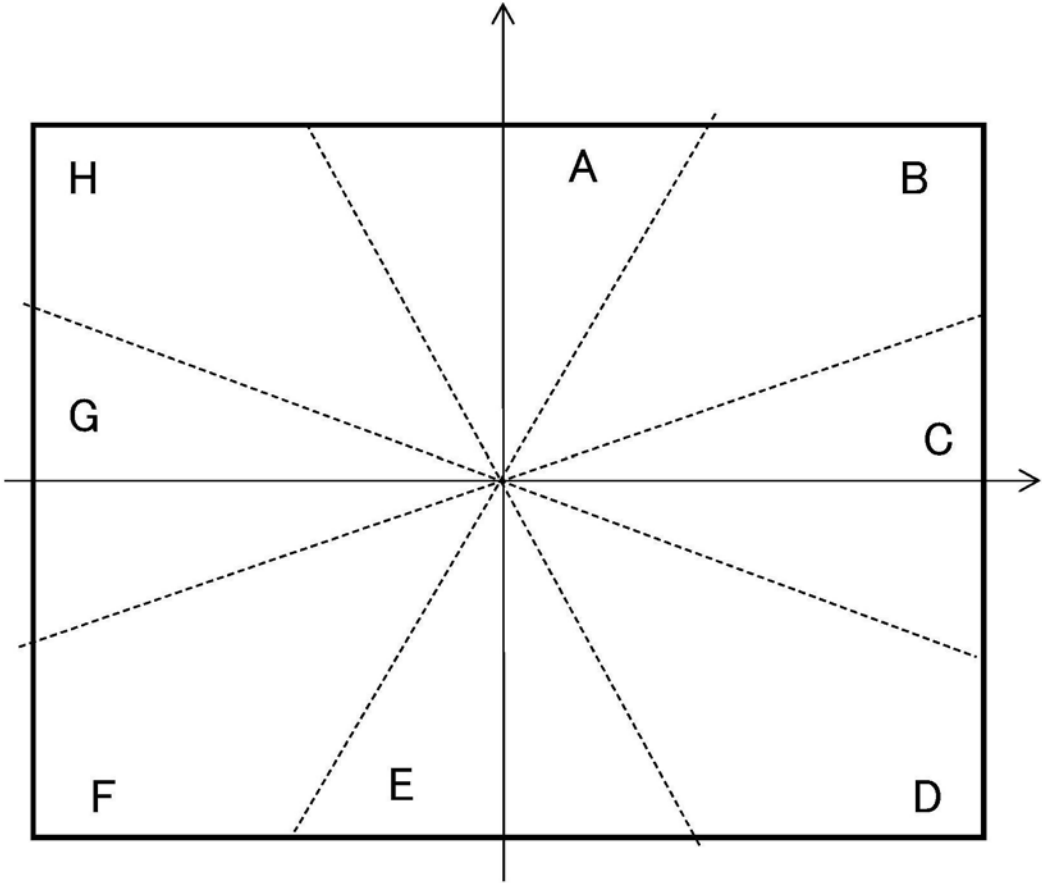


图10

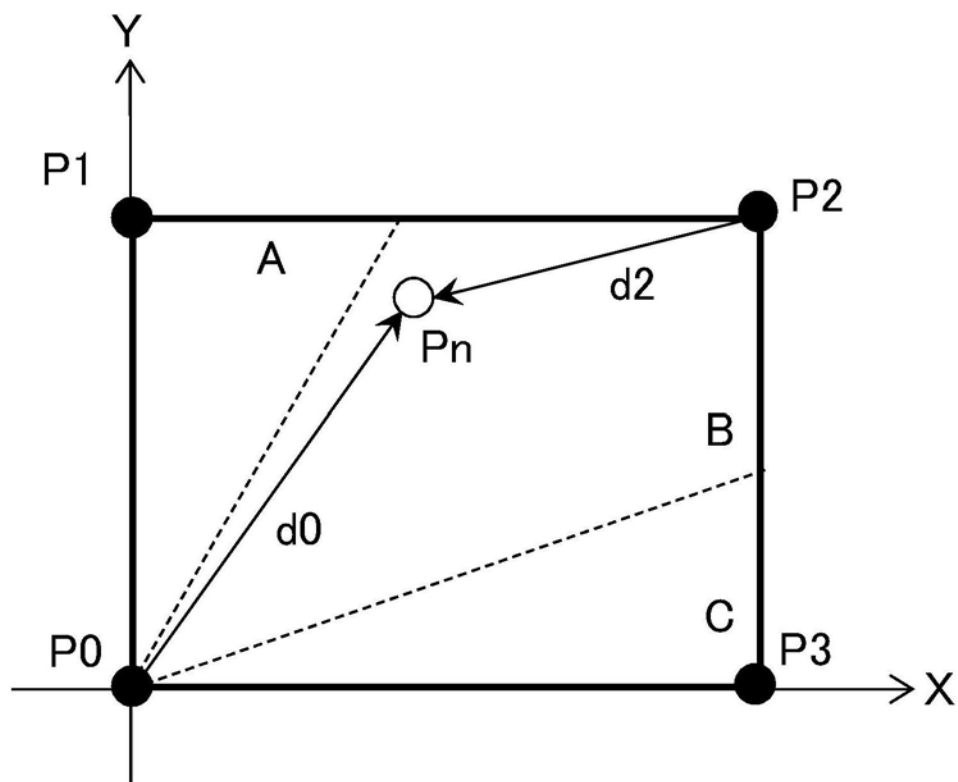


图11

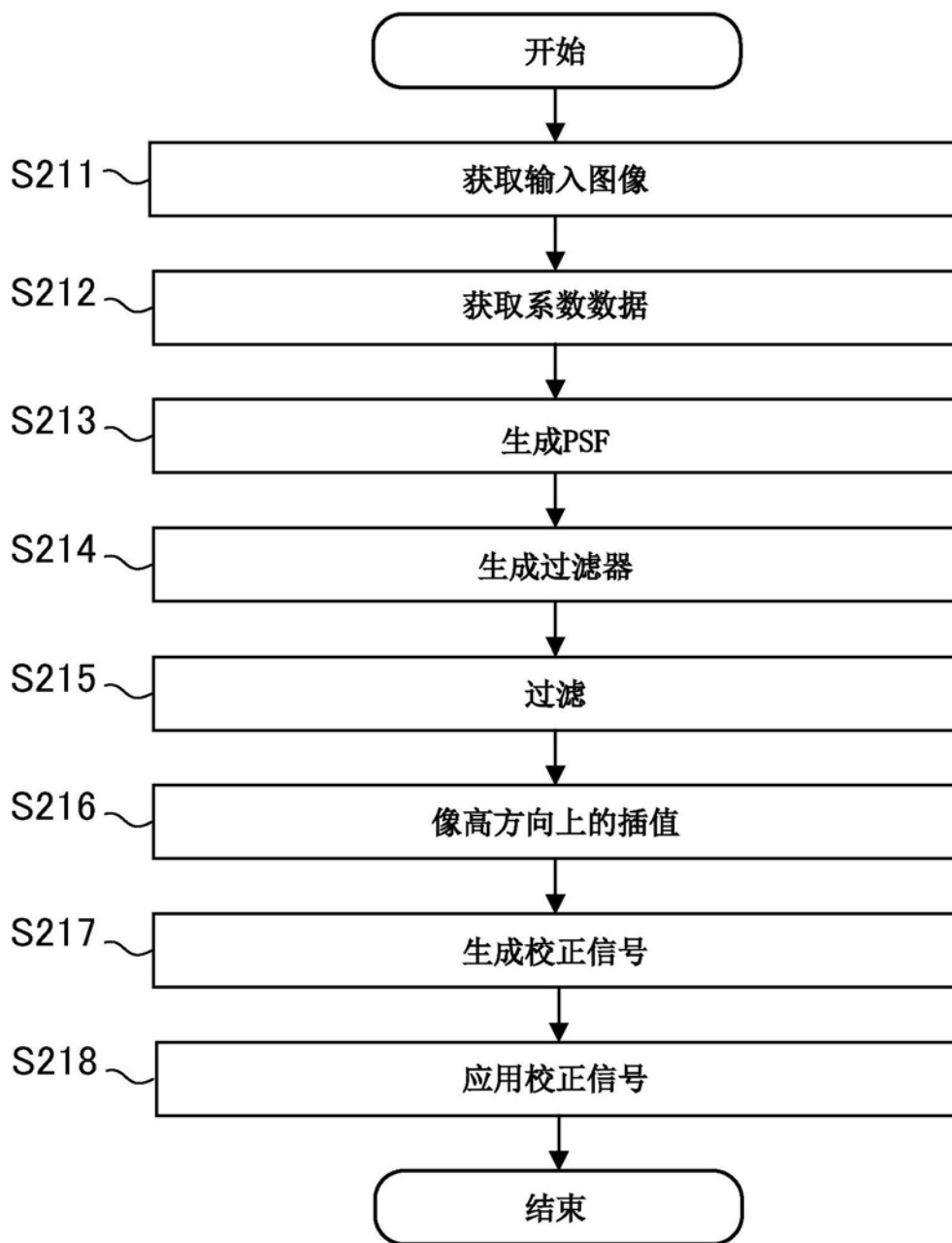


图12

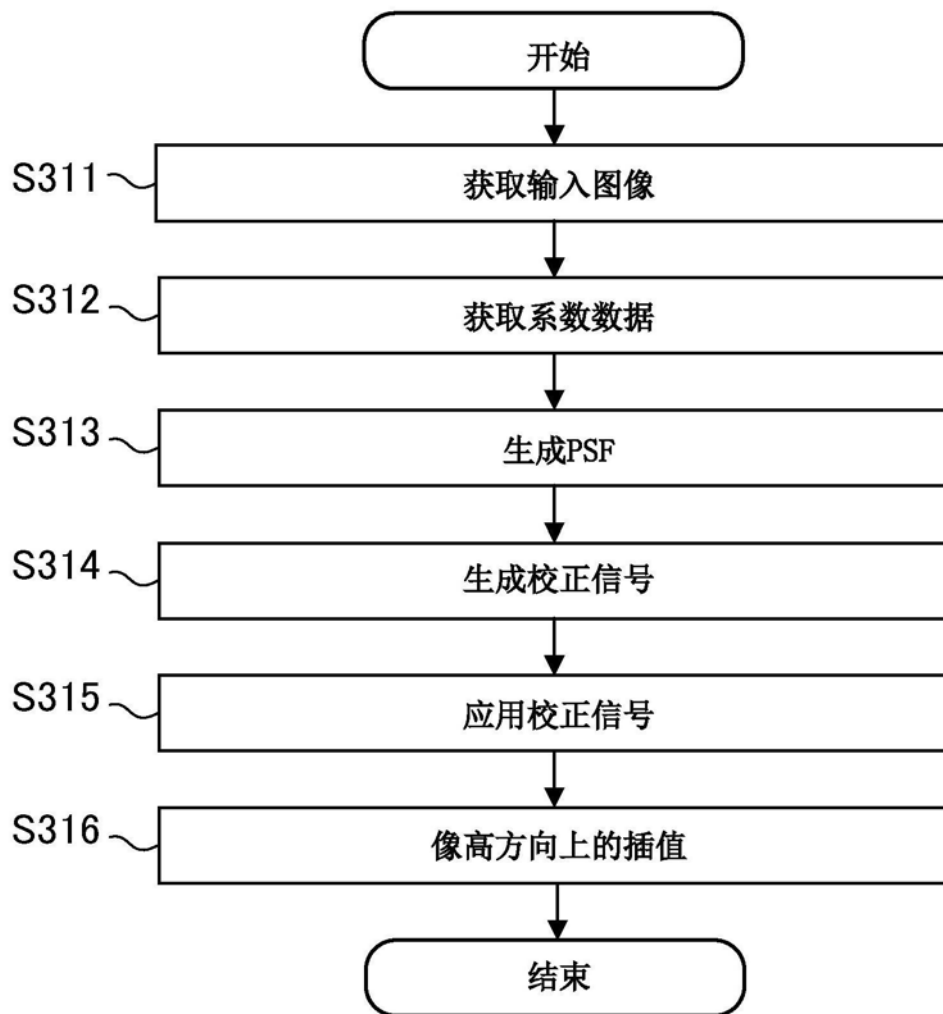


图13

PSF生成系数表					
系数：	a	b	μ	η	σ
像高1	C1[0]	C1[1]	C1[2]	C1[3]	C1[4]
像高2	C2[0]	C2[1]	C2[2]	C2[3]	C2[4]
像高3	C3[0]	C3[1]	C3[2]	C3[3]	C3[4]
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
像高10	C10[0]	C10[1]	C10[2]	C10[3]	C10[4]

图14

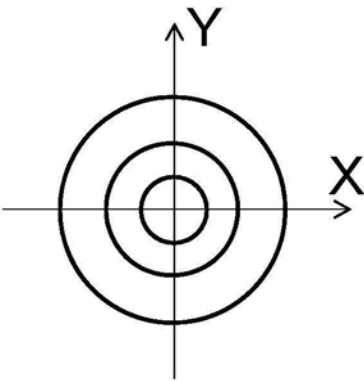


图15A

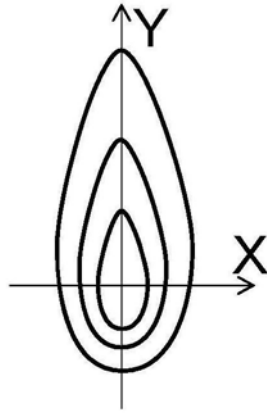


图15B

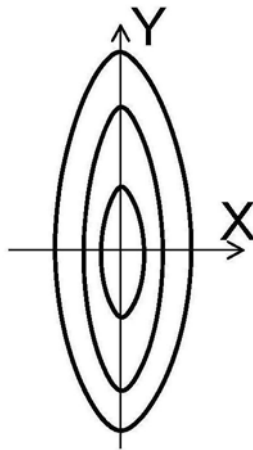


图15C

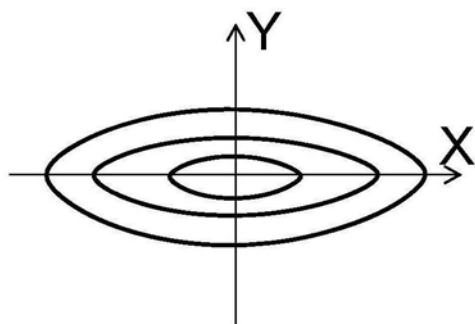


图15D

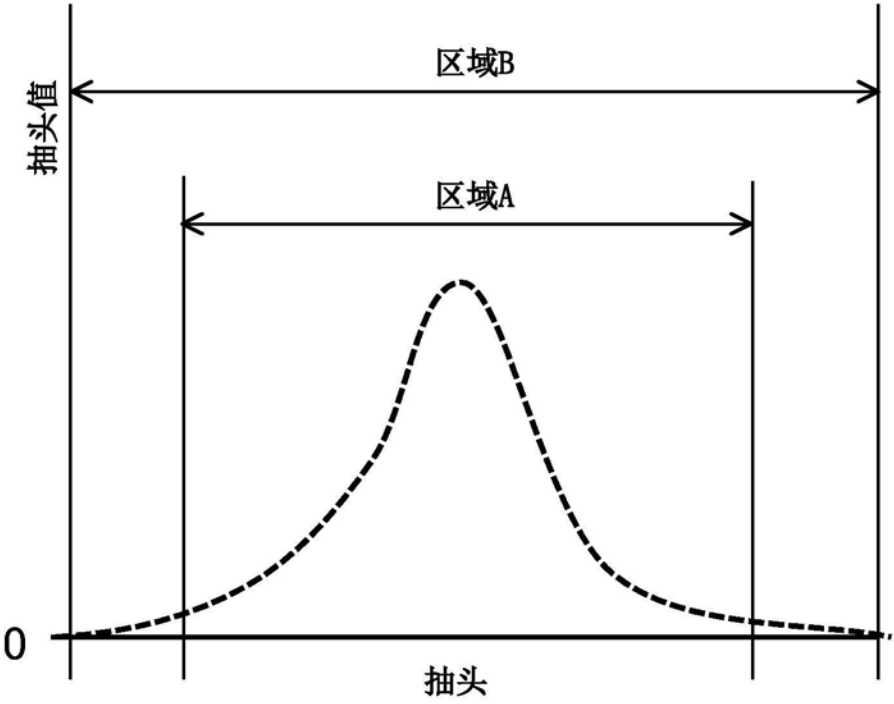


图16