



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101431684 B

(45) 授权公告日 2013. 10. 23

(21) 申请号 200810178294. 1

(22) 申请日 2004. 05. 28

(30) 优先权数据

178404/03 2003. 06. 23 JP

(62) 分案原申请数据

200480001074. 1 2004. 05. 28

(73) 专利权人 索尼株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 大木光晴

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 黄小临

(51) Int. Cl.

H04N 9/04 (2006. 01)

H04N 1/48 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 6466253 B1, 2002. 10. 15, 说明书第 5 栏
第 35 行 - 第 11 栏第 20 行 ;附图 2-5.

US 6466253 B1, 2002. 10. 15, 说明书第 5 栏
第 35 行 - 第 11 栏第 20 行 ;附图 2-5.

EP 1288855 A2, 2003. 03. 05, 摘要 ;附图 3.

JP 特开平 10-243288 A, 1998. 09. 11, 全文 .

JP 特开 2000-244932 A, 2000. 09. 08, 全文 .

审查员 黄智

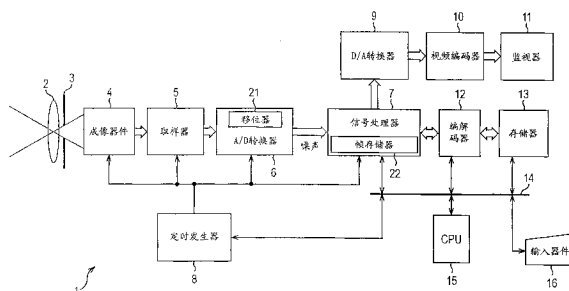
权利要求书5页 说明书83页 附图55页

(54) 发明名称

处理图像的方法和设备

(57) 摘要

一种生成更清晰图像的图像处理方法和设备,以及程序。在数字照相机(1)中,将由每个像素供应一种彩色信号的单面传感器组成的成像器件(4)快速成像的多个图像存储在信号处理电路(7)的帧存储器(27)中。信号处理电路(7)检测存储在帧存储器(22)中的图像之间的位置关系,和根据检测的位置关系,导出每个像素具有三种彩色信号的图像。本发明例如可应用于数字照相机。



1. 一种从多个输入图像中估计输出图像的图像处理方法,包括如下步骤:

检测用于捕获其中每个像素具有 n 个像素值的图像的图像捕获装置捕获的多个输入图像之间的位置关系,其中所述图像捕获装置捕获欠曝光的所述多个输入图像;并且所述图像处理方法还包括通过使用一种 n' -位移动的方式来放大大多个输入图像的数字图像信号的幅度而校正曝光以获得亮度与最佳曝光获得的亮度相似的图像的步骤;和

通过对于输出图像的每个像素位置,从多个输入图像中标识观测像素成分,和根据标识的观测像素成分,生成每个像素具有 $(n+1)$ 个或更多个像素值的输出图像,估计输出图像;

其中,在上述估计输出图像的步骤中,根据在输出图像的每个像素位置上和 / 或在输出图像的每个像素的位置附近的颜色相关性来确定输出图像。

2. 根据权利要求 1 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,对于输出图像的每个像素位置,从多个输入图像中选择应该加以考虑的观测像素成分,和根据所选的观测像素成分,生成每个像素具有 $(n+1)$ 个或更多个像素值的输出图像。

3. 根据权利要求 1 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,根据在检测步骤中检测的位置关系,从多个输入图像中生成每个像素具有 $(n+1)$ 个或更多个彩色信号的输出图像。

4. 根据权利要求 1 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,将输入图像的像素的像素值改变成取决于边缘陡度的像素值,和根据所得的改变像素值估计输出图像。

5. 根据权利要求 1 所述的图像处理方法,其中,

n 等于 1;和

在估计输出图像的步骤中,根据在检测步骤中检测的位置关系,从多个输入图像中生成每个像素具有三个像素值的输出图像。

6. 根据权利要求 1 所述的图像处理方法,其中,图像捕获装置是观测的彩色信号随每个输入图像的位置而改变的单面传感器。

7. 根据权利要求 1 所述的图像处理方法,其中,估计输出图像的步骤包括如下步骤:

对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置;

生成一光强度积分约束公式,该光强度积分约束公式指示中心在校正位置的区域中光强度的积分与校正位置上的像素的像素值之间的差值应该小于预定误差;和

计算光强度积分约束公式。

8. 根据权利要求 7 所述的图像处理方法,其中,当生成光强度积分约束公式时,如果多个输入图像已经被放大,那么,误差随放大倍数而改变。

9. 根据权利要求 6 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,

对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置;和

基于校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素的像素值以及取决于放大倍数的误差,估计输出图像。

10. 根据权利要求 1 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,

对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置;和

基于校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素的像素值以及校正位置和输出图像的相应像素的位置之间的距离,估计输出图像。

11. 根据权利要求 1 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,

对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置;和

基于校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素的像素值以及取决于放大倍数的误差,估计输出图像。

12. 根据权利要求 1 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,

对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置;和

通过确定其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素值的加权和来估计输出图像。

13. 根据权利要求 12 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,

通过确定其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素值的加权和来估计感兴趣像素的正确像素值,加权和的权重是利用低通滤波特性关于输出图像中感兴趣像素的位置与校正位置之间的距离的函数确定的。

14. 根据权利要求 13 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,

通过有选择地执行如下过程估计感兴趣像素的正确像素值:

确定其校正位置位于感兴趣像素的位置附近的输入图像的像素值的加权和的第一计算过程;或

确定其校正位置位于与感兴趣像素相邻的输出图像的像素的位置附近的输入图像的像素值的加权和的第二计算过程。

15. 根据权利要求 14 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,

当第一计算过程中的权重之和等于 0 时,选择第二计算过程。

16. 根据权利要求 13 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,

通过有选择地执行如下过程估计感兴趣像素的正确像素值:

确定其校正位置位于感兴趣像素的位置的第一附近区域中的输入图像的像素值的加权和的第一计算过程;或

确定其校正位置位于感兴趣像素的位置的第二附近区域中的输入图像的像素值的加权和的第二计算过程估计,第二附近区域大于第一附近区域。

17. 根据权利要求 16 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,当第一计算过程中的权重之和等于 0 时,选择第二计算过程。

18. 根据权利要求 13 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,通过有选择地执行如下过程估计感兴趣像素的正确像素值:

确定其校正位置位于感兴趣像素的位置附近的输入图像通过第一加权倍数加权的像素值之和的第一计算过程;或

确定其校正位置位于感兴趣像素的位置附近的输入图像通过第二加权倍数加权的像

素值之和的第二计算过程。

19. 根据权利要求 18 所述的图像处理方法,其中,在估计输出图像的步骤中,当第一计算过程中的权重之和等于 0 时,选择第二计算过程。

20. 根据权利要求 1 所述的图像处理方法,其中,在检测步骤中,相对于在捕获多个输入图像的时间的严格中心或严格中心附近捕获的输入图像检测多个输入图像之间的位置关系。

21. 一种从多个输入图像中估计输出图像的图像处理设备,包括:

捕获每个像素具有 n 个像素值的多个输入图像的图像捕获装置,其中所述图像捕获装置捕获欠曝光的所述多个输入图像;

通过使用一种 n' -位移位器来放大大多个输入图像的数字图像信号的幅度而校正曝光以获得亮度与最佳曝光获得的亮度相似的图像的装置;

检测多个输入图像之间的位置关系的检测装置;和

通过对于输出图像的每个像素位置,从多个输入图像中标识观测像素成分,和根据标识的观测像素成分,生成每个像素具有 $(n+1)$ 个或更多个像素值的输出图像,估计输出图像的装置;

其中,上述估计输出图像的装置根据在输出图像的每个像素位置上和 / 或在输出图像的每个像素的位置附近的颜色相关性来确定输出图像。

22. 根据权利要求 21 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置对于输出图像的每个像素位置,从多个输入图像中选择应该加以考虑的观测像素成分,和根据所选的观测像素成分,生成每个像素具有 $(n+1)$ 个或更多个像素值的输出图像。

23. 根据权利要求 21 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置根据在检测步骤中检测的位置关系,从多个输入图像中生成每个像素具有 $(n+1)$ 个或更多个彩色信号的输出图像。

24. 根据权利要求 21 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置将输入图像的像素的像素值改变成取决于边缘陡度的像素值,和根据所得的改变像素值估计输出图像。

25. 根据权利要求 21 所述的图像处理设备,其中,
 n 等于 1;和

所述估计输出图像的装置根据在检测步骤中检测的位置关系,从多个输入图像中生成每个像素具有三个像素值的输出图像。

26. 根据权利要求 21 所述的图像处理设备,其中,图像捕获装置是观测的彩色信号随每个输入图像的位置而改变的单面传感器。

27. 根据权利要求 21 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置包括:

用于对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测装置中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置的确定装置;

用于生成一光强度积分约束公式的生成装置,该光强度积分约束公式指示中心在校正位置的区域中光强度的积分与校正位置上的像素的像素值之间的差值应该小于预定误差;和

用于计算光强度积分约束公式的计算装置。

28. 根据权利要求 27 所述的图像处理设备,其中,当所述生成装置生成光强度积分约束公式时,如果多个输入图像已经被放大,那么,误差随放大倍数而改变。

29. 根据权利要求 26 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置还用于,对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置;和

根据其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素的像素值,以及根据取决于放大倍数的误差来估计输出图像。

30. 根据权利要求 21 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置还用于,对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置;和

根据其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素的像素值,以及根据校正位置和输出图像的相应像素的位置之间的距离来估计输出图像。

31. 根据权利要求 21 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置还用于对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置;和

根据其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素的像素值,以及根据取决于放大倍数的误差来估计输出图像。

32. 根据权利要求 21 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置还用于,对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置;和

通过确定其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素值的加权和来估计输出图像。

33. 根据权利要求 32 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置还用于,通过确定其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素值的加权和来估计感兴趣像素的正确像素值,加权和的权重是利用低通滤波特性关于输出图像中感兴趣像素的位置与校正位置之间的距离的函数确定的。

34. 根据权利要求 33 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置还用于,通过有选择地执行如下过程估计感兴趣像素的正确像素值:
确定其校正位置位于感兴趣像素的位置附近的输入图像的像素值的加权和的第一计算过程;或

确定其校正位置位于与感兴趣像素相邻的输出图像的像素的位置附近的输入图像的像素值的加权和的第二计算过程。

35. 根据权利要求 34 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置还用于,当第一计算过程中的权重之和等于 0 时,选择第二计算过程。

36. 根据权利要求 34 所述的图像处理设备,其中,在估计输出图像的步骤中,通过有选择地执行如下过程估计感兴趣像素的正确像素值:
确定其校正位置位于感兴趣像素的位置的第一附近区域中的输入图像的像素值的加权和的第一计算过程;或

确定其校正位置位于感兴趣像素的位置的第二附近区域中的输入图像的像素值的加

权和的第二计算过程估计,第二附近区域大于第一附近区域。

37. 根据权利要求 36 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置在第一计算过程中的权重之和等于 0 时,选择第二计算过程。

38. 根据权利要求 33 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置通过有选择地执行如下过程估计感兴趣像素的正确像素值:

确定其校正位置位于感兴趣像素的位置附近的输入图像通过第一加权倍数加权的像素值之和的第一计算过程;或

确定其校正位置位于感兴趣像素的位置附近的输入图像通过第二加权倍数加权的像素值之和的第二计算过程。

39. 根据权利要求 38 所述的图像处理设备,其中,所述估计输出图像的装置还用于,当第一计算过程中的权重之和等于 0 时,选择第二计算过程。

40. 根据权利要求 21 所述的图像处理设备,其中,所述检测装置,

相对于在捕获多个输入图像的时间的严格中心或严格中心附近捕获的输入图像检测多个输入图像之间的位置关系。

处理图像的方法和设备

[0001] 本申请是申请日为 2004 年 5 月 28 日、申请号为 200480001074.1 (国际申请号为 PCT/JP2004/007790) 的、名称为“处理图像的方法、设备和程序”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及处理图像的方法、设备和程序,尤其涉及利用包括单面(single-plane)传感器的成像器件处理图像以获得清晰图像的方法、设备和程序。

背景技术

[0003] 近年来,数字照相机(camera)作为一种照相机已经变得非常流行了。在数字照相机中,利用诸如 CCD(电荷耦合器件)或 CMOS(互补金属氧化物半导体)之类的成像器件拍摄图像,将图像显示在位于数字照相机上诸如 LCD(液晶显示器)之类的监视器上,以便用户可以观看图像(在下文中,将这样由成像器件拍摄的图像简称为捕获(captured)图像)。将捕获图像的图像信号转换成数字形式,并且,通过诸如闪速存储器之类的存储媒体或通过利用电缆或红外线的有线或无线通信传送给诸如个人计算机(PC)之类的图像处理设备。一旦接收到数字照相机捕获的图像数据,个人计算机就在诸如 CRT(阴极射线管)或 LCD(液晶显示器)之类的监视器上显示图像,以便用户可以观看图像和编辑它。

[0004] 当在诸如阴影处或照明差的房间之类的微暗环境下用数字照相机拍摄照明不太好的对象的图像时,应该将快门速度设置得足够慢,以获得充分的曝光(也就是说,曝光时间应该足够长)。

[0005] 当曝光时间足够长时,如果数字照相机被稳固地支撑着,例如,将它放置在三角架上,使数字照相机不摇晃的,那么,可以获得良好的图像。但是,在用手握住数字照相机的情况下,数字照相机可能会摇晃。如果照相机在快门处在打开状态时(在快门时间内)发生摇晃,所得对象的捕获图像变得模糊。模糊图像被称为“手晃模糊”图像或“照相机晃动模糊”图像。

[0006] 通过简单地累积叠加两个或更多个捕获图像,而不是降低快门速度(增加快门时间)获得等值充分曝光是众所周知的(例如,在日本待审专利申请公告第 05-236422 号中可以找到这样技术的例子)。

[0007] 但是,在日本待审专利申请公告第 05-236422 号公开的技术中,由于两个或更多个捕获图像是简单叠加的,与以低快门速度捕获图像的情况一样,如果数字照相机发生摇晃,那么,图像是模糊的。

[0008] 在可从 Canon Kabushiki Kaisha 公司购买到的一些数字照相机中,称为图像稳定器(IS)的技术用于防止图像在数字照相机发生摇晃时变模糊。

[0009] 在利用图像稳定器的技术中,数字照相机的摇晃或振动通过位于光学透镜系统中的前置传感器来检测,按照指示数字照相机的检测摇晃或振动的数字信号,沿着与光轴垂直的方向移动一部分透镜系统(校正透镜系统),以便改变光的折射,防止图像变模糊。

[0010] 图像稳定器可以消除当用握在手中的数字照相机以低快门速度拍摄图像时特别重要的、由于手的摇晃或风引起的照相机或照相机所在的载台的摇晃造成的图像模糊,从而使用户可以获得清晰图像。

[0011] 但是,图像稳定器需要负责检测照相机的摇晃的专用传感器,并且还需要迅速移动一部分透镜系统(校正透镜系统)的机构,因此,图像稳定器具有复杂的结构,导致产品成本增加。

[0012] 防止图像在用摇晃照相机捕获图像时变模糊的另一种已知技术是以高快门速度相继捕获多个图像,检测第二和随后捕获图像相对于第一捕获图像的位移,补偿第二和随后捕获图像的位移,和将补偿图像叠加在第一捕获图像上(例如,在日本待审专利申请公告第 2000-217032、2000-224460、2000-244803、2000-244797、2000-069352、10-341367 和 09-261526 号中可以找到这种技术的例子)。基本上,在这种传统技术中,通过校正或内插,从第二和随后捕获图像中生成与第一捕获图像相似的图像,并且,逐个像素地将所得图像简单加入(add)或线性加入第一捕获图像中。

[0013] 在这种技术中,尽管图像是暗的以高快门速度相继捕获的每个图像实际没有模糊。通过将第二和随后捕获图像叠加在第一图像上最后获得的图像可以具有与当曝光时间被适当设置时获得的图像相似的高亮度。

[0014] 在这种技术中,对检测的第二和随后捕获图像相对于第一捕获图像的位移的校正通过利用基于线性内插和双三次内插等的内插函数,为每个像素内插包括 R(红色)信号(红色数据)、G(绿色)信号(绿色数据)和 B(蓝色)信号(蓝色数据)的彩色信号(数据)来完成。

[0015] 但是,在将利用单面传感器的成像器件作为成像器件的情况下,每个像素只输出彩色信号之一,即,R 信号、G 信号、或 B 信号。这使得通过如上所述的内插校正多个图像的位移是不可能实现的,并且,可应用于单面传感器的任何内插方法都是已知的。

发明内容

[0016] 鉴于上面情况,本发明的目的是供应即使在发生照相机摇晃的状态下,也可以获得通过,例如,利用单面传感器的成像器件捕获的清晰图像的技术。

[0017] 本发明提供了包括如下步骤的图像处理方法:检测用于捕获其中具有 n 个像素值之一的每个像素的图像的图像捕获装置捕获的多个输入图像之间的位置关系;和通过对于输出图像的每个像素位置,从多个输入图像中识别应该加以考虑的观测像素成分(component),和根据识别的观测像素成分,生成每个像素具有 (n+1) 个或更多个像素值的输出图像,估计输出图像。

[0018] 在估计输出图像的步骤中,对于输出图像的每个像素位置,可以从多个输入图像中选择应该加以考虑的观测像素成分,并且,可以根据所选的观测像素成分,生成每个像素具有 (n+1) 个或更多个像素值的输出图像。

[0019] 在估计输出图像的步骤中,可以根据在检测步骤中检测的位置关系,从多个输入图像中生成每个像素具有 (n+1) 个或更多个彩色信号的输出图像。

[0020] 在估计输出图像的步骤中,可以在考虑了在每个像素位置上和 / 或在输出图像的每个像素的位置附近的颜色相关性之后确定输出图像。在估计输出图像的步骤中,可以将

输入图像的像素的像素值改变成取决于边缘陡度 (steepness) 的像素值,和可以根据所得的改变像素值估计输出图像。

[0021] n 可以等于 1,并且,在估计输出图像的步骤中,可以根据在检测步骤中检测的位置关系,从多个输入图像中生成每个像素具有三个像素值的输出图像。

[0022] 图像捕获装置可以是其中观测的彩色信号随每个输入图像的位置而改变的单面传感器。

[0023] 图像捕获装置可以捕获欠曝光的多个输入图像,和图像处理方法可以进一步包括通过放大多个输入图像的每个像素值校正曝光的步骤。

[0024] 估计输出图像的步骤可以包括如下步骤:对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,确定每个像素的校正位置;生成指示中心在校正位置的区域中光强度的积分与校正位置上的像素的像素值之间的差值应该小于预定误差 (error) 的光强度积分约束 (constraint) 公式;和计算光强度积分约束公式。

[0025] 当生成光强度积分约束公式时,如果多个输入图像已经被放大 (gainup),那么,误差可能随放大倍数而改变。

[0026] 在估计输出图像的步骤中,对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,可以确定每个像素的校正位置,并且,可以在考虑了其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素的像素值,以及考虑了取决于放大倍数的误差之后确定输出图像。

[0027] 在估计输出图像的步骤中,对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,可以确定每个像素的校正位置,并且,可以在考虑了其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素的像素值,以及考虑了校正位置和输出图像的相应像素的位置之间的距离之后确定输出图像。

[0028] 在估计输出图像的步骤中,对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,可以确定每个像素的校正位置,并且,可以在考虑了其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素的像素值,以及考虑了取决于放大倍数的误差之后确定输出图像。

[0029] 在估计输出图像的步骤中,对于多个输入图像中的每一个的每个像素,取决于在检测步骤中检测的位置关系,可以确定每个像素的校正位置,并且,可以通过确定其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素值的加权之和来估计输出图像。

[0030] 在估计输出图像的步骤中,可以通过确定其校正位置位于输出图像的每个像素的位置附近的输入图像的像素值的加权之和来确定感兴趣像素的正确像素值,加权之和的权重是利用低通滤波特性关于输出图像中感兴趣像素的位置与校正位置之间的距离的函数确定的。

[0031] 在估计输出图像的步骤中,可以通过有选择地执行确定其校正位置位于感兴趣像素的位置附近的输入图像的像素值的加权之和的第一计算过程,或确定其校正位置位于与感兴趣像素相邻的输出图像的像素的位置附近的输入图像的像素值的加权之和的第二计算过程,来确定感兴趣像素的正确像素值。

[0032] 在估计输出图像的步骤中,当第一计算过程中的权重之和等于或几乎等于 0 时,可以选择第二计算过程。

[0033] 在估计输出图像的步骤中,可以通过有选择地执行确定其校正位置位于感兴趣像素的位置的第一附近区域中的输入图像的像素值的加权之和的第一计算过程,或确定其校正位置位于感兴趣像素的位置的第二附近区域中的输入图像的像素值的加权之和的第二计算过程,确定感兴趣像素的正确像素值,第二附近区域大于第一附近区域。

[0034] 在估计输出图像的步骤中,当第一计算过程中的权重之和等于或几乎等于 0 时,可以选择第二计算过程。

[0035] 在估计输出图像的步骤中,可以通过有选择地执行确定其校正位置位于感兴趣像素的位置附近的输入图像通过第一加权倍数加权的像素值之和的第一计算过程,或确定其校正位置位于感兴趣像素的位置附近的输入图像通过第二加权倍数加权的像素值之和的第二计算过程,来确定感兴趣像素的正确像素值。

[0036] 在估计输出图像的步骤中,当第一计算过程中的权重之和等于或几乎等于 0 时,可以选择第二计算过程。

[0037] 在检测步骤中,可以相对于在捕获多个输入图像的时间的严格中心或严格中心附近捕获的输入图像检测多个输入图像之间的位置关系。

[0038] 本发明提供了包括如下装置的图像处理设备:捕获每个像素具有 n 个像素值的多个输入图像的图像捕获装置;检测多个输入图像之间的位置关系的检测装置;和通过对于输出图像的每个像素位置,从多个输入图像中识别应该加以考虑的观测像素成分,和根据识别的观测像素成分,生成每个像素具有 $(n+1)$ 个或更多个像素值的输出图像,估计输出图像的装置。

[0039] 本发明提供了使计算机执行包括如下步骤的过程的程序:检测用于捕获其中具有 n 个像素值之一的每个像素的图像的图像捕获装置捕获的多个输入图像之间的位置关系;和通过对于输出图像的每个像素位置,从多个输入图像中识别应该加以考虑的观测像素成分,和根据识别的观测像素成分,生成每个像素具有 $(n+1)$ 个或更多个像素值的输出图像,估计输出图像。

[0040] 根据本发明,检测在每个像素上具有 n 个像素值的多个输入图像之间的位置关系。在多个输入图像的观测像素成分当中,根据检测的位置关系,为输出图像的每个像素位置识别应该加以考虑的观测像素成分。根据识别的观测像素成分,估计在每个像素上具有 $(n+1)$ 个或更多个像素值的输出图像。

[0041] 图像处理设备可以具有自含式设备或设备中负责图像处理的模块的形式。

附图说明

[0042] 图 1 是示出根据本发明一个实施例的数字照相机 1 的配置例子的方块图;

[0043] 图 2 是如图 1 所示的数字照相机 1 进行拍摄图像的过程的流程图;

[0044] 图 3 是示出排列如图 1 所示的成像器件 4 的像素的方式的示意图;

[0045] 图 4 是示出如图 1 所示的信号处理器 7 的详细配置的例子方块图;

[0046] 图 5 是示出第一图像和第二图像之间的坐标关系的示意图;

[0047] 图 6 是示出根据第一实施例的图像估计过程的流程图;

[0048] 图 7 是示出根据第一实施例的图像估计过程的流程图;

[0049] 图 8 是根据第二实施例的颜色相关性约束的示意图;

- [0050] 图 9 是根据第二实施例的颜色相关性约束的示意图；
- [0051] 图 10 是示出根据第二实施例的图像估计过程的流程图；
- [0052] 图 11 是示出根据第二实施例的图像估计过程的流程图；
- [0053] 图 12 是示出根据第二实施例的图像估计过程的流程图；
- [0054] 图 13 是示出存储在帧存储器 22-1 中的第一图像的示意图；
- [0055] 图 14 是示出存储在帧存储器 22-2 中的第二图像的示意图；
- [0056] 图 15 是示出存储在帧存储器 22-3 中的第三图像的示意图；
- [0057] 图 16 是示出成像器件 4 的像素的示意图；
- [0058] 图 17 是示出排列如图 1 所示的成像器件 4 的像素的方式的示意图；
- [0059] 图 18 是示出弹簧模型的示意图；
- [0060] 图 19 是示出弹簧模型的示意图；
- [0061] 图 20 是示出弹簧模型的示意图；
- [0062] 图 21 是示出弹簧模型的示意图；
- [0063] 图 22 是示出弹簧模型的示意图；
- [0064] 图 23 是示出弹簧模型的示意图；
- [0065] 图 24 是示出根据第三实施例的图像估计过程的流程图；
- [0066] 图 25 是示出根据第四实施例的图像估计过程的流程图；
- [0067] 图 26 是示出根据第五实施例的图像估计过程的流程图；
- [0068] 图 27 是示出通过成像器件 4 的各自像素检测绿色成分 (G 信号) 的状态的示意图；
- [0069] 图 28 是示出沿着垂直方向延伸的边缘的示意图；
- [0070] 图 29 是示出沿着水平方向延伸的边缘的示意图；
- [0071] 图 30 是示出沿着从左上角到右下角的方向延伸的边缘的示意图；
- [0072] 图 31 是示出沿着从右上角到左下角的方向延伸的边缘的示意图；
- [0073] 图 32 是示出检测沿着垂直方向延伸的边缘时生成的平面 Q1 的示意图；
- [0074] 图 33 是示出检测沿着水平方向延伸的边缘时生成的平面 Q2 的示意图；
- [0075] 图 34 是示出检测沿着从左上角到右下角的方向延伸的边缘时生成的平面 Q3 的示意图；
- [0076] 图 35 是示出检测沿着从右上角到左下角的方向延伸的边缘时生成的平面 Q4 的示意图；
- [0077] 图 36 是示出根据第六实施例的图像估计过程的流程图；
- [0078] 图 37 是根据第七实施例的颜色相关性约束的示意图；
- [0079] 图 38 是根据第七实施例的颜色相关性约束的示意图；
- [0080] 图 39 是示出根据第七实施例的图像估计过程的流程图；
- [0081] 图 40 是示出本发明和传统技术之间的差异的示意图；
- [0082] 图 41 是示出根据本发明一个实施例的计算机的配置例子的方块图；
- [0083] 图 42 是示出三次函数的示意图；
- [0084] 图 43 是示出参考坐标系中位置 (I' , J') 上的像素值的示意图；
- [0085] 图 44 是示出参考坐标系中位置 (I' , J') 在异常 (exceptional) 状态下的像素

值的示意图；

[0086] 图 45 是示出对 G 信号的异常管理 (handling) 过程的示意图；

[0087] 图 46 是示出对 G 信号的异常管理过程的示意图；

[0088] 图 47 是示出对 R 信号的异常管理过程的示意图；

[0089] 图 48 是示出对 R 信号的异常管理过程的示意图；

[0090] 图 49 是示出根据第八实施例的图像估计过程的流程图；

[0091] 图 50 是示出根据第八实施例的图像估计过程的流程图；

[0092] 图 51 是示出根据第八实施例的图像估计过程的流程图；

[0093] 图 52 是示出根据第八实施例的图像估计过程的流程图；

[0094] 图 53 是示出根据第八实施例的图像估计过程的流程图；

[0095] 图 54 是示出捕获图像 401₁ 到 401₈ 的流程图；

[0096] 图 55 是示出通过将第一捕获图像用作参考图像从捕获图像中生成的输出图像的示意图；和

[0097] 图 56 是示出通过将中间捕获图像用作参考图像从捕获图像中生成的输出图像的示意图。

[0098] 实现本发明的最佳方式

[0099] 图 1 是示出根据本发明一个实施例的数字 (静止) 照相机 1 的配置例子的方块图。

[0100] 如图 1 所示的数字照相机 1 包括透镜 2、光圈 3、成像器件 4、相关双取样器 5、A/D (模拟 / 数字) 转换器 6、信号处理器 7、定时发生器 8、D/A (数字 / 模拟) 转换器 9、视频编码器 10、监视器 11、编解码器 12、存储器 13、总线 14、CPU (中央处理单元) 15 和输入器件 16。A/D 转换器 6 包括移位器 12 和信号处理器 7 包括帧存储器 22。

[0101] 源自对象 (未示出) 的光线穿过包括透镜 2 和光圈 3 的光学系统, 入射在成像器件 4 上。成像器件 4 具有单面传感器的形式, 单面传感器由包括特定个像素 (像元) 的 CCD 或 CMOS 构成。

[0102] 成像器件 4 按照定时发生器 8 供应的曝光定时信号, 在特定区间上检测特定时间间隔 (period) (快门时间) 内源自对象的入射光。成像器件 4 通过光电转换, 将位于图像检测平面上的每个光传感器元件检测的光强度转换成电信号。将所得电信号作为图像信号供应给相关双取样器 5。由于成像器件 4 被构成成单面传感器的形式, 以电图像信号的形式供应给相关双取样器 5 的图像的每个像素是 R、G 和 B 信号 (数据) 之一。

[0103] 成像器件 4 以比获得最适合一个图像的曝光所需的快门速度 (快门时间 (曝光时间)) 更高的快门速度 (更短的快门时间) 捕获多个图像 (N 个图像), 以便用于即使发生照相机摇晃也可以生成清晰输出图像。成像器件 4 (用欠曝光) 捕获的 N 个图像 (输入图像) 的每一个都比如果用最佳曝光捕获图像获得的图像暗。也就是说, 每个图像的亮度比用最佳曝光获得的亮度降低 M_k ($k = 1$ 至 N) 倍 (也就是说, 等于用最佳曝光获得的亮度的 $1/M_k$ 倍)。 M_k 的值由快门速度决定。

[0104] 相关双取样器 5 通过相关双取样从从成像器件 4 接收的图像信号 (电信号) 中消除噪声, 将所得图像信号供应给 A/D 转换器 6。一旦从相关双取样器 5 接收到对象的噪声消除图像信号, A/D 转换器 6 就将它转换成数字信号, 也就是说, A/D 转换器 6 取样接收的图像信号和量化它。此后, 移位器 21 通过 n' - 位移动, 将代表用欠曝光捕获的暗图像的数字图

像信号的幅度增加（放大） M_k 倍，以便获得亮度（信号电平）与用最佳曝光获得的亮度相似的图像。将所得图像信号供应给信号处理器 7。

[0105] 注意，在上述从图像信号中消除噪声的过程中，相关双取样器 5 不能消除所有噪声成分，因此，从相关双取样器 5 输出的图像信号包括残余噪声成分。相关双取样器 5 没有消除而保留的残余噪声成分引起与图像信号的真值的误差，除了图像信号之外，这个误差也被移位器 21 增加了 M_k 倍。因此，所得误差依赖于移位器 21 进行放大的倍数。让 E 表示包括在从相关双取样器 5 输出的图像信号中的残余噪声成分的幅度，噪声 E 被设置成取决于成像器件 4 的特性的最大可能值。从 A/D 转换器 6 供应到信号处理器 7 的图像信号包括幅度近似等于噪声 E 的 M_k 倍 ($E \times M_k$) 的噪声。例如，当 $M_k = 8$ 时， n' 被设置成 3，和移位器 21 对第 k 捕获图像进行 3- 位移动，以便将第 k 捕获图像的亮度增加到适当亮度。

[0106] 在图像信号放大了 M_k 倍，致使亮度增加到最佳水平之后，从 A/D 转换器 6 输出 N 个捕获图像中的每一个的图像信号，临时存储在信号处理器 7 的帧存储器 22 中。

[0107] 按照事先准备的程序，信号处理器 7 对亮度放大到存储在帧存储器 22 中的适当水平的 N 个捕获图像中的每一个的图像信号进行处理。

[0108] 更具体地说，信号处理器 7 将 N 个捕获图像的第一个用作参考图像，并且依次选择第二到第 N 捕获图像作为目标图像。信号处理器 7 检测目标图像相对于参考图像的位移。信号处理器 7 根据检测的位移补偿照相机摇晃，生成每个像素都具有 G、R 和 B 信号的位移补偿清晰图像（待输出）。将所得输出图像信号供应给 D/A 转换器 9 和编解码器 12 之一或两者。信号处理器 7 可以用 DSP（数字信号处理器）等实现。在如下的讨论中，假设经过 A/D 转换器 6 之后的部件处理的图像信号在亮度上已经被放大成与用最佳曝光获得的水平相似的水平。

[0109] 定时发生器 8 将曝光定时信号供应给成像器件 4、相关双取样器 5、A/D 转换器 6 和信号处理器 7，以便在指定区间上捕获 N 个图像。例如，取决于对象的亮度，用户可以改变该区间。如果用户通过输入器件 16 改变该区间，那么，通过总线 14 将指示该区间的改变值的数据从 CPU 15 供应到定时发生器 8。

[0110] D/A 转换器 9 将从信号处理器 7 输出的图像信号转换成模拟信号，并且将所得模拟图像信号供应给视频编码器 10。视频编码器 10 将 D/A 转换器 9 供应的图像信号（具有模拟信号的形式）转换成具有能够显示在监视器 11 上的形式的视频信号。将所得视频信号供应给监视器 11。监视器 11 用作数字照相机 1 的取景器，它可以用 LCD 或 CRT 来实现。在监视器 11 上显示出视频编码器 10 供应的视频信号。因此，在监视器 11 上显示出清晰图像。

[0111] 编解码器 12 按照特定编码技术，譬如，基于 JPEG（联合图像专家组）标准、MPEG（运动图像专家组）标准、或 DV（数字视频）标准的编码技术，编码从信号处理器 7 输出的图像信号。将所得的编码图像信号供应给存储器 13。

[0112] 存储器 13 由诸如闪速存储器之类的半导体存储器构成，用于临时或永久存储编解码器 12 供应的编码图像信号。诸如磁盘或光（磁光）盘之类的存储媒体可以用来取代存储器 13。存储器 13 或用来取代存储器 13 的存储媒体可以从数字照相机 1 中取走。数字照相机 1 可以包括以固定方式位于数字照相机 1 中的存储媒体和以可取出方式位于数字照相机 1 中的存储媒体。

[0113] CPU 15 通过总线 14 将控制信号供应给各种部件以控制各种过程。例如,按照用户通过输入器件 16 发出的图像捕获开始信号,CPU 15 将控制信号供应给各种部件,以捕获对象的图像和将捕获图像存储在存储器 13 中。

[0114] 输入器件 16 包括位于数字照相机 1 的主要部件上诸如释放按钮之类的操作按钮。如果用户操作操作按钮,那么,生成信号,并且,通过总线 14 将信号供应给 CPU 15。按照通过总线 14 从输入器件 16 接收的信号,CPU 15 控制各种部件。输入器件 16 的操作按钮之一或多个可显示在监视器 11 上。施加在显示在监视器 11 上的操作按钮上的操作可以由位于监视器 11 上的透明输入板检测。

[0115] 下面参照如图 2 所示的流程图,描述数字照相机 1 进行拍摄图像的过程。

[0116] 首先,在步骤 S1 中,成像器件 4 拍摄对象的图像。更具体地说,每当按下释放按钮(快门按钮)时,成像器件 4 按照定时发生器 8 供应的曝光定时信号,通过检测源自对象的入射光,以高快门速度依次捕获 N 个图像。因此,每当拍摄图像时,获得亮度值比用最佳曝光获得的亮度值低的 N 个暗捕获图像。检测源自对象的光线,并且将它转换成电信号。将具有电信号形式的所得图像信号供应给相关双取样器 5。相关双取样器 5 从图像信号中消除噪声成分,并且将所得图像信号供应给 A/D 转换器 6。此后,过程转到步骤 S2。

[0117] 在步骤 S2 中,A/D 转换器 6 将从相关双取样器 5 接收的对象的噪声消除图像信号转换成数字信号。并且,移位器 21 通过 n' - 位移动,将欠曝光暗图像转换成亮度(信号电平)与用最佳曝光获得的亮度相似的图像。将所得图像信号供应给信号处理器 7。此后,过程转到步骤 S3。

[0118] 在步骤 S3 中,信号处理器 7 拍摄第一捕获图像作为参考图像,并且依次选择第一图像之后的图像之一作为目标图像。信号处理器 7 检测目标图像(第二到第 N 图像之一)相对于参考图像的位移(移动量)。此后,过程转到步骤 S4。

[0119] 在步骤 S4 中,信号处理器 7 根据在步骤 S3 中检测的第 N 捕获图像相对于参考图像的位移,执行正确图像估计过程。此后,过程转到步骤 S5。在后面将描述其细节的这个正确图像估计过程中,信号处理器 7 生成每个像素都包括 G、R 和 B 信号的位移补偿清晰信号(输出信号),并且将所得图像信号供应给 D/A 转换器 9 和编解码器 12 之一或两者。

[0120] 在步骤 S5 中,在监视器 11 上显示出输出图像,并且将输出图像存储在诸如闪存存储器之类的存储器 13 中。因此,过程到此结束。更具体地说,在步骤 S5 中,将在步骤 S4 中从信号处理器 7 供应到 D/A 转换器 9 的图像信号转换成模拟信号,将其供应给视频编码器 10。并且,在步骤 S5 中,视频编码器 10 将 D/A 转换器 9 供应的模拟图像信号转换成具有能够显示在监视器 11 上的形式的视频信号。将所得视频信号供应给监视器 11。并且,在步骤 S5 中,监视器 11 按照视频编码器 10 供应的视频信号显示图像。并且,在步骤 S5 中,根据编码方案,譬如,基于 JPEG 标准或 MPEG 标准的编码方案,编码在步骤 S4 中从信号处理器 7 供应到编解码器 12 的图像信号,将所得图像信号存储在诸如闪存存储器之类的存储器 13 中。因此,从该过程退出。

[0121] 图 3 是其中示出成像器件 4 的像素的排列方式的示意图。尽管在图 3 中只示出了存储器件 4 的左上区中的一些像素(沿着水平方向的 6 个像素 \times 沿着垂直方向的 4 个像素,因此,总共 24 个像素),但其余像素以相似的方式排列着。

[0122] 在图 3 中,X-Y 坐标系是这样定义的,成像器件 4 的左上角用作原点,将水平方向

(向右)取作X轴,和将垂直方向(向下)取作Y轴。一个像素的水平长度和垂直长度被设置成1。从左端算起第*i*位置和从上端算起第*j*位置上的像素的位置(中心位置)可以表达成($i-0.5, j-0.5$)。在如图3所示的成像器件4中,以Bayer(拜耳)阵列的形式排列像素。

[0123] 提供G信号的像素包括在X方向的第一位置和Y方向的第一位置上的像素G00、在X方向的第三位置和Y方向的第一位置上的像素G02、在X方向的第五位置和Y方向的第一位置上的像素G04、在X方向的第二位置和Y方向的第二位置上的像素G11,以及像素G13、像素G15、像素G20、像素G22、像素G24、像素G31、像素G33和像素G35。

[0124] 提供R信号的像素包括在X方向的第二位置和Y方向的第一位置上的像素R01、在X方向的第四位置和Y方向的第一位置上的像素R03、在X方向的第六位置和Y方向的第一位置上的像素R05、在X方向的第二位置和Y方向的第三位置上的像素R21,以及像素R23和像素R25。

[0125] 提供B信号的像素包括在X方向的第一位置和Y方向的第二位置上的像素B10、在X方向的第三位置和Y方向的第二位置上的像素R12、在X方向的第五位置和Y方向的第二位置上的像素B14、在X方向的第一位置和Y方向的第四位置上的像素B30,以及像素B32和像素B34。

[0126] 对于没有由照相机摇晃引起的模糊的清晰图像,存储器件4的X-Y坐标系中特定位置(x, y)上的G信号、R信号和B信号分别用 $L_g(x, y)$ 、 $L_r(x, y)$ 和 $L_b(x, y)$ 表示。并且,对于没有由照相机摇晃引起的模糊的清晰图像,位于从左端算起第*i*位置和从上端算起第*j*位置上的第(i, j)像素的G信号、R信号和B信号分别用 $L_g(i, j)$ 、 $L_r(i, j)$ 和 $L_b(i, j)$ 表示。也就是说, $L_g(x, y)$ 、 $L_r(x, y)$ 和 $L_b(x, y)$ ($L_g(i, j)$ 、 $L_r(i, j)$ 和 $L_b(i, j)$)分别表示既没有模糊又没有噪声的图像在特定位置(x, y)(在第(i, j)像素)上的纯绿光强度(数据)、纯红光强度(数据)和纯蓝光强度(数据)。在下文中,将 $L_g(x, y)$ 、 $L_r(x, y)$ 和 $L_b(x, y)$ ($L_g(i, j)$ 、 $L_r(i, j)$ 和 $L_b(i, j)$)称为纯绿光强度 $L_g(x, y)$ ($L_g(i, j)$)、纯红光强度 $L_r(x, y)$ ($L_r(i, j)$)和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ ($L_b(i, j)$)。当 $x = i-0.5$ 和 $y = j-0.5$ 时, $L_g(x, y) = L_g(i, j)$, $L_r(x, y) = L_r(i, j)$,和 $L_b(x, y) = L_b(i, j)$ 。

[0127] 尽管在本实施例中,以Bayer阵列的形式排列成像器件4的像素,但也可以以其它方式排列像素。

[0128] 与G信号、R信号和B信号的像素相联系的变量 ig 、 ig 、 ir 、 jr 、 ib 和 jb 定义如下。

[0129] 变量 ig 和 ig 分别表示负责提供G信号的像素所在的X方向的位置*i*和Y方向的位置*j*。也就是说,对于负责提供G信号的像素,变量 ig 和 ig 的组合等于变量*i*和*j*的组合。在以Bayer阵列的形式排列像素的情况下,变量 ig 和 ig 由其差值 $i-j = \text{偶数}$ 的变量*i*和*j*给出。注意,变量 ig 和 ig 之间的差值,即, $ig-ig$ 理所当然也是偶数。因此,“在第 ig 位置和第 ig 位置上的像素”就是负责提供G信号的像素。在以除了Bayer阵列之外的阵列的形式排列像素的情况下,因阵列而异地给出变量 ig 和 ig 。

[0130] 变量 ir 和 jr 分别表示负责提供R信号的像素所在的X方向的位置*i*和Y方向的位置*j*。也就是说,对于负责提供R信号的像素,变量 ir 和 jr 的组合等于变量*i*和*j*的组合。在以Bayer阵列的形式排列像素的情况下,变量 ir 和 jr 由满足变量*i*是偶数和变量*i*和*j*的差值,即, $i-j$ 是奇数的约束的变量*i*和*j*给出。注意,变量 ir 和 jr 之间的差值,

即, $ir-jr$ 理所当然也是奇数。因此, “在第 ir 位置和第 jr 位置上的像素”就是负责提供 R 信号的像素。在以除了 Bayer 阵列之外的阵列的形式排列像素的情况下, 因阵列而异地给出变量 ir 和 jr 。

[0131] 变量 ib 和 jb 分别表示负责提供 B 信号的像素所在的 X 方向的位置 i 和 Y 方向的位置 j 。也就是说, 对于负责提供 B 信号的像素, 变量 ib 和 jb 的组合等于变量 i 和 j 的组合。在以 Bayer 阵列的形式排列像素的情况下, 变量 ib 和 jb 由满足变量 i 是奇数和变量 i 和 j 的差值, 即, $i-j$ 是奇数的约束的变量 i 和 j 给出。注意, 变量 ib 和 jb 之间的差值, 即, $ib-jb$ 理所当然也是奇数。因此, “在第 ib 位置和第 jb 位置上的像素”就是负责提供 B 信号的像素。在以除了 Bayer 阵列之外的阵列的形式排列像素的情况下, 因阵列而异地给出变量 ib 和 jb 。

[0132] 从如图 3 所示的成像器件 4 的各自像素输出的彩色信号 (G 信号、R 信号和 B 信号) 的值 (像素值) 定义如下。

[0133] 如前所述, 成像器件 4 拍摄了 N 个图像, 因此, 对于成像器件 4 的每个像素, 获得 N 个像素值。第 k 图像 ($k=1$ 至 N) 在第 ig 位置和第 ig 位置上的像素的像素值用 $Gobs(k, ig, jg)$ 表示, 第 k 图像 ($k=1$ 至 N) 在第 ir 位置和第 jr 位置上的像素的像素值用 $Robs(k, ir, jr)$ 表示, 和第 k 图像 ($k=1$ 至 N) 在第 ib 位置和第 jb 位置上的像素的像素值用 $Bobs(k, ib, jb)$ 表示。例如, 第一图像的像素 $G00$ 的像素值由 $Gobs(1, 1, 1)$ 给出, 和第二图像的像素 $G04$ 的像素值由 $Gobs(2, 5, 1)$ 给出。这里, 以及在如下的描述中, 除非另有指定, k 表示范围从 1 到 N 的整数。

[0134] 换句话说, 像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 、 $Robs(k, ir, jr)$ 和 $Bobs(k, ib, jb)$ 分别表示通过像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 、 $R(jr-1)(ir-1)$ 和 $B(jb-1)(ib-1)$ 获得的像素值。

[0135] 图 4 示出了如图 1 所示的信号处理器 7 的一部分的详细配置的例子。信号处理器 7 包括帧存储器 22、运动检测器 23、计算电路 24 和控制器 25。帧存储器 22 包括帧存储器 22-1 到 22- N , 和运动检测器 23 包括运动检测器 23-1 到 23- $(N-1)$ 。

[0136] 如前所述, A/D 转换器 6 将 N 个捕获图像供应给帧存储器 22。帧存储器 22-1 存储 A/D 转换器 6 供应的第一捕获图像。帧存储器 22-2 存储 A/D 转换器 6 供应的第二捕获图像。类似地, 帧存储器 22- k 存储 A/D 转换器 6 供应的第 k 捕获图像 (其中, $k=3$ 至 N)。

[0137] 帧存储器 22-1 在适当的定时将存储在其中的第一捕获图像供应给计算电路 24 和运动检测器 23-1 到 23- $(N-1)$ 。帧存储器 22-2 在适当的定时将存储在其中的第二捕获图像供应给计算电路 24 和运动检测器 23-1。类似地, 帧存储器 22- k 在适当的定时将存储在其中的第 k 捕获图像供应给计算电路 24 和运动检测器 23- $(k-1)$ 。

[0138] 运动检测器 23 检测两个捕获图像之间的位置关系。更具体地说, 运动检测器 23 把第一捕获图像取作参考图像和把第一捕获图像之后的捕获图像之一取作目标图像, 并且, 运动检测器 23 检测目标图像 (第二到第 N 图像之一) 相对于参考图像的位移 (运动量)。例如, 照相机摇晃可以造成位移。

[0139] 将用作参考图像的第一捕获图像从帧存储器 22-1 供应到运动检测器 23-1, 并且, 将用作目标图像的第二捕获图像从帧存储器 22-2 供应到运动检测器 23-1。

[0140] 运动检测器 23-1 通过确定代表第一捕获图像和第二捕获图像之间的位置关系的方程 (1) 的转换系数 ($\theta_2, T2x, T2y, S2$), 检测第二捕获图像的每个像素 (或当图像被划分

成多个块时,每个块)的位置与第一捕获图像的位置之间的对应关系,其中, θ_2 表示转角, S_2 表示比例倍数,和 (T_{2x}, T_{2y}) 表示平移。将所得转换参数供应给计算电路 24。

$$[0141] \quad \begin{pmatrix} X1_{(2)} \\ Y1_{(2)} \end{pmatrix} = S_2 \begin{pmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{2x} \\ T_{2y} \end{pmatrix} \quad \dots (1)$$

[0142] 方程 (1) 具有所谓仿射 (affine) 变换的形式,其中, (X_2, Y_2) 代表第二捕获图像的像素的位置,和 $(X1_{(2)}, Y1_{(2)})$ 代表第一捕获图像上的相应位置。注意,下标 (2) 用于表示第二捕获图像上的位置的转换位置。

[0143] 转换系数 ($\theta_2, T_{2x}, T_{2y}, S_2$) 代表由于照相机摇晃,第二捕获图像上的位置 (X_2, Y_2) 相对于第一捕获图像上的相应位置 (X_1, Y_1) 旋转了角度 θ_2 ,由于数字照相机 1 朝着对象的移动,放大 (或如果 $S_2 < 1$, 缩小) 了 S_2 倍,和与对象平行地位移了 (T_{2x}, T_{2y}) 。在大多数情况下,在照相机摇晃的各种位移成分中,沿着与成像器件 4 的平面平行的方向的成分具有显著的影响,但沿着从数字照相机 1 到对象的方向的位移成分小到足以忽略不计。也就是说, S_2 可以近似成 $S_2 = 1$ 。

[0144] 将用作参考图像的第一捕获图像从帧存储器 22-1 供应到运动检测器 23-2,并且,将用作目标图像的第三捕获图像从帧存储器 22-3 供应到运动检测器 23-2。

[0145] 运动检测器 23-2 通过确定代表第一捕获图像和第三捕获图像之间的位置关系的方程 (2) 的转换系数 ($\theta_3, T_{3x}, T_{3y}, S_3$),检测第三捕获图像的每个像素 (或当图像被划分成多个块时,每个块)的位置与第一捕获图像的位置之间的对应关系,其中, θ_3 表示转角, S_3 表示比例倍数,和 (T_{3x}, T_{3y}) 表示平移。将所得转换参数供应给计算电路 24。

$$[0146] \quad \begin{pmatrix} X1_{(3)} \\ Y1_{(3)} \end{pmatrix} = S_3 \begin{pmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_3 \\ Y_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_{3x} \\ T_{3y} \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

[0147] 方程 (2) 也具有仿射变换的形式,其中, (X_3, Y_3) 代表第三捕获图像的像素的位置,和 $(X1_{(3)}, Y1_{(3)})$ 代表第一捕获图像上的相应位置。注意,下标 (3) 用于表示第三捕获图像的位置被转换成带下标 (3) 的位置。

[0148] 转换系数 ($\theta_3, T_{3x}, T_{3y}, S_3$) 代表由于照相机摇晃,第三捕获图像上的位置 (X_3, Y_3) 相对于第一捕获图像上的相应位置 (X_1, Y_1) 旋转了角度 θ_3 ,由于数字照相机 1 朝着对象的移动,放大 (或如果 $S_3 < 1$, 缩小) 了 S_3 倍,和相对对象平行地位移了 (T_{3x}, T_{3y}) 。在大多数情况下,在照相机摇晃的各种位移成分中,沿着与成像器件 4 的平面平行的方向的成分具有显著的影响,但沿着从数字照相机 1 到对象的方向的位移成分小到足以忽略不计。也就是说, S_3 可以近似成 $S_3 = 1$ 。

[0149] 类似地,将用作参考图像的第一捕获图像从帧存储器 22-1 供应到运动检测器 23-(k-1),并且,将用作目标图像的第 k 捕获图像从帧存储器 22-k 供应到运动检测器 23-(k-1)。

[0150] 运动检测器 23-(k-1) 通过确定代表第一捕获图像和第 k 捕获图像之间的位置关系的方程 (3) 的转换系数 ($\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k$),检测第 k 捕获图像的每个像素 (或当图像被划分成多个块时,每个块)的位置与第一捕获图像的位置之间的对应关系,其中, θ_k 表示转角, S_k 表示比例倍数,和 (T_{kx}, T_{ky}) 表示平移。将所得转换参数 ($\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k$) 供

应给计算电路 24。

$$[0151] \quad \begin{pmatrix} X1_k \\ Y1_k \end{pmatrix} = Sk \begin{pmatrix} \cos(\theta_k) & -\sin(\theta_k) \\ \sin(\theta_k) & \cos(\theta_k) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Xk \\ Yk \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Tkx \\ Tky \end{pmatrix} \quad (k = 4 \text{ 至 } N) \quad \dots (3)$$

[0152] 方程 (3) 也具有仿射变换的形式,其中, (Xk, Yk) 代表第 k 捕获图像的像素的位置,和 $(X1_k, Y1_k)$ 代表第一捕获图像上的相应位置。注意,下标 (k) 用于表示第 k 捕获图像的位置被转换成带下标 (k) 的位置。

[0153] 转换系数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) 代表由于照相机摇晃,第 k 捕获图像上的位置 (Xk, Yk) 相对于第一捕获图像上的相应位置 $(X1, Y1)$ 旋转了角度 θ_k ,由于数字照相机 1 朝着对象的移动,放大 (或如果 $Sk < 1$, 缩小) 了 Sk 倍,和与对象平行地移动了 (Tkx, Tky) 。在大多数情况下,在照相机摇晃的各种位移成分中,沿着与成像器件 4 的平面平行的方向的成分具有显著的影响,但沿着从数字照相机 1 到对象的方向的位移成分小到足以忽略不计。也就是说, Sk 可以近似成 $Sk = 1$ 。

[0154] 382 取代以上述方式从第 k 捕获图像相对于第一捕获图像的位置关系中确定转换系数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) ,可以用力学 (mechanically) 方法根据从位于数字照相机 1 上的加速度传感器输出的信号中确定转换系数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) 。

[0155] 将 N 个捕获图像从帧存储器 22-1 到 22- N 供应到计算电路 24,将代表第一捕获图像和第 k 捕获图像之间的位置关系的转换系数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) 从运动检测器 23-1 到 23- $(N-1)$ 供应到计算电路 24。

[0156] 计算电路 24 根据从运动检测器 23-1 到 23- $(N-1)$ 供应的第二到第 N 捕获图像相对于第一捕获图像的位置关系,通过执行如下所述的正确图像估计过程,生成位移补偿清晰图像信号 (包括 G 信号成分、R 信号成分和 B 信号成分),并且,计算电路 24 将所得位移补偿图像信号供应给 D/A 转换器 9 或编解码器 12。在从 A/D 转换器 6 供应到信号处理器 7 的 N 个捕获图像的每一个中,每个像素拥有 G、R 和 B 信号之一。另一方面,在计算电路 24 生成的补偿图像信号中,每个像素拥有所有 G、R 和 B 信号 (数据)。

[0157] 在 CPU 15 的控制下,控制器 25 控制信号处理器 7 的各种部件,譬如,帧存储器 22-1 到 22- N 、运动检测器 23-1 到 23- $(N-1)$ 和计算电路 24 等。取代控制器 25, CPU 15 (图 1) 也可以控制信号处理器 7 的部件,譬如,帧存储器 22-1 到 22- N 、运动检测器 23-1 到 23- $(N-1)$ 和计算电路 24。在这种情况下,控制器 25 不是必须的。

[0158] 在利用 Bayer 阵列的单面传感器中, R 或 B 信号的像素数量少于 G 信号的像素数量。这使从信号处理器 7 输出的图像中的 R 信号或 B 信号具有比 G 信号具有的误差大的误差。在这样的情况下,使只限制彩色信号的高频成分,而不限亮度信号的低通滤波器位于计算电路 24 之后的级上,从而消除噪声。

[0159] 如果计算电路 24 被设计成能够在依次捕获图像的同时,实时地高速处理图像,那么,可以利用数量较少的帧存储器 22-1 到 22- N 和数量较少的运动检测器 23-1 到 23- $(N-1)$ 进行处理,因此,可以以较不复杂的更简单形式构成信号处理器 7。

[0160] 现在,描述根据本发明第一实施例的信号处理器 7 执行的正确图像估计过程。

[0161] 尽管在图中未示出,但片上透镜直接位于成像器件 4 的每个像素 (每个像素的光敏部分) 上。每个片上透镜将源自对象和入射在片上透镜上的所有光线聚焦成一点。因此,正好位于它自己的片上透镜下的每个像素接收入射在片上透镜上的所有光线的积分。这导

致每个像素的灵敏度提高。

[0162] 因此,成像器件 4 的每个像素接收的数据(光强度)不是源自对象和入射在一点上的光线的光强度(也就是说,不是点取样数据),而是源自对象和入射在平面(光敏面)的有限区域上的光线的积分。

[0163] 在第一实施例中,将片上透镜的特性精确地公式化,以便通过正确图像估计过程生成清晰图像(输出图像)。注意,在传统技术中,假设在每个像素上点取样数据。但是,在实际成像器件 4 中,如上所述,每个像素接收入射在平面的有限区域上的光线的积分,因此,点取样的假设导致正确图像的估计(恢复)出现误差。

[0164] 现在,针对存储在帧存储器 22-1 中的第一图像,将在每个像素上获得的像素值与通过片上透镜入射的光线之间的关系公式化。

[0165] 例如,对于如图 3 所示的左上角的第(1,1)位置上的像素 G00,那个像素的像素值 Gobs(1,1,1) 和纯绿光强度 Lg(x,y) 之间的关系通过如下方程(4)给出。

$$[0166] \quad \iint Lg(x,y)dx dy = Gobs(1,1,1) \quad \dots (4)$$

[0167] 用绿光滤波器盖住用作单面传感器的光传感器 4 的左上角上的像素 G00,以便只有入射光的绿光成分才能到达像素 G00。由于供应了片上透镜,入射在图 3 中其角位于座标(0,0)、(0,1)、(1,0)和(1,1)的矩形区域上的光线到达像素 G00。也就是说,入射在其角在坐标(0,0)、(0,1)、(1,0)和(1,1)上的矩形区域上的所有光线被位于第(1,1)位置上的像素 G00 检测到。

[0168] 方程(4)中的左侧部分代表在其角位于(0,0)、(0,1)、(1,0)和(1,1)的矩形范围上,即,在由 $0 \leq x < 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 定义的范围上求出、第一捕获图像(入射)在坐标系中的位置(x,y)上的纯绿光强度 Lg(x,y) 的积分。方程(4)的右侧部分代表第一图像的第(1,1)位置上的像素获得(观测到)的像素值 Gobs(1,1,1)。因此,方程(4)代表对于第一图像,在像素 G00 的光敏面上求出、入射在像素 G00 的光敏面上的纯绿光强度 Lg(x,y) 的积分等于像素 G00 观测到的像素值 Gobs(1,1,1)。

[0169] 取决于片上透镜的特性,源自对象和入射在每个像素的周围区域(接近边缘)上的光线不会聚。在这样的情况下,稍微缩小计算方程(4)左侧部分的积分的范围。例如,在其角位于(0.1,0.1)、(0.1,0.9)、(0.9,0.1)和(0.9,0.9)的范围上计算积分。

[0170] 在许多数字照相机中,为了避免成为单面传感器缺点的伪彩色,使光低通滤波器位于每个像素上。在这种配置中,每个像素接收入射在稍微大于像素的矩形区域的区域上的光线。在这样的情况下,稍微扩大计算方程(4)左侧部分的积分的矩形范围。

[0171] 接着,将图 3 中直接与像素 G00 的右边相邻的第(2,1)像素 R01 取作例子继续讨论。

[0172] 对于第(2,1)位置上的像素 R01,那个像素的像素值 Robs(1,2,1) 和纯红光强度 Lr(x,y) 之间的关系通过如下方程(5)给出。

$$[0173] \quad \iint Lr(x,y)dx dy = Robs(1,2,1) \quad \dots (5)$$

[0174] 用红光滤波器盖住用作单面传感器的光传感器 4 的左上角上的像素 R01,以便只有入射光的红光成分才能到达像素 R01。由于供应了片上透镜,入射在图 3 中其角位于座标(1,0)、(1,1)、(2,0)和(2,1)的矩形区域上的光线到达像素 R01。也就是说,入射在其

角在坐标 (1,0)、(1,1)、(2,0) 和 (2,1) 上的矩形区域上的所有光线被位于第 (2,1) 位置上的像素 R01 检测到。

[0175] 方程 (5) 中的左侧部分代表第一捕获图像 (入射) 在坐标系中的位置 (x, y) 上的纯红光强度 $L_r(x, y)$ 在其角位于 (1,0)、(1,1)、(2,0) 和 (2,1) 的矩形范围上,即,在由 $1 \leq x < 2$ 和 $0 \leq y < 1$ 定义的范围上的积分。方程 (5) 的右侧部分代表第一图像的第 (2,1) 位置上的像素获得 (观测到) 的像素值 $Robs(1, 2, 1)$ 。因此,方程 (5) 代表对于第一图像,入射在像素 R01 的光敏面上的纯红光强度 $L_r(x, y)$ 在像素 R01 的光敏面上的积分等于像素 R00 观测到的像素值 $Robs(1, 2, 1)$ 。

[0176] 取决于片上透镜的特性,源自对象和入射在每个像素的周围区域 (接近边缘) 上的光线不会聚。在这样的情况下,稍微缩小计算方程 (5) 左侧部分的积分的范围。例如,在其角位于 (1.1,0.1)、(1.1,0.9)、(1.9,0.1) 和 (1.9,0.9) 的范围上计算积分。

[0177] 在许多数字照相机中,为了避免成为单面传感器缺点的伪彩色,使光低通滤波器位于每个像素上。在这种配置中,每个像素接收入射在稍微大于像素的矩形区域的区域上的光线。在这样的情况下,稍微扩大计算方程 (5) 左侧部分的积分的矩形范围。

[0178] 对于第一捕获图像의 其它像素,定义类似的方程。

[0179] 也就是说,对于如图 3 所示的第 (ig, jg) 位置上的像素 $G(jg-1)(ig-1)$,那个像素的像素值 $Gobs(1, ig, jg)$ 和纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 之间的关系通过如下方程 (6) 给出。

$$[0180] \quad \int_{jg-1}^{jg} \int_{ig-1}^{ig} L_g(x, y) dx dy = Gobs(1, ig, jg) \quad \dots (6)$$

[0181] 方程 (6) 代表像素值 $Gobs(1, ig, jg)$ 等于纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 在如图 3 所示的坐标系中其角位于 (ig-1, jg-1)、(ig-1, jg)、(ig, jg-1) 和 (ig, jg) 的矩形范围上,即,在由 $ig-1 \leq x < ig$ 和 $jg-1 \leq y < jg$ 定义的范围上的积分。

[0182] 对于如图 3 所示的第 (ir, jr) 位置上的像素 $R(jr-1)(ir-1)$,那个像素的像素值 $Robs(1, ir, jr)$ 和纯红光强度 $L_r(x, y)$ 之间的关系通过如下方程 (7) 给出。

$$[0183] \quad \int_{jr-1}^{jr} \int_{ir-1}^{ir} L_r(x, y) dx dy = Robs(1, ir, jr) \quad \dots (7)$$

[0184] 方程 (7) 代表像素值 $Robs(1, ir, jr)$ 等于纯红光强度 $L_r(x, y)$ 在如图 3 所示的坐标系中其角位于 (ir-1, jr-1)、(ir-1, jr)、(ir, jr-1) 和 (ir, jr) 的矩形范围上,即,在由 $ir-1 \leq x < ir$ 和 $jr-1 \leq y < jr$ 定义的范围上的积分。

[0185] 对于如图 3 所示的第 (ib, jb) 位置上的像素 $B(jb-1)(ib-1)$,那个像素的像素值 $Bobs(1, ib, jb)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 之间的关系通过如下方程 (8) 给出。

$$[0186] \quad \int_{jb-1}^{jb} \int_{ib-1}^{ib} L_b(x, y) dx dy = Bobs(1, ib, jb) \quad \dots (8)$$

[0187] 方程 (8) 代表像素值 $Bobs(1, ib, jb)$ 等于纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 在如图 3 所示的坐标系中其角位于 (ib-1, jb-1)、(ib-1, jr)、(ib, jb-1) 和 (ib, jb) 的矩形范围上,即,在由 $ib-1 \leq x < ib$ 和 $jb-1 \leq y < jb$ 定义的范围上的积分。

[0188] 实际上,如前所述,图像信号 (观测像素值) 包括放大了 M_k 倍的噪声 E 。如果计及噪声成分 $E \times M_k$,公式 (6)、(7) 和 (8) 分别重写成表示光强度积分应该满足的约束的公式 (9)、(10) 和 (11)。

$$[0189] \quad \left| \int_{jg-1}^{jg} \int_{ig-1}^{ig} L_g(x, y) dx dy - Gobs(1, ig, jg) \right| \leq M_1 \times E \quad \dots (9)$$

$$[0190] \quad \left| \int_{j_r-1}^{j_r} \int_{r-1}^r Lr(x, y) dx dy - Robs(1r, jr) \right| \leq M1 \times E \quad \dots (10)$$

$$[0191] \quad \left| \int_{j_b-1}^{j_b} \int_{b-1}^b Lb(x, y) dx dy - Bobs(1b, jb) \right| \leq M1 \times E \quad \dots (11)$$

[0192] 其中, $|x|$ 表示 x 的绝对值。

[0193] 公式 (9) 代表光强度 $Lg(x, y)$ 的积分与观测像素值 $Gobs(1, ig, jg)$ 之差等于或小于噪声的最大可能值 $M1 \times E$ 。不等式 (10) 和 (11) 代表类似的约束。

[0194] 在如下的描述中, 将第 k 捕获图像也简称为第 k 图像。

[0195] 现在, 对于存储在帧存储器 22-2 中的第二图像, 与对于第一图像一样, 用数学表达式的形式表示在每个像素上获得 (观测到) 的像素值与通过片上透镜入射的光线之间的关系。

[0196] 根据运动检测器 23 检测的转换参数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk), 将第二以及随后捕获图像的坐标系转换成第一捕获图像的坐标系。

[0197] 对于第二图像的第 (1, 1) 位置上的像素 $G00$, 那个像素的像素值 $Gobs(2, 1, 1)$ 和纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 之间的关系通过如下方程 (12) 给出。

$$[0198] \quad \int_{0_{(2)}}^{1_{(2)}} \int_{0_{(2)}}^{1_{(2)}} Lg(x, y) dx dy = Gobs(2, 1, 1) \quad \dots (12)$$

[0199] 用绿光滤波器盖住光传感器 4 的左上角上的像素 $G00$, 以便只有入射光的绿光成分才能到达像素 $G00$ 。由于供应了片上透镜, 入射在第二图像的坐标系中其角位于坐标 (0, 0)、(0, 1)、(1, 0) 和 (1, 1) 的矩形区域上的光线到达像素 $G00$ 。

[0200] 如果根据转换参数 ($\theta_2, T2x, T2y, S2$), 将第二图像的坐标系中的位置 (0, 0)、(0, 1)、(1, 0) 和 (1, 1) 转换成第一图像的坐标系中的位置, 所得位置像 $(0_{(2)}, 0_{(2)})$ 、 $(0_{(2)}, 1_{(2)})$ 、 $(1_{(2)}, 0_{(2)})$ 和 $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ 那样给出。也就是说, 入射在其角位于坐标 $(0_{(2)}, 0_{(2)})$ 、 $(0_{(2)}, 1_{(2)})$ 、 $(1_{(2)}, 0_{(2)})$ 和 $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ 上的矩形区域上的所有光线被位于第 (1, 1) 位置上的像素 $G00$ 检测到。在下文中, 当第二图像的位置 (x, y) 被转换成第一图像的坐标系中的位置时, 将所得位置称为 $P(2, x, y)$ 。

[0201] 方程 (12) 中的左侧部分代表纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 在其角位于 $P(2, 0, 0)$ 、 $P(2, 0, 1)$ 、 $P(2, 1, 0)$ 和 $P(2, 1, 1)$ 的矩形区域上, 即, 在第一图像的坐标系中其角位于坐标 $(0_{(2)}, 0_{(2)})$ 、 $(0_{(2)}, 1_{(2)})$ 、 $(1_{(2)}, 0_{(2)})$ 和 $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ 上的矩形范围上的积分。方程 (12) 的右侧部分代表在第二图像的第 (1, 1) 位置上的像素上获得的像素值 $Gobs(2, 1, 1)$ 。方程 (12) 代表在第二图像的像素 $G00$ 上获得的像素值 $Gobs(2, 1, 1)$ 等于入射在第一图像的坐标系中其角位于坐标 $(0_{(2)}, 0_{(2)})$ 、 $(0_{(2)}, 1_{(2)})$ 、 $(1_{(2)}, 0_{(2)})$ 和 $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ 上的矩形区域上的纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 的积分。在方程 (12) 中, $\int \int dx dy$ 代表在其角位于 $(0_{(2)}, 0_{(2)})$ 、 $(0_{(2)}, 1_{(2)})$ 、 $(1_{(2)}, 0_{(2)})$ 和 $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ 上的矩形区域上求出的积分。在出现在如下描述中的方程 (13) 和其它类似方程中, $\int \int dx dy$ 也用于表示类似积分。

[0202] 取决于片上透镜的特性, 源自对象和入射在每个像素的周围区域 (接近边缘) 上的光线不会聚。在这样的情况下, 与在第一图像中一样, 稍微缩小计算方程 (12) 左侧部分中的积分的范围。

[0203] 在许多数字照相机中, 为了避免成为单面传感器缺点的伪彩色, 使光低通滤波器位于每个像素上。在这种配置中, 每个像素接收入射在稍微大于像素的矩形区域的区域上

的光线。在这样的情况下,稍微扩大计算方程 (12) 左侧部分的积分的矩形范围。

[0204] 接着,将直接与像素 G00 的右边相邻的第 (2,1) 像素 R01 取作例子继续讨论。

[0205] 对于第二图像的第 (2,1) 位置上的像素 R01,那个像素的像素值 Robs(2,2,1) 和纯红光强度 $L_r(x, y)$ 之间的关系通过如下方程 (13) 给出。

$$[0206] \quad \int_{(2)}^{(2)} \int_{(2)}^{(2)} L_r(x, y) dx dy = Robs(2,2,1) \quad \dots (13)$$

[0207] 用红光滤波器盖住光传感器 4 的左上角上的像素 R01,以便只有入射光的红光成分才能到达像素 R01。由于供应了片上透镜,入射在第二图像的坐标系中其角位于坐标 (1,0)、(1,1)、(2,0) 和 (2,1) 上的矩形区域上的光线到达像素 R01。

[0208] 如果根据转换参数 (θ 2, T2x, T2y, S2),将第二图像的坐标系中的位置 (1,0)、(1,1)、(2,0) 和 (2,1) 转换成第一图像的坐标系中的位置,所得位置像 $(1_{(2)}, 0_{(2)})$ 、 $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ 、 $(2_{(2)}, 0_{(2)})$ 和 $(2_{(2)}, 1_{(2)})$ 那样给出。也就是说,入射在其角位于坐标 $(1_{(2)}, 0_{(2)})$ 、 $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ 、 $(2_{(2)}, 0_{(2)})$ 和 $(2_{(2)}, 1_{(2)})$ 上的矩形区域上的所有光线被位于第 (2,1) 位置上的像素 R01 检测到。

[0209] 方程 (13) 中的左侧部分代表纯红光强度 $L_r(x, y)$ 在其角位于 P(2,1,0)、P(2,1,1)、P(2,2,0) 和 P(2,2,1) 的矩形区域上,即,在第一图像的坐标系中其角位于坐标 $(1_{(2)}, 0_{(2)})$ 、 $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ 、 $(2_{(2)}, 0_{(2)})$ 和 $(2_{(2)}, 1_{(2)})$ 上的矩形范围上的积分。方程 (13) 的右侧部分代表在第二图像的第 (2,1) 位置上的像素上获得的像素值 Robs(2,2,1)。方程 (13) 代表在第二图像的像素 R01 上获得的像素值 Robs(2,2,1) 等于入射在第一图像的坐标系中其角位于 $(1_{(2)}, 0_{(2)})$ 、 $(1_{(2)}, 1_{(2)})$ 、 $(2_{(2)}, 0_{(2)})$ 和 $(2_{(2)}, 1_{(2)})$ 上的矩形区域上的纯红光强度 $L_r(x, y)$ 的积分。

[0210] 取决于片上透镜的特性,源自对象和入射在每个像素的周围区域(接近边缘)上的光线不会聚。在这样的情况下,稍微缩小求出方程 (13) 左侧部分中的积分的范围。

[0211] 在许多数字照相机中,为了避免成为单面传感器缺点的伪彩色,使光低通滤波器位于每个像素上。在这种配置中,每个像素接收入射在稍微大于像素的矩形区域的区域上的光线。在这样的情况下,稍微扩大计算方程 (13) 左侧部分的积分的矩形范围。

[0212] 对于第二捕获图像的其它像素,定义类似的方程。

[0213] 也就是说,对于第二图像的第 (ig, jg) 位置上的像素 G(jg-1)(ig-1),那个像素的像素值 Gobbs(2, ig, jg) 和纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 之间的关系通过如下方程 (14) 给出。

$$[0214] \quad \int_{jg-1_{(2)}}^{jg_{(2)}} \int_{ig-1_{(2)}}^{ig_{(2)}} L_g(x, y) dx dy = Gobbs(2, ig, jg) \quad \dots (14)$$

[0215] (2)

[0216] 方程 (14) 代表像素值 Gobbs(2, ig, jg) 等于纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 在第二图像的坐标系中其角位于 (ig-1, jg-1)、(ig-1, jg)、(ig, jg-1) 和 (ig, jg) 的矩形范围上,即,在第一图像的坐标系中其角位于 $(ig-1_{(2)}, jg-1_{(2)})$ 、 $(ig-1_{(2)}, jg_{(2)})$ 、 $(ig_{(2)}, jg-1_{(2)})$ 和 $(ig_{(2)}, jg_{(2)})$ 的矩形范围上的积分。

[0217] 也就是说,对于第二图像的第 (ir, jr) 位置上的像素 R(jr-1)(ir-1),那个像素的像素值 Robs(2, ir, jr) 和纯红光强度 $L_r(x, y)$ 之间的关系通过如下方程 (15) 给出。

$$[0218] \quad \int_{jr-1_{(2)}}^{jr_{(2)}} \int_{ir-1_{(2)}}^{ir_{(2)}} L_r(x, y) dx dy = Robs(2, ir, jr) \quad \dots (15)$$

[0219] (2)

[0220] 方程 (15) 代表像素值 $\text{Robs}(2, \text{ir}, \text{jr})$ 等于纯红光强度 $L_r(x, y)$ 在第二图像的坐标系中其角位于 $(\text{ir}-1, \text{jr}-1)$ 、 $(\text{ir}-1, \text{jr})$ 、 $(\text{ir}, \text{jr}-1)$ 和 (ir, jr) 的矩形范围上, 即, 在第一图像的坐标系中其角位于 $(\text{ir}-1_{(2)}, \text{jr}-1_{(2)})$ 、 $(\text{ir}-1_{(2)}, \text{jr}_{(2)})$ 、 $(\text{ir}_{(2)}, \text{jr}-1_{(2)})$ 和 $(\text{ir}_{(2)}, \text{jr}_{(2)})$ 的矩形范围上的积分。

[0221] 也就是说, 对于第二图像的第 (ib, jb) 位置上的像素 $B(\text{jb}-1)(\text{ib}-1)$, 那个像素的像素值 $\text{Bobs}(2, \text{ib}, \text{jb})$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 之间的关系通过如下方程 (16) 给出。

$$[0222] \quad \int_{\text{jb}-1_{(2)}}^{\text{jb}_{(2)}} \int_{\text{ib}-1_{(2)}}^{\text{ib}_{(2)}} L_b(x, y) dx dy = \text{Bobs}(2, \text{ib}, \text{jb}) \quad \dots (16)$$

[0223] (2)

[0224] 方程 (16) 代表像素值 $\text{Bobs}(2, \text{ib}, \text{jb})$ 等于纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 在第二图像的坐标系中其角位于 $(\text{ib}-1, \text{jb}-1)$ 、 $(\text{ib}-1, \text{jb})$ 、 $(\text{ib}, \text{jb}-1)$ 和 (ib, jb) 的矩形范围上, 即, 在第一图像的坐标系中其角位于 $(\text{ib}-1_{(2)}, \text{jb}-1_{(2)})$ 、 $(\text{ib}-1_{(2)}, \text{jb}_{(2)})$ 、 $(\text{ib}_{(2)}, \text{jb}-1_{(2)})$ 和 $(\text{ib}_{(2)}, \text{jb}_{(2)})$ 的矩形范围上的积分。

[0225] 实际上, 如前所述, 图像信号 (观测像素值) 包括放大了 M_k 倍的噪声 E 。如果计及噪声成分 $E \times M_k$, 公式 (14)、(15) 和 (16) 分别重写成表示光强度积分应该满足的约束的公式 (17)、(18) 和 (19)。

$$[0226] \quad \left| \int_{\text{ig}-1_{(2)}}^{\text{ig}_{(2)}} \int_{\text{ig}-1_{(2)}}^{\text{ig}_{(2)}} L_g(x, y) dx dy - \text{Gobs}(2, \text{ig}, \text{ig}) \right| \leq M_2 \times E \quad \dots (17)$$

$$[0227] \quad \left| \int_{\text{jr}-1_{(2)}}^{\text{jr}_{(2)}} \int_{\text{jr}-1_{(2)}}^{\text{jr}_{(2)}} L_r(x, y) dx dy - \text{Robs}(2, \text{ir}, \text{jr}) \right| \leq M_2 \times E \quad \dots (18)$$

$$[0228] \quad \left| \int_{\text{jb}-1_{(2)}}^{\text{jb}_{(2)}} \int_{\text{ib}-1_{(2)}}^{\text{ib}_{(2)}} L_b(x, y) dx dy - \text{Bobs}(2, \text{ib}, \text{jb}) \right| \leq M_2 \times E \quad \dots (19)$$

[0229] 其中, $|x|$ 表示 x 的绝对值。

[0230] 公式 (17) 代表光强度 $L_g(x, y)$ 的积分与观测像素值 $\text{Gobs}(2, \text{ig}, \text{ig})$ 之差等于或小于噪声的最大可能值 $M_2 \times E$ 。不等式 (18) 和 (19) 代表类似的约束。

[0231] 现在, 参考图 5, 描述第二图像的位置 (x, y) 和将位置 (x, y) 转换到第一图像的坐标系获得的位置 $P(2, x, y)$ 之间的关系。

[0232] 图 5 的左侧示出了第二图像的坐标系中其 4 个角位于 $(i-1, j-1)$ 、 $(i-1, j)$ 、 $(i, j-1)$ 和 (i, j) 的矩形区域中的像素 31。

[0233] 左侧的像素 31 被转换成如图 5 的右侧所示、第一图像的坐标系中的像素 31'。注意, 对象 (例如, 风景) 的相同部分的光线落在图 5 左侧的像素 31 和图 5 右侧的像素 31' 上。

[0234] 第二和随后捕获图像的每个像素的像素值被确定成采用作为参考图像的第一图像中特定区域中的光线的积分。通过适当地设置积分区域, 将存在位移的第一到第 N 捕获图像排成正确位置 (参照第一捕获图像)。

[0235] 作为基于转换参数 $(\theta_2, T_{2x}, T_{2y}, S_2)$ 的转换结果, 第二图像的坐标系中的位置 $(i-1, j-1)$ 被转换成第一图像的坐标系中的位置 $P(2, i-1, j-1)$ 。作为基于转换参数 $(\theta_2, T_{2x}, T_{2y}, S_2)$ 的转换结果, 第二图像的坐标系中的位置 $(i-1, j)$ 被转换成第一图像的坐标系中的位置 $P(2, i-1, j)$ 。类似地, 作为基于转换参数 $(\theta_2, T_{2x}, T_{2y}, S_2)$ 的转换结果, 第

二图像的坐标系中的位置 $(i, j-1)$ 和 (i, j) 被转换成第一图像的坐标系中的位置 $P(2, i, j-1)$ 和 $P(2, i, j)$ 。在下文中,将第一图像的坐标系中的 X 坐标轴和 Y 坐标轴分别简称为 X 和 Y 。

[0236] 与第二图像一样,作为基于转换参数 $(\theta_k, Tk_x, Tk_y, Sk)$ 的转换结果,第 k ($k = 3$ 至 N) 图像的坐标系中的位置 $(i-1, j-1)$ 、 $(i-1, j)$ 、 $(i, j-1)$ 和 (i, j) 被转换成第一图像的坐标系中的位置 $P(k, i-1, j-1)$ 、 $P(k, i-1, j)$ 、 $P(k, i, j-1)$ 和 $P(k, i, j)$ 。

[0237] 在第 k 图像 ($k = 3$ 至 N) 中,如果计及幅度放大了 Mk 倍的噪声 E ,获得表示施加在光强度积分上的约束、与公式 (17) 到 (19) 相似的公式 (20) 到 (22)。

$$[0238] \quad \left| \int_{jg-1_{(k)}}^{jg_{(k)}} \int_{ig-1_{(k)}}^{ig_{(k)}} Lg(x, y) dx dy - Gobs(k, ig, jg) \right| \leq Mk \times E \quad \dots (20)$$

[0239] 公式 (20) 代表位于第 k 图像的第 (ig, jg) 位置上的像素获得的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 等于在其角位于 $P(k, ig-1, jg-1)$ 、 $P(k, ig-1, jg)$ 、 $P(k, ig, jg-1)$ 和 $P(k, ig, jg)$ 的矩形范围上,即,在第一图像坐标系中其角位于 $(ig-1_{(k)}, jg-1_{(k)})$ 、 $(ig-1_{(k)}, jg_{(k)})$ 、 $(ig_{(k)}, jg-1_{(k)})$ 和 $(ig_{(k)}, jg_{(k)})$ 的矩形范围上求出的纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 的积分,最大可能误差等于幅度放大了 Mk 倍的噪声 E 。也就是说,纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 与观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之差 (的绝对值) 等于或小于噪声的最大可能值。注意,在公式 (20) 中, $|x|$ 表示 x 的绝对值。

$$[0240] \quad \left| \int_{jr-1_{(k)}}^{jr_{(k)}} \int_{ir-1_{(k)}}^{ir_{(k)}} Lr(x, y) dx dy - Robs(k, ir, jr) \right| \leq Mk \times E \quad \dots (21)$$

[0241] 公式 (21) 代表位于第 k 图像的第 (ir, jr) 位置上的像素获得的像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 等于在其角位于 $P(k, ir-1, jr-1)$ 、 $P(k, ir-1, jr)$ 、 $P(k, ir, jr-1)$ 和 $P(k, ir, jr)$ 的矩形范围上,即,在第一图像坐标系中其角位于 $(ir-1_{(k)}, jr-1_{(k)})$ 、 $(ir-1_{(k)}, jr_{(k)})$ 、 $(ir_{(k)}, jr-1_{(k)})$ 和 $(ir_{(k)}, jr_{(k)})$ 的矩形范围上求出的纯红光强度 $Lr(x, y)$ 的积分,最大可能误差等于幅度放大了 Mk 倍的噪声 E 。也就是说,纯红光强度 $Lr(x, y)$ 与观测像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 之差 (的绝对值) 等于或小于噪声的最大可能值。注意,在公式 (21) 中, $|x|$ 表示 x 的绝对值。

$$[0242] \quad \left| \int_{jb-1_{(k)}}^{jb_{(k)}} \int_{ib-1_{(k)}}^{ib_{(k)}} Lb(x, y) dx dy - Bobs(k, ib, jb) \right| \leq Mk \times E \quad \dots (22)$$

[0243] 公式 (22) 代表位于第 k 图像的第 (ib, jb) 位置上的像素获得的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 等于在其角位于 $P(k, ib-1, jb-1)$ 、 $P(k, ib-1, jb)$ 、 $P(k, ib, jb-1)$ 和 $P(k, ib, jb)$ 的矩形范围上,即,在第一图像坐标系中其角位于 $(ib-1_{(k)}, jb-1_{(k)})$ 、 $(ib-1_{(k)}, jb_{(k)})$ 、 $(ib_{(k)}, jb-1_{(k)})$ 和 $(ib_{(k)}, jb_{(k)})$ 的矩形范围上求出的纯蓝光强度 $Lb(x, y)$ 的积分,最大可能误差等于幅度放大了 Mk 倍的噪声 E 。也就是说,纯蓝光强度 $Lb(x, y)$ 与观测像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 之差 (的绝对值) 等于或小于噪声的最大可能值。注意,在公式 (22) 中, $|x|$ 表示 x 的绝对值。

[0244] 现在,参照如图 6 所示的流程图,描述根据本发明第一实施例、如图 2 所示的步骤 S4 中的正确图像估计过程。

[0245] 首先,在步骤 S11 中,计算电路 24 针对每个 (ig, jg) ,从第一图像的每个像素的像素值 $Gobs(1, ig, jg)$ 中生成形式 (9) 的光强度积分公式,针对每个 (ir, jr) ,从 $Robs(1, ir,$

jr) 中生成形式 (10) 的光强度积分公式, 和针对每个 (ib, jb), 从 Bobs(1, ib, jb) 中生成形式 (11) 的光强度积分公式。

[0246] 在步骤 S12 中, 计算电路 24 针对每个 (ig, jg), 从第二图像的每个像素的像素值 Gobs(2, ig, jg) 中生成形式 (17) 的光强度积分公式, 针对每个 (ir, jr), 从 Robs(2, ir, jr) 中生成形式 (18) 的光强度积分公式, 和针对每个 (ib, jb), 从 Bobs(2, ib, jb) 中生成形式 (19) 的光强度积分公式。此后, 过程转到步骤 S13。在上面的过程中, 计算电路 24 利用运动检测器 23-1 供应的转换参数 (θ_2 , T2x, T2y, S2), 将第二图像的位置转换成第一图像的相应位置。

[0247] 在步骤 S13 中, 计算电路 24 针对每个 (ig, jg), 从第 k 图像 ($k = 3$ 至 N) 的每个像素的像素值 Gobs(k, ig, jg) 中生成形式 (20) 的光强度积分公式, 针对每个 (ir, jr), 从 Robs(k, ir, jr) 中生成形式 (21) 的光强度积分公式, 和针对每个 (ib, jb), 从 Bobs(k, ib, jb) 中生成形式 (22) 的光强度积分公式。此后, 过程转到步骤 S14。在上面的过程中, 计算电路 24 利用运动检测器 23-(k-1) 供应的转换参数 (θ_k , Tkx, Tky, Sk), 将第 k 图像的位置转换成第一图像的相应位置。

[0248] 在步骤 S14 中, 计算电路 24 通过求解与在步骤 S11 到 S13 中生成的光强度积分约束 (9)、(10)、(11)、(17)、(18)、(19)、(20)、(21) 和 (22) 相联系的公式, 估计纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 。如果这些值都确定下来, 从该过程退出。将纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 的获得值 (它们的估计值) 作为代表清晰图像的所得图像信号 (G 信号、R 信号和 B 信号) 供应给 D/A 转换器 9 或编解码器 12。

[0249] 在这个步骤 S14 中, 当求解与光强度积分约束相联系的公式以确定纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 时, 使用确定满足多个约束的图像数据的方法。这样方法的具体例子是 POCS (凸集投影 (Projection onto Convex Sets)) 方法。在 POCS 方法中, 通过重复地进行到凸集的投影, 估计满足给定约束的最大似然解。这种方法的详细描述可以从, 例如, 论文“利用凸投影方法的图像恢复: 第一部分, 理论” (“Image Restoration by the Method of Convex Projections: part 1 theory” (D. C. Youla and H. Webb, IEEE Trans. Med. Image., vol. 1, No. 2, pp81-94, Oct., 1982) 中找到。日本待审专利申请公告第八-263639 号公开了利用 POCS 方法从多个低分辨率运动图像中生成高分辨率静止图像的技术。在公开在日本待审专利申请公告第八-263639 号中的这种技术中, 利用运动矢量进行运动补偿, 并且, 识别精度等于 1 个或 1/2 个像素。取决于识别精度, 固定用于估计每个像素的最大似然像素值的像素数量。相反, 在本实施例中, 根据半模拟过程进行运动补偿, 并且, 取决于与由照相机摇晃引起的位移相联系的状态, 自适应地改变用于估计每个像素的最大似然像素值的像素数量。

[0250] 现在, 参照如图 7 所示的流程图, 进一步描述根据本发明第一实施例、如图 2 所示的步骤 S4 中的正确图像估计处理。

[0251] 首先, 在步骤 S21 中, 计算电路 24 将存储在计算电路 24 中的指示图像数量的计数的变量 k 设置成 1。此后, 过程转到步骤 S22。

[0252] 在步骤 S22 中, 计算电路 24 针对每个 (ig, jg), 从第 k 图像的每个像素的像素值 Gobs(k, ig, jg) 中生成形式 (20) 的光强度积分公式。此后, 过程转到步骤 S23。

[0253] 在步骤 S23 中,计算电路 24 针对每个 (ir, jr),从第 k 图像的每个像素的像素值 $R_{obs}(k, ir, jr)$ 中生成形式 (21) 的光强度积分公式。此后,过程转到步骤 S24。

[0254] 在步骤 S24 中,计算电路 24 针对每个 (ib, jb),从第 k 图像的每个像素的像素值 $B_{obs}(k, ib, jb)$ 中生成形式 (22) 的光强度积分公式。此后,过程转到步骤 S25。

[0255] 当在如上所述的步骤 S22 到 S24 中生成与光强度积分相联系的不等式时,按需要使用运动检测器 23-1 到 23-(N-1) 供应的转换参数。

[0256] 在步骤 S25 中,计算电路 24 确定内部变量 k 是否等于帧存储器 22-1 到 22-N 供应的图像数量 N。如果确定变量 k 不等于图像数量 N,过程转到步骤 S26,在步骤 S26 中,计算电路 24 将变量 k 加 1。此后,计算电路 24 返回到步骤 S22 的处理流程,重复从 S22 到 S25 的过程。

[0257] 另一方面,如果确定变量 k 等于图像数量 N,过程转到步骤 S27,在步骤 S27 中,计算电路 24 通过求解在步骤 S22 到 S24 中生成的不等式 (20)、(21) 和 (22),估计纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 。如果这些值都确定下来,结束整个过程。将可能是真值的纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 的获得值作为代表清晰图像的所得图像信号 (G 信号、R 信号和 B 信号) 供应给 D/A 转换器 9 或编解码器 12。

[0258] 这里获得的纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 是模拟信号。也就是说, $L_g(x, y)$ 、 $L_r(x, y)$ 和 $L_b(x, y)$ 是 (x, y) 的函数,其中,如前所述,变量 x 和 y 不是整数,而是可以包括小数的实数。尽管位数取决于设备的精度,但一般说来,每个小数有 2 个或 3 个二进制位。由于 $L_g(x, y)$ 、 $L_r(x, y)$ 和 $L_b(x, y)$ 是实数 (x, y) 的函数,如有需要,在 (x, y) 的整数上进行重新取样,并且将所得数字图像信号供应给 D/A 转换器 9 或编解码器 12。

[0259] 在对象在以高快门速度拍摄 N 个图像期间发生运动的情况下,对象的纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 随时间而改变。在这样的情况下,如上所述的方法不能供应正确的解决方案。

[0260] 因此,当对象包括运动部分时,执行异常管理过程。在异常管理过程中,进行简单叠加。更具体地说,从 N 个图像中的每一个的 Bayer 阵列图像数据 (在每个像素上只有 R、G 和 B 信号之一) 中,通过去马赛克过程,为每个像素恢复由 R、G 和 B 信号组成的三个信号。在去马赛克过程之后,通过旋转、增加或缩小尺寸和 / 或平移 N 个图像,进行对准,以便使 N 个图像变成正确位置,并将 N 个图像叠加在一起。去马赛克过程可以利用任何已知技术来执行。

[0261] 在第一实施例中,如上所述,执行计及直接位于每个像素上的片上透镜的特性的过程,因此,可以生成清晰位移补偿图像。

[0262] 现在,描述根据本发明第二实施例的信号处理器 7 执行的正确图像估计过程。

[0263] 在第二实施例中,除了对于 $k = 1$ 到 N,与公式 (20) 到 (22) 给出的光强度积分相联系的约束之外,使与 R、G 和 B 信号之间的颜色相关性相联系的约束施加在确定纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 的过程上。

[0264] 在图像的局部区域中,与源自对象和入射在成像器件 4 上的光线相对应的纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 的颜色之间存在颜色相关性。

通过施加颜色相关性,以及与在公式 (20) 到 (22) 中给出的光强度积分相联系的约束,可以获得更好的解决方案,即,更可能是正确图像的更清晰图像。

[0265] 下面参考图 8 和 9,描述确定颜色相关性约束的具体方法。在如下参考图 8 和 9 的描述中,讨论绿色和红色之间的相关性。

[0266] 例如,对如图 8 的左下部所示的第 k' 图像的第 (ig, jg) 位置上的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和如图 8 的右下部所示的第 k'' 图像的第 (ir, jr) 位置上的红光像素 $R(jr-1)(ir-1)$ 加以讨论。

[0267] 计算电路 24 以与根据第一实施例的方式相似的方式,利用转换参数 $(\theta k', Tk' x, Tk' y, Sk')$ 和 $(\theta k'', Tk'' x, Tk'' y, Sk'')$,将第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和第 k'' 图像的红光像素 $R(jr-1)(ir-1)$ 的位置转换成图 8 的上方第一图像的坐标系中的位置。注意, k' 和 k'' 可以等于 1。当 k' 或 k'' 等于 1 时,转换参数像 $(\theta 1, T1x, T1y, S1) = (0, 0, 0, 1)$ 那样给出。

[0268] 然后,计算电路 24 计算转换到第一图像的坐标系的位置上的第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 与转换到第一图像的坐标系的位置上的第 k'' 图像的红光像素 $R(jr-1)(ir-1)$ 之间的距离。并且,计算电路 24 通过确定计算的距离是否小于最大许可值(阈值) Δ (设置成,例如,像素尺寸的 0.25 倍),确定是否可以认为这两个像素位于相同位置上。

[0269] 当像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和 $R(jr-1)(ir-1)$ 的位置分别作为位置 (ig, jg) 和 (ir, jr) 给出时,如果第 k' 图像的坐标系中像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的位置 (ig, jg) 被表示成点 $G_{(c)}$,第 k'' 图像的坐标系中像素 $R(jr-1)(ir-1)$ 的位置 (ir, jr) 被表示成点 $R_{(c)}$,第一图像的坐标系中像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的位置 (ig, jg) 被表示成 $G_{c(k')}$,和第一图像的坐标系中像素 $R(jr-1)(ir-1)$ 的位置 (ir, jr) 被表示成 $R_{c(k'')}$,那么,要求点 $G_{c(k')}$ 和点 $R_{c(k'')}$ 之间的距离应该在许可值 Δ 内的约束由如下所示的公式 (23) 给出。

[0270]

$$Dis[G_{c(k')}, R_{c(k'')}]$$

[0271]

$$= Dis \left[Sk' \begin{pmatrix} \cos(\theta k') & -\sin(\theta k') \\ \sin(\theta k') & \cos(\theta k') \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ig \\ jg \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Tk' x \\ Tk' y \end{pmatrix}, Sk'' \begin{pmatrix} \cos(\theta k'') & -\sin(\theta k'') \\ \sin(\theta k'') & \cos(\theta k'') \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ir \\ jr \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Tk'' x \\ Tk'' y \end{pmatrix} \right] \leq \Delta$$

[0272]

... (23)

[0273] 将公式 (23) 称为距离约束公式。在公式 (23) 中, $Dis[G_{c(k')}, R_{c(k'')}]$ 表示点 $G_{c(k')}$ 和点 $R_{c(k'')}$ 之间的距离。通过根据与方程 (1) 到 (3) 相似的方程,利用转换参数 $(\theta k', Tk' x, Tk' y, Sk')$ 和 $(\theta k'', Tk'' x, Tk'' y, Sk'')$,对位置 (ig, jg) 和 (ir, jr) 进行仿射变换,获得点 $G_{c(k')}$ 和点 $R_{c(k'')}$ 的位置。

[0274] 计算电路 24 确定在第一图像的坐标系中中心在位置 (x, y) 上的小区域 $(x \pm dx, y \pm dy)$ 中,即,在其角位于 $(x-dx, y-dy)$ 、 $(x-dx, y+dy)$ 、 $(x+dx, y-dy)$ 和 $(x+dx, y+dy)$ 的矩形区域中是否存在许可容限 Δ 内可以认为相同的位置上的第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和第 k'' 图像的红光像素 $R(jr-1)(ir-1)$,其中, dx 和 dy 是定义位置 (x, y) 的附近区域的值,和沿着 X 方向和 Y 方向,分别将它们设置成,例如,像素尺寸的 2 倍。

[0275] 换句话说,计算电路 24 在第一图像的坐标系中中心在位置 (x, y) 上的小区域

$(x \pm dx, y \pm dy)$ 内,即,在其角位于 $(x-dx, y-dy)$ 、 $(x-dx, y+dy)$ 、 $(x+dx, y-dy)$ 和 $(x+dx, y+dy)$ 的矩形区域中确定满足公式 (23) 的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 。

[0276] 然后,计算电路 24 获取分别与确定的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 相对应的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robbs(k'', ir, jr)$ 。

[0277] 计算电路 24 为从 1 到 N 的范围内 k' 和 k'' 的所有可能组合确定满足公式 (23) 的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 。

[0278] 一般说来,检测到 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 的多种组合,和如图 9 所示,计算电路 24 在水平轴代表 G 信号 ($Gobs(k', ig, jg)$) 和垂直轴代表 R 信号 ($Robbs(k'', ir, jr)$) 的 GR 空间中画出与检测的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 相对应的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robbs(k'', ir, jr)$ 。

[0279] 图 9 是示出认为位于相同位置上和在 GR 空间中画出的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robbs(k'', ir, jr)$ 的示意图。

[0280] 在图 9 中,每个像 x 那样的标记表示与计算电路 24 检测的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 相对应的一对像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robbs(k'', ir, jr)$ 。

[0281] 如图 9 所示的这些曲线表示在位置 (x, y) 附近确定的纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 和纯红光强度 $Lr(x, y)$ 之间存在相关性。

[0282] 因此,在第二实施例中,除了第一实施例中与公式 (20) 到 (22) 给出的光强度积分相联系的约束之外,还要加入如图 9 所示的绿色和红色之间的相关性作为约束。

[0283] 计算电路 24 对在如图 9 所示的 GR 空间中画出的多个点进行主要成分分析,其中,每个画出点对应于计算电路 24 按满足距离约束 (23) 检测的一对像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robbs(k'', ir, jr)$ 。

[0284] 然后,计算电路 24 确定沿着与作为主要成分分析结果获得的主要成分(第一主要成分)的方向(在图 9 中用粗箭头表示)垂直的方向的成分(例如,第二主要成分)的方差(variance)。并且,计算电路 24 以数学表达式的形式表达颜色相关性约束,这个数学表达式表述,对于位置 (x, y) ,与纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 和纯红光强度 $Lr(x, y)$ 相对应的点应该在 GR 空间中沿着主要成分的方向延伸和宽度等于沿着与主要成分的方向垂直的方向的成分的方差的带内。

[0285] 如下所述,绿色和蓝色之间的颜色相关性约束也以相似的方式引入。

[0286] 与如图 8 所示的绿光像素和红光像素一样,计算电路 24 以与根据第一实施例的方式相似的方式,利用转换参数 $(\theta_{k'}, Tk'_{x}, Tk'_{y}, Sk')$ 和 $(\theta_{k'''}, Tk'''_{x}, Tk'''_{y}, Sk''')$,将第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和第 k''' 图像的蓝光像素 $B(jb-1)(ib-1)$ 的位置转换成第一图像的坐标系中的位置。

[0287] 然后,计算电路 24 计算转换到第一图像的坐标系的位置上的第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 与转换到第一图像的坐标系的位置上的第 k''' 图像的蓝光像素 $B(jb-1)(ib-1)$ 之间的距离。并且,计算电路 24 以与图 8 相似的方式,通过确定计算的距离是否小于最大许可值(阈值) Δ ,确定是否可以认为这两个像素位于相同位置上。

[0288] 当像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和 $B(jb-1)(ib-1)$ 的位置分别作为位置 (ig, jg) 和 (ib, jb) 给出时,如果第 k' 图像的坐标系中像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的位置 (ig, jg) 被表示成 $G_{(c)}$,第 k''' 图像的坐标系中像素 $B(jb-1)(ib-1)$ 的位置 (ib, jb) 被表示成 $B_{(c)}$,第一图像的坐

标系中像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的位置 (ig, jg) 被表示成 $G_{c(k')}$, 和第一图像的坐标系中像素 $B(jb-1)(ib-1)$ 的位置 (ib, jb) 被表示成 $R_{c(k'')}$, 那么, 要求点 $G_{c(k')}$ 和点 $R_{c(k'')}$ 之间的距离应该在许可值 Δ 内的约束由如下所示的公式 (24) 给出。

[0289]

$$Dis[G_{c(k')}, B_{c(k'')}] =$$

[0290]

$$Dis\left[Sk'\begin{pmatrix}\cos(\theta k') & -\sin(\theta k') \\ \sin(\theta k') & \cos(\theta k')\end{pmatrix}\begin{pmatrix}ig \\ jg\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}Tk'x \\ Tk'y\end{pmatrix}, Sk'''\begin{pmatrix}\cos(\theta k''') & -\sin(\theta k''') \\ \sin(\theta k''') & \cos(\theta k''')\end{pmatrix}\begin{pmatrix}ib \\ jb\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}Tk'''x \\ Tk'''y\end{pmatrix}\right] \leq \Delta \quad \dots (24)$$

[0291]

[0292] 将公式 (24) 称为距离约束公式。在公式 (24) 中, $Dis[G_{c(k')}, B_{c(k'')}]$ 表示点 $G_{c(k')}$ 和点 $B_{c(k'')}$ 之间的距离。通过根据与方程 (1) 到 (3) 相似的方程, 利用转换参数 $(\theta k', Tk'x, Tk'y, Sk')$ 和 $(\theta k'', Tk''x, Tk''y, Sk'')$, 对位置 (ig, jg) 和 (ib, jb) 进行仿射变换, 获得点 $G_{c(k')}$ 和点 $B_{c(k'')}$ 的位置。

[0293] 计算电路 24 确定在第一图像的坐标系中中心在位置 (x, y) 上的小区域 $(x \pm dx, y \pm dy)$ 中, 即, 在其角位于 $(x-dx, y-dy)$ 、 $(x-dx, y+dy)$ 、 $(x+dx, y-dy)$ 和 $(x+dx, y+dy)$ 的矩形区域中是否存在许可容限 Δ 内可以认为相同的位置上的第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和第 k'' 图像的蓝光像素 $B(jb-1)(ib-1)$, 其中, dx 和 dy 是定义位置 (x, y) 的附近区域的值, 和沿着 X 方向和 Y 方向, 分别将它们设置成等于, 例如, 像素尺寸的 2 倍。

[0294] 换句话说, 计算电路 24 在第一图像的坐标系中中心在位置 (x, y) 上的小区域 $(x \pm dx, y \pm dy)$ 内, 即, 在其角位于 $(x-dx, y-dy)$ 、 $(x-dx, y+dy)$ 、 $(x+dx, y-dy)$ 和 $(x+dx, y+dy)$ 的矩形区域中确定满足公式 (24) 的 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 。

[0295] 然后, 计算电路 24 获取分别与确定的 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 相对应的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Bobs(k'', ib, jb)$ 。

[0296] 计算电路 24 为从 1 到 N 的范围内 k' 和 k'' 的所有可能组合确定满足公式 (24) 的 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 。

[0297] 一般说来, 检测到 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 的多种组合, 和计算电路 24 在水平轴代表 G 信号 ($Gobs(k', ig, jg)$) 和垂直轴代表 B 信号 ($Bobs(k'', ib, jb)$) 的 GB 空间中画出与检测的 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 相对应的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Bobs(k'', ib, jb)$ 。

[0298] 因此, 在第二实施例中, 除了第一实施例中与公式 (20) 到 (22) 给出的光强度积分相联系的约束之外, 还要加入与如图 9 所示的绿色和红色之间的相关性相似的绿色和蓝色之间的相关性作为约束。

[0299] 计算电路 24 对在 GB 空间中画出的多个点进行主要成分分析, 其中, 每个画出点对于计算电路 24 检测的一对像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Bobs(k'', ib, jb)$ 。

[0300] 然后, 计算电路 24 确定沿着与作为主要成分分析结果获得的主要成分 (第一主要成分) 的方向垂直的方向的成分 (例如, 第二主要成分) 的方差。并且, 计算电路 24 以数学表达式形式表达颜色相关性约束, 这个数学表达式表述, 对于位置 (x, y) , 与纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 和纯蓝光强度 $Lb(x, y)$ 相对应的点应该在 GB 空间中沿着主要成分的方向延伸

和宽度等于沿着与主要成分的方向垂直的方向的成分的方差的带内。

[0301] 因此,计算电路 24 最后获得的纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 限制于满足如下两个约束的那些,第一个约束是与位置 (x, y) 上的纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 和纯红光强度 $L_r(x, y)$ 相对应的点存在于在 GR 空间中沿着主要成分的方向延伸和宽度等于与主要成分的方向垂直的成分的方差的带内,和第二个约束是与位置 (x, y) 上的纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 相对应的点存在于在 GB 空间中沿着主要成分的方向延伸和宽度等于与主要成分的方向垂直的成分的方差的带内。

[0302] 尽管在本实施例中,使用了与 GR 空间中的颜色相关性相联系的约束和与 GB 空间中的颜色相关性相联系的约束,但是,除了上面的约束之外,也可以应用与 R 信号和 B 信号之间的颜色相关性(在 RB 空间中)相联系的相似约束。

[0303] 与第一实施例中一样,例如,POCS 方法可以用于确定满足与光强度积分相联系的约束和与颜色相关性相联系的约束两者的纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 。

[0304] 颜色相关性约束可以施加在所有位置 (x, y) 上,或只施加在诸如 x 和 y 等于整数的网格点之类的特定位置上。

[0305] 现在,参照如图 10 所示的流程图,描述根据本发明第二实施例、如图 2 所示的步骤 S4 中的正确图像估计过程。

[0306] 步骤 S31 到 S33 与如图 6 所示的根据第一实施例的正确图像估计过程中的步骤 S11 到 S13 相似。

[0307] 也就是说,在步骤 S31 中,计算电路 24 针对每个 (ig, jg) ,从第一图像的每个像素的像素值 $Gobs(1, ig, jg)$ 中生成形式 (9) 的光强度积分公式,针对每个 (ir, jr) ,从 $Robs(1, ir, jr)$ 中生成形式 (10) 的光强度积分公式,和针对每个 (ib, jb) ,从 $Bobs(1, ib, jb)$ 中生成形式 (11) 的光强度积分公式。此后,过程转到步骤 S32。

[0308] 在步骤 S32 中,计算电路 24 针对每个 (ig, jg) ,从第二图像的每个像素的像素值 $Gobs(2, ig, jg)$ 中生成形式 (17) 的光强度积分公式,针对每个 (ir, jr) ,从 $Robs(2, ir, jr)$ 中生成形式 (18) 的光强度积分公式,和针对每个 (ib, jb) ,从 $Bobs(2, ib, jb)$ 中生成形式 (19) 的光强度积分公式。此后,过程转到步骤 S33。在上面的过程中,计算电路 24 利用运动检测器 23-1 供应的转换参数 $(\theta_2, T2x, T2y, S2)$,将第二图像的位置转换成第一图像的相应位置。

[0309] 在步骤 S33 中,计算电路 24 针对每个 (ig, jg) ,从第 k 图像 $(k = 1$ 至 $N)$ 的每个像素的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 中生成形式 (20) 的光强度积分公式,针对每个 (ir, jr) ,从 $Robs(k, ir, jr)$ 中生成形式 (21) 的光强度积分公式,和针对每个 (ib, jb) ,从 $Bobs(k, ib, jb)$ 中生成形式 (22) 的光强度积分公式。此后,过程转到步骤 S34。在上面的过程中,计算电路 24 利用运动检测器 23-($k-1$) 供应的转换参数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) ,将第 k 图像的位置转换成第一图像的相应位置。

[0310] 在步骤 S34 中,对于感兴趣的位置 (x, y) ,计算电路 24 在位置 (x, y) 的附近区域确定满足等式 (23) 所表示的距离约束的一对 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 。此后,过程转到步骤 S35。

[0311] 在步骤 S35 中,计算电路 24 在 GR 空间中画出在步骤 S34 中确定的各自位置 $(k',$

$ig, jg)$ 和 (k'', ir, jr) 上的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robbs(k'', ir, jr)$ 和进行主要成分分析。然后, 计算电路 24 确定在与作为主要成分分析结果确定的主要方向垂直的方向的方差, 并且, 以数学表达式的形式表示颜色相关性约束, 这个数学表达式表述同一像素的 G 信号和 R 信号存在于等于所确定方差的范围内。此后, 过程从步骤 S35 转到步骤 S36。

[0312] 在步骤 S36 中, 对于感兴趣的位置 (x, y) , 计算电路 24 在位置 (x, y) 的附近区域确定满足等式 (24) 所表示的距离约束的一对 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 。此后, 过程转到步骤 S37。

[0313] 在步骤 S37 中, 计算电路 24 在 GR 空间中画出在步骤 S36 中确定的各自位置 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 上的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Bobs(k'', ib, jb)$ 和进行主要成分分析。然后, 计算电路 24 确定在与作为主要成分分析结果确定的主要方向垂直的方向的方差, 并且, 以数学表达式的形式表示颜色相关性约束, 这个数学表达式表述同一像素的 G 信号和 B 信号存在于等于所确定方差的范围内。此后, 过程从步骤 S37 转到步骤 S38。

[0314] 在步骤 S38 中, 计算电路 24 确定是否对所有位置 (x, y) 都已经以数学表达式的形式确定了颜色相关性约束。如果在步骤 S38 中确定还没有对所有位置 (x, y) 都确定了颜色相关性约束, 过程返回到步骤 S34。在步骤 S34 中, 计算电路 24 选择还没有确定颜色相关性约束的位置 (x, y) , 重复从步骤 S34 到 S38 的过程。

[0315] 另一方面, 在步骤 S38 中确定对所有位置 (x, y) 都确定了颜色相关性约束的情况下, 过程转到步骤 S39。在步骤 S39 中, 计算电路 24 计算满足在步骤 S31、S32、S33、S35 和 S37 中确定的所有约束的纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 、纯红光强度 $Lr(x, y)$ 和纯蓝光强度 $Lb(x, y)$ 。此后, 处理流程从当前过程返回。在上面的计算中, 计算电路 24 确定全部满足在步骤 S31 到 S33 中确定的光强度约束公式和在步骤 S35 和 S37 中确定的颜色相关性约束的纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 、纯红光强度 $Lr(x, y)$ 和纯蓝光强度 $Lb(x, y)$ 。

[0316] 现在, 参照如图 11 和 12 所示的流程图, 进一步描述根据本发明第二实施例、如图 2 所示的步骤 S4 中的正确图像估计过程。

[0317] 步骤 S51 到 S56 与如图 7 所示的根据第一实施例的正确图像估计过程中的步骤 S21 到 S26 相似。

[0318] 也就是说, 在步骤 S51 中, 计算电路 24 将存储在计算电路 24 中的指示图像数量的计数的变量 k 设置成 1。此后, 过程转到步骤 S52。

[0319] 在步骤 S52 中, 计算电路 24 针对每个 (ig, jg) , 从第 k 图像的每个像素的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 中生成形式 (20) 的光强度积分公式。此后, 过程转到步骤 S53。

[0320] 在步骤 S53 中, 计算电路 24 针对每个 (ir, jr) , 从第 k 图像的每个像素的像素值 $Robbs(k, ir, jr)$ 中生成形式 (21) 的光强度积分公式。此后, 过程转到步骤 S54。

[0321] 在步骤 S54 中, 计算电路 24 针对每个 (ib, jb) , 从第 k 图像的每个像素的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 中生成形式 (22) 的光强度积分公式。此后, 过程转到步骤 S55。

[0322] 当在如上所述的步骤 S52 到 S54 中生成与光强度积分相联系的不等式时, 按需要使用运动检测器 23-1 到 23-(N-1) 供应的转换参数。

[0323] 在步骤 S55 中, 计算电路 24 确定内部变量 k 是否等于帧存储器 22-1 到 22-N 供应的图像数量 N 。如果确定变量 k 不等于图像数量 N , 过程转到步骤 S56, 在步骤 S56 中, 计算电路 24 将变量 k 加 1。此后, 计算电路 24 返回到步骤 S52 的处理流程, 重复从 S52 到 S56

的过程。

[0324] 另一方面,如果在步骤 S55 中确定变量 k 等于图像数量 N ,过程转到步骤 S57。步骤 S57 到 S62 与如图 10 所示的步骤 S34 到 S39 相似。

[0325] 也就是说,在步骤 S57 中,对于感兴趣的位置 (x, y) ,计算电路 24 在位置 (x, y) 的附近区域确定满足等式 (23) 所表示的距离约束的一对 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 。此后,过程转到步骤 S58。

[0326] 在步骤 S58 中,计算电路 24 在 GR 空间中画出在步骤 S57 中确定的各自位置 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 上的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Rob(k'', ir, jr)$ 和进行主要成分分析。然后,计算电路 24 确定在与作为主要成分分析结果确定的主要方向垂直的方向的方差,并且,以数学表达式的形式表示颜色相关性约束,这个数学表达式表述同一像素的 G 信号和 R 信号存在于等于所确定方差的范围内。此后,过程从步骤 S58 转到步骤 S59。

[0327] 在步骤 S59 中,对于感兴趣的位置 (x, y) ,计算电路 24 在位置 (x, y) 的附近区域确定满足等式 (24) 所表示的距离约束的一对 (k', ig, jg) 和 (k''', ib, jb) 。此后,过程转到步骤 S60。

[0328] 在步骤 S60 中,计算电路 24 在 GR 空间中画出在步骤 S59 中确定的各自位置 (k', ig, jg) 和 (k''', ib, jb) 上的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Bobs(k''', ib, jb)$ 和进行主要成分分析。然后,计算电路 24 确定在与作为主要成分分析结果确定的主要方向垂直的方向的方差,并且,以数学表达式的形式表示颜色相关性约束,这个数学表达式表述同一像素的 G 信号和 B 信号存在于等于所确定方差的范围内。此后,过程从步骤 S60 转到步骤 S61。

[0329] 在步骤 S61 中,计算电路 24 确定是否对所有位置 (x, y) 都已经以数学表达式的形式确定了颜色相关性约束。如果在步骤 S61 中确定还没有对所有位置 (x, y) 都确定了颜色相关性约束,过程返回到步骤 S57。在步骤 S57 中,计算电路 24 选择还没有确定颜色相关性约束的位置 (x, y) ,重复从步骤 S57 到 S61 的过程。

[0330] 另一方面,在步骤 S61 中确定对所有位置 (x, y) 都确定了颜色相关性约束的情况下,过程转到步骤 S62。在步骤 S62 中,计算电路 24 计算满足在步骤 S52、S53、S54、S58 和 S60 中确定的所有约束的纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 、纯红光强度 $Lr(x, y)$ 和纯蓝光强度 $Lb(x, y)$ 。此后,处理流程从当前过程返回。在上面的计算中,计算电路 24 确定全部满足在步骤 S52 到 S54 中确定的光强度约束公式和在步骤 S58 和 S60 中确定的颜色相关性约束的纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 、纯红光强度 $Lr(x, y)$ 和纯蓝光强度 $Lb(x, y)$ 。

[0331] 在本实施例中,如上所述,将与 R 信号、G 信号和 B 信号之间的相关性相联系的约束加入第一实施例中,对于 $k = 1$ 至 N ,由不等式 (20)、(21) 和 (22) 给出的与光强度积分相联系的约束中,纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 、纯红光强度 $Lr(x, y)$ 和纯蓝光强度 $Lb(x, y)$ 满足上面所有约束。这使得可以获取与理想图像接近的清晰图像。

[0332] 尽管在如上所述的例子中,在二维空间中定义颜色相关性约束,但也可以在三维空间中定义颜色相关性约束。

[0333] 现在,描述根据本发明第三实施例的信号处理器 7 执行的正确图像估计过程。

[0334] 在如上所述的第一和第二实施例中,在考虑了位于成像器件 4 的每个像素上的片上透镜的精确公式化特性之后估计纯绿光强度 $Lg(x, y)$ 、纯红光强度 $Lr(x, y)$ 和纯蓝光强度 $Lb(x, y)$,从而获得清晰图像。

[0335] 在第三实施例中,忽略片上透镜的影响,假设源自对象和入射在每个像素的一点(例如,每个像素的质心)上的光线的强度被成像器件4的那个像素检测到(也就是说,每个像素获得点取样数据)。

[0336] 并且,正如后面详细描述的那样,将弹簧模型用在第三实施例中。这使得与用在第一和第二实施例中的POCS方法相比,可以降低确定纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 所需的计算复杂度。第三实施例还供应了可以生成清晰度与第一或第二实施例取得的清晰度相似和比传统技术取得的清晰度好的补偿图像的优点。

[0337] 在第三实施例中,如上所述,每个像素检测的数据被当作点取样数据。具体地说,在如图3所示的成像器件4的第 (i, j) 位置上的像素上,认为数据是在第 (i, j) 位置上的像素的中心点(坐标为 $(i-0.5, j-0.5)$)上检测的。

[0338] 因此,例如,第一图像的第 (ig, jg) 位置上的像素作为数据获得的像素值 $Gobs(1, ig, jg)$ 是在第一图像的坐标系中,在位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 上检测的绿光强度 $L_g(ig-0.5, jg-0.5)$ 。类似地,第一图像的第 (ir, jr) 位置上的像素作为数据获得的像素值 $Robs(1, ir, jr)$ 是在第一图像的坐标系中,在位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 上检测的红光强度 $L_r(ir-0.5, jr-0.5)$,和第一图像的第 (ib, jb) 位置上的像素作为数据获得的像素值 $Bobs(1, ib, jb)$ 是在第一图像的坐标系中,在位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 上检测的蓝光强度 $L_b(ib-0.5, jb-0.5)$ 。

[0339] 图13示出了存储在帧存储器22-1中的第一图像。

[0340] 在图13中,对于检测绿光成分的像素 $G(jg-1)(ig-1)$,在用实心圆圈表示的位置上观测像素值 $Gobs(1, ig, jg)$ 。对于检测红光成分的像素 $R(jr-1)(ir-1)$,在用实心方块表示的位置上观测像素值 $Robs(1, ir, jr)$ 。对于检测蓝光成分的像素 $B(jb-1)(ib-1)$,在用实心三角表示的位置上观测像素值 $Bobs(1, ib, jb)$ 。如上所述,在每个像素如在第一图像的坐标系中所表示的那样的中心(质心)上观测第一图像的每个像素的像素值。例如,在像素处在第 (i, j) 位置上的情况下,在位置 $(i-0.5, j-0.5)$ 上观测像素值。

[0341] 图14示出了存储在帧存储器22-2中的第二图像。

[0342] 在图14中,对于检测绿光成分的像素 $G(jg-1)(ig-1)$,在用实心圆圈表示的位置上观测像素值 $Gobs(2, ig, jg)$ 。对于检测红光成分的像素 $R(jr-1)(ir-1)$,在用实心方块表示的位置上观测像素值 $Robs(2, ir, jr)$ 。对于检测蓝光成分的像素 $B(jb-1)(ib-1)$,在用实心三角表示的位置上观测像素值 $Bobs(2, ib, jb)$ 。如上所述,在每个像素如在第二图像的坐标系中所表示的那样的中心(质心)上观测第二图像的每个像素的像素值。例如,在像素处在第 (i, j) 位置上的情况下,在位置 $(i-0.5, j-0.5)$ 上观测像素值。

[0343] 与第一和第二实施例中一样,将第二图像上的点转换成第一图像的坐标系中的相应点。具体地说,利用运动检测器23-1检测的转换参数 $(\theta_2, T2x, T2y, S2)$,将第二图像上的每个点转换成第一图像的坐标系中的相应点。

[0344] 对于像素值 $Gobs(2, ig, jg)$ 、 $Robs(2, ir, jr)$ 和 $Bobs(2, ib, jb)$,在图14中也显示了从第二图像上的点转换的第一图像的坐标系中的相应点。

[0345] 也就是说,第二图像的坐标系中像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的像素值 $Gobs(2, ig, jg)$ 是在利用运动检测器23-1检测的转换参数 $(\theta_2, T2x, T2y, S2)$ 转换第二图像的坐标系中的位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得、第一图像的坐标系中的位置 $((ig-0.5)_{(2)}, (jg-0.5)_{(2)})$ 上观测到的绿光强度 $L_g(x, y)$ 。在图14中,像素值 $Gobs(2, ig, jg)$ 所在的第一图像的坐标系中

的位置 $((ig-0.5)_{(2)}, (jg-0.5)_{(2)})$ 用空心圆圈表示。

[0346] 第二图像的坐标系中像素 $R(jr-1) (ir-1)$ 的像素值 $Robs(2, ir, jr)$ 是在利用运动检测器 23-1 检测的转换参数 $(\theta_2, T2x, T2y, S2)$ 转换第二图像的坐标系中的位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得、第一图像的坐标系中的位置 $((ir-0.5)_{(2)}, (jr-0.5)_{(2)})$ 上观测到的红光强度 $Lr(x, y)$ 。在图 14 中, 像素值 $Robs(2, ir, jr)$ 所在的第一图像的坐标系中的位置 $((ir-0.5)_{(2)}, (jr-0.5)_{(2)})$ 用空心方块表示。

[0347] 第二图像的坐标系中像素 $B(jb-1) (ib-1)$ 的像素值 $Bobs(2, ib, jb)$ 是在利用运动检测器 23-1 检测的转换参数 $(\theta_2, T2x, T2y, S2)$ 转换第二图像的坐标系中的位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得的、第一图像的坐标系中的位置 $((ib-0.5)_{(2)}, (jb-0.5)_{(2)})$ 上观测到的蓝光强度 $Lb(x, y)$ 。在图 14 中, 像素值 $Bobs(2, ib, jb)$ 所在的第一图像的坐标系中的位置 $((ib-0.5)_{(2)}, (jb-0.5)_{(2)})$ 用空心三角表示。

[0348] 图 15 示出了存储在帧存储器 22-3 中的第三图像。

[0349] 在图 15 中, 对于检测绿光成分的像素 $G(jg-1) (ig-1)$, 在用实心圆圈表示的位置上观测像素值 $Gobs(3, ig, jg)$ 。对于检测红光成分的像素 $R(jr-1) (ir-1)$, 在用实心方块表示的位置上观测像素值 $Robs(3, ir, jr)$ 。对于检测蓝光成分的像素 $B(jb-1) (ib-1)$, 在用实心三角表示的位置上观测像素值 $Bobs(3, ib, jb)$ 。如上所述, 在每个像素如在第三图像的坐标系中所表示的那样的中心 (质心) 上观测第三图像的每个像素的像素值。例如, 在像素处在第 (i, j) 位置上的情况下, 在位置 $(i-0.5, j-0.5)$ 上观测像素值。

[0350] 与第一和第二实施例中一样, 将第三图像上的点转换成第一图像的坐标系中的相应点。具体地说, 利用运动检测器 23-2 检测的转换参数 $(\theta_3, T3x, T3y, S3)$, 将第三图像上的每个点转换成第一图像的坐标系中的相应点。

[0351] 对于像素值 $Gobs(3, ig, jg)$ 、 $Robs(3, ir, jr)$ 和 $Bobs(3, ib, jb)$, 在图 15 中也显示了从第三图像上的点转换的第一图像的坐标系中的相应点。

[0352] 也就是说, 第三图像的坐标系中像素 $G(jg-1) (ig-1)$ 的像素值 $Gobs(3, ig, jg)$ 是在利用运动检测器 23-2 检测的转换参数 $(\theta_3, T3x, T3y, S3)$ 转换第三图像的坐标系中的位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得、第一图像的坐标系中的位置 $((ig-0.5)_{(3)}, (jg-0.5)_{(3)})$ 上观测到的绿光强度 $Lg(x, y)$ 。在图 15 中, 像素值 $Gobs(3, ig, jg)$ 所在的第一图像的坐标系中的位置 $((ig-0.5)_{(3)}, (jg-0.5)_{(3)})$ 用空心圆圈表示。

[0353] 第三图像的坐标系中像素 $R(jr-1) (ir-1)$ 的像素值 $Robs(3, ir, jr)$ 是在利用运动检测器 23-2 检测的转换参数 $(\theta_3, T3x, T3y, S3)$ 转换第三图像的坐标系中的位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得、第一图像的坐标系中的位置 $((ir-0.5)_{(3)}, (jr-0.5)_{(3)})$ 上观测到的红光强度 $Lr(x, y)$ 。在图 15 中, 像素值 $Robs(3, ir, jr)$ 所在的第一图像的坐标系中的位置 $((ir-0.5)_{(3)}, (jr-0.5)_{(3)})$ 用空心方块表示。

[0354] 第三图像的坐标系中像素 $B(jb-1) (ib-1)$ 的像素值 $Bobs(3, ib, jb)$ 是在利用运动检测器 23-2 检测的转换参数 $(\theta_3, T3x, T3y, S3)$ 转换第三图像的坐标系中的位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得、第一图像的坐标系中的位置 $((ib-0.5)_{(3)}, (jb-0.5)_{(3)})$ 上观测到的蓝光强度 $Lb(x, y)$ 。在图 15 中, 像素值 $Bobs(3, ib, jb)$ 所在的第一图像的坐标系中的位置 $((ib-0.5)_{(3)}, (jb-0.5)_{(3)})$ 用空心三角表示。

[0355] 图 16 示出了在检测绿光成分的像素 $G(jg-1) (ig-1)$ 上观测相应第一到第 N 图像

的像素值 $Gobs(1, ig, jg)$ 到 $Gobs(N, ig, jg)$ 、转换到第一图像的坐标系的位置。

[0356] 在如图 16 所示的例子中,在第一图像的坐标系中第 (ig, jg) 位置上的像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的中心(像素中心)上观测第一图像的像素值 $Gobs(1, ig, jg)$ 。在像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的左上区中转换到第一图像的坐标系的位置上观测第二图像的像素值 $Gobs(2, ig, jg)$ 。在像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的左下区中转换到第一图像的坐标系的位置上观测第三图像的像素值 $Gobs(3, ig, jg)$ 。在像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的右上区中转换到第一图像的坐标系的位置上观测第四图像的像素值 $Gobs(4, ig, jg)$ 。注意,在图 16 中未示出第五到第 N 图像的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ ($k = 5$ 至 N)。

[0357] 在这个第三实施例中,计算电路 24 根据相应第一到第 N 图像的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ ($k = 1$ 至 N),确定第一图像的坐标系中位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(x-0.5, y-0.5)$ 。

[0358] 这里,将用作参考图像的第一图像的坐标系中第 (i, j) 位置上的像素的中心位置 $(i-0.5, j-0.5)$ 重写成 (I', J') 。

[0359] 也就是说, $I' = i-0.5$, 和 $J' = j-0.5$ 。要确定的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 可以通过检测绿光成分的像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 上的 $Lg(ig-0.5, jg-0.5)$ 来表示。类似地,要确定的纯红光强度 $Lr(I', J')$ 可以通过检测红光成分的像素的中心位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 上的 $Lr(ir-0.5, jr-0.5)$ 来表示,和要确定的纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 可以通过检测蓝光成分的像素的中心位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 上的 $Lb(ib-0.5, jb-0.5)$ 来表示。

[0360] 图 17 示出了作为清晰图像的图像信号要由计算电路 24 确定的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 、纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 如在第一图像的坐标系中所表示的那样的位置。

[0361] 也就是说,在图 17 中,要确定纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 、纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 的成像器件 4 的各自像素如在第一图像的坐标系中所表示的那样的中心位置 (I', J') 用实心圆圈表示。

[0362] 参考图 18 到 23,描述将检测绿光成分的像素取作一个例子的弹簧模型。在图 18 和随后的示意图中,要确定的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 、纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 如在第一图像的坐标系中所表示的那样的位置 (I', J') 用实心圆圈表示,观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 、 $Robs(k, ir, jr)$ 和 $Bobs(k, ib, jb)$ ($k = 1$ 至 N) 如在第一图像的坐标系中所表示的那样的位置用空心圆圈表示。在下文中,用作参考图像的第一图像的坐标系也称为参考坐标系。

[0363] 在图 18 中,点 A 的位置 (x, y) 表示利用运动检测器 23-(k-1) 检测的转换参数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) 转换观测第 k 图像的第 (ig, jg) 位置上的像素的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的参考坐标系中的位置 $((ig-0.5)_{(k)}, (jg-0.5)_{(k)})$ 。当 $k = 1$ 时,认为转换系数是 $(\theta_k, Tkx, Tky, Sk) = (0, 0, 0, 1)$, 因此, $(x, y) = (ig-0.5, jg-0.5)$ 。注意,点 A (x, y) 上的像素值是 $Gobs(k, ig, jg)$ 。

[0364] 对于给定点 A (x, y) , 确定分别满足 $I-0.5 \leq x < I+0.5$ 和 $J-0.5 \leq y < J+0.5$ 的整数 I 和 J 。确定纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 的位置 (I', J') 由矩形 $(I \pm 0.5, J \pm 0.5)$ 的 4 个角 $(I-0.5, J-0.5)$ 、 $(I-0.5, J+0.5)$ 、 $(I+0.5, J-0.5)$ 和 $(I+0.5, J+0.5)$ 给出。

[0365] 可以认为点 $A(x, y)$ 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 几乎等于分别在点 $A(x, y)$ 接近的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 、 $(I-0.5, J+0.5)$ 、 $(I+0.5, J-0.5)$ 和 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 、 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 、 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 和 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 。也就是说, 可以用点 $A(x, y)$ 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 、 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 、 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 和 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 。

[0366] 正如在第一和第二实施例中所描述的那样, 在点 $A(x, y)$ 观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 包括误差 (噪声) $Mk \times E$ 。并且, 在各自位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 、 $(I-0.5, J+0.5)$ 、 $(I+0.5, J-0.5)$ 和 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 、 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 、 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 和 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 的每一个包括用点 $A(x, y)$ 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似它们引起的附加误差 (在下文中, 将这样的误差称为近似误差)。

[0367] 用点 $A(x, y)$ 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似纯绿光强度, 例如, 位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 可以通过利用弹簧的弹簧模型来表示。

[0368] 图 19 示出了用点 $A(x, y)$ 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 的弹簧模型的概念。

[0369] 如图 19 所示, 弹簧 BA1 的一端与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相连, 和弹簧 BA1 的另一端与纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 相连。在如图 19 所示的特定状态下, 纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 正被拉向像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。在如图 19 所示的弹簧模型中, 纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 被拉向像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的程度随点 $A(x, y)$ 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 是纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 的拟然性 (likelihood) 而增加。相反, 当拟然性低时, 纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 远离像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。

[0370] 用像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 引起的近似误差随点 $A(x, y)$ 与位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 之间的距离而增加。因此, 在这里, 引入随点 $(x1, y1)$ 与点 $(x2, y2)$ 之间的距离而增加的函数 $F((x1, y1), (x2, y2))$ 。至于函数 $F((x1, y1), (x2, y2))$, 例如, 可以应用 $F((x1, y1), (x2, y2)) = \sqrt{\{(x1, y1)^2 + (x2, y2)^2\}}$ 。

[0371] 如前所述, 在点 $A(x, y)$ 观测的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 包括噪声引起的误差 (噪声) $Mk \times E$ 。

[0372] 纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相等的拟然性, 即, 用像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 的近似精度随近似误差和噪声 $E \times Mk$ 的增加或减小而减小或增加。因此, 近似精度 (拟然性) 随 $Mk \times E \times F((x, y), (I-0.5, J-0.5))$ 而减小 (成反比)。也就是说, 当 $Mk \times E \times F((x, y), (I-0.5, J-0.5))$ 的值大时, 纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 等于点 $A(x, y)$ 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的拟然性就低。相反, 当 $Mk \times E \times F((x, y), (I-0.5, J-0.5))$ 的值小时, 拟然性就高。

[0373] 如果用弹簧 BA1 的弹簧常数 (强度) 表示纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相等的拟然性, 那么, 弹簧常数像, 例如, $\{\sqrt{2-F((x, y), (I-0.5, J-0.5))}\} / (Mk \times E)$ 那样给出。分母 $(Mk \times E)$ 等于噪声 E 的 Mk 倍。因此, 随着噪声增加, 弹簧 BA1 的强度降低, 因此, 将纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力也下降。分子 $\{\sqrt{2-F((x, y), (I-0.5, J-0.5))}\}$ 等于从 $\sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2}$ 中减去点 A 与点 $(I-0.5, J-0.5)$ 之间的距离获得的值 (差), 即, 如图 18 所示的矩形区域 $(I \pm 0.5, J \pm 0.5)$ 内两个任何点之间的距离的最大可能值。因此, 随着观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的点 $A(x, y)$ 与要

确定的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 之间的距离增加, $\sqrt{2-F((x, y), (I-0.5, J-0.5))}$ 减小, 因此, 弹簧 BA1 的强度也降低。因此, 弹簧 BA1 将纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力也下降。取代 $\{\sqrt{2-F((x, y), (I-0.5, J-0.5))}\}$, 诸如 $F((x, y), (I-0.5, J-0.5))$ 的倒数之类的其它函数也可以用作弹簧常数的分子。

[0374] 在弹簧模型中, 如果认为弹簧 BA1 具有 0 的自然长度 (也就是说, 当没有负载施加在弹簧上时, 长度等于 0), 那么, 弹簧 BA1 沿着光强度 (像素值) 的轴的长度 (伸长量) 可以写成 $|Gobs(k, ig, jg) - Lg(I-0.5, J-0.5)|$, 和弹簧 BA1 施加在纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 上将它拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力可以写成 $\text{弹簧常数} \times \text{弹簧长度} = \{\sqrt{2-F((x, y), (I-0.5, J-0.5))}\} / (Mk \times E) \times |Gobs(k, ig, jg) - Lg(I-0.5, J-0.5)|$ 。

[0375] 图 20 示出了点 A(x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 与各自位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 、 $(I-0.5, J+0.5)$ 、 $(I+0.5, J-0.5)$ 和 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 、 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 、 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 和 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 之间的关系的弹簧模型的概念。

[0376] 与上面参考图 19 所述的点 A(x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 与纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 之间的关系的弹簧模型一样, 纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 、 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 和 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 与点 A(x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的关系也用弹簧模型表示。

[0377] 如图 20 所示, 弹簧 BA2 的一端与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相连, 和弹簧 BA2 的另一端与纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 相连, 和纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 正被拉向像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。在如图 20 所示的弹簧模型中, 纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 被拉向像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的程度随点 A(x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 是纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 的拟然性而增加。相反, 当拟然性低时, 纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 远离像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。

[0378] 用像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 引起的近似误差随点 A(x, y) 与位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 之间的距离而增加。因此, 在这里, 引入随点 (x_1, y_1) 与点 (x_2, y_2) 之间的距离而增加的函数 $F((x_1, y_1), (x_2, y_2))$ 。至于函数 $F((x_1, y_1), (x_2, y_2))$, 例如, 可以应用 $F((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = \sqrt{\{(x_1, y_1)^2 + (x_2, y_2)^2\}}$ 。

[0379] 如前所述, 在点 A(x, y) 观测的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 包括噪声引起的误差 (噪声) $Mk \times E$ 。

[0380] 纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相等的拟然性, 即, 用像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 的近似精度随近似误差和噪声 $E \times Mk$ 的增加或减小而减小或增加。因此, 近似精度 (拟然性) 随 $Mk \times E \times F((x, y), (I-0.5, J+0.5))$ 而减小 (成反比)。也就是说, 当 $Mk \times E \times F((x, y), (I-0.5, J+0.5))$ 的值大时, 纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 等于点 A(x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的拟然性就低。相反, 当 $Mk \times E \times F((x, y), (I-0.5, J+0.5))$ 的值小时, 拟然性就高。

[0381] 如果用弹簧 BA2 的弹簧常数 (强度) 表示纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相等的拟然性, 那么, 弹簧常数像, 例如, $\{\sqrt{2-F((x, y), (I-0.5, J+0.5))}\} / (Mk \times E)$ 那样给出。分母 $(Mk \times E)$ 等于噪声 E 的 Mk 倍。因此, 随着噪声增加, 弹簧 BA2 的强度降低, 因此, 将纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的

力也下降。分子 $\{\sqrt{2-F((x, y), (I-0.5, J+0.5))}\}$ 等于从 $\sqrt{(1^2+1^2)} = \sqrt{2}$ 中减去点 A 与点 $(I-0.5, J+0.5)$ 之间的距离获得的值 (差), 即, 如图 18 所示的矩形区域 $(I \pm 0.5, J \pm 0.5)$ 内两个任何点之间的距离的最大可能值。因此, 随着观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的点 $A(x, y)$ 与要确定的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 之间的距离增加, $\sqrt{2-F((x, y), (I-0.5, J+0.5))}$ 减小, 因此, 弹簧 BA2 的强度也降低。因此, 弹簧 BA2 将纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力也下降。取代 $\{\sqrt{2-F((x, y), (I-0.5, J+0.5))}\}$, 诸如 $F((x, y), (I-0.5, J+0.5))$ 的倒数之类的其它函数也可以用作弹簧常数的分子。

[0382] 在弹簧模型中, 如果认为弹簧 BA2 具有 0 的自然长度 (也就是说, 当没有负载施加在弹簧上时, 长度等于 0), 那么, 弹簧 BA2 沿着光强度 (像素值) 的轴的长度 (伸长量) 可以写成 $|Gobs(k, ig, jg) - Lg(I-0.5, J+0.5)|$, 和弹簧 BA2 施加在纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 上将它拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力可以写成 $\text{弹簧常数} \times \text{弹簧长度} = \{\sqrt{2-F((x, y), (I-0.5, J+0.5))}\} / (Mk \times E) \times |Gobs(k, ig, jg) - Lg(I-0.5, J+0.5)|$ 。

[0383] 并且, 如图 20 所示, 弹簧 BA3 的一端与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相连, 和弹簧 BA3 的另一端与纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 相连, 和纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 正被拉向像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。在如图 20 所示的弹簧模型中, 纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 被拉向像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的程度随点 $A(x, y)$ 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 是纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 的拟然性而增加。相反, 当拟然性低时, 纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 远离像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。

[0384] 用像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 引起的近似误差随点 $A(x, y)$ 与位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 之间的距离而增加。因此, 在这里, 引入随点 $(x1, y1)$ 与点 $(x2, y2)$ 之间的距离而增加的函数 $F((x1, y1), (x2, y2))$ 。至于函数 $F((x1, y1), (x2, y2))$, 例如, 可以应用 $F((x1, y1), (x2, y2)) = \sqrt{\{(x1, y1)^2 + (x2, y2)^2\}}$ 。

[0385] 如前所述, 在点 $A(x, y)$ 观测的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 包括噪声引起的误差 (噪声) $Mk \times E$ 。

[0386] 纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相等的拟然性, 即, 用像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 的近似精度随近似误差和噪声 $E \times Mk$ 的增加或减小而减小或增加。因此, 近似精度 (拟然性) 随 $Mk \times E \times F((x, y), (I+0.5, J-0.5))$ 而减小 (成反比)。也就是说, 当 $Mk \times E \times F((x, y), (I+0.5, J-0.5))$ 的值大时, 纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 等于点 $A(x, y)$ 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的拟然性就低。相反, 当 $Mk \times E \times F((x, y), (I+0.5, J-0.5))$ 的值小时, 拟然性就高。

[0387] 如果用弹簧 BA3 的弹簧常数 (强度) 表示纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相等的拟然性, 那么, 弹簧常数像, 例如, $\{\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J-0.5))}\} / (Mk \times E)$ 那样给出。分母 $(Mk \times E)$ 等于噪声 E 的 Mk 倍。因此, 随着噪声增加, 弹簧 BA3 的强度降低, 因此, 将纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力也下降。分子 $\{\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J-0.5))}\}$ 等于从 $\sqrt{(1^2+1^2)} = \sqrt{2}$ 中减去点 A 与点 $(I+0.5, J-0.5)$ 之间的距离获得的值 (差), 即, 如图 18 所示的矩形区域 $(I \pm 0.5, J \pm 0.5)$ 内两个任何点之间的距离的最大可能值。因此, 随着观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的点 $A(x, y)$ 与要确定的纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 之间的距离

增加, $\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J-0.5))}$ 减小, 因此, 弹簧 BA3 的强度也降低。因此, 弹簧 BA3 将纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力也下降。取代 $\{\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J-0.5))}\}$, 诸如 $F((x, y), (I+0.5, J-0.5))$ 的倒数之类的其它函数也可以用作弹簧常数的分子。

[0388] 在弹簧模型中, 如果认为弹簧 BA3 具有 0 的自然长度 (也就是说, 当没有负载施加在弹簧上时, 长度等于 0), 那么, 弹簧 BA3 沿着光强度 (像素值) 的轴的长度 (伸长量) 可以写成 $|Gobs(k, ig, jg) - Lg(I+0.5, J-0.5)|$, 和弹簧 BA3 施加在纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 上将它拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力可以写成 $\text{弹簧常数} \times \text{弹簧长度} = \{\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J-0.5))}\} / (Mk \times E) \times |Gobs(k, ig, jg) - Lg(I+0.5, J-0.5)|$ 。

[0389] 并且, 在图 20 中, 弹簧 BA4 的一端与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相连, 和弹簧 BA4 的另一端与纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 相连, 和纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 正被拉向像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。在如图 20 所示的弹簧模型中, 纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 被拉向像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的程度随点 A(x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 是纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 的拟然性而增加。相反, 当拟然性低时, 纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 远离像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。

[0390] 用像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 引起的近似误差随点 A(x, y) 与位置 (I+0.5, J+0.5) 之间的距离而增加。因此, 在这里, 引入随点 (x_1, y_1) 与点 (x_2, y_2) 之间的距离而增加的函数 $F((x_1, y_1), (x_2, y_2))$ 。至于函数 $F((x_1, y_1), (x_2, y_2))$, 例如, 可以应用 $F((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = \sqrt{\{(x_1, y_1)^2 + (x_2, y_2)^2\}}$ 。

[0391] 如前所述, 在点 A(x, y) 观测的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 包括噪声引起的误差 (噪声) $Mk \times E$ 。

[0392] 纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相等的拟然性, 即, 用像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 的近似精度随近似误差和噪声 $E \times Mk$ 的增加或减小而减小或增加。因此, 近似精度 (拟然性) 随 $Mk \times E \times F((x, y), (I+0.5, J+0.5))$ 而减小 (成反比)。也就是说, 当 $Mk \times E \times F((x, y), (I+0.5, J+0.5))$ 的值大时, 纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 等于点 A(x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的拟然性就低。相反, 当 $Mk \times E \times F((x, y), (I+0.5, J+0.5))$ 的值小时, 拟然性就高。

[0393] 如果用弹簧 BA4 的弹簧常数 (强度) 表示纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 相等的拟然性, 那么, 弹簧常数像, 例如, $\{\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J+0.5))}\} / (Mk \times E)$ 那样给出。分母 $(Mk \times E)$ 等于噪声 E 的 Mk 倍。因此, 随着噪声增加, 弹簧 BA4 的强度降低, 因此, 将纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力也下降。分子 $\{\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J+0.5))}\}$ 等于从 $\sqrt{(1^2 + 1^2)} = \sqrt{2}$ 中减去点 A 与点 (I+0.5, J+0.5) 之间的距离获得的值 (差), 即, 如图 18 所示的矩形区域 $(I \pm 0.5, J \pm 0.5)$ 内两个任何点之间的距离的最大可能值。因此, 随着观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的点 A(x, y) 与要确定的纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 的位置 (I+0.5, J+0.5) 之间的距离增加, $\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J+0.5))}$ 减小, 因此, 弹簧 BA4 的强度也降低。因此, 弹簧 BA4 将纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力也下降。取代 $\{\sqrt{2-F((x, y), (I+0.5, J+0.5))}\}$, 诸如 $F((x, y), (I+0.5, J+0.5))$ 的倒数之类的其它函数也可以用作弹簧常数的分子。

[0394] 在弹簧模型中,如果认为弹簧 BA4 具有 0 的自然长度(也就是说,当没有负载施加在弹簧上时,长度等于 0),那么,弹簧 BA4 沿着光强度(像素值)的轴的长度(伸长量)可以写成 $|Gobs(k, ig, jg) - Lg(I+0.5, J+0.5)|$,和弹簧 BA4 施加在纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 上将它拉向点 A 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的力可以写成弹簧常数 \times 弹簧长度 = $\{ \sqrt{2} \cdot F((x, y), (I+0.5, J+0.5)) \} / (Mk \times E) \times |Gobs(k, ig, jg) - Lg(I+0.5, J+0.5)|$ 。

[0395] 在如上所述的过程中,对于参考坐标系中的给定任意位置 $A(x, y)$,引入弹簧模型来表达位置 $A(x, y)$ 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 与位置 (x, y) 附近的位置上,即,由整数 I 和 J 指出的位置上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 、 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 、 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 和 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 之间的关系,其中,整数 I 和 J 满足不等式 $I-0.5 \leq x < I+0.5$ 和 $J-0.5 \leq y < J+0.5$ 。取而代之,对于参考坐标系中像素的中心所在的感兴趣给定位置 (I', J') ,正如下面所描述的那样,可以用弹簧模型表达位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 与在位置 (I', J') 的附近区域观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的关系。

[0396] 注意, (I', J') 表示像素的中心,因此, I' 和 J' 具有其小数部分等于 0.5 的值。因此,在如图 20 所示的具体例子中,诸如 $(I-0.5, J-0.5)$ 之类用实心圆圈表示的位置被认为是位置 (I', J') 。

[0397] 如图 20 所示,为点 $A(x, y)$ 附近的 4 个纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 、 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 、 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 和 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 定义弹簧模型。类似地,除了点 $A(x, y)$ 之外,利用 4 个弹簧为观测第一到第 N 捕获图像的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的每个点定义的弹簧模型。因此,对于位置 (I', J') ,如图 21 所示,将弹簧模型定义成表示位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 与,例如,在位置 (I', J') 附近的点 A 到 E 上观测的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的关系。

[0398] 也就是说,对于感兴趣的给定位置 (I', J') ,确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 转换位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) ,满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数值 k, ig 和 jg 的所有组合。举例来说,如图 21 所示,让我们假设为位置 (I', J') 获得标识在点 A 到 E 观测的相应 5 个像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的整数 (k, ig, jg) 的组合。

[0399] 在这种情况下,如图 22 所示,将弹簧模型定义成表示位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 与在点 A 到 E 观测的 5 个像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的每一个之间的关系。也就是说,对于要确定纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 的给定位置 (I', J') ,用弹簧模型表示纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 与每个观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的关系。

[0400] 图 23 示出了根据与感兴趣的位置 (I', J') 相联系的弹簧模型,估计位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 的方法。在图 23 中,轴代表绿光强度(G 信号)。

[0401] 在如图 23 所示的弹簧模型中,5 个弹簧每一个的一端与质量为 0 的物体 V 相连,和 5 个弹簧每一个的另一端与点 A 到 E 上的 5 个像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之一相连。也就是说,对于如图 22 所示的给定位置 (I', J') ,在相应点 A 到 E 上的 5 个像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 对应于相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 通过转换位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) ,满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的 (k, ig, jg) 的组合。

[0402] 5个弹簧具有0的自然长度。如前所述,其一端与在点(x,y)上观测到的像素值Gobs(k,ig,jg)相连的弹簧具有等于 $\{\sqrt{2}-F((x,y),(I',J'))\}/(Mk \times E)$ 的弹簧常数。

[0403] 5个弹簧通过与相应弹簧的弹簧常数成正比的力,分别将物体V拉向5个像素值Gobs(k,ig,jg),并且,当物体V处在特定位置时达到平衡。在达到平衡的位置上获得的光强度用作纯绿光强度Lg(I',J')的估计值。当作用在物体V上的合力等于0时,弹簧处在平衡状态。也就是说,当满足如下方程时,达到平衡。

[0404]

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2}-F((x,y),(I',J'))}{(Mk \times E)} \times \{Gobs(k,ig,jg)-Lg(I',J')\} \right] = 0 \quad \dots (25)$$

[0405] 在下文中,将方程(25)称为与绿光强度相联系的弹簧方程。对于给定位置(I',J'),方程(25)中的求和 Σ 是针对相对于参考坐标系中根据转换参数($\theta k, Tkx, Tky, Sk$)通过转换位置(ig-0.5,jg-0.5)获得的位置(x,y),满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的所有组合(k,ig,jg)而取的。具体地说,在如图23所示的例子中,求和是对与点A到E相对应的整数(k,ig,jg)的5种组合而取的。

[0406] 方程(25)具有包括作为未知数的Lg(I',J')的线性方程的形式。通过求解方程(25),可以确定位置(I',J')上的纯绿光强度Lg(I',J')。

[0407] 对于位置(I',J')上的纯红光强度Lr(I',J')和纯蓝光强度Lb(I',J'),可以以与如上面参考图18到23所述,为检测绿光成分的像素写出方程(25)的方式相似的方式写出线性方程(26)和(27)。

$$[0408] \quad \sum \left[\frac{\sqrt{2}-F((x,y),(I',J'))}{(Mk \times E)} \times \{Robs(k,ir,jr)-Lr(I',J')\} \right] = 0 \quad \dots (26)$$

[0409] 在下文中,将方程(26)称为与红光强度相联系的弹簧方程。对于给定位置(I',J'),方程(26)中的求和 Σ 是针对相对于参考坐标系中根据转换参数($\theta k, Tkx, Tky, Sk$)通过转换位置(ir-0.5,jr-0.5)获得的位置(x,y),满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的所有组合(k,ir,jr)而取的。

$$[0410] \quad \sum \left[\frac{\sqrt{2}-F((x,y),(I',J'))}{(Mk \times E)} \times \{Bobs(k,ib,jb)-Lb(I',J')\} \right] = 0 \quad \dots (27)$$

[0411] 在下文中,将方程(27)称为与蓝光强度相联系的弹簧方程。对于给定位置(I',J'),方程(27)中的求和 Σ 是针对相对于参考坐标系中根据转换参数($\theta k, Tkx, Tky, Sk$)通过转换位置(ib-0.5,jb-0.5)获得的位置(x,y),满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的所有组合(k,ib,jb)而取的。

[0412] 因此,在这个第三实施例中,对于给定位置(I',J'),根据与相对于参考坐标系中根据转换参数($\theta k, Tkx, Tky, Sk$)通过转换位置(i-0.5,j-0.5)获得的位置(x,y),满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的组合(k,ib,jb)相对应的像素值,确定纯绿光强度Lg(I',J')、纯红光强度Lr(I',J')和纯蓝光强度Lb(I',J')。

[0413] 现在,参照如图24所示的流程图,描述根据本发明第三实施例的如图2所示的步骤S4中的正确图像估计过程。

[0414] 首先,在步骤S71中,计算电路24选择参考坐标系中的位置(I',J')(下文称

这样的所选位置为感兴趣位置 (I' , J')。注意,感兴趣位置 (I' , J') 位于取作参考图像的第一图像的第 (i , j) 像素的中心 ($i-0.5$, $j-0.5$)。

[0415] 此后,过程从步骤 S71 转到步骤 S72。在步骤 S72 中,计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I' , J'),确定相对于参考坐标系中根据转换参数 (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) 通过转换检测第 k 图像的绿光成分的像素的中心位置 ($ig-0.5$, $ig-0.5$) 获得的位置 (x , y),满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k , ig , ig) 的所有组合。此后,过程转到步骤 S73。

[0416] 在步骤 S73 中,计算电路 24 利用在步骤 S72 中确定的 (k , ig , ig) 的所有组合,为绿光强度生成形式 (25) 的弹簧方程。

[0417] 在步骤 S74 中,计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I' , J'),确定相对于参考坐标系中根据转换参数 (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) 通过转换检测第 k 图像的红光成分的像素的中心位置 ($ir-0.5$, $jr-0.5$) 获得的位置 (x , y),满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k , ir , jr) 的所有组合。此后,过程转到步骤 S75。

[0418] 在步骤 S75 中,计算电路 24 利用在步骤 S74 中确定的 (k , ir , jr) 的所有组合,为红光强度生成形式 (26) 的弹簧方程。此后,过程转到步骤 S76。

[0419] 在步骤 S76 中,计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I' , J'),确定相对于参考坐标系中根据转换参数 (θ_k , T_{kx} , T_{ky} , S_k) 通过转换检测第 k 图像的蓝光成分的像素的中心位置 ($ib-0.5$, $jb-0.5$) 获得的位置 (x , y),满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k , ib , jb) 的所有组合。此后,过程转到步骤 S77。

[0420] 在步骤 S77 中,计算电路 24 利用在步骤 S76 中确定的 (k , ib , jb) 的所有组合,为蓝光强度生成形式 (27) 的弹簧方程。

[0421] 在步骤 S78 中,计算电路 24 求解都具有线性方程的形式、在步骤 S73 中确定的与绿光强度相联系的弹簧方程 (25)、在步骤 S75 中确定的与红光强度相联系的弹簧方程 (26) 和在步骤 S77 中确定的与蓝光强度相联系的弹簧方程 (27),从而确定感兴趣位置 (I' , J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。此后,过程转到步骤 S79。

[0422] 在步骤 S79 中,计算电路 24 确定是否对所有可能位置 (I' , J') 都已完成了上述过程,即,是否已经通过将第一图像的所有像素的每一个的中心位置取作感兴趣位置 (I' , J') 确定了纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。

[0423] 如果在步骤 S79 中确定还没有对所有可能感兴趣位置 (I' , J') 都完成了上述过程,过程返回到步骤 S71,重复步骤 S71 到 S79。也就是说,计算电路 24 选择还没有选为感兴趣位置的位置 (I' , J'),作为新感兴趣位置,并且确定感兴趣位置 (I' , J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。

[0424] 另一方面,在步骤 S79 中确定已经将所有可能位置 (I' , J') 取作感兴趣位置完成了上述过程的情况下,过程转到步骤 S80。在步骤 S80 中,计算电路 24 从在步骤 S78 中确定的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 中估计正确图像 (信号)。将所得图像作为输出图像供应给 D/A 转换器 9 或编解码器 12,并且从当前过程中退出。例如,对于第 (i , j) 像素,计算电路 24 从在步骤 S78 中作为绿光

值 (G 信号) 确定的纯绿光强度 $L_g(i-0.5, j-0.5)$ 、在步骤 S78 中作为红光值 (R 信号) 确定的纯红光强度 $L_r(i-0.5, j-0.5)$ 和在步骤 S78 中作为蓝光值 (B 信号) 确定的纯蓝光强度 $L_b(i-0.5, j-0.5)$ 中估计 (生成) 它们的正确图像信号。计算电路 24 通过对中心位于所选位置 (I', J') 的所有像素估计图像信号, 估计输出图像。

[0425] 在第三实施例中, 如上所述, 成像器件 4 的每个像素检测的数据被当作点取样数据, 用弹簧模型表示在每个像素的中心观测的像素值与不包括由照相机摇晃引起的模糊的清晰图像的理想图像信号之间的关系, 和根据弹簧模型确定可能是真图像的清晰图像。

[0426] 现在, 描述根据本发明第四实施例的正确图像估计过程。在这个第四实施例中, 部分改进了上面参考图 24 所述的第三实施例。

[0427] 也就是说, 在如图 24 所示的第三实施例中, 在步骤 S72 中, 计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ 通过转换检测第 k 图像的绿光成分的像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ig, jg) 的所有组合。在步骤 S73 中, 计算电路 24 利用在步骤 S72 中确定的整数 (k, ig, jg) 的所有组合, 为绿光强度生成形式 (25) 的弹簧方程。类似地, 对于检测红光或蓝光成分的像素, 为感兴趣位置 (I', J') 确定整数 (k, ig, jg) 的组合, 和利用整数 (k, ig, jg) 的所有确定组合生成形式 (26) 或 (27) 的弹簧方程。

[0428] 取决于捕获图像的状态, 存在着第一到第 N 图像的特定图像的特定像素的数据不可靠的拟然性。在如图 1 所示的数字照相机 1 中, 拍摄 N 个图像和将它们存储在帧存储器 22 中。因此, 即使废弃可靠性低的数据, 其余数据的数量也可以足够大。

[0429] 鉴于上面情况, 在第四实施例中, 只将可靠性高的数据用于 (和废弃可靠性低的数据) 生成清晰度更好的图像。具体地说, 在第四实施例中, 从为感兴趣位置 (I', J') 确定的所有 (k, ig, jg) 中提取多达预定个 L 的整数 (k, ig, jg) 的组合, 作为可靠性高的数据。可以将数字 L 固定在诸如 8 之类的值上或可以将它设置成用户指定的可变值。计算电路 24 计算整数 (k, ig, jg) 的所有组合的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值, 并且选择像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 与平均值最接近的整数 (k, ig, jg) 的 $L (= 8)$ 种组合。所选 L 种组合用于确定位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 。

[0430] 因此, 在第四实施例中, 用在第三实施例中的与绿光、红光和蓝光强度相联系的弹簧方程 (25)、(26) 和 (27) 被分别重写成如下所示的方程 (28)、(29) 和 (30)。

[0431]

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Gobs(k, ig, jg) - L_g(I', J')\} \right] = 0 \quad \dots (28)$$

[0432] 其中, Σ 代表针对像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 与为感兴趣位置 (I', J') 确定的整数 (k, ig, jg) 的所有组合的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值最接近的整数 (k, ig, jg) 的 L 种组合而取的求和。

$$[0433] \quad \sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Robs(k, ir, jr) - L_r(I', J')\} \right] = 0 \quad \dots (29)$$

[0434] 其中, Σ 代表针对像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 与为感兴趣位置 (I', J') 确定的整数 (k, ir, jr) 的所有组合的像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 的平均值最接近的整数 (k, ir, jr) 的 L

种组合而取的求和。

$$[0435] \quad \sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Bobs(k, ib, jb) - Lb(I', J')\} \right] = 0 \quad \dots (30)$$

[0436] 其中, Σ 代表针对像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 与为感兴趣位置 (I', J') 确定的整数 (k, ib, jb) 的所有组合的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 的平均值最接近的整数 (k, ib, jb) 的 L 种组合而取的求和。

[0437] 现在, 参照如图 25 所示的流程图, 描述根据本发明第四实施例的如图 2 所示的步骤 S4 中的正确图像估计过程。

[0438] 首先, 在步骤 S91 中, 计算电路 24 选择参考坐标系中的位置 (I', J') (下文称这样的所选位置为感兴趣位置 (I', J'))。注意, 感兴趣位置 (I', J') 位于取作参考图像的第一图像的第 (i, j) 像素的中心 $(i-0.5, j-0.5)$ 。

[0439] 此后, 过程从步骤 S91 转到步骤 S92。在步骤 S92 中, 计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 通过转换检测第 k 图像的绿光成分的像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ig, jg) 的所有组合。此后, 过程转到步骤 S93。

[0440] 在步骤 S93 中, 计算电路 24 计算在步骤 S92 中确定的整数 (k, ig, jg) 的所有组合的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值, 并且选择像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 与平均值最接近的整数 (k, ig, jg) 的 L 种组合。此后, 过程转到步骤 S94。也就是说, 在如上所述的步骤 S93 中, 与针对在步骤 S92 中确定的整数 (k, ig, jg) 的所有组合所得的平均值不接近的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 被当作可靠性低的数据, 并且, 废弃它们。在步骤 S92 中确定的整数 (k, ig, jg) 的组合的总数小于 L 的情况下, 选择整数 (k, ig, jg) 的所有组合 (不废弃任何数据)。

[0441] 在步骤 S94 中, 计算电路 24 利用在步骤 S93 中选择的 (k, ig, jg) 的 L 种组合, 为绿光强度生成形式 (28) 的弹簧方程。此后, 过程转到步骤 S95。

[0442] 在步骤 S95 中, 计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 通过转换检测第 k 图像的红光成分的像素的中心位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ir, jr) 的所有组合。此后, 过程转到步骤 S96。

[0443] 在步骤 S96 中, 计算电路 24 计算在步骤 S95 中确定的整数 (k, ir, jr) 的所有组合的像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 的平均值, 并且选择像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 与平均值最接近的整数 (k, ir, jr) 的 L 种组合。此后, 过程转到步骤 S97。也就是说, 在如上所述的步骤 S96 中, 与针对在步骤 S95 中确定的整数 (k, ir, jr) 的所有组合所作的平均值不接近的像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 被当作可靠性低的数据, 并且, 废弃它们。在步骤 S95 中确定的整数 (k, ir, jr) 的组合的总数小于 L 的情况下, 选择整数 (k, ir, jr) 的所有组合 (不废弃任何数据)。

[0444] 在步骤 S97 中, 计算电路 24 利用在步骤 S96 中选择的 (k, ir, jr) 的 L 种组合, 为红光强度生成形式 (29) 的弹簧方程。此后, 过程转到步骤 S98。

[0445] 在步骤 S98 中, 计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 转换检测第 k 图像的蓝光成分的像素的中心位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和

$J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ib, jb) 的所有组合。此后,过程转到步骤 S99。

[0446] 在步骤 S99 中,计算电路 24 计算在步骤 S98 中确定的整数 (k, ib, jb) 的所有组合的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 的平均值,并且选择像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 与平均值最接近的整数 (k, ib, jb) 的 L 种组合。此后,过程转到步骤 S100。也就是说,在如上所述的步骤 S99 中,与针对在步骤 S98 中确定的整数 (k, ib, jb) 的所有组合所作的平均值不接近的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 被当作可靠性低的数据,并且,废弃它们。在步骤 S98 中确定的整数 (k, ib, jb) 的组合的总数小于 L 的情况下,选择整数 (k, ib, jb) 的所有组合(不废弃任何数据)。

[0447] 在步骤 S100 中,计算电路 24 利用在步骤 S99 中选择的 (k, ib, jb) 的 L 种组合,为蓝光强度生成形式 (30) 的弹簧方程。此后,过程转到步骤 S101。

[0448] 在步骤 S101 中,计算电路 24 求解都具有线性方程的形式、在步骤 S94 中确定的与绿光强度相联系的弹簧方程 (28)、在步骤 S97 中确定的与红光强度相联系的弹簧方程 (29) 和在步骤 S100 中确定的与蓝光强度相联系的弹簧方程 (30),从而确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 、纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 。此后,过程转到步骤 S102。

[0449] 在步骤 S102 中,计算电路 24 确定是否对所有可能位置 (I', J') 都已完成了上述过程,即,是否已经通过将第一图像的所有像素的每一个的中心位置取作感兴趣位置 (I', J') 确定了纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 、纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 。

[0450] 如果在步骤 S102 中确定还没有对所有可能感兴趣位置 (I', J') 都完成了上述过程,过程返回到步骤 S91,重复步骤 S91 到 S102。也就是说,计算电路 24 选择还没有选为感兴趣位置的位置 (I', J') ,作为新感兴趣位置,并且确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 、纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 。

[0451] 另一方面,在步骤 S102 中确定已经将所有可能位置 (I', J') 取作感兴趣位置完成了上述过程的情况下,过程转到步骤 S103。在步骤 S103 中,计算电路 24 从在步骤 S101 中确定的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 、纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 中估计正确图像(信号)。将所得图像作为输出图像供应给 D/A 转换器 9 或编解码器 12,并且从当前过程中退出。例如,对于第 (i, j) 像素,计算电路 24 从在步骤 S101 中作为绿光值(G 信号)确定的纯绿光强度 $Lg(i-0.5, j-0.5)$ 、在步骤 S101 中作为红光值(R 信号)确定的纯红光强度 $Lr(i-0.5, j-0.5)$ 和在步骤 S101 中作为蓝光值(B 信号)确定的纯蓝光强度 $Lb(i-0.5, j-0.5)$ 中估计它们的正确图像信号。计算电路 24 通过对中心位于所选位置 (I', J') 的所有像素执行上述过程,估计正确图像。

[0452] 在第四实施例中,如上所述,与平均值接近的像素值用作可靠数据,和弹簧模型只应用于所用的可靠数据。这使得可以获得比上面第三实施例可以获得的图像更有可能是正确图像的更清晰图像。

[0453] 现在,描述根据本发明第五实施例的正确图像估计过程。在这个第五实施例中,与第四实施例一样,从为感兴趣位置 (I', J') 确定的整数 (k, ig, jg) 的所有组合中提取多达预定个 L 的整数 (k, ig, jg) 的组合,作为可靠性数据,并且,通过求解每一个利用 L 个可靠数据的与绿光、红光和蓝光强度相联系的弹簧方程,确定纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 、纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 。

[0454] 在如上所述的第四实施例中,例如,在纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 的确定中,计算电路 24 确定整数 (k, ig, jg) 的所有组合的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值,并且选择像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 与平均值最接近的整数 (k, ig, jg) 的 L 种组合。

[0455] 另一方面,在第五实施例中,对于给定感兴趣位置 (I', J') ,计算电路 24 通过选择从感兴趣位置 (I', J') 到参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 通过转换检测第 k 图像的绿光成分的像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) 的距离最短的整数 (k, ig, jg) 的 L 种组合,提取可靠数据。这是因为,正如前面参考图 19 所述的那样,用在位置 (x, y) 上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 近似感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 时出现的近似误差随感兴趣位置 (I', J') 与位置 (x, y) 之间的距离而增加。换句话说,在远离感兴趣位置 (I', J') 的位置 (x, y) 上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 可靠性低。为了确定两个点 $(x1, y1)$ 和 $(x2, y2)$ 之间的距离,例如,可以使用前面参考图 19 描述的函数 $F((x1, y1), (x2, y2))$ 。

[0456] 在第五实施例中,如下所示的与绿光、红光和蓝光强度相联系的弹簧方程 (31)、(32) 和 (33) 用来取代用在第三实施例中的弹簧方程 (25)、(26) 和 (27)。

[0457]

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Gobs(k, ig, jg) - Lg(I', J')\} \right] = 0 \quad \dots (31)$$

[0458] 其中, Σ 表示针对从感兴趣位置 (I', J') 到参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 通过转换检测第 k 图像的绿光成分的像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) 的距离最短的整数 (k, ig, jg) 的 L 种组合而取的求和。

$$[0459] \quad \sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Robs(k, ir, jr) - Lr(I', J')\} \right] = 0 \quad \dots (32)$$

[0460] 其中, Σ 表示针对从感兴趣位置 (I', J') 到参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 通过转换检测第 k 图像的红光成分的像素的中心位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得的位置 (x, y) 的距离最短的整数 (k, ir, jr) 的 L 种组合而取的求和。

$$[0461] \quad \sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Bobs(k, ib, jb) - Lb(I', J')\} \right] = 0 \quad \dots (33)$$

[0462] 其中, Σ 表示针对从感兴趣位置 (I', J') 到参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 通过通过通过转换检测第 k 图像的蓝光成分的像素的中心位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得的位置 (x, y) 的距离最短的整数 (k, ib, jb) 的 L 种组合而取的求和。

[0463] 现在,参照如图 26 所示的流程图,描述根据本发明第五实施例的如图 2 所示的步骤 S4 中的正确图像估计过程。

[0464] 首先,在步骤 S121 中,计算电路 24 选择参考坐标系中的位置 (I', J') (下文称这样的所选位置为感兴趣位置 (I', J'))。注意,感兴趣位置 (I', J') 位于取作参考图像的第一图像的第 (i, j) 像素的中心 $(i-0.5, j-0.5)$ 。

[0465] 此后,过程从步骤 S121 转到步骤 S122。在步骤 S122 中,计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') ,确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 转换检测第 k 图像的绿光成分的像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获

得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ig, jg) 的所有组合。此后, 过程转到步骤 S123。

[0466] 在步骤 S123 中, 从在步骤 S122 中确定的整数 (k, ig, jg) 的所有组合中, 计算电路 24 选择从感兴趣位置 (I', J') 到参考坐标系中根据转换参数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) 转换检测第 k 图像的绿光成分的像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) 的距离最短的整数 (k, ig, jg) 的 L 种组合。此后, 过程转到步骤 S124。也就是说, 在如上所述的步骤 S123 中, 在步骤 S122 中确定的整数 (k, ig, jg) 的所有组合当中, 位置 (x, y) 与感兴趣位置 (I', J') 之间的距离长的那些被当作可靠性低的数据, 并且, 废弃它们。在步骤 S122 中确定的整数 (k, ig, jg) 的组合的总数小于 L 的情况下, 选择整数 (k, ig, jg) 的所有组合 (不废弃任何数据)。

[0467] 在步骤 S124 中, 计算电路 24 利用在步骤 S123 中选择的 (k, ig, jg) 的 L 种组合, 为绿光强度生成形式 (31) 的弹簧方程。此后, 过程转到步骤 S125。

[0468] 在步骤 S125 中, 计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) 通过转换检测第 k 图像的红光成分的像素的中心位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ir, jr) 的所有组合。此后, 过程转到步骤 S126。

[0469] 在步骤 S126 中, 从在步骤 S125 中确定的整数 (k, ir, jr) 的所有组合中, 计算电路 24 选择从感兴趣位置 (I', J') 到参考坐标系中根据转换参数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) 通过转换检测第 k 图像的红光成分的像素的中心位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得的位置 (x, y) 的距离最短的整数 (k, ir, jr) 的 L 种组合。此后, 过程转到步骤 S127。也就是说, 在如上所述的步骤 S126 中, 从在步骤 S125 中确定的整数 (k, ir, jr) 的所有组合当中, 位置 (x, y) 与感兴趣位置 (I', J') 之间的距离长的那些被当作可靠性低的数据, 并且, 废弃它们。在步骤 S125 中确定的整数 (k, ir, jr) 的组合的总数小于 L 的情况下, 选择整数 (k, ir, jr) 的所有组合 (不废弃任何数据)。

[0470] 在步骤 S127 中, 计算电路 24 利用在步骤 S126 中选择的 (k, ir, jr) 的 L 种组合, 为红光强度生成形式 (32) 的弹簧方程。此后, 过程转到步骤 S128。

[0471] 在步骤 S128 中, 计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) 通过转换检测第 k 图像的蓝光成分的像素的中心位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ib, jb) 的所有组合。此后, 过程转到步骤 S129。

[0472] 在步骤 S129 中, 从在步骤 S128 中确定的整数 (k, ib, jb) 的所有组合中, 计算电路 24 选择从感兴趣位置 (I', J') 到参考坐标系中根据转换参数 (θ_k, Tkx, Tky, Sk) 通过转换检测第 k 图像的蓝光成分的像素的中心位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得的位置 (x, y) 的距离最短的整数 (k, ib, jb) 的 L 种组合。此后, 过程转到步骤 S130。也就是说, 在如上所述的步骤 S129 中, 在步骤 S128 中确定的整数 (k, ib, jb) 的所有组合当中, 位置 (x, y) 与感兴趣位置 (I', J') 之间的距离长的那些被当作可靠性低的数据, 并且, 废弃它们。在步骤 S128 中确定的整数 (k, ir, jr) 的组合的总数小于 L 的情况下, 选择整数 (k, ib, jb) 的所有组合 (不废弃任何数据)。

[0473] 在步骤 S130 中, 计算电路 24 利用在步骤 S129 中选择的 (k, ib, jb) 的 L 种组合,

为蓝光强度生成形式 (33) 的弹簧方程。此后,过程转到步骤 S131。

[0474] 在步骤 S131 中,计算电路 24 求解都具有线性方程的形式、在步骤 S124 中确定的与绿光强度相联系的弹簧方程 (31)、在步骤 S127 中确定的与红光强度相联系的弹簧方程 (32) 和在步骤 S130 中确定的与蓝光强度相联系的弹簧方程 (33),从而确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。此后,过程转到步骤 S132。

[0475] 在步骤 S132 中,计算电路 24 确定是否对所有可能位置 (I', J') 都已完成了上述过程,即,是否已经通过将第一图像的所有像素的每一个的中心位置取作感兴趣位置 (I', J') 确定了纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。

[0476] 如果在步骤 S132 中确定还没有对所有可能感兴趣位置 (I', J') 都完成了上述过程,过程返回到步骤 S121,重复步骤 S121 到 S132。也就是说,计算电路 24 选择还没有选为感兴趣位置的位置 (I', J') ,作为新感兴趣位置,并且确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。

[0477] 另一方面,在步骤 S132 中确定已经将所有可能位置 (I', J') 取作感兴趣位置完成了上述过程的情况下,过程转到步骤 S133。在步骤 S133 中,计算电路 24 从在步骤 S131 中确定的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 中估计正确图像(信号)。将所得图像作为输出图像供应给 D/A 转换器 9 或编解码器 12,并且从当前过程中退出。例如,对于第 (i, j) 像素,计算电路 24 从在步骤 S131 中作为绿光值(G 信号)确定的纯绿光强度 $L_g(i-0.5, j-0.5)$ 、在步骤 S131 中作为红光值(R 信号)确定的纯红光强度 $L_r(i-0.5, j-0.5)$ 和在步骤 S131 中作为蓝光值(B 信号)确定的纯蓝光强度 $L_b(i-0.5, j-0.5)$ 中估计它们的正确图像信号。计算电路 24 通过对中心位于所选位置 (I', J') 的所有像素估计图像信号,估计正确图像。

[0478] 在第五实施例中,如上所述,在与感兴趣位置 (I', J') 接近的位置上观测的像素值被选作可靠数据,和弹簧模型只应用于所选数据。这使得可以获得比如上所述的第三实施例可以获得的图像清晰度更高的更理想图像。

[0479] 现在,描述根据本发明第六实施例的正确图像估计过程。

[0480] 在这个第六实施例中,进一步改进了如上所述的第三实施例。也就是说,在这个第六实施例中,检测图像的边缘部分,并且将基于与绿光、红光和蓝光强度相联系的弹簧方程 (25)、(26) 和 (27) 的形式改进了的弹簧方程应用于所检测边缘部分中的像素值。

[0481] 在绿光、红光和蓝光成分当中,与绿光成分(G 信号)相联系的参考坐标系显示在图 27 中。

[0482] 在如图 27 所示的例子中,在边界(边缘)51 右边的区域中观测到亮绿光的像素值,和在边界(边缘)51 左边的区域中观测到暗绿光的像素值。绿光的每个像素值例如用 8 个位表示。亮绿光像素值例如等于 240,和暗绿光像素值例如等于 16。

[0483] 在图 27 中,空心圆圈 52-1 到 52-10、53-1 到 53-9 和 54 表示根据转换参数 $(\theta_k, T_{kx}, T_{ky}, S_k)$ 转换到参考坐标系中的表示的第 k 图像的第 (i, j) 像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 。在那些位置上,观测绿光像素值 $G_{obs}(k, ig, jg)$ 。注意,在空心圆圈 52-1 到 52-10、53-1 到 53-9 和 54 之间的 (k, ig, jg) 是不同的。

[0484] 图 27 中虚线表示的网格的交叉点上的每个实心圆圈指示要由计算电路 24 确定的绿光强度 $Lg(I', J')$ 的位置 (I', J') 。如前所述,位置 (I', J') 表示用作参考图像的第一图像的第 (i, j) 像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 。相邻 $Lg(I', J')$ 之间的距离在 X 和 Y 两个方向都等于 1,因此,像素尺寸在 X 和 Y 两个方向都等于 1。

[0485] 在如图 27 所示的区域 61 中的空心圆圈 52-1 到 52-8 所表示的位置上,观测到约等于 240 的亮绿光像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。

[0486] 在如图 27 所示的区域 62 中的空心圆圈 53-1 到 53-7 所表示的位置上,观测到约等于 16 的暗绿光像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。

[0487] 在图 27 中,空心圆圈 54 所指的位置在边界 51 上。在这样的位置上,由于片上透镜的特性,像素均等地接收水平 (level) 为 240 的亮绿光和水平为 16 的暗绿光两者,因此,在空心圆圈 54 所表示的位置上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 等于 240 和 16 的平均值,即, $128(=(240+16)/2)$ 。

[0488] 在空心圆圈 52-1 到 52-10、53-1 到 53-9 和 54 所表示的位置上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 一般包括误差成分,因此,严格地说,像素值例如是约 240、约 16、约 128 等。但是,为了简单起见,忽略误差成分,将像素值简单表达成 240、16、128 等。

[0489] 例如,当图 27 中实心圆圈 71 所表示的位置被选作感兴趣位置 (I', J') 时,如果使用如上所述的第三实施例,实心圆圈 71 所表示的感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 确定如下。

[0490] 也就是说,当实心圆圈 71 所表示的位置被选作感兴趣位置 (I', J') 时,在感兴趣位置 (I', J') 的附近观测的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$,譬如,在空心圆圈 52-3、52-6、52-10 和 54 所表示的位置上观测的那些用作方程 (25) 中的 $Gobs(k, ig, jg)$ 。在这种情况下,由于纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 受在空心圆圈 54 所表示的位置上观测到的 128 的像素值拉动 (影响),通过求解方程 (25) 获得的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 变成低于 240。但是,由于实心圆圈 71 所表示的位置位于观测到的绿光像素值高达 240 的边界 51 右边的区域中,实际的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 是 240。因此,通过求解方程 (25) 获得的绿光强度 $Lg(I', J')$ 最好等于 240。

[0491] 当实心圆圈 72 所表示的位置被选作感兴趣位置 (I', J') 时,在感兴趣位置 (I', J') 的附近观测的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$,譬如,在空心圆圈 53-2、53-3、53-5、53-9 和 54 所表示的位置上观测的那些用作方程 (25) 中的 $Gobs(k, ig, jg)$ 。在这种情况下,由于纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 受在空心圆圈 54 所表示的位置上观测到的 128 的像素值拉动 (影响),通过求解方程 (25) 获得的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 变成大于 16。但是,由于实心圆圈 72 所表示的位置位于观测到的绿光像素值低至 16 的边界 51 左边的区域中,实际的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 是 16。因此,通过求解方程 (25) 获得的绿光强度 $Lg(I', J')$ 最好等于 16。

[0492] 上面的讨论也可应用于实心圆圈 73 和 74 所表示的位置。正如上面所讨论的那样,在通过根据第三实施例的正确图像估计过程生成的图像中,在像如图 27 所示的边界 51 所在的那个那样的边缘部分中,存在边缘变模糊 (也就是说,相邻像素的像素值之差变小) 的拟然性。

[0493] 在第六实施例中,为了避免上面的问题,检测包括如图 27 所示的边界 51 的边缘部

分,并且,对所检测边缘部分中的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 进行特殊处理,也就是说,改变代入与绿光强度相联系的弹簧方程 (25) 中的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。

[0494] 下面参考图 27,针对确定绿光强度 (G 信号) 的情况进一步详细描述根据第六实施例的方法。

[0495] 首先,计算电路 24 根据转换到参考坐标系的位置上的所有像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 检测边缘部分。也就是说,计算电路 24 确定是否存在沿着垂直方向、沿着水平方向、沿着从左上角到右下角的方向和沿着从右上角到左下角的方向延伸的边缘。

[0496] 下面参考图 28,描述确定是否存在垂直边缘的方法。

[0497] 图 28 示出了参考坐标系。在图 28 中,空心圆圈 81-1 到 81-10、82-1 到 82-9 和 83 表示根据转换参数 ($\theta k, Tkx, Tky, Sk$) 转换到参考坐标系中的表示的第 k 图像的第 (i, j) 像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$,并且,在那些位置上观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。注意,在空心圆圈 81-1 到 81-10、82-1 到 82-9 和 83 之间的 (k, ig, jg) 是不同的。

[0498] 图 28 中虚线表示的网格的交叉点上的每个实心圆圈指示要由计算电路 24 确定的绿光强度 $Lg(I', J')$ 的位置 (I', J') 。如前所述,位置 (I', J') 表示用作参考图像的第一图像的第 (i, j) 像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 。与如图 27 所示的例子一样,相邻 $Lg(I', J')$ 之间的距离在 X 和 Y 两个方向都等于 1,因此,像素尺寸在 X 和 Y 两个方向都等于 1。

[0499] 例如,计算电路 24 选择如图 28 所示的空心圆圈 83 所表示的位置,作为感兴趣位置,并且确定是否存在像如图 28 所示的边缘 94 那样的垂直边缘。这里,让我们假设空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 满足不等式 $I-0.5 \leq x < I+0.5$ 和 $J-0.5 \leq y < J+0.5$ 。在如图 28 所示的例子中,空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 位于 4 个角位于实心圆圈 84 所表示的 $(I+0.5, J-0.5)$ 、实心圆圈 85 所表示的 $(I-0.5, J-0.5)$ 实心圆圈 86 所表示的 $(I+0.5, J+0.5)$ 和实心圆圈 87 所表示的 $(I-0.5, J+0.5)$ 的矩形区域 A11 中。如在前述实施例中一样, I 和 J 是整数。

[0500] 计算电路 24 定义每一个具有等于一个像素尺寸的尺寸 1 的 9 个区域,以便包括感兴趣的空心圆圈 83 的区域 A11 位于这 9 个区域的中心。这 9 个区域是:由 $I-1.5 \leq x < I-0.5$ 和 $J-1.5 \leq y < J-0.5$ 定义的区域 A00;由 $I-1.5 \leq x < I-0.5$ 和 $J-0.5 \leq y < J+0.5$ 定义的区域 A01;由 $I-1.5 \leq x < I-0.5$ 和 $J+0.5 \leq y < J+1.5$ 定义的区域 A02;由 $I-0.5 \leq x < I+0.5$ 和 $J-1.5 \leq y < J-0.5$ 定义的区域 A10;由 $I-0.5 \leq x < I+0.5$ 和 $J-0.5 \leq y < J+0.5$ 定义的区域 A11;由 $I-0.5 \leq x < I+0.5$ 和 $J+0.5 \leq y < J+1.5$ 定义的区域 A12;由 $I+0.5 \leq x < I+1.5$ 和 $J-1.5 \leq y < J-0.5$ 定义的区域 A20;由 $I+0.5 \leq x < I+1.5$ 和 $J-0.5 \leq y < J+0.5$ 定义的区域 A21;和由 $I+0.5 \leq x < I+1.5$ 和 $J+0.5 \leq y < J+1.5$ 定义的区域 A22。空心圆圈 83 所表示的当前感兴趣位置在区域 A11 中。

[0501] 包括为空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置定义的 9 个区域 A00 到 A22 的总区域被称为边缘判断区。

[0502] 为了确定是否存在像边缘 94 那样的垂直边缘,计算电路 24 计算边缘判断区中的包括区域 A00、区域 A01 和区域 A02 的左边区域 91(下文将这个区域 91 简称为左侧区 91)中,空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差、边缘判断区中的包括区域 A10、区域 A11 和区域 A12 的中间区域 92(下文将这个区域 92 简称为中间区 92)

中,空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差和边缘判断区中的包括区域 A20、区域 A21 和区域 A22 的右边区域 93(下文将这个区域 93 简称为右侧区 93)中,空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差。

[0503] 也就是说,计算电路 24 确定左侧区 91 中空心圆圈 82-1 到 82-7 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG0$,以及确定那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的方差 $SG0$ 。计算电路 24 还确定中间区 92 中空心圆圈 81-9、81-10、82-8、82-9 和 83 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG0''$ 。并且,计算电路 24 确定右侧区 93 中空心圆圈 81-1 到 81-8 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG0'$,以及确定那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的方差 $SG0'$ 。

[0504] 举例来说,如果存在与空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置接近的垂直边缘 94,那么,对于左侧区 91 的平均值 $EG0$ 、中间区 92 的平均值 $EG0''$ 和右侧区 93 的平均值 $EG0'$,如下不等式 (a) 成立,因此,当不等式 (a) 满足时,计算电路 24 确定存在垂直边缘。

$$[0505] \quad EG0 < EG0'' < EG0' \text{ 或 } EG0' < EG0'' < EG0 \quad (a)$$

[0506] 实际上,如果例如由于对象的精细图案,存在数据变化,对于不接近边缘 94 的区域,不等式 (a) 也是满足的。为了避免上面的问题和为了作出更可靠的确定,计算电路 24 通过确定包括附加项的方差 $SG0$ 和 $SG0'$ 的如下不等式是否满足,确定是否存在垂直边缘 94,也就是说,当如下所示的不等式 (b) 满足时,计算电路 24 确定存在垂直边缘。

$$[0507] \quad EG0 + SG0 < EG0'' < EG0' - SG0'$$

[0508] 或

$$[0509] \quad EG0' + SG0' < EG0'' < EG0 - SG0 \quad (b)$$

[0510] 不等式 (b) 的使用使得可以防止由于精细图案等,像素值存在变化,因此,方差 $SG0$ 和 $SG0'$ 大的区域,被不正确地识别为存在边缘的区域。

[0511] 下面参考图 29,描述确定是否存在水平边缘的方法。在图 29 中,与图 28 中的那些相同的部分用相同的标号表示,这里不给出它们的重复描述。

[0512] 为了确定是否存在水平边缘 104,计算电路 24 确定沿着水平方向延伸和包括区域 A00、区域 A10 和区域 A20 的上边缘判断区 101(下文将区域 101 简称为上区 101)中,空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差、沿着水平方向延伸和包括区域 A01、区域 A11 和区域 A21 的中间边缘判断区 102(下文将区域 102 简称为中间区 102)中,空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差和沿着水平方向延伸和包括区域 A02、区域 A12 和区域 A22 的下边缘判断区 103(下文将区域 103 简称为下区 103)中,空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差。

[0513] 也就是说,计算电路 24 确定上区 101 中空心圆圈 81-1 到 81-3、81-10、82-1、82-2 和 82-9 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG1$,以及确定那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的方差 $SG1$ 。计算电路 24 还确定中间区 102 中空心圆圈 81-4 到 81-6、82-3 到 82-5 和 83 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG1''$ 。并且,计算电路 24 确定下区 103 中空心圆圈 81-7 到 81-9 和 82-6 到 82-8 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG1'$,以及确定那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的方差 $SG1'$ 。

[0514] 举例来说,如果存在与空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置接近的水平边缘 104,那么,计及由于对象的精细图案引起的数据变化,对于上区 101 的平均值 $EG1$ 、中间区 102 的平

均值 $EG1''$ 和下区 103 的平均值 $EG1'$,如下不等式 (c) 成立,因此,当不等式 (c) 满足时,计算电路 24 确定存在水平边缘。

$$[0515] \quad EG1 + SG1 < EG1'' < EG1' - SG1'$$

[0516] 或

$$[0517] \quad EG1' + SG1' < EG1'' < EG1 - SG1 \quad (c)$$

[0518] 不等式 (c) 的使用使得可以防止由于精细图案等,像素值存在变化,因此,方差 $SG1$ 和 $SG1'$ 大的区域被不正确地识别为存在边缘的区域。注意,是否存在水平边缘的确定可以根据与不考虑方差,只包括平均值的 (a) 相似的不等式作出。

[0519] 下面参考图 30,描述确定是否存在从左上角向右下角延伸的边缘的方法。在图 30 中,与图 28 中的那些相同的部分用相同的标号表示,这里不给出它们的重复描述。

[0520] 为了确定是否存在从左上角向右下角延伸的边缘 114,计算电路 24 确定包括区域 A01、区域 A02 和区域 A12 的左下边缘判断区 111(下文将区域 111 简称为左下区 111) 中,空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差、包括区域 A00、区域 A11 和区域 A22 的中间边缘判断区 112(下文将区域 112 简称为中间区 112) 中,空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差和包括区域 A10、区域 A20 和区域 A21 的右上边缘判断区 113(下文将区域 113 简称为右上区 113) 中,空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差。

[0521] 也就是说,计算电路 24 确定左下区 111 中空心圆圈 81-9 和 82-3 到 82-8 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG2$,以及确定那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的方差 $SG2$ 。计算电路 24 还确定中间区 112 中空心圆圈 81-7、81-8、82-1、82-3 和 83 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG2''$ 。并且,计算电路 24 确定右上区 113 中空心圆圈 81-1 到 81-6、81-10 和 82-9 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG2'$,以及确定那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的方差 $SG2'$ 。

[0522] 举例来说,如果在与空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置接近的位置上存在从左上角向右下角延伸的边缘 114,那么,计及由于对象的精细图案引起的数据变化,对于左下区 111 的平均值 $EG2$ 、中间区 112 的平均值 $EG2''$ 和右上区 113 的平均值 $EG2'$,如下不等式 (d) 成立,因此,当不等式 (d) 满足时,计算电路 24 确定存在从左上角向右下角延伸的边缘。

$$[0523] \quad EG2 + SG2 < EG2'' < EG2' - SG2'$$

[0524] 或

$$[0525] \quad EG2' + SG2' < EG2'' < EG2 - SG2 \quad (d)$$

[0526] 不等式 (d) 的使用使得可以防止由于精细图案等,像素值存在变化,因此,方差 $SG2$ 和 $SG2'$ 大的区域被不正确地识别为存在边缘的区域。注意,是否存在从左上角向右下角延伸的边缘的确定可以根据与不考虑方差,只包括平均值的 (a) 相似的不等式作出。

[0527] 下面参考图 31,描述确定是否存在从右上角向左下角延伸的边缘的方法。在图 31 中,与图 28 中的那些相同的部分用相同的标号表示,这里不给出它们的重复描述。

[0528] 为了确定是否存在从右上角向左下角延伸的边缘 124,计算电路 24 确定包括区域 A00、区域 A01 和区域 A10 的左上边缘判断区 121(下文将区域 121 简称为左上区 121) 中,空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差、包括区域 A02、区域 A11 和区域 A20 的中间边缘判断区 122(下文将区域 122 简称为中间区 122) 中,空心圆圈所表

示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差和包括区域 A12、区域 A21 和区域 A22 的右下边缘判断区 123(下文将区域 123 简称为右下区 123) 中, 空心圆圈所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值和方差。

[0529] 也就是说, 计算电路 24 确定左上区 121 中空心圆圈 81-10、82-1 到 82-5 和 82-9 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG3$, 以及确定那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的方差 $SG3$ 。计算电路 24 还确定中间区 122 中空心圆圈 81-1 到 81-3、82-6、82-7 和 83 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG3''$ 。并且, 计算电路 24 确定右下区 123 中空心圆圈 81-4 到 81-9 和 82-8 所表示的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的平均值 $EG3'$, 以及确定那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的方差 $SG3'$ 。

[0530] 举例来说, 如果从左上角向右下角延伸的边缘 124 位于空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置附近, 那么, 计及由于对象的精细图案引起的数据变化, 对于左上区 121 的平均值 $EG3$ 、中间区 122 的平均值 $EG3''$ 和右下区 123 的平均值 $EG3'$, 如下不等式 (e) 成立, 因此, 当不等式 (e) 满足时, 计算电路 24 确定存在从左上角向右下角延伸的边缘。

$$[0531] \quad EG3 + SG3 < EG3'' < EG3' - SG3'$$

[0532] 或

$$[0533] \quad EG3' + SG3' < EG3'' < EG3 - SG3 \quad (e)$$

[0534] 不等式 (e) 的使用使得可以防止由于精细图案等, 像素值存在变化, 因此, 方差 $SG3$ 和 $SG3'$ 大的区域被不正确地识别为存在边缘的区域。注意, 是否存在从右上角向左下角延伸的边缘的确定可以根据与不考虑方差, 只包括平均值的 (a) 相似的不等式作出。

[0535] 正如参考图 28 到 31 所述的那样, 计算电路 24 通过确定如上所述的不等式是否满足, 确定在 4 个方向, 即, 垂直方向、水平方向、从左上角到右下角的方向和从右上角到左下角的方向的每一个中是否存在边缘。注意, 计算电路 24 不仅对绿色作出是否存在边缘的确定, 而且对红色和蓝色作出是否存在边缘的确定。

[0536] 存在上面 4 个方向的几个方向中如上所述的不等式都满足的拟然性。由于只能存在一个真边缘, 因此, 只应用一个最主要边缘, 废弃其它边缘。

[0537] 更具体地说, 例如, 计算电路 24 在检测到边缘的每个方向中计算如下值:

$$[0538] \quad |(EGm' - EGm) / (SGm' + SGm)|$$

[0539] 其中, $m = 0$ 到 3, 和计算电路 24 确定与最大值相对应的 m 。如果当 $m = 0$ 时, 值最大, 垂直边缘被确定为主要的。如果 $m = 1$, 水平边缘被确定为主要的。如果 $m = 2$, 沿着从左上角到右下角的方向延伸的边缘被确定为主要的。如果 $m = 3$, 沿着从右上角到左下角的方向延伸的边缘被确定为主要的。注意, 在上面的方程中, $|x|$ 表示 x 的绝对值。

[0540] 取决于在感兴趣位置上检测到的边缘的方向, 计算电路 24 对在边缘部分中的感兴趣位置上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 进行如下所述的特殊处理。

[0541] 也就是说, 在特殊处理中, 当将像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 代入与绿光强度相联系的弹簧方程 (25) 中时, 将像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 换成在边缘部分中的位置上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。

[0542] 例如, 按照如上所述的第一种或第二种方法, 进行要代入的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的改变。

[0543] 在第一种方法中, 当例如在图 28 到 31 中空心圆圈所表示的感兴趣位置上检测到

边缘时,废弃那个位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。也就是说,不使检测到边缘的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 包含在与绿光强度相联系的弹簧方程 (25) 中。换句话说,从如图 22(图 23) 所示的弹簧模型中除去沿着错误方向拉动光强度的弹簧,因此,可以更精确地确定 $Lg(I', J')$ 的值(因此,可以获得更清晰的图像)。

[0544] 在第二种方法中,用从在 9 个区域 A00 到 A22 中观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 中计算的值替代,例如,图 28 到 31 中空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$,其中,9 个区域 A00 到 A22 包含在如上所述的边缘检测过程中,定义在感兴趣位置上的边缘判断区中,并且,将所得替代值代入与绿光强度相联系的弹簧方程 (25) 中。

[0545] 下面更详细地描述第二种方法。

[0546] 图 32 示出了在检测到如图 28 所示的垂直边缘的状态下,包括空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置的区域 A11。在图 32 中,一轴定义在参考坐标系中的 X 方向,参考坐标系中的 Y 方向定义在与 X 方向垂直的方向,和与 X 方向和 Y 方向都垂直的轴代表像素值。

[0547] 在如图 32 所示的例子中,为边缘判断区确定的平均值 $EG0$ 、 $EG0'$ 和 $EG0''$ 和方差 $SG0$ 和 $SG0'$ 满足条件 $EG0' + SG0' < EG0'' < EG0 - SG0$,因此,存在垂直边缘。

[0548] 在这种情况下,实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 和实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 大于在空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置 (x, y) 上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值和实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值依赖于平均值 $EG0$ 和 $EG0'$ 之间的差值,即, $EG0 - EG0'$ 。

[0549] 实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 和实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 大于在空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置 (x, y) 上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值和实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值依赖于平均值 $EG0$ 和 $EG0'$ 之间的差值,即, $EG0 - EG0'$ 。

[0550] 鉴于上面情况,计算电路 24 确定经过空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 和在 X 方向具有斜率 p 的平面 Q1,其中, $p = (EG0 - EG0') / 2$ 。斜率 p 是将图 28 中左侧区 91 中的像素值的平均值 $EG0$ 与右侧区 93 中的像素值的平均值 $EG0'$ 之间的差值除以左侧区 91 与右侧区 93 之间在 X 方向的中心-中心距离,即,除以 2 确定的。斜率 p 表示垂直边缘部分中的光强度在与边缘垂直的方向的变化率,即,斜率 p 表示边缘的斜率。

[0551] 并且,计算电路 24 计算平面 Q1 中,实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的值(像素值)。计算的像素值用 $Gobs0(k, ig, jg)$ 表示。并且,计算电路 24 计算平面 Q1 中,实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的值(像素值)。计算的像素值用 $Gobs1(k, ig, jg)$ 表示。类似地,计算电路 24 计算平面 Q1 中,实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5,$

J-0.5) 上的值 (像素值) 和平面 Q1 中, 实心圆圈 86 所表示的位置 (I+0.5, J+0.5) 上的值 (像素值)。所得的计算像素值分别用 Gobs2(k, ig, jg) 和 Gobs3(k, ig, jg) 表示。

[0552] 由于平面 Q1 只在 X 方向具有斜率 p, 像素值 Gobs0(k, ig, jg) 和 Gobs1(k, ig, jg) 彼此相等, 和像素值 Gobs2(k, ig, jg) 和 Gobs3(k, ig, jg) 彼此相等。

[0553] 在如上所述的第三实施例中, 如图 22 所示, 方程 (25) 是根据代表位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 和在位置 (I', J') 的附近观测到的像素值 Gobs(k, ig, jg) 之间的平衡的弹簧模型写出的。这里, 在位置 (I', J') 的附近观测到的像素值 Gobs(k, ig, jg) 指的是相对于参考坐标系中根据转换参数 (θ , k, Tkx, Tky, Sk) 通过转换第 k 图像的坐标系中的位置 (ig-0.5, jg-0.5) 获得的位置 (x, y), 其 (k, ig, jg) 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的那些像素值 Gobs(k, ig, jg)。

[0554] 在图 32 中, 例如, 当实心圆圈 84 所表示的位置 (I+0.5, J-0.5) 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 Gobs(k, ig, jg) 包括在实心圆圈 84 所表示的位置的附近观测到的一组 Gobs(k, ig, jg) 中。因此, 在如上所述的第三实施例中, 将空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 Gobs(k, ig, jg) 代入方程 (25) 中。

[0555] 与此不同, 在第六实施例中, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 Gobs(k, ig, jg), 将计算值, 即, 平面 Q1 中实心圆圈 84 所表示的位置 (I+0.5, J-0.5) 上的像素值 Gobs2(k, ig, jg) 代入方程 (25) 中。

[0556] 当实心圆圈 85 所表示的位置 (I-0.5, J-0.5) 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 Gobs(k, ig, jg), 将平面 Q1 中实心圆圈 85 所表示的位置 (I-0.5, J-0.5) 上的计算像素值 Gobs0(k, ig, jg) 代入方程 (25) 中。

[0557] 在实心圆圈 86 所表示的位置 (I+0.5, J+0.5) 被选作感兴趣位置 (I', J') 的情况下, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 Gobs(k, ig, jg), 将平面 Q1 中实心圆圈 86 所表示的位置 (I+0.5, J+0.5) 上的计算像素值 Gobs3(k, ig, jg) 代入方程 (25) 中。

[0558] 当实心圆圈 87 所表示的位置 (I-0.5, J+0.5) 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 Gobs(k, ig, jg), 将平面 Q1 中实心圆圈 87 所表示的位置 (I-0.5, J+0.5) 上的计算像素值 Gobs1(k, ig, jg) 代入方程 (25) 中。

[0559] 如上所述, 当在垂直边缘部分 (其中绿光强度存在突变) 中观测像素值 Gobs(k, ig, jg) (譬如, 图 32 中空心圆圈 83 所表示的位置上的那个) 时, 将像素值改变 (校正) 成取决于边缘的斜率 p (像素值的变化率) 的像素值 (Gobs0(k, ig, jg)、Gobs1(k, ig, jg)、Gobs2(k, ig, jg)、或 Gobs3(k, ig, jg)), 将改变的像素值代入方程 (25) 中。结果, 在弹簧模型中, 如图 23 所示指示 $L_g(I', J')$ 的物体 V 被拉向正确位置, 因此, 获得的值 $L_g(I', J')$ 更有可能是纯绿光强度 (因此, 可以获得更清晰的图像)。

[0560] 图 33 示出了在检测到如图 29 所示的水平边缘的状态下, 包括空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置的区域 A11。在图 33 中, 一轴定义在参考坐标系中的 X 方向, 参考坐标系中的 Y 方向定义在与 X 方向垂直的方向, 和与 X 方向和 Y 方向都垂直的轴代表像素值。

[0561] 在如图 33 所示的例子中, 为边缘判断区确定的平均值 EG1、EG1' 和 EG1'' 和方差 SG1 和 SG1' 满足条件 $EG1' + SG1' < EG1'' < EG1 - SG1$, 因此, 存在水平边缘。

[0562] 在这种情况下, 实心圆圈 84 所表示的位置 (I+0.5, J-0.5) 上的纯绿光强度

$L_g(I+0.5, J-0.5)$ 和实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的纯绿光强度 $L_g(I-0.5, J-0.5)$ 大于在空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置 (x, y) 上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 上的纯绿光强度 $L_g(I+0.5, J-0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值和实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的纯绿光强度 $L_g(I-0.5, J+0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值依赖于平均值 $EG1$ 和 $EG1'$ 之间的差值, 即, $EG1-EG1'$ 。

[0563] 实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ 和实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $L_g(I-0.5, J+0.5)$ 大于在空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置 (x, y) 上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $L_g(I+0.5, J+0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值和实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $L_g(I-0.5, J+0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值依赖于平均值 $EG1$ 和 $EG1'$ 之间的差值, 即, $EG1-EG1'$ 。

[0564] 鉴于上面情况, 计算电路 24 确定经过空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 和在 Y 方向具有斜率 p 的平面 $Q2$, 其中, $p = (EG1-EG1')/2$ 。斜率 p 是将图 29 中上区 101 中的像素值的平均值 $EG1$ 与下区 103 中的像素值的平均值 $EG1'$ 之间的差值除以上区 101 与下区 103 之间在 Y 方向的中心-中心距离, 即, 除以 2 确定的。斜率 p 表示水平边缘部分中的光强度在与边缘垂直的方向的变化率, 即, 斜率 p 表示边缘的斜率。

[0565] 并且, 计算电路 24 计算平面 $Q2$ 中, 实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的值 (像素值)。计算的像素值用 $Gobs0(k, ig, jg)$ 表示。并且, 计算电路 24 计算平面 $Q2$ 中, 实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的值 (像素值)。计算的像素值用 $Gobs1(k, ig, jg)$ 表示。类似地, 计算电路 24 计算平面 $Q2$ 中, 实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 上的值 (像素值) 和平面 $Q2$ 中, 实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的值 (像素值)。所得的计算像素值分别用 $Gobs2(k, ig, jg)$ 和 $Gobs3(k, ig, jg)$ 表示。

[0566] 由于平面 $Q2$ 只在 Y 方向具有斜率 p , 像素值 $Gobs0(k, ig, jg)$ 和 $Gobs2(k, ig, jg)$ 彼此相等, 和像素值 $Gobs1(k, ig, jg)$ 和 $Gobs3(k, ig, jg)$ 彼此相等。

[0567] 对于水平边缘, 与如图 32 所示的垂直边缘相似的方式进行替代。也就是说, 当实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 $Q2$ 中实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 上的计算像素值 $Gobs2(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0568] 当实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 $Q2$ 中实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的计算像素值 $Gobs0(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0569] 当实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 $Q2$ 中实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的计算像素值 $Gobs3(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0570] 当实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 $Q2$ 中实心圆圈

87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的计算像素值 $Gobs1(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0571] 如上所述,当在水平边缘部分(其中绿光强度存在突变)中观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ (譬如,图 33 中空心圆圈 83 所表示的位置上的那个)时,将像素值改变(校正)成取决于边缘的斜率 p (像素值的变化率)的像素值($Gobs0(k, ig, jg)$ 、 $Gobs1(k, ig, jg)$ 、 $Gobs2(k, ig, jg)$ 、或 $Gobs3(k, ig, jg)$),将改变的像素值代入方程 (25) 中。结果,在弹簧模型中,如图 23 所示指示 $Lg(I', J')$ 的物体 V 被拉向正确位置,因此,获得的值 $Lg(I', J')$ 更有可能是纯绿光强度(因此,可以获得更清晰的图像)。

[0572] 图 34 示出了在检测到如图 30 所示沿着从左上角到右下角的方向延伸的边缘的状态下,包括空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置的区域 $A11$ 。在图 34 中,一轴定义在参考坐标系中的 X 方向,参考坐标系中的 Y 方向定义在与 X 方向垂直的方向,和与 X 方向和 Y 方向都垂直的轴代表像素值。

[0573] 在如图 34 所示的例子中,为边缘判断区确定的平均值 $EG2$ 、 $EG2'$ 和 $EG2''$ 和方差 $SG2$ 和 $SG2'$ 满足条件 $EG2' + SG2' < EG2'' < EG2 - SG2$,因此,存在沿着从左上角到右下角的方向延伸的边缘。

[0574] 在这种情况下,实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 大于在空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置 (x, y) 上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J-0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值依赖于平均值 $EG2$ 和 $EG2'$ 之间的差值,即, $EG2 - EG2'$ 。

[0575] 实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 大于在空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置 (x, y) 上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J+0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值依赖于平均值 $EG2$ 和 $EG2'$ 之间的差值,即, $EG2 - EG2'$ 。

[0576] 鉴于上面情况,计算电路 24 确定经过空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 和在区域 $A11$ 的对角线方向具有斜率 p 的平面 $Q3$,其中, $p = (EG2' - EG2) / 2\sqrt{2}$ 。斜率 p 是将图 30 中右上区 113 中的像素值的平均值 $EG2'$ 与左下区 111 中的像素值的平均值 $EG2$ 之间的差值除以 $2\sqrt{2}$,即,右上区 113 中的区域 $A20$ 与左下区 111 中的区域 $A02$ 之间在实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 到实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 的对角线方向的中心-中心距离确定的。注意,沿着从左上角到右下角的方向延伸的边缘部分的斜率 p 表示光强度在与边缘垂直的方向的变化率,即,斜率 p 表示边缘的斜率。

[0577] 并且,计算电路 24 计算平面 $Q3$ 中,实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的值(像素值)。计算的像素值用 $Gobs0(k, ig, jg)$ 表示。计算电路 24 还计算平面 $Q3$ 中,实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的值(像素值)。计算的像素值用 $Gobs1(k, ig, jg)$ 表示。类似地,计算电路 24 计算平面 $Q3$ 中,实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 上的值(像素值)和平面 $Q3$ 中,实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的值(像素值)。所得的计算像素值分别用 $Gobs2(k, ig, jg)$ 和 $Gobs3(k, ig, jg)$ 表示。

[0578] 由于平面 $Q3$ 只在区域 $A11$ 的对角线方向,即,在实心圆圈 84 所表示的位置

(I+0.5, J-0.5) 到实心圆圈 87 所表示的位置 (I-0.5, J+0.5) 的方向具有斜率 p , 像素值 $Gobs0(k, ig, jg)$ 和 $Gobs3(k, ig, jg)$ 彼此相等。

[0579] 对于沿着从左上角到右下角的方向延伸的边缘, 与如图 32 所示的垂直边缘相似的方式进行替代。也就是说, 当实心圆圈 84 所表示的位置 (I+0.5, J-0.5) 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 Q3 中实心圆圈 84 所表示的位置 (I+0.5, J-0.5) 上的计算像素值 $Gobs2(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0580] 当实心圆圈 85 所表示的位置 (I-0.5, J-0.5) 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 Q3 中实心圆圈 85 所表示的位置 (I-0.5, J-0.5) 上的计算像素值 $Gobs0(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0581] 当实心圆圈 86 所表示的位置 (I+0.5, J+0.5) 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 Q3 中实心圆圈 86 所表示的位置 (I+0.5, J+0.5) 上的计算像素值 $Gobs3(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0582] 当实心圆圈 87 所表示的位置 (I-0.5, J+0.5) 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 Q3 中实心圆圈 87 所表示的位置 (I-0.5, J+0.5) 上的计算像素值 $Gobs1(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0583] 如上所述, 当在沿着从左上角到右下角的方向延伸的边缘部分 (其中绿光强度存在突变) 中观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ (譬如, 图 34 中空心圆圈 83 所表示的位置上的那个) 时, 将像素值改变 (校正) 成取决于边缘的斜率 p (像素值的变化率) 的像素值 ($Gobs0(k, ig, jg)$ 、 $Gobs1(k, ig, jg)$ 、 $Gobs2(k, ig, jg)$ 、或 $Gobs3(k, ig, jg)$), 将改变的像素值代入方程 (25) 中。结果, 在弹簧模型中, 如图 23 所示指示 $Lg(I', J')$ 的物体 V 被拉向正确位置, 因此, 获得的值 $Lg(I', J')$ 更有可能是纯绿光强度 (因此, 可以获得更清晰的图像)。

[0584] 图 35 示出了在检测到如图 31 所示沿着从右上角到左下角的方向延伸的边缘的状态下, 包括空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置的区域 A11。在图 35 中, 一轴定义在参考坐标系中的 X 方向, 参考坐标系中的 Y 方向定义在与 X 方向垂直的方向, 和与 X 方向和 Y 方向都垂直的轴代表像素值。

[0585] 在如图 35 所示的例子中, 为边缘判断区确定的平均值 $EG3$ 、 $EG3'$ 和 $EG3''$ 和方差 $SG3$ 和 $SG3'$ 满足条件 $EG3' + SG3' < EG3'' < EG3 - SG3$, 因此, 存在沿着从右上角到左下角的方向延伸的边缘。

[0586] 这种情况下, 实心圆圈 85 所表示的位置 (I-0.5, J-0.5) 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 大于在空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置 (x, y) 上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。实心圆圈 85 所表示的位置 (I-0.5, J-0.5) 上的纯绿光强度 $Lg(I-0.5, J-0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值依赖于平均值 $EG3$ 和 $EG3'$ 之间的差值, 即, $EG3 - EG3'$ 。

[0587] 实心圆圈 86 所表示的位置 (I+0.5, J+0.5) 上的纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 大于在空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置 (x, y) 上观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 。实心圆圈 86 所表示的位置 (I+0.5, J+0.5) 上的纯绿光强度 $Lg(I+0.5, J+0.5)$ 与空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 之间的差值依赖于平均值 $EG3$ 和 $EG3'$ 之间的差值, 即, $EG3 - EG3'$ 。

[0588] 鉴于上面情况,计算电路 24 确定经过空心圆圈 83 所表示的感兴趣位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 和在区域 A11 的对角线方向 (即在从实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 到实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 的方向) 具有斜率 p 的平面 Q4, 其中, $p = (EG3-EG3')/2\sqrt{2}$ 。斜率 p 是将图 31 中左上区 121 中的像素值的平均值 $EG3$ 与右下区 123 中的像素值的平均值 $EG3'$ 之间的差值除以 $2\sqrt{2}$, 即, 左上区 121 中的区域 A00 与右下区 123 中的区域 A22 之间在实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 到实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 的对角线方向的中心-中心距离确定的。注意, 沿着从右上角到左下角的方向延伸的边缘部分的斜率 p 表示光强度在与边缘垂直的方向的变化率, 即, 斜率 p 表示边缘的斜率。

[0589] 并且, 计算电路 24 计算平面 Q4 中, 实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的值 (像素值)。计算的像素值用 $Gobs0(k, ig, jg)$ 表示。计算电路 24 还计算平面 Q4 中, 实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的值 (像素值)。计算的像素值用 $Gobs1(k, ig, jg)$ 表示。类似地, 计算电路 24 计算平面 Q4 中, 实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 上的值 (像素值) 和平面 Q4 中, 实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的值 (像素值)。所得的计算像素值分别用 $Gobs2(k, ig, jg)$ 和 $Gobs3(k, ig, jg)$ 表示。

[0590] 由于平面 Q4 只在区域 A11 的对角线方向, 即, 在实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 到实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 的方向具有斜率 p , 像素值 $Gobs1(k, ig, jg)$ 和 $Gobs2(k, ig, jg)$ 彼此相等。

[0591] 对于沿着从右上角到左下角的方向延伸的边缘, 与如图 32 所示的垂直边缘相似的方式进行替代。也就是说, 当实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 Q4 中实心圆圈 84 所表示的位置 $(I+0.5, J-0.5)$ 上的计算像素值 $Gobs2(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0592] 当实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 Q4 中实心圆圈 85 所表示的位置 $(I-0.5, J-0.5)$ 上的计算像素值 $Gobs0(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0593] 当实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 Q4 中实心圆圈 86 所表示的位置 $(I+0.5, J+0.5)$ 上的计算像素值 $Gobs3(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0594] 当实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 被选作感兴趣位置 (I', J') 时, 取代空心圆圈 83 所表示的位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将平面 Q4 中实心圆圈 87 所表示的位置 $(I-0.5, J+0.5)$ 上的计算像素值 $Gobs1(k, ig, jg)$ 代入方程 (25) 中。

[0595] 如上所述, 当在沿着从右上角到左下角的方向延伸的边缘部分 (其中绿光强度存在突变) 中观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ (譬如, 图 35 中空心圆圈 83 所表示的位置上的那个) 时, 将像素值改变 (校正) 成取决于边缘的斜率 p (像素值的变化率) 的像素值 ($Gobs0(k, ig, jg)$ 、 $Gobs1(k, ig, jg)$ 、 $Gobs2(k, ig, jg)$ 、或 $Gobs3(k, ig, jg)$), 将改变的像素值代入方程 (25) 中。结果, 在弹簧模型中, 如图 23 所示指示 $Lg(I', J')$ 的物体 V 被拉向正确位置, 因此, 获得的值 $Lg(I', J')$ 更有可能是纯绿光强度 (因此, 可以获得更清晰的图像)。

[0596] 从上面的讨论中可以看出, 在这个第六实施例, 与根据第三实施例的方程 (25)

相对应的与绿光强度相联系的弹簧方程由如下所示的方程 (34) 给出。注意, 纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 可以以与纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 相似的方式确定。

[0597]

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Gobs'(k, ig, jg) - Lg(I', J')\} \right] = 0 \quad \dots (34)$$

[0598] 对于给定位置 (I', J') , 方程 (34) 中的求和 Σ 是针对相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 通过转换第 k 图像上的位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的所有组合 (k, ig, jg) 而取的。

[0599] 注意, 当在包括在方程 (34) 中的整数 (k, ig, jg) 的组合之一的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的位置上检测到垂直边缘、水平边缘、从左上角向右下角延伸的边缘和从右上角向左下角延伸的边缘之一时, 取代 (k, ig, jg) 的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 将经过 (k, ig, jg) 的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 和斜率 p 等于边缘的斜率的平面中位置 (I', J') 上的计算像素值代入方程 (34) 的 $Gobs'(k, ig, jg)$ 中。当在包括在方程 (34) 中的整数 (k, ig, jg) 的任何组合的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的位置上都没有检测到垂直边缘、水平边缘、从左上角向右下角延伸的边缘和从右上角向左下角延伸的边缘之一时, 将 (k, ig, jg) 的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 直接代入方程 (34) 中的 $Gobs'(k, ig, jg)$ 中。

[0600] 并且, 在这个第六实施例中, 与根据第三实施例的方程 (26) 和 (27) 相对应的与红光强度相联系的弹簧方程和与蓝光强度相联系的弹簧方程由如下所示的方程 (35) 和 (36) 给出。

[0601]

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Robs'(k, ir, jr) - Lr(I', J')\} \right] = 0 \quad \dots (35)$$

[0602] 对于给定位置 (I', J') , 方程 (35) 中的求和 Σ 是针对相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 通过转换第 k 图像上的位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的所有组合 (k, ir, jr) 而取的。

[0603] 注意, 当在包括在方程 (35) 中的整数 (k, ir, jr) 的组合之一的像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 的位置上检测到垂直边缘、水平边缘、从左上角向右下角延伸的边缘和从右上角向左下角延伸的边缘之一时, 取代 (k, ir, jr) 的像素值 $Robs(k, ir, jr)$, 将经过 (k, ir, jr) 的像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 和斜率 p 等于边缘的斜率的平面中位置 (I', J') 上的计算像素值代入方程 (35) 的 $Robs'(k, ir, jr)$ 中。当在包括在方程 (35) 中的整数 (k, ir, jr) 的任何组合的像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 的位置上都没有检测到垂直边缘、水平边缘、从左上角向右下角延伸的边缘和从右上角向左下角延伸的边缘之一时, 将 (k, ir, jr) 的像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 直接代入方程 (35) 中的 $Robs'(k, ir, jr)$ 中。

[0604]

$$\sum \left[\frac{\sqrt{2} - F((x, y), (I', J'))}{(Mk \times E)} \times \{Bobs'(k, ib, jb) - Lb(I', J')\} \right] = 0 \quad \dots (36)$$

[0605] 对于给定位置 (I', J') , 方程 (36) 中的求和 Σ 是针对相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta k, Tkx, Tky, Sk)$ 通过转换第 k 图像上的位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得的位置

(x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的所有组合 (k, ib, jb) 而取的。

[0606] 注意, 当在包括在方程 (36) 中的整数 (k, ib, jb) 的组合之一的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 的位置上检测到垂直边缘、水平边缘、从左上角向右下角延伸的边缘和从右上角向左下角延伸的边缘之一时, 取代 (k, ib, jb) 的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$, 将经过 (k, ib, jb) 的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 和斜率 p 等于边缘的斜率的平面中位置 (I', J') 上的计算像素值代入方程 (36) 的 $Bobs'(k, ib, jb)$ 中。当在包括在方程 (36) 中的整数 (k, ig, jg) 的任何组合的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 的位置上都没有检测到垂直边缘、水平边缘、从左上角向右下角延伸的边缘和从右上角向左下角延伸的边缘之一时, 将 (k, ib, jb) 的像素值 $Gobs(k, ib, jb)$ 直接代入方程 (36) 中的 $Bobs'(k, ib, jb)$ 中。

[0607] 现在, 参照如图 36 所示的流程图, 描述根据本发明第六实施例的如图 2 所示的步骤 S4 中的正确图像估计过程。

[0608] 首先, 在步骤 S141 中, 计算电路 24 选择参考坐标系中的位置 (I', J') (下文称这样的所选位置为感兴趣位置 (I', J'))。注意, 感兴趣位置 (I', J') 位于取作参考图像的第一图像的第 (i, j) 像素的中心 $(i-0.5, j-0.5)$ 。

[0609] 此后, 过程从步骤 S141 转到步骤 S142。在步骤 S142 中, 计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta_k, Tk_x, Tk_y, Sk)$ 转换检测第 k 图像的绿光成分的像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ig, jg) 的所有组合。此后, 过程转到步骤 S143。

[0610] 在步骤 S143 中, 计算电路 24 为在步骤 S142 中确定的整数 (k, ig, jg) 的每种组合确定是否存在垂直边缘、水平边缘、从左上角向右下角延伸的边缘和从右上角向左下角延伸的边缘。如果在步骤 S143 中确定存在沿着 4 个方向之一延伸的边缘, 过程转到步骤 S144。在步骤 S144 中, 对于与检测到边缘的位置相对应的每种组合 (k, ig, jg) , 计算电路 24 生成 (确定) 经过像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 和斜率等于边缘的斜率 p 的平面。然后, 计算电路 24 计算该平面中感兴趣位置 (I', J') 上的值 (像素值)。此后, 过程从步骤 S144 转到步骤 S145。

[0611] 在步骤 S143 中确定在 4 个方向的任何一个中都没有边缘的情况下, 过程转到步骤 S145。注意, 在完成步骤 S144 之后, 过程也转到步骤 S145。在步骤 S145 中, 计算电路 24 利用在步骤 S142 中确定的 (k, ig, jg) 的所有组合, 为绿光强度生成形式 (34) 的弹簧方程。此后, 过程转到步骤 S146。对于在步骤 S143 中检测到边缘的在参考坐标系中与 (k, ig, jg) 相对应的位置上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 计算电路 24 将在步骤 S144 中确定的平面中位置 (I', J') 上的值 (像素值) 用作检测到边缘的 (k, ig, jg) 的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 和计算电路 24 将它代入方程 (34) 中的像素值 $Gobs'(k, ig, jg)$ 中。但是, 对于像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 如果在步骤 S143 中确定在参考坐标系中与 (k, ig, jg) 相对应的位置上, 在 4 个方向的任何一个中都没有边缘, 计算电路 24 直接将 (k, ig, jg) 的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 代入方程 (34) 中的像素值 $Gobs'(k, ig, jg)$ 中。

[0612] 在步骤 S146 中, 计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta_k, Tk_x, Tk_y, Sk)$ 通过转换检测第 k 图像的红光成分的像素的中心位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$

和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ir, jr) 的所有组合。此后,过程转到步骤 S147。

[0613] 在步骤 S147 中,计算电路 24 为在步骤 S146 中确定的整数 (k, ir, jr) 的每种组合确定是否存在垂直边缘、水平边缘、从左上角向右下角延伸的边缘和从右上角向左下角延伸的边缘。如果在步骤 S147 中确定存在沿着 4 个方向之一延伸的边缘,过程转到步骤 S148。在步骤 S148 中,对于与检测到边缘的位置相对应的每种组合 (k, ir, jr) ,计算电路 24 生成(确定)经过像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 和斜率等于边缘的斜率 p 的平面。然后,计算电路 24 计算该平面中感兴趣位置 (I', J') 上的值(像素值)。此后,过程从步骤 S148 转到步骤 S149。

[0614] 在步骤 S147 中确定在 4 个方向的任何一个中都没有边缘的情况下,过程转到步骤 S149。注意,在完成步骤 S148 之后,过程也转到步骤 S149。在步骤 S149 中,计算电路 24 利用在步骤 S146 中确定的 (k, ir, jr) 的所有组合,为红光强度生成形式 (35) 的弹簧方程。此后,过程转到步骤 S150。对于在步骤 S147 中检测到边缘的在参考坐标系中与 (k, ir, jr) 相对应的位置上的像素值 $Robs(k, ir, jr)$,计算电路 24 将在步骤 S148 中确定的平面中位置 (I', J') 上的值(像素值)用作检测到边缘的 (k, ir, jr) 的像素值 $Robs(k, ir, jr)$,和计算电路 24 将它代入方程 (35) 中的像素值 $Robs'(k, ir, jr)$ 中。但是,对于像素值 $Robs(k, ir, jr)$,如果在步骤 S147 中确定在参考坐标系中与 (k, ig, jg) 相对应的位置上,在 4 个方向的任何一个中都没有边缘,计算电路 24 直接将 (k, ir, jr) 的像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 代入方程 (35) 中的像素值 $Robs'(k, ir, jr)$ 中。

[0615] 在步骤 S150 中,计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') ,确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta_k, Tk_x, Tk_y, Sk)$ 转换检测第 k 图像的蓝光成分的像素的中心位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得的位置 (x, y) ,满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ib, jb) 的所有组合。此后,过程转到步骤 S151。

[0616] 在步骤 S151 中,计算电路 24 为在步骤 S150 中确定的整数 (k, ib, jb) 的每种组合确定是否存在垂直边缘、水平边缘、从左上角向右下角延伸的边缘和从右上角向左下角延伸的边缘。如果在步骤 S151 中确定存在沿着 4 个方向之一延伸的边缘,过程转到步骤 S152。在步骤 S152 中,对于与检测到边缘的位置相对应的每种组合 (k, ib, jb) ,计算电路 24 生成(确定)经过像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 和斜率等于边缘的斜率 p 的平面。然后,计算电路 24 计算该平面中感兴趣位置 (I', J') 上的值(像素值)。此后,过程从步骤 S152 转到步骤 S153。

[0617] 在步骤 S151 中确定在 4 个方向的任何一个中都没有边缘的情况下,过程转到步骤 S153。注意,在完成步骤 S152 之后,过程也转到步骤 S153。在步骤 S153 中,计算电路 24 利用在步骤 S150 中确定的 (k, ib, jb) 的所有组合,为蓝光强度生成形式 (36) 的弹簧方程。此后,过程转到步骤 S154。对于在步骤 S151 中检测到边缘的在参考坐标系中与 (k, ir, jr) 相对应的位置上的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$,计算电路 24 将在步骤 S152 中确定的平面中位置 (I', J') 上的值(像素值)用作检测到边缘的 (k, ib, jb) 的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$,和计算电路 24 将它代入方程 (36) 中的像素值 $Bobs'(k, ib, jb)$ 中。但是,对于像素值 $Bobs(k, ib, jb)$,如果在步骤 S151 中确定在参考坐标系中与 (k, ig, jg) 相对应的位置上,在 4 个方向的任何一个中都没有边缘,计算电路 24 直接将 (k, ib, jb) 的像素值 $Bobs(k, ib, jb)$ 代入方程 (36) 中的像素值 $Bobs'(k, ib, jb)$ 中。

[0618] 在步骤 S154 中, 计算电路 24 求解都具有线性方程的形式、在步骤 S145 中确定的与绿光强度相联系的弹簧方程 (34)、在步骤 S149 中确定的与红光强度相联系的弹簧方程 (35) 和在步骤 S153 中确定的与蓝光强度相联系的弹簧方程 (36), 从而确定感兴趣位置 (I' , J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。此后, 过程转到步骤 S155。

[0619] 在步骤 S155 中, 计算电路 24 确定是否对所有可能位置 (I' , J') 都已完成了上述过程, 即, 是否已经将第一图像的所有像素的每一个的中心位置取作感兴趣位置 (I' , J') 确定了纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。

[0620] 如果在步骤 S155 中确定还没有对所有可能感兴趣位置 (I' , J') 都完成了上述过程, 过程返回到步骤 S141, 重复步骤 S141 到 S155。也就是说, 计算电路 24 选择还没有选为感兴趣位置的位置 (I' , J'), 作为新感兴趣位置, 并且确定感兴趣位置 (I' , J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。

[0621] 另一方面, 在步骤 S155 中确定已经将所有可能位置 (I' , J') 取作感兴趣位置完成了上述过程的情况下, 过程转到步骤 S156。在步骤 S156 中, 计算电路 24 从在步骤 S154 中确定的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 中估计正确图像 (信号)。将所得图像作为输出图像供应给 D/A 转换器 9 或编解码器 12, 并且从当前过程中退出。例如, 对于第 (i, j) 像素, 计算电路 24 从在步骤 S154 中作为绿光值 (G 信号) 确定的纯绿光强度 $L_g(i-0.5, j-0.5)$ 、在步骤 S154 中作为红光值 (R 信号) 确定的纯红光强度 $L_r(i-0.5, j-0.5)$ 和在步骤 S154 中作为蓝光值 (B 信号) 确定的纯蓝光强度 $L_b(i-0.5, j-0.5)$ 中估计它们的正确图像信号。计算电路 24 通过对中心位于所选位置 (I' , J') 的所有像素估计图像信号, 估计输出图像。

[0622] 在第六实施例中, 如上所述, 对于在边缘部分中观测到的像素值, 像素值随边缘的斜率 (像素值的变化率) 而改变, 并且将所得的改变像素值代入相应弹簧方程中。这使得可以获得更有可能是正确图像的图像。也就是说, 可以获得更清晰的图像。

[0623] 在如上所述的例子中, 用取决于边缘的斜率 (陡度) 的感兴趣位置 (I' , J') 上的像素值取代位于边缘部分的像素值。可选地, 例如, 可以直接使用边缘部分中的像素值, 和依到感兴趣位置 (I' , J') 的距离而定地修正权重, 以便位于边缘部分中的像素值对弹簧方程没有显著影响。

[0624] 在如上所述的例子中, 在参考坐标系中利用在中心位于位置 (x, y) 的 9 个区域 (即, 大小为 3×3 个像素的区域) 内观测的像素值确定平面 Q1 到 Q4 的斜率。可选地, 可以利用在不同选择的区域中观测的像素值确定平面 Q1 到 Q4 的斜率。例如, 可以应用 16 个区域 (即, 大小为 4×4 个像素的区域)。

[0625] 现在, 描述根据本发明第七实施例的信号处理器 7 执行的正确图像估计过程。第七实施例是前面参考图 24 所述的第三实施例的变型。

[0626] 也就是说, 在第七实施例中, 除了弹簧方程 (25)、(26) 和 (27) 之外, 使与 R、G 和 B 信号之间的颜色相关性相联系的约束施加在确定纯绿光强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 的过程上。

[0627] 在图像的局部区域中, 与源自对象和入射在成像器件 4 上的光线相对应的纯绿光

强度 $L_g(x, y)$ 、纯红光强度 $L_r(x, y)$ 和纯蓝光强度 $L_b(x, y)$ 的颜色之间存在颜色相关性。因此,通过对真图像的估计施加颜色相关性约束,可以生成更可能是正确图像的更清晰低噪声图像。

[0628] 下面参考图 37 和 38,描述确定颜色相关性约束的具体方法。在如下参考图 37 和 38 的描述中,将讨论例如绿色和红色之间的相关性。

[0629] 例如,对如图 37 的左下部所示的第 k' 图像的第 (ig, jg) 位置上的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和如图 37 的右下部所示的第 k'' 图像的第 (ir, jr) 位置上的红光像素 $R(jr-1)(ir-1)$ 加以讨论。

[0630] 计算电路 24 以与根据第三实施例的方式相似的方式,利用转换参数 $(\theta_{k'}, Tk'_x, Tk'_y, Sk')$ 和 $(\theta_{k''}, Tk''_x, Tk''_y, Sk'')$,将第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和第 k'' 图像的红光像素 $R(jr-1)(ir-1)$ 的位置转换成图 37 的上方第一图像的坐标系中的位置。

[0631] 然后,计算电路 24 计算转换到第一图像的坐标系的位置上的第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 与转换到第一图像的坐标系的位置上的第 k'' 图像的红光像素 $R(jr-1)(ir-1)$ 之间的距离。并且,计算电路 24 通过确定计算的距离是否小于最大许可值(阈值) Δ (例如设置成像素尺寸的 0.25 倍),确定是否可以认为这两个像素位于相同位置上。

[0632] 当像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和 $R(jr-1)(ir-1)$ 的位置分别作为位置 (ig, jg) 和 (ir, jr) 给出时,如果第 k' 图像的坐标系中像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的位置 (ig, jg) 被表示成 $G_{(c)}$,第 k'' 图像的坐标系中像素 $R(jr-1)(ir-1)$ 的位置 (ir, jr) 被表示成 $R_{(c)}$,第一图像的坐标系中像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的位置 (ig, jg) 被表示成 $G_{c(k')}$,和第一图像的坐标系中像素 $R(jr-1)(ir-1)$ 的位置 (ir, jr) 被表示成 $R_{c(k'')}$,那么,要求点 $G_{c(k')}$ 和点 $R_{c(k'')}$ 之间的距离应该在许可值 Δ 内的约束由如下所示的公式 (37) 给出。

[0633]

$$Dis[G_{c(k')}, R_{c(k'')}]$$

[0634]

$$= Dis \left[Sk' \begin{pmatrix} \cos(\theta_{k'}) & -\sin(\theta_{k'}) \\ \sin(\theta_{k'}) & \cos(\theta_{k'}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ig \\ jg \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Tk'_x \\ Tk'_y \end{pmatrix}, Sk'' \begin{pmatrix} \cos(\theta_{k''}) & -\sin(\theta_{k''}) \\ \sin(\theta_{k''}) & \cos(\theta_{k''}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ir \\ jr \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Tk''_x \\ Tk''_y \end{pmatrix} \right] \leq \Delta$$

[0635]

... (37)

[0636] 将公式 (37) 称为距离约束公式。在公式 (37) 中, $Dis[G_{c(k')}, R_{c(k'')}]$ 表示点 $G_{c(k')}$ 和点 $R_{c(k'')}$ 之间的距离。通过利用转换参数 $(\theta_{k'}, Tk'_x, Tk'_y, Sk')$ 和 $(\theta_{k''}, Tk''_x, Tk''_y, Sk'')$,对位置 (ig, jg) 和 (ir, jr) 进行仿射变换,获得点 $G_{c(k')}$ 和点 $R_{c(k'')}$ 的位置。

[0637] 计算电路 24 确定在第一图像的坐标系中中心在位置 (I', J') 上的小区域 $(I' \pm dx, J' \pm dy)$ 中,即,在其角位于 $(I' - dx, J' - dy)$ 、 $(I' - dx, J' + dy)$ 、 $(I' + dx, J' - dy)$ 和 $(I' + dx, J' + dy)$ 的矩形区域中,是否存在许可容限 Δ 内可以认为相同的位置上的第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和第 k'' 图像的红光像素 $R(jr-1)(ir-1)$,其中, dx 和 dy 是定义位置 (x, y) 的附近区域的值,和沿着 X 方向和 Y 方向,例如分别将它们设置成等于像素尺寸的 2 倍。

[0638] 换句话说,计算电路 24 在第一图像的坐标系中中心在位置 (I', J') 上的小区域 $(I' \pm dx, J' \pm dy)$ 内,即,在其角位于 $(I' - dx, J' - dy)$ 、 $(I' - dx, J' + dy)$ 、 $(I' + dx, J' - dy)$ 和 $(I' + dx, J' + dy)$ 的矩形区域中确定满足公式 (37) 的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 。

[0639] 然后,计算电路 24 获取分别与确定的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 相对应的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robobs(k'', ir, jr)$ 。

[0640] 计算电路 24 为从 1 到 N 的范围内 k' 和 k'' 的所有可能组合确定满足公式 (37) 的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 。

[0641] 一般说来,检测到 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 的多种组合,和如图 38 所示,计算电路 24 在水平轴代表 G 信号 ($Gobs(k', ig, jg)$) 和垂直轴代表 R 信号 ($Robobs(k'', ir, jr)$) 的 GR 空间中画出与检测的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 相对应的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robobs(k'', ir, jr)$ 。

[0642] 图 38 示出了画出满足公式 (37) 的数组像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robobs(k'', ir, jr)$ 的 GR 空间。

[0643] 在图 38 中,每个像 x 那样的标记表示与计算电路 24 检测的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 相对应的一对像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robobs(k'', ir, jr)$,即,满足公式 (37) 的一对像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robobs(k'', ir, jr)$ 。

[0644] 如图 38 所示的这些曲线表示要在感兴趣位置 (I', J') 附近确定的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 和纯红光强度 $Lr(I', J')$ 之间存在相关性。

[0645] 因此,在第七实施例,除了由第三实施例中的公式 (25) 到 (27) 给出的弹簧约束之外,还要加入如图 38 所示的绿色和红色之间的相关性作为约束。

[0646] 计算电路 24 对在如图 38 所示的 GR 空间中画出的多个点进行主要成分分析,其中,每个画出点对应于计算电路 24 按满足距离约束 (37) 检测的一对像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robobs(k'', ir, jr)$ 。

[0647] 然后,计算电路 24 按照主要成分分析结果确定主要方向和确定代表所确定方向 (轴) 的直线 $Qg \times G + Qr \times R = Qc$,其中, Qg 、 Qr 和 Qc 是与 GR 空间中的直线相联系的常数,和 G 和 R 是 GR 空间中与 G 和 R 信号相联系的变量。并且,计算电路 24 确定沿着与主要方向垂直的方向的方差。

[0648] 这里,引入自然长度为 0 和弹簧常数 (强度) 为 H 的弹簧。弹簧常数可以是与在 GR 空间中确定的主要成分的方向垂直的成分的方差的任意单调下降函数。例如,可以使用 $H = (1/\text{variance}(\text{方差}))$ 。在任何情况下,弹簧的强度 (弹簧常数) 都随方差的减小而增大。

[0649] 在 GR 空间中弹簧常数为 H 的弹簧的一端与点 $(Lg(I', J'), Lr(I', J'))$ 相连,和弹簧的另一端是这样连接的,它可以移动到直线 $Qg \times G + Qr \times R = Qc$ 上的任意点。结果,沿着从点 $(Lg(I', J'), Lr(I', J'))$ 到直线 $Qg \times G + Qr \times R = Qc$ 的垂直线的方向拉动点 $(Lg(I', J'), Lr(I', J'))$ 。也就是说,这样拉动点 $(Lg(I', J'), Lr(I', J'))$,使颜色相关性约束 (G 和 R 信号之间) 得到满足。

[0650] 这里,如果点 $(Lg(I', J'), Lr(I', J'))$ 和沿着主要成分的方向延伸的直线 $Qg \times G + Qr \times R = Qc$ 之间的距离用 u 表示,那么,弹簧常数为 H 的弹簧施加在点 $(Lg(I',$

J'), $Lr(I', J')$ 上的拉力由 $H \times u$ 给出 (下文称这个力为 GR 弹簧力)。将 GR 空间中的 GR 弹簧力 $H \times u$ 分解成 G 信号成分和 R 信号成分, 并且, 将这些成分分别加入方程 (25) 和 (26) 的左侧中, 以便在方程 (25) 和 (26) 中计及颜色相关性。

[0651] 绿色 (G) 信号和蓝色 (B) 信号之间的颜色相关性按如下处理。

[0652] 与上面参考图 37 所述的绿色信号和红色信号之间的颜色相关性的情况一样, 计算电路 24 利用转换参数 $(\theta k', Tk' x, Tk' y, Sk')$ 和 $(\theta k'', Tk'' x, Tk'' y, Sk'')$, 将第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和第 k'' 图像的蓝光像素 $B(jb-1)(ib-1)$ 的位置转换成第一图像的坐标系中的位置。

[0653] 然后, 计算电路 24 计算转换到第一图像的坐标系的位置上的第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 与转换到第一图像的坐标系的位置上的第 k'' 图像的蓝光像素 $B(jb-1)(ib-1)$ 之间的距离。并且, 计算电路 24 通过确定计算的距离是否小于最大许可值 (阈值) Δ , 确定是否可以认为这两个像素位于相同位置上。

[0654] 当像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和 $B(jb-1)(ib-1)$ 的位置分别作为位置 (ig, jg) 和 (ib, jb) 给出时, 如果第 k' 图像的坐标系中像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的位置 (ig, jg) 被表示成 $G_{(c)}$, 第 k'' 图像的坐标系中像素 $B(jb-1)(ib-1)$ 的位置 (ib, jb) 被表示成 $B_{(c)}$, 第一图像的坐标系中像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 的位置 (ig, jg) 被表示成 $G_{c(k')}$, 和第一图像的坐标系中像素 $B(jb-1)(ib-1)$ 的位置 (ib, jb) 被表示成 $B_{c(k'')}$, 那么, 要求点 $G_{c(k')}$ 和点 $B_{c(k'')}$ 之间的距离应该在许可值 Δ 内的约束由如下所示的公式 (38) 给出。

[0655]

$$Dis[G_{c(k')}, B_{c(k'')}] =$$

[0656]

$$Dis \left[Sk' \begin{pmatrix} \cos(\theta k') & -\sin(\theta k') \\ \sin(\theta k') & \cos(\theta k') \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ig \\ jg \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Tk' x \\ Tk' y \end{pmatrix}, Sk'' \begin{pmatrix} \cos(\theta k'') & -\sin(\theta k'') \\ \sin(\theta k'') & \cos(\theta k'') \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ib \\ jb \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Tk'' x \\ Tk'' y \end{pmatrix} \right] \leq \Delta$$

[0657]

... (38)

[0658] 将公式 (38) 称为距离约束公式。在公式 (38) 中, $Dis[G_{c(k')}, B_{c(k'')}]$ 表示点 $G_{c(k')}$ 和点 $B_{c(k'')}$ 之间的距离。通过利用转换参数 $(\theta k', Tk' x, Tk' y, Sk')$ 和 $(\theta k'', Tk'' x, Tk'' y, Sk'')$, 对位置 (ig, jg) 和 (ib, jb) 进行仿射变换, 获得点 $G_{c(k')}$ 和点 $B_{c(k'')}$ 的位置。

[0659] 计算电路 24 确定在第一图像的坐标系中中心在位置 (I', J') 上的小区域 $(I' \pm dx, J' \pm dy)$ 中, 即, 在其角位于 $(I' - dx, J' - dy)$ 、 $(I' - dx, J' + dy)$ 、 $(I' + dx, J' - dy)$ 和 $(I' + dx, J' + dy)$ 的矩形区域中, 是否存在许可容限 Δ 内可以认为相同的位置上的第 k' 图像的绿光像素 $G(jg-1)(ig-1)$ 和第 k'' 图像的蓝光像素 $B(jb-1)(ib-1)$, 其中, dx 和 dy 是定义位置 (x, y) 的附近区域的值, 和沿着 X 方向和 Y 方向, 例如分别将它们设置成等于像素尺寸的 2 倍。

[0660] 换句话说, 计算电路 24 在第一图像的坐标系中中心在感兴趣位置 (I', J') 上的小区域 $(I' \pm dx, J' \pm dy)$ 内, 即, 在其角位于 $(I' - dx, J' - dy)$ 、 $(I' - dx, J' + dy)$ 、 $(I' + dx, J' - dy)$ 和 $(I' + dx, J' + dy)$ 的矩形区域中确定满足公式 (38) 的 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 。

[0661] 然后,计算电路 24 获取分别与确定的 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 相对应的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Bobs(k'', ib, jb)$ 。

[0662] 计算电路 24 为从 1 到 N 的范围内 k' 和 k'' 的所有可能组合确定满足公式 (38) 的 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 。

[0663] 一般说来,检测到 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 的多种组合,和计算电路 24 在水平轴代表 G 信号 ($Gobs(k', ig, jg)$) 和垂直轴代表 B 信号 ($Bobs(k'', ib, jb)$) 的 GB 空间中画出与检测的 (k', ig, jg) 和 (k'', ib, jb) 相对应的像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Bobs(k'', ib, jb)$ 。

[0664] 因此,在第七实施例中,除了由第三实施例中的公式 (25) 到 (27) 给出的弹簧约束之外,还要加入所示的绿色和红色之间的相关性作为约束。

[0665] 计算电路 24 对在 GR 空间中画出的多个点进行主要成分分析,其中,每个画出的点对应于计算电路 24 按满足距离约束 (38) 检测的一对像素值 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robs(k'', ir, jr)$ 。

[0666] 然后,计算电路 24 按照主要成分分析结果确定主要方向和确定代表所确定方向 (轴) 的直线 $Qg' \times G + Qb' \times B = Qc'$, 其中, Qg' 、 Qb' 和 Qc' 是 GR 空间中与直线相联系的常数,和 G 和 B 是 GB 空间中与 G 和 B 信号相联系的变量。并且,计算电路 24 确定沿着与主要方向垂直的方向的方差。

[0667] 这里,引入自然长度为 0 和弹簧常数 (强度) 为 H 的弹簧。弹簧常数可以是与在 GB 空间中确定的主要成分的方向垂直的成分的方差的任意单调下降函数。例如,可以使用 $H = (1/\text{variance})$ 。在任何情况下,弹簧的强度 (弹簧常数) 都随方差的减小而增大。

[0668] 在 GB 空间中弹簧常数为 H 的弹簧的一端与点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$ 相连,和弹簧的另一端是这样连接的,它可以移动到直线 $Qg' \times G' + Qb' \times B = Qc'$ 上的任意点。结果,沿着从点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$ 到直线 $Qg' \times G + Qb' \times B = Qc'$ 的垂直线的方向拉动点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$ 。也就是说,这样拉动点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$, 使颜色相关性约束 (G 和 B 信号之间) 得到满足。

[0669] 这里,如果点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$ 和沿着主要成分的方向延伸的直线 $Qg' \times G + Qb' \times B = Qc'$ 之间的距离用 u 表示,那么,弹簧常数为 H 的弹簧施加在点 $(Lg(I', J'), Lb(I', J'))$ 上的拉力由 $H \times u$ 给出 (下文称这个力为 GB 弹簧力)。将 GB 空间中的 GB 弹簧力 $H \times u$ 分解成 G 信号成分和 B 信号成分,并且,将这些成分分别加入方程 (25) 和 (27) 的左侧中,以便在方程 (25) 和 (27) 中计及颜色相关性。

[0670] 尽管在本实施例中,使用了与 GR 空间中的颜色相关性相联系的约束和与 GB 空间中的颜色相关性相联系的约束,但是,除了上面的约束之外,也可以应用与 R 信号和 B 信号之间的颜色相关性 (在 RB 空间中) 相联系的相似约束。

[0671] 现在,参照如图 39 所示的流程图,描述根据本发明第七实施例的如图 2 所示的步骤 S4 中的正确图像估计过程。

[0672] 步骤 S171 到 S177 与上面参考图 24 所述的根据第三实施例的正确图像估计过程中的步骤 S71 到 S77 相似。

[0673] 也就是说,在步骤 S171 中,计算电路 24 选择参考坐标系中的位置 (I', J') (下文称这样的所选位置为感兴趣位置 (I', J'))。注意,感兴趣位置 (I', J') 位于取作

参考图像的第一图像的第 (i, j) 像素的中心 $(i-0.5, j-0.5)$ 。

[0674] 此后,过程从步骤 S171 转到步骤 S172。在步骤 S172 中,计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta_k, Tk_x, Tk_y, Sk)$ 通过转换检测第 k 图像的绿光成分的像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ig, jg) 的所有组合。此后,过程转到步骤 S173。

[0675] 在步骤 S173 中,计算电路 24 利用在步骤 S172 中确定的 (k, ig, jg) 的所有组合, 为绿光强度生成形式 (25) 的弹簧方程。此后,过程转到步骤 S174。

[0676] 在步骤 S174 中,计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta_k, Tk_x, Tk_y, Sk)$ 通过转换检测第 k 图像的红光成分的像素的中心位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ir, jr) 的所有组合。此后,过程转到步骤 S175。

[0677] 在步骤 S175 中,计算电路 24 利用在步骤 S174 中确定的 (k, ir, jr) 的所有组合, 为红光强度生成形式 (26) 的弹簧方程。此后,过程转到步骤 S176。

[0678] 在步骤 S176 中,计算电路 24 针对第一到第 N 图像中的每一个的感兴趣位置 (I', J') , 确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(\theta_k, Tk_x, Tk_y, Sk)$ 通过转换检测第 k 图像的蓝光成分的像素的中心位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 (k, ib, jb) 的所有组合。此后,过程转到步骤 S177。

[0679] 在步骤 S177 中,计算电路 24 利用在步骤 S176 中确定的 (k, ib, jb) 的所有组合, 为蓝光强度生成形式 (27) 的弹簧方程。此后,过程转到步骤 S178。

[0680] 在步骤 178 中,计算电路 24 在由 $(I' \pm dx, J' \pm dy)$ 定义的和中心在感兴趣位置 (I', J') 上的区域中确定满足方程 (37) 的所有 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 对。并且,计算电路 24 在 GR 空间中画出通过确定的 (k', ig, jg) 和 (k'', ir, jr) 对识别的点 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Robs(k'', ir, jr)$ 和进行主要成分分析。然后,计算电路 24 确定沿着与主要方向垂直的方向的方差和将方差的倒数用作弹簧常数 H。并且,计算电路 24 确定代表主要成分的方向的直线 $Q_g \times G + Q_r \times R = Q_c$ 和定义指示 GR 弹簧力的未知量 $H \times u$, 其中, u 是 GR 空间中的点 $(L_g(I', J'), L_r(I', J'))$ 与直线 $Q_g \times G + Q_r \times R = Q_c$ 之间的距离。计算电路 24 将 GR 弹簧力 $H \times u$ 的 G 信号成分加入方程 (25) 的左侧中和将 GR 弹簧力 $H \times u$ 的 R 信号成分加入方程 (26) 的左侧中。此后,过程从步骤 S178 转到步骤 S179。

[0681] 在步骤 179 中,计算电路 24 在由 $(I' \pm dx, J' \pm dy)$ 定义的和中心在感兴趣位置 (I', J') 上的区域中确定满足方程 (38) 的所有 (k', ig, jg) 和 (k''', ib, jb) 对。并且,计算电路 24 在 GB 空间中画出通过确定的 (k', ig, jg) 和 (k''', ib, jb) 对识别的点 $Gobs(k', ig, jg)$ 和 $Bobs(k''', ib, jb)$ 和进行主要成分分析。然后,计算电路 24 确定沿着与主要方向垂直的方向的方差和将方差的倒数用作弹簧常数 H。并且,计算电路 24 确定代表主要成分的方向的直线 $Q_{g'} \times G + Q_{b'} \times B = Q_{c'}$ 和定义指示 GB 弹簧力的未知量 $H \times u$, 其中, u 是 GB 空间中的点 $(L_g(I', J'), L_b(I', J'))$ 与直线 $Q_{g'} \times G + Q_{b'} \times B = Q_{c'}$ 之间的距离。计算电路 24 将 GB 弹簧力 $H \times u$ 的 G 信号成分加入方程 (25) 的左侧中和将 GB 弹簧力 $H \times u$ 的 B 信号成分加入方程 (27) 的左侧中。此后,过程从步骤 S179 转到步骤 S180。

[0682] 在步骤 S180 中,计算电路 24 求解线性方程,即,与绿光强度相联系和包括与 GR 和 GB 空间中的颜色相关性相联系的附加项的弹簧方程、与红光强度相联系和包括与 GR 空间中的颜色相关性相联系的附加项的弹簧方程和与蓝光强度相联系和包括与 GB 空间中的颜色相关性相联系的附加项的弹簧方程,从而确定感兴趣位置 (I' , J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。此后,过程转到步骤 S181。

[0683] 在步骤 S181 中,计算电路 24 确定是否对所有可能位置 (I' , J') 都已完成了上述过程,即,是否已经通过将第一图像的所有像素的每一个的中心位置取作感兴趣位置 (I' , J') 确定了纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。

[0684] 如果在步骤 S181 中确定还没有对所有可能感兴趣位置 (I' , J') 都完成了上述过程,过程返回到步骤 S171,重复步骤 S171 到 S181。也就是说,计算电路 24 选择还没有选为感兴趣位置的位置 (I' , J'),作为新感兴趣位置,并且确定感兴趣位置 (I' , J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。

[0685] 另一方面,在步骤 S181 中确定已经将所有可能位置 (I' , J') 取作感兴趣位置完成了上述过程的情况下,过程转到步骤 S182。在步骤 S182 中,计算电路 24 从在步骤 S180 中确定的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 中估计正确图像(信号)。将所得图像作为输出图像供应给 D/A 转换器 9 或编解码器 12,并且从当前过程中退出。例如,对于第 (i, j) 像素,计算电路 24 从在步骤 S180 中作为绿光值(G 信号)确定的纯绿光强度 $L_g(i-0.5, j-0.5)$ 、在步骤 S180 中作为红光值(R 信号)确定的纯红光强度 $L_r(i-0.5, j-0.5)$ 和在步骤 S180 中作为蓝光值(B 信号)确定的纯蓝光强度 $L_b(i-0.5, j-0.5)$ 中估计它们的正确图像信号。计算电路 24 通过对中心位于所选位置 (I' , J') 的所有像素估计图像信号,估计输出图像。

[0686] 如上所述,在第七实施例,当生成输出图像时,通过计及颜色相关性来减小由于噪声等引起的误差。这使得可以生成更有可能是正确图像的更清晰输出图像。

[0687] 为了更好地理解本发明的特征,下面进一步描述本发明和传统技术之间的差异。

[0688] 图 40 示出了根据本发明的方法的处理流程和传统方法的处理流程。

[0689] 如图 40 所示,在现有技术中已知将从单面传感器输出的图像(例如,每个像素只有 R、G 和 B 信号之一的 Bayer 阵列图像)转换成正常彩色图像(每个像素含有 R、G 和 B 信号)的许多种方法(在图 40 中用 (A) 表示)。实际上,在一些数字静止照相机中这种转换能力是利用可在市场上购买到的单面传感器实现的。这种转换称为去马赛克。

[0690] 从多个暗彩色图像(每个像素含有 R、G 和 B 信号)(低信噪比)中生成清晰彩色图像(每个像素含有 R、G 和 B 信号)(高信噪比)的方法在现有技术中也是已知的。这种方法的具体例子包括前面在背景技术中引用的日本待审专利申请公告第 2000-217032 号和日本待审专利申请公告第 2000-224460 号。

[0691] 通过组合这些方法,可以从单面传感器输出的图像(例如,每个像素只有 R、G 和 B 信号之一的 Bayer 阵列图像)(低信噪比)中生成清晰彩色图像(每个像素含有 R、G 和 B 信号)(高信噪比)。

[0692] 更具体地说,对从单面传感器输出的数 (m) 个暗图像 201-m(例如,每个像素只有

R、G 和 B 信号之一的 Bayer 阵列图像) (低信噪比) 的每一个执行图 40 中 (A) 所表示的去马赛克过程 202-m, 生成暗彩色图像 (每个像素含有 R、G 和 B 信号) (低信噪比) 203-m。此后, 通过图 40 中 (B) 所表示的方法, 譬如, 公开在日本待审专利申请公告第 2000-217032 号或日本待审专利申请公告第 2000-224460 号中的方法, 从彩色图像 203-m 中生成清晰彩色图像 (每个像素含有 R、G 和 B 信号) (高信噪比) 204。注意, m 是表示图像数量的整数。

[0693] 在去马赛克过程中进行的内插或类似处理使图像的清晰度降低。在公开在日本待审专利申请公告第 2000-217032 或 2000-224460 号中的过程中, 为了对齐, 在数字取样数据之间进行内插, 因此, 也造成清晰度变差。也就是说, 在图 40 中 (A) 所表示的过程中, 以及在过程 (B) 中都进行内插。总共进行两次的内插使清晰度显著变差。内插还用于从相邻点的数据中再现特定点的丢失数据。进行内插的次数越多, 清晰度变差就越严重。

[0694] 与此不同, 在本发明中, 直接从单面传感器输出的图像 (例如, 每个像素只有 R、G 和 B 信号之一的 Bayer 阵列图像) 中生成清晰彩色图像 (每个像素含有 R、G 和 B 信号) (高信噪比)。因此, 只进行一次内插或类似处理。因此, 可以生成比传统方法更清晰的图像。正如从上面的讨论中所看到的那样, 显而易见, 本发明有别于传统技术, 和本发明具有很大优点。

[0695] 传统技术带来的另一个问题是对每个图像进行去马赛克。例如, 当给出 8 个图像作为多个图像时, 进行 8 次 (图 40 中 (A) 所表示的) 去马赛克。这意味着需要大量计算。

[0696] 下面进一步描述本发明与传统技术之间的差异。

[0697] 在公开在前面在背景技术中引用的日本待审专利申请公告第 2000-217032 号中的传统技术中, 当叠加多个图像时, 移动图像使它们对齐, 以便消除由于照相机摇晃引起的原始图像之间的位移。为了生成移动了消除照相机摇晃所需的数量的图像, 内插是必不可少的。通过在输出图像的每个像素上叠加 N 个数据将 N 个图像叠加在一起。在叠加了 N 个图像之后, 将每个像素的像素值除以特定值 (等于 N 或等于 (最佳曝光时间)/(实际曝光时间)/N)。通过在每当捕获一个图像时使像素位置移动固定量的同时捕获多个图像, 和在适当地对齐它们的同时叠加多个捕获图像来获得高清晰度图像在现有技术中也是已知的。在这种技术中, 位移量是固定的, 并且用固定值去除 (归一化) 输出图像的每个像素的像素值。

[0698] 与此不同, 在根据本发明的第一或第二实施例中, 在可用于估计真值的输出图像的给定位置 (x, y) 上观测的像素值的个数随情况而变。例如, 当用户拍摄风景照时, 存在着在位置 (x, y) 附近存在大量输入像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的拟然性。在这样的情况下, 可获得具有数学表达式 (20) 形式的与位置 (x, y) 相联系的大量约束。相反, 如果在位置 (x, y) 附近只存在少量输入像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 那么, 只能获得具有数学表达式 (20) 形式的与位置 (x, y) 相联系的少量约束。如上所述, 与输出图像的每个位置 (x, y) 相联系的数学约束的个数是取决于拍摄照片的状态 (更具体地说, 例如, 取决于照相机摇晃) 的变量。也就是说, 在估计每个像素上的真值的过程中, 用在估计中的像素值候选者的观测点和它们的个数自适应地随拍摄照片的状态 (随多个捕获图像之间的移动) 而改变。例如, 根据候选者选择像素值候选者的观测点的个数和特定个观测点。可选地, 候选者的观测点的个数和要选择的观测点的个数两者是可以改变的。取决于观测点的位置、个数和 / 或分布, 可以有选择地使用上述两种方法。

[0699] 在本发明的第三到第七实施例中,当叠加图像时,移动图像以便消除由于照相机摇晃引起的位移。但是,在 Bayer 阵列结构中,没有必要将数据加在所有输出位置上。当第 k 图像发生位移时,如果在如图 21 所示的 2×2 像素内没有位置校正数据,第 k 图像的任何数据都对输出图像的那些 2×2 像素没有贡献。相反,如果在如图 21 所示的 2×2 像素内存在两个位置校正数据,将两个(加权)数据加入输出像素中。例如,如果将 10 个数据加在特定像素上,那么,将总和除以 10 获得输出图像的最后像素值。如果在另一个像素上 3.5 个数据加在一起,将总和除以 3.5 获得输出图像的那个像素上的像素值。也就是说,在本发明中,在方程 (25)、(26) 和 (27) 中进行求和 Σ 的次数随拍摄照片的状态(更具体地说,例如,随照相机摇晃)而改变。也就是说,在估计每个像素上的真值的过程中,用在估计中的像素值候选者的观测点和它们的个数自适应地随拍摄照片的状态(随多个捕获图像之间的移动)而改变。

[0700] 在本发明中,如上所述,当从单面传感器(Bayer 阵列传感器)中输出的多个图像中恢复清晰图像时,约束方程或权重的个数随情况而变。关于这一点,本发明与传统技术非常不同。

[0701] 如上所述的一系列处理可以通过硬件或软件来执行。例如,数字照相机 1 可以通过执行像如图 41 所示的那个那样的计算机上的程序来实现。

[0702] 在图 41 中,CPU(中央处理单元)301 按照存储在 ROM(只读存储器)302 中的程序或按照从存储单元 308 装入 RAM(随机访问存储器)303 中的程序执行各种各样过程。RAM 303 也用于存储 CPU 301 在执行各种各样过程中使用的数据。CPU 301 执行信号处理器 7 的运动检测器 23 和计算电路 24 进行的过程。

[0703] CPU 301、ROM 302 和 RAM 303 通过总线 304 相互连接。总线 304 也用于连接输入/输出接口 305。

[0704] 输入/输出接口 305 与包括键盘、鼠标等的输入单元 306、包括诸如 CRT(阴极射线管)或 LCD(液晶显示器)之类的显示器、扬声器等的输出单元 307、诸如硬盘之类的存储单元 308 和包括调制解调器、终端适配器等通信单元 309 连接。通信单元 309 允许通过诸如因特网之类的网络进行通信。存储单元 311 包括如图 1 所示的成像器件 4 和用于捕获对象的图像。通过输入/输出接口 305 将对象的所得图像数据供应给 CPU 301。

[0705] 如有需要,输入/输出接口 305 还与驱动器 310 连接。如有需要,将诸如磁盘 321、光盘 322、磁光盘 323、或半导体存储器 324 之类的存储媒体安装在驱动器 310 上,和如有需要,从存储媒体中读取计算机程序和将它安装到存储单元 308 上。

[0706] 现在,描述根据本发明第八实施例的信号处理器 7 执行的正确图像估计过程。在这个第八实施例中,部分改进了上面参考图 24 所述的第三实施例。

[0707] 在如上所述的第三实施例中,成像器件 4(图 1)的每个像素检测的数据(光强度)被当作点取样数据,在每个像素的中心观测到的像素值与不包括由照相机摇晃引起的模糊的清晰图像的理想图像信号之间的关系用弹簧模型表示,和根据弹簧模型确定可能是真图像的清晰图像。

[0708] 例如,在没有由于照相机摇晃引起的模糊的清晰图像的图像信号的 G、R 和 B 信号当中,根据第三实施例的纯 G 信号的估计按如下进行。也就是说,对要为每个像素的中心位置 (I', J') 确定的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 的约束用如前所述,与绿光强度相联系的弹

簧方程 (25) 表示。

[0709] 在方程 (25) 中, 弹簧常数 $\{\sqrt{2-F((x,y)), (I', J')})\}/(Mk \times E)$ 的 $\{\sqrt{2-F((x,y)), (I', J')})\}$ 代表随位置 (I', J') 与位置 (I', J') 附近的位置 (x, y) 之间的距离而减小的权重。这意味着施加在位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 与位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 之间的弹簧的拉力随位置 (I', J') 与位置 (x, y) 之间的距离而减小。相反, 弹簧的拉力随位置 (I', J') 与位置 (x, y) 之间的距离的减小而增大。

[0710] 另一方面, 方程 (25) 中弹簧常数 $\{\sqrt{2-F((x,y)), (I', J')})\}/(Mk \times E)$ 的 $(Mk \times E)$ 代表包括不能通过相关双取样器 5 (图 1) 消除的部分的残余噪声 E 被放大了 Mk ($k = 1$ 至 N) 倍。因此, $1/(Mk \times E)$ 代表随噪声 E 而减小的与噪声相联系的权重。因此, 施加在位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 与位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 之间的弹簧的拉力随噪声 E 的增大而减小和随噪声 E 的减小而增大。

[0711] 在第八实施例中, 用包括三次函数的函数 $Cubic(I' - x) \times Cubic(J' - y)$ 取代方程 (25) 中的 $\{\sqrt{2-F((x,y)), (I', J')})\}$, 即, 取决于位置 (I', J') 与像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的位置 (x, y) 之间的距离的权重 (下文简称为距离权重)。也就是说, 在第八实施例中, 用 $Cubic(I' - x) \times Cubic(J' - y)$ 取代方程 (25) 中的 $\{\sqrt{2-F((x,y)), (I', J')})\}$ 。

[0712] 三次函数 $Cubic(z)$ 具有如下所述的形式 (39)。

$$[0713] \quad Cubic(z) = \begin{cases} (a+2)|z|^3 - (a+3)|z|^2 + 1 & (|z| < 1) \\ a|z|^3 - 5a|z|^2 + 8a|z| - 4a & (1 \leq |z| < 2) \\ 0 & (2 \leq |z|) \end{cases} \quad \dots (39)$$

[0714] 其中, a 例如是被设置成 -1 的预定常数。

[0715] 如图 42 所示, 当 $2 \leq |z|$ 时或当 $|z| = 1$ 时, 三次函数 $Cubic(z)$ 具有 0 的值, 和当 $1 < |z| < 2$ 时, 三次函数 $Cubic(z)$ 是负值。当 $|z| < 1$ 时, $Cubic(z)$ 是正值, 并且随 $|z|$ 而减小。换句话说, 三次函数 $Cubic(z)$ 在频域中 (对于付里叶变换变量) 用作低通滤波器。

[0716] 在方程 (25) 中, 如果经历求和 Σ 的第 p 像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 用 v_p 表示, 与第 p 像素值 v_p 相联系的弹簧常数 $\{\sqrt{2-F((x,y)), (I', J')})\}/(Mk \times E)$ 被表示成弹簧常数 K_p , 和如果针对纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 求解所得方程, 那么, 获得方程 (40)。

$$[0717] \quad Lg(I', J') = \frac{\sum K_p v_p}{\sum K_p} \quad \dots (40)$$

[0718] 其中, Σ 表示对 p 的求和。

[0719] 从方程 (40) 中可以看出, 在弹簧模型中, 纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 通过像素值 v_p 的加权求和给出, 其中, 弹簧常数 K_p 用作权重。纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 可以以相似的方式确定。

[0720] 在图 43 中, 对于位置 (I', J') , 当 N 个捕获图像的位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 被转换到参考坐标系 (定义在第一图像上的坐标系) 中的位置 (x, y) 时, 确定出满足 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 的整数 k, ig 和 jg 的所有组合, 并且示出了观测像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的点 G11 到 G19。

[0721] 在图 43 中, 对于用实心圆圈表示的位置 (I', J') , 获得标识在空心圆圈所表示

的点 G11 到 G19 上观测到的 9 个像素值 Gobs(k, ig, jg) 的整数 (k, ig, jg) 的组合。注意, 整数 k、ig 和 jg 的组合在点 G11 到 G19 之间是不同的。

[0722] 在如前所述的第三实施例中, 如图 21 所示, 对于位置 (I', J'), N 个捕获图像上的位置 (ig-0.5, jg-0.5) 被转换到参考坐标系 (定义在第一图像上的坐标系) 中的位置 (x, y), 并且确定出满足 $I' - 1 \leq x < I' + 1$ 和 $J' - 1 \leq y < J' + 1$ 的整数 k、ig 和 jg 的所有组合。与此不同, 在第八实施例中, 如图 43 所示, 确定出满足 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 的整数 k、ig 和 jg 的组合。如上所述, 对于 $-2 \leq z \leq 2$, 形式 (39) 的三次函数 Cubic(z) 具有取决于 z 的值 (对于在范围 $|z| > 2$ 内的任意 z, Cubic(z) 具有 0 的值), 并且, 利用在范围 $-2 \leq z \leq 2$ 内, 即, 在由 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 定义的范围内观测到的像素值 Gobs(k, ig, jg) 估计位置 (I', J') 上的纯绿光强度 Lg(I', J')。在如前所述的第三实施例中, 第 k 捕获图像上的位置 (ig-0.5, jg-0.5) 按如下转换到定义在第一捕获图像上的参考坐标系中的位置 ((ig-0.5)_(k), (jg-0.5)_(k))。也就是说, 运动检测器 23-(k-1) 从第一捕获图像与第 k 捕获图像之间的位置关系中确定包括转角 θ_k 、比例倍数 Sk 和平移 (Tkx, Tky) 的仿射转换参数 (θ_k , Tkx, Tky, Sk)。将所得的转换参数 (θ_k , Tkx, Tky, Sk) 供应给计算电路 24。根据来自运动检测器 23-(k-1) 的转换参数 (θ_k , Tkx, Tky, Sk), 计算电路 24 按照仿射转换方程 (3), 将第 k 捕获图像上的位置 (ig-0.5, jg-0.5) 转换到参考坐标系中的位置 ((ig-0.5)_(k), (jg-0.5)_(k))。

[0723] 另一方面, 在第八实施例中, 运动检测器 23-(k-1) 确定代表第一捕获图像与第 k 捕获图像之间的位置关系的仿射转换方程 (41) 的仿射转换参数。

$$[0724] \quad \begin{pmatrix} X1_{(k)} \\ Y1_{(k)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ak' & bk' \\ ck' & dk' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Xk \\ Yk \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Tkx' \\ Tky' \end{pmatrix} \quad \dots (41)$$

[0725] 更具体地说, 运动检测器 23-(k-1) 确定代表第一捕获图像与第 k 捕获图像之间的位置关系的方程 (41) 中的矩阵 (ak', bk', ck', dk') 和二维矢量 (Tkx', Tky'), 并且将所得矩阵 (ak', bk', ck', dk') 和二维矢量 (Tkx', Tky') 供应给计算电路 24。下文将包括矩阵 (ak', bk', ck', dk') 和二维矢量 (Tkx', Tky') 的仿射转换参数简称为转换参数 (ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')。

[0726] 如果相应参数是这样给出的, 使 $ak' = dk' = Sk \times \cos(\theta_k)$, 和 $-bk' = ck' = Sk \times \sin(\theta_k)$, 方程 (41) 变成与方程 (3) 相同。

[0727] 在方程 (41) 中, 与方程 (3) 一样, (Xk, Yk) 代表第 k 捕获图像的像素的位置, 和 (X1_(k), Y1_(k)) 代表按照方程 (41) 仿射转换位置 (Xk, Yk) 获得的第一捕获图像 (在参考坐标系中) 上的位置。注意, 下标 (k) 用于指示转换到参考坐标系的第 k 捕获图像的位置。如果第一捕获图像的转换参数像 (a1', b1', c1', d1', T1x', T1y') = (1, 0, 0, 1, 0, 0) 那样给出, 那么, 方程 (41) 对从 1 到 N 的范围内的所有 k 值都成立。

[0728] 例如, 运动检测器 23-1 确定代表第一捕获图像与第二捕获图像之间的位置关系的方程 (42) 的仿射转换参数 (a2', b2', c2', d2', T2x', T2y'), 并且将所得转换参数 (a2', b2', c2', d2', T2x', T2y') 供应给计算电路 24。

$$[0729] \quad \begin{pmatrix} X1_{(2)} \\ Y1_{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a2' & b2' \\ c2' & d2' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X2 \\ Y2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T2x' \\ T2y' \end{pmatrix} \quad \dots (42)$$

[0730] 另一方面, 运动检测器 23-2 确定代表第一捕获图像与第三捕获图像之间的位置

关系的方程 (43) 的仿射转换参数 ($a3'$, $b3'$, $c3'$, $d3'$, $T3x'$, $T3y'$), 并且将所得转换参数 ($a3'$, $b3'$, $c3'$, $d3'$, $T3x'$, $T3y'$) 供应给计算电路 24。

$$[0731] \quad \begin{pmatrix} X1_3 \\ Y1_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a3' & b3' \\ c3' & d3' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X3 \\ Y3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T3x' \\ T3y' \end{pmatrix} \quad \dots (43)$$

[0732] 方程 (43) 代表由于照相机摇晃等, 第三捕获图像上的位置 ($X3, Y3$) 相对于第一捕获图像上的位置 ($X1, Y1$) 移动了与转换参数 ($a3'$, $b3'$, $c3'$, $d3'$, $T3x'$, $T3y'$) 相对应的数量。

[0733] 取代以如上所述的方式从第 k 捕获图像相对于第一捕获图像的位置关系中确定转换参数 (ak' , bk' , ck' , dk' , Tkx' , Tky'), 可以用力学方法从位于数字照相机 1 上的加速度传感器输出的信号中确定转换参数 (ak' , bk' , ck' , dk' , Tkx' , Tky')。在用手握住照相机时出现照相机摇晃的情况下, 第一捕获图像和第 k 捕获图像之间的位置关系基本上不包括转动成分。因此, 转换参数 (ak' , bk' , ck' , dk' , Tkx' , Tky') 中的转换成分可以忽略不计 (也就是说, 可以假设没有发生转动)。

[0734] 在第八实施例中, 根据所有 N 个捕获图像被放大了相同倍数 (通过 n' - 位移动) 的假设设置方程 (25) 中与噪声相联系的权重。也就是说, 在第八实施例中, 假设成像器件 4 捕获的所有 N 个图像 (输入图像) 具有等于用最佳曝光获得的亮度的 $1/M = 1/Mk$ 倍的亮度。例如, 如果捕获图像具有等于用最佳曝光获得的图像的亮度的 $1/8$ 倍的亮度, 那么, $M = 8$, 因此, 移位器 (图 1) 通过进行 3- 位移动放大捕获图像。

[0735] 在第八实施例中, 由于移位器 21 将所有 N 个捕获图像放大了相同倍数, 方程 (25) 中与噪声相联系的权重 $1/(Mk \times E)$ 可以简单地重写成 $1/(M \times E)$ 。

[0736] 因此, 在这个第八实施例中, 用在第三实施例中的方程 (25) 可以重写成 (44)。

$$[0737] \quad \sum \left[\frac{\text{Cubic}(I'-x) \times \text{Cubic}(J'-y)}{(M \times E)} \times \{Gobs(k, ig, jg) - Lg(I', J')\} \right] = 0 \quad \dots (44)$$

[0738] 对于给定位置 (I', J'), 方程 (44) 中的求和 Σ 是针对相对于参考坐标系中根据转换参数 (ak' , bk' , ck' , dk' , Tkx' , Tky') 通过转换位置 ($ig-0.5, jg-0.5$) 获得的位置 (x, y), 满足 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 的所有组合 (k, ig, jg) 而取的。在如图 43 所示的具体例子中, 求和是对与点 G11 到 G19 相对应的整数 (k, ig, jg) 的 9 种组合而取的。

[0739] 对应于与绿光强度相联系的弹簧方程 (25), 方程 (44) 可以当作根据第八实施例的利用函数 $\text{Cubiz}(z)$ 的与绿光强度相联系的弹簧方程。

[0740] 在方程 (44) 中, 与噪声相联系的权重 $1/(M \times E)$ 是与经历求和 Σ 的整数 (k, ig, jg) 的组合无关的常数, 因此, 可以将权重 $1/(M \times E)$ 移到 Σ 的外面。因此, 可以将方程 (44) 重写成 (45)。

$$[0741] \quad \frac{1}{(M \times E)} \sum [\text{Cubic}(I'-x) \times \text{Cubic}(J'-y) \times \{Gobs(k, ig, jg) - Lg(I', J')\}] = 0$$

$$[0742] \quad \Sigma [\text{Cubic}(I' - x) \times \text{Cubic}(J' - y) \times \{Gobs(k, ig, jg) - Lg(I', J')\}] = 0 \quad \dots (45)$$

[0743] 如果针对纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 求解方程 (45), 获得方程 (46)。

$$[0744] \quad \Sigma [\text{Cubic}(I' - x) \times \text{Cubic}(J' - y) \times \{Gobs(k, ig, jg) - Lg(I', J')\}] = 0$$

$J' - y) \times Lg(I', J')$

$$[0745] \quad \sum Lg(I', J') = \frac{\text{Cubic}(I'-x) \times \text{Cubic}(J'-y) \times \text{Gobs}(k, ig, jg)}{\sum \text{Cubic}(I'-x) \times \text{Cubic}(J'-y)} \quad \dots (46)$$

[0746] 在这个第八实施例中,利用方程(46)确定纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 。

[0747] 方程(46)表明,通过将 $\text{Cubic}(I' - x) \times \text{Cubic}(J' - y)$ 用作权重,计算像素值 $\text{Gobs}(k, ig, jg)$ 的加权和,可以获得纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 。注意,权重 $\text{Cubic}(I' - x) \times \text{Cubic}(J' - y)$ 作为低通滤波器,用于位置 (I', J') 和像素值 $\text{Gobs}(k, ig, jg)$ 的位置 (x, y) 之间的距离。

[0748] 下文将方程(46)称为与绿光强度相联系的加权求和方程。将与绿光强度的加权和相联系的方程(46)的分母和分子分开,分别重写成方程(47)和(48)。

$$[0749] \quad \sum \text{Cubic}(I' - x) \times \text{Cubic}(J' - y) \times \text{Gobs}(k, ig, jg) \quad \dots (47)$$

$$[0750] \quad \sum \text{Cubic}(I' - x) \times \text{Cubic}(J' - y) \quad \dots (48)$$

[0751] 如果在像素值 $\text{Gobs}(k, ig, jg)$ 还没有经过移位器 21 放大 M 倍的状态下的原始数据(光强度)被表示成 $D_{\text{Gobs}(k, ig, jg)}$,那么,方程(46)可以重写成(49)。

$$[0752] \quad \sum Lg(I', J') = \frac{\text{Cubic}(I'-x) \times \text{Cubic}(J'-y) \times M \times D_{\text{Gobs}(k, ig, jg)}}{\sum \text{Cubic}(I'-x) \times \text{Cubic}(J'-y)} \quad \dots (49)$$

[0753] 感兴趣位置 (I', J') 上的纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 可以分别用与方程(46)类似的方程(50)和(51)表示。

$$[0754] \quad \sum Lr(I', J') = \frac{\text{Cubic}(I'-x) \times \text{Cubic}(J'-y) \times \text{Robs}(k, ir, jr)}{\sum \text{Cubic}(I'-x) \times \text{Cubic}(J'-y)} \quad \dots (50)$$

[0755] 下文将方程(50)称为与红光强度相联系的加权求和方程。对于给定位置 (I', J') ,方程(50)中的求和 Σ 是针对相对于参考坐标系中根据转换参数 $(ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')$ 通过转换位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得的位置 (x, y) ,满足 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 的所有组合 (k, ir, jr) 而取的。

$$[0756] \quad \sum Lb(I', J') = \frac{\text{Cubic}(I'-x) \times \text{Cubic}(J'-y) \times \text{Bobs}(k, ib, jb)}{\sum \text{Cubic}(I'-x) \times \text{Cubic}(J'-y)} \quad \dots (51)$$

[0757] 下文将方程(51)称为与蓝光强度相联系的加权求和方程。对于给定位置 (I', J') ,方程(51)中的求和 Σ 是针对相对于参考坐标系中根据转换参数 $(ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')$ 通过转换位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得的位置 (x, y) ,满足 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 的所有组合 (k, ib, jb) 而取的。

[0758] 将与红光强度的加权和相联系的方程(50)的分母和分子分开,分别重写成方程(52)和(53)。

$$[0759] \quad \sum \text{Cubic}(I' - x) \times \text{Cubic}(J' - y) \times \text{Robs}(k, ir, jr) \quad \dots (52)$$

$$[0760] \quad \sum \text{Cubic}(I' - x) \times \text{Cubic}(J' - y) \quad \dots (53)$$

[0761] 将与蓝光强度的加权和相联系的方程(51)的分母和分子分开,分别重写成方程(54)和(55)。

$$[0762] \quad \sum \text{Cubic}(I' - x) \times \text{Cubic}(J' - y) \times \text{Bobs}(k, ib, jb) \quad \dots (54)$$

$$[0763] \quad \sum \text{Cubic}(I' - x) \times \text{Cubic}(J' - y) \quad \dots (55)$$

[0764] 通过计算根据方程 (46) 的与绿光强度相联系的加权和、根据方程 (50) 的与红光强度相联系的加权和和根据方程 (51) 的与蓝光强度相联系的加权和, 计算电路 24 确定纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。将计算电路 24 为确定那些光强度而执行的过程称为正常过程, 以便将它与如后所述的异常过程区分开。

[0765] 下面进一步讨论由方程 (46) 给出的与绿光强度相联系的加权和、由方程 (50) 给出的与红光强度相联系的加权和和由方程 (51) 给出的与蓝光强度相联系的加权和。

[0766] 方程 (46) 表明, 将位置 (x, y) 上的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 与距离权重 $Cubic(I' - x) \times Cubic(J' - y)$ 的乘积的和值 (即, 用距离权重 $Cubic(I' - x) \times Cubic(J' - y)$ 加权的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的和值) 除以距离权重 $Cubic(I' - x) \times Cubic(J' - y)$ 的和值, 即, 将等于方程 (46) 的分子的方程 (47) 给出的值除以等于方程 (46) 的分母的方程 (48) 给出的值, 获得与绿光强度相联系的加权和。

[0767] 如果等于方程 (46) 的分母的方程 (48) 给出的值变成等于 0, 代表纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 的方程 (46) 变得不稳定 (不确定), 因此, 结果是不可靠的。换句话说, 在等于方程 (46) 的分母的方程 (48) 给出的值变成等于 0 的位置 (I', J') 上, 包括在等于方程 (46) 的分子的方程 (47) 中的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 中的小噪声 (误差) 被除以等于 0 的分母, 因此, 结果变得很大。在这种情况下, 根据方程 (46) 计算的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 包括大噪声, 是不可靠的。

[0768] 例如, 当三次函数 $Cubic(I' - x)$ 和 $Cubic(J' - y)$ 的至少一个在方程 (48) 中的整个求和范围上变成等于 0 时, 等于方程 (46) 的分母的方程 (48) 给出的值变成等于 0。从图 42 可以看出, 当 $I' - x = \pm 1$ 或 $J' - y = \pm 1$ 时, 即, 当 $x = I' \pm 1$ 或 $y = J' \pm 1$ 时, 三次函数 $Cubic(I' - x)$ 或 $Cubic(J' - y)$ 变成等于 0。

[0769] 因此, 对于给定位置 (I', J') , 当利用转换参数 $(ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')$ 将位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 转换到参考坐标系时, 如果出现在由 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 定义的范围内的 (k, ig, jg) 的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的所有位置 (x, y) 满足 $x = I' \pm 1$ 或 $y = J' \pm 1$, 代表纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 的方程 (46) 的分母变成等于 0 (或几乎等于 0), 因此, 结果变成不稳定的和不可靠的。但是, 出现在由 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 定义的范围内的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的所有位置 (x, y) 只有在非常罕见的和异常的状态下才满足 $x = I' \pm 1$ 或 $y = J' \pm 1$ 。下文将这样的特殊状态简单为异常状态。

[0770] 下文将利用转换参数 $(ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')$ 从第 k 捕获图像上的位置 (k, i, j) 转换到参考坐标系的位置 (x, y) 简称为转换 (校正) 位置 (x, y) 。

[0771] 图 44 示出了位置 (I', J') 上的异常状态。

[0772] 在如图 44 所示的具体例子中, 当利用转换参数 $(ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')$ 转换位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 时, 转换点 (转换位置) $G11'$ 和 $G15'$ 位于满足 $x = I' - 1$ 的位置上, 和转换点 $G12'$ 和 $G16'$ 位于满足 $x = I' + 1$ 的位置上。

[0773] 并且, 转换点 $G13'$ 和 $G14'$ 位于满足 $y = J' - 1$ 的位置上, 和转换点 $G17'$ 和 $G19'$ 位于满足 $y = J' + 1$ 的位置上。

[0774] 在如图 44 所示的具体例子中, 落在坐标系中由 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和

$J' - 2 \leq y < J' + 2$ 定义的区域内的转换位置 (x, y) 对于 (k, ig, jg) 的所有组合, 与位置 (I', J') , 即, $x = I' \pm 1$ 或 $y = J' \pm 1$ 存在特殊关系。在这种状态下, 在中心在位置 (I', J') 上的区域 $(I' \pm 1, J' \pm 1)$ (大小为 2×2 的正方形区域) 中不存在 G 信号数据 (像素值 $Gobs(k, ig, jg)$)。

[0775] 在这样的状态 (异常状态) 下, 如果按照方程 (46) 确定位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$, 如上所述, 所得的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 是不可靠的 (不稳定的)。

[0776] 为了避免上面的问题, 当位置 (I', J') 上的像素处在这样的异常状态下时, 计算电路 24 执行异常过程。

[0777] 更具体地说, 对于给定感兴趣位置 (I', J') , 当估计感兴趣位置 (I', J') 上的输出图像的像素的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ (下文将这样的像素简称为感兴趣像素) 时, 如果感兴趣像素 (感兴趣像素的位置 (I', J')) 处在异常状态下时, 计算电路 24 利用校正位置 (x, y) 位于处在感兴趣像素附近的输出图像像素的位置附近的第 k 捕获图像的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 以及校正位置 (x, y) 位于感兴趣位置 (I', J') 附近的第 k 捕获图像的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$, 确定异常状态下, 感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 。至于与位于感兴趣位置 (I', J') 上的感兴趣像素相邻的像素 (相邻像素), 可以应用如图 45 所示的位置 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I', J' - 1)$ 和 $(I', J' + 1)$ 上的像素。

[0778] 正如前面参考图 3 所述的那样, 根据本实施例的数字照相机 1 成像器件 4 具有 Bayer 阵列结构。在 Bayer 阵列结构中, 沿着 X 和 Y 两个方向 (图 3) 每隔一个像素位置安排一个检测绿光成分的像素。在这个第八实施例中, 假设成像器件 4 的像素是这样排列的, 沿着水平 (X) 方向排列 W 个像素和沿着垂直 (Y) 方向排列 H 个像素, 因此, 成像器件 4 总共有 $W \times H$ 个像素。

[0779] 当在感兴趣位置 (I', J') 附近没有 G 信号的观测值 (像素值) $Gobs(k, ig, jg)$ 时, 在 Bayer 阵列结构中, 感兴趣位置 (I', J') 上的感兴趣像素不能是检测绿光成分的像素。

[0780] 例如, 如图 46 所示, 当在 Bayer 阵列结构中, 感兴趣位置 (I', J') 上的感兴趣像素是空心圆圈所示的检测蓝光成分的像素 B12 时, 在直接与像素 B12 的上下左右相邻的位置上存在检测绿光成分的像素。类似地, 当感兴趣像素是成像器件 4 中的检测红光或蓝光成分的像素时, 在直接与感兴趣像素的上下左右相邻的位置上存在检测绿光成分的像素。

[0781] 因此, 当在感兴趣位置 (I', J') 附近没有 G 信号的观测值 (像素值) $Gobs(k, ig, jg)$ 时 (当转换位置 (x, y) 位于感兴趣位置 (I', J') 附近的捕获图像的绿光像素不存在时), 在直接与感兴趣位置 (I', J') 上的感兴趣像素的上下左右相邻的位置上的相邻像素的位置 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I', J' - 1)$ 和 $(I', J' + 1)$ 之一附近存在 G 信号的观测值。当在位于位置 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I', J' - 1)$ 和 $(I', J' + 1)$ 上的相邻像素中的特定一个附近存在 G 信号的观测值 $Gobs(k, ig, jg)$ 时, 相邻像素中的特定一个不处在异常状态下。对于位于位置 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I', J' - 1)$ 、或 $(I', J' + 1)$ 上的这个特定相邻像素, 可以利用方程 (46) 确定纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 的可靠值。

[0782] 如上所述,当感兴趣像素处在异常状态下,计算电路 24 利用校正位置 (x, y) 位于处在与感兴趣像素相邻的 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I', J' - 1)$ 、或 $(I', J' + 1)$ 上的相邻像素附近的像素的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$,以及校正位置 (x, y) 位于感兴趣位置 (I', J') 附近的像素的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$,确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 。

[0783] 更具体地说,在这种情况下,计算电路 24 通过执行基于方程 (56) 的异常过程,确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 。

[0784] $Lg(I', J') =$

[0785] $\{(I', J') \text{ 上的 } G \text{ 信号的分子值}$

[0786] $+(I' - 1, J') \text{ 上的 } G \text{ 信号的分子值}$

[0787] $+(I' + 1, J') \text{ 上的 } G \text{ 信号的分子值}$

[0788] $+(I', J' - 1) \text{ 上的 } G \text{ 信号的分子值}$

[0789] $+(I', J' + 1) \text{ 上的 } G \text{ 信号的分子值}\}/$

[0790] $\{(I', J') \text{ 上的 } G \text{ 信号的分母值}$

[0791] $+(I' - 1, J') \text{ 上的 } G \text{ 信号的分母值}$

[0792] $+(I' + 1, J') \text{ 上的 } G \text{ 信号的分母值}$

[0793] $+(I', J' - 1) \text{ 上的 } G \text{ 信号的分母值}$

[0794] $+(I', J' + 1) \text{ 上的 } G \text{ 信号的分母值}\} \dots (56)$

[0795] 方程 (56) 代表通过将在正常过程中对总共 5 个位置,即,感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 和与感兴趣像素相邻的像素的位置 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I', J' - 1)$ 和 $(I', J' + 1)$ 获得的方程 (46) 的分子的和值除以在正常过程中对总共 5 个位置,即,感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 和与感兴趣像素相邻的像素的位置 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I', J' - 1)$ 和 $(I', J' + 1)$ 获得的方程 (46) 的分母的和值,即,通过将方程 (47) 的和值除以方程 (48) 的和值,获得纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 。

[0796] 注意,当感兴趣处在异常状态下时,用于确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 的方程不限制于方程 (56),也可以使用其它方程。例如,如下所示的方程 (57) 可以用于这个目的。

[0797] $Lg(I', J') =$

[0798] $\{((I' - 1, J') \text{ 上的 } G \text{ 信号的分子值})/$

[0799] $((I' - 1, J') \text{ 上的 } G \text{ 信号的分母值})$

[0800] $+((I' + 1, J') \text{ 上的 } G \text{ 信号的分子值})/$

[0801] $((I' + 1, J') \text{ 上的 } G \text{ 信号的分母值})$

[0802] $+((I', J' - 1) \text{ 上的 } G \text{ 信号的分子值})/$

[0803] $((I', J' - 1) \text{ 上的 } G \text{ 信号的分母值})$

[0804] $+((I', J' + 1) \text{ 上的 } G \text{ 信号的分子值})/$

[0805] $((I', J' + 1) \text{ 上的 } G \text{ 信号的分母值})\}/4 \dots (57)$

[0806] 方程 (57) 代表通过计算将方程 (46) 用于与感兴趣像素相邻的像素的 4 个位置 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I', J' - 1)$ 和 $(I', J' + 1)$ 计算的纯绿光强度 $Lg(I' - 1, J')$ 、 $Lg(I' + 1, J')$ 、 $Lg(I', J' - 1)$ 和 $Lg(I', J' + 1)$ 的平均值,获得感兴趣位置

(I', J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 。

[0807] 下面进一步讨论方程 (50) 给出的与红光强度相联系的加权和。

[0808] 与根据方程 (46) 计算纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 一样, 当根据方程 (50) 计算纯红光强度 $L_r(I', J')$ 时, 如果感兴趣像素处在异常状态下, 解变成不稳定的。更具体地说, 对于给定感兴趣位置 (I', J') , 当利用转换参数 $(ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')$ 将位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 转换到参考坐标系时, 如图 44 所示, 存在出现在由 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 定义的范围内的像素值 $Robs(k, ir, jr)$ 的所有转换位置 (x, y) 满足 $x = I' \pm 1$ 或 $y = J' \pm 1$ 的拟然性。在这样的状态 (异常状态) 下, 在中心在位置 (I', J') 上的区域 $(I' \pm 1, J' \pm 1)$ (大小为 2×2 的正方形区域) 中不存在 R 信号数据 (像素值 $Robs(k, ir, jr)$)。

[0809] 在这种情况下, 计算电路 24 执行如下所述的异常过程。

[0810] 也就是说, 计算电路 24 利用校正位置位于处在感兴趣像素附近的输出图像像素的位置附近的第 k 捕获图像的像素值 $Robs(k, ir, jr)$, 以及校正位置位于感兴趣像素附近的第 k 捕获图像的像素值 $Robs(k, ir, jr)$, 确定异常状态下, 感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 上的纯红光强度 $L_r(I', J')$ 。至于与位于感兴趣位置 (I', J') 上的感兴趣像素相邻的像素 (相邻像素), 可以应用如图 47 所示的位置 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 和 $(I' + 1, J' + 1)$ 上的像素。

[0811] 当在感兴趣位置 (I', J') 附近没有 R 信号的观测值 (像素值) $Robs(k, ir, jr)$ 时, 在 Bayer 阵列结构中, 感兴趣位置 (I', J') 上的感兴趣像素不能是检测红光成分的像素。

[0812] 例如, 如图 48 所示, 当在 Bayer 阵列结构中, 感兴趣位置 (I', J') 上的感兴趣像素是空心圆圈所示的检测绿光成分的像素 G11 时, 在直接与像素 G11 的上下相邻的位置上存在检测红光成分的像素。

[0813] 另一方面, 例如, 如图 48 所示, 当在 Bayer 阵列结构中, 感兴趣位置 (I', J') 上的感兴趣像素是空心圆圈所示的检测绿光成分的像素 G22 时, 在直接与像素 G22 的左右相邻的位置上存在检测红光成分的像素。

[0814] 并且, 例如, 如图 48 所示, 当在 Bayer 阵列结构中, 感兴趣位置 (I', J') 上的感兴趣像素是空心圆圈所示的检测蓝光成分的像素 B14 时, 在直接与像素 B14 的右上、右下、左上、或左下相邻的位置上存在检测红光成分的像素。

[0815] 类似地, 当感兴趣像素是除了检测红光成分的像素之外的像素时, 在直接与像素 B14 的左、右、右上、右下、左上、或左下或像素 B14 的上下相邻的位置上存在检测红光成分的像素。

[0816] 因此, 当在感兴趣位置 (I', J') 附近没有 R 信号的观测值 $Robs(k, ir, jr)$ 时 (当转换位置 (x, y) 位于感兴趣位置 (I', J') 附近的捕获图像的红光像素不存在时), 在直接与感兴趣位置 (I', J') 上的感兴趣像素的上或下、或左、右、右上、右下、左上、或左下相邻的位置上的相邻像素的位置 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 和 $(I' + 1, J' + 1)$ 之一附近存在 R 信号的观测值。当在位于位置 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、

$(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 和 $(I' + 1, J' + 1)$ 上的相邻像素的特定一个附近存在 R 信号的观测值 $R_{obs}(k, ir, jr)$ 时, 相邻像素中的特定一个不处在异常状态下。对于位于位置 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 、或 $(I' + 1, J' + 1)$ 上的这个特定相邻像素, 可以利用方程 (50) 确定纯红光强度 $Lr(I', J')$ 的可靠值。

[0817] 如上所述, 当感兴趣像素处在异常状态下, 计算电路 24 利用校正位置 (x, y) 位于处在与感兴趣像素相邻的 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 、或 $(I' + 1, J' + 1)$ 上的相邻像素附近的像素的像素值 $R_{obs}(k, ir, jr)$, 以及校正位置 (x, y) 位于感兴趣位置 (I', J') 附近的像素值 $R_{obs}(k, ir, jr)$, 确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯红光强度 $Lr(I', J')$ 。

[0818] 更具体地说, 在这种情况下, 计算电路 24 通过执行基于方程 (58) 的异常过程, 确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯红光强度 $Lr(I', J')$ 。

[0819] $Lr(I', J') =$

[0820] $\{(I', J') \text{ 上的 R 信号的分子值}$

[0821] $+ (I' - 1, J' - 1) \text{ 上的 R 信号的分子值}$

[0822] $+ (I', J' - 1) \text{ 上的 R 信号的分子值}$

[0823] $+ (I' + 1, J' - 1) \text{ 上的 R 信号的分子值}$

[0824] $+ (I' - 1, J') \text{ 上的 R 信号的分子值} \}$

[0825] $+ (I' + 1, J') \text{ 上的 R 信号的分子值}$

[0826] $+ (I' - 1, J' + 1) \text{ 上的 R 信号的分子值}$

[0827] $+ (I', J' + 1) \text{ 上的 R 信号的分子值}$

[0828] $+ (I' + 1, J' + 1) \text{ 上的 R 信号的分子值} \} /$

[0829] $\{(I', J') \text{ 上的 R 信号的分母值}$

[0830] $+ (I' - 1, J' - 1) \text{ 上的 R 信号的分母值}$

[0831] $+ (I', J' - 1) \text{ 上的 R 信号的分母值}$

[0832] $+ (I' + 1, J' - 1) \text{ 上的 R 信号的分母值}$

[0833] $+ (I' - 1, J') \text{ 上的 R 信号的分母值}$

[0834] $+ (I' + 1, J') \text{ 上的 R 信号的分母值}$

[0835] $+ (I' - 1, J' + 1) \text{ 上的 R 信号的分母值}$

[0836] $+ (I', J' + 1) \text{ 上的 R 信号的分母值}$

[0837] $+ (I' + 1, J' + 1) \text{ 上的 R 信号的分母值} \} \dots (58)$

[0838] 方程 (58) 代表通过将在正常过程中对总共 9 个位置, 即, 感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 和与感兴趣像素相邻的像素的位置 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 和 $(I' + 1, J' + 1)$ 获得的方程 (50) 的分子的和值除以在正常过程中对总共 9 个位置, 即, 感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 和与感兴趣像素相邻的像素的位置 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 和 $(I' + 1, J' + 1)$ 获得的方程 (50) 的分母的和值, 即, 通过将方程 (52) 的和值除以方程 (53) 的和值, 获得纯红光强度 $Lr(I', J')$ 。

[0839] 与和 G 信号相联系的方程 (57) 一样, 取代使用方程 (58), 通过计算与感兴趣像素相邻的 8 个位置 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 和 $(I' + 1, J' + 1)$ 上的像素的纯红光强度 $Lr(I' - 1, J' - 1)$ 、 $Lr(I', J' - 1)$ 、 $Lr(I' + 1, J' - 1)$ 、 $Lr(I' - 1, J')$ 、 $Lr(I' + 1, J')$ 、 $Lr(I' - 1, J' + 1)$ 、 $Lr(I', J' + 1)$ 和 $Lr(I' + 1, J' + 1)$ 的平均值, 确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯红光强度 $Lr(I', J')$ 。

[0840] 当利用与蓝光强度相联系的加权求和方程 (51) 确定纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 时, 与利用与绿光强度相联系的加权求和方程 (46) 确定的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 一样, 或与利用与红光强度相联系的加权求和方程 (50) 确定的纯红光强度 $Lr(I', J')$ 一样, 如果感兴趣位置上的感兴趣像素处在异常状态下, 解变成不稳定的。

[0841] 在这种情况下, 计算电路 24 执行如下所述的异常过程。

[0842] 在 Bayer 阵列结构中, 就位置关系而言, 以与排列检测红光成分的像素的方式相似的方式排列检测蓝光成分的像素。因此, 计算电路 24 根据与方程 (58) 相似的方程 (59) 确定异常状态下, 感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 上的纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 。

[0843] $Lb(I', J') =$

[0844] $\{(I', J') \text{ 上的 B 信号的分子值}$

[0845] $+(I' - 1, J' - 1) \text{ 上的 B 信号的分子值}$

[0846] $+(I', J' - 1) \text{ 上的 B 信号的分子值}$

[0847] $+(I' + 1, J' - 1) \text{ 上的 B 信号的分子值}$

[0848] $+(I' - 1, J') \text{ 上的 B 信号的分子值} \}$

[0849] $+(I' + 1, J') \text{ 上的 B 信号的分子值}$

[0850] $+(I' - 1, J' + 1) \text{ 上的 B 信号的分子值}$

[0851] $+(I', J' + 1) \text{ 上的 B 信号的分子值}$

[0852] $+(I' + 1, J' + 1) \text{ 上的 B 信号的分子值} \}/$

[0853] $\{(I', J') \text{ 上的 B 信号的分母值}$

[0854] $+(I' - 1, J' - 1) \text{ 上的 B 信号的分母值}$

[0855] $+(I', J' - 1) \text{ 上的 B 信号的分母值}$

[0856] $+(I' + 1, J' - 1) \text{ 上的 B 信号的分母值}$

[0857] $+(I' - 1, J') \text{ 上的 B 信号的分母值}$

[0858] $+(I' + 1, J') \text{ 上的 B 信号的分母值}$

[0859] $+(I' - 1, J' + 1) \text{ 上的 B 信号的分母值}$

[0860] $+(I', J' + 1) \text{ 上的 B 信号的分母值}$

[0861] $+(I' + 1, J' + 1) \text{ 上的 B 信号的分母值} \} \dots (59)$

[0862] 方程 (59) 代表通过将在正常过程中对总共 9 个位置, 即, 感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 和与感兴趣像素相邻的像素的位置 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 和 $(I' + 1, J' + 1)$ 获得的方程 (51) 的分子的和值除以在正常过程中对总共 9 个位置, 即, 感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 和与感兴趣像素相邻的像素的位置 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 和 $(I' + 1,$

$J' + 1$) 获得的方程 (51) 的分母的和值, 即, 通过将方程 (54) 的和值除以方程 (55) 的和值, 获得纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 。

[0863] 与与 G 信号相联系的方程 (57) 一样, 取代使用方程 (59), 通过计算与感兴趣像素相邻的 8 个位置 $(I' - 1, J' - 1)$ 、 $(I', J' - 1)$ 、 $(I' + 1, J' - 1)$ 、 $(I' - 1, J')$ 、 $(I' + 1, J')$ 、 $(I' - 1, J' + 1)$ 、 $(I', J' + 1)$ 和 $(I' + 1, J' + 1)$ 上的像素的纯蓝光强度 $Lb(I' - 1, J' - 1)$ 、 $Lb(I', J' - 1)$ 、 $Lb(I' + 1, J' - 1)$ 、 $Lb(I' - 1, J')$ 、 $Lb(I' + 1, J')$ 、 $Lb(I' - 1, J' + 1)$ 、 $Lb(I', J' + 1)$ 和 $Lb(I' + 1, J' + 1)$ 的平均值, 确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 。

[0864] 现在参照如图 49 和 50 所示的流程图, 描述根据本发明第八实施例的如图 2 所示的步骤 S4 中的正确图像估计过程。

[0865] 首先, 在步骤 S201 中, 计算电路 24 将 (I', J') 的变量 J' 设置成 1, 以指示参考坐标系中像素在 Y 方向的位置。此后, 过程转到步骤 S202。

[0866] 在步骤 S202 中, 计算电路 24 将 (I', J') 的变量 I' 设置成 1, 以指示参考坐标系中像素在 X 方向的位置。此后, 过程转到步骤 S203。注意, 变量 I' 和 J' 也用于指示输出图像的像素在 X 和 Y 方向的位置。

[0867] 在步骤 S203 中, 计算电路 24 选择位置 (I', J') 作为感兴趣位置, 并且, 对于感兴趣位置 (I', J') , 计算电路 24 为所有第一到第 N 图像确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')$ 通过转换检测第 k 图像的绿光成分的像素的中心位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 的整数 (k, ig, jg) 的所有组合。此后, 过程转到步骤 S204。

[0868] 在步骤 S204 中, 计算电路 24 利用在步骤 S203 中确定的整数 (k, ig, jg) 的所有组合, 根据方程 (48) 确定与绿光强度相联系的加权求和方程的分母, 和根据方程 (47) 确定与绿光强度相联系的加权求和方程的分子。计算电路 24 将计算结果存储在存储器 (未示出) 中。此后, 过程转到步骤 S205。

[0869] 在步骤 S205 中, 对于感兴趣位置 (I', J') , 计算电路 24 为所有第一到第 N 图像确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')$ 通过转换检测第 k 图像的红光成分的像素的中心位置 $(ir-0.5, jr-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 的整数 (k, ir, jr) 的所有组合。此后, 过程转到步骤 S206。

[0870] 在步骤 S206 中, 计算电路 24 利用在步骤 S205 中确定的整数 (k, ir, jr) 的所有组合, 根据方程 (53) 确定与红光强度相联系的加权求和方程的分母, 和根据方程 (52) 确定与红光强度相联系的加权求和方程的分子。计算电路 24 将计算结果存储在存储器中。此后, 过程转到步骤 S207。

[0871] 在步骤 S207 中, 对于感兴趣位置 (I', J') , 计算电路 24 为所有第一到第 N 图像确定相对于参考坐标系中根据转换参数 $(ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')$ 通过转换检测第 k 图像的蓝光成分的像素的中心位置 $(ib-0.5, jb-0.5)$ 获得的位置 (x, y) , 满足 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 的整数 (k, ib, jb) 的所有组合。此后, 过程转到步骤 S208。

[0872] 在步骤 S208 中, 计算电路 24 利用在步骤 S207 中确定的整数 (k, ib, jb) 的所有组

合,根据方程 (55) 确定与蓝光强度相联系的加权求和方程的分母,和根据方程 (54) 确定与蓝光强度相联系的加权求和方程的分子。计算电路 24 将计算结果存储在存储器中。此后,过程转到步骤 S209。

[0873] 在步骤 S209 中,计算电路 24 确定变量 I' 是否等于 X 方向的像素数量 W。如果在步骤 S209 中确定变量 I' 不等于像素数量 W,也就是说,如果还没有对 Y 位置是 J' 的所有像素完成步骤 S203 到 S208,过程转到步骤 S210。在步骤 S210 中,计算电路 24 将变量 I' 加 1。此后,过程返回到步骤 S203。

[0874] 在步骤 S209 中确定变量 I' 等于像素数量 W 的情况下,也就是说,如果对 Y 位置是 J' 的所有像素都完成了步骤 S203 到 S208,过程转到步骤 S211。

[0875] 在步骤 S211 中,计算电路 24 确定变量 J' 是否等于 Y 方向的像素数量 H。如果在步骤 S211 中确定变量 J' 不等于像素数量 H,也就是说,如果还没有对成像器件 4 的所有 Y 位置完成步骤 S203 到 S208,过程转到步骤 S212。在步骤 S212 中,计算电路 24 将变量 J' 加 1。此后,过程返回到步骤 S202。

[0876] 另一方面,如果在步骤 S211 中确定变量 J' 等于像素数量 H,也就是说,如果对成像器件 4 的所有 Y 位置都完成了步骤 S203 到 S208,过程转到图 50 中的步骤 S213。注意,像素数量 W 和 H 分别等于输出图像在 X 和 Y 方向的像素数量。

[0877] 在步骤 S213 中,与步骤 S201 一样,计算电路 24 将变量 J' 设置成 1。此后,过程转到步骤 S214。

[0878] 在步骤 S214 中,与步骤 S202 一样,计算电路 24 将变量 I' 设置成 1。此后,过程转到步骤 S215。

[0879] 在步骤 S215 中,计算电路 24 将位置 (I', J') 用作感兴趣位置,计算感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 。此后,过程转到步骤 S216。更具体地说,在如上所述的步骤 S215 中,通过像后面将进一步描述的那样,利用与绿光强度相联系的加权求和方程 (46) 执行正常过程(第一计算过程)或根据方程 (56) 执行异常过程(第二计算过程),确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 。

[0880] 在步骤 S216 中,计算电路 24 将位置 (I', J') 用作感兴趣位置,计算感兴趣位置 (I', J') 上的纯红光强度 $L_r(I', J')$ 。此后,过程转到步骤 S217。更具体地说,在如上所述的步骤 S216 中,通过像后面将进一步描述的那样,利用与红光强度相联系的加权求和方程 (50) 执行正常过程(第一计算过程)或根据方程 (58) 执行异常过程(第二计算过程),确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯红光强度 $L_r(I', J')$ 。

[0881] 在步骤 S217 中,计算电路 24 将位置 (I', J') 用作感兴趣位置,计算感兴趣位置 (I', J') 上的纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。此后,过程转到步骤 S218。更具体地说,在如上所述的步骤 S217 中,通过像后面将进一步描述的那样,利用与蓝光强度相联系的加权求和方程 (51) 执行正常过程(第一计算过程)或根据方程 (59) 执行异常过程(第二计算过程),确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 。

[0882] 在步骤 S218 中,计算电路 24 确定变量 I' 是否等于 X 方向的像素数量 W。如果在步骤 S218 中确定变量 I' 不等于像素数量 W,也就是说,如果还没有对 Y 位置是 J' 的所有像素完成步骤 S215 到 S217,过程转到步骤 S219。在步骤 S219 中,计算电路 24 将变量 I' 加 1。此后,过程返回到步骤 S215。

[0883] 在步骤 S218 中确定变量 I' 等于像素数量 W 的情况下,也就是说,如果对 Y 位置是 J' 的所有像素都完成了步骤 S215 到 S217,过程转到步骤 S220。

[0884] 在步骤 S220 中,计算电路 24 确定变量 J' 是否等于 Y 方向的像素数量 H 。如果在步骤 S220 中确定变量 J' 不等于像素数量 H ,也就是说,如果还没有对成像器件 4 的所有 Y 位置完成步骤 S215 到 S217,过程转到步骤 S221。在步骤 S221 中,计算电路 24 将变量 J' 加 1。此后,过程返回到步骤 S214。

[0885] 另一方面,如果在步骤 S220 中确定变量 J' 等于像素数量 H ,也就是说,如果对成像器件 4 的所有 Y 位置都完成了步骤 S215 到 S217,过程转到步骤 S222。

[0886] 在步骤 S222 中,计算电路 24 从分别在步骤 S215、S216 和 217 中确定的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$ 中估计输出图像(信号)。将所得的输出图像供应给 D/A 转换器 9 或编解码器 12。此后,处理流程从当前过程返回。更具体地说,对于第 (i, j) 像素,计算电路 24 从在步骤 S215 中作为绿光值(G 信号)确定的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、在步骤 S216 中作为红光值(R 信号)确定的纯红光强度 $L_r(i-0.5, j-0.5)$ ($= L_r(I', J')$) 和在步骤 S217 中作为蓝光值(B 信号)确定的纯蓝光强度 $L_b(i-0.5, j-0.5)$ ($= L_b(I', J')$) 中估计第 (i, j) 像素的正确图像信号。计算电路 24 通过对中心位于位置 (I', J') ($= (i-0.5, j-0.5)$) 的输出图像的所有像素执行如上所述的过程,估计输出图像。

[0887] 现在参照如图 51 所示的流程图,描述图 50 中的步骤 S215 中为了计算位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 而执行的过程。

[0888] 首先,在步骤 S251 中,计算电路 24 确定在图 49 中的步骤 S204 中为感兴趣位置 (I', J') 计算的方程 (46) 中的绿光强度的加权求和的分母的绝对值,即,方程 (48) 的绝对值是否大于等于阈值。阈值用于确定是否应该认为方程 (48) 的绝对值等于 0,并因此,应该执行异常管理过程。在计算电路 24 中阈值是事先设置的。可以可变地将阈值设置成用户指定的值。

[0889] 如果在步骤 S251 中确定对于感兴趣位置 (I', J') 方程 (48) 的绝对值大于等于阈值,即,如果对于感兴趣位置 (I', J') 方程 (48) 的绝对值没有小到可以认为它等于 0,过程转到步骤 S252。在步骤 S252 中,计算电路 24 选择正常过程和计算与绿光强度相联系的加权求和方程 (46)。也就是说,计算电路 24 将在步骤 S204 中计算的与绿光强度相联系的加权求和方程 (46) 的分子的值,即,方程 (47) 的值除以在步骤 S204 中计算的与绿光强度相联系的加权求和方程 (46) 的分母的值,即,方程 (48) 的值。因此,在步骤 S252 中,确定出感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 。

[0890] 另一方面,如果在步骤 S251 中确定对于感兴趣位置 (I', J') 方程 (48) 的绝对值小于阈值,即,方程 (48) 的绝对值等于或几乎等于 0,过程转到步骤 S253。在步骤 S253 中,计算电路 24 选择异常过程和执行它。也就是说,计算电路 24 通过计算方程 (56),确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿色的光强度 $L_g(I', J')$ 。

[0891] 现在参照如图 52 所示的流程图,描述图 50 中的步骤 S216 中为了计算感兴趣位置 (I', J') 上的纯红光强度 $L_r(I', J')$ 而执行的过程。

[0892] 首先,在步骤 S271 中,计算电路 24 确定在图 49 中的步骤 S206 中为感兴趣位置 (I', J') 计算的方程 (50) 中的红光强度的加权求和的分母的绝对值,即,方程 (53) 的绝对

值是否大于等于阈值。阈值用于确定是否应该认为方程 (53) 的绝对值等于 0, 并因此, 应该执行异常管理过程。在计算电路 24 中阈值是事先设置的。可以可变地将阈值设置成用户指定的值。注意, 该阈值可以等于也可以不等于在图 51 中的步骤 S251 使用的阈值。

[0893] 如果在步骤 S271 中确定对于感兴趣位置 (I', J') 方程 (53) 的绝对值大于或等于阈值, 即, 如果对于感兴趣位置 (I', J') 方程 (53) 的绝对值没有小到可以认为它等于 0, 过程转到步骤 S272。在步骤 S272 中, 计算电路 24 选择正常过程和计算与红光强度相联系的加权求和方程 (50)。也就是说, 计算电路 24 将在步骤 S206 中计算的与红光强度相联系的加权求和方程 (50) 的分子的值, 即, 方程 (52) 的值除以在步骤 S206 中计算的与红光强度相联系的加权求和方程 (50) 的分母的值, 即, 方程 (53) 的值。因此, 在步骤 S272 中, 确定出感兴趣位置 (I', J') 上的纯红光强度 $L_r(I', J')$ 。

[0894] 另一方面, 如果在步骤 S271 中确定对于感兴趣位置 (I', J') 方程 (53) 的绝对值小于阈值, 即, 方程 (53) 的绝对值等于或几乎等于 0, 过程转到步骤 S273。在步骤 S273 中, 计算电路 24 选择异常过程和执行它。也就是说, 计算电路 24 通过计算方程 (58), 确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯红色的光强度 $L_r(I', J')$ 。

[0895] 现在参照如图 53 所示的流程图, 描述图 50 中的步骤 S217 中为了计算感兴趣位置 (I', J') 上的纯蓝光强度 $L_g(I', J')$ 而执行的过程。

[0896] 首先, 在步骤 S291 中, 计算电路 24 确定在图 49 中的步骤 S208 中为感兴趣位置 (I', J') 计算的方程 (51) 中的蓝光强度的加权求和的分母的绝对值, 即, 方程 (55) 的绝对值是否大于或等于阈值。阈值用于确定是否应该认为方程 (55) 的绝对值等于 0, 并因此, 应该执行异常管理过程。在计算电路 24 中阈值是事先设置的。可以可变地将阈值设置成用户指定的值。注意, 该阈值可以等于也可以不等于用在图 51 中的步骤 S251 中的阈值或用在图 52 中的步骤 S72 中的阈值。

[0897] 如果在步骤 S291 中确定对于感兴趣位置 (I', J') 方程 (55) 的绝对值大于或等于阈值, 即, 如果对于感兴趣位置 (I', J') 方程 (55) 的绝对值没有小到可以认为它等于 0, 过程转到步骤 S292。在步骤 S292 中, 计算电路 24 选择正常过程和计算与蓝光强度相联系的加权求和方程 (51)。也就是说, 计算电路 24 将在步骤 S208 中计算的与蓝光强度相联系的加权求和方程 (51) 的分子的值, 即, 方程 (54) 的值除以在步骤 S208 中计算的与蓝光强度相联系的加权求和方程 (51) 的分母的值, 即, 方程 (55) 的值。因此, 在步骤 S292 中, 确定出感兴趣位置 (I', J') 上的纯蓝光强度 $L_r(I', J')$ 。

[0898] 另一方面, 如果在步骤 S291 中确定对于感兴趣位置 (I', J') 方程 (55) 的绝对值小于阈值, 即, 方程 (55) 的绝对值等于或几乎等于 0, 过程转到步骤 S293。在步骤 S293 中, 计算电路 24 选择异常过程和执行它。也就是说, 计算电路 24 通过计算方程 (59), 确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯蓝色的光强度 $L_b(I', J')$ 。

[0899] 如上所述, 在第八实施例中, 通过将特性与低通滤波器的特性相似的三次函数用作取决于感兴趣位置 (I', J') 与感兴趣位置 (I', J') 附近的转换位置 (x, y) 之间的距离的权重计算加权求和, 确定出纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 、纯红光强度 $L_r(I', J')$ 和纯蓝光强度 $L_b(I', J')$, 从而确定非常接近理想图像的清晰图像。

[0900] 在第八实施例中, 对于感兴趣位置 (I', J') , 当利用转换参数 $(ak', bk', ck', dk', Tkx', Tky')$ 将位置 $(ig-0.5, jg-0.5)$ 转换到参考坐标系时, 如果像

素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的一个或多个转换位置 (x, y) 落在由 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 定义的范围内,那么,按照与绿光强度相联系的加权求和方程 (46) 计算转换位置 (x, y) 位于感兴趣位置 (I', J') 附近的上述范围内的那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的加权和,并且,将结果用作纯绿光强度 $Lg(I', J')$ (正常过程)。

[0901] 但是,如果为感兴趣位置 (I', J') 计算的与绿光强度相联系的加权求和方程 (46) 的分母的绝对值即方程 (48) 中的值小于可以认为基本上等于 0 的预定小阈值,加权求和方程 (46) 的解变成不稳定的。在这样的情况下,按照加权求和方程 (56) 计算转换位置 (x, y) 落在感兴趣位置 (I', J') 附近的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 和转换位置 (x, y) 落在与感兴趣像素相邻的像素附近的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的加权和,并且,将结果用作纯绿光强度 $Lg(I', J')$ (异常过程)。

[0902] 纯红光强度 $Lr(I', J')$ 和纯蓝光强度 $Lb(I', J')$ 以相似的方式确定。

[0903] 因此,可以获得基本上不包括噪声的好输出图像。

[0904] 下面从另一个角度进一步描述正常过程和异常过程。

[0905] 例如,对于绿光强度,在如上所述的正常过程中,利用转换位置 (x, y) 落在感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 附近内的捕获图像的像素的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 计算加权和。另一方面,在异常过程中,利用转换位置 (x, y) 落在感兴趣像素的感兴趣位置 (I', J') 附近内的捕获图像的像素的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$,以及利用转换位置 (x, y) 落在与感兴趣像素相邻的像素的位置附近内的捕获图像的像素的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 计算加权和。

[0906] 也就是说,在异常过程中,不仅利用转换位置 (x, y) 落在感兴趣像素的位置 (I', J') 附近内的捕获图像的像素的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$,而且利用转换位置 (x, y) 落在与感兴趣像素相邻的像素附近内的捕获图像的像素的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 来计算加权和。

[0907] 也就是说,如上所述,在正常过程中,通过计算在感兴趣位置 (I', J') 附近的区域内,即,在由 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 定义的区域内观测的捕获图像的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的加权和,确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 。与此不同,在异常过程中,通过计算在比用在正常过程的附近区域大的感兴趣位置 (I', J') 附近的区域内,即,更具体地说,在由 $I' - 3 \leq x < I' + 3$ 和 $J' - 3 \leq y < J' + 3$ 定义的区域内观测的捕获图像的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$ 的加权和,确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 。

[0908] 换句话说,当确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 时,感兴趣位置 (I', J') 附近的区域由 $I' - 3 \leq x < I' + 3$ 和 $J' - 3 \leq y < J' + 3$ 定义。在正常过程中,通过计算对于在上面定义的附近区域内观测到的,但在由 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 定义的区域之外的那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$,将权重设置成 0 的加权求和方程 (46),确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 。另一方面,在异常过程中,根据对于在上面定义的附近区域内观测到的,但在由 $I' - 2 \leq x < I' + 2$ 和 $J' - 2 \leq y < J' + 2$ 定义的区域之外的那些像素值 $Gobs(k, ig, jg)$,即,对于在与感兴趣像素相邻的像素的附近观测到的像素值 $Gobs(k, ig, jg)$,不是将权重设置成 0,而是设置成其原点取在那个相邻像素的位置上的三次函数 $Cubic(z)$ 给出的值的方程 (56),确定感兴趣位置 (I', J') 上的纯绿光强度 $Lg(I', J')$ 。

[0909] 也就是说,当通过计算加权和确定纯绿光强度 $L_g(I', J')$ 时,取决于在正常过程中还是在异常过程中进行计算,不同地设置权重(设置成第一权重或第二权重)。

[0910] 尽管在第八实施例中,具有方程(39)的形式的三次函数 $Cubic(z)$ 用于定义取决于观测 $Gobs(k, ig, jg)$ 的感兴趣位置 (I', J') 和附近位置 (x, y) 之间的距离 z 的权重,但也可以利用在特性方面用作低通滤波器的其它任意函数,譬如, $\sin(z)/z$ 来定义权重。

[0911] 在如上所述的实施例中,第一捕获图像用作参考图像,和第二到第 N 捕获图像用作目标图像。取代第一捕获图像,第二到第 N 捕获图像的任何一个都可以用作参考图像。

[0912] 图 54 示出了相继 N 次捕获操作(高快门速度)获得的 N 个图像。在如图 54 所示的这个具体例子中, $N = 8$ 。

[0913] 第一到第八捕获图像 401_1 到 401_8 (第 k 图像 401_k) 在时间上是依次捕获的,并且,由于照相机摇晃,随着时间的流逝向右上方移动。

[0914] 图 55 示出了与如图 54 所示的那些相似的 8 个捕获图像 401_1 到 401_8 。

[0915] 在信号处理器 7 通过将捕获图像 401_1 到 401_8 的第一个用作参考图像和将第二到第八个图像用作目标图像估计输出图像的情况下,像在定义在用作参考图像的第一图像 401_1 上的坐标系中形成的图像那样获取输出图像。在图 55 中,第一图像 401_1 ,即输出图像用粗实线表示。

[0916] 图 55 中用粗实线表示的输出图像的区域包括区域 411,其位于右上角和用虚线表示其中第一到第八图像 401_1 到 401_8 组成的所有 8 个捕获图像都可以用在估计预期是纯的光强度(像素值)中的。在这个区域 411 中,由于利用由第一到第八图像 401_1 到 401_8 组成的所有 8 个捕获图像的数据进行像素值的估计,可以获得高的图像质量。

[0917] 但是,在图 55 中用粗实线表示的输出图像除了区域 411 之外的区域中,只有一些第一到第八图像 401_1 到 401_8 的数据可用在估计预期输出图像中。在这样的区域中,由于不能使用第一到第八图像 401_1 到 401_8 的所有数据,与区域 411 相比,就清晰度而言,图像质量变低了。如上所述,在由于照相机摇晃向右上方相继移动的一组捕获图像中,可用在估计输出图像中的数据量沿着相反方向,即,沿着与右上方相反的方向随位置而减少,并且,就清晰度而言,图像质量相对于区域 411 的质量降低了。

[0918] 在用作目标图像的第二到第八捕获图像 401_2 到 401_8 的数据当中,图 55 中粗实线所表示的输出图像外部的区域 412 中的数据不能用在估计输出图像中,因此,作为无用数据废除它。

[0919] 从上面的讨论中可以了解到,当将第一捕获图像用作参考图像估计输出图像时,如果由于照相机摇晃,沿着特定方向出现位移,那么,就清晰度而言,尽管在沿着与位移方向相同的方向远离输出图像中心的区域(例如,图 55 中的区域 411)中获得高图像质量,但在沿着与位移方向相反的方向远离输出图像中心的区域中出现图像质量变差。

[0920] 一般说来,当用户观看图像时,图像的中心部分最吸引用户的注意力。因此,就清晰度而言,最好在图像的中心部分具有高图像质量。

[0921] 鉴于上面情况,在估计输出图像时,信号处理器 7 可以将 N 个相继捕获图像的中间图像用作参考图像。更具体地说,在 N 个相继捕获图像当中,在捕获 N 个图像的时间的严格中心或严格中心附近捕获的图像用作参考图像(下文将这样的图像简称为中间图像),和其它捕获图像可以用作目标图像。

[0922] 例如,如图 56 所示,在 8 个捕获图像 401_1 到 401_8 当中,信号处理器 7 将粗实线所表示的第四捕获图像用作参考图像和估计输出图像。在这种情况下,当估计输出图像时,由第一到第八图像 401_1 到 401_8 组成的所有 8 个捕获图像的数据都可用在中心区 421 中。

[0923] 如上所述,在估计输出图像时,通过将在时间上依次捕获的多个图像的中间图像用作参考图像和将其它捕获图像用作目标图像,尤其在输出图像的中心区,就清晰度而言,可以获得质量更高的输出图像。

[0924] 在大多数情况下,当用户拍摄对象的照片时,照相机的角度被摆成使对象位于图像(帧)的中心。并且,如上所述,当用户观看图像时,图像的中心部分最吸引用户的注意力。从这个观点来看,可以认为中心部分比周边部分更清晰的图像是比就清晰度而言相反的图像更好的图像。

[0925] 鉴于上面情况,如图 56 所示,如果中间图像用作参考图像和其它图像用作目标图像,由第一到第八图像 401_1 到 401_8 组成的所有 8 个捕获图像的数据都可用在估计输出图像的中心部分,和尤其在输出图像的中心区,就清晰度而言,所得的输出图像比将第一捕获图像用作参考图像时获得的图像具有更高的质量。

[0926] 照相机摇晃的频率一般在 10 到 15Hz(赫兹)的范围内。因此,在图 56 中,对于以 1/50 秒或更高的总有效快门速度依次捕获的一组 8 个图像 401_1 到 401_8 ,由于照相机摇晃引起的位移可以用线性位移来近似。也就是说,可以将照相机摇晃当作以恒定速度沿着特定方向的运动。因此,对于在时间上依次捕获的一组 8 个图像 401_1 到 401_8 ,在正如上面参考图 56 所述的那样,输出图像估计中当补偿位移时,可以用线性位移近似在曝光时间内由于照相机摇晃引起的位移,其中将诸如第四捕获图像 401_4 或第五捕获图像 401_5 之类的中间图像被用作参考图像,以此,尤其在输出图像的中心部分,就清晰度而言,获得高图像质量的输出图像。

[0927] 在如图 4 所示的信号处理器 7 中,例如,当 8 个捕获图像 401_1 到 401_8 的第四捕获图像 401_4 用作参考图像时,将用作参考图像的第四捕获图像 401_4 供应给帧存储器 22-1 和存储在其中,并且,将第一到第三捕获图像 401_1 到 401_3 和第五到第八捕获图像 401_5 到 401_8 分别供应给帧存储器 22-2 到 22-8 和存储在其中。

[0928] 除了在输出图像的中心部分就清晰度而言的高图像质量之外,将中间图像用作参考图像供应了可以更容易地设计信号处理器 7 的进一步优点。

[0929] 这里,让我们假设如上所述,由于照相机摇晃引起的位移可以用线性位移来近似,和让我们还假设当在时间上依次捕获 8 捕获图像 401_5 到 401_8 时,例如出现 10 个像素的图像间位移。在这种情况下,如果第一捕获图像用作参考图像,那么,即使每个图像的曝光时间无限短,也会引起至多 70 个像素的位移。因此,不得不将信号处理器 7 设计成可以管理至多 70 个像素的位移。

[0930] 与此不同,当诸如捕获图像 401_1 到 401_8 的第四图像 401_4 之类的中间图像用作参考图像时,最大可能位移是 40 个像素。因此,信号处理器 7 处理至多 40 个像素的位移就足够了,因此,设计信号处理器 7 变得更加容易。

[0931] 与其它实施例一样,根据第八实施例的一系列处理步骤可以通过硬件或软件来执行。在根据第八实施例的一系列处理步骤例如通过软件执行的情况下,与其它实施例一样,数字照相机 1 可以通过执行像如图 41 所示的那个那样的计算机上的程序来实现。

[0932] 在本说明书中,可以以按照在程序中描述的顺序的时间序列或以并行或分立的方式执行在存储在存储媒体中的程序中描述的步骤。

[0933] 尽管在如上所述的实施例中,单面传感器用作数字照相机 1 的成像器件 1,和从从成像器件 4 输出的每个像素具有一种彩色信号的图像信号中生成每个像素具有三种颜色的图像,但成像器件 4 不限制于单面传感器。可以使用能够每个像素输出 n 种彩色信号的其它类型成像器件 4,并且,在正确图像估计过程中,可以从从成像器件 4 输出的图像信号中生成每个像素具有 $(n+1)$ 个或更多个彩色信号的图像。

[0934] 在如上所述的实施例中,第一捕获图像或中间捕获图像用作参考图像,和检测目标图像和参考图像之间的位置关系。可选地,取代第一捕获图像或中间捕获图像,任何捕获图像都可以用作参考图像,和可以检测目标图像和参考图像之间的位置关系。本发明不仅可以应用于数字静止照相机,而且可以应用于诸如数字摄像机之类的其它类型照相机。

[0935] 工业可应用性

[0936] 本发明可以获得更清晰的图像。

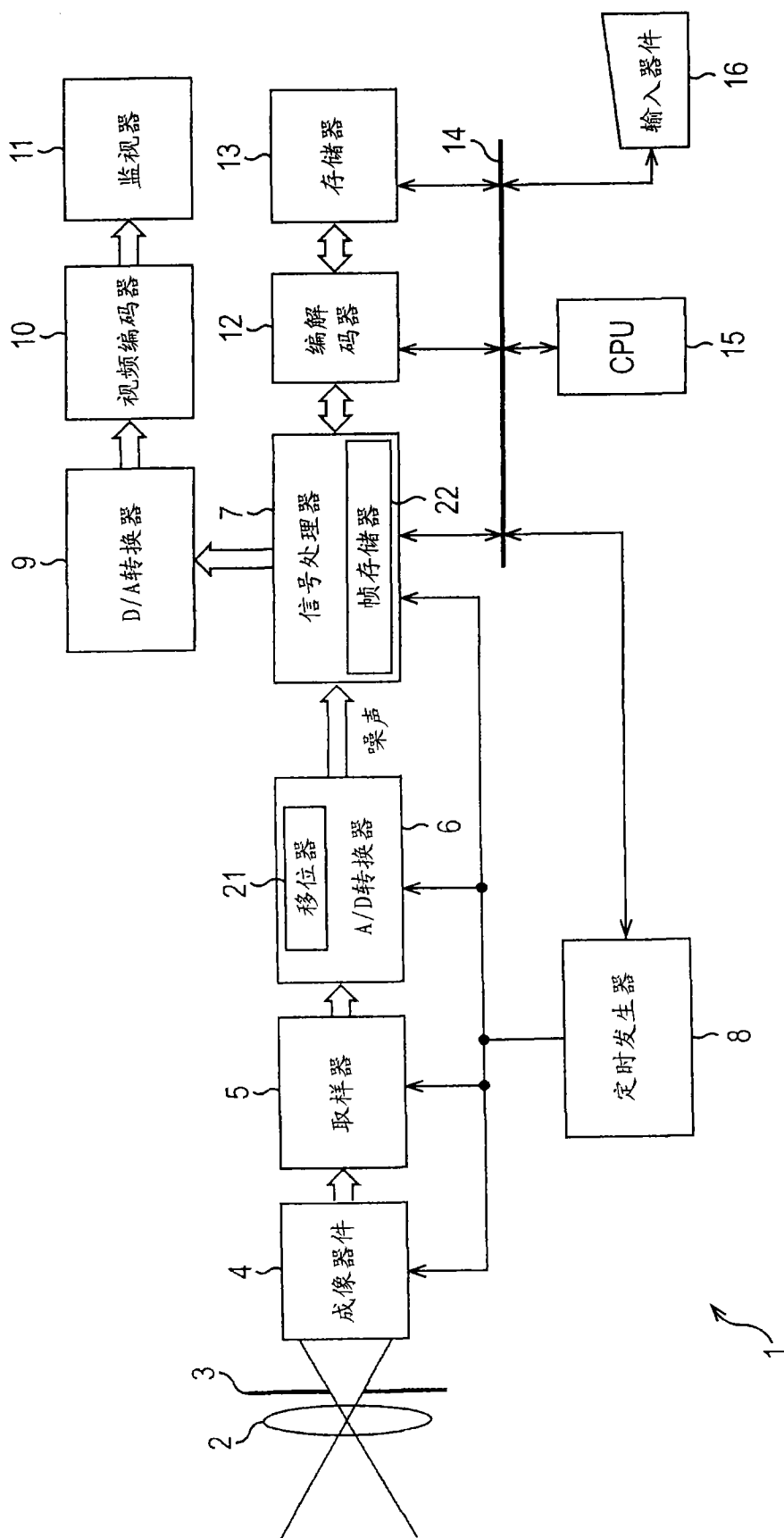


图 1

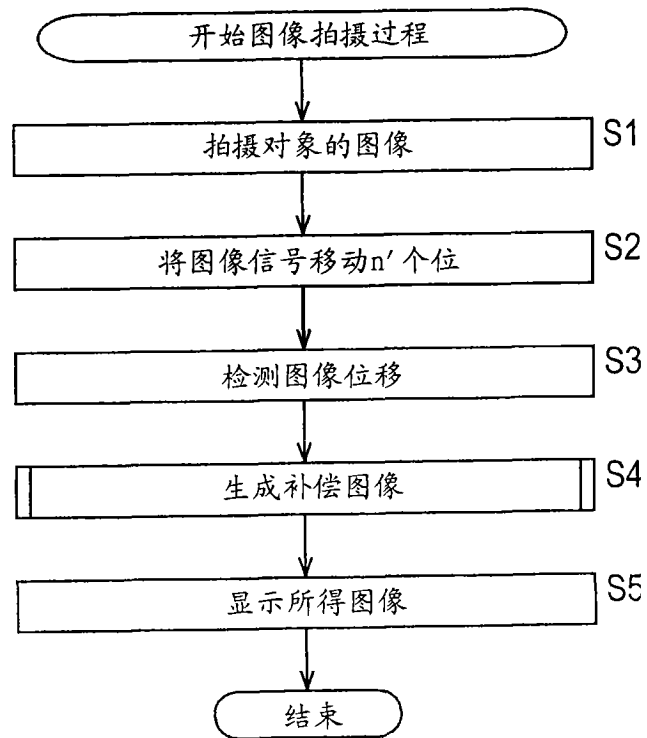


图 2

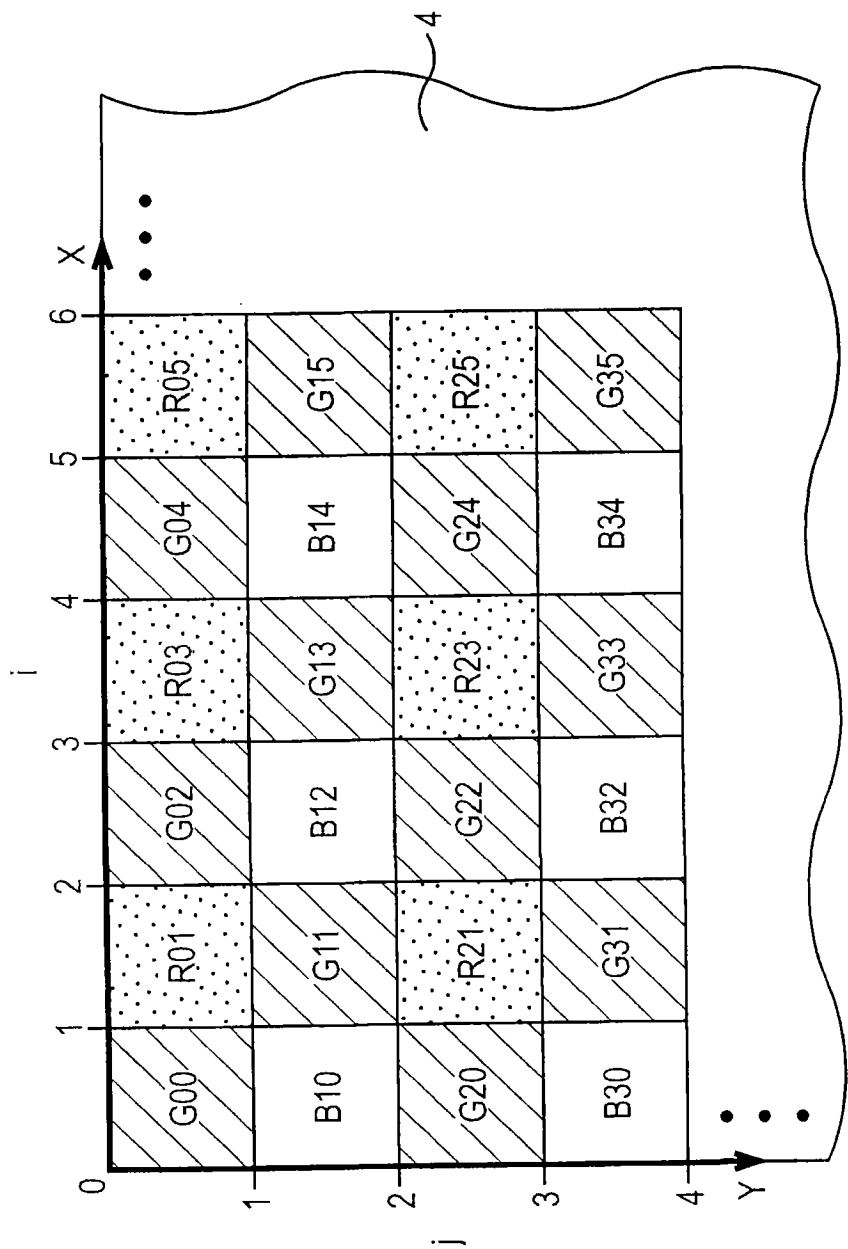


图 3

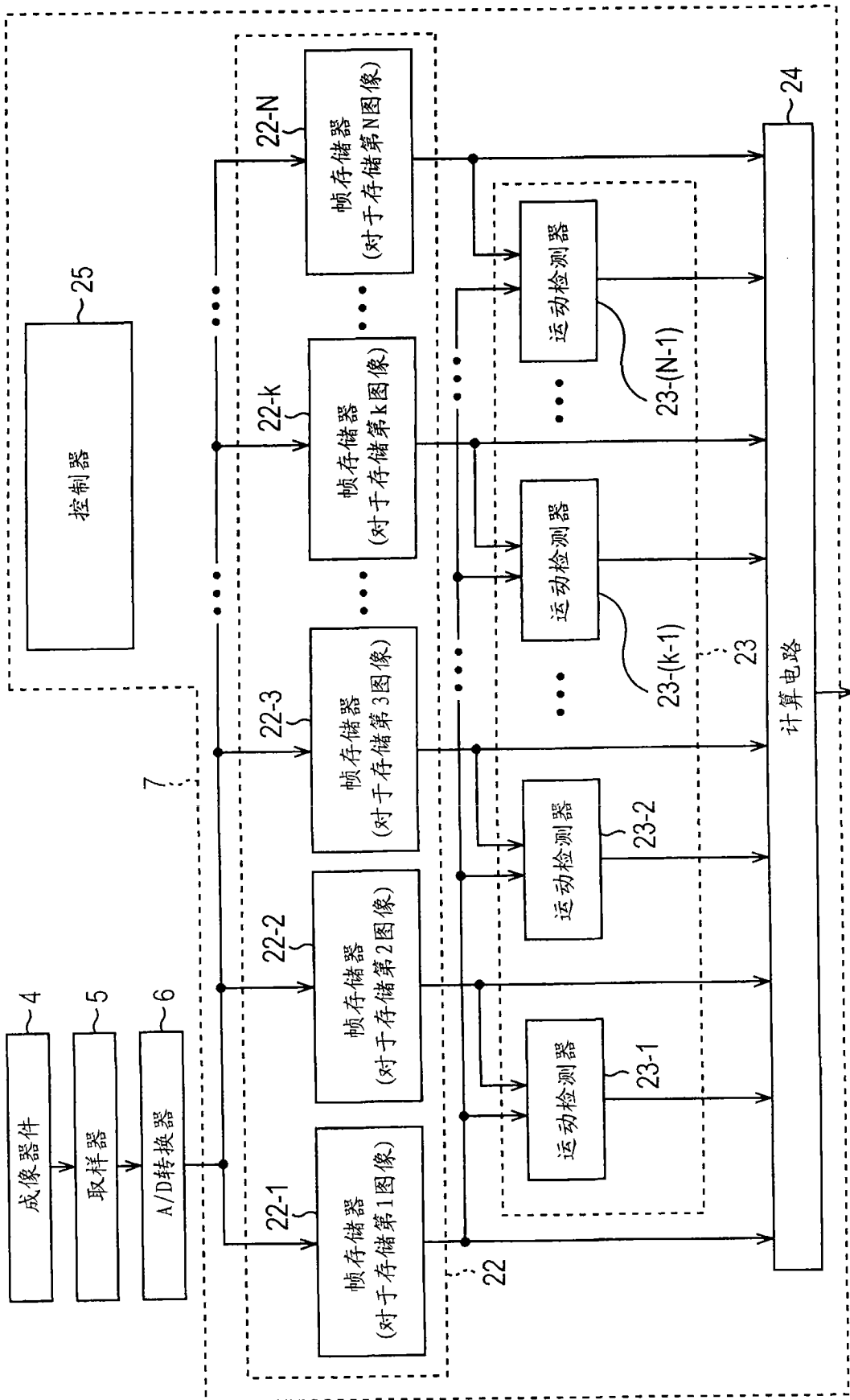


图 4

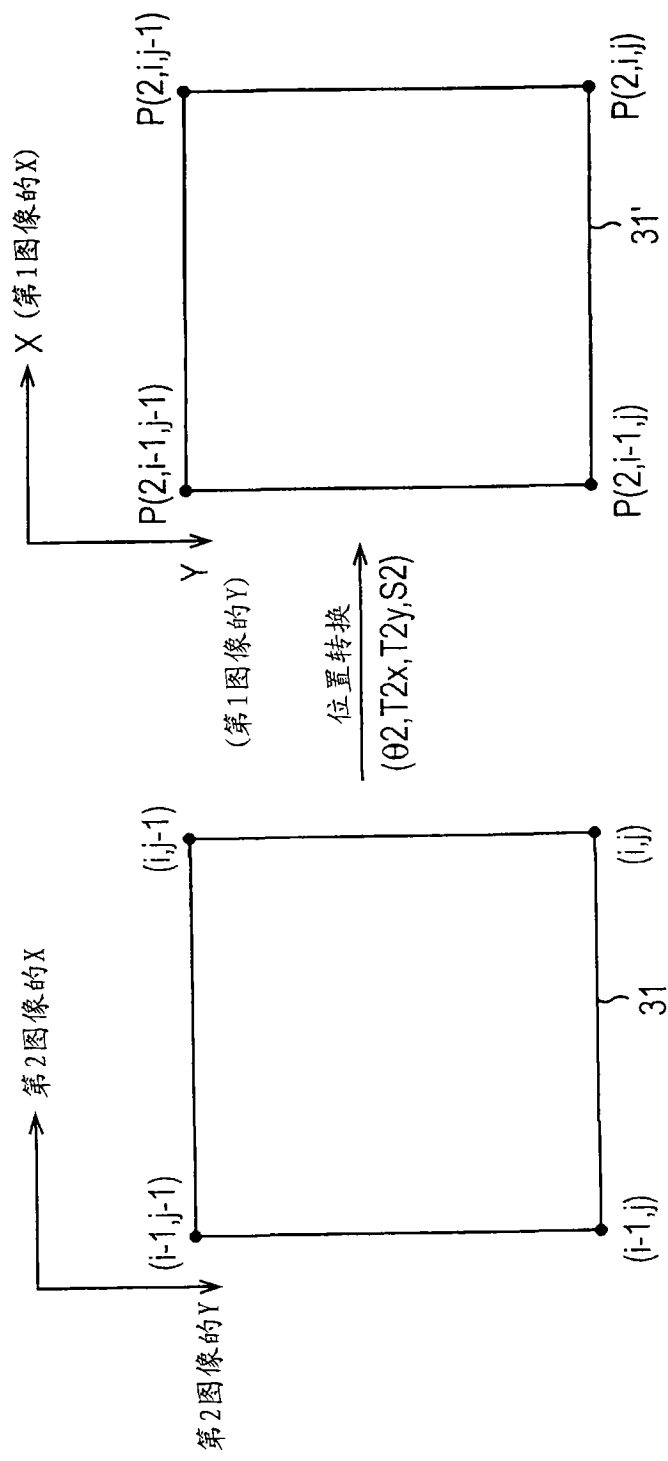


图 5

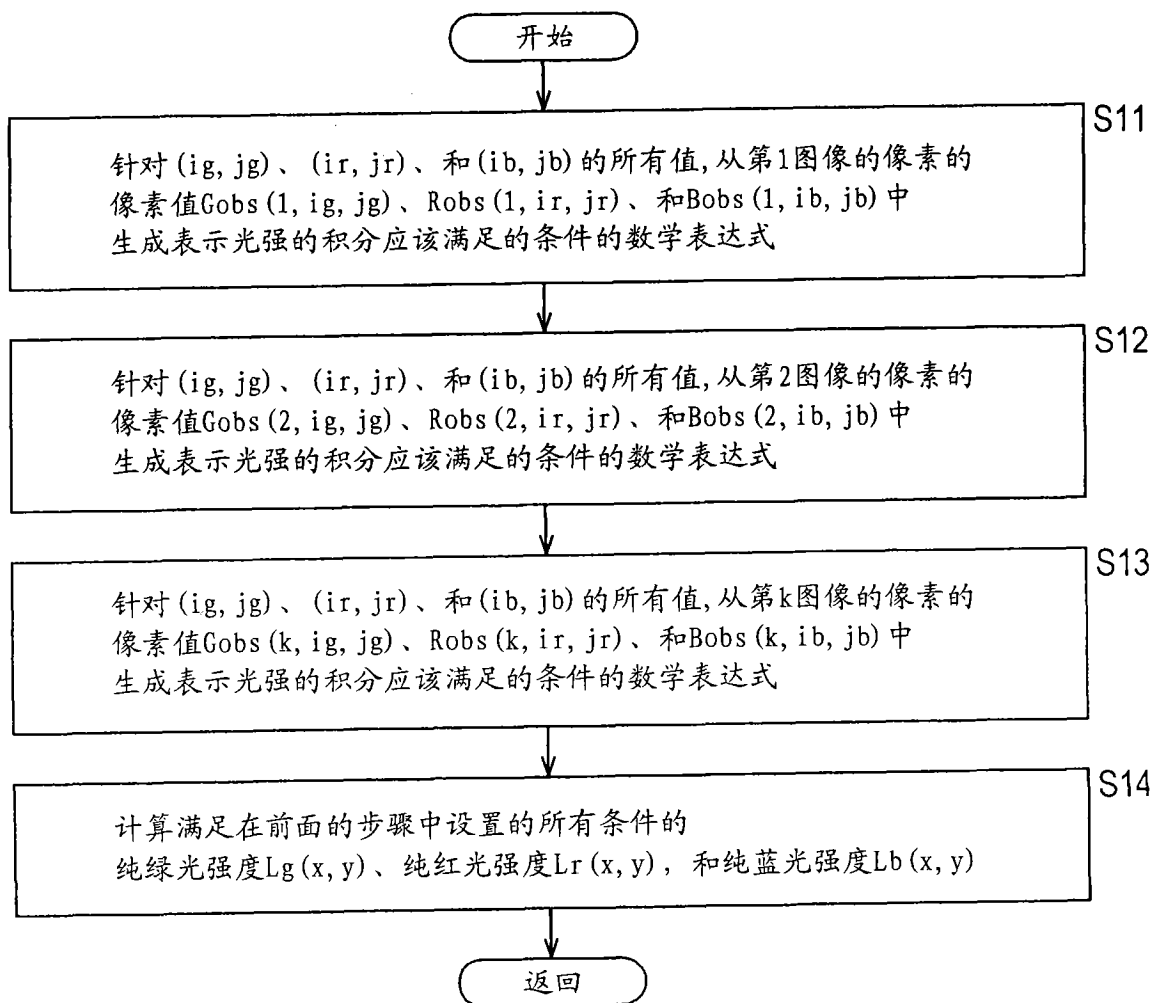


图 6

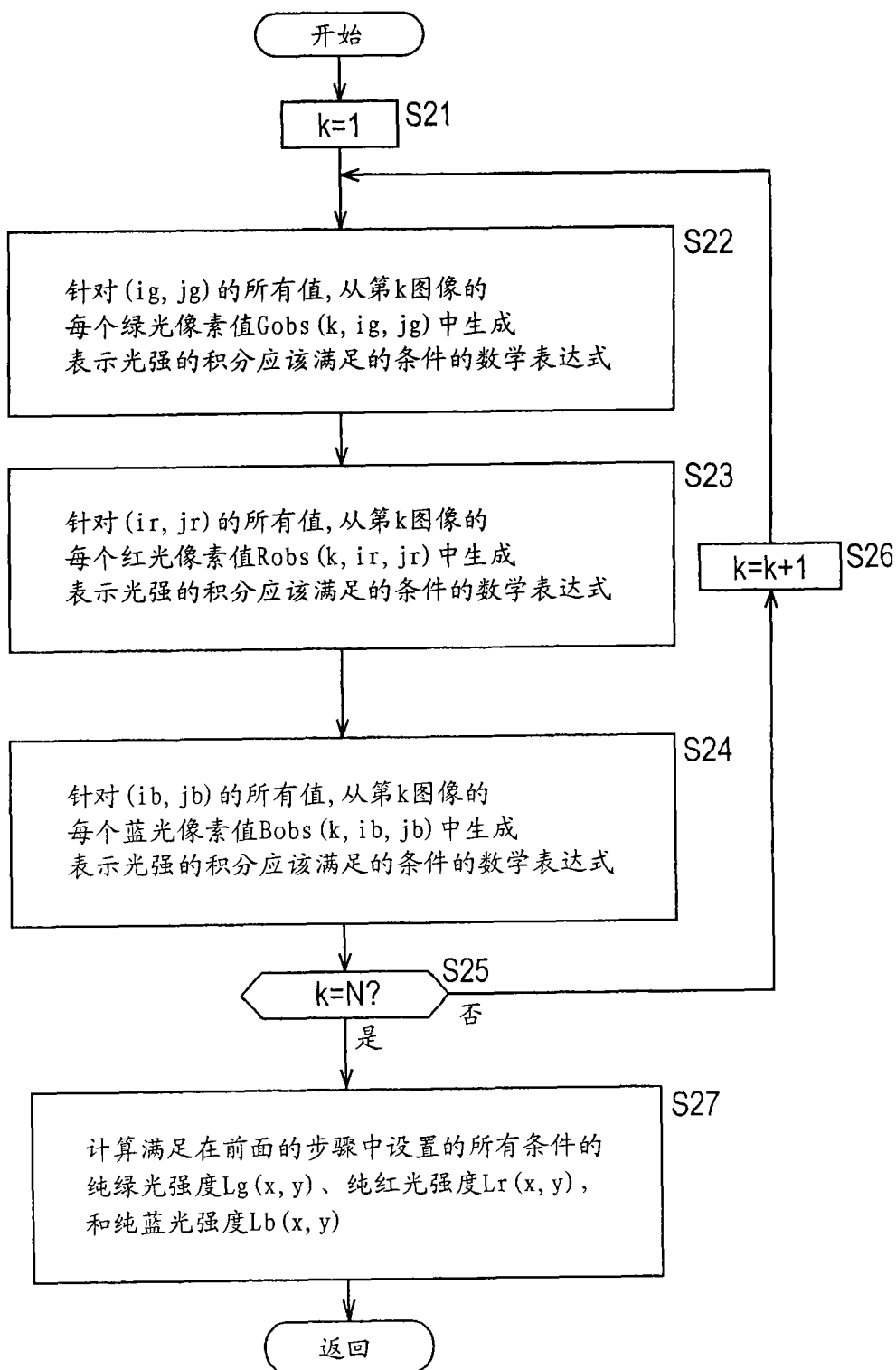


图 7

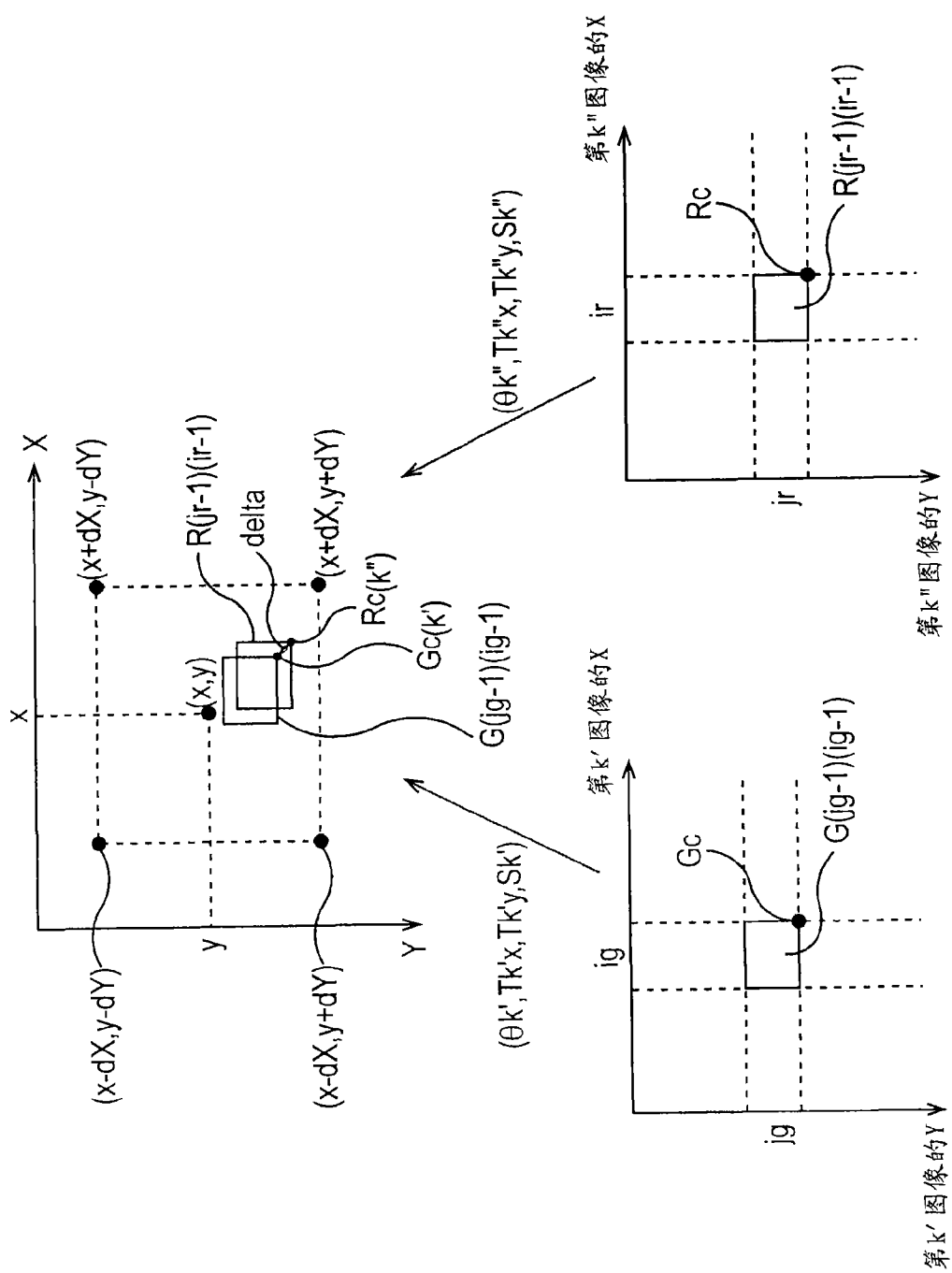


图 8

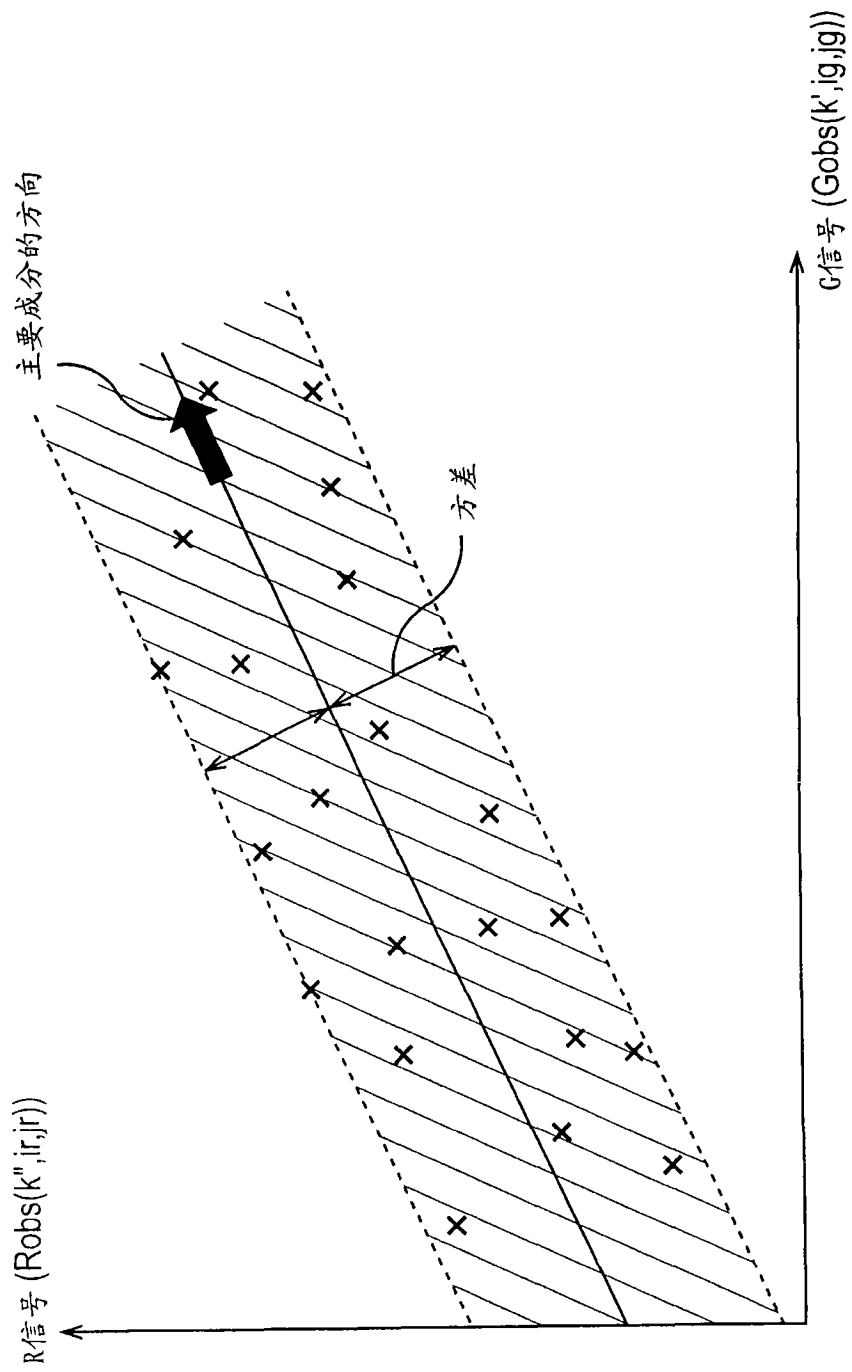


图 9

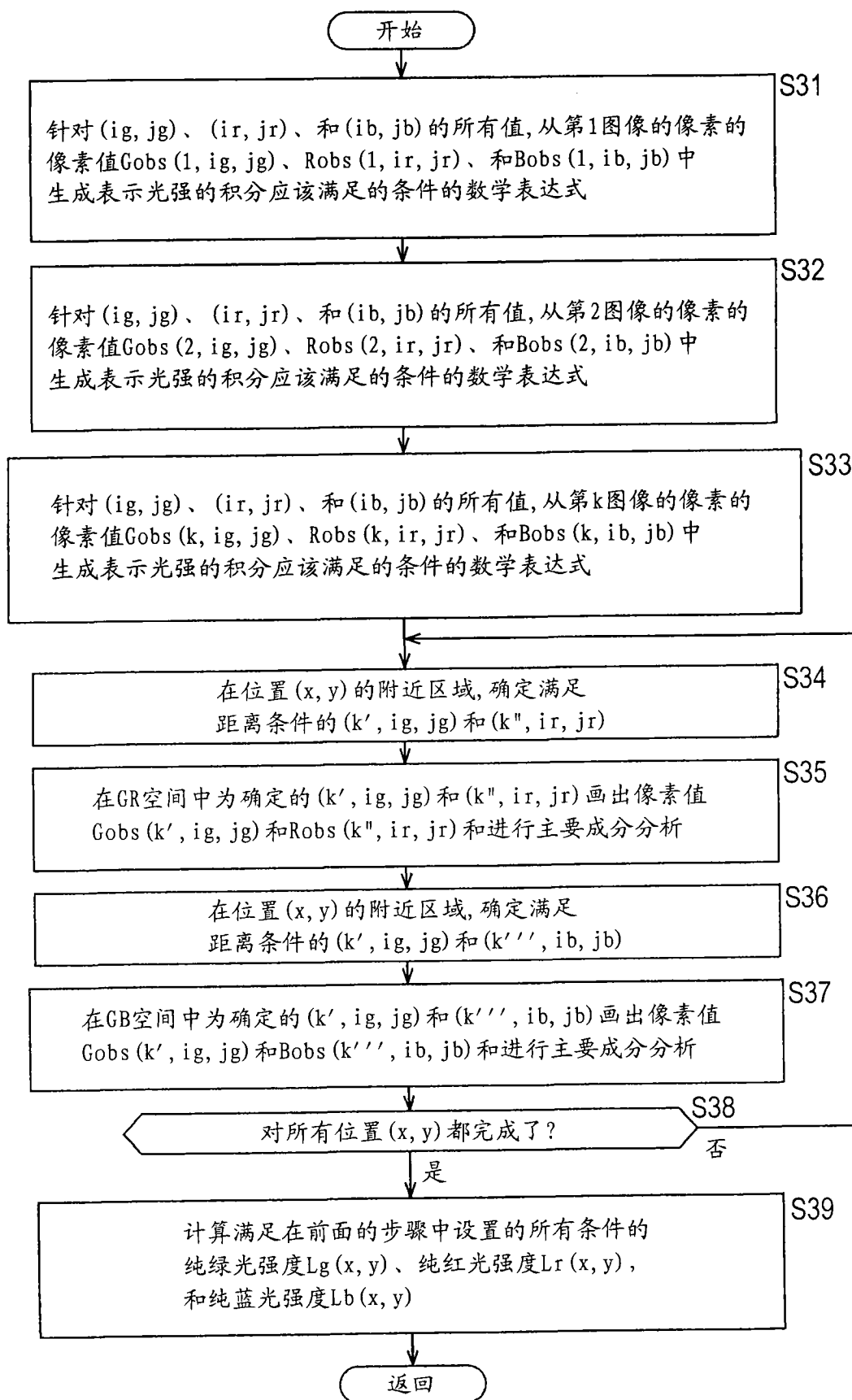


图 10

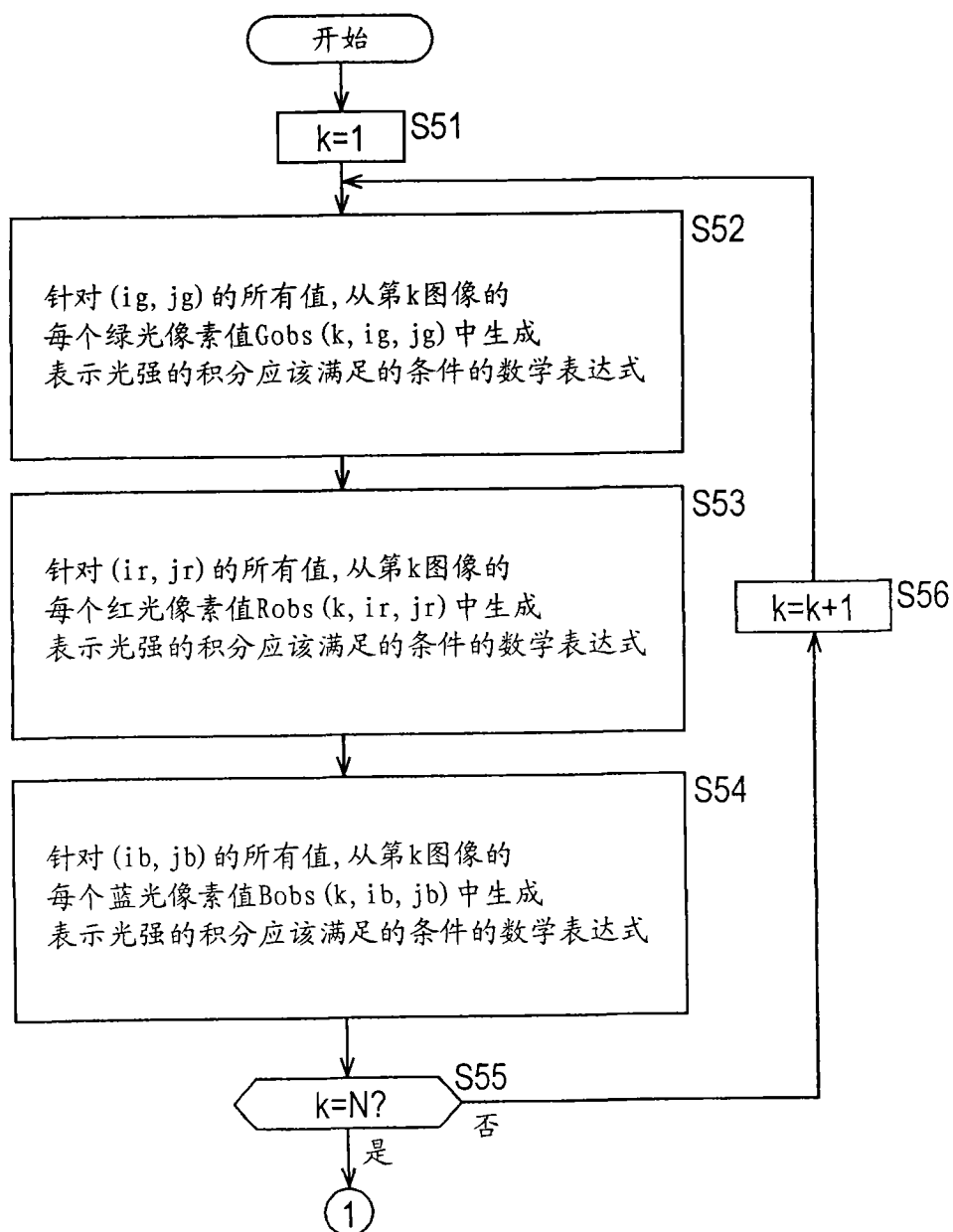


图 11

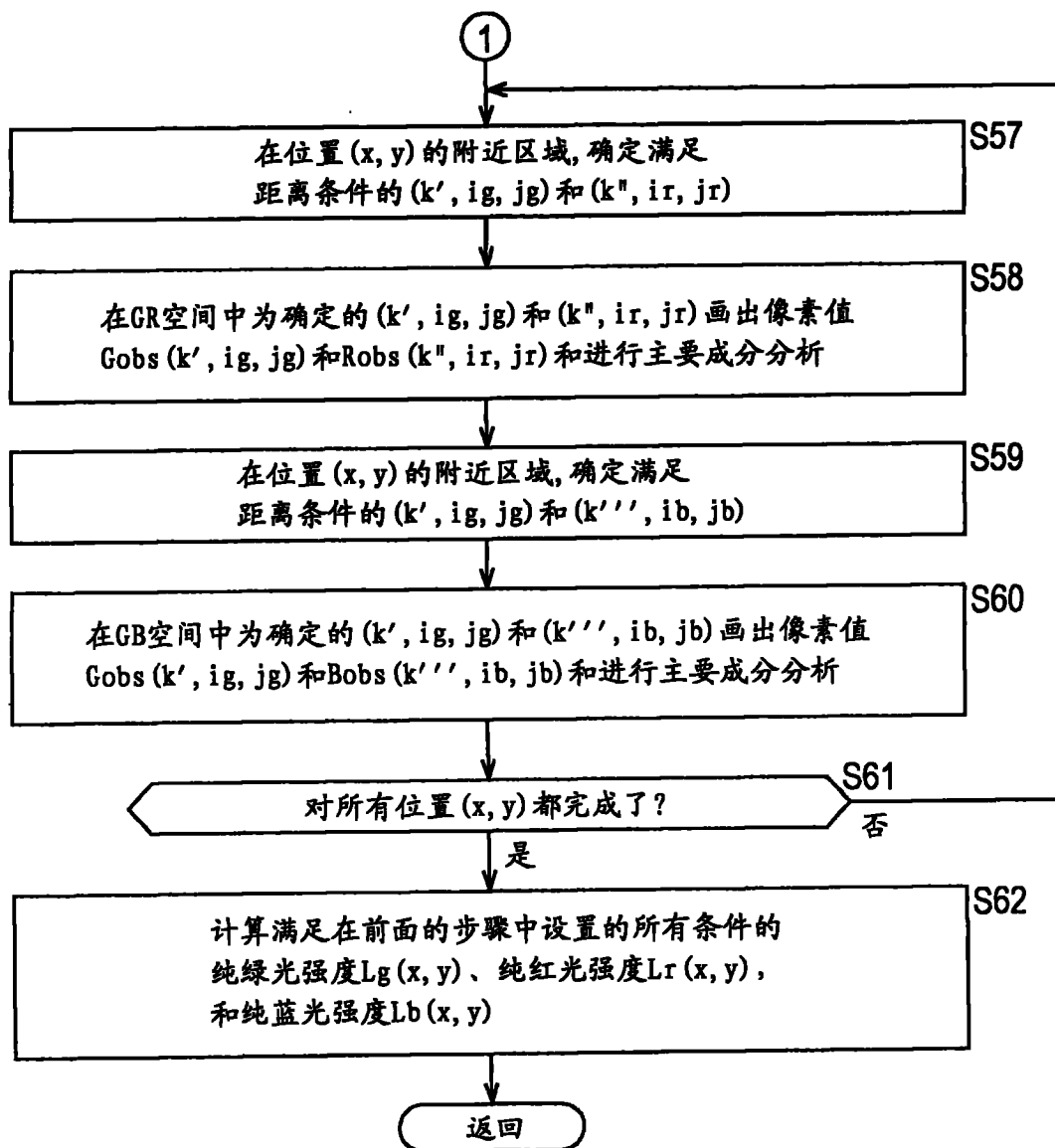


图 12

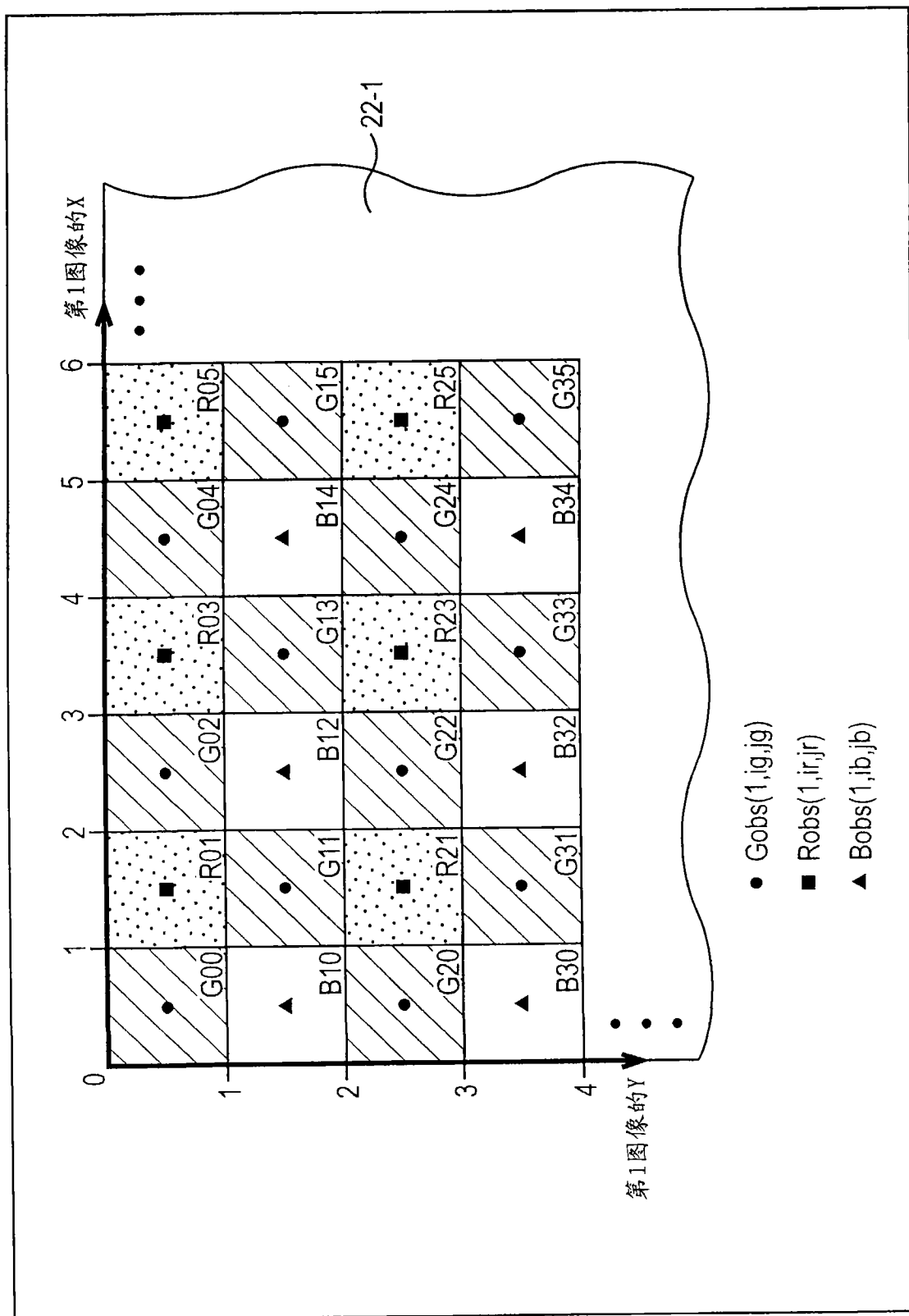


图 13

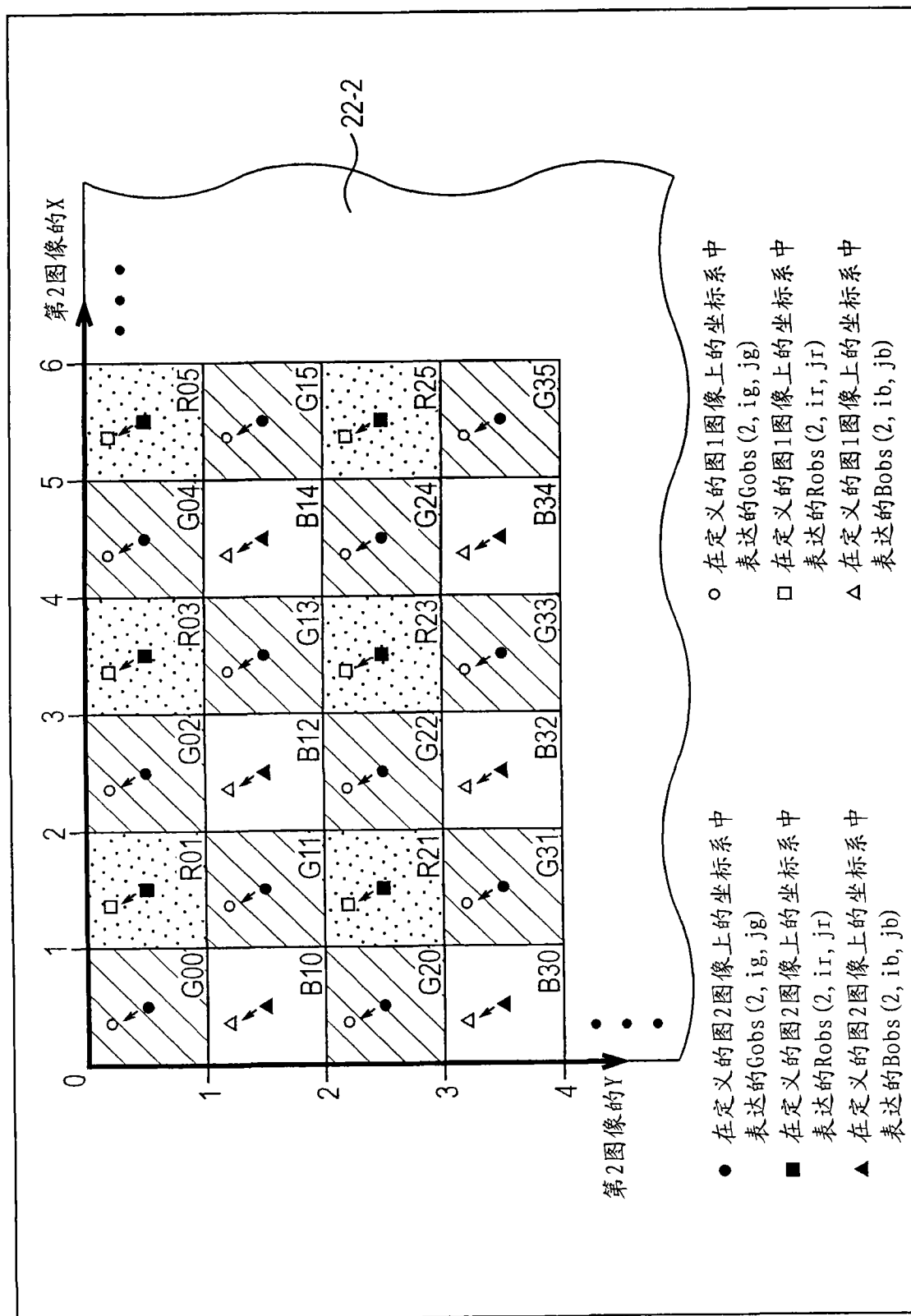


图 14

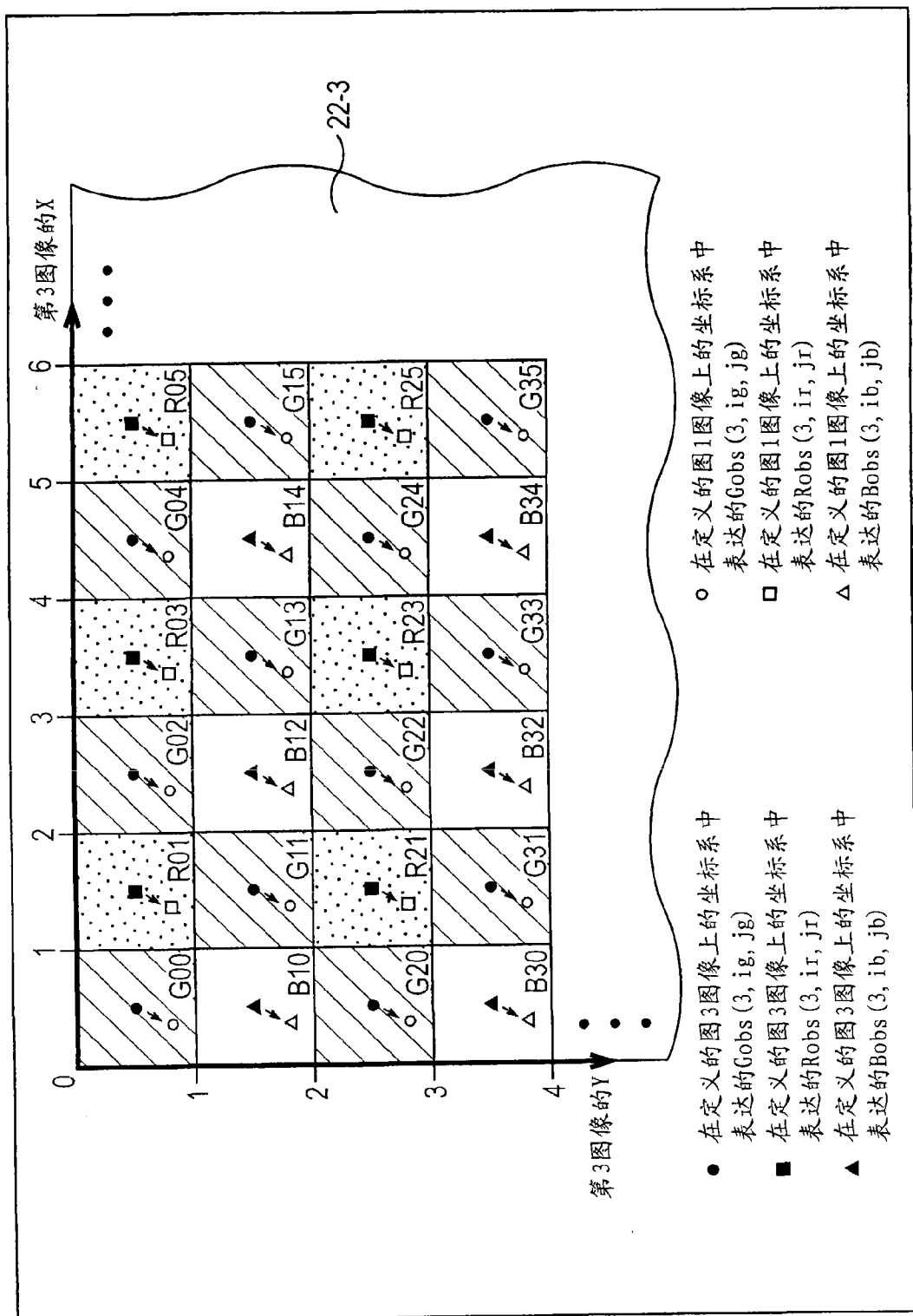


图 15

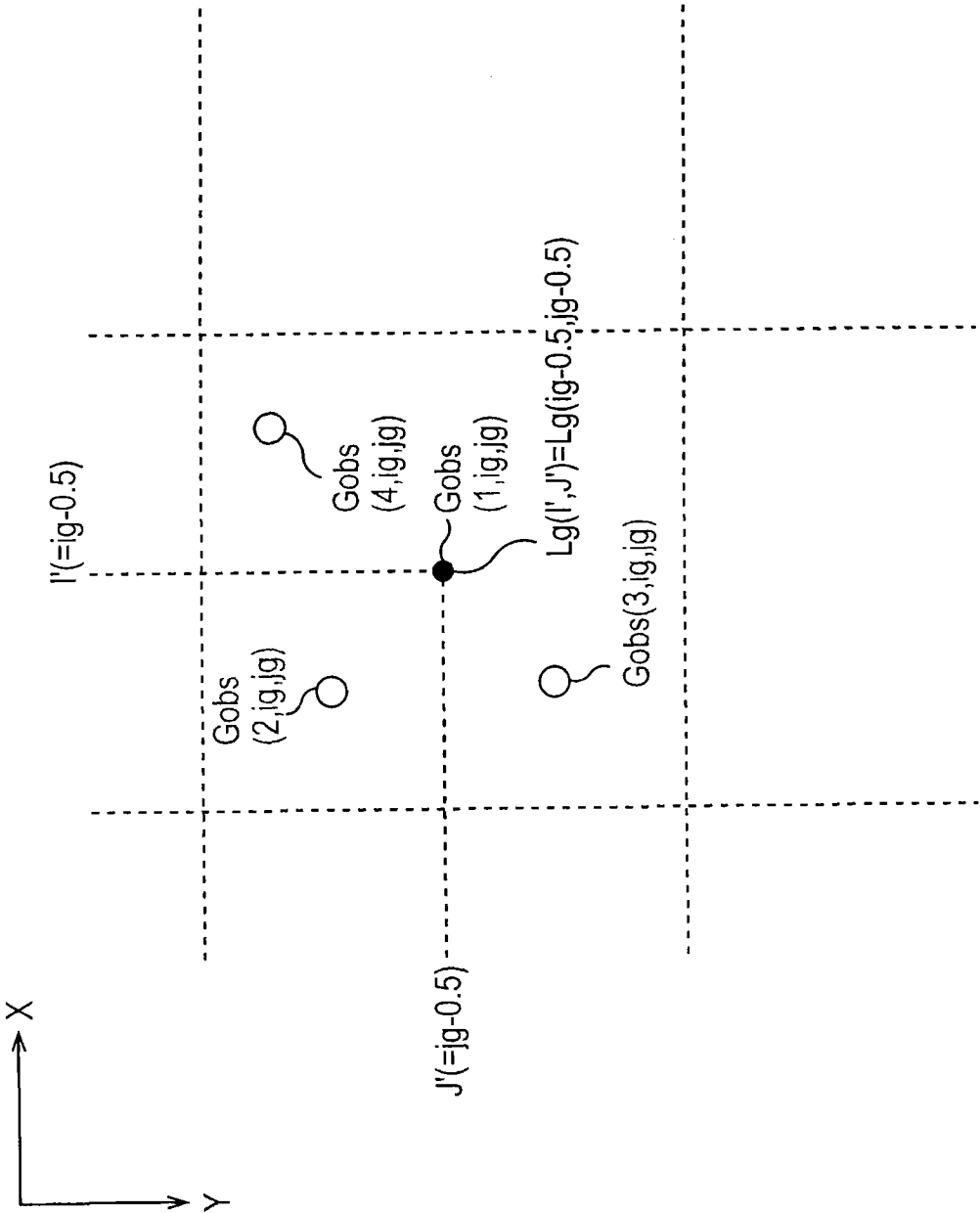


图 16

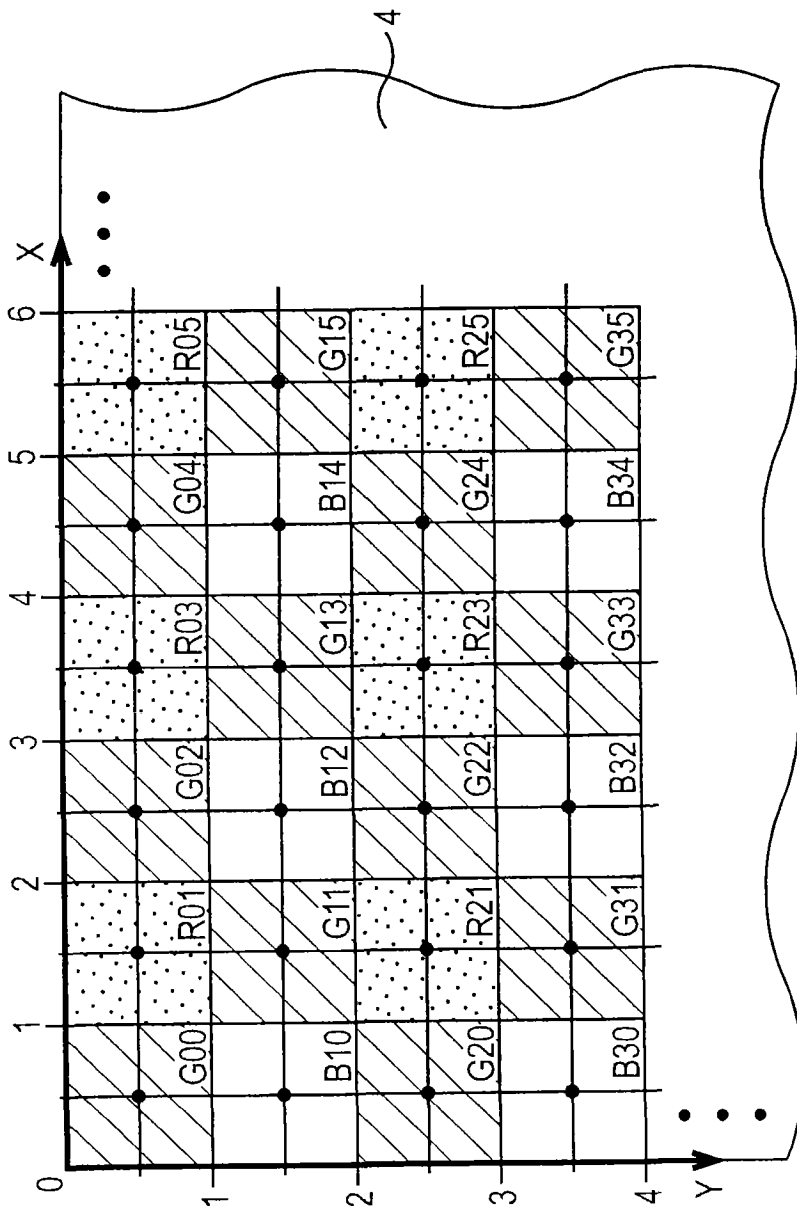


图 17

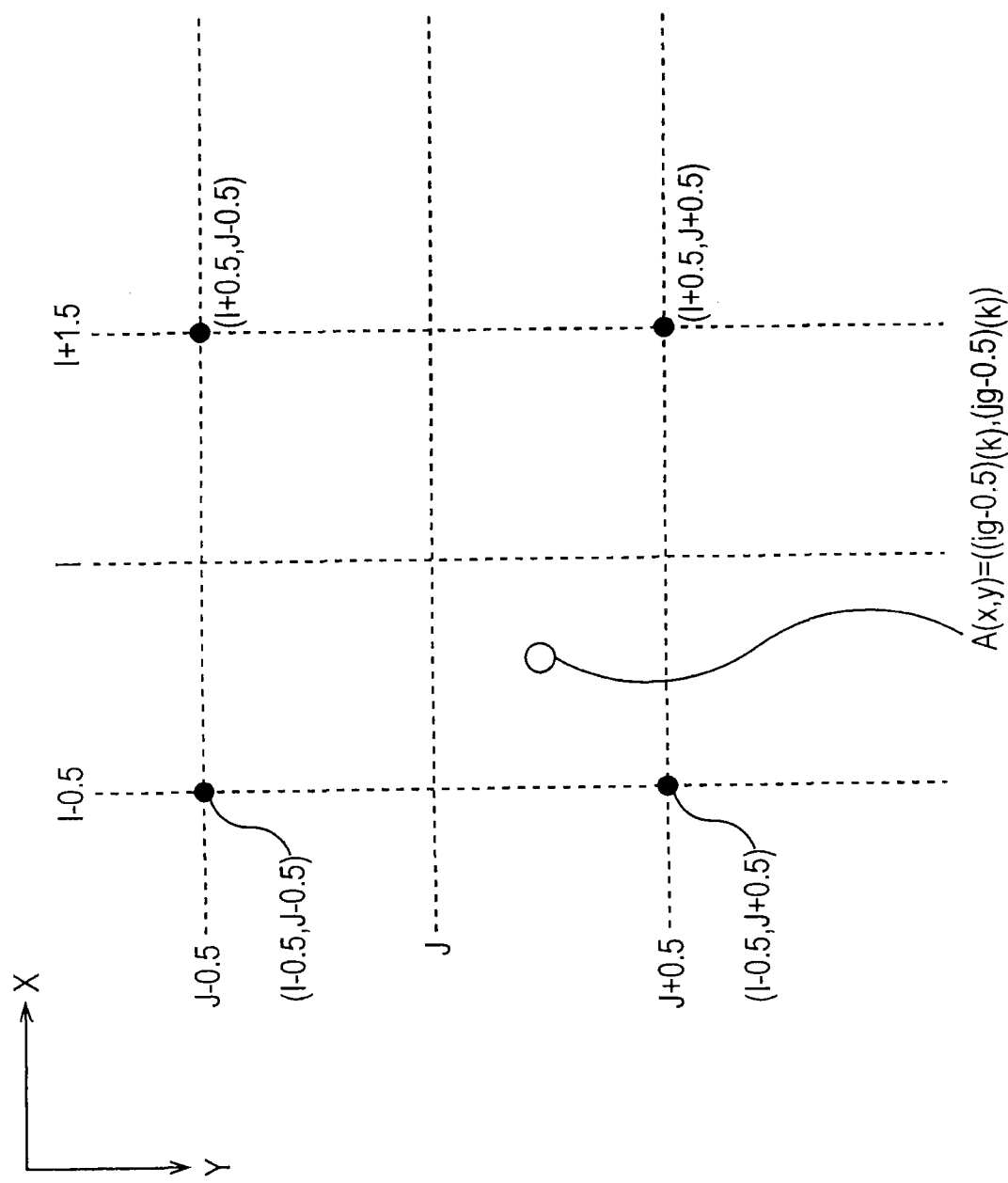


图 18

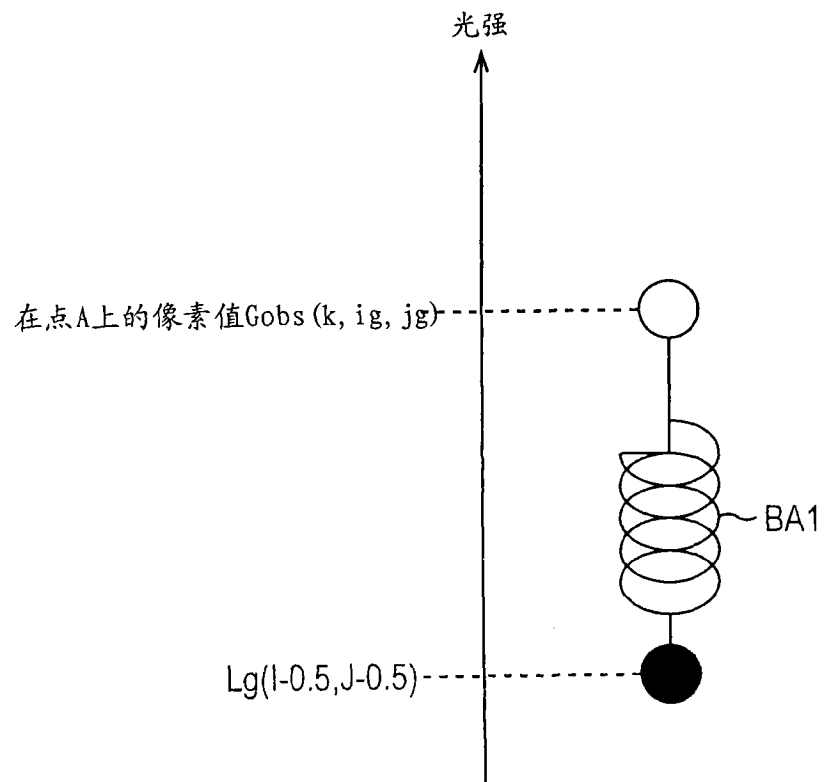


图 19

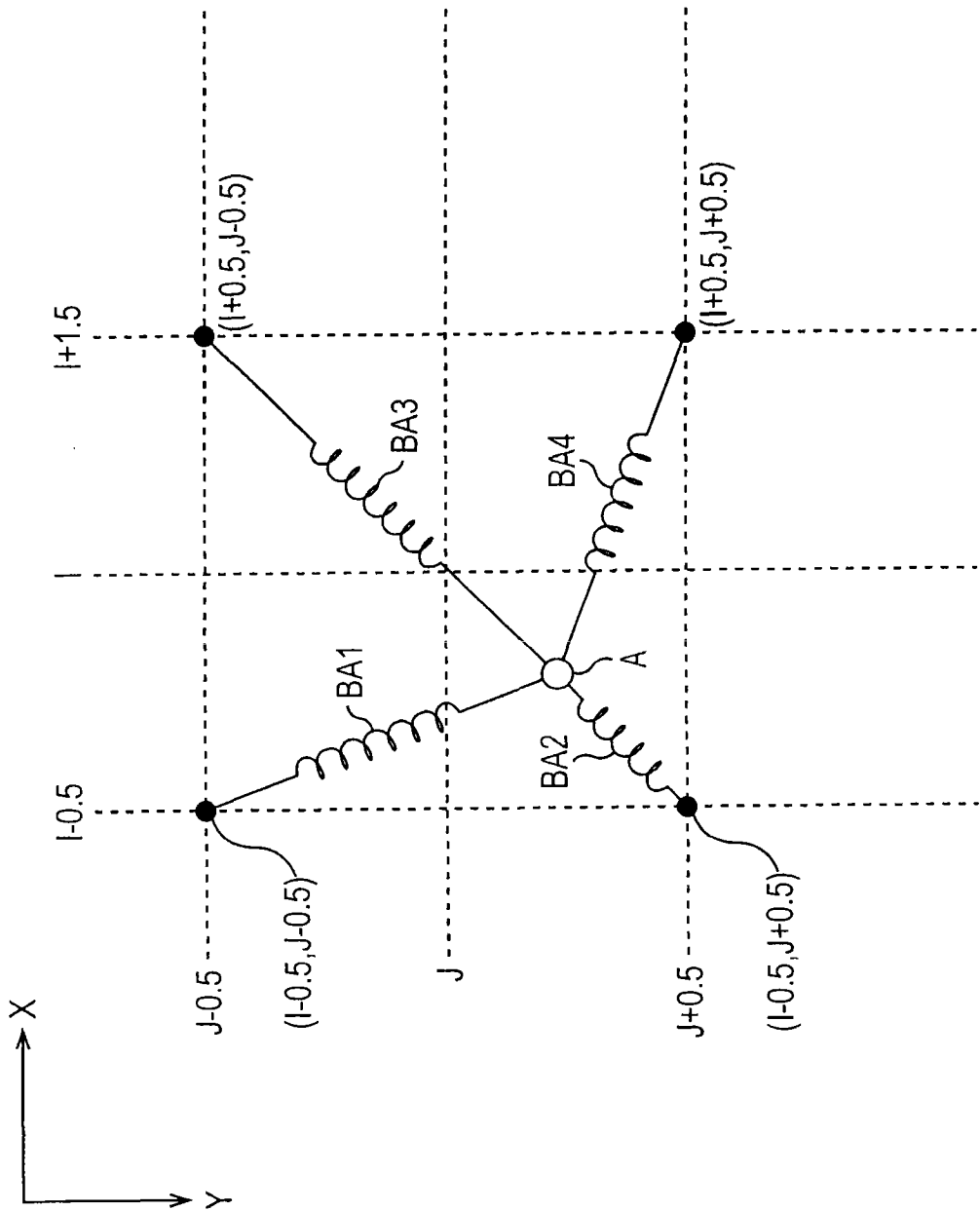


图 20

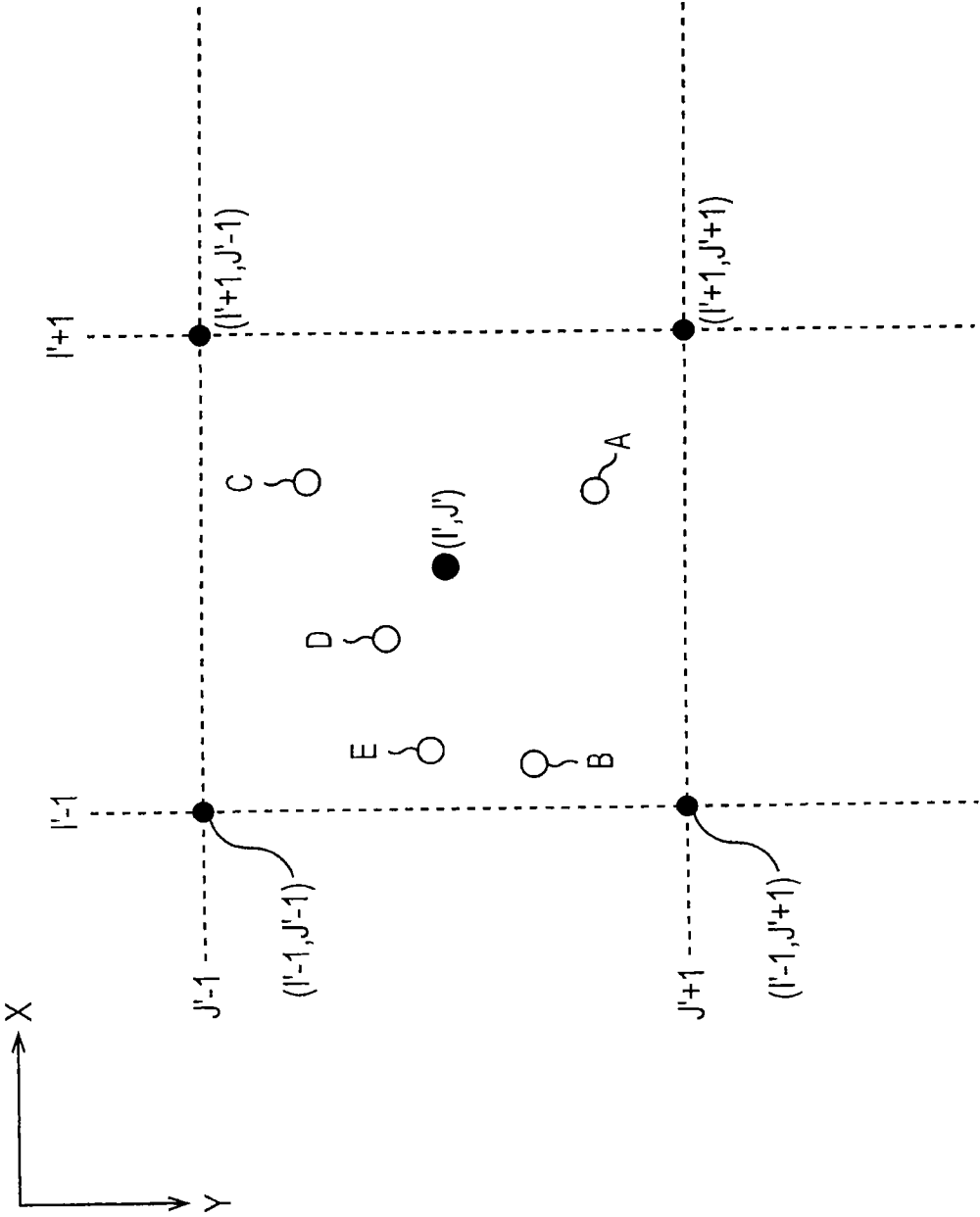


图 21

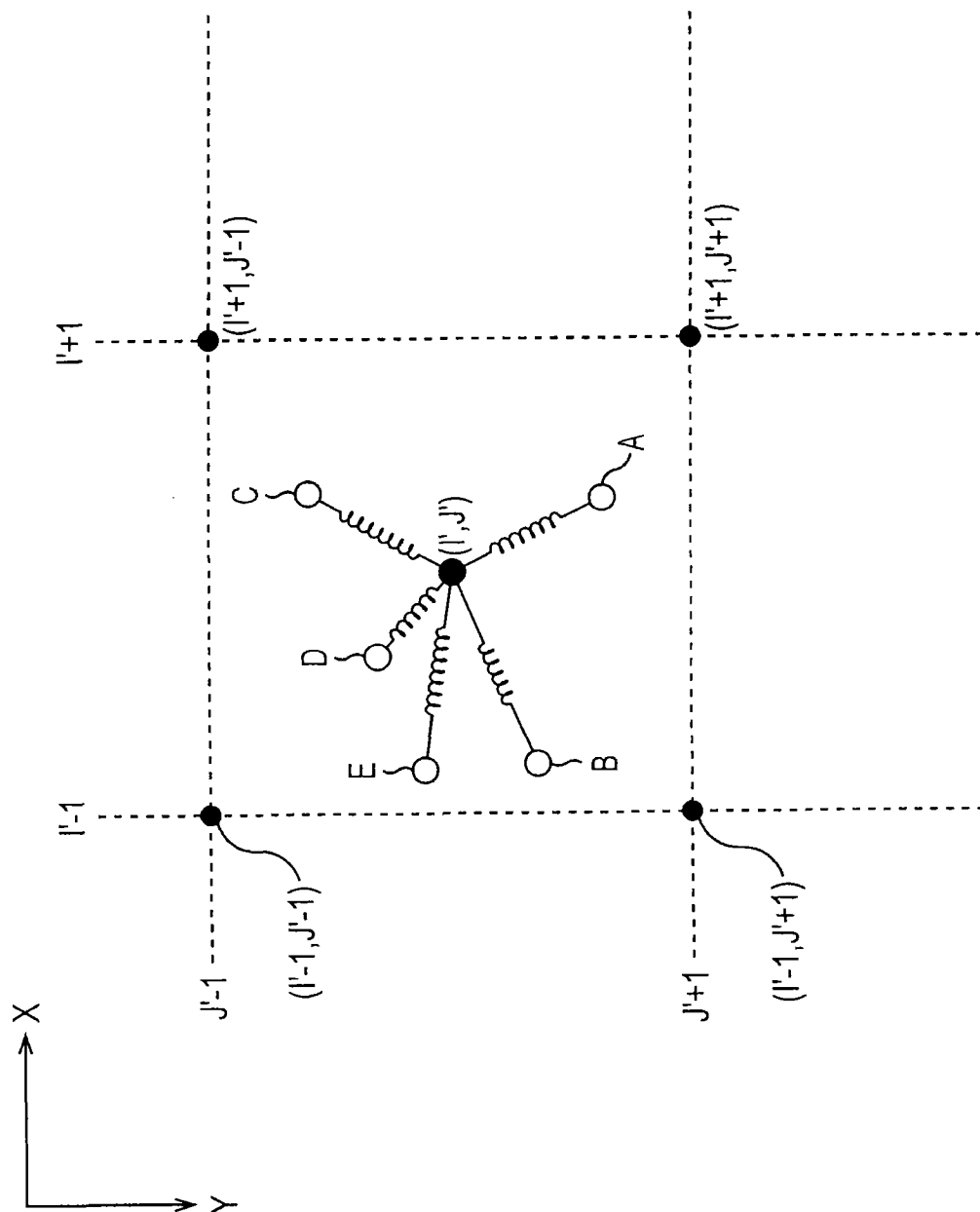


图 22

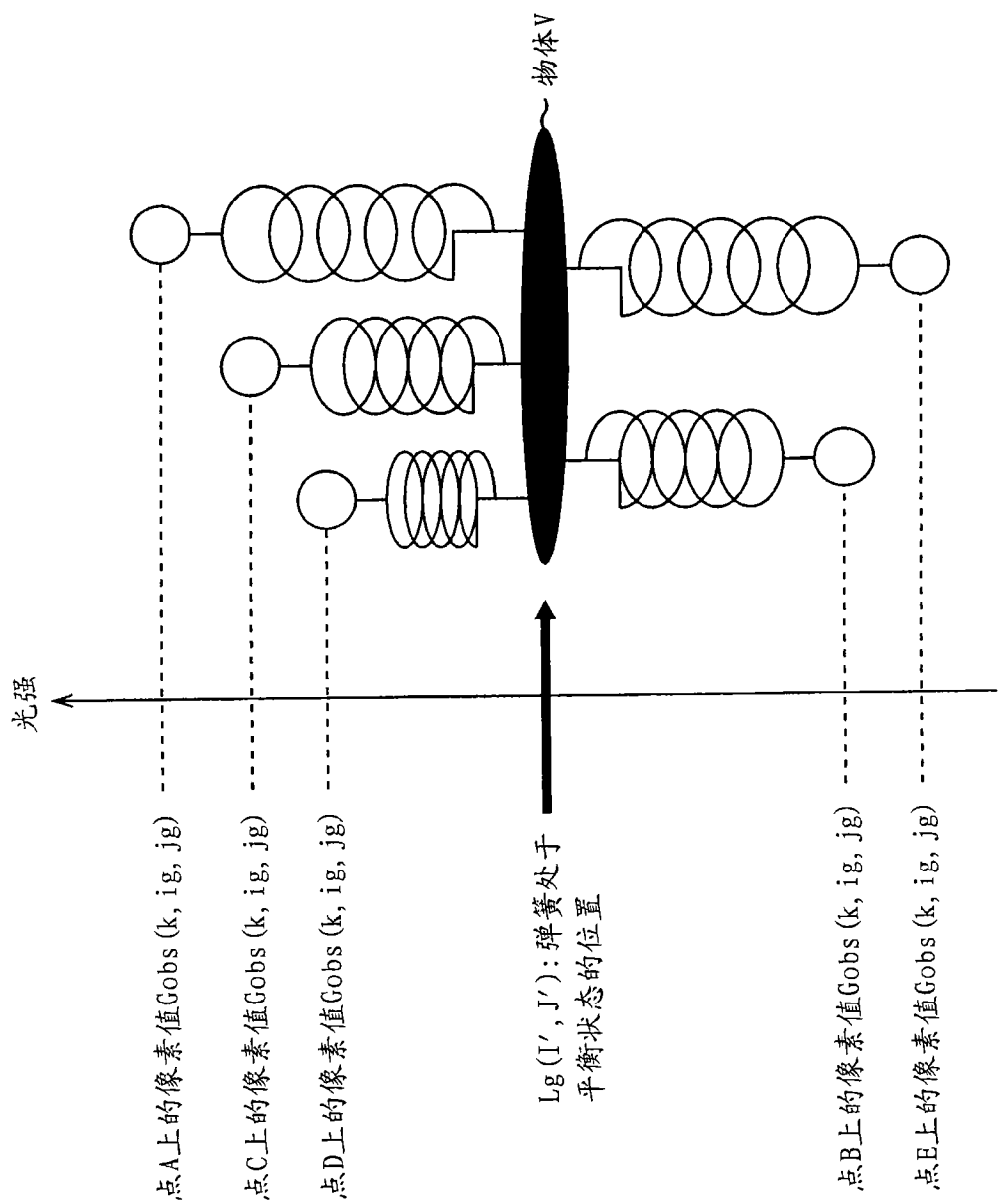


图 23

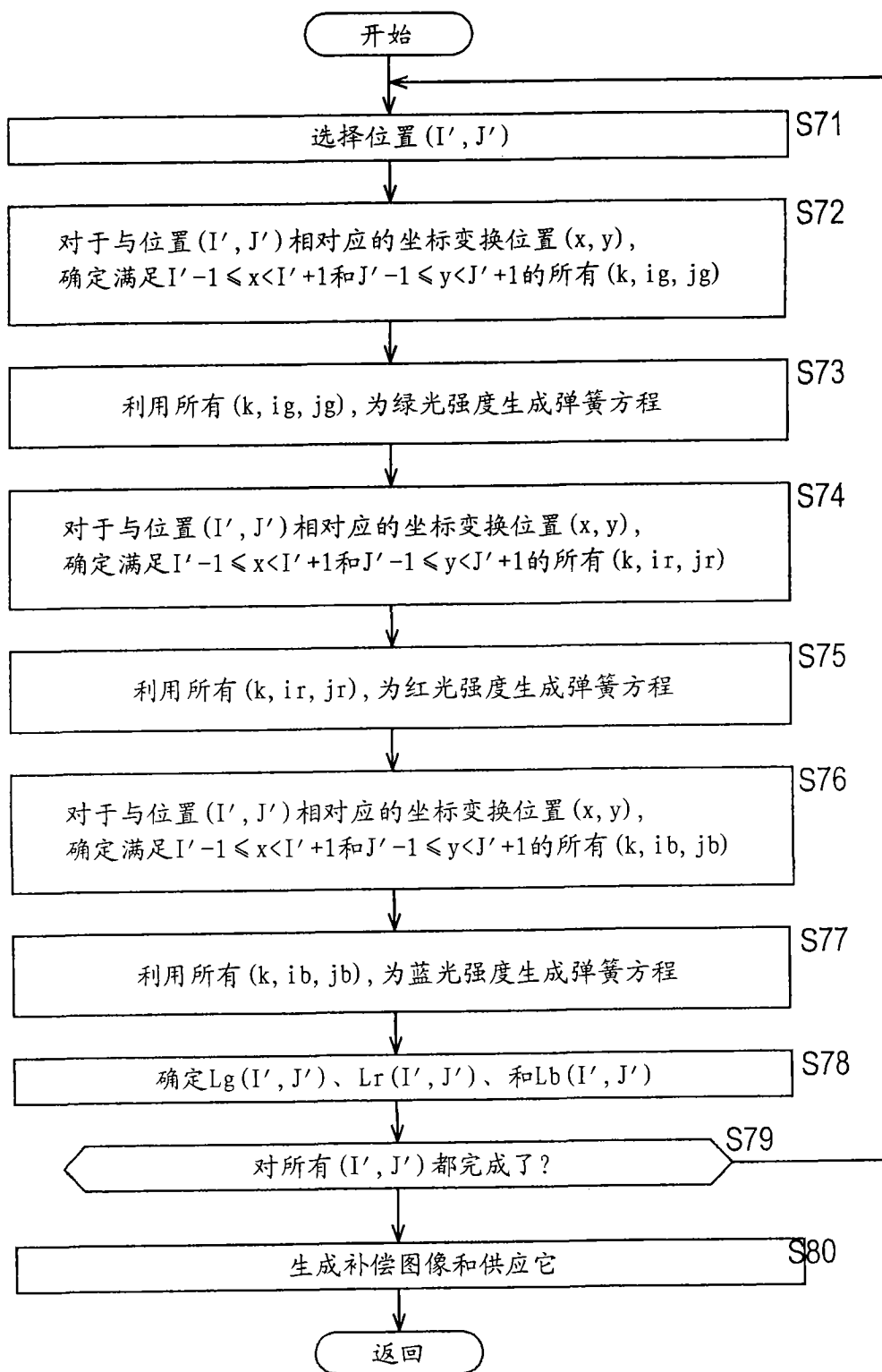


图 24

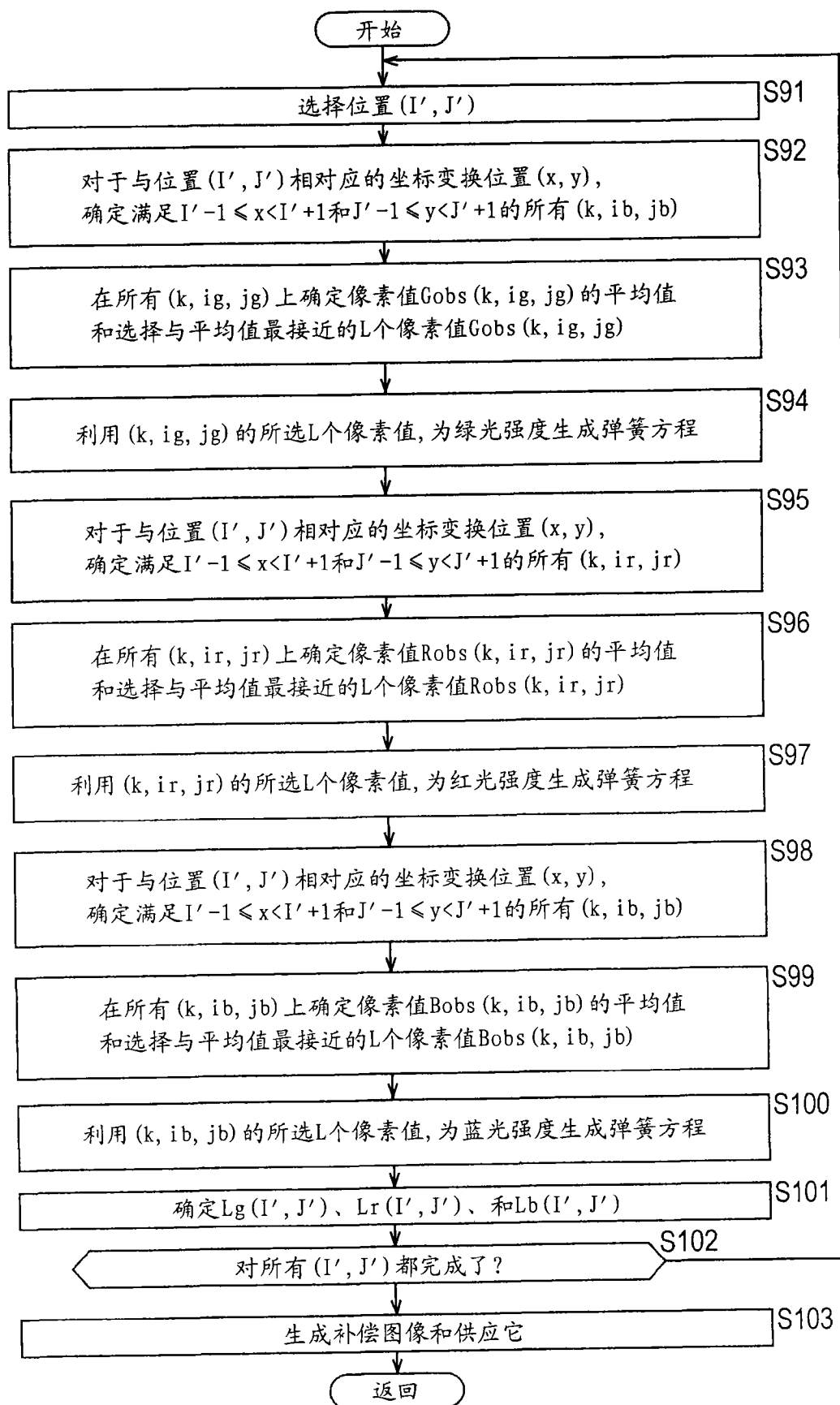


图 25

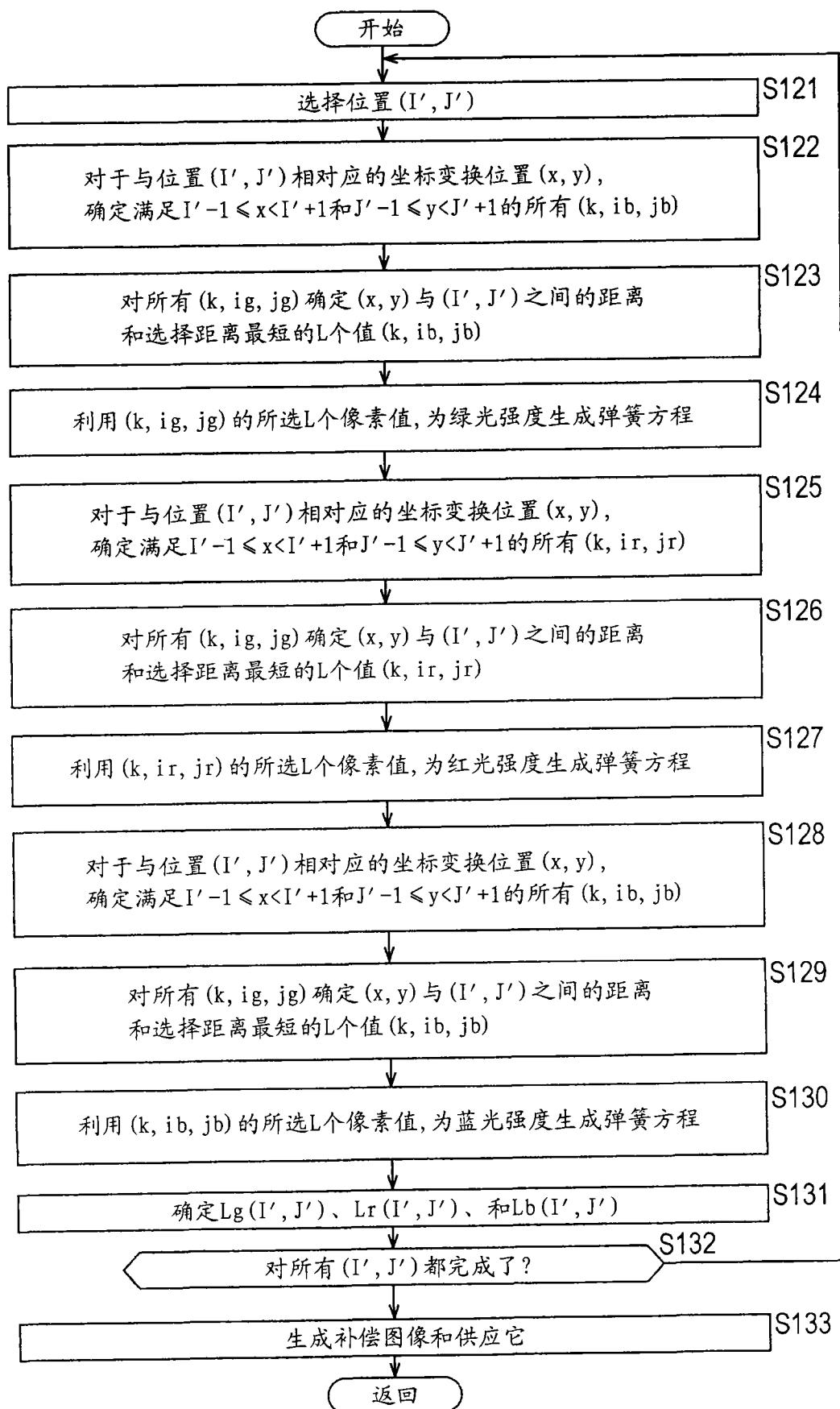


图 26

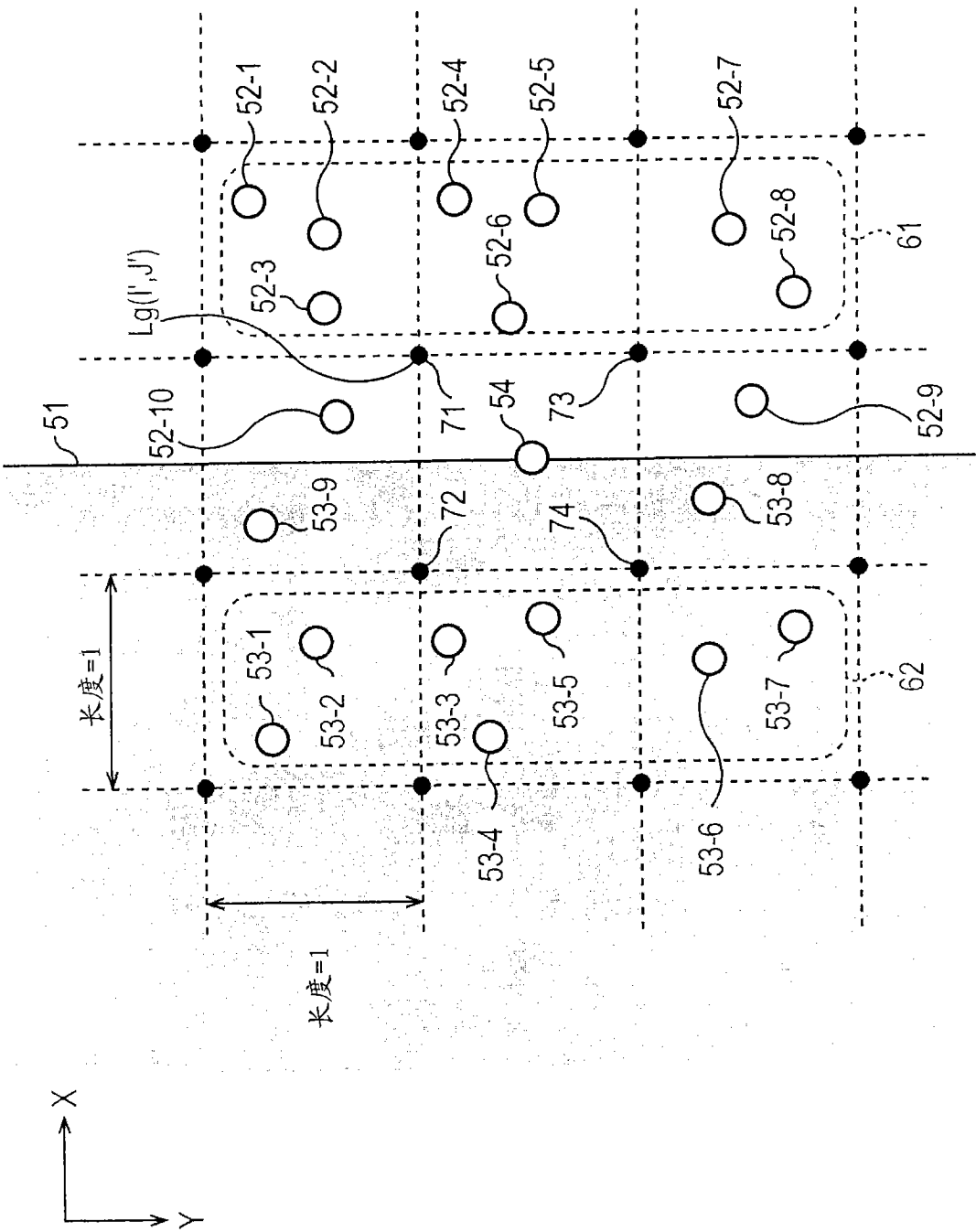


图 27

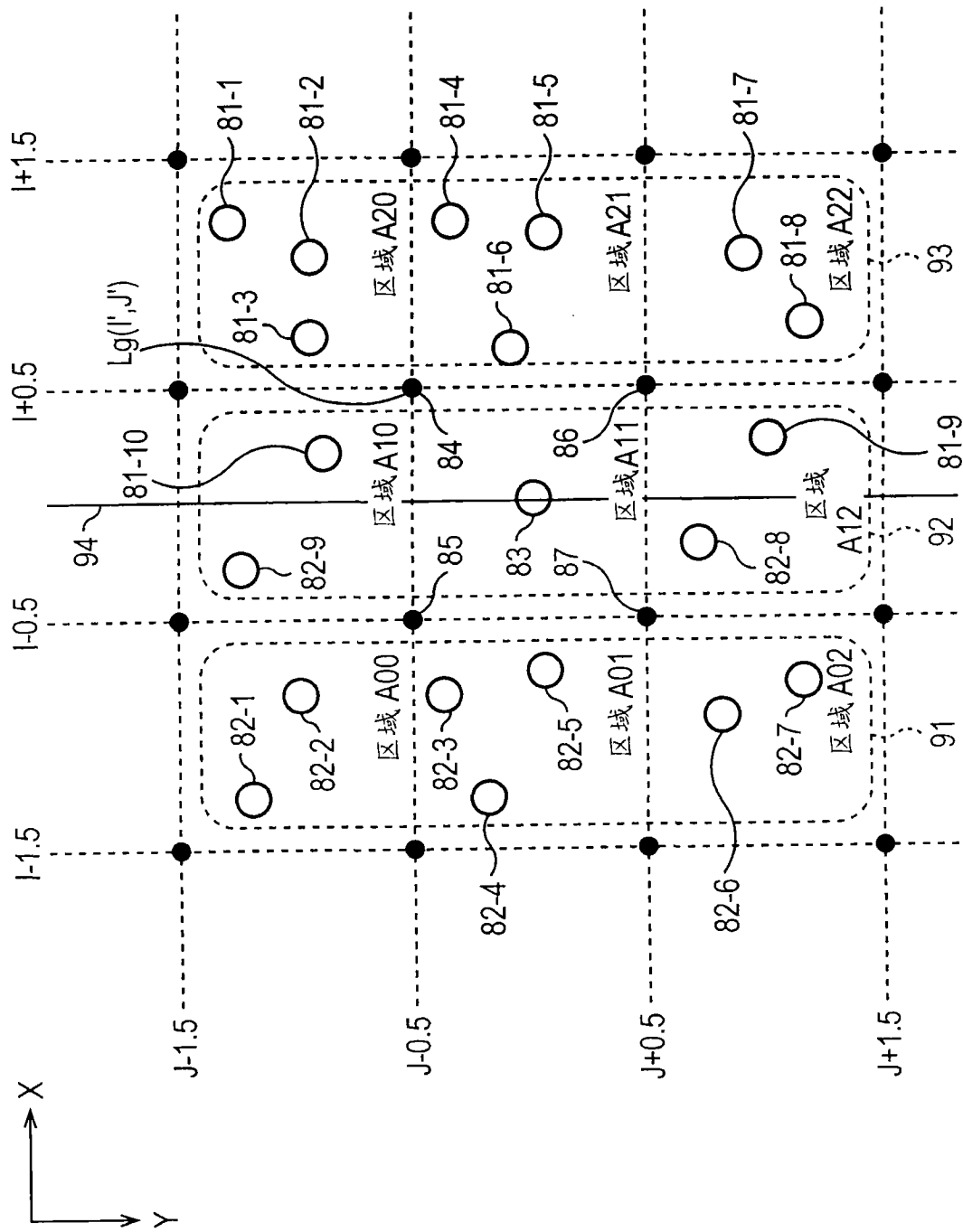


图 28

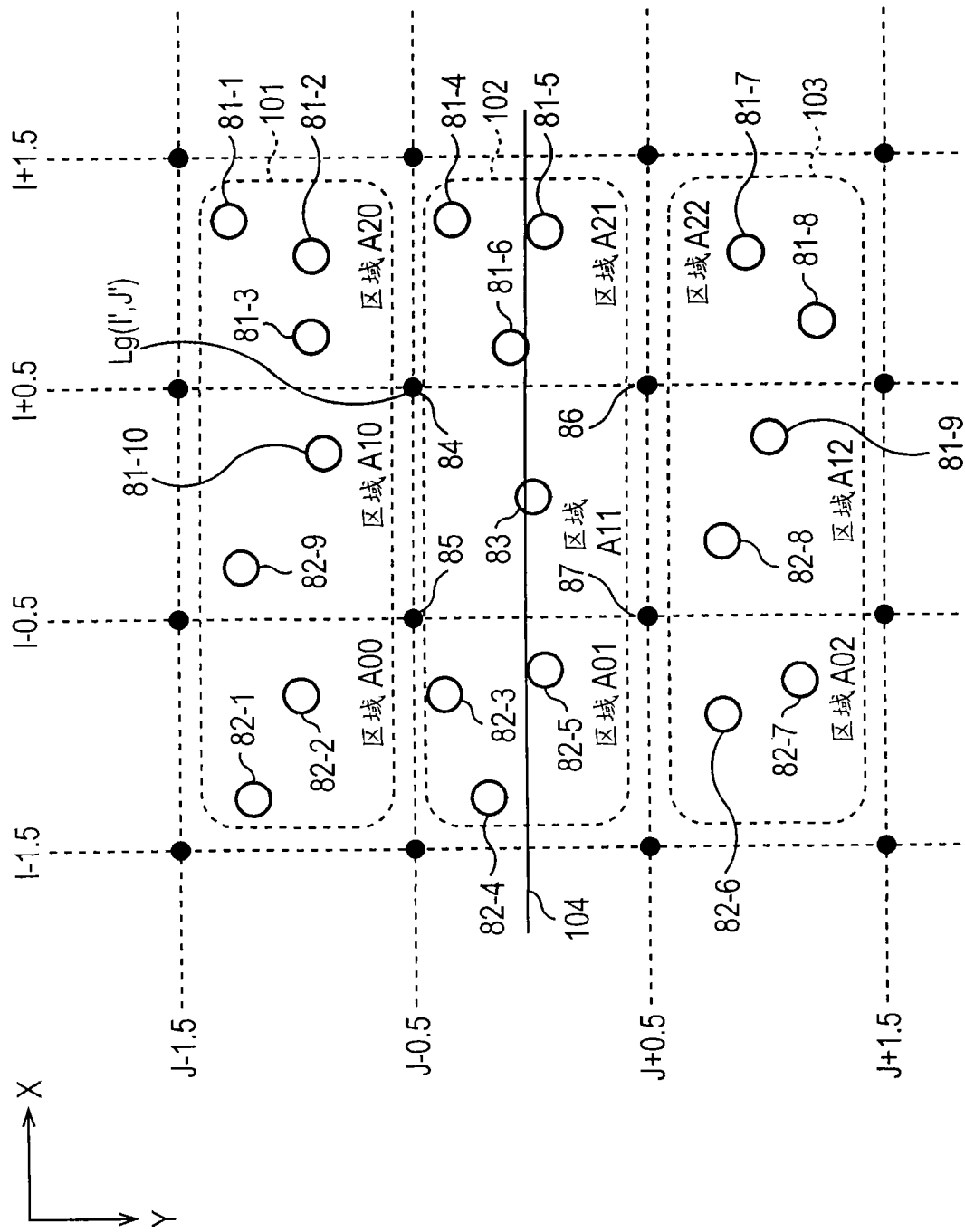


图 29

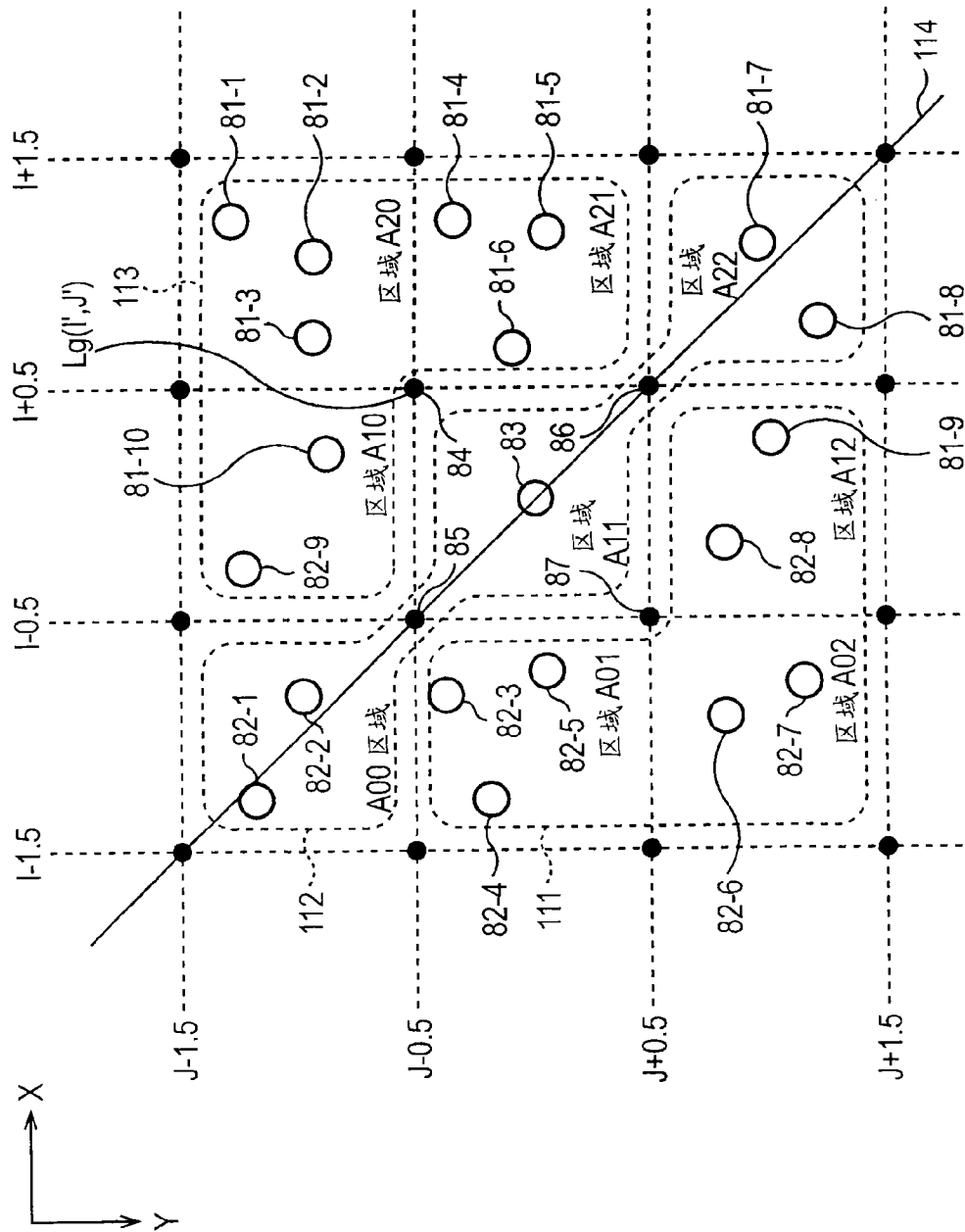


图 30

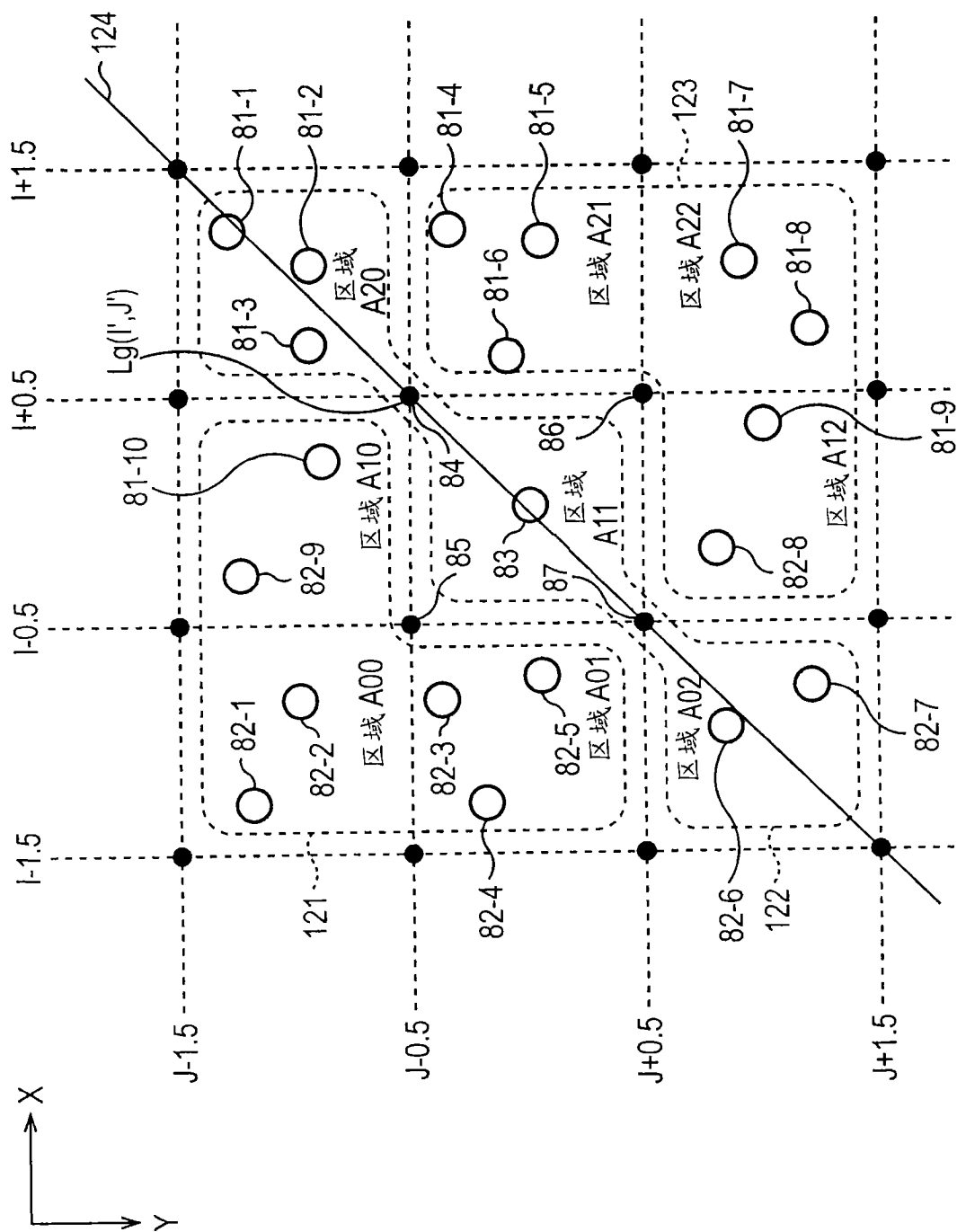


图 31

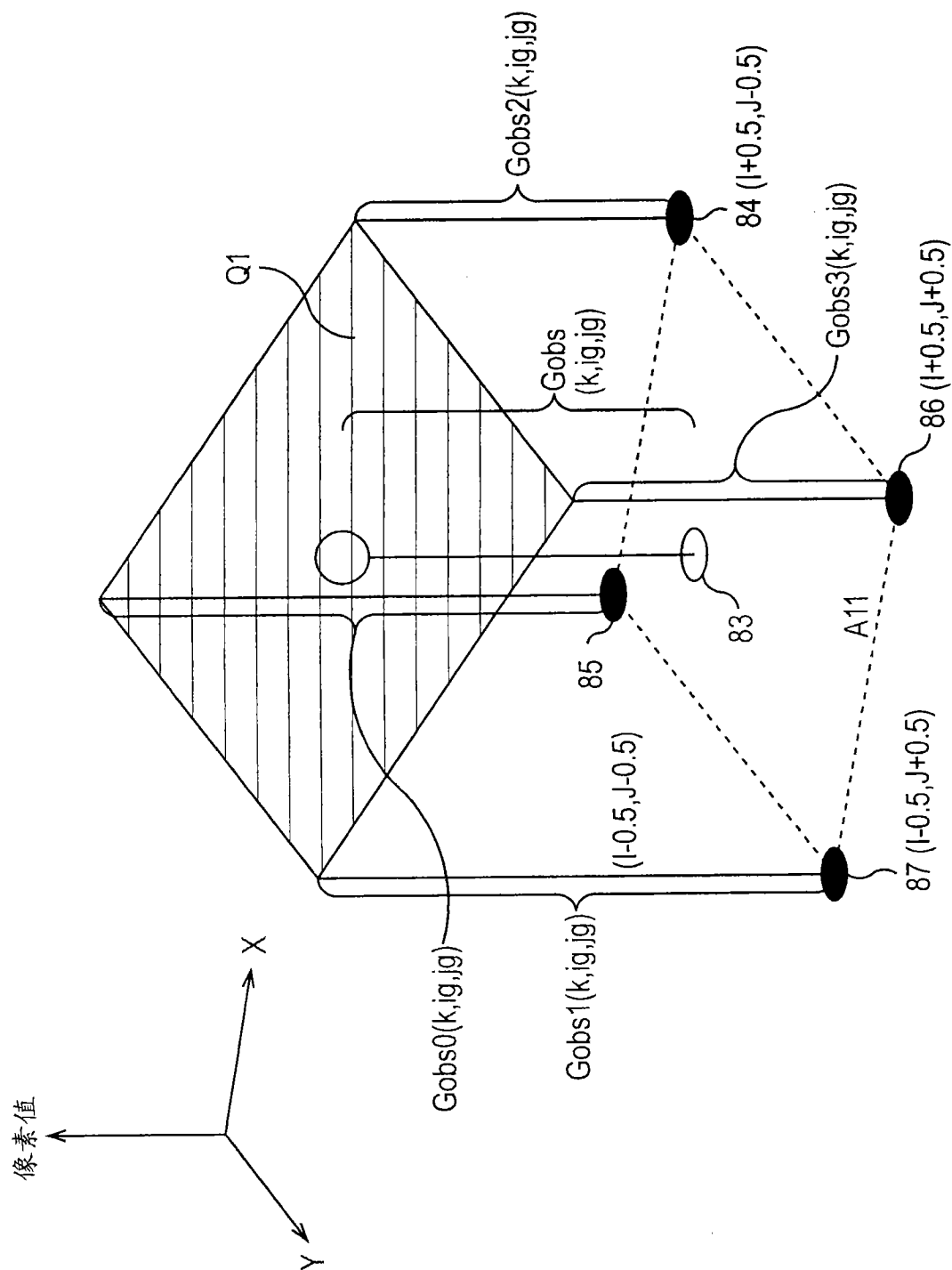


图 32

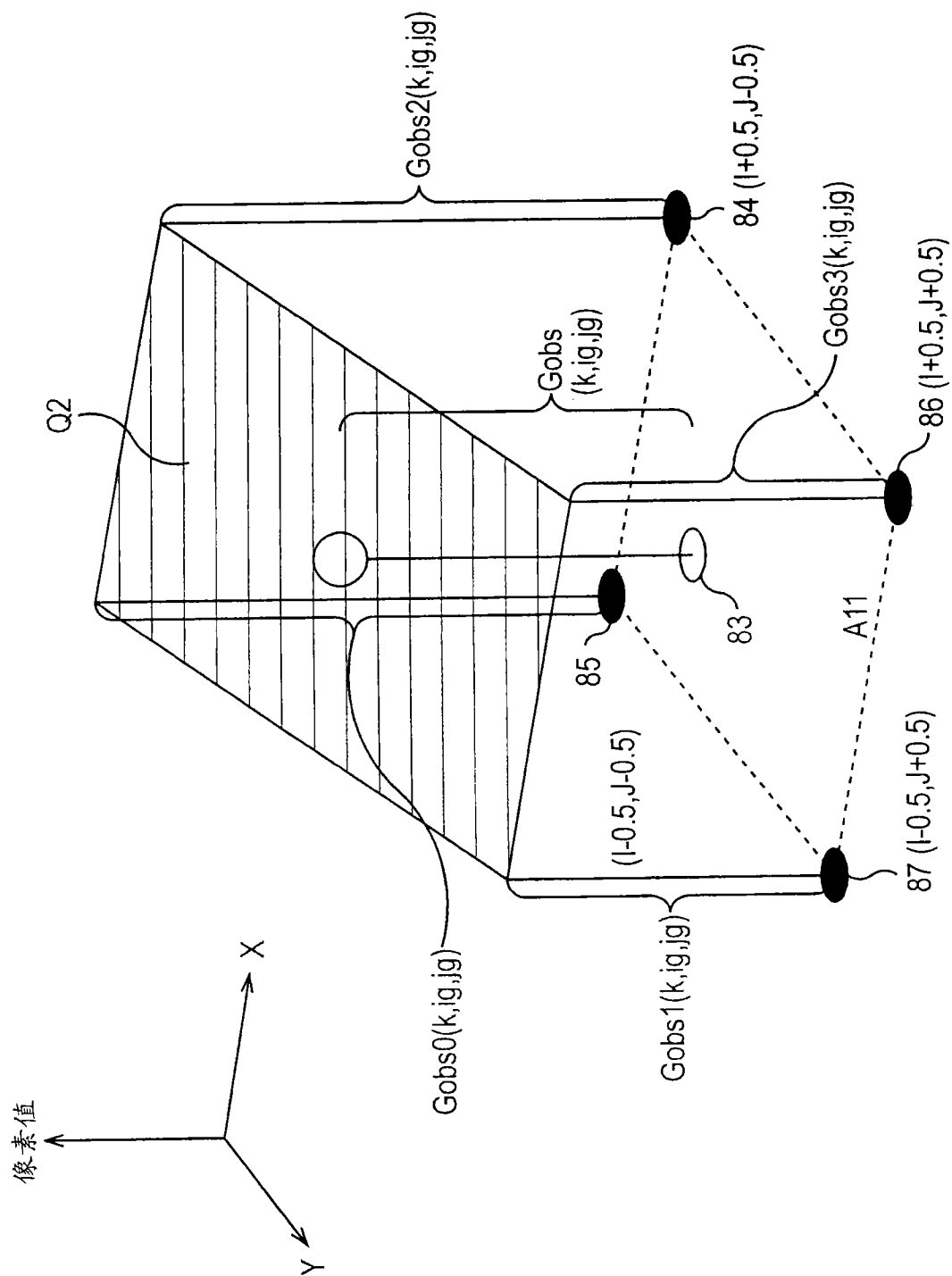


图 33

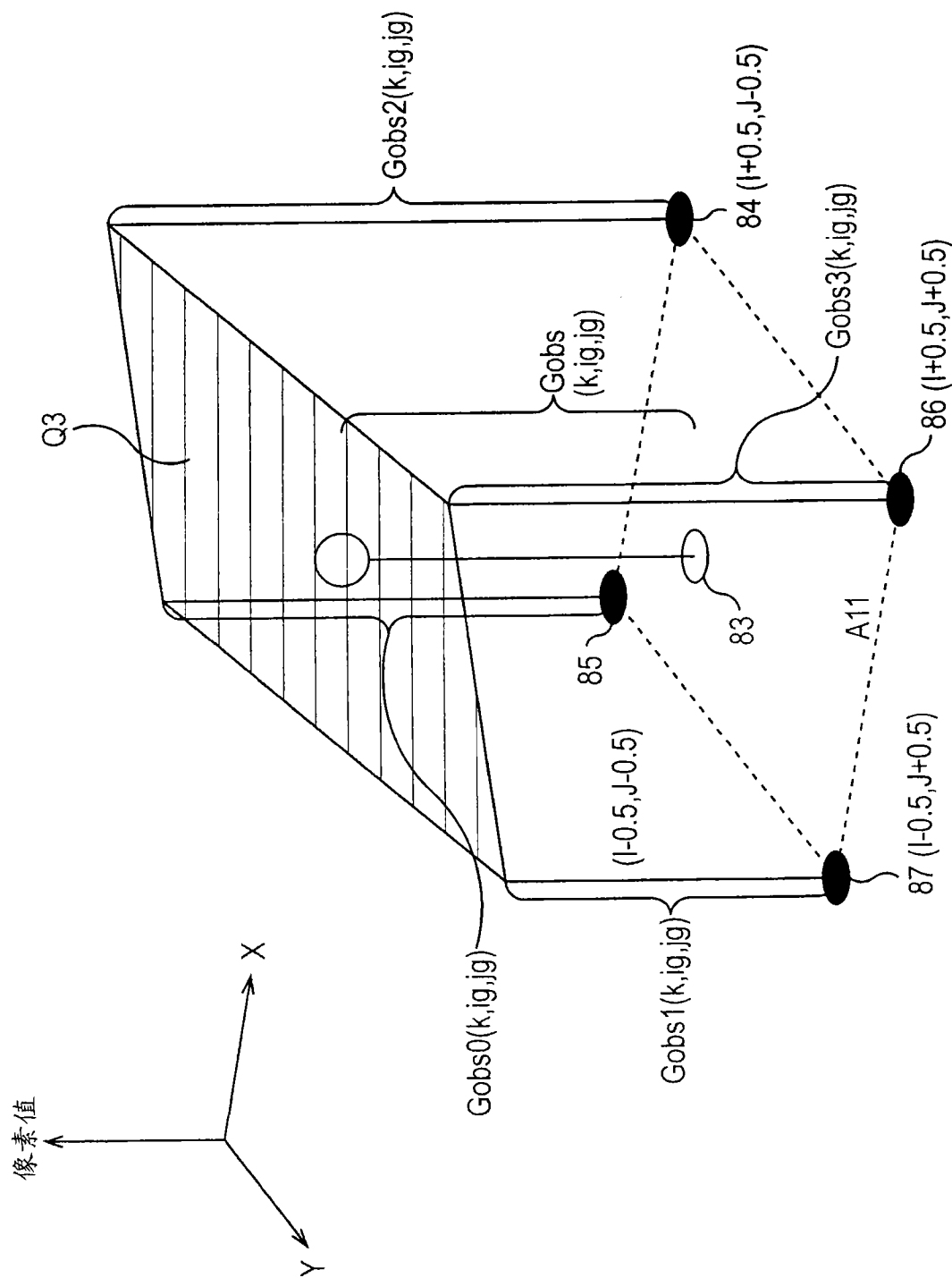


图 34

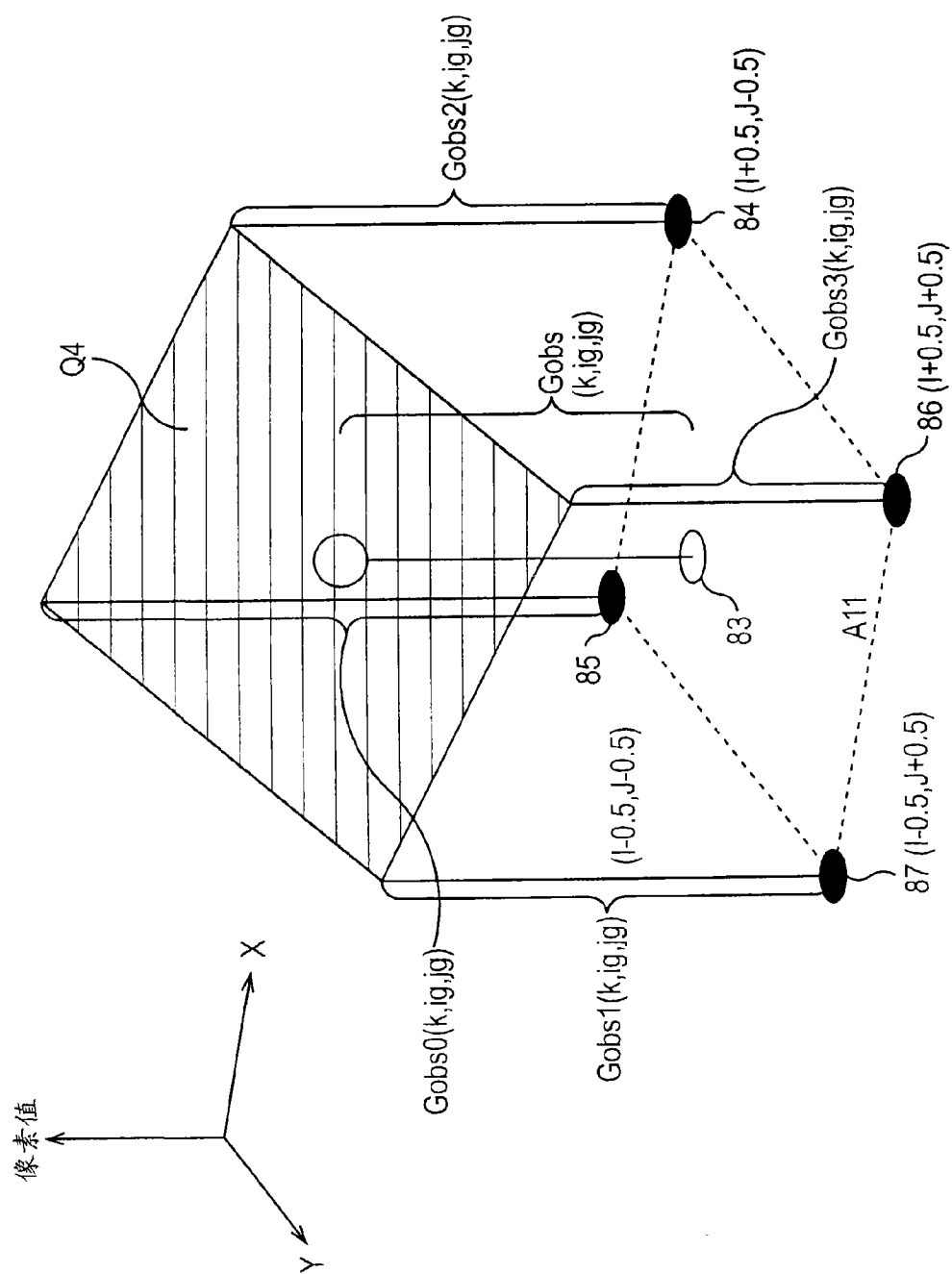


图 35

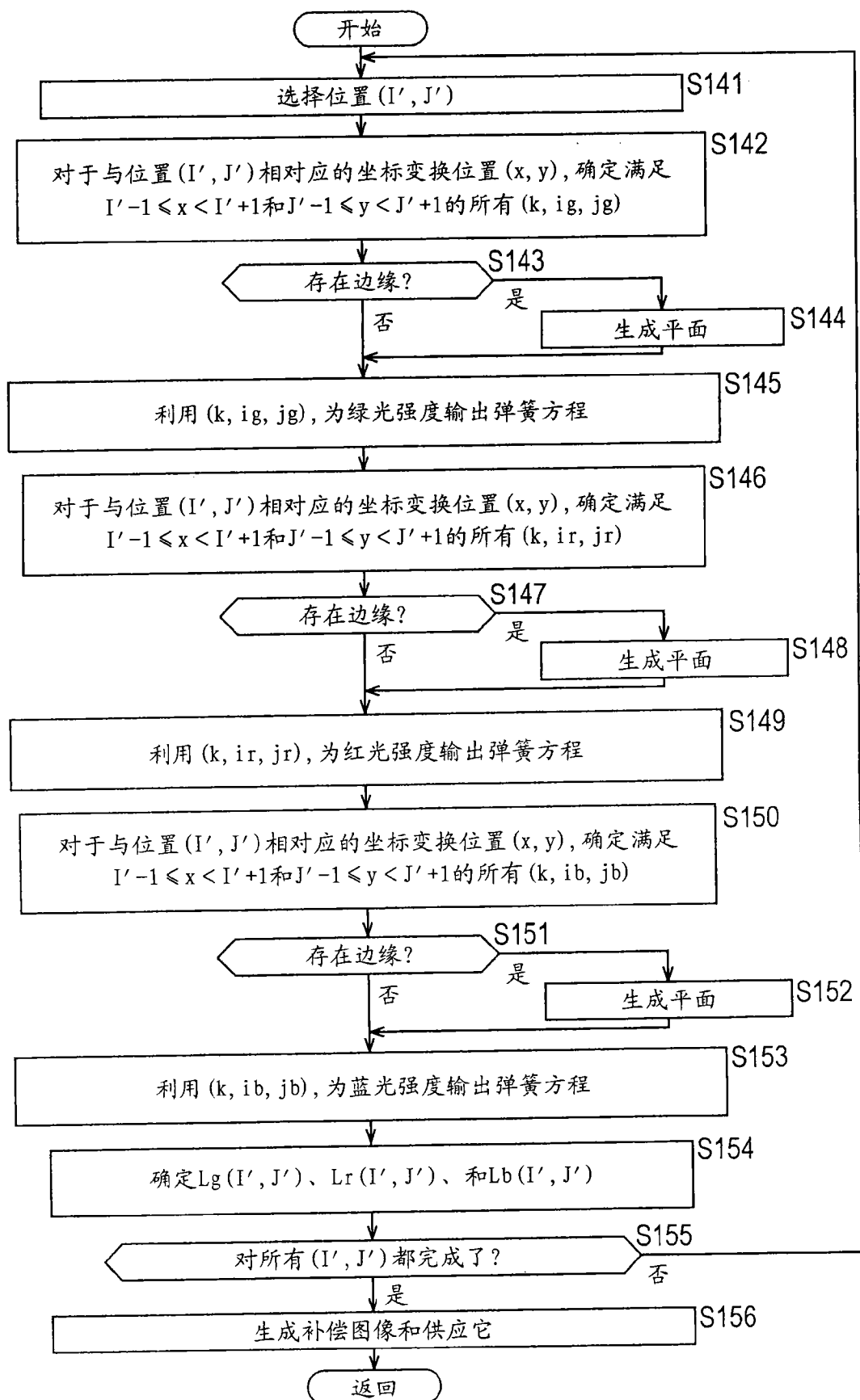


图 36

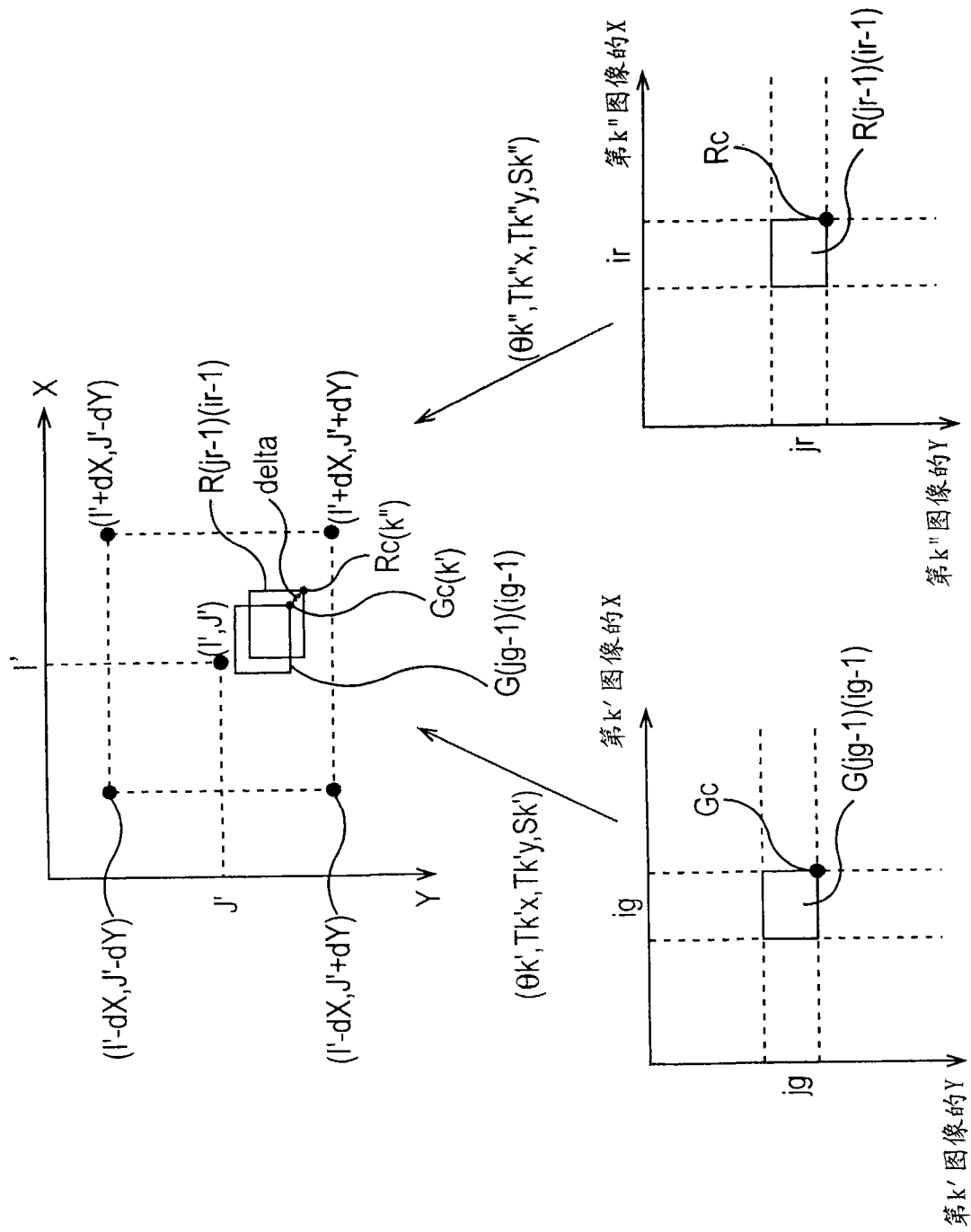


图 37

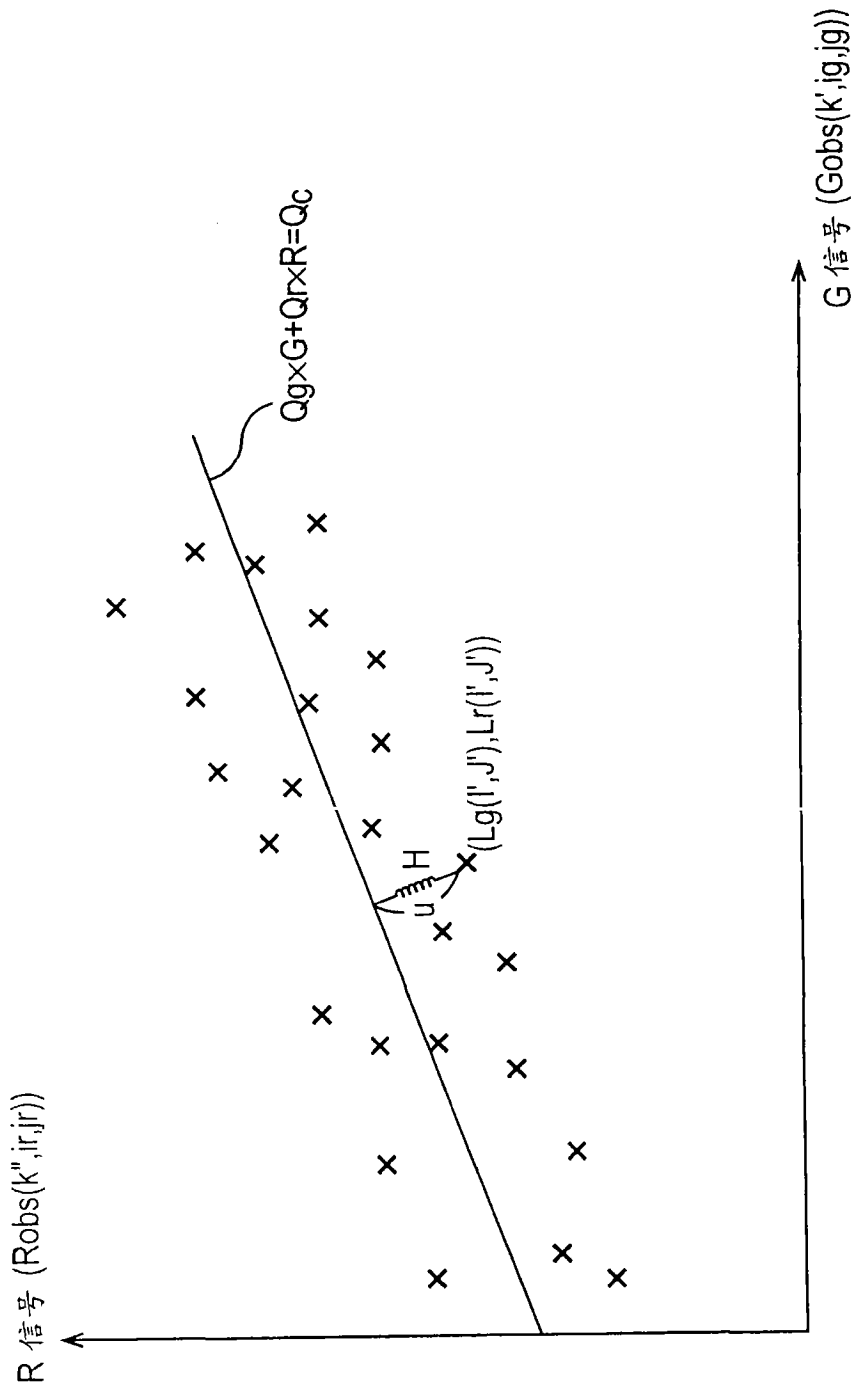


图 38

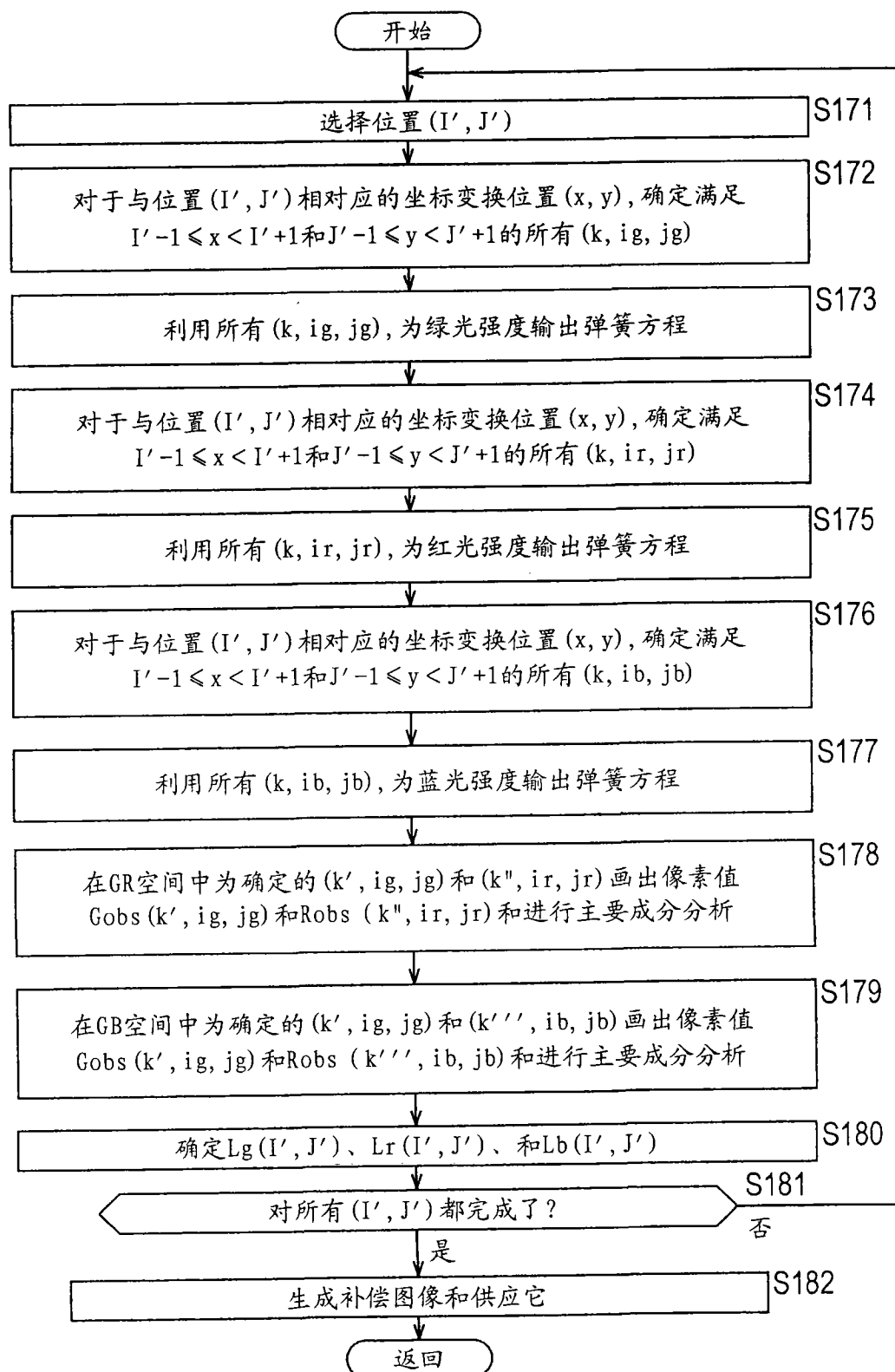


图 39

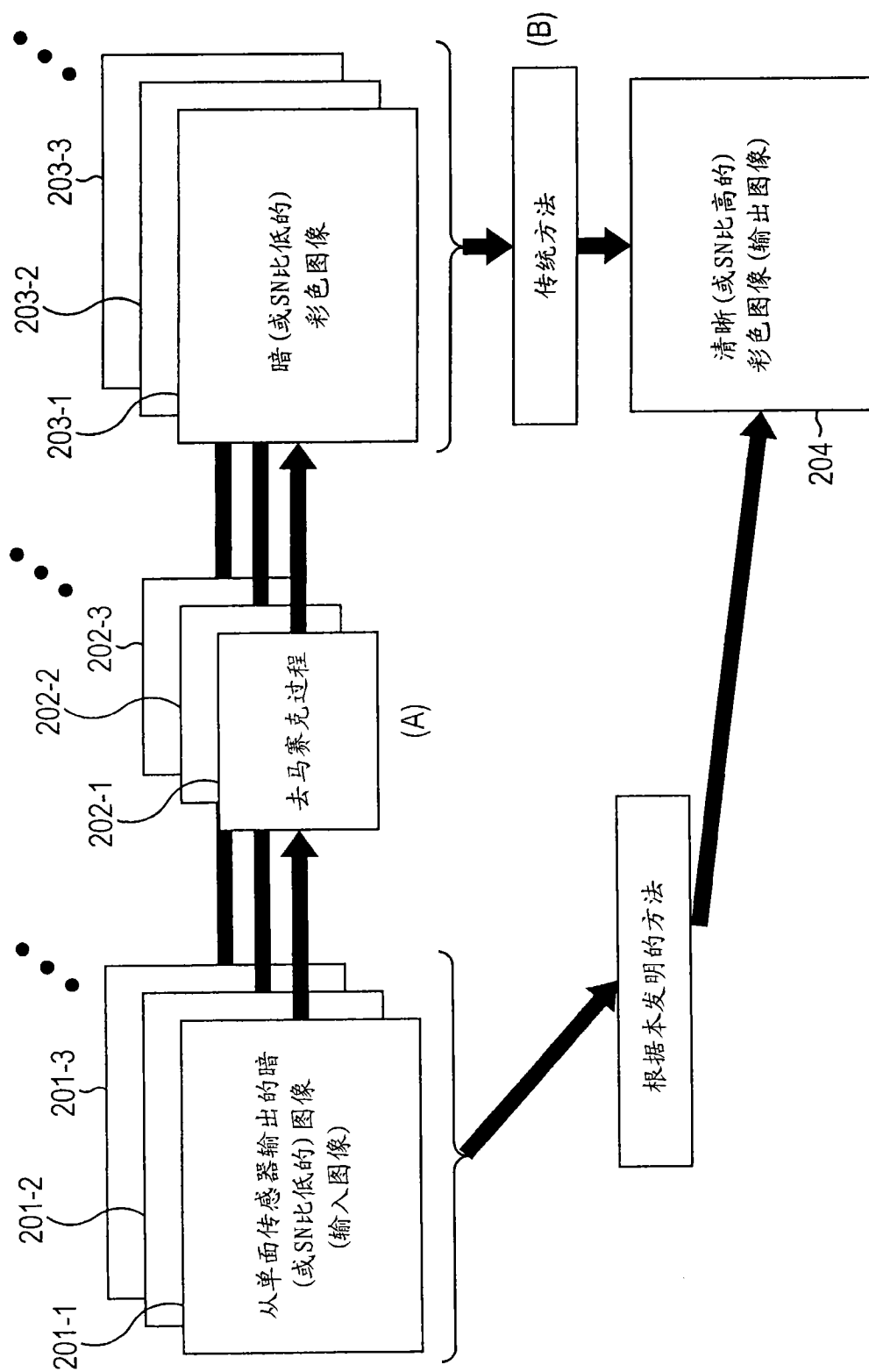


图 40

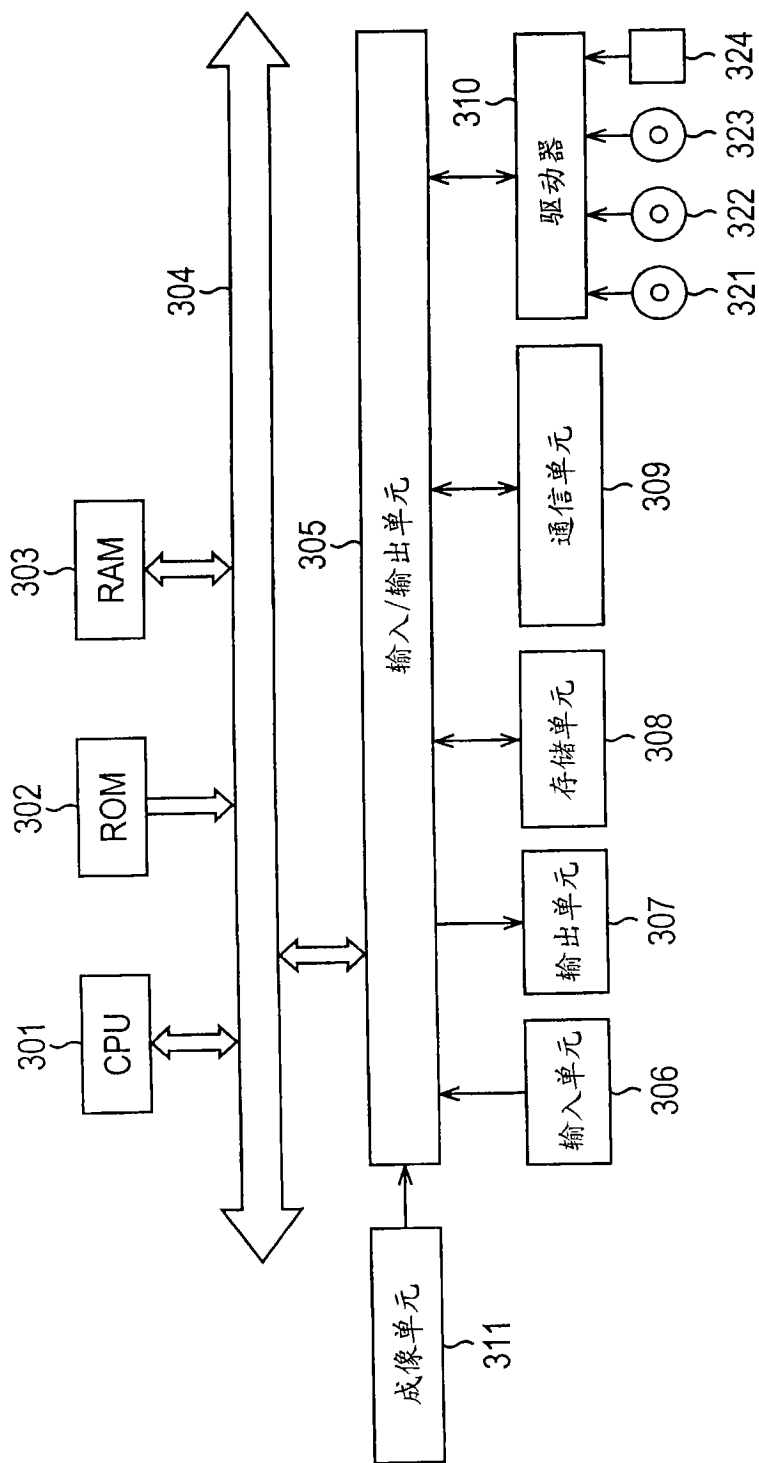


图 41

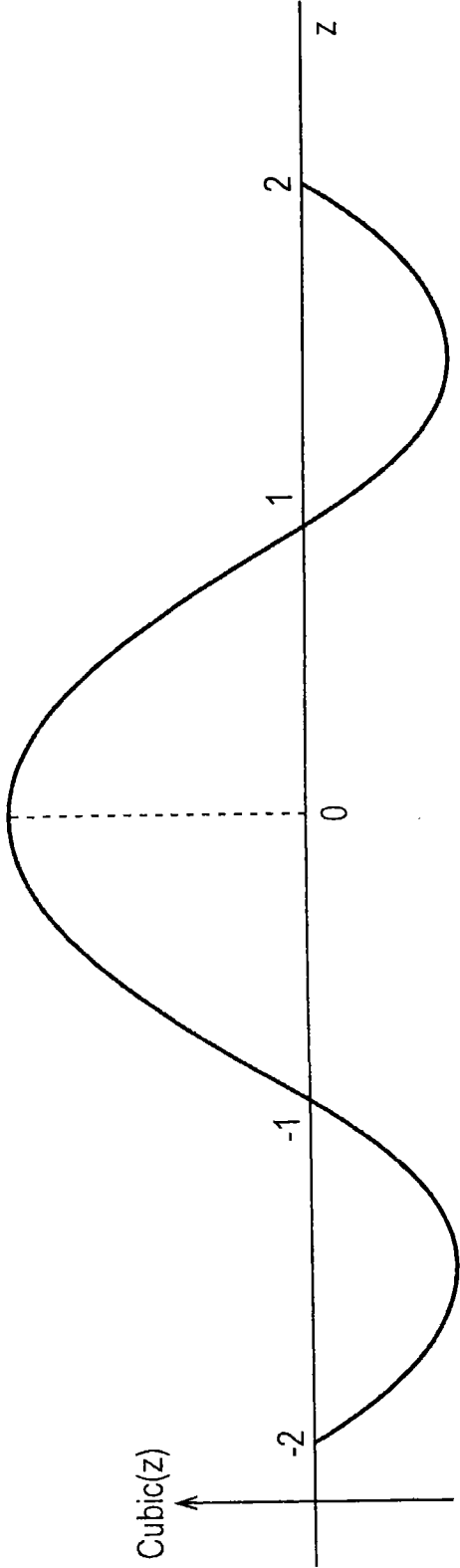


图 42

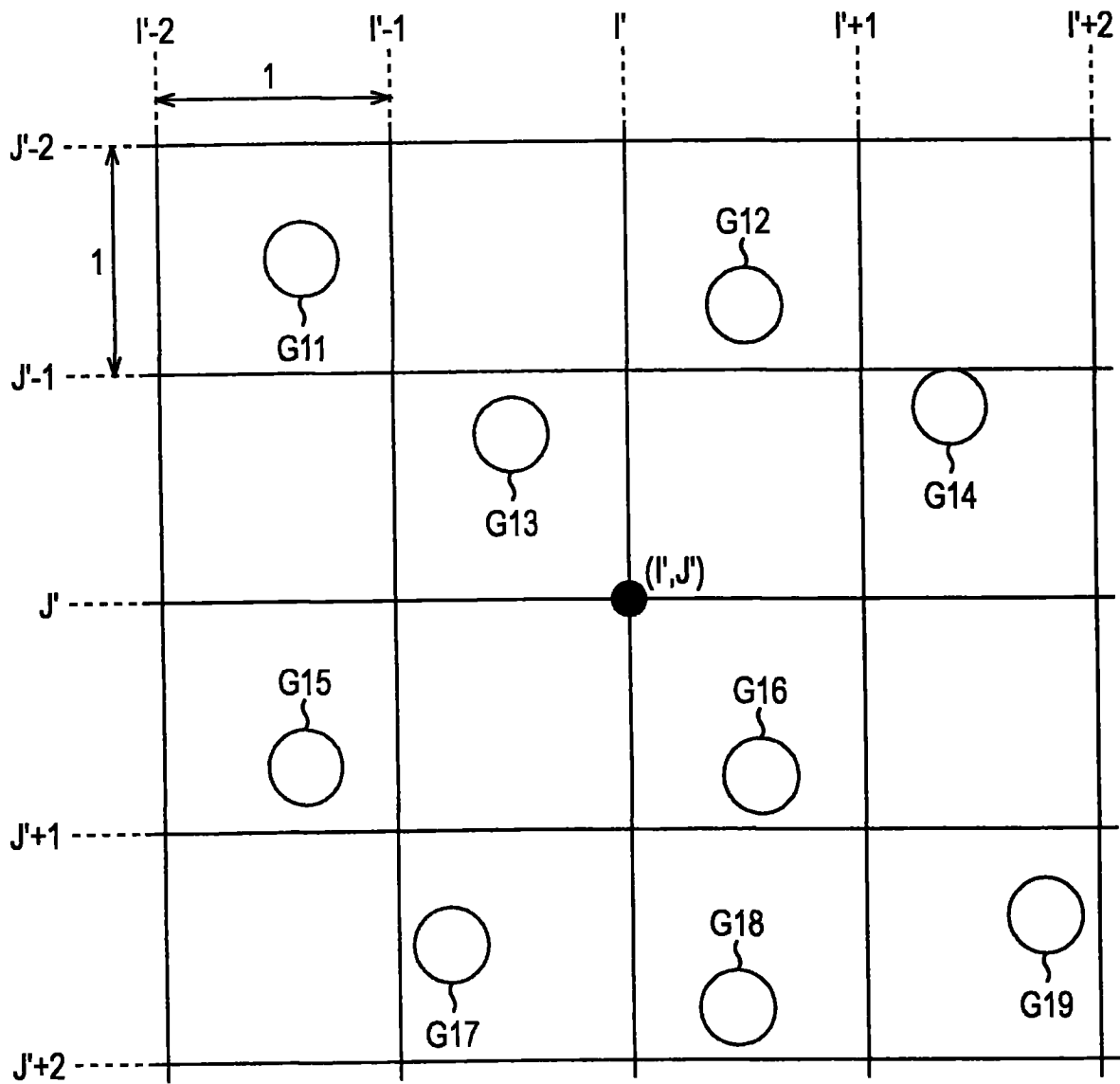


图 43

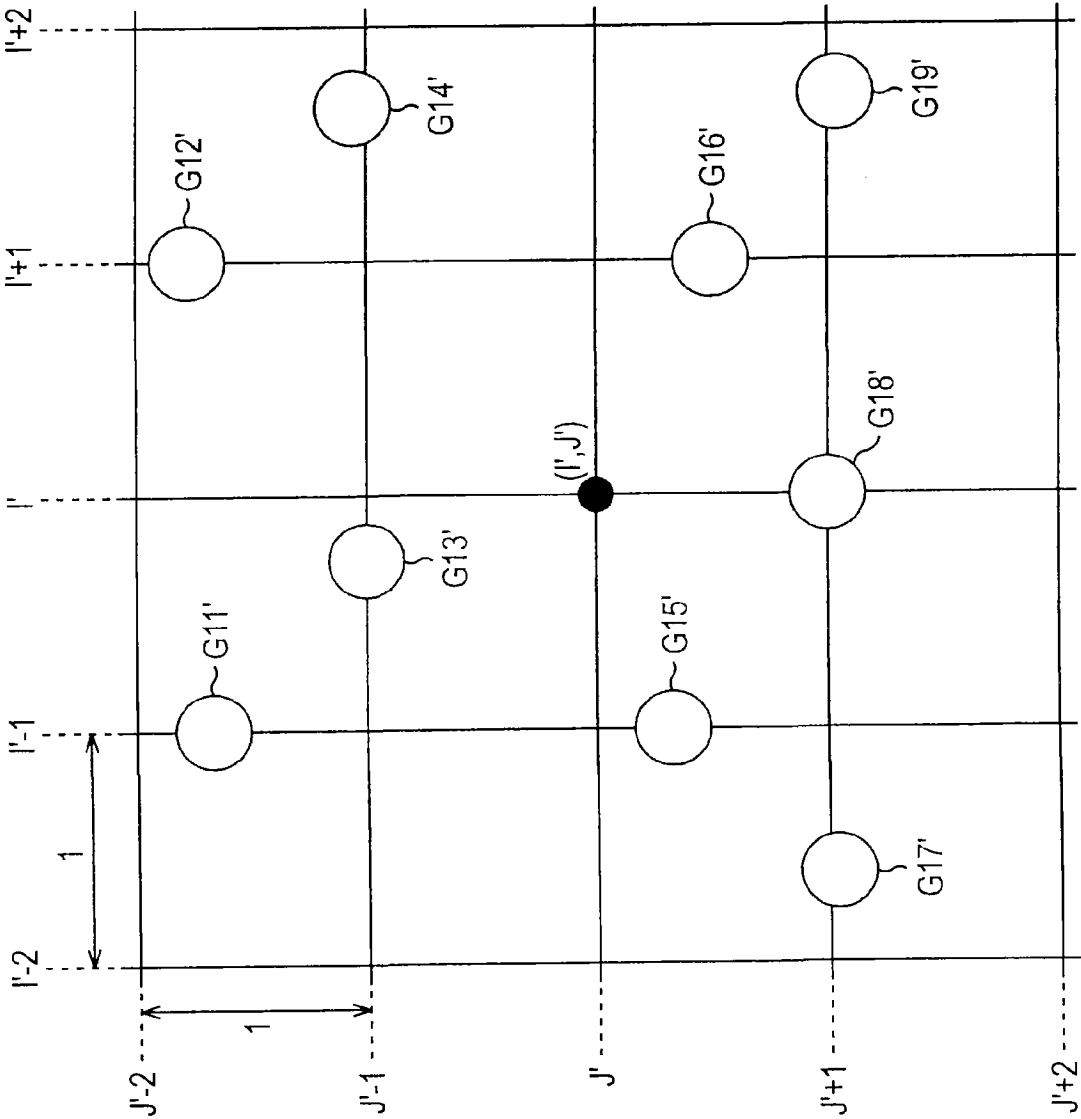


图 44

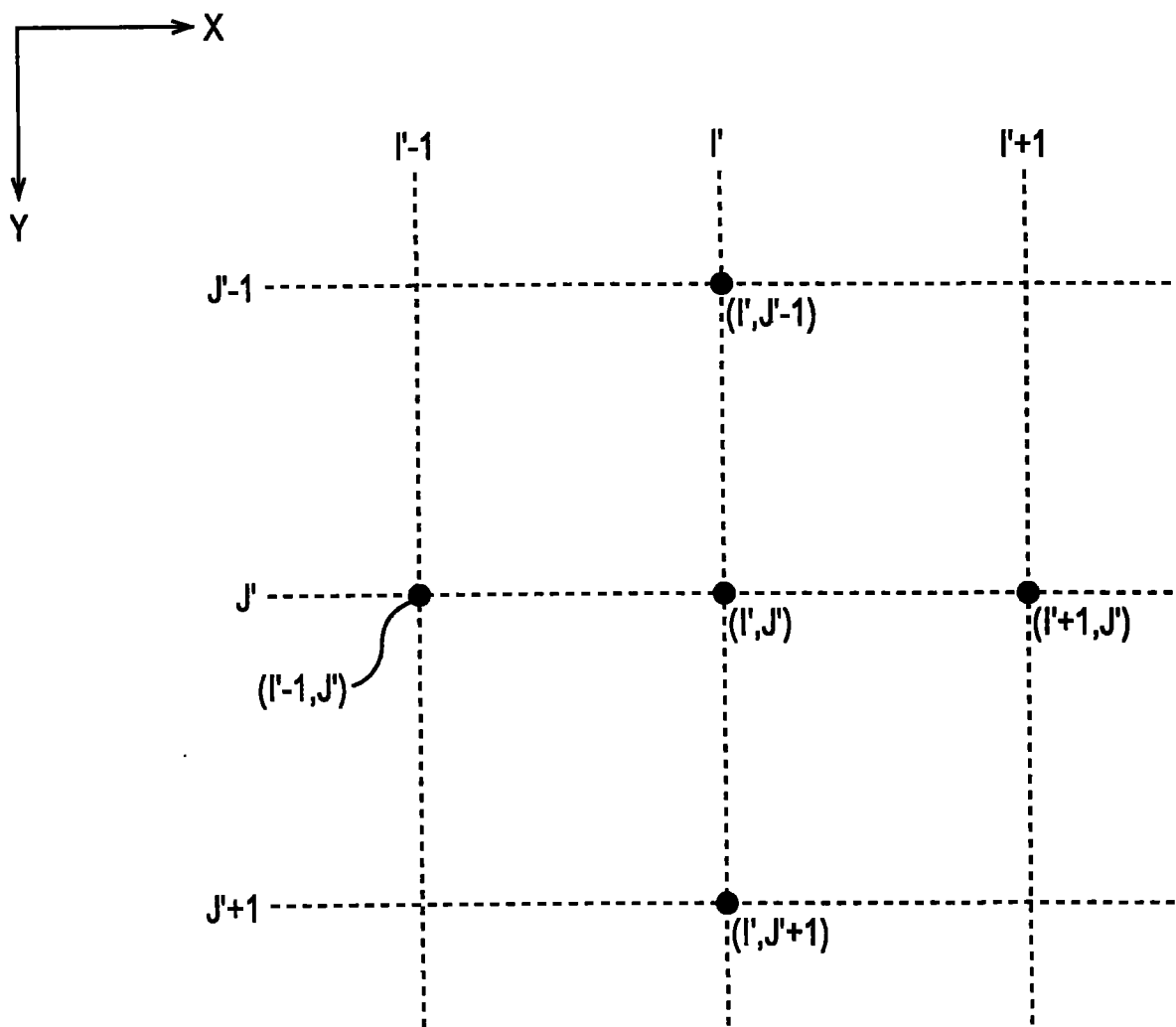


图 45

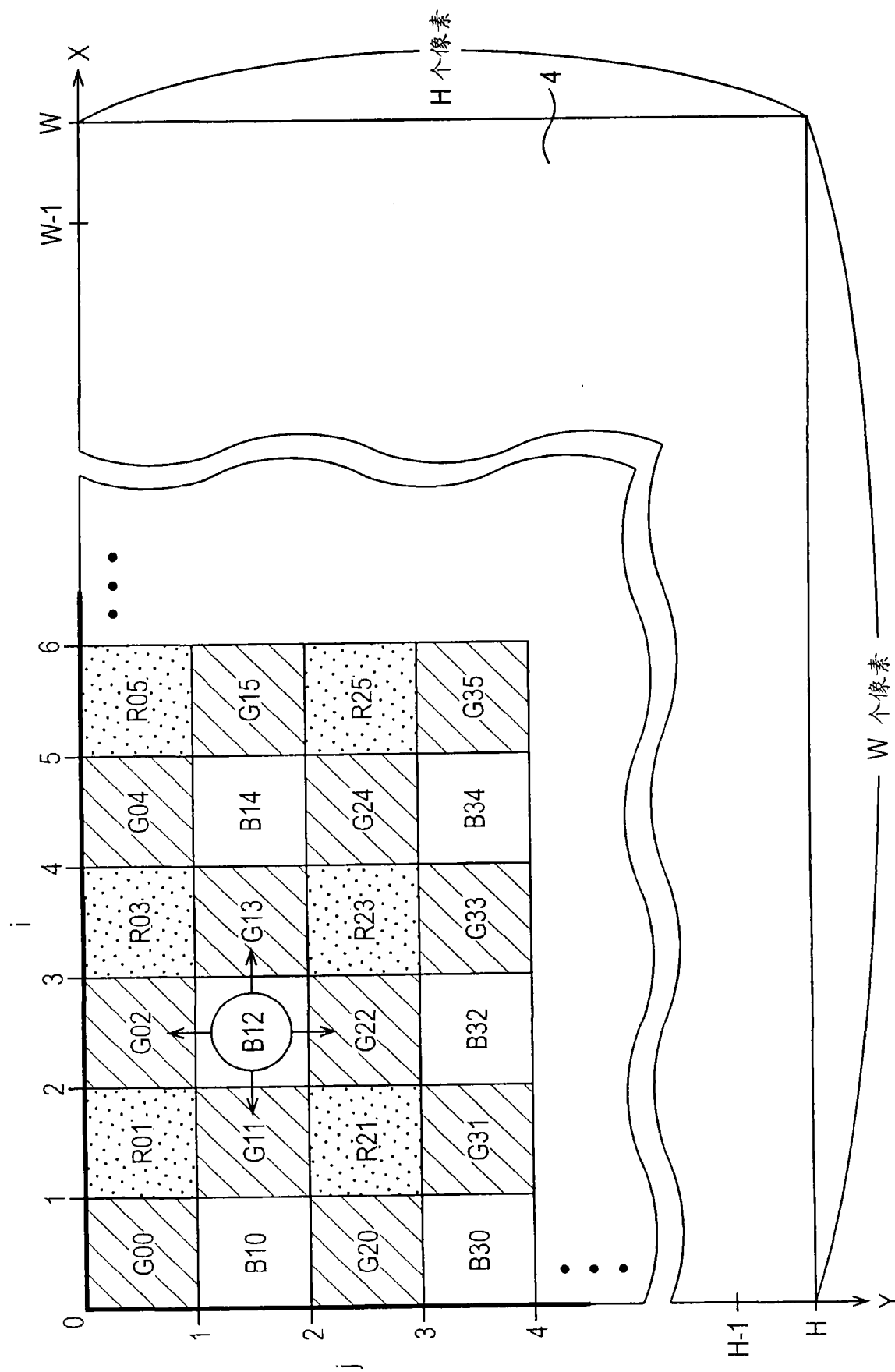


图 46

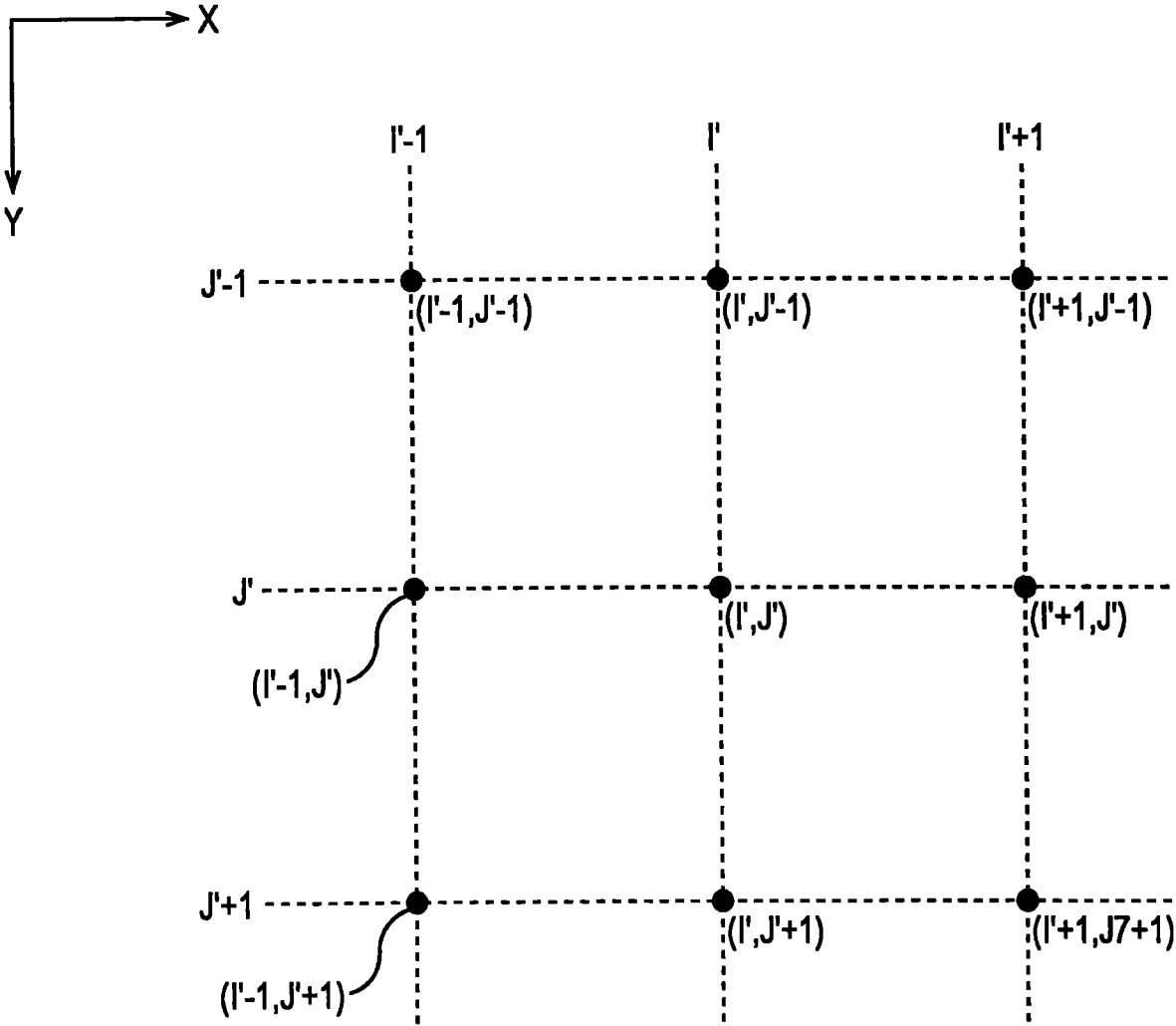
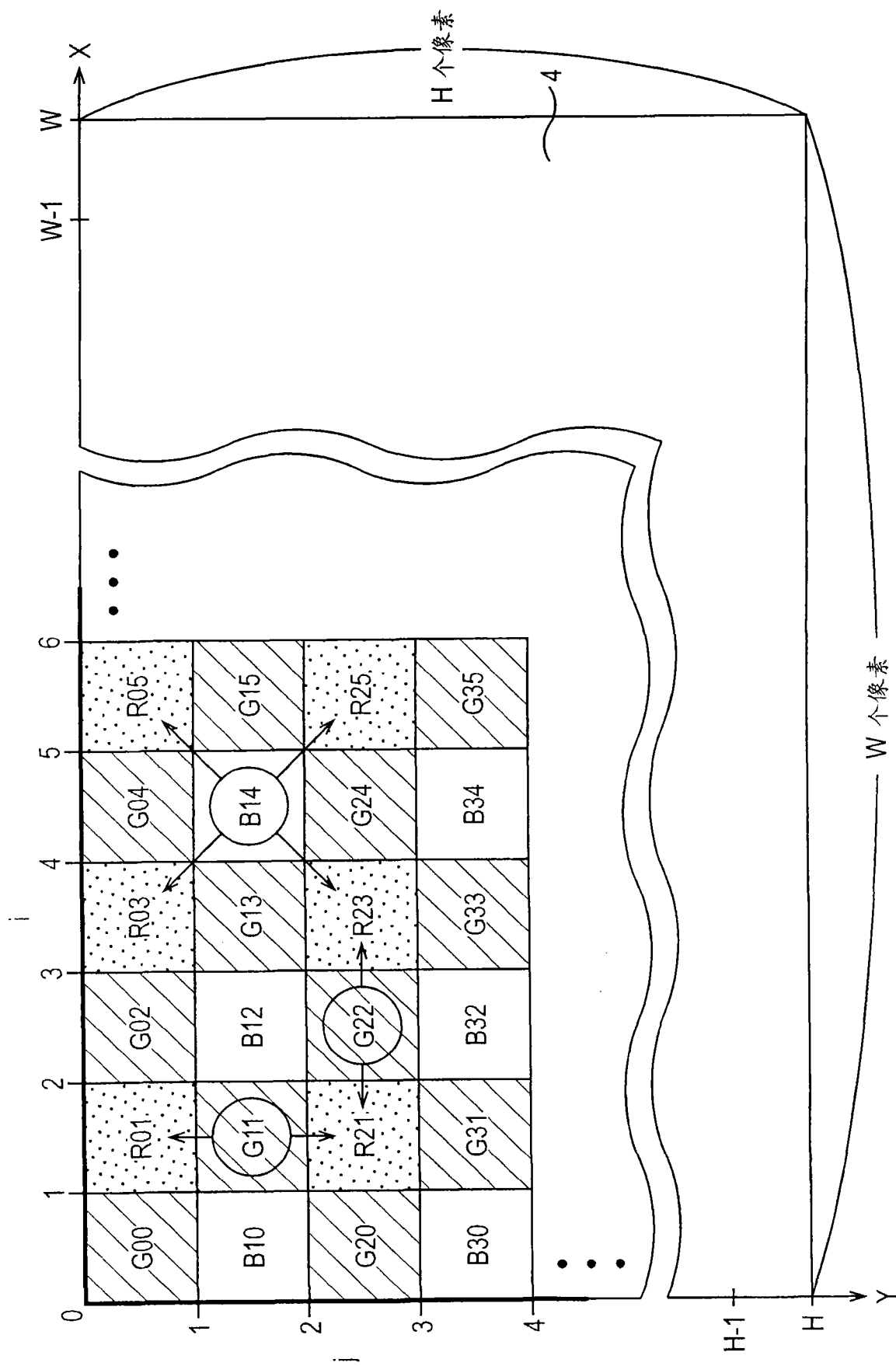


图 47



48

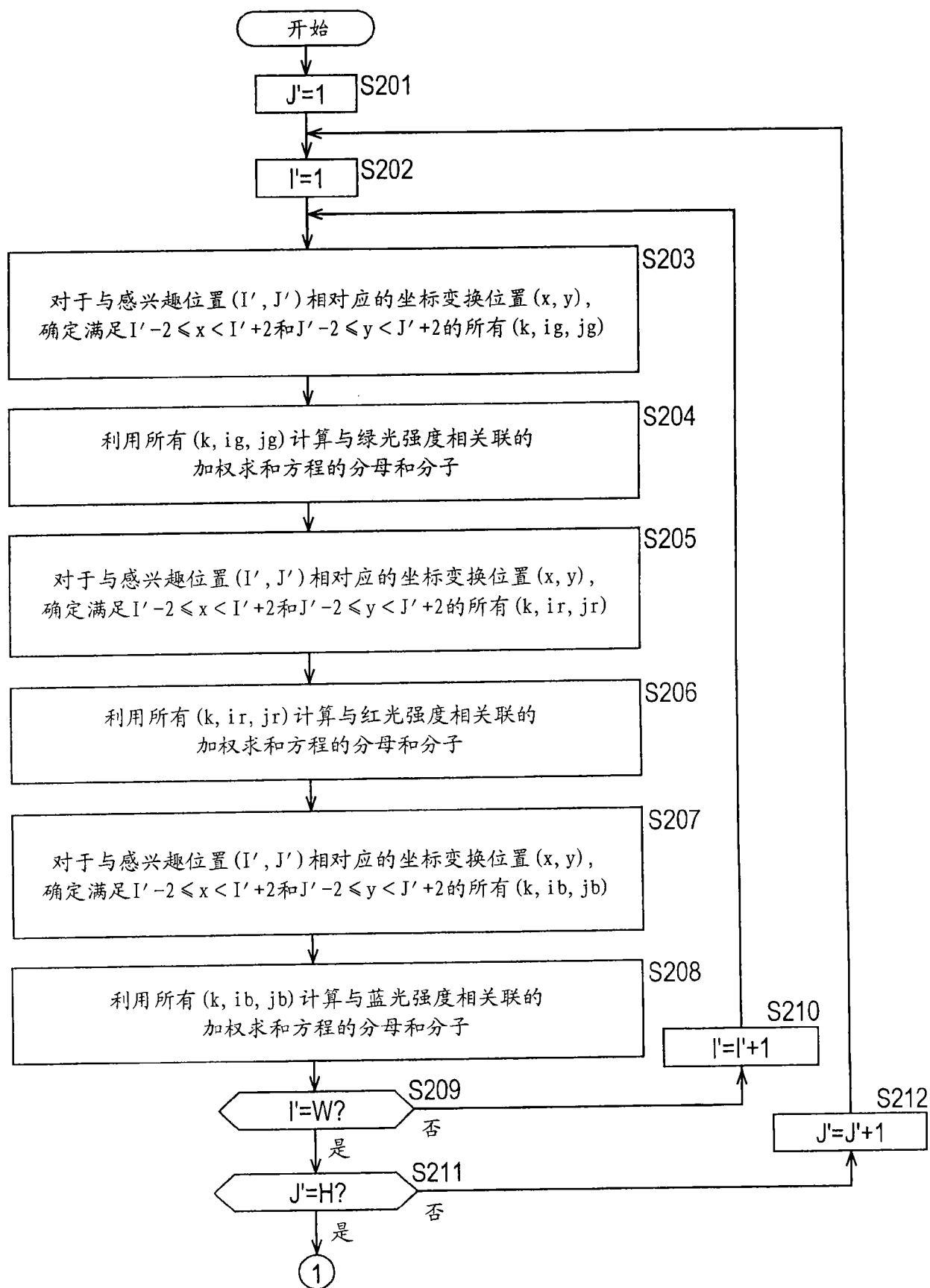


图 49

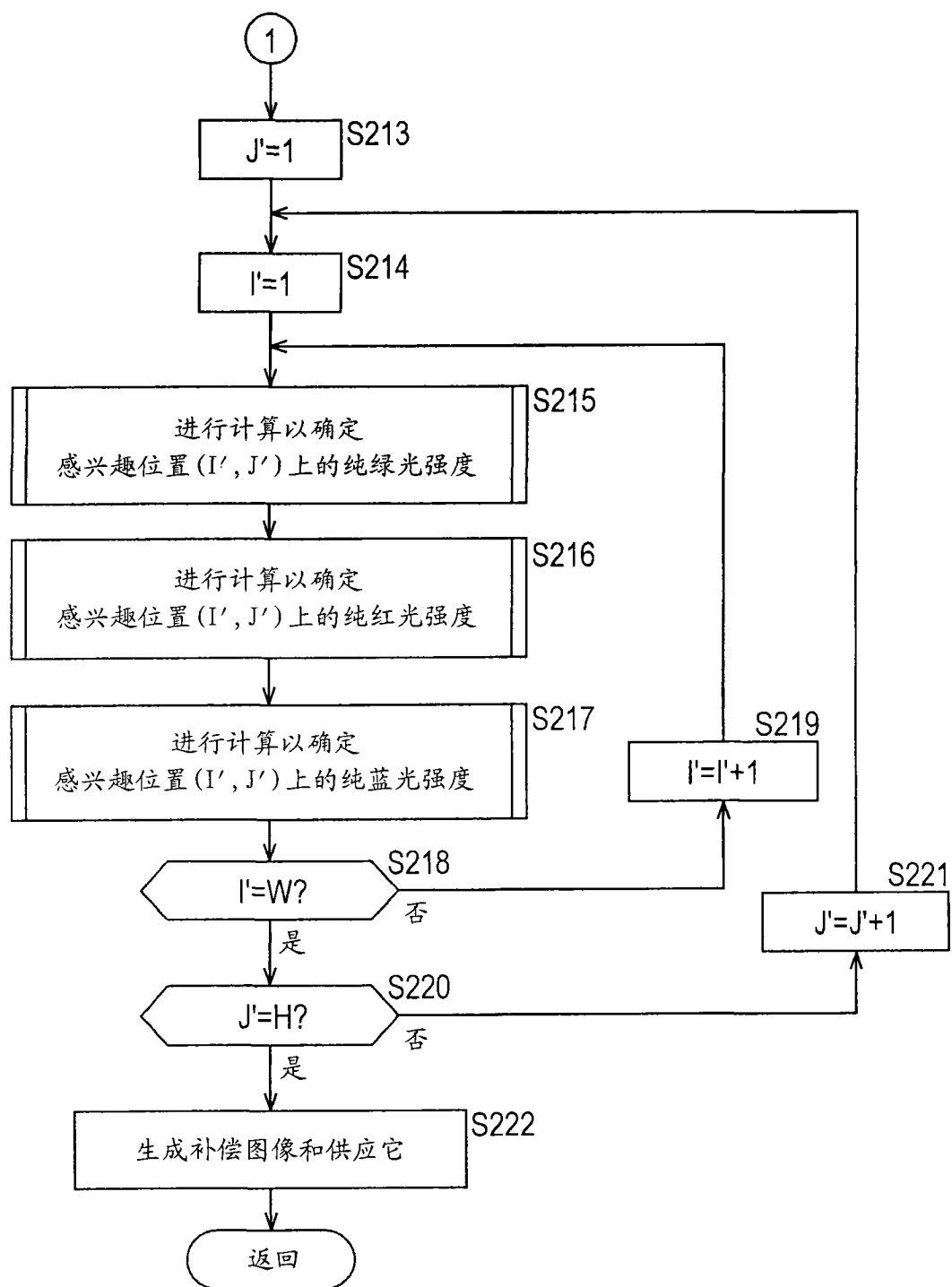


图 50

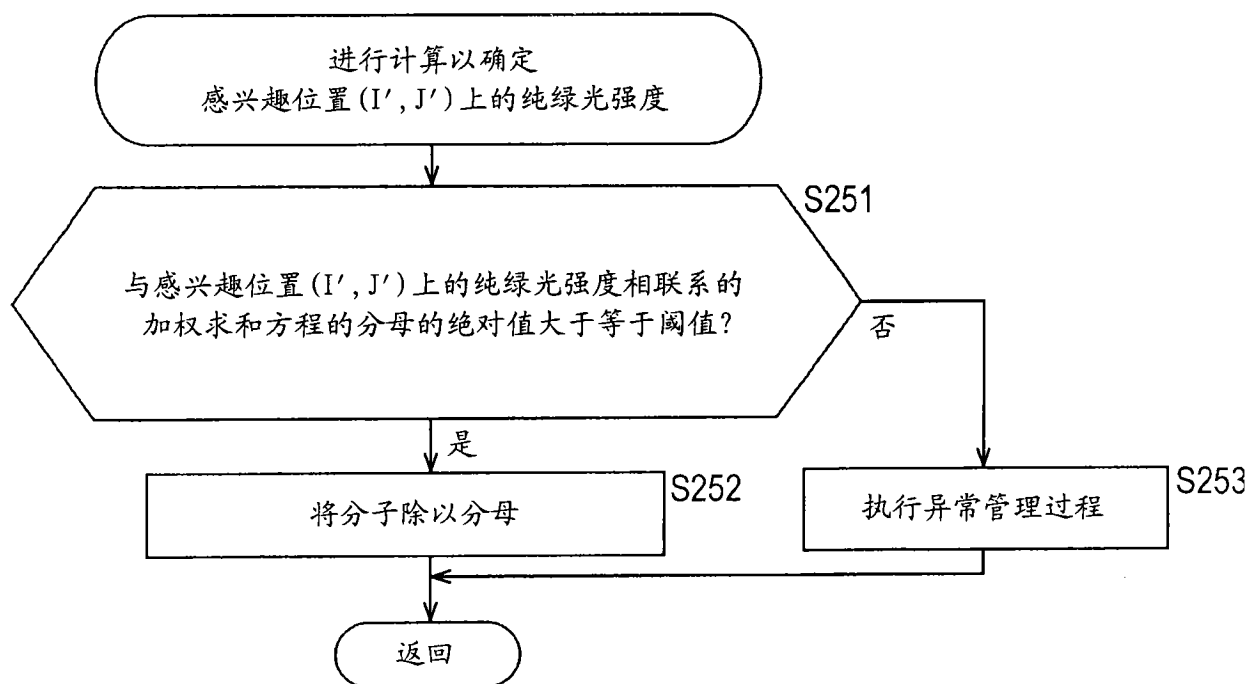


图 51

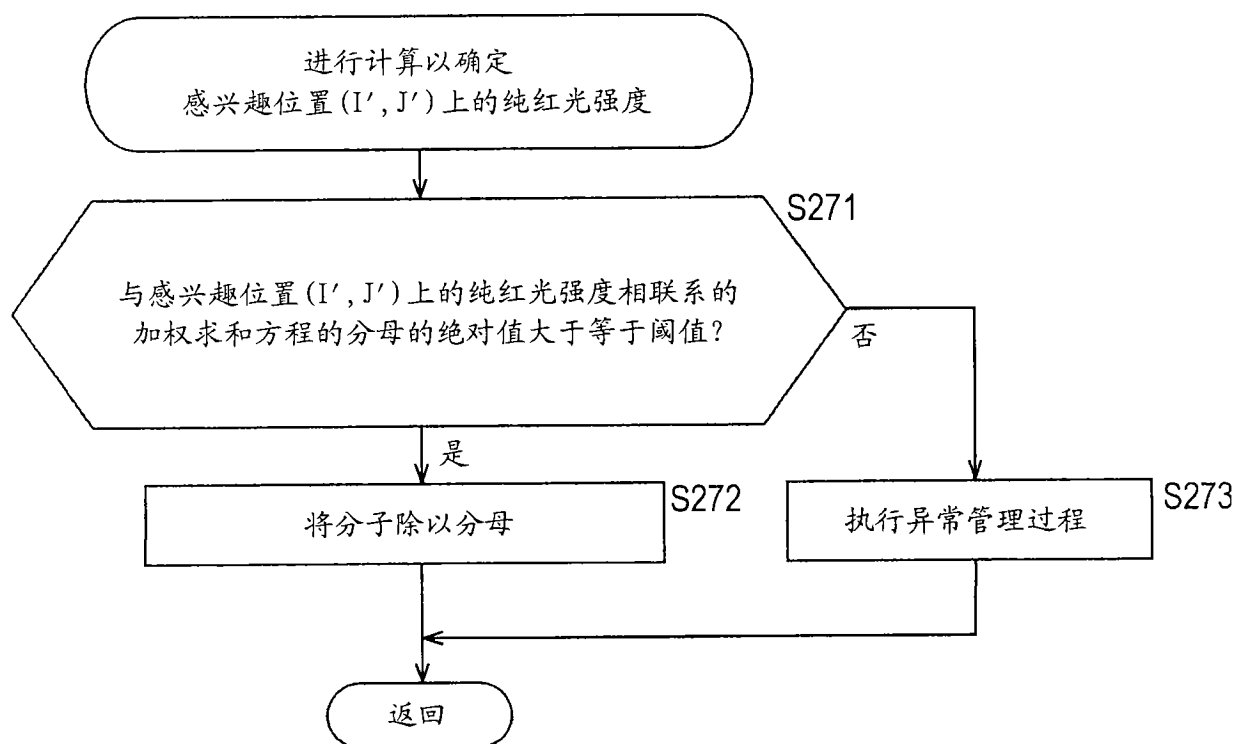


图 52

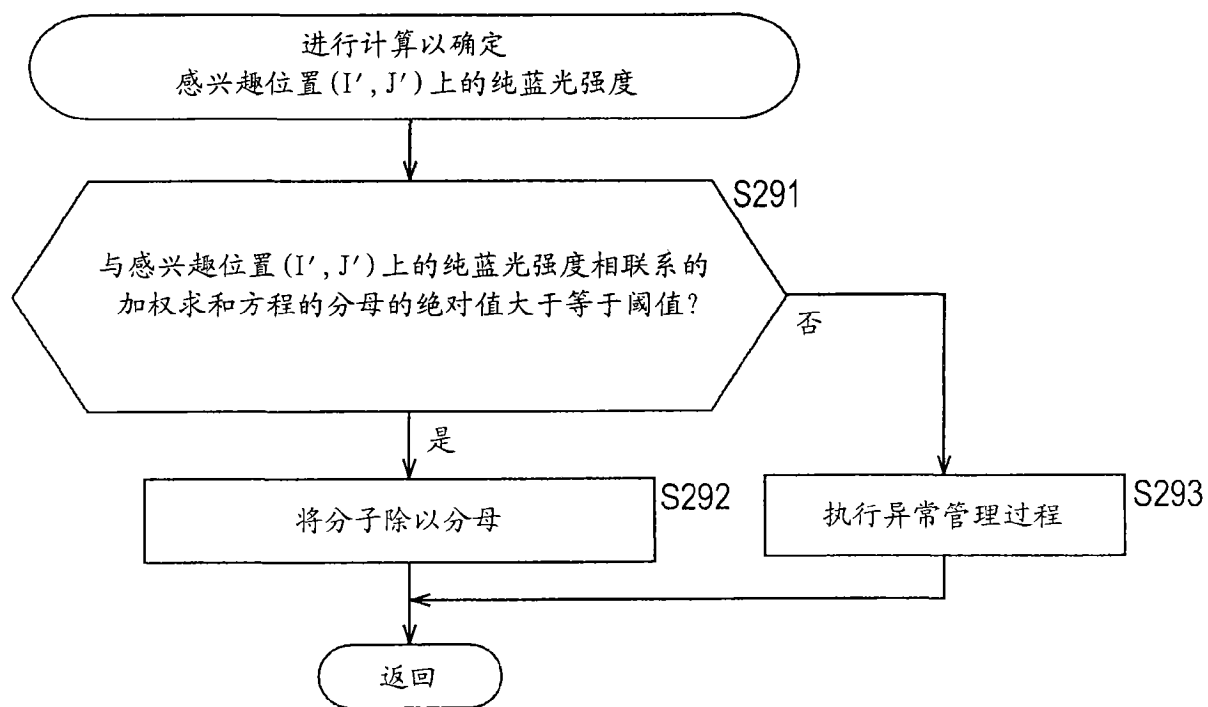


图 53

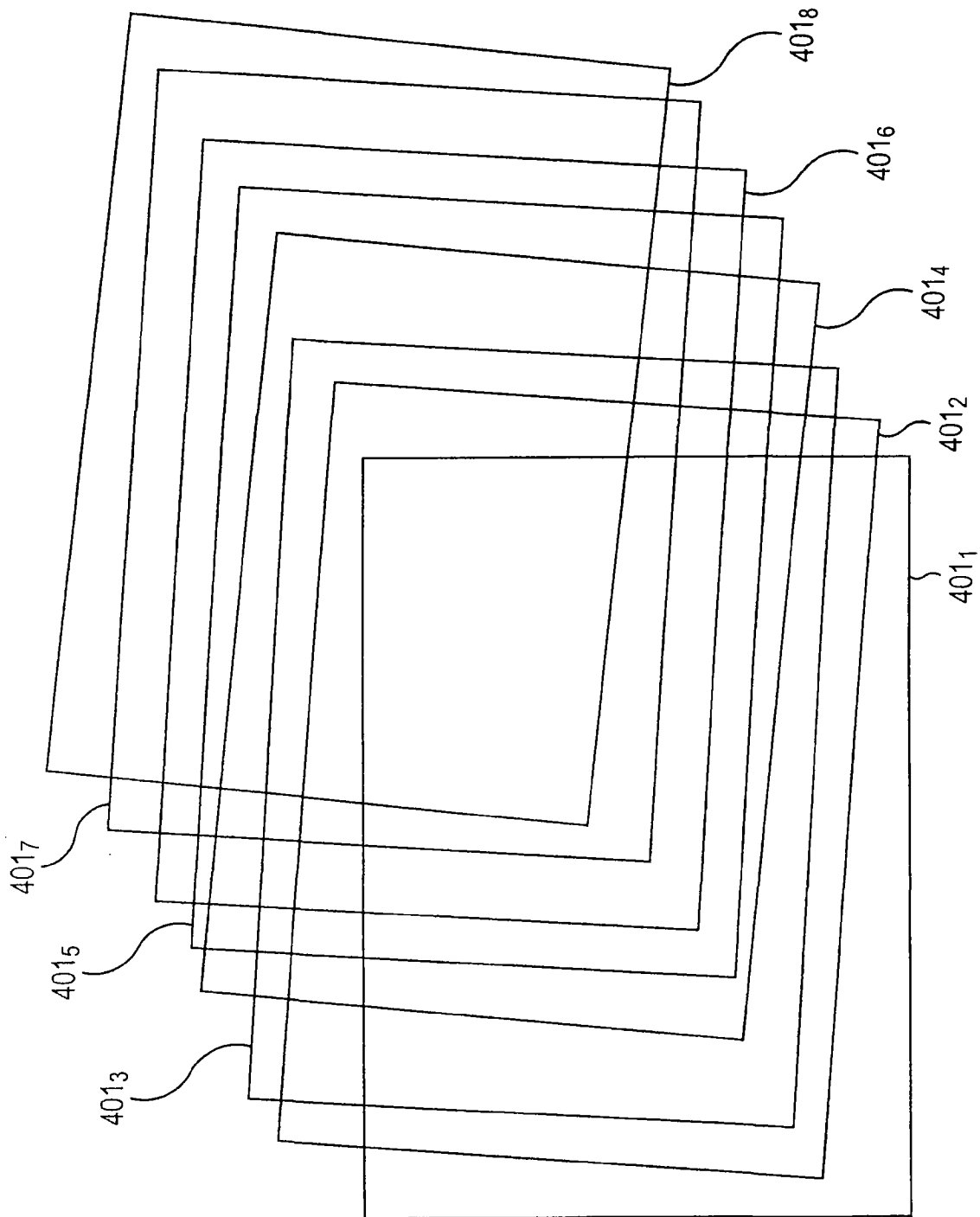


图 54

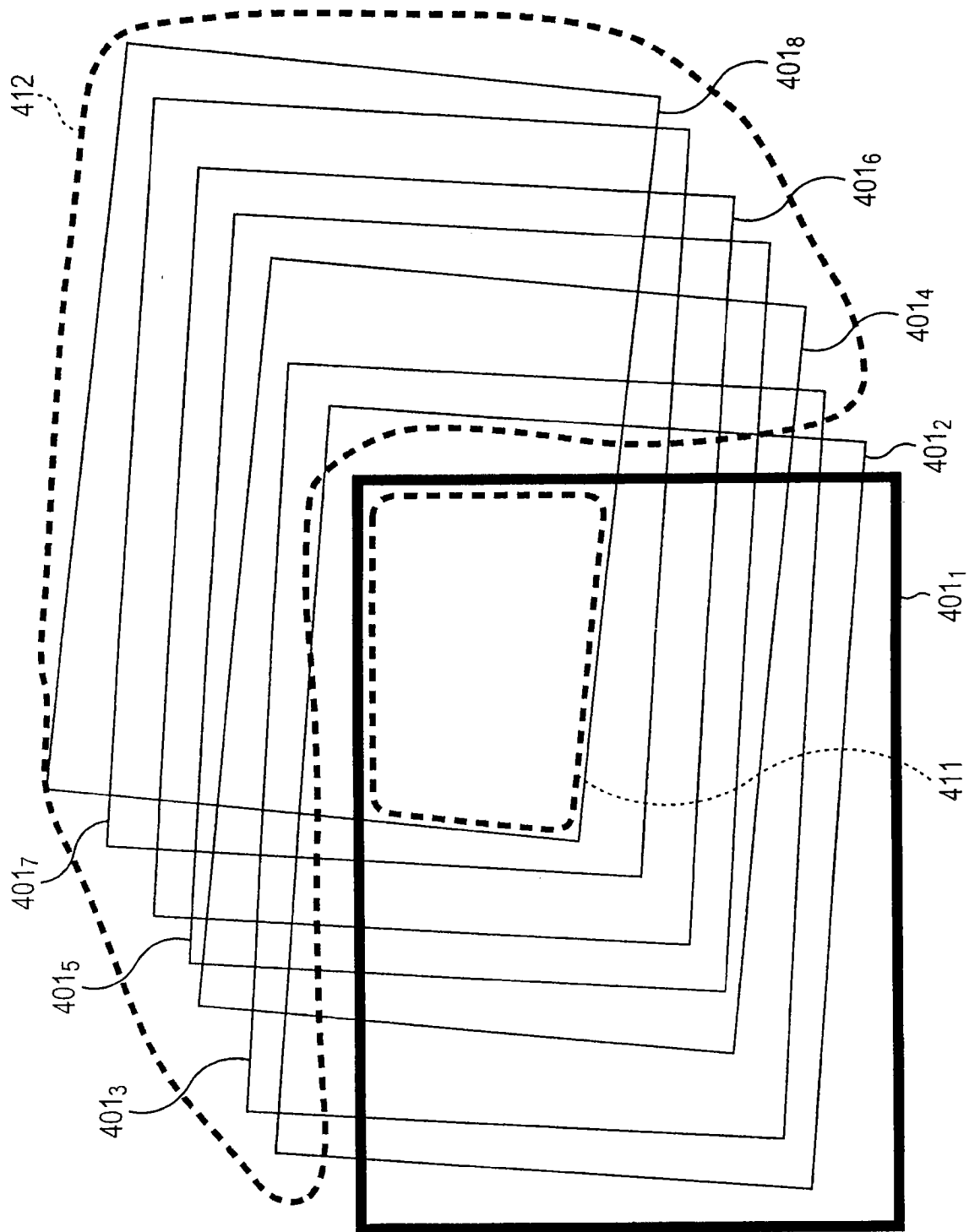


图 55

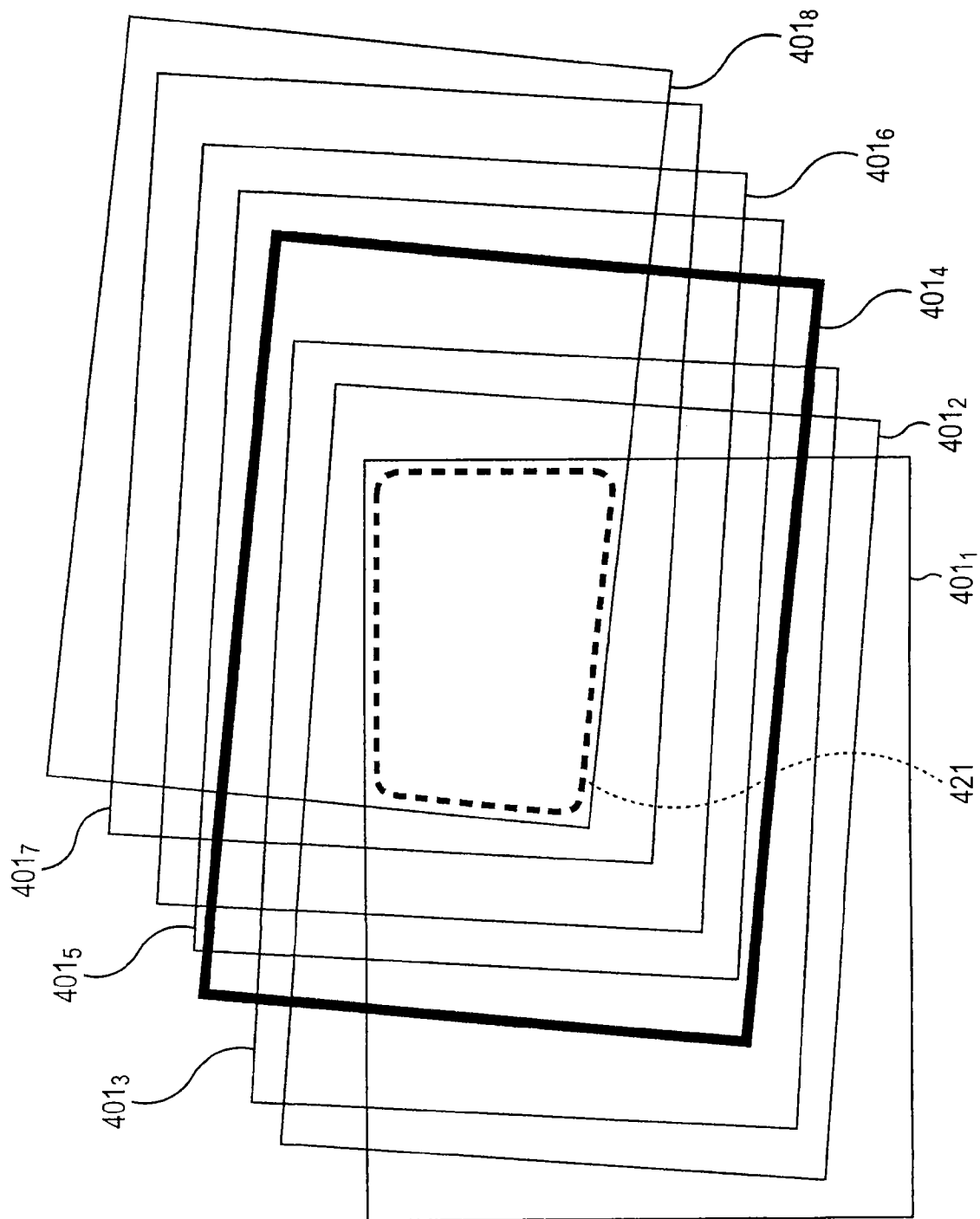


图 56