



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119768825 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 04

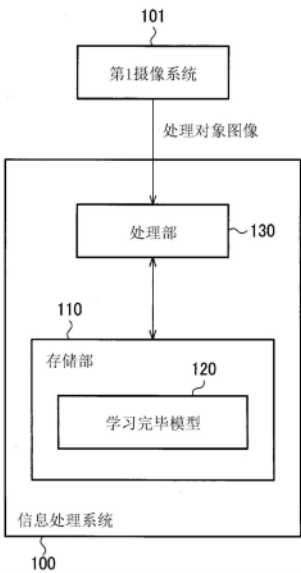
(21) 申请号 202280099456.0
(22) 申请日 2022.09.08
(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2025.02.21
(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/033706 2022.09.08
(87) PCT国际申请的公布数据
W02024/053046 JA 2024.03.14
(71) 申请人 奥林巴斯医疗株式会社
地址 日本东京都
(72) 发明人 冈哲大 松尾圭悟 浪井有纪
中岛奖太
(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
专利代理师 于英慧

(51) Int.Cl.
G06T 5/73 (2024.01)
G06T 3/4046 (2024.01)
G06T 3/4053 (2024.01)
A61B 1/00 (2006.01)

权利要求书4页 说明书24页 附图42页

(54) 发明名称
信息处理系统、内窥镜系统、学习完毕模型、
信息存储介质和信息处理方法

(57) 摘要
信息处理系统(100)包含:存储部(110),其
存储利用包含学习图像组(32G)和正解图像(36)
的数据集进行机器学习而得到的学习完毕模型
(120);以及处理部(130),其使用学习完毕模型
(120),对作为由第1摄像系统(101)拍摄到的图
像的处理对象图像中由于第1摄像系统(101)的
散焦而引起的模糊进行校正。针对多个学习图像
(32)的各学习图像(32)中的第1摄像系统(101)
的光轴上的区域和光轴上以外的区域,根据光轴
上的传递函数或点像分布函数进行散焦模拟处
理。学习完毕模型(120)被机器学习成,使各学习
图像(32)成为正解图像(36)。



1. 一种信息处理系统,所述信息处理系统包含:

存储部,其存储利用包含学习图像组和正解图像的数据集进行机器学习而得到的学习完毕模型;以及

处理部,其使用所述学习完毕模型,对作为由第1摄像系统拍摄到的图像的处理对象图像中由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊进行校正,

其特征在于,

所述学习图像组包含根据多个物体距离下的所述第1摄像系统的传递函数或点像分布函数对规定被摄体图像进行散焦模拟处理而生成的多个学习图像,所述规定被摄体图像是由任意的摄像系统拍摄到的、所述任意的摄像系统聚焦于规定被摄体的图像,所述散焦模拟处理模拟由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊的影响,

针对所述多个学习图像的各学习图像中的所述第1摄像系统的光轴上的区域和所述光轴上以外的区域,根据所述光轴上的所述传递函数或所述点像分布函数进行所述散焦模拟处理,

所述正解图像是根据所述第1摄像系统聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数针对所述规定被摄体图像进行最佳对焦模拟处理而生成的图像、或所述规定被摄体图像本身,所述最佳对焦模拟处理模拟所述第1摄像系统聚焦的状态,

所述学习完毕模型被机器学习成,使所述各学习图像成为所述正解图像。

2. 根据权利要求1所述的信息处理系统,其特征在于,

所述各学习图像是根据所述多个物体距离中的任意一个所述物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数对所述规定被摄体图像进行所述散焦模拟处理而生成的图像。

3. 根据权利要求1所述的信息处理系统,其特征在于,

所述第1摄像系统是反焦型的透镜结构,

最大视场角下的畸变量为-30%以下。

4. 根据权利要求3所述的信息处理系统,其特征在于,

所述第1摄像系统还包含使所述传递函数或所述点像分布函数变化的光波面调制元件。

5. 根据权利要求1所述的信息处理系统,其特征在于,

所述物体距离被设定成,在所述第1摄像系统的MTF的规定空间频率下,相邻的所述物体距离下的MTF的值之差为规定值以下。

6. 根据权利要求5所述的信息处理系统,其特征在于,

所述处理部使用所述学习完毕模型,针对所述处理对象图像校正由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊,由此估计所述第1摄像系统的景深被扩大成比所述景深大的目标扩大景深的图像,

所述规定空间频率是所述目标扩大景深的近点处的所述MTF的值为零的、比最低的空间频率低的空间频率。

7. 根据权利要求5所述的信息处理系统,其特征在于,

所述规定空间频率是所述第1摄像系统的摄像元件的奈奎斯特频率的1/5的空间频率。

8. 根据权利要求5所述的信息处理系统,其特征在于,

所述规定值根据能够设定为2个以上的所述物体距离的个数来决定。

9. 根据权利要求5所述的信息处理系统,其特征在于,
所述规定值被设定为0.2以下。
10. 根据权利要求5所述的信息处理系统,其特征在于,
所述规定值被设定为0.1以下。
11. 根据权利要求5所述的信息处理系统,其特征在于,
所述规定值被设定为0.05以下。
12. 根据权利要求1所述的信息处理系统,其特征在于,
所述散焦模拟处理是如下的处理:针对所述规定被摄体图像,对所述第1摄像系统在各个所述物体距离下的PSF进行卷积运算。
13. 根据权利要求1所述的信息处理系统,其特征在于,
所述散焦模拟处理是如下的处理:对所述规定被摄体图像进行傅里叶变换,对作为该傅里叶变换的结果的所述规定被摄体图像的频率特性乘以所述第1摄像系统在各个所述物体距离下的OTF,对相乘后的所述频率特性进行傅里叶逆变换。
14. 根据权利要求1所述的信息处理系统,其特征在于,
所述任意的摄像系统是所述第1摄像系统,
所述散焦模拟处理还包含如下处理:根据所述第1摄像系统在所述聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数、以及所述第1摄像系统在所述多个物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数,从所述规定被摄体图像中去除所述第1摄像系统的影响。
15. 根据权利要求1所述的信息处理系统,其特征在于,
所述散焦模拟处理还包含以下处理:
根据所述任意的摄像系统在所述聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数、以及所述第1摄像系统在所述多个物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数,模拟所述任意的摄像系统与所述第1摄像系统之差的处理;以及
缩小所述规定被摄体图像的处理,
所述正解图像是进行所述最佳对焦模拟处理而生成的图像、或进行缩小所述规定被摄体图像的处理而生成的图像,
所述最佳对焦模拟处理还包含以下处理:
根据所述任意的摄像系统在所述聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数、以及所述第1摄像系统在所述聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数,模拟所述任意的摄像系统与所述第1摄像系统之差的处理;以及
包含缩小所述规定被摄体图像的处理的处理。
16. 根据权利要求1所述的信息处理系统,其特征在于,
所述任意的摄像系统包含单色摄像元件,
所述规定被摄体图像是通过如下处理得到的面序式图像:在依次照射多个波段的光的情况下,在照射各个所述波段的光的时机对由所述单色摄像元件拍摄到的多个图像进行合成,
所述第1摄像系统包含同时式摄像元件,所述同时式摄像元件具有颜色彼此不同的多个像素,并且对各个所述像素分配有1个颜色,
所述散焦模拟处理还包含以下处理:

根据所述规定被摄体图像生成对各个所述像素分配1个颜色而得到的马赛克图像的处理；

对所述马赛克图像进行去马赛克的处理；

根据所述任意的摄像系统在所述聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数、以及所述第1摄像系统在所述多个物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数，模拟所述任意的摄像系统与所述第1摄像系统之差的处理；以及

缩小所述规定被摄体图像的处理，

所述正解图像是进行所述最佳对焦模拟处理而生成的图像、或进行缩小所述规定被摄体图像的处理而生成的图像，

所述最佳对焦模拟处理还包含以下处理：

生成所述马赛克图像的处理；

对所述马赛克图像进行去马赛克的处理；

根据所述任意的摄像系统在所述聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数、以及所述第1摄像系统在聚焦的物体距离下的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数，模拟所述任意的摄像系统与所述第1摄像系统之差的处理；以及

包含缩小所述规定被摄体图像的处理的处理。

17. 根据权利要求1所述的信息处理系统，其特征在于，

所述聚焦的物体距离是最佳对焦条件下的所述物体距离。

18. 根据权利要求1所述的信息处理系统，其特征在于，

所述多个物体距离中的第1物体距离是景深外的所述物体距离，

所述多个物体距离中的第2物体距离是景深内的所述物体距离。

19. 一种内窥镜系统，其特征在于，所述内窥镜系统包含：

处理器单元，其具有权利要求1~18中的任意一项所述的信息处理系统；以及

内窥镜镜体，其与所述处理器单元连接，对所述处理对象图像进行摄像。

20. 一种学习完毕模型，其被用于信息处理系统，是利用包含学习图像组和正解图像的数据集进行机器学习而得到的，所述信息处理系统包含存储学习完毕模型的存储部、输入部、处理部和输出部，其特征在于，

所述学习图像组包含根据多个物体距离下的第1摄像系统的传递函数或点像分布函数对规定被摄体图像进行散焦模拟处理而生成的多个学习图像，所述规定被摄体图像是由任意的摄像系统拍摄到的、所述任意的摄像系统聚焦于规定被摄体的图像，所述散焦模拟处理模拟由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊的影响，

针对所述多个学习图像的各学习图像中的所述第1摄像系统的光轴上的区域和所述光轴上以外的区域，根据所述光轴上的所述传递函数或所述点像分布函数进行所述散焦模拟处理，

所述正解图像是根据所述第1摄像系统聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数针对所述规定被摄体图像进行最佳对焦模拟处理而生成的图像、或所述规定被摄体图像本身，该最佳对焦模拟处理模拟所述第1摄像系统聚焦的状态，

所述学习完毕模型被机器学习成，使所述各学习图像成为所述正解图像，

所述输入部将作为由所述第1摄像系统拍摄到的图像的处理对象图像输入到所述学习

完毕模型,

所述处理部使用所述学习完毕模型进行校正处理,所述校正处理对所述处理对象图像中由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊进行校正,

所述输出部输出基于所述校正处理的校正图像。

21.一种信息存储介质,其特征在于,所述信息存储介质存储权利要求20所述的学习完毕模型。

22.一种信息处理方法,通过利用包含学习图像组和正解图像的数据集进行机器学习而得到的学习完毕模型,对作为由第1摄像系统拍摄到的图像的处理对象图像中由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊进行校正,其特征在于,

所述学习图像组包含根据多个物体距离下的所述第1摄像系统的传递函数或点像分布函数对规定被摄体图像进行散焦模拟处理而生成的多个学习图像,所述规定被摄体图像是由任意的摄像系统拍摄到的、所述任意的摄像系统聚焦于规定被摄体的图像,所述散焦模拟处理模拟由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊的影响,

针对所述多个学习图像的各学习图像中的所述第1摄像系统的光轴上的区域和所述光轴上以外的区域,根据所述光轴上的所述传递函数或所述点像分布函数进行所述散焦模拟处理,

所述正解图像是根据所述第1摄像系统聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数针对所述规定被摄体图像进行最佳对焦模拟处理而生成的图像、或所述规定被摄体图像本身,该最佳对焦模拟处理模拟所述第1摄像系统聚焦的状态,

所述学习完毕模型被机器学习成,使所述各学习图像成为所述正解图像。

信息处理系统、内窥镜系统、学习完毕模型、信息存储介质和信息处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及信息处理系统、内窥镜系统、学习完毕模型、信息存储介质和信息处理方法等。

背景技术

[0002] 在内窥镜观察等中,期望更接近被摄体来进行放大观察。但是,在光学上,随着基于像素微细化的高分辨率化,景深变窄,因此,要求使用图像处理技术来扩大景深的技术。在专利文献1中公开了通过深度学习来校正摄像系统的光学劣化的技术。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:国际公开第2018/037521号

发明内容

[0006] 发明要解决的课题

[0007] 在专利文献1中,使用对预先拍摄的参照图像附加了光学劣化信息而得到的图像作为学习图像,但是,应该学习的光学劣化信息根据物体距离和像高而存在无数个,因此,需要庞大的学习图像,处理所需要的网络规模变大,因此,担心处理能力的降低、安装成本的增加等。

[0008] 用于解决课题的手段

[0009] 本发明的一个方式涉及一种信息处理系统,所述信息处理系统包含:存储部,其存储利用包含学习图像组和正解图像的数据集进行机器学习而得到的学习完毕模型;以及处理部,其使用所述学习完毕模型,对作为由第1摄像系统拍摄到的图像的处理对象图像中由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊进行校正,其中,所述学习图像组包含根据多个物体距离下的所述第1摄像系统的传递函数或点像分布函数对规定被摄体图像进行散焦模拟处理而生成的多个学习图像,所述规定被摄体图像是由任意的摄像系统拍摄到的、所述任意的摄像系统聚焦于规定被摄体的图像,所述散焦模拟处理模拟由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊的影响,针对所述多个学习图像的各学习图像中的所述第1摄像系统的光轴上的区域和所述光轴上以外的区域,根据所述光轴上的所述传递函数或所述点像分布函数进行所述散焦模拟处理,所述正解图像是根据所述第1摄像系统聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数针对所述规定被摄体图像进行最佳对焦模拟处理而生成的图像、或所述规定被摄体图像本身,该最佳对焦模拟处理模拟所述第1摄像系统聚焦的状态,所述学习完毕模型被机器学习成,使所述各学习图像成为所述正解图像。

[0010] 此外,本发明的另一个方式涉及一种内窥镜系统,所述内窥镜系统包含:处理器单元,其具有上述记载的信息处理系统;以及内窥镜镜体,其与所述处理器单元连接,对所述处理对象图像进行摄像。

[0011] 此外,本发明的又一个方式涉及一种学习完毕模型,所述学习完毕模型被用于信息处理系统,是利用包含学习图像组和正解图像的数据集进行机器学习而得到的,所述信息处理系统包含存储学习完毕模型的存储部、输入部、处理部和输出部,其中,所述学习图像组包含根据多个物体距离下的第1摄像系统的传递函数或点像分布函数对规定被摄体图像进行散焦模拟处理而生成的多个学习图像,所述规定被摄体图像是由任意的摄像系统拍摄到的、所述任意的摄像系统聚焦于规定被摄体的图像,所述散焦模拟处理模拟由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊的影响,针对所述多个学习图像的各学习图像中的所述第1摄像系统的光轴上的区域和所述光轴上以外的区域,根据所述光轴上的所述传递函数或所述点像分布函数进行所述散焦模拟处理,所述正解图像是根据所述第1摄像系统聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数针对所述规定被摄体图像进行最佳对焦模拟处理而生成的图像、或所述规定被摄体图像本身,该最佳对焦模拟处理模拟所述第1摄像系统聚焦的状态,所述学习完毕模型被机器学习成,使所述各学习图像成为所述正解图像,所述输入部将作为由所述第1摄像系统拍摄到的图像的处理对象图像输入到所述学习完毕模型,所述处理部使用所述学习完毕模型进行校正处理,所述校正处理对所述处理对象图像中由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊进行校正,所述输出部输出基于所述校正处理的校正图像。

[0012] 此外,本发明的又一个方式涉及一种信息存储介质,所述信息存储介质存储上述记载的学习完毕模型。

[0013] 此外,本发明的又一个方式涉及一种信息处理方法,所述信息处理方法通过利用包含学习图像组和正解图像的数据集进行机器学习而得到的学习完毕模型,对作为由第1摄像系统拍摄到的图像的处理对象图像中由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊进行校正,其中,所述学习图像组包含根据多个物体距离下的所述第1摄像系统的传递函数或点像分布函数对规定被摄体图像进行散焦模拟处理而生成的多个学习图像,所述规定被摄体图像是由任意的摄像系统拍摄到的、所述任意的摄像系统聚焦于规定被摄体的图像,所述散焦模拟处理模拟由于所述第1摄像系统的散焦而引起的模糊的影响,针对所述多个学习图像的各学习图像中的所述第1摄像系统的光轴上的区域和所述光轴上以外的区域,根据所述光轴上的所述传递函数或所述点像分布函数进行所述散焦模拟处理,所述正解图像是根据所述第1摄像系统聚焦的物体距离下的所述传递函数或所述点像分布函数针对所述规定被摄体图像进行最佳对焦模拟处理而生成的图像、或所述规定被摄体图像本身,该最佳对焦模拟处理模拟所述第1摄像系统聚焦的状态,所述学习完毕模型被机器学习成,使所述各学习图像成为所述正解图像。

附图说明

[0014] 图1是说明信息处理系统的结构例的框图。

[0015] 图2是说明信息处理系统的更加详细的结构例的框图。

[0016] 图3是说明信息处理系统的处理例的流程图。

[0017] 图4是说明学习装置的结构例的框图。

[0018] 图5是说明训练模型的图。

[0019] 图6是说明神经网络的图。

- [0020] 图7是说明学习完毕模型制作处理的流程图。
- [0021] 图8是说明本实施方式的机器学习的例子的图。
- [0022] 图9是说明景深与目标景深之间的关系的图。
- [0023] 图10是说明图像数据生成处理的例子的图。
- [0024] 图11是说明图像数据生成处理的另一个例子的图。
- [0025] 图12是说明传递函数或点像分布函数的图。
- [0026] 图13是说明本实施方式的散焦模拟处理的图。
- [0027] 图14是说明内窥镜系统的例子的框图。
- [0028] 图15是说明内窥镜系统的另一个例子的框图。
- [0029] 图16是说明散焦模拟处理的物体距离与MTF之间的关系的图。
- [0030] 图17是说明散焦模拟处理的物体距离与MTF之间的关系的另一个图。
- [0031] 图18是说明散焦模拟处理的具体的运算方法的图。
- [0032] 图19是说明散焦模拟处理的具体的运算方法的另一个图。
- [0033] 图20是说明最佳对焦模拟处理的具体的运算方法的图。
- [0034] 图21是说明最佳对焦模拟处理的具体的运算方法的另一个图。
- [0035] 图22是说明第1摄像系统的透镜结构的例子的图。
- [0036] 图23是说明第1摄像系统的透镜结构的例子的另一个图。
- [0037] 图24是说明畸变量的图。
- [0038] 图25是说明包含相位调制元件的透镜结构的图。
- [0039] 图26是说明由于包含相位调制元件而引起的MTF的变化的例子的图。
- [0040] 图27是说明图像数据生成处理的另一个例子的图。
- [0041] 图28是说明散焦模拟处理的另一个例子的图。
- [0042] 图29是说明图像数据生成处理的另一个例子的图。
- [0043] 图30是说明散焦模拟处理的另一个例子的图。
- [0044] 图31是说明最佳对焦模拟处理的另一个例子的图。
- [0045] 图32是说明信息处理系统的另一个结构例的图。
- [0046] 图33是说明图像数据生成处理的另一个例子的图。
- [0047] 图34是说明散焦模拟处理的另一个例子的图。
- [0048] 图35是说明马赛克处理与去马赛克处理之间的关系的图。
- [0049] 图36是说明最佳对焦模拟处理的另一个例子的图。
- [0050] 图37是说明信息处理系统的另一个结构例的图。
- [0051] 图38是说明信息处理系统的另一个处理例的流程图。
- [0052] 图39是说明第1学习完毕模型制作处理的流程图。
- [0053] 图40是说明第2学习完毕模型制作处理的流程图。
- [0054] 图41是说明图像数据生成处理的另一个例子的图。
- [0055] 图42是说明散焦模拟处理的另一个例子的图。
- [0056] 图43是说明最佳对焦模拟处理的另一个例子的图。

具体实施方式

[0057] 下面,对本实施方式进行说明。另外,以下说明的本实施方式并非不当地限定权利要求书所记载的本发明的内容。此外,本实施方式中说明的全部结构不一定是本发明的必须结构要件。例如,下面,以将信息处理系统应用于医疗用内窥镜的情况为例进行说明,但是不限于此,能够将本发明的信息处理系统应用于各种拍摄系统或影像显示系统。例如,能够将本发明的信息处理系统应用于静态照相机、摄像机、电视接收机、显微镜或工业用内窥镜。

[0058] 图1是说明本实施方式的信息处理系统100的结构例的框图。本信息处理系统100包含存储部110和处理部130。存储部110存储进行机器学习而得到的学习完毕模型120。学习完毕模型120是输出对处理对象图像中由于散焦而引起的模糊进行校正后的校正图像的程序模块,通过进行后述的机器学习而被生成或更新。处理对象图像是例如如图1所示由第1摄像系统101拍摄的图像数据,但是不限于此,详细情况在后面叙述。另外,在本实施方式中,有时将能够作为数字数据进行处理的图像数据仅称为图像。学习图像组32G是由第1学习图像32-1、第2学习图像32-2、……、第N学习图像32-N构成的学习图像32的集合,与正解图像36一起,详细情况在后面叙述。即,本实施方式的处理部130使用学习完毕模型120,对作为由第1摄像系统101拍摄到的图像的处理对象图像中由于第1摄像系统101的散焦而引起的模糊进行校正。另外,将存储部110、处理部130分别也称为存储装置、处理装置。

[0059] 本实施方式中的机器学习例如有监督学习。有监督学习中的训练数据是将输入数据和正解标签对应起来的数据集。具体而言,本实施方式的学习完毕模型120是通过基于如下数据集的有监督学习而生成的,该数据集将由学习图像32构成的输入数据和由聚焦的正解图像36构成的正解标签对应起来,该学习图像32是模拟各种模糊的影响而得到的图像。

[0060] 本实施方式的处理部130由下述的硬件构成。硬件能够包含对数字信号进行处理的电路和对模拟信号进行处理的电路中的至少一方。例如,硬件能够由被安装于电路基板的1个或多个电路装置、1个或多个电路元件构成。1个或多个电路装置例如是IC等。1个或多个电路元件例如是电阻、电容器等。

[0061] 此外,处理部130也可以通过下述的处理器来实现。本实施方式的处理部130包含存储信息的存储器、以及根据存储器中存储的信息进行动作的处理器。存储器例如是存储部110。信息例如是程序和各种数据等。处理器包含硬件。处理器能够使用CPU(Central Processing Unit:中央处理单元)、GPU(Graphics Processing Unit:图形处理单元)、DSP(Digital Signal Processor:数字信号处理器)等各种处理器。存储器可以是SRAM(Static Random Access Memory:静态随机存取存储器)、DRAM(Dynamic Random Access Memory:动态随机存取存储器)等半导体存储器,也可以是寄存器,还可以是硬盘装置等磁存储装置,还可以是光盘装置等光学式存储装置。例如,存储器存储能够由计算机读取的命令,该命令由处理器执行,由此,处理部130的各部的功能作为处理来实现。这里的命令可以是构成程序的命令集的命令,也可以是对处理器的硬件电路指示动作的命令。

[0062] 此外,本实施方式的学习完毕模型120也可以被用于图2的结构例所示的信息处理系统100。即,本实施方式的学习完毕模型120被用于信息处理系统100,是利用包含学习图像组32G和正解图像36的数据集进行机器学习而得到的,该信息处理系统100包含存储学习

完毕模型120的存储部110、输入部140、处理部130和输出部150。

[0063] 输入部140是从外部接收处理对象图像的接口。具体而言,例如如图1、图2所示,是从第1摄像系统101接收图像数据作为处理对象图像的图像数据接口。例如,输入部140将接收到的处理对象图像设为针对学习完毕模型120的输入数据,由处理部130进行后述的处理,由此发挥作为输入部140的功能。即,在本实施方式的学习完毕模型120中,输入部140将作为由第1摄像系统101拍摄到的图像的处理对象图像输入到学习完毕模型120。

[0064] 输出部150是将所述的校正图像发送到外部的接口。例如,将来自学习完毕模型120的输出数据设为输出部150发送的校正图像,由此发挥作为输出部150的功能。校正图像的发送目的地例如是与信息处理系统100连接的规定的显示装置,例如将输出部150设为能够与该规定的显示装置连接的接口,由此在显示装置中显示校正图像,发挥作为输出部150的功能。另外,校正图像的输出目的地也可以是外部设备的存储装置等。

[0065] 图3是说明由本实施方式的信息处理系统100实现的方法的流程图。处理部130在进行处理对象图像读入(步骤S10)、学习完毕模型读入(步骤S20)后,进行校正处理(步骤S30)。具体而言,例如处理部130进行将经由输入部140接收到的处理对象图像输入到从存储部110读出的学习完毕模型120的处理。学习完毕模型120在判断为作为输入数据的处理对象图像与学习图像32相同的情况下,将应该输出的数据估计为正解图像36,因此,在被输入处理对象图像时,输出正解图像36。在对处理对象图像和正解图像36进行比较时,正解图像36是对处理对象图像中的由于第1摄像系统101的散焦而引起的模糊进行了校正的图像这样的关系成立。即,处理部130使用学习完毕模型120进行校正处理(步骤S30),该校正处理对处理对象图像中由于第1摄像系统101的散焦而引起的模糊进行校正。

[0066] 然后,处理部130进行校正图像输出(步骤S40)。具体而言,输出部150如上所述发挥功能,由此,校正图像被输出到期望的输出目的地。换言之,输出部150输出基于校正处理的校正图像。

[0067] 接着,对学习完毕模型120的机器学习进行说明。机器学习例如由学习装置10来进行。图4是示出学习装置10的结构例的框图。学习装置10例如包含通信部12、学习装置处理部16和学习装置存储部18。

[0068] 通信部12是能够以规定的通信方式与信息处理系统100进行通信的通信接口。规定的通信方式例如是基于Wi-Fi(注册商标)等无线通信标准的通信方式,但是不限于此,也可以是基于USB等有线通信标准的通信方式。由此,学习装置10将通过后述的方法进行机器学习而得到的学习完毕模型120发送到信息处理系统100,信息处理系统100能够对学习完毕模型120进行更新。另外,图4是使学习装置10和信息处理系统100分开的例子,但是,并不妨碍成为信息处理系统100包含与学习装置10相当的学习服务器的结构例。

[0069] 学习装置处理部16在与通信部12、学习装置存储部18等各功能部之间进行数据的输入输出控制。学习装置处理部16能够通过图1的处理部130相同的处理器来实现。学习装置处理部16根据从学习装置存储部18读出的规定的程序、来自图4中未图示的操作部的操作输入信号等执行各种运算处理,控制针对信息处理系统100的数据输出动作等。这里的规定的程序包含机器学习程序。即,学习装置处理部16从学习装置存储部18读出机器学习程序和必要的程序等并执行,由此发挥机器学习的功能。

[0070] 学习装置存储部18除了存储未图示的机器学习程序以外,还存储训练模型20、规

定被摄体图像30、光学系统信息40。学习装置存储部18能够通过与所述的存储部110相同的半导体存储器等来实现。另外,学习装置存储部18也可以还包含其他信息。其他信息例如是后述的摄像元件信息50等。

[0071] 规定被摄体图像30是与处理对象图像有关的被摄体的图像,后述的学习图像32和正解图像36基于规定被摄体图像30来制作。即,在学习装置存储部18中预先存储有可能成为处理对象图像的被摄体种类数量的规定被摄体图像30。举出更加具体的例子时,在信息处理系统100被用于后述的内窥镜系统300的情况下,由后述的内窥镜镜体310拍摄到的内腔等摄像图像成为规定被摄体图像30。另外,在以后的说明中,为了方便,将没有特别限制对规定被摄体图像30进行摄像的摄像系统时的摄像系统称为任意的摄像系统104。限定了摄像系统而对规定被摄体图像30进行摄像的情况在后面叙述。

[0072] 训练模型20是作为学习装置处理部16进行机器学习的对象的模型。这里的模型是导出估计对象数据与估计结果数据之间的对应关系的信息。更具体而言,是根据作为估计对象数据的学习图像32导出作为估计结果数据的输出图像34的信息。在本实施方式的训练模型20中,模型的至少一部分包含神经网络NN。神经网络NN的详细情况利用图6在后面叙述。另外,如上所述,在信息处理系统100和学习装置10被一体化的情况下,也可以将学习完毕模型120作为对象来进行机器学习。

[0073] 例如,在第1学习图像32-1被输入到训练模型20时,训练模型20输出第1输出图像34-1。同样,在第N学习图像32-N被输入到训练模型20时,训练模型20输出第N输出图像34-N。即,如图5所示,在本实施方式的学习装置10中,由第1学习图像32-1~第N学习图像32-N构成的N个图像作为学习图像组32G被输入到训练模型20。

[0074] 图6是说明神经网络NN的示意图。神经网络NN具有被输入数据的输入层、根据来自输入层的输出进行运算的中间层、以及根据来自中间层的输出而输出数据的输出层。在图6中,例示了中间层为2层的网络,但是,中间层也可以为1层,还可以为3层以上。此外,各层中包含的节点的数量不限于图6的例子,能够进行各种变形实施。如图6所示,既定的层中包含的节点与相邻的层的节点连接。对各连接设定加权系数。各节点将前级的节点的输出和加权系数相乘,求出相乘结果的合计值。进而,各节点对合计值加上偏置,对相加结果应用激活函数,由此求出该节点的输出。从输入层朝向输出层依次执行该处理,由此求出神经网络NN的输出。另外,作为激活函数,公知有S型(sigmoid)函数、ReLU函数等各种函数,在本实施方式中能够广泛应用它们。

[0075] 关于神经网络NN,公知有各种结构的模型,在本实施方式中能够广泛应用它们。例如,神经网络NN可以是CNN(Convolutional Neural Network:卷积神经网络),也可以是RNN(Recurrent Neural Network:递归神经网络),还可以是其他模型。

[0076] 图7是说明学习完毕模型制作处理(步骤S100)的处理例的流程图。学习完毕模型制作处理(步骤S100)是通过机器学习来制作或更新学习完毕模型120的处理。学习装置处理部16在进行规定被摄体图像读入(步骤S110)后,进行图像数据生成处理(步骤S120)。例如学习装置处理部16从学习装置存储部18读出规定被摄体图像30,使用规定被摄体图像30进行生成学习图像32和正解图像36的规定的处理。规定的处理是散焦模拟处理(步骤S200)、最佳对焦模拟处理(步骤S300)等,详细情况在后面叙述。

[0077] 然后,学习装置处理部16进行校正学习处理(步骤S130)。例如学习装置处理部16

进行从学习装置存储部18读出训练模型20的处理、将通过图像数据生成处理(步骤S120)生成的学习图像32输入到训练模型20的处理,并根据从训练模型20输出的输出图像34和正解图像36进行机器学习处理。

[0078] 例如如图8所示,基于输出图像34和正解图像36的机器学习处理是以使第1输出图像34-1~第N输出图像34-N成为正解图像36的方式对神经网络NN的网络参数进行变更的处理。具体而言,对神经网络NN的网络参数进行变更的处理例如是进行神经网络NN中的适当的加权系数的更新的处理。这里的加权系数包含偏置。在加权系数的更新中,例如能够利用从输出层朝向输入层更新加权系数的误差反向传播法。即,学习装置10将学习数据中的输入数据输入到模型,使用此时的加权系数进行基于模型结构的正向运算,由此求出输出。根据该输出和正解标签计算误差函数,进行加权系数的更新,以减小该误差函数。

[0079] 更具体而言,例如学习装置处理部16对训练模型20中包含的神经网络NN输入第1学习图像32-1作为输入数据,使用此时的加权系数进行正向的运算,由此输出作为输出数据的第1输出图像34-1。学习装置处理部16根据第1输出图像34-1和作为正解标签的正解图像36运算误差函数。然后,进行更新加权系数的处理,以减小误差函数。此外,关于第2输出图像34-2~第N输出图像34-N,学习装置处理部16也反复进行同样的处理。由此,训练模型20被机器学习成,能够针对多种学习图像32输出一个正解图像36。由此,通过将机器学习后的训练模型20作为学习完毕模型120输出到信息处理系统100,存储部110中存储的学习完毕模型120被更新。另外,在图4中图示为学习装置10和信息处理系统100经由通信部12进行通信连接,但是,学习装置10和信息处理系统100也可以不进行通信连接。该情况下,例如用户对学习装置10进行使信息存储介质暂时存储训练模型20作为学习完毕模型120的处理,持有该信息存储介质而移动到信息处理系统100所在的位置,对信息处理系统100进行根据该信息存储介质更新学习完毕模型120的处理,由此能够实现学习完毕模型120的更新。

[0080] 图9是说明关于本实施方式的第1摄像系统101、将光轴设为横轴时的焦点深度与景深之间的关系的图。另外,图9是方便的图示,不是示出第1摄像系统101的具体的透镜的结构。例如在图9中,DP1所示的范围是与第1摄像系统101的光学设计上的焦点深度对应的景深。因此,例如在被摄体与第1摄像系统101之间的距离为D1所示的第1物体距离的情况下,被摄体位于景深的范围外,因此,在通过第1摄像系统101进行摄像时,得到包含由于散焦而引起的模糊的影响的处理对象图像。此外,例如在被摄体与第1摄像系统101之间的距离为D2所示的第2物体距离的情况下,该被摄体位于景深内,因此,成为聚焦的处理对象图像。另外,例如在被摄体与第1摄像系统101之间的距离为D3所示的物体距离的情况下,即,在景深中,光轴上的P1所示的位置是满足最佳对焦条件的位置。另外,在图9中,D1所示的第1物体距离和D2所示的第2物体距离图示在从P1所示的位置起的近点侧,但是,不限于近点侧,也可以是远点侧。在以下的说明和图示中,例示近点侧的物体距离等来说明本实施方式的方法,但是,并不妨碍本实施方式的方法使用远点侧的物体距离等也能够应用的情况。

[0081] 例如在搭载第1摄像系统101的系统中,在使像素微细化而实现高分辨率化时,景深变窄,因此,期望扩大景深。此外,例如在将第1摄像系统101用于后述的内窥镜系统300的内窥镜镜体310的情况下,针对期望的被摄体将内窥镜镜体310对准最佳对焦位置的作业有困难,因此,期望扩大景深。

[0082] 因此,在本实施方式中,利用数据集进行图8等中所述的机器学习而得到的学习完

毕模型120被嵌入信息处理系统100中,该数据集中,将针对预先拍摄到的规定被摄体图像30模拟了模糊的影响的图像设为学习图像32,将聚焦的图像设为正解图像36。由此,将被附加了由于散焦而引起的模糊的影响的摄像图像设为处理对象图像来进行图3的处理,由此,从信息处理系统100输出聚焦的校正图像。由此,能够实质地扩大第1摄像系统101的景深的范围。

[0083] 更具体而言,能够将景深从图9的DP1所示的范围实质地扩大到DP2所示的范围。实质地扩大是指,在光学上,景深未被扩大,但是,通过信息处理系统100进行的图像处理,在外观上将景深扩大到能够以好像位于景深的范围内的方式对本来位于景深的范围外的被摄体进行摄像的范围。即,当被摄体位于从第1摄像系统101离开D1所示的物体距离的位置时,从第1摄像系统101输出被附加了模糊的处理对象图像,但是,该位置位于DP2所示的实质的景深的范围内,因此,该处理对象图像被校正成聚焦的校正图像,从信息处理系统100输出。此外,在以后的说明中,将使用本实施方式的学习完毕模型120扩大后的、图9的DP2所示的实质的景深称为目标景深。另外,这里的聚焦的校正图像不需要在图像整体中严格地聚焦。例如,即使被输出的校正图像的一部分模糊,例如只要能够使用内窥镜镜体310执行处置等,则用户也可以判断为作为信息处理系统100的功能是足够的。即,本实施方式的目标景深的距离是比光学上确定的景深的距离宽的距离,但是,是能够根据用户的容许程度等而变动的距离。因此,图9所示的DP2只不过是方便而示出的,并不是表示固定的长度。在以后的说明中也同样。

[0084] 本实施方式的学习完毕模型120被机器学习成,能够将对位于图9的DP10所示的范围的被摄体进行摄像而得到的模糊图像校正成聚焦的图像,该DP10所示的范围作为DP2所示的目标景深与DP1所示的景深之差。换言之,DP10所示的距离是机器学习所需要的距离。

[0085] 使用图10对用于生成该机器学习所需要的学习图像32和正解图像36的图像数据生成处理(步骤S120)的方法进行说明。另外,图像数据生成处理的方法不限于图10,如后所述能够进行各种变形实施。因此,设图10所示的图像数据生成处理也可以称为步骤S120-1。

[0086] 另外,设为在任意的例子中,本实施方式的规定被摄体图像30均是以进行摄像的摄像系统的聚焦的物体距离进行摄像而得到的。

[0087] 学习装置处理部16对由任意的摄像系统104拍摄到的规定被摄体图像30进行散焦模拟处理(步骤S200),由此生成学习图像32。在以后的说明中,例如设用于生成第1学习图像32-1的散焦模拟处理也可以称为步骤S200-1,同样,设用于生成第N学习图像32-N的散焦模拟处理也可以称为步骤S200-N。后述的步骤S202、步骤S204、步骤S206、步骤S208、步骤S210、步骤S220、步骤S230也同样。例如,学习装置处理部16在通过散焦模拟处理(步骤S200-1)生成第1学习图像32-1时,从读入的光学系统信息40中选择第1物体距离的信息。同样,学习装置处理部16在通过步骤S200-2生成第2学习图像32-2时,从读入的光学系统信息40中选择第2物体距离的信息。即,在本实施方式中,能够扩展地表现为,与第N学习图像32-N对应的光学系统信息40是第N物体距离,学习装置处理部16在生成第N学习图像32-N时,从光学系统信息40中选择对应的第N物体距离的信息。在以后的说明中,关于散焦模拟处理,例示了用于生成第1学习图像32-1的处理,但是,在生成第2学习图像32-2~第N学习图像32-N的情况下也成为同样的处理。

[0088] 此外,学习装置处理部16对规定被摄体图像30进行最佳对焦模拟处理(步骤

S300),由此生成正解图像36。例如,学习装置处理部16从读入的光学系统信息40中选择第1摄像系统101的聚焦的物体距离的信息。例如如D3所示,第1摄像系统101的聚焦的物体距离的信息是从第1摄像系统101到图9的P1所示的点为止的设计上的距离,是与所谓的最佳对焦条件相当的物体距离。

[0089] 另外,本实施方式的图像数据生成处理也可以如图11那样。设图11所示的图像数据生成处理也可以称为步骤S120-2。此外,关于与图10相同的处理,适当省略说明。

[0090] 在图11的步骤S120-2中,不进行最佳对焦模拟处理(步骤S300),而将正解图像36设为规定被摄体图像30本身,这点与图10的步骤S120-1不同。这是因为,如果规定被摄体图像30是以任意的摄像系统104的聚焦的物体距离进行摄像所得到的图像,则能够用作正解图像36。

[0091] 使用图12、图13对散焦模拟处理(步骤S200)进行说明。进行散焦模拟处理(步骤S200)时读入的光学系统信息40包含传递函数或点像分布函数的信息。传递函数或点像分布函数依赖于光轴方向的散焦量与与光轴垂直的平面中的像高而变化。例如,设在第1物体距离中,将与光轴垂直的方向且与规定被摄体图像30相同尺寸的区域分割成区域FC11-1、区域FC12-1、区域FC13-1、区域FC21-1、区域FC22-1、区域FC23-1、区域FC31-1、区域FC32-1、区域FC33-1。该情况下,第1物体距离下的传递函数或点像分布函数能够按照分割后的每个区域而示出不同的值。同样,例如,设在第N物体距离中,将与光轴垂直的方向且与规定被摄体图像30相同尺寸的区域分割成区域FC11-N、区域FC12-N、区域FC13-N、区域FC21-N、区域FC22-N、区域FC23-N、区域FC31-N、区域FC32-N、区域FC33-N。该情况下,第N物体距离下的传递函数或点像分布函数能够按照分割后的每个区域而示出不同的值。此外,区域FC11-1的传递函数或点像分布函数和区域FC11-N的传递函数或点像分布函数能够示出不同的值。区域FC12-1和区域FC12-N、……、区域FC33-1和区域FC33-N的情况也同样。这样,如果学习图像组32G是N个学习图像32的集合,则如图12所示,在进行机器学习时,传递函数或点像分布函数的信息庞大。

[0092] 关于这点,在本实施方式中,在进行机器学习时,使用光轴上的传递函数或点像分布函数。在本实施方式中,设区域FC22-1是第1摄像系统101的光轴通过的区域。即,区域FC22-1中的传递函数或点像分布函数是第1物体距离下的第1摄像系统101的光轴上的传递函数或点像分布函数。同样,区域FC22-N的第N物体距离下的传递函数或点像分布函数是第1摄像系统101的光轴上的传递函数或点像分布函数。另外,在图12中,将传递函数或点像分布函数分割为9部分,但是,这不过是例示,在图13中也同样。例如,图12的区域FC22-1~FC22-N是在纵向和横向上分别包含规定的图像数的集合,但是,也可以是1个像素。即,本实施方式中的光轴上的传递函数或点像分布函数是供光轴通过的1个像素的面积或包含该像素的规定数量的像素的面积中的至少一方的传递函数或点像分布函数。

[0093] 如图13所示,在散焦模拟处理(步骤S200)中,针对规定被摄体图像30,根据第1摄像系统101的光轴上的传递函数或光轴上的点像分布函数进行模拟模糊的影响的处理(步骤S210)。另外,步骤S210的详细情况在后面叙述。即,针对规定被摄体图像30的光轴上以外的区域,也根据第1摄像系统101的光轴上的传递函数或光轴上的点像分布函数进行步骤S210。例如,与图12同样,设为将规定被摄体图像30分割成区域AR11、区域AR12、区域AR13、区域AR21、区域AR22、区域AR23、区域AR31、区域AR32、区域AR33这9部分。例如在生成第1学

习图像32-1的情况下,学习装置处理部16使用图12的FC22-1所示的光轴上的传递函数或点像分布函数,对区域AR11进行步骤S210-1的运算。另外,在以后的说明和图13的图示中,将该运算简略地标记为 $AR11*FC22-1$ 。使用其他区域的步骤S210等的运算也同样。此外,这里的“*”的详细情况在后面叙述,但是,例如在使用PSF作为点像分布函数的情况下表示卷积。此外,例如在使用OTF作为传递函数的情况下,“*”表示将区域FC22-1的OTF与对区域AR11进行傅里叶变换而得到的频率特性相乘。

[0094] 进而,学习装置处理部16针对区域AR12~区域AR33,也使用FC22-1所示的光轴上的传递函数或点像分布函数进行步骤S210-1。即,在图13中省略一部分,但是,学习装置处理部16进行 $AR12*FC22-1$ 、 $AR13*FC22-1$ 、 $AR21*FC22-1$ 、 $AR22*FC22-1$ 、 $AR23*FC22-1$ 、 $AR31*FC22-1$ 、 $AR32*FC22-1$ 、 $AR33*FC22-1$ 。这样,学习装置处理部16将与规定被摄体图像30相同的区域分割成期望的数量的区域,使用分割后的1个区域的传递函数或点像分布函数进行步骤S210。

[0095] 同样,设为将所生成的第1学习图像32-1分割成区域BR11-1、区域BR12-1、区域BR13-1、区域BR21-1、区域BR22-1、区域BR23-1、区域BR31-1、区域BR32-1、区域BR33-1这9部分。区域BR11-1对应于对所述的区域AR11进行了步骤S210-1的结果。即,如图13所示,成为 $BR11-1=AR11*FC22-1$ 。同样成为 $BR12-1=AR12*FC22-1$ 、 $BR13-1=AR13*FC22-1$ 、 $BR21-1=AR21*FC22-1$ 、 $BR22-1=AR22*FC22-1$ 、 $BR23-1=AR23*FC22-1$ 、 $BR31-1=AR31*FC22-1$ 、 $BR32-1=AR32*FC22-1$ 、 $BR33-1=AR33*FC22-1$ 。

[0096] 该方法在生成第N学习图像32-N的情况下也同样。即,虽然省略图示,但是,学习装置处理部16进行 $BR11-N=AR11*FC22-N$ 、 $BR12-N=AR12*FC22-N$ 、……、 $BR22-N=AR22*FC22-N$ 、……、 $BR32-N=AR32*FC22-N$ 、 $BR33-N=AR33*FC22-N$ 。如上所述,针对各学习图像32中的第1摄像系统101的光轴上的区域(BR22)和光轴上以外的区域(BR11、……、BR21、BR23、……FC33),根据光轴上的传递函数或点像分布函数(FC22)进行散焦模拟处理(步骤S200)。

[0097] 本实施方式的传递函数也可以称为光学传递函数或OTF。OTF是Optical Transfer Function的缩写。此外,本实施方式的点像分布函数也可以称为点扩散函数或PSF。PSF是Point Spread Function的缩写。OTF是对PSF进行了傅里叶变换的结果。换言之,PSF是对OTF进行了傅里叶逆变换的结果。此外,OTF是复函数,OTF的绝对值称为调制传递函数、振幅传递函数或MTF。MTF是Modulation Transfer Function的缩写。

[0098] 如上所述,本实施方式的信息处理系统100包含:存储部110,其存储利用包含学习图像组32G和正解图像36的数据集进行机器学习而得到的学习完毕模型120;以及处理部130,其使用学习完毕模型120,对作为由第1摄像系统101拍摄到的图像的处理对象图像中由于第1摄像系统101的散焦而引起的模糊进行校正。学习图像组32G包含根据多个物体距离下的第1摄像系统101的传递函数或点像分布函数对规定被摄体图像30进行散焦模拟处理(步骤S200)而生成的多个学习图像32,该规定被摄体图像30是由任意的摄像系统104拍摄到的、任意的摄像系统104聚焦于规定被摄体的图像,该散焦模拟处理模拟由于第1摄像系统101的散焦而引起的模糊的影响。针对多个学习图像32的各学习图像32中的第1摄像系统101的光轴上的区域和光轴上以外的区域,根据光轴上的传递函数或点像分布函数进行散焦模拟处理。正解图像36是根据第1摄像系统101在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数针对规定被摄体图像30进行模拟第1摄像系统101聚焦的状态的最佳对焦模拟处

理(步骤S300)而生成的图像、或规定被摄体图像30本身。学习完毕模型120被机器学习成,使各学习图像32成为正解图像36。

[0099] 这样,本实施方式的信息处理系统100包含存储学习完毕模型120的存储部110和处理部130,因此,即使由第1摄像系统101拍摄到的处理对象图像包含由于散焦而引起的模糊的影响,也能够输出对模糊的影响进行校正后的校正图像。由此,能够实质地扩大第1摄像系统101的景深。此外,根据由任意的摄像系统104拍摄到的规定被摄体图像30预先制作学习图像组32G和正解图像36,因此,在与处理对象图像有关的被摄体是由第1摄像系统101初次摄像的被摄体的情况下,能够使用预先进行机器学习而得到的学习完毕模型120。此外,针对各学习图像32中的第1摄像系统101的光轴上的区域和光轴上以外的区域,根据光轴上的传递函数或点像分布函数进行散焦模拟处理(步骤S200),因此,能够减少散焦模拟处理(步骤S200)所需要的信息量。由此,能够制作使机器学习所需要的神经网络NN的规模适当的学习完毕模型120。由此,能够容易地在信息处理系统100中安装学习完毕模型120。

[0100] 此外,本实施方式的方法还能够作为学习完毕模型120来实现。即,本实施方式的学习完毕模型120被用于信息处理系统100,是利用包含学习图像组32G和正解图像36的数据集进行机器学习而得到的,该信息处理系统100包含存储学习完毕模型120的存储部110、输入部140、处理部130和输出部150。学习图像组32G包含根据多个物体距离下的第1摄像系统101的传递函数或点像分布函数对规定被摄体图像30进行散焦模拟处理而生成的多个学习图像32,该规定被摄体图像30是由任意的摄像系统104拍摄到的、任意的摄像系统104、聚焦于规定被摄体的图像,该散焦模拟处理模拟由于第1摄像系统101的散焦而引起的模糊的影响。针对多个学习图像32的各学习图像32中的第1摄像系统101的光轴上的区域和光轴上以外的区域,根据光轴上的传递函数或点像分布函数进行散焦模拟处理。正解图像36是根据第1摄像系统101在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数针对规定被摄体图像30进行最佳对焦模拟处理而生成的图像、或规定被摄体图像30本身,该最佳对焦模拟处理模拟第1摄像系统101聚焦的状态。学习完毕模型120被机器学习成,使各学习图像32成为正解图像36。输入部140将作为由第1摄像系统101拍摄到的图像的处理对象图像输入到学习完毕模型120。处理部130使用学习完毕模型120进行校正处理,所述校正处理对处理对象图像中由于第1摄像系统101的散焦而引起的模糊进行校正。输出部150输出基于校正处理的校正图像。由此,能够得到与上述相同的效果。

[0101] 此外,本实施方式的方法还能够作为信息处理方法来实现。即,本实施方式的信息处理方法利用学习完毕模型120,对作为由第1摄像系统101拍摄到的图像的处理对象图像中由于第1摄像系统101的散焦而引起的模糊进行校正,该学习完毕模型120是利用包含学习图像组32G和正解图像36的数据集进行机器学习而得到的。学习图像组32G包含根据多个物体距离下的第1摄像系统101的传递函数或点像分布函数对规定被摄体图像30进行散焦模拟处理而生成的多个学习图像32,该规定被摄体图像30是由任意的摄像系统104拍摄到的、任意的摄像系统104聚焦于规定被摄体的图像,该散焦模拟处理模拟由于第1摄像系统101的散焦而引起的模糊的影响。针对多个学习图像32的各学习图像32中的第1摄像系统101的光轴上的区域和光轴上以外的区域,根据光轴上的传递函数或点像分布函数进行散焦模拟处理。正解图像36是根据第1摄像系统101在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数针对规定被摄体图像30进行最佳对焦模拟处理而生成的图像、或规定被摄体图像30

本身,该最佳对焦模拟处理模拟第1摄像系统101聚焦的状态。学习完毕模型120被机器学习成,使各学习图像32成为正解图像36。由此,能够得到与上述相同的效果。

[0102] 此外,本实施方式的方法还能够作为存储有学习完毕模型120的信息存储介质来实现。由此,能够使该信息存储介质存储由学习装置10进行机器学习而得到的训练模型20。由此,通过在信息处理系统100连接该信息存储介质,能够将该训练模型20更新为最新的学习完毕模型120。由此,在规定的情况下,也能够得到与上述相同的效果。规定的情况例如是学习装置10所在的位置和信息处理系统100所在的位置分开的情况、在学习装置10与信息处理系统100之间无法进行数据的通信的情况等。

[0103] 此外,本实施方式的方法也可以作为内窥镜系统300来实现。例如本实施方式的内窥镜系统300包含:处理器单元200,其包含上述的信息处理系统100;以及内窥镜镜体310,其与处理器单元200连接,拍摄处理对象图像。由此,能够构建包含具有上述的效果的信息处理系统100的内窥镜系统300。

[0104] 更加详细地讲,内窥镜系统300能够设为例如图14这样的结构例。内窥镜系统300包含内窥镜镜体310、操作部320、显示部330和处理器单元200。处理器单元200包含储存部210、控制部220和信息处理系统100。图14的信息处理系统100除了包含图2中所述的结构以外,还包含储存接口160。另外,关于与图2相同的结构,适当省略说明。

[0105] 内窥镜镜体310在未图示的前端部包含摄像装置。该摄像装置包含第1摄像系统101。内窥镜镜体310的前端部被插入到体腔内,摄像装置对腹腔内的图像进行拍摄,该摄像数据从内窥镜镜体310发送到处理器单元200。操作部320是用于供用户对内窥镜系统300进行操作的装置,例如是按钮、或拨盘、脚踏开关、触摸面板等。显示部330是显示内窥镜镜体310拍摄到的图像的装置,例如是液晶显示器,但是,例如也可以设为作为触摸面板而与操作部320一体的硬件。

[0106] 处理器单元200进行内窥镜系统300中的控制、图像处理等各处理。例如控制部220根据从操作部320输入的信息,进行内窥镜系统300的模式切换、变焦动作、显示切换等,由此实现作为处理器单元200的功能。储存部210记录内窥镜镜体310拍摄到的图像。储存部210例如是半导体存储器、硬盘驱动器或光学驱动器等。

[0107] 另外,在图14所示的结构例中,将连接着内窥镜镜体310的缆线的连接器或接收摄像数据的接口电路等设为输入部140,由此实现接收来自内窥镜镜体310的摄像数据的功能,但是,也可以在处理器单元200进一步设置接收摄像数据的接口电路。

[0108] 储存接口160是用于访问储存部210的接口。储存接口160在储存部210中记录输入部140接收到的图像数据。在对所记录的图像数据进行再现时,储存接口160从储存部210读出图像数据,将该图像数据发送到处理部130。处理部130将来自输入部140或储存接口160的图像数据作为处理对象图像来进行图3中所述的处理。由此,处理部130经由输出部150输出校正图像,在显示部330中显示聚焦的校正图像。

[0109] 另外,本实施方式的内窥镜系统300也可以设为例如图15所示的结构例。图15的结构例与图14的结构例的不同之处在于,分别设置信息处理系统100和处理器单元200。信息处理系统100和处理器单元200例如可以通过USB等设备间通信来连接,或者也可以通过LAN或WAN等网络通信来连接。信息处理系统100由1个或多个信息处理装置构成。在信息处理系统100由多个信息处理装置构成的情况下,信息处理系统100也可以是经由网络连接的多个

PC或多个服务器等进行并行处理的云系统。图15的储存部170对应于图14的储存部210。

[0110] 处理器单元200包含控制部220、摄像数据接收部230、输入部240、输出部250、处理部260和显示接口270。摄像数据接收部230由与图14的输入部140相同的接口电路等构成,接收来自内窥镜镜体310的摄像数据。处理部260将摄像数据接收部230接收到的图像数据经由输出部250发送到信息处理系统100。信息处理系统100将接收到的图像数据作为处理对象图像来进行图3的处理,生成校正图像。输入部240接收从信息处理系统100经由输出部150发送的校正图像,将该校正图像输出到处理部260。处理部260经由显示接口270将校正图像输出到显示部330。由此,在显示部330中显示校正图像。图15的显示接口270由与图14的输出部150相同的硬件构成,实现与图14的输出部150相同的功能。另外,在图15中,通过不同的接口构成信息处理系统100的输入部140和输出部150,但是,也可以通过一个输入输出接口实现输入部140和输出部150的功能。处理器单元200的输入部240和输出部250也同样。

[0111] 本实施方式的方法不限于上述方法,能够进行各种变形实施。例如,光学系统信息40中包含的各物体距离也可以根据对应的MTF之差来决定。例如,设学习图像组32G由根据第1物体距离的传递函数或点像分布函数进行步骤S200-1而得到的第1学习图像32-1、以及根据第2物体距离的传递函数或点像分布函数进行步骤S200-2而得到的第2学习图像32-2构成。此外,设第1物体距离是散焦量比第2物体距离大的物体距离。该情况下,在定性地图示MTF的空间频率依赖性时,基于第2物体距离的MTF如图16的A0所示,基于第1物体距离的MTF如A1所示。而且,例如在决定B0所示的规定空间频率时,如C0所示那样决定MTF之差。因此,以使C0所示的MTF之差比规定值小的方式决定第1物体距离和第2物体距离。

[0112] 此外,这里的MTF之差是相邻的物体距离下的MTF之差。例如,作为学习图像组32G,设为存在第1学习图像32-1、第2学习图像32-2和第3学习图像32-3。此外,设第1物体距离、第2物体距离、第3物体距离是按照散焦量从大到小的顺序的物体距离。该情况下,图17的A10示出第3物体距离下的MTF的频率特性,A11示出第2物体距离下的MTF的频率特性,A12示出第1物体距离下的MTF的频率特性。而且,设为在B0所示的规定频率下,C10所示的A10的MTF与A11的MTF之差、以及C11所示的A11的MTF与A12的MTF之差双方比规定值低。换言之,在B0所示的规定频率下,A10的MTF与A12的MTF之差不考虑作为规定值。如上所述,在本实施方式的信息处理系统100中,物体距离被设定成,在第1摄像系统101的MTF的规定空间频率下,相邻的物体距离下的MTF的値之差为规定值以下。由此,能够使机器学习中的数据集的组合适当。如上所述,进行机器学习而得到的学习完毕模型120进行校正处理(步骤S30),以使第1学习图像32-1和第2学习图像32-2均能够校正成正解图像36。进而,为了使以第1物体距离与第2物体距离之间的物体距离拍摄到的处理对象图像也通过校正处理(步骤S30)校正成正解图像36,优选第1学习图像32-1和第2学习图像32-2中附加的模糊的影响之差在一定范围内。关于这点,通过应用本实施方式的方法,根据MTF限定了各学习图像的物体距离,该MTF表示针对规定被摄体图像30进行模拟的模糊的影响度,因此,能够生成适当的学习图像组32G。由此,能够在机器学习中设为适当的数据集。

[0113] 此外,光学系统信息40也可以包含第1摄像系统101的最佳对焦条件下的物体距离。具体而言,最佳对焦条件下的物体距离例如是图9的D3所示的距离。例如,学习装置处理部16也可以针对规定被摄体图像30,利用使用了最佳对焦条件下的物体距离的传递函数或

点像分布函数进行最佳对焦模拟处理(步骤S300),由此生成正解图像36。即,在本实施方式的信息处理系统100中,聚焦的物体距离是最佳对焦条件下的物体距离。由此,能够生成适当的正解图像36。

[0114] 在本实施方式中,设基于物体距离的传递函数或点像分布函数和学习图像32一一对应。更具体而言,例如,设为在散焦模拟处理(步骤S200)中,针对1个规定被摄体图像30,不进行使用基于第1物体距离的传递函数或点像分布函数以及基于第2物体距离的传递函数或点像分布函数双方生成第3学习图像32-3的处理。即,在本实施方式的信息处理系统100中,各学习图像32是根据多个物体距离中的任意1个物体距离下的传递函数或点像分布函数对规定被摄体图像30进行散焦模拟处理(步骤S200)而生成的图像。由此,能够明确学习图像组32G中的各学习图像32的关系。

[0115] 另外,在一般的光学系统中,空间频率变高时,MTF降低,并且周期性地变化,MTF是绝对值,因此,在图17的B1所示的高空间频率区域中,MTF以折返的状态显示。因此,在高空间频率区域中,无法唯一地决定1个MTF对应于哪个物体距离。另外,例如图9的P2所示的、比目标扩大景深的近点处的物体距离短的物体距离的MTF在B0所示的空间频率下也可以成为0。例如在假设图17的A12是目标扩大景深的近点处的物体距离下的MTF的情况下,比产生折返的最低的空间频率低的空间频率是B0所示的空间频率即可。这是因为,目标景深外的物体距离的传递函数或点像分布函数原本就不用于本实施方式的机器学习。另外,与所述同样,这里的目标扩大景深不是表示固定的值。如上所述,在本实施方式的信息处理系统100中,处理部130使用学习完毕模型120,针对处理对象图像校正由于第1摄像系统101的散焦而引起的模糊,由此估计第1摄像系统101的景深被扩大成比景深大的目标扩大景深的图像。此外,规定空间频率是目标扩大景深的近点处的MTF的值成为零的、比最低的空间频率低的空间频率。由此,能够适当地决定使空间频率和MTF一一对应所需要的规定空间频率的范围。

[0116] 更具体而言,例如作为归一化频率,优选B0所示的规定空间频率为0.1。即,在本实施方式的信息处理系统100中,规定空间频率是第1摄像系统101的摄像元件的奈奎斯特频率的1/5的空间频率。由此,关于多个光学系统,能够使空间频率和MTF一一对应。由此,能够对多种光学系统拍摄到的处理对象图像应用本实施方式的方法。

[0117] 此外,本实施方式的光学系统信息40也可以设为基于景深内的物体距离和景深外的物体距离的组合。具体而言,例如光学系统信息40也可以包含图9的D1所示的景深外的第1物体距离和D2所示的第2物体距离。换言之,在本实施方式的信息处理系统100中,多个物体距离中的第1物体距离是景深外的物体距离,多个物体距离中的第2物体距离是景深内的物体距离。由此,通过散焦模拟处理(步骤S200),能够将较大地模拟模糊的影响而得到的第1学习图像32-1和较小地模拟模糊的影响而得到的第2学习图像32-2设为与正解图像36组合的数据集。由此,利用这些数据集进行机器学习而得到的学习完毕模型120能够通过校正处理(步骤S30)对在宽范围内受到模糊的影响的处理对象图像进行校正。

[0118] 此外,规定值也可以根据构成学习图像组32G的学习图像32的数量来决定。例如在图16中,设A0所示的MTF是与最佳对焦条件对应的物体距离下的MTF,A1所示的MTF是与目标景深的近点对应的物体距离下的MTF。该情况下,例如在将空间频率决定为B0所示的空间频率时,唯一地决定使C0所示的范围最大的MTF的范围。而且,根据期望的学习图像32的个数

对C0所示的范围进行分割后的值被决定为规定值。如上所述,在本实施方式的信息处理系统100中,规定值根据能够设定为2个以上的物体距离的个数来决定。由此,能够考虑机器学习的负荷来决定机器学习所需要的数据集的数量。

[0119] 另外,如上所述,在固定空间频率时,唯一地决定MTF的范围,因此,也可以预先决定规定值,根据该规定值决定学习图像32的个数,用户根据情况来决定机器学习的方针即可。

[0120] 另外,优选规定值为0.2以下。即,在本实施方式的信息处理系统100中,规定值被设定为0.2以下。另外,在一般的光学系统中,在将所述的空间频率决定为期望的范围时,认为可取的MTF的范围为0.2左右。因此,例如在将规定值设定为0.2时,构成学习图像组32G的学习图像32的个数为2。此外,该情况下,认为第1物体距离成为景深外的物体距离,第2物体距离成为景深内的物体距离。

[0121] 此外,优选规定值为0.1以下。即,在本实施方式的信息处理系统100中,规定值被设定为0.1以下。进而,优选规定值为0.05以下。即,在本实施方式的信息处理系统100中,规定值被设定为0.05以下。由此,能够进一步增加构成学习图像组32G的学习图像32的个数。由此,学习完毕模型120在输入了以机器学习中未使用的物体距离以外的物体距离拍摄到的处理对象图像的情况下,能够输出适当地去除了模糊的影响的校正图像的可能性变高。即,能够进一步提高学习完毕模型120的校正处理(步骤S30)的精度。另外,当构成学习图像组32G的学习图像32的个数增加时,机器学习的处理负担变大。因此,构成学习图像组32G的学习图像32的适当的个数根据情况而适当地决定。

[0122] 接着,说明学习装置处理部16通过点像分布函数进行散焦模拟处理(步骤S200)等的具体方法。例如在通过步骤S200-1生成第1学习图像32-1的情况下,如图18所示,学习装置处理部16使用第1摄像系统101的第1物体距离的PSF,对规定被摄体图像30进行卷积运算处理。另外,卷积也可以称为卷积积分。此外,这里的第1物体距离的PSF是由图12的FC22-1所示的区域构成的PSF。即,在图18的方法的情况下,PSF的卷积运算处理对应于图13的步骤S210。同样,在通过步骤S200-N生成第N学习图像32-N的情况下,学习装置处理部16使用第1摄像系统101的第N物体距离的PSF,对规定被摄体图像30进行卷积运算的处理。另外,设为能够将基于PSF的卷积运算处理的散焦模拟处理称为步骤S200-A。如上所述,在本实施方式的信息处理系统100中,散焦模拟处理(步骤S200)是如下的处理:针对规定被摄体图像30,对第1摄像系统101在各个物体距离下的PSF进行卷积运算。由此,能够生成利用如下数据集进行机器学习而得到的学习完毕模型120,该数据集基于使用PSF而得到的学习图像32和正解图像36。

[0123] 接着,说明学习装置处理部16通过传递函数进行散焦模拟处理(步骤S200)的具体方法。例如在生成第1学习图像32-1的情况下,如图19所示,学习装置处理部16进行对规定被摄体图像30进行傅里叶变换的处理、对作为该傅里叶变换的结果的频率特性乘以第1摄像系统101的第1物体距离的OTF的处理、以及对进行该相乘而得到的频率特性进行傅里叶逆变换的处理。此外,这里的第1物体距离的OTF是由图12的FC22-1所示的区域构成的OTF。即,在图19的方法的情况下,OTF的相乘对应于图13的步骤S210。同样,在通过步骤S200-N生成第N学习图像32-N的情况下,学习装置处理部16进行对规定被摄体图像30进行傅里叶变换的处理、对作为该傅里叶变换的结果的频率特性乘以第1摄像系统101的第N物体距离的

OTF的处理、以及对该相乘而得到的频率特性进行傅里叶逆变换的处理。另外,设为能够将基于OTF的相乘而进行的散焦模拟处理称为步骤S200-B。如上所述,在本实施方式的信息处理系统100中,散焦模拟处理(步骤S200)是如下的处理:对规定被摄体图像30进行傅里叶变换,对作为该傅里叶变换的结果的规定被摄体图像30的频率特性乘以第1摄像系统101在各个物体距离下的OTF,对相乘而得到的频率特性进行傅里叶逆变换。由此,能够生成利用如下数据集进行机器学习而得到的学习完毕模型120,该数据集基于使用了OTF的学习图像32和正解图像36。

[0124] 另外,PSF和OTF的关系如上所述,因此,与图18的处理有关的运算处理结果和与图19的处理有关的运算处理结果在数学上是等效的。在散焦模拟处理(步骤S200)中,用户适当选择使用PSF和OTF中的哪个即可。

[0125] 同样,学习装置处理部16也可以使用点像分布函数进行最佳对焦模拟处理(步骤S300)。例如如图20所示,学习装置处理部16使用第1摄像系统101的聚焦的物体距离的PSF,对规定被摄体图像30进行卷积运算处理,由此生成正解图像36。另外,设为也能够将基于PSF的卷积运算处理的最佳对焦模拟处理称为步骤S300-A。

[0126] 此外,学习装置处理部16也可以使用传递函数进行最佳对焦模拟处理(步骤S300)。例如如图21所示,学习装置处理部16进行对规定被摄体图像30进行傅里叶变换的处理、对作为该傅里叶变换的结果的频率特性乘以第1摄像系统101的聚焦的物体距离的OTF的处理、以及对进行该相乘而得到的频率特性进行傅里叶逆变换的处理,由此生成正解图像36。另外,设为也能够将基于OTF的相乘而进行的最佳对焦模拟处理称为步骤S300-B。

[0127] 另外,在以后的说明中,将应用使用了PSF的方法生成学习图像32和正解图像36的例子作为代表进行例示,但是,并不妨碍能够应用使用了OTF的方法。

[0128] 此外,例如本实施方式的第1摄像系统101也可以是反焦型的透镜结构。反焦型也被称为反望远型。例如通过从被摄体侧配置负光焦度(屈曲力)的透镜和正光焦度的透镜等,实现反焦型的透镜结构。在以后的说明中,设为将被摄体侧的透镜组称为前透镜组,将像侧的透镜组称为后透镜组。

[0129] 反焦型的具体的透镜结构能够采用各种公知的结构。例如在图22所示的光学系统的情况下,从被摄体侧起依次由G1所示的前透镜组、S1所示的明亮度光圈、G2所示的后透镜组和CG1所示的玻璃罩构成。另外,在图22中,为了便于说明,构成光学系统的各透镜等的间隔没有准确地图示。例如在图22中,L6所示的正透镜和CG1所示的玻璃罩实际上被接合,但是,为了方便而隔开间隔进行图示。后述的图23、图25也同样。

[0130] 在图22中,G1所示的前透镜组包含L1所示的物体侧负透镜和L2所示的正透镜,整体具有负光焦度。G2所示的后透镜组包含L3所示的正透镜、接合L4所示的正透镜和L5所示的负透镜而成的透镜、以及L6所示的正透镜,整体具有正光焦度。

[0131] 另外,前透镜组或后透镜组也可以由多个透镜组构成。例如在图23所示的第1摄像系统101中,G11所示的透镜组作为前透镜组发挥功能,G12所示的透镜组和G13所示的透镜组作为后透镜组发挥功能。例如G11所示的透镜组从被摄体侧起依次包含L11所示的凹面朝向像侧的平凹透镜和L12所示的负弯月形透镜,整体具有负光焦度。

[0132] 此外,例如G12所示的透镜组包含L13所示的被摄体侧正透镜和L14所示的像侧正透镜。另外,也可以在L13所示的透镜与L14所示的透镜之间进一步配置S11所示的明亮度光

圈。由此,以光焦度隔着该明亮度光圈对称的方式构成光学系统,因此,能够良好地校正彗差、像散。

[0133] G13所示的透镜组整体具有正光焦度。此外,G13所示的透镜组也可以包含由L15所示的正透镜和L16所示的负透镜构成的接合透镜。由此,能够良好地校正球面像差和彗差。此外,G13所示的透镜组也可以还包含L17所示的平凸透镜。由此,能够确保宽视野。另外,在图23中,分开地图示了L17所示的平凸透镜和CG11所示的玻璃罩,但是,实际上二者被接合。CG11所示的玻璃罩被设置于未图示的摄像元件,L17所示的平凸透镜被用于该摄像元件的定位。

[0134] 此外,例如第1摄像系统101也可以还包含平行平板。平行平板也被称为滤光器。平行平板例如被配置于图22的F1的位置、图23的F11的位置,但是,也能够配置于其他位置。平行平板例如被用于对像点的位置进行调整的目的等。

[0135] 此外,在包含上述的反焦型的透镜结构的第1摄像系统101中,优选最大视场角下的畸变量为-30%以下。具体而言,例如,设图24的E1所示的被摄体通过第1摄像系统101被拍摄为图24的E2所示的图像。该情况下,最大视场角下的畸变量(%)的值能够使用E1所示的被摄体的PD所示的长度和E2所示的图像的AD所示的长度,表示为 $(AD-PD)/PD \times 100$ 。而且,优选该值为比-30负的值。如上所述,在本实施方式的信息处理系统100中,第1摄像系统101为反焦型的透镜结构,最大视场角下的畸变量为-30%以下。由此,周边的倍率比图像中心小,因此,能够减小光轴上以外的区域的传递函数或点像分布函数。此外,能够减小光轴上的区域的传递函数或点像分布函数与光轴上以外的区域的传递函数或点像分布函数之差。由此,能够生成模糊的影响的模拟结果更加准确的学习图像32。

[0136] 另外,前透镜组或后透镜组也可以由一个透镜构成。例如图25所示的第1摄像系统101包含G21所示的透镜组、G22所示的透镜组、S21所示的明亮度光圈、G23所示的透镜组和CG21所示的玻璃罩。G21所示的透镜组包含L21所示的一个负透镜,具有负光焦度。即,G21所示的透镜组作为前透镜组的一部分发挥功能。另外,G23所示的透镜组包含L23所示的正透镜、接合L24所示的正透镜和L25所示的负透镜而成的透镜、以及L26所示的正透镜,整体具有正光焦度。即,G23所示的透镜组作为后透镜组发挥功能。

[0137] 此外,本实施方式的第1摄像系统101也可以还包含相位调制元件。例如图25的第2透镜组G2包含L22所示的正透镜、S21所示的明亮度光圈和PM所示的相位调制元件。PM所示的相位调制元件被配置于第1摄像系统101的光瞳的位置。PM所示的相位调制元件是应用了波面编码(Wavefront Coding:WFC)的元件,例如具有PMS所示的相位调制面。另外,波面编码是在景深扩大技术(Extended Depth of Field:EDOF)中使用的公知方法,因此省略详细说明。

[0138] 另外,在图25中图示为,使用与光轴正交的坐标以规定的3次函数来表示PMS所表示的相位调制面,但是,相位调制面的表面形状不限于此,也可以采用其他表面形状。此外,在图25中,在像侧图示出相位调制面,但是,即使在被摄体侧具有相位调制面,也能够得到相同的效果。此外,G22所示的透镜组整体具有正光焦度,还作为反焦型的前透镜组的一部分发挥功能。

[0139] 此外,通过包含PM所示的相位调制元件,第1摄像系统101的MTF相对于散焦的变化变缓。换言之,通过包含该相位调制元件,发挥第1摄像系统101的MTF与物体距离的变化一

致的作用。更具体而言,例如,包含该相位调制元件的第1摄像系统101中的第1物体距离的MTF与第2物体距离的MTF之差比不包含该相位调制元件的第1摄像系统101中的第1物体距离的MTF与第2物体距离的MTF之差小。

[0140] 例如在图26所示的MTF与空间频率之间的关系中,设A20是聚焦的物体距离下的第1摄像系统101的MTF,A21是与A20的物体距离相比散焦量大的物体距离的MTF,A22是与A21的物体距离相比散焦量大的物体距离的MTF。此外,设A20~A22是不包含相位调制元件的第1摄像系统101的MTF。在决定所述的B0所示的规定空间频率时,A20的MTF与A21的MTF之差成为C20所示的差,A21的MTF与A22的MTF之差成为C21所示的差。另外,在图26中,省略比B0所示的空间频率高的频率侧的MTF的图示的一部分。

[0141] 这里,通过使第1摄像系统101包含PM所示的相位调制元件,A20所示的MTF变化成A30所示的MTF,A21所示的MTF变化成A31所示的MTF,A22所示的MTF变化成A32所示的MTF。此外,C20所示的MTF之差如C30所示那样变小,C21所示的MTF之差如C31所示那样变小。如上所述,在本实施方式的信息处理系统100中,第1摄像系统101还包含使传递函数或点像分布函数变化的光波面调制元件。由此,能够缩短机器学习所需要的距离,因此,能够减少机器学习所需要的数据集的数量。

[0142] 另外,上述的散焦模拟处理等(步骤S200)的例子是用于针对由任意的摄像系统104拍摄到的规定被摄体图像30、根据第1摄像系统101的光学信息生成规定被摄体图像30的处理例,但是,本实施方式的方法不限于此。例如,学习装置处理部16也可以以如下方式进行散焦模拟处理:还包含模拟了从规定被摄体图像30去除任意的摄像系统104对摄像的影响的处理。

[0143] 图27示出还包含针对由第1摄像系统101拍摄到的规定被摄体图像30-1模拟了通过去除第1摄像系统101的影响而去除摄像的影响的处理时的、图像数据生成处理的例子。另外,设图27所示的图像数据生成处理也可以称为步骤S122。对图27的步骤S122和图11的步骤S120-2进行比较时,散焦模拟处理的内容不同。另外,在图27中,不进行最佳对焦模拟处理(步骤S300),正解图像36设为规定被摄体图像30-1本身,这点与图11相同。这是因为,规定被摄体图像30-1是在第1摄像系统101的最佳对焦条件下拍摄到的图像,因此,原本就不需要进行与步骤S202相同的处理。

[0144] 图28示出图像数据生成处理(步骤S122)中的散焦模拟处理(步骤S202-1)的例子。例如在生成第1学习图像32-1的情况下,学习装置处理部16进行针对规定被摄体图像30-1模拟去除拍摄规定被摄体图像30-1时的第1摄像系统101的影响的处理(步骤S220-1)。步骤S220-1根据第1摄像系统101在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数、以及第1摄像系统101在第1物体距离下的传递函数或点像分布函数来进行。

[0145] 更具体而言,学习装置处理部16例如针对规定被摄体图像30进行将如下两个运算处理适当组合后的运算处理,该两个运算处理为对第1摄像系统101在聚焦的物体距离下的PSF进行反卷积的运算处理和对第1摄像系统101在第1物体距离下的PSF进行卷积的运算处理(步骤S200-A)。适当组合后的运算处理是将一个运算处理和另一个运算处理的一部分或全部以任意的顺序进行组合后的运算处理,但是,并不妨碍分别进行一个运算处理和另一个运算处理,根据规定的情况而适当决定。在以后的说明中也同样。另外,规定的情况例如是机器学习所需要的处理时间、针对处理器的处理负担等。即,通过进行步骤S220-1,例如

能够针对规定被摄体图像30-1得到反映了对第1摄像系统101在聚焦的物体距离下的PSF进行反卷积的运算处理的效果和对第1摄像系统101在第1物体距离下的PSF进行卷积的运算处理(步骤S200-A)的效果这双方的运算处理结果。

[0146] 如上所述,在本实施方式的信息处理系统100中,任意的摄像系统104是第1摄像系统101。散焦模拟处理(步骤S202)还包含如下处理:根据第1摄像系统101在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数和第1摄像系统101在多个物体距离下的传递函数或点像分布函数,从规定被摄体图像30-1去除第1摄像系统101的影响(步骤S212)。由此,能够生成更加准确的学习图像32。基于图10、图11所示的方法的学习图像32和正解图像36对规定被摄体施加任意的摄像系统104的影响和第1摄像系统101的影响双方,与此相对,基于图27、图28所示的方法的学习图像32和正解图像36对规定被摄体仅施加第1摄像系统101的影响。由此,能够进行基于更加适当的数据集的机器学习。

[0147] 同样,图29示出包含模拟了去除任意的摄像系统104对摄像的影响的处理的图像数据生成处理的例子。另外,在图29中,将第2摄像系统102作为任意的摄像系统104的代表进行图示。此外,设第2摄像系统102是与第1摄像系统101相比摄像元件的分辨率高的摄像系统。此外,设图29所示的图像数据生成处理也可以称为步骤S124,设成为步骤S124的基础的图像也可以称为规定被摄体图像30-2。

[0148] 图29的步骤S126与图10的步骤S120-1相比,不同之处在于,进一步读入摄像元件信息50后,进行散焦模拟处理(步骤S204)和最佳对焦模拟处理(步骤S304)。摄像元件信息50是与第1摄像系统101和任意的摄像系统104所具有的摄像元件的分辨率有关的信息。即,在图29的例子的情况下,在学习装置存储部18中还存储有图4中未图示的摄像元件信息50。另外,摄像元件信息50还被用于散焦模拟处理(步骤S204)和最佳对焦模拟处理(步骤S304)的运算处理。

[0149] 图30示出图29所示的图像数据生成处理(步骤S124)中的散焦模拟处理的例子。图29、图30所示的散焦模拟处理也可以称为步骤S204。例如在生成第1学习图像32-1的情况下,学习装置处理部16针对规定被摄体图像30-2进行将如下多个处理适当组合后的运算处理,该多个处理为模拟第2摄像系统102与第1摄像系统101之差的处理(步骤S230-1)、缩小规定被摄体图像30的处理(步骤S240)、基于图30中未图示的摄像元件信息50的运算处理。步骤S230-1根据第2摄像系统102在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数、以及第1摄像系统101在第1物体距离下的传递函数或点像分布函数来进行。即,通过进行步骤S230-1,例如能够针对规定被摄体图像30-2得到反映了对第2摄像系统102在聚焦的物体距离下的PSF进行反卷积的运算处理的效果和对第1摄像系统101在第1物体距离下的PSF进行卷积的运算处理(步骤S200-A)的效果这双方的运算处理结果。此外,通过进行步骤S204-1,能够得到反映了步骤S230-1的运算处理的效果、步骤S240的运算处理的效果和基于摄像元件信息50的运算处理的效果的运算处理结果。

[0150] 图31示出图29所示的最佳对焦模拟处理的例子。图29、图31所示的最佳对焦模拟处理也可以称为步骤S304。例如学习装置处理部16针对规定被摄体图像30-2进行将如下多个处理适当组合后的处理,该多个处理为模拟第2摄像系统102与第1摄像系统101之差的处理(步骤S330)、缩小规定被摄体图像30-2的处理(步骤S340)和基于图31中未图示的摄像元件信息50的运算处理。由此,学习装置处理部16能够生成正解图像36。图31的步骤S330根据

第2摄像系统102在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数、以及第1摄像系统101在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数来进行。即,通过进行步骤S330,例如能够针对规定被摄体图像30-2得到反映了对第2摄像系统102在聚焦的物体距离下的PSF进行反卷积的运算处理的效果和对第1摄像系统101的聚焦的距离下的PSF进行卷积的运算处理(步骤S300-A)的效果这双方的运算处理结果。此外,图31的步骤S340是与图30的步骤S240相同的运算处理。此外,通过进行步骤S304,能够得到反映了步骤S330的运算处理的效果、步骤S340的运算处理的效果和基于摄像元件信息50的运算处理的效果的运算处理结果。另外,也可以通过从图31的最佳对焦模拟处理(步骤S304)中省略步骤S330后的处理来生成正解图像36。换言之,正解图像36也可以通过规定被摄体图像30-2进行与步骤S340相当的处理来生成。这是因为,如果规定被摄体图像30-2是以任意的摄像系统104的聚焦的物体距离拍摄到的图像,则通过步骤S340对规定被摄体图像30-2的像素数进行变更,由此,有时能够成为正解图像36。

[0151] 如上所述,在本实施方式的信息处理系统100中,散焦模拟处理(步骤S204)还包含模拟任意的摄像系统104与第1摄像系统101之差的处理(步骤S230)、以及缩小规定被摄体图像30-2的处理(步骤S240)。正解图像36是通过进行最佳对焦模拟处理(步骤S304)而生成的图像、或通过进行缩小规定被摄体图像30-2的处理而生成的图像。散焦模拟处理(步骤S204)中的模拟任意的摄像系统104与第1摄像系统101之差的处理(步骤S230)基于任意的摄像系统104在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数、以及第1摄像系统101在多个物体距离下的传递函数或点像分布函数。最佳对焦模拟处理(步骤S304)还包含模拟任意的摄像系统104与第1摄像系统101之差的处理(步骤S330)、以及缩小规定被摄体图像30-2的处理(步骤S340)。最佳对焦模拟处理(步骤S304)中的模拟任意的摄像系统104与第1摄像系统101之差的处理(步骤S330)基于任意的摄像系统104在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数、以及第1摄像系统101在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数。

[0152] 此外,本实施方式的方法还能够应用于摄像方式在任意的摄像系统104和第1摄像系统101中不同的情况。例如如图32所示,设第1摄像系统101包含同时式摄像元件106。此外,如图33所示,设任意的摄像系统104包含单色摄像元件108。使用图33对该情况下的图像数据生成处理的方法进行说明。另外,设图33的图像数据生成处理也可以称为步骤S126,设成为步骤S126的基础的图像也可以称为规定被摄体图像30-3。图33与图29的不同之处在于,散焦模拟处理(步骤S206)和最佳对焦模拟处理(步骤S306)的内容、以及在进行步骤S206和步骤S306之前进行颜色偏差判定处理(步骤S190)。另外,在图33中,第2摄像系统102是作为任意的摄像系统104的代表的例示,这与图29的例子相同。此外,颜色偏差判定处理(S190)例如是将规定被摄体图像30-3的饱和部周边等的着色量与规定的阈值进行比较的处理。另外,颜色偏差是在使用单色摄像元件108对被摄体进行摄像的情况下由于摄像时机的差异等而在R图像、G图像和B图像之间产生的偏差。另外,在由同时式摄像元件106拍摄到的处理对象图像中不产生颜色偏差。此外,规定被摄体图像30-3的饱和部周边等的着色量是在规定被摄体图像30-3的拍摄为白色的区域的周边由于颜色偏差而产生的着色量。即,图33的步骤S206、步骤S306使用通过步骤S190判断为饱和部周边等的着色量为规定的阈值以下的规定被摄体图像30-3。由此,通过进行步骤S206,能够生成减少了颜色偏差的影响的学习图像32。同样,通过进行步骤S306,能够生成减少了颜色偏差的影响的正解图像36。由

此,关于摄像方式在任意的摄像系统104和第1摄像系统101中不同的情况,能够生成由适当的学习图像32和正解图像36构成的数据集。

[0153] 图34示出图33所示的图像数据生成处理(步骤S126)中的散焦模拟处理的例子。图33、图34所示的散焦模拟处理也可以称为步骤S206。图34与图30的不同之处在于,还包含根据规定被摄体图像30-3生成马赛克图像的处理(步骤S250)、以及对马赛克图像进行去马赛克的处理(步骤S252)。例如在生成第1学习图像32-1的情况下,学习装置处理部16针对规定被摄体图像30-3进行将所述的步骤S230-1、所述的步骤S240、步骤S250、步骤S252、基于图34中未图示的摄像元件信息50的运算处理适当组合后的运算处理。即,通过进行步骤S206-1,能够得到反映了步骤S230-1的运算处理的效果、步骤S240的运算处理的效果、步骤S250的运算处理的效果、步骤S252的运算处理的效果、基于摄像元件信息50的运算处理的效果的运算处理结果。

[0154] 对步骤S250和步骤S252进行具体说明。规定被摄体图像30-3是通过如下处理得到的面序式图像:在依次照射多个波段的光的情况下,在照射各个波段的光的时机对由单色摄像元件108拍摄到的多个图像进行合成。而且,例如如图35所示,在所述的步骤S206-1中,通过包含步骤S250的处理生成马赛克图像。而且,通过包含步骤S252的处理,根据马赛克图像再次生成面序式图像,由此生成第1学习图像32-1。另外,在图35的步骤S206-1中,省略步骤S250和步骤S252以外的处理的图示。

[0155] 图36示出图33所示的图像数据生成处理(步骤S126)中的最佳对焦模拟处理的例子。图33、图36所示的最佳对焦模拟处理也可以称为步骤S306。图36与图31的不同之处在于,还包含根据规定被摄体图像30-3生成马赛克图像的处理(步骤S350)、以及对马赛克图像进行去马赛克的处理(步骤S352)。此外,图36的步骤S350是与图34的步骤S250相同的处理,图36的步骤S352是与图34的步骤S252相同的处理。例如学习装置处理部16进行将所述的步骤S330-1、所述的步骤S340、步骤S350、步骤S352、基于图36中未图示的摄像元件信息50的运算处理适当组合后的运算处理。由此,学习装置处理部16能够生成正解图像36。由此,通过进行步骤S306,能够得到反映了步骤S330的运算处理的效果、步骤S340的运算处理的效果、步骤S350的运算处理的效果、步骤S352的运算处理的效果、基于摄像元件信息50的运算处理的效果的运算处理结果。另外,也可以通过从最佳对焦模拟处理(步骤S306)中省略步骤S330、步骤S350和步骤S352后的处理来生成正解图像36。换言之,正解图像36也可以通过对规定被摄体图像30-3进行与步骤S340相当的处理来生成。

[0156] 如上所述,在本实施方式的信息处理系统100中,任意的摄像系统104包含单色摄像元件108。规定被摄体图像30-3是通过如下处理得到的面序式图像:在依次照射多个波段的光的情况下,在照射各个波段的光的时机对由单色摄像元件108拍摄到的多个图像进行合成。第1摄像系统101包含同时式摄像元件106,该同时式摄像元件106具有颜色彼此不同的多个像素,并且对各个像素分配有1个颜色。散焦模拟处理(步骤S206)还包含以下处理:根据规定被摄体图像30-3生成对各个像素分配1个颜色而得到的马赛克图像的处理;对马赛克图像进行去马赛克的处理;模拟任意的摄像系统104与第1摄像系统101之差的处理;以及缩小规定被摄体图像30-3的处理。散焦模拟处理(步骤S206)中的模拟任意的摄像系统104与第1摄像系统101之差的处理基于任意的摄像系统104在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数、以及第1摄像系统101在多个物体距离下的传递函数或点像分布函数。

正解图像36是通过进行最佳对焦模拟处理(步骤S306)而生成的图像、或通过进行缩小规定被摄体图像30-5的处理而生成的图像。最佳对焦模拟处理(步骤S306)还包含以下处理:生成马赛克图像的处理;对马赛克图像进行去马赛克的处理;模拟任意的摄像系统104与第1摄像系统101之差的处理;以及缩小规定被摄体图像30-3的处理。最佳对焦模拟处理(步骤S306)中的模拟任意的摄像系统104与第1摄像系统101之差的处理基于任意的摄像系统104在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数、以及第1摄像系统101在聚焦的物体距离下的传递函数或点像分布函数。由此,在规定被摄体图像30的摄像方式和处理对象图像的摄像方式不同的情况下,能够生成更加适当的学习图像32和正解图像36的数据集。

[0157] 此外,也可以根据摄像方式而区分使用学习完毕模型120。即,在本实施方式的信息处理系统100中,例如如图37所示,存储部110也可以存储第1学习完毕模型121和第2学习完毕模型122。

[0158] 在存储部110存储第1学习完毕模型121和第2学习完毕模型122的情况下,图3所示的流程例如也可以成为图38的流程。处理部130在进行了处理对象图像读入(步骤S10)后,进行确认第1摄像系统101的摄像方式的处理(步骤S12)。在摄像方式为面序式的情况下,进行第1学习完毕模型读入(步骤S21)、校正处理(步骤S31)、校正图像输出(步骤S41)。另一方面,在摄像方式为拜耳同时式的情况下,进行第2学习完毕模型读入(步骤S22)、校正处理(步骤S32)、校正图像输出(步骤S42)。另外,图38的步骤S21和步骤S22是与图3的步骤S20对应的处理。同样,图38的步骤S31和步骤S32是与图3的步骤S30对应的处理,图38的步骤S41和步骤S42是与图3的步骤S40对应的处理。

[0159] 此外,该情况下,图7的步骤S100也可以如图39的步骤S101和图40的步骤S102那样。具体而言,图39的第1学习完毕模型制作处理(步骤S101)相对于图7的步骤S100,将图像数据生成处理设为图29的步骤S124即可。同样,图40的第2学习完毕模型制作处理(步骤S101)相对于图7的步骤S100,将图像数据生成处理设为图33的步骤S126即可。

[0160] 此外,本实施方式的方法还能够应用于观察方式在任意的摄像系统104和第1摄像系统101中不同的情况。使用图41对观察方式不同时的图像数据生成处理的方法进行说明。另外,设图41的图像数据生成处理也可以称为步骤S128,设成为步骤S128的基础的图像也可以称为规定被摄体图像30-4。图41的步骤S128与图29的步骤S124的不同之处在于,散焦模拟处理(步骤S208)和最佳对焦模拟处理(步骤S308)的内容、以及在步骤S206和步骤S306之前读入观察方式信息60。观察方式信息60例如是与第1摄像系统101的观察方式有关的信息。即,在图41的例子情况下,在学习装置存储部18中还存储有图4中未图示的观察方式信息60。另外,在图41中,第2摄像系统102是作为任意的摄像系统104的代表例示,这与图29的例子相同。

[0161] 观察方式也可以称为观察模式。观察方式不同的情况例如是观察中使用的光源不同的情况,但是,例如也可以是在从用户进行拍摄被摄体的处理到取得规定被摄体图像30-4为止的期间内进行的图像处理的方法不同的情况。作为观察方式,例如存在使用白色照明光的WLI(White Light Imaging:白光成像)模式、以及使用不是白色光的特殊光的特殊光观察模式等。特殊光观察模式存在使用2个窄带光的NBI(Narrow Band Imaging:窄带成像)模式。2个窄带光是蓝色的波段中包含的窄带光、以及绿色的波段中包含的窄带光。在WLI和NBI中,根据摄像元件输出的图像信号生成彩色图像时的图像处理不同。例如,去马赛克处

理的内容或图像处理中的参数不同。此外,作为特殊光观察模式,例如还能够采用RDI (Red Dichromatic Imaging:红色二色成像) 模式。RDI模式是使用琥珀色的波段中包含的窄带光、绿色的波段中包含的窄带光和红色的波段中包含的窄带光的观察模式,例如使用美国专利第9,775,497号B2等所公开的技术。

[0162] 图42示出根据规定被摄体图像30-4生成第1学习图像32-1的散焦模拟处理(步骤S208-1)的例子。图42的步骤S208-1与图30的步骤S204-1相比,不同之处在于,还包含WLI模式用处理(步骤S262)、NBI模式用处理(步骤S264)、RDI模式用处理(步骤S266)、TXI模式用处理(步骤S268)。另外,TXI是Texture and Color Enhancement Imaging(纹理和色彩增强成像)的缩写,详细情况在后面叙述。

[0163] 另外,图41的步骤S128设为对图29的S124追加了成为上述不同之处的处理等的例子,但是不限于此,例如也可以对图33的步骤S126追加成为上述不同之处的处理等。该情况下,虽然省略图示,但是,在进行步骤S208和步骤S308之前,还进行图33的颜色偏差判定处理(步骤S190)。此外,该情况下的图42的步骤S208还包含图34的步骤S240、步骤S250、步骤S252。同样,该情况下的图43的步骤S308还包含图36的步骤S340、步骤S350、步骤S352。此后,关于与图29的步骤S124和图33的步骤S126重复之处,适当省略说明。

[0164] 例如,虽然省略流程图的图示,但是,学习装置处理部16读入观察方式信息60,取得第1摄像系统101中使用的观察方式。然后,学习装置处理部16选择步骤S262、步骤S264、步骤S266、步骤S268中的任意方作为与所取得的观察方式对应的处理。

[0165] 例如,在第1摄像系统101以TXI模式进行摄像的情况下,该意思的信息作为观察方式信息60存储于学习装置存储部18。然后,学习装置处理部16读入观察方式信息60,由此对规定被摄体图像30-4进行包含TXI模式用处理(步骤S368)的散焦模拟处理(步骤S208)。具体而言,例如,学习装置处理部16针对规定被摄体图像30-4进行将其分解成纹理图像部分和纹理图像部分以外的基础图像部分的处理,该纹理图像部分是规定被摄体图像30-4的表面构造有关的图像部分。然后,学习装置处理部16进行对与纹理图像部分有关的表面构造进行强调的第1处理、对基础图像部分的明亮度进行优化的第2处理、以及对将与第1处理有关的图像和与第2处理有关的图像合成而成的图像的色调进行优化的第3处理。由此,针对规定被摄体图像30-4,能够得到模拟了基于TXI模式的摄像的效果的学习图像32。由此,能够利用包含更加准确的学习图像32的数据集进行机器学习。

[0166] 此外,例如,虽然省略图示,但是,在第1摄像系统101以WLI模式或NBI模式进行摄像的情况下,该意思的信息作为观察方式信息60存储于学习装置存储部18。然后,学习装置处理部16读入观察方式信息60,由此,以与光源对应的方式对规定被摄体图像30-4进行颜色的补充。此外,颜色的补充例如也可以与图34的步骤S252一起进行。例如学习装置处理部16在选择了WLI模式用处理(步骤S262)的情况下,与步骤S252一起进行使用G图像对R图像和B图像进行插值的处理。此外,例如学习装置处理部16在选择了NBI模式用处理(步骤S264)的情况下,与步骤S252一起进行分别独立地对G图像和B图像进行插值的处理。

[0167] 图43示出在图像数据生成处理(步骤S128)中根据规定被摄体图像30-4生成正解图像36的最佳对焦模拟处理(步骤S308)的例子。图43的步骤S308与图31的步骤S304相比,不同之处在于,还包含WLI模式用处理(步骤S362)、NBI模式用处理(步骤S364)、RDI模式用处理(步骤S366)、TXI模式用处理(步骤S368)。图43的步骤S362是与图42的步骤S262相同的

处理,图43的步骤S364是与图42的步骤S264相同的处理,图43的步骤S366是与图42的步骤S266相同的处理,图43的步骤S368是与图42的步骤S268相同的处理。另外,也可以通过从图43的最佳对焦模拟处理(步骤S308)中省略步骤S330等后的处理来生成正解图像36。

[0168] 另外,如上所述对本实施方式进行了详细说明,但是,本领域技术人员能够容易地理解到,能够进行实质上脱离本实施方式的新事项和效果的多个变形。因此,设这样的变形例全部包含在本公开的范围。例如,在说明书或附图中,至少一次与更加广义或同义的不同用语一起记载的用语能够在说明书或附图的任意部位置换为该不同用语。此外,本实施方式和变形例的全部组合也包含在本公开的范围。此外,信息处理系统、内窥镜系统、学习完毕模型、信息存储介质和信息处理方法的结构和动作等也不限于本实施方式中说明的内容,能够进行各种变形实施。

[0169] 标号说明

[0170] 10:学习装置;12:通信部;16:学习装置处理部;18:学习装置存储部;20:训练模型;30:规定被摄体图像;32:学习图像;32-1:第1学习图像;32-2:第2学习图像;32-N:第N学习图像;32G:学习图像组;34:输出图像;34-1:第1输出图像;34-N:第N输出图像;36:正解图像;40:光学系统信息;50:摄像元件信息;60:观察方式信息;100:信息处理系统;101:第1摄像系统;102:第2摄像系统;104:任意的摄像系统;106:同次式摄像元件;108:单色摄像元件;110:存储部;120:学习完毕模型;121:第1学习完毕模型;122:第2学习完毕模型;130、260:处理部;140、240:输入部;150、250:输出部;160:储存接口;170、210:储存部;200:处理器单元;220:控制部;230:摄像数据接收部;270:显示接口;300:内窥镜系统;310:内窥镜镜体;320:操作部;330:显示部;NN:神经网络。

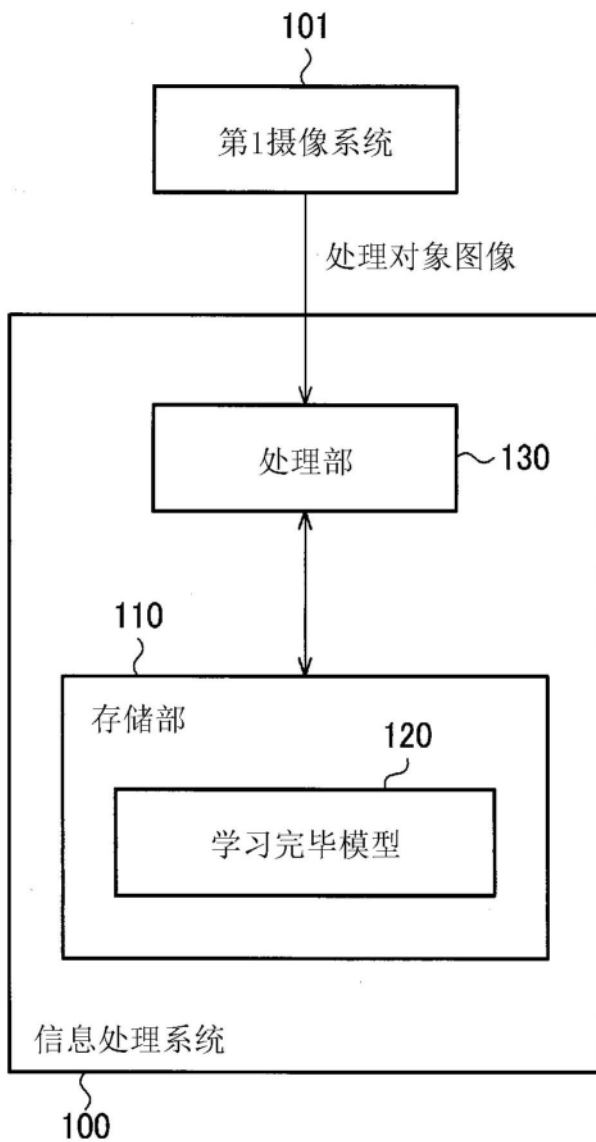


图1

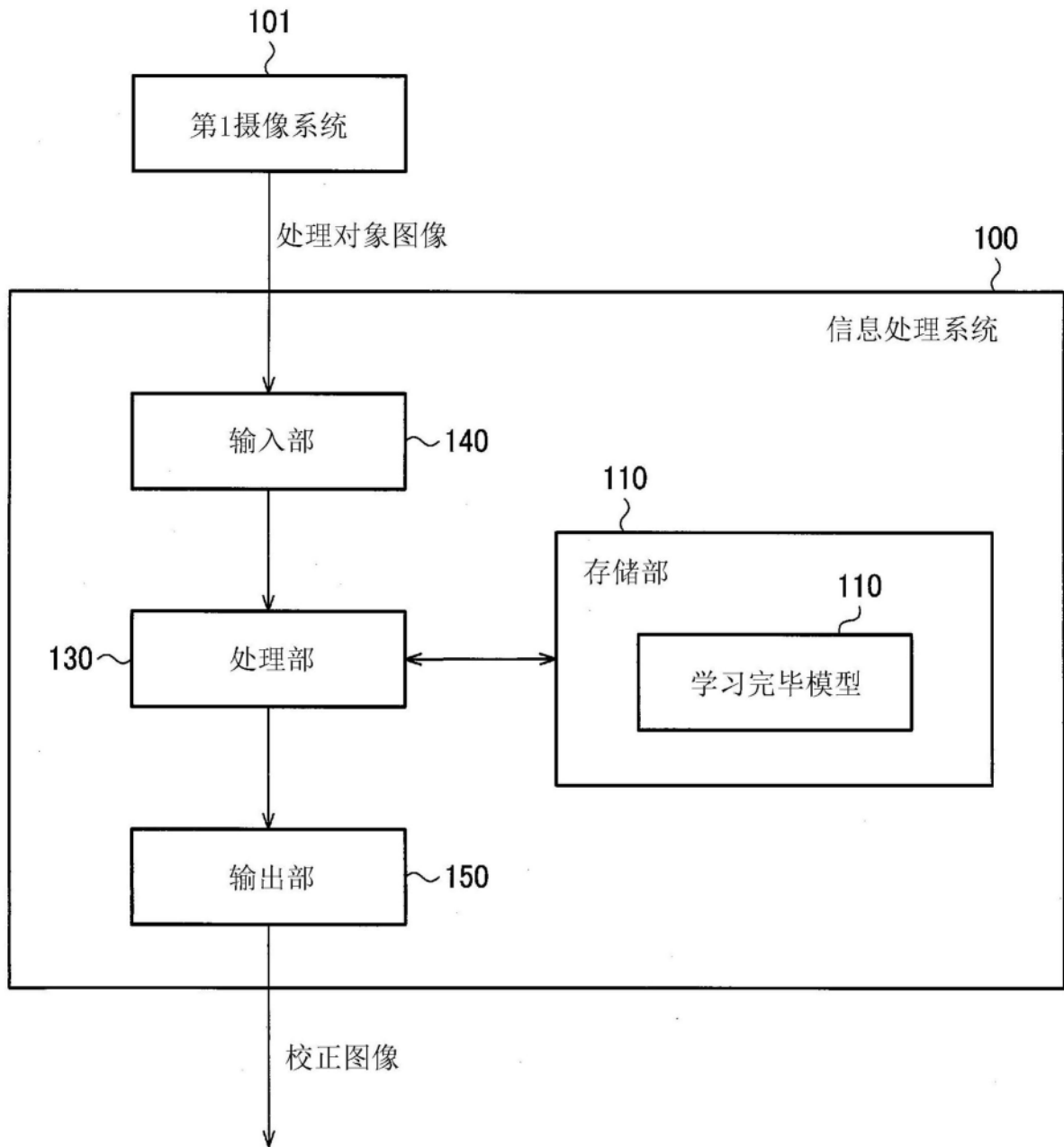


图2

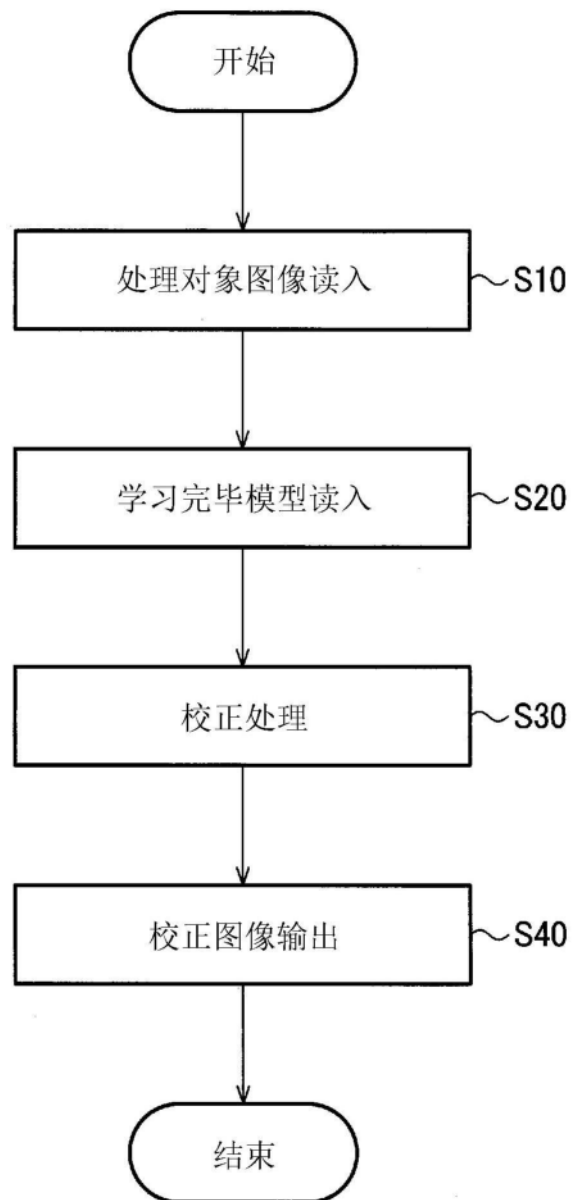


图3

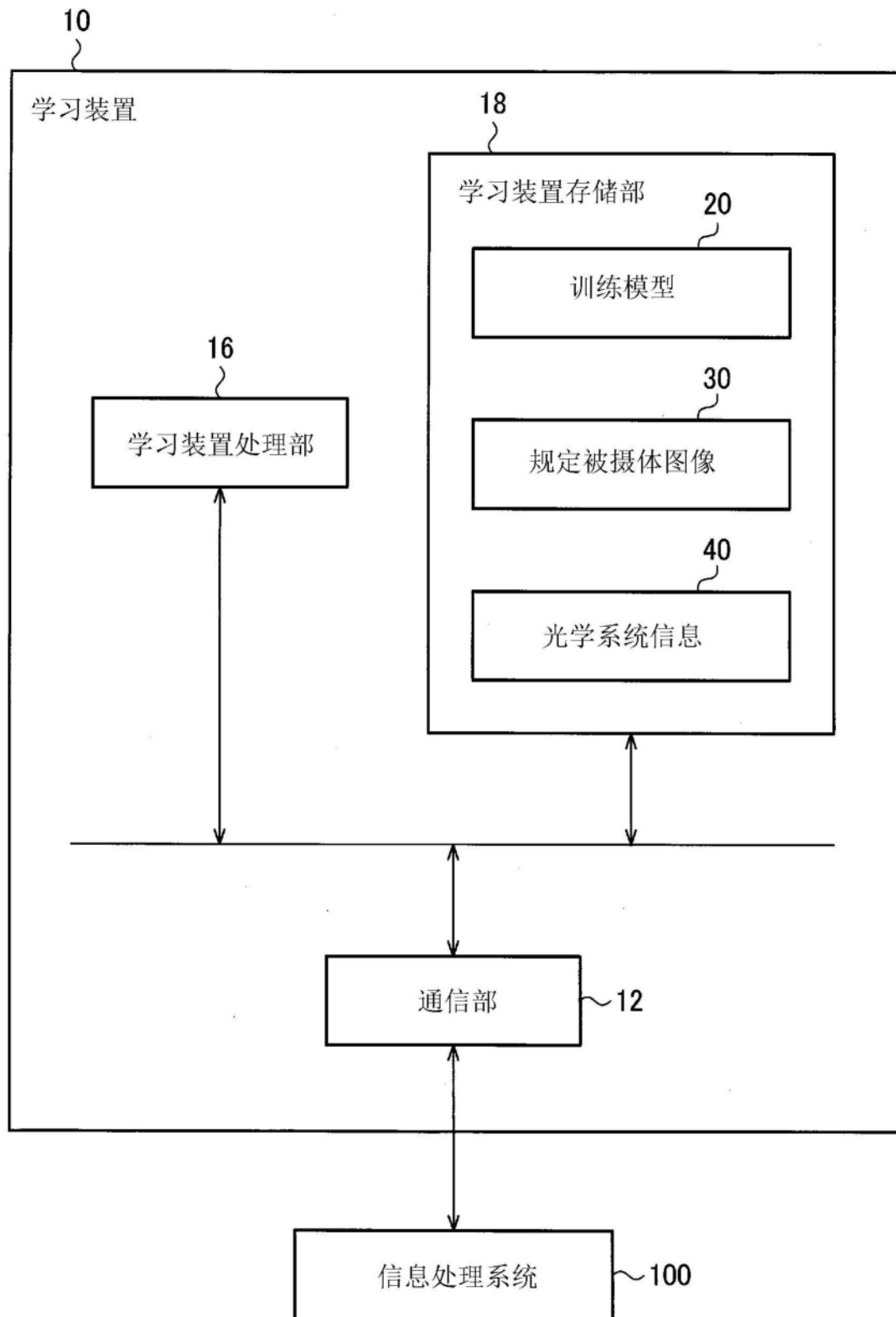


图4

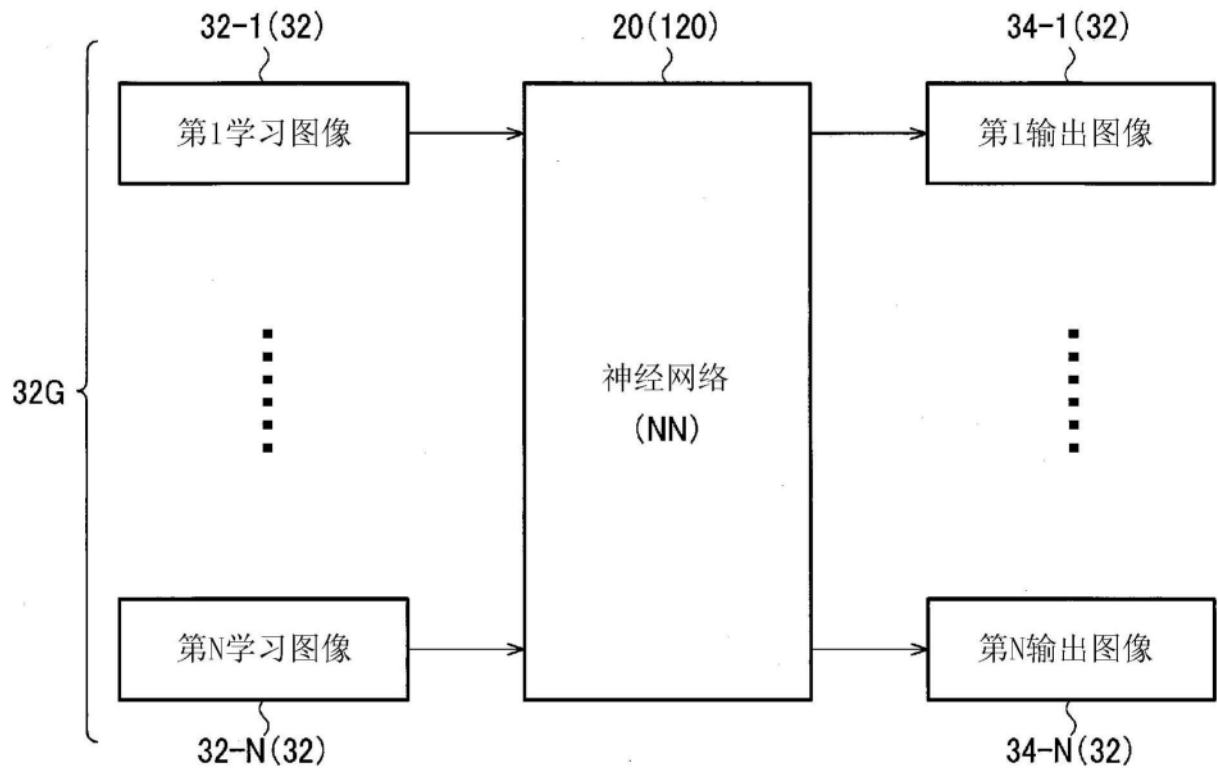


图5

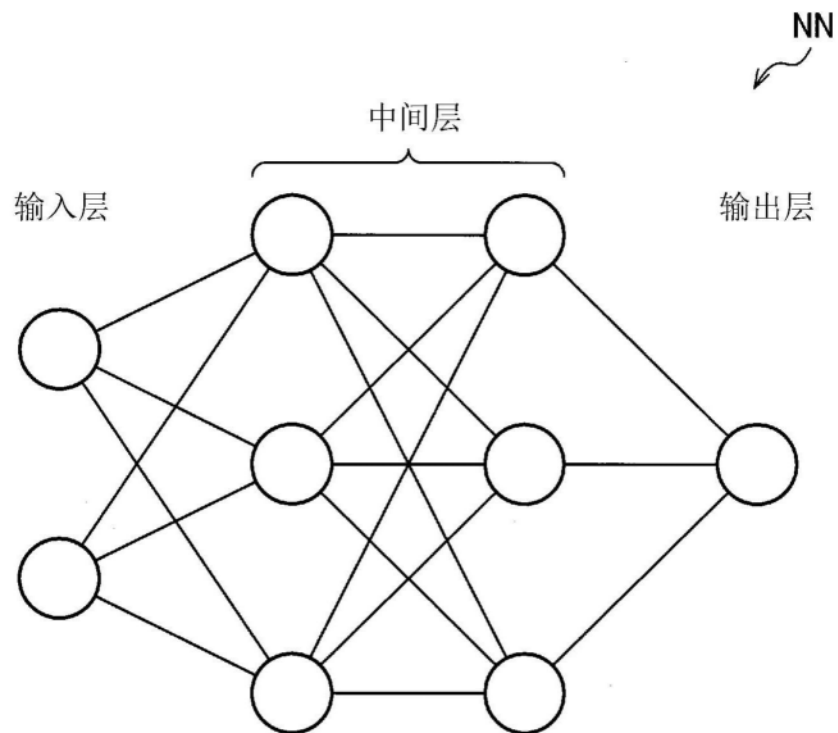


图6

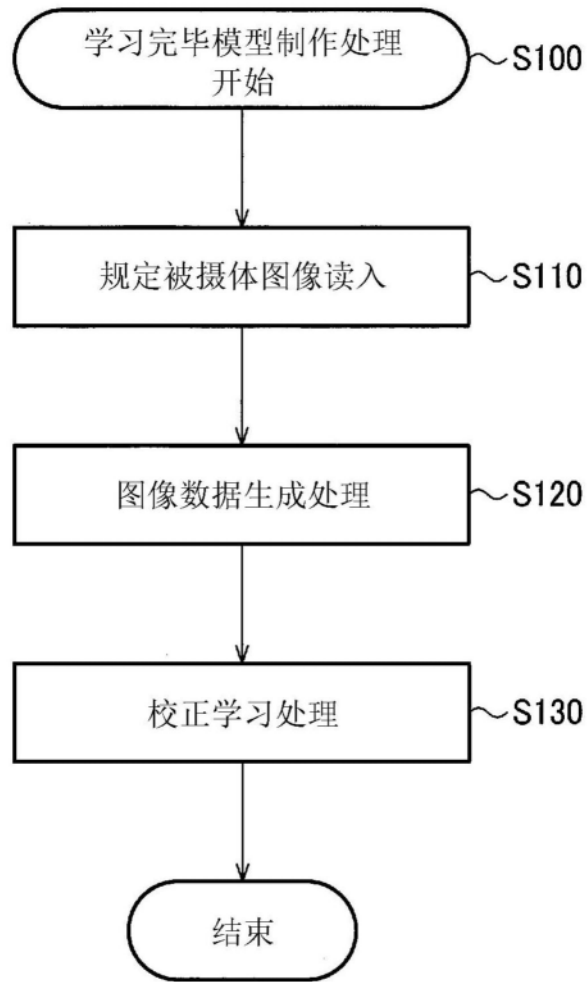


图7

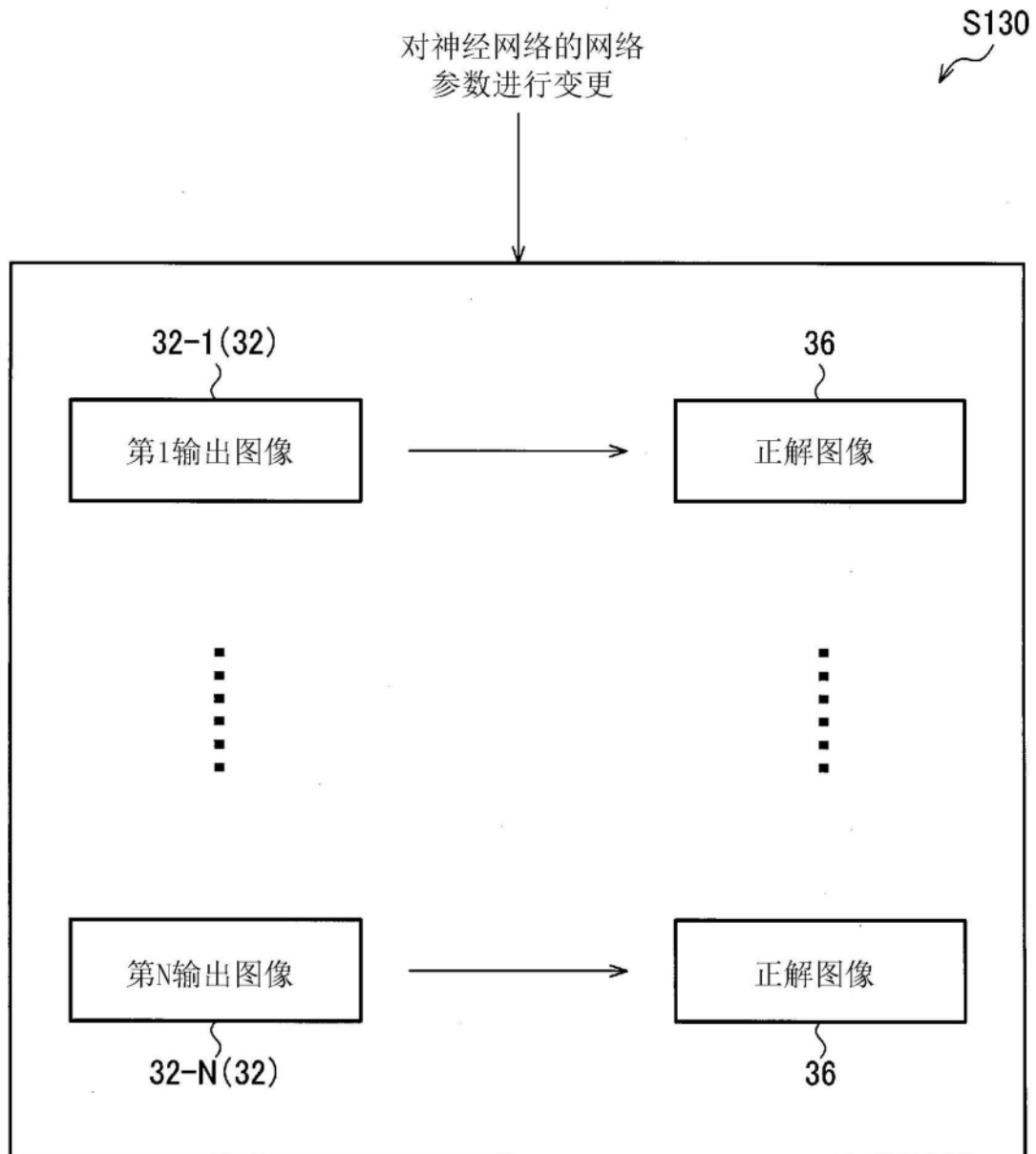


图8

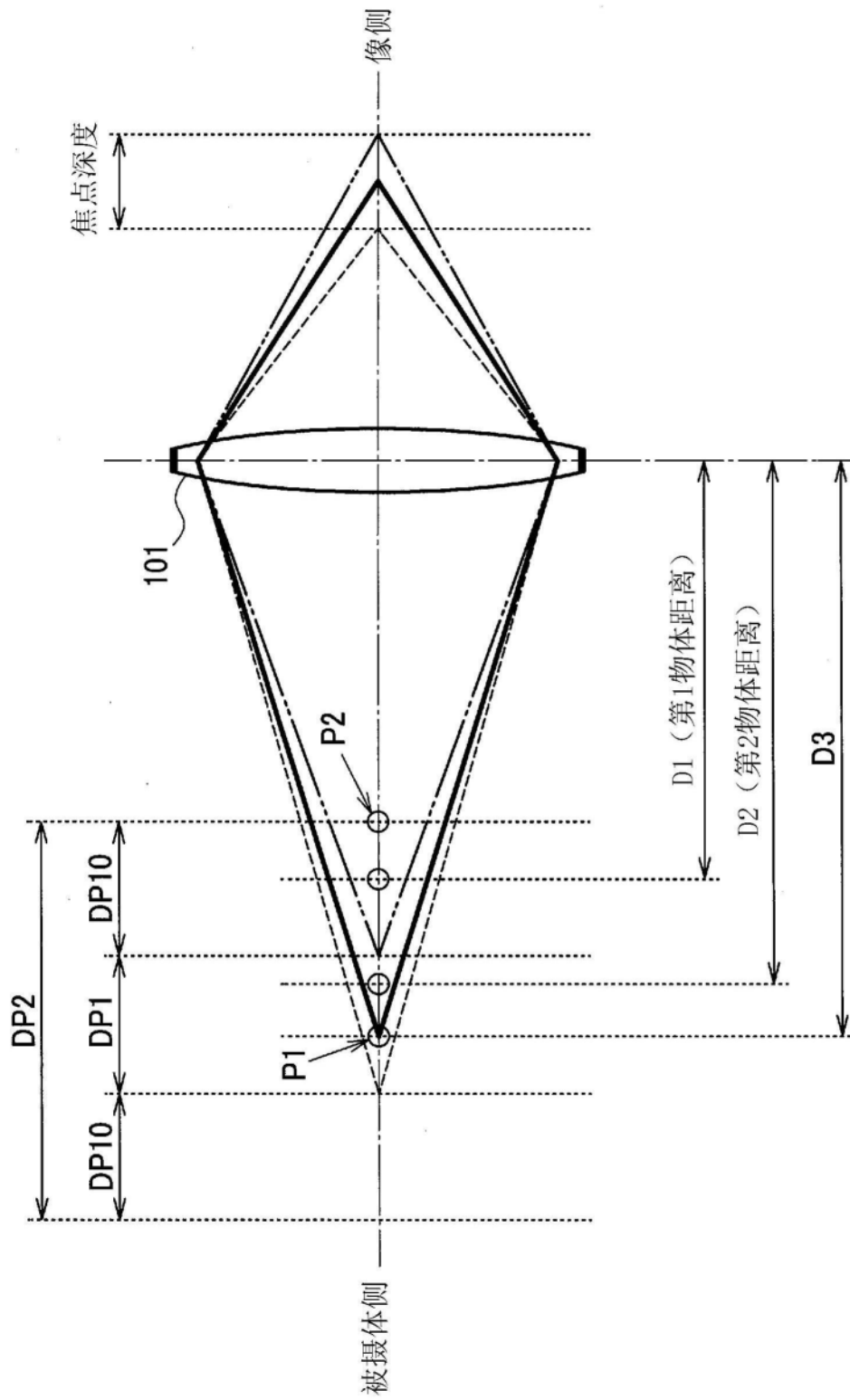


图9

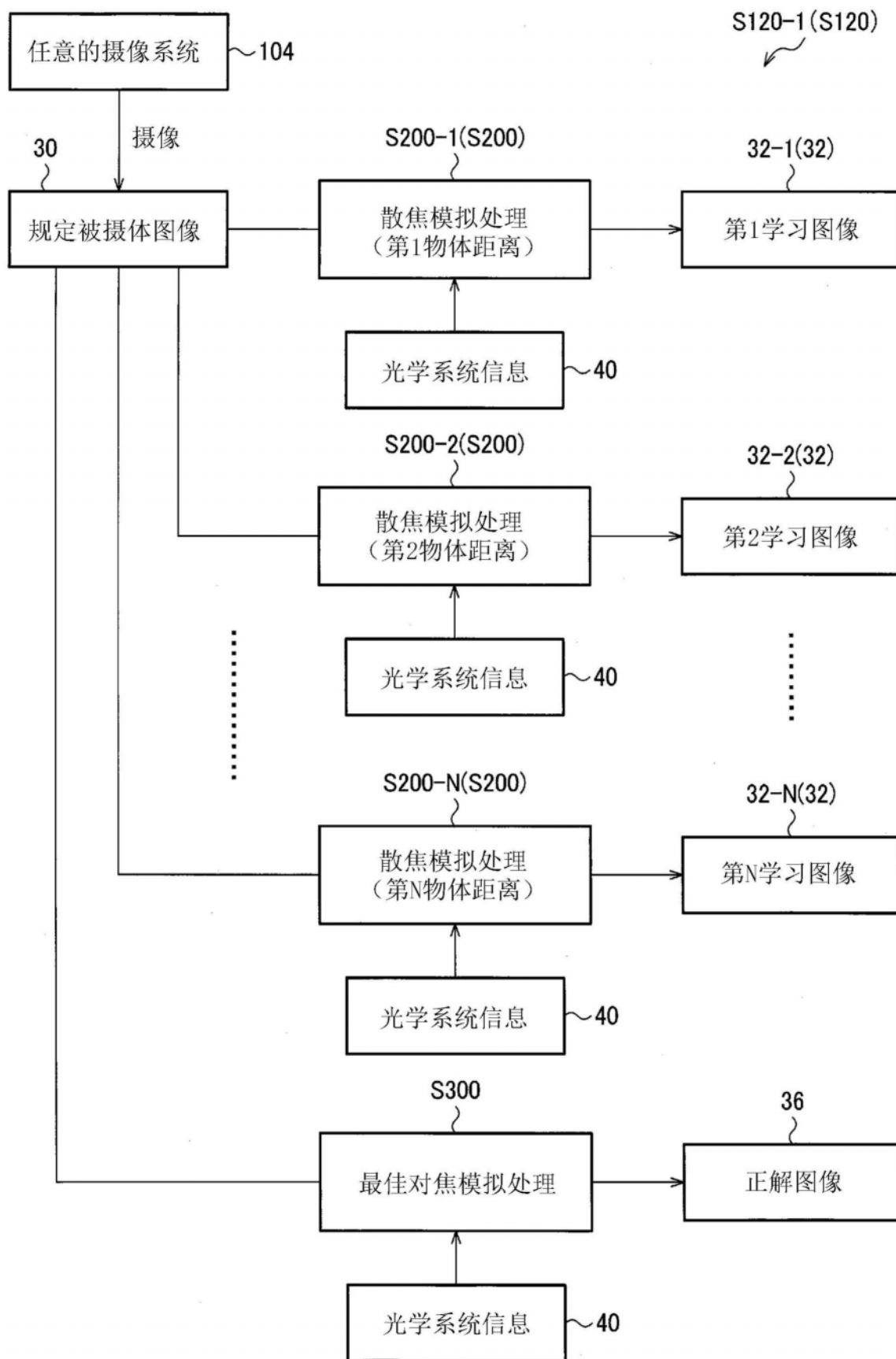


图10

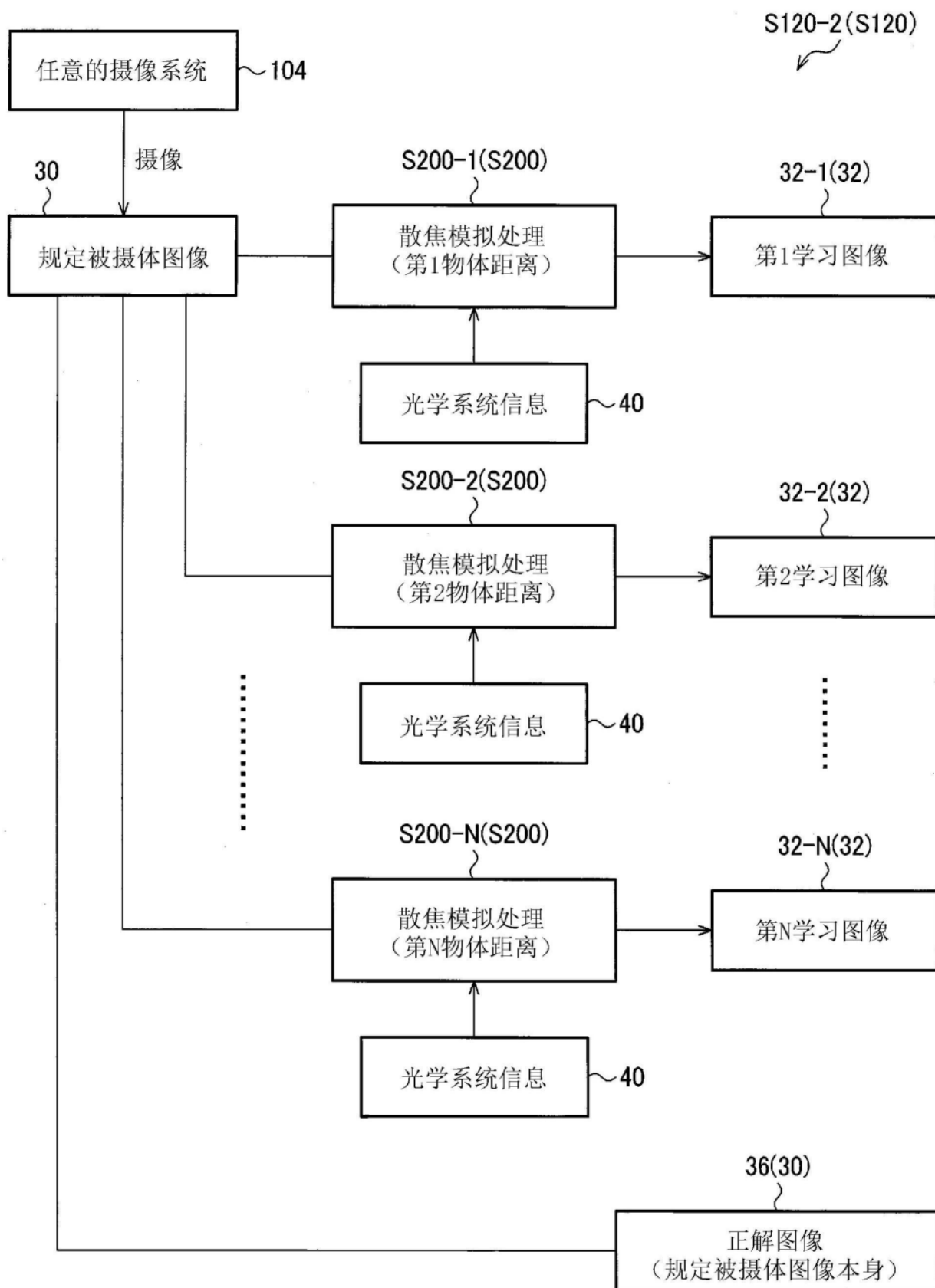


图11

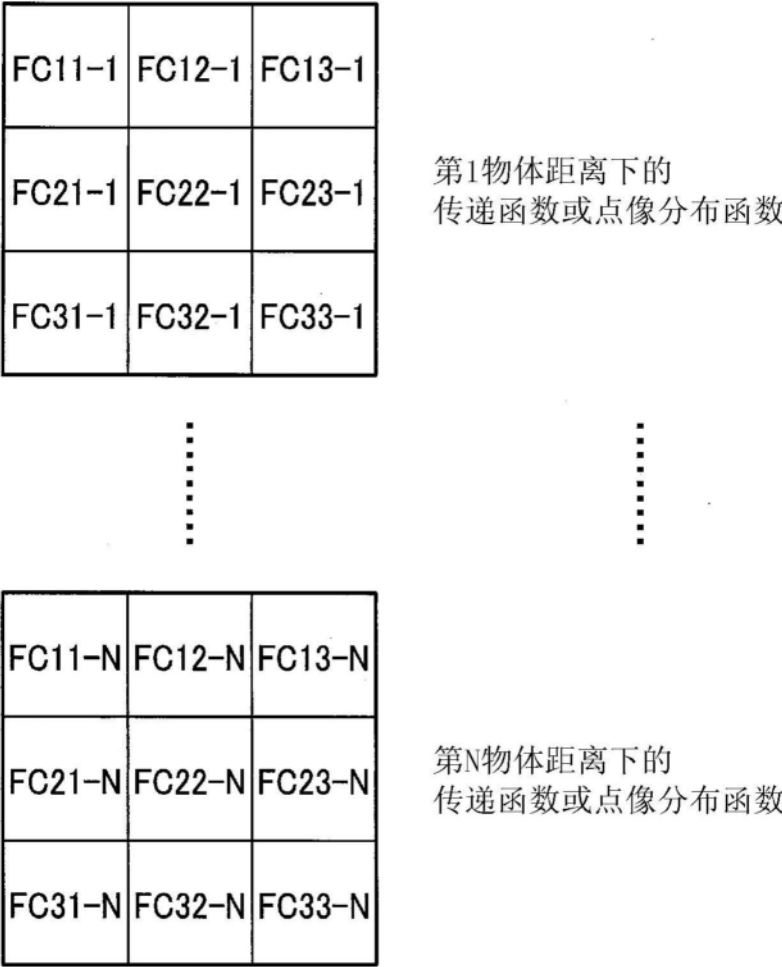


图12

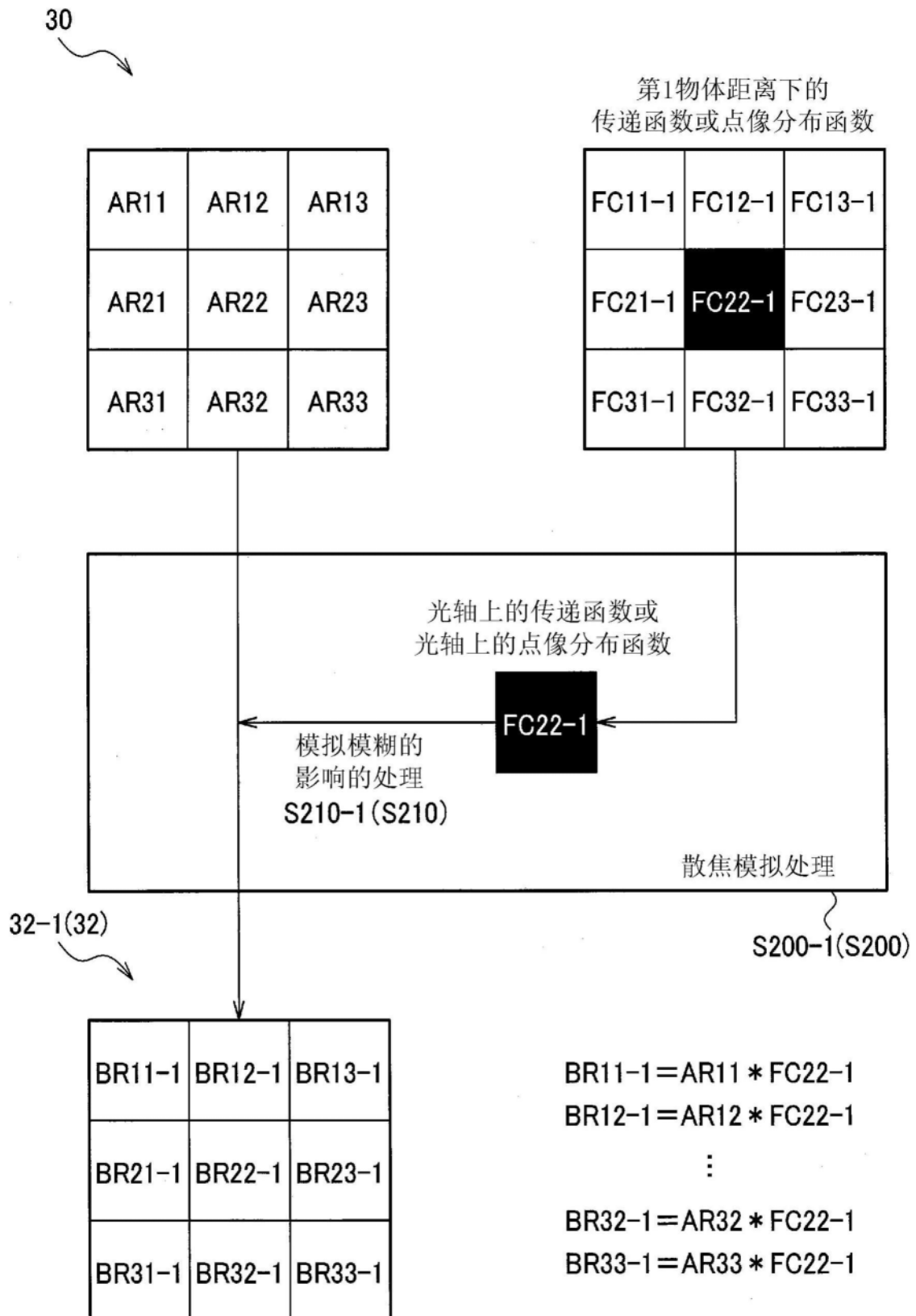


图13

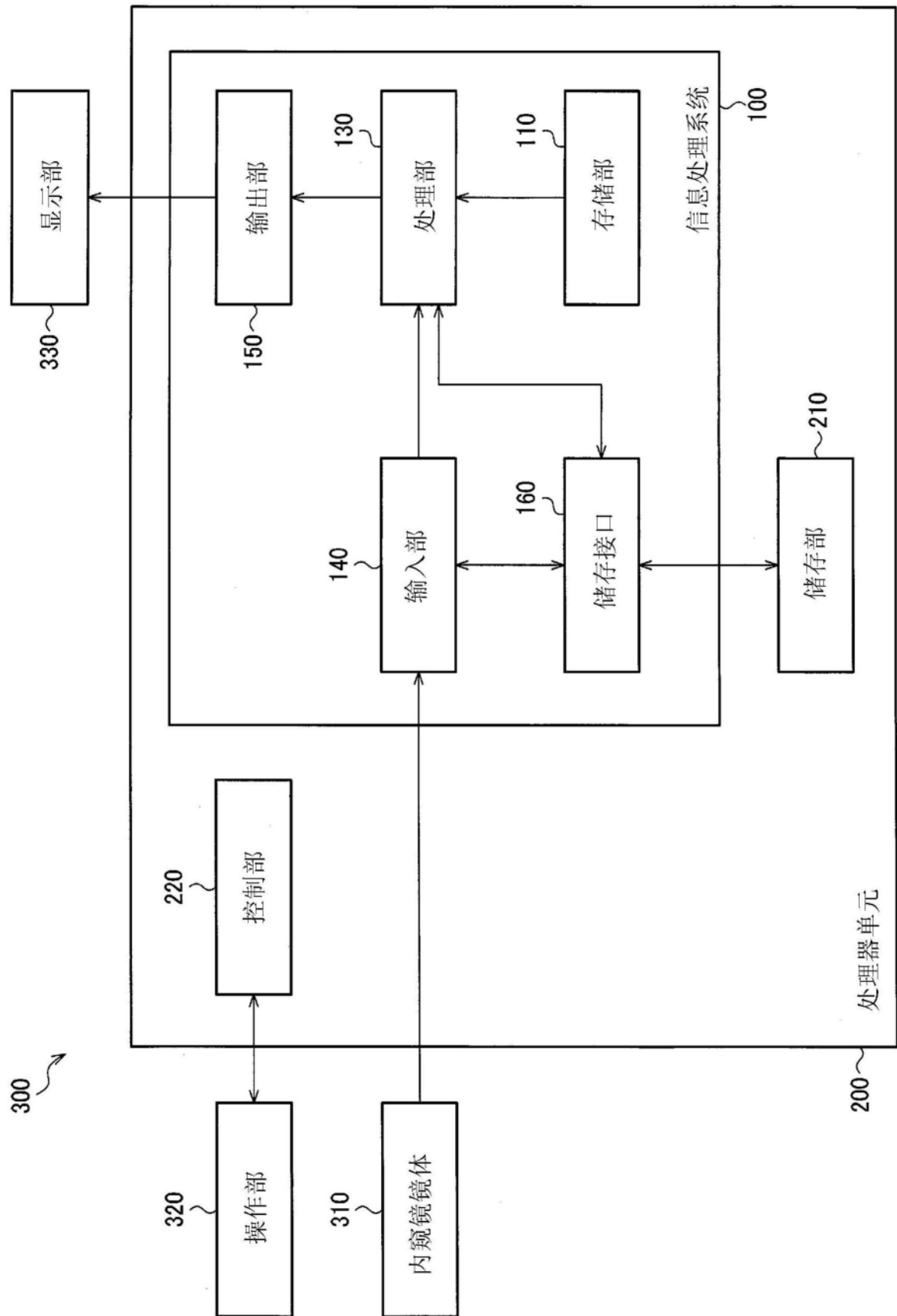


图14

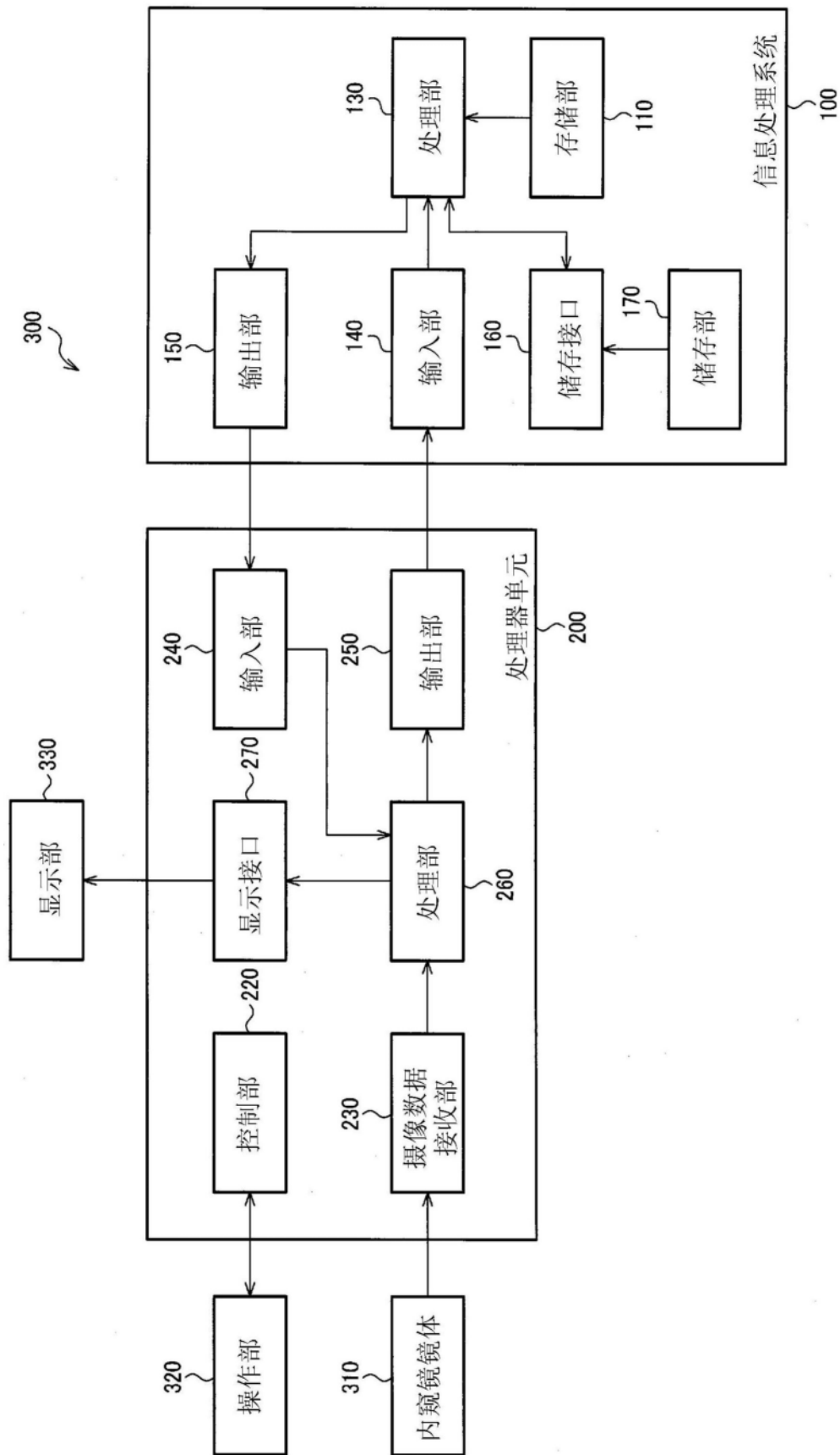
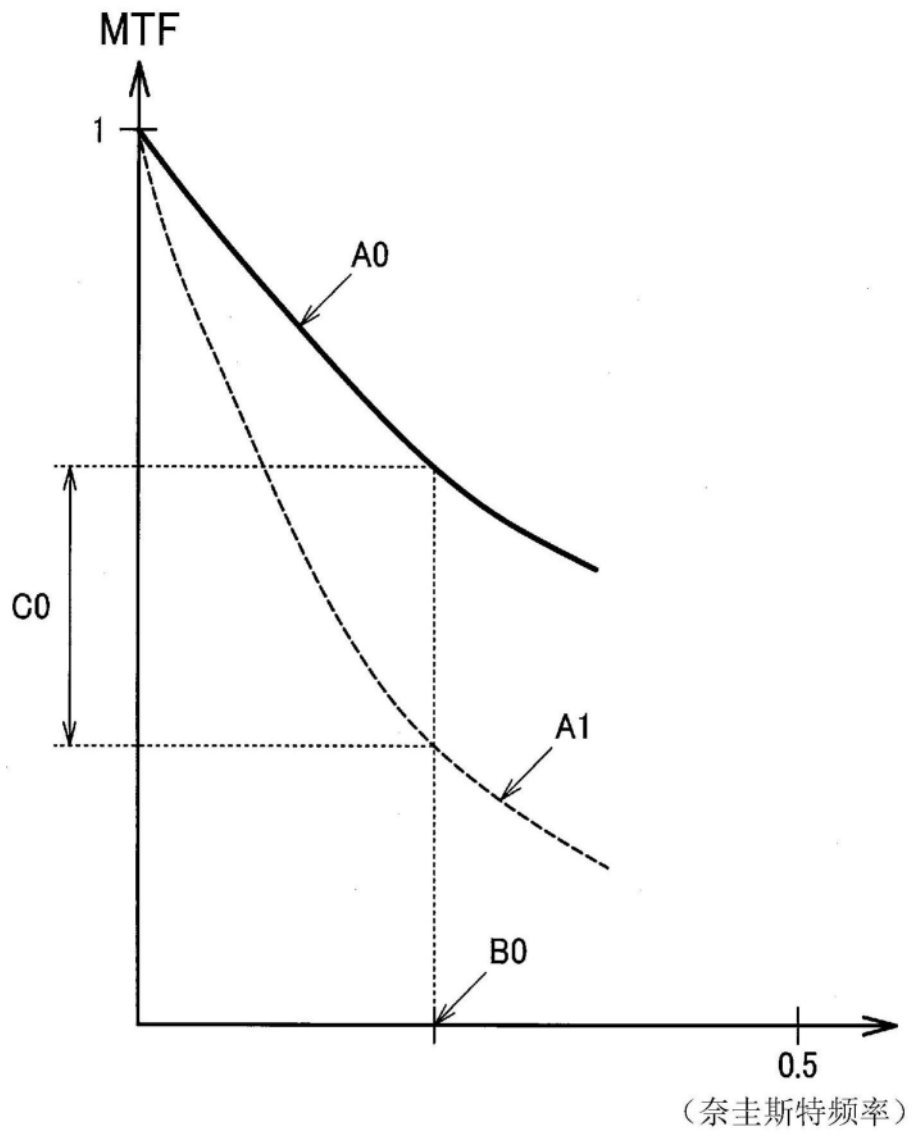
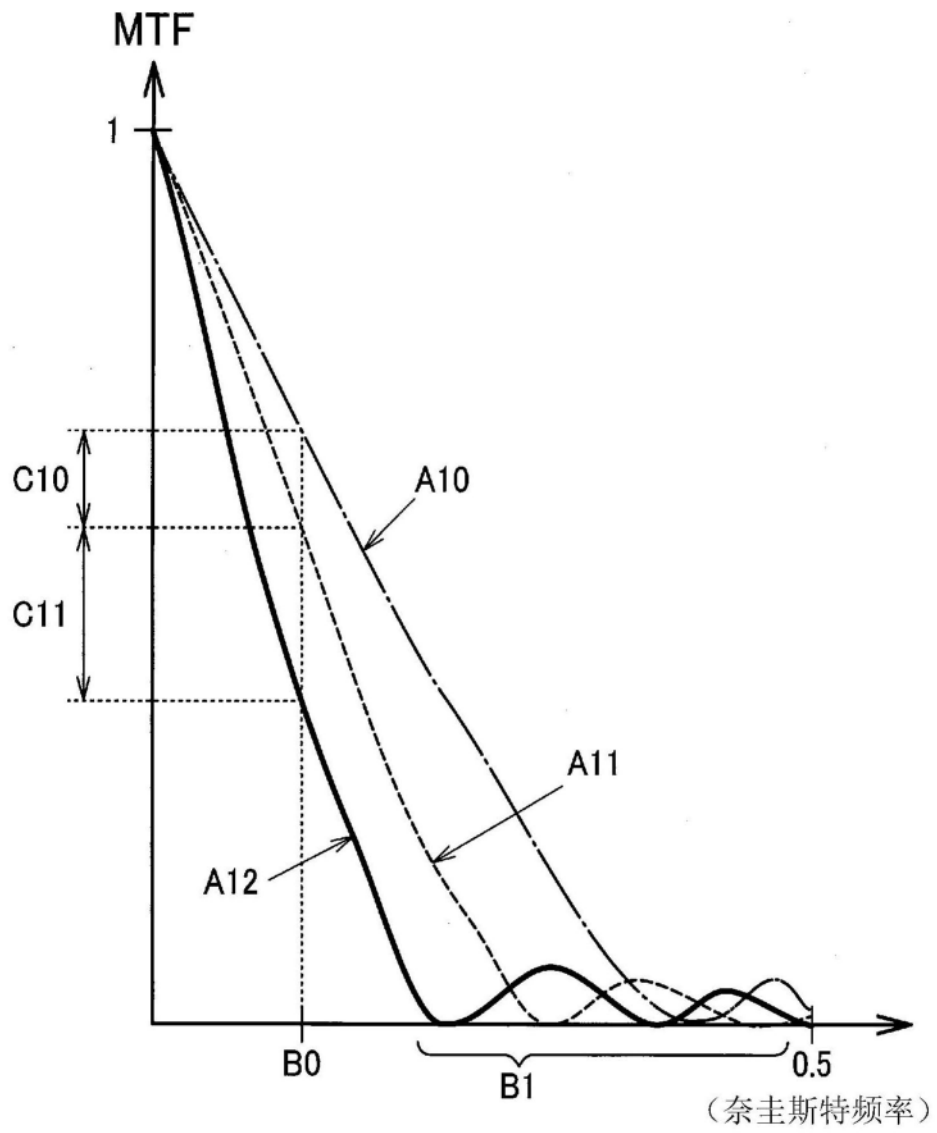


图15



归一化频率

图16



归一化频率

图17

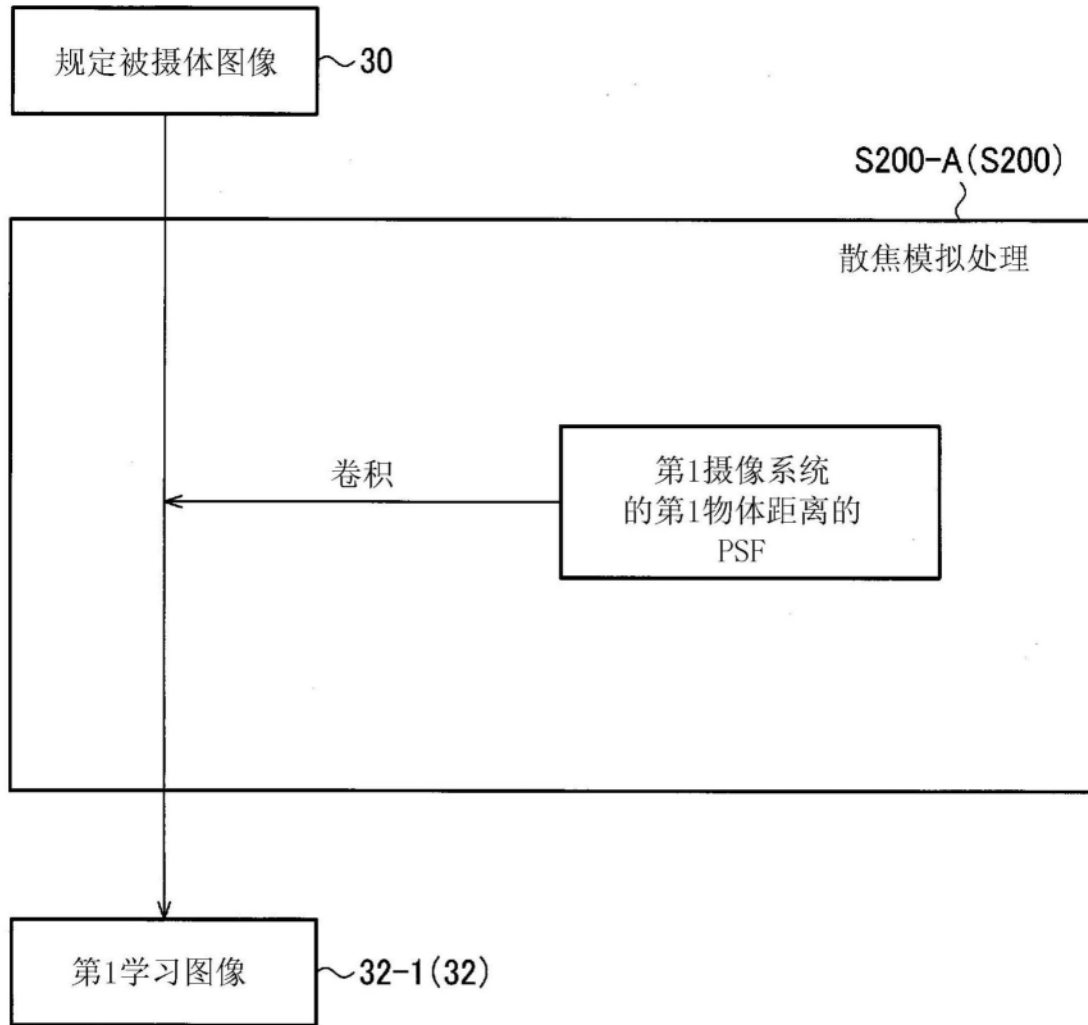


图18

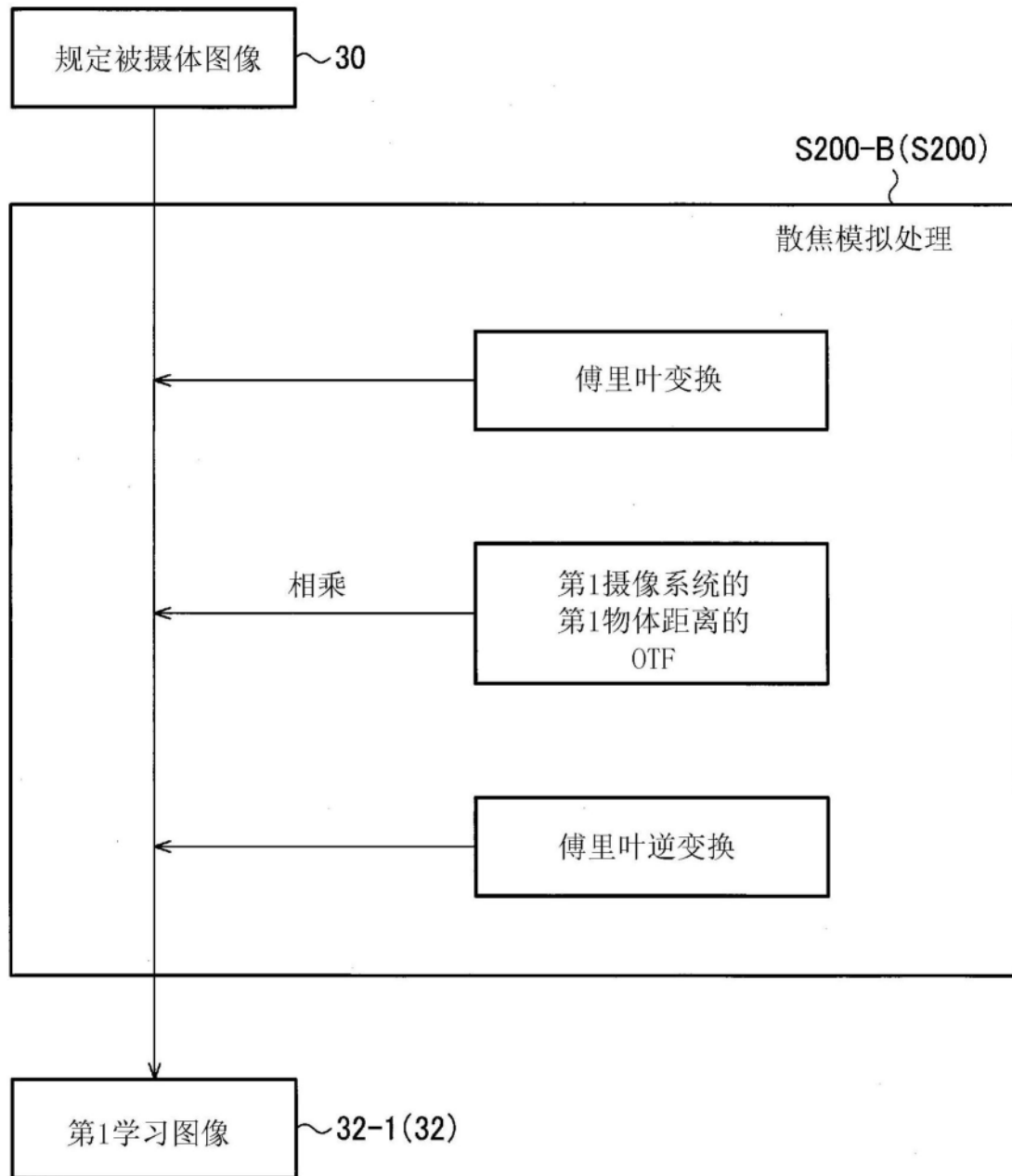


图19

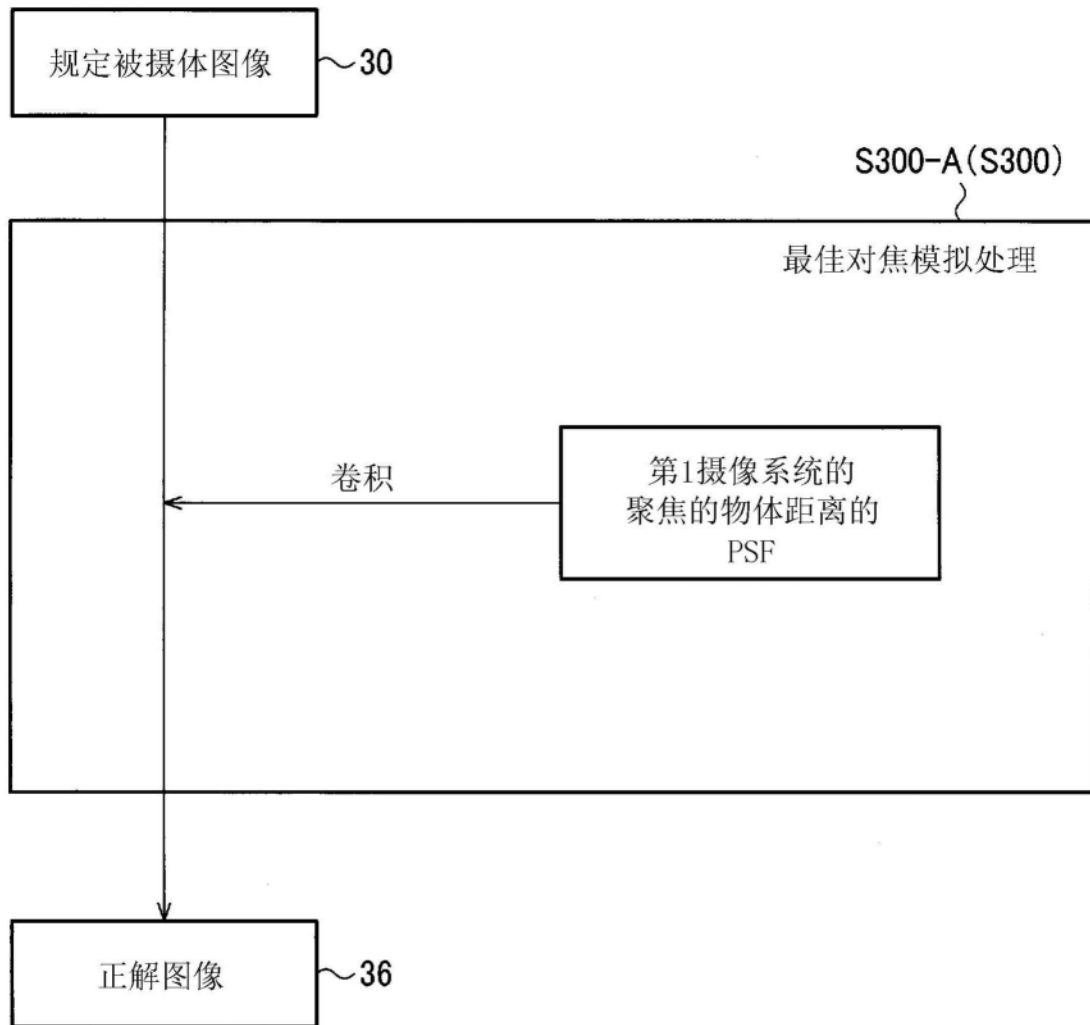


图20

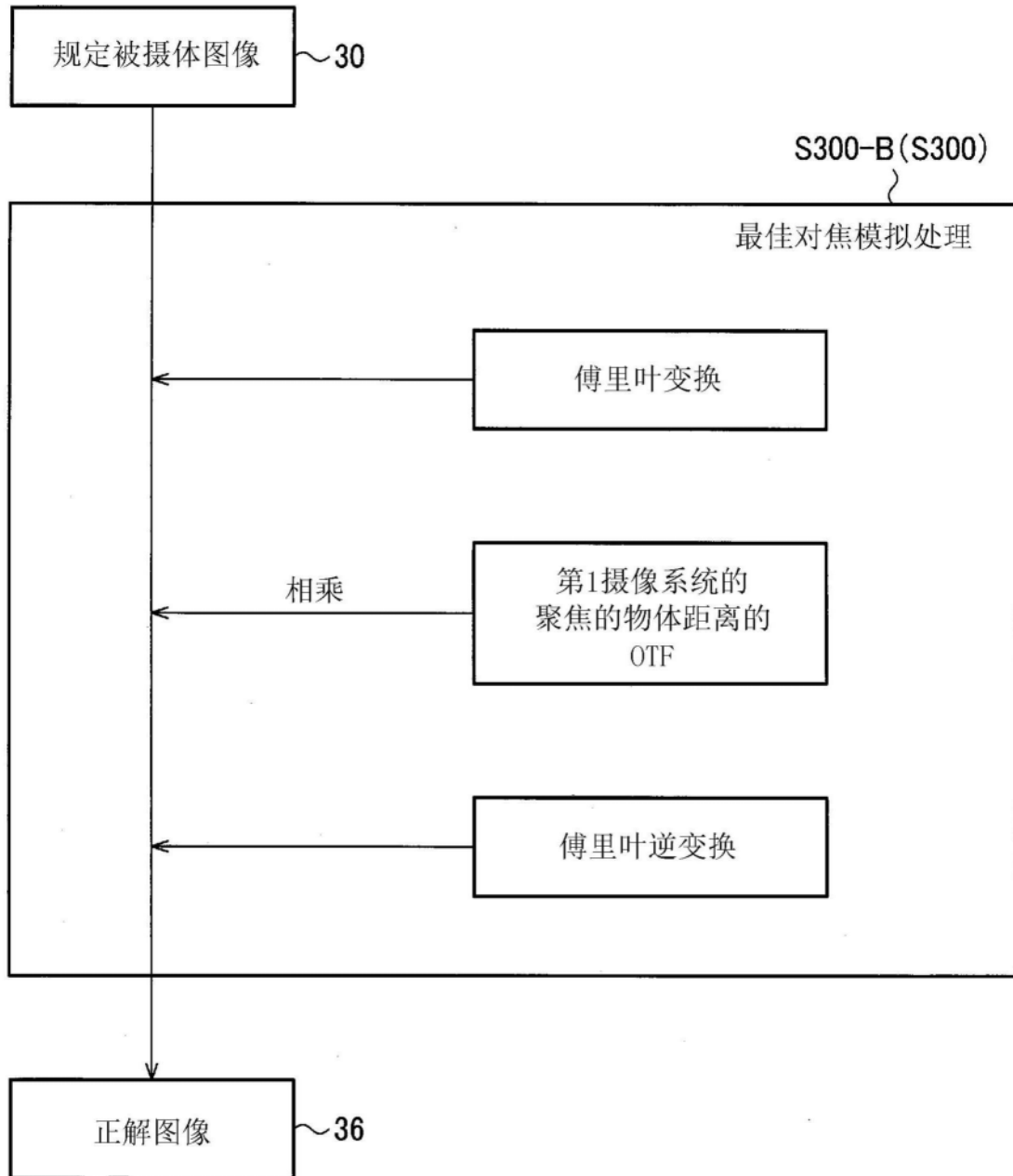


图21

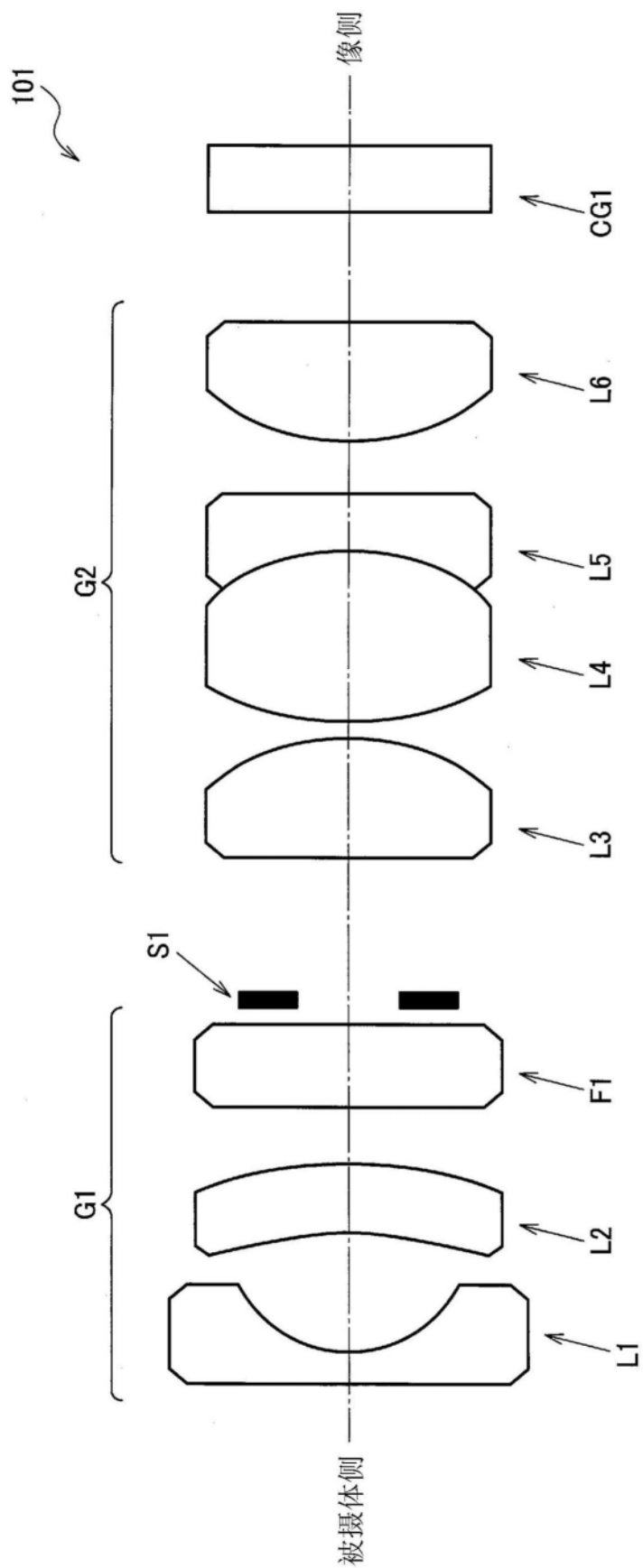


图22

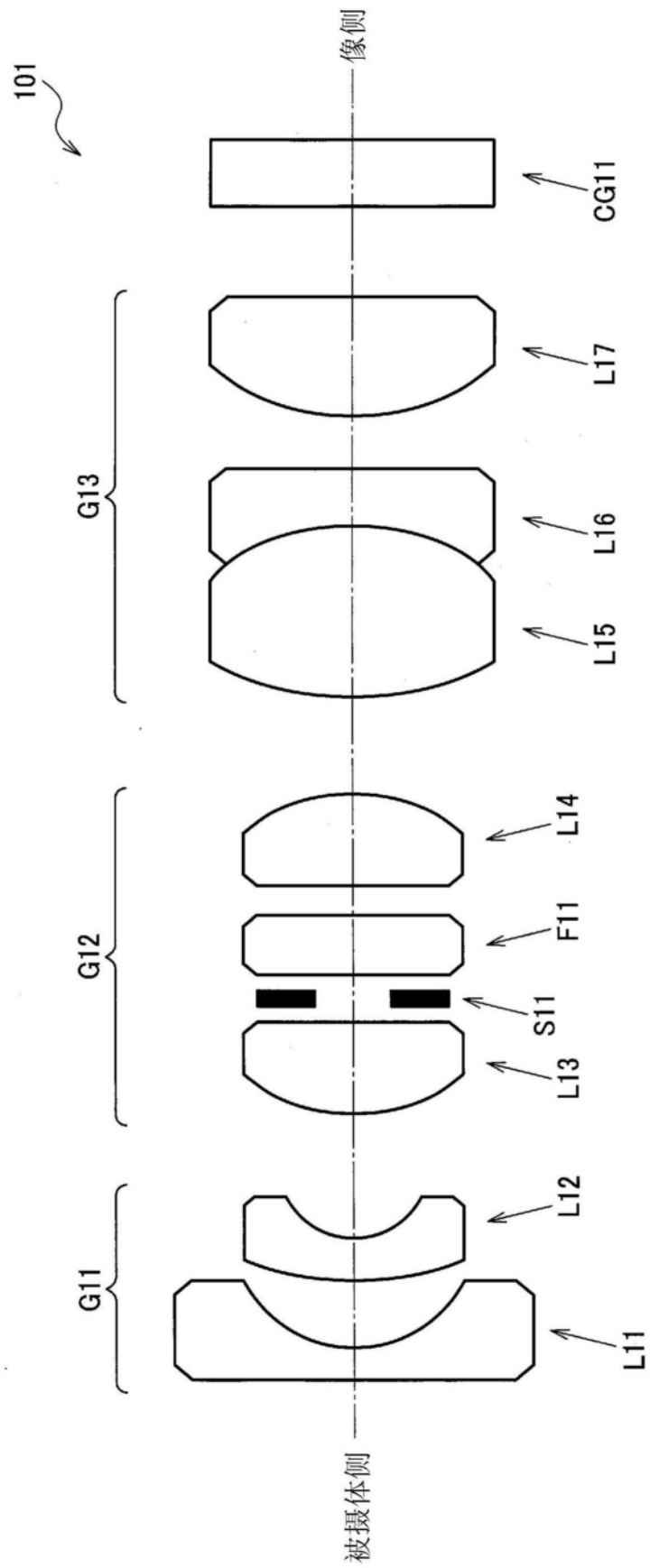
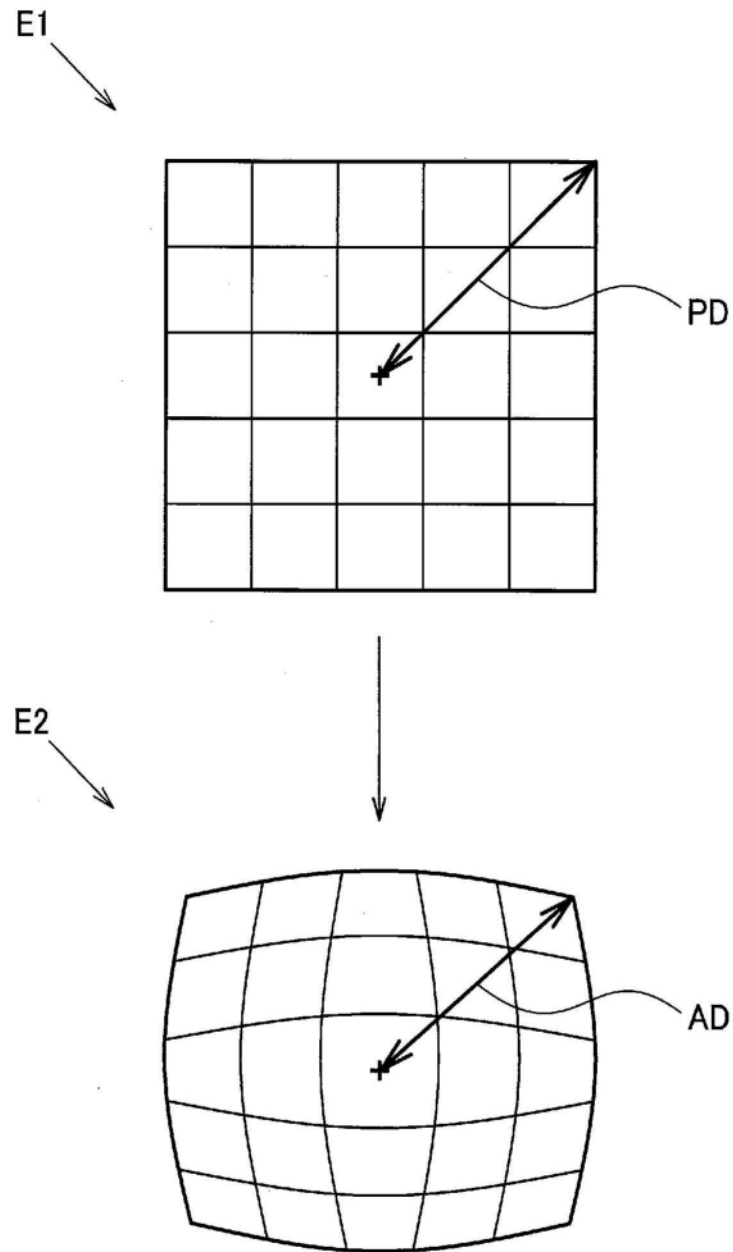


图23



最大视场角下的畸变 (%) = $100 \times (AD - PD) / PD < -30(\%)$

图24

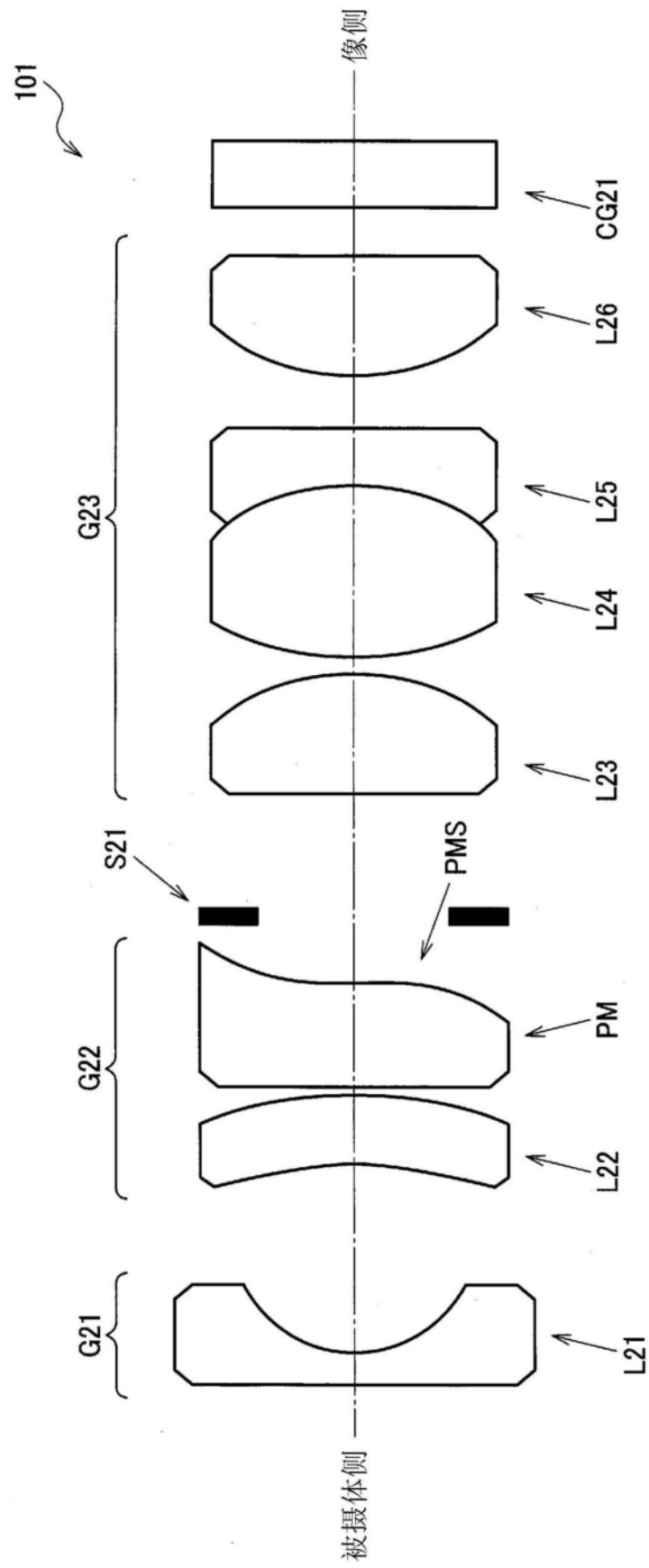


图25

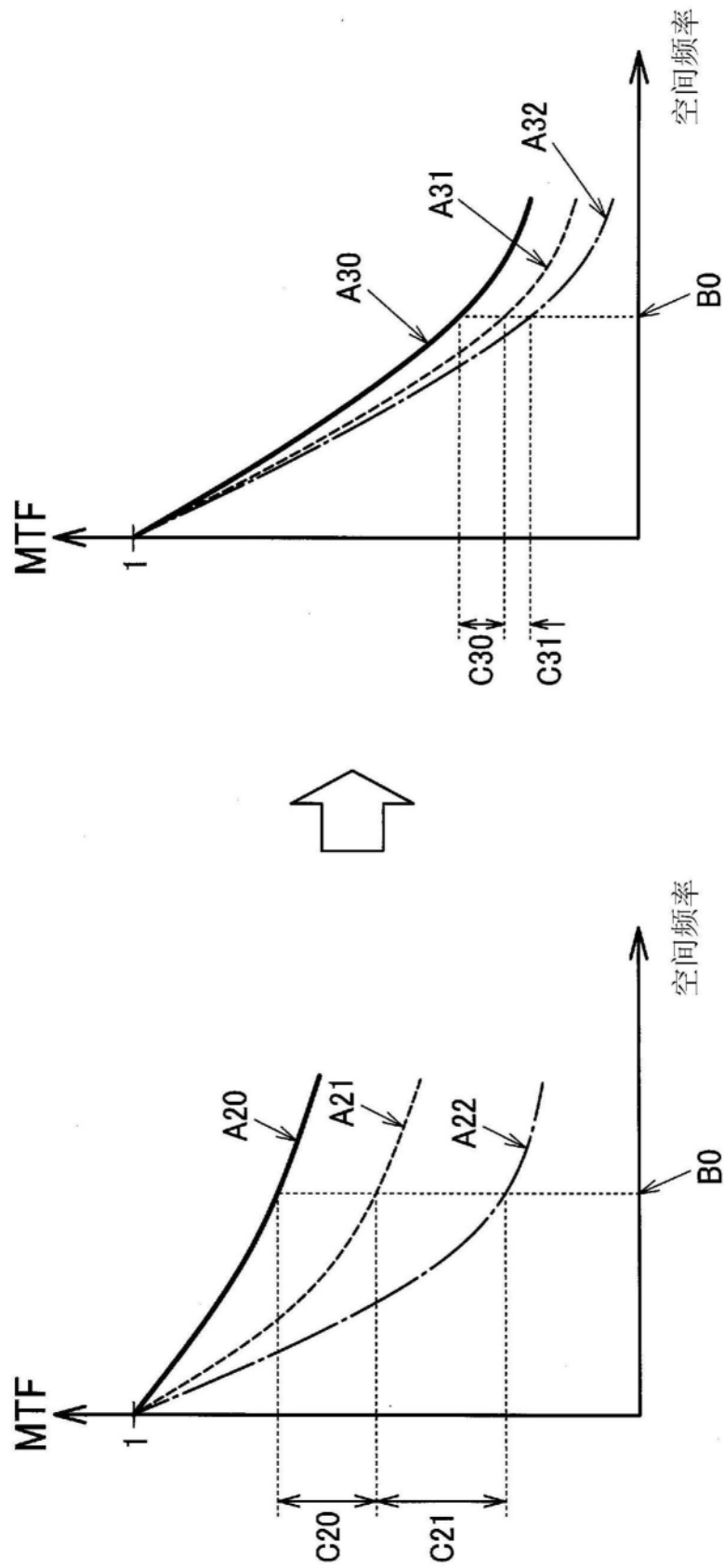


图26

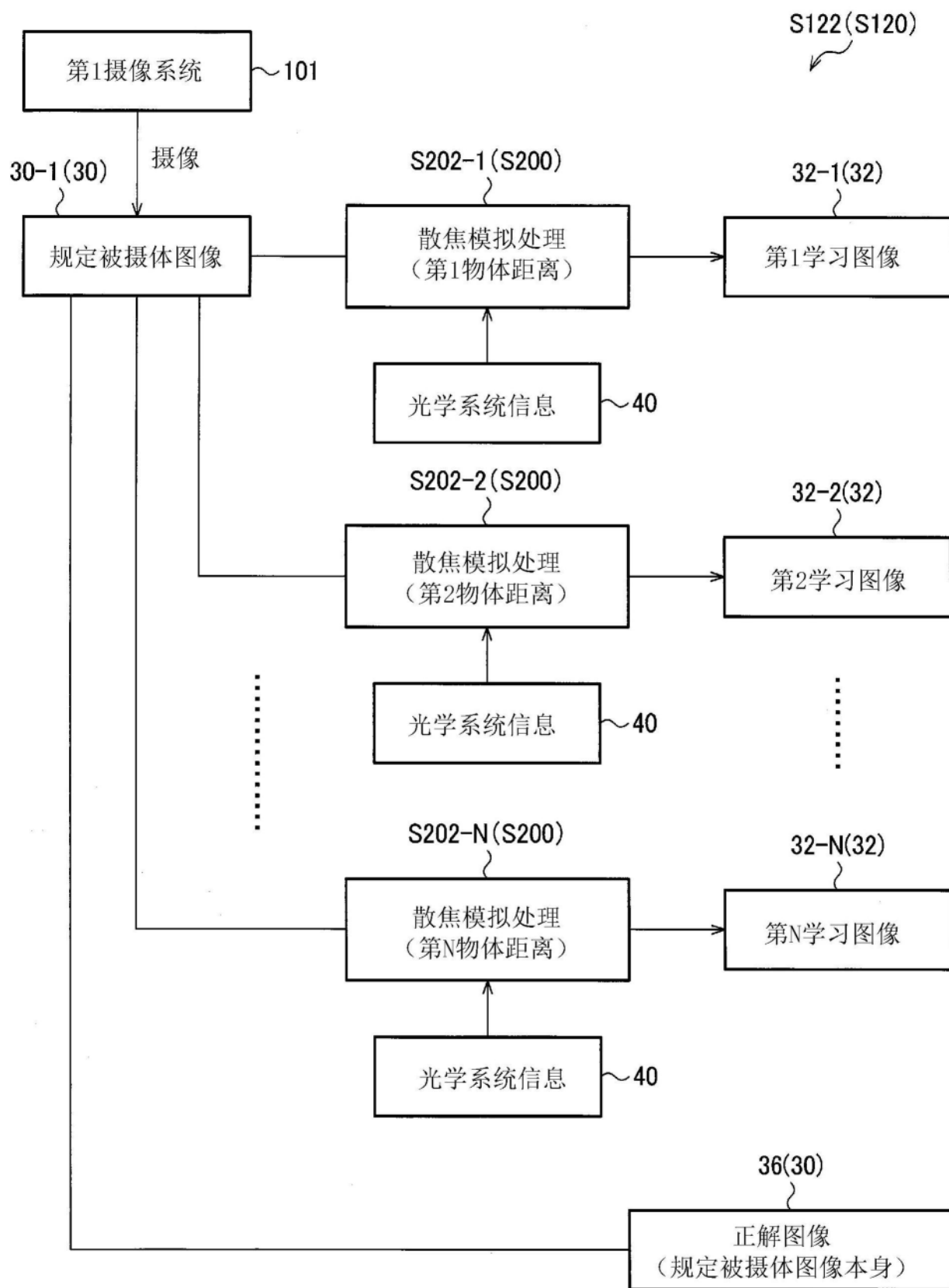


图27

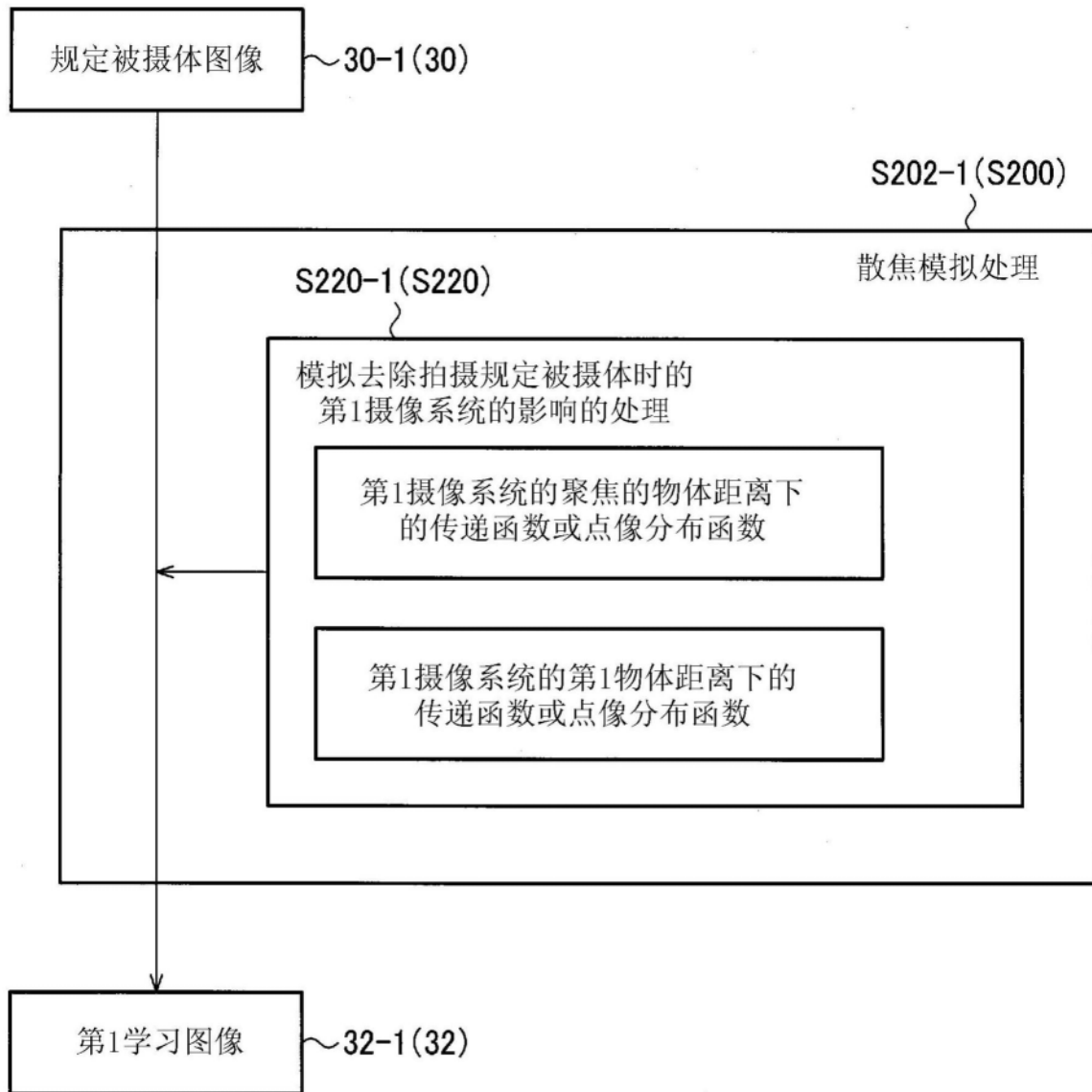


图28

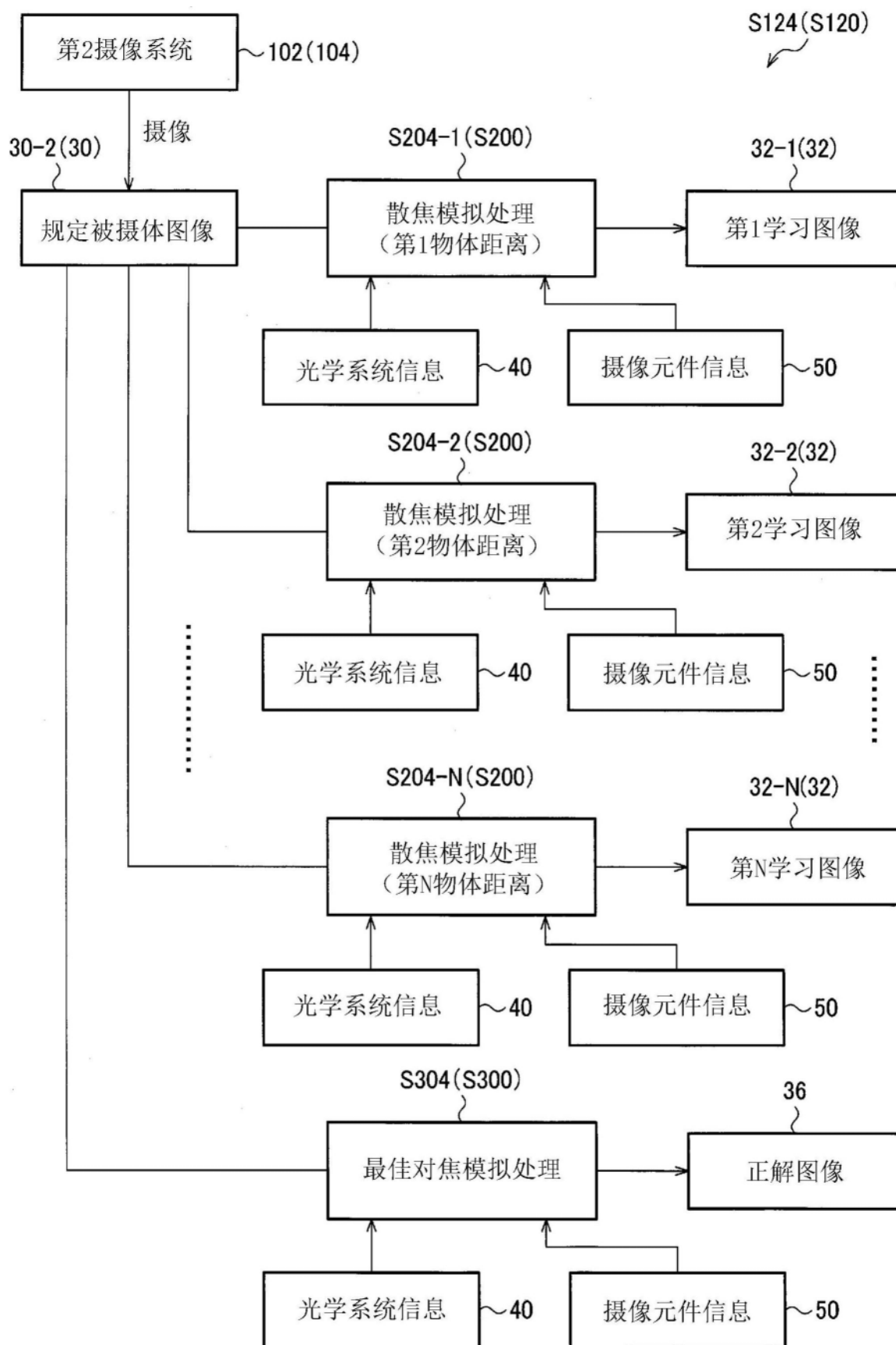


图29

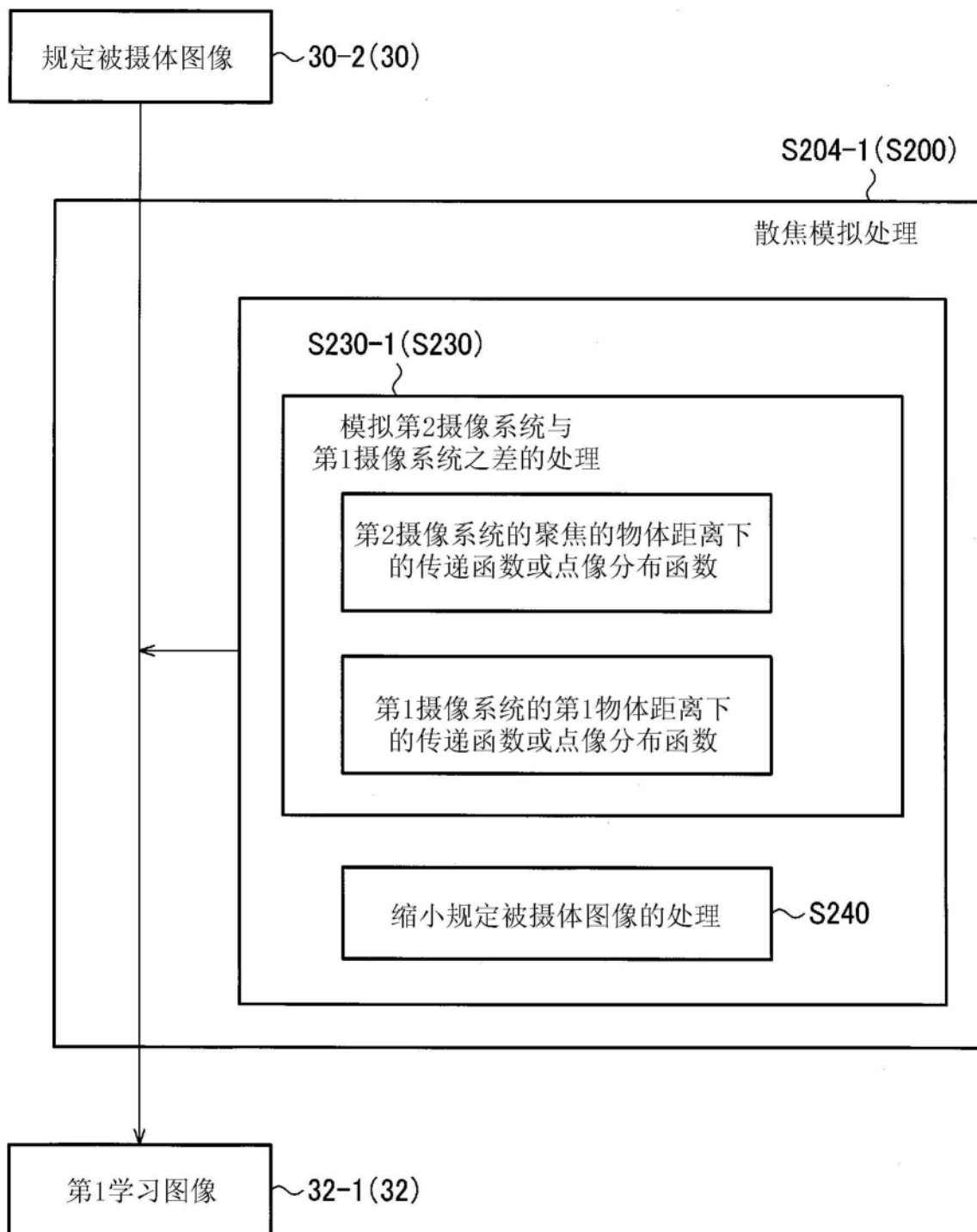


图30

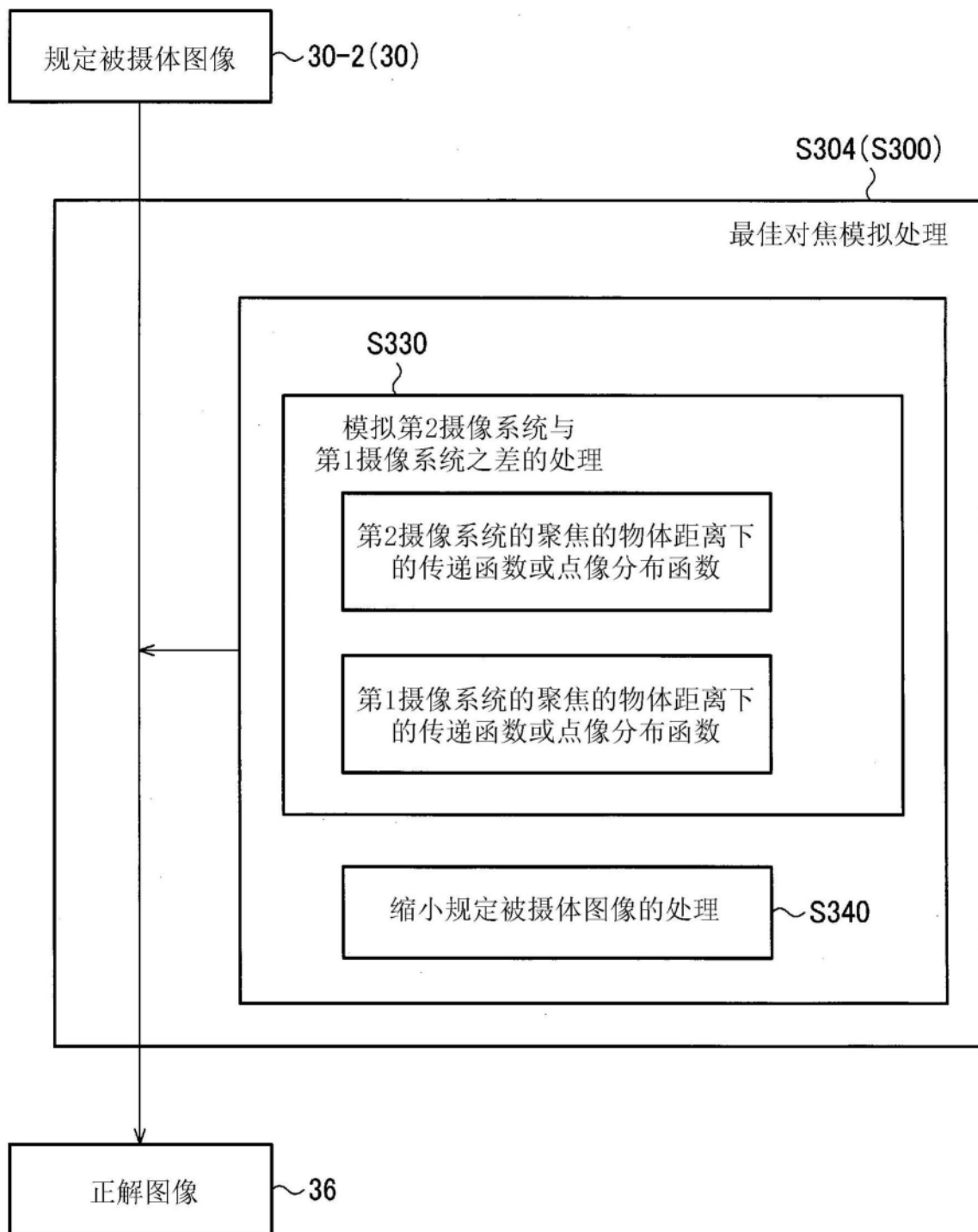


图31

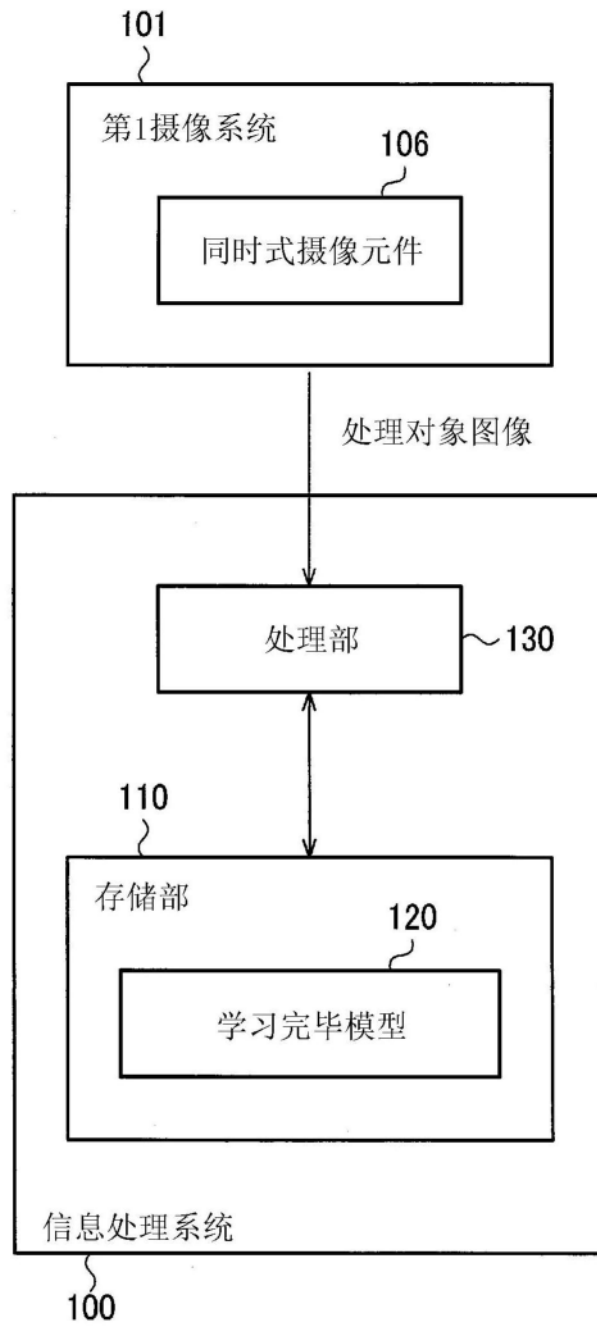


图32

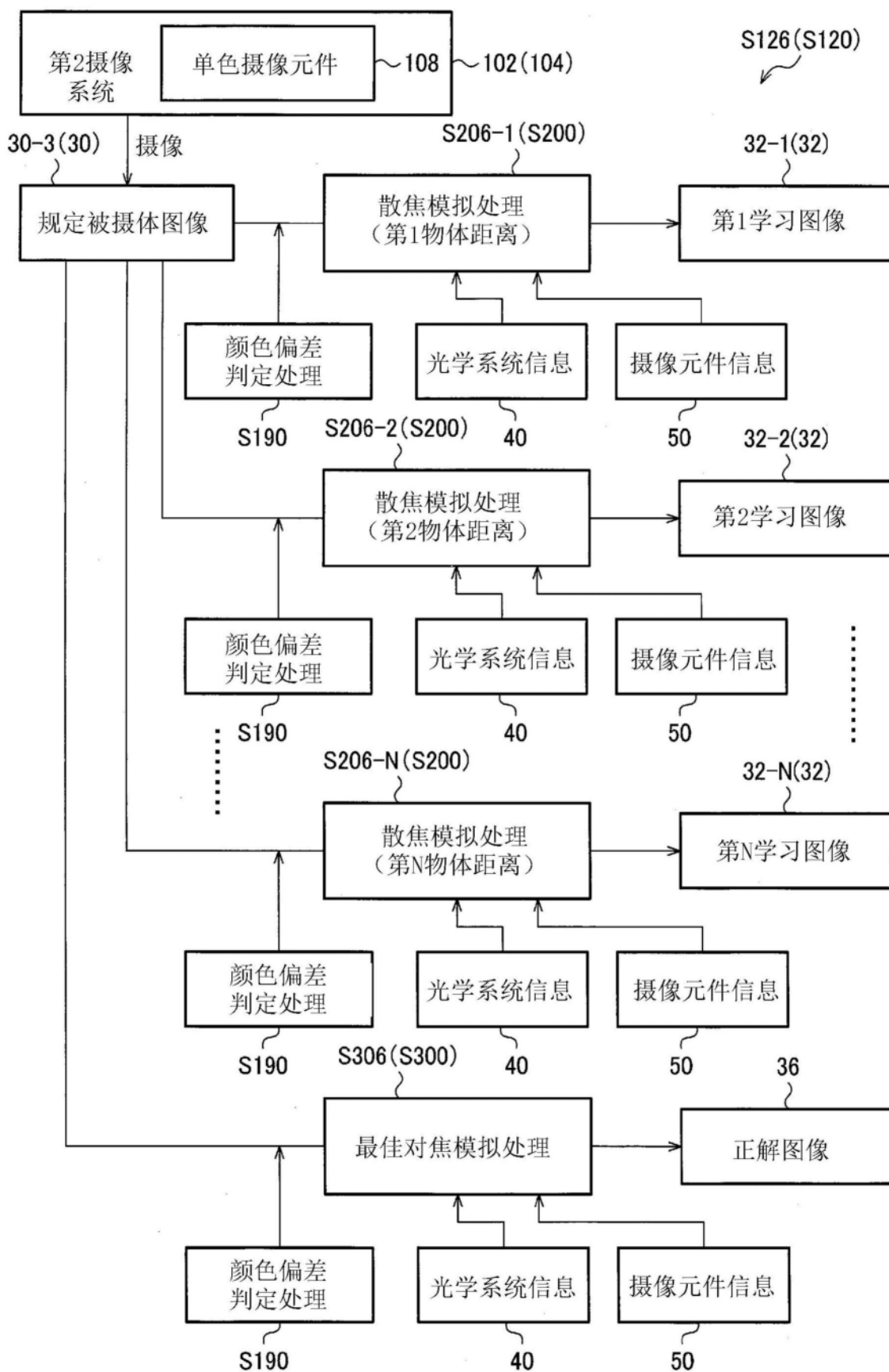


图33

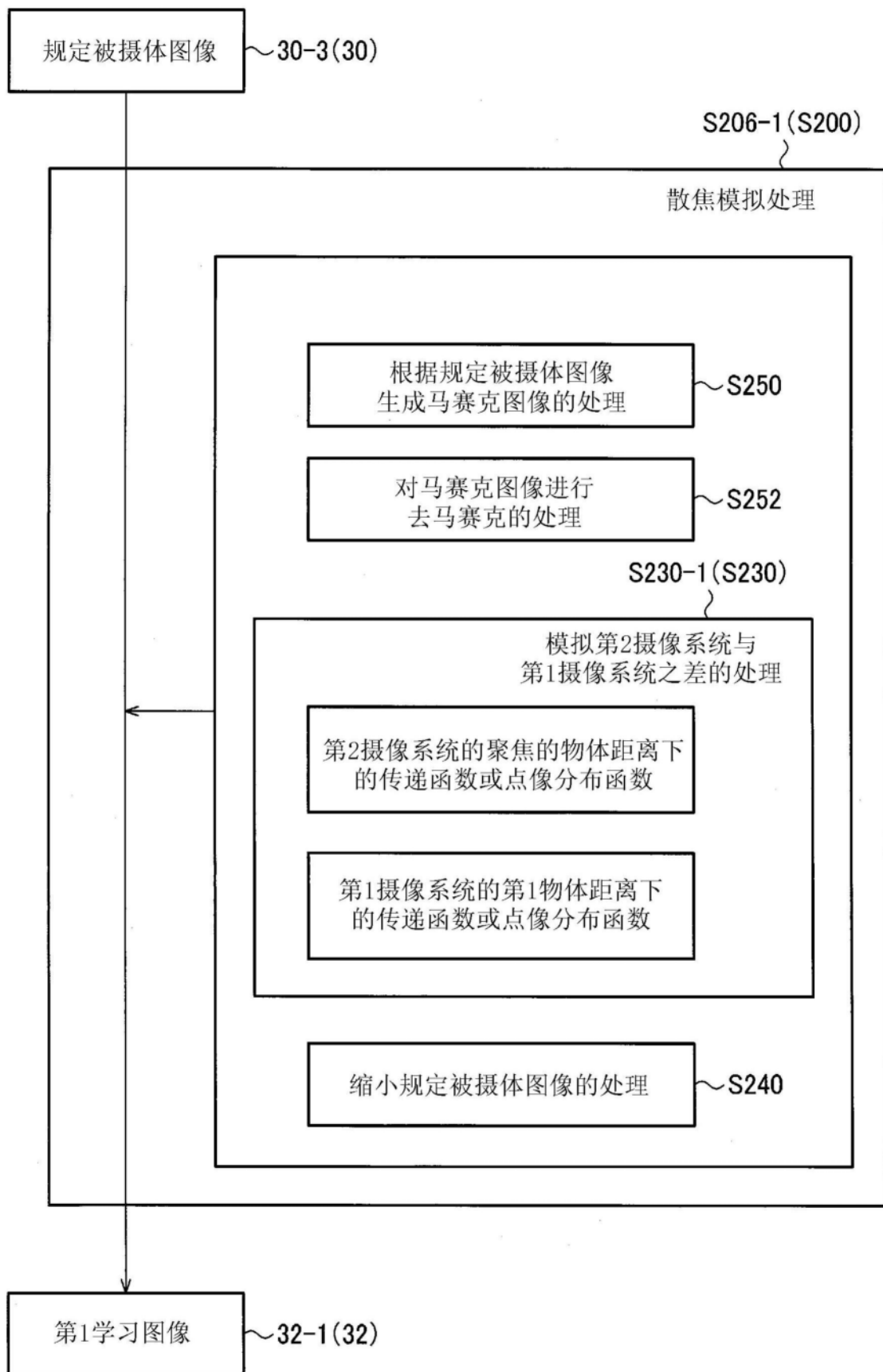


图34

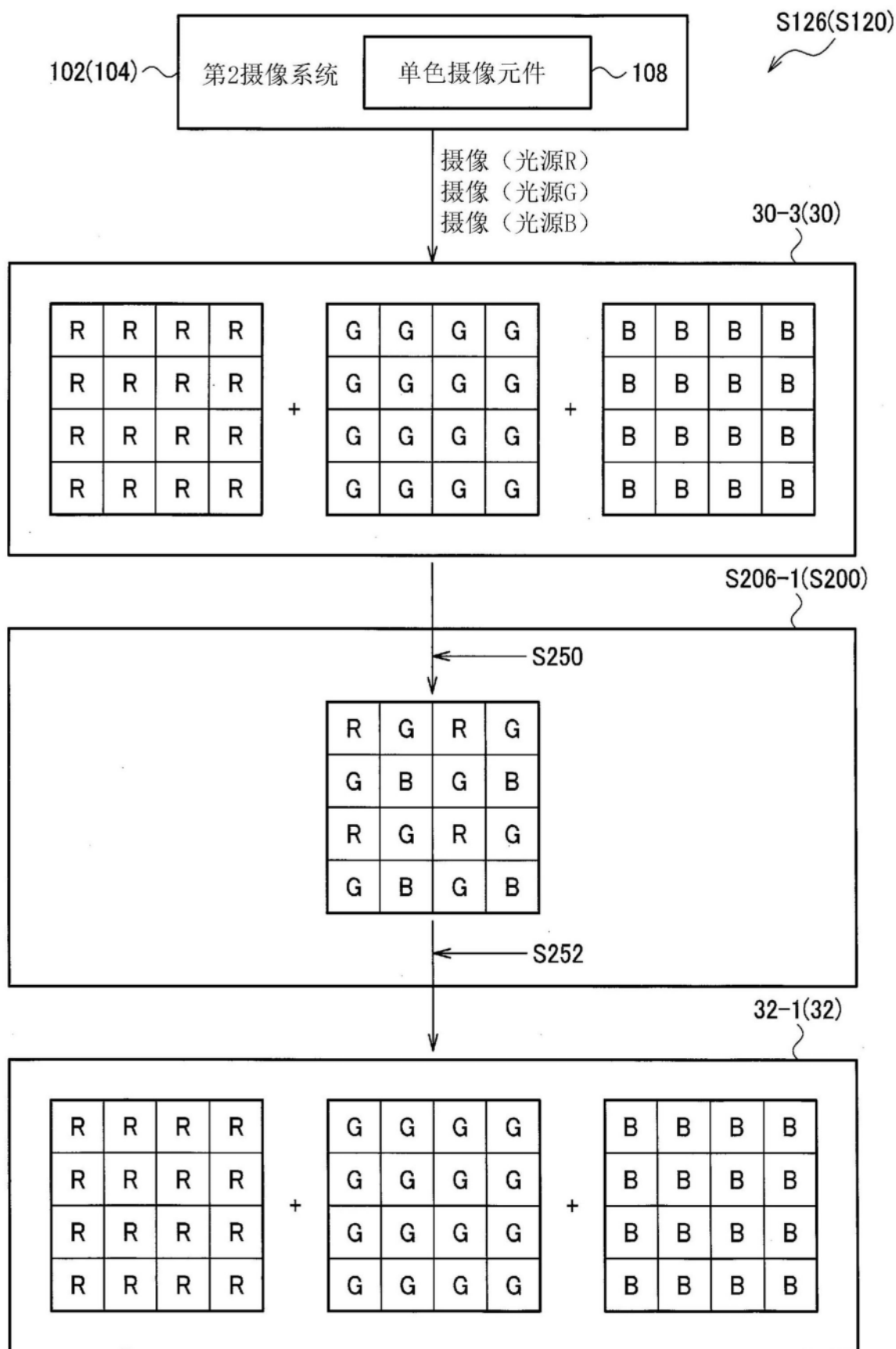


图35

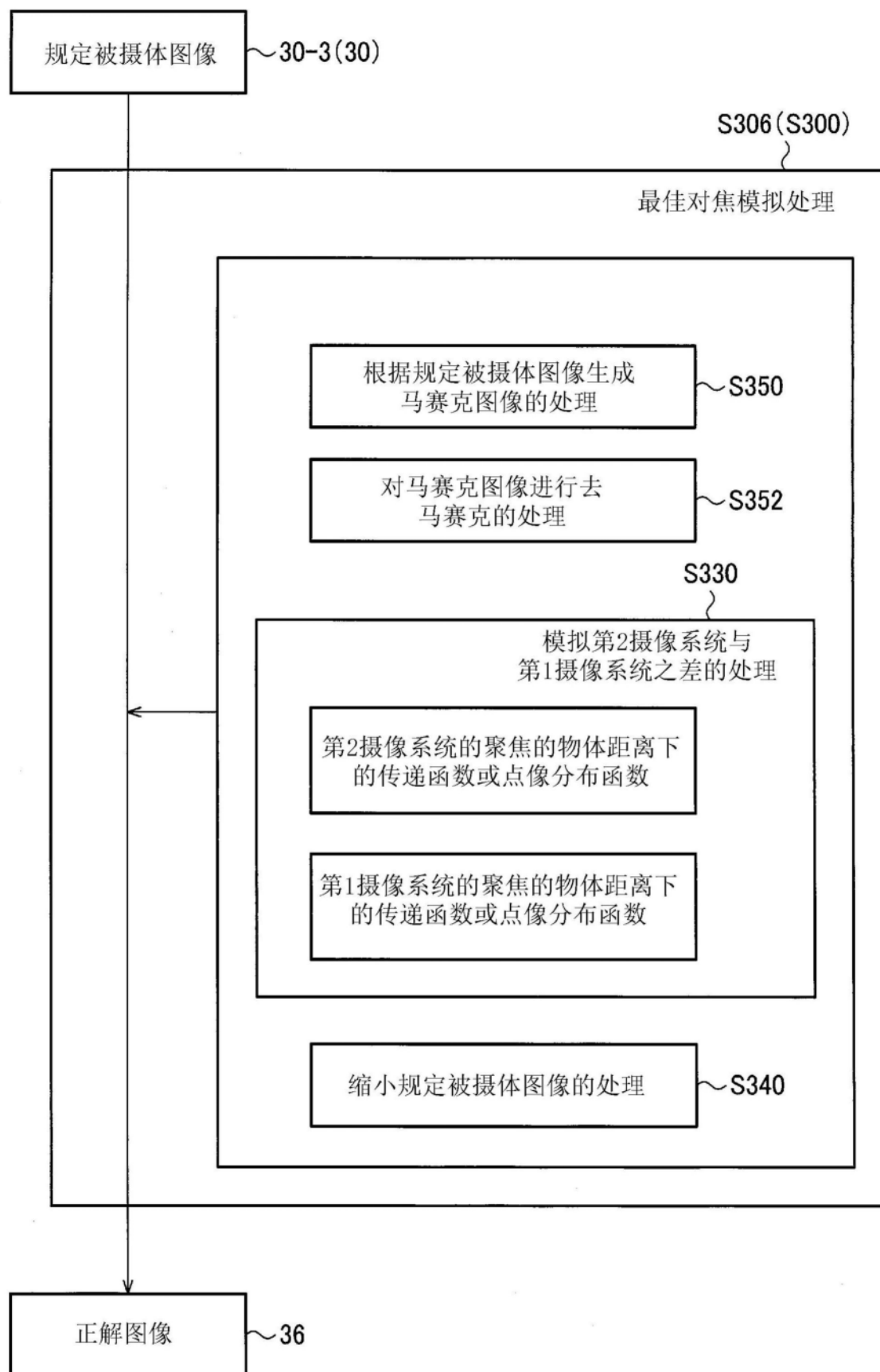


图36

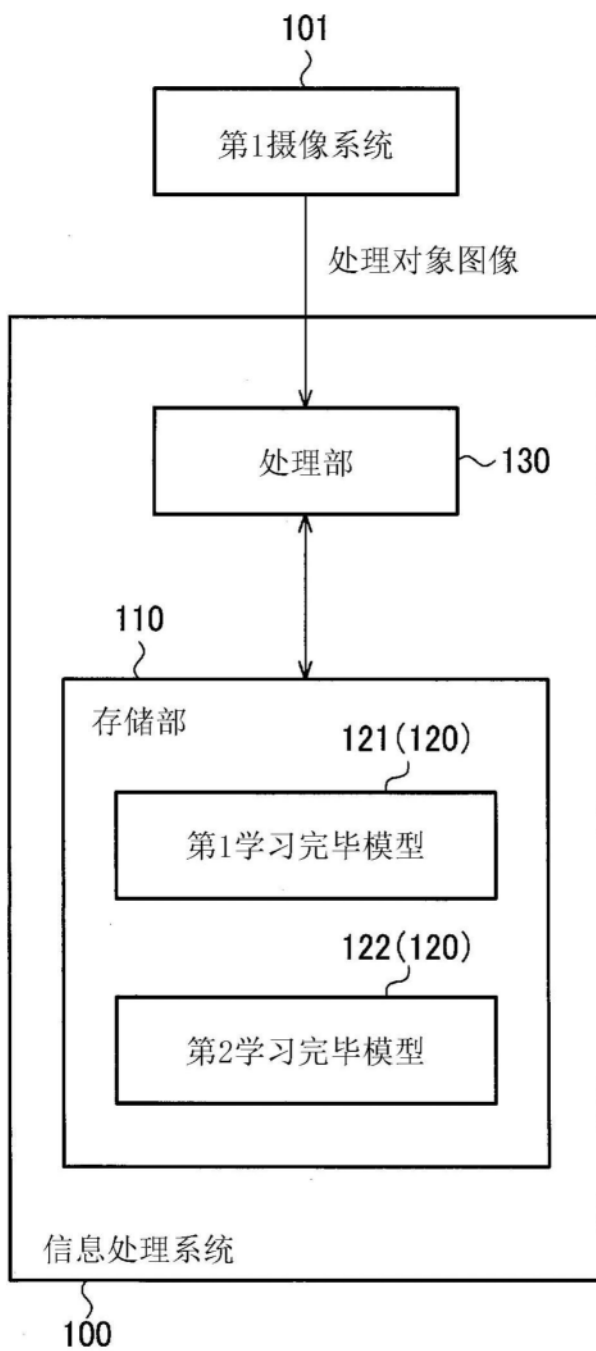


图37

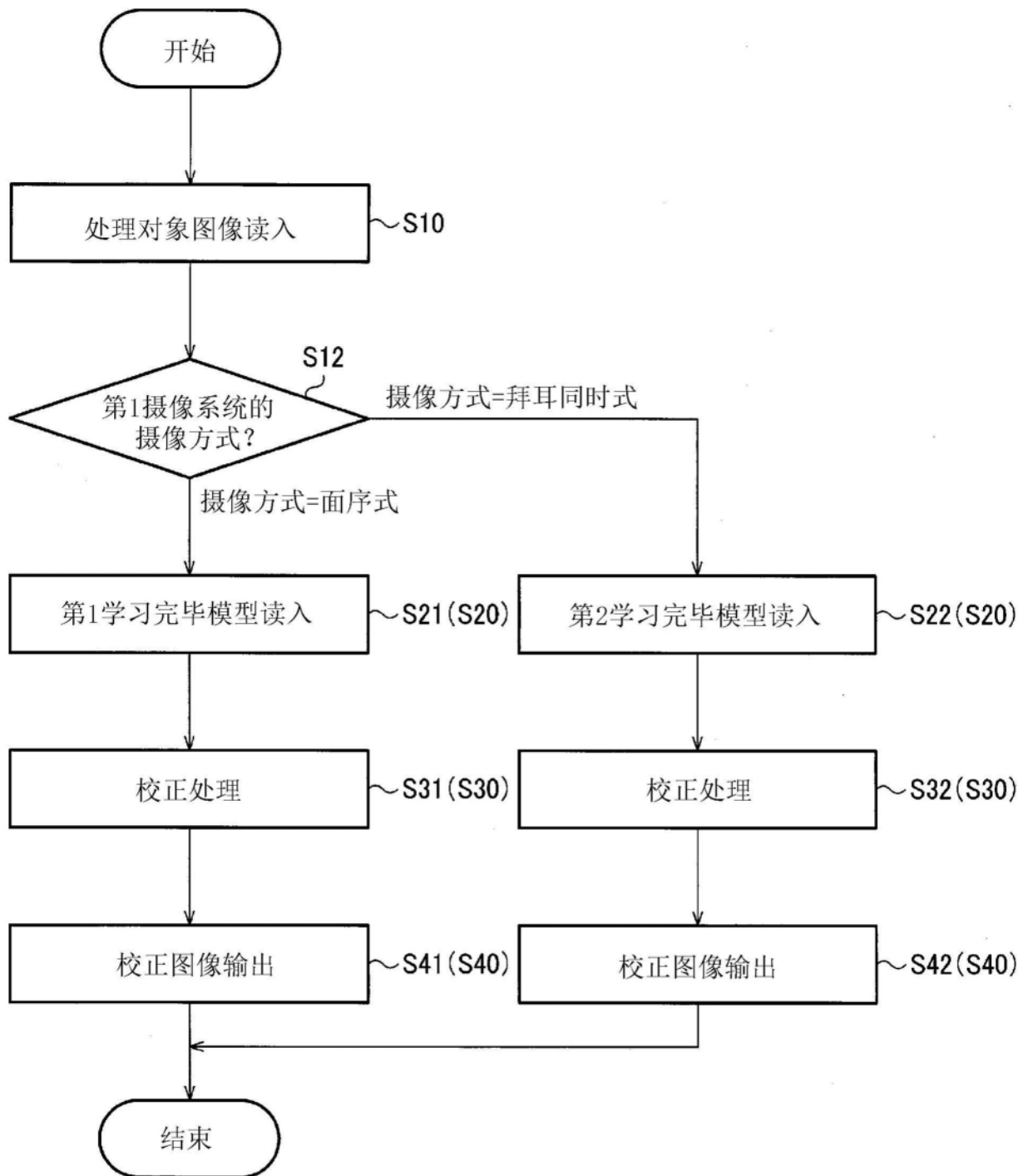


图38

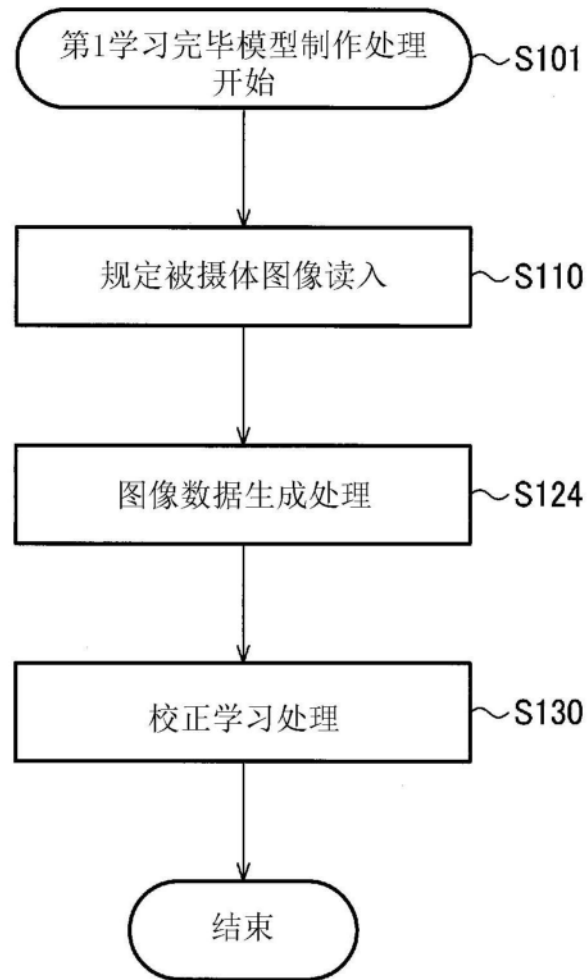


图39

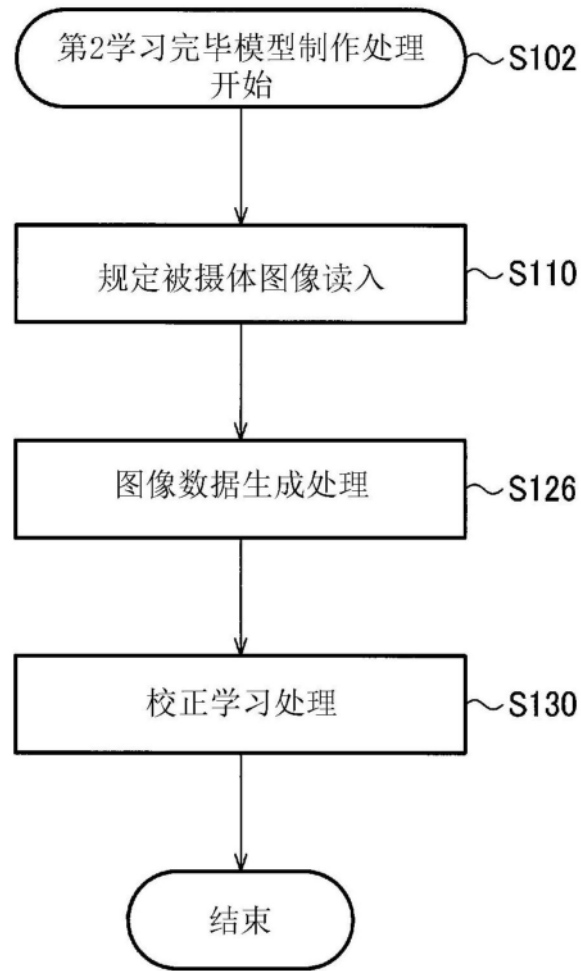


图40

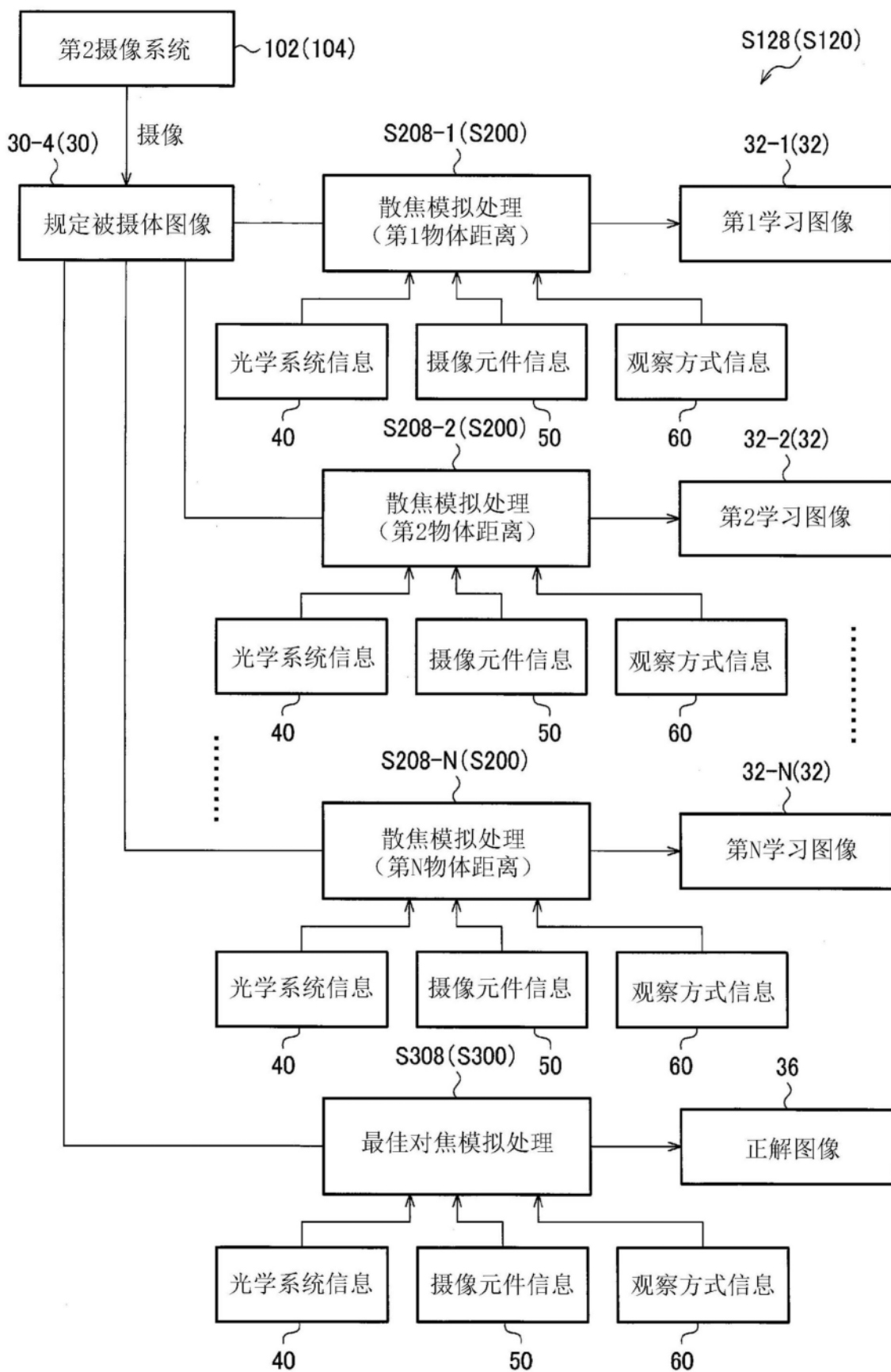


图41

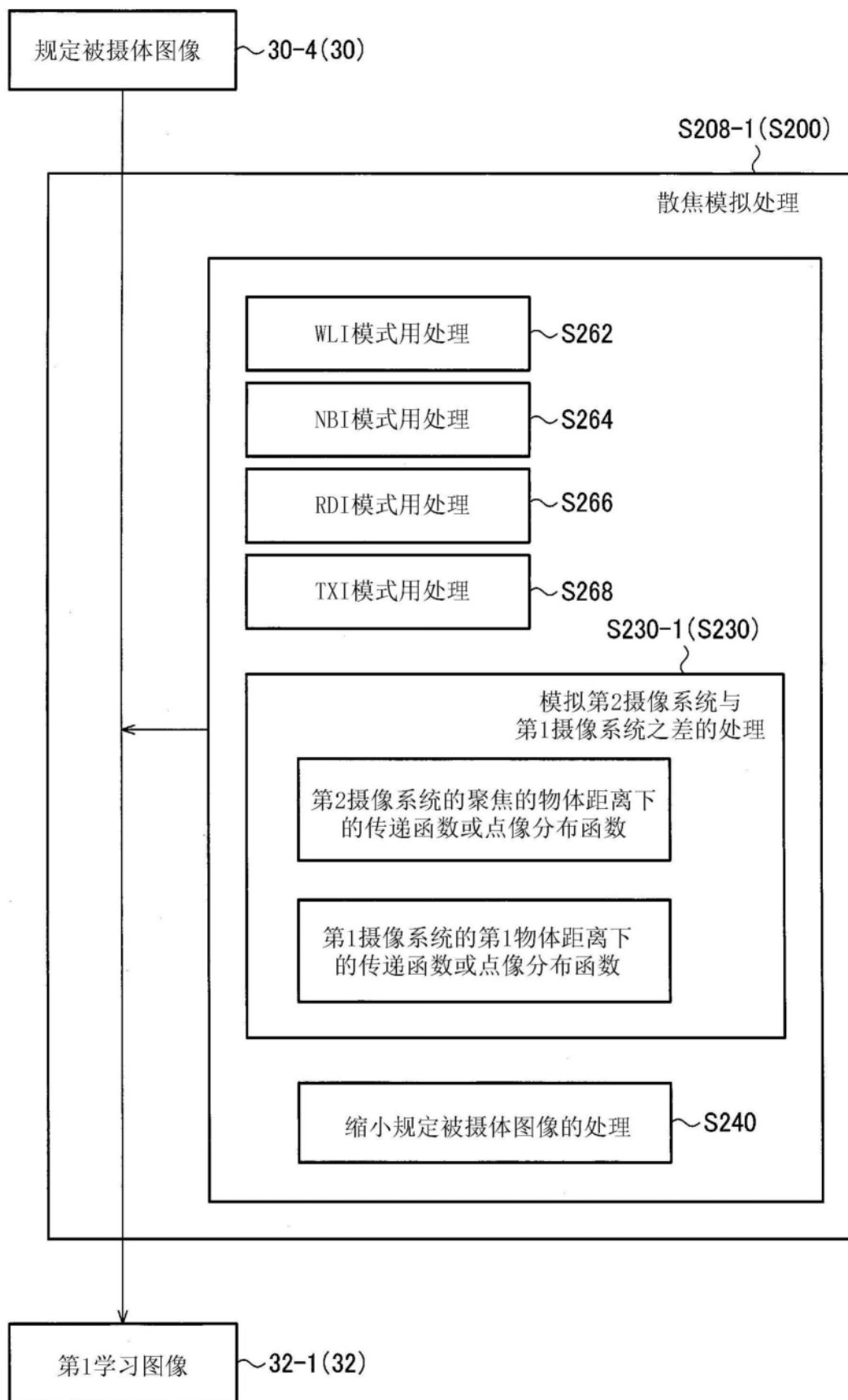


图42

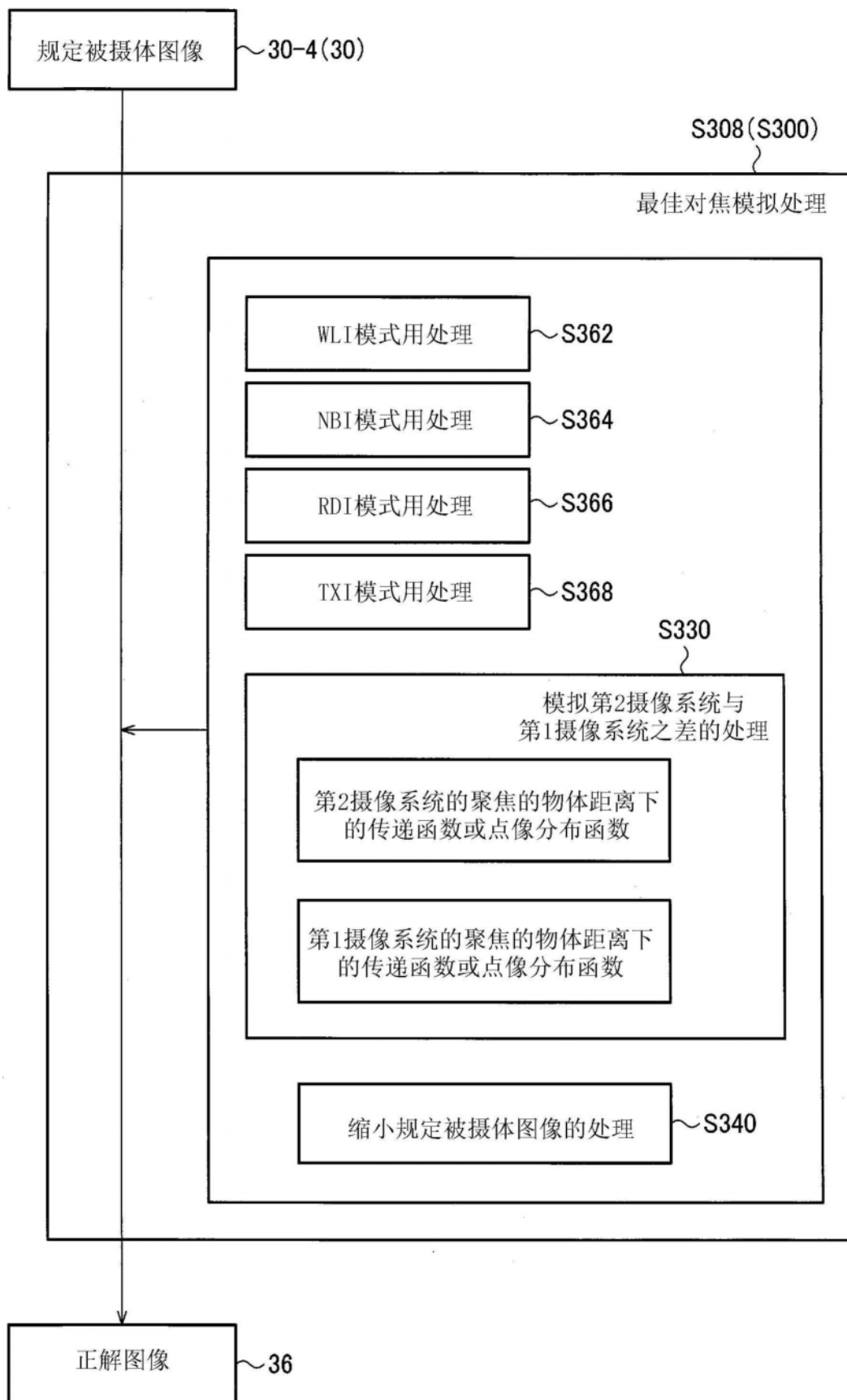


图43