



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105828693 B

(45)授权公告日 2018.11.06

(21)申请号 201480068983.0

(22)申请日 2014.12.03

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105828693 A

(43)申请公布日 2016.08.03

(30)优先权数据
2013-264062 2013.12.20 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.06.17

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2014/082026 2014.12.03

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/093295 JA 2015.06.25

(73)专利权人 奥林巴斯株式会社

地址 日本东京都

(72)发明人 森田惠仁

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 李辉 于靖帅

(51)Int.Cl.

A61B 1/04(2006.01)

A61B 1/06(2006.01)

G02B 23/24(2006.01)

H04N 5/225(2006.01)

H04N 7/18(2006.01)

审查员 万语

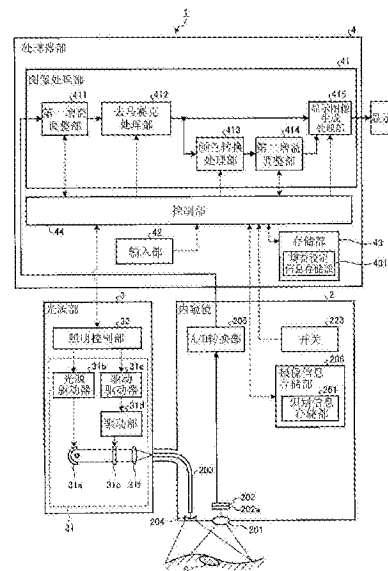
权利要求书1页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

内窥镜装置

(57)摘要

本发明的内窥镜装置(1)具有:光源部(3),其射出白色光或窄带光作为照明光;多个像素排列而成的摄像元件(202);彩色滤镜(202a),由透射绿色的波段的光的滤镜数量和透射蓝色的波段的光的滤镜数量满足规定的条件的多个滤镜构成滤镜单元;第一增益调整部(411),其对摄像元件(202)所生成的电信号的增益进行调整;去马赛克处理部(412),其根据由第一增益调整部(411)进行了增益调整后的电信号,生成滤镜所透射的颜色成分的图像信号;颜色转换处理部(413),其在光源部(3)射出白色照明光的情况下,对图像信号进行颜色转换处理;以及第二增益调整部(414),其分别对颜色转换处理后的图像信号的增益进行调整。



1. 一种内窥镜装置,其特征在于,该内窥镜装置具有:

光源部,其射出包含红色、绿色以及蓝色的波段的光的白色照明光或者由分别包含于所述蓝色和所述绿色的波段中的窄带光构成的窄带照明光;

摄像元件,其对由配置成格子状的多个像素分别接受到的光进行光电转换而生成电信号;

彩色滤镜,其使滤镜单元与所述多个像素对应地配置,其中,所述滤镜单元由多个滤镜构成,该多个滤镜具有仅透射所述蓝色的波段的光的滤镜、透射所述蓝色的波段与所述绿色的波段的光的滤镜、以及至少透射所述红色的波段的光的滤镜,或者该多个滤镜具有仅透射所述蓝色的波段的光的滤镜、透射所述蓝色的波段与所述红色的波段的光的滤镜、以及至少透射所述绿色的波段的光的滤镜,所述滤镜单元中的透射所述绿色的波段的光的滤镜数量为该滤镜单元的全部滤镜数量的半数以上,并且透射所述蓝色的波段的光的滤镜数量为透射所述绿色的波段的光的滤镜数量以上;

第一增益调整部,其对所述摄像元件根据由所述像素经由所述彩色滤镜接受到的光而生成的电信号的增益进行调整;

去马赛克处理部,其根据由所述第一增益调整部进行了增益调整后的电信号分别生成所述滤镜单元所透射的颜色成分的图像信号;

颜色转换处理部,其在所述光源部射出所述白色照明光的情况下,从所述去马赛克处理部所生成的图像信号中的除了蓝色成分还具有绿色成分和红色成分中的至少任意一方的颜色成分的图像信号中分离颜色成分,而转换为绿色成分或红色成分的图像信号,分别生成所述蓝色成分、绿色成分以及红色成分的图像信号;以及

第二增益调整部,其对由所述颜色转换处理部生成的所述蓝色成分、绿色成分以及红色成分的图像信号中的至少一部分的图像信号的增益进行调整。

2. 根据权利要求1所述的内窥镜装置,其特征在于,

所述滤镜单元包含透射所述蓝色的波段的光和所述绿色或所述红色的波段的光的滤镜。

3. 根据权利要求1或2所述的内窥镜装置,其特征在于,

所述滤镜单元包含透射所述红色、绿色以及蓝色的波段的光的滤镜。

4. 根据权利要求1或2所述的内窥镜装置,其特征在于,

所述第一增益调整部和所述第二增益调整部以最大的增益的颜色成分的信号为基准,对作为该基准的颜色成分以外的颜色成分的信号增益进行调整。

5. 根据权利要求3所述的内窥镜装置,其特征在于,

所述第一增益调整部和所述第二增益调整部以最大的增益的颜色成分的信号为基准,对作为该基准的颜色成分以外的颜色成分的信号增益进行调整。

6. 根据权利要求1或2所述的内窥镜装置,其特征在于,

所述第一增益调整部和所述第二增益调整部以最小的增益的颜色成分的信号为基准,对作为该基准的颜色成分以外的颜色成分的信号增益进行调整。

7. 根据权利要求3所述的内窥镜装置,其特征在于,

所述第一增益调整部和所述第二增益调整部以最小的增益的颜色成分的信号为基准,对作为该基准的颜色成分以外的颜色成分的信号增益进行调整。

内窥镜装置

技术领域

[0001] 本发明涉及导入活体内来取得该活体内的图像的内窥镜装置。

背景技术

[0002] 以往,在医疗领域和工业领域中,为了各种检查而广泛地使用内窥镜装置。其中,医疗用的内窥镜装置将在前端设置有具有多个像素的摄像元件的形成为细长形状的挠性的插入部插入到患者等被检体的体腔内,从而即使不切开被检体也能够取得体腔内的体内图像,因此带给被检体的负担较少,广泛普及。

[0003] 作为这样的内窥镜装置的观察方式,在该技术领域已经广泛公知有如下的方式:使用白色的照明光(白色照明光)的白色光观察(WLI:White Light Imaging)方式和使用由分别包含于蓝色和绿色波段的两个窄带光构成的照明光(窄带照明光)的窄带光观察(NBI:Narrow Band Imaging)方式。其中,窄带光观察方式能够得到对存在于活体的粘膜表层的毛细血管和粘膜细微图案等进行强调显示的图像。根据窄带光观察方式,能够更可靠地找到活体的粘膜表层的病变部。关于这样的内窥镜装置的观察方式,优选切换白色照明光观察方式和窄带光观察方式来进行观察。

[0004] 为了通过单板摄像元件取得拍摄图像以利用上述的观察方式生成并显示彩色图像,在该摄像元件的受光面上设置有通常被称作拜耳排列的彩色滤镜,该彩色滤镜是将分别透射红色(R)、绿色(G)、绿色(G)以及蓝色(B)波段的光的滤镜作为一个滤镜单位(单元)而按照每个像素排列而成。在该情况下,各像素接受透过了滤镜的波段的光,摄像元件生成与该波段的光对应的颜色成分的电信号。因此,在生成彩色图像的处理中进行插值处理,该插值处理对在各像素中未透过滤镜而缺失的颜色成分的信号值进行插值。这样的插值处理被称作去马赛克处理(例如,参照专利文献1)。

[0005] 但是,由设置有彩色滤镜的摄像元件生成的电信号有时因滤镜的透射特性的差异等而导致颜色成分间的增益不同。因此,在根据红色、绿色以及蓝色的各颜色成分的电信号来生成彩色图像信号时,在颜色成分间对各颜色成分的电信号的增益进行调整。使用增益调整后的电信号来实施去马赛克处理等而生成彩色图像信号,由此能够取得表现被摄体的颜色的彩色图像。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:日本特开平8-237672号公报

发明内容

[0009] 发明要解决的课题

[0010] 然而,由于在窄带光观察方式中不使用红色波段的光,因此在设置有拜耳排列的彩色滤镜的摄像元件中,配置有透射红色波段的光的滤镜的像素不会生成用于图像生成的电信号。由此,会成为接受红色波段的光的像素位置的电信号缺失的图像。因此,在生成彩

色图像信号时,通过插值处理对缺失的像素位置的信号值进行插值。这样,在窄带光观察方式中,使用插值后的值进行增益调整,有时无法取得高分辨率的图像。

[0011] 本发明是鉴于上述情况而完成的,其目的在于,提供在白色照明光观察方式和窄带光观察方式中的任意观察方式中都能够取得高分辨率的图像的内窥镜装置。

[0012] 用于解决课题的手段

[0013] 为了解决上述的课题并达成目的,本发明的内窥镜装置的特征在于,具有:光源部,其射出包含红色、绿色以及蓝色的波段的光的白色照明光或者由分别包含于所述蓝色和所述绿色的波段中的窄带光构成的窄带照明光;摄像元件,其对由配置成格子状的多个像素分别接受到的光进行光电转换而生成电信号;彩色滤镜,其使滤镜单元与所述多个像素对应地配置,其中,所述滤镜单元由多个滤镜构成,该多个滤镜至少具有透射所述蓝色的波段的光的滤镜、以及透射所述绿色与所述红色中至少一方的波段和所述蓝色的波段的光的滤镜,所述滤镜单元中的透射所述绿色的波段的光的滤镜数量为该滤镜单元的全部滤镜数量的半数以上,并且透射所述蓝色的波段的光的滤镜数量为透射所述绿色的波段的光的滤镜数量以上;第一增益调整部,其对所述摄像元件根据由所述像素经由所述彩色滤镜接受到的光而生成的电信号的增益进行调整;去马赛克处理部,其根据由所述第一增益调整部进行了增益调整后的电信号分别生成所述滤镜所透射的颜色成分的图像信号;颜色转换处理部,其在所述光源部射出所述白色照明光的情况下,从所述去马赛克处理部所生成的图像信号中的除了蓝色成分还具有绿色成分和红色成分中的至少任意一方的颜色成分的图像信号中分离颜色成分,而转换为绿色成分或红色成分的图像信号,分别生成所述蓝色成分、绿色成分以及红色成分的图像信号;以及第二增益调整部,其对由所述颜色转换处理部生成的所述蓝色成分、绿色成分以及红色成分的图像信号中的至少一部分的图像信号的增益进行调整。

[0014] 发明效果

[0015] 根据本发明实现如下效果:在白色照明光观察方式和窄带光观察方式中的任意观察方式中都能够取得高分辨率的图像。

附图说明

[0016] 图1是示出本发明的实施方式的内窥镜装置的概略结构的图。

[0017] 图2是示出本发明的实施方式的内窥镜装置的概略结构的示意图。

[0018] 图3是示出本发明的实施方式的像素的结构示意图。

[0019] 图4是示出本发明的实施方式的彩色滤镜的结构的一例的示意图。

[0020] 图5是示出本发明的实施方式的彩色滤镜的各滤镜的特性的一例的图。

[0021] 图6是示出本发明的实施方式的内窥镜装置的处理部所进行的信号处理的流程图。

[0022] 图7是示出本发明的实施方式的变形例1的彩色滤镜的结构示意图。

[0023] 图8是示出本发明的实施方式的变形例1的彩色滤镜的各滤镜的特性的一例的图。

[0024] 图9是示出本发明的实施方式的变形例2的彩色滤镜的结构示意图。

[0025] 图10是示出本发明的实施方式的变形例3的彩色滤镜的结构示意图。

[0026] 图11是示出本发明的实施方式的变形例4的彩色滤镜的结构示意图。

[0027] 图12是示出本发明的实施方式的变形例5的彩色滤镜的结构示意图。

具体实施方式

[0028] 以下,对用于实施本发明的方式(以下,称作“实施方式”)进行说明。在实施方式中,对拍摄并显示患者等被检体的体腔内的图像的医疗用的内窥镜装置进行说明。并且,本发明不限于本实施方式。而且,在附图的描述中,对相同部分标注相同标号进行说明。

[0029] 图1是示出本发明的实施方式的内窥镜装置的概略结构的图。图2是示出本实施方式的内窥镜装置的概略结构的示意图。图1和图2所示的内窥镜装置1具有:内窥镜2,其通过将插入部21插入被检体的体腔内来拍摄观察部位的体内图像而生成电信号;光源部3,其产生从内窥镜2的前端射出的照明光;处理器部4,其对内窥镜2所取得的电信号实施规定的图像处理,并且对内窥镜装置1整体的动作进行统一控制;以及显示部5,其显示由处理器部4实施了图像处理后的体内图像。内窥镜装置1将插入部21插入患者等被检体的体腔内来取得体腔内的体内图像。医生等用户通过进行所取得的体内图像的观察而检查有无作为检测对象部位的出血部位或肿瘤部位(病变部S)。

[0030] 内窥镜2具有:具有挠性的形成为细长形状的插入部21;操作部22,其与插入部21的基端侧连接,接受各种操作信号的输入;以及通用线缆23,其从操作部22向与插入部21延伸的方向不同的方向延伸,内置有与光源部3和处理器部4连接的各种线缆。

[0031] 插入部21具有:前端部24,其内置有摄像元件202,在该摄像元件202中,接受光的像素(光电二极管)排列成格子(矩阵)状,通过对该像素接受到的光进行光电转换而生成图像信号;弯曲自如的弯曲部25,其由多个弯曲块构成;以及具有挠性的长条状的挠性管部26,其与弯曲部25的基端侧连接。

[0032] 操作部22具有:弯曲旋钮221,其使弯曲部25在上下方向和左右方向上弯曲;处置器具插入部222,其供活体钳子、电手术刀以及检查探针等处置器具插入被检体的体腔内;以及多个开关223,其输入用于使光源部3进行照明光的切换动作的指示信号、处置器具或与处理器部4连接的外部设备的操作指示信号、用于进行送水的送水指示信号以及用于进行抽吸的抽吸指示信号等。从处置器具插入部222插入的处置器具经由设置于前端部24的前端的处置器具通道(未图示)而从开口部(未图示)露出。

[0033] 通用线缆23至少内置有光导203和汇集了一条或多条信号线的集合线缆。集合线缆是在处理器部4与内窥镜2和光源部3之间发送接收信号的信号线,包含用于发送接收设定数据的信号线、用于发送接收图像信号的信号线以及用于发送接收用于驱动摄像元件202的驱动用的时机信号的信号线等。

[0034] 并且,内窥镜2具有摄像光学系统201、摄像元件202、光导203、照明用透镜204、A/D转换部205以及摄像信息存储部206。

[0035] 摄像光学系统201设置于前端部24,对至少来自观察部位的光进行聚光。摄像光学系统201使用一个或多个透镜而构成。另外,也可以在摄像光学系统201中设置有改变视场角的光学变焦机构和改变焦点的对焦机构。

[0036] 摄像元件202被设置为与摄像光学系统201的光轴垂直,对由摄像光学系统201所成的光的像进行光电转换而生成电信号(图像信号)。摄像元件202使用CCD(Charge Coupled Device:电荷耦合元件)图像传感器或CMOS(Complementary Metal Oxide

Semiconductor:互补金属氧化物半导体)图像传感器等而实现。

[0037] 图3是示出本实施方式的摄像元件的像素的结构示意图。在摄像元件202中,接受来自摄像光学系统201的光的多个像素被排列成格子(矩阵)状。而且,摄像元件202通过对每个像素所接受到的光进行光电转换而生成电信号(也称作图像信号)。该电信号包含各像素的像素值(亮度值)和像素的位置信息等。在图3中,将配置在第 i 行 j 列的像素记作像素 P_{ij} 。

[0038] 摄像元件202具有设置于摄像光学系统201与该摄像元件202之间的具有多个滤镜的彩色滤镜202a,该多个滤镜分别透射单独设定的波段的光。彩色滤镜202a设置于摄像元件202的受光面上。

[0039] 图4是示出本实施方式的彩色滤镜的结构的一例的示意图。彩色滤镜202a在本实施方式中例如是使滤镜单元U1与像素 P_{ij} 的配置对应地以二维(矩阵状)排列的方式配置而成的,该滤镜单元U1由排列成 2×2 的矩阵状的四个滤镜构成。设置有滤镜的像素 P_{ij} 接受滤镜所透射的波段的光。例如,设置有透射蓝色波段的光的滤镜的像素 P_{ij} 接受蓝色波段的光。以下,将接受蓝色波段的光的像素 P_{ij} 称作B像素。同样将接受绿色波段的光的像素称作G像素,将接受红色波段的光的像素称作R像素。

[0040] 这里的滤镜单元U1透射蓝色(B)的波段 H_B 、绿色(G)的波段 H_G 以及红色(R)的波段 H_R 的光。此外,滤镜单元U1以如下方式选择并配置多个滤镜:使透射波段 H_G 的光的滤镜的数量为构成滤镜单元U1的全部滤镜的数量的半数以上,并且使透射波段 H_B 的光的滤镜的数量为透射波段 H_G 的光的滤镜的数量以上。关于蓝色、绿色以及红色波段 H_B 、 H_G 以及 H_R ,例如波段 H_B 是 $390\text{nm} \sim 500\text{nm}$ 、波段 H_G 是 $500\text{nm} \sim 600\text{nm}$ 、波段 H_R 是 $600\text{nm} \sim 700\text{nm}$ 。

[0041] 如该图4所示,本实施方式的滤镜单元U1由一个透射波段 H_B 的光的B滤镜、两个分别透射波段 H_G 的光的G滤镜、以及一个透射波段 H_B 和波段 H_R 的光的 M_g 滤镜构成。以下,当在与像素 P_{ij} 对应的位置上设置有B滤镜的情况下,将该B滤镜记作 B_{ij} 。同样当在与像素 P_{ij} 对应的位置上设置有G滤镜的情况下,将该G滤镜记作 G_{ij} ,在设置有 M_g 滤镜的情况下,将该 M_g 滤镜记作 M_{gij} 。另外,如果混合波段 H_B 的光(蓝色光)和波段 H_R 的光(红色光),则变成品红色(M_g)的光。

[0042] 在滤镜单元U1中,透射波段 H_G 的光的滤镜(G滤镜)的数量是两个,透射波段 H_B 的光的滤镜(B滤镜和 M_g 滤镜)的数量是两个。

[0043] 图5是示出本实施方式的彩色滤镜的各滤镜的特性的一例的图,是示出光的波长与各滤镜的透射率的关系的图。在图5中,以各滤镜的透射率的最大值相等的方式将透射率曲线标准化。图5所示的曲线 L_b (实线)表示B滤镜的透射率曲线,曲线 L_g (虚线)表示G滤镜的透射率曲线,曲线 L_m (点划线)表示 M_g 滤镜的透射率曲线。

[0044] B滤镜透射波段 H_B 的光。 M_g 滤镜透射作为绿色的补色的品红色波段的光。换言之, M_g 滤镜吸收波段 H_G 的光,透射波段 H_B 的光,并且透射波段 H_R 的光。G滤镜透射波段 H_G 的光。另外,在本说明书中,补色是指由包含波段 H_B 、 H_G 、 H_R 中的至少两个波段的光构成的颜色。

[0045] 返回图1和图2的说明,光导203使用玻璃纤维等构成,形成光源部3所射出的光的导光路。

[0046] 照明用透镜204设置于光导203的前端,使由光导203导出的光扩散而向前端部24的外部射出。

[0047] A/D转换部205对摄像元件202所生成的电信号进行A/D转换,向处理器部4输出该转换后的电信号。

[0048] 摄像信息存储部206对包含用于使内窥镜2进行动作的各种程序、内窥镜2的动作所需的各种参数、以及该内窥镜2的识别信息等的数据进行存储。并且,摄像信息存储部206具有对识别信息进行存储的识别信息存储部261。识别信息包含内窥镜2的固有信息(ID)、年代型号、规格信息、传输方式以及彩色滤镜202a所涉及的滤镜的排列信息等。摄像信息存储部206使用闪存等而实现。

[0049] 接下来,对光源部3的结构进行说明。光源部3具有照明部31和照明控制部32。

[0050] 照明部31根据照明控制部32的控制而切换射出波段彼此不同的多个照明光。照明部31具有光源31a、光源驱动器31b、切换滤镜31c、驱动部31d、驱动驱动器31e以及聚光透镜31f。

[0051] 光源31a根据照明控制部32的控制而射出白色照明光,该白色照明光包含红色、绿色以及蓝色的波段 H_B 、 H_G 以及 H_R 的光。光源31a所产生的白色照明光经由切换滤镜31c、聚光透镜31f以及光导203而从前端部24向外部射出。光源31a使用白色LED或氙气灯等产生白色光的光源而实现。

[0052] 光源驱动器31b根据照明控制部32的控制,通过向光源31a供给电流而使光源31a射出白色照明光。

[0053] 切换滤镜31c仅透射光源31a所射出的白色照明光中的蓝色的窄带光和绿色的窄带光。切换滤镜31c被配置为根据照明控制部32的控制而在光源31a射出的白色照明光的光路上插拔自如。通过将切换滤镜31c配置在白色照明光的光路上,而仅透射两个窄带光。具体而言,切换滤镜31c透射由包含于波段 H_B 的窄带 T_B (例如,390nm~445nm)的光和包含于波段 H_G 的窄带 T_G (例如,530nm~550nm)的光构成的窄带照明光。该窄带 T_B 、 T_G 是容易被血液中的血红蛋白吸收的蓝色光和绿色光的波段。另外,窄带 T_B 优选至少包含405nm~425nm的波段。将限制于该频带而射出的光称作窄带照明光,将基于该窄带照明光的图像的观察称作窄带光观察(NBI)方式。另外,在实施例中采用了借助切换滤镜进行白色照明光和窄带光的切换的结构,但是本发明不限于此。例如,也可以采用对照射白色照明光的光源和照射窄带光的激光光源进行切换的结构。或者,也可以采用对照射不同的波段的光的多个激光光源同时照射的近似白色光和照射其中一部分的波段的光的窄带光进行切换的结构。而且,本发明可以应用于NBI方式(作为窄带使用上述 T_B 、 T_G)以外的方式,还可以应用于例如对白色光和具有 T_B 、 T_G 以外的波段的窄带的特殊光进行切换的结构。

[0054] 驱动部31d使用步进电动机或DC电动机等构成,使切换滤镜31c相对于光源31a的光路进行插拔动作。

[0055] 驱动驱动器31e根据照明控制部32的控制向驱动部31d供给规定的电流。

[0056] 聚光透镜31f对光源31a所射出的白色照明光或透过切换滤镜31c的窄带照明光进行聚光,并向光源部3的外部(光导203)射出。

[0057] 照明控制部32通过控制光源驱动器31b使光源31a进行接通/切断动作,并且控制驱动驱动器31e使切换滤镜31c相对于光源31a的光路进行插拔动作,而控制由照明部31射出的照明光的种类(频带)。

[0058] 具体而言,照明控制部32通过使切换滤镜31c相对于光源31a的光路进行插拔动

作,而进行将从照明部31射出的照明光切换到白色照明光和窄带照明光中的任意光的控制。换言之,照明控制部32进行切换到白色照明光观察(WLI)方式和窄带光观察(NBI)方式中的任意观察方式的控制,该白色照明光观察(WLI)方式使用包含波段H_B、H_G以及H_R的光的白色照明光,该窄带光观察(NBI)方式使用由窄带T_B、T_G的光构成的窄带照明光。

[0059] 接下来,对处理器部4的结构进行说明。处理器部4具有图像处理部41、输入部42、存储部43以及控制部44。

[0060] 图像处理部41根据从内窥镜2(A/D转换部205)输入的电信号执行规定的图像处理,生成由显示部5显示的图像信息(显示图像信号)。图像处理部41具有第一增益调整部411、去马赛克处理部412、颜色转换处理部413、第二增益调整部414以及显示图像生成处理部415。

[0061] 第一增益调整部411针对从内窥镜2输出的A/D转换后的电信号,调整蓝色成分的电信号(B信号)、绿色成分的电信号(G信号)以及品红色成分的电信号(Mg信号)的增益。具体而言,第一增益调整部411根据像素P_{ij}经由彩色滤镜202a而接受到的光,对摄像元件202所生成的B信号、G信号以及Mg信号进行检波,并将检波信号输出给控制部44。第一增益调整部411在从控制部44接收到与检波结果对应的控制信号时,根据该控制信号将B信号、G信号以及Mg信号中的任意信号作为基准,进行基准以外的信号的增益调整。

[0062] 去马赛克处理部412根据多个像素的颜色信息(像素值)的相关性来判别插值方向,根据在判别出的插值方向上排列的像素的颜色信息进行插值,从而生成彩色图像信号。

[0063] 去马赛克处理部412例如使用作为亮度成分像素而设定的像素的像素值来判别插值对象像素(亮度成分像素以外的像素)的插值方向,根据该判别出的插值方向对亮度成分像素以外的像素的亮度成分进行插值,生成构成各像素具有亮度成分的像素值或被插值后的像素值(以下,称作插值值)的一张图像的图像信号。去马赛克处理部412在观察方式为白色照明光观察(WLI)方式的情况下,选择绿色成分作为亮度成分,在观察方式为窄带光观察(NBI)方式的情况下,选择蓝色成分作为亮度成分。去马赛克处理部412在例如观察方式为白色照明光观察(WLI)方式且选择G像素作为亮度成分像素的情况下,使用G像素的像素值对接受蓝色波段的光的B像素和接受品红色波段的光的Mg像素中的绿色成分进行插值。

[0064] 然后,去马赛克处理部412根据亮度成分的像素值和插值值、以及亮度成分像素以外的像素的像素值来生成亮度成分以外的颜色成分的图像信号。去马赛克处理部412在例如亮度成分像素为G像素的情况下,使用G像素的像素值和插值值、以及B像素和Mg像素的像素值,按照每种颜色成分生成构成被赋予了蓝色成分和品红色成分的像素值或插值值的图像的图像信号。

[0065] 去马赛克处理部412使用绿色成分、蓝色成分以及品红色成分的各图像信号生成构成彩色图像的彩色图像信号。

[0066] 颜色转换处理部413在彩色滤镜202a所透射的光存在补色的情况下,进行该补色的颜色分离处理。具体而言,由于在本实施方式中存在品红色,因此在白色照明光观察方式的情况下,减去该品红色成分中的蓝色成分,分离出红色成分的电信号(R信号)。

[0067] 第二增益调整部414对从颜色转换处理部413输出的R信号、G信号以及B信号进行增益调整。具体而言,第二增益调整部414对从颜色转换处理部413输出的B信号、G信号以及R信号进行检波,将检波信号输出给控制部44。第二增益调整部414在从控制部44接收到与

检波结果对应的控制信号时,根据该控制信号将B信号、G信号以及R信号中的任意的信号作为基准,进行基准以外的信号的增益调整。

[0068] 显示图像生成处理部415对由去马赛克处理部412或第二增益调整部414生成的电信号实施灰度转换、放大处理或者粘膜表层的毛细血管或粘膜细微图案等构造的构造强调处理等。显示图像生成处理部415在实施了规定的处理后,作为显示用的显示图像信号输出给显示部5。

[0069] 图像处理部41除了上述的去马赛克处理之外,还进行OB钳位处理等。在OB钳位处理中,对从前端部24(A/D转换部205)输入的电信号实施校正黑电平的偏移量的处理。

[0070] 输入部42是用于进行用户对处理器部4的输入等的接口,构成为包含用于进行电源的接通/切断的电源开关、用于切换摄影模式或其他各种模式的模式切换按钮、用于切换光源部3的照明光的照明光切换按钮等。

[0071] 存储部43对包含用于使内窥镜装置1进行动作的各种程序和内窥镜装置1的动作所需的各种参数等的数据进行记录。并且,存储部43具有增益设定信息存储部431,该增益设定信息存储部431对第一增益调整部411和第二增益调整部414所进行的增益调整处理的增益设定信息(例如,基准像素的设定信息、增益调整的增益系数或增益系数的计算程序)进行存储。存储部43也可以对内窥镜2的信息(例如内窥镜2的固有信息(ID))与彩色滤镜202a的滤镜配置的信息之间的关系表等进行存储。存储部43使用闪存或DRAM(Dynamic Random Access Memory:动态随机存取存储器)等半导体存储器而实现。

[0072] 控制部44使用CPU等构成,进行包含内窥镜2和光源部3的各结构部的驱动控制以及针对各结构部的信息的输入输出控制等。控制部44经由规定的信号线向内窥镜2发送记录在存储部43中的用于摄像控制的设定数据(例如,读出对象像素等)和摄像时机的时机信号等。控制部44将经由摄像信息存储部206取得的彩色滤镜信息(识别信息)输出给图像处理部41,并且根据彩色滤镜信息将切换滤镜31c的配置的信息输出给光源部3。并且,当控制部44接收到来自第一增益调整部411和第二增益调整部414的检波信号时,参照增益设定信息和识别信息而生成增益调整的设定信息(基准像素的设定、彩色滤镜202a中的基准像素的位置信息、增益系数),并将与该设定信息对应的控制信号输出给第一增益调整部411和第二增益调整部414。

[0073] 接下来,对显示部5进行说明。显示部5经由映像线缆接收由处理器部4生成的显示图像信号而显示与该显示图像信号对应的体内图像。显示部5使用液晶或有机EL(Electro Luminescence:电致发光)而构成。

[0074] 图6是示出本实施方式的内窥镜装置的处理部所进行的信号处理的流程图。处理器部4在从内窥镜2取得电信号时,将该电信号输出给去马赛克处理部412(步骤S101)。来自内窥镜2的电信号是包含由摄像元件202生成且由A/D转换部205转换为数字信号的Raw图像数据的信号。

[0075] 当电信号输入到图像处理部41时,图像处理部41根据来自控制部44的控制信号(例如,照明光的信息、或表示观察方式的信息),判断所输入的电信号是由白色照明光观察(WLI)方式和窄带观察(NBI)方式中的哪种观察方式生成的(步骤S102)。

[0076] 在观察方式是白色照明光观察方式的情况下(步骤S102;WLI),第一增益调整部411对B信号、G信号以及Mg信号的增益进行调整(第一增益调整处理),并将调整后的各信号

输出给去马赛克处理部412(步骤S103)。

[0077] 具体而言,第一增益调整部411从所输入的电信号对B信号、G信号以及Mg信号进行检波,并将该检波得到的结果作为检波信号输出给控制部44。当控制部44被输入检波信号时,根据在步骤S102中判断出的观察方式的信息,参照增益设定信息来决定与滤镜排列对应的增益的设定(例如作为基准的像素的设定或增益系数),并将该判断结果和设定作为控制信号输出。

[0078] 第一增益调整部411在从控制部44接收到控制信号时,根据该控制信号对B信号、G信号以及Mg信号进行增益调整。第一增益调整部411例如在以G信号为基准的情况下,使增益系数(基于增益设定信息)与B信号和Mg信号相乘。

[0079] 上述这样的增益的调整通常被称作白平衡调整。这里,内窥镜装置1的上述的增益系数(用于白平衡调整的系数=白平衡系数)是通过预先拍摄白色的被摄体并计算使此时所取得的各颜色的像素信号的值相等的增益系数,而例如在本实施方式中作为增益设定信息被取得的。因此,上述的增益调整是指按照基准的颜色信号而乘以这样预先设定的增益系数。

[0080] 当由第一增益调整部411进行了增益调整后的电信号(B信号、G信号以及Mg信号)输入到去马赛克处理部412时,去马赛克处理部412根据该电信号进行去马赛克处理(步骤S104)。

[0081] 去马赛克处理部412例如使用作为亮度成分像素而设定的像素的像素值对插值对象像素(亮度成分像素以外的像素)的插值方向进行判别,根据该判别出的插值方向对亮度成分像素以外的像素的亮度成分进行插值,生成构成各像素具有亮度成分的像素值或插值值的一张图像的图像信号。然后,去马赛克处理部412根据亮度成分的像素值和插值值、以及亮度成分像素以外的像素的像素值,按照颜色成分生成构成具有亮度成分以外的颜色成分的像素值或插值值的一张图像的图像信号。在生成各颜色成分的图像信号后,去马赛克处理部412使用绿色成分、蓝色成分以及品红色成分的各图像信号来生成构成彩色图像的彩色图像信号。

[0082] 在通过去马赛克处理部412生成彩色图像信号后,颜色转换处理部413进行包含补色的颜色分离处理的颜色转换处理(步骤S105)。具体而言,颜色转换处理部413减去Mg信号的品红色成分中的蓝色成分,分离出红色成分(R信号)。即,提取出包含于补色中的颜色成分中的相当于三原色的成分。

[0083] 在通过颜色转换处理部413进行了补色的颜色分离处理后,第二增益调整部414针对颜色分离处理后的电信号调整B信号、G信号以及R信号的增益(第二增益调整处理),并将调整后的电信号输出给显示图像生成处理部415(步骤S106)。

[0084] 具体而言,第二增益调整部414首先从所输入的电信号对B信号、G信号以及R信号进行检波,并将检波结果输出给控制部44。当控制部44被输入检波结果时,根据在步骤S102中判断出的观察方式的信息,参照增益设定信息来决定增益的设定(例如作为基准的像素的设定和增益系数),并将该判断结果和设定作为控制信号输出。

[0085] 第二增益调整部414在从控制部44接收到与检波结果对应的控制信号时,根据该控制信号对B信号、G信号以及R信号进行增益调整。第二增益调整部414例如以G信号为基准,使增益系数与B信号和R信号相乘。该增益系数是与上述的第一增益调整处理相同的原

理。另外,在本实施方式中,由于在步骤S103中进行B信号的增益调整,因此在步骤S106中仅对R信号进行增益调整。并且,第二增益调整部414也可以将B信号和G信号的增益系数设为1而对B信号、G信号以及R信号进行增益调整。

[0086] 显示图像生成处理部415对由第二增益调整部414进行了增益调整后的电信号(B信号、G信号以及R信号)实施灰度转换、放大处理等而生成显示用的显示图像信号(步骤S107)。显示图像生成处理部415在实施了规定的处理后,作为显示图像信号输出给显示部5。

[0087] 另一方面,当在步骤S102中由图像处理部41判断为观察方式是窄带光观察方式的情况下(步骤S102;NBI),第一增益调整部411对于电信号调整B信号、G信号以及Mg信号的增益(第一增益调整处理),并将调整后的电信号输出给去马赛克处理部412(步骤S108)。

[0088] 这里,在窄带光观察方式的情况下,在窄带照明光中不包含波段H_r的光。因此,Mg滤镜仅透射窄带T_B的光,设置有Mg滤镜的Mg像素实质上作为B像素发挥功能。

[0089] 第一增益调整部411首先从所输入的电信号对B信号、G信号以及Mg信号(B信号)进行检波,将该检波得到的检波信号输出给控制部44。当控制部44被输入检波信号时,根据在步骤S102中判断出的观察方式的信息,参照增益设定信息来决定与滤镜排列对应的增益的设定(例如作为基准的像素的设定和增益系数),并将该判断结果和设定信息作为控制信号输出。

[0090] 第一增益调整部411在从控制部44接收到控制信号时,根据该控制信号对B信号和G信号进行增益调整。第一增益调整部411例如在进行作为增益设定信息而以G信号为基准的设定的情况下,使增益系数与B信号(和Mg信号)相乘。

[0091] 当由第一增益调整部411进行了增益调整后的电信号被输入去马赛克处理部412时,去马赛克处理部412根据该电信号进行去马赛克处理(步骤S109)。去马赛克处理部412通过与上述的步骤S104相同的处理分别对绿色成分和蓝色成分进行插值处理,按照颜色成分生成构成各像素具有像素值或插值值的一张图像的图像信号。去马赛克处理部412使用绿色成分、蓝色成分(包含从Mg像素取得的蓝色成分)的各图像信号来生成构成彩色图像的彩色图像信号。

[0092] 在通过步骤S109的处理而生成了彩色图像信号后,控制部44转移到步骤S107,使显示图像生成处理部415生成显示图像信号(步骤S107)。显示图像生成处理部415针对由去马赛克处理部412在步骤S109中生成的彩色图像信号实施灰度转换、放大处理等而生成显示用的显示图像信号。显示图像生成处理部415在实施了规定的处理后,作为显示图像信号而输出给显示部5。

[0093] 根据上述的本实施方式,内窥镜装置1具有:光源部3,其射出白色照明光或窄带照明光作为照明光;多个像素排列而成的摄像元件202;具有多个滤镜的彩色滤镜202a,该多个滤镜是由透射波段H_B、H_G的光的滤镜按照规定的条件排列而成的;第一增益调整部411,其对B信号、G信号以及Mg信号的增益进行调整;去马赛克处理部412,其根据电信号实施对亮度成分进行插值的插值处理而生成彩色图像;颜色转换处理部413,其在照明光是白色照明光的情况下,进行补色的颜色分离处理;以及第二增益调整部414,其对B信号、G信号以及R信号的增益进行调整,第一增益调整部411对包含补色(品红色)的各颜色的信号的增益进行调整,去马赛克处理部412使用由第一增益调整部411调整处理后的信号进行去马赛克处

理,并且在白色照明光观察方式的情况下,第二增益调整部414对由颜色转换处理部413实施了补色的颜色分离处理后的RGB的各信号进行增益调整。在本实施方式中,由于包含接受蓝色波段的光的Mg像素这样的补色像素,因此根据该补色像素所取得的颜色成分的信号,在将绿色成分作为亮度成分的白色光观察和将蓝色成分作为亮度成分的窄带观察的任意观察中都能够提高亮度成分的分辨率。即,在图4所示的由四个滤镜构成的滤镜单元U1中,能够在白色光观察时通过两个G像素得到两个像素量的G信号(白色光观察时的亮度成分的信号),同样能够在窄带观察时通过一个B像素和一个Mg像素得到两个像素量的B信号(窄带观察时的亮度成分的信号)。并且,在本实施方式中,由于在去马赛克前通过第一增益调整部411进行B信号、G信号以及Mg信号的增益调整(白平衡),使用各颜色信号间的颜色相关性进行插值,因此能够在保持分辨率的同时进行去马赛克处理。由此,在白色照明光观察方式和窄带光观察方式中的任意观察方式中都能够得到高分辨率的图像。

[0094] 并且,根据上述的本实施方式,第一增益调整部411对由摄像元件202生成的B信号、G信号以及Mg信号的增益进行调整,与此相对,第二增益调整部414对由颜色转换处理部413实施了补色的颜色分离处理后的B信号、G信号以及R信号的增益进行调整,因此能够独立地进行去马赛克用的白平衡和显示图像生成用的白平衡,能够进行适合各种处理的白平衡的调整。

[0095] 并且,根据上述的本实施方式,由于图像处理部41根据来自控制部44的识别信息(彩色滤镜202a的信息)取得作为增益调整的基准像素而设定的像素的位置信息,因此即使在将与处理器部4连接的内窥镜2(前端部24)更换为具有彩色滤镜202a的滤镜配置不同的前端部24的内窥镜2的情况下,也能够正确地指定所设定的基准像素的位置信息。

[0096] 另外,在上述的实施方式中,对第二增益调整部414以G信号的增益为基准进行增益调整使得B信号和R信号的增益相等的情况进行了说明,但也可以以Mg信号的增益为基准进行增益调整使得G信号和B信号的增益相等。在第二增益调整处理中,进行了使原色的信号的增益与比该原色的信号的增益小的补色的信号的增益一致的增益调整,由此能够抑制增益调整时的噪声的增大。

[0097] (变形例1)

[0098] 图7是示出本实施方式的变形例1的彩色滤镜的结构示意图。本变形例1的彩色滤镜是将由排列成 2×2 的矩阵状的四个滤镜构成的滤镜单元U2以二维排列的方式排列而成的。滤镜单元U2由一个透射波段 H_B 的光的B滤镜、两个透射波段 H_B 、 H_C 的光的 C_y 滤镜以及一个透射波段 H_R 的光的R滤镜构成。

[0099] C_y 滤镜透射作为红色的补色的蓝色的波段的光。换言之, C_y 滤镜吸收波段 H_R 的光,透射波段 H_B 的光,并且透射波段 H_C 的光。

[0100] 在滤镜单元U2中,透射波段 H_C 的光的滤镜(C_y 滤镜)的数量是两个,透射波段 H_B 的光的滤镜(B滤镜和 C_y 滤镜)的数量是三个。

[0101] 图8是示出本实施方式的变形例1的彩色滤镜的各滤镜的特性的一例的图,是示出光的波长与各滤镜的透射率(感光度)之间的关系图。在图8中,以各滤镜的透射率的最大值相等的方式将透射率曲线标准化。图8所示的曲线 L_b (实线)表示B滤镜的透射率曲线,曲线 L_c (虚线)表示 C_y 滤镜的透射率曲线,曲线 L_r (点划线)表示R滤镜的透射率曲线。

[0102] 在窄带光观察方式的情况下,从 C_y 像素输出包含与窄带 T_B 的光和窄带 T_C 的光对应

的B信号和G信号的电信号(像素值)。C_y像素的像素值中的G成分的信号值能够使用例如相邻的B像素的像素值、该C_y像素的B成分的信号值、G成分的信号值、C_y成分的像素值以及B滤镜对波段H_B的光的透射率(感光度)B1与C_y滤镜对波段H_B的光的透射率(感光度)B2之比(感光度比) α ($\alpha=B2/B1$)进行计算。例如,如果将从作为B像素的像素P₁₁取得的像素值设为b₁₁、从作为C_y像素的像素P₁₂取得的C_y成分的像素值设为bg₁₂、像素值bg₁₂中的B成分的信号值设为b₁₂并且像素值bg₁₂中的G成分的信号值设为g₁₂,则信号值g₁₂能够通过计算 $g_{12}=bg_{12}-\alpha b_{11}$ 而得到。另外,透射率(感光度)B1、B2通过校准而预先取得并存储于存储部43等。

[0103] (变形例2)

[0104] 图9是示出本实施方式的变形例2的彩色滤镜的结构示意图。本变形例2的彩色滤镜是将由排列成2×2的矩阵状的四个滤镜构成的滤镜单元U3以二维排列的方式排列而成的。滤镜单元U3由一个透射波段H_B的光的B滤镜、两个透射波段H_B、H_G的光的C_y滤镜以及一个透射波段H_B、H_R的光的Mg滤镜构成。

[0105] 在滤镜单元U3中,透射波段H_G的光的滤镜(C_y滤镜)的数量是两个,透射波段H_B的光的滤镜(B滤镜、C_y滤镜以及Mg滤镜)的数量是四个。

[0106] (变形例3)

[0107] 图10是示出本实施方式的变形例3的彩色滤镜的结构示意图。本变形例3的彩色滤镜是将由排列成2×2的矩阵状的四个滤镜构成的滤镜单元U4以二维排列的方式排列而成的。滤镜单元U4由一个透射波段H_B的光的B滤镜、两个透射波段H_B、H_G的光的C_y滤镜以及一个透射波段H_B、H_G、H_R的光的W滤镜构成。

[0108] W滤镜透射白色波段的光。换言之,W滤镜对于波段H_B、H_G、H_R的光(白色光)具有感光度。另外,也可以不设置W滤镜而设为空(透明)的滤镜区域。

[0109] 在滤镜单元U4中,透射波段H_G的光的滤镜(C_y滤镜和W滤镜)的数量是三个,透射波段H_B的光的滤镜(B滤镜、C_y滤镜以及W滤镜)的数量是四个。

[0110] (变形例4)

[0111] 图11是示出本实施方式的变形例4的彩色滤镜的结构示意图。本变形例4的彩色滤镜是将由排列成4×4的矩阵状的十六个滤镜构成的滤镜单元U5以二维排列的方式排列而成的。滤镜单元U5分别具有多个上述的B滤镜、G滤镜以及Mg滤镜,并且各G滤镜呈对角配置。

[0112] 在滤镜单元U5中,透射波段H_G的光的滤镜(G滤镜)的数量是八个,透射波段H_B的光的滤镜(B滤镜和Mg滤镜)的数量是八个。

[0113] (变形例5)

[0114] 图12是示出本实施方式的变形例5的彩色滤镜的结构示意图。本变形例5的彩色滤镜是将由排列成4×4的矩阵状的十六个滤镜构成的滤镜单元U6以二维排列的方式排列而成的。滤镜单元U6分别具有多个上述的B滤镜、Mg滤镜以及W滤镜,并且各W滤镜呈对角配置。

[0115] 在滤镜单元U6中,透射波段H_G的光的滤镜(W滤镜)的数量是八个,透射波段H_B的光的滤镜(B滤镜、Mg滤镜以及W滤镜)的数量是十六个。

[0116] 另外,关于上述的实施方式的彩色滤镜202a,只要在滤镜单元中,使透射波段H_G的光的滤镜的数量为构成滤镜单元的滤镜的数量的半数以上,并且使透射波段H_B的光的滤镜

的数量为透射波段H_g的光的滤镜的数量以上即可,除了上述的排列之外,只要是满足上述的条件排列就可以使用。

[0117] 并且,在上述的实施方式中,对具有多个分别透射规定的波段的光的滤镜的彩色滤镜202a设置于摄像元件202的受光面的情况进行了说明,但各滤镜也可以单独地设置于摄像元件202的各像素中。

[0118] 另外,关于上述的实施方式的内窥镜装置1,对如下情况进行了说明:对于从一个光源31a射出的白色光,通过切换滤镜31c的插拔而将从照明部31射出的照明光切换为白色照明光和窄带照明光,但也可以切换分别射出白色照明光和窄带照明光的两个光源来射出白色照明光和窄带照明光中的任意照明光。在切换两个光源而射出白色照明光和窄带照明光中的任意照明光的情况下,例如也可以适用于具有光源部、彩色滤镜以及摄像元件的、被导入被检体内的胶囊型的内窥镜。

[0119] 并且,关于上述的实施方式的内窥镜装置1,对A/D转换部205设置于前端部24的情况进行了说明,但也可以设置于处理器部4。并且,也可以将图像处理的结构设置于内窥镜2、连接内窥镜2与处理器部4的连接器、操作部22等。并且,在上述的内窥镜装置1中,对使用存储于识别信息存储部261的识别信息等来识别与处理器部4连接的内窥镜2的情况进行了说明,但也可以在处理器部4与内窥镜2的连接部分(连接器)设置识别单元。例如,在内窥镜2侧设置识别用的销(识别单元)来识别与处理器部4连接的内窥镜2。

[0120] 产业上的可利用性

[0121] 如上所述,本发明的内窥镜装置在如下的方面有用:在白色照明光观察方式和窄带光观察方式中的任意一种观察方式中都得到高分辨率的图像。

[0122] 标号说明

[0123] 1:内窥镜装置;2:内窥镜;3:光源部;4:处理器部;5:显示部;21:插入部;22:操作部;23:通用线缆;24:前端部;31:照明部;31a:光源;31b:光源驱动器;31c:切换滤镜;31d:驱动部;31e:驱动驱动器;31f:聚光透镜;32:照明控制部;41:图像处理部;42:输入部;43:存储部;44:控制部;201:摄像光学系统;202:摄像元件;202a:彩色滤镜;203:光导;204:照明用透镜;205:A/D转换部;206:摄像信息存储部;261:识别信息存储部;411:第一增益调整部;412:去马赛克处理部;413:颜色转换处理部;414:第二增益调整部;415:显示图像生成处理部;431:增益设定信息存储部;U1~U6:滤镜单元。

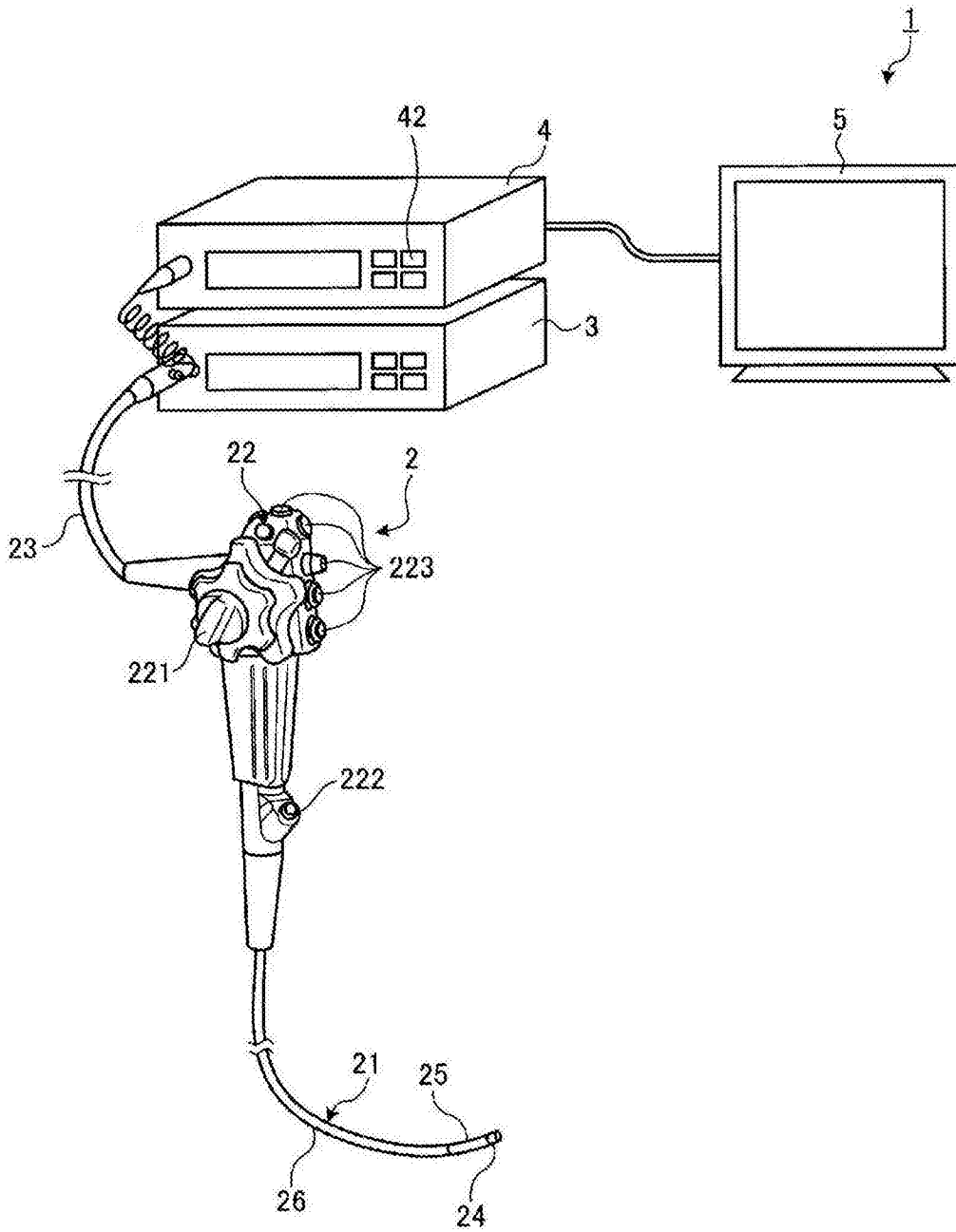


图1

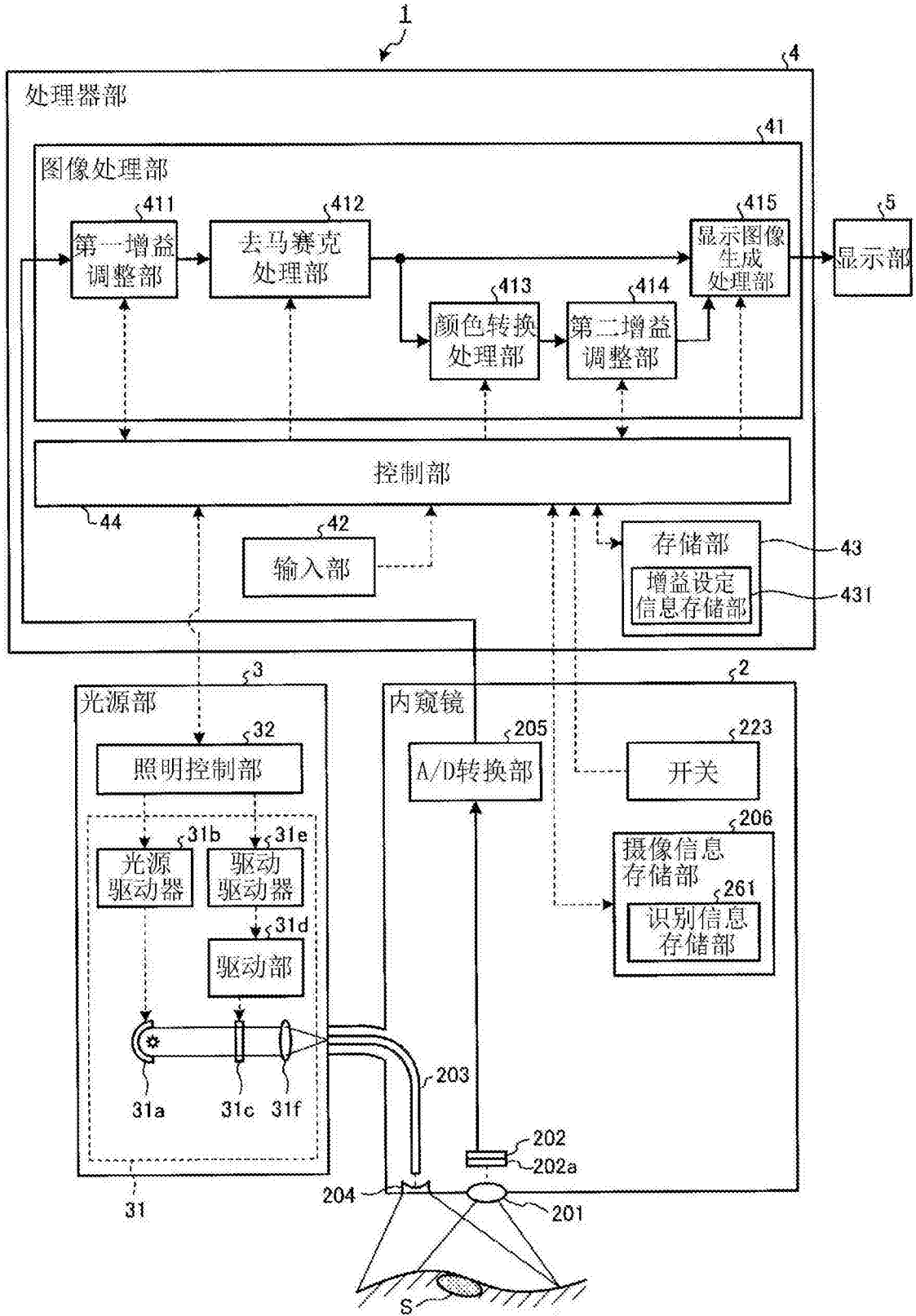


图2

P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	...
P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	...
P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	...
P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	...
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots

图3

U1

B_{11}	G_{12}	B_{13}	G_{14}	...
G_{21}	Mg_{22}	G_{23}	Mg_{24}	...
B_{31}	G_{32}	B_{33}	G_{34}	...
G_{41}	Mg_{42}	G_{43}	Mg_{44}	...
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots

图4

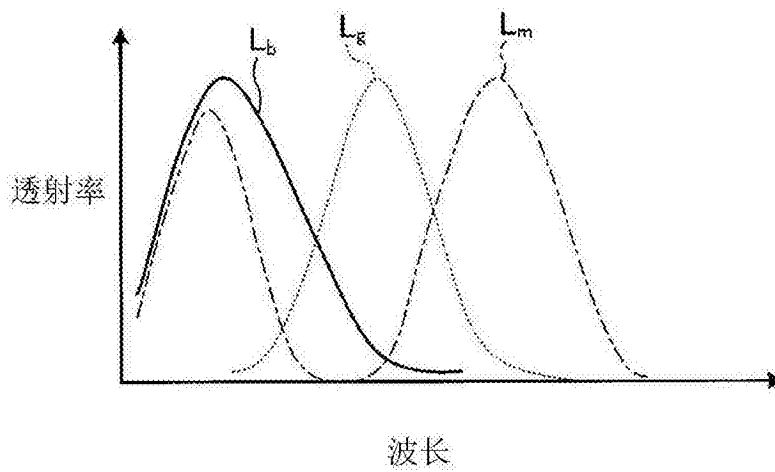


图5

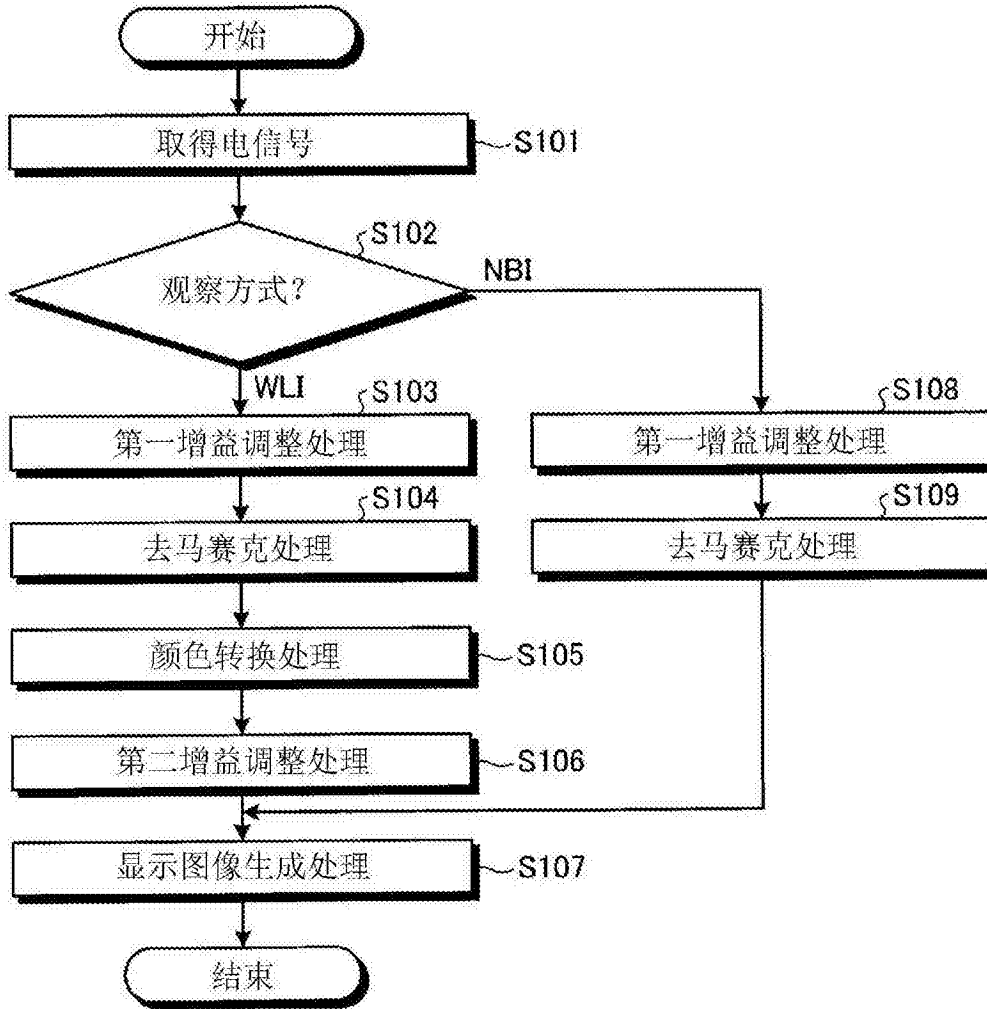


图6

U2

B ₁₁	Cy ₁₂	B ₁₃	Cy ₁₄	...
Cy ₂₁	R ₂₂	Cy ₂₃	R ₂₄	...
B ₃₁	Cy ₃₂	B ₃₃	Cy ₃₄	...
Cy ₄₁	R ₄₂	Cy ₄₃	R ₄₄	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

图7

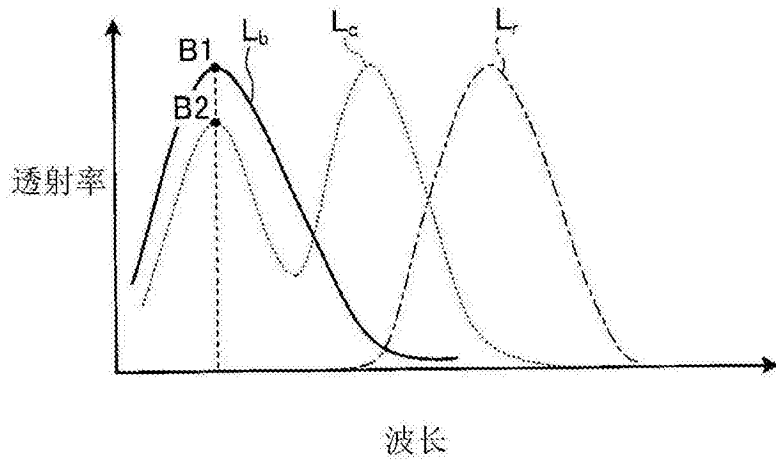


图8

U3

B ₁₁	Cy ₁₂	B ₁₃	Cy ₁₄	...
Cy ₂₁	Mg ₂₂	Cy ₂₃	Mg ₂₄	...
B ₃₁	Cy ₃₂	B ₃₃	Cy ₃₄	...
Cy ₄₁	Mg ₄₂	Cy ₄₃	Mg ₄₄	...
⋮	⋮	⋮	⋮	↘

图9

U4

B ₁₁	Cy ₁₂	B ₁₃	Cy ₁₄	...
Cy ₂₁	W ₂₂	Cy ₂₃	W ₂₄	...
B ₃₁	Cy ₃₂	B ₃₃	Cy ₃₄	...
Cy ₄₁	W ₄₂	Cy ₄₃	W ₄₄	...
⋮	⋮	⋮	⋮	↘

图10

U5

B ₁₁	G ₁₂	Mg ₁₃	G ₁₄	B ₁₅	G ₁₆	Mg ₁₇	G ₁₈	...
G ₂₁	Mg ₂₂	G ₂₃	B ₂₄	G ₂₅	Mg ₂₆	G ₂₇	B ₂₈	...
Mg ₃₁	G ₃₂	B ₃₃	G ₃₄	Mg ₃₅	G ₃₆	B ₃₇	G ₃₈	...
G ₄₁	B ₄₂	G ₄₃	Mg ₄₄	G ₄₅	B ₄₆	G ₄₇	Mg ₄₈	...
B ₅₁	G ₅₂	Mg ₅₃	G ₅₄	B ₅₅	G ₅₆	Mg ₅₇	G ₅₈	...
G ₆₁	Mg ₆₂	G ₆₃	B ₆₄	G ₆₅	Mg ₆₆	G ₆₇	B ₆₈	...
Mg ₇₁	G ₇₂	B ₇₃	G ₇₄	Mg ₇₅	G ₇₆	B ₇₇	G ₇₈	...
G ₈₁	B ₈₂	G ₈₃	Mg ₈₄	G ₈₅	B ₈₆	G ₈₇	Mg ₈₈	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	↘

图11

U6

B ₁₁	W ₁₂	Mg ₁₃	W ₁₄	B ₁₅	W ₁₆	Mg ₁₇	W ₁₈	...
W ₂₁	Mg ₂₂	W ₂₃	B ₂₄	W ₂₅	Mg ₂₆	W ₂₇	B ₂₈	...
Mg ₃₁	W ₃₂	B ₃₃	W ₃₄	Mg ₃₅	W ₃₆	B ₃₇	W ₃₈	...
W ₄₁	B ₄₂	W ₄₃	Mg ₄₄	W ₄₅	B ₄₆	W ₄₇	Mg ₄₈	...
B ₅₁	W ₅₂	Mg ₅₃	W ₅₄	B ₅₅	W ₅₆	Mg ₅₇	W ₅₈	...
W ₆₁	Mg ₆₂	W ₆₃	B ₆₄	W ₆₅	Mg ₆₆	W ₆₇	B ₆₈	...
Mg ₇₁	W ₇₂	B ₇₃	W ₇₄	Mg ₇₅	W ₇₆	B ₇₇	W ₇₈	...
W ₈₁	B ₈₂	W ₈₃	Mg ₈₄	W ₈₅	B ₈₆	W ₈₇	Mg ₈₈	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	↘

图12