



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102804053 B

(45) 授权公告日 2015. 06. 10

(21) 申请号 201080026072. 3

代理人 魏启学

(22) 申请日 2010. 04. 23

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G03B 5/00(2006. 01)

2009-140255 2009. 06. 11 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2011. 12. 12

CN 1991440 A, 2007. 07. 04,

(86) PCT国际申请的申请数据

CN 101251702 A, 2008. 08. 27,

PCT/JP2010/057729 2010. 04. 23

CN 10454715 A, 2009. 06. 10,

(87) PCT国际申请的公布数据

US 2009/0128638 A1, 2009. 05. 21,

W02010/143485 EN 2010. 12. 16

JP 特开平 7-301839 A, 1995. 11. 14,

(73) 专利权人 佳能株式会社

JP 特开平 7-225405 A, 1995. 08. 22,

地址 日本东京都大田区下丸子 3 丁目 30 番
2 号

US 005155520 A, 1992. 10. 13,

US 006047132 A, 2000. 04. 04,

US 005794078 A, 1998. 08. 11,

审查员 岑裕庭

(72) 发明人 能登悟郎 增田晋一

(74) 专利代理机构 北京魏启学律师事务所
11398

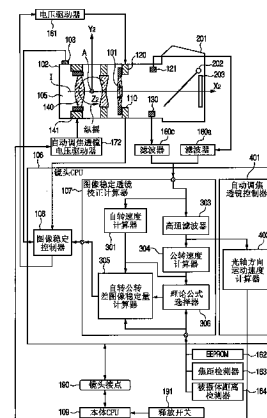
权利要求书1页 说明书26页 附图22页

(54) 发明名称

图像稳定设备和摄像设备

(57) 摘要

一种图像稳定器,包括:拍摄光学系统,用于拍摄被摄体,其中,所述拍摄光学系统的主点在光轴方向上在第一主点和第二主点之间移动;以及加速度检测器,用于检测施加至所述图像稳定器的加速度,并且在所述光轴方向上配置在所述第一主点和所述第二主点之间。还包括:角速度检测器,用于检测施加至所述图像稳定器的角速度;加速度检测器,其配置在最近拍摄时的主点和无限拍摄时的主点之间,并用于检测施加至所述图像稳定器的加速度;自转角速度计算器,用于基于所述角速度检测器计算以所述拍摄光学系统的主点为中心的自转角速度分量;公转角速度计算器,用于基于所述加速度检测器和所述自转角速度计算器来计算以所述被摄体为中心的公转角速度分量;以及控制器,用于基于所述自转角速度分量和所述公转角速度分量之间的差进行图像稳定控制。



1. 一种图像稳定设备,包括:

拍摄光学系统,用于拍摄被摄体,其中,在所述拍摄光学系统的光轴方向上,所述拍摄光学系统的主点在从最近拍摄时的第一主点位置至无限拍摄时的第二主点位置的范围内移动;

加速度检测器,用于检测施加至所述图像稳定设备的加速度并输出该加速度,并且所述加速度检测器在所述拍摄光学系统的光轴方向上被配置在所述第一主点位置和所述第二主点位置之间;

角速度检测器,用于检测施加至所述图像稳定设备的角速度并输出该角速度,其中,所述角速度检测器具有针对纵摇、横摆和侧倾的三轴转动的灵敏度轴;

计算单元,用于计算所述拍摄光学系统内的主点的位置;以及

控制单元,用于基于所述角速度检测器检测到的角速度、所述加速度检测器检测到的加速度和所述计算单元计算出的主点的位置来进行图像稳定控制。

2. 根据权利要求1所述的图像稳定设备,其特征在于,还包括:

倍率计算单元,用于计算所述拍摄光学系统的摄像倍率;

其中,所述加速度检测器被配置在所述摄像倍率约为0.5的位置处。

3. 根据权利要求1所述的图像稳定设备,其特征在于,

所述加速度检测器被设置在保持构成所述拍摄光学系统的透镜的框构件处、或者设置在配置于所述拍摄光学系统内的光圈构件处。

4. 一种摄像设备,其包括根据权利要求1-3中任一项所述的图像稳定设备。

图像稳定设备和摄像设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种图像稳定设备和包括该图像稳定设备的摄像设备,其中,该图像稳定设备通过校正由于抖动所引起的图像模糊来防止所拍摄图像的劣化。

背景技术

[0002] 图 23 是示出传统照相机所包括的图像稳定设备的概要的图。该照相机所发生的抖动具有作为包括纵摇运动、横摆运动和侧倾 (rolling) 运动的三自由度的转动运动以及包括 X 轴方向上的运动、Y 轴方向上的运动和 Z 轴方向上的运动的三自由度的平移运动的总共六自由度。现今商品化了的图像稳定设备通常对由于包括纵摇运动和横摆运动的两自由度的转动运动所引起的图像模糊进行校正。

[0003] 角速度传感器 130 监视照相机的运动。作为该角速度传感器,通常使用用于检测由于转动而产生的科氏力的压电振动式角速度传感器。角速度传感器 130 包含三个检测器,其中,这三个检测器进行图 23 中作为绕 Z 轴的转动的纵摇运动的检测、图 23 中作为绕 Y 轴的转动的横摆运动的检测和图 23 中作为绕 X 轴 (光轴) 的转动的侧倾运动的检测。

[0004] 当要校正由于抖动所引起的图像模糊时,将角速度传感器 130 的输出发送至镜头 CPU 106,并且计算图像稳定用的校正透镜 101 的目标驱动位置。为了将校正透镜 101 驱动至目标驱动位置,向电压驱动器 161x 和 161y 发送指示信号,并且电压驱动器 161x 和 161y 依照这些指示信号并对透镜驱动器 120x 和 120y 进行驱动。校正透镜 101 的位置由透镜位置检测器 110x 和 110y 进行监视,并被反馈至镜头 CPU 106。镜头 CPU 106 基于目标驱动位置和校正透镜 101 的位置来进行校正透镜 101 的位置控制。通过如此根据抖动来驱动校正透镜,可以对由抖动所引起的图像模糊进行校正。

[0005] 然而,在前述图像稳定设备中,仅角速度传感器 130 进行由于抖动所引起的照相机的运动的检测,因此可以监视角度运动 (转动运动),但无法监视使光轴垂直地或水平地平行运动的运动 (以下称为平行运动)。因此,仅可以对包括纵摇运动和横摆运动的两自由度的运动进行图像稳定。

[0006] 这里,关于由平行运动所引起的图像模糊,将说明通过使用焦距为 100mm 的微透镜进行拍摄的情况作为例子。当通过使用该透镜拍摄无限远处的风景时,如果角速度传感器输出大致为 0.8deg/s ,则根据该焦距,像面移动速度约为 $1.40\text{mm/s} (= 100 \times \sin 0.8)$ 。因此,由于在以曝光时间为 $1/15$ 秒进行拍摄时的角度运动所引起的像面的运动宽度为 $93\text{ }\mu\text{m} (= 1.40\text{mm}/15)$ 。此外,如果除角度运动以外、整个照相机以 1.0mm/s 在垂直方向上平行移动,则由于在无限拍摄的情况下、拍摄倍率 β 大致为 0,因此拍摄不受平行运动速度分量影响,并且不会发生由于平行运动所引起的图像模糊。

[0007] 然而,在为了拍摄花等进行特写拍摄时,拍摄倍率非常大,并且无法忽略平行运动的影响。例如,当拍摄倍率为等倍率 ($\beta = 1$)、并且垂直方向上的移动速度为 1mm/s 时,像面也以 1mm/s 的速度移动。在以曝光时间为 $1/15$ 秒进行拍摄时的像面内的运动宽度为 $67\text{ }\mu\text{m}$,并且无法忽略由于平行运动所引起的图像模糊。

[0008] 接着,将说明在物理学和工程学的领域内表示物体在空间内的运动的一般方法(模型和数学表达式)。这里,为了便于说明,关于表示物体在平面上的运动的模型,将说明普通物体。在这种情况下,如果定义了物体的三个自由度,则可以唯一定义该物体的运动和位置。

[0009] 第一个模型是表示平行运动和转动运动的模型(参见图 24A 和 24B)。在将横轴设置为 X 轴并且将纵轴设置为 Y 轴的平面内的固定坐标系 O-XY 中,如图 24A 所示,如果指定了 X 轴方向上的位置 $X(t)$ 、Y 轴方向上的位置 $Y(t)$ 和物体自身的转动角度 $\theta(t)$ 的三自由度,则可以确定该物体的位置。如图 24B 所示,可以由设置在物体上的基准点(主点 O_2)的 X 轴方向平移速度 $V_x(t)$ 和 Y 轴方向平移速度 $V_y(t)$ 以及绕该物体上的基准点的转动角速度 $\dot{\theta}(t)$ 这三个分量来表示该物体的运动(速度矢量)。该模型最为常见。

[0010] 第二个模型是表示瞬时转动中心和转动半径的模型(参见图 25)。在 XY 平面内的固定坐标系 O-XY 中,假定在特定时刻、物体正在围绕被设置为瞬时转动中心的特定点 $f(t) = (X(t), Y(t))$ 以转动半径 $R(t)$ 、转动速度 $\dot{\theta}(t)$ 转动。如此,可以由瞬时转动中心的轨迹 $f(t)$ 和该时刻的转动速度 $\dot{\theta}(t)$ 来表示该平面内的运动。在力学中的连杆机构的分析中经常使用该模型。

[0011] 近年来,日本特开平 07-225405 和日本特开 2004-295027 提出了配备有对平行运动进行校正的功能的照相机。在日本特开平 07-225405 中,可以说基于三个加速度计和三个角速度传感器的测量值,利用平移运动和转动运动来表示照相机在三维空间内的运动。

[0012] 此外,在日本特开 2004-295027 中,在照相机的包括角度运动和平行运动的运动中,如该专利文献的图 2 所示,计算转动中心相对于焦平面的距离 n 。在日本特开 2004-295027 的数学表达式 1 中,在前半部分中计算将焦平面设置为转动中心时发生的角度运动量,并且在后半部分中计算由于平移运动而发生的平行运动量。后半部分的平行运动量是利用相对于焦平面远离了距离 n 的位置的转动进行替换来考虑的校正项。作为表示空间内的运动的模型,日本特开 2004-295027 的图 3 中的用于获得转动中心的位置 n 的方法使用力学中频繁使用的瞬时中心的概念。这就是可以通过连续的转动运动来表示空间内的运动的理想,也就是说,空间内的运动在某一瞬时是以特定点作为中心的特定半径的转动运动,并且在下一瞬时是以下一特定点作为中心的特定半径的转动运动。因此,在日本特开 2004-295027 中,可以说将由于抖动所引起的照相机的运动建模为具有瞬时中心的连续转动运动。

[0013] 然而,日本特开平 07-225405 所述的方法存在如下问题:用于获得像面内的模糊量的计算量极大,并且计算算法非常复杂。此外,并未提及针对光轴方向模糊(失焦)的校正计算。此外,可以说在日本特开 2004-295027 中,如上所述将照相机的运动建模为具有瞬时转动中心的连续转动运动,并且模型和数学表达式的问题是如日本特开 2004-295027 的第 [0047] 段自身所述,在 $F1 \approx F2$ (施加至两个加速度计的力)的情况下,转动中心位置 n 为 ∞ ,并且无法进行计算。此外,转动中心位置 n 为 ∞ 的事实表示不存在由于在纵摇方向或横摆方向的角度而产生的运动,并且角速度传感器无法检测到该运动。可以通过使用两个加速度传感器的输出来计算校正量,但精度低并且计算量极大。此外,利用这种情况下的数学表达式,无法对光轴方向上的运动进行校正计算。

[0014] 此外,随着拍摄光学系统的主点位置的变化,从加速度传感器(加速度计)输出后

面将说明的校正误差分量,但日本特开平 07-225405 和日本特开 2004-295027 均无相应的技术公开。

发明内容

[0015] 考虑到前述问题而作出本发明,并且本发明的目的在于提供如下一种图像稳定设备和摄像设备:在角度运动和平行运动共存的所有状态下,该图像稳定设备和该摄像设备都使得能够在不发生控制失败的情况下进行精确的图像稳定,减少计算量,并且可以使伴随着拍摄光学系统的主点位置的变化的误差量最小。

[0016] 为了实现前述目的,根据本发明实施例的一种图像稳定设备采用具有如下特征的结构,其中,所述图像稳定设备包括:拍摄光学系统,用于拍摄被摄体,其中,在所述拍摄光学系统的光轴方向上,所述拍摄光学系统的主点从第一主点位置向第二主点位置移动;以及加速度检测器,用于检测施加至所述图像稳定设备的加速度并输出该加速度,并且在所述拍摄光学系统的光轴方向上配置在所述第一主点位置和所述第二主点位置之间。

[0017] 通过以下说明和附图,本发明的其它目的和特征将变得明显。

附图说明

[0018] 图 1 是示出作为根据本发明的实施例 1 的摄像设备的主要部分的框图。

[0019] 图 2 是实施例 1 中的投影至 XY 平面的照相机状态的简化图。

[0020] 图 3 是示出实施例 1 中的主点位置和加速度计的位置的图。

[0021] 图 4A 和 4B 是示出在图 3 的状态下的加速度计输出的误差比率函数的图。

[0022] 图 5 是示出无限位置处的加速度计输出的误差比率函数的图。

[0023] 图 6 是示出在图 3 的状态下的加速度计输出的误差比率变得最小的位置的图。

[0024] 包括图 7A 和 7B 的图 7 是示出实施例 1 的操作的流程图。

[0025] 图 8A 是示出固定至照相机上的坐标系的图。

[0026] 图 8B 是示出照相机的俯视图。

[0027] 图 8C 是示出照相机的正视图。

[0028] 图 8D 是示出照相机的侧视图。

[0029] 图 9 是在三维空间内仅表示照相机的光学系统的图。

[0030] 图 10A 和 10B 是示出主点 A 的极坐标系和正交坐标系的图。

[0031] 图 11 是投影至 X_0Y_0 平面和 Z_0X_0 平面时的坐标映射。

[0032] 图 12 是示出投影至 X_0Y_0 平面的照相机状态的图。

[0033] 图 13 是示出投影至 Z_0X_0 平面的照相机状态的图。

[0034] 图 14 是初始时刻 $t = 0$ 时的照相机初始状态的图。

[0035] 图 15 是 O-XYZ 坐标系中的照相机初始状态的图。

[0036] 图 16 是极坐标系的基本说明图。

[0037] 图 17 是示出投影至二维 XY 坐标系的照相机状态的图。

[0038] 图 18 是示出投影至二维 ZX 坐标系的照相机状态的图。

[0039] 图 19A 和 19B 是示出根据实施例 2 的加速度计输出的误差比率函数等的图。

[0040] 图 20 是示出根据实施例 2 的误差比率变得最小的位置的图。

- [0041] 图 21 是示出根据实施例 2 的变形例的误差比率变得最小的位置的图。
- [0042] 包括图 22A 和 22B 的图 22 是示出实施例 3 的操作的流程图。
- [0043] 图 23 是示出传统例子的照相机的图像稳定设备的图。
- [0044] 图 24A 和 24B 是示出一般的二维坐标系中的物体位置和物体速度的定义的图。
- [0045] 图 25 是示出瞬时转动中心的一般轨迹的定义的图。

具体实施方式

[0046] 用于执行本发明的模式如以下的实施例 1 ~ 3 所示。

[0047] 实施例 1

[0048] 在以下实施例中,由“自转公转运动表达式”来表示人手把持的照相机的抖动运动和作为照相机的抖动运动的结果在像面上发生的图像运动,其中,在该“自转公转运动表达式”中,将由自转运动和公转运动所表示的运动模型与几何光学表达式相结合。

[0049] 本实施例是如下的图像稳定设备,其中,该图像稳定设备根据加速度计和角速度传感器的测量值以及自转公转运动表达式来计算照相机运动,并且还计算图像运动。通过基于该图像运动的计算值对拍摄镜头的一部分或全部或者摄像装置的一部分或全部进行驱动控制,对图像模糊进行校正。可选地,本发明提供如下的图像稳定设备,其中,该图像稳定设备基于根据自转公转运动表达式所获得的图像运动的计算值,通过对所拍摄图像进行图像处理来对图像模糊进行校正。

[0050] 图 1 是示出根据本发明的实施例 1 的包括图像稳定设备的摄像设备(照相机系统)的主要部分的框图。对进行与现有技术相同的功能的部分分配相同的附图标记和字符,并且将适当省略冗余的说明。

[0051] 根据实施例 1 的图像稳定设备设置在相对于照相机本体 201 可安装且可拆卸的镜筒 102 内,并且针对纵摇(绕 Z_2 轴的转动)、横摆(绕 Y_2 轴的转动)、 Y_2 轴方向、 Z_2 轴方向和 X_2 轴(光轴)方向这五个自由度方向进行模糊校正。然而,在图 1 及以下说明中,示出了纵摇转动和 Y_2 轴方向上的图像稳定系统以及 X_2 轴(光轴)方向上的光轴方向图像稳定系统,并且横摆转动和 Z_2 轴方向上的图像稳定系统与纵摇转动和 Y_2 轴方向上的图像稳定系统相同。

[0052] 角速度传感器 130 是如下的角速度检测器,其中,该角速度检测器相对于镜筒 102 被浮动地支撑并且检测照相机本体 201(镜筒 102)所发生的运动的角速度。根据实施例 1 的角速度传感器 130 是用于检测由于转动而产生的科氏力的压电振动式角速度传感器。角速度传感器 130 是内部具有针对纵摇、横摆和侧倾的三轴转动的灵敏度轴的角速度传感器。浮动地支撑角速度传感器 130 的原因是尽可能消除伴随着照相机的机构操作的机械振动的影响。角速度传感器 130 将与检测到的角速度相对应的角速度信号输出至滤波器 160c。

[0053] 加速度计 121 是用于检测照相机本体 201(镜筒 102)所发生的运动的加速度的加速度检测器。根据实施例 1 的加速度计 121 是具有相对于 X 轴、Y 轴和 Z 轴这三个方向的三个灵敏度轴的三轴加速度计,并且由镜筒 102 浮动地支撑。由于与角速度传感器 130 的情况相同的原因而浮动地支撑加速度计 121。此外,在本实施例中,加速度计 121 是三轴加速度传感器(使用铅锤体的加速度传感器),并且两个轴的频率特性同样高,但其余一个轴

的特性低。因此,为了检测在与光轴正交的 Y_2 轴方向和 Z_2 轴方向上的加速度,使用灵敏度高的两个轴,并且使特性低的一个轴与 X_2 轴(光轴方向)对准。这是为了精确地检测对图像模糊校正的影响大的 Y_2 轴方向和 Z_2 轴方向上的加速度。

[0054] 加速度计 121 的输出在通过诸如滤波器 160a 等的低通滤波器(LPF)之后经过 A/D 转换,并被输入至镜头 CPU 106 内的 IS(图像稳定)透镜校正计算器 107。加速度计 121 可以安装至在变焦等期间在光轴方向上移动的可移动镜框、保持其它光学系统的框或者光学系统内的诸如光圈等的单元,但在这种情况下,需要使得能够检测加速度计 121 相对于变焦后的主点位置的位置。

[0055] 此外,角速度传感器 130 是如上所述的振动陀螺仪型,并且以 26KHz 振动。因此,如果将这些传感器安装在同一基板上,则加速度计 121 有可能拾取到振动噪声,因此将加速度计 121 和角速度传感器 130 安装在独立基板上。

[0056] 图像稳定透镜驱动器 120 是如下的驱动器(致动器),其中,该驱动器生成在与光轴 I 垂直的平面内(Y_2Z_2 平面内)驱动图像模糊校正用的校正透镜 101 所使用的驱动力。在利用电压驱动器 161 所输出的驱动电流使未示出的线圈进入通电状态时,图像稳定透镜驱动器 120 生成 Y_2 轴方向上的驱动力并驱动校正透镜 101。

[0057] 透镜位置检测器 110 是用于检测校正透镜 101 在与光轴 I 正交的平面内的位置的光学位置检测器。透镜位置检测器 110 监视校正透镜 101 的当前位置,并将与校正透镜 101 的当前位置有关的信息经由 A/D 转换器反馈至图像稳定控制器 108。

[0058] 镜头 CPU 106 是用于进行镜筒 102 侧的各种控制的中央处理器。镜头 CPU 106 基于焦距检测器 163 所输出的脉冲信号计算焦距,并基于被摄体距离检测器 164 所输出的脉冲信号计算被摄体距离。此外,在镜头 CPU 106 中,设置有图像稳定透镜校正计算器 107、图像稳定控制器 108 和自动调焦透镜控制器 401。镜头 CPU 106 可以经由设置在镜筒 102 和照相机本体 201 之间的镜头接点 190 与本体 CPU 109 进行通信。与释放开关 191 的半按下接通(ON)同步地从本体 CPU 109 发送图像模糊校正开始命令,并且与半按下断开(OFF)同步地将图像模糊校正停止命令发送至 CPU 106。

[0059] 此外,镜头 CPU 106 监视设置在镜筒 102 内的模糊校正开关(SW)103 的状态。如果模糊校正开关 103 接通,则镜头 CPU 106 进行图像模糊校正控制,并且如果模糊校正开关 103 断开,则镜头 CPU 106 忽略来自本体 CPU 109 的图像模糊校正开始命令并且不进行模糊校正。

[0060] 图像稳定透镜校正计算器 107 是用于将滤波器 160a 和 160c 的输出信号转换成将镜筒 102 驱动至目标位置所使用的目标速度信息的部分。图像稳定控制器 108、滤波器 160a 和 160c、EEPROM 162、焦距检测器 163 以及被摄体距离检测器 164 连接至图像稳定透镜校正计算器 107。自动调焦透镜控制器 401 具有光轴方向运动速度计算器 402,其中,光轴方向运动速度计算器 402 通过使用来自图像稳定透镜校正计算器 107 的加速度计输出值来进行为了执行光轴方向运动校正的计算,并且自动调焦透镜控制器 401 将该计算结果输出至自动调焦透镜电压驱动器 172。

[0061] 自动调焦透镜 140 可以由使用超声波马达或步进马达作为驱动源的自动调焦透镜驱动器 141 在光轴方向上进行驱动。自动调焦透镜电压驱动器 172 生成对自动调焦透镜驱动器 141 进行驱动控制用的电压。

[0062] 图像稳定透镜校正计算器 107 通过利用 A/D 转换对从角速度传感器 130 和加速度计 121 经由滤波器 160a 和 160c 输出的输出信号（模拟信号）进行量化来取入这些信号。基于从焦距检测器 163 获得的焦距信息、从被摄体距离检测器 164 获得的被摄体距离信息和写入 EEPROM 162 的镜头特有信息，图像稳定透镜校正计算器 107 将这些信号转换成校正透镜 101 的目标驱动速度。后面将详细说明图像稳定透镜校正计算器 107 所进行的向目标驱动位置的转换方法（计算方法）。将作为图像稳定透镜校正计算器 107 计算出的目标驱动速度的信息的目标速度信号输出至图像稳定控制器 108。

[0063] 图像稳定控制器 108 是如下的部分，其中，该部分经由电压驱动器 161 控制图像稳定透镜驱动器 120，并进行跟踪控制以使得根据目标驱动速度的信息来驱动校正透镜 101。图像稳定控制器 108 将透镜位置检测器 110 所输出的位置检测信号（模拟信号）转换成数字信号并取入该数字信号。图像稳定控制器 108 的一个输入部用于作为图像稳定透镜校正计算器 107 的输出的、转换成校正透镜 101 的目标驱动速度的目标速度信号，并且图像稳定控制器 108 的另一输入部用于透镜位置检测器 110 所获得的校正透镜 101 的位置信息。

[0064] 作为图像稳定控制器 108 中的控制，通过使用校正透镜 101 的目标驱动速度和实际速度信息之间的偏差来进行速度控制。图像稳定控制器 108 基于目标驱动速度和校正透镜 101 的速度信息等计算驱动信号，并将该数字驱动信号输出至电压驱动器 161。

[0065] 可选地，作为图像稳定控制器 108 中的控制，可以使用已知的 PID 控制。通过使用目标位置信息和校正透镜 101 的透镜位置信息之间的偏差来进行 PID 控制。图像稳定控制器 108 基于目标位置信息和校正透镜 101 的位置信息等计算驱动信号。并将该数字驱动信号输出至电压驱动器 161。

[0066] 滤波器 160a 和 160c 是如下的滤波器，其中，这些滤波器从角速度传感器 130 和加速度计 121 的输出信号去除预定频率成分，并且截除包括在高频波段中的噪声成分和 DC 成分。滤波器 160a 和 160c 对预定频率成分被去除之后的角速度信号进行 A/D 转换，之后将这些角速度信号输出至图像稳定透镜校正计算器 107。

[0067] 电压驱动器 161 是根据所输入的驱动信号（驱动电压）向图像稳定透镜驱动器 120 供给电力的驱动器。电压驱动器 161 对该驱动信号进行切换，向图像稳定透镜驱动器 120 施加电压以驱动图像稳定透镜驱动器 120。

[0068] EEPROM 162 是如下的非易失性存储器，其中，该非易失性存储器存储作为与镜筒 102 有关的各种特有信息的镜头数据、以及用于将被摄体距离检测器 164 所输出的脉冲信号转换成物理量的系数。

[0069] 焦距检测器 163 是用于检测焦距的变焦编码器。焦距检测器 163 将与焦距值相对应的脉冲信号输出至图像稳定透镜校正计算器 107。被摄体距离检测器 164 是用于检测到被摄体的距离的调焦编码器。被摄体距离检测器 164 检测拍摄光学系统 105（自动调焦透镜 140）的位置，并将与该位置相对应的脉冲信号输出至图像稳定透镜校正计算器 107。

[0070] 根据焦距检测器 163 和被摄体距离检测器 164 的检测结果，如后面所述来计算拍摄光学系统 105 的主点 A 的位置。可选地，读取存储在 EEPROM 162 中的拍摄光学系统 105 的主点 A 的位置信息，并进行后面将说明的控制。

[0071] 本体 CPU 109 是用于进行整体照相机系统的各种控制的中央处理器。本体 CPU 109 基于释放开关 191 的接通操作将模糊校正开始命令发送至镜头 CPU 106。可选地，本体

CPU 109 基于释放开关 191 的断开操作将模糊校正停止命令输出至镜头 CPU106。可选地, 进行除以上处理以外的各种处理。将与释放开关 191 有关的信息输入至本体 CPU 109, 并且释放开关 191 可以检测未示出的释放按钮的半按下或全按下操作。释放开关 191 是如下的开关, 其中, 该开关检测未示出的释放按钮的半按下操作并开始一系列的拍摄准备操作, 检测该释放按钮的全按下操作并且开始拍摄操作。

[0072] 接着, 将详细说明图像稳定透镜校正计算器 107 的内部。

[0073] 自转角速度计算器 301 基于角速度传感器输出值来计算自转角速度 $\dot{\theta}_{caxy}$ 。角速度传感器输出值和自转角速度通常成线性关系, 因此可以通过将角速度传感器输出值乘以系数来获得自转角速度。

[0074] 高通滤波器 303 是用于使模糊校正所需的频率成分通过的滤波器。公转角速度计算器 304 可以通过将作为来自高通滤波器 303 的输入值的公转加速度分量 $j r_{axy} \ddot{\theta}_{axy}$ 除以被摄体侧焦距 r_{axy} 来获得公转角加速度 $\ddot{\theta}_{axy}$ 。此外, 通过对该公转角加速度进行时间积分来获得控制所需的公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 。

[0075] 自转公转差图像稳定量计算器 305 通过将所读取的摄像倍率 β 、实际焦距值 f 、以及实时计算出的自转角速度 $\dot{\theta}_{caxy}$ 和公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 代入以下的后面将说明的表达式 (15), 计算摄像装置 203 的摄像面的 Y_2 方向上的图像运动速度。

$$[0076] \quad \vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)} \approx -(1+\beta)f \left(\dot{\theta}_{caxy} - \dot{\theta}_{axy} \right) e^{j(\pi/2)} \quad (15)$$

[0077] 所获得的图像运动速度成为目标驱动速度。可以根据后面将说明的表达式 (16) 同样获得摄像面的 Z_2 方向上的图像运动速度, 但这里将省略该说明。

[0078] 理论公式选择器 306 根据公转角速度相对于自转角速度的比率, 选择使用自转角速度和公转角速度之间的差的自转公转差运动校正的公式或者仅使用自转角速度的自转运动校正的公式作为校正计算所使用的公式。

[0079] 自转公转模糊公式 < 表达式 (15) > 的含义和使用方法

[0080] 在实施例 1 中, 通过自转公转运动公式来表示照相机抖动 (纵摇角度运动和 Y_2 方向上的平行运动) 在 XY 平面内的分量, 并且通过作为自转公转运动公式的近似表达式的表达式 (15) 来获得摄像面内的 Y_2 方向图像运动 (摄像面垂直方向图像运动) 速度。在本发明的说明中, 将“矢量 R”记述为“ $\vec{R}$ ”。

$$[0081] \quad \vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)} \approx -(1+\beta)f \left(\dot{\theta}_{caxy} - \dot{\theta}_{axy} \right) e^{j(\pi/2)} \quad (15)$$

[0082] 其中, $\vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)}$ 表示摄像面内的图像运动速度, β 表示该照相机的拍摄镜头在图像模糊校正时的摄像倍率 [(无单位)], f 表示该照相机的拍摄镜头在图像模糊校正时的实际焦距 [mm], $(1+\beta)f$ 表示图像侧焦距 [mm], $\dot{\theta}_{caxy}$ 表示以主点 A 作为中心的自转角度 θ_{caxy} 的时间微分值、即自转角速度 [rad/ 秒], $\dot{\theta}_{axy}$ 表示以原点 O 作为中心的公转角度 θ_{axy} 的时间微分值、即公转角速度 [rad/ 秒], $e^{j(\pi/2)}$ 表示以下: 在极坐标系中, 由于 $(\pi/2)$ 次幂, 因而图像运动速度矢量表示相对于 X_2 轴 (光轴) 转动了 90 度的方向。

[0083] 后面将说明作为表达式 (15) 的 XY 平面内的移动坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 中的图像运动速度 $\vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)}$ 的近似理论公式的详细推导过程, 并且这里, 将参考图 2 来说明该公式的含义。

[0084] 图 2 示出投影至 XY 平面上的照相机的状态的示意图。这里, 示出了照相机的外形和镜头。在该照相机中, 示出光学系统的主点 A_{xy} 、加速度计 B_{xy} 和摄像装置 203 的中心 C_{xy} 。坐标系 $O_4-X_4Y_4$ 的原点 O_4 固定至光学系统的主点 A_{xy} 。当主点 A_{xy} 移动时, X_4 轴相对于 X 轴保持平行状态, 并且 Y_4 轴相对于 Y 轴保持平行状态。坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 的原点 O_2 固定至主点 A_{xy} , 并且与照相机一体化地移动。在这种情况下, X_2 轴与该照相机的光轴总是一致。

[0085] 将 X_4 轴和 X_2 轴之间的以原点 O_2 为中心的角度设置为自转角度 θ_{caxy} 。将 X 轴和标量 r_{axy} 之间的以原点 O 为中心的角度设置为公转角度 θ_{axy} 。标量 $r_{axy} \approx (1+\beta)f/\beta$ 表示被摄体侧焦距。 β 表示摄像倍率。主点 A_{xy} 处的重力加速度矢量 $\vec{G}_{xy}$ 具有通过正转动 (逆时针) 从 X_4 轴至矢量 $\vec{G}_{xy}$ 之间绕主点 A_{xy} 的角度 θ_{gxy} 。 θ_{gxy} 是恒定值。

[0086] 近似表达式表示可以通过 $-(\text{图像侧焦距}) \times (\text{通过从自转角速度减去公转角速度所获得的值})$ 来表示摄像面内的 Y_2 方向上的图像运动速度。无近似的精确公式是表达式 (12)。当进行精度较高的图像模糊校正时, 可以使用该精确公式 <表达式 (12)>。这里, $r_{axy} \approx (1+\beta)f/\beta$ 表示被摄体侧焦距。

[0087]

$$\vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)} = \left[\frac{f \dot{r}_{axy}}{r_{axy} - f} - \frac{f \dot{r}_{axy} \dot{r}_{axy}}{(r_{axy} - f)^2} \right] e^{j(\theta_{axy} - \theta_{caxy})} + \frac{f \dot{r}_{axy}}{r_{axy} - f} \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2 - \theta_{caxy})} - (1+\beta)f \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\pi/2)}$$

(12)

[0088] 与 XY 平面的情况相同, 通过自转公转运动公式来表示照相机抖动在 ZX 平面上的横摆角度运动以及 Z_2 方向上的平行运动这两个分量, 并且通过近似表达式 (16) 获得摄像装置面内的 Z_2 方向图像运动 (摄像面的横方向上的图像运动) 速度。这表示与表达式 (15) 相同的含义, 因此这里将省略该说明。

[0089] 接着, 将说明包括在加速度计 121 的输出中的分量。后面将说明该公式的推导过程。这里, 将说明图像稳定所需的项。通过表达式 (27) 来表示获得公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 所使用的 Y_2 轴方向上的加速度计输出 $A_{ccy2(O-X_2Y_2)}$ 。

[0090] $A_{ccy2(O-X_2Y_2)} \approx j r_{axy} \ddot{\theta}_{axy}$ (第三项: 公转的加速度)

[0091] $+ j 2 \dot{r}_{axy} \dot{\theta}_{axy}$ (第四项: 科氏力)

[0092] $+ j r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 \sin(\theta_{baxy} + \pi)$ (第五项: 自转的向心力)

[0093] $+ j r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \sin(\theta_{baxy} + \pi/2)$ (第六项: 自转的加速度)

[0094] $+ j G \sin(\theta_{gxy} - \pi)$ (第七项: 重力加速度分量)

[0095] (27)

[0096] 表达式 (27) 中的第三项 $j r_{axy} \ddot{\theta}_{axy}$ 是获得实施例 1 期望获得的公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 所需的分量, 并且如果将第三项除以已知的 r_{axy} 并进行积分, 则获得公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 。第四项、第五项、第六项和第七项是计算所不需要的项, 并且如果不消除这些项, 则这些项成为获得公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 时的误差分量。第四项 $j 2 \dot{r}_{axy} \dot{\theta}_{axy}$ 表示科氏力, 并且如果照相机光轴方向上的运动小、光轴方向上的速度 $\dot{r}_{axy} \approx 0$, 则第四项是可以忽略的项。后面还将说明表达式 (27)。

[0097] 第五项和第六项是由于加速度计 121 无法配置在理想的主点位置 A 处而是配置在位置 B 处而包括在加速度计输出 $A_{ccy2(0-x2y2)}$ 中的误差分量。第五项 $j r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 \sin(\theta_{baxy} + \pi)$ 是由于加速度计 121 以主点 A 为中心转动而产生的向心力。 r_{baxy} 和 θ_{baxy} 表示安装有加速度计 121 的位置 B 的坐标, 并且是已知的。 $\dot{\theta}_{caxy}$ 是自转角速度, 并且是安装至照相机的角速度传感器 130 可以测量出的值。因此, 可以计算出第五项的值。

[0098] 第六项 $j r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \sin(\theta_{baxy} + \pi/2)$ 是加速度计 121 以主点 A 为中心转动时的加速度分量, 并且 r_{baxy} 和 θ_{baxy} 表示安装有加速度计 121 的位置 B 的坐标, 并且是已知的。可以通过对安装至照相机的角速度传感器 130 的值进行微分来计算 $\ddot{\theta}_{caxy}$ 。因此, 可以计算出第六项的值。

[0099] 第七项 $j G \sin(\theta_{gxy} - \pi)$ 是重力加速度的影响, 并且在该近似表达式中可被看作为常数, 因此可以通过电路的滤波处理消除该第七项。

[0100] 通过表达式 (26) 来表示光轴方向运动校正所使用的作为光轴的 X_2 轴方向上的加速度计输出 $A_{ccx2(0-x2y2)}$ 。

[0101] $A_{ccx2(0-x2y2)} \approx \ddot{r}_{axy}$ (第一项: 光轴方向运动)

[0102] $- r_{axy} \dot{\theta}_{axy}^2$ (第二项: 公转的向心力)

[0103] $+ r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 \cos(\theta_{baxy} + \pi)$ (第五项: 自转的向心力)

[0104] $+ r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \cos(\theta_{baxy} + \pi/2)$ (第六项: 自转的加速度)

[0105] $+ G \cos(\theta_{gxy} - \pi)$ (第七项: 重力加速度分量)

[0106] (26)

[0107] 在表达式 (26) 中, 光轴方向运动校正仅需要第一项 $\ddot{r}_{axy}$ (光轴方向上的加速度)。第二项、第五项、第六项和第七项是光轴方向运动校正所不需要的分量, 并且如果不消除这些项, 则这些项成为获得作为光轴的 X_2 轴方向上的加速度 $\ddot{r}_{axy}$ 时的误差分量。可以利用与表达式 (27) 的情况相同的方法来删除第二项、第五项、第六项和第七项。后面将说明表达式 (26)。

[0108] 如上所述, 可以消除包括在加速度计 121 的输出中的误差分量, 但如果进行校正计算, 则模糊校正操作开始延迟了该计算时间, 并且无法进行精确的模糊校正。

[0109] 因而, 基于以下想法, 将加速度计 121 放置于镜筒 102 内, 由此可以使包括在加速度计 121 的输出中的误差分量最小。因此, 不需要校正计算时间, 由此可以进行精确的模糊校正。

[0110] 图 3 是镜筒 102 的截面图,并且用于说明拍摄光学系统 105、加速度计 121 和角速度传感器 131 的配置。在图 3 中,拍摄光学系统 105 的主点位于光轴 I 上,并且根据用户所设置的摄像倍率,该拍摄光学系统的主点在光轴 I 上在从等倍率拍摄时(最近拍摄时)的主点位置 A1 至无限拍摄时($\beta = 0.0$)的主点位置 A2 的范围内移动。更具体地,在该拍摄光学系统中,主点在光轴 I 上在作为拍摄倍率 β 为 1.0 时的主点位置的点(第一点)与作为拍摄倍率 β 为 0.0 时的主点位置的点(第二点)的范围内移动。将角速度传感器 131 放置于镜筒 102 的任意位置处,但将加速度计 121 放置于光轴 I 方向上的等倍率拍摄时的主点位置 A1(第一点)和无限拍摄时的主点位置 A2(第二点)之间的位置处。例如,将加速度计 121 放置于光轴方向上的拍摄倍率 β 为 0.5 的位置处。

[0111] 将加速度计 121 在光轴 I 方向上的位置设置为主点位置 A3,将相对于等倍率拍摄时的主点位置 A1 的光轴 I 方向上的距离设置为 ΔX ,并且将与光轴 I 垂直的方向上的距离设置为 ΔY 。由此,在表达式 (27) 中,在等倍率拍摄的情况下,满足 $r_{baxy} = \Delta Y / \sin \theta_{baxy}$ 。即,满足 $\tan \theta_{baxy} = \Delta Y / \Delta X$ 。

[0112] 这里,如下将表达式 (27) 中的作为不需要项的第五项和第六项的总和表示为加速度计位置误差函数 $g(\theta_{ba})$ 。

$$[0113] \quad g(\theta_{ba}) = jr_{baxy} \dot{\theta}_{baxy}^2 \sin(\theta_{baxy} + \pi) + jr_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \sin(\theta_{baxy} + \pi/2) \quad (30)$$

[0114] 如上所述,可以忽略表达式 (27) 中的第四项,并且通过电路的滤波处理还可以消除第七项。因此,该滤波处理后的加速度计 121 的输出是第三项、第五项和第六项,因此当将包括在加速度计 121 的输出中并由表达式 (30) 来表示的加速度计位置误差函数 $g(\theta_{ba})$ 的比率设置为误差比率函数 $f(\theta_{ba})$ 时,可以如下表示该误差比率函数 $f(\theta_{ba})$ 。

$$[0115] \quad f(\theta_{ba}) = \frac{r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 \sin(\theta_{baxy} + \pi) + r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \sin(\theta_{baxy} + \pi/2)}{r_{axy} \ddot{\theta}_{axy} + r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 \sin(\theta_{baxy} + \pi) + r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \sin(\theta_{baxy} + \pi/2)} \quad (31)$$

[0116] 以下假定加速度计 121 配置在拍摄倍率为 $\beta = 0.5$ 的位置处。在表达式 (31) 所示出的参数中, r_{axy} 表示拍摄倍率 β 的函数,并且作为本申请人的认真研究的结果,已知 $\ddot{\theta}_{axy}$ 与摄像倍率 β 成线性关系。因此,可以如下表示表达式 (31)。

[0117]

$$f(\theta_{ba}) = \frac{r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 \sin(\theta_{baxy} + \pi) + r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \sin(\theta_{baxy} + \pi/2)}{(1+0.5)f_{(\beta=0.5)}} \\ r_{axy(\beta=0.5)} \times \frac{(1+\beta)f}{\beta \times f_{(\beta=0.5)}} \times \dot{\theta}_{caxy(\beta=0.5)}^2 \times \frac{0.5}{(1+\beta)f} + r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 \sin(\theta_{baxy} + \pi) + r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \sin(\theta_{baxy} + \pi/2) \quad (32)$$

[0118] 顺便提及,作为本申请人的研究结果,已知即使拍摄姿势和摄像倍率改变, $\dot{\theta}_{caxy}$ 和 $\ddot{\theta}_{caxy}$ 也大致恒定。因此,当代入了 $\dot{\theta}_{caxy}$ 和 $\ddot{\theta}_{caxy}$ 的值时,表达式 (32) 所示出的误差比率函数 $f(\theta_{ba})$ 如下所示。

$$f(\theta_{ba}) = \frac{-0.433 \times 10^{-6} \times \tan \theta_{ba} + 0.342}{(1+0.5)f_{(\beta=0.5)}} \quad (33)$$

[0119] $0.0497 \times \tan \theta_{ba} \times \frac{(1+\beta)f}{\beta \times f_{(\beta=0.5)}} \times \frac{0.5}{(1+\beta)f} + 0.342$

[0120] 图 4A 示出表达式 (33) 中的、通过获得拍摄光学系统 105 的焦距 f 和此时的摄像倍率所获得的各摄像倍率处的误差比率。图 4A 示出如上所述将加速度计 121 配置在摄像倍率 $\beta = 0.5$ 处时的误差。

[0121] 随后, 获得每次将加速度计 121 配置在拍摄光学系统 105 的等倍率拍摄时的主点位置 A1 和无限拍摄时的主点位置 A2 之间时的误差比率。例如, 图 4B 和图 5 示出将加速度计 121 配置在等倍率位置和无限位置处时的误差比率。图 6 示出在将加速度计 121 配置在各个拍摄倍率处时、如图 4A、4B 和 5 所示获得的误差比率在各个摄像倍率处的值的积和的结果如何改变。如图 6 所示, 发现如下: 当将加速度计 121 配置在摄像倍率 $\beta = 0.7$ 的位置附近时, 与将加速度计 121 配置在其它拍摄倍率处的情况相比较, 误差比率最小。因此, 可以通过将加速度计 121 配置在拍摄光学系统 105 的摄像倍率 $\beta = 0.7$ 的位置附近来使包括在加速度计 121 的输出中的误差分量最小, 因此加速度计 121 的输出的校正计算时间变得不必要。

[0122] 流程图的说明

[0123] 图 7A 和 7B 是示出与实施例 1 中的图像稳定设备的图像稳定透镜校正有关的操作的流程的流程图。以下将根据图 7A 和 7B 来说明与校正透镜 101 的校正量计算有关的操作。

[0124] 在步骤 (以下称为 S) 1010 中, 当模糊校正 SW 103 处于接通状态时, 通过释放开关 191 的半按下接通来从照相机本体 201 输出校正开始命令。通过接收到该校正开始命令, 模糊校正操作开始。

[0125] 在 S1020 中, 判断是否从照相机本体 201 输出了模糊校正停止命令, 并且当输出了模糊校正停止命令时, 该流程进入步骤 S1400, 并且模糊校正操作停止。当未输出模糊校正停止命令时, 该流程进入 S1030 以继续进行模糊校正操作。因此, 继续进行模糊校正操作, 直到从照相机本体 201 输出模糊校正停止命令为止。

[0126] 在 S1030 中, 读取从焦距检测器 163 获得的数值。使用焦距检测器 163 的该数值来计算摄像倍率 β 。在 S1040 中, 读取从被摄体距离检测器 164 获得的数值 (绝对距离)。在 S1050 中, 基于焦距检测器 163 的数值和被摄体距离检测器 164 的数值计算摄像倍率 β 。摄像倍率 β 的计算是依赖于光学系统结构的特有公式, 并且是基于摄像倍率计算公式所计算出的。摄像倍率 β 的获得不必特别基于该公式来进行, 并且可以根据针对焦距和绝对距离的编码器位置的表来获得该摄像倍率。

[0127] 在 S1060 中, 读取角速度传感器 130 和加速度计 121 的输出。在 S1070 中, 基于来自 S1310 的角速度传感器输出值计算自转角速度 $\dot{\theta}_{cavy}$ 。角速度传感器输出值和自转角速度通常成线性关系, 因此可以通过乘以系数来获得自转角速度。

[0128] 在 S1410 中, 判断是否将释放开关 191 全按下至接通, 即是否全按下未示出的释放按钮。如果判断为“是”, 即如果是照相机的曝光时间, 则该流程进入 S1420, 并且如果判断为“否”, 即如果为曝光之前, 则该流程进入 S1090。在 S1090 中, 对来自 S1080 的加速度计

输出值 $A_{\text{ccy2}(0-X_2Y_2)}$ 进行滤波处理, 并且消除表达式 (27) 的第七项。将消除之后的值设置为 $A'_{\text{ccy2}(0-X_2Y_2)}$ 。

[0129] 在 S1100 中, 将 S1090 的输出值 $A'_{\text{ccy2}(0-X_2Y_2)}$ 除以被摄体侧焦距 r_{axy} , 由此获得公转角加速度 $\ddot{\theta}_{\text{axy}}$ 。此外, 通过对该公转角加速度进行时间积分来获得控制所需的公转角速度 $\dot{\theta}_{\text{axy}}$ 。在下一 S1104 中, 计算公转角速度相对于在 S1070 中获得的自转角速度的比率。在下一 S1106 中, 存储在 S1104 中计算出的自转公转加速度比率的值。当以前的值仍存在时, 利用新的值重写以前的值并进行存储, 并且该流程进入 S1110。

[0130] 在 S1420 中, 读取过去在步骤 S1106 中存储的自转公转角速度比率的值, 并且该流程进入 S1110。在 S1110 中, 判断来自 S1070 的自转角速度 $\dot{\theta}_{\text{caxy}}$ 和来自 S1100 的公转角速度 $\dot{\theta}_{\text{axy}}$ 的比率是否大于 0.1 (大于预定值)。当该比率大于 0.1 时, 该流程进入 S1120。当该比率为 0.1 以下 (预定值以下) 时, 该流程进入 S1130。

[0131] 在 S1120 的自转公转差运动校正计算中, 通过将所读取的摄像倍率 β 、实际焦距值 f 、实时计算出的自转角速度值 $\dot{\theta}_{\text{caxy}}$ 、以及通过将在 S1106 中存储的自转公转角速度比率乘以实时计算出的自转角速度值 $\dot{\theta}_{\text{caxy}}$ 所获得的估计公转角速度 $\dot{\theta}_{\text{axy}}$ 代入表达式 (15), 计算摄像面的 Y_2 方向上的图像运动速度。

$$[0132] \quad \vec{V}_{\text{dcxy}(O_2-X_2Y_2)} \approx -(1+\beta)f(\dot{\theta}_{\text{caxy}} - \dot{\theta}_{\text{axy}})e^{j(\pi/2)} \quad (15)$$

[0133] 所获得的图像运动速度成为校正目标速度。根据表达式 (16) 同样获得摄像面的 Z_2 方向上的图像运动速度, 但这里省略了该说明。

[0134] 在 S1130 的自转运动校正计算中, 在无需根据传感器输出进行计算的情况下, 将代入表达式 (15) 中的公转角速度 $\dot{\theta}_{\text{axy}}$ 设置为常数零。因此, 表达式 (15) 简化并写为如下。

$$[0135] \quad \vec{V}_{\text{dcxy}(O_2-X_2Y_2)} \approx -(1+\beta)f\dot{\theta}_{\text{caxy}}e^{j(\pi/2)}$$

[0136] 如果将实时的来自 S1070 的自转角速度 $\dot{\theta}_{\text{caxy}}$ 代入表达式 (15), 则获得实时的 Y_2 方向上的图像运动速度。

[0137] 在 S1140 中, 考虑到校正透镜 101 的灵敏度, 基于通过自转公转差运动校正计算 (S1120) 或自转运动校正计算 (S1130) 所获得的图像运动速度来进行驱动校正透镜 101 用的跟踪控制计算。此时, 同时监视校正透镜 101 的当前位置输出。

[0138] 在 S1150 中, 将计算结果输出至用于基于步骤 S1140 中的跟踪控制计算结果驱动校正透镜 101 的电压驱动器 161。在将计算结果输出至电压驱动器 161 之后, 该流程返回至 S1020。

[0139] 在 S1300 中, 判断摄像倍率 β 是否为 0.15 以上。当摄像倍率 β 为 0.15 以上时, 该流程进入 S1320。当在 S1300 中摄像倍率 β 小于 0.15 时, 该流程进入 S1410。

[0140] 在 S1320 中, 通过对来自 S1310 的 X_2 轴 (光轴) 方向上的角速度传感器输出值 $A_{\text{ccx2}(0-X_2Y_2)}$ 进行滤波处理, 消去了表达式 (26) 中的不需要的第七项, 并且通过对该值进行时间积分来获得光轴方向运动速度 $\dot{r}_{\text{axy}}$ 。

[0141] 在 S1330 中, 基于来自 S1320 的光轴方向模糊速度 $\dot{r}_{\text{axy}}$ 来进行驱动自动调焦透镜 140 用的跟踪控制计算。在 S1340 中, 基于 S1330 中的跟踪控制计算结果, 将该计算结果输出

至用于驱动自动调焦透镜 140 的自动调焦透镜电压驱动器 142, 之后该流程返回至 S1020。

[0142] 自转公转模型图和自转公转运动公式的详细说明

[0143] 以下将进行自转公转模型图的说明和自转公转运动公式的说明。首先, 将说明图像稳定设备的坐标系。

[0144] 首先, 将说明固定至照相机的移动坐标系 $O_2-X_2Y_2Z_2$ 。当照相机正在抖动时, 坐标系 $O_2-X_2Y_2Z_2$ 与该照相机一体化地进行抖动运动, 因此将该坐标系称为移动坐标系。

[0145] 将利用图 8A 的三维坐标系图来说明三维坐标系。该坐标系是正交坐标系, 并且如图 8A 一样, X_2 轴、 Y_2 轴和 Z_2 轴彼此正交。将纵摇定义为以原点 O_2 为中心的绕 Z_2 轴的转动, 并且对从 $+X_2$ 轴向着 $+Y_2$ 轴的纵摇分配 + 号。将横摆定义为以原点 O_2 为中心的绕 Y_2 轴的转动, 并且对从 $+Z_2$ 轴向着 $+X_2$ 轴的横摆分配 + 号。将侧倾定义为以原点 O_2 为中心的绕 X_2 轴的转动, 并且对从 $+Y_2$ 轴向着 $+Z_2$ 轴的侧倾分配 + 号。

[0146] 图 8D 是将图 1 的照相机截面图简化的照相机侧视图, 并且以透视状态示出镜头。利用图 8D 的照相机侧视图, 将说明固定至照相机的坐标系 $O_2-X_2Y_2Z_2$ 。

[0147] 将该坐标系的原点 O_2 固定至存在于镜筒 102 中的整体光学系统 (拍摄光学系统 105) 的主点 A, 并将光轴上的摄像装置方向设置为 X_2 轴的 + 方向。将照相机上方向 (该图的上方向) 设置为 Y_2 轴的 + 方向, 并将其余的方向设置为 $+Z_2$ 轴。在将照相机投影至 X_2Y_2 平面上的状态下, 利用原点 O_2 和加速度计 121 的位置 B 之间的线段长度 r_{baxy} 、以及由 X_2 轴和该线段 r_{baxy} 所形成的角度 θ_{baxy} 来表示加速度计 121 的位置 B。将以 O_2 轴作为中心的从 $+X_2$ 轴起到 $+Y_2$ 轴方向上的转动方向设置为 + 方向。

[0148] 图 8B 的照相机顶视图示出在投影至 Z_2X_2 平面上的状态下的加速度计 121 的位置 B。在将照相机投影至 Z_2X_2 平面上的状态下, 利用原点 O_2 和加速度计 121 的位置 B 之间的线段 r_{bazz} 、以及由 Z_2 轴和该线段 r_{bazz} 所形成的角度 Ψ_{bazz} 来表示加速度计 121 的位置 B。将从 $+Z_2$ 轴起到 $+X_2$ 轴方向上的转动方向设置为 + 方向。此外, 还利用由 X_2 轴和线段 r_{bazz} 所形成的角度 ζ_{bazz} 来表示该位置 B。将从 $+X_2$ 轴起到 $+Z_2$ 轴方向上的转动方向设置为 + 方向。

[0149] 图 8C 的照相机正视图示出在投影至 Y_2Z_2 平面上的状态下的加速度计 121 的位置。在投影至 Y_2Z_2 平面上的状态下, 利用原点 O_2 和加速度计 121 的位置 B 之间的线段长度 r_{bayz} 、以及由 Y_2 轴和该线段 r_{bayz} 所形成的角度 ρ_{bayz} 来表示加速度计 121 的位置 B。将以 O_2 轴作为中心的从 $+Y_2$ 轴起到 $+Z_2$ 轴方向上的转动方向设置为 + 方向。

[0150] 接着, 将说明存在被摄体 S 的固定坐标系 $O_9-X_9Y_9Z_9$ 。该坐标系 $O_9-X_9Y_9Z_9$ 与被摄体成一体, 因此被称为固定坐标系。

[0151] 图 9 是在三维空间内仅表示照相机的光学系统的图。点 $A = O_2$ 是已说明的拍摄光学系统 105 的主点 A, 并且还是坐标系 $O_4-X_4Y_4Z_4$ 的原点 O_4 。

[0152] 将说明固定坐标系 $O_9-X_9Y_9Z_9$ 的初始状态 (时刻 $t = 0$) 的配置。坐标原点 O_9 与要拍摄的被摄体一致。将坐标轴 $+Y_9$ 设置成与地球的重力加速度方向相反的方向。任意配置其余的坐标轴 $+X_9$ 和 $+Z_9$ 。点 D 是被摄体 S 的成像点, 并且在几何光学上存在于线段 OA 的延长线上。

[0153] 利用图 10A, 将说明固定坐标系 $O_9-X_9Y_9Z_9$ 中的主点 A 的三维表示方法。由于在空间中示出照相机的位置, 因此图 10A 仅示出作为基准的主点 A, 并且没有示出诸如成像点 D 等的其它部分。主点 A 由以原点 O_9 作为基准的矢量示出, 并被设置为 $\overrightarrow{R_a}$ 。将 $\overrightarrow{R_a}$ 的长度设置

为标量 r_a 。将以 O_9 作为中心的 Z_9 和 $\overrightarrow{R_a}$ 之间的角度设置为 Ψ_a 。将作为包括 $\overrightarrow{R_a}$ 和 Z_9 轴的平面和 XY 平面之间的交线的直线 OJ 与 X_9 轴之间的角度设置为 θ_a 。

[0154] 如上所述,可以利用标量 r_a 、角度 Ψ_a 和角度 θ_a 这三个值来在极坐标系中表示 $\overrightarrow{R_a}$ 。如果可以通过传感器等进行测量计算出这三个值,则获得了照相机的主点 A 的位置。

[0155] 参考:正交坐标系变换公式

[0156] 在这种情况下,用于将主点 A 的位置从极坐标系变换成正交坐标系的公式是以下公式。

[0157] 在图 10B 中,示出正交坐标系,

$$[0158] \quad X_a = r_a \sin \Psi_a \times \cos \theta_a$$

$$[0159] \quad Y_a = r_a \sin \Psi_a \times \sin \theta_a$$

$$[0160] \quad Z_a = r_a \cos \Psi_a$$

[0161] 投影坐标系的说明

[0162] 接着,将参考图 11 来说明将 $\overrightarrow{R_a}$ 投影至 X_9Y_9 平面上时的坐标表示和将 $\overrightarrow{R_a}$ 投影至 Z_9X_9 平面上时的坐标表示。将利用图 11 来说明移动坐标系 $O_4-X_4Y_4Z_4$ 。还对主点 A 设置移动坐标系 $O_4-X_4Y_4Z_4$ 。将原点 O_4 固定至主点 A。更具体地,原点 O_4 还随着主点 A 的移动而移动。坐标轴 $+X_4$ 与坐标轴 $+X_9$ 总是平行配置,并且坐标轴 $+Y_4$ 与坐标轴 $+Y_9$ 总是平行配置。当主点 A 移动时,总是保持平行性。主点 A 处的重力加速度 $\vec{G}$ 的方向是坐标轴 Y_9 的负方向。

[0163] 将说明投影至 X_9Y_9 平面上时的二维坐标系。在图 11 中,将作为主点 A 投影在 X_9Y_9 平面上的点设置为主点 A_{xy} 。将原点 O_9 和主点 A_{xy} 之间的线段设置为标量 r_{axy} ,并且将以原点 O_9 作为中心的 X_9 轴和标量 r_{axy} 之间的角度设置为 θ_{axy} 。角度 θ_{axy} 是与上述的 θ_a 相同的角度。为了明确该角度是投影至 X_9Y_9 平面上的角度的事实,分配了附图标记 xy。

[0164] 图 12 示出投影至 X_9Y_9 平面上的照相机状态。在这种情况下,还示出照相机的外形和镜头。将坐标系 $O_4-X_4Y_4$ 的原点 O_4 固定至上述的主点 A_{xy} 。当主点 A_{xy} 移动时, X_4 轴与 X_9 轴保持平行状态,并且 Y_4 轴与 Y_9 轴保持平行状态。

[0165] 如上所述,坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 的原点 O_2 固定至主点 A_{xy} ,并且与照相机一体化地移动。此时, X_2 轴与该照相机的光轴总是一致。将以原点 O_2 作为中心从 X_4 轴转动至 X_2 轴时的角度设置为 θ_{caxy} ($= \theta_{ca}$:完全相同的值)。主点 A_{xy} 处的重力加速度 $\vec{G}_{xy}$ 处于以主点 A_{xy} 作为中心从 X_4 轴起的正转动(逆时针),并且将相对于 $\vec{G}_{xy}$ 的角度设置为 θ_{gxy} 。该 θ_{gxy} 是恒定值。

[0166] 这里,将说明本发明所使用的术语。在本发明中,通过比照太阳和地球的运动,将被摄体存在的原点 O_9 比作太阳,并将照相机的主点 A 比作地球中心。将角度 θ_{axy} 称为 XY 平面内的“公转角度”,并将角度 θ_{caxy} 称为 XY 平面内的“自转角度”。更具体地,这与如下事实相似:公转表示地球(照相机)绕太阳(被摄体)运动,而自转表示地球(照相机)自身转动。

[0167] 接着,将说明将照相机投影至 Z_9X_9 平面上时的二维坐标表示。图 13 示出投影至 Z_9X_9 平面上的照相机状态。这里,还示出照相机的外形和镜头。将坐标系 $O_4-Z_4X_4$ 的原点 O_4 固定至主点 A_{zx} 。当主点 A_{zx} 移动时, Z_4 轴与 Z_9 轴保持平行状态,并且 X_4 轴与 X_9 轴保持平行状态。

[0168] 坐标系 $O_2-Z_2X_2$ 的原点固定至主点 O_2 , 并且与照相机一体化地移动。此时, X_2 轴与照相机的光轴总是一致。将以原点 O_2 作为中心从 Z_4 轴转动至 X_2 轴时的角度设置为 Ψ_{cazx} 。此外, 将以原点 O_2 作为中心从 X_4 轴转动至 X_2 轴时的角度设置为 ζ_{cazx} 。

[0169] 在图 14 的三维坐标系中, 将说明时刻 $t = 0$ 的初始时刻的照相机初始状态。将基于如下假设来进行说明: 在固定坐标系 $O_9-X_9Y_9Z_9$ 中, 为了在这种情况下方便, 拍摄者将被摄体 $S(t = 0)$ 拍摄成与取景器或液晶显示器 (LCD) 的中心相对应, 并且被摄体 $S(t = 0)$ 位于光轴上。使原点 O_9 与被摄体 $S(t = 0)$ 相对应。拍摄光学系统 105 的主点 A 和形成被摄体 $S(t = 0)$ 的图像的成像点 D 在几何光学上存在于直线的光轴上。主点 A 的位置处的重力加速度 $\vec{G}$ 在坐标轴 Y_9 的负方向上。

[0170] 如果拍摄者使期望的被摄体 S 被拍摄成与除取景器或液晶显示器 (LCD) 的中心以外的自动调焦 (AF) 框相对应, 则将连接被摄体 S 和主点 A 的线段设置为 $\overline{Ra}$, 并且可以进行建模。

[0171] 接着, 设置新的固定坐标系 $O-XYZ$ 。使该固定坐标系 $O-XYZ$ 的原点 O 与原点 O_9 相对应, 并且使坐标轴 X 与照相机的光轴相对应。对坐标轴 Y 的方向进行设置, 以使得坐标轴 Y_9 存在于 XY 平面内。如果设置了坐标轴 X 和坐标轴 Y , 则唯一设置了坐标轴 Z 。

[0172] 如图 15 所示, 为了便于说明, 没有示出固定坐标系 $O_9-X_9Y_9Z_9$, 并且以下仅示出固定坐标系 $O-XYZ$ 作为固定坐标系。根据该坐标系的前述定义, 在时刻 $t = 0$ 的初始状态下, 重力加速度 $\vec{G}$ 存在于 XY 平面内。

[0173] 接着, 推导示出照相机抖动和图像运动之间的关系的模糊表达式。为了便于数学表达式的表示, 使用极坐标系表示。此外, 进行矢量和角度的一阶微分和二阶微分。因而, 通过使用作为极坐标系的基本说明图的图 16, 将说明常见且在这里使用的数学表达式中的记号的含义。由位置 $\vec{R}$ 示出存在于坐标系 $O-XY$ 上的点 A 的位置表示。位置 $\vec{R}$ 是时间的函数, 并且还可被记述为 $\vec{R}(t)$ 。

[0174] 位置矢量:

$$[0175] \quad \vec{R}(t) = r(t)e^{j\theta(t)}$$

$$[0176] \quad = \vec{R}$$

$$[0177] \quad = re^{j\theta}$$

$$[0178] \quad = r \cos \theta + jr \sin \theta \quad (1)$$

[0179] 实数项 $r \cos \theta$ 是 X 方向分量, 并且虚数项 $jr \sin \theta$ 是 Y 方向分量。在以正交坐标系进行表示的情况下, X 方向分量是 $A_x = r \cos \theta$, 并且 Y 方向分量是 $A_y = r \sin \theta$ 。

[0180] 接着, 通过利用时间 t 对位置 $\vec{R}$ 进行一阶微分来获得速度 $\vec{V} = \dot{\vec{R}}$ 。

[0181] 速度矢量:

$$[0182] \quad \vec{V} = \dot{\vec{R}}$$

$$[0183] \quad = \dot{r}e^{j\theta} + r\dot{\theta}e^{j(\theta+\pi/2)} \quad (2)$$

[0184] 在以正交坐标系进行表示的情况下, X 方向分量是

$$V_x = \dot{A}_x = \dot{r} \cos \theta + r\dot{\theta} \cos(\theta + \pi/2) \quad , \text{ 并且 } Y \text{ 方向分量是 } V_y = \dot{A}_y = \dot{r} \sin \theta + r\dot{\theta} \sin(\theta + \pi/2)。$$

[0185] 接着,通过利用时间 t 对速度 $\vec{R}$ 进行一阶微分来获得加速度 $\vec{R}$ 。

[0186] 加速度矢量:

$$[0187] \quad \ddot{R} = \ddot{r}e^{j\theta} + r\ddot{\theta}e^{j(\theta+\pi)} + r\ddot{\theta}e^{j(\theta+\pi/2)} + 2\dot{r}\dot{\theta}e^{j(\theta+\pi/2)} \quad (3)$$

[0188] 其中,

[0189] 第一项: $\ddot{r}e^{j\theta}$ 表示长度 r 的变化的加速度分量,

[0190] 第二项: $r\ddot{\theta}e^{j(\theta+\pi)}$ 表示向心力分量,

[0191] 第三项: $r\ddot{\theta}e^{j(\theta+\pi/2)}$ 表示角加速度分量,以及

[0192] 第四项: $2\dot{r}\dot{\theta}e^{j(\theta+\pi/2)}$ 表示科氏力分量。

[0193] 在以正交坐标系进行表示的情况下,通过以下表达式 (4a) 和 (4b) 来获得加速度矢量。

[0194] X 方向分量 $\ddot{A}_x$:

$$[0195] \quad \ddot{A}_x = \ddot{r} \cos \theta + r\ddot{\theta}^2 \cos(\theta + \pi) + r\ddot{\theta} \cos(\theta + \pi/2) + 2\dot{r}\dot{\theta} \cos(\theta + \pi/2) \quad (4a)$$

[0196] Y 方向分量 $\ddot{A}_y$:

$$[0197] \quad \ddot{A}_y = \ddot{r} \sin \theta + r\ddot{\theta}^2 \sin(\theta + \pi) + r\ddot{\theta} \sin(\theta + \pi/2) + 2\dot{r}\dot{\theta} \sin(\theta + \pi/2) \quad (4b)$$

[0198] 在将照相机投影至图 17 所示的 XY 平面上的二维 XY 坐标系中将说明本发明的理论公式。在图 17 中,还将说明二维 XY 坐标系的坐标系和记号的设置。将通过部分包括已说明了的内容来进行说明。

[0199] 将被摄体 S 配置在固定坐标系 O-XY 上。在时刻 $t = 0$ 时的初始状态图中,将说明这些记号。在初始状态下 ($t = 0$),照相机的光轴与固定坐标系 O-XY 的坐标轴 X 相对应。在初始状态下 ($t = 0$),被摄体 S 与固定坐标系 O-XY 的原点 O 相对应。在固定坐标系 O-XY 中,主点 A 由 $\vec{R}_{axy}$ 来表示。将原点 O 和照相机的主点 A 之间的线段长度设置为标量 r_{axy} ,并且将原点 O 经由镜头形成图像的点设置为成像点 D。点 C 是摄像装置 203 的中心点,并且在初始状态下 ($t = 0$),成像点 D 与点 C 相对应。

[0200] 在特定时刻 ($t = t_2$) 时的移动状态图中,将说明这些记号。坐标系 $O_4-X_4Y_4$ 的原点 O_4 固定至主点 A,坐标轴 X_4 与坐标轴 X 总是保持平行,并且坐标轴 Y_4 与坐标轴 Y 总是保持平行。坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 的原点 O_2 固定至主点 A,并且坐标轴 X_2 总是保持处于照相机的光轴方向。

[0201] 加速度计 121 固定至照相机内部的点 B,并且在坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 中由 $\vec{R}_{baxy}$ 来表示。将线段 AB 的长度设置为标量 r_{baxy} ,并且将以原点 O_2 作为中心从坐标轴 X_2 轴转动至线段 AB 的角度设置为 θ_{baxy} 。

[0202] 原点 O 的图像经由镜头在与摄像装置中心的点 C 不同的点 D 的位置处形成图像。由 $\vec{R}_{daxy}$ 来表示以主点 A 作为基准的成像点 D。由 $\vec{R}_{dcxy}$ 来表示以点 C 作为基准的点 D。作为从点 C 到点 D 的长度的标量 r_{dcxy} 是成像点 D 在时刻 $t = 0$ 至时刻 t_2 内移动的长度。将特定时刻 t_2 时在移动坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 中成像点 D 相对于点 C 的相对移动速度矢量设置为

$\vec{V}_{daxy(O_2-X_2Y_2)}$ 。

[0203] 在固定坐标系 $O-XY$ 中, 将以原点 O 作为中心从坐标轴 X 向 $\vec{R}_{axy}$ 所形成的角度设置为自转角度 θ_{axy} 。在移动坐标系 $O_4-X_4Y_4$ 中, 将以原点 O_4 作为中心从坐标轴 X_4 向坐标轴 X_2 所形成的角度设置为公转角度 θ_{caxy} 。

[0204] 将 $\vec{R}_{axy}$ 的利用时间 t 的一阶微分记述为 $\dot{\vec{R}}_{axy}$, 并将 $\vec{R}_{axy}$ 的二阶微分记述为 $\ddot{\vec{R}}_{axy}$ 。将 $\vec{R}_{caxy}$ 同样记述为 $\dot{\vec{R}}_{caxy}$ 和 $\ddot{\vec{R}}_{caxy}$, 将 $\vec{R}_{daxy}$ 同样记述为 $\dot{\vec{R}}_{daxy}$ 和 $\ddot{\vec{R}}_{daxy}$, 将公转角度 θ_{caxy} 同样记述为 $\dot{\theta}_{caxy}$ 和 $\ddot{\theta}_{caxy}$, 并且将自转角度 θ_{axy} 同样记述为 $\dot{\theta}_{axy}$ 和 $\ddot{\theta}_{axy}$ 。

[0205] 在特定时刻 t_2 时, 获得了移动坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 中以点 C 作为基准的成像点 D 的相对运动速度 $\vec{V}_{daxy(O_2-X_2Y_2)}$ 。通过以下的表达式 (5) 来获得固定坐标系 $O-XY$ 中的成像点 D 处的移动速度 $\vec{V}_{daxy(O-XY)}$ 。

$$\begin{aligned}
 [0206] \quad \vec{V}_{daxy(O-XY)} &= \dot{\vec{R}}_{daxy(O-XY)} \\
 [0207] \quad &= \dot{r}_{daxy} e^{j\theta_{axy}} + r_{daxy} \dot{\theta}_{daxy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2)} \\
 [0208] \quad &= \dot{r}_{daxy} e^{j\theta_{axy}} + r_{daxy} \dot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2)} \\
 &\because \dot{\theta}_{daxy} = \dot{\theta}_{axy} \\
 [0209] \quad & \\
 & \hspace{15em} (5)
 \end{aligned}$$

[0210] 通过以下的表达式 (6) 来获得固定坐标系 $O-XY$ 中的摄像装置中心 C 的移动速度 $\vec{V}_{caxy(O-XY)}$ 。

$$\begin{aligned}
 [0211] \quad \vec{V}_{caxy(O-XY)} &= \dot{\vec{R}}_{caxy(O-XY)} \\
 [0212] \quad &= \dot{r}_{caxy} e^{j\theta_{caxy}} + r_{caxy} \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{caxy} + \pi/2)} \\
 [0213] \quad &= r_{caxy} \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{caxy} + \pi/2)} \\
 &\because \dot{r}_{caxy} = 0 \\
 [0214] \quad & \\
 & \hspace{15em} (6)
 \end{aligned}$$

[0215] 根据几何光学的图像形成公式来推导表达式 (7),

$$[0216] \quad 1/f = 1/r_{axy} + 1/r_{daxy} \quad (7)$$

[0217] 其中, f 表示光学系统的焦距。对表达式 (7) 进行如下变形。

$$[0218] \quad r_{daxy} = \frac{fr_{axy}}{r_{axy} - f}$$

$$[0219] \quad \dot{r}_{daxy} = f \dot{r}_{axy} (r_{axy} - f)^{-1} - f r_{axy} \dot{r}_{axy} (r_{axy} - f)^{-2}$$

[0220] 基于以上表达式,根据以下的表达式 (8) 来获得固定坐标系 O-XY 中成像点 D 相对于点 C 的相对移动速度 $\vec{V}_{dcxy(O-XY)}$ 。

$$[0221] \quad \vec{V}_{dcxy} = \vec{R}_{dcxy}$$

$$[0222] \quad = \vec{V}_{dxy} - \vec{V}_{cxy}$$

$$[0223] \quad = (\vec{V}_{daxy} - \vec{V}_{axy}) - (\vec{V}_{caxy} + \vec{V}_{axy})$$

$$[0224] \quad = \vec{V}_{daxy} - \vec{V}_{caxy}$$

$$[0225] \quad = \dot{r}_{daxy} e^{j\theta_{axy}} + r_{daxy} \dot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2)} - r_{caxy} \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{caxy} + \pi/2)}$$

$$[0226] \quad = \left[f \dot{r}_{axy} (r_{axy} - f)^{-1} - f r_{axy} \dot{r}_{axy} (r_{axy} - f)^{-2} \right] e^{j\theta_{axy}} \\ + f r_{axy} (r_{axy} - f)^{-1} \dot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2)} - r_{caxy} \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{caxy} + \pi/2)}$$

[0227]

(8)

[0228] 根据以下的表达式 (9) 来获得标量 r_{caxy} 和标量 $r_{axy}(t=0)$ 之间的关系。

$$[0229] \quad r_{caxy} = r_{daxy}(t=0)$$

$$[0230] \quad = f \cdot r_{axy}(t=0) \cdot (r_{axy}(t=0) - f)^{-1} = (1 + \beta) f \quad (9)$$

[0231] 通过代入上述表达式,由以下的表达式 (10) 获得固定坐标系 O-XY 中的相对移动速度 $\vec{V}_{dcxy(O-XY)}$ 。

[0232]

$$\vec{V}_{dcxy(O-XY)} = \left[f \dot{r}_{axy} (r_{axy} - f)^{-1} - f r_{axy} \dot{r}_{axy} (r_{axy} - f)^{-2} \right] e^{j\theta_{axy}}$$

[0233]

$$+ f r_{axy} (r_{axy} - f)^{-1} \dot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2)} - (1 + \beta) f \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{caxy} + \pi/2)} \quad (10)$$

[0234] 接着,将该坐标从固定坐标系 O-XY 转换成固定至照相机的移动坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 。为此,使 $\vec{V}_{dcxy(O-XY)}$ 转动了转动角度 $(-\theta_{caxy})$ 。因此,根据以下的表达式 (11) 来获得固定至照相机上的移动坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 中的图像运动速度 $\vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)}$ 。

$$[0235] \quad \vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)} = \vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)} e^{j(-\theta_{caxy})}$$

$$[0236] \quad = \left[f \dot{r}_{axy} (r_{axy} - f)^{-1} - f r_{axy} \dot{r}_{axy} (r_{axy} - f)^{-2} \right] e^{j(\theta_{axy} - \theta_{caxy})} \quad (11)$$

$$[0237] \quad + f r_{axy} (r_{axy} - f)^{-1} \dot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2 - \theta_{caxy})} - (1 + \beta) f \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{caxy} + \pi/2 - \theta_{caxy})}$$

[0238] 当进一步整理该表达式时,获得了前述表达式 (12)。由于移动坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 中的

图像运动速度 $\vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)}$ 是相对于照相机的摄像面的相对图像运动速度, 因此该表达式是严格表示实际被记录为图像的图像运动的严格表达式。在该严格表达式中, 虚数部分、即坐标轴 Y_2 方向分量是摄像面内在照相机的垂直方向上的图像运动分量。此外, 表达式 (12) 的实数部分、即坐标轴 X_2 方向分量是照相机的光轴方向上的图像运动分量, 并且是发生所谓的模糊图像的分量。

[0239] 将拍摄者的手所支持的照相机的抖动看作为以空间内的特定点作为中心的振幅非常小的振动运动, 因此根据以下条件将严格获得的移动坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 中的图像运动速度 $\vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)}$ 变换成近似表达式。

[0240] 假定特定时刻 t_2 时的状态是在时刻 $t = 0$ 时的初始状态附近的振动, 并且获得以下的表达式 (13)。

$$[0241] \quad r_{axy} \approx (1 + \beta) f / \beta \quad (13)$$

[0242] 当进行变换时, 获得以下。

$$[0243] \quad r_{axy} - f \approx f / \beta. \because f \cdot r_{axy} / (r_{axy} - f) = f \cdot (1 + \beta) (f / \beta) / (f / \beta) = f \cdot (1 + \beta)$$

[0244] 如果这样, 则 $\dot{r}_{axy} \approx 0$, 并且将 $\theta_{axy} + \pi / 2 - \theta_{caxy} \approx \pi / 2$ 代入 $\vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)}$, 从而推导出以下的表达式 (14)。

$$[0245] \quad \vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)} = V_{dcxy(O-XY)} e^{j(-\theta_{caxy})}$$

$$[0246] \quad \approx \left[f \times 0 \times (r_{axy} - f)^{-1} - f r_{axy} \times 0 \times (r_{axy} - f)^{-2} \right] e^{j(\theta_{axy} - \theta_{caxy})}$$

$$[0247] \quad + (1 + \beta) f \dot{\theta}_{axy} e^{j(\pi/2)} - (1 + \beta) f \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\pi/2)}$$

$$[0248] \quad \approx -(1 + \beta) f (\dot{\theta}_{caxy} - \dot{\theta}_{axy}) e^{j(\pi/2)}$$

[0249] 因此, XY 平面内的移动坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 中的图像运动速度 $\vec{V}_{dcxy(O_2-X_2Y_2)}$ 的近似理论公式变为前述表达式 (15)。表示表达式 (15) 的右侧的图像运动矢量的方向的分量是 $e^{j\pi/2}$, 因此该图像运动方向是相对于 X_2 轴成 90 度的方向上的 Y_2 轴方向。 $\dot{\theta}_{caxy}$ 表示以主点 A 为中心的自转角速度, 并且 $\dot{\theta}_{axy}$ 表示以固定坐标系的原点 O 为中心的主点 A 的公转角速度。 β 表示该光学系统的摄像倍率, 并且 f 表示实际焦距。 $(1 + \beta) f$ 表示图像侧焦距。因此, 该近似表达式表示摄像面内的 Y_2 方向上的图像运动速度为 $-(\text{图像侧焦距}) \times (\text{通过从自转角速度减去公转角速度所获得的值})$ 。

[0250] 将利用图 18 来说明在投影至 ZX 平面上时的二维 ZX 坐标系中的本发明的图像运动理论公式。当抖动是以初始状态位置作为中心的非常小的振动运动时, 近似条件为 $\zeta_{azx} \approx 0$ 、 $\zeta_{cazx} \approx 0$ 、 $r_{azx} \approx \text{恒定值}$ 、 $\dot{r}_{azx} \approx 0$ 、并且 $\ddot{r}_{azx} \approx 0$ 。根据这些近似条件, 通过与 XY 平面内的近似公式 $V_{dcxy(O_2-X_2Y_2)}$ 相同的过程, ZY 平面内的移动坐标系 $O_2-Z_2X_2$ 中的图像运动速度 $\vec{V}_{dczy(O_2-Z_2X_2)}$ 的近似理论公式与以下的表达式 (16) 相同。

$$[0251] \quad \vec{V}_{dczy(O_2-Z_2X_2)} \approx -(1 + \beta) f (\dot{\zeta}_{cazx} - \dot{\zeta}_{azx}) e^{j\pi/2} \quad (16)$$

[0252] 表示表达式 (16) 的右侧的图像模糊矢量的方向的分量是 $e^{j\pi/2}$, 因此图像运动方

向是相对于 X_2 轴成 90 度的方向上的 Z_2 轴方向。 $\dot{\zeta}_{cazx}$ 表示以主点 A 为中心的自转角速度, 并且 $\dot{\zeta}_{azx}$ 表示以固定坐标系的原点 O 为中心的主点 A 的公转角速度。 β 表示该光学系统的摄像倍率, 并且 f 表示该光学系统的实际焦距。 $(1+\beta)f$ 表示图像侧焦距。因此, 该近似公式表示摄像装置面内的 X_2 方向上的图像运动速度是 $-(\text{图像侧焦距}) \times (\text{通过从自转角速度减去公转角速度所获得的值})$ 。

[0253] 还将说明加速度计 121 的输出信号。在 XY 坐标平面中, 可以将主点 A 处的公转角速度表示为如下。

[0254]

$$\dot{\theta}_{axy} = \int (\text{点A处的与线段 } r_{axy} \text{ 正交的加速度分量}) dt / r_{axy}$$

[0255] 因此, 可以测量和计算出加速度 $\ddot{\vec{R}}_a$ 。在本实施例中, 加速度计 121 固定至点 B, 因此需要通过基于点 B 处的加速度计的输出来进行计算来获得点 A 处的加速度值。这里, 获得点 B 处的加速度和加速度计实际配置的主点 A 处的加速度之间的差值、以及点 B 处的理论加速度值。明确图像模糊控制时不需要的分量 (项)。

[0256] 首先, 根据以下的表达式 (17) 来获得固定坐标系 O-XY 中在主点 A 处发生的加速度矢量 $\ddot{\vec{R}}_{a(O-XY)}$ 。

[0257] $\ddot{\vec{R}}_{a(O-XY)}$

[0258] $= \ddot{r}_{axy} e^{j\theta_{axy}}$ (第一项: 长度 r_a 的变化的加速度分量)

[0259] $+ r_{axy} \dot{\theta}_{axy}^2 e^{j(\theta_{axy} + \pi)}$ (第二项: 向心力)

[0260] $+ r_{axy} \ddot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2)}$ (第三项: 角加速度分量)

[0261] $+ 2\dot{r}_{axy} \dot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2)}$ (第四项: 科氏力分量)

[0262] $+ Ge^{j(\theta_{gxy} - \pi)}$ (重力 G 的加速度分量)

[0263] (17)

[0264] (这里, 重力 G 作为反作用力作用于加速度计 121, 因此从表示重力方向的角度 θ_{gxy} 减去 180 度。)

[0265] 将获得固定坐标系 O-XY 中点 B 相对于主点 A 的相对加速度 $\ddot{\vec{R}}_{baxy(O-XY)}$ 。首先, 根据以下的表达式 (18) 来获得相对位置 $\vec{R}_{baxy(O-XY)}$ 。

[0266] $\vec{R}_{baxy(O-XY)} = r_{ba} e^{j(\theta_{ba} + \theta_{ca})}$ (18)

[0267] 如果利用时间 t 进行了表达式 (18) 的一阶微分, 则可以获得速度矢量。由于将点 A 和 B 固定至同一刚体, 因此基于 $r_{baxy} = \text{恒定值}$ 、 $\dot{r}_{baxy} = 0$ 、 $\theta_{baxy} = \text{恒定值}$ 、 $\dot{\theta}_{baxy} = 0$ 和 $\dot{\theta}_{caxy} = \text{自转分量 (变量)}$, 根据以下的表达式 (19) 来获得相对速度 $\dot{\vec{R}}_{baxy(O-XY)}$ 。

$$[0268] \quad \vec{R}_{baxy(O-XY)} = \dot{r}_{baxy} e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy})} + r_{baxy} (\dot{\theta}_{baxy} + \dot{\theta}_{caxy} \theta) e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi/2)}$$

$$[0269] \quad = (0) e^{j\theta_{baxy}} + r_{baxy} (0 + \dot{\theta}_{caxy}) e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi/2)} \quad (19)$$

$$[0270] \quad = r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi/2)}$$

[0271] 接着, 获得加速度矢量。根据以下的表达式 (20) 来获得固定坐标系 O-XY 中点 B (加速度计位置) 相对于点 A 的相对加速度矢量 $\vec{R}_{baxy(O-XY)}$ 。

$$[0272] \quad \vec{R}_{baxy(O-XY)} = \ddot{r}_{baxy} e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy})} + r_{baxy} (\ddot{\theta}_{baxy} + \ddot{\theta}_{caxy}) e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi)}$$

$$[0273] \quad + r_{baxy} (\ddot{\theta}_{baxy} + \ddot{\theta}_{caxy}) e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi/2)} + 2\dot{r}_{baxy} (\dot{\theta}_{baxy} + \dot{\theta}_{caxy}) e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi/2)}$$

$$[0274] \quad = 0 \times e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy})} + r_{baxy} (0 + \ddot{\theta}_{caxy}) e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi)}$$

$$[0275] \quad + r_{baxy} (0 + \ddot{\theta}_{caxy}) e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi/2)} + 2 \times 0 \times (0 + \dot{\theta}_{caxy}) e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi/2)}$$

$$[0276] \quad = r_{baxy} (\dot{\theta}_{caxy})^2 e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi)} + r_{baxy} (\ddot{\theta}_{caxy}) e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi/2)}$$

$$[0277] \quad (= \text{向心力} + \text{角加速度量}) \quad (20)$$

[0278] 该表达式值是由于加速度计 121 相对于作为理想位置的主点 A 而实际安装在位置 B 处的事实而产生的运动矢量误差量。

[0279] 由已经获得的从原点 O 向着主点 A 的矢量以及从主点 A 向着点 B 的矢量的和来表示固定坐标系 O-XY 中的点 B 处的加速度 $\vec{R}_{baxy(O-XY)}$ 。首先, 通过以下的表达式 (21) 利用主点 A 来表示固定坐标系 O-XY 中的点 B 处的位置 $\vec{R}_{baxy(O-XY)}$ 。

[0280] 位置矢量:

$$[0281] \quad \vec{R}_{baxy(O-XY)} = r_{baxy} e^{j\theta_{bxy}}$$

$$[0282] \quad = \vec{R}_{axy} + \vec{R}_{baxy}$$

$$[0283] \quad = r_{axy} e^{j\theta_{axy}} + r_{baxy} e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy})} \quad (21)$$

[0284] 速度矢量:

$$[0285] \quad \vec{R}_{baxy(O-XY)} = \dot{r}_{baxy} e^{j\theta_{bxy}} + r_{baxy} \dot{\theta}_{bxy} e^{j(\theta_{bxy} + \pi/2)}$$

$$[0286] \quad = \vec{R}_{axy} + \vec{R}_{baxy}$$

$$[0287] \quad = \dot{r}_{axy} e^{j\theta_{axy}} + r_{axy} \dot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2)} + r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi/2)} \quad (22)$$

[0288] 加速度矢量:

$$[0289] \quad \vec{R}_{baxy(O-XY)} = \ddot{R}_{axy} + \ddot{R}_{baxy}$$

$$[0290] \quad = \ddot{r}_{axy} e^{j\theta_{axy}} + r_{axy} \ddot{\theta}_{axy}^2 e^{j(\theta_{axy} + \pi)} + r_{axy} \ddot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2)} + 2\dot{r}_{axy} \dot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} + \pi/2)}$$

$$[0291] \quad + r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi)} + r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} + \pi/2)} + G e^{j(\theta_{gxy} - \pi)} \quad (23)$$

[0292] 接着, 计算移动坐标系 $O_2-X_2Y_2$ 中的点 B 处的加速度 $\ddot{\vec{R}}_{bxy(O_2-X_2Y_2)}$ 。期望计算出的加速度的范围 (标量) 位于被摄体存在的固定坐标系 $O-XYZ$ 中。此外, 将加速度固定至移动坐标系 $O_2-X_2Y_2$, 加速度计 121 的三个轴指向 X_2 轴方向、 Y_2 轴方向和 Z_2 轴方向, 并且需要利用移动坐标系 $O_2-X_2Y_2Z_2$ 的坐标轴方向来表示加速度分量。

[0293] 将详细说明加速度计 121 的配置状态。三轴输出的加速度计 121 配置在点 B 处。在移动坐标系 $O_2-X_2Y_2Z_2$ 中, 将该加速度计的轴设置为灵敏度方向在与 X_2 轴平行的方向上的加速度计输出 A_{ccx2} 、灵敏度方向在与 Y_2 轴平行的方向上的加速度计输出 A_{ccy2} 以及灵敏度方向在与 Z_2 轴平行的方向上的加速度计输出 A_{ccz2} 。由于这里说明了 XY 平面内的运动, 因此将说明加速度计输出 A_{ccx2} 和加速度计输出 A_{ccy2} 。

[0294] 为了通过将以上所获得的固定坐标系 $O-XY$ 中的点 B 处的加速度 $\ddot{\vec{R}}_{bxy(O-XY)}$ 转换成原样具有原点 O 的 X_2 轴和 Y_2 轴方向上的分量来获得加速度 $\ddot{\vec{R}}_{bxy(O-X_2Y_2)}$, 可以在与照相机的自转角度 θ_{caxy} 相反的方向上进行坐标转换。因此, 建立了以下的表达式 (24)。

[0295] 加速度计输出 :

$$[0296] \quad \vec{A}_{cc(O-X_2Y_2)} = \ddot{\vec{R}}_{bxy(O-XY)} e^{j(-\theta_{caxy})}$$

$$[0297] \quad = \ddot{r}_{axy} e^{j(\theta_{axy} - \theta_{caxy})} \quad (\text{第一项 : 光轴方向分量})$$

$$[0298] \quad + r_{axy} \dot{\theta}_{axy}^2 e^{j(\theta_{axy} - \theta_{caxy} + \pi)} \quad (\text{第二项 : 公转的向心力})$$

$$[0299] \quad + r_{axy} \ddot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} - \theta_{caxy} + \pi/2)} \quad (\text{第三项 : 公转的加速度})$$

$$[0300] \quad + 2\dot{r}_{axy} \dot{\theta}_{axy} e^{j(\theta_{axy} - \theta_{caxy} + \pi/2)} \quad (\text{第四项 : 科氏力})$$

$$[0301] \quad + r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} - \theta_{caxy} + \pi)} \quad (\text{第五项 : 自转的向心力})$$

$$[0302] \quad + r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{baxy} + \theta_{caxy} - \theta_{caxy} + \pi/2)} \quad (\text{第六项 : 自转的加速度})$$

$$[0303] \quad + G e^{j(\theta_{gxy} - \pi - \theta_{caxy})} \quad (\text{第七项 : 重力加速度分量})$$

$$[0304] \quad (24)$$

[0305] 通过代入近似条件来获得近似表达式。给出了限制条件, 使得公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 和自转角速度 $\dot{\theta}_{caxy}$ 是以 0 为中心的非常小的振动 (±), 使得 $\theta_{axy} \approx 0$ 和 $\theta_{caxy} \approx 0$ 。此外, 假定标量 r_{axy} 极其微小地改变, 以使得 $\dot{r}_{axy}$ = 有限值, $\ddot{r}_{axy}$ = 有限值, θ_{baxy} 大致满足 $\pi/2 - \pi/4 \leq \theta_{baxy} \leq \pi/2 + \pi/4$ 。

[0306] 加速度计输出 :

$$[0307] \quad \vec{A}_{cc(O-X_2Y_2)} = \ddot{\vec{R}}_{bxy(O-XY)} e^{j(-\theta_{caxy})}$$

[0308] $\approx \ddot{r}_{axy} e^{j(0-0)}$ (第一项:光轴方向分量)

[0309] $+ r_{axy} \dot{\theta}_{axy}^2 e^{j(0-0+\pi)}$ (第二项:公转的向心力)

[0310] $+ r_{axy} \ddot{\theta}_{axy} e^{j(0-0+\pi/2)}$ (第三项:公转的加速度)

[0311] $+ 2\dot{r}_{axy} \dot{\theta}_{axy} e^{j(0-0+\pi/2)}$ (第四项:科氏力)

[0312] $+ r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 e^{j(\theta_{baxy}+0+\pi)}$ (第五项:自转的向心力)

[0313] $+ r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} e^{j(\theta_{baxy}+0+\pi/2)}$ (第六项:自转的加速度)

[0314] $+ Ge^{j(\theta_{gxy}-\pi-0)}$ (第七项:重力加速度分量)

[0315] (25)

[0316] 该实数部分是 X_2 轴方向上的加速度计输出 A_{ccx2} , 并且虚数部分是 Y_2 轴方向上的加速度计输出 A_{ccy2} 。将上述极坐标系表示分解成采用正交坐标系表示的 X_2 分量和 Y_2 分量。

[0317] $\vec{A}_{ccx2}(O-X_2Y_2) \approx \ddot{r}_{axy}$ (第一项:光轴方向分量)

[0318] $- r_{axy} \dot{\theta}_{axy}^2$ (第二项:公转的向心力)

[0319] $+ r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 \cos(\theta_{baxy} + \pi)$ (第五项:自转的向心力)

[0320] $+ r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \cos(\theta_{baxy} + \pi/2)$ (第六项:自转的加速度)

[0321] $+ G \cos(\theta_{gxy} - \pi)$ (第七项:重力加速度分量)

[0322] (26)

[0323] 在表达式 (26) 中, 对于光轴方向运动校正, 仅需要第一项 $\ddot{r}_{axy}$ 。第二项、第五项、第六项和第七项是光轴方向运动校正所不需要的分量, 并且除非消除了这些项, 否则这些项成为获得作为光轴的 X_2 轴方向上的加速度 $\ddot{r}_{axy}$ 时的误差分量。可以利用与下一表达式 (27) 的情况相同的方法来消除第二项、第五项、第六项和第七项。

[0324] 为了删除第二项 (公转的向心力), 需要获得包括在第二项中的 r_{axy} 和 $\dot{\theta}_{axy}$ 的值。 r_{axy} 大致等于被摄体测焦距 $(1+\beta)f/\beta$ (β 表示摄像倍率)。近年来的摄像设备配备有用于测量自动调焦透镜 140 的移动位置的调焦编码器。因此, 在聚焦状态下, 容易根据调焦编码器的输出值来计算被摄体距离。获得了结果 r_{axy} 。使用根据下一表达式 (27) 所获得的值作为公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 。

[0325] Y_2 轴方向上的加速度计输出:

[0326] $\vec{A}_{ccy2}(O-X_2Y_2) \approx + jr_{axy} \ddot{\theta}_{axy}$ (第三项:公转的加速度)

[0327] $+ j2\dot{r}_{axy} \dot{\theta}_{axy}$ (第四项:科氏力)

[0328] $+ jr_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 \sin(\theta_{baxy} + \pi)$ (第五项:自转的向心力)

[0329] $+ jr_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \sin(\theta_{baxy} + \pi/2)$ (第六项:自转的加速度)

[0330] $+jG\sin(\theta_{gxy}-\pi)$ (第七项:重力加速度分量)

[0331] (27)

[0332] 将说明 Y_2 轴方向上的加速度计输出 $A_{ccy2(0-X2Y2)}$ 的各个项。第三项 $j r_{axy} \ddot{\theta}_{axy}$ 是获得本实施例期望获得的公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 所需的分量, 并且公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 是通过将第三项除以已知的 r_{axy} 并对结果进行积分所获得的。第四项 $j 2 \dot{r}_{axy} \dot{\theta}_{axy}$ 表示科氏力。如果照相机在光轴方向上的运动小, 则 $\dot{r}_{axy} \approx 0$ 成立, 并且可以忽略第四项。由于加速度计 121 不是配置在理想的主点位置 A 处而是配置在点 B 处, 因此第五项和第六项是包括在加速度计输出 $A_{ccy2(0-X2Y2)}$ 中的误差分量。

[0333] 第五项 $j r_{baxy} \dot{\theta}_{caxy}^2 \sin(\theta_{baxy} + \pi)$ 表示由于加速度计 121 以主点 A 为中心转动而发生的向心力。 r_{baxy} 是 θ_{baxy} 是安装有加速度计 121 的位置 B 的坐标, 并且是已知的。 $\dot{\theta}_{caxy}$ 表示自转角速度, 并且是利用安装在照相机上的角速度传感器 130 可以测量出的值。因此, 可以计算出第五项的值。

[0334] 第六项 $j r_{baxy} \ddot{\theta}_{caxy} \sin(\theta_{baxy} + \pi/2)$ 表示加速度计 121 以主点 A 为中心转动时的加速度分量, 并且 r_{baxy} 和 θ_{baxy} 是安装有加速度计 121 的点 B 的坐标, 并且是已知的。可以通过对安装在照相机上的角速度传感器 130 的值进行微分来计算 $\ddot{\theta}_{caxy}$ 。因此, 可以计算出第六项的值。

[0335] 第七项 $jG\sin(\theta_{gxy}-\pi)$ 是重力加速度的影响, 并且可以作为近似表达式中的常数来进行处理, 因此可以通过电路的滤波处理来消除该第七项。

[0336] 如上所述, Y_2 轴方向上的加速度计输出 $A_{ccy2(0-X2Y2)}$ 包括本发明期望获得的公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 所不需要的分量。然而, 很明确, 通过将加速度计 121 配置在不需要的分量最小的位置处, 可以在无需进行校正计算的情况下获得所需的公转角速度 $\dot{\theta}_{axy}$ 。

[0337] 同样, 根据 X_2 方向上的加速度计输出 $A_{ccx2(0-X2Y2)}$, 期望计算出照相机的大致光轴方向上的运动速度 $\dot{r}_{axy}$ 。第一项 $\ddot{r}_{axy}$ 与光轴方向运动加速度相对应。由于与利用 Y_2 轴方向上的加速度计输出 $A_{ccy2(0-X2Y2)}$ 所述相同的原因, 可以消除第二项、第五项、第六项和第七项。然而, 通过同样将加速度计 121 配置在不需要的分量变得最小的位置处, 可以在无需进行校正计算的情况下根据 X_2 方向上的加速度计输出 $A_{ccx2(0-X2Y2)}$ 获得在照相机的大致光轴方向上的运动速度 $\dot{r}_{axy}$ 。

[0338] 在实施例 1 中, 当公转角速度相对于自转角速度的比率为 0.1 以下时, 公转角速度相对于自转角速度而言充分小, 因此通过仅进行自转运动校正来简化图像稳定计算, 从而使速度提高并且使功耗降低。

[0339] 此外, 当通过全按下未示出的释放按钮来开始拍摄的曝光时, 通过将以前的公转角速度相对于自转角速度的比率乘以实时的自转角速度来估计实时的公转角速度。由此, 即使加速度计 121 的输出受到拍摄时照相机的快门振动和操作振动干扰, 也可以防止显著错误的公转加速度值的使用, 并且使得能够进行稳定的图像模糊校正。

[0340] 在本实施例的拍摄光学系统中, 将最接近设置为等倍率, 但最接近不限于此, 这是因为, 即使根据应用了本发明的拍摄光学系统的规格、最接近例如是两倍, 在拍摄摄像倍率

为两倍至 0.0 倍之间也获得了与各拍摄摄像倍率相对应的误差比率函数的积和,由此可以获得误差分量最小的加速度计 121 的位置。因此,显而易见,无论拍摄光学系统的最接近的拍摄摄像倍率如何,本实施例所述的内容的效果都不改变。

[0341] 此外,对角度运动和平行运动进行新的精确建模并且以数学方式表示为自转运动和公转运动,由此在这两个运动分量状态所处于的所有状态下,都可以在不发生控制失败的情况下进行精确的图像稳定。此外,由于加速度计配置在伴随着拍摄光学系统的主点位置的变化误差量最小的位置处,因此可以进行与拍摄光学系统的主点位置的变化相对应的精确的图像稳定。此外,利用自转角速度和公转角速度之间的差来进行图像稳定,因此可以减少差计算之后的计算处理量。此外,自转运动和公转运动的单位相同(例如:rad/秒),因此容易进行计算。此外,可以通过相同的表达式来表示摄像装置的摄像面内的图像运动和光轴方向运动,因此可以同时进行图像运动校正计算和光轴方向运动校正计算。

[0342] 实施例 2

[0343] 将通过使用图 19A 和 19B 来说明实施例 2。在实施例 1 中,通过使用表达式 (33) 来获得各拍摄摄像倍率处的误差比率,并且根据该值的积和的结果来获得误差比率最小的加速度计 121 的位置。然而,在本实施例中,将通过使用表达式 (33) 所获得的各拍摄摄像倍率处的误差比率乘以拍摄频率以进行加权。

[0344] 如实施例 1 所述,对于通过使用表达式 (33) 所获得的各拍摄摄像倍率处的误差比率函数,乘以作为本申请人的认真研究的结果得知的各拍摄摄像倍率处的拍摄频率。图 19A 示出拍摄频率,并且图 19B 示出将加速度计 121 配置在拍摄倍率 $\beta = 0.5$ 时的误差比率函数乘以拍摄频率的结果。图 20 示出在加速度计 121 配置在各拍摄摄像倍率处时、如图 19B 所示所获得的对(误差比率)×(拍摄频率)的各拍摄摄像倍率处的值求积分的结果如何改变。

[0345] 如图 20 所示,当加速度计 121 配置在拍摄摄像倍率 $\beta = 0.6$ 附近时,与该加速度计配置在其它拍摄摄像倍率处的情况相比较,误差比率最小。因此,可以通过将加速度计 121 配置在拍摄光学系统 105 的拍摄摄像倍率 $\beta = 0.6$ 附近来使包括在加速度计 121 的输出中的误差分量最小,因此不需要加速度计 121 的输出的校正计算时间。由此,可以进行精确的模糊校正。

[0346] 顺便提及,考虑如下情况:利用各拍摄摄像倍率处的平行运动的有效量对通过使用表达式 (33) 所获得的各拍摄摄像倍率处的误差比率函数进行加权。图 21 示出当加速度计 121 配置在各拍摄摄像倍率处时、对(误差比率)×(平行运动有效量)的各拍摄倍率处的值进行积分的结果如何改变。如图 21 所示,当加速度计 121 配置在拍摄摄像倍率 $\beta = 0.8$ 附近时,与加速度计 121 配置在其它拍摄摄像倍率处的情况相比较,误差比率最小。因此,可以通过将加速度计 121 配置在拍摄光学系统 105 的拍摄摄像倍率 $\beta = 0.8$ 附近来使包括在加速度计 121 的输出中的误差分量最小,因此不需要加速度计 121 的输出的校正计算时间。由此,可以进行精确的模糊校正。

[0347] 如上所述,通过利用拍摄频率和平行运动的有效量对误差比率进行加权,可以将加速度计 121 配置在更适合于拍摄者使用照相机的最小位置处。无需说明,通过利用将拍摄频率和平行运动的有效量相乘所获得的值对误差比率进行加权,也可以将加速度计 121 配置在误差比率最小的位置处。

[0348] 实施例 3

[0349] 将通过使用图 22A 和 22B 来说明实施例 3。包括了与根据实施例 1 的图 7A 和 7B 相同的流程。因此,对于相同的流程使用相同的附图标记和字符,并且将省略说明。

[0350] 在图 22A 和 22B 中的 S1100 的公转角速度计算之后,该流程进入 S2610。在 S2610 中,判断拍摄的摄像倍率是否为 0.2 以上(预定值以上)。在 0.2 以上的情况下,该流程进入 S2620,并且在小于 0.2(小于预定值)的情况下,该流程进入 S1130。在 S1130 中,与实施例 1 同样进行自转运动校正计算。

[0351] 在 S2620 中,判断相对于自转角速度的公转角速度是否在 -0.9 和 $+0.9$ 之间(预定值)。如果在 ± 0.9 内,则该流程进入 S1120。当小于 -0.9 或超过 $+0.9$ 时,该流程进入 S2630。

[0352] 在 S2630 中,将角速度比率固定(存储)为常数(指定常数)0.9,并且在下一 S2640 中,通过将实时获得的自转角速度与恒定的角速度比率 0.9 相乘来计算当前公转角速度的估计,并且该流程进入下一 S1120。在 S1120 中,与实施例 1 同样进行自转公转差运动校正计算。

[0353] 在实施例 3 中,当摄像倍率小于 0.2 时,公转角速度相对于自转角速度充分小,因此通过仅进行自转运动校正来简化图像稳定计算,从而使速度提高并且使功耗降低。此外,公转角速度相对于自转角速度的比率极少超过 1,并且当该比率超过 ± 0.9 时,通过将该比率固定为常数 0.9 来防止错误的过度校正。

[0354] 尽管已经参考典型实施例说明了本发明,但是应该理解,本发明不限于所公开的典型实施例。所附权利要求书的范围符合最宽的解释,以包含所有这类修改、等同结构和功能。

[0355] 本申请要求 2009 年 7 月 11 日提交的日本专利申请 2009-140255 的优先权,在此通过引用包含其全部内容。

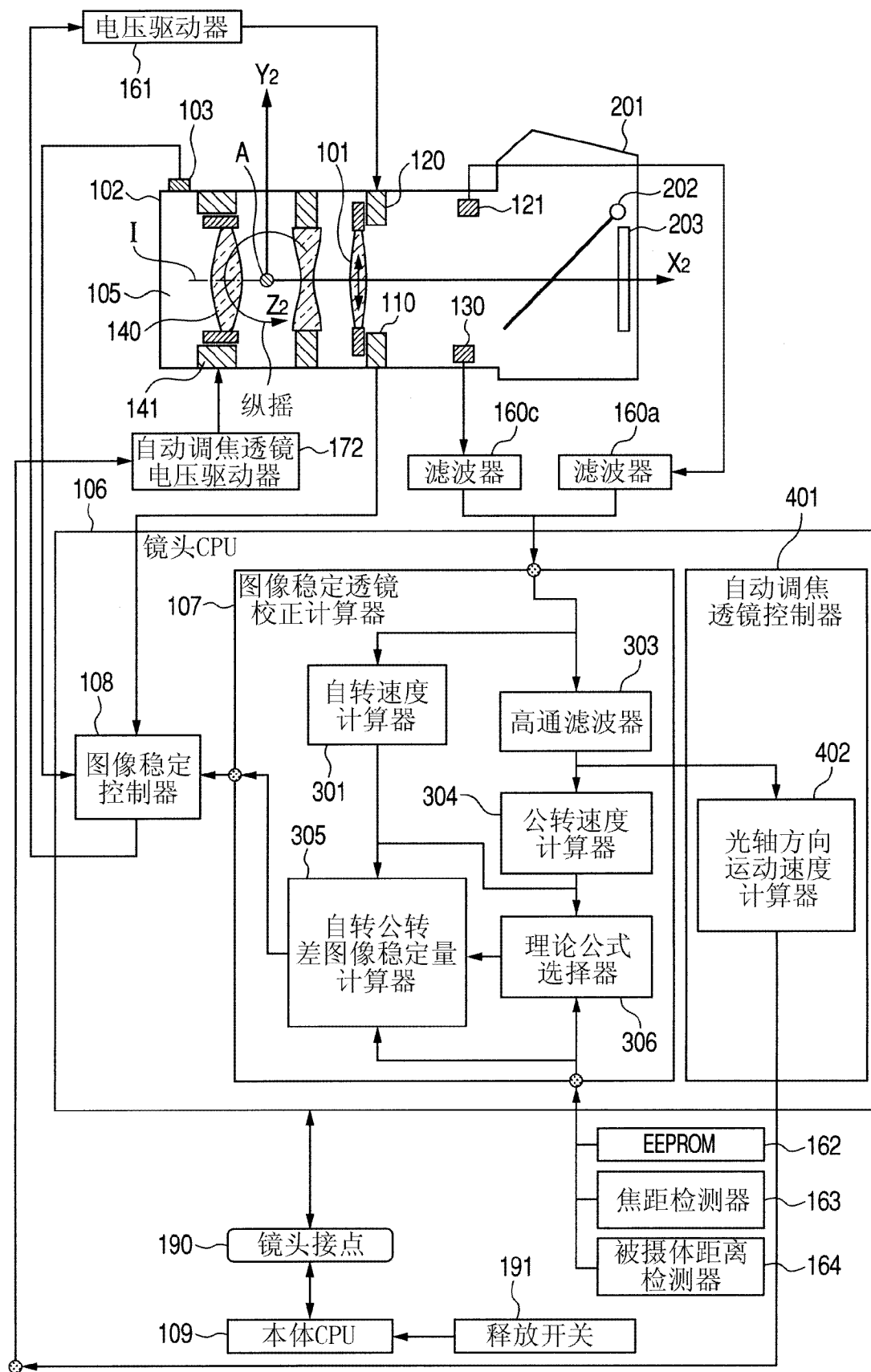


图 1

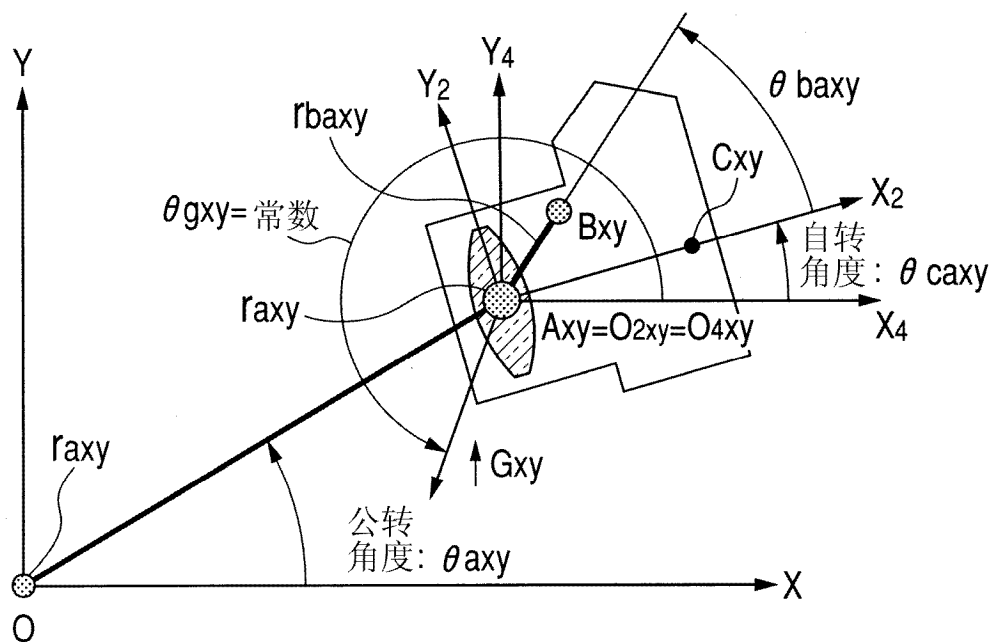


图 2

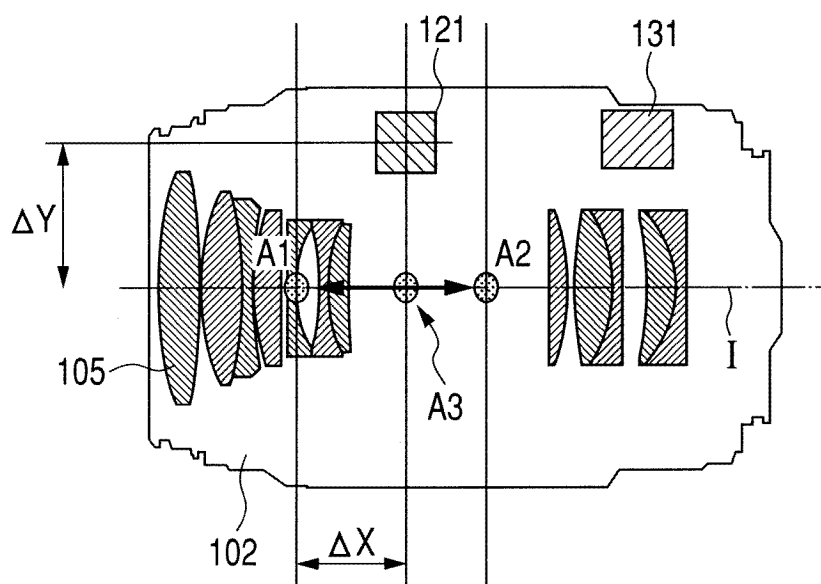


图 3

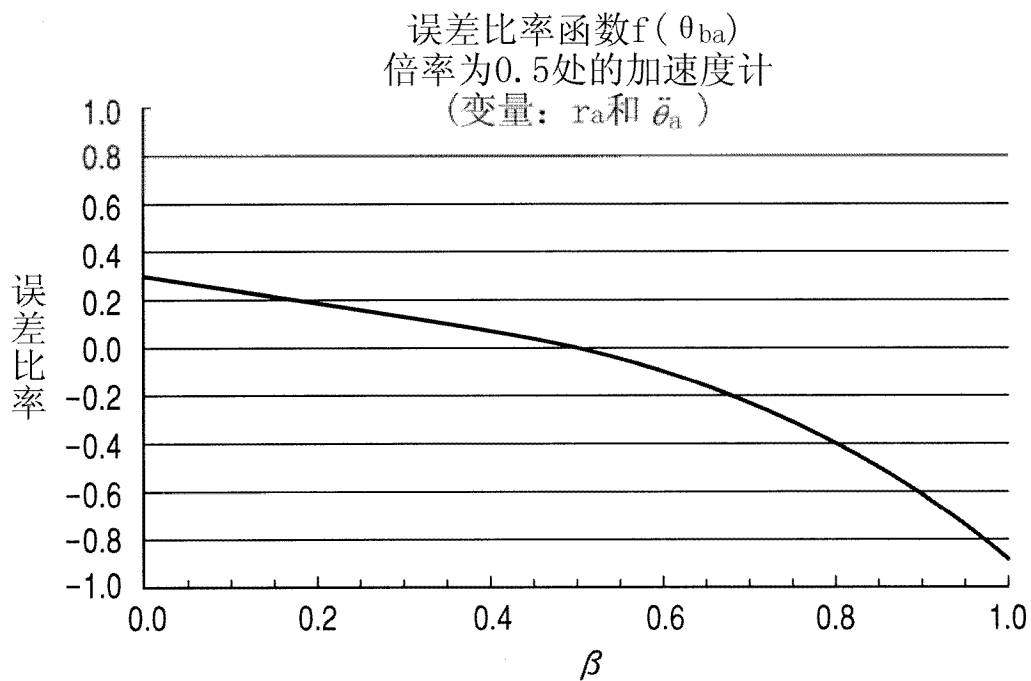


图 4A

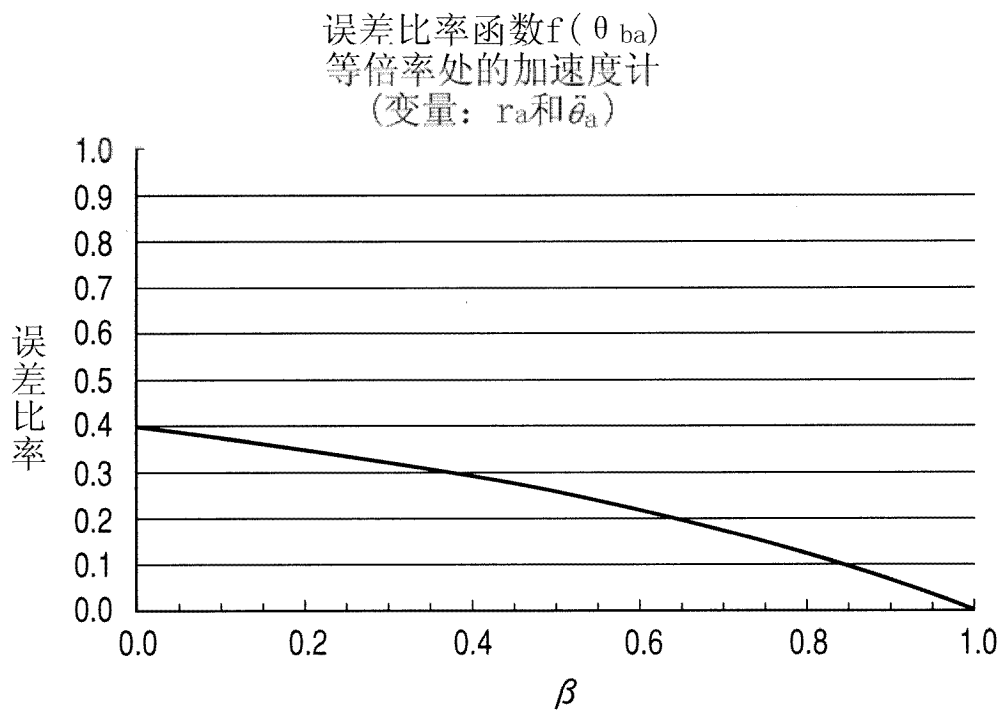


图 4B

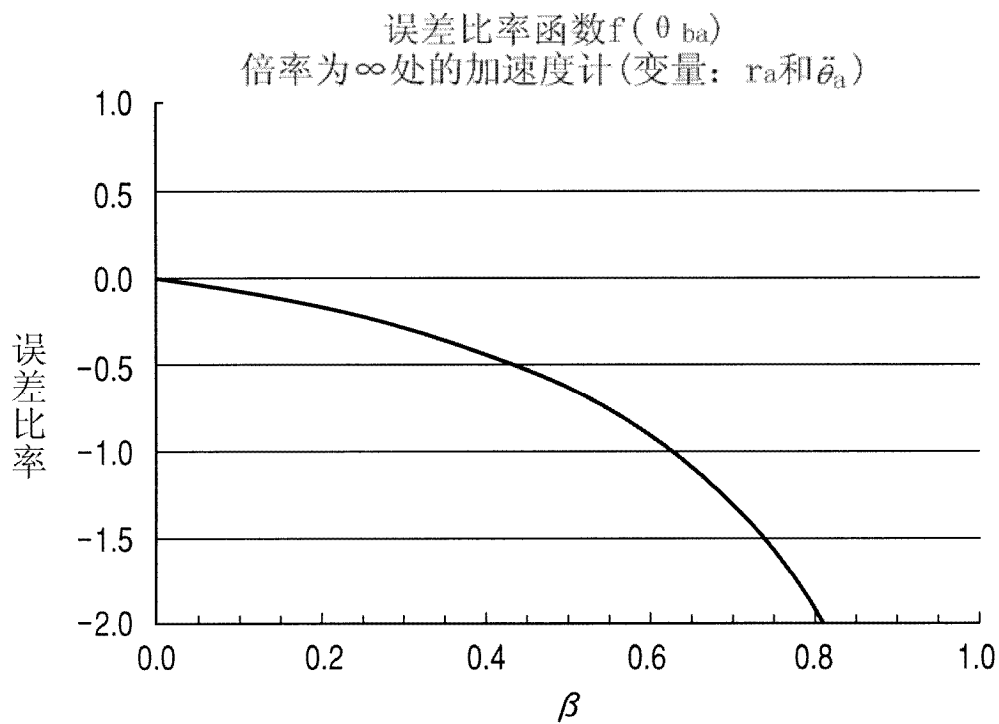


图 5

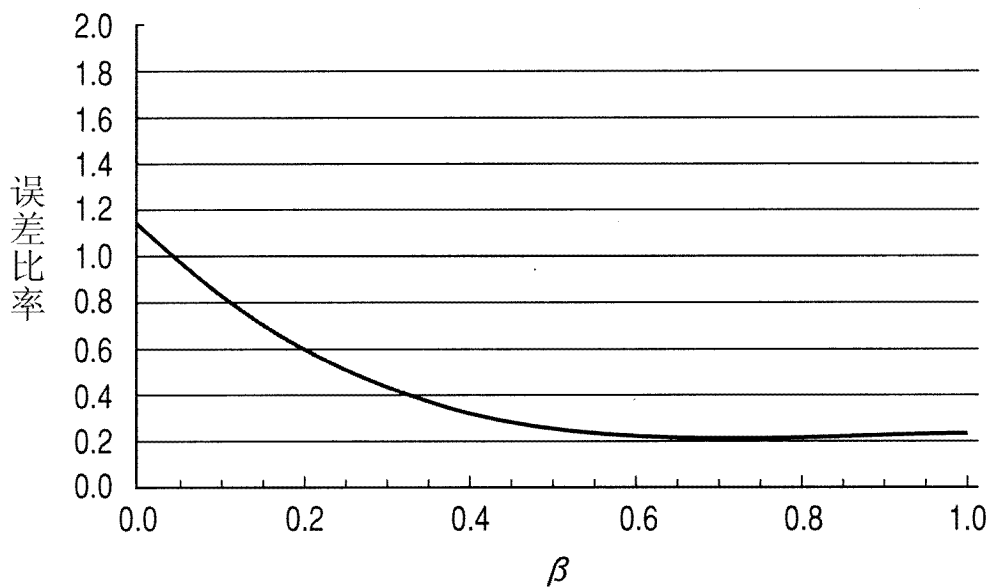


图 6

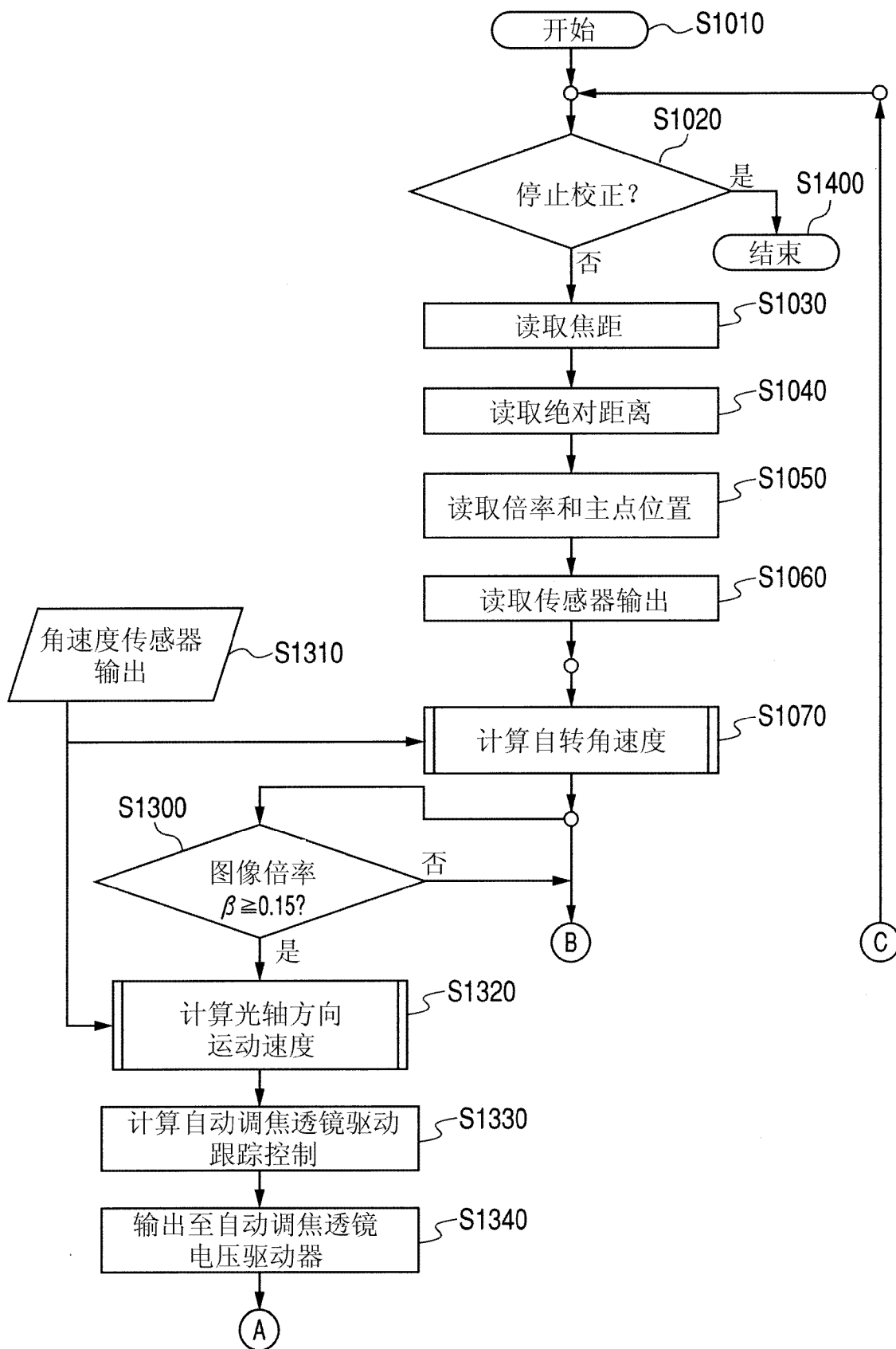


图 7A

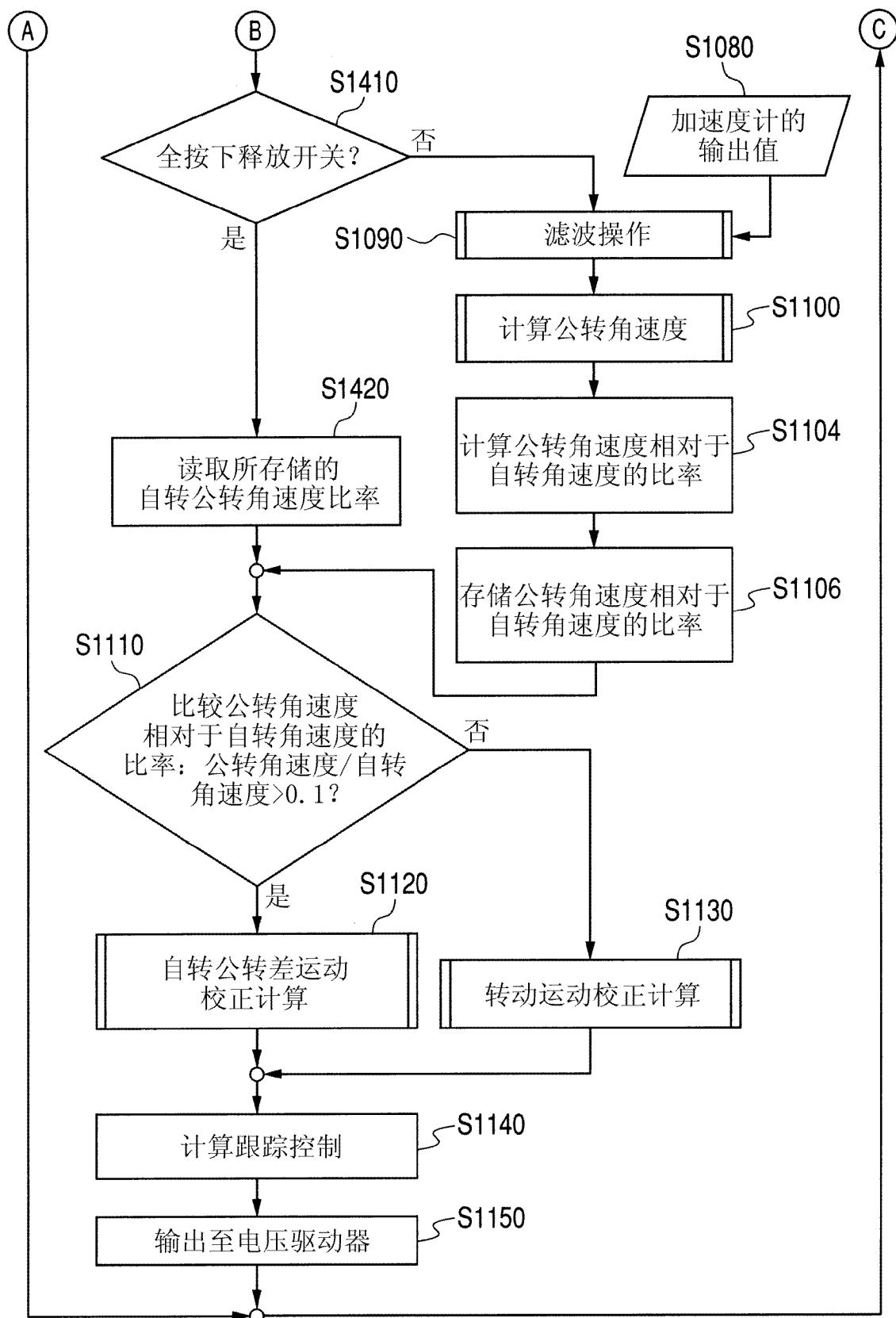


图 7B

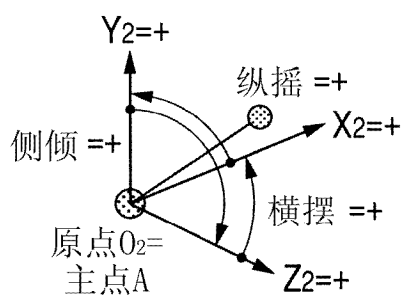


图 8A

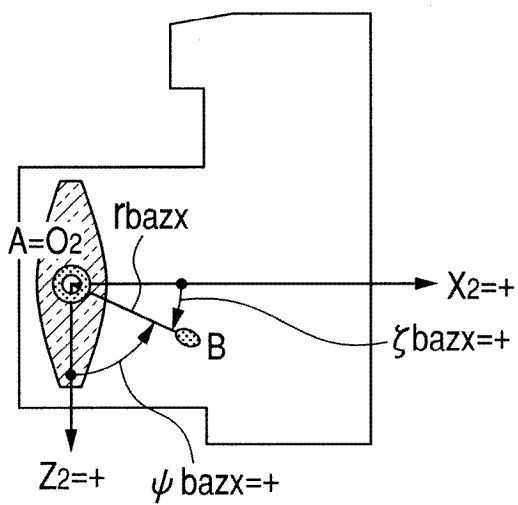


图 8B

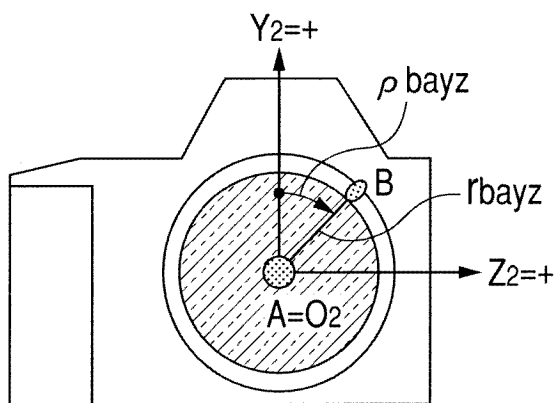


图 8C

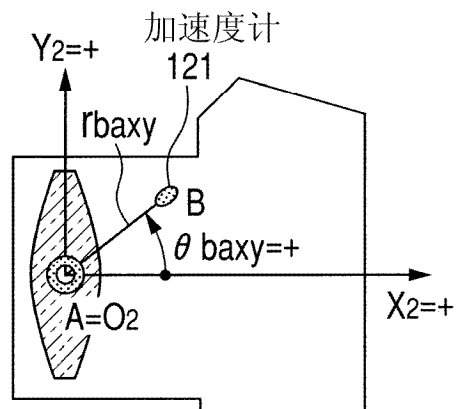


图 8D

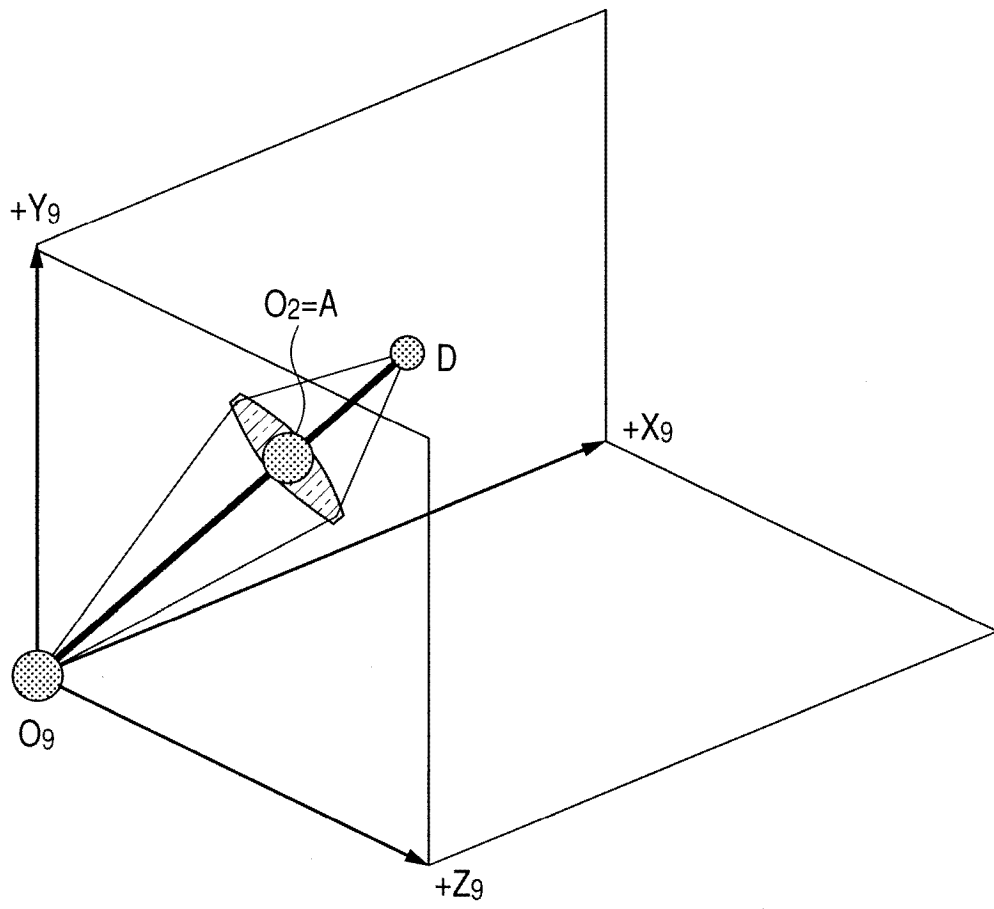


图 9

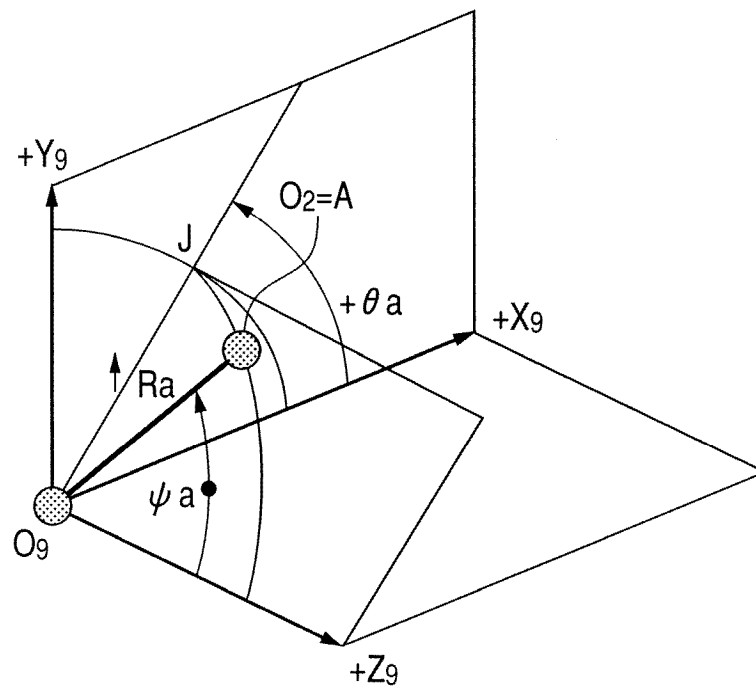


图 10A

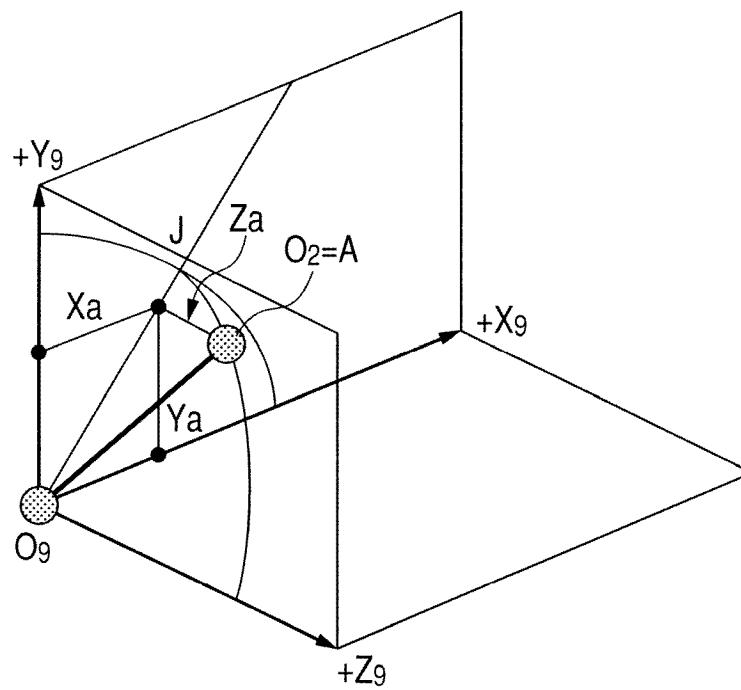


图 10B

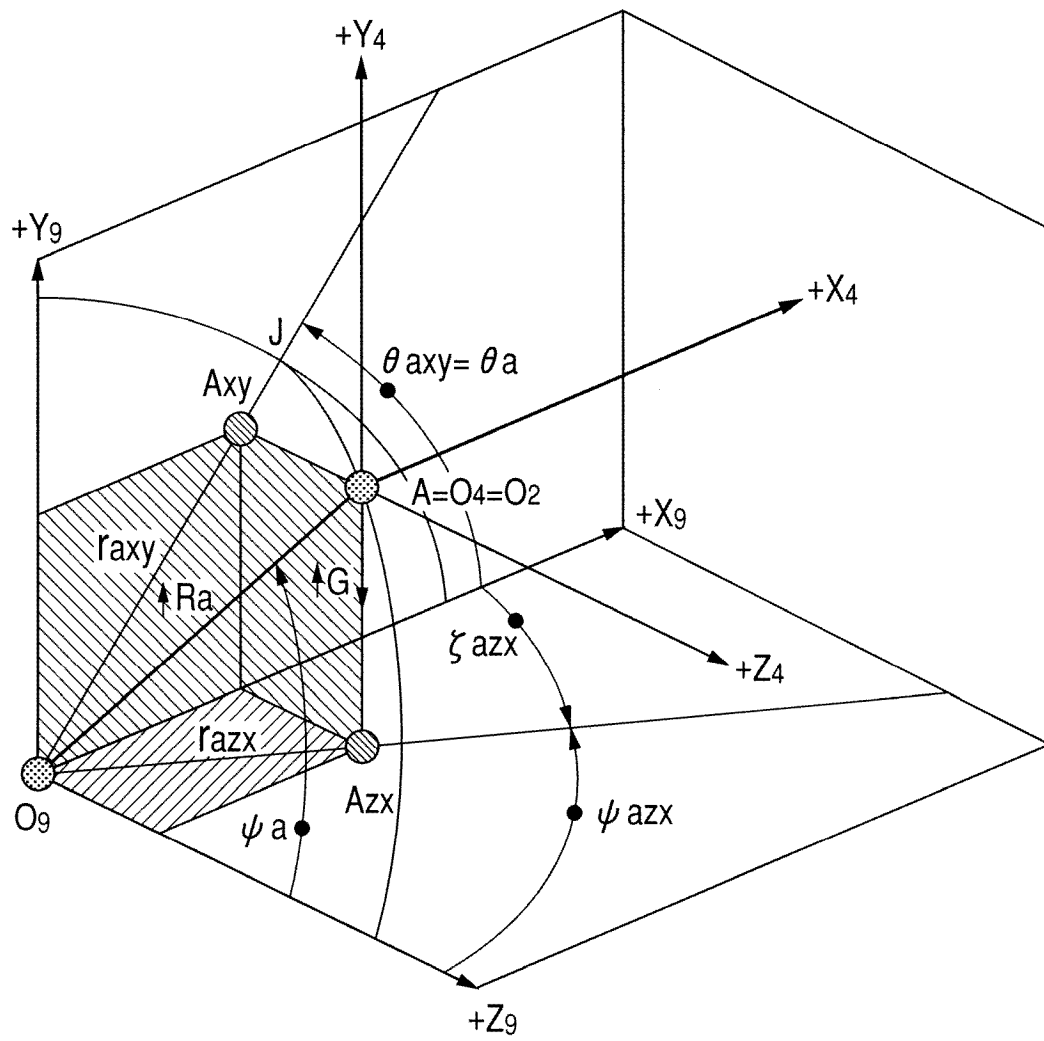


图 11

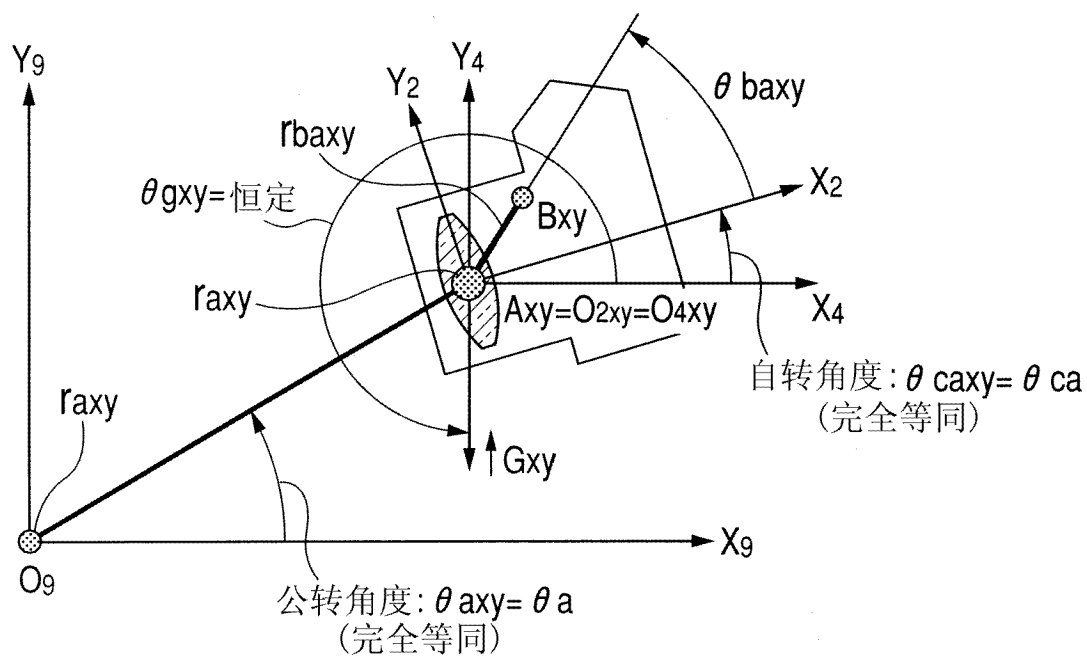


图 12

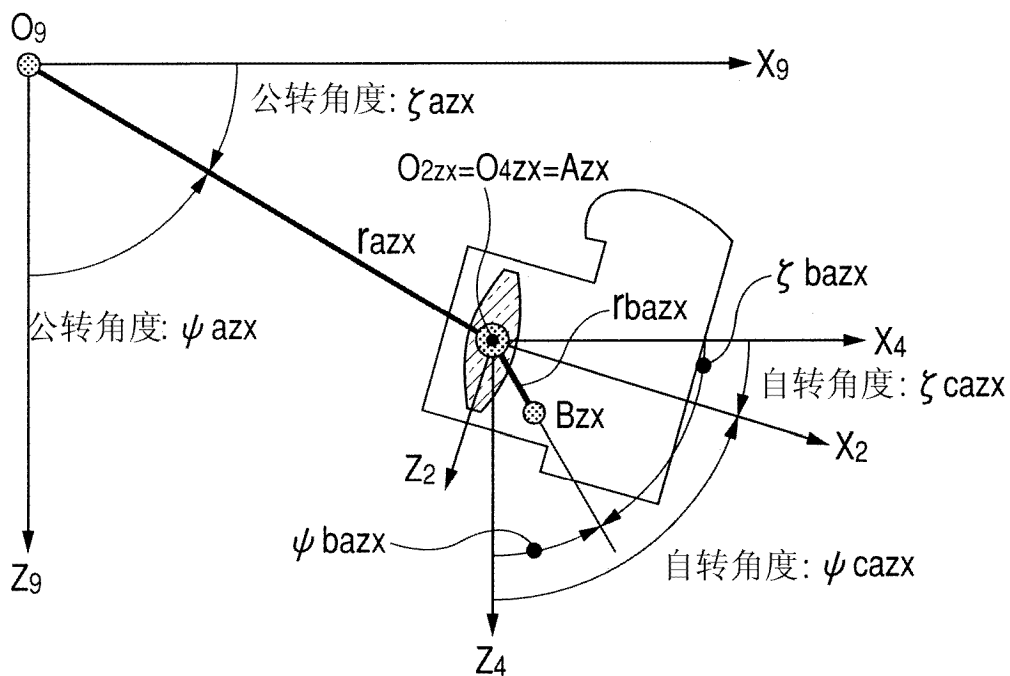


图 13

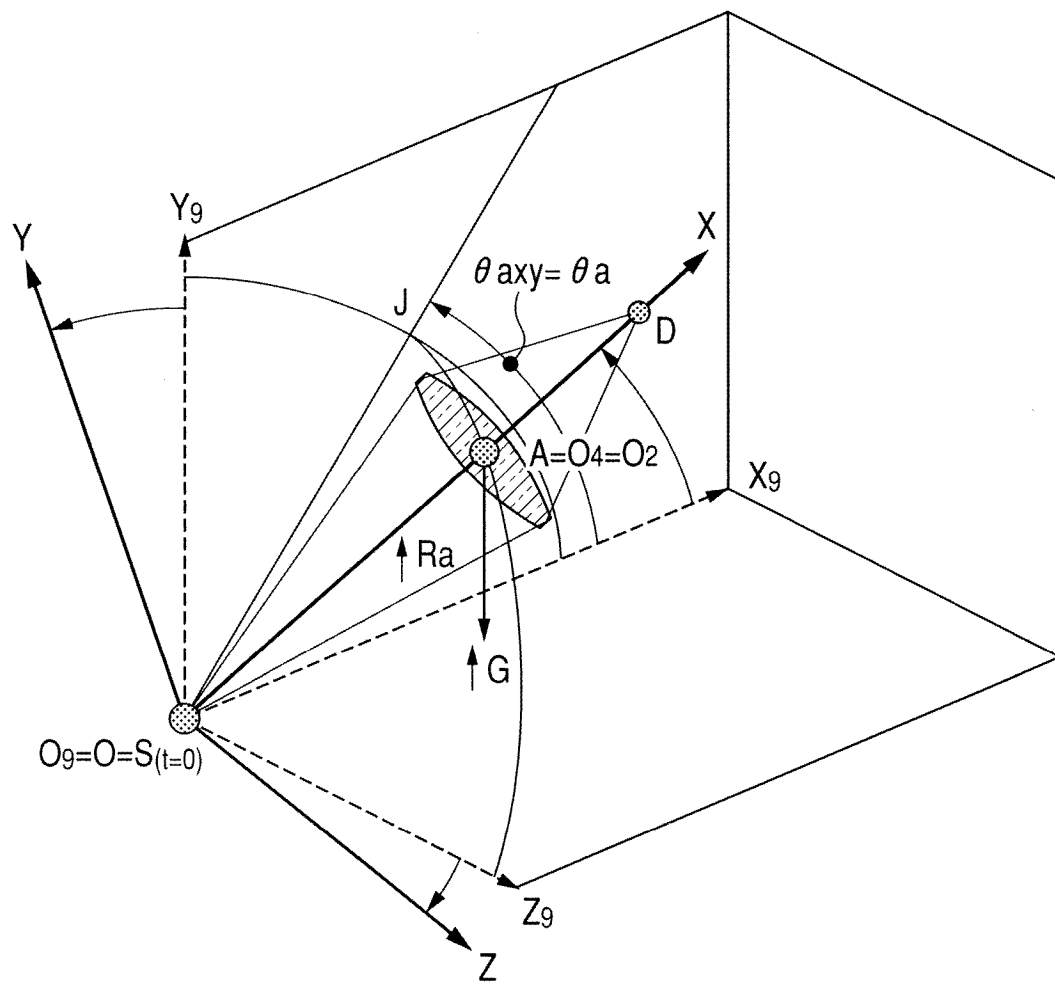


图 14

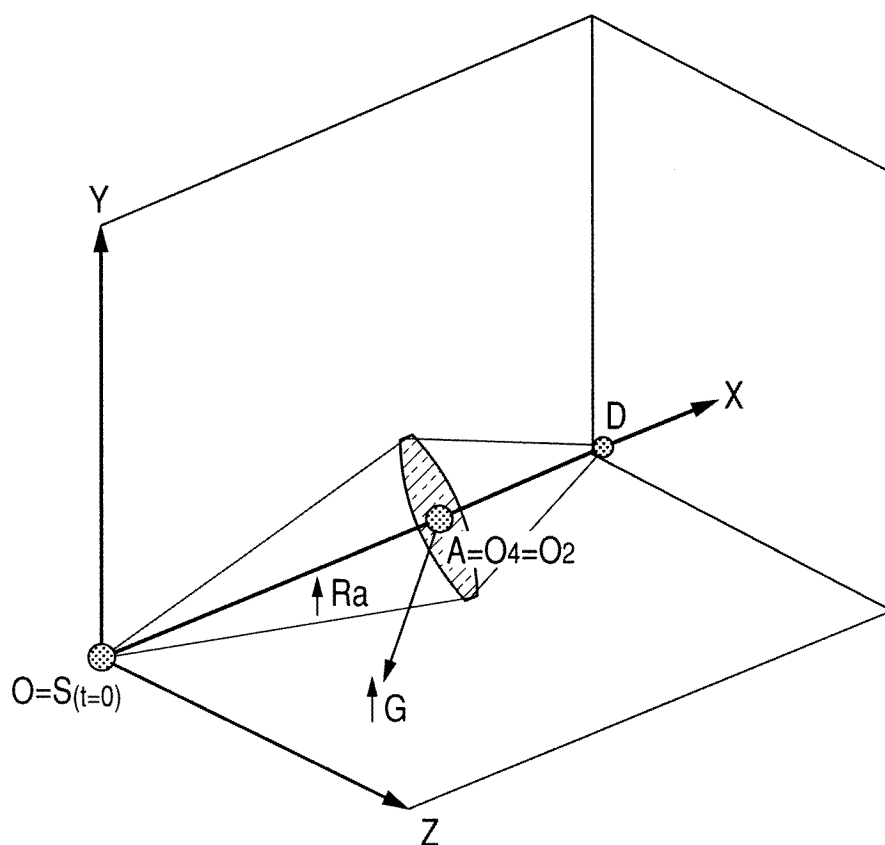
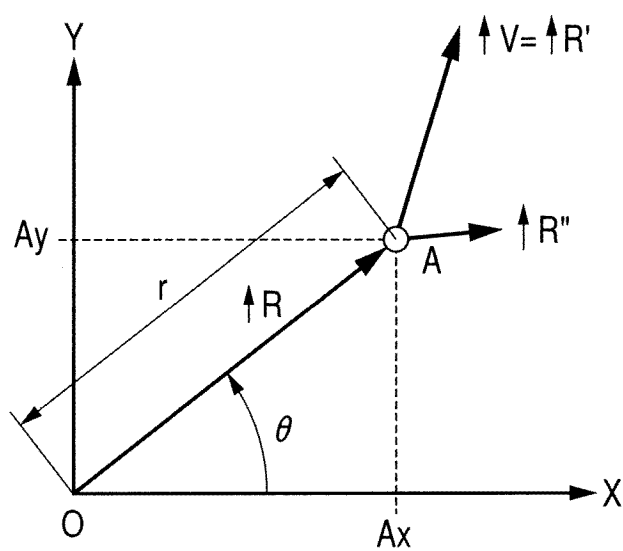


图 15



固定坐标系O-XY

图 16

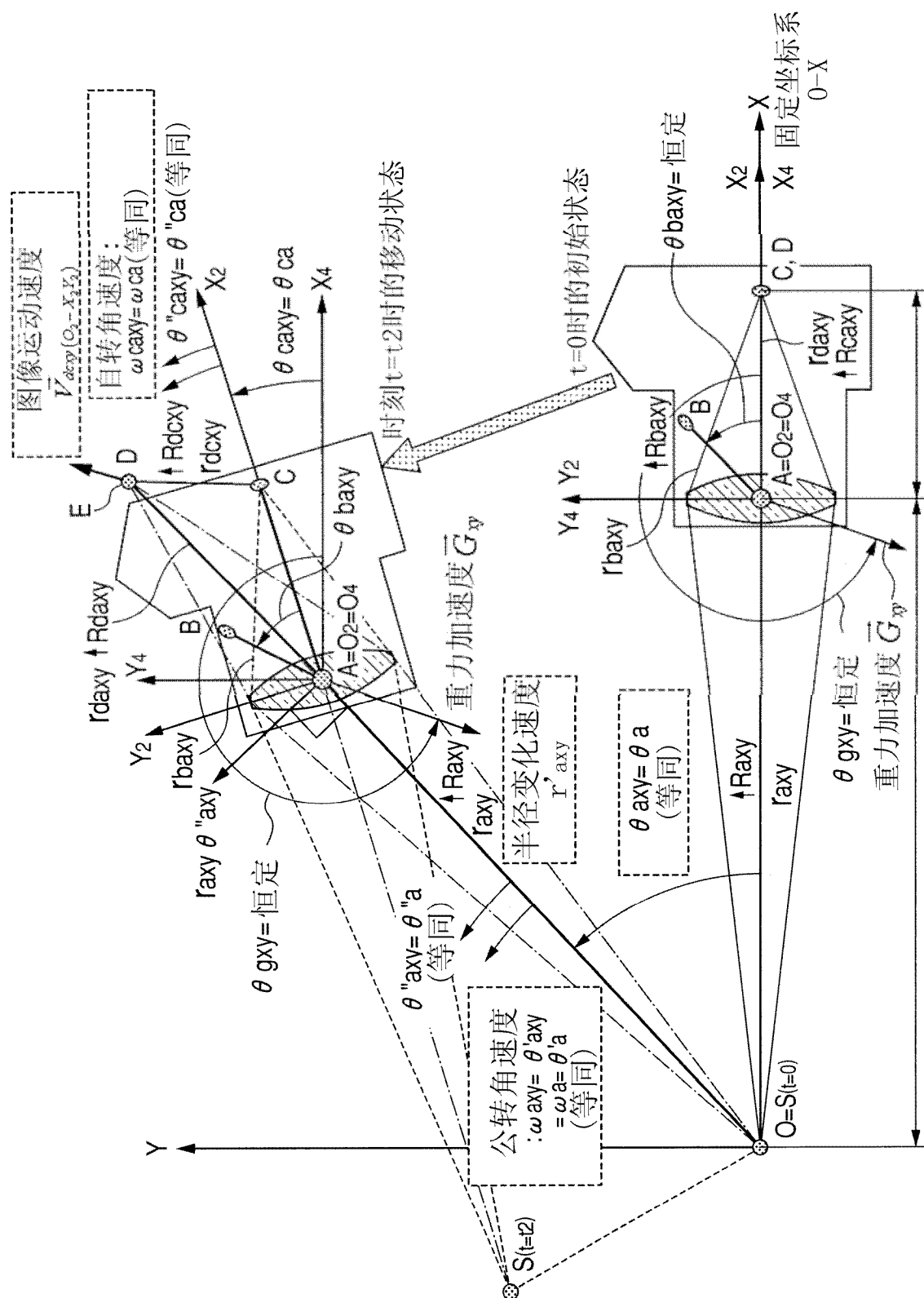


图 17

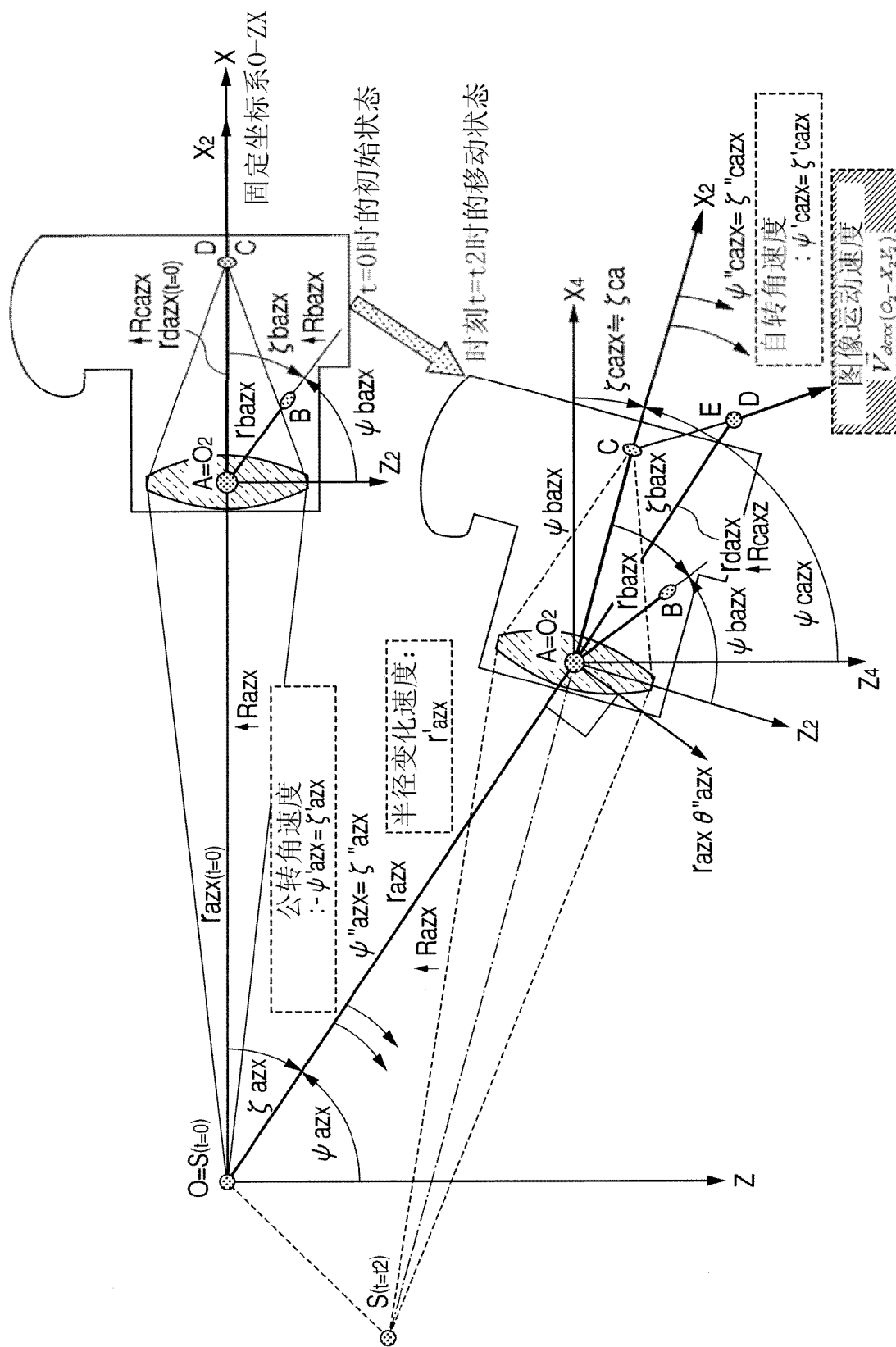


图 18

拍摄频率

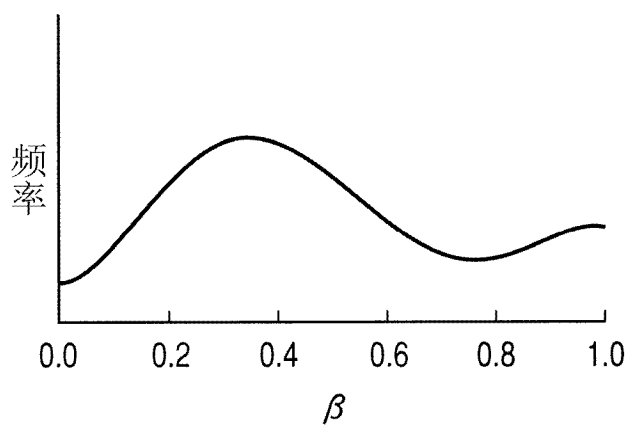


图 19A

误差比率函数 $f(\theta_{ba})$
倍率为0.5处的加速度计(变量: r_a 和 $\ddot{\theta}_a$)

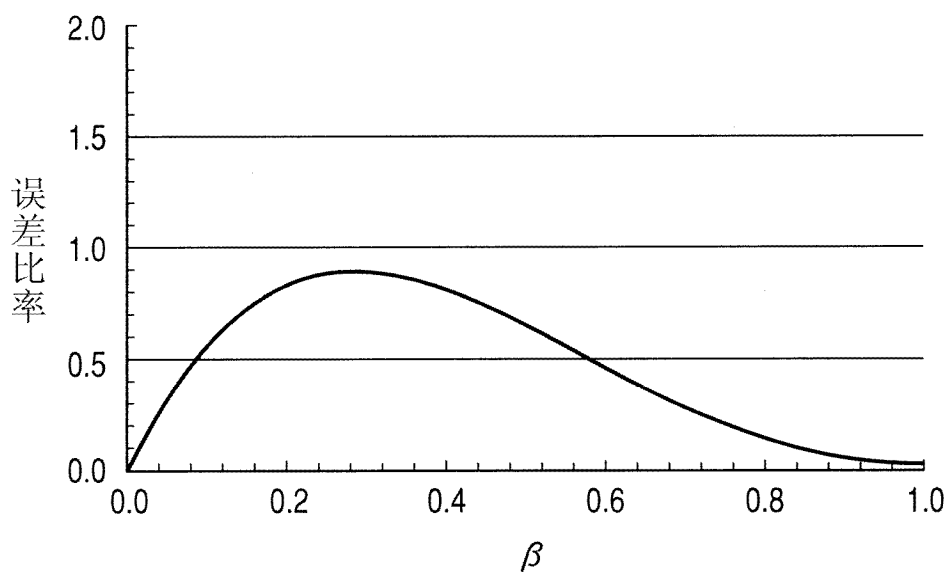


图 19B

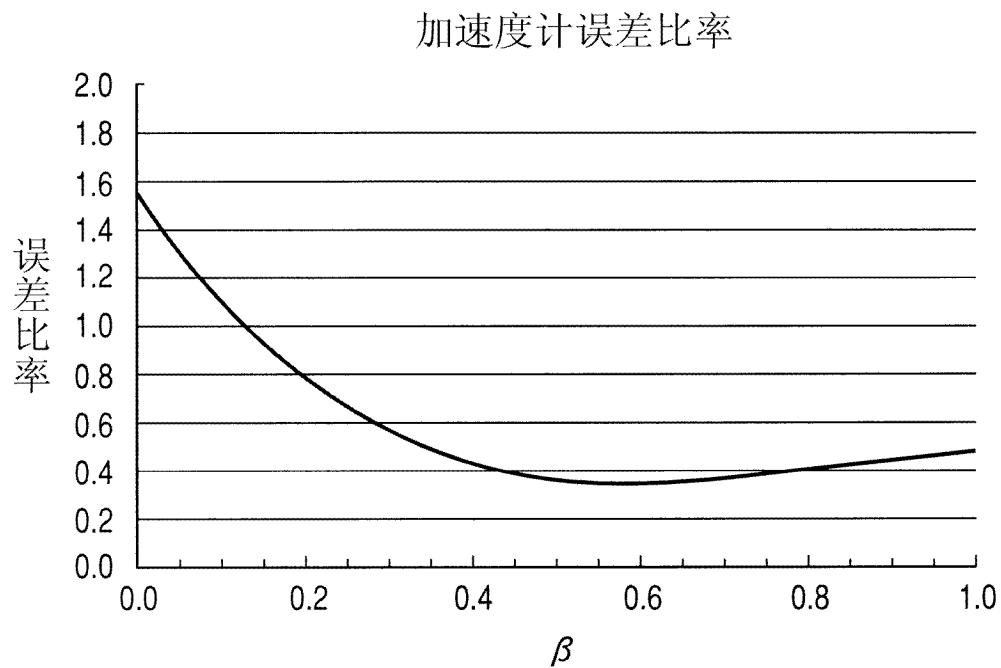


图 20

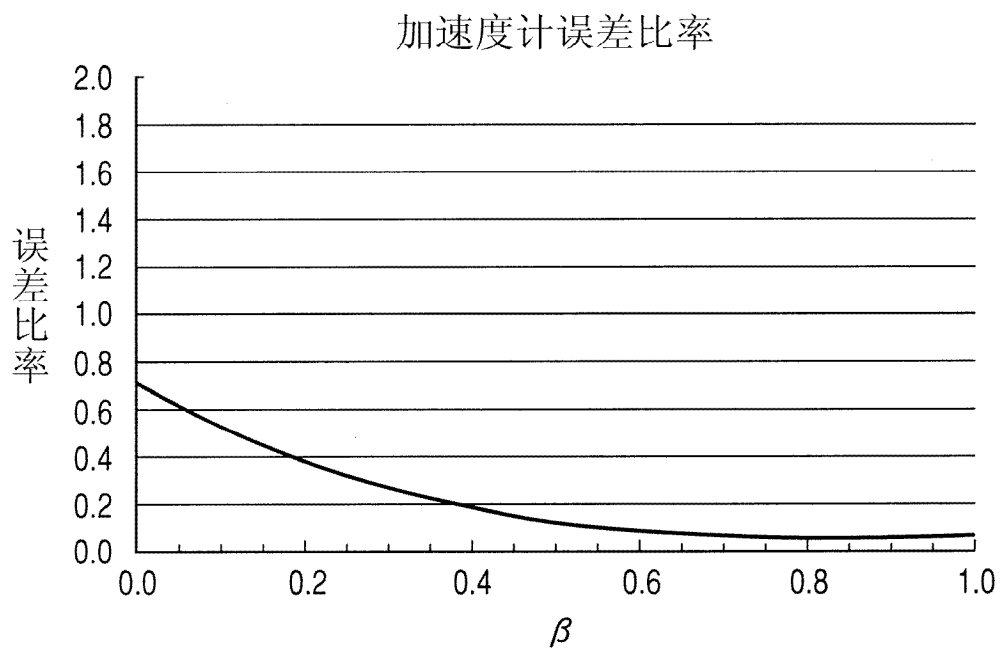


图 21

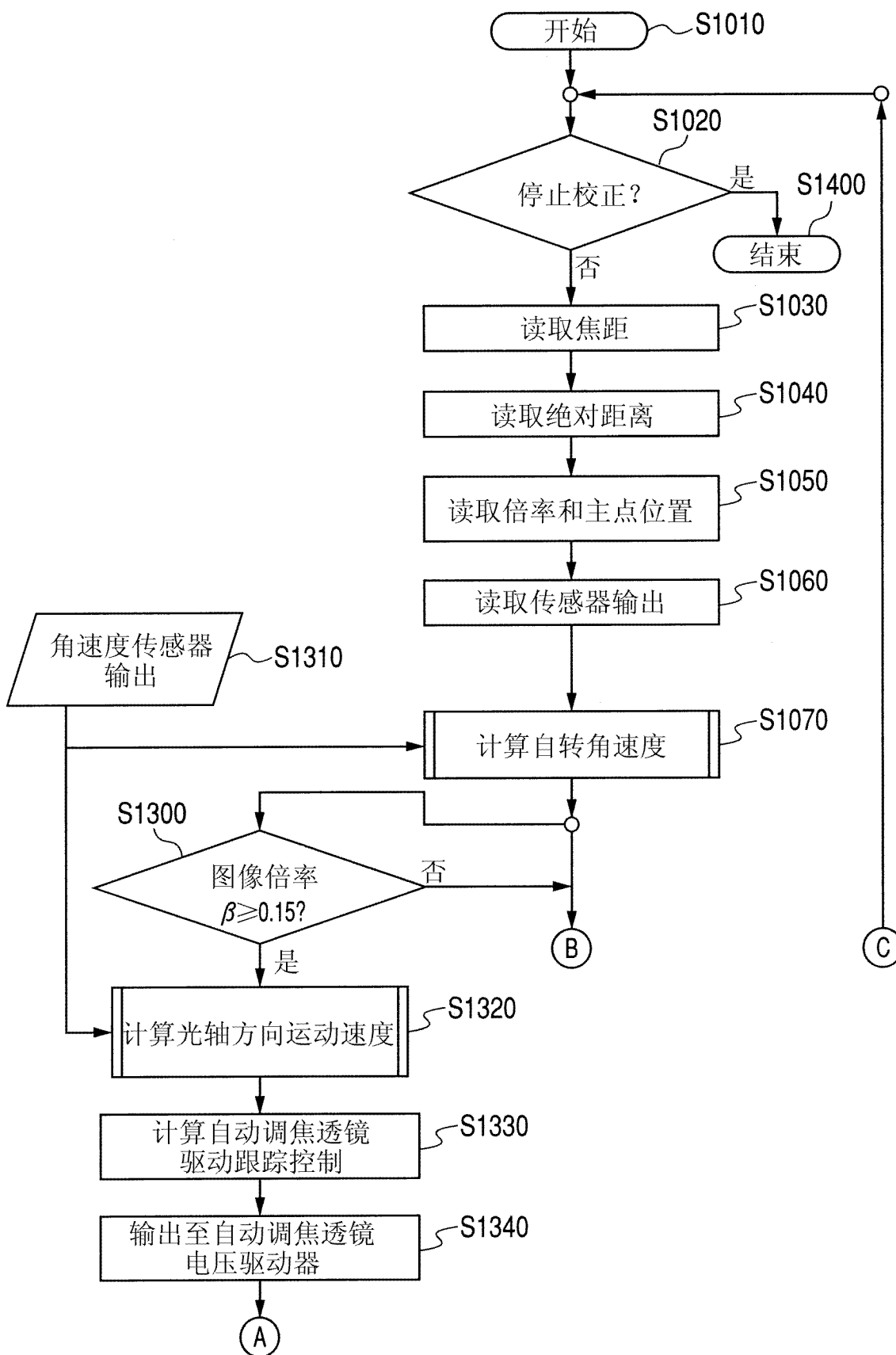


图 22A

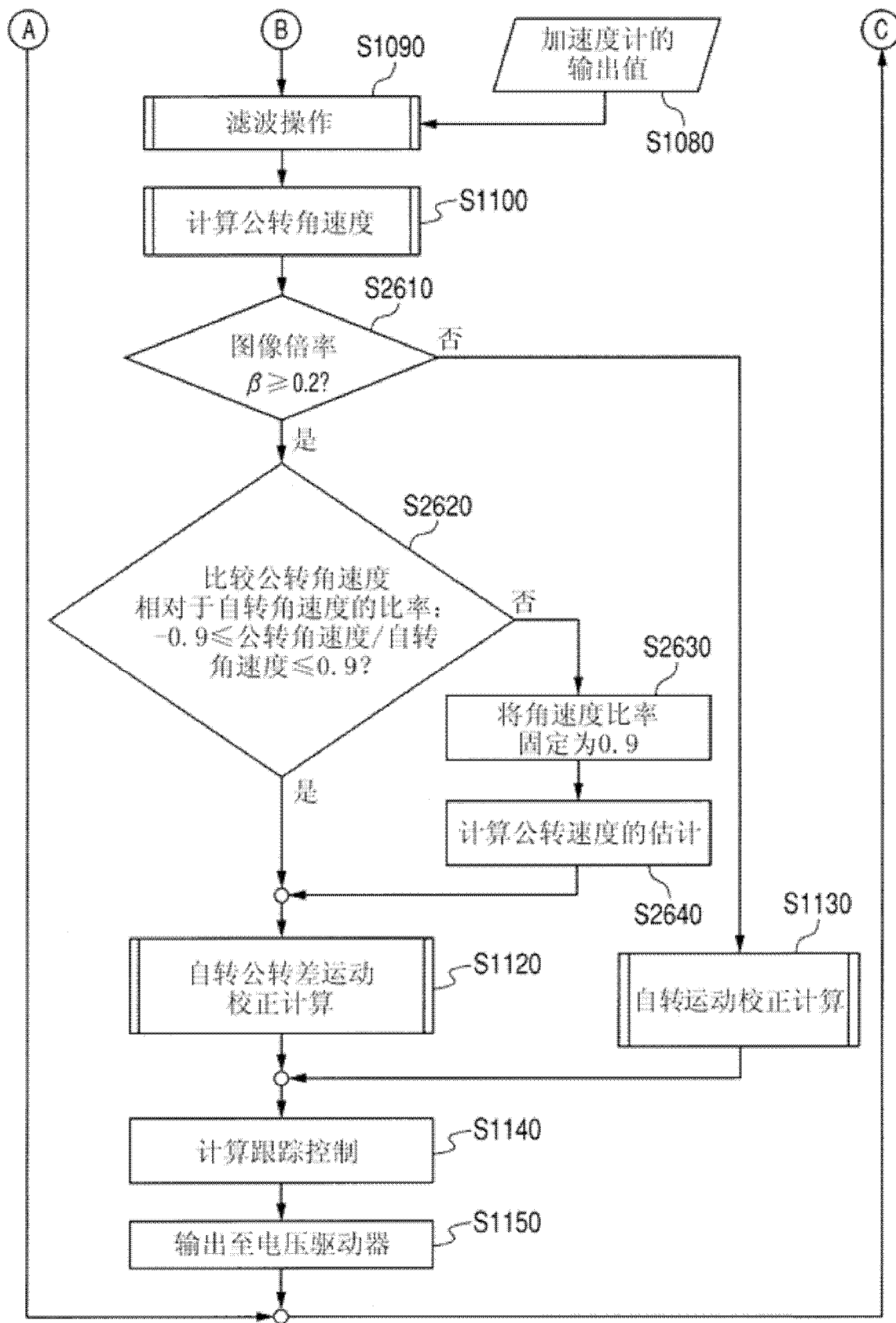


图 22B

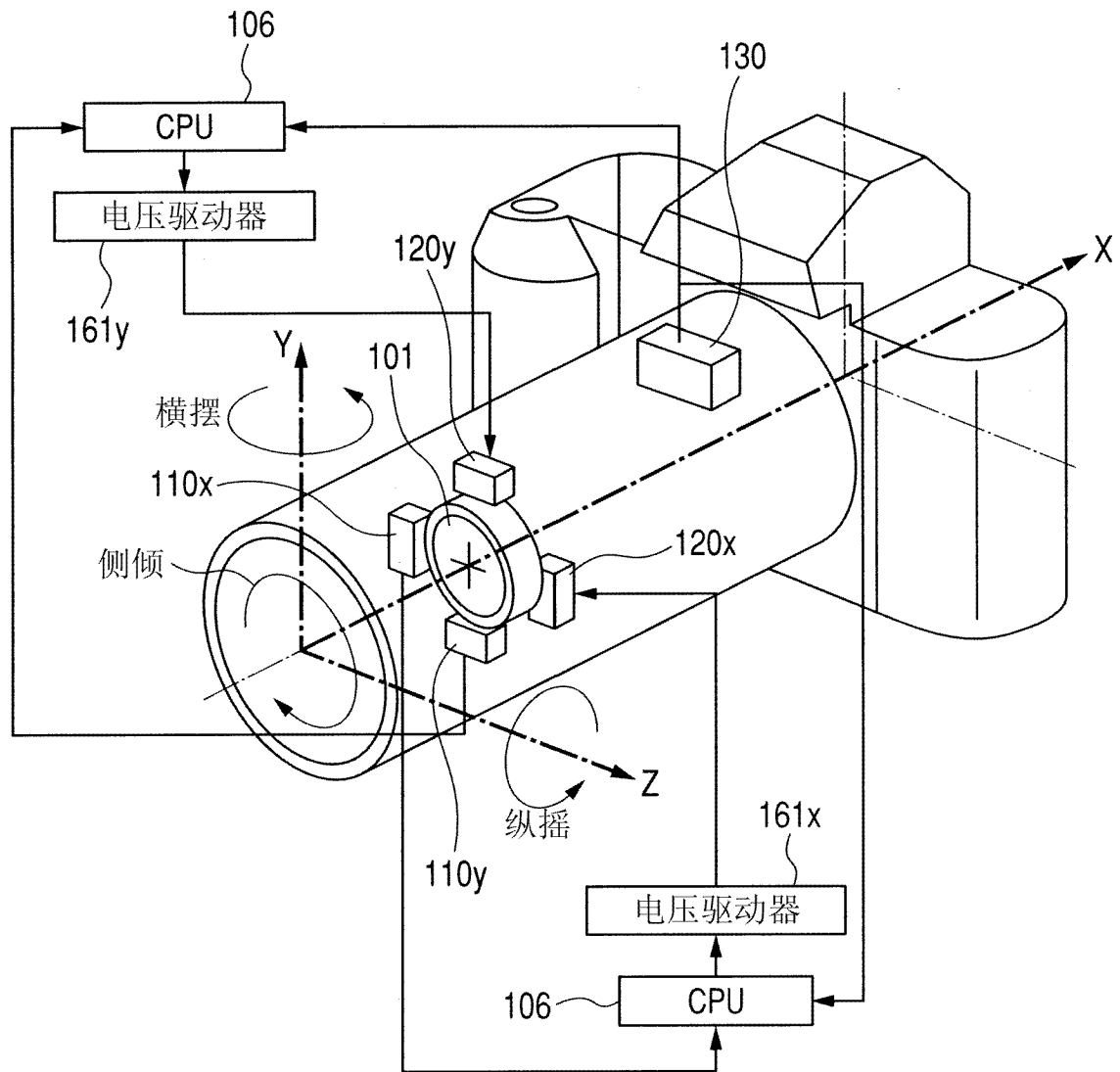


图 23

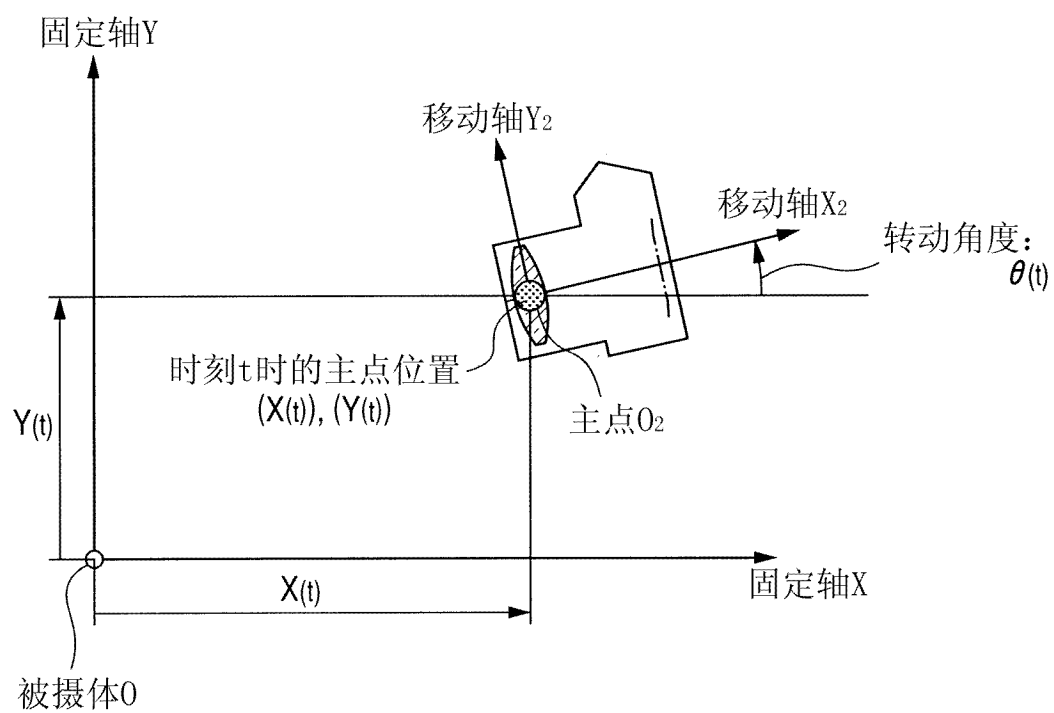


图 24A

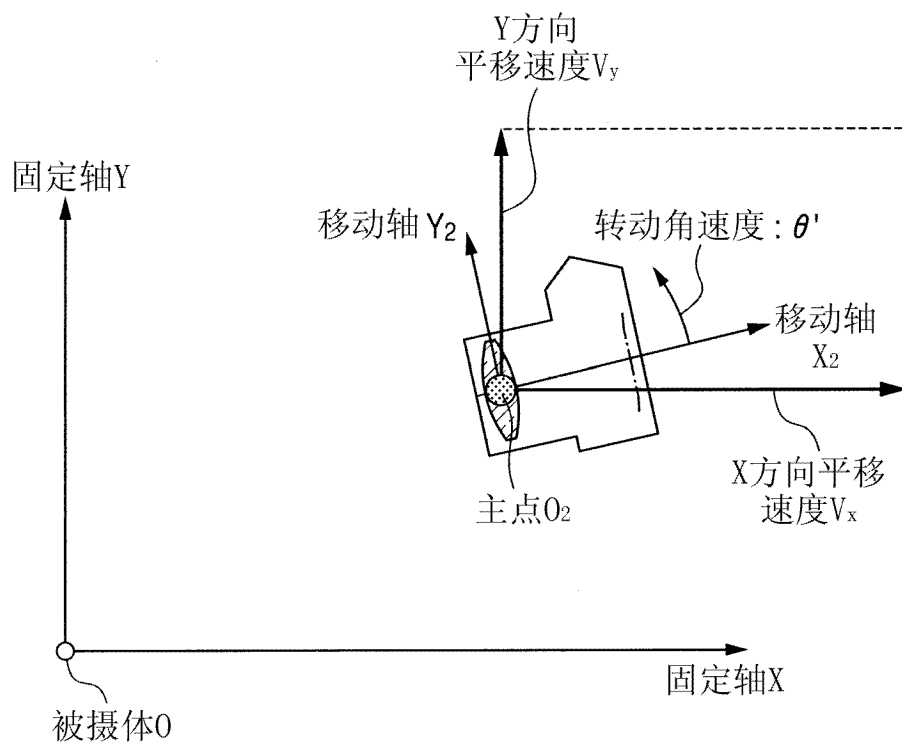


图 24B

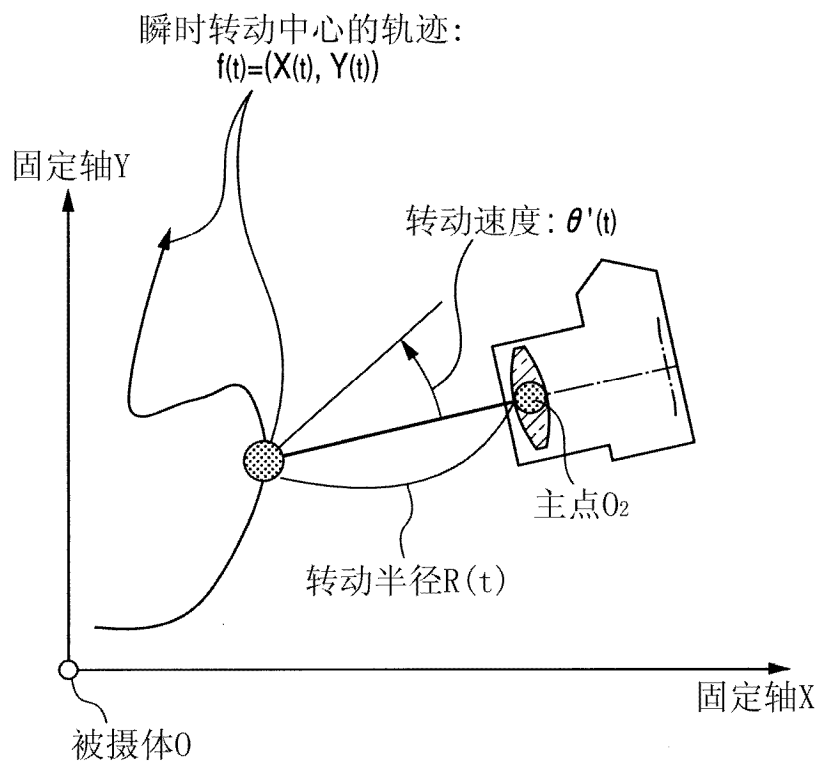


图 25