



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1894557 B

(45) 授权公告日 2011.07.06

(21) 申请号 200480037591.4

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2004.12.16

G01C 15/00(2006.01)

(30) 优先权数据

(56) 对比文件

10359415.9 2003.12.16 DE

CN 1092792 C, 2002.10.16, 全文.

(85) PCT申请进入国家阶段日

JP 2001-4377 A, 2001.01.12, 说明书第4栏第10-13段、第5栏第15段、附图1、4.

2006.06.16

Y. D. Huang, Calibration of the Wild

(86) PCT申请的申请数据

P32 Camera using the Camera-ON-Theodolite method. Photogrammetric Record 16

PCT/EP2004/014365 2004.12.16

91. 1998, 16(91), 97-104.

(87) PCT申请的公布数据

W02005/059473 EN 2005.06.30

审查员 冯连东

(73) 专利权人 特里伯耶拿有限公司

地址 德国耶拿

(72) 发明人 M·弗格尔

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 杨晓光 李峥

权利要求书 2 页 说明书 33 页 附图 19 页

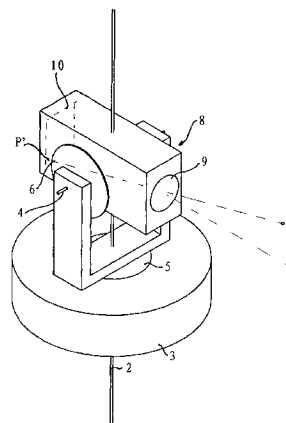
(54) 发明名称

探测仪器的校准

(57) 摘要

本发明公开了一种用于校正探测仪器的方法,该探测仪器包含基座元件(3)和具有图像传感器(10)的照相机,照相机可绕相对于基座元件固定的垂直轴(2)旋转并可绕倾斜轴(4)旋转,倾斜轴随所述照相机绕所述垂直轴的转动而绕所述垂直轴旋转。其中,利用与校准点(P)以及与在不同面上被捕获的所述校准点在所述图像传感器上的图像(P1)相关的数据,每一所述校准点的所述数据包含距离数据;每一校准点的每一图像的数据包含图像位置数据和方位数据。另外,基于对每一校准点的距离数据、校准点的每一图像的图像位置数据和方位数据,对探测仪器进行校准,并在同时考虑照相机的至少一个光学特性、垂直轴和倾斜轴的至少一个的相对方位、照相机相对于基座元件及垂直轴和倾斜轴三者其一的方位。

CN 1894557 B



1. 一种用于校准探测仪器的方法,所述探测仪器包含基座元件和具有图像传感器的照相机,所述照相机可绕相对于所述基座元件固定的垂直轴旋转并可绕倾斜轴旋转,所述倾斜轴随所述照相机绕所述垂直轴的转动而绕所述垂直轴旋转,

其中,采用了与校准点以及与在不同面上被捕获的所述校准点在所述图像传感器上的图像相关联的数据,每一所述校准点的所述数据包含表示每一所述校准点与所述探测仪器之间距离的距离数据;每一所述校准点的每一所述图像的所述数据包含图像位置数据和方位数据,所述图像位置数据表示每一所述校准点的所述图像在所述图像传感器上的位置,所述方位数据表示所述倾斜轴绕所述垂直轴旋转的水平角度以及所述照相机绕所述倾斜轴倾斜的垂直角度,并且

其中,基于每一所述校准点的所述距离数据、所述校准点的每一所述图像的所述图像位置数据和方位数据,对所述探测仪器进行校准,并在同时考虑所述照相机的至少一个光学特性、所述垂直轴和所述倾斜轴的至少一个的相对方位、所述照相机相对于所述基座元件及所述垂直轴及所述倾斜轴三者其一的方位。

2. 一种用于校准探测仪器的方法,所述探测仪器包含基座元件和具有图像传感器的照相机,所述照相机可绕相对于所述基座元件固定的垂直轴旋转并可绕倾斜轴旋转,所述倾斜轴随所述照相机绕所述垂直轴的转动而绕所述垂直轴旋转,

其中,校准点的图像在所述图像传感器上的不同位置以及在两面上产生,

其中,确定对每一所述校准点的距离数据以及对所述校准点的每一图像的位置数据和方位数据,其中,所述距离数据表示各个所述校准点与所述探测仪器之间的距离,所述位置数据表示所述校准点的所述图像在所述图像传感器上的位置,所述方位数据表示所述倾斜轴绕所述垂直轴旋转的水平角度以及所述照相机绕所述倾斜轴倾斜的垂直角度,

其中,基于每一所述校准点的所述距离数据、所述校准点的每一所述图像的所述位置数据和所述方位数据,对所述探测仪器进行校准,且同时考虑所述照相机的至少一个光学特性、所述垂直轴和所述倾斜轴的至少一个相同方位、所述照相机相对于所述基座元件及所述垂直轴及所述倾斜轴三者之一的方位。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法,其中,采用计算校准点的图像在所述图像传感器上的位置的模型,该模型包含可调节的模型参数并使用与所述校准点的每一所述图像相关联的距离数据和方位数据,并且为了进行校准,利用所述距离数据、所述位置数据和所述方位数据通过至少对所述校准点的方向和所述模型参数进行估计,使该模型符合所述位置数据。

4. 如权利要求 3 所述的方法,其中,为了对所述校准点的所述方向以及所述模型参数进行估计,采用最大似然估计法。

5. 如权利要求 3 所述的方法,其中,至少一个所述模型参数取决于所述校准点距所述探测仪器的距离或取决于当捕获所述校准点的图像时所述照相机的聚焦状态。

6. 如权利要求 3 所述的方法,其中,所述模型包含变换和照相机模型,所述变换用于将固定在所述基座元件上的仪器坐标系中的坐标变换到固定在所述照相机的照相机坐标系中,所述照相机模型用于将校准点的位置映射到在所述照相机坐标系中的所述图像传感器上的位置,所述变换具有可调节的变换参数,且所述照相机模型具有可调节的照相机参数,且为了进行校准,对所述校准点在所述仪器坐标系中的所述坐标、所述变换参数以及所述照相机参数进行估计,因此,通过所述模型计算得出的所述校准点的所述图像的位置适合

于所述校准点的图像的测量位置。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的方法, 其中, 进行所述校准时还考虑了竖盘指标误差和视准误差中的至少一个。

8. 如权利要求 1 或 2 所述的方法, 其中, 所述校准包含对所述照相机相对于所述倾斜轴和固定于所述基座元件的仪器坐标系其中之一的方位进行估计。

9. 如权利要求 6 所述的方法, 其中, 所述照相机模型包含投影中心, 根据所述照相机模型, 来自在所述图像传感器上被成像的目标点的所有光线在该投影中心相交, 其中, 至少一个模型参数涉及所述投影中心的定位。

10. 如权利要求 1 或 2 所述的方法, 其中, 与至少两个校准点相关联所述距离数据是互不相同的。

11. 如权利要求 1 或 2 所述的方法, 其中, 获取由所述图像传感器捕获的图像, 所述被捕获的图像包含所述校准点中至少一个的图像, 其中, 所述校准点中所述至少一个的所述图像在所述图像传感器上的位置通过在所述图像中搜寻所述校准点的所述图像来确定。

12. 如权利要求 2 所述的方法, 其中, 所述校准点中的至少一个距所述探测仪器的距离通过光 - 电距离测量被确定。

13. 如权利要求 2 所述的方法, 其中, 至少一个目标点被成像为虚校准点, 该虚校准点被成像在所述图像传感器上。

14. 如权利要求 13 所述的方法, 其中, 所述虚校准点通过准直仪和可在准直仪物镜和所述准直仪物镜的焦点之间被移动的标记来产生。

15. 如权利要求 2 所述的方法, 其中, 对至少一个所述校准点, 预先确定在所述图像传感器上的所述图像位置, 其中通过绕所述垂直轴的旋转以及绕所述倾斜轴的倾斜中的至少其中之一, 直到所述校准点被成像到所述图像传感器上的所述被预先确定的位置, 从而使所述照相机指向所述校准点, 且其中, 将结果所得到的方位数据读出。

16. 如权利要求 14 所述的方法, 其中, 对于所述校准点中的至少一个, 在所述图像传感器上以规则布置来产生该校准点的多个图像。

17. 如权利要求 15 所述的方法, 其中, 对至少一个校准点, 产生覆盖所述图像传感器上预先确定的区域的多个单元的布置, 且将所述单元中的随机位置用作所述校准点的图像位置。

18. 如权利要求 2 所述的方法, 其中, 对至少一个所述校准点, 使所述照相机指向预先确定的方位, 该方位通过水平和垂直角度或水平和垂直角度增量的预先确定的组合来限定, 其中, 在每一方位对所述校准点各个图像获取图像位置数据。

19. 如权利要求 18 所述的方法, 其中, 在两个面上获取所述图像位置数据和所述相应的方位数据。

探测仪器的校准

技术领域

[0001] 本发明涉及包含有照相机的探测仪器的校准方法、实施该方法的装置以及通过运用该方法进行校准的探测仪器。

背景技术

[0002] 探测通常包括对点——例如地形中的反射物（三面反射物）或目标——的角度和位置的确定，这些角度和位置可通过诸如经纬仪或准距仪的探测仪器进行测量。

[0003] 空间位置可用适当的坐标系中的坐标进行定义。例如，点的位置可用其笛卡尔坐标来确定，其中，笛卡尔坐标是相对于具有相互垂直的三个轴的笛卡尔坐标系定义的。但对于位置测量，球坐标更为适用。如图 1 所示，一个点的位置可以由其距正交坐标系原点的距离 d 、该坐标系水平轴的其中一条与连接坐标系原点及该点在水平面上投影的直线之间的角度 α 、与该水平面垂直的坐标系轴与连接该坐标系原点及该点的直线之间的垂直角 θ ，来在球坐标中定义。如现有技术所公知，笛卡尔坐标可转换为球坐标，反之亦然。

[0004] 探测仪器——例如经纬仪、准距仪，也被称作视距仪或全站仪——中采用了球坐标。如图 1 中示意性示出的那样，公知的经纬仪或准距仪包含望远镜 1 和倾斜轴 4，望远镜 1 可绕垂直轴 2 旋转，垂直轴 2 固定在经纬仪或准距仪的基座元件 3 上，倾斜轴 4 随望远镜 1 绕垂直轴 2 的转动而被旋转。绕垂直轴 2 转动的角度和绕倾斜轴倾斜的角度可从相应的水平盘 5 和竖盘 6 读出。

[0005] 在理想的经纬仪或准距仪中，倾斜轴 4 垂直于垂直轴 2，且两轴相交于一点。另外，望远镜 1 的视准线 7，亦称视准轴或视轴，垂直于倾斜轴 4 并穿过倾斜轴 4 与垂直轴 2 的交点。为了测量点的位置，理想地对经纬仪或准距仪进行定向，使得垂直轴 2 绝对竖直，即使其指向重力的方向。于是，通过垂直于垂直轴 2 的平面、垂直轴 2、作为倾斜轴 4 和垂直轴 2 的交点的原点来定义球坐标系。通过水平盘 5 可确定坐标系的一个轴，其相对于基座元件 3 固定。为了测量上述角度 α 和 θ ，通过绕垂直轴 2 旋转望远镜 1 以及绕倾斜轴 4 倾斜望远镜 1，使望远镜 1 的视轴 7 指向待测点。这样，角度 α 可从水平盘读出，角度 θ 可从竖盘 6 读出。获知了该点距该仪器的距离，可容易地得出笛卡尔坐标。

[0006] 然而，上述理想经纬仪或准距仪的条件实际上不能满足。更确切地说，测量的准确度可能因不同类型的误差而降低。第一误差涉及垂直轴 2 的方向。垂直轴 2 应该与地面绝对垂直，也就是说，其应该指向重力的方向，但实际上可能并非如此。这一误差并不是由于仪器本身所造成，因此只能通过探测仪器适当地进行定向来避免。可能存在第二误差，即视准线误差或视准误差 (collimation error)，其为视轴 7 和倾斜轴 4 之间的角度 γ 与直角的偏差（见图 2A）。第三误差为所谓倾斜轴误差（见图 2B），其为倾斜轴和垂直轴之间的夹角与直角的偏差。最后，可能存在所谓高度指标误差 (height-index error) z_0 ，其为视轴和垂直轴之间的真实角度与从竖盘上读出的相应角度的偏差（见图 2C）。最后的三种误差由于探测仪器的公差所造成。为了能够提供正确的测量，需要对探测仪器进行校准，即需要建立起水平盘和竖盘上读出的角度与对相应的真实角度之间的关系。

[0007] 所谓电视经纬仪 (video-theodolites) 或电视准距仪 (video-tacheometers) 与传统经纬仪或准距仪的不同之处在于其包含一照相机, 该照相机能够例如替代整个望远镜或只是望远镜的目镜部分。如图 3 中示意性示出的那样, 照相机 8 包含光学系统 9 和图像传感器 10。光学系统 9 在图像传感器 10 上形成一个场景中的一个点的图像。因此, 使待测量的点在图像传感器 10 的特定位置上成像。为了从点的图像在图像传感器上的位置来确定从探测仪器到该点的方向, 该方向由实际的垂直和水平角度确定, 需要知道图像传感器上的位置与相应的空间方向之间的关系。

[0008] 理想照相机的光轴应当垂直于图像传感器的平面, 且光学系统应当没有像差 (aberration) 或失真 (distortion)。此外, 光轴应当平行于照相机的参照轴。

[0009] 然而, 实际的照相机并不具备这些理想特性。因此, 校准——或者说空间方向与这些方向在图像传感器上所对应的图像位置之间的映射关系——是必需的。

[0010] 在探测仪器具有照相机的情况下, 例如在电视经纬仪或电视准距仪中, 至少两种校准看起来是必要的, 即对于仪器轴的校准以及对于照相机的校准。

[0011] 在 Y. D. Huang 的 “Calibration of the Wild P32 Camera using the Camera-ON-Theodolite method” (Photogrammetric Record, 16(91), 1998) 一文中, Huang 将布置在不同距离的一个或至多两个参照点进行连接到一台仪器, 该仪器为由严格意义上的探测仪器与照相机组成的系统。用待校准的照相机在不同的仪器方向上——也就是说, 要设置在该仪器上的水平和垂直角度的不同组合——来观测这些参照点。由于 Huang 使用了经纬仪, 所述两点之间的距离或这些点与所述仪器之间的距离必须已知。Huang 的方法的另一个缺点是仍未考虑仪器误差, 例如垂直轴误差和侧向视准误差 (lateral collimation error)。但是, 校准误差随这些仪器误差的大小而增大, 这降低了仪器的整体准确度。

[0012] 因此, 本发明的目标之一是为具有照相机的探测仪器——特别是电视经纬仪或电视测距仪——的校准提供一种易于实现且仅需少量关于该探测仪器的信息的方法, 以及实现该方法的装置。

发明内容

[0013] 本发明的第一实施例提供了一种用于校准探测仪器的方法, 该探测仪器包含基座元件和具有图像传感器的照相机, 该照相机能绕相对于所述基座元件固定的垂直轴旋转并能绕倾斜轴旋转, 该倾斜轴随着照相机绕垂直轴的转动而绕垂直轴被旋转, 其中, 采用了与校准点、校准点在不同面上 被捕获的在图像传感器上的图像相关联的数据, 对于每一所述校准点的数据包含距离数据, 其表示每一所述校准点与探测仪器之间的距离, 对于每一所述校准点的每一图像的数据包含图像位置数据和方位数据, 图像位置数据表示每一所述校准点的图像在所述图像传感器上的位置, 方位数据表示倾斜轴绕垂直轴转动的水平角度以及照相机绕倾斜轴倾斜的垂直角度, 其中, 在每一校准点的距离数据、校准点的每一图像的图像位置和方位数据的基础上, 对探测仪器进行校准, 同时, 考虑了照相机的至少一项光学特性, 以及垂直轴和倾斜轴的相对方位、照相机相对于基座元件及垂直轴及倾斜轴三者之一的方位中的至少一种方位。

[0014] 此外, 本发明的第二实施例提供了一种用于校准探测仪器的方法, 该探测仪器包

含基座元件和具有图像传感器的照相机,该照相机能绕相对于所述基座元件固定的垂直轴旋转并能绕倾斜轴旋转,该倾斜轴随着照相机绕垂直轴的转动而绕垂直轴转动,其中,在图像传感器的不同位置以及从两面生成校准点的图像,且其中,对每一所述校准点确定距离数据并对所述校准点的每一图像确定位置数据和方位数据,所述距离数据表示各个校准点和探测仪器之间的距离,所述位置数据表示校准点的图像在图像传感器上的位置,所述方位数据表示倾斜轴绕垂直轴转动的水平角度以及照相机绕倾斜轴倾斜的垂直角度。在每一校准点的距离数据、校准点的每一图像的位置数据和方位数据的基础上,对探测仪器进行校准,同时,考虑照相机的至少一项光学特性以及垂直轴和倾斜轴的相对方位、照相机相对于基座元件及垂直轴及倾斜轴三者之一的方位中的至少一种方位。

[0015] 根据本发明的这些方法适用于任何配备有照相机的探测仪器,尤其是电视经纬仪和电视准距仪。

[0016] 所述探测仪器包含基座元件,当仪器在使用时,其相对于被测点处于固定的位置上,特别是,基座元件相对于地面位置固定。举例而言,基座元件可装载在三脚架或三角架部件上。

[0017] 该探测仪器还包含具有图像传感器的照相机。照相机可能还包含光学系统或至少一个透镜以使被测点在图像传感器上成像。光学系统优选为对距该探测仪器一段距离的目标点进行完全成像,但照相机也可以仅对探测仪器的其他光学器件所生成的校准点图像进行成像。照相机的光学特性可特别指照相机的成像特性。光学特性可包括照相机光学器件的特性,例如透镜或照相机物镜的焦距、图像传感器相对于透镜或物镜的位置和方位、透镜或照相机物镜的图像误差。

[0018] 图像传感器可为光检测元件的任何至少两维的布置,其能以至少两维的分辨率来检测光。光检测元件的布置可为任意的。该元件优选布置为至少近似为矩形的矩阵或蜂巢形式。在现有技术中公知,图像传感器特别地可包含 CMOS 单元或 CCD 单元以作为光检测元件,尤其是 CMOS 阵列或 CCD 阵列。探测仪器还可包含图像获取单元,其与图像传感器相连并由图像传感器所提供的信号生成图像。图像可以用本领域技术人员所知的任何适当形式提供。对从图像传感器获取的、表示该图像的图像数据优选被压缩。

[0019] 照相机能够绕探测仪器的垂直轴旋转,在使用探测仪器时该垂直轴为垂直方向,否则可具有任意方向。照相机还可绕倾斜轴被倾斜,当照相机绕垂直轴转动时该倾斜轴被旋转。特别地,照相机可被装载在可绕垂直轴旋转的照准仪(alidade)上。除可能的倾斜轴误差外,倾斜轴优选为垂直于垂直轴。

[0020] 探测仪器还可包含所谓的水平盘,其用于标明在与垂直轴垂直的平面内倾斜轴相对于预先确定的方向的角位置,垂直轴、该平面以及该预先确定的方向相对于基座元件固定。此外,探测仪器还可包含所谓的竖盘,其可用于确定在垂直于倾斜轴的平面内照相机绕倾斜轴转动的角位置。在该垂直于倾斜轴的平面内,该角位置可依据任何预先确定的方向定义。该预先确定的方向优选为对应于当仪器在使用时的顶点(zenith),即与垂直轴共轴。所述水平角和垂直角可用来唯一地确定照相机相对于基座元件的方位。

[0021] 上述根据本发明的方法用于校准这样一种探测仪器。校准可能具体意味着确定目标点相对于固定于基座元件的坐标系的方向(被称为点的方向)与目标点的图像在图像传感器上的位置以及捕获包含目标点图像的图像时所用的测量得到的水平和垂直角度之

间的关系。

[0022] 根据第二实施例的方法与根据第一实施例的方法的不同之处在于第二方法包括校准所用数据的获取。因此,根据第一实施例的方法可用任何所提供的数据完成,该数据为例如在存储介质上的数据或通过实现该方法的装置的连接来提供的数据。

[0023] 采用至少两个校准点进行校准,这两个校准点也可视为或称作参照点。另外,对每个校准点在图像传感器上至少生成一个图像,优选生成该校准点的几个图像。为达此目的,在校准点和探测仪器相对固定的位置上,照相机可绕垂直轴被旋转和/或绕倾斜轴被倾斜。根据第一实施例的(以及根据第二实施例的)方法采用了对每个校准点的、表示校准点与探测仪器之间距离的数据并采用了对每一校准点的每一图像的图像位置数据和方位数据。位置数据表示,当校准点通过处于由相应的方位数据定义的方位的探测仪器的光学系统在图像传感器上成像时,校准点在图像传感器上的图像位置。所述位置数据可通过例如对 CCD 阵列中在校准点图像位置上的像素进行识别给出,方位数据具体表示相应的水平和垂直角度,其可通过使用合适的测量装置——例如水平盘或竖盘或将照相机设置在相应的方位——获得。

[0024] 在探测仪器的两面上生成数据。不必通过将仪器从第一面引至第二面来获得同一校准点的两个图像。诸如经纬仪或准距仪的探测仪器的两面的使用已为本领域所公知。如果目标点能在照相机的第一面看到,当照相机旋转 200gon 即 180° 并通过绕倾斜轴的倾斜来反转照相机时,也就是说在第二面上,也能看到同一点,除非出现轴误差过大等情形。

[0025] 采用这些数据——在下文也称为校准数据——来校准探测仪器。该校准至少考虑倾斜轴相对于垂直轴的相对方位,具体而言也就是倾斜轴误差,且同时考虑照相机的至少一个光学特性。照相机的光学特性可以为照相机的由用于成像的光学系统决定的任何特性,特别是该光学系统和图像传感器之间的相对位置。

[0026] 此外,所述校准同时考虑这些误差源和特性,即,校准在至少两个步骤中实现,其中,进行仅考虑误差源之一或仅考虑照相机光学特性之一的各自独立的校准。

[0027] 由于采用了在探测仪器两面上所获得的数据,且同时将潜在的轴误差以及照相机的光学特性包括在内,可实现非常精确、快速的探测仪器校准。此外,仅需要极少的其他仪器或照相机数据,或者不需要。

[0028] 本发明的第三实施例提供了一种数据处理系统,该数据处理系统包含处理器、存储器以及接口,当处理器执行用于实现本发明方法的计算机程序时,在存储器中存有该程序。该接口用于读取与本方法中所用校准点以及校准点图像相关联的数据。特别地,本发明第一实施例的方法可由数据处理系统实现。

[0029] 数据处理系统可为分立装置,其仅在探测仪器被校准时需要连接到探测仪器。然而,探测仪器本身可包含用于根据预先确定的任务处理测量得到的量的数据处理系统,其具有存储器,在存储器中存有上文提到的计算机程序。这一处理器还可用于运行该计算机程序。处理器可为特殊的微处理器、数字信号处理器、工作站或个人计算机中所用的处理器,视数据处理系统的类型而定。

[0030] 能够读取数据的任何装置均可用作接口。在最简单的实例中,接口可为用于录入所需数据的键盘或用于读取可替换的数据载体的读取装置。读取装置可为例如 CD-ROM 驱动器、DVD-ROM 驱动器、软盘驱动器或闪存 ROM 装置(例如 USB 棒或存储器卡)的读取器。

但接口适用于探测仪器与数据处理系统之间通过电缆或无线连接——例如蓝牙、无线局域网或光接口——的数据连接更有益。在另一实施例中,该接口还适用于向探测仪器输出命令。

[0031] 本发明的另一实施例提供了计算机程序,该程序包含程序代码,当计算机程序在计算机上运行时,该程序代码用于执行根据本发明第一实施例的方法。

[0032] 本发明的又一实施例提供了计算机程序产品,该计算机程序产品包含 存储在计算机可读的存储介质上的程序代码,当所述程序产品在计算机上运行时,该程序代码用于执行根据本发明第一实施例的方法。存储介质具体可以为诸如软盘或硬盘的磁存储介质、磁-光盘或诸如 CD、DVD 的光存储介质,也可使用诸如闪存芯片的永久性存储器。

[0033] 该计算机具体地可通过上文提到的数据处理系统具体实现。

[0034] 具体而言,计算机程序或计算机程序产品可包含程序代码,该程序代码用于读取与校准点和校准点在图像传感器上的图像相关联的数据,对每一所述校准点,该数据包含表示所述校准点与探测仪器之间距离的距离数据,对校准点的每一图像,该数据包含图像位置数据和方位数据,图像位置数据表示校准点的图像在所述图像传感器上的位置,方位数据表示倾斜轴绕垂直轴转动的水平角度以及照相机绕倾斜轴倾斜的垂直角度,其中,在每一校准点的距离数据、校准点的每一图像的图像位置和方位数据的基础上,对探测仪器进行校准,同时考虑照相机的至少一个光学特性,以及垂直轴和倾斜轴的相对方位、照相机相对于基座元件及垂直轴及倾斜轴三者之一的方位中的至少一个方位。数据可从任何写入了该数据的存储介质或存储器中读出。

[0035] 可采用几种方式实现校准。根据本发明的优选实施例,采用一种模型来计算校准点的图像在图像传感器上的位置,该模型包含可调节的模型参数并使用与校准点的每一图像有关的距离数据和方位数据,为进行校准,使用距离数据、位置数据和方位数据来对至少校准点的方向和模型参数进行估计,以使该模型适合于该位置数据。校准点的方向即为校准点相对于仪器所位于的方向。由于校准点到探测仪器的距离已知,校准点的方向足以完全确定校准点相对于探测仪器的位置,也就是至少相对于所述基座元件的位置。该方向可用校准点在固定于基座元件的坐标系中的球坐标的两个角度表示,第三球坐标为校准点与探测仪器之间的距离。这种类型的校准能考虑仪器的不同特性,这些特性可能对校准点在图像传感器上的图像位置产生影响,并使得能够计算适用的程度 (quality of fit)。校准的质量很大程度上取决于用于该校准的模型。模型对仪器的特性越具有代表性,也就越适用于校准所用的校准数据。

[0036] 可通过任何适当的估计方法估计校准点的方向和模型参数。然而,优选采用极大似然估计法对校准点的方位和模型参数进行估计。特别地,可进行最小平方适配,其使图像传感器上校准点图像的测量位置与根据模型计算得出的校准点图像位置之间的偏差最小。这些类型的估计均能相当迅速地进行。

[0037] 照相机的成像特性可能取决于被成像点的距离和 / 或照相机的聚焦状态 (focus state),例如,照相机物镜或照相机物镜中至少一个透镜相对于图像传感器的位置。在这种情况下为了得到精确的校准,优选为:至少一个模型参数取决于校准点距探测仪器的距离或捕获校准点图像时照相机的聚焦状态。模型参数可能以平滑的方式取决于该距离或照相机的聚焦状态,或者,可将可能距离的范围或物镜和 / 或透镜位置的范围分为数量预先确

定的多个子范围。那么,该参数对每个子范围可取不同的值。

[0038] 在特别优选的实施例中,所述模型包含一种变换和一种照相机模型,该变换将坐标由固定于基座元件的仪器坐标系中的坐标变换为固定于照相机的照相机坐标系中,该照相机模型将校准点的位置映射到照相机坐标系中图像传感器上的位置。该变换具有可调节的变换参数,且该照相机模型具有可调节的照相机参数。为进行校准,估计出校准点在仪器坐标系中的坐标、变换参数以及照相机参数,使得通过所述模型计算得出的校准点图像的位置符合校准点图像的测量位置。这种类型的模型使得仪器特性(尤其是仪器轴和照相机的装载)与照相机特性(尤其是照相机的光学特性)在概念上清晰地分离。借助如本实施例的方法可确定轴误差的大小。这些可用于改进探测仪器的构造、加工和机械再调节。特别地,至少一个照相机模型参数可取决于上一段中所介绍的距离和/或照相机的聚焦状态。

[0039] 所述变换优选为包括至少一个与倾斜轴误差有关的参数。优选为在考虑竖盘指标误差和视准误差中至少一个的情况下进行校准。在本文中,视准误差为倾斜轴和由照相机模型所提供的成像轴、视轴以及照相机轴三者之一之间的角度与直角(即 90° 或 100gon)之间的偏差。竖盘指标误差为当照相机在垂直于倾斜轴的平面内指向预先确定的方向——优选为顶点——时竖盘上的垂直角的读数与实际垂直角之间的偏差。所述变换优选为包含表示视准误差与竖盘指标误差二者之一的至少一个参数。当使用包含变换和照相机模型的模型时,由于可通过合适的旋转矩阵来并入对变换的相应影响,故可容易地考虑这些误差。

[0040] 此外,所述校准优选为包含对照相机相对于倾斜轴和固定于基座元件的仪器坐标系二者之一的方位的估计。照相机的方位具体可涉及由照相机的机械元件确定的轴(例如由透镜支撑器确定的轴)的方位。在这种情况下,所述变换优选为包含至少一个表示照相机相对于倾斜轴和固定于基座单元的仪器坐标系二者之一的方位的参数。因此能够考虑到由于照相机定位错误引起的误差。

[0041] 对于根据本发明的方法,通常可采用任意的照相机模型,但优选该照相机模型包含投影中心,并且优选该方法中至少一个模型参数涉及该投影中心的定位,根据该照相机模型,来自目标点的在图像传感器上成像的所有光线在投影中心相交。投影中心的位置可相对于基座元件表达,特别是相对于固定于基座元件的仪器坐标系。尤其四在这种情况下,当照相机的视场相当有限时,优选用针孔模型作为照相机模型,其能得到相当简单但准确度仍然足够的模型方程式。为了获得良好的校准准确度,所述模型优选为包含至少三个模型参数,这些参数表示投影中心的位置。因此,可以相当准确地对在相对于仪器轴的任意位置上的具有照相机的仪器进行校准。

[0042] 此外,为了表示照相机的某些光学特性特别是成像特性,在本发明的一个实施例中,照相机模型包含表示模型的像平面到投影中心之间距离的参数。特别地,在针孔照相机模型中,该参数可反映照相机常数。像平面优选为由图像传感器确定。为了使具有长焦距的照相机也能获得精确的校准,至少照相机常数可取决于该距离和/或照相机的聚焦状态。

[0043] 投影中心关于像平面的位置很大程度上由照相机光学系统的光学特性确定,因此,对于本发明来说,该位置表示照相机的光学特性。特别地,其可能与照相机光学系统的焦距有关。因此,可容易地对不同类型的光学系统建模,而不需要关于照相机或照相机光学系统的其它数据。

[0044] 为了获得高准确度的校准,照相机模型优选为包含表示图像中的失真的模型参数。这些失真可能由于例如照相机光学器件的瑕疵造成。

[0045] 为了确定与照相机光学特性有关的模型参数,与至少两个不同的校准点相关联的距离数据优选为互不相同。因此,将各个校准点定位在距探测仪器不同的距离处。这些点距探测仪器的距离差别越大,该方法的准确度越高,因此校准的准确度也就越高。

[0046] 此外,为了能够以良好的准确度确定表示倾斜轴误差的模型参数,优选使用至少一个校准点的至少两个图像,且所述至少一个校准点具有相当大的高度,也就是说接近顶点。

[0047] 此外,为了获得高的校准准确度,校准点图像的数量优选为多于可调节模型参数的数量,特别优选为多出很多的情况。

[0048] 如果对至少一个校准点的每个图像,对图像位置数据和 / 或方位数据进行多于一次的确定,校准的准确度还可进一步提高。

[0049] 图像位置数据优选为包含明确表示在图像传感器上的位置的数据。例如,这些数据可由在各自的位置上的光检测元件的识别码给出。该识别码,例如像素或光检测元件的地址,在必要时可被用于进行位置计算。然而,该模型还可直接提供该识别码。

[0050] 但是,在另一个实施例中,优选为获取由图像传感器捕获的图像——该被捕获的图像包含至少一个校准点的图像——并通过在多个图像中搜寻该校准点的图像来确定所述至少一个校准点在图像传感器上的所述图像的位置。因此,本实施例可以由照相机拍摄的图像自动地确定校准点的图像的实际位置。通过任何适合的已知的目标识别方法,可在图像传感器捕获的图像中识别校准点的图像。

[0051] 例如,两个图像可用照相机的相同方位来拍摄,一个图像包含校准点的图像,而另一个图像只显示背景。接着,这两个图像彼此相减,故在结果的差值图像中只留下作为签名的校准点,该签名可通过阈值标准来检测。如果表示校准点的目标的形状是已知的,则还可采用模板。变换模板的位置以使模板与图像中校准点的图像相匹配,这可通过现有技术中已知的例如相关性方法来完成。

[0052] 因此,优选为将一个表示校准点的模板用于搜寻该校准点的图像。

[0053] 校准点的距离数据可通过几种方法获得。如果仪器用预先确定的校准点校准,这些点的距离可以预先确定,并且作为已知数据提供或者被包含在特别为使用这些校准点编写的计算机程序中。为了达到这个目的,可以提供预先确定仪器在被校准时所处的位置。特别地,当用实际校准点校准电视经纬仪时,优选为用光电距离测定来确定至少一个校准点到探测仪器的距离。光电距离测定也就是光电距离测量,可进行相当精确的距离测量。此外,可在生成校准点的图像时进行测量。例如,可采用两种已知的方法,例如,采用脉冲激光束通过相差或飞行时间来测定距离。

[0054] 作为另一个选择,可将校准点提供在距探测仪器已知的距离处。

[0055] 校准点可用真实物体的形式提供,例如,如反射物(三面反射物)的协作目标或野外中的物体。但是,校准点不一定为真实物体的点。根据本发明第二实施例的方法的一个优选实施例,将至少一个物体点成像为虚校准点,将该虚校准点成像到图像传感器。该物体点可以为任何真实物体或真实物体的点,例如,光源或被照亮的十字准线(cross-hair)或狭缝 slit)。本实施例使得还能采用距离探测仪器的有效距离相当大的校准点进行校准。

[0056] 在本方法特别优选的实施例中,通过准直仪(collimator)和能在准直仪物镜(特别是准直仪透镜)与准直仪物镜焦点之间移动的标记(mark)来产生虚校准点。通常可使用多于一个的准直仪,特别是在获得不同高度的校准点时。另一个选择是在一个准直仪中使用至少两个标记的布置以同时产生相同数量的虚校准点。准直仪的特点在于能发射平行的光线,并将在光学无穷远处的点投射到有限距离上。在准直仪的焦点处提供标记,例如十字准线、狭缝或其他形状的光阑(stop),以在无穷远处产生该标记的像。该标记可通过适当的驱动器械装置在准直仪中移动,该机械装置可由人工操作或借助电动机操作。优选采用可延伸的准直仪,其具有包含准直仪物镜的物镜部分以及包含照明装置的照明部分,物镜部分和照明部分可彼此相对于对方移动。标记可以装载在照明部分之中,故照明部分相对于物镜部分的移动可用于在不同的虚距离产生标记的虚像。优选为可以以微米的准确度读出移动量。

[0057] 优选为基于目标点与用于产生目标点虚像的成像光学器件之间的距离、探测仪器与成像光学器件之间的距离、成像光学器件的成像特性来获取虚校准点的距离。特别对于准直仪的情况,由相对于焦点的移动量以及物镜的焦距,人们可以确定直立虚像的像距,该像表示虚校准点。该虚像可用待校准的探测仪器观测。由从仪器垂直轴到准直仪物镜或准直仪透镜的主平面或主焦平面的距离以及像距,可以计算出仪器和准直仪生成的虚校准点之间的最终的虚距离。

[0058] 因此可以用准直仪在2,000米或更远的虚距离处生成虚校准点,反之,不使用准直仪的情况下在如此远的距离生成校准点相当困难。具体而言,很难在野外寻找如此远的没有视线障碍的距离。此外,还避免了可能损害远距离校准测量的其他因素,例如,空气湍流等大气现象。另外,为了获得大小差不多相同的像,对于不同的距离可能需要不同大小的校准点目标。因此,由于其占据很小的空间且可基本上自动地工作,借助准直仪的校准特别适用于制造后的仪器的校准。最后,由于照相机的图像传感器——例如通常由像素组成的探测器矩阵阵列——常常易受周围的光的影响,而本方法使校准不依赖于环境条件。

[0059] 根据本发明的数据处理系统优选为包含输出接口和计算机程序,输出接口用于将命令输出到准直仪的驱动器以在准直仪物镜和准直仪焦点之间移动准直仪的标记,计算机程序包含移动该标记以在不同距离生成虚校准点的指令。具体而言,程序运行时,该指令可生成向驱动器发送的控制命令。根据本发明的计算机程序和计算机程序产品优选为包含可生成控制命令的程序代码,该控制命令被发送到准直仪的驱动器,该准直仪具有可由驱动器移动的标记。

[0060] 本发明的另一实施例提供了用于校准探测仪器的系统,该探测仪器包含基座元件和具有图像传感器的照相机,照相机可绕相对于所述基座元件固定的垂直轴旋转并可绕倾斜轴旋转,倾斜轴随着照相机绕垂直轴的转动而绕垂直轴旋转,该系统包含准直仪、可在准直仪物镜和准直仪物镜焦点之间移动的标记、用于移动该标记的驱动器、根据本发明一个实施方式所述的数据处理系统、与准直仪驱动器连接以按照数据处理系统生成的控制命令移动该标记的输出接口。该系统可用于实现根据本发明的方法。驱动器优选为包含步进电动机,故准直仪中标记的位置可被精确设置。或者,可以使用包含位置传感器的定位装置,该传感器的信号用于控制驱动器的电动机以将标记移动到预先确定的位置。

[0061] 校准点的数量和每一校准点图像的数量可优选为根据下列标准选择:所用所有校

准点图像的总量应当大于用于校准的模型参数的数量。为了得到良好的准确度,图像的数量应当比参数的数量多得多。如上所述,至少两个校准点应当设置在距探测仪器不同距离处。

[0062] 特别地,为了使图像传感器偏离轴线(off-axis)的点也得到校准,优选为在图像传感器的不同位置生成至少一个校准点的多个图像。它们优选为在图像传感器的至少一个预先确定的区域内均匀分布。

[0063] 可以用不同的方式得到图像点的预先确定的分布。根据本发明的优选实施例,对于至少一个校准点,预先确定图像传感器的图像的位置,通过将照相机绕垂直轴旋转和绕倾斜轴倾斜中的至少一种、直到校准点在图像传感器的预先确定的位置上成像,从而使照相机指向校准点,读出这样所得到的方位数据,并优选存储该数据。照相机优选为可用闭环控制进行再定位。根据本发明的数据处理系统还优选包含用于向探测仪器发送控制信号的接口,该探测仪器包含基座元件和具有图像传感器的照相机,照相机可绕相对于探测仪器基座元件固定的垂直轴转动并可绕倾斜轴转动,倾斜轴随着照相机绕垂直轴的转动而绕垂直轴旋转,该探测仪器还包含用于绕垂直轴旋转照相机和绕倾斜轴倾斜照相机的驱动器,该驱动器可由控制命令控制;该计算机程序还包含用于生成校准点的图像以及在图像传感器上预先确定位置的计算机代码。根据本发明的计算机程序和计算机程序产品优选为包含通过向探测仪器发布控制命令来生成校准点的图像和在图像传感器上预先确定的位置的程序代码。程序代码能够发布控制命令,该控制命令经由合适的接口输出到探测仪器。控制命令通过驱动器使得照相机进行再定位。一旦再定位已经完成,捕获另一个图像,并例如,将其发送到数据处理系统,该系统确定校准点图像的位置及其与预先确定的位置之间的偏差并发布进一步的控制命令。因此,只需要非常少的人工操作就能完成自动化校准。

[0064] 在根据本发明第二方面的方法的一个优选实施例中,在图像传感器上以规则的布置生成校准点的至少一个校准点图像。特别地,在采用具有矩形布置的光检测元件的图像传感器的情况下,可用矩形栅格(grid)给出规则布置。可对选择该栅格进行,使得当设置了表示角度组合的位置时,参照点尽量均匀分布在整個图像传感器平面上。当然,也可采用其他的规则布置,例如六角形布置。

[0065] 如果一直在图像传感器上的相同位置进行位置数据的读数,图像传感器的缺陷或瑕疵将妨害校准的可靠性。根据优选实施例,对校准点中至少一个点,形成覆盖图像传感器上预先确定的区域的多个单元(cell)的布置,将各个单元中的随机位置用作校准点图像的位置。图像传感器的预先确定的区域优选为至少包含图像传感器中用于探测任务的区域。多个单元的布置可以通过在这种单元布置所确定的位置上提供单元参照点,例如几何中心,以及单元的尺寸和形状来形成。所述单元通常可以任意布置,但优选为均匀布置。例如,可采用像矩阵一样的单元布置。单元中的随机位置可以通过可生成按预先确定的概率分布而分布的伪随机数的所谓伪随机数产生器来获得。例如,Press,H. 等人在“Numerical Recipes in C”(Cambridge University Press,1992, pp. 274-286)中讨论了合适的随机数生成器。采用随机位置可降低有缺陷的光检测元件对校准的影响。

[0066] 在本方法的一个优选实施例中,为每个单元给出了至少两个随机位置,在第一面上,在这些随机位置中的第一个处产生校准点的第一图像,而在第二面上,在随机位置中的第二个处产生校准点的第二图像。因此,对第一和第二面,每个角度组合的随机位置不需

要相同且可各自独立地确定。可以首先在第一面上为每个单元、其后在第二面上为每个单元确定随机位置和相应的方位数据,这是本实施例的一个优点。

[0067] 或者,对于至少一个校准点,将照相机指向预先确定的方位,该方位由水平和垂直角增量或水平和垂直角度的预先确定的组合确定,且获得每个方位上校准点的各个图像的图像位置数据。由于不需要闭环控制来控制照相机的方位,本实施例可以快速设置水平和垂直角。旋转或倾斜可以通过将达到的角度或照相机连续再定位之间的角度增量来确定。特别地,如果将根据本发明的方法用于大量同一类型探测仪器的校准,可对水平和垂直角度进行选择,使得除探测仪器中的公差外,可在图像传感器上获得想要的图像位置分布。可以存储水平和垂直角度的这些组合,并将其用于待校准的每一探测仪器。

[0068] 在优选实施例中,对校准点的至少一个图像,在两个面上获取图像位置数据和相应的方位数据。因此,在对第一面获取数据后,将照相机绕垂直轴旋转 200gon 或 180 度并接着倾斜为 400gon 减去在第一面的测量中设置的垂直角度。这里假设为零的垂直角对应着顶点。在这种情况下,在用于校准的数据中倾斜轴误差会表现得更加明显,因此校准会更加精确和 / 或迅速。

[0069] 对具有处理图像传感器所获取的图像数据的数据处理单元的探测仪器的校准一旦完成,可将相应的模型数据存储在分立于探测仪器或集成在探测仪器之中的数据处理单元内。另外,数据处理单元中可存储程序,该程序可以在校准所用的模型、所获得的模型参数、所设置的水平和垂直角的基础上进行在图像传感器上成像的目标点方向的计算。

[0070] 因此,本发明的另一方面提供了一种探测仪器,该探测仪器包含基座元件和具有图像传感器的照相机,该照相机能绕相对于所述基座元件固定的垂直轴旋转并能绕倾斜轴旋转,该倾斜轴能够随着照相机绕垂直轴的转动而绕着垂直轴旋转,该探测仪器采用依照本发明的方法进行校准。特别地,探测仪器可包含用于执行程序的处理器和非易失性存储器,在该存储器中存有校准所得的模型参数值以及采用校准所用模型实现校准的程序代码。

[0071] 因此,本发明的另一方面提供一种探测仪器,该探测仪器包含基座元件和具有图像传感器的照相机,该照相机能绕相对于所述基座元件固定的垂直轴旋转并能绕倾斜轴旋转,该倾斜轴绕着垂直轴随着照相机绕垂直轴的转动被旋转,其中,目标点通过照相机在图像传感器上的成像可以通过使用工作在固定于照相机的坐标系中的照相机模型以及用于在仪器坐标系和照相机坐标系之间进行坐标变换的变换模型来建模,该仪器还包含数据处理单元,在该单元中存有用照相机和变换模型确定用照相机捕获的目标点的方向的程序代码,其中,用通过照相机模型获得的方向、变换模型以及目标点距仪器坐标系原点的距离来计算仪器坐标系原点到目标点的方向。探测仪器优选为还包含用于测量目标点到仪器坐标系原点之间距离的距离测量装置。仪器坐标系原点优选为倾斜轴和垂直轴的交点或最接近倾斜轴和垂直轴的点,故该仪器可被用作已知的仅具有望远镜的准距仪。特别地,照相机可以在平行于倾斜轴的方向从仪器坐标系原点偏离。

[0072] 此外,提供用于探测仪器的计算机程序,探测仪器包含数据处理系统、基座元件以及具有图像传感器的照相机,该照相机绕相对于所述基座元件固定的垂直轴旋转并绕倾斜轴旋转,倾斜轴绕垂直轴随着照相机绕垂直轴的转动而被旋转,其中,目标点通过照相机在图像传感器上的成像可通过工作在固定于照相机的坐标系下的照相机模型以及用于在仪

器坐标系和照相机坐标系之间变换坐标的变换模型来建模,该计算机程序包含程序代码,该程序代码用于采用照相机和变换模型来确定照相机所捕获的目标点的方向,其中,在数据处理系统执行该程序时,用通过照相机模型、变换模型以及目标点距仪器坐标系原点的距离所获取的方向来计算从仪器坐标系原点到目标点的方向。

[0073] 本发明的另一个方面提供一种探测仪器,该探测仪器具有带有图像传感器的照相机,其中,目标点通过照相机在图像传感器上的成像可以通过使用具有投影中心的照相机模型来建模。该探测仪器还包含基于图像传感器所捕获的图像来显示图像的显示器以及用于控制该显示器以显示表示视轴的标记的控制单元,该视轴由投影中心和倾斜轴与垂直轴的交点或距离倾斜轴与垂直轴最近的点来确定。视轴的这一摄影测量定义具有这样的优点,即十字准线由摄影测量视轴与图像平面即图像传感器平面的交点所确定,竖盘指标误差和侧向视准误差为与距离无关的常数。因此可容易地在测量数据的处理中考虑进这些误差。

附图说明

[0074] 下面参照附图用举例的方式详细阐释本发明的典型实施例,在附图中:

[0075] 图 1 示出了具有相应坐标系和目标点的准距仪的原理性透视图;

[0076] 图 2A 示出了图 1 中准距仪的顶视图,该仪器具有视准误差;

[0077] 图 2B 示出了图 1 中准距仪的前视图,该仪器具有倾斜轴误差;

[0078] 图 2C 示出了图 1 中准距仪的侧视图,该仪器具有垂直高度指标误差;

[0079] 图 3 示出了电视准距仪的简化后的透视图;

[0080] 图 4 示出了本发明所用的电视准距仪的前视图;

[0081] 图 5 示出了图 4 中电视准距仪的望远镜单元的侧视图;

[0082] 图 6 示出了图 4 中电视准距仪的原理框图;

[0083] 图 7 示意性地示出了具有数据处理系统和可延伸的准直仪的图 4 中的电视侧距仪;

[0084] 图 8 示出了图 7 中准直仪的示意性剖视图;

[0085] 图 9 示出了针孔照相机模型;

[0086] 图 10 示出了在以本发明第一典型优选实施例的方法用于校准的模型中,所用像平面和轴的布置以及坐标系的透视图;

[0087] 图 11 示出了图 10 中布置的顶视图;

[0088] 图 12 示出了图 11 中布置的侧视图;

[0089] 图 13 以流程图形式示出了校准方法的概观;

[0090] 图 14 示出了在图 13 中方法的 S1 部分中,生成校准点图像的流程图;

[0091] 图 15 示出了更详细的流程图,其阐释了图 14 所示方法的步骤 S7 中点的图像的生成;

[0092] 图 16 示出了虚像点的虚距离的计算;

[0093] 图 17 示出了图 4 到 6 中电视准距仪的第一图像传感器的部分以及覆盖该图像传感器部分的单元的布置;

[0094] 图 18 示出了采用根据本发明第二优选典型实施例来校准图 4 到 6 的电视准距仪

的机构；

[0095] 图 19 示出了相对于仪器中心的方向的计算；

[0096] 图 20 示出了图 1 中电视准距仪的显示器以及在显示器上显示的指示摄影测量视轴的标记的原理视图；

[0097] 图 21 示出了用于阐释根据本发明另一典型实施例的方法的原理图；

[0098] 图 22 示出了另一电视准距仪的望远镜单元的示意性的侧面剖面视图,该电视准距仪能用图 13 到 15 的方法校准；

[0099] 图 23 原理性地示出了又一种准距仪的设计；

[0100] 图 24 为两种坐标系和主要旋转的透视图；

[0101] 图 25 示出了在包含水平轴的水平面中的主要关系；以及

[0102] 图 26 示出了在包含垂直轴的垂直面中的主要关系。

具体实施方式

[0103] 可通过本发明的方法的第一典型优选实施例进行校准的电视准距仪 11 在图 4 到 6 中以简化的形式示意性地示出。

[0104] 照准仪 12 被布置在用作电视准距仪 11 的支撑的三脚架 14 的基座元件 13 之上。照准仪 12 可绕垂直轴 15 旋转,如果电视测距仪 11 相对于地面被恰当定向,则垂直轴 15 被定向为垂直于地面。照准仪 12 载有望远镜头单元 16,望远镜单元 16 包含外壳 17、具有广阔视场的寻像照相机 (finder camera) 18、望远照相机 19。望远镜单元 16 可绕倾斜轴 20 旋转,倾斜轴 20 在倾斜轴误差范围内垂直于垂直轴 15。因此,倾斜轴 14 随着照相机 18 和 19 之一的转动而绕垂直轴 15 旋转。控制面板 21 可拆卸地装载在照准仪 12 上。照准仪 12 可藉由手柄 86 拿起。

[0105] 设置旋转和倾斜驱动器 22 和 23 分别用于绕垂直轴 15 旋转照准仪 12 和绕倾斜轴 20 倾斜望远镜单元 16。

[0106] 为了测量绕垂直轴 15 的旋转角度即水平角度,为水平角度传感头 25 提供有刻度的水平盘 24,水平盘 24 与垂直轴 15 同轴。传感头 25 装在照准仪 12 上,可感知照准仪 12 相对于基座元件 13 的角位置并由此感知望远镜单元 16、照相机 18 和 19 相对于基座元件 13 的角位置。

[0107] 为了测量绕倾斜轴 20 的旋转的角度即测量倾斜,即垂直角度,相应地将有刻度的竖盘 26 装载在倾斜轴 20 上,且与倾斜轴 20 同轴。用于垂直角的传感头 27 同样装在照准仪 12 上,其可检测望远镜单元 16 的角位置。

[0108] 电视准距仪 11 还包含布置在照准仪中的光学铅锤 28,其包含沿垂直方向指向下方的小型望远镜。该小型望远镜的光轴基本与垂直轴 12 同轴。因此,光学铅锤 28 可用于将电视准距仪 11 的中心定位在地上的一点(例如界石)之上,或将电视准距仪 11 定位在地上的一点。作为替代物,可使用沿垂直方向向下射出光束的光学铅锤,该光束基本与垂直轴 12 同轴。

[0109] 布置在照准仪 12 中的倾斜度传感器或倾斜仪 29 对照准仪 12 的倾斜度进行测量,故在互相垂直的两个方向上测量出电视测距仪 11 的倾斜度,也因此能够检查垂直轴 15 是否在给定的测量准确度范围内位于真正的垂直方向,以及倾斜轴 20 是否合乎倾斜轴误差

地位于相对于地面的真正水平方向。

[0110] 将三种光学装置布置在望远镜单元 16 中,在图 4 中示出了望远镜单元 16 的前视图,并在图 5 中的侧视剖面视图示出。它们为寻像照相机 18、望远照相机 19 和测距装置 30。

[0111] 望远照相机 19 包含物镜 31、聚焦透镜 32 和第一图像传感器 33。目标或目标点由物镜 31 和聚焦透镜 32 成像在图像传感器 33 上,其中,为了将图像聚焦到图像传感器上,沿物镜 31 和聚焦透镜 32 的光轴移动聚焦透镜 32,如图 5 中的箭头所指示。望远照相机 19 的视场相当狭窄,其在图 5 所示的边界光线 34 的范围内。

[0112] 寻像照相机 18 使用望远照相机 19 的某些光学元件。寻像照相机 18 包含物镜 31、布置在物镜 31 的光路上的分光棱镜 35、辅助物镜 36、光阑 (diaphragm) 37 和第二图像传感器 38。物镜 31 和辅助物镜 36 的组合物镜将来自寻像照相机 18 所捕获画面的光聚焦到第二图像传感器 38 之上。在组合物镜中,透过物镜 31 的光被分光棱镜 35 的半反射表面 39 朝向辅助物镜 36 进行反射。辅助物镜 36 减小了用于寻像照相机 18 的组合物镜的焦距。光阑 37 确保将大于几米的距离上的目标在第二图像传感器 38 上基本上聚焦地成像,因此对寻像照相机 18 来说不再需要聚焦透镜。由于减小了组合物镜的焦距,寻像照相机 18 的视场(如图 5 中限制线 40 所示)大于望远照相机 19 的视场。寻像照相机 18 的视野优选为望远照相机 19 视野的十倍或十倍以上。

[0113] 第一和第二图像传感器 33 和 38 均为包含光检测元件的布置的 CCD 矩阵传感器,该布置非常近似于矩形。图像传感器所捕获的图像由下文进一步讨论的单元进行处理。

[0114] 测距装置 30 包含光辐射发射/接收单元 41、具有分光层 43 的二色分光棱镜 42 以及物镜 31。发射/接收单元 42 发射红外辐射,该红外辐射被二色分光棱镜 42 朝向物镜 31 进行有选择的反射。接着,该红外辐射击中地形中的反射物或目标并从那里被返还。物镜 31 通过分光棱镜 42 将被返还的红外辐射聚焦到发射/接收单元 41。发射/接收单元 41 发射红外辐射脉冲并测量脉冲从发射/接收单元 41 到目标并返回发射/接收单元 41 的飞行时间,并由飞行时间确定目标距电视准距仪 11 的距离。

[0115] 电视准距仪 11 中部件的任何移动均通过电子方式实现。图 6 为原理性示出电视准距仪 11 不同的功能块及其相互连接的框图。虚线示出了物理单元,其中布置有相应的组件和装置。

[0116] 布置在照准仪 12 中的电池 44 为电源单元 45 提供能量,电源单元 45 用于向电视准距仪 11 提供能量。电源单元 45 以所需要的运行电压向照准仪 12 中的所有部件和装置以及望远镜单元 6 供能,还为与其相连接的所有模块供能。为更好的观看,没有示出这些连接线。各个部件可通过独立的线进行连接,如同照准仪 12 中的部件那样,或者通过中央总线 46 连接,中央总线 46 提供照准仪 12 与望远镜单元 16 之间的数据和电源线。布置在倾斜轴 20 上的滑动环 47 连接总线 46 的照准仪 12 中的部分和望远镜单元 16。望远镜单元 16 中的电气部件或电子部件借助这些滑动环 47 被供能并与照准仪 12 中的部件交换数据。

[0117] 布置在垂直轴 15 上的滑动环 47' 能保证来自外部的供能并保证通过未示出的插头进行来自或送至外部装置的数据传输。

[0118] 对于电视准距仪 11 的控制和运行,电视准距仪 11 装备有控制面板 21 和以角度编码器形式布置在照准仪 12 上的运行单元 48、49、50,其可通过相应的旋钮进行操作。控制电

视准距仪 11 运行的重要电子装置是布置在照准仪 12 中并由电源单元 45 供能的设备控制单元 51。

[0119] 控制面板 21 用于操作者和电视准距仪之间的通讯,其配备有用于输入的键盘 52、例如 LCD 的显示器 53、与显示器 53 和键盘 52 相连接的计算机 54,其中,显示器 53 用于输出数据和照相机 18、19 的其中之一分别捕获的图像。

[0120] 控制面板 21 通过可松开的连接 55 与布置在照准仪 12 之中的设备控制单元 51 以及电源单元 45 相连接。由于控制面板 21 是可拆卸的,其可以配有自己的电池,这保证了计算机 54 即使在控制面板 21 从照准仪 12 拆除时也能继续工作。计算机 54 通过连接 56 连接到设备控制计算机 51,其可通过它的程序和数据存储器进行大量的大地测量计算。

[0121] 运行单元 48、49、50 通过相应的接口 57 连接到设备控制计算机 51。接口 57 能分别生成与运行单元 48、49、50 的旋转位置一致的信号,这些信号被传送到设备控制单元 51。

[0122] 运行单元 48 和 49 分别对照准仪 12 绕垂直轴 15 的转动、望远镜单元 16 绕倾斜轴 20 的倾斜进行控制。分别按照来自运行单元 48 和 49 的信号以及来自接口 57 的信号,设备控制装置 51 通过照准仪 12 中的控制电路 58 和 59 分别控制驱动器 22 和 23 以绕垂直轴 15 旋转照准仪 12 和绕倾斜轴 20 倾斜望远镜单元 16。角度测量可用于驱动器 22 和 23 的控制。

[0123] 驱动器 22 和 23 不必唯一地由运行单元 48 和 49 分别控制,而是还可在根据由设备控制单元 51 存储并执行的程序被控制,或者根据发送到设备控制单元 51 的命令被控制。

[0124] 驱动器 22 和 23 与角度测量装置协作,该角度测量装置分别为用于水平角度的有刻度的水平盘 24 以及相应的传感头 25,或用于垂直角度的有刻度的竖盘 26 以及相应的传感头 27,因此,可以按照期望以可测量的方式绕垂直轴 15 旋转具有望远镜单元 16 的照准仪 12,并绕倾斜轴 20 旋转望远镜单元 16,且可将照准仪 12 和望远镜单元 16 引到所想要的水平和垂直角位置。通过设备控制计算机 51,和其他目的一起达到此目的,设备控制计算机 51 接收来自传感头 25 和 27 的信号,并按照所述信号,控制控制电路 58 以控制水平驱动器 22,以及控制控制电路 58 以控制垂直驱动器 23。

[0125] 照准仪 12 绕垂直轴 5 有待旋转到的角度以及望远镜单元 16 绕倾斜轴 20 有待旋转到的角度可用三种方式提供。首先,运行单元 48 和 49 能将相应的角度输入到设备控制计算机 51。其次,设备控制计算机 51 能以来自电视准距仪 11 其他部件的数据的函数来确定将要设置的角度,并相应地分别对控制电路 58 和 59 进行控制。第三,相应的数据可通过例如 RS232 接口的接口 60 输入到设备控制单元 51。

[0126] 具有天线 62 并连接到设备控制计算机 51 的无线电模块 61,用于与例如遥控器的远程设备之间交换数据。例如,电视准距仪 11 能通过遥控器或遥控站进行远程控制,该遥控器或遥控站位于测量的目标点上,但在附图中没有示出。

[0127] 为了处理图像传感器 33 和 38 的信号,在望远镜单元 16 中提供数据压缩单元 63,其对自图像传感器 33 和 38 接收的图像数据进行压缩。接着可将压缩后的数据送到设备控制单元 51,设备控制单元 51 可处理和 / 或将数据转送到计算机 54 和显示器 53。

[0128] 为了控制聚焦透镜 32 的位置,布置在照准仪 12 处的、与运行单元 48 和 49 类型相同的运行单元 50 通过接口 57 向设备控制单元 51 提供信号,设备控制单元 51 又将相应的控制信号提供给布置在望远镜单元 16 中的伺服控制单元 64 以驱动用于移动聚焦透镜 32

的相应的聚焦驱动器。附图中未示出此驱动器。

[0129] 设备控制单元 51 还连接到上述光学铅锤 28 和倾斜度传感器 29。

[0130] 设备控制单元 51 包含易失性存储器、非易失性存储器和处理器,处理器用于执行存储在非易失性存储器中的程序。该程序适用于处理图像传感器 33 和 38 所分别获取的图像,并采用控制面板 21 中的计算机 54 将处理的图像显示在显示器 53 上。该程序还包含一程序模块,该模块可将目标点(其图像被望远照相机 19 捕获)的方向作为该目标点的图像在图像传感器 33 上的位置、从水平盘 24 和竖盘 26 读出的水平和垂直角度的函数来进行计算。目标点可通过附图中未示出的、通过计算机 54 连接到设备控制单元 51 的指示装置进行选取,例如鼠标。

[0131] 电视准距仪 11 还可通过按照本发明第一典型实施例的用于校准探测仪器的方法,采用如本发明第一典型实施例的数据处理系统 65 以及延伸的准直仪 66 进行校准。

[0132] 该设制在图 7 中示意性示出。

[0133] 数据处理系统 65 包含处理器 67、用于存储由处理器 67 执行的程序以及永久和暂时数据的存储器 68、用于读取校准用数据并将命令发送到待校准探测仪器(即电视经纬仪 11)的接口 69。在本实施例中,接口 69 为 RS232 接口。数据处理系统 65 还包含对存储介质的读取器,在这种情况下是 CD-ROM 驱动器 70,用于从 CD 71 形式的存储介质中读取根据本发明第一优选典型实施例的计算机程序,在 CD71 上存有根据本发明第一优选典型实施例的计算机程序。当计算机程序通过 CD-ROM 驱动器 70 从 CD71 读出并存储在存储器 68 中后,可由处理器 67 执行该程序以完成有待数据处理系统执行的校准方法之步骤。

[0134] 数据处理系统 65 通过连接 72 连接到电视准距仪 11 的接口 60,在本实施例中连接 72 为合适的电缆。

[0135] 该设制还包含准直仪 66,其用于生成虚校准点。准直仪 66 在图 8 中详细示出,其包含引导管元件 73 和被导管元件 74。被导管元件 74 在被管元件 73 导引时,可在引导管元件 73 中移动。

[0136] 引导管元件 73 可通过附图中未示出的装载工具装载在相对于地面固定的位置上。借助通过旋钮进行操作的齿条-齿轮驱动器 75 可使被导管元件 74 相对于引导管元件 73 滑动,图 8 中未示出该旋钮。被导管元件 74 相对于引导管元件 73 的位置可通过适当的测量装置确定到微米的准确度,例如,通过刻在管元件 73 和 74 上的刻度 87。

[0137] 布置在被导管元件 74 中的照明装置 76 照亮了背景玻璃屏幕 77。被照亮的背景玻璃屏幕 77 照亮了第一十字准线 78。在照明装置 76 发射出的光的光路上布置分光器 79,其将透过第一十字准线 78 的光变换方向到朝向装载在引导管元件 73 中的物镜 80。物镜 80 将十字准线 78 作为实像或虚像成像到由物镜 80 距第一十字准线 78 之间距离所确定的距离上。为了校准的目的,第一十字准线 78 定位在介于物镜 80 和其物侧焦点之间。故十字准线 78 表示可用于产生虚校准点的浮标。

[0138] 在物镜 80 的经过分光器 79 的光轴上布置第二十字准线 81,第二十字准线 81 可以用目镜 82 观测。

[0139] 为了校准带有处于工作状态的望远照相机 19 的电视准距仪 11,采用包含可为校准进行调节的模型参数的模型。该模型包含两个子模型。

[0140] 第一子模型为用于将固定于基座元件 13 的坐标系下的坐标变换到固定于照相机

即望远照相机 19 的照相机坐标系。第一子模型包含在仪器上设置的水平和垂直角度参数以及关于如以上介绍所提到的轴误差的参数,即倾斜轴误差和某些形式的视准误差和竖盘指标误差。

[0141] 第二子模型为照相机模型,其表示目标点由照相机在照相机的图像传感器上的成像。在本实施例中,采用针孔模型。

[0142] 本模型中大致采用两种坐标系。第一坐标系称为仪器坐标系,其相对于基座元件 13 固定(见图 4)。其为原点位于垂直轴 15 与倾斜轴 20 的交点且具有互相垂直的 X 轴、Y 轴、Z 轴的笛卡尔坐标系。在这些轴不相交的情况下,将最接近这些轴的点用作坐标系的原点。如果垂直轴 15 垂直于地面,由于 X 轴和 Y 轴垂直于垂直轴 15,故为水平方向。在本坐标系中点 P 具有笛卡尔坐标 (X, Y, Z)。

[0143] 其次,采用了照相机坐标系,其相对于照相机 19 固定,由 x 轴、y 轴、z 轴确定,所有三轴相互垂直。点 P 的位置可用照相机坐标系中的坐标 (x, y, z) 描述。

[0144] 在下文中,仪器坐标系中的坐标用大写字母表示,而照相机坐标系中的坐标用小写字母表示。

[0145] 首先,参照图 9 详细介绍照相机模型。

[0146] 用作照相机模型的针孔模型假设由照相机在图像传感器上成像的点 P 可用该点通过投影中心 O 在图像平面 IP 上的投影描述,图像平面 IP 与图像传感器 33 有关,并具体地可在同一平面上。

[0147] 因此,图像平面 IP 和投影中心 O 相对于像平面的位置确定了针孔模型。由于投影中心相对于像平面的位置由照相机光学器件——此处为物镜 31 和聚焦透镜 32——确定,该位置表示了照相机的光学特性尤其是照相机的成像特性。目标点 P 到图像平面的成像用目标点通过投影中心 O 在像平面上的投影表示(见图 9)。假设像平面大致为图像传感器的平面,故照相机坐标系的 x 轴和 y 轴平行于像平面。照相机直角坐标系的 z 轴为通过投影中心垂直于像平面的直线。由于图像总是在像平面上,所述位置可以仅用 x 和 y 坐标来描述。

[0148] 令 (x, y, z) 为照相机坐标系中点 P 的坐标, (x₀, y₀, z₀) 为照相机坐标系中投影中心的坐标。因此,通过投影中心 O 垂直于像平面 IP 的该直线——即 z 轴——的穿刺点 (piercing point) H_p 在 x-y 平面内具有坐标 x₀ 和 y₀。此外, (x', y', z') 表示点 P 通过照相机在像平面上产生的像 P' 的坐标。如果照相机的光学器件不产生失真,通过简单的几何证明可以得到下面的关系(见图 9):

$$[0149] \quad \frac{x' - x_0}{c_k} = \frac{x - x_0}{z - z_0}$$

$$[0150] \quad \frac{y' - y_0}{c_k} = \frac{y - y_0}{z - z_0}$$

[0151] 其中, c_k 为所谓的照相机常数,其表示投影中心与像平面之间的距离。因此, z' = c_k 成立。

[0152] 照相机光学器件可能在图像中产生失真,这种失真是由于照相机光学器件中所用透镜的瑕疵和 / 或它们的对齐程度所造成。为了考虑第一阶的径向失真,引入另一个参数 v。图像位置由于失真而导致的相对变化用常数 v 乘以所述像到穿刺点 H_p 径向距离的平方来表示。如果点 (x, y, z) 在没有失真的情况下落在像平面的 (x', y') 上,像点到穿刺点

H_p 的径向距离的平方为 $(x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2$ 。因此,加上失真修正 $\Delta x'$ 和 $\Delta y'$,得到下式:

$$[0153] \quad x' = x_0 + c_k \frac{x - x_0}{z - z_0} + \Delta x'$$

$$[0154] \quad y' = y_0 + c_k \frac{y - y_0}{z - z_0} + \Delta y'$$

[0155] 以及

$$[0156] \quad \Delta x' = v((x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2)(x' - x_0)$$

$$[0157] \quad \Delta y' = v((x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2)(y' - y_0)$$

[0158] 且 v 为表示照相机光学器件的上述一阶径向失真的照相机模型参数。

[0159] 这些公式仅在照相机坐标系中有效。如果要在仪器坐标系中表达目标点的坐标,必须进行这些坐标系之间的变换。这就是变换子模型。

[0160] 通常,该变换可用绕坐标系轴的三次旋转的序列和空间的平移矢量来表示。因此,可用下式将点 P 在照相机坐标系中的坐标 $p^t = (x, y, z)$ 变换为在仪器坐标系中的坐标 $P^t = (X, Y, Z)$:

$$[0161] \quad p = T + R^{-1}P$$

[0162] 其中, T 为平移矢量, R^{-1} 为旋转矩阵的乘积 R 的逆。由于在校准中,对投影中心的位置和像平面的位置和方向进行了调整,故照相机坐标系的原点可选择为投影中心,结果得到下式:

$$[0163] \quad p = R^{-1}(P - O)$$

[0164] 将这一关系代入到求 x' 和 y' 的公式中,得到所谓的共线方程:

$$[0165] \quad x' = x'_0 - c_k \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta x'$$

$$[0166] \quad y' = y'_0 - c_k \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta y'$$

[0167] 其中

$$[0168] \quad \Delta x' = v((r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0))^2 + (r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0))^2)$$

$$[0169] \quad (r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0))$$

$$[0170] \quad \Delta y' = v((r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0))^2 + (r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0))^2)$$

$$[0171] \quad (r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0))$$

[0172] 其中, r_{ij} , $i, j = 1, \dots, 3$ 为 R 的矩阵元素,且投影中心 O 在仪器坐标系中的坐标为 (x_0, y_0, z_0) 。

[0173] 由于将相机坐标系的原点选择为投影中心,且假设 z 轴垂直于像平面,在图像传感器坐标系中读出的在图像传感器上的成像位置 (x'', y'') 对应由 $x' = x'' - x_s''$ 和 $y' = y'' - y_s''$ 给出的在照相机坐标系中的图像位置,图像传感器坐标系具有沿 CCD 传感器矩阵的行与列方向的 x'' 轴和 y'' 轴, (x_s'', y_s'') 为由图像传感器所测量出来的 z 轴与像平面的交点位置的坐标,也就是说,图像传感器上相应像素的位置。因此,在上面的公式中, x' 和 y' 用 $x'' - x_s''$ 和 $y'' - y_s''$ 替换。

[0174] 简言之,照相机模型的参数为穿刺点的坐标 x_s 和 y_s 、照相机常数 c_k 以及表示照相机光学器件失真特性的参数 v 。由于照相机坐标系的定义, $x_0 = y_0 = 0$ 成立。

[0175] 照相机坐标系和仪器坐标系之间的变换可用多种方式推导,例如如下所述,通过对照相机坐标系从其与仪器坐标系一致的方位开始接连进行多次旋转。

[0176] 图 10 示出了具有坐标轴 x 、 y 和 z 的照相机坐标系,具有坐标 x'' , y'' 和坐标为 (x_s'', y_s'', c_k) 的原点的图像坐标系以及它们相对于仪器坐标系 (X, Y, Z) 的关系,其中, x'' 轴和 y'' 轴平行于 x 轴和 y 轴。在图 10 中,仪器坐标系的原点位于理论上的倾斜轴、垂直轴和视轴的交点上(也就是说,在仪器中心或准直仪的中心)。对于这些理论轴,满足上述条件:理论垂直轴 15 假设为垂直于地,理论倾斜轴 20' 与理论垂直轴 15 之间的夹角以及理论视轴 83 与理论倾斜轴 20' 之间的夹角假定为直角。所有三轴相交于一点,且该点为仪器坐标系的原点。还假设实际垂直轴为理论垂直轴。仪器坐标系的 Z 轴与仪器的垂直轴一致, Y 轴与水平盘 24 上标出的零方向一致。

[0177] 照相机坐标系的原点为投影中心 O 。然而,在图 10 中,为更好地观察,示出的原点偏移 to 像平面。主点 H_p ,即通过投影中心且垂直于像平面 IP 的直线的穿刺点,在像平面的图像坐标系中具有坐标 x_s'' 和 y_s'' 。

[0178] 如图 10 到 12 所示,实际的倾斜轴 20 可能从理论倾斜轴 20' 偏离角度 i ,其为实际倾斜轴 20 与垂直轴 15 之间的角度从直角的偏离。因此,角度 i 表示倾斜轴误差。

[0179] 另外,理论视轴 83 不需要从投影中心 O 穿过。这一偏移可用两个角度 c_0 和 z_0 表示。在由理论倾斜轴 20' 和理论视轴 83 给出的平面内,角度 c_0 定义为理论倾斜轴 20' 与通过投影中心 O 和理论视轴 83 与理论倾斜轴 20' 的交点的直线之间的角度。在由垂直轴 15 和理论视轴 83 给出的平面内,角度 z_0 定义为理论视轴 83 与通过投影中心 O 与理论视轴 83 和理论倾斜轴 20' 的交点的直线之间的角度。

[0180] 望远镜轴 110 与理论视轴 83 之间的偏差由望远镜轴 110 与理论视轴 83 之间的角度 c_F 定义,其中,望远镜轴 110 由照相机透镜的透镜装配限定。

[0181] 照相机坐标系也可绕仪器坐标系的轴旋转角度 ω 、 ϕ 、 κ ,这些角度假定为不依赖于电视准距仪 11 的方向以及任何误差。

[0182] 上述偏差导致了实际或真实水平和垂直角度与从水平和竖盘 24 和 26 分别读出的各角度之间的偏差。

[0183] 如同可从图 10 和 12 确定的一样,将照相机坐标系倾斜的实际或有效角度由下式给出:

$$[0184] \quad V_0 = V_m + z_0$$

[0185] 其中, V_m 表示从竖盘 26 读出的垂直角度。

[0186] 对于视准误差,角度 c_0 和 c_F 分别对投影中心的球坐标、实际水平角度有同样的影响:

$$[0187] \quad \frac{c_0}{\sin(V_0)} \text{ 和 } \frac{c_F}{\sin(V_0)}$$

[0188] 角度 i 导致水平角度的偏差为

$$[0189] \quad i \cot(V_0)。$$

[0190] 因此,下式为读出的有效水平角 $H_{z_{eff}}$,照相机坐标系绕垂直轴旋转该角度:

$$[0191] \quad H_{z_{eff}} = H_{z_m} + \frac{c_F}{\sin(V_0)} + i \cdot \cot(V_0)$$

[0192] 其中, H_{z_m} 表示从水平盘 24 读出的水平角度。

[0193] 在 Deumlich, F.、Staiger, R. 的“Instrumentenkunde der Vermessungstechnik”(Heidelberg, Germany, 9. edition, p206-208) 一文中可以找到这些公式的详细推导。

[0194] 旋转矩阵 R^{-1} 可通过考虑照相机坐标系从与仪器坐标系一致的方向开始的下列旋转序列来获得。

[0195] 首先,绕照垂直轴以有效水平角 $H_{z_{eff}}$ 旋转照相机坐标系。旋转后的坐标系中的相应坐标可通过旋转矩阵获得:

$$[0196] \quad R_{\kappa}^{-1}(H_{z_{eff}}) = \begin{bmatrix} \cos(-H_{z_{eff}}) & \sin(-H_{z_{eff}}) & 0 \\ -\sin(-H_{z_{eff}}) & \cos(-H_{z_{eff}}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0197] 通过以角度 i 绕被变换的也就是被旋转的照相机坐标系的 y 轴的旋转,可以考虑倾斜轴误差。

[0198] 通过旋转矩阵给出相应的坐标变换:

$$[0199] \quad R_{\phi}^{-1}(i) = \begin{bmatrix} \cos(i) & 0 & \sin(i) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(i) & 0 & \cos(i) \end{bmatrix}$$

[0200] 现在,再一次将两次旋转后的照相机坐标系绕两次旋转后的照相机坐标系的 x 轴旋转有效垂直角 V_0 。考虑到大地测量学中垂直角从顶点进行测量,坐标变换的相应旋转矩阵为:

$$[0201] \quad R_{\omega}^{-1}(V_0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(200gon - V_0) & -\sin(200gon - V_0) \\ 0 & \sin(200gon - V_0) & \cos(200gon - V_0) \end{bmatrix}$$

[0202] 第四步,对经过迄今为止的旋转的照相机坐标系进一步绕当前 y 轴旋转角度 c_F 。相应的坐标变换可用旋转矩阵形式写出:

$$[0203] \quad R_{\phi}^{-1}(c_F) = \begin{bmatrix} \cos(c_F) & 0 & \sin(c_F) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(c_F) & 0 & \cos(c_F) \end{bmatrix}$$

[0204] 最后,将通过最后一次旋转得出的照相机坐标系绕 x 轴旋转角度 ω ,绕 y 轴旋转角度 ϕ ,绕 z 轴旋转角度 κ 。相应的旋转矩阵为:

[0205]

$$\left(R_{\omega}(\omega) \cdot R_{\phi}(\phi) \cdot R_{\kappa}(\kappa) \right)^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\phi)\cos(\kappa) & -\cos(\phi)\sin(\kappa) & \sin(\phi) \\ \cos(\omega)\sin(\kappa) + \sin(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) & \cos(\omega)\cos(\kappa) - \sin(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) & -\sin(\omega)\cos(\phi) \\ \sin(\omega)\sin(\kappa) - \cos(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) & \sin(\omega)\cos(\kappa) + \cos(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) & \cos(\omega)\cos(\phi) \end{bmatrix}$$

[0206] 具有矩阵元素 r_{ij} , $i, j = 1, \dots, 3$ 的完整旋转矩阵为:

$$[0207] \quad R = R_{\kappa}(H_{z_K}) \cdot R_{\phi}(k_0) \cdot R_{\omega}(V_0) \cdot R_{\phi}(c_F) \cdot R_{\omega}(\omega) \cdot R_{\phi}(\phi) \cdot R_{\kappa}(\kappa)$$

[0208] 由图 10, 投影中心在仪器坐标系中的坐标可以写作:

$$[0209] \quad O = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 \cdot \sin(V_m + z_0) \cdot \sin\left(Hz_m + \frac{c_0}{\sin(V_m + z_0)} + i \cdot \cot(V_m + z_0)\right) \\ S_0 \cdot \sin(V_m + z_0) \cdot \cos\left(Hz_m + \frac{c_0}{\sin(V_m + z_0)} + i \cdot \cot(V_m + z_0)\right) \\ S_0 \cdot \cos(V_m + z_0) \end{bmatrix}$$

[0210] 其中, S_0 表示投影中心距仪器坐标系原点的距离。

[0211] 因此, 完整的变换由旋转矩阵 R 和投影中心的位置给出。变换中所用的变换参数也就是确定变换之参数的变换参数为 $i, c_0, c_F, z_0, S_0, \omega, \phi$ 和 κ 。变换还依赖于从水平盘上所读出的水平和垂直角 H_{zm} 和 V_m 。

[0212] 采用共线方程和坐标变换, 可以计算球坐标为 H_z, V 和 S 并因此在仪器坐标系中笛卡尔坐标为 $(S \cos(H_z) \sin(V), S \sin(H_z) \sin(V), S \cos(V))$ 且采用照相机模型参数和变换参数以水平和垂直角度 H_{zm} 和 V_m 被成像的目标点图像的位置 x'' 和 y'' 为:

$$[0213] \quad x'' = x'_s - c_K \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta x'$$

$$[0214] \quad y'' = y'_s - c_K \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta y'$$

[0215] 其中

$$[0216] \quad \Delta x' = v \left((r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0))^2 + (r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0))^2 \right)$$

$$[0217] \quad (r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0))$$

$$[0218] \quad \Delta y' = v \left((r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0))^2 + (r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0))^2 \right)$$

$$[0219] \quad (r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0))$$

[0220] 上述公式可以简短写作:

$$[0221] \quad x'' = U_x(i, c_0, c_F, z_0, \omega, \phi, \kappa; S_0, c_K, x_S, y_S, v; S, V_m, H_{zm})$$

$$[0222] \quad y'' = U_y(i, c_0, c_F, z_0, \omega, \phi, \kappa; S_0, c_K, x_S, y_S, v; S, V_m, H_{zm})$$

[0223] 参照图 13 至 15 介绍根据本发明第一优选实施例的方法。

[0224] 该方法可分为四个主要部分。

[0225] 在第一部分 S1 中, 通过准直仪 66、数据处理系统 65 和电视准直仪 11 获取校准数据。

[0226] 通过准直仪 66 提供了几个虚校准点 $P_i, i = 1, \dots, N, N$ 为正整数。这些虚校准点的距离数据通过沿光路测量十字准线 78 到物镜 80 的距离以及从物镜透镜 80 到电视准直仪 11 之间的距离来获取。此外, 对每一个校准点, 在不同的位置生成校准点的图像, 且在电视准直仪 11 的两个面获取图像传感器和相应的表示图像在图像传感器上的位置的图像位置数据以及表示相应的水平和垂直角度的方位数据。这些步骤中的某些步骤通过数据处理系统 65 中的计算机程序实现。

[0227] 在第二部分 S2 中, 提供用于校准的模型, 该模型在本实例中为上面提到的模型。该模型以数据处理系统 65 中执行的计算机程序的程序代码形式提供。

[0228] 在第三部分 S3 中, 采用最小二乘估计法估计模型参数的值以及表示关于在仪器坐标系中的校准点的方向的数据。本部分中的所有步骤同样通过数据处理系统 65 中的计算机程序实现。

[0229] 在第四部分 S4 中,获得的模型参数存储在探测仪器即电视准直仪 11 中,用于为图像传感器上的给定位置计算相应的在仪器坐标系中的方向,且如果在图像传感器 33 上成像的点距电视准直仪的距离是已知的,还可算出相应的笛卡尔坐标。

[0230] 在 S1 部分中,对每一校准点执行图 14 中所示的步骤,也就是说执行 N 次。

[0231] 首先,在步骤 S5 中,通过改变其相对于物镜 80 的位置来生成准直仪 68 中十字准线 78 的虚像以提供新校准点。为了达到这个目的,需要在物镜 80 的焦点与物镜 80 之间以距离 Δf 移动十字准线 78。

[0232] 在步骤 S6 中,获取探测仪器即电视准直仪 11 与虚校准点之间的距离 D。在图 16 中示出了该计算。为简化起见,该图中,第一十字准线 78 示为在物镜 80 的光轴上。为了计算距离 D,由物镜 80 的焦距 f 和十字准线 78 距物镜 80 的焦点之间的距离 Δf ,用下面的公式计算出十字准线 78 的虚像距物镜 80——更精确地说是距在电视准距仪侧的物镜 80 的主平面 H——之间的距离 s:

$$[0233] \quad s = f \frac{(f - \Delta f)}{-\Delta f}$$

[0234] 于是将虚像距离 s 加到物镜 80 即上面提到的主平面 H 到探测仪器即电视准直仪 11 的垂直轴之间的距离 $S_{Th/H}$ 上。

[0235] 在数据处理系统 65 中,启动根据本发明第一典型实施例的计算机程序,该程序首先需要通过附图中未示出的显示器和键盘输入正整数 N。输入整数 N 之后,程序请求输入与第一校准点有关的距离数据。输入这些数据之后,处理器 67 将数据存储在数据处理系统的存储器 68 中。在另一个实施例中,数字 N 可以预先设置在计算机程序中,因此不需要与用户互动。

[0236] 在步骤 S7 中,对于给定的校准点,在图像传感器 33 上生成不同的图像,且获得相应的图像位置数据和方位数据并存储在数据处理系统 65 之中。

[0237] 在图 15 中详细示出了校准点图像的生成以及校准所需数据的生成。

[0238] 对第一校准点执行图 15 中示出的步骤 S8。对后继的校准点,该步骤仅在必要时执行,至少在使用准直仪提供校准点并且准直仪相对于探测仪器即电视准距仪 11 的方位除望远镜单元 16 即照相机 19 重定位外保持不变的情况下执行该步骤。在本步骤中,将照相机 19 指向所生成的校准点。在本实施例中,校准点的一个图像在图像传感器 33 上出现就足够了。

[0239] 另外,将照相机转向第一面,这意味着,照相机 19 的垂直角介于 0 和 220gon 之间,0 为竖盘 26 所确定的顶点。

[0240] 接着,在步骤 S9 中,使照相机 19 旋转和倾斜,以将校准点在图像传感器 33 上的图像移动到图像传感器 33 上的预先确定的起始位置。该起始位置优选为接近图像传感器 33 的一个角。为了达到这个目的,存储在数据处理系统 65 中的计算机程序包含一程序模块,该程序模块用于在诸如由图像传感器 33 所捕获的图像中进行对象识别。在数据处理系统 65 的存储器 68 中,存储有一模板,该模板表示十字准线 78。通过采用已知的对象识别技术,例如模板匹配算法,获取校准点图像在图像传感器 33 上的所捕获的图像中的位置。计算机程序现在计算为了使校准点的图像更接近起始位置,照相机 19 是否应当以给定的增量绕垂直轴 15 旋转和 / 或绕倾斜轴被倾斜。接着它向探测仪器发布相应的命令,在探测仪

器中,设备控制单元 51 接收相应的命令并通过驱动器 22 和 / 或 23 以各自的角度移动照相机 19。接着,捕获新的图像并重复该过程,直到校准点的图像抵达起始位置。因此,角度增量的大小可以随着校准点图像接近起始位置而减小。

[0241] 在步骤 S10 中,该程序计算在覆盖图像传感器的矩阵的单元中的随机位置以作为校准点图像的目标位置。为达到这个目的,用预先确定的正整数 L 和 M 将图像传感器分为 $L \times M$ 矩阵,且计算出单元的几何中心。在图 17 中,单元 88 被布置在覆盖图像传感器 33 的矩形阵列中。单元的几何中心用十字标记。对每一个几何中心以及对矩阵中的每个方向,用伪随机数产生器确定随机数,该随机数的大小小于相应方向上单元大小的一半,并加到几何中心的相应方向上的坐标之上。每个单元中结果得到的随机位置在图 17 中用空心圆表示。随机数的使用大大减低了图像传感器中有缺陷的光检测元件的影响,这是因为避免了使图像位置一直在有缺陷的像素上。这些位置被存储在数据处理系统 65 的存储器 68 中。

[0242] 在步骤 S11 中,旋转并倾斜望远镜单元 16 并因此旋转并倾斜照相机 19 以使校准点在图像传感器 33 上的图像移动到目标位置。为达此目的,使用与步骤 S9 相同的算法。一旦校准点的图像到达目标位置,图像位置数据,即图像在像平面上的坐标 x'' 和 y'' , 被存储下来,且方位数据,即分别由水平盘和竖盘确定的水平角度 H_{z_m} 和垂直角度 V_m , 按照由数据处理系统 65 发到探测仪器的相应命令从探测仪器读出。

[0243] 为每一目标位置存储图像位置数据和方位数据之后,在步骤 S12 中,照相机 19 的第二面被指向校准点,即通过竖盘确定的垂直角度介于 200 到 400gon 之间。在第二面上,为了确保校准点的图像也出现在图像传感器 33 上,优选为将照相机绕垂直轴 15 旋转 200gon,并接着倾斜 400 减去步骤 S11 中所获得的最终目标位置的垂直角度。

[0244] 接下来的步骤 S13 和 S14 与步骤 S10 和 S11 一致,唯一的不同在于照相机 19 在第二面上。

[0245] 一旦为最后的校准点执行完步骤 S15,在步骤 S2 中提供用于校准的模型。为达此目的,存储在数据处理系统中的计算机程序包含表示上述设置的模型的相应的指令。

[0246] S3 部分中的步骤通过计算机程序执行。一旦对每一校准点 P_i ($i = 1, \dots, N$) 生成了 Q ($j = 1, \dots, Q$, Q 为正整数) 个图像,且通过读取数据获得了相应的图像位置和方位数据,对模型参数进行调节,使得预测作为模型参数的函数的校准点图像的位置、仪器坐标系中校准点的方向和各自的方位数据的模型符合被测量的图像位置数据。这种估计方法,即最小二乘估计,相当于通过最小二乘进行的经典调节方法,是基于通过所有校准点 i 和校准点的所有图像 j 的以下的求和所给出误差函数 $E(i, c_0, c_F, z_0, \omega, \phi, \kappa; S_0, c_K, x_S, y_S, v; \{S_1, \{x''_{1j}, y''_{1j}, V_{m1j}, H_{zm1j}\}\})$:

$$[0247] \quad E = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^Q \left[\left(x''_{ij} - U_x(i, c_0, c_F, z_0, \omega, \phi, \kappa; S_0, c_K, x_S, y_S, v; S_1, V_{mj}, H_{zmj}) \right)^2 + \left(y''_{ij} - U_y(i, c_0, c_F, z_0, \omega, \phi, \kappa; S_0, c_K, x_S, y_S, v; S_1, V_{mj}, H_{zmj}) \right)^2 \right]$$

[0248] 其中, $S_1, \{x''_{1j}, y''_{1j}, V_{m1j}, H_{zm1j}\}$ 表示校准点 1 的距离以及该校准点所有图像的数据集 $j = 1, \dots, Q$, 图像 j 的数据集包含图像位置数据 x''_{1j}, y''_{1j} 和垂直和水平角度 V_{m1j}, H_{zm1j} 数组。

[0249] 采用适当的最小化过程,使误差函数 E 达到最小,例如, Benning, Wilhelm 在 “Statistik in Geodäsie, Geoinformation und Bauwesen” (Heidelberg, Germany, 2002,

ISBN 3-87907-383-X pp. 140) 中所描述的高斯 - 牛顿算法。

[0250] 在 S4 部分, 计算机程序所获取的数据被存储在探测仪器之中。为达此目的, 数据处理系统 65 通过接口 69 和连接 72 向探测仪器即电视准距仪 11 发送这些数据, 电视准距仪 11 将这些数据存储在设备控制单元 51 的非易失性存储器之中, 其中还存储了表示校准所用模型的计算机程序指令。

[0251] 本方法的效果可通过下面的实例展示。在该实例中, 使用了上述方法的一个变量, 但是, 在该方法中, 对每个角度组合, 进行多于一个的测量。为了校准固定在角度测量准确度为 1" 的仪器上的、焦距为 300mm 且在 100m 处固定聚焦的照相机, 可以使用距离为例如 20m、80m 和 500m 的三个校准点, 以及每个望远镜位置的总共 48 个角度组合, 它们排列在 8×6 的位置栅格上。如果每个角度组合进行 30 个测量, 其中随机误差均不大于 0.05 像素, 且采用相应的数据, 该仪器可以校准到垂直和水平方向上大约为 1" 的方向测量准确度。因此, 本方法还适用于具有相对较大焦距的照相机的校准。

[0252] 采用该模型, 从目标点在图像传感器上图像的图像位置数据, 可计算出目标点相对于仪器坐标系的方向 (见图 19)。运用公式:

$$[0253] \quad P_T' = \vec{O} + R \cdot \begin{bmatrix} x_P' - \Delta x' - x_S'' \\ y_P' - \Delta y' - y_S'' \\ -c_K \end{bmatrix}$$

[0254] 其中, \vec{O} 表示从仪器坐标系原点到投影中心 O 的向量, 可将对应于被成像的目标点 P 的测量图像位置数据 x'_P 、 y'_P 变换到仪器也就是电视准距仪 11 的坐标系中。 P_T' 为仪器坐标系中的向量, 其表示对应于测量的图像位置的方向。投影中心 O 和点 P_T' 相对于探测仪器的坐标均为已知, 且限定了成像射线 a, 在成像射线上, 目标点被成像在图像传感器上的位置用 x'_P 、 y'_P 表示。由于射线不需要穿过电视准距仪的中心也就是仪器坐标系的原点, 必须给出目标点 P 距电视准距仪中心的距离 (大致距离), 以进行相对于电视准距仪中心的方向的校正计算。该距离作为绕电视准距仪中心也就是仪器坐标系原点延伸的球的半径来使用, 且被成像射线 a 穿过。通过这种方式, 取决于具有照相机功能的望远镜单元 16 的位置, 获得两个坐标三元数组, 其可用于方向的计算。电视准距仪中心到成像射线的距离越近, 本方法对给定的该距离的依赖性越小。

[0255] 采用这样进行的照相机校准, 还可以将摄影测量视轴定义为连接投影中心 O 与仪器中心的直线, 其中, 仪器中心由倾斜轴和垂直轴的交点形成。在图 19 中, 摄影测量视轴为虚线, 由于仪器中心为坐标系的原点, 摄影测量视轴为与向量 \vec{O} 同轴的线。但是, 这一摄影测量视轴与图 11 所示实际视轴不相同。摄影测量视轴在像平面上的穿刺点确定了十字准线的位置, 在该位置上, 侧向和垂直校准的传统误差沿距离方向保持恒定。除在非参数估计中它们被确定, 投影中心的侧向和垂直偏差可以用这样的像素来测量, 在该像素处, 侧向和垂直校准的传统误差沿距离方向不变。

[0256] 如果用以这种方法确定的十字准线来瞄准目标点, 该十字准线、准距仪中心、投影中心 O 和目标点 P 将在一条直线上, 该直线与摄影测量成像射线相同。

[0257] 在电视经纬仪 11 的计算机 54 中, 存储了程序代码用于显示标记 111 例如十字准线, 其在显示器 53 上指示摄影测量视轴 (见图 20), 该计算机由此表示了一个控制单元用于

控制显示器。显示器 53 上的对应位置可通过校准参数计算得出,其存储在该仪器之中,或者进行一次计算并永久存储在该仪器之中,例如计算机 54 的非易失性存储器中。

[0258] 十字准线的位置在传统仪器中定义为图像平面上的一个点,且在该点上侧面和垂直校准误差等于零,用相同的方法可将十字准线的位置定义到照相机检测器平面上的一个像素,在光学部件中心的定位不够好的情况下,在最坏的情况下,该像素会随距离变化。

[0259] 寻像照相机 18 也可用第一典型实施例中介绍的方法、数据处理系统、准直仪和计算机程序进行校准。由于投影中心的位置可以看作仅仅为模型中的一组参数,光路不是直线这一事实不要求对校准方法进行修改。这是本发明的一个重要优点。

[0260] 在本发明的第二典型实施例中,该方法与第一典型实施例中介绍的方法的不同之处在于使用了对照相机像差的更详细的模型,在该模型中,还使用了具有更高阶数的和/或不是径向对称的(radial symmetric)项。Luhmann, Thomas 在“Nahbereichsphotogrammetrie:Grundlagen, Methoden und Anwendungen”(Heidelberg, Germany, 2000, ISBN3-87907-321-X, pp. 119-122) 中披露了对上述模型的相应修改。

[0261] 在本发明的第三典型实施例中,采用了图 18 中原理性示出的校准系统。该系统能基本自动地校准仪器。该系统包含准直仪 66', 其与准直仪 66 的不同之处在于所述标记即十字准线 78 可被电子驱动器 84 移动,电子驱动器 84 通过数据处理系统 65' 被控制。数据处理系统 65' 与上述数据处理系统的不同之处在于其包含用于向准直仪的驱动器 84 输出命令的另一输出接口 85。此外,存储器 68' 中存储的计算机程序包含程序代码,该程序代码当运行在处理器 67 上时能使处理器 67 通过输出接口 85 向驱动器 84 发布控制命令以将十字准线 78 移动到预先确定的位置并计算虚校准点的相应的虚距离。

[0262] 首先,用户将仪器放到相对于准直仪 66' 的预先确定的(例如标记的)位置上,其中十字准线 78 的虚像可被成像在图像传感器 33 上。该位置的确定取决于准直仪的性能和照相机的性能,且选择该位置使得能通过移动十字准线 78 来提供虚校准点。在另一个变体中,底座可被用于在预先确定的位置上放置仪器。

[0263] 接着,数据处理系统 65' 自动地执行 S1 到 S4 部分中的所有步骤,向探测仪器 11 发布命令,在必要时从探测仪器 11 接收图像位置数据和相应的方位数据,并执行步骤 S6 和 S3 部分中的计算。

[0264] 在本实施例的变体中,校准点的距离可与各自的标记位置一起被存储,因此不必对每一校准计算标记的虚像的距离。

[0265] 在另一典型实施例中,目标到仪器的距离的可能范围被分为数量预先确定为 G 的距离子范围。距离子范围的数量和其实际限值可依赖于照相机光学特性(尤其是照相机光学器件和其焦距)来选择。

[0266] 在每一距离子范围中应用相同的模型,但具体为每一距离子范围定义照相机模型参数,照相机常数 c_R 、失真参数 v 以及偏移 x_S 和 y_S 作为模型参数。图 21 示出了这种情形,其中,围绕探测仪器 11 部分示出了 $G = 3$ 个不同的距离范围 D_1 、 D_2 、 D_3 。实际上,距离子范围 D_3 延伸到无穷远。每一距离子范围被最小距离和最大距离所限定。在每一距离子范围中,提供距探测仪器距离不同的校准点 112。图 21 示出了距离子范围和仅为可见起见的校准点,实际上校准点由准直仪 66' 提供。

[0267] 该模型现在被扩展了,其中,取决于距离采用了与距离子范围相关联的 G 套不同

的照相机模型参数 $(S_0, c_k, v, x_s, y_s)_1, 1 = 1, \dots, G$ 。如果校准点的距离属于距离子范围其中之一,在 U_x 和 U_y 的公式中使用相应的照相机模型参数,即照相机模型参数值。

[0268] 接着如同前面的典型实施例中一样继续进行校准,其中,在改变校准点的距离之后对照相机重新聚焦。为最简化起见,调节所有模型参数,也就是说,还调节不同的照相机模型。

[0269] 在最简化之后,获得 G 套照相机模型参数,其可接下来存储在探测仪器 11 的非易失性存储器中。在设备控制单元 51 中,可存有将照相机模型参数值作为距离的函数进行计算的程序代码,该计算例如为通过对校准提供的 G 套照相机模型参数所提供的值进行内插。接着,给定目标的距离,其坐标或方向或方位可与第一典型实施例一样采用由内插获得的照相机模型参数来计算。

[0270] 在上述最后一个典型实施例的变体中,可用照相机的聚焦状态替代距离,该聚焦状态由如设备控制单元 51 中确定的聚焦透镜的位置确定。注意聚焦透镜的位置为目标点距离的函数,其中,通过移动聚焦透镜将该目标点的像聚焦在图像传感器上。这在探测仪器包含自聚焦装置的情况下特别优选。于是,聚焦透镜的位置可被自聚焦装置自动提供并用于校准。

[0271] 特别适用于校准大量相同类型的探测仪器的一个进一步的典型实施例是以第三典型实施例为基础的。校准点的距离,也就是标记或十字准线 78 的位置,以及这些校准点的图像的位置被预先确定并存储在数据处理系统中。因此,可通过从数据处理系统的存储器中读出相应的数据来获取距离,且只需要确定一次图像位置即可接着用于所有仪器。

[0272] 在本发明的又一个典型实施例中,校准点的图像用以下的方式生成。与第一典型实施例相同,使照相机定向到校准点,使得校准点的图像在起始位置上。然而,在当前典型实施例中,水平和垂直角度根据预先确定的值的组合进行设置。如果视场狭窄,如同望远镜照相机 19 的情况,这些角度可以以固定的间隔给出。可对这些值进行选择,使得在假设没有轴误差和具有预期光学特性的理想照相机的情况下,结果得出的像点均匀遍布图像传感器。由于实际仪器的轴的公差以及实际照相机的光学特性,实际分布会有所不同。在设置这些角度之后,例如,再次使用目标识别来确定图像位置数据,并与包含水平和垂直角度的方位数据一起存储。模型参数的估计也就是最小化处理如同第一典型实施例中一样实现。

[0273] 在本典型实施例的一个变体中,对按照水平盘和竖盘有待设定的水平和垂直角度的每一组合,在仪器的两面上获取校准点在图像传感器上的像点的位置,也就是说,如果在第一面上水平角度为 H_{z1} 、垂直角度为 V_1 ,将照相机设置到第二水平角度 $H_{zII} = 200\text{gon} + H_{z1}$ 、垂直角度 $V_{II} = 400\text{gon} - V_1$,如果顶点对应 0gon 的话。在另一个优选典型实施例中,可使用距探测仪器不同距离的三面反射物作为校准点。距离数据可采用距离测量装置 30 获取。

[0274] 本发明也可用于具有如图 21 所示的、不同于上述望远镜单元 16 的望远镜单元 16' 的电视准距仪。

[0275] 它包含由与第一典型实施例中相同的物镜 31、聚焦透镜 91、反转棱镜 92、十字准线 93 和目镜 94 组成的望远镜 89。如图 20 中箭头所示,通过沿望远镜光轴移动聚焦透镜 91,将像聚焦在十字准线 93 上。望远镜用于瞄准目标。

[0276] 望远镜单元 16' 中的另一装置是由跟踪装置或跟踪仪分别组成的,用于自动瞄准位于目标点上的反射物,并当该反射物由一点被运送到另一点时跟踪该反射物。跟踪仪包

含发射器、物镜 31、接收光学器件、接收器 95 以及闭环控制。发射器发射狭窄的一束光辐射,通过物镜 31 所述一束光辐射被投射到发射的方向,并在目标上进行反射之后所述一束光辐射通过物镜 31 以接收方向入射,接收器 95 检测被目标反射回来并由接收光学器件聚焦于其上的所述一束光辐射的位置,闭环控制分别引导望远镜单元 16' 或照准仪 12,使得被目标反射回来的光束的位置在接收器 95 上保持恒定。

[0277] 更精确地,跟踪仪的发射器包含用于发出光辐射(其优选为红外辐射)的辐射源 96,例如激光二极管;发射器还包含发射光学器件,其包含第一准直镜 97 和棱镜 98,在其倾斜表面上,由辐射源 96 发出并被第一准直镜 97 准直的光束被反射到物镜 31 的光轴方向上。接收光学器件由分光棱镜 99 和第二准直镜 100 组成。最后,接收器 95 包含几个检测元件,它们对来自发射器的辐射敏感。接收器 95 可采用例如象限二极管或照相机电路。

[0278] 跟踪仪中的发射器将光束通过物镜 31 的中心发射到目标上,该光束已被辐射源 96 发射出、被第一准直镜 97 准直并被棱镜 98 反射到物镜 31 的光轴上。光束被目标(例如三棱镜或反射物)分别反射回准距仪,接着通过物镜 31 又一次进入望远镜单元 16'。在向着目标和从目标返回的路上,起初很窄的光束在距目标足够大的距离上变得宽到在返回时充满物镜 31 的整个直径,因此,光束中没有入射在棱镜 98 上的那些部分经过二色镜 101。对发射器发射出的光束的波长进行选择,使得光束经过二色镜 101 而不发生实质上的反射,因此,所述镜实际上对所述光束没有影响。经过二色镜 101 的光束接着进入分光棱镜 99,其中的分光层有选择地在由发射器发射出的辐射,从而将进入分光棱镜 99 的光反射到第二准直镜 100 的方向上,但允许可见光通过。第二准直镜 100 将来自发射器的光束聚焦到跟踪仪的接收器 95 上,所述光束已被目标反射。如果目标在接收器 95 上像的位置偏离了预先确定的位置,例如中心,跟踪仪向设备控制计算机(图 4 中未示出)提供与这种偏离的量和方向相关的信号,设备控制计算机控制驱动器,使得旋转望远镜单元 16',在需要时还可旋转照准仪 12,因此,接收器 95 上的图像重新位于预先确定的位置,即本实例中的中心。

[0279] 另外,在望远镜单元 16' 中提供寻像照相机 102。寻像照相机 102 包含照相机物镜 103 和图像传感器 104。图像传感器 104 的信号被图像处理电路 105 处理,该电路连接到设备控制单元 51。寻像照相机 102 可用于更容易地寻找被测目标。由于针孔照相机模型的投影中心原则上可相对于垂直轴位于任意位置,寻像照相机 102 可用与第一实施例中相同的方法进行校准。

[0280] 通过将辐射指向目标并接收由目标反射回来的辐射,距离测量装置 106 测量从目标到准距仪的距离。距离测量装置 106 由望远镜的部件和其它部件组成。图 20 中没有明确示出的红外光源例如激光二极管在预先确定的波长范围内以脉冲方式发射红外辐射,并将经发射/接收镜 107 聚焦后的红外辐射引到棱镜 108 的表面,棱镜 108 可反射来自红外光源的光,并将其从此处传到二色镜 101,二色镜 101 可反射来自距离测量装置 106 的红外光源的红外光,并因此将红外光反射到物镜 31 上。对红外光源和发射/接收镜 107 进行布置和排列,使得红外光源发射出的光束沿距离测量装置 106 的光路被聚焦到距物镜 31 的某个距离上,该距离为物镜 31 的焦距,因此,物镜 31 发射出接近平行的光束,所述光束接着击中目标,目标为诸如反射物(例如三棱镜)或为天然物体(例如房屋墙壁)。被反射的光束沿相同的路径由目标经过物镜 31、二色镜 101 和棱镜 98 的表面 108 返回到发射/接收镜 107,其将光束聚焦在距离测量装置 106 的接收元件(图 20 中未示出)上,该距离测量装置

106 检测该辐射。于是,由脉冲从发射到接收之间的传输时间可确定到目标的距离,该传输时间已通过相应的电子线路确定。由于光束沿物镜 31 的光轴被发射,在光轴上确定通过望远镜瞄准的到目标的距离。

[0281] 本发明的几个方案可通过下面给出的另一种观点去看。其中,术语准距仪和测距仪作同义词使用。

[0282] 探测中越来越多地使用电视探测仪器,特别是电视准距仪或电视经纬仪,即配备有包括了有一定空间分辨率的检测器矩阵的照相机而不是目镜的准距仪或经纬仪。由于照相机的所谓内部和外部方位是未知的,这样一种照相机的应用涉及校准的问题。内部方位用像平面上互相垂直的两个轴以及它们垂直的、从原点延伸到出射点 (eye-point) 或投影中心的一个轴来定义,且由之产生坐标系,所有来自目标点的光线相交在投影中心。该坐标系相对于探测仪器的位置用外部方位来定义,其允许三次平移和三次旋转。通常,照相机具有近似最佳的同轴性,从投影中心 0 到图像平面的垂线与仪器的望远镜系统的光轴一致,但在上述类型的探测仪器中,最大程度的准确度是绝对需要的,因此,例如调整的残余误差等要求进行校准,也就是确定照相机模型和相对于照相机所附属的仪器确定照相机位置。

[0283] 为校准照相机自身,现有技术采用摄影测量方法。在地球摄影测量中当前最为普遍的照相机校准方法为同步校准。采用这种方法,照相机的校准参数的确定和目标信息的评估一起进行。图像数据评估和校准的各自的基础在于分析模型。照相机校准的另一种方法是使用试验场。这样的一种试验场具有被特别标明的目标,例如被照亮的目标点,其坐标和 / 或标度数据 (scale data) 是已知的。试验场通常具有三个维度并用不同的捕获结构来拍照,也就是说,照相机相对于试验场的不同位置。正如同步校准方法一样,通过试验场的照相机校准方法基于分析模型。在该模型中,方位的参数由目标信息和图像坐标之间的函数关系来确定。为此,需要成像光线交点的适当的几何结构或适当的捕获几何结构以及具有目标点的场的空间延伸。目标点可用到的空间越大、特别是越深,校准照相机的准确度和可靠性越高。进行冗余测量是有益的,也就是说,进行的观测要超过待确定参数的数量。通过调节过程,可以以更高的可靠性确定参数。最小二乘法是大地测量学中完善建立起来的一种调节过程。

[0284] 任何分析模型的基础由人们所知的共线方程提供,其建立了目标点在所谓外部空间中的坐标 (X, Y, Z) 与目标点的图像在所谓内部空间 (即描述照相机内部方位的坐标系) 中的图像坐标 $(x', y', -c_k)$ 之间的函数关系。如人们所知, c_k 为被校准的焦距或也为照相机常数,其绝对值相当于成像光学器件的焦距 f 。对于内部坐标系中的图像坐标 x' 和 y' , 共线方程为:

$$[0285] \quad x' = x'_0 - c_k \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta x'$$

$$[0286] \quad y' = y'_0 - c_k \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta y'$$

[0287] 坐标 (X_0, Y_0, Z_0) 表示视点或投影中心 0 在外部空间的位置,其同时为图像坐标系的原点。量值 r_{ij} , $i, j = 1, \dots, 3$ 为旋转矩阵 R 的元素,其描述了图像坐标系相对于外部坐标系的旋转。通过这种方式,点在外部空间中的坐标 (X, Y, Z) 可被变换为图像坐标。

正相反,目标坐标不能从图像坐标计算得出,除非知道进一步的信息,例如,在图像捕获时目标点距照相机位置的距离。坐标 x'_0 和 y'_0 描述了所谓主点在照相机的像平面内的位置。这通过沿连接图像平面与投影中心 O 的垂线的穿刺点来定义。一方面通过被校准的焦距 c_k ,另一方面通过反映照相机光学器件的成像误差的失真参数 $\Delta x'$ 和 $\Delta y'$ 来使照相机透镜具有一定的容差。

[0288] 如果照相机被用在诸如准距仪或经纬仪的探测仪器中,已知的摄影测量方法不能直接采用,由于除内部和外部方位的参数外,还有仪器特有的参数,以及可能存在的仪器轴误差。在采用准距仪的情况下,对仪器进行的方位测量必须包含在校准中。解决这个问题的途径在现有技术中也是已知的,可以确定的最接近的现有技术为 Y. D. Huang 的文章“Calibration of the Wild P32 Camera using the Camera-ON-Theodolite method”(Photogrammetric Record, 16(91), 1998)。Huang 将一个或最多两个布置在不同距离的参照点与仪器(此术语表示由探测仪器本身和照相机组成的系统)连接起来。在不同的仪器方向上,也就是说,在仪器上设置的不同的水平和垂直角度的组合上,用待校准的照相机观测这些参照点。由于 Huang 采用了经纬仪,所述两点之间的距离,或者所述点到仪器之间的距离必须已知。Huang 的方法的缺点在于仍未考虑诸如倾斜轴和侧向视准误差的仪器误差。由于这些仪器误差的大小,校准误差的增大,其降低了仪器的总体准确度。

[0289] 现有技术的状况放下不提,本发明的根本问题在于建立一种用于校准配备有照相机的探测仪器的改进方法,其中,该照相机包含有空间分布的检测器阵列。

[0290] 给定一种用于校准配备有照相机的探测仪器的方法,其中,该照相机包含有空间分布的检测器阵列,在该方法中,探测仪器用于连续地观测给定的参照点 P_i ($i = 1, \dots, N$, N 为正整数),建立距每一参照点 P_i 的距离,从而在仪器上设置的水平角度 H_{zI} 和垂直角度 V_I 的不同组合的情况下,以在第一位置或第一面上确定参照点 P_i 在照相机像平面上的图像坐标,将这些图像坐标与各自的角度组合 (H_{zI}, V_I) 相关联地保存下来,其中,采用调节步骤由被保存的数据来建立照相机相对于探测仪器的位置,该问题用这样一种方法解决,即对每一角度组合,通过将探测仪器绕垂直轴旋转 200gon 并将之设置到水平角度 H_{zII} 并将照相机绕水平轴旋转并将之设置到垂直角度 V_{II} ($V_{II} = 400\text{gon} - V_I$),来设置第二位置或第二面。 0gon 的垂直角度对应于顶点的观测。在第二位置或第二面上,再次确定出参照点 P_i 的图像坐标,并将之与各自的角度组合 (H_{zII}, V_{II}) 相关联地保存下来。最后,分别采用在两个位置或面上保存的角度组合的数据也就是与各自的角度组合相关联地保存的图像坐标来完成校准。

[0291] 换言之,此处提供了一种用于校准配备有照相机的探测仪器的方法,其中,该照相机包含具有空间展布检测器阵列,其中,探测仪器用于连续观测预先确定的参照点 (P_i) , $i = 1, \dots, N$, N 为自然数。对每一参照点 (P_i) 确定距离,且在第一位置或面上,对在探测仪器上设置的水平角度 H_{zI} 和垂直角度 V_I 给定的不同组合,确定参照点 (P_i) 的图像在照相机的像平面上的图像坐标,并将之与各自的角度组合 (H_{zI}, V_I) 相关联地保存下来,且通过基于所保存数据的调节步骤对照相机相对于探测仪器的位置进行确定。该方法特征在于:对每一角度组合,通过将探测仪器绕垂直轴旋转 200gon 并将之设置到水平角度 (H_{zII}) ,并将照相机绕水平轴旋转并将之设置到垂直角度 V_{II} ($V_{II} = 400\text{gon} - V_I$) 来设置第二位置或第二面,且 0gon 的垂直角度对应于顶点的观测,其中,在第二位置或第二面上,同样地确定出

参照点 P_i 的图像坐标并将之与各自的角度组合 ($H_{z_{II}}, V_{II}$) 相关联地保存下来,且其中,采用为两个位置或两个面保存下来的数据进行校准。

[0292] 在第一位置或面上,在仪器上设置水平角度 H_{z_I} 和垂直角度 V_I 。对于第二位置或面的设置,首先旋转仪器使之离开原先设置的水平角度 $H_{z_I} - 200\text{gon}$,即半个圆,由此水平角度 $H_{z_{II}}$ 被设置在第二位置或面。此后,垂直角度 V_{II} 按照下面的公式设置:

$$[0293] \quad V_{II} = 400\text{gon} - V_I$$

[0294] 这使得存在这样一个事实,对垂直角度的设置的标定是垂直轴旋转的一部分。在这一步骤中,垂直角刻度的零点,即垂直角度为 0gon 的点,被定位为指向顶点,这意味着如果设置为这个角度照相机光学器件垂直朝向上方。

[0295] 在这一步骤中,在第一位置或第一面上为每一角度组合测量之后直接设置为第二位置或第二面还是先在第一位置或面上进行所有测量、接着在第二位置或面上进行全部测量都没有关系。通常优选后一选择,因为仪器在宽范围内旋转较少。

[0296] 与延伸的数学模型一起,本方法在校准中可以获得更高的准确度。此处的基础又一次由共线方程形成,不同之处在于外部空间中的目标点和投影中心用球坐标描述。在摄影探测模型中,用进一步的旋转矩阵,部分地考虑了使用探测仪器所导致的附加参数,这些矩阵的乘积得到总旋转矩阵。由于照相机刚性地连接到探测仪器,照相机参与进了仪器绕垂直轴和 / 或水平倾斜轴的旋转。由于将探测仪器上设置有角度测量系统,两个旋转角度可直接进行测量。此外,考虑常数角度偏差是必要的,其对旋转存在影响。这些包括当倾斜轴与垂直轴不呈直角时存在的仪器倾斜轴误差和投影中心离开理论视轴的侧向偏差,其影响对应着侧向视准误差。

[0297] 在本发明的优选实施例中,参照点 P_i 是给定的或位于距探测仪器不同的距离处。以这样一种方法,校准的准确度可进一步地提高。该方法的准确度越高,所述点在空间深度上彼此离得越远。

[0298] 在本方法特别优选的实施例中,参照点 P_i 是给定的或通过准直仪和可在准直仪透镜或准直仪物镜与其焦点之间移动的浮标设置。现有技术经常将准直仪与大地测量仪器一起使用以进行调节和测量步骤。准直仪的特征在于它们发射出平行光线并将光学无限远处的点投影到有限距离上。浮标——十字准线、或其他某些形状的光阑或狭缝——提供在准直仪焦点上。在准直仪具有延伸部分的情况下,浮标可在准直仪透镜或物镜与准直仪透镜或物镜的焦点之间被移动。通常,移动量可以以微米的准确度读出。由相对于焦点的移动量和焦距,可以确定这一直立的虚像的像距。现在用待校准的探测仪器观测该像。由从仪器垂直轴到准直仪透镜或物镜主焦平面之间距离和所述像距之和,可得到仪器与通过准直仪所生成的虚参照点之间的最终距离。因此,准直仪被用于在远至 2000m 甚至更多的距离上生成参照点,反之,如不使用准直仪则很难在这么远的距离上生成参照点:寻找没有视线障碍的这样的距离就够难了;例如空气湍流等大气现象也是妨害测量的其他因素。此外,为了获得像点大小大致相同的各参照点,对不同的距离需要不同大小的参照点,采用准直仪的校准因此特别适用于制造商已完成的仪器的校准,因为它需要的空间很小且自动化程度很高。最后,由于照相机的空间展布的检测器阵列通常由像素组成且常常易受周围环境的光的影响,该方法使校准不依赖于环境条件。

[0299] 在本方法的另一实施例中,通过栅格预先确定或给出角度组合。对该栅格进行选

择,使得当设置了表示角度组合的位置时,参照点尽可能均匀地遍布图像平面。

[0300] 在本方法的又一实施例中,对于对应于栅格中的位置的每一角度组合,将探测仪器设置到该位置包括确定并考虑到偏离此位置的随机偏差。在任何方向上,随机偏差可能小于该方向上两个栅格位置之间距离的一半。通过这种方式,可以减小可能存在的只有在调节计算期间能被检测出的系统误差。在任一方向上不允许该误差大于相邻两个栅格位置之间距离的一半是有利的,否则会大大损害参照点图像分布的均匀性。对于第一和第二位置或面,每一角度组合的随机误差不需要相等,且可以分别地进行确定,也就是说,对每一角度组合,可对第一和第二位置或面分别确定随机偏差。这种确定可用例如采用伪随机数序列的计算来实现。

[0301] 如果采用准距仪,通过电-光距离测量方法来确定距参照点 P_i 的距离是有利的。

[0302] 下面,参照附图 23 到 26 以及准距仪形式的实施实例来详细介绍本发明的另一典型实施例。

[0303] 图 23 原理性地示出:首先,可用于实现根据本发明的方法的准距仪的设计。在三角架支撑的固定的下部 201 上布置有上部 202,此处的上部 202 示为截面视图,其可以通过轴承 203 绕垂直轴被转动。上部 202 的转动可通过水平驱动器 204 实现。设置在水平刻度盘 205 上的角度 H_{z_I} 和 $H_{z_{II}}$ 可通过水平传感头 206 自动地记录并传送给控制和数据分析单元(未示出)。图中示出的还有具有照相机功能的望远镜主体 207,其被装载为通过与上部 202 相连的轴承 208 可绕倾斜轴旋转。望远镜主体 207 包括物镜 209、聚焦透镜、例如 CCD 阵列的检测器阵列。可通过垂直驱动器 210 来实现望远镜主体 207 的旋转。设置在垂直刻度盘 211 上的角度 V_I 或 V_{II} 通过垂直传感头 212 被传送到控制和数据分析单元。

[0304] 图 24 示出了具有与高级坐标系 (X, Y, Z) 有关的坐标 $(x', y', -c_k)$ 的图像坐标系。由于所述坐标系在空间中不改变其位置,该图将高级坐标系的原点示为位于水平盘的中心,在该水平盘上读出对准距仪或经纬仪所设置的水平角度,但在实际上,所述原点位于垂直轴、倾斜轴和视轴的交点(准距仪中心)。高级坐标系的 Z 轴与仪器的垂直轴一致,且 Y 轴与水平盘上标出的零方向一致。图像坐标系的原点为图像平面上具有坐标 x_0' 和 y_0' 的主点 H' ,该主点由到投影中心 O 的连线的穿刺点来定义,该线垂直于像平面。图中还示出了角度为 κ 、 ϕ 、 ω 的三种转动,这些转动不取决于准距仪的任何方向和误差,并实质上由照相机相对于瞄准光学器件的安装给出。它们用旋转矩阵描述:

[0305]

$$R_{\omega}(\omega) \cdot R_{\phi}(\phi) \cdot R_{\kappa}(\kappa) = \begin{bmatrix} \cos(\phi)\cos(\kappa) & -\cos(\phi)\sin(\kappa) & \sin(\phi) \\ \cos(\omega)\sin(\kappa) + \sin(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) & \cos(\omega)\cos(\kappa) - \sin(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) & -\sin(\omega)\cos(\phi) \\ \sin(\omega)\sin(\kappa) - \cos(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) & \sin(\omega)\cos(\kappa) + \cos(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) & \cos(\omega)\cos(\phi) \end{bmatrix}$$

[0306] 主点 H' 与投影中心 O 之间的距离为校准的焦距 c_k 。

[0307] Z 轴与倾斜轴相交,绕倾斜轴发生垂直旋转。由于倾斜轴误差,实际的倾斜轴——其在图 24 中示为实线——偏离了示为虚线的理论倾斜轴。倾斜轴与仪器垂直轴之间非正交的角度偏差用 i 表示。类似地,实际视轴——其与图像捕获的方向一致并在图中示为图像坐标系的 $-z'$ 轴——偏离了示为虚线的理论视轴。此外由于投影中心 O 与仪器中心不一致——其被定义为垂直轴和倾斜轴的交点——故需引入另外的参数来完善模型并获得

完整的旋转矩阵；参数 S_0 描述仪器中心到投影中心 O 的倾斜距离。参数 c_0 描述投影中心 O 与垂直于倾斜轴的理论视轴的角度偏差，参数 z_0 描述投影中心 O 与定向的理论视轴的垂直角度偏差。图 25 和图 26 阐述了其他重要量。图 25 所示为从仪器读出的水平角度 $H_{z_{I/II}}$ ，标记“ I/II ”表示其可以为第一位置或面读出的水平角度 H_{z_I} 或第二位置或面读出的水平角度 $H_{z_{II}}$ 。水平角度 $H_{z_{I/II}}$ 的值取决于仪器内部传感头的位置，其在这里用距离 a 标记。角度 c_F 为望远镜主体的机械轴与理论视轴的角度偏差，也就是偏离于垂直于倾斜轴的位置的角度偏差。望远镜主体的机械轴由光学部件诸如物镜、滑动透镜和目镜的中心确定。在光学部件被理想地定中心和对准的情况下，该轴与望远镜主体的光轴一致。 c_F 的作用像传统的侧向视准误差一样，它仅在照相机上存在，在投影中心上不存在。该图还显示了目标点 P 及其在图像平面上对应的、具有坐标 $(x_p', y_p', -c_k)$ 的像点 P' 。最后，在展示垂直平面的图 26 中示出的是相对于垂直轴读出的垂直方向 $V_{I/II}$ ，该方向以角度的形式示出。这里，标记“ I/II ”表示其可以为第一位置或面读出的垂直角度 V_I 或第二位置或面读出的垂直角度 V_{II} 。

[0308] 采用这些标号，结果，投影中心 O 的坐标为：

$$[0309] \quad O = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 \cdot \sin(V_{I/II} + z_0) \cdot \sin\left(Hz_{I/II} + \frac{c_0}{\sin(V_{I/II} + z_0)} + i \cdot \cot(V_{I/II} + z_0)\right) \\ S_0 \cdot \sin(V_{I/II} + z_0) \cdot \cos\left(Hz_{I/II} + \frac{c_0}{\sin(V_{I/II} + z_0)} + i \cdot \cot(V_{I/II} + z_0)\right) \\ S_0 \cdot \cos(V_{I/II} + z_0) \end{bmatrix}$$

[0310] 这些可接着用在共线方程中。

[0311] 为了获得嵌入在仪器中的照相机的图像坐标系进行总体旋转的旋转矩阵，相继进行七次旋转。第一旋转为照准仪的旋转，也就是仪器绕垂直轴的旋转。这一旋转间接地与角度 $H_{z_{I/II}}$ 相结合。但是，这里有必要考虑仪器倾斜轴潜在误差的影响以及偏差 c_F 的影响，仪器倾斜轴潜在误差以角度 i 描述， c_F 为照相机主体轴偏离于垂直于倾斜轴的位置的偏差。结果得到改进的水平角 H_{z_k} ：

$$[0312] \quad H_{z_k} = H_{z_{I/II}} + \frac{c_F}{\sin(V_0)} + i \cdot \cot(V_0)$$

[0313] $V_0 = V_{I/II} + z_0$ 表示投影中心的垂直角度。如果绕图像坐标系的 z' 轴发生角度为 $-H_{z_k}$ 的旋转，结果得到的旋转矩阵为：

$$[0314] \quad R_x(H_{z_k}) = \begin{bmatrix} \cos(-H_{z_k}) & \sin(-H_{z_k}) & 0 \\ -\sin(-H_{z_k}) & \cos(-H_{z_k}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0315] 在照准仪绕垂直轴的旋转已完成且没有发生其他的机械移动的条件下，倾斜轴误差对图像坐标系的作用相当于旋转。

[0316] 执行绕 y' 轴、角度为 i 的第二旋转，其为第一旋转的一部分。假设倾斜轴在这种格局中大致平行于 x' 轴，结果得到旋转矩阵：

$$[0317] \quad R_\phi(i) = \begin{bmatrix} \cos(i) & 0 & \sin(i) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(i) & 0 & \cos(i) \end{bmatrix}$$

[0318] 下一个考虑的旋转为图像坐标系以垂直角度的旋转。考虑到修正 z_0 , 该旋转直接涉及仪器上测量出的方向 $V_{I/II}$ 。原则上, 图像坐标系统 x' 轴旋转 200gon 。旋转矩阵为:

$$[0319] \quad R_\omega(V_0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(200\text{gon} - V_0) & -\sin(200\text{gon} - V_0) \\ 0 & \sin(200\text{gon} - V_0) & \cos(200\text{gon} - V_0) \end{bmatrix}$$

[0320] 下一个旋转仍仅在内部进行, 其通过望远镜主体轴的偏差 c_F 实现。这一情况下的旋转矩阵为:

$$[0321] \quad R_\phi(c_F) = \begin{bmatrix} \cos(c_F) & 0 & \sin(c_F) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(c_F) & 0 & \cos(c_F) \end{bmatrix}$$

[0322] 接着是以上面提到的角度 κ 、 ϕ 、 ω 的三种转动, 其仍仅在内部进行。各旋转矩阵按照正确顺序连续相乘产生整体旋转矩阵 R , 即为:

$$[0323] \quad R = R_\kappa(Hz_\kappa) \cdot R_\phi(k_0) \cdot R_\omega(V_0) \cdot R_\phi(c_F) \cdot R_\omega(\omega) \cdot R_\phi(\phi) \cdot R_\kappa(\kappa)$$

[0324] 以这种方式, 在考虑仪器特有的参数的条件下, 并在方向测量的辅助下, 可以任意描述集成在仪器内部的照相机的旋转。旋转矩阵 R 的元素 $r_{i,j}$ 同样用作共线方程的输入量。

[0325] 如果, 对焦距 300mm 以及在 100m 处固定聚焦的照相机进行校准, 该照相机装在角度测量准确度为 $1''$ 的仪器上, 人们可以采用距离在例如 20m 、 80m 和 500m 的三个点、每个望远镜位置有布置在 8×6 的栅格位置上的总共 48 个角度组合、每个角度组合用 30 次测量且其中随机误差均不大于 0.05 像素, 该仪器可在垂直和水平方向上校准到大约为 $1''$ 的方向测量准确度。迄今为止, 通过传统校准方法对长焦照相机进行校准的尝试都是失败的。

[0326] 这里应当注意的是, 这种校准方法还能够从图像坐标得到仪器方向。因此, 可以进行视轴以外的方向测量。由于这种校准, 能够在仪器的任何位置用笛卡尔坐标来计算投影中心。采用以下公式:

$$[0327] \quad P_T' = \vec{O} + R \cdot \begin{bmatrix} x_P' - \Delta x' \\ y_P' - \Delta y' \\ -c_K \end{bmatrix}$$

[0328] 可以将测量的图像坐标变换到准距仪的坐标系中。 P_T' 为将测量的图像坐标变换到准距仪坐标系中的向量。投影中心 O 和点 P_T' 相对于准距仪的坐标均为已知, 这两个点限定了成像光线 g 。由于这并不与准距仪中心相交, 目标点 P 到准距仪中心的距离 (大致距离) 必须给定, 以用于到准距仪中心的精确的方向偏差。该距离作为以准距仪中心为中心的球的半径使用, 并且该球与成像光线 g 相交。以这样的方式, 取决于具有照相机功能的望远镜主体的位置, 获得了两个坐标三元数组, 其可用于方向计算。准距仪中心到成像光线的距离越近, 本方法对所述给定距离的依赖程度越小。

[0329] 尽管以上用准距仪阐释了所述方法, 该方法还可以用于其他探测仪器, 例如经纬仪或所谓的扫描仪, 只要它们满足这里描述的先决条件。

[0330] 经过这样进行的照相机校准,还可以确定摄影测量的视轴,即连接投影中心 O 与仪器中心的直线,其中仪器中心由倾斜轴和垂直轴的交点形成。但是,该视轴与图 25 所示实际视轴不相同。摄影测量视轴在像平面上的穿刺点确定了十字准线的位置,在该处,传统的侧向视准误差和垂直高度误差沿距离为常数。除非在参数估计中已作确定,投影中心的侧向和垂直偏差可以利用这样的像素测量,在该像素上,传统的侧向和竖向视准误差不随距离变化。

[0331] 如果用这种方法确定的十字准线来瞄准目标点,十字准线、准距仪中心、投影中心 O 和目标点 P 将在一条直线上,该直线与摄影测量成像光线相同。

[0332] 十字准线的位置在传统仪器中定义为图像平面上的一个点,在该点上侧向视准误差和垂直高度指标误差等于零,用相同的方式可将十字准线的位置指定在照相机检测器表面的一个像素上,当光学元件的中心定位不够好时,在最坏的情况下该像素会随距离而变化。

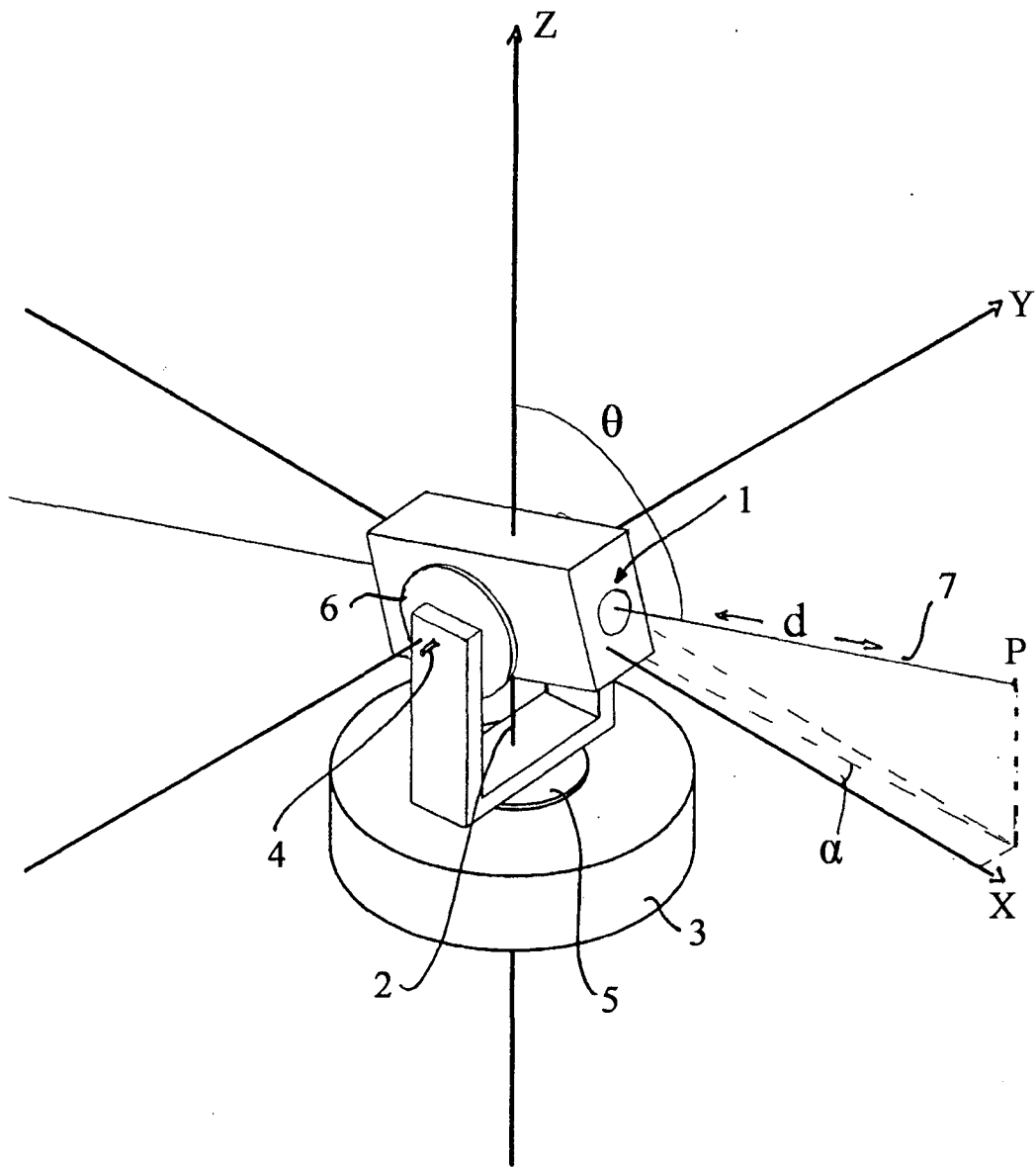


图 1

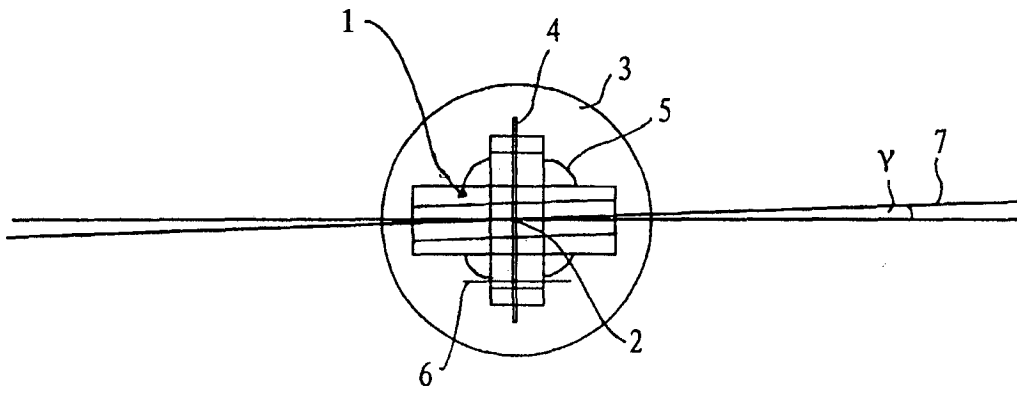


图 2A

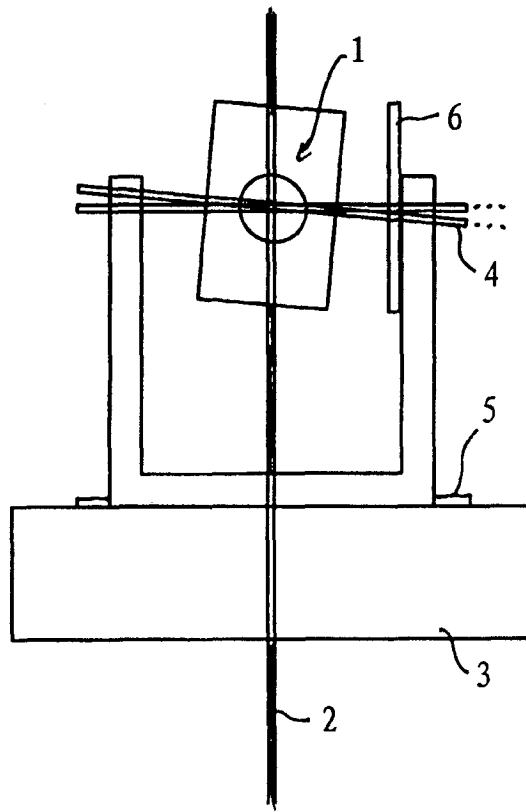


图 2B

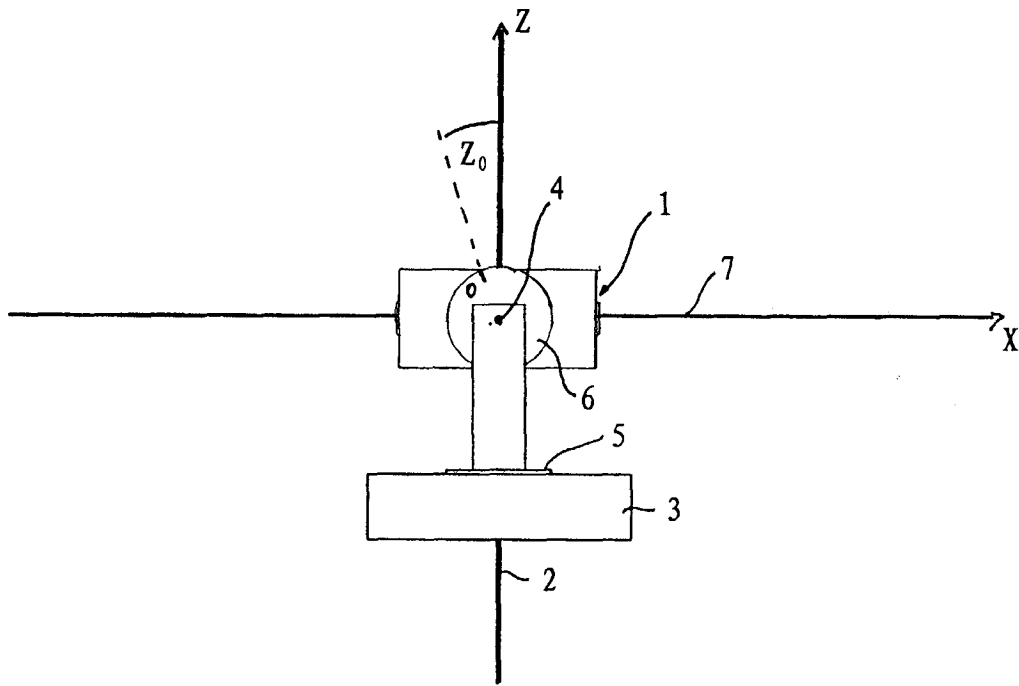


图 2C

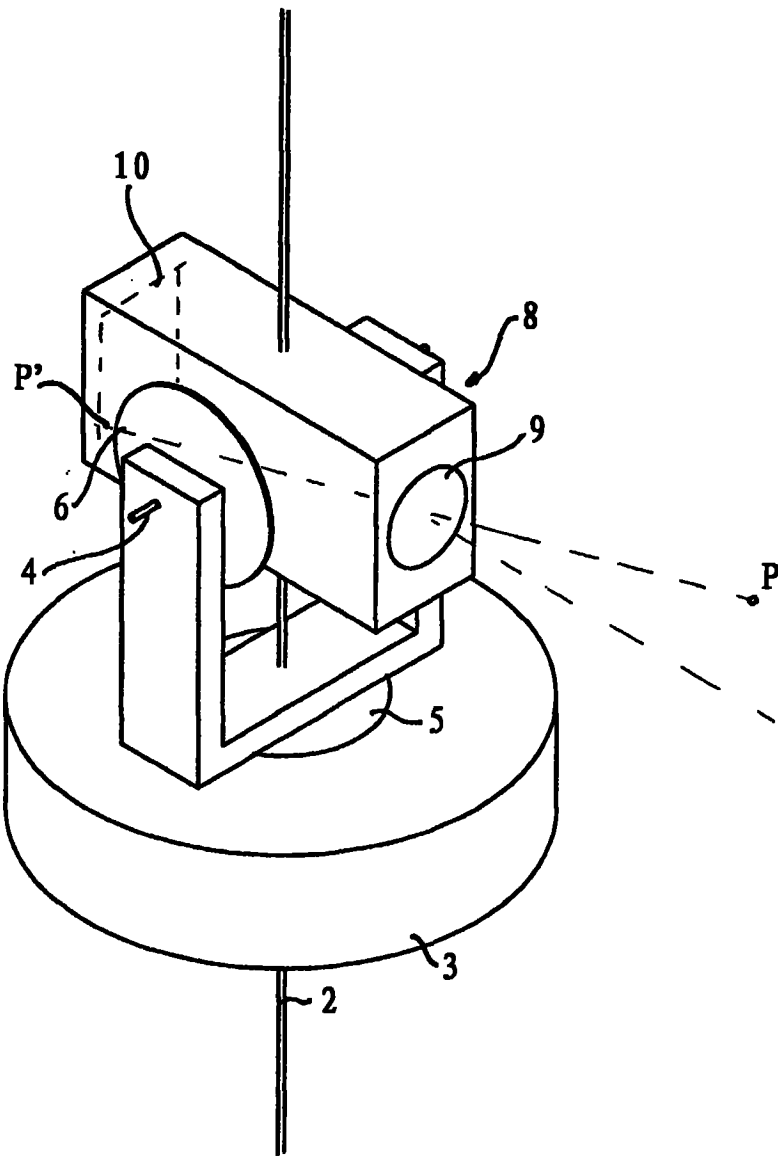


图 3

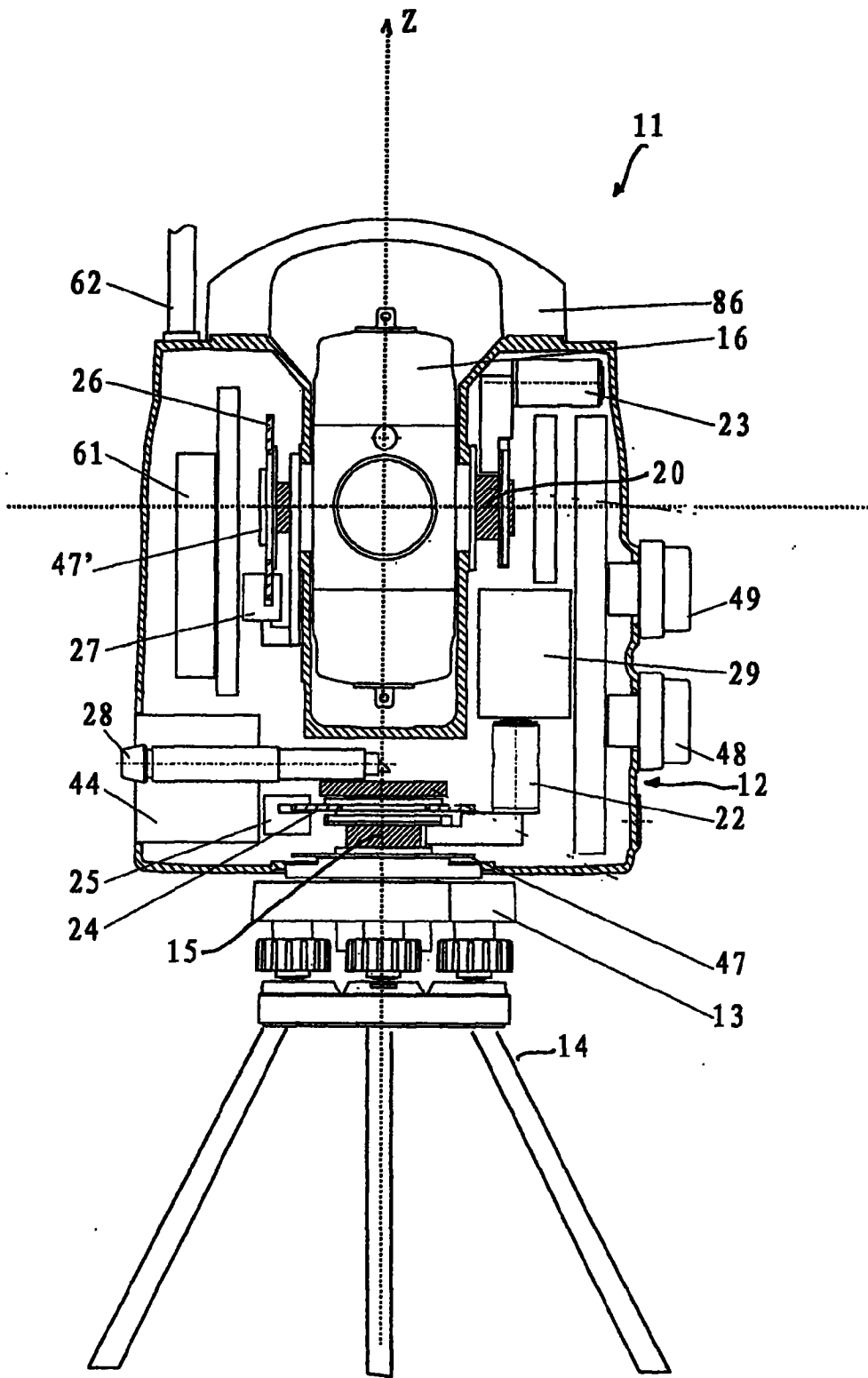


图 4

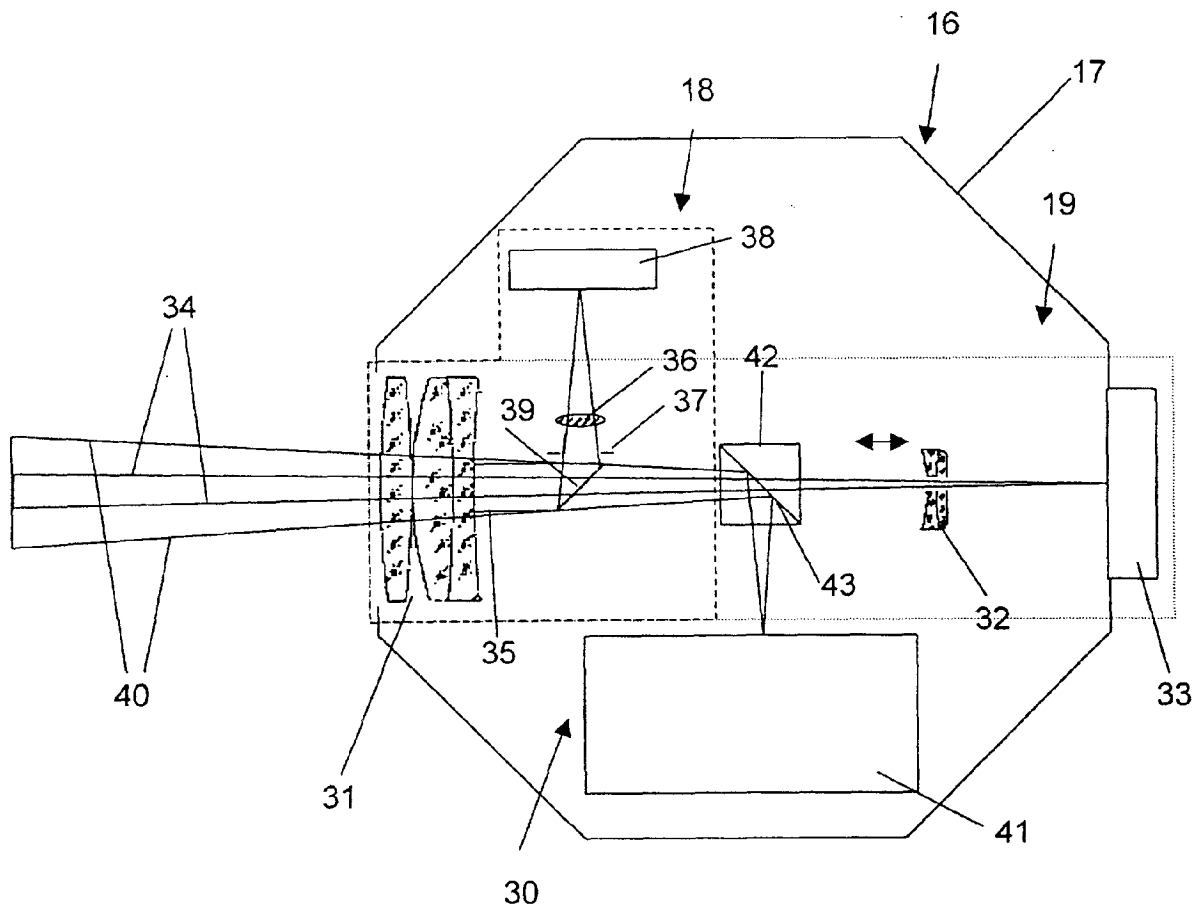


图 5

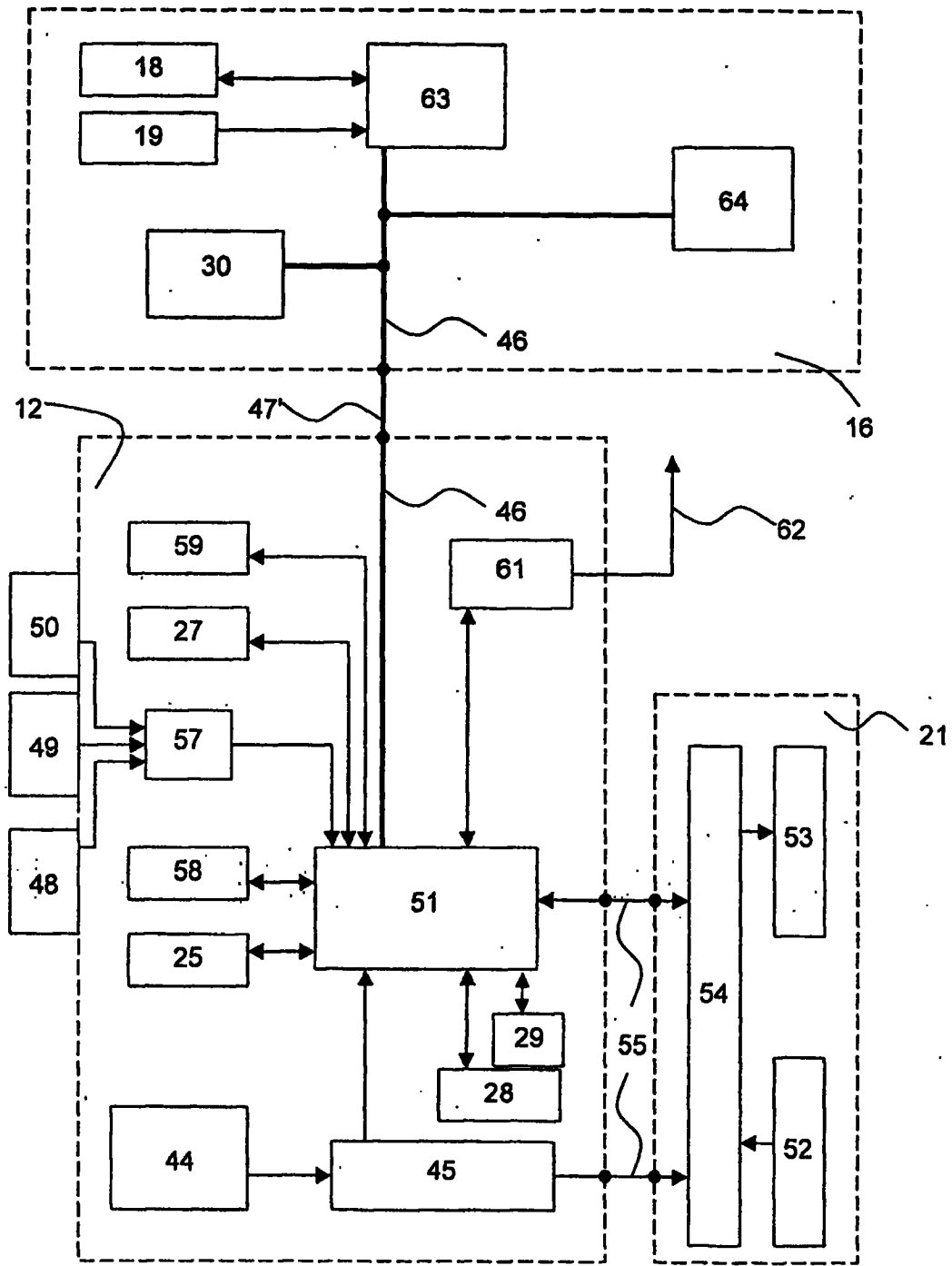


图 6

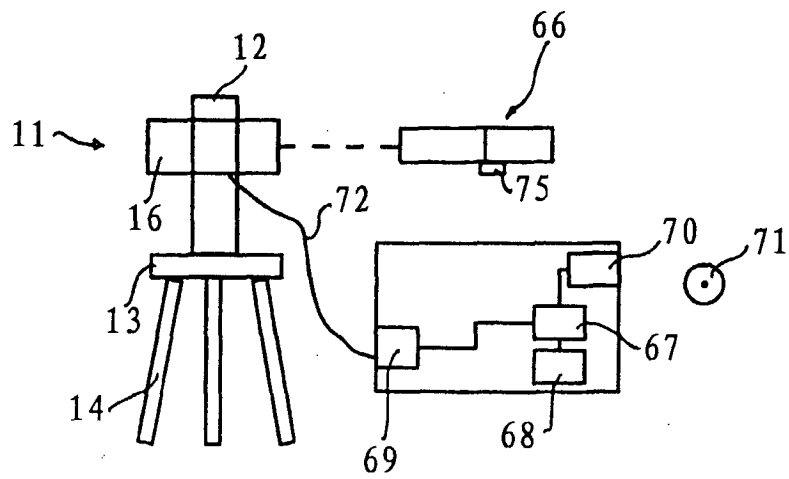


图 7

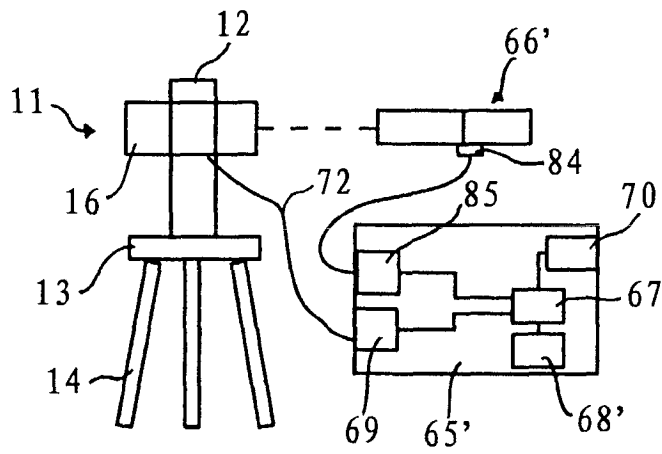


图 18

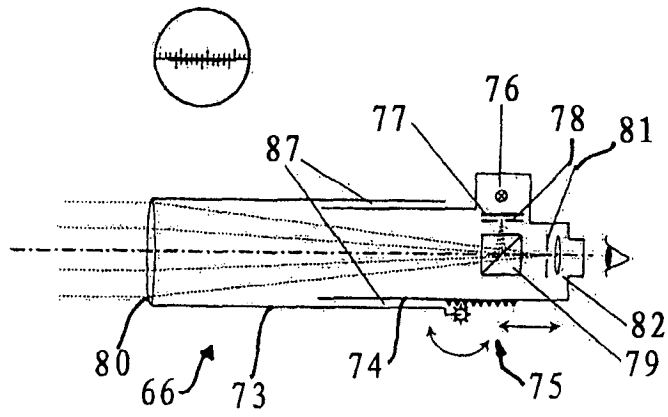


图 8

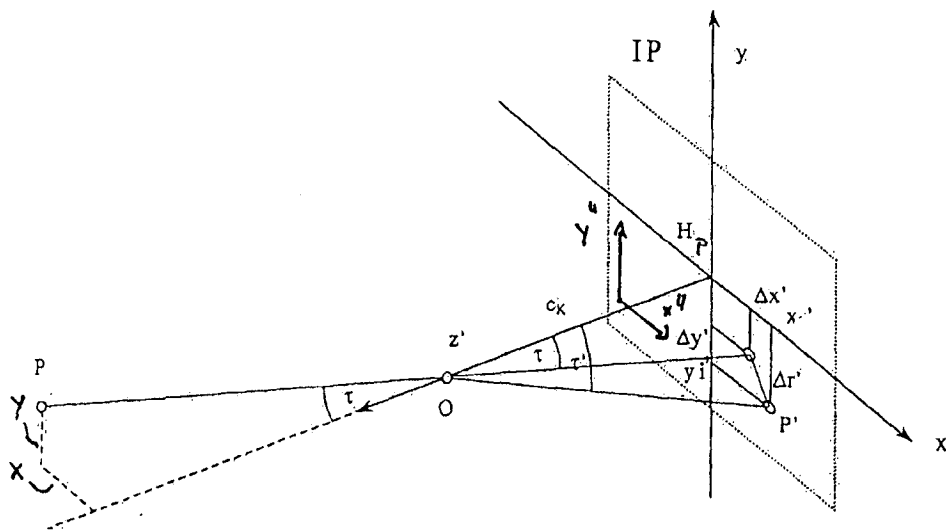


图 9

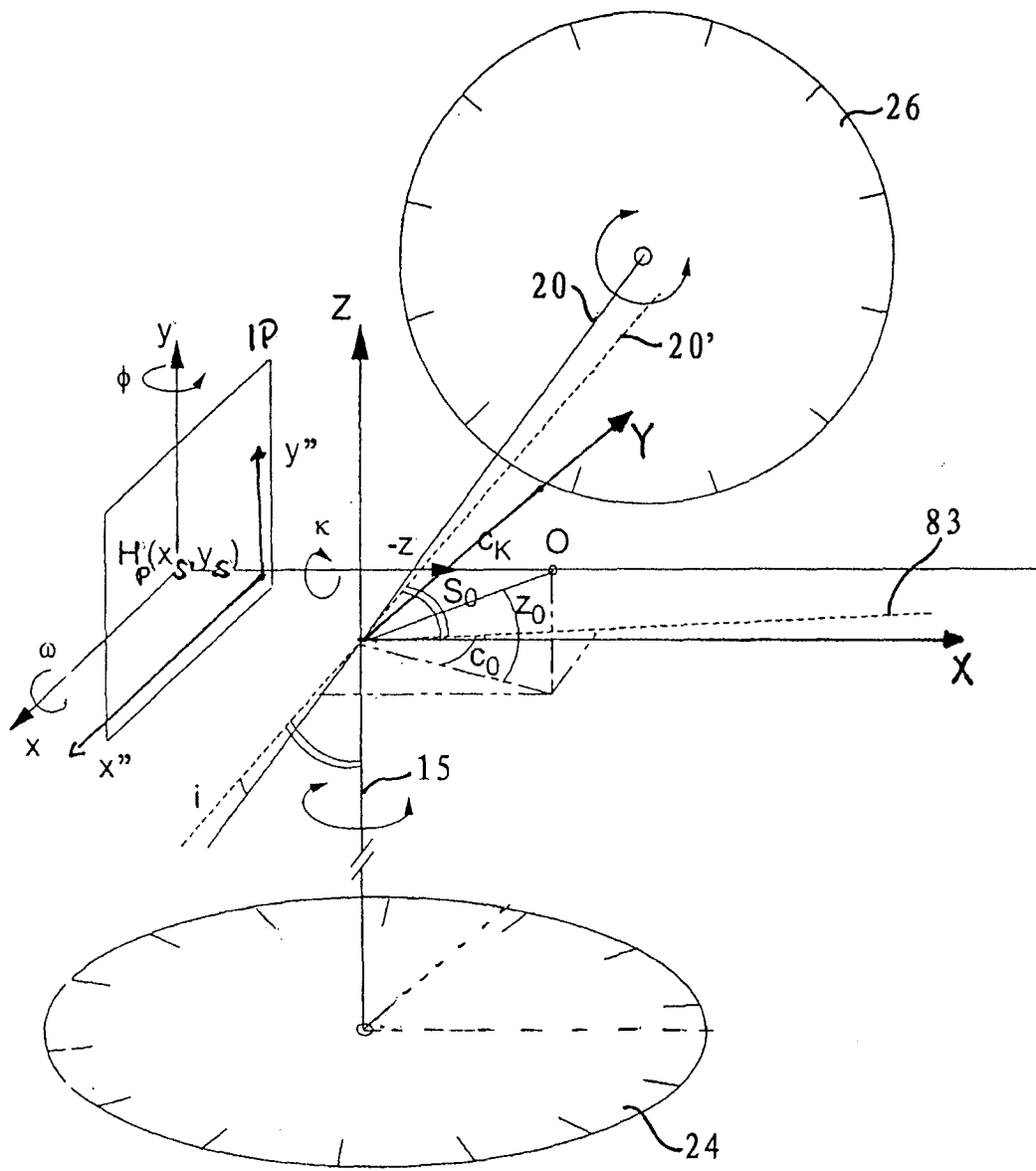


图 10

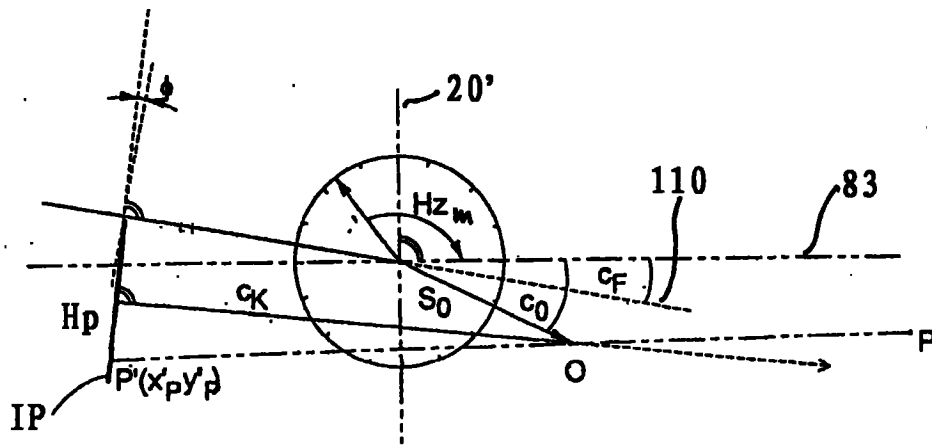


图 11

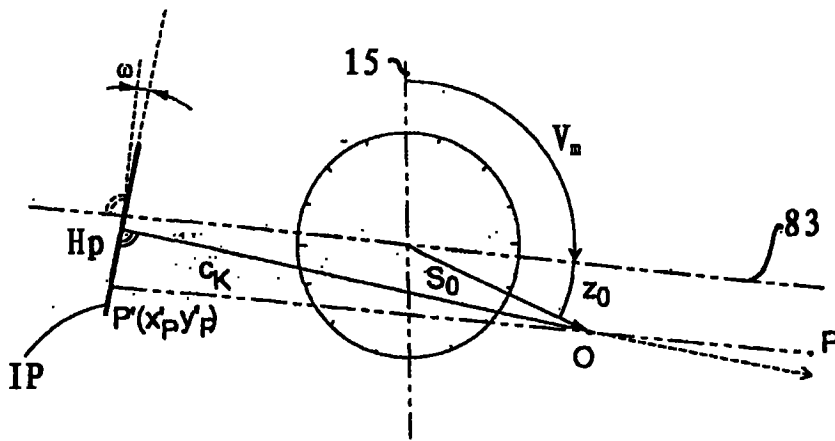


图 12

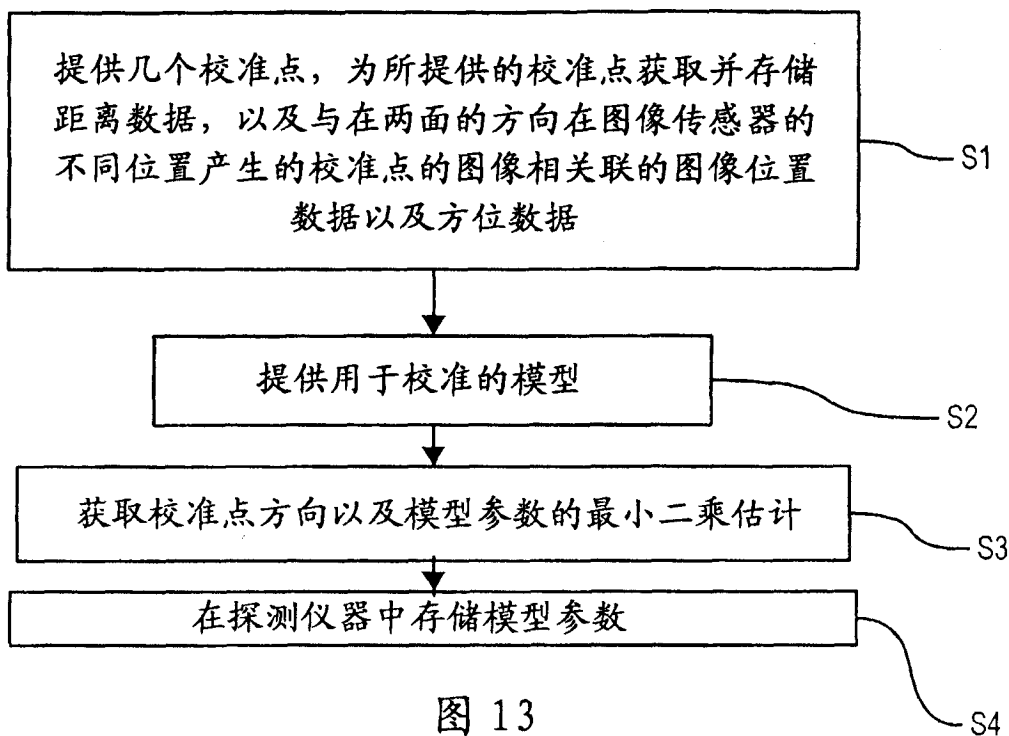


图 13

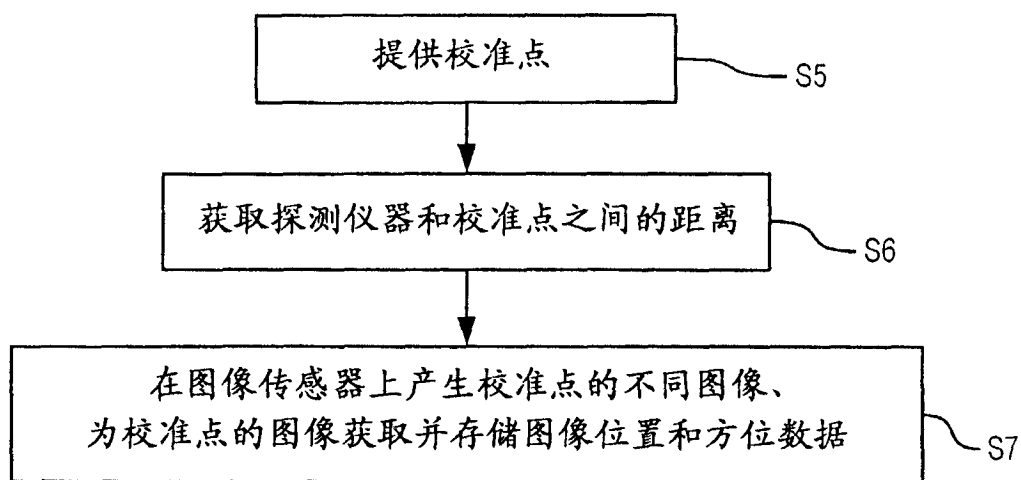


图 14

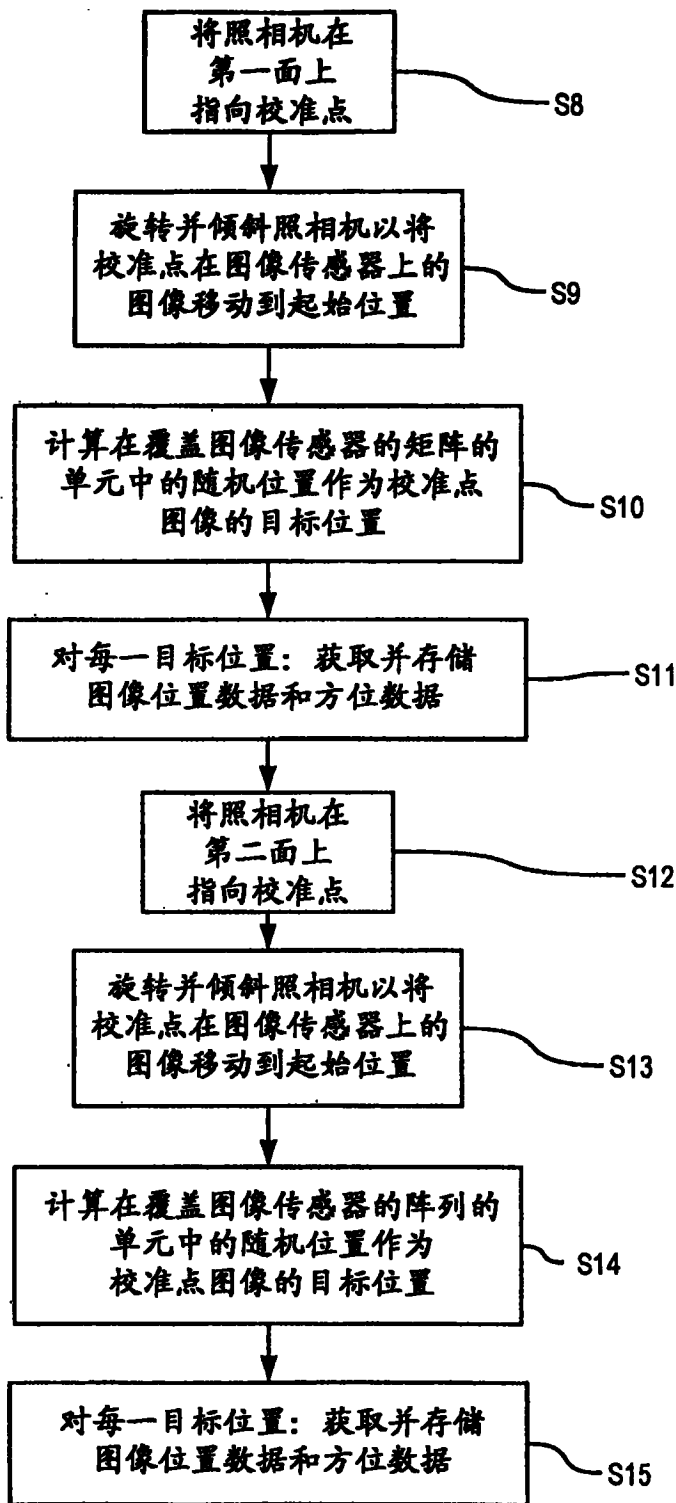


图 15

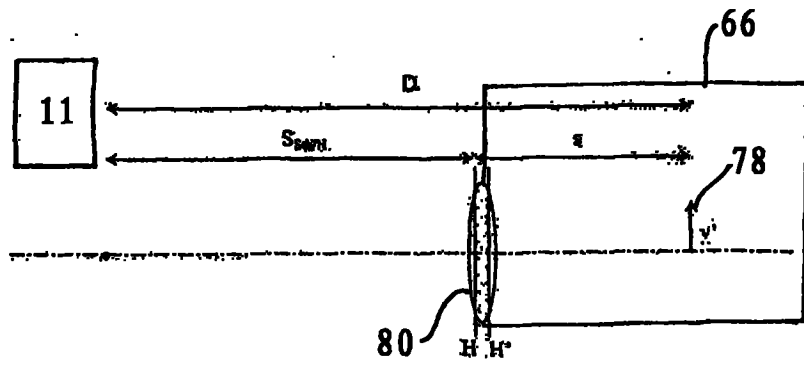


图 16

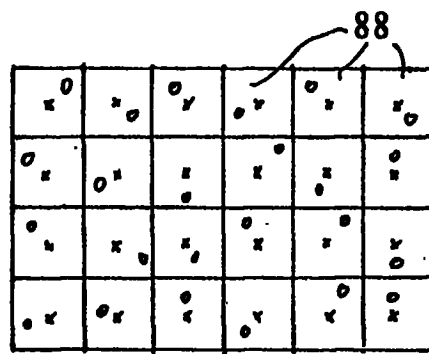


图 17

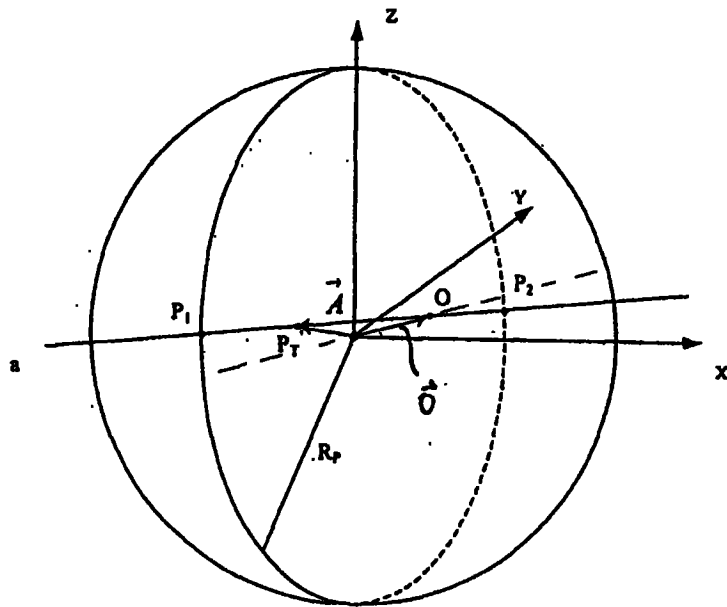


图 19

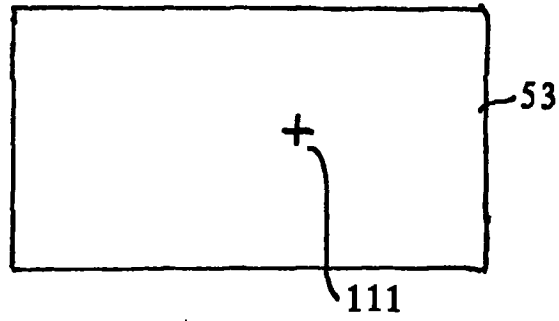


图 20

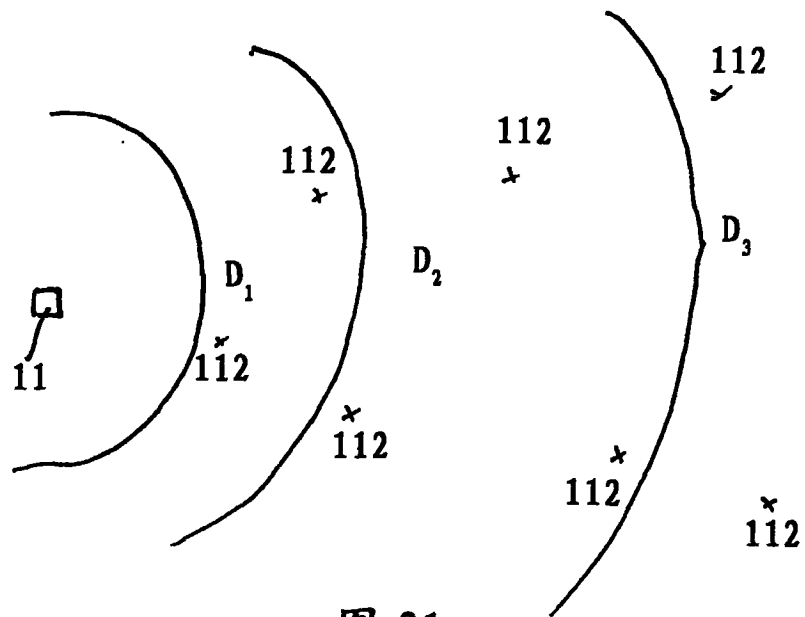


图 21

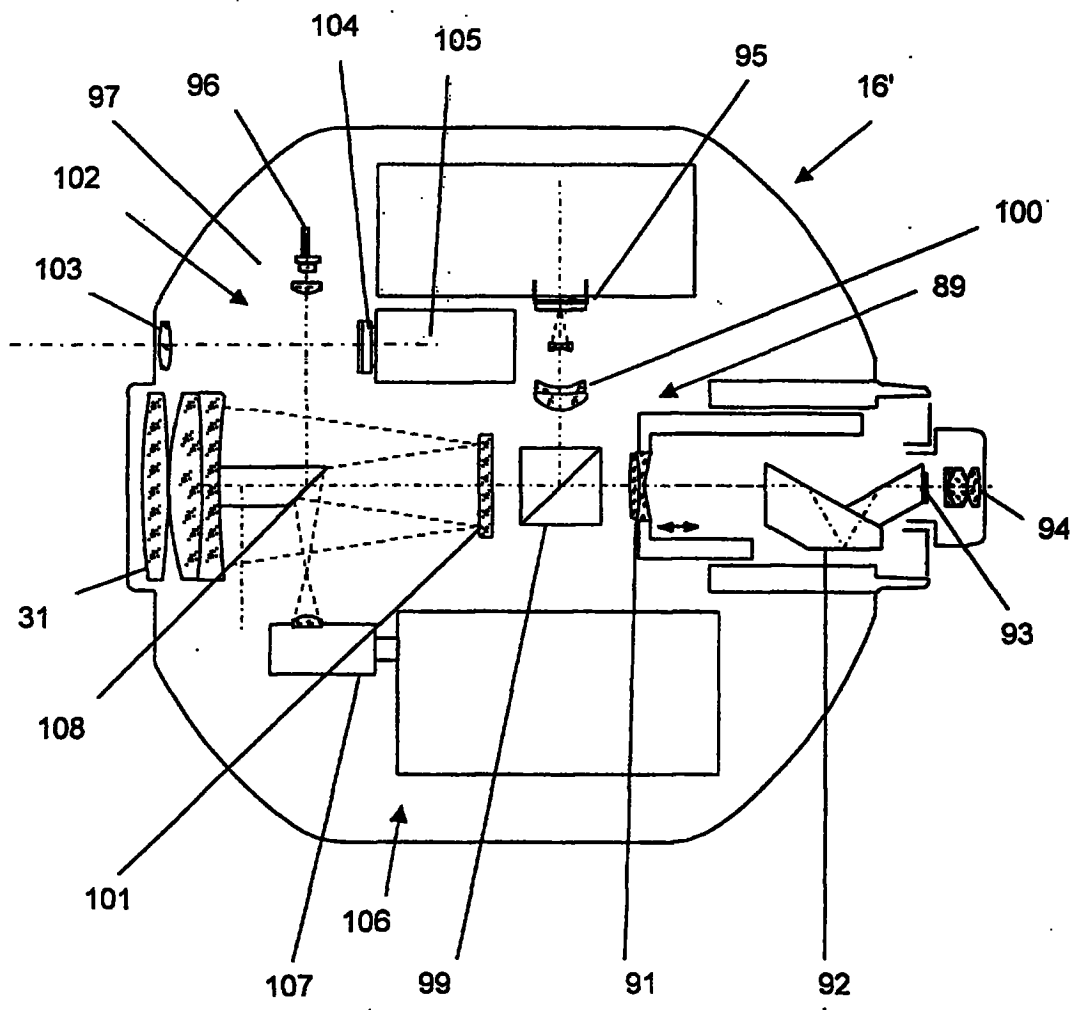


图 22

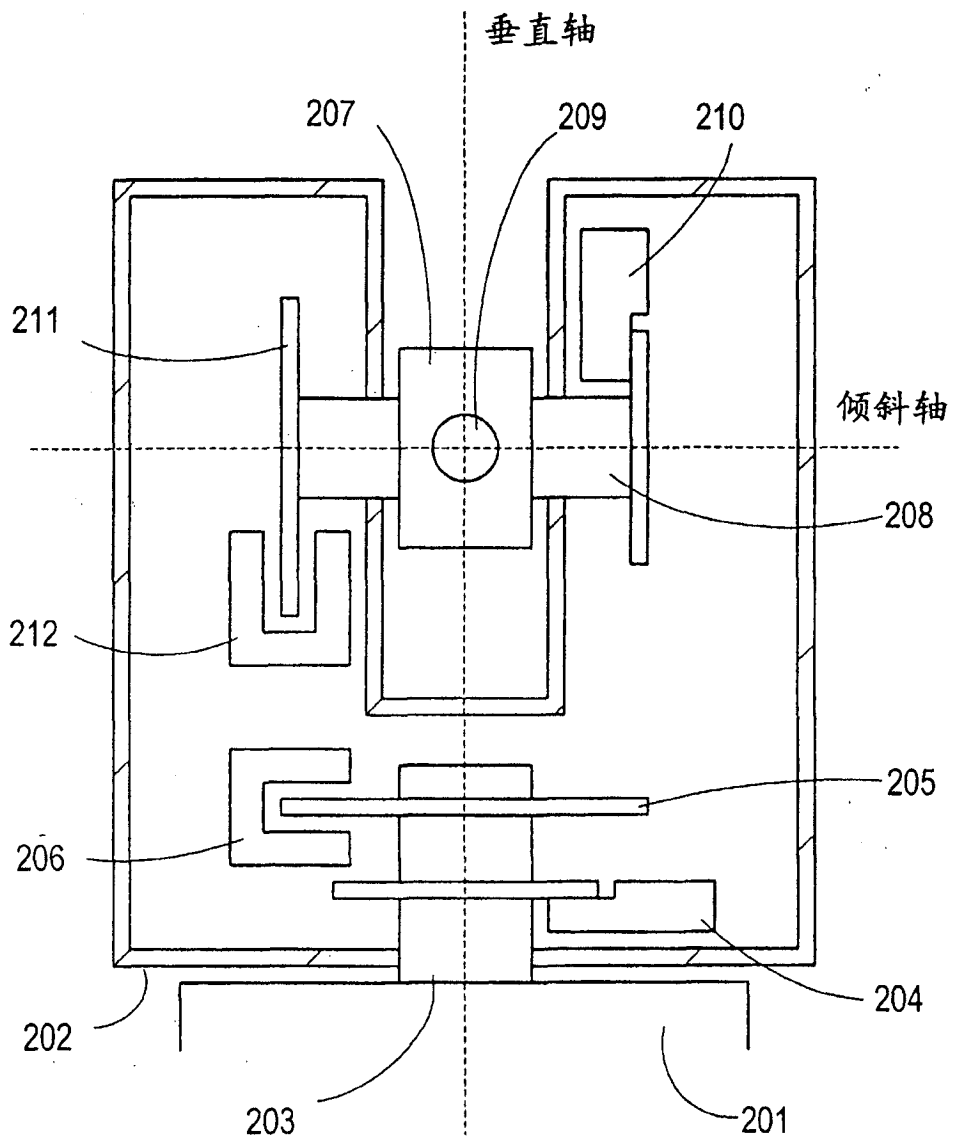


图 23

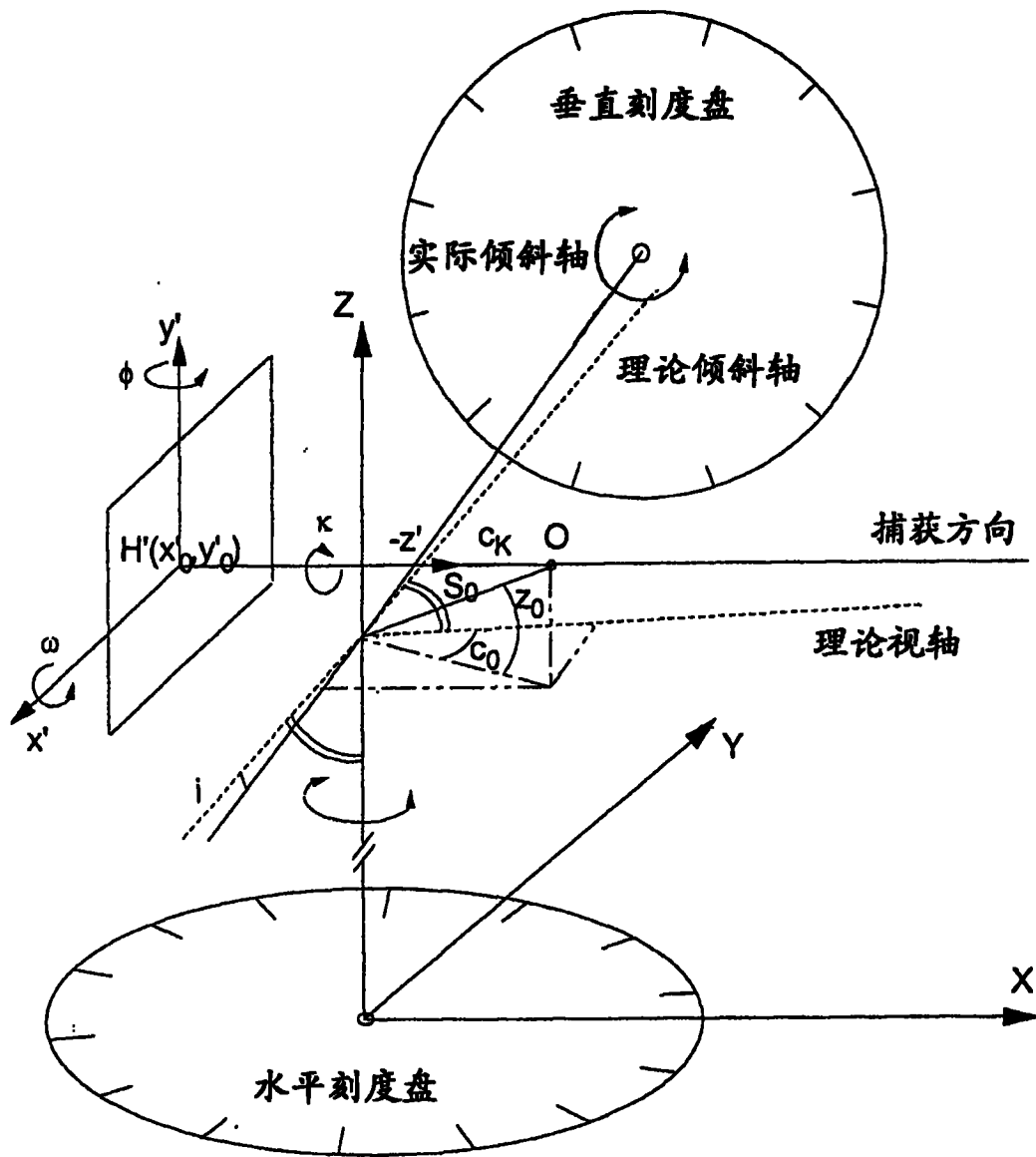


图 24

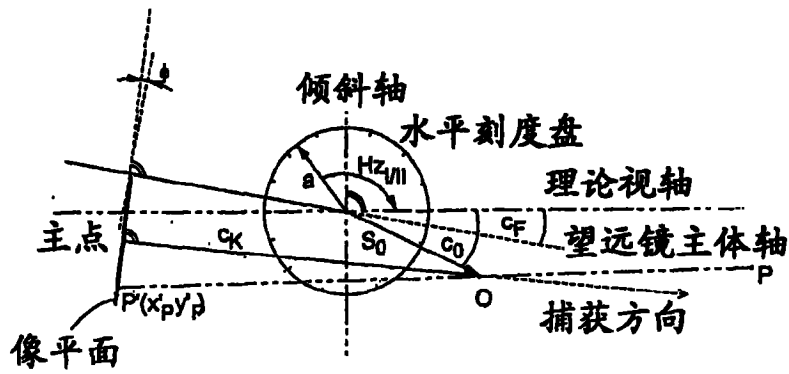


图 25

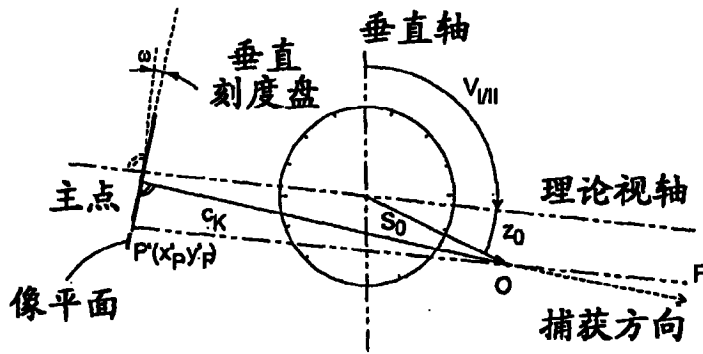


图 26