



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109995996 B

(45) 授权公告日 2021.01.12

(21) 申请号 201811570084.7

(22) 申请日 2018.12.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109995996 A

(43) 申请公布日 2019.07.09

(30) 优先权数据
15/850,149 2017.12.21 US

(73) 专利权人 株式会社三丰
地址 日本神奈川县

(72) 发明人 M.纳赫姆 R.K.布里尔
P.G.格拉德尼克

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105

代理人 郝倩

(51) Int.Cl.

H04N 5/232 (2006.01)

G02B 21/24 (2006.01)

(56) 对比文件

US 2011134308 A1,2011.06.09

CN 107071258 A,2017.08.18

CN 107340669 A,2017.11.10

CN 107346059 A,2017.11.14

CN 107367817 A,2017.11.21

US 2011001867 A1,2011.01.06

US 5604344 A,1997.02.18

CN 1717609 A,2006.01.04

审查员 王从雷

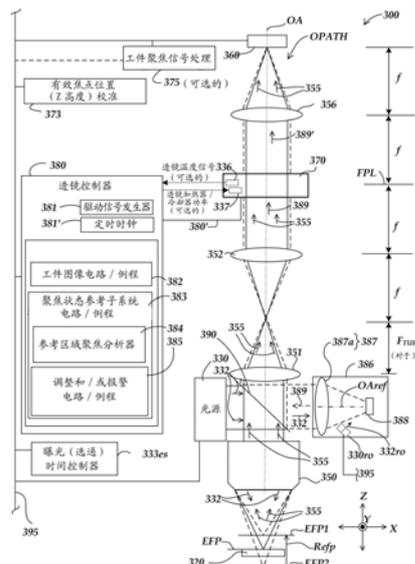
权利要求书3页 说明书18页 附图10页

(54) 发明名称

包括聚焦状态参考子系统的可变焦距透镜系统

(57) 摘要

本发明涉及包括聚焦状态参考子系统的可变焦距透镜系统。一种包括聚焦状态参考对象(FSRO)和参考对象光学器件(ROO)的聚焦状态参考子系统用于在可变焦距(VFL)透镜系统中使用,该系统包括VFL透镜,调节其光功率的控制器,以及沿包括物镜和VFL透镜的成像路径定位的摄像头。ROO沿着成像路径的一部分传输来自FSRO的图像光通过VFL透镜到摄像头。FSRO的相应的FS参考区域(FSRR)包括相对于ROO固定在相应的焦点位置处的对比度图案。包括特定FSRR的最佳聚焦图像的摄像头图像定义与该FSRR相关联的最佳聚焦参考状态,其中该最佳聚焦参考状态包括VFL光功率和/或通过物镜的VFL透镜系统的有效焦点位置。



CN 109995996 B

1. 一种可变焦距透镜系统,包括:

可变焦距透镜;

可变焦距透镜控制器,其控制可变焦距透镜的驱动信号,以在光功率范围内周期性地调节该可变焦距透镜的光功率,所述光功率在周期性调节内的相应的相位定时处出现;

摄像头,其在图像曝光期间接收沿成像光路通过该可变焦距透镜传输的光,并提供对应的摄像头图像;

物镜,其在工件图像曝光期间输入从工件产生的工件光,并且在工件图像曝光期间沿成像光路传输该工件光通过可变焦距透镜并到达摄像头,以在对应的摄像头图像中提供工件图像,其中,在工件图像曝光期间在物镜前方的有效焦点位置对应于在该工件图像曝光期间的可变焦距透镜的光功率;和

曝光时间控制器,其配置为控制用于摄像头图像的图像曝光定时,

其中:

可变焦距透镜系统还包括聚焦状态参考子系统,其至少包括聚焦状态参考对象和参考对象光学器件结构;

所述参考对象光学器件结构布置为在参考对象图像曝光期间输入从聚焦状态参考对象产生的参考对象光,并且在参考对象图像曝光期间沿着成像光路的至少一部分传输该参考对象光通过可变焦距透镜并到达摄像头,以在对应的摄像头图像中提供参考对象图像;和

聚焦状态参考对象包括一组聚焦状态参考区域,所述聚焦状态参考区域包括对比度图案,并且所述聚焦状态参考区域在参考对象图像中具有相应的已知参考区域图像位置且相对于参考对象光学器件结构固定在不同的相应参考区域焦点位置处,其中,包括特定聚焦状态参考区域的最佳聚焦图像的摄像头图像定义与该特定聚焦状态参考区域相关联的系统聚焦参考状态,并且所定义的系统聚焦参考状态包括与该特定聚焦状态参考区域相关联的特定可变焦距光功率或者特定有效焦点位置中的至少一个。

2. 根据权利要求1所述的可变焦距透镜系统,其中,聚焦状态参考对象包括多个平的图案表面,所述图案表面沿着参考对象光学器件结构的光轴相对于参考对象光学器件结构固定在不同的相应焦点距离处,并且所述组聚焦状态参考区域布置在所述多个平的图案表面上。

3. 根据权利要求1所述的可变焦距透镜系统,其中,聚焦状态参考对象包括至少一个图案表面,其至少一部分不垂直于参考对象光学器件结构的光轴,使得所述至少一个图案表面的不同部分相对于参考对象光学器件结构固定在不同的相应焦点距离处,并且所述组聚焦状态参考区域布置在所述至少一个图案表面的不同部分上。

4. 根据权利要求3所述的可变焦距透镜系统,其中,所述至少一个图案表面包括不正交于参考对象光学器件结构的光轴的平的图案表面,并且所述组聚焦状态参考区域包括对比度图案的不同部分,所述对比度图案沿着不正交于参考对象光学器件结构的光轴的所述平的图案表面延伸。

5. 根据权利要求1所述的可变焦距透镜系统,其中,参考对象光学器件结构包括参考对象成像透镜,其具有沿着参考对象光学器件结构的光轴的焦距 F_{ref} ,并且所述不同的相应参考区域焦点位置包括定位为距参考对象成像透镜比 F_{ref} 更远的至少一个相应参考区域

焦点位置,以及定位为距参考对象成像透镜比 F_{ref} 更近的至少一个相应参考区域焦点位置。

6. 根据权利要求5所述的可变焦距透镜系统,其中, F_{ref} 至少为30毫米。

7. 根据权利要求1所述的可变焦距透镜系统,其中,所述组聚焦状态参考区域在聚焦状态参考对象上配置为使得,它们在参考对象图像中的相应的已知参考区域图像位置沿着摄像头图像的一个或多个边缘定位,而不是在该摄像头图像的中心区域中,并且可变焦距透镜系统被配置为使得工件图像位于该摄像头图像的中心区域中。

8. 根据权利要求1所述的可变焦距透镜系统,其中,可变焦距透镜系统配置为使得工件图像位于摄像头图像的第一预确定区域中,并且,所述组聚焦状态参考区域的相应的已知参考区域图像位置位于摄像头图像的不同于第一预确定区域的第二预确定区域中,并且工件图像和参考对象图像在相同的摄像头图像中同时曝光。

9. 根据权利要求8所述的可变焦距透镜系统,其中,可变焦距透镜系统包括参考区域聚焦分析器,其被配置为识别摄像头图像中的特定聚焦状态参考区域的最佳聚焦图像,并且将与该特定聚焦状态参考区域相关联的特定有效焦点位置识别为同一摄像头图像中的工件图像的有效焦点位置。

10. 根据权利要求1所述的可变焦距透镜系统,其中,

可变焦距透镜系统的校准状态包括所述组聚焦状态参考区域中的至少一个成员在使用对应的特定已知相位定时曝光的参考对象图像中呈现特定的校准聚焦特性值;

可变焦距透镜系统包括参考区域聚焦分析器,其被配置为在使用对应的特定已知相位定时曝光的参考对象图像中为所述组聚焦状态参考区域的成员确定聚焦特性值;并且

可变焦距透镜控制器被配置为自动或半自动地操作参考区域聚焦分析器,并且调整可变焦距透镜的驱动信号,使得使用对应的特定已知相位定时曝光的至少一个参考对象图像中的所述组聚焦状态参考区域中的至少一个成员的被确定的聚焦特性值与在该对应的特定已知相位定时的所述组聚焦状态参考区域中的该至少一个成员的特定校准聚焦特性值匹配。

11. 根据权利要求10所述的可变焦距透镜系统,其中,所述组聚焦状态参考区域的成员的被确定的聚焦特性值包括基于与所述组聚焦状态参考区域的该成员的已知参考区域图像位置对应的参考对象图像数据的定量对比度度量的值,并且,所述参考区域聚焦分析器包括由远程计算机中的软件例程实现的一组操作,该远程计算机被配置为从可变焦距透镜系统接收参考对象图像数据,并执行该组操作以基于与所述组聚焦状态参考区域的该成员的已知参考区域图像位置对应的参考对象图像数据确定所述定量对比度度量的值。

12. 根据权利要求1所述的可变焦距透镜系统,其中,

可变焦距透镜系统包括配置为在工件图像曝光期间提供对工件的照明的工件选通光源,以及配置为在参考对象图像曝光期间提供对聚焦状态参考对象的照明的参考对象选通光源;

曝光时间控制器配置为通过控制工件选通光源的选通定时来控制工件图像曝光的定时,并且通过控制参考对象选通光源的选通定时来控制参考对象图像曝光的定时。

13. 根据权利要求12所述的可变焦距透镜系统,其中,工件选通光源和参考对象选通光源是同一光源,工件图像曝光的定时和参考对象图像曝光的定时是同时的,并且工件图像

和参考对象图像包括在同一摄像头图像中。

14. 根据权利要求12所述的可变焦距透镜系统,其中,工件选通光源和参考对象选通光源是不同的光源,工件图像曝光的定时和参考对象图像曝光的定时是不同的,并且工件图像和参考对象图像包括在不同的摄像头图像中。

15. 一种可变焦距透镜系统,其中:

可变焦距透镜系统包括:

可变焦距透镜;

可变焦距透镜控制器,其控制可变焦距透镜的驱动信号,以在光功率范围内周期性地调节该可变焦距透镜的光功率,所述光功率在周期性调节内的相应的相位定时处出现;

摄像头,其在图像曝光期间接收沿成像光路通过该可变焦距透镜传输的光,并提供对应的摄像头图像;

物镜,其在工件图像曝光期间输入从工件产生的工件光,并且在工件图像曝光期间沿成像光路传输该工件光通过可变焦距透镜并到达摄像头,以在对应的摄像头图像中提供工件图,其中,在工件图像曝光期间在物镜前方的有效焦点位置对应于在该工件图像曝光期间的可变焦距透镜的光功率;

曝光时间控制器,其配置为控制用于摄像头图像的图像曝光定时;和

可变焦距透镜系统框架或外壳,其包括附件光学端口,以及

可变焦距透镜系统还包括聚焦状态参考子系统,该聚焦状态参考子系统至少包括聚焦状态参考对象、参考对象光学器件结构以及包括参考子系统光学端口的参考子系统框架或外壳,其中:

参考子系统光学端口配置为固定地安装至可变焦距透镜系统上的附件光学端口;

参考对象光学器件结构被配置为使得,当参考子系统光学端口固定地安装到可变焦距透镜系统上的附件光学端口时,参考对象光学器件结构被布置为在参考对象图像曝光期间输入从聚焦状态参考对象产生的参考对象光,并且在参考对象图像曝光期间沿着成像光路的至少一部分传输该参考对象光通过可变焦距透镜并到达摄像头,以在对应的摄像头图像中提供参考对象图像;并且

聚焦状态参考对象包括一组聚焦状态参考区域,所述聚焦状态参考区域包括对比度图案,并且所述聚焦状态参考区域在参考对象图像中具有相应的已知参考区域图像位置且相对于参考对象光学器件结构固定在不同的相应参考区域焦点位置处,其中,包括特定聚焦状态参考区域的最佳聚焦图像的摄像头图像定义与该特定聚焦状态参考区域相关联的系统聚焦参考状态,并且该系统聚焦参考状态包括与该特定聚焦状态参考区域相关联的特定可变焦距光功率或者特定有效焦点位置中的至少一个。

包括聚焦状态参考子系统的可变焦距透镜系统

技术领域

[0001] 本公开涉及使用高速可变焦距 (VFL) 透镜 (例如, 在机器视觉检查系统中) 的精密计量, 并且更具体地涉及监视 VFL 成像系统的聚焦状态和/或该成像系统中的高速可变焦距透镜的光功率。

背景技术

[0002] 诸如精密机器视觉检查系统 (或简称“视觉系统”) 的精密非接触式计量系统可用于获得对象的精确尺寸测量并检查各种其他的对象特征, 并且可以包括计算机、摄像头和光学系统, 以及移动以允许工件横移和检查的精密工作台。一个示例性的现有技术系统是从位于伊利诺伊州奥罗拉的 Mitutoyo America Corporation (MAC) 获得的 QUICK VISION® 系列的基于 PC 的视觉系统, 以及 QVPAK® 软件。例如, 在 2003 年 1 月公布的 QVPAK 3D CNC 视觉测量机用户指南中大体描述了 QUICK VISION® 系列视觉系统和 QVPAK® 软件的特征和操作, 该用户指南通过引用被整体合并于此。该类型的系统使用显微镜型光学系统并移动该工作台以提供小型或相对大型的工件的检查图像。

[0003] 通用精密机器视觉检查系统通常是可编程的, 以提供自动视频检查。这样的系统通常包括 GUI 特征和预定义图像分析“视频工具”, 使得操作和编程可以由“非专家”的操作员执行。例如, 美国专利 No. 6, 542, 180 (其通过引用被整体合并于此) 教导了一种使用自动视频检查的视觉系统, 其包括使用各种视频工具。

[0004] 多透镜可变焦距 (VFL) 光学系统可用于观察和精确测量表面高度, 并且可被包括在显微镜和/或精密机器视觉检查系统中, 例如美国专利 No. 9, 143, 674 中所公开的, 其通过引用被整体合并于此。简而言之, VFL 透镜能够分别以多个焦距获取多个图像。一种类型的已知 VFL 透镜是可调谐声学梯度 (“TAG”) 透镜, 其使用流体介质中的声波产生透镜效应。可以通过将电场以谐振频率施加到围绕流体介质的压电管来产生声波, 以在透镜的流体中产生时变密度和折射率分布, 其调节其光功率并由此调节光学系统的焦距或有效焦点位置。TAG 透镜可以用于以高达几百 kHz 的谐振频率 (即, 高速) 周期性地扫描一定范围的焦距。这样的透镜可以通过文章 “High speed varifocal imaging with a tunable acoustic gradient index of refraction lens” (Optics Letters, Vol. 33, No. 18, 2008 年 9 月 15 日) 的教导被更详细地理解, 其通过引用被整体合并于此。可调谐声学梯度折射率透镜和相关的可控信号发生器可例如从新泽西州普林斯顿的 TAG Optics, Inc. 获得。例如, 型号 TL2.B. xxx 系列透镜能够允许高达约 600 kHz 的调节。

[0005] 虽然这种 VFL 透镜可以以非常高的速率改变有效焦点位置, 但是诸如温度这样的条件中的变化稍微改变它们的谐振特性, 并引起光功率和调节频率的变化, 这可影响系统性能和准确度。对这些问题可以提供改进的成像系统将是期望的。

发明内容

[0006] 提供这一发明内容用以简化形式介绍构思的选择,这些构思在下面的具体实施方式中进一步被说明。这一发明内容不旨在识别要求保护的的主题的关键特征,也不旨在用于辅助确定要求保护的的主题的范围。

[0007] 提供了一种可变焦距 (VFL) 透镜系统,其包括VFL透镜、VFL透镜控制器、摄像头、物镜、曝光时间控制器和根据在此公开的的原理的聚焦状态参考子系统。在各种实施方式中,VFL透镜可以是可调谐声学梯度折射率 (TAG) 透镜。VFL透镜控制器控制VFL透镜的驱动信号,以在光功率范围内周期性地调节VFL透镜的光功率,所述光功率在周期性调节内的相应的相位定时处出现。摄像头布置为在图像曝光期间接收沿成像光路通过VFL透镜传输的光,并提供对应的摄像头图像。物镜被布置成在工件图像曝光期间输入从工件产生的工件光,并且在工件图像曝光期间沿着成像光路传输该工件光通过VFL透镜并到达摄像头,以在对应的摄像头图像中提供工件图像。在工件图像曝光期间在物镜前方的有效焦点位置对应于在该工件图像曝光期间VFL透镜的光功率。曝光时间控制器配置为控制用于摄像头图像的图像曝光定时。

[0008] 如在此所公开的,可变焦距 (VFL) 透镜系统还包括聚焦状态参考子系统,其至少包括聚焦状态 (FS) 参考对象和参考对象光学器件结构。参考对象光学器件结构被布置成在参考对象图像曝光期间输入从FS参考对象产生的参考对象光,并且在参考对象图像曝光期间沿着成像光路的至少一部分传输该参考对象光,以通过VFL透镜并且到达摄像头,以在对应的摄像头图像中提供参考对象图像。FS参考对象包括一组聚焦状态 (FS) 参考区域,所述聚焦状态 (FS) 参考区域包括对比度图案,并且在参考对象图像中具有相应的已知的参考区域图像位置且相对于参考对象光学器件结构固定在不同的相应参考区域焦点位置处。当前述元件根据在此公开的的原理配置时,包括特定FS参考区域的最佳聚焦图像的摄像头图像定义与该特定FS参考区域相关联的系统聚焦参考状态,并且所定义的系统聚焦参考状态包括与该特定FS参考区域相关联的特定VFL光功率或特定有效焦点位置中的至少一个。

[0009] 在一些实施方式中,FS参考对象包括多个平的图案表面,所述图案表面相对于参考对象光学器件结构沿着其光轴固定在不同的相应焦点距离处,并且该组聚焦状态 (FS) 参考区域布置在所述多个平的图案表面上。

[0010] 在一些实施方式中,FS参考对象包括至少一个图案表面,其至少一部分不垂直于参考对象光学器件结构的光轴。所述至少一个图案表面的不同部分相对于参考对象光学器件结构固定在不同的相应焦点距离处,并且所述组聚焦状态 (FS) 参考区域被布置在所述至少一个图案表面的不同部分上。在一些这样的实施方式中,所述至少一个图案表面可以包括不正交于参考对象光学器件结构的光轴的平的图案表面,并且该组聚焦状态 (FS) 参考区域可以包括对比度图案的不同部分,所述对比度图案沿着不正交于光轴的所述平的图案表面延伸。

[0011] 在一些实施方式中,参考对象光学器件结构包括沿其光轴具有焦距 F_{ref} 的参考对象成像透镜,并且不同的相应参考区域焦点位置包括定位为距参考对象成像透镜比 F_{ref} 更远的至少一个相应参考区域焦点距离,以及距参考对象成像透镜比 F_{ref} 更近的至少一个参考区域焦点距离。在各种实施方式中, F_{ref} 可以是至少30毫米、或至少40毫米,或更多。

[0012] 在一些实施方式中,VFL透镜系统被配置为使得,工件图像位于摄像头图像的第一

预确定区域中,并且该组(FS)参考区域的相应已知参考区域图像位置位于摄像头图像的第二预确定区域中,该第二预确定区域与第一预确定区域不同。在一些这样的实施方式中,工件图像和参考对象图像在同一摄像头图像中同时曝光。

[0013] 在一些实施方式中,所述组聚焦状态(FS)参考区域在FS参考对象上配置为使得,它们在参考对象图像中的相应的已知参考区域图像位置沿着摄像头图像的一个或多个边缘定位,而不是在该摄像头图像的中心区域中定位。在一些这样的实施方式中,VFL透镜系统被配置为使得,工件图像位于摄像头图像的中心区域中。在一些这样的实施方式中,工件图像和参考对象图像在同一摄像头图像中同时曝光。

[0014] 在一些实施方式中,VFL透镜系统包括工件选通光源,其配置成在工件图像曝光期间向工件提供照明,且曝光时间控制器配置成通过控制工件选通光源的选通定时来控制工件图像曝光的定时。在一些实施方式中,VFL透镜系统包括参考对象选通光源,其配置成在参考对象图像曝光期间向参考对象提供照明,且曝光时间控制器配置成通过控制参考对象选通光源的选通定时来控制参考对象图像曝光的定时。在一些这样的实施方式中,工件选通光源和参考对象选通光源是相同的光源,工件图像曝光和参考对象图像曝光的定时是同时的,并且工件图像和参考对象图像包括在相同的摄像头图像中。在其它的实施方式中,工件选通光源和参考对象选通光源是不同的光源,工件图像曝光和参考对象图像曝光的定时是不同的,并且工件图像和参考对象图像包括在不同的摄像头图像中。

[0015] 在一些实施方式中,VFL透镜系统包括参考区域聚焦分析器,其被配置为识别特定FS参考区域在摄像头图像中的最佳聚焦图像,并且将与该特定FS参考区域相关联的特定有效焦点位置识别为同一摄像头图像中的工件图像的有效焦点位置。

附图说明

[0016] 图1是示出通用精密机器视觉检查系统的各种典型部件的图示;

[0017] 图2是类似于图1的机器视觉检查系统的控制系统部分和视觉部件部分的框图,并包括在此披露的一些特征;

[0018] 图3是可适应于诸如机器视觉检查系统这样的精密非接触式计量系统的VFL成像系统的示意图,其包括根据在此披露的原理的聚焦状态参考子系统;

[0019] 图4是示出在根据在此披露的原理的聚焦状态参考子系统中可用的包括参考对象的第一实施例的实施方式的图示。

[0020] 图5A、5B和5C是表示三个摄像头图像的图示,这三个摄像头图像包括图4的参考对象在三种不同聚焦状态的图像。

[0021] 图6是表示用于包括根据在此披露的原理的聚焦状态参考子系统的VFL成像系统的、与图4和5所示的参考对象的各种“最佳聚焦”的参考区域相关联的各种聚焦状态特征或参数之间的关系的图表。

[0022] 图7是表示与包括根据在此披露的原理的聚焦状态参考子系统的VFL成像系统的周期性调节聚焦状态相关联的各种聚焦状态特征或参数之间的关系的图表。

[0023] 图8是示出在根据在此披露的原理的聚焦状态参考子系统中可用的包括参考对象的第二实施例的实施方式的图示。

[0024] 图9A、9B和9C是表示三个摄像头图像的图示,这三个摄像头图像包括图8的参考对

象在三种不同聚焦状态的图像。

具体实施方式

[0025] 图1是可用作根据在此所述的方法的成像系统的一个示例性机器视觉检查系统10的框图。机器视觉检查系统10包括视觉测量机12,其可操作地连接以与控制计算机系统14交换数据和控制信号。控制计算机系统14还可操作地连接以与监视器或显示器16、打印机18、操纵杆22、键盘24和鼠标26交换数据和控制信号。监视器或显示器16可以显示适用于对机器视觉检查系统10的操作进行控制和/或编程的用户界面。应当理解,在各种实施方式中,触摸屏平板电脑等可以替代和/或冗余地提供任何一个或全部元件14、16、22、24和26的功能。

[0026] 本领域技术人员将理解,控制计算机系统14通常可以使用任何合适的计算系统或设备来实现,包括分布式或联网计算环境等。这样的计算系统或设备可以包括执行软件以执行在此描述的功能的一个或多个通用或专用处理器(例如,非定制或定制设备)。软件可以存储在存储器中,例如随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、闪存等,或这些部件的组合。软件还可以存储在一个或多个存储设备中,例如光盘、闪存设备或用于存储数据的任何其他类型的非易失性存储介质。软件可以包括一个或多个程序模块,其包括执行特定任务或实现特定抽象数据类型的例程、程序、对象、部件、数据结构等。在分布式计算环境中,程序模块的功能可以跨多个计算系统或设备组合或分布,并且可以通过有线或无线配置的服务调用来访问。

[0027] 视觉测量机12包括可移动工件工作台32和光学成像系统34,光学成像系统可包括变焦透镜或可互换物镜。变焦透镜或可互换物镜通常为由光学成像系统34提供的图像提供各种放大率。机器视觉检查系统10的各种实施方式也在共同转让的美国专利No.7,454,053;No.7,324,682;No.8,111,905;和No.8,111,938中被描述,其每一个都通过引用被整体合并于此。

[0028] 图2是类似于图1的机器视觉检查系统的机器视觉检查系统100的控制系统部分120和视觉部件部分200的框图,其包括在此披露的一些特征。如下面将更详细描述,控制系统部分120用于控制视觉部件部分200。视觉部件部分200包括光学组件部分205、光源220、230、240和具有中央透明部分212的工件工作台210。工件工作台210可沿x轴和y轴可控制地移动,所述x轴和y轴位于大体平行于工件20可被定位的工作台的表面的平面中。

[0029] 光学组件部分205包括摄像头系统260、可互换物镜250、可变焦距(VFL)透镜270(例如,各种示例性实施方式中的TAG透镜),以及聚焦状态参考子系统286,如以下在此所详细公开的。在各种实施方式中,光学组件部分205还可包括具有透镜226和228的旋转台透镜组件223。作为旋转台透镜组件的替代,在各种实施方式中,可以包括固定或手动可互换的改变放大率的透镜或变焦透镜结构等。在各种实施方式中,可互换物镜250可以从作为可变放大率透镜部分的一部分被包括的一组固定放大物镜(例如,对应于诸如0.5x、1x、2x或2.5x、5x、10x、20x或25x、50x、100x等的放大率的一组物镜)中选择。

[0030] 光学组件部分205可以通过使用可控马达294可控地沿z轴移动,z轴与x轴和y轴大体正交,可控马达294驱动致动器以沿z轴移动光学组件部分205,以改变工件20的图像的聚焦。可控马达294经由信号线296连接至输入/输出接口130。如下面将更详细描述,为了在

较小范围上改变图像的聚焦,或者作为移动光学组件部分205的替代方案,可以经由信号线234'通过透镜控制接口134控制VFL (TAG) 透镜270,以周期性地调节VFL透镜270的光功率,并且因此调节光学组件部分205的有效焦点位置。透镜控制接口134可包括根据在此公开的各种原理的VFL透镜控制器180,如下面更详细描述。工件20可以放置在工件工作台210上。可以控制工件工作台210相对于光学组件部分205移动,使得可互换物镜250的视场在工件20上的位置之间和/或多个工件20之间移动。

[0031] 工作台光源220、同轴光源230和表面光源240 (例如,环形光) 中的一个或多个可以分别发射源光222、232和/或242,以照射一个或多个工件20。例如,在图像曝光期间,同轴光源230可以沿着包括分束器290 (例如,部分镜 (partial mirror)) 的路径发射源光232。源光232被反射或透射作为工件光255,并且用于成像的工件光通过可互换物镜250、旋转台透镜组件223和VFL透镜270,并由摄像头系统260收集。包括工件 (一个或多个) 20的图像的工件图像曝光由摄像头系统260捕获,并且在信号线262上输出到控制系统部分120。

[0032] 在所实施实施方式中,分束器290可以传输一些源光232以被镜子291反射,以照射包括在聚焦状态参考子系统286中的参考对象,如下面更详细地描述的。在这样的实施方式中,参考对象光289可以返回到镜子291和分束器290,并被反射以沿着成像光学路径的至少一部分继续,以在参考对象图像曝光期间通过VFL透镜270并到达摄像头系统260,以在对应的摄像头图像中提供参考对象图像,如下面更详细描述。然而,在其它实施方式中,聚焦状态参考子系统286可以包括被单独控制的照明源 (例如,如下文参考图3所述)。

[0033] 各种光源 (例如,光源220、230、240) 可以通过相关联的信号线 (例如,分别是总线221、231、241) 连接至控制系统部分120的照明控制接口133。在各种实施方式中,这可以包括如下文所述的聚焦状态参考子系统286的光源。控制系统部分120可以通过信号线或总线223' 控制旋转台透镜组件223沿轴线224旋转,以选择旋转台透镜来改变图像放大率。

[0034] 如图2所示,在各种示例性实施方式中,控制系统部分120包括控制器125、输入/输出接口130、存储器140、工件程序生成器和执行器170以及电源部分190。这些部件的每一个,以及下述的其它部件,可以通过一个或多个数据/控制总线和/或应用编程接口,或通过各个元件之间的直接连接部来互连。输入/输出接口130包括成像控制接口131、运动控制接口132、照明控制接口133和透镜控制接口134。透镜控制接口134可以包括或被连接至VFL透镜控制器180,其包括用于控制与由VFL透镜270提供的周期性焦点位置调节同步的各种图像曝光的电路和/或例程,并且包括根据在此公开的原理的聚焦状态参考子系统电路/例程183,如在下文中参考图3所示的类似或相同元件380和383更详细描述。在一些实施方式中,透镜控制接口134和VFL透镜控制器180可以合并和/或不可区分。

[0035] 照明控制接口133可以包括照明控制元件133a-133n,其例如控制机器视觉检查系统100的各种相应光源的选择、功率、通/断开关和选通脉冲定时 (如果适用)。在一些实施例中,如图3所示的曝光 (选通) 时间控制器333es可以向一个或多个照明控制元件133a-133n提供选通定时信号,使得它们提供与VFL透镜焦点位置调节的期望相位时间同步的图像曝光选通定时,并且如下面更详细地描述的。在一些实施方式中,曝光 (选通) 时间控制器333es和一个或多个照明控制元件133a-133n可以被合并和/或不可区分。

[0036] 存储器140可以包括图像文件存储器部分141、边缘检测存储器部分140ed、工件程序存储器部分142 (其可以包括一个或多个零件程序等),以及视频工具部分143。视频工具

部分143包括视频工具部分143a和其他视频工具部分(例如,143n),它们确定用于每个相应视频工具的GUI、图像处理操作等;还包括感兴趣区域(ROI)发生器143roi,其支持自动、半自动和/或手动操作,所述操作定义可在视频工具部分143中包括的各种视频工具中操作的各种ROI。在一些先前并入的参考文献以及美国专利No.7,627,162(其通过引用被整体合并于此)中,更详细地描述了用于定位边缘特征和执行其他工件特征检查操作的这种视频工具的操作的示例。

[0037] 视频工具部分143还包括自动聚焦视频工具143af,其确定用于焦点高度测量操作的GUI、图像处理操作等。在各种实施方式中,自动聚焦视频工具143af可以另外地包括高速焦点高度工具,其可以用于使用图3所示的硬件以高速测量焦点高度,如美国专利No.9,143,674更详细所述,其通过引用被整体合并于此。在各种实施方式中,高速焦点高度工具可以是自动聚焦视频工具143af的特别模式,其可以另外根据用于自动聚焦视频工具的常规方法操作,或者自动聚焦视频工具143af的操作可以仅包括高速焦点高度工具的那些。对于图像区域或感兴趣区域的高速自动聚焦和/或焦点位置确定可以基于分析图像,来根据已知的方法确定各区域的对应的定量对比度度量(metric)。例如,这样的方法在美国专利No.8,111,905;No.7,570,795;和No.7,030,351中被描述,其通过引用被整体合并于此。

[0038] 在本公开的背景下,并且如本领域技术人员所知,术语“视频工具”通常是指机器视觉用户可以通过相对简单的用户界面实现的相对复杂的自动或编程操作组。例如,视频工具可以包括复杂的预编程的图像处理操作和计算的组,所述图像处理操作和计算通过调整管理操作和计算的一些变量或参数在特定实例中被应用和定制。除了底层操作和计算之外,视频工具还包括允许用户调整视频工具的特定实例的那些参数的用户界面。应当注意,可见用户界面特征有时被称为视频工具,其中隐含地包括底层操作。

[0039] 一个或多个显示设备136(例如,图1的显示器16)和一个或多个输入设备138(例如,图1的操纵杆22、键盘24和鼠标26)可以连接到输入/输出接口130。显示设备136和输入设备138可以用于显示用户界面,该用户界面可以包括可用于执行检查操作和/或创建和/或修改零件程序的各种图形用户界面(GUI)特征,以查看由摄像头系统260捕获的图像,和/或直接控制视觉部件部分200。

[0040] 在各种示例性实施方式中,当用户利用机器视觉检查系统100创建用于工件20的零件程序时,用户通过在学习模式下操作机器视觉检查系统100生成零件程序指令,以提供期望的图像获取训练序列。例如,训练序列可以包括将代表性工件的特定工件特征部定位在视场(FOV)中,设置光水平,聚焦或自动聚焦,获取图像,以及提供应用于图像的检查训练序列(例如,在该工件特征部上使用其中一个视频工具的实例)。学习模式操作使得捕获或记录序列(一个或多个)并将其转换成相应的零件程序指令。执行该零件程序时,这些指令将使机器视觉检查系统重现经过训练的图像获取并使检查操作自动检查在运行模式工件(一个或多个)上的特定工件特征部(即,相应位置中的相应特征部),其与创建该零件程序时使用的代表性工件相匹配。在一些实施方式中,这种技术可以用于创建用于分析参考对象图像的零件程序指令,以提供如下文更详细所述的功能和操作。

[0041] 图3是VFL透镜系统300(其也被称为成像系统300)的示意图,其包括VFL透镜370(例如,TAG透镜)和根据在此公开的原理配置的聚焦状态参考子系统386。VFL透镜系统300可以适应于机器视觉系统,或被配置为独立系统,并且可以根据在此公开的原理操作。应当

理解,图3的一些编号的部件3XX可以对应于和/或提供与图2的类似编号的部件2XX类似的操作或功能,并且除非另有说明,否则可以类似地理解。如下面将更详细描述,成像光路OPATH包括沿着将工件成像光355从工件320传输到摄像头360的路径布置的各种光学部件。成像光一般沿着它们的光轴OA的方向传输。在图3所示的实施方式中,全部的光轴OA被对准。然而,这一实施方式仅是示例性的,而不是限制性的。更一般地,成像光学路径OPATH可以包括镜子和/或其它光学元件,并且可以采用操作以用于根据已知原理使用摄像头(例如,摄像头360)为工件320成像的任意形式。在示出的实施方式中,成像光学路径OPATH包括VFL透镜370(其可以包括在4f成像结构中),并且至少部分地被用于在工件成像曝光期间为工件320的表面成像。如下面将更详细描述,根据在此公开的原理,聚焦状态参考子系统386可以用于沿着成像光路OPATH的至少一部分传输参考对象光以通过VFL透镜370,以形成一个或多个参考对象图像曝光,其可以被分析用于它们的聚焦特性并与相应的与系统聚焦参考状态(例如,校准状态)相关联的被存储特性进行比较,以便能够感测到VFL透镜370的预期光功率的变化或误差和/或VFL透镜系统300的有效焦点位置。

[0042] 如图3所示,VFL透镜系统300包括光源330、物镜350、管透镜351、中继透镜352、VFL(TAG)透镜370、中继透镜356、透镜控制器380、摄像头360、有效焦点位置(Z高度)校准部分373、工件聚焦信号处理部分375(可选)和聚焦状态参考子系统386。在各种实施方式中,各种部件可以通过直接连接部或一个或多个数据/控制总线(例如,系统信号和控制总线395)和/或应用编程接口等互连。

[0043] 在图3所示的实施方式中,光源330可以是“同轴”或其他光源,其被配置为沿着包括分束器390(例如,作为分束器的一部分的部分反射镜)的路径发射源光332(例如,具有选通或连续的照明),通过物镜350到达工件320的表面,其中,物镜350接收聚焦在靠近工件320的有效焦点位置EFP处的工件光355,并且将工件光355输出到管透镜351。管透镜351接收工件光355,并且将其输出至中继透镜352。在其它实施方式中,类似的光源可以以非同轴的方式照射视场;例如,环形光源可以照射视场。在各种实施方式中,物镜350可以是可互换的物镜,并且管透镜351可以作为旋转台透镜组件的一部分被包括(例如,类似于图2的可互换物镜250和旋转台透镜组件223)。在各种实施方式中,在此引用的任何其他透镜可以由单个透镜、复合透镜等形式或与其一起操作。

[0044] 中继透镜352接收工件光355,并将其输出到VFL(TAG)透镜370。VFL(TAG)透镜370接收工件光355并将其输出到中继透镜356。中继透镜356接收工件光355并将其输出到摄像头360。在各种实施方式中,摄像头360在图像曝光期间(例如,在摄像头360的积分时段期间)捕获摄像头图像,其也称为图像曝光时段,并且可以将相应的图像数据提供给控制系统部分。一些摄像头图像可以包括在工件图像曝光期间提供的工件图像(例如,工件320的区域的图像)。在一些实施例中,工件图像曝光可以受到光源330的选通定时的限制或控制,该选通定时落在摄像头360的图像积分时段内。如下面更详细描述,一些摄像头图像可以包括在参考对象图像曝光期间提供的参考对象图像(例如,参考对象388的参考对象图像)。在一些实施例中,参考对象图像曝光可以受到光源330或330_{ro}的选通定时的限制或控制,该选通定时落在摄像头360的图像积分时段内。在各种实施方式中,摄像头360可具有大于1百万像素的像素阵列(例如,130万像素,其具有1280×1024像素阵列,每像素5.3微米)。

[0045] 在图3的示例中,中继透镜352和356以及VFL(TAG)透镜370被标出为包括在4f光学

结构中,同时中继透镜352和管透镜351被标出为包括在开普勒望远镜结构中,并且管透镜351和物镜350被标出为包括在显微镜结构中。所有示出的结构将被理解为仅是示例性的,而不是对本说明书进行限制。在各种实施方式中,所示的4f光学结构允许将VFL (TAG) 透镜370 (例如,其可以是低数值孔径 (NA) 装置) 放置在物镜350的傅里叶平面处。这一结构可以保持工件320处的远心度 (telecentricity), 并且可以最小化尺度变化和图像失真 (例如,包括针对工件320的每个Z高度和/或有效焦点位置EFP提供恒定的放大率)。开普勒望远镜结构 (例如,包括管透镜351和中继透镜352) 可以包括在显微镜结构和4f光学结构之间,并且可以配置成在VFL (TAG) 透镜370的位置处提供期望尺寸的物镜透明孔的投影,以便最小化像差,等等。

[0046] 在各种实施方式中,透镜控制器380可以包括驱动信号发生器部分381、定时时钟381'、工件成像电路/例程382和聚焦状态参考子系统电路/例程383。驱动信号发生器部分381可以操作 (例如,结合定时时钟381') 以经由信号线380'向高速VFL (TAG) 透镜370提供周期性驱动信号。在各种实施方式中,VFL透镜系统 (或成像系统) 300可以包括控制系统 (例如,图2的控制系统部分120), 其可配置为与透镜控制器380一起操作以用于协调操作。

[0047] 在各种实施方式中,透镜控制器380通常可以以与VFL透镜370的期望相位定时同步的方式执行与为工件320或参考对象388成像有关的各种功能,以及控制、监视和调整VFL透镜370的驱动和响应。在各种实施方式中,工件成像电路/例程382执行光学系统的标准工件成像操作,与VFL透镜370的相位定时同步,如本领域中已知的并且如所合并的参考文献所述。如下面将更详细描述,在各种实施方式中,聚焦状态参考子系统电路/例程383可以根据在此公开的原理执行聚焦状态监视和/或稳定化。在各种实施方式中,聚焦状态监视和/或稳定化可以在按需的基础上执行 (例如,响应于用户界面中的用户选择,或者当检测到特定条件时等), 或者可以周期性地 (每秒一次、或每10秒一次,或每小时一次等)。在一些实施方式中,透镜控制器380可以操作为使得,聚焦状态监视所需的参考对象图像曝光与工件图像曝光不重叠,尽管在聚焦状态监视期间确定的对系统的任何调整 (例如,调整VFL透镜370的操作) 将继续在后续的工件成像期间应用和利用。

[0048] 聚焦状态参考子系统电路/例程383包括参考区域聚焦分析器384以及调整和/或报警电路/例程385。在各种实施方式中,参考区域聚焦分析器384可以执行诸如输入参考对象图像 (例如,其包括在摄像头图像中) 以及调用特定视频工具 (例如,已知类型的自动聚焦视频工具,或多区域或多点自动聚焦视频工具等) 或其它聚焦分析例程的功能,以确定用于聚焦状态监视的在参考对象图像中的聚焦状态参考区域 (FSRR) 的一个或多个聚焦特性值 (例如,定量对比度和/或焦点度量) 等。在各种实施方式中,调整和/或报警电路/例程385可以从参考区域聚焦分析器384输入被确定的聚焦特性结果/值,并且可以将该结果/值与用于相应FS参考区域的相应被存储的校准结果/值进行比较,以便确定是否需要进行调整。如下面将更详细描述,在各种实施方式中,调整可以包括 (但不限于) 调整用于驱动VFL透镜370的幅度 (例如,用于调整其光功率范围和所得到的有效焦点位置范围)、相位定时调整 (例如,用于调整用于提供特定有效焦点位置或Z高度的相位定时)、VFL透镜温度调整等。在各种实施方式中,可以通过改变驱动信号发生器部分381、定时时钟381'和/或透镜加热器/冷却器337等的控制信号来实现这样的调整,如下面将更详细描述。在各种实施方式中,聚焦状态参考子系统电路/例程383在一些情况下可以重复执行操作,以迭代地分析和调整

该系统,直到VFL透镜的光功率范围和/或所得到的有效焦点位置范围处于期望的水平(例如,在相对于被存储的校准或参考水平的期望容限内)。

[0049] 由于不希望的温度变化,可出现VFL透镜的操作特性的漂移。如图3所示,在各种实施方式中,成像系统300可以可选地包括与VFL透镜370相关联的透镜加热器/冷却器337。透镜加热器/冷却器337可以被配置为根据一些实施方式和/或操作条件将一定量的热能输入到VFL透镜370中和/或执行冷却功能,以促进VFL透镜370的加热和/或冷却。另外,在各种实施方式中,VFL透镜监视信号可以由与VFL透镜370相关联的温度传感器336提供,以监视VFL透镜370的操作温度。

[0050] 如下面将更详细描述,在聚焦状态监视期间,可以借助使用摄像头360通过参考对象光学器件结构387捕获参考对象388的图像来提供参考对象图像曝光,所述参考对象光学器件结构387和参考对象388都包括在聚焦状态参考子系统386中。在一些实施方式中,来自光源330的一些光332可以通过分束器390且可用于参考对象图像曝光。在其他实施方式中,聚焦状态参考子系统386还可以包括参考对象光源330_{ro},其提供用于参考对象图像曝光的光332_{ro}。参考对象光源330_{ro}可以连接到系统信号和控制总线395并由其上的信号和/或受控功率控制,所述系统信号和控制总线395可以由曝光时间控制器333_{es}等管理,如前所述。在任何情况下,参考对象光自FS参考对象产生,并且在参考对象图像曝光期间,参考对象光学器件结构387沿着成像光学路径OPATH的至少一部分传输参考对象光以通过VFL透镜370并到达摄像头360,以在相应的摄像头图像中提供参考对象图像(例如,将在下面参考图4、5、8和9更详细地描述)。在一些实施方式中,如果期望,聚焦状态参考子系统386可配置为传输来自物镜350和管透镜351的显微镜结构的傅里叶平面的参考对象光。如将在下面参考图5A-5C更详细地描述的,摄像头360可以提供在VFL透镜370的周期性调节的相应相位定时期间曝光的参考对象图像(例如,诸如示例性图像500A-500C),以及成像系统300的所得到的有效焦点位置,以支持聚焦状态监视操作。如下面更详细地解释的,使用特定已知相位定时曝光的参考对象图像(例如,诸如示例性图像500A-500C)中包括的一组FS参考区域的成员的聚焦特性值与在相应的相位定时期间所得到的成像系统300的有效焦点位置以及VFL透镜370的光功率相关。

[0051] 在各种实施方式中,FS参考对象388包括一组聚焦状态(FS)参考区域,其包括对比度图案并且在参考对象图像中具有各自的已知参考区域图像位置,并且相对于参考对象光学器件结构387固定在各自的不同参考区域焦点距离或位置处,如下面参考图4、5、8和9更详细地解释的。结果,包括特定FS参考区域的最佳聚焦图像的摄像头图像定义与该特定FS参考区域相关联的系统聚焦参考状态。这一定义的系统聚焦参考状态包括与该特定FS参考区域相关联的特定VFL光功率或特定有效焦点位置中的至少一个,如下面参考图6和7进一步描述的。在所示的实施方式中,参考对象光学器件结构387包括透镜387a,其将从FS参考对象388产生的参考对象光389朝向分束器390传输。部分反射分束器390沿着成像光路OPATH引导参考对象图像的光389,其通过VFL透镜370并作为光389'出射,其在由摄像头360产生的参考对象图像曝光中形成参考对象的图像,以支持聚焦状态监视。

[0052] 在各种实施方式中,如下面更详细描述的,透镜387a通常被配置为对参考对象光389提供期望的发散或接近准直,该参考对象光389自FS参考对象388产生并且产生参考对象图像。应当理解,在其他实施方式中,可以利用聚焦状态参考子系统386的部件的其他位

置和/或结构。例如,在各种替代实施方式中,参考对象光学器件结构387的透镜387a可以是复合透镜,或者可以使用一组透镜,和/或可以使用一个或多个附加反射器来重塑参考对象光路(例如,0Aref)、和/或可以包括波长滤波器(结合使用光源330ro中的特定波长范围),以根据已知原理将工件图像和参考对象图像彼此隔离,等等。在一个实施方式中,波长滤波器可以被成形和定位为,从摄像头图像的旨在仅接收工件光355的那部分(例如,中心部分)过滤窄带参考对象光389,并且不从摄像头图像的旨在提供参考对象图像的那部分(例如,周边部分)过滤窄带参考对象光389。在一些实施方式中,波长滤波器(例如,二向色滤光器)可以添加到图3所示的一个或多个元件(例如,分束器390)。在一些实施方式中,波长滤波器可以作为单独的元件被添加。在另一结构中,聚焦状态参考子系统386可以与光源330位于分束器390的同一侧,附加反射表面和/或分束器390的相应透射和/或反射特性用于沿着成像光学路径OPATH引导参考对象光389。

[0053] 在各种实施方式中,参考对象图像的光389具有由聚焦状态参考子系统386的参考对象光学器件结构387确定的图案和光束发散。VFL透镜370接收参考对象图像的光389并输出参考对象图像的光389',其图像焦点位置(例如,在摄像头360处)通过与VFL透镜370的操作相关联的周期性光功率变化周期性地改变。应当理解,与摄像头像平面共轭的点,即,参考对象388附近的聚焦平面因此由于与VFL透镜370的操作相关联的周期性光功率变化也周期性地改变或扫描。当参考对象388上的不同的相应聚焦状态(FS)参考区域位于距参考对象光学器件结构387不同的相应距离时,它们将因此在VFL透镜370的周期性光功率变化期间在不同的相应时间获取的相应图像中聚焦。因此,在各种实施方式中,包括这样的参考对象388的聚焦状态参考子系统386可以用于确定VFL透镜系统300在其操作中是否稳定,和/或在VFL透镜370的周期性光功率变化期间的各个时间是否处于期望的(例如,校准的)聚焦状态,和/或直接确定特定图像的有效焦点位置,如下面更详细描述。

[0054] 关于VFL透镜370的一般操作,在如上所述的各种实施方式中,透镜控制器380可以周期性地快速调整或调节其光功率,以实现允许250kHz、或70kHz、或30kHz等周期性调节的高速VFL透镜(即,在VFL透镜的谐振频率处)。如图3所示,通过使用信号的周期性调节来驱动VFL透镜370,成像系统300的有效焦点位置EFP(即,物镜350前方的焦点位置)可以(快速地)在对应于与物镜350组合的VFL透镜370的最大光功率的有效焦点位置EFP1(或EFPmax)以及对应于与物镜350组合的VFL透镜370的最大负光功率的有效焦点位置EFP2(或EFPmin)界定的范围Refp(例如,自动聚焦搜索范围)内移动。在各种实施方式中,EFP1和EFP2可大致对应于90度和270度的相位定时,如下面将更详细描述。出于讨论的目的,范围Refp的中间可以被指定为EFPnom,并且可以对应于与物镜350的标称光功率组合的VFL透镜370的零光功率。根据这一描述,在一些实施方式中,EFPnom可近似对应于物镜350的标称焦距。

[0055] 在一个实施方式中,可选的工件聚焦信号处理部分375(可选的)可以输入来自摄像头360的数据,并且可以提供用于确定被成像的表面区域(例如,工件320的)何时处于图像中的有效焦点位置的数据或信号。例如,可以使用已知的“最大对比度”或“最佳聚焦图像”分析来分析由摄像头360在不同Z高度获取的一组图像(例如,图像堆叠),以确定是否或何时工件320的被成像的表面区域位于图像中的对应的有效焦点位置。然而,更一般地,可以使用任意其它适合的已知图像聚焦检测配置。在任何情况下,工件聚焦信号处理部分375等可以输入在VFL(TAG)透镜370的有效焦点位置的周期性调节(扫描多个有效焦点位置)期

间获取的一个或多个图像,并确定其中目标特征部被最佳聚焦的图像。在一些实施方式中,工件聚焦信号处理部分375可以进一步确定与该最佳聚焦图像对应的已知相位定时,并将该“最佳聚焦”相位定时值输出到有效焦点位置校准部分373。有效焦点位置校准部分373可以提供Z高度(有效焦点位置)校准数据,该校准数据使各个Z高度或有效焦点位置与VFL透镜370的标准成像谐振频率的周期内的各个“最佳聚焦”相位定时相关,其中,校准数据对应于根据标准成像驱动控制配置或参考状态操作VFL透镜370。

[0056] 一般而言,有效焦点位置校准部分373包括被记录的Z高度(或有效焦点位置)校准数据。因此,其在图3中作为单独元件的表示仅旨在是示意性表示,而非限制。在各种实施方式中,相关联的被记录的Z高度校准数据可以与透镜控制器380、工件聚焦信号处理部分375或连接到系统信号和控制总线395的主计算机系统等合并和/或不可区分。

[0057] 在各种实施方式中,曝光(选通)时间控制器333es控制成像系统300的图像曝光时间(例如,相对于周期性调节的有效焦点位置的相位定时)。具体地,在一些实施方式中,在图像曝光期间,曝光(选通)时间控制器333es(例如,使用在有效焦点位置校准部分373中可用的Z高度校准数据)可以控制光源330(和/或330ro)在相应的受控时间选通。例如,曝光(选通)时间控制器333es可以控制选通光源在VFL透镜370的标准成像谐振频率的周期内在相应相位定时处选通,以便在VFL透镜370的扫描(周期性调节)范围内获取具有特定有效焦点位置的图像。在其他实施方式中,曝光时间控制器333es可以控制摄像头360的快速电子摄像头快门,以在相应的受控时间和/或其相关联的有效焦点位置获取图像。在一些实施方式中,曝光(选通)时间控制器333es可与摄像头360合并或不可区分。应当理解,在各种实施方式中,可以实施曝光时间控制器333es和上面概述的其他特征和元件的操作,以管理工件图像获取、参考对象图像获取,或这两者。如将在下面参考图5A-5C和图9A-9C在一些特定示例实施方式中更详细地描述的,当VFL透镜系统300以稳定的方式在被校准或参考状态下操作时,由此可以控制参考对象图像曝光以对应于与参考对象的结构相关的指定相位定时(例如,期望提供参考对象388的特定FS区域的最佳聚焦图像的特定相位定时)。

[0058] 图4包括两个相关的图示。参考对象488的第一实施例在图400A中以平面视图示出。图400B是侧视图,其中,参考对象488被示出为以倾斜角 TA 倾斜,该参考对象根据在此公开的原理在聚焦状态参考子系统486的第一实施方式中使用参考对象光学器件结构487被成像。聚焦状态参考子系统486可以被操作为或替代参考图3描述的聚焦状态参考子系统386,并且其操作可以部分地基于先前的描述来理解。

[0059] 如图400A所示,参考对象488具有平的“图案表面”,其包括沿着其外周的至少一部分布置的对比度图案CP。通常期望的是,对比度图案CP包括以高空间频率布置的高对比度边缘,并且允许在参考对象图像(例如,如由摄像头360提供)中确定用于相对小的图像区域(例如,在各种实施方式中,小至 9×9 ,或 5×5 像素,或更小)的定量对比度或焦点度量。如图4所示,对比度图案CP的各种聚焦状态参考区域(FSRR)沿着周边布置(例如,参见代表区域FSRR-10、FSRR-50和FSRR-90),使得当参考对象488以倾斜角 TA 倾斜时,它们沿着光轴 O_{Aref} 处于不同焦点位置。应当理解,对比度图案CP可以可选地包括在区域 RR_{opt} 中,该区域可以自始至终提供具有相同焦点位置的大FSRR,并且可以提供特别高质量的“焦点曲线”(即,对比度或焦点度量相对于成像焦点位置的曲线),用于确定最佳聚焦位置和/或与最佳聚焦位置相比的偏差,如被并入的参考文献中公开的。

[0060] 这里提到的FSRR'可以被认为是参考对象488上的在参考对象图像中的参考区域图像位置处包括对比度图案CP的任何区域,如可以通过设计或校准所知。相应的FSRR固定在相对于参考对象光学器件结构487的不同的相应参考区域焦点距离或参考焦点位置RFP处。因此,根据先前概述的原理和说明,包括特定FS参考区域的最佳聚焦图像的摄像头图像定义与该特定FS参考区域相关联的系统聚焦参考状态,并且所定义的系统聚焦参考状态包括与该特定FS参考区域相关联的特定VFL光功率或特定有效焦点位置中的至少一个。

[0061] 在图4所示的示例中,对比度图案CP可以被理解为在连续分布的一组相邻参考区域FSRR(和FSRR') (其可以使用各自的指数“i”被各个指定为FSRR-i、FSRR-i')中贯穿分布。可以将参考区域定义为所需的小,只要可以为它们确定有意义的对比度或焦点度量,以便可以确定它们何时在“最佳聚焦”位置成像。在图4所示的实施方式中,三个聚焦状态参考区域FSRR-10、FSRR-50和FSRR-90将被理解为代表所述组FSRR(或FSRR')中的更多单个的FSRR。如图400B所示,当参考对象488以倾斜角TA操作地布置时,FSRR-10、FSRR-50和FSRR-90(以及FSRR-10'、FSRR-50'、FSRR-90')分别在不同的参考焦点位置RFP-10、RFP-50和RFP-90处相对于参考对象光学器件结构487布置。应当理解,其他相应的FSRR-i在参考对象焦点位置范围Rro内具有其他相应的参考焦点位置RFP-i。

[0062] 在聚焦状态参考子系统486中,不同的相应FSRR包括定位为距参考对象光学器件结构487比Fref更远的至少一个相应参考区域焦点距离,以及定位为距参考对象光学器件结构487比Fref更近的至少一个相应参考区域焦点距离。在一示例性实施方式中,Fref可以是至少30毫米、或至少40毫米,或更多。在一示例性实施例中,Fref可以是36毫米,并且倾斜角TA可以是大约25-40度(例如,37度),以提供期望的参考对象聚焦范围Rro。参考对象488的尺寸可以分别沿轴线Yro和Xro约为 2.0×1.0 毫米。在此公开的任何参考对象可以包含具有任何成像图案表面的一定程度的漫射或散射表面,以允许更稳健的成像,减少的对准要求,以及减少的不想要的反射。这样的聚焦状态参考子系统486可以并入到示例性VFL透镜系统中,例如参考图1-3描述的那些,并且成像到 1280×1024 像素摄像头(例如,摄像头360)的外围,以提供可根据在此公开的原理使用的参考对象图像。

[0063] 当聚焦状态参考子系统486用在诸如先前参考图3概述的系统中时(例如,代替聚焦状态参考子系统386),参考对象光学器件结构487可以包括透镜,该透镜将自FS参考对象488产生的参考对象光389朝向分束器390传输。部分反射分束器390沿着成像光路OPATH引导参考对象图像的光389,其通过VFL透镜370并作为光389'出射,该光389'在由摄像头360产生的参考对象图像曝光中形成参考对象488的图像,以支持聚焦状态监视,如下文参考图5、6和7更详细所述。

[0064] 图5A、5B和5C是表示三个摄像头图像的图,这三个摄像头图像包括图4的参考对象488在三种不同聚焦状态的图像。特别地,图5A表示聚焦在参考焦点位置RFP-10处的参考对象图像ROI-Ph-10,其中FSRR-10是最佳聚焦的;图5B表示聚焦在参考焦点位置RFP-50处的参考对象图像ROI-Ph-50,其中FSRR-50是最佳聚焦的;图5C表示聚焦在参考焦点位置RFP-90处的参考对象图像ROI-Ph-90,其中FSRR-90是最佳聚焦的。参考焦点位置RFP-10、RFP-50、RFP-90如图4所示。

[0065] 在图5A、5B和5C中通过不同的交叉影线图案示意性地表示不同程度的图像聚焦或模糊。如图所示,代表性FSRR-10(FSRR-10')具有图像位置参考区域图像位置(RRIL)RRIL-

10 (RRIL-10'), FSRR-50 (FSRR-50') 具有图像位置参考区域图像位置RRIL-50 (RRIL-50'), 依此类推。

[0066] 如前所述, 图像焦点所处位置或位置 (例如, 在摄像头360处) 通过与VFL透镜370的操作相关联的周期性光功率变化而被周期性地改变。应当理解, 与摄像头像平面共轭的点, 即, 参考对象488附近的参考焦点位置RFP, 因此由于与VFL透镜370的操作相关联的周期性光功率变化也周期性地改变或扫描。当不同的相应FSRR位于不同的相应参考焦点位置RFP时, 它们将因此最佳地聚焦在与VFL透镜370的周期性光功率变化的相位或周期相关的不同相应时间 (指定相位时间) 获得的相应图像中。

[0067] 因此, 图5A中的参考对象图像ROI-Ph-10通过在指定为Ph-10 (根据在此使用的惯例) 的相位定时的图像曝光 (例如, 选通定时) 获得, 其提供摄像头图像, 其中RRIL-10处的FSRR-10最佳聚焦于参考焦点位置RFP-10。在该图像中, 由于参考对象488的倾斜角TA (如图4所示), FSRR的聚焦作为远离FSRR-10和RRIL-10的距离的函数逐渐裂化, 并且在RRIL-90处的FSRR-90附近最差, 其位于参考对象488的远端, 并因此离图像焦点位置最远。根据已知方法, 可以基于确定对于该特定FSRR的对比度或焦点度量来确定任何FSRR在图像中的聚焦或模糊程度。可以通过类似于先前的描述来理解图5B和5C。

[0068] 简言之, 通过在相位定时Ph-50处的图像曝光获得图5B中的参考对象图像ROI-Ph-50, 其提供RRIL-50处的FSRR-50最佳地聚焦在参考焦点位置RFP-50处的摄像头图像。在该特定示例中, RFP-50 (图4中示出) 是标称焦点位置RFP-nom的示例, 其被指定为VFL光功率为零的标称焦点位置。因此, RFP-nom (例如, RFP-50) 可以在焦点范围Rro的中间, 并且可以对应于参考对象光学器件结构487 (例如, 其中包括的透镜) 的标称焦距Fref。由于RFP-50沿着参考对象488和焦点位置范围Rro居中定位, FSRR的聚焦在远离FSRR-50和RRIL-50的每个方向上逐渐裂化, 并且在参考对象488的端部处最差。简言之, 通过在相位定时Ph-90处的图像曝光获得图5C中的参考对象图像ROI-Ph-90, 其提供RRIL-90处的FSRR-90最佳地聚焦在参考焦点位置RFP-90处的摄像头图像。FSRR的聚焦在远离FSRR-90和RRIL-90的方向上逐渐裂化, 并且在参考对象488的远端处的RRIL-10处的FSRR-10附近最差。

[0069] 应当理解, 沿着参考对象488的周边分布FSRR允许它们被成像为使得, 它们在参考对象图像中的相应已知RRIL沿着摄像头图像的一个或多个边缘定位, 而不是在摄像头图像的中心区域定位。在一些这样的实施方式中, VFL透镜系统300可以被配置为使得, 工件图像位于摄像头图像的中心区域。在一些这样的实施方式中, 工件图像和参考对象图像可以在同一摄像头图像中同时曝光, 而不使用分开的定时或特殊波长滤波, 来防止参考对象图像破坏工件图像, 反之亦然。虽然这种结构特别有利, 但它不是限制性的。更一般地, VFL透镜系统可以被配置为使得, 工件图像位于摄像头图像的任何第一预确定区域中, 并且该组FSRR的相应已知RRIL位于摄像头图像的不同于第一预确定区域的任何第二预确定区域中, 或者工件图像和参考对象图像可以在不同时间曝光, 并且仍然可以提供根据本公开的聚焦状态参考子系统的显著优点。

[0070] 应当理解, 对于参考对象488, 其中FSRR贯穿焦点位置范围Rro连续地分布, 如果需要, 任何特定的摄像头图像可以包括最佳聚焦的FSRR-i。如前所述, VFL透镜系统300可以包括参考区域聚焦分析器384, 其配置为识别特定FSRR在摄像头图像中的最佳聚焦图像。在这种情况下, 参考区域聚焦分析器384可以分析摄像头图像中的所有FSRR, 并确定具有最佳对

比度或焦点度量的FSRR-i。重要的是,无论VFL透镜系统是否偏离其标称或期望的操作状态,最佳聚焦的FSRR-i直接表明VFL透镜系统的聚焦状态及其对于该摄像头图像的有效焦点位置EFP。当摄像头图像还包括聚焦的工件图像时,该EFP提供准确的工件Z高度测量,而不管VFL透镜系统是否偏离其标称或期望的操作状态,如下面参考图6更详细地描述的。

[0071] 图6是表示对于包括上述聚焦状态参考子系统486等的VFL成像系统、当在诸如图5所示的各种图像中成像时、与图4所示的参考对象488的各种“最佳聚焦”的聚焦状态参考区域(FSRR)相关联的各种聚焦状态特征或参数之间的关系的图表600。水平轴包括指定在任何特定图像中最佳聚焦的各FSRR和/或RRIL的位置。应当理解,三个明确指定的聚焦状态参考区域FSRR-10、FSRR-50和FSRR-90(和/或它们相应的RRIL)代表FSRR组中的更多单个的FSRR,其可以沿着水平轴表示。

[0072] 参考对象校准曲线ROCC表明每个FSRR(或其对应的RRIL)与图表600右侧的竖轴上所示的对应的参考焦点位置RFP(在那里,其是最佳聚焦的(例如,如由参考区域聚焦分析器384确定的焦点度量和/或聚焦曲线所表明))之间的校准或已知关系。因为参考对象488包括沿着倾斜平面连续分布的一组相邻的参考区域FSRR,如图4所示,参考对象校准曲线ROCC名义上是直线,如图所示。实际上,参考对象校准曲线ROCC由于各种设计因素和/或缺陷可以偏离直线,并且可以通过分析或实验来建立,其对应于任何特定的参考对象488、参考对象光学器件结构487和VFL透镜系统300。

[0073] 关于图表600中的三个竖轴之间的关系,每个竖轴上的对应的点不需要线性相关。例如,VFL透镜的光功率(OP)和它的焦距大体负相关,并且因此光功率轴线可以具有与参考焦点位置轴线和有效焦点位置轴线的非线性关系。任何特定VFL透镜系统中的缺陷也可导致各竖轴之间的非线性或失真。然而,对于有效焦点位置和参考焦点位置二者,VFL透镜作为光路OPATH中的“共模(common mode)”因子被包括在内,并且所有光学部件以其他方式以彼此固定且稳定的关系安装。因此,可以认为图表600中的三个竖轴具有彼此固定和稳定的关系。将理解,在一图像曝光期间在物镜(例如透镜350)前方的有效焦点位置EFP对应于该图像曝光期间的VFL透镜的光功率。类似地,在一图像曝光期间参考对象光学器件结构(例如,结构487)的参考焦点位置RFP对应于该图像曝光期间的VFL透镜的光功率。

[0074] 对于由VFL透镜(例如,VFL透镜370)提供的光功率的任何单个状态,轴线之间的关系可以通过分析或实验来确定,并且此后可以在各个实施方式中被假定为是稳定的(至少在短期内)。基于前面的描述,将理解的是,根据图表600,摄像头图像中的最佳聚焦的FSRR-i可以直接表明在该摄像头图像期间VFL透镜系统的聚焦状态,该聚焦状态包括VFL透镜370的光功率的状态和VFL透镜系统300的有效焦点位置EFP。当该摄像头图像还包括聚焦的工件图像时,该EFP提供准确的工件Z高度测量,而不管VFL透镜系统是否偏离其标称或期望的操作状态。

[0075] 图7是表示与包括根据在此公开的原理的聚焦状态参考子系统的VFL成像系统的周期性调节的聚焦状态相关联的各种聚焦状态特征或参数之间的关系的图表700。水平轴包括标出可用于获得特定图像的各种相位定时的位置。应理解,明确标出的相位定时代表相对于VFL透镜370的周期性调节的其他相位定时,其可以沿水平轴表示。三个竖轴与图6所示的那些相同,并且彼此具有固定的关系,如前所述。

[0076] “参考水平”调节曲线ModRS表示VFL透镜系统以期望或校准的“参考状态”操作的

期望或参考状态,其中,VFL透镜370的光功率具有“参考水平”调节幅度RangeRS。在对应于参考水平调节曲线ModRS的参考状态中,特定的相位定时与特定的参考焦点位置RFP相关。例如,相位定时PhRS50-1和PhRS50-2在曲线ModRS上的相应点P0和P4处与RFP-50相关。FSRR-50应该在这些图像中被最佳地聚焦。类似地,相位定时PhRS90-1和PhRS90-2在曲线ModRS上的相应点P2和P3处与RFP-90相关。FSRR-90应该在这些图像中被最佳地聚焦,等等。因为竖轴处于固定关系,这意味着用于捕获特定的工件图像的特定相位定时也表明该工件图像的有效焦点位置,只要VFL透镜系统300在对应于参考水平调节曲线ModRS的参考状态下操作。

[0077] 在一些实施方式中,并非如上面参考图4、5和6所概述的通过分析图像中的所有FSRR并确定最佳聚焦的FSRR-i来表明有效焦点位置EFP,可有利的是,保持对应于参考水平调节曲线ModRS的参考状态,并且简单地基于用于获取图像的相位定时表明有效焦点位置EFP。可以基于在对应的已知RRIL处包括最佳聚焦FSRR的有限数量的参考对象图像来保持参考状态。例如,自参考状态的漂移通常可以是由于VFL透镜370的谐振特性的漂移(例如, TAG透镜的谐振幅度或频率,等)。例如,如果谐振幅度降低到对应于调节曲线ModErr的水平,则相位定时PhRS90-1和PhRS90-2将不再对应于RFP-90。而是,它们将分别对应于 $[(RFP-90) - (\Delta FP90-1)]$ 和 $[(RFP-90) - (\Delta FP90-2)]$ 。类似地,相位定时PhRS10-1和PhRS10-2将不再对应于RFP-10。而是,它们将分别对应于 $[(RFP-10) - (\Delta FP10-1)]$ 和 $[(RFP-10) - (\Delta FP10-2)]$,依此类推。从前面的讨论可以理解,无论何时需要,可以操作参考区域聚焦分析器384,以分析包括具有对应的已知和稳定FRP的不同FSRR的有限数量的图像,并确定在特定相位定时处获得的参考对象图像是否偏离参考状态。然后,可以操作透镜控制器380的调整和/或报警电路/例程385,以调整VFL透镜370的驱动信号幅度(和/或频率),以重新建立参考状态。

[0078] 替代地,并非保持参考状态,而可以是确定在参考状态的已知(例如,存储或校准的)聚焦参数与当前操作状态的聚焦参数之间的关系或变换。例如,可以理解,可以在接近PhRS90-1(或PhRS90-2)的各个相位定时处获取FSRR-90的参考对象图像,直到变化有 $\Delta Ph90-1$ (或 $\Delta Ph90-2$)的相位定时在RFP-90处产生FSRR-90的最佳聚焦图像。如果需要,可以相对于其他FSRR执行类似的操作。应当理解,然后可以变换参考水平调节曲线ModRS(其可以被预先表征和存储)以配合对应于 $\Delta Ph90-1$ (和/或 $\Delta Ph90-2$)的被确定值等的结果。此后,可以使用该变换来确定图表700所示的水平轴和竖轴之间的当前关系(例如,以表征调节曲线ModErr),然后可以使用其基于它们的相位定时等建立用于各种图像的有效焦点位置EFP。

[0079] 根据上面的描述,与参考对象488相比,在有限数量的参考焦点位置处包括有限数量的FSRR的参考对象可用于提供许多益处,例如保持参考聚焦状态,或确定与参考聚焦状态的偏差。下文描述一种这样的参考对象。

[0080] 图8包括两个相关的图示,类似于图4所示的那些,并且包括类似的附图标记指定。图8和图4中类似编号(例如,8XX和4XX)或命名的元件可以提供类似的功能,并且可以类推地理解,除非下文另有说明。

[0081] 参考对象888的第二实施例在图800A中以平面视图示出。图800B是侧视图,其中,参考对象888被示出为在根据在此公开的原理的聚焦状态参考子系统886的第二实施方式

中使用参考对象光学器件结构887成像。聚焦状态参考子系统886可以被操作为或替代参考图3描述的聚焦状态参考子系统386,并且其操作可以部分地基于先前的描述来理解。

[0082] 如图800A和800B所示,参考对象888具有三个平的“图案表面”,层0、层2和层1,它们在它们的周边处包括布置在各种聚焦状态参考区域(FSRR)中的对比度图案CP。层0、层2和层1在参考对象聚焦范围Rro内沿着光轴0Aref处于不同的焦点位置(并限定参考对象聚焦范围Rro)。应当理解,FSRR可以可选地包括在更多或更少的区域中,或者如果需要可以具有不同的尺寸。应当理解,同一层上的FSRR名义上对应于相同的RFP(例如,FSRR-21和FSRR-22都位于RFP-20处,依此类推),因此在某种程度上是冗余的。然而,在一些实施例中,这种冗余可以帮助克服各种对准或组装错误,或提供其他益处。应当理解,在其他实施方式中,如果需要,可以使用两层或多于三层。

[0083] 类似于聚焦状态参考子系统486,在聚焦状态参考子系统886中,参考对象光学器件结构887可以沿其光轴具有焦距Fref(例如,包括在其中的透镜的焦距),并且不同的相应FSRR包括定位为距参考对象光学器件结构887比Fref更远的至少一个相应参考区域焦点距离,以及定位为距参考对象光学器件结构887比Fref更近的至少一个相应参考区域焦点距离。在一示例性实施方式中,Fref可以是至少30毫米、或至少40毫米,或更多。在一个示例性实施方式中,Fref可以是36毫米,并且层之间的厚度可以是大约0.32毫米,并且参考对象888的尺寸可以分别沿着轴Xro和Yro大约是 1.0×1.25 毫米。这样的聚焦状态参考子系统886可以并入到示例性VFL透镜系统中,例如参考图1-3描述的那些,并且成像到 1280×1024 像素摄像头(例如,摄像头360)的外围,以提供可根据在此公开的原理使用的参考对象图像。

[0084] 图9A、9B和9C是表示三个摄像头图像的图,这三个摄像头图像包括图8的参考对象888在三种不同聚焦状态的图像。特别地,图9A表示聚焦在参考焦点位置RFP-10的参考对象图像ROI-Ph-10,其中,层1上的FSRR-11、-11'、-12和-12'是最佳聚焦的;图9B表示聚焦在参考焦点位置RFP-00的参考对象图像ROI-Ph-00,其中,层0上的FSRR-01、-01'、-02、-02'、-03和-03'是最佳聚焦的;并且,图9C表示聚焦在参考焦点位置RFP-20的参考对象图像ROI-Ph-20,其中,层2上的FSRR-21、-21'、-22和-22'是最佳聚焦的。参考焦点位置RFP-10、RFP-00、RFP-20如图8所示。

[0085] 应当理解,图8和9所示的对比度图案CP(一个或多个)仅是示例性的而非限制性的。例如,各个层上的对比度图案可以沿着方向Yro更长(例如,如图4所示),但是沿着方向Xro彼此偏移,使得它们不会干涉并且可以在摄像头图像中分开。基于前述公开内容,对比度图案CP的其他可行形式将显现。

[0086] 应当理解,上文参考图8和9描述的聚焦状态参考子系统886的有限数量的FSRR和相应的已知参考焦点位置RFP可用于提供许多益处,例如保持参考聚焦状态,或者确定与参考聚焦状态的偏差,如前面参考图7所述。

[0087] 在上面概述的各种实施方式中,由摄像头360获取作为用于监视或确定VFL系统的聚焦状态的基础的图像数据,并且在一些情况下,可以在成像系统300的用户界面中显示(例如,参见图2、显示设备136),或者替代地,可以不由成像系统300输出(例如,主要在内部用于确定有效焦点距离和/或进行调整等)。

[0088] 在一些实施方式中,根据上面概述的原理配置的聚焦状态参考子系统可作为与可变焦距(VFL)透镜系统一起使用的“附件”被提供,其包括具有附件光学端口的VFL透镜系统

框架或外壳。在这样的实施方式中,除了上面概述的元件之外,聚焦状态参考子系统可以包括参考子系统框架或外壳,其包括被配置为固定地安装到VFL透镜系统300上的附件光学端口的参考子系统光学端口。在这种实施方式中,参考对象光学器件结构被配置为使得,当参考子系统光学端口固定地安装到VFL透镜系统上的附件光学端口时,参考对象光学器件结构被布置成在参考对象图像曝光期间输入自FS参考对象产生的参考对象光,并且沿着成像光学路径的至少一部分传输参考对象光,在参考对象图像曝光期间通过VFL透镜并到达摄像头,以在对应的摄像头图像中提供参考对象图像,以供使用,如先前概述和如下面更详细描述。

[0089] 在参考倾斜的参考对象488描述的実施方式的变型中,参考对象可以更一般地包括至少一个弯曲的图案表面,其至少一部分不垂直于参考对象光学器件结构的光轴。所述至少一个弯曲的图案表面的不同部分相对于参考对象光学器件结构固定在不同的相应焦点距离处,并且所述组FSRR布置在所述至少一个弯曲的图案表面的不同部分上。

[0090] 在一些实施方式中,上文概述的特征和原理可用于建立用于VFL透镜系统的校准状态。校准状态可以包括FSRR组中的至少一个成员,其在参考对象图像中呈现特定的校准聚焦特性值,所述参考对象区域使用对应的特定已知相位定时曝光。参考区域聚焦分析器384可以被配置为确定使用对应的特定已知相位定时曝光的参考对象图像中的FSRR组的成员的聚焦特性值。在一些实施方式中,VFL透镜控制器380可以被配置为自动或半自动地操作参考区域聚焦分析器384以调整VFL透镜370的驱动信号,从而,使用对应的特定已知相位定时曝光的至少一个参考对象图像中的FSRR组中的至少一个成员的被确定聚焦特性值匹配在该对应的特定已知相位定时处的FSRR组中的该至少一个成员的特定校准聚焦特性值。在一些实施方式中,VFL透镜系统可以被配置为自动或半自动地操作参考区域聚焦分析器384,并且在使用对应的特定已知相位定时曝光的至少一个参考对象图像中的FSRR组中的至少一个成员的被确定聚焦特性值不匹配在该对应的特定已知相位定时处的FSRR组中的该至少一个成员的特定校准聚焦特性值时,提供报警指示。

[0091] 在包括如上概述的校准状态的一些实施方式中,FSRR组的成员的被确定聚焦特性值可以包括基于与该FSRR组的该成员的已知RRIL对应的参考对象图像数据的定量对比度度量的值。在一些这样的实施方式中,参考区域聚焦分析器384可以包括由远程计算机中的软件例程实现的一组操作,其中,远程计算机被配置为从VFL系统接收参考对象图像数据并执行该组操作,以基于与该组FSRR的该成员的已知RRIL对应的参考对象图像数据确定定量对比度度量的值。

[0092] 尽管已经示出和描述了本公开的优选实施方式,但是所示出和描述的特征的布置和操作的顺序的多种变形基于这一公开对于本领域技术人员将是明显的。各种替代形式可以被用于实施在此公开的原理。例如,在各种实施方式中可以使用与参考图8和图9所述类似的多层参考对象,但仅包括两个层。另外,上述各个实施方式可以组合以提供进一步的实施方式。例如,可以使用可调整的倾斜机构来实施倾斜的参考对象,使得可以调整由倾斜的参考对象覆盖的参考对象焦点位置范围 R_{ro} 以对应于特定的物镜,或者增加与各种聚焦状态参考区域位置相关联的分辨率或焦点距离选择性,等等。作为另一示例,多层参考对象可以倾斜,以提供与多层参考对象和倾斜参考对象的每一个相关联的益处的结合。在本说明书中参考的全部美国专利和美国专利申请以其通过引用被整体合并于此。如果必须使用各

个专利和申请的构思,可以改变实施方式的方面以提供进一步的实施方式。

[0093] 根据以上详细描述,可以对实施方式进行这些和其他改变。总体上,在随附的权利要求书中,所使用的术语不应被理解为将权利要求限制到说明书和权利要求书中公开的特定实施方式,而应理解为包括符合这些权利要求被赋权的等同例的全部范围的所有可行实施方式。

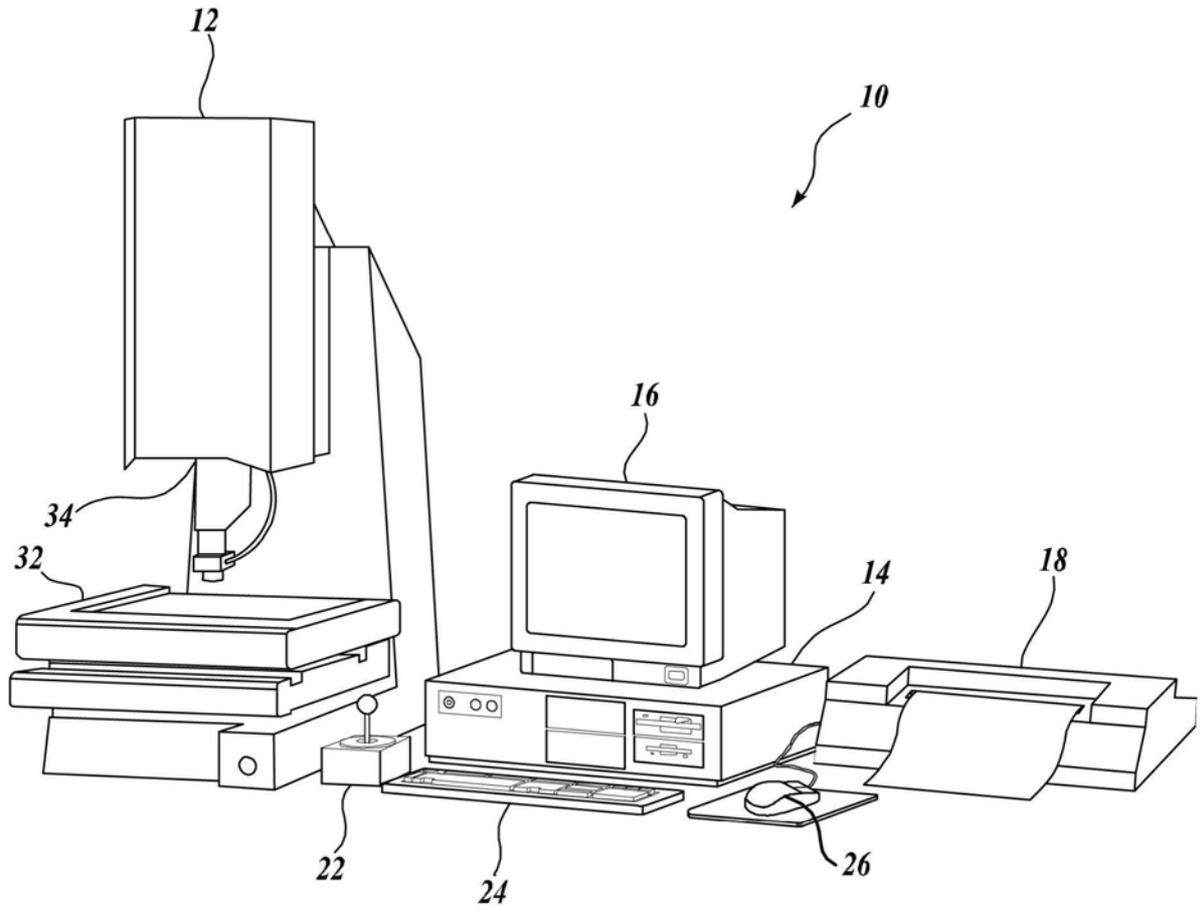


图1

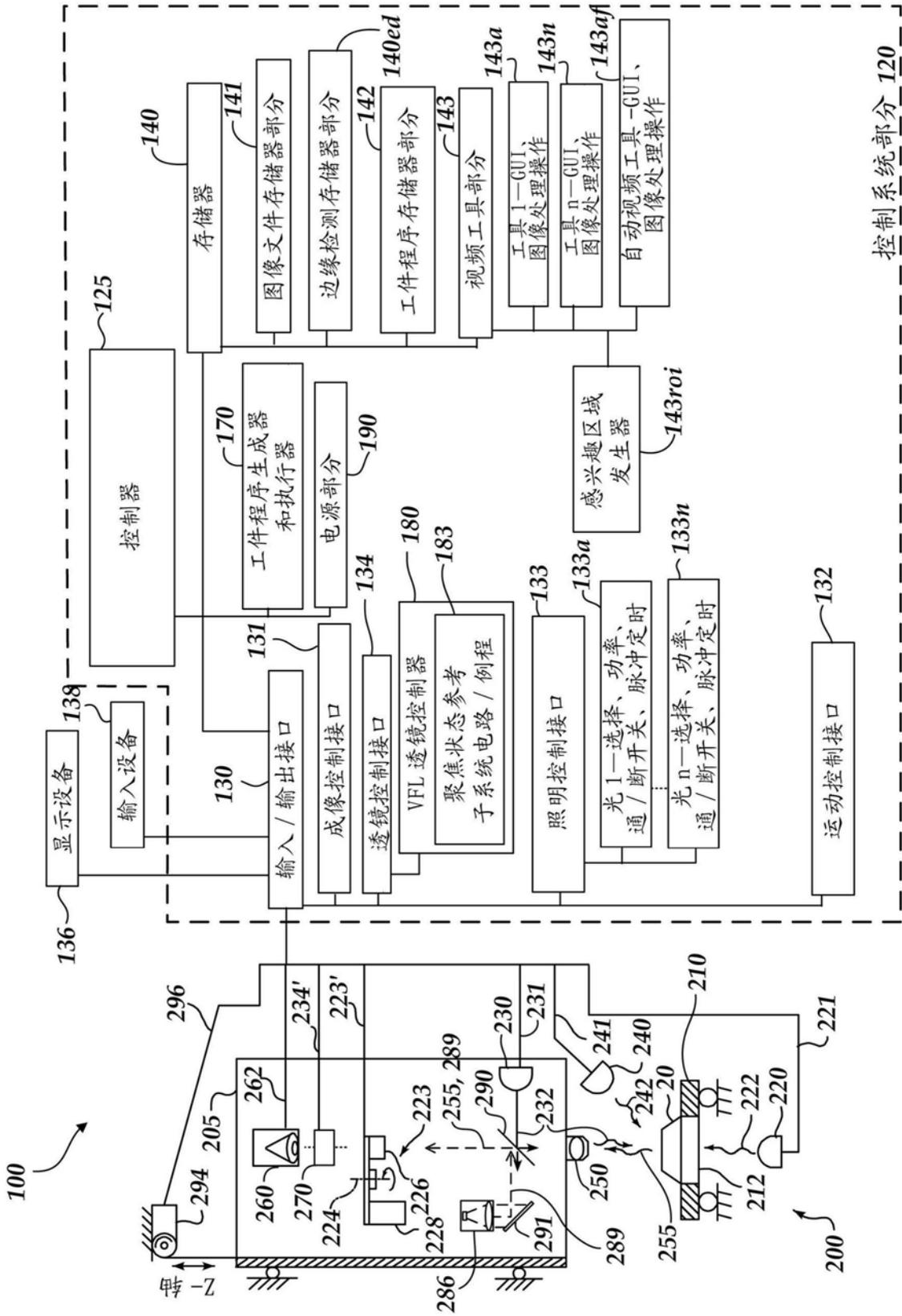


图2

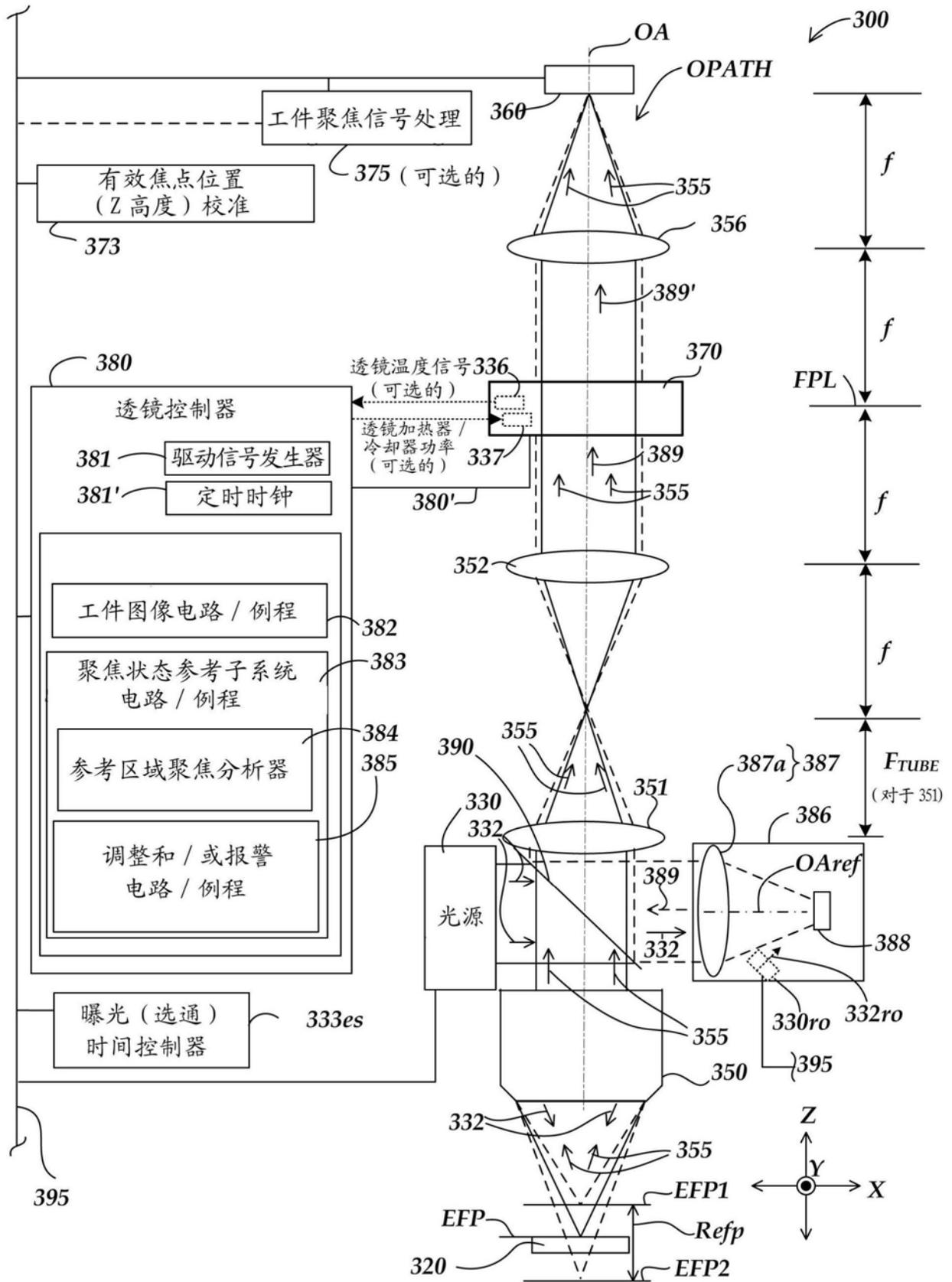


图3

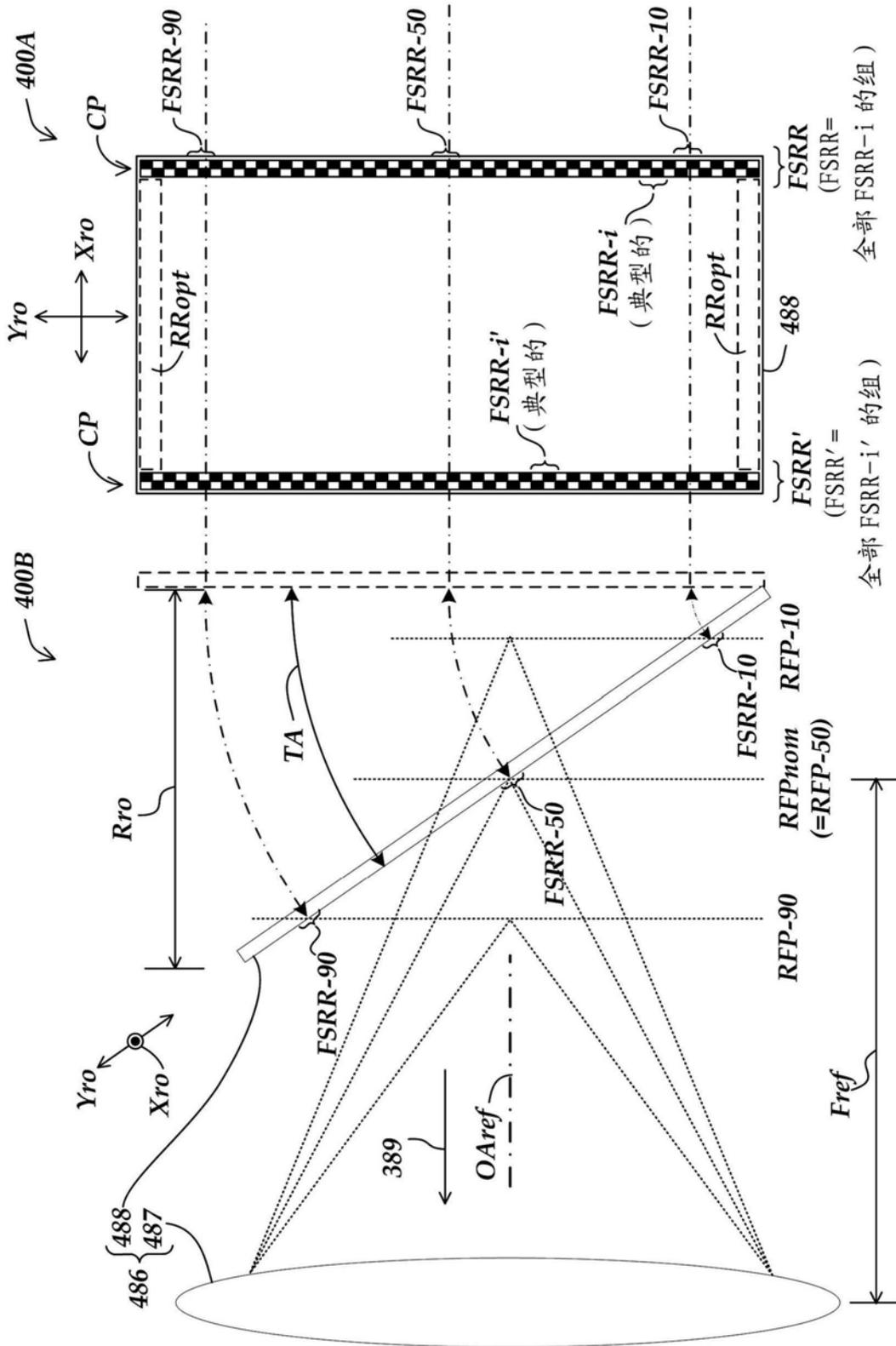


图4

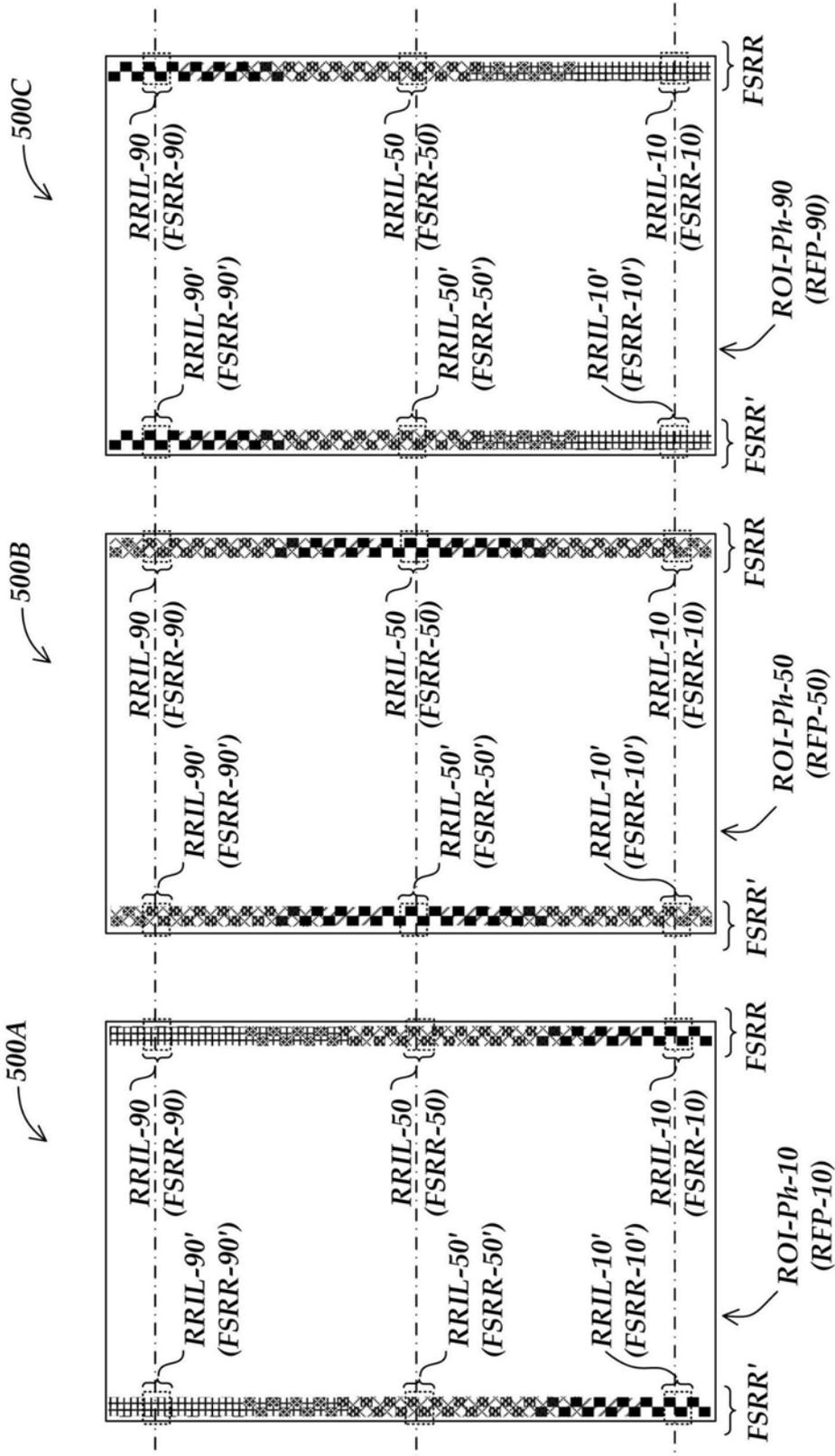


图 5C

图 5B

图 5A

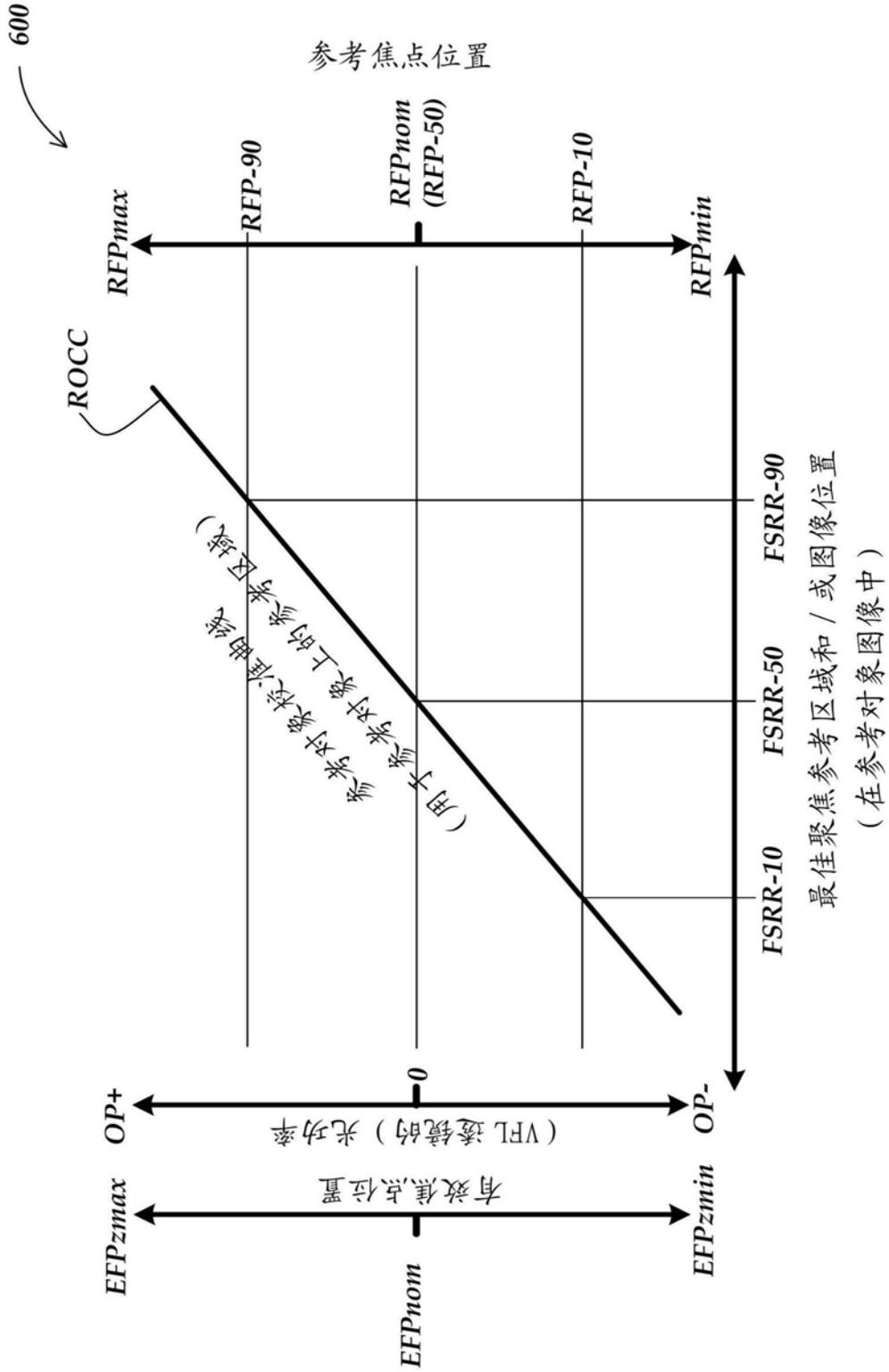


图6

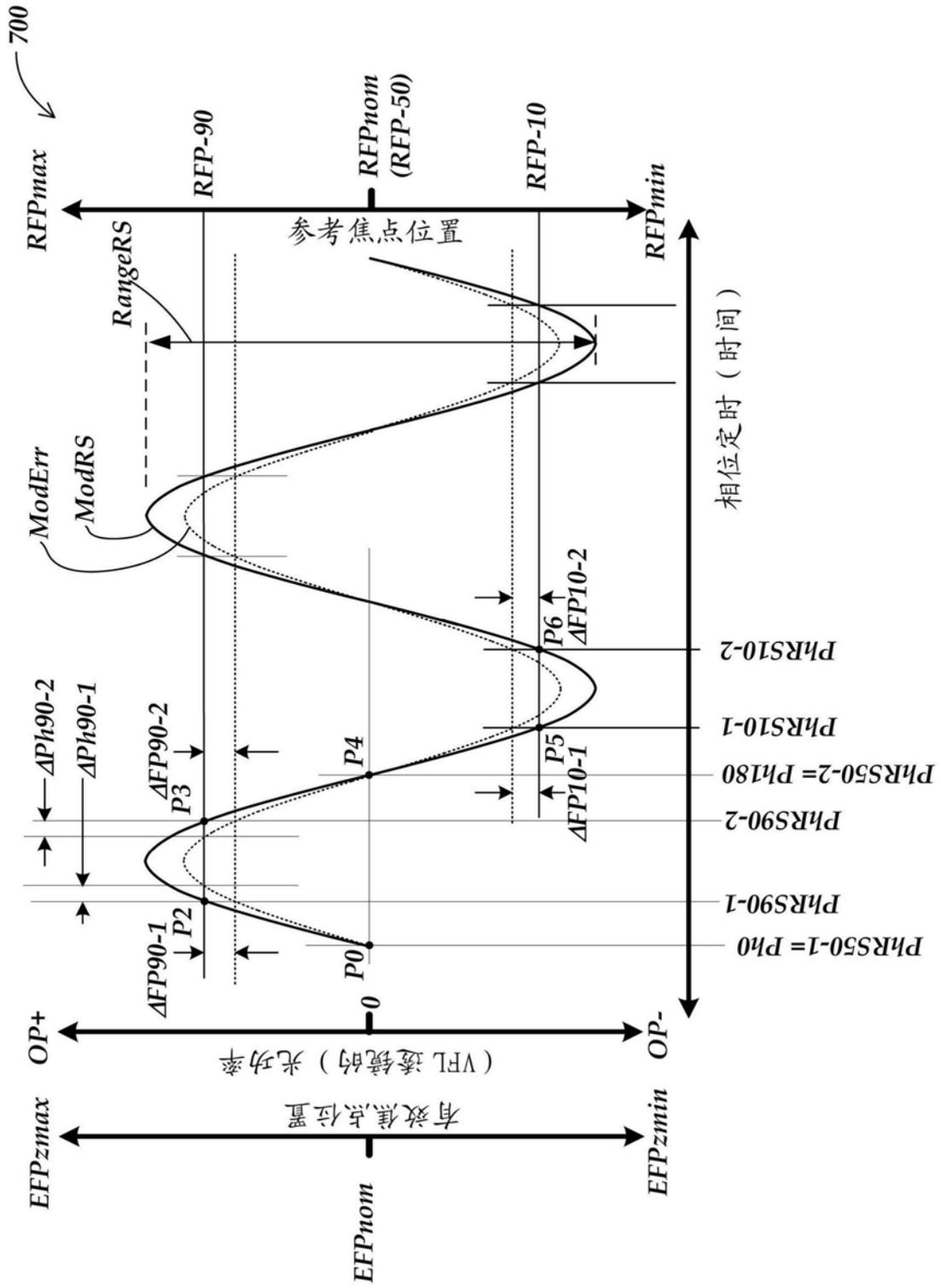


图7

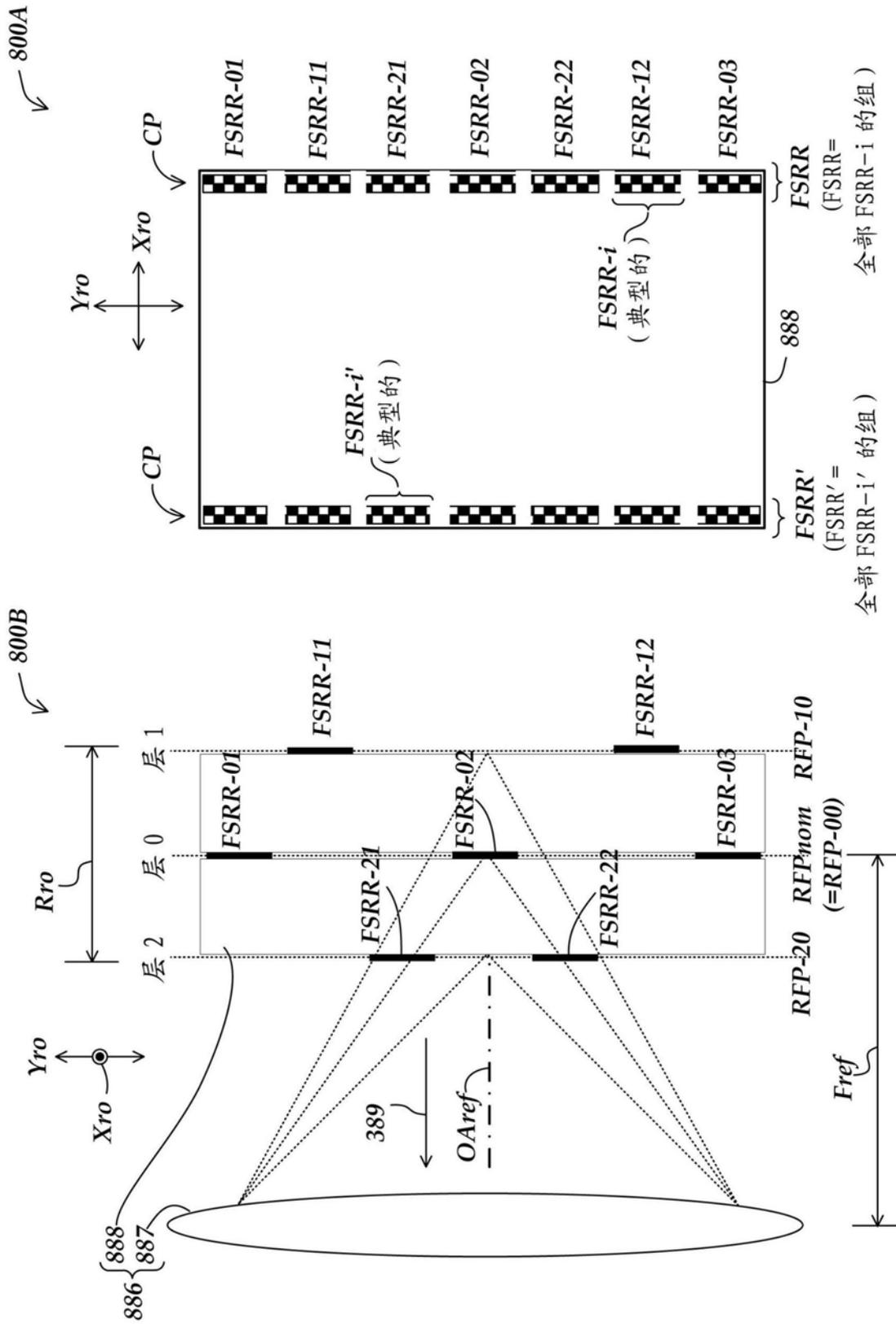


图8

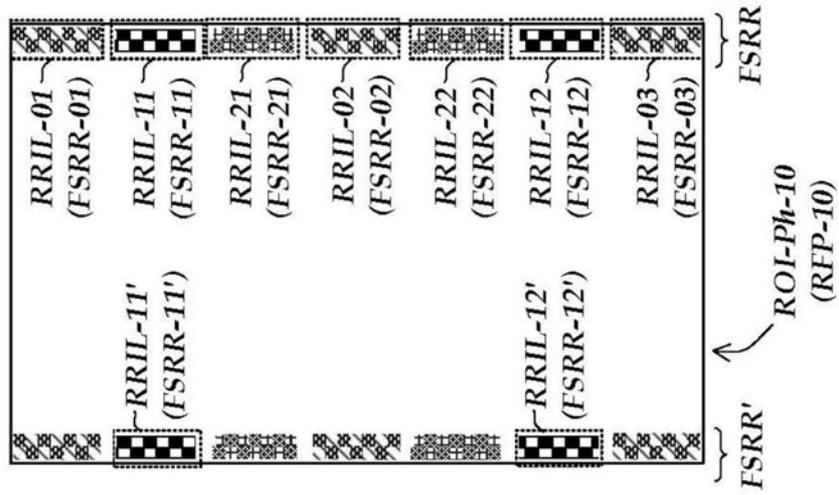


图9A

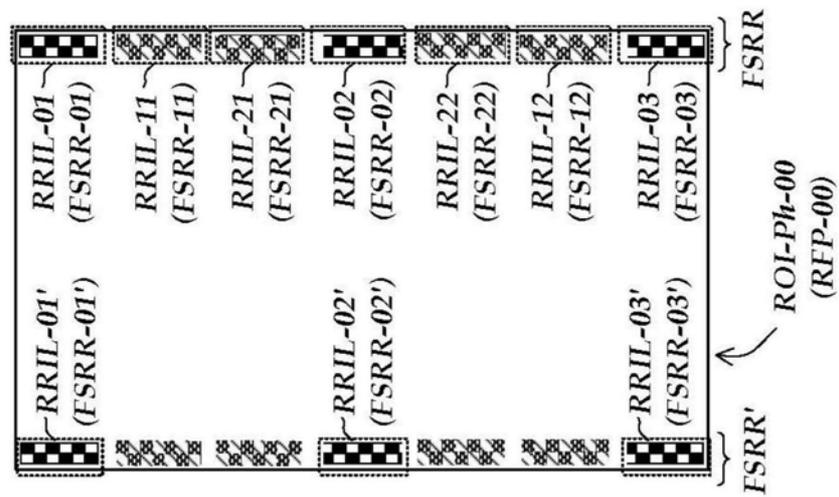


图9B

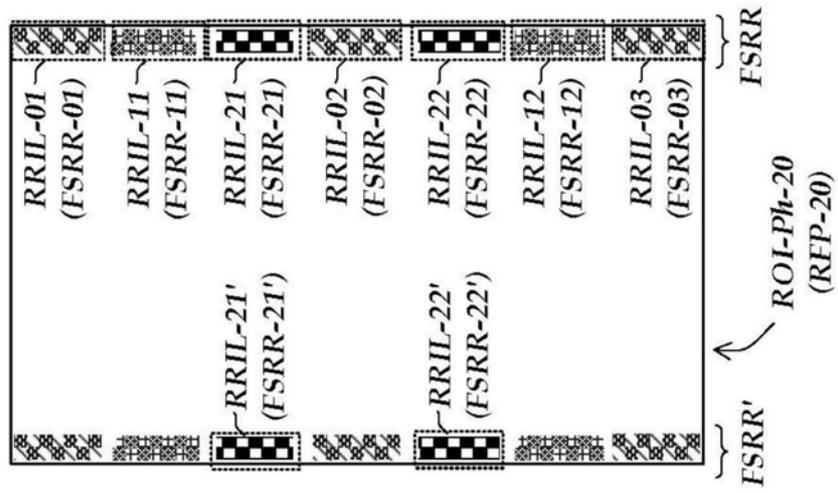


图9C