



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102802520 A

(43) 申请公布日 2012. 11. 28

(21) 申请号 201080027248. 7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 06. 17

A61B 5/107(2006. 01)

(30) 优先权数据

61/187, 744 2009. 06. 17 US

61/231, 118 2009. 08. 04 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 12. 19

(86) PCT申请的申请数据

PCT/DK2010/050148 2010. 06. 17

(87) PCT申请的公布数据

W02010/145669 EN 2010. 12. 23

(71) 申请人 3 形状股份有限公司

地址 丹麦哥本哈根

(72) 发明人 R·费斯克 亨里克·奥杰伦德

拉斯马斯·克耶尔 迈克·范德普尔

阿瑞什·A·卡齐

卡尔-约瑟夫·霍伦贝克

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

有限公司 11262

代理人 张春媛 阎斌斌

权利要求书 9 页 说明书 28 页 附图 18 页

(54) 发明名称

聚焦扫描设备

(57) 摘要

披露了一种手持式扫描器,用于利用共焦图案投影技术获得和/或测量物体的至少一部分表面的3D几何形状。针对口内扫描和人耳内部部分的扫描给出了具体实施例。

1. 一种用于获得和 / 或测量物体的至少一部分表面的 3D 几何形状的扫描器, 所述扫描器包括:

- 至少一个容纳感测器元件阵列的照相机,
- 用于产生整合空间图案的探测光的装置,
- 用于将探测光向物体传输的装置, 由此利用一种或多种构形的所述图案照明物体的至少一部分,
- 用于传输从物体返回到照相机的光的至少一部分的装置,
- 用于改变物体上的图案的焦平面的位置, 同时保持扫描器与物体之间的固定空间关系的装置,
- 用于从所述感测器元件阵列获得至少一个图像的装置,
- 用于在每个焦平面位置估计至少一个图像像素和加权函数之间的相关度的装置, 其中加权函数基于空间图案的构形信息而确定,
- 数据处理装置, 用于:
 - a) 通过相关度的分析确定下列对象的准确对焦位置:
 - 对于一系列焦平面位置, 多个图像像素中的每一个, 或者
 - 对于一系列焦平面位置, 多个图像像素组中的每个组, 和
 - b) 将准确对焦数据转换成 3D 真实世界坐标。

2. 根据权利要求 1 的扫描器, 其中从物体返回到照相机的光是反射光和 / 或散射光和 / 或荧光和 / 或磷光。

3. 根据权利要求 1 或 2 的扫描器, 其中用于估计相关度的装置是数据处理装置。

4. 根据权利要求 1 或 2 的扫描器, 其中用于估计相关度的装置是光学装置。

5. 根据前述任何一项权利要求的扫描器, 其中相关度被以数学方式找出, 基本上作为可选平滑的点积系列的至少局部的极值位置, 所述点积针对多个所述焦平面位置计算。

6. 根据前一项权利要求的扫描器, 其中每个点积由具有超过一个元素的信号向量和与加权的所述信号向量具有相同长度的加权向量来计算, 所述元素代表感测器信号。

7. 根据前述任何一项权利要求的扫描器, 其中图案是随时间变化的。

8. 根据前一项权利要求的扫描器, 其中时变图案是随时间周期性的变化的。

9. 根据前述任何一项权利要求的扫描器, 其中图案是静止的。

10. 根据前述任何一项权利要求的扫描器, 其中用于传输从物体返回到照相机的光的装置包括用于将具有所述图案的物体的所述照明部分成像到照相机上的装置。

11. 根据前述任何一项权利要求的扫描器, 其中用于传输从物体返回到照相机的光的装置包括用于将图案本身成像到照相机上并且将从物体返回的光叠加到照相机的装置, 从而使照相机上的图像基本上是具有所述图案的物体的所述照明部分与图案本身的乘积。

12. 根据前述任何一项权利要求的扫描器, 其中所述图案的嵌入空间结构是随时间变化的。

13. 根据前述任何一项权利要求的扫描器, 包括至少一个光源和图案产生装置。

14. 根据前一项权利要求的扫描器, 其中来自所述探测光产生装置的光通过所述图案产生装置传输, 由此产生图案。

15. 根据权利要求 13 或 14 中任何一项的扫描器, 其中所述图案产生装置包括透明和不

透明部件的遮盖件。

16. 根据前一项权利要求的扫描器,其中所述不透明部件吸收入射光。

17. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中所述图案具有平移和 / 或旋转周期。

18. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中通过平移和 / 或旋转所述图案使照明物体的所述图案随时间变化。

19. 根据权利要求 13-18 中任何一项的扫描器,其中从物体返回的光在成像到所述照相机上之前通过所述图案产生装置再次传输,优选地以与探测光相反的方向再次传输。

20. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中照明物体的图案的图像与图案本身的图像重合。

21. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括用于使所述感测器元件的曝光时间与图案振荡时间同步的装置。

22. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中所述感测器元件的曝光时间是光振荡周期的整数倍。

23. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中所述感测器元件的曝光时间是光振荡周期的许多倍,例如光振荡周期的至少 10 倍,例如光振荡周期的至少 100 倍。

24. 根据权利要求 13-23 中任何一项的扫描器,其中来自光源的光通过图案产生装置传输,由此产生图案。

25. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中照相机的焦平面适合于与图案的焦平面同步移动。

26. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中物体是解剖学物体,例如耳道或诸如牙齿的牙科物体。

27. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,包括用于将探测光向物体传输和 / 或将从物体返回到照相机的光成像的光学系统。

28. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括位于光路中的至少一个分束器。

29. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中借助至少一个分束器将物体的图像形成在照相机中。

30. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中沿着与从物体向照相机传输的反射光相同的光轴将图案向物体传输。

31. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中光学系统包括透镜系统。

32. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中一个透镜系统将图案向物体传输并且使从物体返回到照相机的光成像。

33. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中一个透镜系统将图案向物体传输并且使从物体返回到图案产生装置的光成像。

34. 根据权利要求 31-33 中的扫描器,其中透镜系统是焦阑的或接近焦阑的。

35. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中沿从物体到照相机成像的光的相反方向传输图案。

36. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中沿从物体到图案产生装置成像的光的相反方向传输图案。

37. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中感测器信号是基本上从物体表面反射

的积分光强度。

38. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中焦平面位置以预定频率周期性地变化。

39. 根据前一项权利要求的扫描器,其中所述频率为至少 1Hz,例如至少 2Hz、3、4、5、6、7、8、9 或至少 10Hz,例如至少 20、40、60、80 或至少 100Hz。

40. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括至少一个聚焦元件。

41. 根据前一项权利要求的扫描器,其中聚焦元件是透镜系统的一部分。

42. 根据权利要求 40-41 中任何一项的扫描器,进一步包括用于调节和控制聚焦元件的装置。

43. 根据权利要求 40-42 中任何一项的扫描器,其中聚焦元件是单个透镜。

44. 根据权利要求 40-43 中任何一项的扫描器,进一步包括用于调节聚焦元件的位置的平移台。

45. 根据权利要求 40-44 中任何一项的扫描器,其中聚焦元件沿光轴前后平移。

46. 根据权利要求 31-45 中任何一项的扫描器,其中透镜系统对于所有的焦平面位置是焦阑的或接近焦阑的。

47. 根据权利要求 40-46 中任何一项的扫描器,进一步包括焦传动。

48. 根据前一项权利要求的扫描器,其中焦传动在 0.1 和 100 之间,例如在 0.1 和 1 之间,例如在 1 和 10 之间,例如在 2 和 8 之间,例如在 3 和 6 之间,例如至少 10,例如至少 20。

49. 根据权利要求 40-48 中任何一项的扫描器,进一步包括用于减小和 / 或消除来自聚焦元件调节系统的震动和 / 或晃动的装置,由此增加扫描器的稳定性。

50. 根据权利要求 40-49 中任何一项的扫描器,进一步包括用于固定和 / 或保持聚焦元件调节系统的质量中心的装置。

51. 根据权利要求 40-50 中任何一项的扫描器,进一步包括用于减小和 / 或消除来自聚焦元件调节系统的一阶、二阶、三阶和 / 或更高阶震动和 / 或晃动的装置,由此增加扫描器的稳定性。

52. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括基本上配衡聚焦元件的移动的配重。

53. 根据前一项权利要求的扫描器,进一步包括用于与聚焦元件的移动相反地平移配重的装置。

54. 根据权利要求 52 或 53 的扫描器,其中配重和聚焦元件相连并且通过相同的平移装置驱动。

55. 根据权利要求 40-54 中任何一项的扫描器,其中聚焦元件是液体透镜。

56. 根据权利要求 13-55 中任何一项的扫描器,其中图案产生装置包括具有不透明遮盖件的至少一个半透明和 / 或透明图案元件。

57. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中图案是静止线图案或静止棋盘图案。

58. 根据权利要求 56 或 57 的扫描器,进一步包括用于旋转和 / 或平移图案元件的装置。

59. 根据权利要求 56-58 中任何一项的扫描器,其中所述图案元件是轮。

60. 根据权利要求 56-59 中任何一项的扫描器,其中所述遮盖件具有旋转和 / 或平移周期。

61. 根据权利要求 56-60 中任何一项的扫描器,其中所述遮盖件包括多个径向辐条,优选地以对称顺序布置。

62. 根据权利要求 56-61 中任何一项的扫描器,其中图案元件位于光路中。

63. 根据权利要求 56-62 中任何一项的扫描器,其中通过图案元件传输光,优选地通过图案元件横向传输。

64. 根据权利要求 56-63 中任何一项的扫描器,其中通过旋转和 / 或平移图案元件产生时变图案。

65. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,包括至少一个分段光源,例如分段 LED。

66. 根据前一项权利要求的扫描器,其中借助所述分段光源产生图案。

67. 根据权利要求 65 或 66 中任何一项的扫描器,其中通过打开和关闭分段光源的多个单独的段而产生时变图案。

68. 根据权利要求 7 到 67 中任何一项的扫描器,进一步包括用于使时变图案振荡与感测器元件的积分时间同步的装置。

69. 根据权利要求 13 到 68 中任何一项的扫描器,进一步包括登记和 / 或监测图案产生装置和 / 或时变图案的相位和 / 或位置和 / 或角位置的装置。

70. 根据权利要求 56 到 69 中任何一项的扫描器,其中借助图案元件上的位置编码器登记图案元件和 / 或时变图案的相位和 / 或位置和 / 或角位置。

71. 根据权利要求 7 到 70 中任何一项的扫描器,进一步包括用于在一个图案振荡周期中对多个感测器元件中的每一个取样多次的装置,优选地取样整数次,例如在每个图案振荡周期中取样 2、3、4、5、6、7 或 8 次,由此用下列公式确定相关度:

$$A_j = \sum_{i=1}^n f_{i,j} I_{i,j}$$

其中 n 是取样次数, A_j 是感测元件 j 的估计的相关度, $f_{1,j}, \dots, f_{n,j}$ 是基于每次取样的空间图案构形信息的加权函数值,而 $I_{1,j}, \dots, I_{n,j}$ 是在每次取样记录的感测器信号。

72. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中物体表面的至少一部分成像在照相机中。

73. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中图案与物体表面的至少一部分的叠加成像在照相机中。

74. 根据权利要求 13 到 73 中任何一项的扫描器,其中从物体反射的光在进入照相机之前再次传输通过图案产生装置,优选地沿相反的方向再次传输。

75. 根据权利要求 7 到 74 中任何一项的扫描器,进一步包括用于在多个图案振荡周期上,例如在多达 2、5、10、20、50、100、250、500、1000、5000 或多达 10000 个图案振荡周期上,记录多个感测器元件中的每一个的装置。

76. 根据前一项权利要求的扫描器,进一步包括用于在一系列焦平面位置上确定多个感测器元件中的每一个的最大信号值的装置。

77. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中测量的 3D 几何形状的分辨率等于照相机的分辨率。

78. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中测量的 3D 几何形状的分辨率低于照相机的分辨率,例如低至少 2 倍,例如低至少 3 倍,例如低至少 4 倍,例如低至少 5 倍。

79. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中感测器元件阵列被分为感测器元件组,优选地矩形组,例如感测器元件的正方形组,优选地相邻的感测器元件的正方形组。

80. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中图案例如线图案或棋盘图案的图像与感测器元件阵列的行和 / 或列对齐。

81. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中至少一个空间周期的图案对应于感测器元件组。

82. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中图案的一个或多个边与感测器元件阵列的一个或多个边对齐和 / 或重合。

83. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中一组感测器元件中的相关度借助于下列公式确定: $A_j = \sum_{i=1}^n f_{i,j} I_{i,j}$,其中 A_j 是具有下标 j 的感测器元件组的相关度, n 是组内的感测器元件数量, $f_{1,j}, \dots, f_{n,j}$ 是基于空间图案构形信息的加权函数值,和 $I_{1,j}, \dots, I_{n,j}$ 是在组内的每个感测器元件的记录感测器信号。

84. 根据前一项权利要求的扫描器,其中加权函数在一组感测器元件上的积分为零,即 $0 = \sum_{i=1}^n f_{i,j}$,该组具有下标 j ,由此除去相关度的 DC 部分。

85. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括用于将镜面反射光和 / 或漫反射光选择地成像的装置。

86. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括用于使探测光偏振的装置,例如偏振元件。

87. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括至少一个偏振光束分光器。

88. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中借助至少一个偏振光束分光器将物体的图像形成在照相机中。

89. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括用于改变探测光和 / 或从物体反射的光的偏振状态的装置。

90. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括位于光路中的线偏振元件和延迟板,延迟板例如是四分之一波长延迟板。

91. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括至少一个光反射元件,其优选地沿光轴放置,用于沿不同于光轴的方向引导探测光和 / 或将物体成像,光反射元件例如是镜子。

92. 根据前一项权利要求的扫描器,进一步包括用于沿光轴的方向增加被扫描表面的延长的装置。

93. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,包括至少两个光源,例如具有不同波长和 / 或不同偏振的光源。

94. 根据前一项权利要求的扫描器,进一步包括用于控制所述至少两个光源的控制装置。

95. 根据权利要求 93 或 94 中任何一项的扫描器,进一步包括用于合成和 / 或归并来自至少两个光源的光的装置,所述光源例如是具有不同波长和 / 或不同偏振状态的光源。

96. 根据权利要求 93 到 95 中任何一项的扫描器,进一步包括用于将来自至少两个光源例如具有不同波长和 / 或不同偏振状态的光源的光分开的装置。

97. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括部分光传输和部分光反射的至

少一个光学设备,所述光学设备优选地沿光轴放置,光学设备例如有涂层的镜子或有涂层的板。

98. 根据前一项权利要求的扫描器,包括至少两个所述光学设备,所述光学设备优选地沿光轴移动。

99. 根据权利要求 97 或 98 的扫描器,其中所述光学设备中的至少一个传输具有一定波长和 / 或偏振的光并且反射具有其它波长和 / 或偏振的光。

100. 根据权利要求 97 到 99 中任何一项的扫描器,包括至少第一和第二光源,所述光源具有不同的波长和 / 或偏振,和其中:

沿光路放置的第一光学设备以不同于光轴的方向反射来自所述第一光源的光并且传输来自所述第二光源的光,和

位于光路更后方的第二光学设备以不同于光轴的方向反射来自所述第二光源的光。

101. 根据前一项权利要求的扫描器,其中所述第一和第二光学设备沿平行方向反射探测光,优选地沿垂直于光轴的方向,由此使物体表面的不同部分成像。

102. 根据前一项权利要求的扫描器,其中所述物体表面的不同部分是至少部分重叠的。

103. 根据权利要求 93 到 102 中任何一项的扫描器,包括用于提供光源和聚焦元件的配合的控制装置。

104. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括至少一个弯曲的折光镜,用于以不同于光轴的方向,例如沿垂直于光轴的方向,引导探测光和 / 或使物体成像。

105. 根据前一项权利要求的扫描器,进一步包括一个或多个光学元件,例如透镜,其具有可为非球面的表面以提供修正的光学成像。

106. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,进一步包括至少一个光栅,用于沿不同于光轴的方向,例如沿垂直于光轴的方向,引导探测光和 / 或使物体成像。

107. 根据前一项权利要求的扫描器,其中光栅提供失真的放大,由此在被扫描物体上的图案的图像被拉伸。

108. 根据权利要求 106 或 107 的扫描器,其中光栅是闪耀光栅。

109. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中探测光的发射点和反射光的收集点位于探头上,所述探头适合于进入腔内,例如体腔中。

110. 根据前一项权利要求的扫描器,其中探头适合于扫描腔中的一个或多个物体,例如口中的牙齿。

111. 根据权利要求 109 的扫描器,其中探头适合于扫描腔例如耳道的至少一部分表面。

112. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,包括:

a) 容纳照相机、图案产生装置、焦点变化装置和数据处理装置的外壳,和

b) 容纳第一光学系统的至少一个探头。

113. 根据前一项权利要求的扫描器,其中外壳包括第二光学系统。

114. 根据权利要求 112 或 113 中任何一项的扫描器,其中探头是内窥的。

115. 根据权利要求 112 到 114 中任何一项的扫描器,其中探头包括至少一个光学纤维和 / 或纤维束,用于传输探测光和 / 或来自物体表面的反射光。

116. 根据权利要求 112 到 115 中任何一项的扫描器,其中探头能够从外壳上分离。
117. 根据权利要求 112 到 116 中任何一项的扫描器,其中探头是刚性的或柔性的。
118. 根据权利要求 112 到 117 中任何一项的扫描器,其中探测光的发射点和反射光的收集点位于探头上。
119. 根据权利要求 112 到 118 中任何一项的扫描器,其中探测光的第一发射点和反射光的第一收集点位于探头上,并且探测光的第二发射点和反射光的第二收集点位于外壳上。
120. 根据权利要求 112 到 119 中任何一项的扫描器,其中以基本上平行于光轴和 / 或探头纵轴的方向将探测光导向物体。
121. 根据权利要求 112 到 120 中任何一项的扫描器,其中探头包括后部的反射元件,例如镜子,或棱镜,用于沿不同于光轴的方向,优选地沿垂直于探测轴的方向引导探测光。
122. 根据前一项权利要求的扫描器,进一步包括用于使反射元件优选地围绕基本上平行于光轴的轴线旋转的装置。
123. 根据权利要求 112 到 122 中任何一项的扫描器,其中探头适合于提供围绕光轴和 / 或探头纵轴的 360° 扫描,优选地不旋转探头和 / 或扫描器。
124. 根据权利要求 112 到 123 中任何一项的扫描器,其中多个不同的探头与外壳匹配。
125. 根据权利要求 112 到 124 中任何一项的扫描器,包括适合于扫描人耳内部的第一探头和适合于扫描所述人耳外部的第二探头。
126. 根据权利要求 112 到 125 中任何一项的扫描器,其中外壳适合于进行 3D 表面扫描。
127. 根据权利要求 112 到 126 中任何一项的扫描器,其中具有装配有探头的外壳适合于扫描人耳内部,并且具有分离探头的外壳适合于扫描所述人耳的外部。
128. 根据权利要求 112 到 127 中任何一项的扫描器,进一步包括用于归并和 / 或合成耳内部和外部的 3D 数据的装置,由此提供完整的人耳 3D 模型。
129. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其适合于印模扫描,例如牙印模和 / 或耳道印模扫描。
130. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其适合于口内扫描,即直接扫描口腔内的牙齿和周围软组织。
131. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,适合于牙科应用,例如扫描牙印模、石膏模型、蜡咬模、假牙修复和基牙。
132. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其适合于皮肤学或化妆应用领域中皮肤的 3D 结构的扫描。
133. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其适合于扫描珠宝或整个珠宝或部分珠宝的蜡模型。
134. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其适合于工业部件的扫描和 / 或质量控制。
135. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其适合于提供时间分辨的 3D 扫描,例如运动工业部件的时间分辨 3D 扫描。
136. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中扫描器适合于手持,并且其中扫描器

包括一个或多个内置的运动感测器,该运动感测器产生将至少两个局部扫描合成为物体表面的 3D 模型的数据,其中运动感测器的数据潜在地用作通过软件找出的最佳合成的第一推测。

137. 根据前述任何一项权利要求的扫描器,其中扫描器适合于手持,并且其中扫描器包括一个或多个内置的运动感测器,该运动感测器产生与关于扫描方法的某些软件的使用者界面相互作用的数据。

138. 一种用于获得和 / 或测量物体的至少一部分表面的 3D 几何形状的方法,所述方法包括下列步骤:

- 产生整合空间图案的探测光,
- 沿着光学系统的光轴将探测光向物体传输,由此用所述图案照明物体的至少一部分,
- 传输从物体返回到照相机的光的至少一部分,
- 改变图案在物体上的焦平面的位置,同时保持扫描器和物体的固定空间关系,
- 获得来自所述感测器元件阵列的至少一个图像,
- 在每个焦平面位置估计至少一个图像像素和加权函数之间的相关度,其中加权函数基于空间图案构形的信息确定;
- 通过分析相关度确定下列对象的准确对焦位置:
 - 对于所述系列焦平面位置,在照相机中的多个图像像素的每个像素,或
 - 对于所述系列焦平面,在照相机中的多个图像像素组的每个像素组,和
 - 将准确对焦数据转换成 3D 真实世界坐标。

139. 一种包括程序编码装置的计算机编程产品,用于当所述程序编码装置在数据处理系统上执行时,使数据处理系统执行前述权利要求的方法。

140. 根据前一项权利要求的计算机编程产品,包括计算机可读介质,所述计算机可读介质具有储存在其上的程序编码装置。

141. 一种用于获得和 / 或测量物体的至少一部分表面的 3D 几何形状的扫描器,所述扫描器包括:

- 容纳感测器元件阵列的至少一个照相机,
- 用于产生探测光的装置,
- 用于将探测光向物体传输的装置,由此照明物体的至少一部分,
- 用于传输从物体返回到照相机的光的装置,
- 用于改变物体上的焦平面的位置的装置,
- 用于从所述感测器元件阵列获得至少一个图像的装置,
- 用于以下方面的装置:
 - a) 确定下列对象的准确对焦位置:
 - 对于一系列焦平面位置,多个感测器元件中的每一个,或
 - 对于一系列焦平面位置,多个感测器元件组中的每个组,和
 - b) 将准确对焦数据转换成 3D 真实世界坐标;

其中扫描器进一步包括配重装置以配衡改变焦平面位置的装置。

142. 一种用于获得和 / 或测量物体的至少一部分表面的 3D 几何形状的方法,所述方法包括下列步骤:

- 容纳感测器元件阵列,
- 产生探测光,
- 将探测光向物体传输,由此照明物体的至少一部分,
- 传输从物体返回到照相机的光,
- 改变物体上的焦平面的位置,
- 从所述感测器元件阵列获得至少一个图像,
- 确定下列对象的准确对焦位置:
 - 对于一系列焦平面位置,多个感测器元件中的每一个,或
 - 对于一系列焦平面位置,多个感测器元件组中的每个组,和
- 将准确对焦数据转换成 3D 真实世界坐标;

其中该方法进一步包括配衡改变焦平面位置的装置。

143. 一种手持式 3D 扫描器,其手柄与扫描器的主光轴呈大于 30 度的角,以用于口内或耳内扫描。

聚焦扫描设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于表面的光学 3D 扫描的装置和方法。本发明的装置和方法的原理可以在各种环境中应用。本发明的一个具体实施例特别适合于口内扫描,即直接扫描口腔内的牙齿及周围的软组织。本发明的其他关于牙齿的实施例适合于扫描牙印模、石膏模型、蜡咬模、假牙修复和基牙。本发明的另一个实施例适合于扫描人耳或耳道印模的内部和外部部分。本发明可能发现了在皮肤病学或美容 / 整容应用中的皮肤 3D 结构的扫描、珠宝或整个珠宝或珠宝的一部分的蜡模的扫描、工业零件的扫描和平均时间分辨的 3D 扫描 (例如运动的工业零件的时间分辨 3D 扫描) 的用途。

背景技术

[0002] 本发明涉及物体表面几何形状的三维 (3D) 扫描。在 3 个维度上扫描物体表面是众所周知的研究领域并且用于扫描的方法可分成接触和非接触方法。接触测量方法的实例是坐标测量机 (CMM), 其通过让接触探头追踪表面来进行测量。优点包括精确度很高, 但过程慢并且 CMM 大且昂贵。非接触测量方法包括 x 射线和光学探头。

[0003] 共焦显微镜方法是一种光学成像技术, 其用来增大显微照片对比度和 / 或通过利用空间针孔重建三维图像以消除比焦平面厚的样品中的离焦光或光斑。

[0004] 共焦显微镜利用探测器前面的光学共轭面中的针孔和点照明以消除离焦信息。仅仅焦平面内的光能被检测到。由于在共焦显微术中每次仅仅照亮一个点, 所以 2D 成像需要光栅扫描, 3D 成像需要在一系列焦平面内的光栅扫描。

[0005] 在 WO 00/08415 中, 通过用多个照明光点照亮表面来应用共焦显微术的原理。通过改变焦平面, 能确定表面的准确对焦特定光点的位置。然而, 表面构造的确定局限于被光点照亮的表面部分。

[0006] WO 2003/060587 涉及显微术中样本的光学分割, 其中用照明图案照亮样本。通过表征图案的振荡分量来确定图像平面的焦点位置。然而, 仅仅能通过使样本和光学系统相对于彼此移动, 即使得它们彼此靠近或远离, 来调节焦平面。因而, 焦平面的受控震动要求在样本和光学系统之间有受控的空间关系, 该空间关系在显微镜中被满足。然而, 这种受控的空间关系不适宜于例如手持式扫描器。

[0007] US 2007/0109559A1 描述了一种聚焦扫描器, 其中由聚焦透镜的位置找出距离, 在聚焦透镜的所述位置上观察到入射到被扫描物体上的光束的最大反射强度。与本文公开的发明对比, 该现有技术没有采用照明图案的预定测量, 并且没有采用对比度检测, 因此信噪比不是最佳。

[0008] 在 WO2008/125605 中, 描述了用于产生时变图案的装置, 该图案由交替的双像构成。该文献描述了一种借助两个不同的照明分布, 例如相反相位的两个图案获得扫描物体的光学切面的扫描方法。这两个图像用来提取光学切面, 而且该方法局限于从仅仅两个不同的照明分布来获得图像。此外, 该方法依赖于确定两个照明分布之间的相位偏移的预定校准。

发明内容

[0009] 因此,本发明的一个目的是提供可以整合到易管理的外壳,例如手持外壳中的扫描器。本发明的又一个目的是:区分离焦的信息并且提供快速的扫描时间。

[0010] 这通过用于获得和/或测量物体的至少一部分表面的3D几何形状的一种方法和扫描器而实现,所述扫描器包括:

[0011] - 至少一个容纳感测器元件阵列的照相机,

[0012] - 用于产生整合空间图案的探测光的装置,

[0013] - 用于将探测光向物体传输的装置,从而利用一种或多种构形的所述

[0014] 图案照明物体的至少一部分,

[0015] - 用于传输从物体返回到照相机的光的至少一部分的装置,

[0016] - 用于改变物体上的图案的焦平面的位置,同时保持扫描器与物体的固定空间关系的装置,

[0017] - 用于从所述感测器元件阵列获得至少一个图像的装置,

[0018] - 用于在每个焦平面位置估计至少一个图像像素和加权函数之间的相关度的装置,其中加权函数基于空间图案的构形信息而确定,

[0019] - 数据处理装置,用于:

[0020] a) 通过相关度的分析确定下列对象的准确对焦位置:

[0021] - 对于一系列焦平面位置,多个图像像素中的每一个,

[0022] - 对于一系列焦平面位置,多个图像像素组中的每个组,和

[0023] b) 将准确对焦数据转换成3D真实世界坐标。

[0024] 本发明中描述的方法和设备用光作为非接触性的探测媒介提供物体的3D表面登记。将光提供为一种照明图案的形式从而在物体上提供光振荡。图案的变化/振荡可以是空间的,例如静止的棋盘图案,和/或其可以是时变的,例如通过使图案移动经过被扫描的物体。本发明提供一系列焦平面位置上的图案的焦平面的变化,同时保持扫描器和物体的固定空间关系。这并不表示必须在扫描器和物体具有固定空间关系的情况下提供扫描,而只是表示在扫描器和物体具有固定空间关系的情况下焦平面可以被改变(扫描)。这提供了基于本发明的手持式扫描器方案。

[0025] 在一些实施例中,来自感测器元件阵列的信号是光强度。

[0026] 本发明的一个实施例包括第一光学系统,例如透镜的布置,用于将探测光向物体传输,和第二光学系统,用于使从物体返回到照相机的光成像。在本发明的优选实施例中,仅仅一个光学系统优选地沿着相同的光轴,然而沿着相反的光路,将图案成像到物体上并将物体或物体的至少一部分成像到照相机上。

[0027] 在本发明的优选实施例中,光学系统将图案成像到被探测的物体上并将被探测的物体成像到照相机。优选地,以这样的方式调整焦平面:图案在被探测物体上的图像沿着光轴移动,优选以等步幅从扫描区域的一端移动到另一端。包括图案的探测光在物体上提供明与暗的图案。具体来说,对于固定焦平面当图案随时间变化时,物体上的准确对焦区域将显示明与暗的振荡图案。离焦区域在光振荡中将显示较小对比度或没有对比度。

[0028] 通常我们考虑入射到物体上的光从物体的表面发生漫反射和/或镜面反射的情

况。但是应当理解扫描装置和方法不限于这种情况。它们还可适用于例如入射光穿透表面并反射和 / 或散射和 / 或在物体中引起荧光和 / 或磷光的情况。在足够半透明的物体中的内表面也可以被照明图案照明并且成像到照相机上。在这种情况下体积扫描是可能的。一些浮游生物是这种物体的实例。

[0029] 当应用时变图案时,可以通过在焦平面的不同位置和以图案的不同实例收集大量 2D 图像来获得单个扫描。当焦平面在单个像素位置处与扫描表面相重合时,图案将会被投影到准确对焦并具有高对比度的表面点上,由此引起像素值随时间的大的变化或振幅。因此可以对于每个像素识别聚焦平面的单独设置,对于聚焦平面每个像素都是准确对焦的。通过利用所使用的光学系统的了解,可以在单个像素的基础上将对比度信息 - 焦平面位置转换成 3D 表面信息。

[0030] 因此在本发明的一个实施例中,通过对一系列焦平面确定多个感测器元件中的每一个的光振荡幅度来计算焦点位置。

[0031] 对于静止图案,可以通过在焦平面的不同位置收集大量 2D 图像而获得单个扫描。当焦平面与扫描表面重合时,图案将会被投影到准确对焦并具有高对比度的表面点上。高对比度在物体的表面上引起静止图案的大空间变化,由此在一组相邻的像素上提供像素值的大的变化或振幅。因此可以对每一组像素识别聚焦平面的单独设置,对于聚焦平面每组像素都是准确对焦的。通过利用所使用的光学系统的了解,可以在单个像素组的基础上将对比度信息 - 焦平面位置转换成 3D 表面信息。

[0032] 因此在本发明的一个实施例中,通过对一系列焦平面确定多组感测器元件中的每一组的光振荡幅度来计算焦点位置。

[0033] 图像数据的 2D 到 3D 的转换可以通过本领域中已知的大量方式进行。即,被探测物体的 3D 表面结构可以通过当记录一系列不同焦平面的光振幅时,找到对应于照相机感测器阵列中的每个感测器元件或每组感测器元件的最大光振荡幅度的平面而确定。优选地,以等步幅从扫描区域的一端到另一端调节焦平面。优选地,焦平面可以在足够大的范围中移动从而至少与被扫描物体的表面重合。

[0034] 本发明本身区别于 W0 2008/125605,因为在本发明的使用时变图案的实施例中,输入图像不限于两种照明分布,而是可以由图案的任何照明分布获得。这是因为参考图像的定向不完全依赖于预定校准,而是依赖于输入图像获得的具体时间。

[0035] 因此 W0 2008/125605 具体应用了正好两种图案,其通过从任一侧照明的镀铬玻璃遮盖件而在物理上实现,其中背面是反光的。因此 W02008/125605 具有不使用移动部件的优点,但缺点是信噪比较差。在本发明中具有使用任何数量的图案构形的可能性,这使光振荡幅度或相关度的计算更加精确。

[0036] 定义:

[0037] 图案:包括嵌入在侧平面中的空间结构的光信号。也可以称为“照明图案”。

[0038] 时变图案:随时间变化的图案,即,嵌入的空间结构随时间变化。也可以称为“时变的照明图案”。以下也称为“条纹 (fringe)”。

[0039] 静止图案:不随时间变化的图案,例如,静止的棋盘图案或静止的线图案。

[0040] 图案构形:图案的状态。在某一时间对图案构形的了解等于知道在该时间的照明的空间结构。对于周期性图案而言,图案构形将包括图案相位的信息。如果被扫描物体的

表面元素被成像到照相机上,那么对图案构形的了解等于知道图案的哪个部分照明该表面元素。

[0041] 焦平面:从图案发射的光线会聚到其上以在被扫描的物体上形成图像的表面。焦平面不必是平面,其可以为曲面。

[0042] 光学系统:光学组件的布置,例如传输、校准和/或使光成像的透镜,例如将探测光朝物体传输,将图案成像在物体上或物体内部,和将物体或物体的至少一部分成像在照相机上。

[0043] 光轴:由光束的传播确定的轴。光轴优选为直线。在本发明的优选实施例中,光轴由多个光学组件的构形确定,例如光学系统中透镜的构形。光轴可以多于一个,例如如果一个光学系统将探测光传输到物体上,而另一个光学系统将物体成像到照相机上。但优选地,光轴由将图案传输到物体上和将物体成像到照相机上的光学系统中的光传播来确定。光轴通常与扫描器的纵轴重合。

[0044] 光路:由光源到照相机的光传播所确定的路径。因此,优选一部分光路与光轴重合。然而优选光轴为直线,光路可以是非直线的,例如当例如借助分束器、镜子、光导纤维等等使光被反射、散射、弯曲、拆分等等时。

[0045] 焦阑系统:一种光学系统,其以主光线平行于所述光学系统的光轴的方式提供成像。在焦阑系统中,离焦点具有与准确对焦点基本上相同的放大率。这可以在数据处理中提供优势。完美的焦阑光学系统是难以达到的,然而基本上或接近焦阑的光学系统可以通过细致的光学设计而提供。因此,当指出焦阑光学系统时,应当理解为其可能仅仅是接近焦阑的。

[0046] 扫描长度:视域的横向尺寸。如果探头顶端(即扫描头)包括折光光学器件(folding optics),以沿不同方向例如垂直于光轴的方向引导探测光,那么扫描长度是平行于光轴的横向尺寸。

[0047] 扫描物体:被扫描的物体,并且扫描器在其表面上提供信息。“扫描物体”可以只是被称为“物体”。

[0048] 照相机:成像感测器,包括对应于输入到成像感测器上的光的多个感测器。优选感测器以行和列的2D阵列排序。

[0049] 输入信号:来自照相机中感测器的光输入信号或感测器输入信号。这可以在感测器的积分或者曝光时间内入射到感测器上的光积分强度。一般而言,其转换为图像中的像素值。也可被称为“感测器信号”。

[0050] 参考信号:源自于图案的信号。参考信号也可以表示为加权函数或加权向量或参考向量。

[0051] 相关度:参考信号和输入信号之间相关程度的量度。相关度优选地如此定义:如果参考信号和输入信号是彼此线性相关的,那么与两者非线性相关相比,相关度获得更大的量值。

[0052] 在某些情况下,相关度是光振荡幅度。

[0053] 图像:图像可被视为值的2D阵列(当用数码相机获得图像时),或者在光学器件中,图像表示在成像表面和图像表面之间存在关联,其中由所述成像表面上的一点发出的光线基本上会聚到所述图像表面上的一点上。

[0054] 强度：在光学器件中，强度是对每单位面积的光能的量度。在用包括多个单独感测元件的照相机记录的图像中，强度可以用于表示在单独感测元件上记录的光信号。在这种情况下，强度反映了在图像记录所涉及的曝光时间中在感测元件上每单位面积的光能对时间的积分。

[0055] 数学符号

[0056] A 在加权函数和记录的光信号之间的相关度。这可以是光振荡幅度。

[0057] I 光输入信号或感测器输入信号。这可以在感测器的积分或曝光时间内入射到感测器上的光积分强度。一般而言，其转化为图像中的像素值。

[0058] f 参考信号。也可以被称为加权值。

[0059] n 用一个和 / 或几个照相机感测器进行的、用于计算相关度的测量数量。

[0060] H 用像素数量表示的图像高度。

[0061] W 用像素数量表示的图像宽度。

[0062] 在正文中也根据需要对符号进行了解释。

[0063] 本发明的详细描述

[0064] 扫描器优选地包括位于光路上的至少一个分束器。例如可以借助分束器将物体的图像形成在照相机中。分束器的示例性使用在附图中示出。

[0065] 在本发明的优选实施例中，光在包括透镜系统的光学系统中传输。该透镜系统可以将图案向物体传输，并且使从物体反射的光成像到照相机。

[0066] 在焦阑光学系统中，离焦点具有与准确对焦点相同的放大率。焦阑投影因此可以显著地简化所获得的 2D 图像向 3D 图像的数据映射。因此，在本发明的优选实施例中，光学系统在被探测物体的空间中是基本上焦阑的。光学系统在图案和照相机的空间中也可以是焦阑的。

[0067] 变焦

[0068] 本发明的关键点是在扫描器相对于被扫描物体不发生移动的情况下的焦平面的变化，即扫描。优选地，焦平面可以变化，例如以周期的方式连续变化，而图案产生装置、照相机、光学系统和被扫描的物体相对于彼此固定。此外，3D 表面获得时间应当足够小以降低探头和齿之间的相对运动的影响，例如减小震动的影响。在本发明的优选实施例中，借助至少一个聚焦元件改变焦平面。优选地，焦平面以预定频率周期性地变化。所述频率可以是至少 1Hz，例如至少 2Hz、3、4、5、6、7、8、9 或至少 10Hz，例如至少 20、40、60、80 或至少 100Hz。

[0069] 优选地，聚焦元件是光学系统的一部分。即，聚焦元件可以是透镜系统中的透镜。优选的实施例包括装置，例如平移台，用于调节和控制聚焦元件的位置。由此焦平面可被改变，例如通过使聚焦元件沿着光轴前后平移。

[0070] 如果聚焦元件以几 Hz 的频率前后平移，则这可能导致扫描器的不稳定。因此本发明的优选实施例包括用于减小和 / 或消除来自聚焦元件调节系统的震动和 / 或晃动的装置，由此提高扫描器的稳定性。这可至少部分地通过用于固定和 / 或保持聚焦元件调节系统的质量中心的装置来提供；例如基本上配衡聚焦元件的移动的配重，举例来说，通过与聚焦元件的移动相反地平移配重。如果配重和聚焦元件相连并且借助相同的平移装置驱动，则可以容易地实现操作。然而这仅仅基本上可以将震动降低到一阶。如果配重平衡装置围绕配重平衡轴旋转，则可能有关于配重产生转矩的问题。因此，本发明的又一个实施例包括

用于减小和 / 或消除来自聚焦元件调节系统的一阶、二阶、三阶和 / 或更高阶振动和 / 或晃动的装置, 由此提高扫描器的稳定性。

[0071] 在本发明的另一个实施例中, 移动多于一个的光学元件以使焦平面移动。在这个实施例中, 希望这些元件一起移动并且希望这些元件是物理上相邻的。

[0072] 在本发明的优选实施例中, 光学系统对于所有的焦平面位置是焦阑的或接近焦阑的。因此, 即使光学系统中的一个或多个透镜可以前后移动以改变焦平面位置, 但是光学系统的焦阑度得到维持。

[0073] 本发明的优选实施例包括焦传动 (focus gearing)。焦传动是透镜移动和焦平面位置的移动之间的相关性。例如, 焦传动为 2 表示聚焦元件平移 1mm 对应于焦平面位置平移 2mm。可以通过对光学系统的合适设计提供焦传动。焦传动的优势在于聚焦元件的少量移动可对应于焦平面位置的大的改变。在本发明的具体实施例中, 焦传动在 0.1 和 100 之间, 例如在 0.1 和 1 之间, 例如在 1 和 10 之间, 例如在 2 和 8 之间, 例如在 3 和 6 之间, 例如至少 10, 例如至少 20。

[0074] 在本发明的另一实施例中, 聚焦元件是液体透镜。液体透镜可以控制焦平面而不使用任何移动部件。

[0075] 照相机

[0076] 照相机可以是配备标准 CCD 或 CMOS 芯片的标准数码相机, 每排感测器元件 (像素) 具有一个 A/D 转换器。然而, 为了提高帧频, 根据本发明的扫描器可以包括每排像素配备多个 A/D 转换器的高速照相机, 例如每排像素配备至少 2、4、8 或 16 个 A/D 转换器。

[0077] 图案

[0078] 本发明的另一个核心元素是具有投影到被扫描物体上的嵌入图案的探测光。该图案可以是静止的或是时变的。时变图案可以在物体上和 / 或物体内提供明与暗的变化。具体来讲, 当对于固定焦平面图案随时间变化时, 物体上的准确对焦区域将显示明与暗的振荡图案。离焦区域将在光振荡中显示较小对比度或没有对比度。静止图案可以在物体上和 / 或物体内提供明与暗的空间变化。具体来说, 准确对焦区域将显示在空间中明与暗的振荡图案。离焦区域将在空间光振荡中显示较小对比度或没有对比度。

[0079] 可以由外部光源提供光, 然而优选地, 扫描器包括至少一个光源和图案产生装置以产生图案。设计光源以使得图案的未遮盖部分的强度在空间上尽可能地接近均匀, 这在信噪比方面是有利的。在另一个实施例中, 光源和图案产生装置整合在单个组件中, 例如分段 LED。分段 LED 可以提供静止图案和 / 或它本身可以通过顺次打开和关闭不同的段来提供时变图案。在本发明的一个实施例中, 时变图案随时间周期性地变化。在本发明的另一个实施例中, 静止图案在空间上周期性地变化。

[0080] 来自光源 (内部或外部的) 的光可以通过图案产生装置传输, 由此产生图案。例如图案产生装置包括至少一个半透明和 / 或透明的图案元件。为了产生时变图案, 可以使用具有不透明遮盖件的轮。例如遮盖件包括优选地以对称的顺序布置的多个径向辐条。扫描器也可以包括用于使图案元件旋转和 / 或平移的装置。为了产生静止图案, 可以使用具有不透明遮盖件的玻璃板。例如遮盖件包括线图案或棋盘图案。一般来说, 所述遮盖件优选地拥有旋转和 / 或平移的周期性。图案元件位于光路中。因此, 来自光源的光可以通过图案元件传输, 例如, 通过图案元件横向传输。从而可以通过旋转和 / 或平移图案元件产生

时变图案。产生静止图案的图案元件在扫描过程中不必移动。

[0081] 相关性

[0082] 本发明的一个目的是提供短的扫描时间和实时处理,例如为扫描器操作者提供现场反馈以对整个齿弧进行快速扫描。然而,实时高分辨率 3D 扫描产生庞大的数据量。因此应当在扫描器外壳中,即靠近光学组件,提供数据处理,以降低向例如车、工作站或显示器的数据传输速率。为了加快数据处理时间和为了提取具有最佳信噪比的准确对焦信息,可以嵌入/执行各种相关技术。这例如可以在照相机电子设备中执行以区分离焦信息。应用图案以在被扫描的物体上提供具有嵌入的空间结构的照明。确定准确对焦信息与计算在这种空间结构的光信号(我们称为输入信号)和图案本身的变化(我们称为参考信号)之间的相关度有关。通常,如果输入信号与参考信号相符,相关度的量值高。如果输入信号显示小的变化或无变化,那么相关度的量值低。如果输入信号显示大的空间变化但是这种变化不同于参考信号的变化,那么相关度的量值也低。在本发明的又一个实施例中,扫描器和/或扫描头可以是无线的,由此简化扫描器的处理和操作并且在困难的扫描情况下提高可接近性,例如在口内或耳中的扫描。然而,无线操作可进一步增加对本地数据处理的需要以避免原始 3D 数据的无线传输。

[0083] 参考信号由图案产生装置提供并且可以是周期性的。输入信号的变化可以是周期性的,并且其可以被限制成一个或几个周期。参考信号可以与输入信号无关地确定。具体而言,在周期性变化的情况下,可与输入信号无关地知悉振荡输入和参考信号之间的相位。在周期性变化的情况下,相关性典型地与变化幅度相关。如果振荡输入和参考信号之间的相位不是已知的,则需要在输入信号的变化幅度可被确定之前,确定输入信号的余弦和正弦部分。当相位已知时,这不是必需的。

[0084] 以数学方式用一套不连续的测量值确定相关度的一种方式是由以下向量计算的点积:信号向量, $I = (I_1, \dots, I_n)$, 其中 $n > 1$ 元素代表感测器信号,和参考向量, $f = (f_1, \dots, f_n)$, 具有与参考加权的所述信号向量相同的长度。因而由下式给出相关度 A:

$$[0085] \quad A = f \cdot I = \sum_{i=1}^n f_i I_i$$

[0086] 信号向量中元素的下标表示在不同时间和/或在不同感测器记录的感测器信号。在连续测量的情况下,上述表达式被容易地概括为涉及积分而不是求和。在这种情况下积分参数是时间和/或一个或多个空间坐标。

[0087] 优选的实施例是当参考向量元素和为零($\sum_{i=1}^n f_i = 0$)时,除去相关信号或相关度的 DC 部分。焦点位置可以作为在所有聚焦元件位置上计算的相关度的极值而被找出。我们注意到,在这种情况下,相关度与两个变量之间的样本皮尔森相关系数成比例。如果没有除去 DC 部分,在所有聚焦元件位置上可存在 DC 信号的趋势,并且这种趋势在数值上可以是主导性的。在这种情况下,仍然可以通过分析相关度和/或其导数中的一个或多个找到焦点位置,优选地在除去趋势以后。

[0088] 优选地,应当找到总极值。然而,人为因素例如在光学系统上的污物可导致错误的全局最大值。因此,在某些情况下,找出局部极值可能是明智的。如果被扫描的物体足够半透明,可能可以识别内表面或表面部分,否则内表面或表面部分会被遮蔽。在这种情况下,可能有几个对应于表面的局部极值,并且处理几个或所有极值可能是有利的。

[0089] 相关度典型地可以基于输入信号进行计算,输入信号可作为数码图像(即具有有限数量的不连续像素的图像)而被获得。因此,便利地,可以对图像像素或其像素组进行用于获得相关度的计算。因此相关度可以被形象化为伪图像。

[0090] 在本发明中应用的相关度受锁定放大器的原理启发,其中输入信号与参考信号相乘并且在特定时间上积分。在本发明中,参考信号由图案提供。

[0091] 时间相关性

[0092] 时间相关性涉及时变图案。当图案构形变化时,照相机中的单独光感测元件中的光信号被记录了几次。因而,至少用以不同次数记录的感测器信号计算相关度。

[0093] 在 WO 98/45745 中教导了估计在周期性变化光信号中的光振荡幅度的原理,其中通过首先估计光强度振荡的余弦和正弦部分来计算幅度。然而,由统计学的观点来说,这不是最佳方法,因为为了能够计算幅度估计了两个参数。

[0094] 在本发明的这个实施例中,独立地了解在每个光信号记录的图案构形使得能够计算在每个光感测元件的相关度。

[0095] 在本发明的某些实施例中,扫描器包括用于获得图案构形的了解的装置。为了提供这种了解,扫描器优选地进一步包括用于登记和/或监测时变图案的装置。

[0096] 在照相机中每个单独的光感测元件,即感测器元件,都感测到光信号的变化,该变化对应于用于照明物体的光的变化。

[0097] 本发明的一个实施例通过平移和/或旋转图案元件获得图案的时间变化性。在这种情况下,可以借助图案元件上的位置编码器结合对图案几何形状的预先了解获得图案构形,该图案几何形状引起横跨单独感测元件的图案变化。因此对图案构形的了解作为以下两者的结合而产生:对导致横跨不同感测元件的变化的图案几何形状的了解,和在 3D 扫描过程中的图案登记和/或监测。因而在旋转作为图案元件的轮的情况下,可以通过例如安装在轮圈上的编码器获得轮的角位置。

[0098] 本发明的一个实施例涉及具有平移和/或旋转周期性的图案。在这个实施例中,如果图案基本上以恒定速度平移和/或旋转,则有明确的图案振荡周期。

[0099] 本发明的一个实施例包括在一个图案振荡周期过程中对多个感测器元件中的每一个进行多次取样的装置,优选地在每个图案振荡周期过程中取样整数次,例如取样 2、3、4、5、6、7 或 8 次,由此确定在周期内的光变化。

[0100] 在光变化和图案之间的时间相关度可以通过在一个振荡周期(或至少一个振荡周期)过程中在照相机上记录几个图像获得。在一个振荡周期过程中记录的图像数量被表示为 n 。与在所有感测元件上独立了解的图案变化(即获得对图案构形的了解)以及记录的图像相结合的对于每个单独图像的图案位置登记使得能够有效提取照相机中的每个单独感测元件中的相关度。对于具有标识 j 的光感测元件,该元件的 n 个被记录的光信号表示为 $I_{1,j}, \dots, I_{n,j}$ 。该元件的相关度 A_j 可以表达为:

$$[0101] \quad A_j = \sum_{i=1}^n f_{i,j} I_{i,j}$$

[0102] 在这里,参考信号或加权函数 f 由对图案构形的了解获得。 f 具有两个下标 i, j 。 f 随着第一个下标的变化来源于在每个图像记录过程中对图案位置的了解。 f 随着第二个下标的变化来源于对图案几何形状的了解,图案几何形状可以在 3D 扫描之前确定。

[0103] 优选地,但并不一定,参考信号 f 在时间上平均为零,即对于所有的 j 我们具有:

$$[0104] \quad \sum_{i=1}^n f_{i,j} = 0$$

[0105] 以抑制相关度或光变化的 DC 部分。当焦点位置在一组值上变化时,对于照相机中的单个感测器元件而言与准确对焦于物体上的图案对应的焦点位置将通过该感测器元件的相关度极值而给出。焦点位置能以等步幅从扫描区域的一端到另一端变化。

[0106] 为了借助照相机获得物体的清晰图像,物体必须被准确对焦,而且在照相机的图像感测器的曝光期间照相机的光学器件与物体必须处于固定的空间关系中。对于本发明而言,这意味着图案和焦点应当以不连续的步幅发生变化,从而能够对照相机中取样的每个图像固定图案和焦点,即,在感测器阵列的曝光时间内进行固定。然而,为了增加图像数据的敏感度,感测器阵列的曝光时间应当与感测器帧频容许的一样高。因此,在本发明的优选实施例中,在图案连续变化(例如通过连续旋转图案轮)并且焦平面连续移动时在照相机中记录(取样)图像。这意味着单独的图像将会有轻微模糊,因为它们是当图案正在变化并且焦平面发生移动时图像的时间积分的结果。能预料到这会导致数据质量变劣,但是在实践中图案和焦平面同时变化的优点大于缺点。

[0107] 在本发明的另一个实施例中,当图案固定且焦平面连续移动,即图案不移动时,在照相机中记录(取样)图像。当光源是分段光源时,例如以适当的方式闪光的分段 LED,可能是这种情况。在这个实施例中,通过结合以下两点的组合来获得图案的了解:对分段 LED 上多个单独段的几何形状的预先了解,该几何形状产生横跨光感测元件的变化,和在每个记录对 LED 的不同段施加的电流。

[0108] 在本发明的又一个实施例中,当图案连续变化且焦平面固定时在照相机中记录(取样)图像。

[0109] 在本发明的又一个实施例中,当图案和焦平面都固定时在照相机中记录(取样)图像。

[0110] 时间相关性原理一般可以应用在图像分析中。因此,本发明的又一个实施例涉及一种用于计算在至少一个(光电)光敏元件中光强度振荡幅度的方法,所述光强度振荡由周期性变化的照明图案产生,并且所述幅度在至少一个图案振荡周期中计算,所述方法包括下列步骤:

[0111] - 在图案振荡周期中对下列对象提供预定数量的取样次数:

[0112] ○ 对光敏元件取样由此提供所述光敏元件的信号,和

[0113] ○ 对所述取样提供周期性变化照明图案的角位置和 / 或相位,和

[0114] - 通过在所述预定数量的取样次数上对预定周期函数与相应光敏元件信号的乘积求积分来计算所述(多个)幅度,其中所述周期函数是周期性变化照明图案的角位置和 / 或相位的函数。

[0115] 这也可以表达为:

$$[0116] \quad A = \sum_i f(p_i) I_i$$

[0117] 其中 A 是计算的幅度或相关度, i 是对每个取样的下标, f 是周期函数, P_i 是对于取样 i 的照明图案的角位置 / 相位,和 I_i 是对于取样 i 的光敏元件的信号。优选地,周期函数在图案振荡周期上平均为零,即:

$$[0118] \quad \sum_i f(p_i) = 0$$

[0119] 为了将该原理推广到例如在感测器阵列中的多个光敏元件,对于具体光敏元件的照明图案的角位置/相位可由与照明图案关联的角位置/相位加上与具体光敏元件相关联的恒定补偿组成。由此,光敏元件 j 中的光振荡幅度或相关度可以表达为:

$$[0120] \quad A_j = \sum_i f(\theta_j + p_i) I_{i,j}$$

[0121] 其中 θ_j 是对光敏元件 j 的恒定补偿。

[0122] 可以通过具有不透明遮盖件的旋转轮产生周期性变化的照明图案,该不透明遮盖件包括以对称顺序布置的多个径向辐条。由此,轮的角位置将对应于图案的角位置,并且该角位置可以通过安装在轮的轮圈上的编码器获得。对于不同图案位置横跨不同感测器元件的图案变化可以在 3D 扫描之前在校准程序中确定。对该图案变化和图案位置的了解的组合构成了对图案构形的了解。该图案的周期例如可以是两个辐条之间的时间,并且该周期的单个或多个光敏元件的幅度可以通过在这个周期中取样例如四次来计算。

[0123] 周期性变化的照明图案可以通过与该线正交的伦奇刻线移动而产生,并且位置由编码器测量。该位置对应于所产生的图案的角位置。作为选择,可以使用棋盘图案。

[0124] 周期性变化的照明图案可以通过多个 LED 的一维阵列产生,该多个 LED 可以以线方式控制。

[0125] 变化的照明图案可以通过基于 LCD 或 DLP 的投影器产生。

[0126] 光学相关性

[0127] 上述相关性原理(时间相关性)要求对时变图案的某种登记,例如了解记录在照相机中的每个光水平的图案构形。然而在本发明的另一个实施例中,可以提供没有这种登记的相关性原理。该原理称为“光学相关性”。

[0128] 在本发明的这个实施例中,图案本身的图像和利用投影到其上的图案扫描的物体的至少一部分的图像在照相机上结合。即照相机上的图像是图案本身和利用投影到其上的图像探测的物体两者的叠加。表达这一点的不同方式是:照相机上的图像基本上是投影到物体上的图案的图像乘以图案本身。

[0129] 这可以通过以下方式提供。在本发明的又一个实施例中,图案产生装置包括具有不透明遮盖件的透明图案元件。探测光通过图案元件传输,优选地通过图案元件横向传输。由被扫描物体返回的光以相反路线传输通过所述图案元件并且在照相机上成像。这优选以如下方式完成:照明物体的图案的图像和图案本身的图像在两者都成像到照相机上时重合。图案的特别实例是具有不透明遮盖件的旋转轮,遮盖件包括以对称顺序布置的多个径向辐条,以使得图案具有旋转周期性。在这个实施例中,如果图案基本上以恒定速度旋转,则有明确的图案振荡周期。我们将振荡周期定义为 $2\pi/\omega$ 。

[0130] 我们指出,在本发明的所述实施例中,照明图案是明与暗的图案。具有标识 j 的照相机中的光感测元件在照相机积分时间 δt 内具有与积分光强度成比例的信号 I_j , I_j 由下式给出:

$$[0131] \quad I_j = K \int_t^{t+\delta} T_j(t') S_j(t') dt'$$

[0132] 这里, K 是感测器信号的比例常数, t 是照相机积分时间的开始, T_j 是成像到第 j 个

光感测元件上的旋转图案元件部分的时变传输,而 S_j 是由被扫描物体返回并且成像到第 j 个光感测元件上的光的时变光强度。在所述的实施例中, T_j 是基本上如下定义的阶跃函数: 对于 $\sin(\omega t + \phi_j) > 0$ 时 $T_j(t) = 0$, 而在其它时候 $T_j(t) = 1$ 。 ϕ_j 是取决于第 j 个成像感测器的位置的相位。

[0133] 光感测元件上的信号是图案和由被扫描物体返回的光的相关度。时变传输起到参考信号的作用,且由被扫描物体返回的光的时变光强度起到输入信号的作用。本发明这个实施例的优点是:具有强度感测元件的普通 CCD 或 CMOS 照相机可以直接用于记录相关度,因为其表现为感测元件上的强度。表达这一点的另一种方式是:相关度的计算发生在模拟的光学领域中而不是在电子领域例如 FPGA 或 PC 中。

[0134] 因而,当焦点位置在一组值上变化时,对于照相机中的单个感测器元件,对应于在被扫描物体上准确对焦的图案的焦点位置因而将由该感测器元件记录的相关度的最大值给出。焦点位置可以由扫描区域的一端到另一端以等步幅变化。本发明的一个实施例包括用于在一系列焦平面位置上记录和/或积分和/或监测和/或储存多个感测器元件中的每一个的装置。优选地,应当找到全局最大值。然而,人为因素例如在光学系统上的污物可导致错误的全局最大值。因此,在某些情况下,找出局部最大值可能是明智的。

[0135] 由于参考信号不是平均为零,所以相关度具有 DC 分量。由于没有除去 DC 部分,所以在所有聚焦元件位置上可能存在 DC 信号的趋势,并且这种趋势在数值上可以是主导性的。在这种情况下,仍然可以通过分析相关度和/或其导数中的一个或多个找到焦点位置。

[0136] 在本发明的又一个实施例中,照相机积分时间是图案振荡周期的整数 M , 即 $\delta t = 2\pi M/\omega$ 。这个实施例的一个优点是:与照相机积分时间不是图案振荡周期的整数相比,可在有噪音的情况下测得具有更佳信噪比的相关度量值。

[0137] 在本发明的又一个实施例中,照相机积分时间比图案振荡周期长得多,即 $\delta t > 2\pi M/\omega$ 。许多倍的图案振荡时间在这里意味着例如照相机积分时间是振荡时间的至少 10 倍,或者更优选地例如是振荡时间的至少 100 或 1000 倍。该实施例的一个优点是:不需要照相机积分时间和图案振荡时间的同步,这是因为对于与图案振荡时间相比非常长的照相机积分时间而言,记录的相关度与准确的同步基本上无关。

[0138] 等同于时间相关性原理,光学相关性原理可一般地应用于图像分析中。因此,本发明的又一个实施例涉及在至少一个(光电)光敏元件中计算光强度振荡幅度的方法,所述光强度振荡通过变化的照明图案和图案本身的叠加而产生,且所述幅度通过在多个图案振荡周期上对来自于所述至少一个光敏元件的信号进行时间积分而计算。

[0139] 空间相关性

[0140] 上述相关性原理(时间相关性和光学相关性)要求图案随时间变化。如果光学系统和照相机提供扫描物体所需的至少两倍的横向分辨率,则可能采用静止图案扫描,即不随时间变化的图案。该原理称为“空间相关性”。因此至少利用在不同感测器地点记录的感测器信号计算相关度。

[0141] 光学系统的横向分辨率应当理解为光学系统例如透镜系统中光学元件的如下性能:将空间频率成像到被扫描物体上直到某一程度。光学系统的调制传递曲线典型地用于描述在光学系统中空间频率的成像。例如,某人可以将光学系统的分辨率定义为在调制传递曲线降低到例如 50% 的情况下被扫描物体上的空间频率。照相机的分辨率是单独的照相

机感测器元件的间隔与光学系统的分辨率的结合效果。

[0142] 在空间相关性中,相关度是指发生在空间上而不是时间上的输入信号和参考信号之间的相关性。因此,在本发明的一个实施例中,测量的 3D 几何形状的分辨率等于照相机的分辨率。然而,对于空间相关性,测量的 3D 几何形状的分辨率低于照相机的分辨率,例如低至少 2 倍,例如低至少 3 倍,例如低至少 4 倍,例如低至少 5 倍,例如低至少 10 倍。感测器元件阵列优选地被拆分为多个感测器元件组,优选为矩形组,例如感测器元件的正方形组,优选地相邻的感测器元件的正方形组。因而,扫描的分辨率,即测量的 3D 几何形状的分辨率,将通过这些感测器元件组的大小而确定。在这些感测器元件组内提供光信号的振荡,然后可以通过分析感测器元件组获得光振荡的幅度。优选地,在数据处理阶段中将感测器元件阵列拆分为组,即该拆分不是物理的拆分,从而可能要求特别适配的感测器阵列。因此,拆分为组是“虚拟的”,即使组中的单个像素是实际的物理像素。

[0143] 在本发明的一个实施例中,图案沿着至少一个空间坐标具有平移周期。在本发明的又一个实施例中,空间周期图案与感测器元件阵列的行和 / 或列对齐。例如,在静止线图案的情况下,照相机中像素的行或列可与图案的线平行。或者在静止棋盘图案的情况下,棋盘的行和列可分别与照相机中像素的行和列对齐。对齐表示图案在照相机上的图像与照相机的感测器阵列中的感测器元件的“图案”对齐。因此,图案产生装置和照相机的某种物理定位和取向要求扫描器的光学组件的某种构形以使图案与照相机的感测器阵列对齐。

[0144] 在本发明的又一个实施例中,图案的至少一个空间周期对应于一组感测器元件。在本发明的又一个实施例中,所有的感测器元件组包括相同数量的元件并且具有相同的形状,例如,当棋盘图案的周期对应于照相机上的例如 2×2 、 3×3 、 4×4 、 5×5 、 6×6 、 7×7 、 8×8 、 9×9 、 10×10 或更多像素的正方组时。

[0145] 在另一个实施例中,图案的一个或多个边与感测器元件阵列的一个或多个边对齐和 / 或重合。例如棋盘图案可以与照相机像素以如下方式对齐:棋盘图案在照相机上的图像的边与像素的边重合。

[0146] 在空间相关性中,对图案构形的独立了解使得能够计算每组光感测的相关度。对于空间周期性照明,可以计算这种相关度而不必估计光强度振荡的余弦和正弦部分。对图案构形的了解可以在 3D 扫描之前获得。

[0147] 在本发明的又一个实施例中,在具有标识 j 的一组感测器元件内,相关度 A_j 借助下列公式确定:

$$[0148] \quad A_j = \sum_{i=1}^n f_{i,j} I_{i,j}$$

[0149] 其中, n 是一组感测器中的感测器元件的数量, $f_j = (f_{1,j}, \dots, f_{n,j})$ 是由了解图案构形获得的参考信号向量, $I_j = (I_{1,j}, \dots, I_{n,j})$ 是输入信号向量。对于在具有 N 个感测器作为正方形长度的正方区域中分组感测器的情况,则 $n = N^2$ 。

[0150] 优选,但并不一定,参考信号向量的元素在空间上平均为零,即对于所有的 j ,我们具有:

$$[0151] \quad \sum_{i=1}^n f_{i,j} = 0$$

[0152] 以抑制相关度的 DC 部分。当焦点位置在一组值上变化时,对于照相机中的单组感

测器元件,对应于在物体上准确对焦的图案的焦点位置将通过该感测器元件组的相关度极值给出。焦点位置可以从扫描区域的一端到另一端以等步幅变化。

[0153] 在如下静止棋盘图案的情况下:其边与照相机像素对齐并且与具有偶数个像素如 2×2 、 4×4 、 6×6 、 8×8 、 10×10 的像素组对齐,则对参考向量 f 的自然选择将是:对于成像为棋盘的明亮正方形的像素,向量元素取值为 1,对于成像为棋盘的黑暗正方形的像素,取值为 -1。

[0154] 等同于其它相关性原理,空间相关性原理一般可应用于图像分析中。特别是在照相机的分辨率高于最终图像所必须的情况中。因此,本发明的又一个实施例涉及在至少一个光敏元件组中计算光强度振荡的(多个)幅度的方法,所述光强度振荡通过空间变化的静止照明图案产生,所述方法包括下列步骤:

[0155] - 在所述光敏元件组中提供来自于每个光敏元件的信号,和

[0156] - 通过在所述光敏元件组上对预定函数和来自于相应光敏元件的信号的乘积进行积分来计算所述(多个)幅度,其中所述预定函数是反映照明图案的函数。

[0157] 为了将该原理推广到例如在感测器阵列中的多个光敏元件上,在组 j 中的光振荡幅度或相关度可以表示为:

$$[0158] \quad A_j = \sum_{i=1}^n f(i, j) I_{i, j}$$

[0159] 其中, n 是组 j 中的感测器元件数量, $I_{i, j}$ 是来自于组 j 中第 i 个感测器元件的信号,和 $f(i, j)$ 是反映图案的预定函数。

[0160] 与时间相关性相比,空间相关性具有不需要移动图案的优点。这意味着对图案构形的了解可在 3D 扫描之前获得。相反,时间相关性的优点是其更高的分辨率,因为不需要像素分组。

[0161] 当用容许非常高的帧频的图像感测器实现时,所有的相关性原理都能够实现运动中物体的 3D 扫描而几乎没有移动模糊。随时间跟踪移动物体(“4D 扫描”)也变得可能,这例如在机器视觉和动态变形测量中是有用的应用。在本文中,非常高的帧频是至少 500,但优选至少 2000 帧每秒。将相关度极值转换为 3D 世界坐标

[0162] 可以由通过光学系统的光线跟踪而将识别的照相机感测器或照相机感测器组的焦点位置关联到 3D 世界坐标中。在能够进行这种光线跟踪之前,需要了解光学系统的参数。本发明的一个实施例包括校准步骤以获得这种了解。本发明的又一个实施例包括如下校准步骤:其中对于多个焦点位置记录具有已知几何形状的物体的图像。该物体可以是平面棋盘图案。然后,可以通过产生模拟的校准物体的光线跟踪图像,然后调节光学系统参数以使模拟图像和记录图像之间的差别最小化来校准扫描器。

[0163] 在本发明的又一个实施例中,校准步骤要求对于几个不同校准物体的多个焦点位置和/或几个不同取向和/或一个校准物体的多个位置记录图像。

[0164] 当了解了光学系统的参数,某人可以采用后向光线跟踪技术来估计 $2D \rightarrow 3D$ 的映射。这要求了解扫描器的光学系统,优选地通过校准。可以进行下列步骤:

[0165] 1. 由(在图像感测器上的)图像的每个像素,跟踪某个数量的光线,所述光线由图像感测器开始并且通过光学系统(后向光线跟踪)。

[0166] 2. 由发射出的光线,计算焦点,即所有这些光线基本上交叉的点。该点代表 2D 像

素将会准确对焦的 3D 坐标,即,产生光振荡幅度的全局最大值。

[0167] 3. 对所有像素及其相应的 3D 坐标产生查阅表。

[0168] 上述步骤在覆盖扫描器操作范围的大量不同聚焦透镜位置上重复。

[0169] 镜面反射

[0170] 通常需要在物体上的准确对焦图案图像的高空间对比度以获得照相机上的相关度的良好信噪比。因而可能需要获得对应于相关度极值的焦点位置的良好估计。通常在具有漫反射面和可忽略的透光性的物体中容易获得成功扫描的该充足信噪比。然而,对于一些物体而言,难以获得高空间对比度。

[0171] 例如,一种困难的物体是一种具有如下特征的物体:其显示出入射光的多次散射,该入射光的光漫射长度与成像到物体上的空间图案的最小特征尺寸相比大。人的牙齿就是这种物体的实例。人的耳朵和耳道是其他实例。在口腔内扫描的情况下,优选地应当在不需向牙齿喷射和/或干燥牙齿以降低镜面反射和透光性的情况下提供扫描。可以通过从物体到照相机上的镜面反射的优先成像获得改进的空间对比度。因此,本发明的一个实施例包括对镜面反射光和/或漫反射光优先/选择成像的装置。如果扫描器进一步包括使探测光偏振的装置,则这可以例如借助至少一个偏振光束分光器来提供。例如可以提供偏振光束分光器以在照相机中形成物体的图像。这可用于消除镜面反射,因为如果入射光是线性地偏振的,则来自物体的镜面反射具有保持其偏振状态的性质。

[0172] 根据本发明的扫描器可进一步包括改变探测光和/或从物体反射的光的偏振状态的装置。这可以借助优选地位于光路中的延迟板而提供。在本发明的一个实施例中,延迟板是四分之一波长的延迟板。线偏振光波在通过四分之一波长板时被转换为圆偏振光波,其中四分之一波长板的快轴相对线偏振方向的取向为 45 度。这可以用来增强镜面反射,因为来自物体的镜面反射具有下列性质:它翻转圆偏振光波的螺旋性,而由一个或多个散射事件反射的光被去偏振。

[0173] 视域(扫描长度)

[0174] 在本发明的一个实施例中,以基本上平行于光轴的方向将探测光向物体传输。然而,对于进入小空间例如患者口腔的扫描头,需要扫描头的顶端足够小。同时,出自扫描头的光需要以不同于光轴的方向离开扫描头。因此,本发明的又一个实施例包括用于将探测光导入不同于光轴的方向和/或使物体成像的装置。这可以借助优选地沿光轴布置的至少一个折光元件来提供,折光元件用于将探测光导入不同于光轴的方向和/或使物体成像。折光元件可以是光反射元件,例如镜子或棱镜。在本发明的一个实施例中,45 度的镜子用作折光光学器件以将光路引导到物体上。由此沿垂直于光轴的方向引导探测光。在这个实施例中,扫描顶端的高度至少与扫描长度一样大,并且优选具有大约相等的尺寸。

[0175] 本发明的一个实施例包括至少两个光源,例如具有不同波长和/或不同偏振的光源。优选地还有用于控制所述至少两个光源的控制装置。优选地,该实施例包括用于合并和/或归并来自所述至少两个光源的光的装置。优选地,还有用于分离来自于所述至少两个光源的光的装置。如果使用波导光源,则它们可以通过波导归并。然而,也可以提供一个或多个漫射体以归并光源。

[0176] 可以通过部分光传输和部分光反射的至少一个光学设备提供分离和/或归并,所述光学设备优选沿光轴布置,光学设备例如有涂层的镜子或有涂层的板。一个实施例包

括至少两个所述光学设备,所述光学设备优选沿光轴移动。优选地,至少一个所述光学设备传输处于某些波长和 / 或偏振的光而反射处于其它波长和 / 或偏振的光。

[0177] 本发明的一个示例性实施例包括至少第一和第二光源,所述光源具有不同的波长和 / 或偏振,和其中

[0178] 第一光学设备以不同于光轴的方向反射来自于所述第一光源的光并且传输来自于所述第二光源的光,和

[0179] 第二光学设备以不同于光轴的方向反射来自于所述第二光源的光。优选地,所述第一和第二光学设备以平行方向,优选以垂直于光轴的方向,反射探测光,由此使物体表面的不同部分成像。所述物体表面的不同部分可以是至少部分重叠的。

[0180] 因此,例如使用适当涂层的板将来自于发射不同波长(和 / 或偏振)的光的第一和第二光源的光归并到一起,该适当涂层的板传输来自于第一光源的光并反射来自于第二光源的光。在沿着光轴的扫描顶端,第一光学设备(例如适当涂层的板,二向色滤光片)将来自于第一光源的光反射到物体上,并且将来自于第二光源的光传输到在扫描顶端末尾,即光轴更后端位置的所述第二光学设备(例如镜子)上。在扫描过程中,使焦点位置移动以使来自第一光源的光用于将图案的图像投影到第一光学设备下方的位置,同时第二光源关闭。记录第一光学设备下方区域中物体的 3D 表面。然后,第一光源关闭而第二光源打开,并且使焦点位置移动以使来自第二光源的光用于将图案的图像投影到第二光学设备下方的位置。记录第二光学设备下方区域中的物体的 3D 表面。由分别来自两个光源的光所覆盖的区域可部分重叠。

[0181] 在本发明的另一个实施例中,借助弯曲的折光镜将探测光导入不同于光轴的方向。这个实施例可包括一个或多个光学元件,例如透镜,其具有非球面的表面以提供修正的光学成像。

[0182] 本发明的又一个实施例包括用于使(多个)镜子沿光轴平移的至少一个平移台。这容许扫描顶端的高度小于扫描长度。通过将几个扫描与沿着光轴处于不同位置的(多个)镜子合并可以获得大扫描长度。

[0183] 在本发明的另一个实施例中,借助至少一个光栅将探测光导入不同于光轴的方向,该光栅提供失真的放大以使图案在被扫描物体上的图像受到拉伸。光栅可以是闪耀光栅。在这个实施例中,光源需要为单色的或半单色的。

[0184] 上述适合增加扫描长度的实施例可包括用于提供光源和聚焦元件的配合的控制装置。

[0185] 彩色扫描

[0186] 本发明的一个实施例仅仅是登记被扫描物体的表面拓扑结构(几何形状)。然而,本发明的另一个实施例适于获得被扫描表面的颜色,即能够登记被扫描物体的单独表面元素的颜色以及被扫描物体的表面拓扑结构。为了获得颜色信息,光源需要为白色的或者包括至少三个单色光源,其具有分布在电磁波谱的可见部分上的颜色。

[0187] 为了提供颜色信息,感测器元件的阵列可以是彩色图像感测器。图像感测器可以配有 Bayer 滤色片方案。然而,可以提供其它的彩色图像感测器类型,例如 Foveon 类型的彩色图像感测器,其中图像感测器在每个感测器元件中提供颜色的登记。

[0188] 本发明的一个实施例包括每次选择探测光的一种颜色的装置,即在探测光的不同

颜色之间选择性切换,由此用不同的颜色照明物体。如果使用白色光源,则必须提供某种色彩过滤。优选包括多个滤色片,例如红色、绿色和蓝色滤色片,以及将所述滤色片单独插入白色光源前方的装置,由此选择探测光的颜色。

[0189] 在本发明的一个实施例中,将滤色片整合到图案产生装置中,即,图案产生装置包括滤色片,例如基本上以单色着色的半透明和/或透明部件。例如,图案元件例如为具有不透明遮盖件的旋转轮,且其中半透明/透明部件是滤色片。例如轮的三分之一是红色,三分之一是绿色且三分之一是蓝色。

[0190] 也可以通过至少三个单色光源,例如激光或发光二极管的光源,提供不同颜色的探测光,所述光源具有分布在波长光谱的可见光部分的波长。这一般还会要求用于归并所述光源的装置。例如适当涂层的板。在波导光源的情况下,可以通过波导元件提供归并。

[0191] 为了处理探测光的不同颜色,光学系统优选地是基本上消色差的。

[0192] 本发明的一个实施例包括对于一焦平面位置在探测光的至少两种颜色,优选三种颜色,例如红色、绿色和蓝色之间切换的装置。即,对于单个焦平面位置,可在探测光的不同颜色之间切换。例如通过打开和关闭不同的单色光源(每次仅有一个光源打开)或者通过使用不同的滤色片。此外,可以对每个焦平面位置每种颜色确定多个感测器元件中的每一个的光信号幅度。即,对于每个焦点位置都可以切换探测光的颜色。嵌入的时变图案提供单色振荡光信号,且可以对于该颜色确定每个感测器元件中的信号幅度。切换到下一个颜色可再次确定幅度。当对所有颜色确定了幅度时,改变焦点位置并重复该过程。然后,被扫描表面的颜色可以通过合并和/或加权来自于多个感测器元件的颜色信息而获得。例如,表达为例如每个表面元素的 RGB 颜色坐标的颜色可以通过适当地加权对应于最大幅度的每个颜色的幅度信号而重建。也可以在提供静止图案时应用该技术,其中至少一部分图案的颜色是随时间变化的。

[0193] 为了降低所处理的数据量,可以选择成像的颜色分辨率低于空间分辨率。然后通过数据插值提供颜色信息。因此,在本发明的一个实施例中,对于选定的全色焦平面位置的每种颜色确定多个感测器元件中的每一个的光信号幅度,并且对于每个焦平面位置的一种颜色确定多个感测器元件中的每一个的光信号幅度。然后可以通过对来自全色焦平面位置的颜色信息进行插值来获得被扫描表面的颜色。因此,例如以 N 个焦点位置的间隔对所有颜色登记幅度;同时选择一种颜色以确定所有焦点位置的幅度。N 是可以为例如 3、5 或 10 的数。这导致小于表面拓扑结构的分辨率的颜色分辨率。也可以在提供静止图案时应用该技术,其中至少一部分图案的颜色是随时间变化的。

[0194] 本发明的另一个实施例没有登记全部颜色信息并且采用仅仅两个具有不同颜色的光源。这种情况的实例是牙齿扫描器,其用红色和蓝色光区分硬(牙齿)组织和软(牙龈)组织。

[0195] 印模扫描

[0196] 本发明的一个实施例适于印模扫描,例如牙齿印模和/或耳道印模的扫描。

[0197] 小腔扫描

[0198] 根据本发明的扫描器的具体应用与腔,特别是体腔的扫描有关。腔内的扫描可与腔内物体的扫描有关,例如口中牙齿的扫描。然而,例如耳朵的扫描与腔本身内表面的扫描有关。一般来说,腔特别是小腔的扫描要求某种用于扫描器的探头。因此,在本发明的一个

实施例中,探测光的发射点和反射光的收集点位于探头上,所述探头适于进入腔内,例如体腔。

[0199] 在本发明的另一个实施例中,探头适于扫描腔表面例如耳道的至少一部分。扫描耳朵外部的至少一部分和 / 或耳道并且形成耳朵的虚拟或真实模型的能力在现代的顾客特制的助听器(例如耳套或耳模)的设计中是很重要的。如今,以两步程序进行耳朵的扫描,其中首先获得耳朵的硅树脂印模,和随后在第二步中使用外部扫描器对印模进行扫描。

[0200] 因此,本发明的一个实施例包括:

[0201] 容纳照相机、图案产生装置、焦点变化装置和数据处理装置的外壳,和

[0202] 容纳第一光学系统的至少一个探头,优选地基本上细长的探头。

[0203] 优选地,探测光的发射点和从扫描物体返回的光的收集点位于所述探头上。探头中的光学系统用于将来自外壳的探测光向物体传输,也用于将从物体返回的光向后向放置照相机的外壳传输和 / 或成像。因此,探头中的光学系统可包括透镜系统。在本发明的一个实施例中,探头可包括至少一个光学纤维和 / 或纤维束,用于传输 / 传送 / 引导探测光和 / 或从物体表面返回的光。在这种情况下,(多个)光学纤维可起到仅在探头内部传送光(即探测光和返回光)的光学中继系统的作用。在本发明的一个实施例中,探头是内窥镜装置。探头可以是刚性的或柔性的。在探头中使用(多个)光学纤维可例如提供具有小直径的柔性探头。

[0204] 在本发明的一个实施例中,仅仅借助探头中的光学系统,第一光学系统将光传输给物体并成像。然而,在本发明的又一个实施例中,外壳可进一步包括第二光学系统。

[0205] 在本发明的又一个实施例中,探头是可以从外壳上分离的。因而优选地,探测光的第一发射点和返回光的第一收集点位于探头上,并且探测光的第二发射点和返回光的第二收集点位于外壳上。这可能在外壳和探头两者中都需要光学系统。因此,可以用装配到外壳上的探头获得扫描。然而,也可以用与外壳分离的探头获得扫描,即外壳本身可以是独立的扫描器。例如,探头可以适合于插入并扫描腔的内部,而外壳可以适合于外表面的扫描。探头的装配可包括外壳和探头之间的机械和 / 或电子传递。例如,装配探头可将电信号提供给外壳中的控制电子设备,其用信号表示设备的电流构形。

[0206] 在本发明的一个实施例中,以基本上平行于光轴和 / 或探头纵轴的方向将探测光导向物体。在又一个实施例中,探头包括后部的反射元件,例如镜子,用于将探测光导入不同于光轴的方向,优选地垂直于光轴的方向。用于具有分离探头的独立扫描器外壳的上述实例,探测光可沿平行于外壳中的光学系统(即第二光学系统)的光轴的方向离开外壳,然而在装配有探头的环境下,探测光可被导入不同于探头的光学系统(即第一光学系统)的光轴的方向。由此探头更好地适于扫描腔。

[0207] 在本发明的某些实施例中,扫描器中产生的废热用于加热探头从而当探头在体腔如口腔内部时没有或有较少的凝聚发生在探头上。废热例如可以由处理电子设备、光源和 / 或移动聚焦元件的机械装置产生。

[0208] 在本发明的某些实施例中,当将随后的扫描登记到更大的 3D 表面模型失败时,扫描器向使用者提供反馈。例如,扫描器可使光源闪光。

[0209] 此外,探头可包括用于使反射元件优选地围绕基本上平行于光轴和 / 或探头纵轴的轴旋转 / 自旋的装置。由此,探头可以适合于提供围绕光轴和 / 或探头纵轴的 360° 扫

描,优选地探头和 / 或扫描器不旋转。

[0210] 在本发明的又一个实施例中,多个不同的探头匹配外壳。由此,适于不同环境、表面、腔等等的不同探头可装配到外壳上以解决不同的扫描情况。这方面的具体实例是当扫描器包括适于扫描人耳内部的第一探头和适于扫描所述人耳外部的第二探头时。取代第二探头的可以是外壳本身,即,具有分离探头的外壳,其适于扫描所述人耳的外部。即,外壳可以适合于进行 3D 表面扫描。换句话说:具有装配好的探头的外壳可适合于扫描人耳的内部,而具有分离探头的外壳可适合于扫描所述人耳的外部。优选地,提供用于归并和 / 或合并耳内部和外部 3D 数据的装置,由此提供人耳的完整 3D 模型。

[0211] 对于本发明的手持实施例,手枪状的设计是人体工程学设计,因为该装置舒适地搁在操作者手内,其中大部分质量搁在手和 / 或手腕上。在这种设计中,有利的是能够在多个位置对上述后部反射进行取向。例如,可能旋转具有后部反射元件的探头,有或没有将其从扫描设备的主体上分离的步骤均可。可分离的探头还可以是能够承受压热的,这对于例如作为医疗设备应用于人体中的扫描器肯定是有利的。对于借助马达来实施物理移动聚焦元件的本发明实施例,有利的是将该马达放置在手枪状外形的手柄内部。

[0212] 运动、重力和磁场感测器的使用

[0213] 本发明的手持实施例优选地包括运动感测器例如加速计和 / 或陀螺仪。优选地,这些运动感测器是小型的,例如微电子机械系统 (MEMS) 运动感测器。运动感测器应当优选地测量所有的 3D 运动,即对于三个主坐标轴的平移和旋转。有利的是:

[0214] A) 运动感测器可检测振动和 / 或晃动。受到这种影响的扫描可能会或者被废弃或者通过使用图像稳定技术进行纠正。

[0215] B) 运动感测器可帮助将部分扫描相互缝合和 / 或登记。当扫描器的视域小于被扫描的物体时这个优势是有重大意义的。在这种情况下,将扫描器应用于物体的小区域中 (每次一个),然后进行合并以获得完整扫描。在理想的情况下,运动感测器可提供要求的部分扫描的局部坐标之间的相对刚性运动转换,因为它们测量扫描设备在每个部分扫描中的相对位置。具有有限精度的运动感测器还可以提供用于部分扫描的基于软件的缝合 / 登记的第一推测,例如基于迭代最近点 (Iterative Closest Point) 类型的算法,这导致减小的计算时间。

[0216] C) 运动感测器 (还) 可以用作对伴随本发明的软件的遥控器。这些软件例如可以用于显像获得的扫描。当扫描设备此时起遥控器作用时,使用者例如可以旋转和 / 或全景显示视图 (通过与计算机屏幕上的物体应该“移动”的相同方式移动遥控器)。特别是在临床应用中,这种手持式扫描器的双重使用优选地无需卫生方面的考虑,因为操作者避免了来自替代的手控输入设备 (触屏、鼠标、键盘等等) 的污染。

[0217] 即使其太不准确以致不能感测平移运动,但是 3 轴的加速计可以提供重力相对于扫描装置的方向。磁强计也可以提供关于扫描设备的方向信息,在这种情况下根据地球磁场。因此,这种设备可帮助缝合 / 登记并且充当遥控元件。

[0218] 本发明涉及不同方面,包括在上面和下面描述的扫描器设备及相应的方法、设备、用途和 / 或产品装置,每个都产生关于所述第一方面描述的一个或多个有利之处和优点,并且每个都具有一个或多个实施例,所述实施例对应于关于所述第一方面中描述的和 / 或所附权利要求中公开的实施例。

[0219] 特别地,这里公开的是一种用于获得和 / 或测量物体的至少一部分表面 3D 几何形状的方法,所述方法包括下列步骤:

- [0220] - 产生整合空间图案的探测光,
- [0221] - 沿着光学系统的光轴将探测光向物体传输,由此用所述图案照明物体的至少一部分,
- [0222] - 传输从物体返回到照相机的光的至少一部分,
- [0223] - 改变图案在物体上的焦平面的位置,同时保持扫描器和物体的固定空间关系,
- [0224] - 获得来自所述感测器元件阵列的至少一个图像,
- [0225] - 在每个焦平面位置估计至少一个图像像素和加权函数之间的相关度,其中加权函数基于空间图案构形的信息确定,
- [0226] - 通过分析相关度确定下列对象的(多个)准确对焦位置:
- [0227] - 对于所述系列的焦平面位置,在照相机中多个图像像素的每一个,
- [0228] - 对于所述系列的焦平面,在照相机中多个图像像素组的每个组,和
- [0229] - 将准确对焦数据转换成 3D 真实世界坐标。

[0230] 还公开了包括程序编码装置的计算机编程产品,用于当所述程序编码装置在数据处理系统上执行时,使数据处理系统执行所述方法。

[0231] 还公开了计算机编程产品,其包括具有储存在其上的程序编码装置的计算机可读的介质。

[0232] 本发明的另一个方面涉及一种用于获得和 / 或测量物体的至少一部分表面的 3D 几何形状的扫描器,所述扫描器包括:

- [0233] - 至少一个容纳感测器元件阵列的照相机,
- [0234] - 用于产生探测光的装置,
- [0235] - 用于将探测光向物体传输由此照明物体的至少一部分的装置,
- [0236] - 用于传输从物体返回到照相机的光的装置,
- [0237] - 用于改变物体上的焦平面的位置的装置,
- [0238] - 用于从所述感测器元件阵列获得至少一个图像的装置,
- [0239] - 用于以下方面的装置:
 - [0240] a) 确定下列对象的(多个)准确对焦位置:
 - [0241] - 对于一系列的焦平面位置,多个感测器元件中的每一个,或
 - [0242] - 对于一系列的焦平面位置,多个感测器元件组中的每个组,和
 - [0243] b) 将准确对焦数据转换成 3D 真实世界坐标;
- [0244] 其中扫描器进一步包括配重装置,其用于配衡改变焦平面位置的装置。

[0245] 还公开了一种用于获得和 / 或测量物体的至少一部分表面的 3D 几何形状的方法,所述方法包括下列步骤:

- [0246] - 容纳感测器元件阵列,
- [0247] - 产生探测光,
- [0248] - 将探测光向物体传输,由此照明物体的至少一部分,
- [0249] - 传输从物体返回到照相机的光,
- [0250] - 改变物体上的焦平面的位置,

- [0251] - 从所述感测器元件阵列获得至少一个图像，
- [0252] - 确定下列对象的（多个）准确对焦位置：
- [0253] - 对于一系列的焦平面位置，多个感测器元件中的每一个，
- [0254] - 对于一系列的焦平面位置，多个感测器元件组中的每个组，和
- [0255] - 将准确对焦数据转换成 3D 真实世界坐标；
- [0256] 其中该方法进一步包括配衡用于改变焦平面位置的装置。
- [0257] 本发明的另一个方面是关于手持式 3D 扫描器，其手柄与扫描器的主光轴呈大于 30 度的角，以用于口腔内或耳内扫描。

附图说明

- [0258] 图 1 :根据本发明设备的第一个示例性实施例的示意图。
- [0259] 图 2 :根据本发明设备的第二个示例性实施例（光学相关性）的示意图。
- [0260] 图 3 :根据本发明的图案的示例性实施例的示意图。
- [0261] 图 4 :平扫描顶端的第一个示例性实施例的示意图，平扫描顶端具有大扫描长度，使用多个（二向色的）镜子和光源。
- [0262] （图 5 :删除）
- [0263] 图 6 :平扫描顶端的第三个示例性实施例的示意图，平扫描顶端具有大扫描长度，使用弯曲的镜子。
- [0264] 图 7 :平扫描顶端的第四个示例性实施例的示意图，平扫描顶端具有大扫描长度，使用衍射光栅。
- [0265] 图 8 :质量平衡的聚焦透镜扫描器的示例性实施例的示意图。
- [0266] 图 9 :同时扫描表面形状和颜色的设备的示例性实施例的示意图。
- [0267] 图 12 :用于扫描人耳外部的至少一部分和 / 或人耳耳道的一部分的设备的示例性实施例的示意图。
- [0268] 图 13(a) 和 (b) :分别显示了扫描器实施例如何能够用于扫描外耳和内耳的示意图。
- [0269] 图 14 :用于扫描窄体腔，例如人耳的扫描器探头实施例的示意图。
- [0270] 图 15 :用于扫描器探头的镜子构形的实例。
- [0271] 图 16 :在理想的光学系统中棋盘图案的每个像素的参考信号值 / 加权值的示意图。
- [0272] 图 17 :对产生合并的参考信号过程的说明，该信号形象化为图像。
- [0273] 图 18 :上部 :具有显示在人牙齿上的投影图案的示例性图像。下部 :在图上部中圈定范围的像素组上的一系列聚焦透镜位置的相关度。
- [0274] 图 19 :口腔内图景的示例性合并相关度图像。
- [0275] 图 20 :具有手枪状的手柄和可拆卸的顶端的手持式口腔内扫描器实例。

具体实施方式

- [0276] 应当理解图中描绘的光线踪迹和透镜仅仅是为了说明的目的，并且总体上描绘所讨论的系统中的光路。光线踪迹和透镜形状不应当被理解成在任何方面限制本发明的范

围,这些方面包括通过各种光学组件的光线或光束的幅度、方向或焦点,也包括不容许其数量、方向、形状、位置或尺寸的任何改变,除非在下面对图中描绘的示例性实施例的详细说明中特别指出。

[0277] 附图的详细说明

[0278] 功能性的手持式 3D 表面扫描器优选地应当具有下列性质:

[0279] 1) 在被扫描物体的空间中的焦阑性,

[0280] 2) 在保持焦阑性和放大率的同时移动焦平面的可能性,

[0281] 3) 仅仅在设备的手柄而没有在探头顶端涉及调整光学组件的调谐的简单的对焦配置,和

[0282] 4) 与手持式扫描设备相符的总体尺寸。

[0283] 图 1 中说明的扫描器实施例是所有组件都在外壳(头部)100 内部的手持式扫描器。扫描器头部包括可以进入腔内的顶端、光源 110、收集来自光源的光的光学器件 120、图案产生装置 130、分束器 140、图像感测器和电子设备 180、在图案、被扫描物体和图像感测器(照相机)180 之间传输和成像光的透镜系统。来自于光源 110 的光通过光学系统 150 向后和向前传送。在这个通过期间,光学系统将图案 130 成像到被扫描的物体 200 上,并进一步将被扫描的物体成像到图像感测器 181 上。透镜系统包括聚焦元件 151,可调节聚焦元件 151 以移动图案在被探测物体 200 上的聚焦成像面。实现聚焦元件的一种方式沿光轴前后物理移动单个透镜元件。设备可包括偏振光学器件 160。设备可包括折光光学器件 170,其以不同于透镜系统的光轴的方向,例如以垂直于透镜系统的光轴的方向将光导出设备。总体上,光学系统提供图案到被探测物体上的成像和从被探测物体到照相机上的成像。设备的一种应用可以是用于确定口腔内牙齿的 3D 结构,另一个应用可以是用于确定耳道和耳朵外部的 3D 形状。

[0284] 图 1 中的光轴是由通过光学系统 150 中的光源 110、光学器件 120 和透镜的直线所确定的轴。这也对应于图 1 中所示扫描器的纵轴。光路是由光源 110 到物体 200 并回到照相机 180 的光的路径。光路可改变方向,例如借助分束器 140 和折光光学器件 170。

[0285] 以如下方式调节聚焦元件:图案在被扫描物体上的图像沿光轴移动,优选地以等步幅从扫描区域的一端到另一端。当图案对固定的焦点位置以周期方式随时间变化时,物体上的准确对焦区域将显示空间变化图案。离焦区域在光变化中将显示较小对比度或没有对比度。被探测物体的 3D 表面结构通过如下方式而确定:当针对一系列不同焦点位置 300 记录相关度时,针对照相机感测器阵列中的每个感测器或对照相机感测器阵列中的每组感测器找出对应于相关度极值的面。优选地某人能够以等步幅从扫描区域的一端到另一端移动焦点位置。

[0286] 图案产生

[0287] 图案产生装置的实施例显示在图 3a 中:具有不透明遮盖件 133 的透明轮,该遮盖件 133 呈由轮中心径向伸出的辐条形式。在这个实施例中,通过用马达 131 使轮旋转来使图案随时间变化,马达 131 利用例如传动轴 132 连接到轮上。图案随时间的位置可以在旋转过程中登记,这可以通过例如使用图案轮圈上的位置编码器 134 或者从马达 131 直接获得轴位置来实现。

[0288] 图 3b 示出了图案产生装置的另一个实施例:分段光源 135,优选地为分段 LED。在

这个实施例中,将 LED 表面成像到调查的物体上。以在物体上提供已知的时变图案的方式打开和关闭多个单独的 LED 段 136。通过电线 138 将时变图案的控制电子器件 137 连接到分段光源。从而将图案整合到光源中,并且不需要单独的光源。

[0289] 图 3c 说明了应用在本发明的空间相关性实施例中的静止图案。所示的棋盘图案是优选的,因为这种规则图案的计算是最容易的。

[0290] 时间相关性

[0291] 图 1 也是对时间相关性的示例性说明,其中在物体上和 / 或物体中的图案的图像形成在照相机上。照相机中的每个单独光感测元件都感测到对应于物体上的照明图案变化的信号水平变化。在示例性的说明中,该变化是周期性的。每个单独的光感测元件的光变化将具有与图案位置有关的恒定相位偏移。

[0292] 可以通过在至少一个振荡周期中记录照相机上的 n 个图像获得相关度。 n 是大于 1 的整数。每个单独图像的图案位置与每个感测元件和记录的图像的相位偏移值相结合的记录容许利用下面的公式在照相机的每个单独感测元件中有效提取相关度:

$$[0293] \quad A_j = \sum_{i=1}^n f_{i,j} I_{i,j}$$

[0294] 这里, A_j 是感测元件 j 的估计相关度, $I_{1,j}, \dots, I_{n,j}$ 是来自感测元件 j 的 n 个记录的信号, $f_{1,j}, \dots, f_{n,j}$ 是由对每个图像记录的图案构形的了解获得的 n 个参考信号值。 f 具有两个下标 i, j 。 f 随第一个下标的变化来源于在每个图像记录过程中对图案位置的了解。 f 随着第二个下标的变化来源于对图案几何形状的了解,该图案几何形状可以在 3D 扫描之前确定。

[0295] 当焦点位置在一系列值上变化时,优选地以等步幅从扫描区域的一端到另一端,对于照相机中的单个感测器,对应于在物体上准确对焦的图案的焦点位置将通过该感测器的记录的相关度极值给出。

[0296] 空间相关性

[0297] 在空间相关性方案的一个实例中,采用与图像感测器所容许的那么高的分辨率来记录具有投影的棋盘图案的一个物体图像。因此空间相关性的方案是分析记录的图像中的像素组并提取图案中的相关度。获得的相关度极值表明了准确对焦位置。简单来说,某人可以使用具有对应于感测器上的 $n = N \times N$ 像素的片段的棋盘图案,然后分析图案的一个片段中的相关度(在一般情况下图案不必是二次项 $N \times N$)。在最佳的情况下,能将图案对齐以使得棋盘的边缘与像素的边缘重合,但是扫描原理并不是依赖于此。图 16 对于 $n = 4 \times 4 = 16$ 的情况显示出这一点。对于具有 $W \times H = 1024 \times 512$ 像素的感测器,这可对应于获得来自一个图像的 256×128 相关度点。在 $N \times N$ 像素组中提取具有下标 j 的相关度 A_j 通过下式给出:

$$[0298] \quad A_j = \sum_{i=1}^n f_{i,j} I_{i,j}$$

[0299] 其中 $f_j = (f_{1,j}, \dots, f_{n,j})$ 是由对图案构形的了解获得的参考信号向量,和 $I_j = (I_{1,j}, \dots, I_{n,j})$ 是输入信号向量。

[0300] 为了抑制光中的任何 DC 部分,我们优选地对于所有的 j 有:

$$[0301] \quad 0 = \sum_{i=1}^n f_{i,j}$$

[0302] 例如对于图 16 中描绘的情况,对于对应于图案暗部分的像素 $f_{i,j} = -1$,而反之 $f_{i,j} = +1$ 。如果图案边缘没有与像素的边缘对齐,或者如果光学系统不是完美的(因此在所有的实际应用中),则 $f_{i,j}$ 对于某些 i 将假定值在 -1 和 $+1$ 之间。对于如何确定参考函数的详细说明随后给出。

[0303] 光学相关性

[0304] 光学相关性的实例显示在图 2 中。在这个实施例中,在照相机 180 上形成图像,其为图案 130 与被探测物体 200 的叠加。在这个实施例中,图案具有可传输的性质,其中光被传输通过图案并且图案的图像被投影到物体上并再次返回。特别是这涉及光沿相反方向传输通过图案,因而借助于分束器 140 形成照相机上的图案图像。这种布置的结果是形成在照相机上的图像是图案本身和被探测物体的叠加。表达这一点的不同方式是照相机上的图像基本上是投影到物体上的图案图像与图案本身的乘积。

[0305] 在示例性的说明中变化是周期性的。在物体上的光变化和给定焦距的图案之间的相关度可以通过在大量的振荡周期上对照相机信号进行时间积分而获得,所以图案振荡时间与照相机积分时间的准确同步并不重要。当焦点位置在一系列值上变化,优选地以等步幅从扫描区域的一端到另一端时,对于照相机中的单个感测器而言,对应于在物体上准确对焦的图案的焦点位置将通过该感测器最大记录信号值给出。

[0306] 找到预定的参考函数

[0307] 以下描述对本发明的空间相关性实施例计算参考信号 f 的方法,并且该方法以程式化的方式描绘在图 17 中。

[0308] 该方法从记录棋盘图案的一系列图像开始,所述图像例如投影在平面上,优选地定向成与扫描器的光轴正交。在聚焦元件的不同位置上取景,有效覆盖所述聚焦元件的整个行程范围。优选地,以等距的位置取景。

[0309] 由于焦平面通常不是几何面,所以平面的不同区域将在不同的图像中准确对焦。三种这类图像的实例显示在图 17a-17c 中,其中 1700 是准确对焦区域。应当注意在这种程式化的图中,在准确对焦和离焦区域之间的转换分别被夸大以更清楚地说明该原理。还有,通常有比这个简单的实例中使用的仅仅三个图像多得多的图像。

[0310] 图像中的准确对焦区域作为整个所述系列的图像上具有最大强度变化(表明最大对比度)的那些区域而被找到。计算变化的区域不必与空间相关性中使用的像素组尺寸相同,但是应当足够大以包括图案的明与暗区域,并且其对于系列中的所有图像必须是相同的。

[0311] 最后,通过合成系列(17a-17c)的所有准确对焦区域产生“合并图像”(图 17d)。应当注意在真实的应用中,合并的图像通常将不是完美的黑白棋盘,而是包括中间的灰色值,这是由不完美的光学系统和与照相机感测器不完美对齐的棋盘所导致的。真实合并图像的某部分的实例显示在图 17e 中。

[0312] 在该图像中的像素强度可以理解为具有与图案的原始图像相同的尺寸的“加权图像”。换句话说,该像素值可以被解释为参考信号,并且参考向量/像素组中 n 个像素的具有下标 j 的一套加权值 $f_j = (f_{1,j}, \dots, f_{n,j})$ 可以根据像素值得到。

[0313] 为了便于计算的执行,特别是当在 FPGA 上进行时,合并的图像可以细分为像素组。然后,可以通过从每个像素强度值减去组内强度平均值而除去信号的 DC 部分。此外,

某人因此可以通过除以组内标准偏差而进行标准化。因此，处理过的加权值是参考信号的替代描述。

[0314] 由于“合并图像”并因此“加权图像”的周期性，后者可以有效压缩，因此将能实施这里描述的算法的电子器件中的存储要求减到最小。例如，PNG 算法可以用于压缩。

[0315] “相关性图像”

[0316] 基于“合并图像”和照相机在扫描过程中记录的一套图像而产生“相关性”图像。对于基于 $N \times N$ 棋盘图案的空间相关性，回想起组内相关度为：

$$[0317] \quad A_j = \sum_{i=1}^{N \times N} f_{i,j} I_{i,j}$$

[0318] 其中 $f_j = (f_{1,j}, \dots, f_{n,j})$ 是来自于合并图像的值，而 $I_j = (I_{1,j}, \dots, I_{n,j})$ 是来自于照相机上记录的图像的值。在任何 DC 消除时使用的像素分组以及可能还有在产生合并图像的标准化中使用的像素分组与上述计算中的相同。因此对于在聚焦元件的扫描过程中由扫描器记录的每个图像，有 $(H/N) \times (W/N)$ 的 A 值阵列。该阵列可以显像为图像。

[0319] 图 18(上部) 显示为一个示例性相关度图像，这里是人牙齿及其边缘的一部分。由正方形 1801 标记了 6×6 像素的像素组。对于这个示例性的像素组，在聚焦元件的扫描中在所有图像上的系列相关度 A 显示在图 18 下部的图表中(十字准线)。图表上的 x 轴是聚焦元件的位置，而 y 轴显示 A 的量值。在原始系列上运行简单的高斯滤波器产生平滑系列(实线)。在图中，聚焦元件在产生实例像素组的最佳焦点的位置上。该事实既可以在照片中客观地看到，也可以作为 A 系列的最大值而定量确定。图 18 的下部中的垂直线 1802 指出了全局极值的位置因而指出了准确对焦位置的位置。应当注意在这个实例中，分别在平滑和原始系列中的最大值位置是不可目测分辨的。然而在原则上，可能并且也有利的是由平滑系列找出最大值位置，因为该位置可能在两个透镜位置之间，因此提供更高的准确性。

[0320] 可以对聚焦元件的扫描中记录的每个图像计算 A 值阵列。以与将合并图像合成相同的方式，合成所有像素组中的 A 的全局极值(在所有图像上)，某人可以获得具有 $(H/N) \times (W/N)$ 尺寸的伪图像。我们称此为“合并相关性图像”。某些牙齿及牙龈的合并相关性图像的实例显示在图 19 中。正如所见，这对于显像目的是有用的。

[0321] 增加视域

[0322] 对于进入小空间如患者口腔的扫描头，需要扫描头的顶端足够小。同时从扫描头发出的光需要以不同于光轴的方向离开扫描头，例如垂直于光轴的方向。在本发明的一个实施例中，45 度的镜子用作折光光学器件 170，其将光路引导到物体上。在这个实施例中，扫描顶端的高度需要至少与扫描长度一样大。

[0323] 本发明的另一个实施例显示在图 4 中。本发明的这个实施例容许扫描顶端具有比扫描长度(图中表示为 a) 更小的高度(图中表示为 b)。使用适当涂层的板 112(例如二向色滤光片)将来自两个光源 110 和 111 的光归并在一起，所述两个光源发射具有不同颜色/波长的光，所述适当涂层的板传输来自 110 的光并且反射来自 111 的光。在扫描顶端，适当涂层的板(例如二向色滤光片)171 将来自一个光源的光反射到物体上，并且将来自另一个光源的光传输到在扫描顶端末尾的镜子 172 上。在扫描过程中，焦点位置发生移动，从而使来自 110 的光用于将图案的图像投影到 171 下方的位置而同时 111 关闭。记录 171 下方区域中的物体的 3D 表面。然后关闭 110 并且打开 111，并且焦点位置发生移动，从而使来自 111 的光用于将图案的图像投影到 172 下方的位置。记录 172 下方区域中的物体的 3D 表

面。分别来自于 110 和 111 的光所覆盖的区域可部分重叠。

[0324] 容许扫描顶端具有比扫描长度（图中表示为 a）更小的高度（图中表示为 b）的另一个本发明实施例显示在图 6 中。在这个实施例中，折光光学器件 170 包括弯曲的折光镜 173，该折光镜 173 可以补充有一个或两个透镜元件 175 和 176，其表面可以是非球面的以提供修正的光学成像。

[0325] 容许扫描顶端具有比扫描长度（图中表示为 a）更小的高度（图中表示为 b）的另一个本发明实施例显示在图 7 中。在这个实施例中，折光光学器件 170 包括光栅 177，其提供失真的放大从而使图案在被扫描物体上的图像被拉伸。光栅可以是闪耀光栅。在这个实施例中光源 110 需要为单色或半单色的。

[0326] 获得投影到困难物体上的图案的高空间对比度

[0327] 在物体上的准确对焦图案图像的高空间对比度是必需的以基于照相机照片获得高相关度信号。这又是必需的以获得对应于相关度极值位置的焦点位置的良好估计。对于成功扫描的这种必需条件在具有漫射表面和可忽略的透光性的物体中是容易获得的。然而，对于某些物体，难以获得高的空间对比度，或者更一般地说，难以获得高的空间变化。

[0328] 例如，一种困难类型的物体是显示出多次散射且具有与成像到物体上的空间图案的最小特征尺寸相比而言大的光漫射长度的物体。人类牙齿就是这种物体的实例。人类的耳朵和耳道是另一个实例。可以通过将来自物体的镜面反射优先成像到照相机上而获得这些物体中改善的空间变化。本发明的实施例应用了图 1 中所示的偏振工程技术。在这个实施例中，分束器 140 是偏振光束分光器，其分别传输两种正交偏振状态的反射光，例如 S- 和 P- 偏振状态。通过透镜系统 150 传输的光因此具有特定的偏振状态。在离开设备之前用延迟板 160 改变偏振状态。优选类型的延迟板是四分之一波长的延迟板。线偏振光波在通过四分之一波长的板时转换为圆偏振光波，其中四分之一波长的板的快轴与线偏振方向呈 45 度的取向。来自于物体的镜面反射具有翻转圆偏振光波的螺旋性的性质。当镜面反射光通过四分之一波长延迟板时，偏振状态变成与入射到物体上的状态正交。例如，在下游方向上向物体传播的 S 偏振状态将作为 P 偏振状态返回。这意味着镜面反射的光波将被引导向分束器 140 中的图像感测器 181。进入物体中并且被一个或多个散射现象散射的光被去偏振，并且该光的一半将通过分束器 140 被引导向图像感测器 181。

[0329] 另一种困难类型的物体是具有闪耀或金属外观表面的物体。这对于抛光的物体或具有非常光滑表面的物体是特别真实的。一件珠宝是这种物体的实例。然而，即使非常光滑和闪耀的物体也确实显示出一定量的漫反射。在这种物体中的改进空间对比度可以通过将来自于物体的表面漫反射优先成像到照相机上而获得。在这个实施例中，分束器 140 是偏振光束分光器，其分别传输两种正交偏振状态的反射光，例如 S- 和 P- 偏振状态。通过透镜系统 150 传输的光因此具有特定的偏振状态。来自于物体的漫反射具有丧失偏振的性质。这意味着漫反射光波的一半将被以引导向分束器 140 中的图像感测器 181。进入物体中并且由镜面偏振反射的光保留其偏振状态，因此将没有光被分束器 140 以引导向图像感测器 181。

[0330] 减小由聚焦元件引起的晃动

[0331] 在扫描过程中，聚焦位置在一系列值上变化，优选由光学系统 150 中的聚焦元件 151 提供。图 8 说明了如何减小由振荡聚焦元件引起的晃动的实例。聚焦元件是安装在平

移台 153 上的透镜元件 152, 并且利用包含马达 155 的机械构造 154 沿着所述光学系统的光轴前后平移。在扫描过程中, 手持设备的质量中心由于透镜元件和支架的物理移动而发生移动。这导致在扫描过程中不希望的手持设备的晃动。如果扫描快, 例如少于一秒的扫描时间, 这种情况加重。在本发明的一个实施例中, 通过以下列方式使配重 156 沿与透镜元件相反的方向移动来消除质量中心的移动: 手持设备的质量中心保持固定。在优选的实施例中, 聚焦透镜和配重是机械连接的并且它们的相对运动通过同一个马达驱动。

[0332] 颜色测量

[0333] 彩色 3D 扫描器的实施例显示在图 9 中。三个光源 110、111 和 113 发出红色、绿色和蓝色光。光源可以是 LED 或激光。光归并在一起以重叠或基本上重叠。这可以借助于两个适当涂层的板 112 和 114 来实现。板 112 传输来自 110 的光并反射来自 111 的光。板 114 传输来自 110 和 111 的光并反射来自 113 的光。颜色测量如下进行: 对于给定的焦点位置, 投影到被探测物体上的时变图案的幅度通过上述用于每个光源的方法之一对于感测器 181 中的每个感测器元件单独进行确定。在优选的实施例中, 每次只有一个光源打开, 并且光源依次打开。在这个实施例中, 光学系统 150 可以是消色差的。在对每个光源确定了幅度之后, 焦点位置移动到下一个位置并重复这个程序。表达为例如每个表面元素的 RGB 颜色坐标的颜色可以通过适当地加权对应于最大幅度的每个颜色的幅度信号而重建。

[0334] 在本发明的一个具体实施例中, 仅仅以 P 个焦点位置的间隔登记了所有颜色的幅度; 同时选择了一种颜色用于在所有焦点位置确定幅度。P 是可以例如为 3、5 或 10 的数。这产生了低于表面拓扑结构的分辨率的颜色分辨率。通过在获得全色信息的焦点位置之间进行插值来确定被探测物体的每个表面元素的颜色。这与在许多彩色数码相机中使用的拜耳 (Bayer) 彩色方案相类似。在这个方案中, 颜色分辨率也低于空间分辨率, 并且颜色信息需要进行插值。

[0335] 3D 彩色扫描的较简单实施例并不登记所有的颜色信息并且仅仅采用具有不同颜色的两种光源。这一点的实例是牙齿扫描器, 其使用红色和蓝色光来区分硬 (牙齿) 组织和软 (牙龈) 组织。

[0336] 耳朵扫描器实施例

[0337] 图 12-15 示意说明了基于时变结构的光照明的扫描器的实施例, 其通过用普通的扫描器外部手柄和可分离的探头扫描人耳外部 (外) 和内部 (内) 而直接扫描人耳。这个实施例是有利的, 因为其使用设计为插入小腔如人耳内的探头而容许非侵入性的扫描。这通过将大量和关键的扫描器部件如扫描器照相机、光源、电子器件和聚焦光学器件放置在耳道的紧密狭窄部分之外而部分地完成。

[0338] 扫描人耳的外部 and 内部并且形成耳朵的虚拟或真实模型的能力对于设计现代的顾客特制的助听器 (例如耳套或耳模) 是重要的。如今, 耳朵的扫描在两步程序中进行, 其中首先取出耳朵的硅树脂印模, 和随后在第二步中使用外部扫描器对印模进行扫描。制造印模的程序具有几个缺点, 以下将很快对此进行描述。一个主要的缺点来自于由于制备和技术要求而导致的由有资格的临床专业人员制取的常见差质量印模。由于已知印模材料在硬化过程中膨胀, 并且当将印模从耳朵上取下时经常发生印模中的变形和产生断裂, 因此可能出现不准确性。另一个缺点是关于制取印模涉及的健康风险, 其是由于刺激和过敏反应、对鼓膜的损害和感染所导致。最后, 制模程序对于许多患者是不适的经历, 特别是对于

年轻的孩子,他们经常需要以规则间隔(例如每隔四个月)制取印模以适应耳道的变化尺寸。简短来说,如果能以非侵入性的方式扫描外耳和内耳并且获得内耳和外耳表面之间的登记,则这些缺点可以被克服。

[0339] 下列内容并不限于耳朵扫描而是可以用于扫描任何小体腔。图 12 是这种扫描器的实施例示意图。扫描器由两个主要部件组成——扫描器外部 1001 和扫描器探头 1002。可以使用扫描器外部而不使用探头以获得例如扫描耳朵外部 1102,或者耳道的第一部分直到第一弯曲所需的较大视域。扫描器外部的大视域对于获得单个扫描和高的全局准确性之间的良好登记是重要的。通过将扫描器探头 1202 装配到扫描器外部 1201 上,组合的扫描器允许扫描小和弯的腔表面,例如耳朵的内部 1203。通过这种方式并使用相同的系统,组合的扫描器外部和探头能够扫描较大的外部面积以及较小的内部面积。在图 12 中,扫描器实施例 1001 的外部由离散光源 1003(激光、LED、钨灯或其它类型)组成,其用对准光学器件 1004 进行对准。对准的光用来照明透明物体 1005(例如玻璃),透明物体上具有不透明图案,例如其上的条纹。随后用合适的光学系统将图案成像到被扫描的物体上。用类似的光学系统和照相机 1006 观测图案,其中照相机位于腔之外。通过观测由图案在扫描物体上移动产生的光振荡而由 2D 图像获得 3D 信息,光振荡包含在单个像素幅度中。

[0340] 为了便于图案的移动,在一个实施例中旋转条纹图案 1005。在另一个实施例中,条纹图案位于平移板上,该板在垂直于光轴的平面中移动,并且具有特定的振荡频率。到达和来自扫描物体的光通过分束器布置 1007 进行投影,分束器布置在一个实施例中由棱镜立方体组成,而在另一个实施例中由成角度的板或膜组成。分束器用于将光源的光沿着系统进一步传输,而同时将来自扫描物体的反射光引导回照相机,照相机位于垂直于光源和分束器的轴的轴线上。

[0341] 为了移动焦平面,扫描器外部包含聚焦光学器件,在一个实施例中其由单个可移动的透镜 1008 组成。聚焦光学器件的目的是便于整个成像系统的焦平面在要求的扫描范围中沿着光轴移动。在一个实施例中,扫描器外部 1101 的聚焦光学器件包括能够直接聚焦光的物镜,而不必使用任何另外的光学器件,如图 13a 中所示。在另一个实施例中,扫描器外部配备有设计成具有大视域的广角物镜,其例如对于扫描人耳外部 1102 足够大。

[0342] 扫描器探头的光学部分由内窥的光学中继系统 1009 及随后的探头物镜 1010 组成,这两者都具有足够小的直径以适合人耳的耳道。这些光学系统可由多个光学纤维和透镜组成,并且用于将来自扫描器外部的光传送和聚焦到扫描物体 1014 上(例如耳朵的内表面),以及用于将来自扫描物体的反射光对准和传送回扫描器外部。在一个实施例中,探测物镜提供条纹图案到扫描物体上的焦阑投影。焦阑投影可显著简化获得的 2D 图像到 3D 图像的数据映射。在另一个实施例中,来自探测物镜的主要光(每个光束的中心光)是离散的(非焦阑的)以为照相机提供大于零的视角,如图 13a 中所示。

[0343] 焦平面的位置由聚焦光学器件 1008 控制,并且可以在足够大的范围内移动从而至少与扫描表面 1014 重合。如以上所述,通过在不同的焦平面位置和不同的条纹图案位置收集大量的 2D 图像而获得单个扫描。当焦平面在单个像素位置与扫描表面重合,条纹图案将被投影到准确对焦的表面点上并具有高对比度,由此产生像素值在时间上的大变化或幅度。因此对于每个像素,可以识别聚焦光学器件的单独设置,每个像素都将对其准确对焦。通过利用对光学系统的了解,可在单独像素的基础上将对比度信息 - 焦平面位置转换

成 3D 表面信息。

[0344] 在一个实施例中,镜子布置 1011 位于探测物镜 1010 之后,镜子布置 1011 由单个反射镜子、或棱镜或多个镜子的布置组成。该布置用于将光线反射到不同于探测轴方向的观看方向。镜子布置的不同实例在图 15a-15d 中得到。在一个特别的实施例中,镜子法向和光轴之间的角度为大约 45 度,由此提供了相对于探测轴的 90 度视图——这对于观看圆角是理想的布置。透明窗口 1012 的位置与镜子相邻,并且作为探头外壳 / 壳的一部分,以容许光在探头和扫描物体之间通过,同时保持光学器件不被外部的脏颗粒污染。

[0345] 为了减小扫描器操作者所要求的探头移动,可以用马达 1013 使镜子布置旋转。在一个实施例中,镜子布置恒速旋转。通过充分旋转单个镜子,由此能够围绕探测轴以 360 度覆盖范围扫描,而不必物理移动探头。在这种情况下,要求探测窗口 1012 围绕 / 全面环绕探头从而能够在每个角度上观看。在另一个实施例中,镜子以某个旋转振荡频率发生旋转。在又一个实施例中,以某个振荡频率改变相对于探测轴倾斜的镜子布置。

[0346] 在一个特别的实施例中使用一对镜子而不是单个镜子(图 15b 和 15d)。在特殊的情况下,两面镜子的法向相互成大约 90 度的角度。使用一对镜子有助于登记单独的子扫描,因为两个相对表面的信息由此同时获得。使用一对镜子的另一个有利之处是只需要 180 度的镜子旋转就可扫描全部的 360 度。使用一对镜子的扫描器方案因此可在比单个镜子构形更少的时间内提供 360 度的覆盖。

[0347] “手枪状”的手柄

[0348] 图 20 显示了具有手枪状的手柄 2001 的扫描器实施例。这种形式是特别符合人体工程的。图 20 中的扫描器被设计用于牙齿的口腔内扫描。顶端 2002 可以从扫描器的主体上拆卸并且可以是承受压热的。此外,顶端可以具有相对于扫描器主体的两个位置,即向下看(如图 20 中)和向上看。因此扫描患者的口上方和口下方对于操作者是同样舒适的。应当注意图 20 中显示的扫描器是早期的原型,其具有仅为了测试目的而装配的几个电缆。

[0349] 虽然详细描述和显示了一些实施例,但是本发明并不仅限于此,而是在下列权利要求中限定的主题的实质范围内还可以由其它方式实现。特别是,应当理解可以在不偏离本发明的范围的情况下使用其它的实施例并且进行结构和功能的改进。

[0350] 设备权利要求列举了多个装置,这些装置中的几个可以由同一个相同的硬件来实现。某些手段在彼此不同的从属权利要求中陈述或者在不同的实施例中描述的纯粹事实并不表示这些手段的合并不能有利地使用。

[0351] 应当强调的是词语“包含 / 包括”当用于本说明书中时是用来说明存在所述的特征、整数、步骤或组件,但不排除存在或另外有一个或多个其它特征、整数、步骤、组件或其组合。

[0352] 上述和以下方法的特征可以在软件中实施并且在数据处理系统或通过执行计算机可执行的指令而产生的其它处理装置上执行。该指令可以是存储介质或通过计算机网络从另一个计算机载入存储器例如 RAM 的程序编码装置。作为选择,所述特征可以通过硬件电路而不是软件或者结合软件而实施。

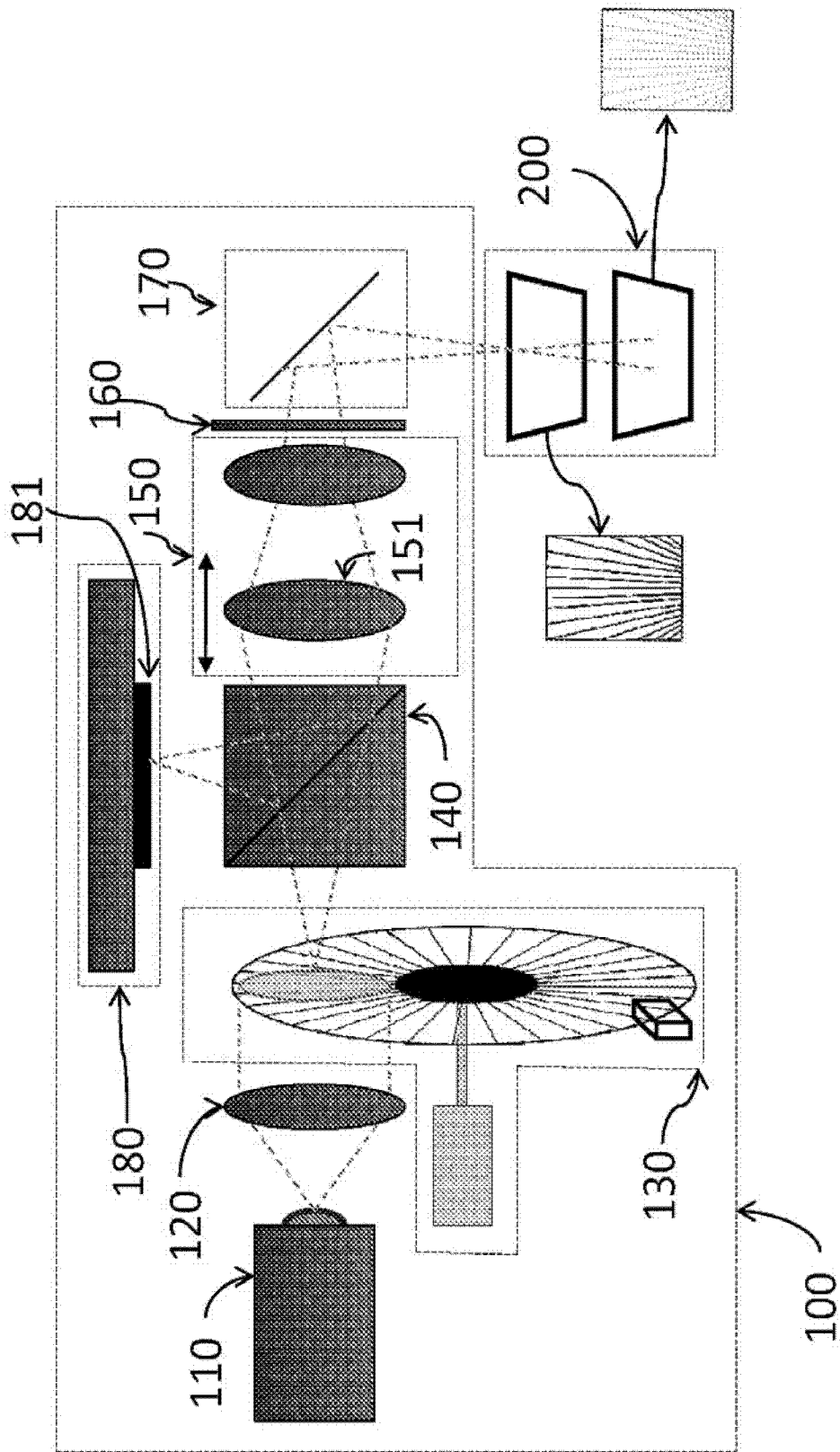


图 1

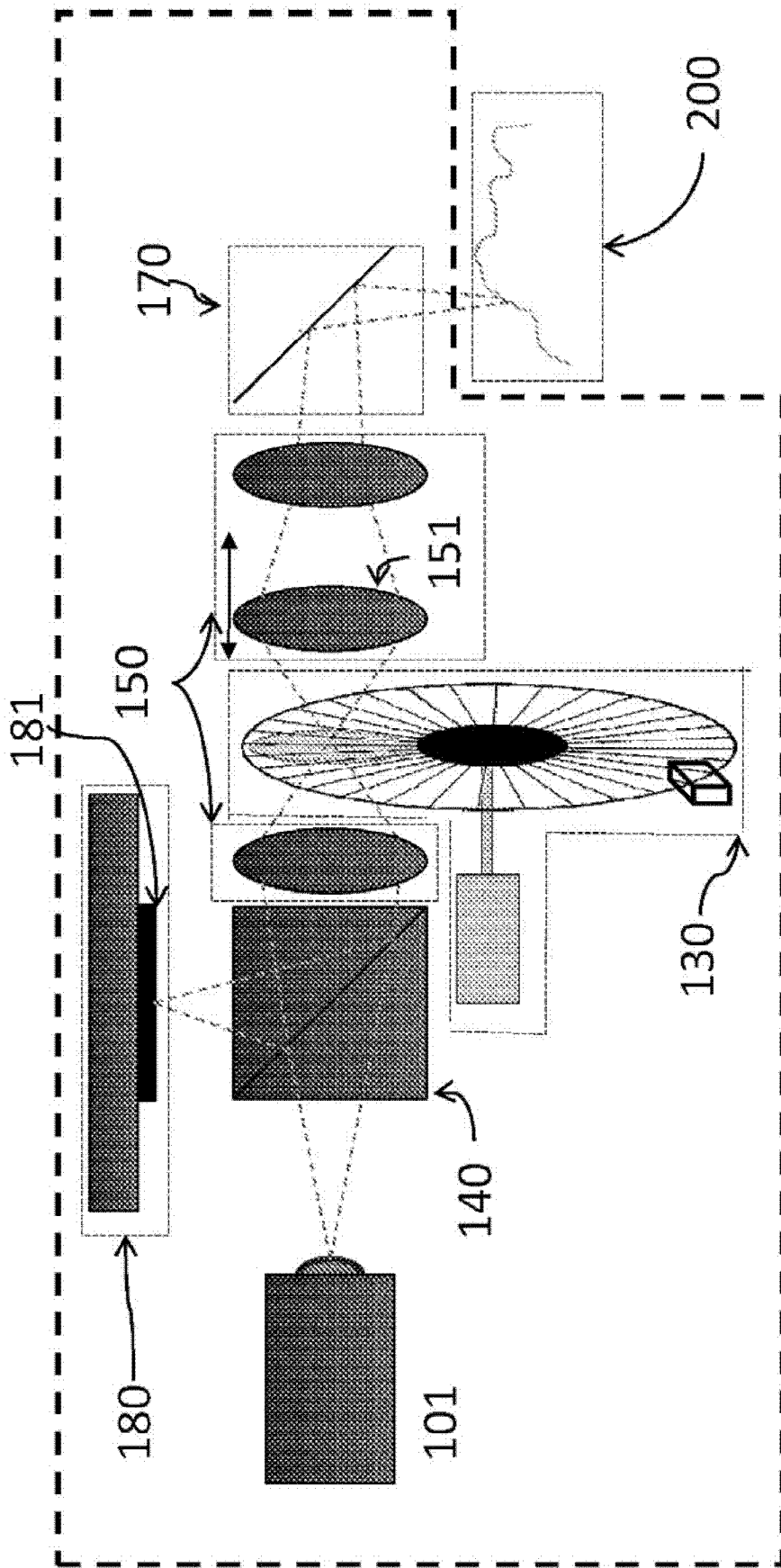


图 2

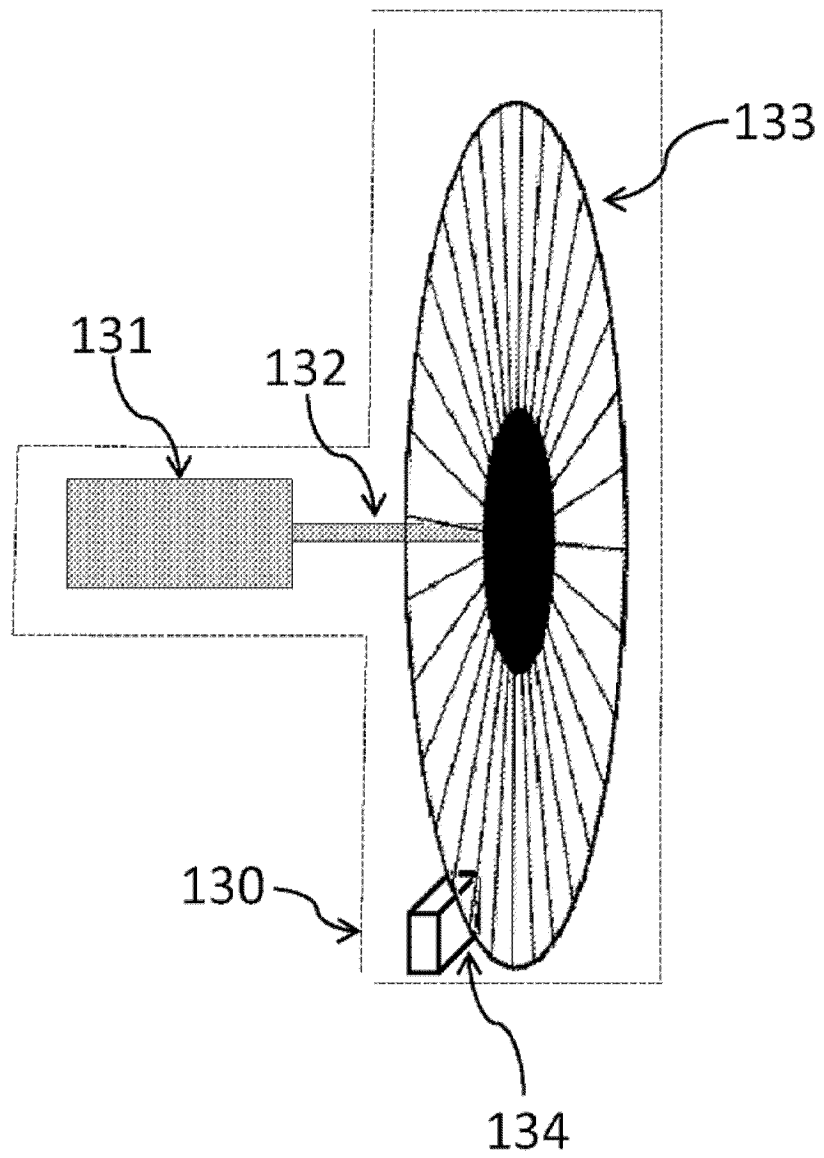


图 3a

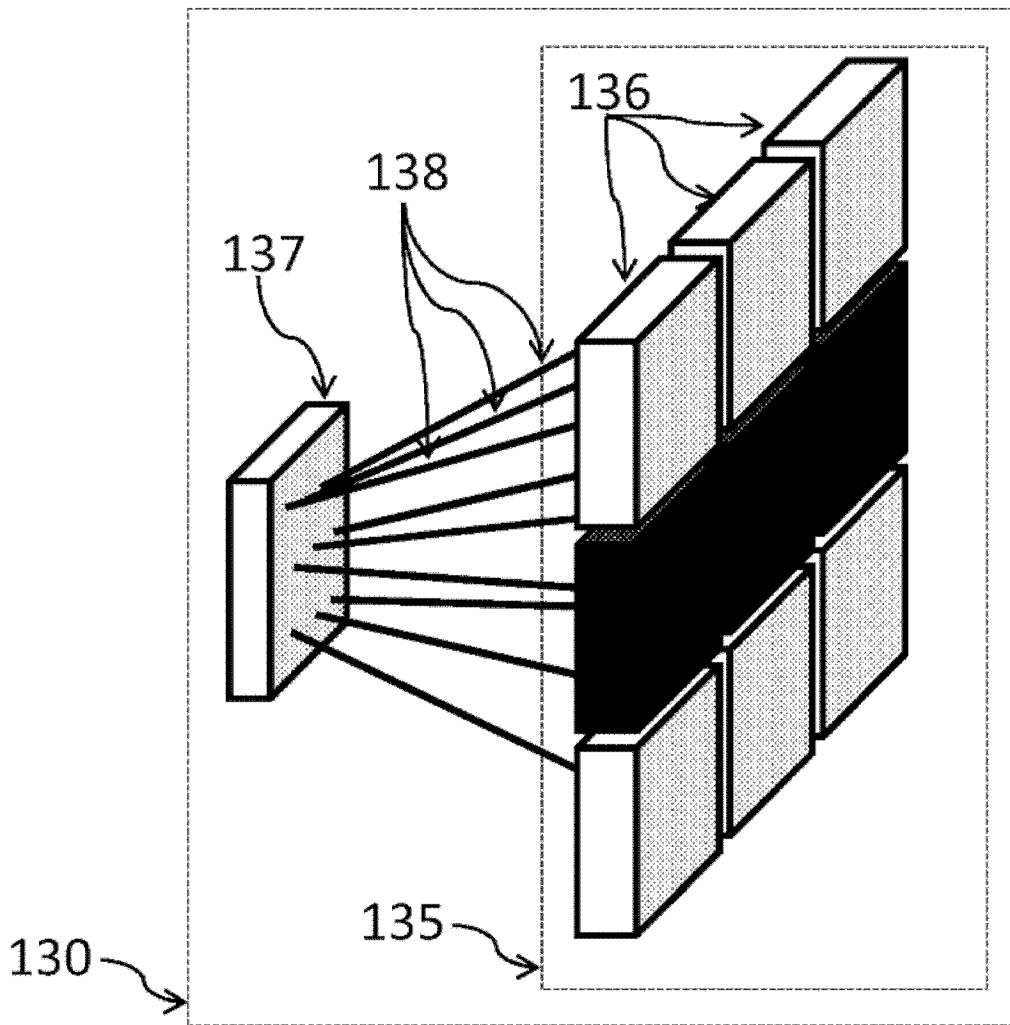


图 3b

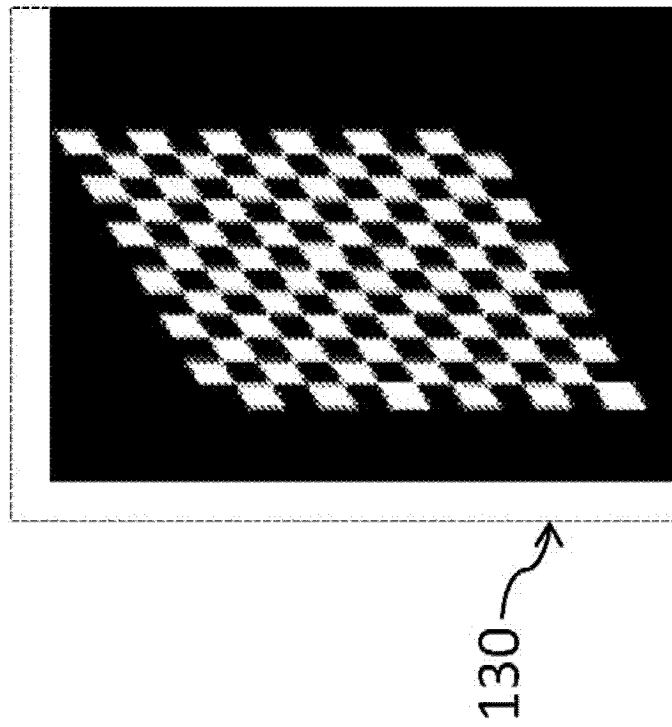


图 3c

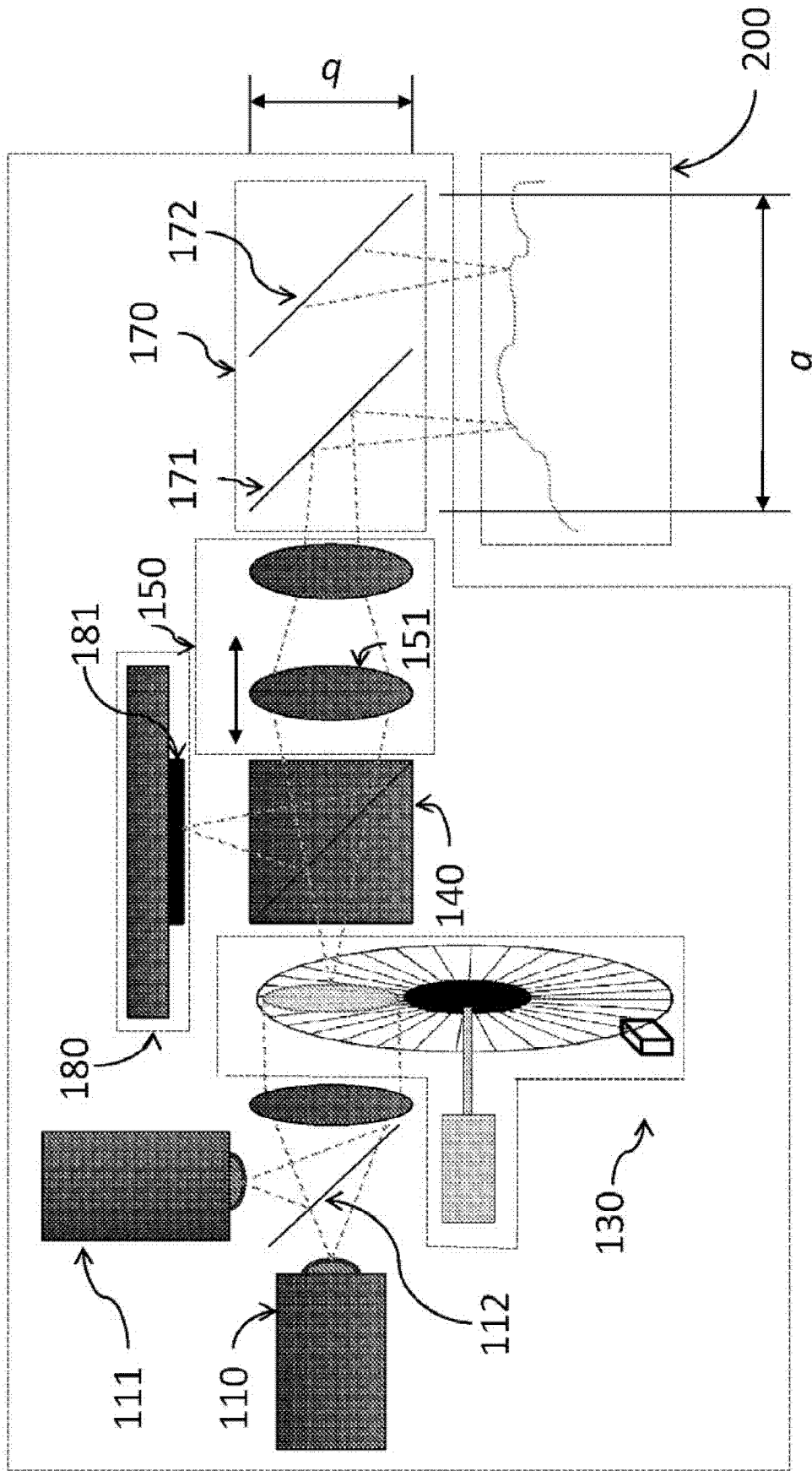


图 4

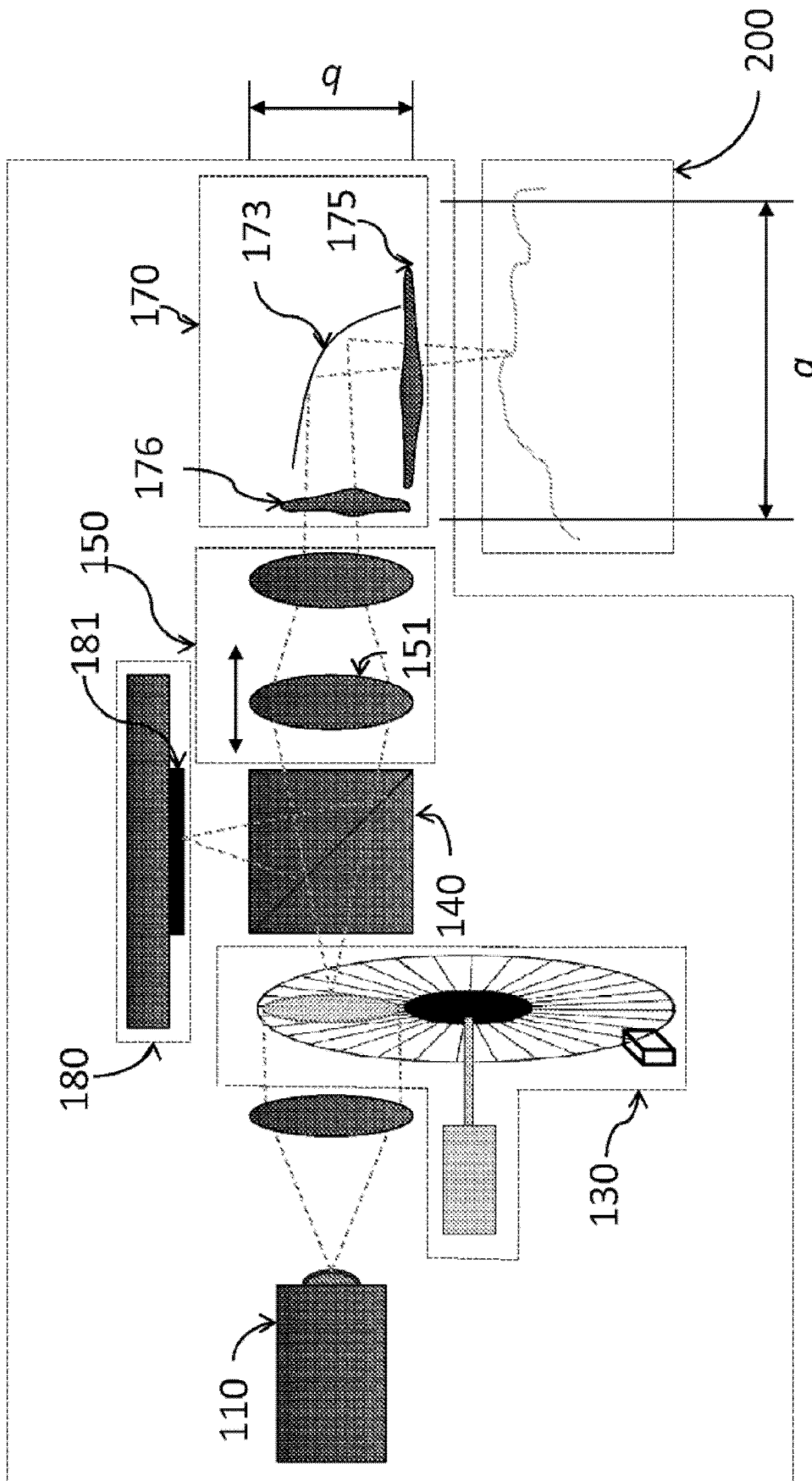


图 6

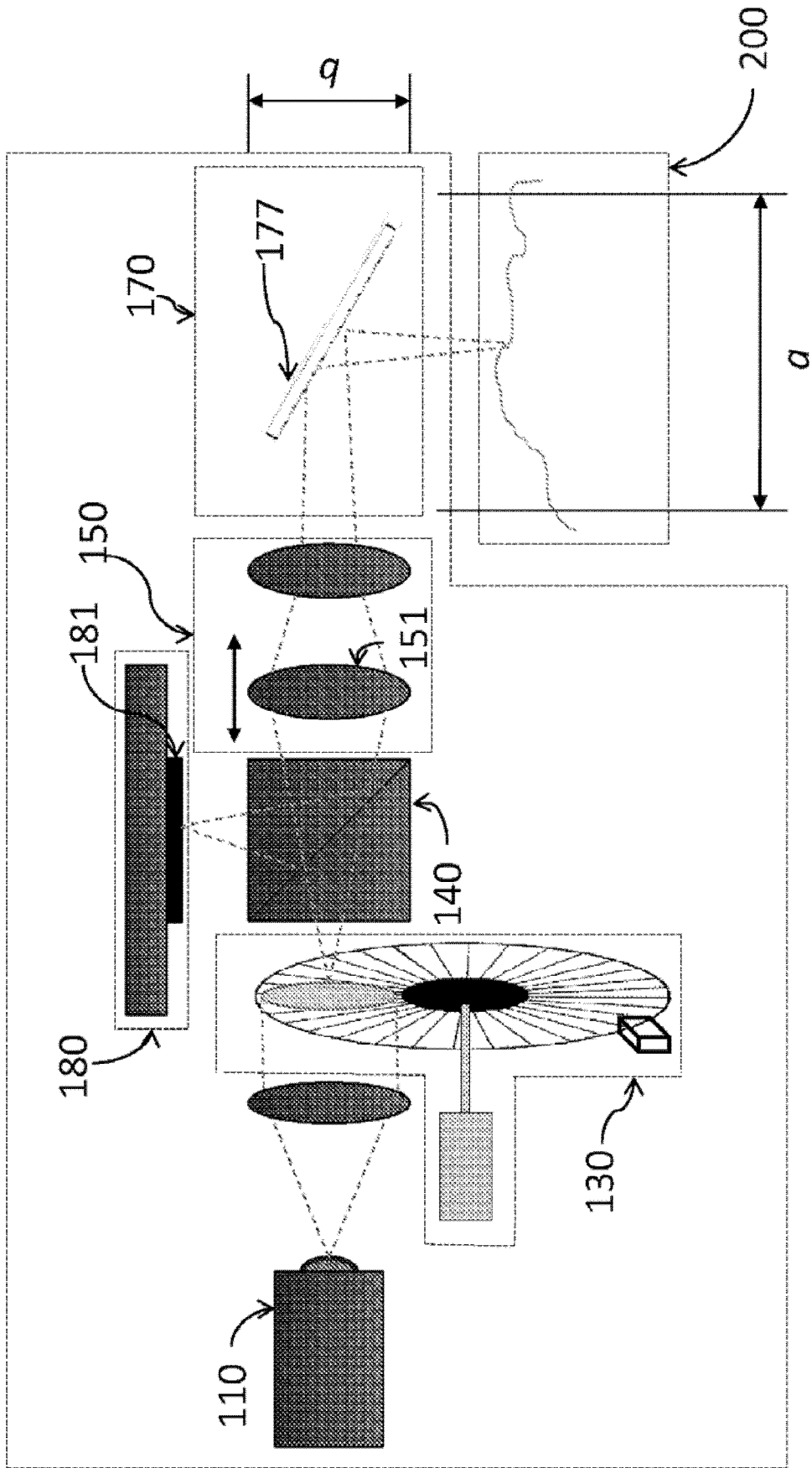


图 7

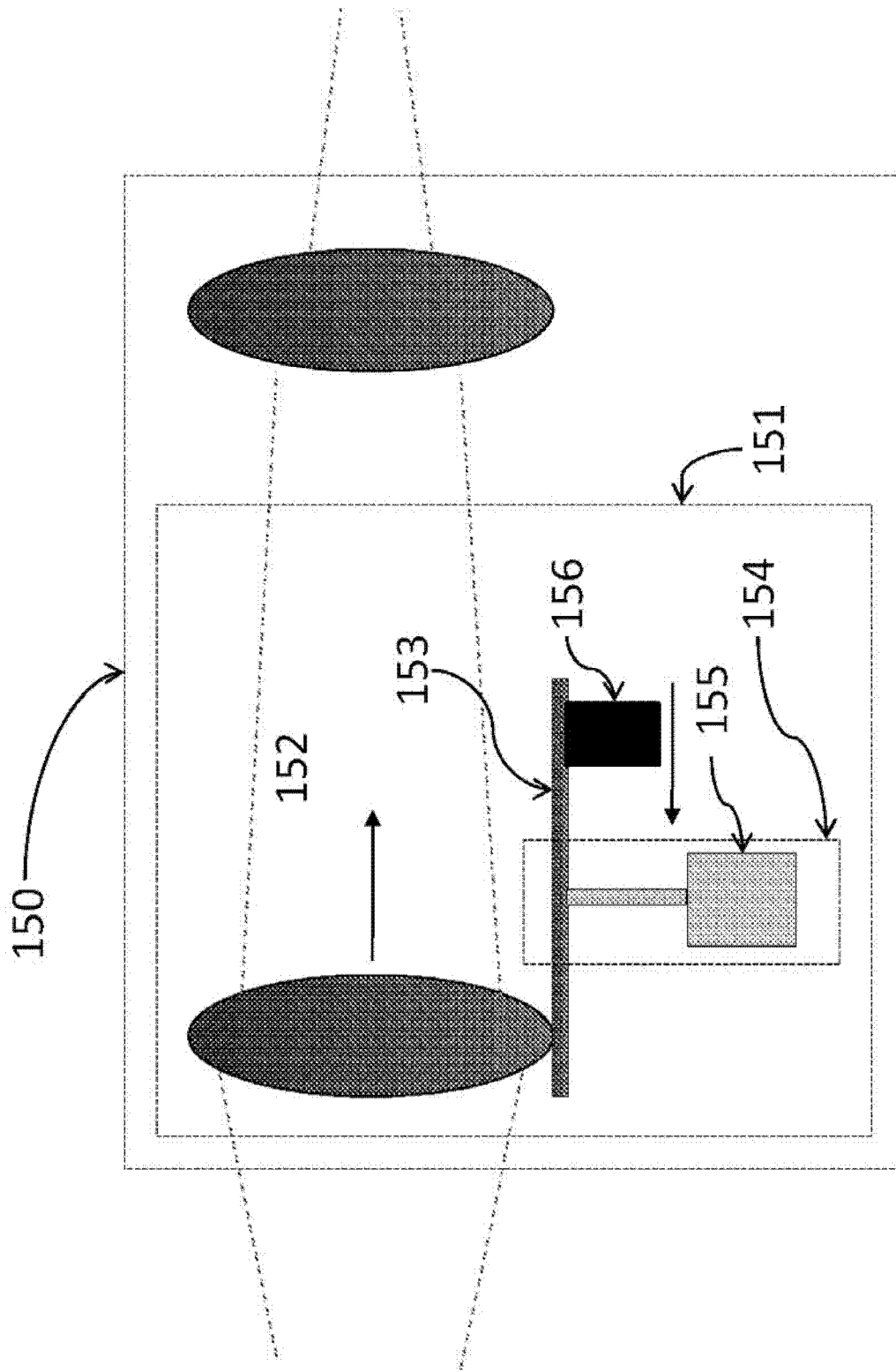


图 8

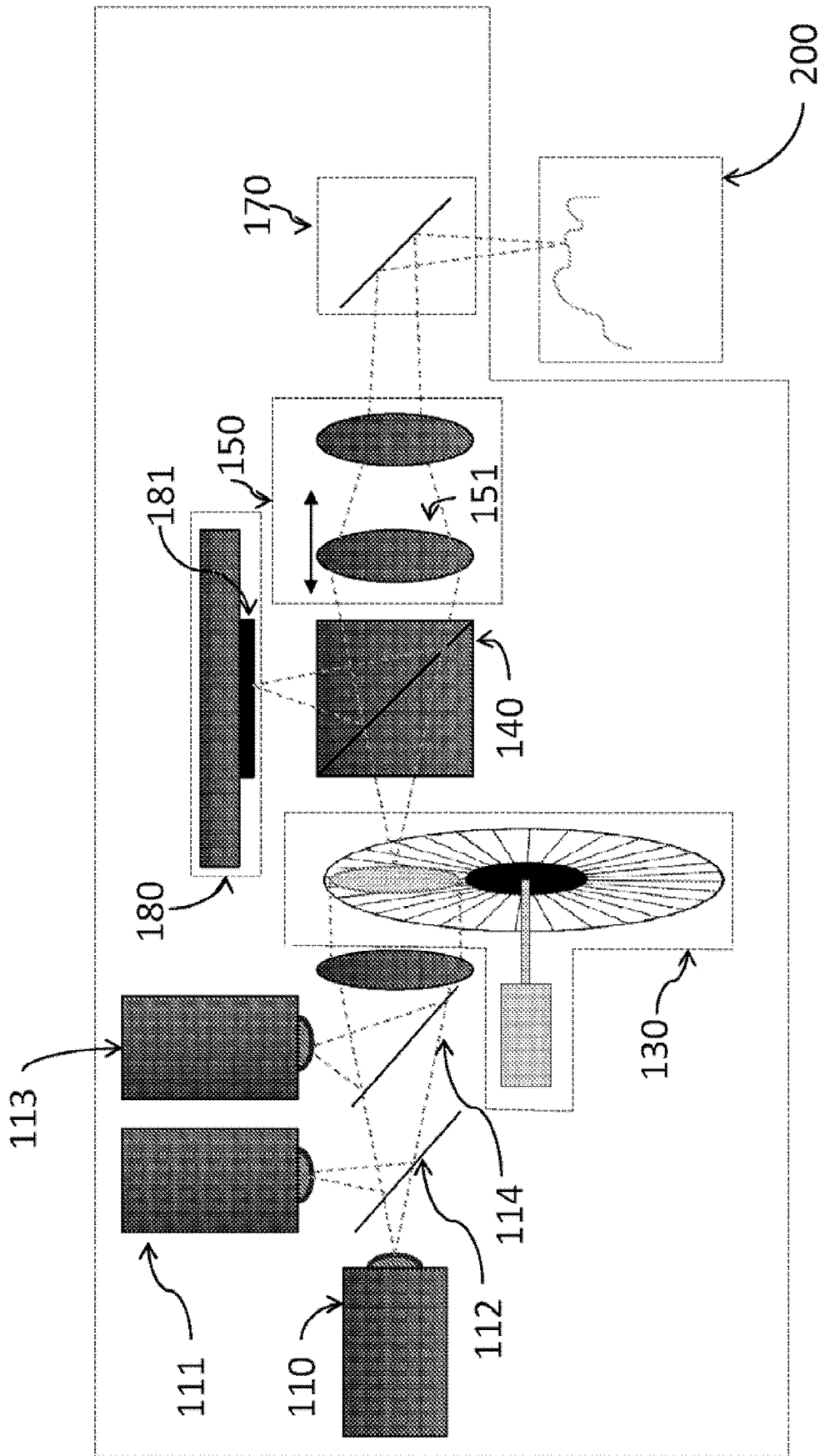


图 9

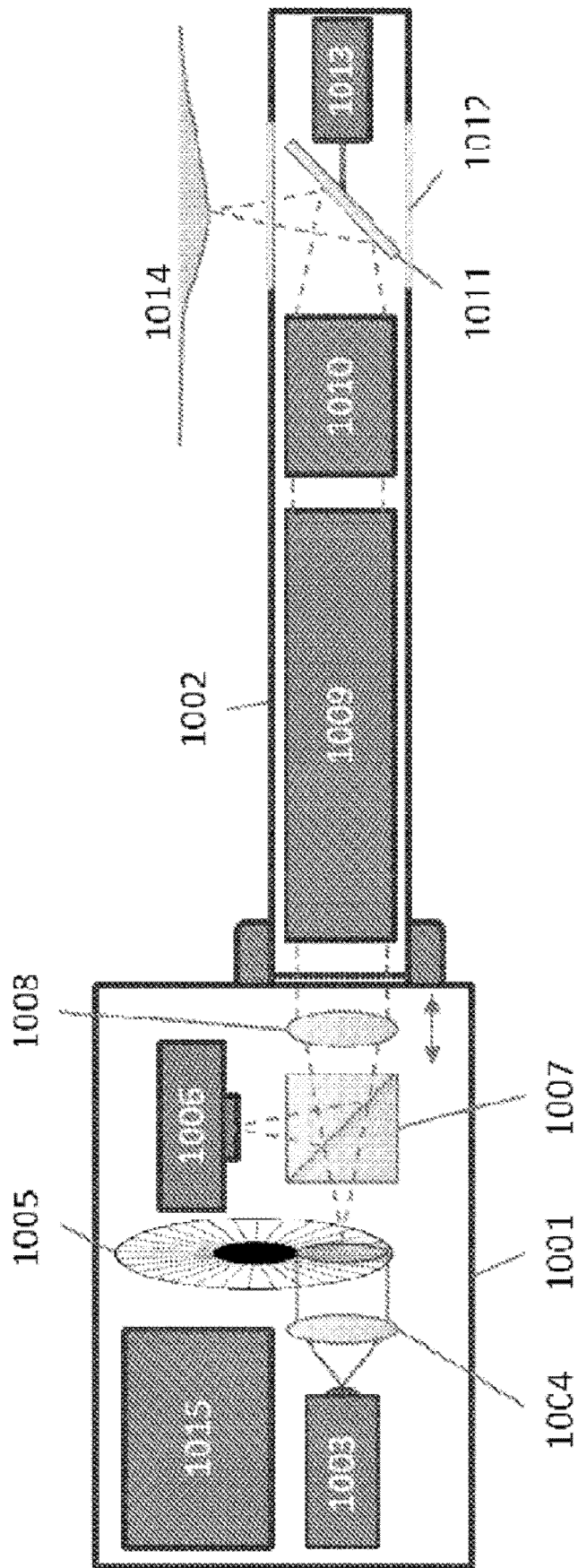


图 12

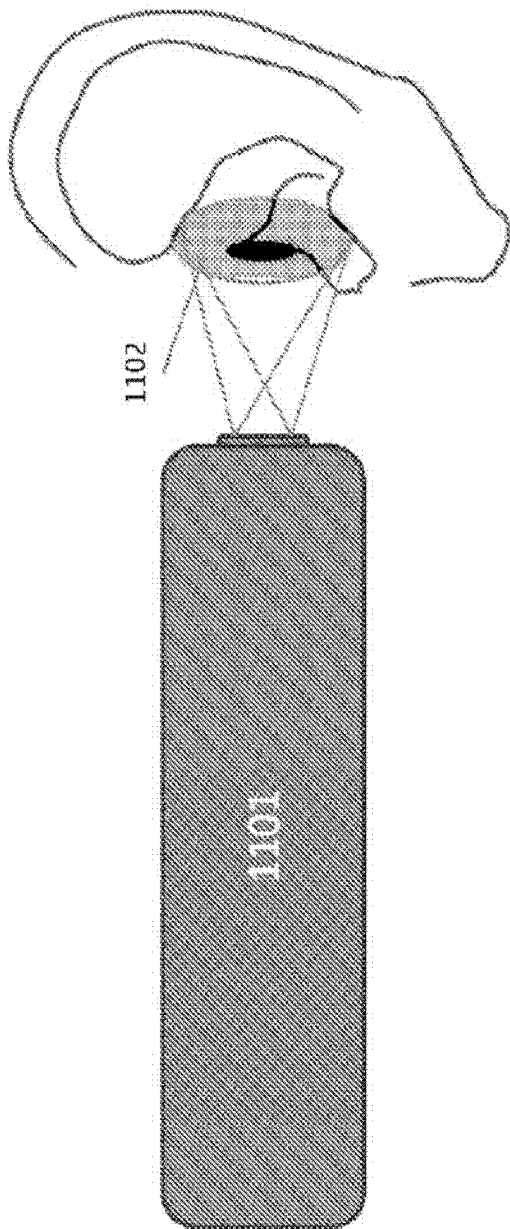


图 13a

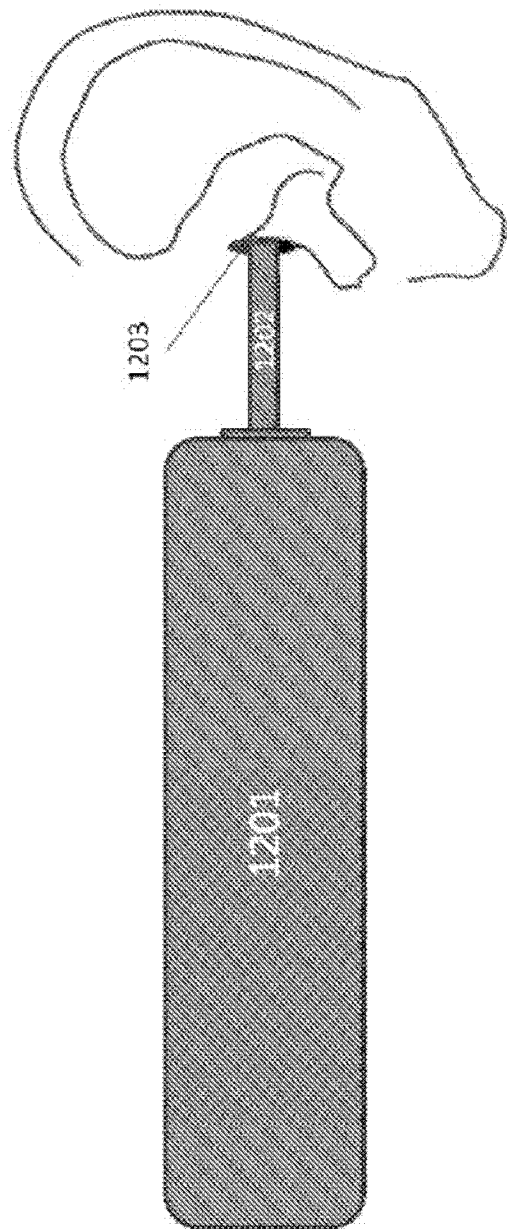


图 13b

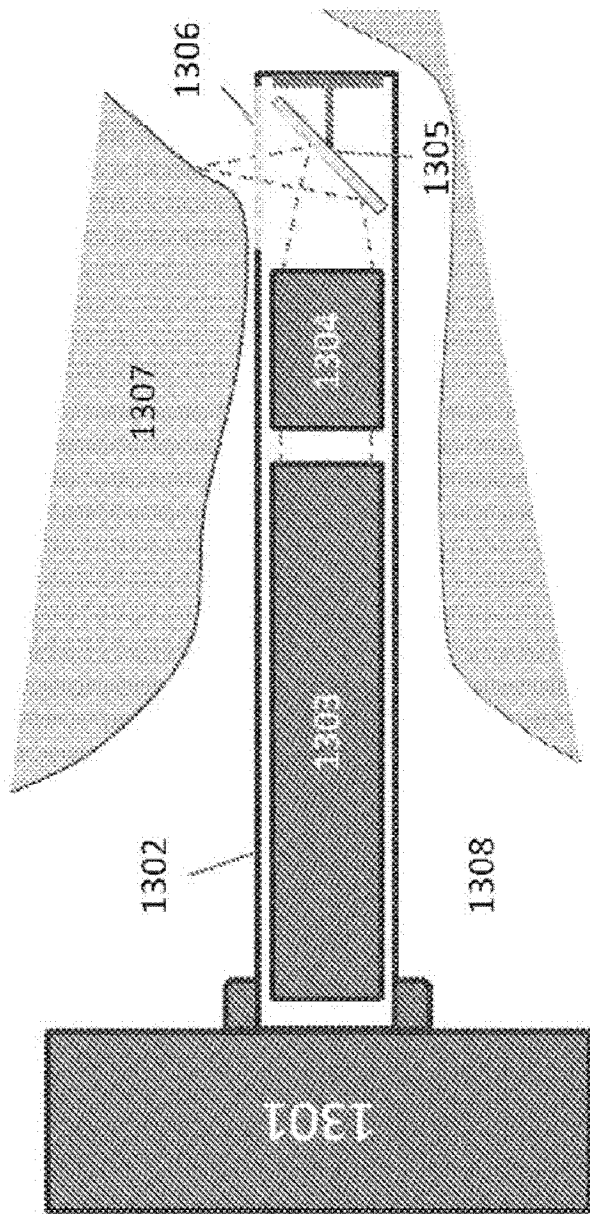


图 14

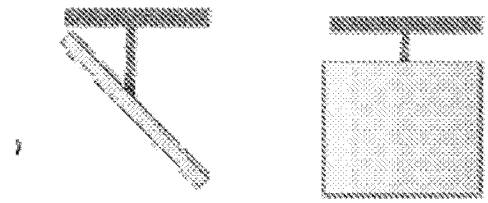


图 15a



图 15b

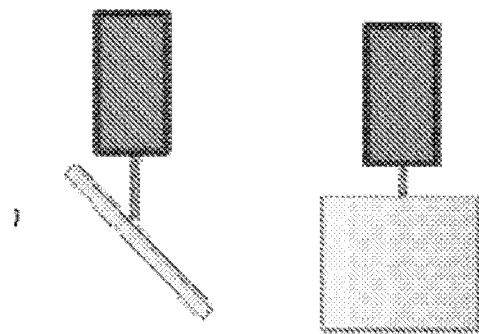


图 15c

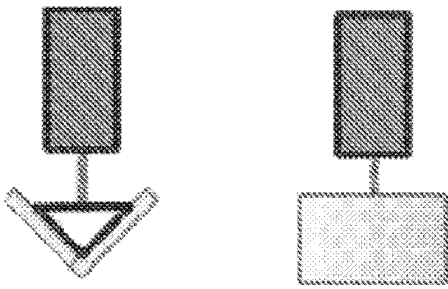


图 15d

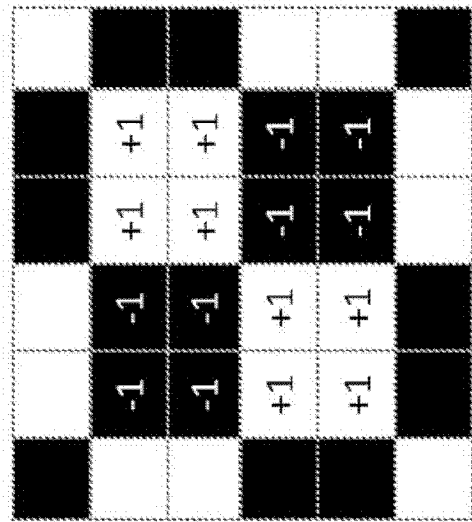


图 16

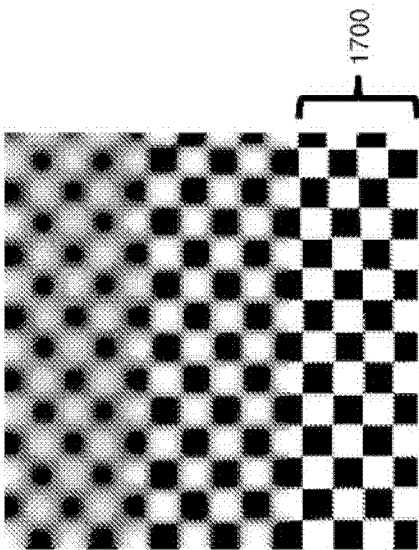


图 17a

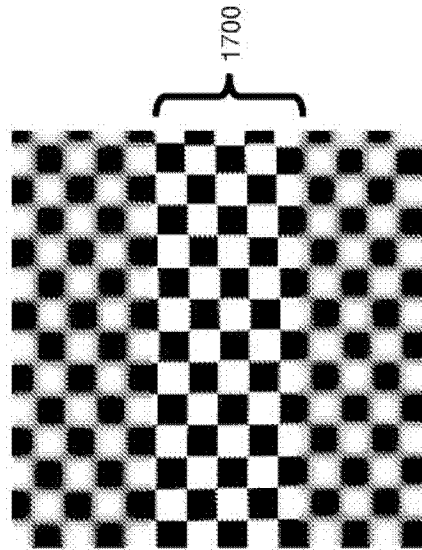


图 17b

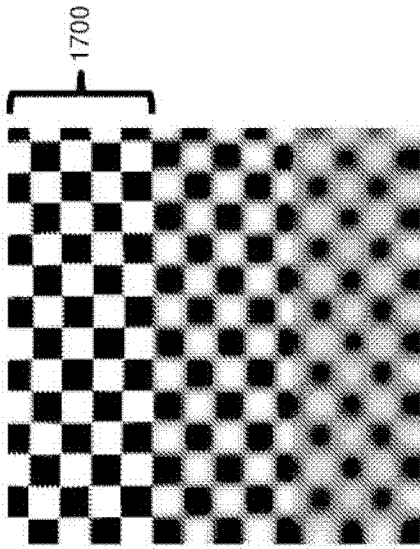


图 17c

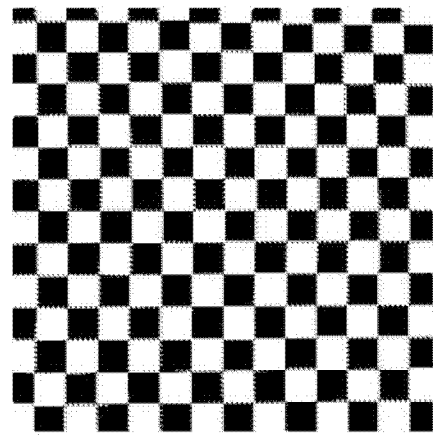


图 17d

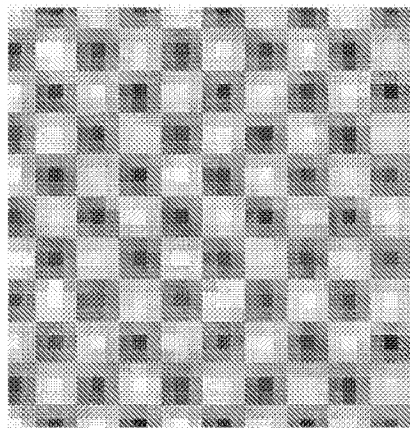


图 17e

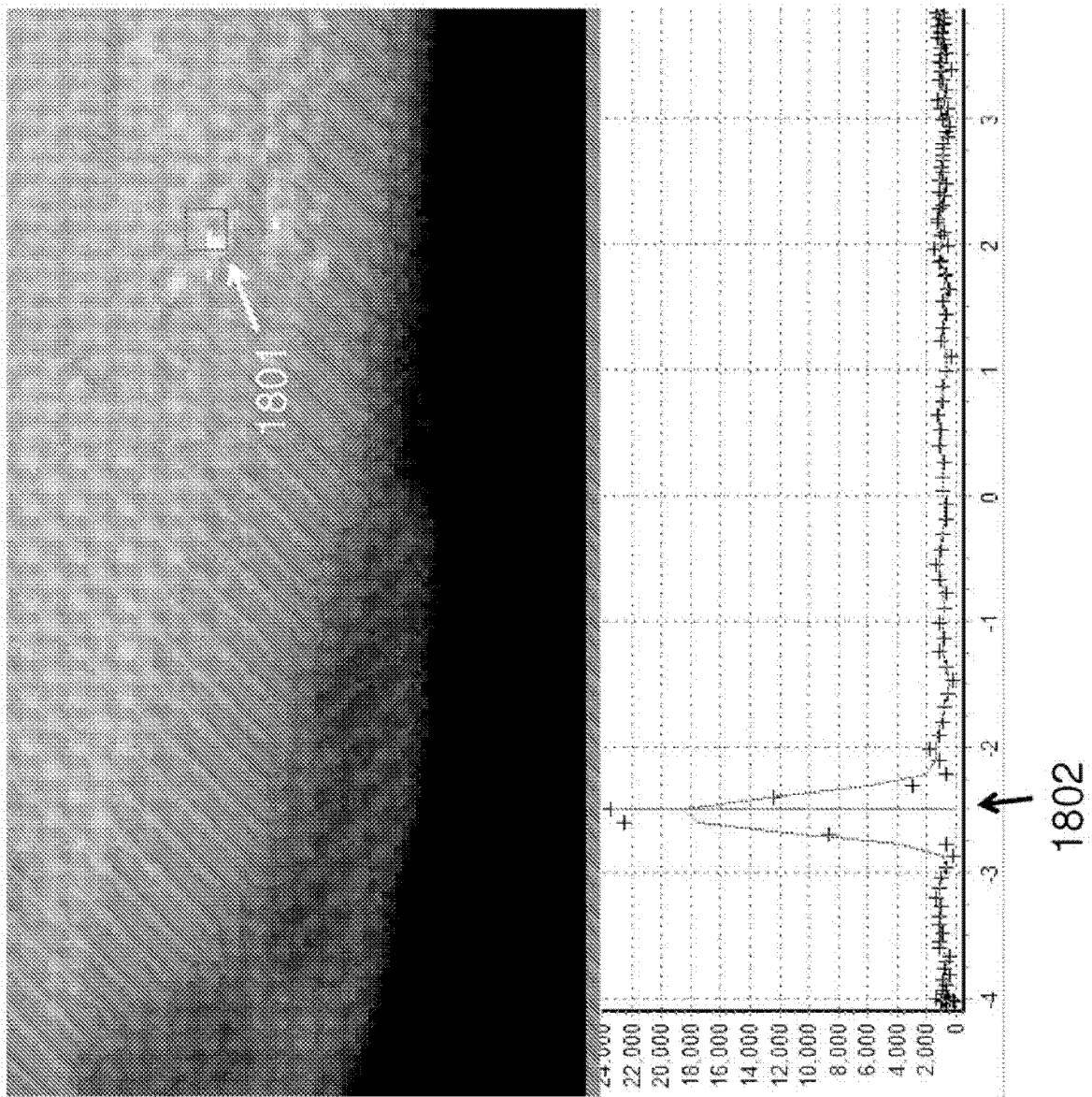


图 18

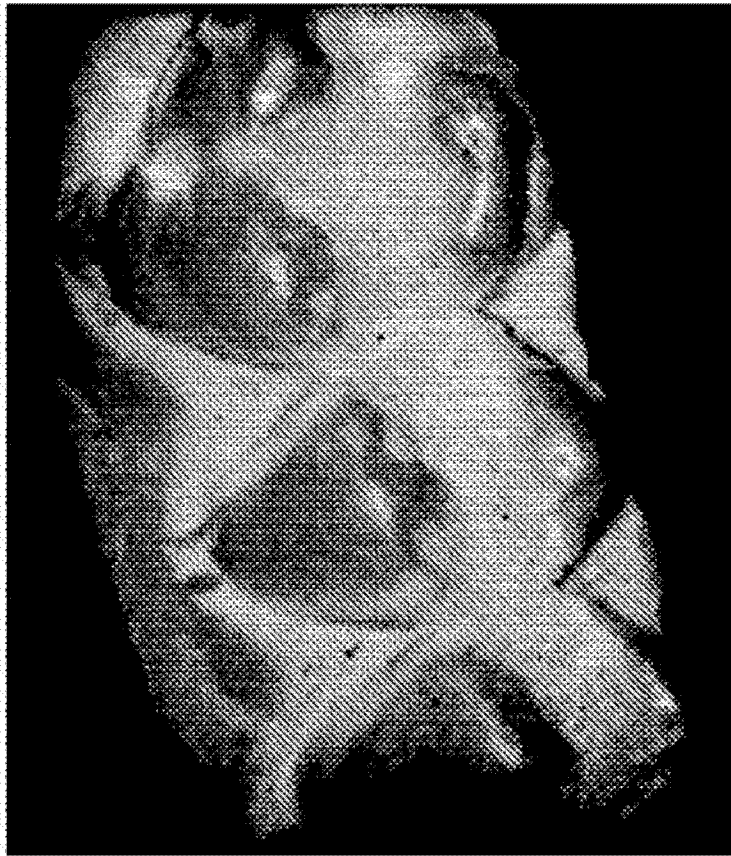


图 19

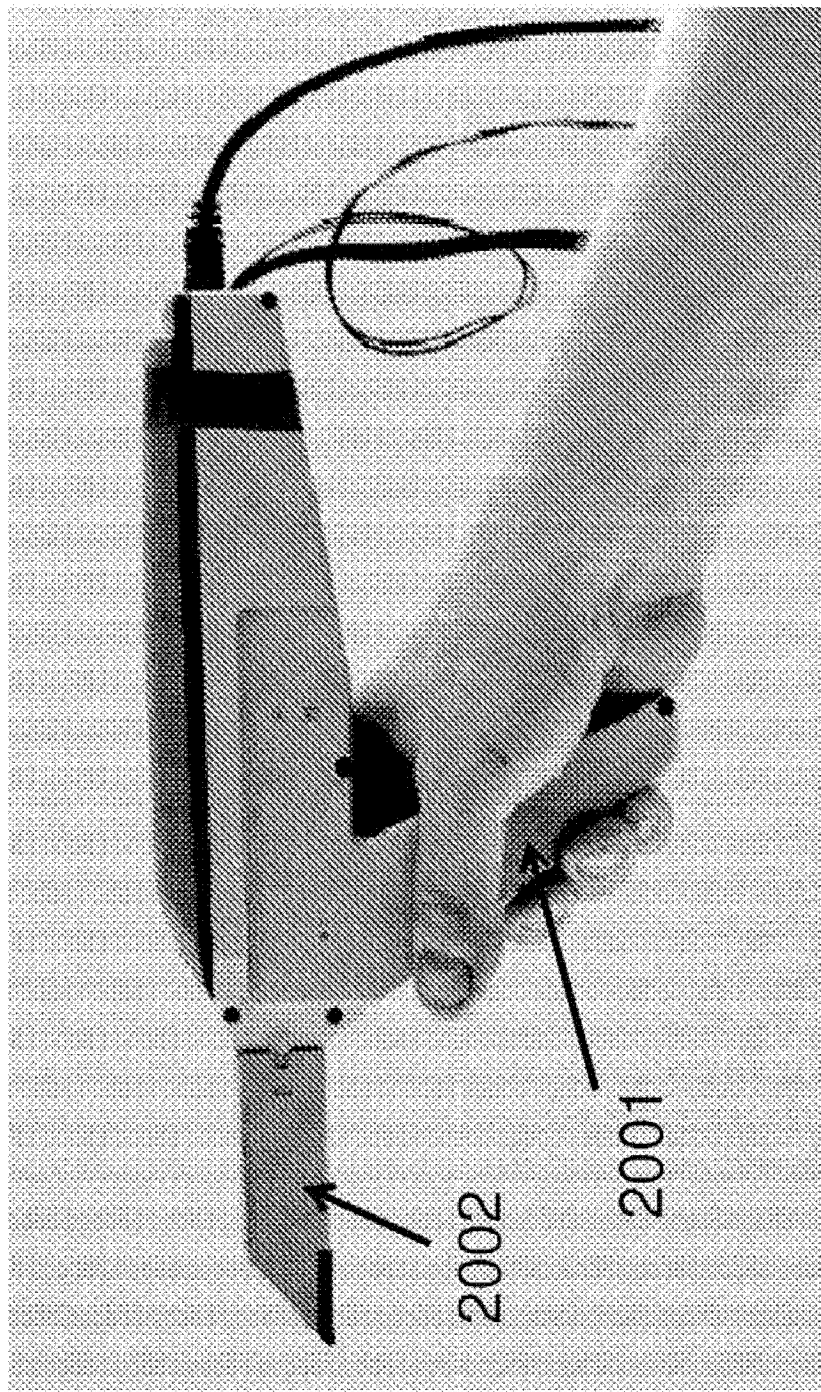


图 20