



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113917439 A

(43) 申请公布日 2022. 01. 11

(21) 申请号 202111202398.3

G01S 7/481 (2006.01)

(22) 申请日 2015.08.14

(30) 优先权数据

62/038,065 2014.08.15 US

(62) 分案原申请数据

201580050574.2 2015.08.14

(71) 申请人 艾耶股份有限公司

地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 L·C·杜珊

(74) 专利代理机构 北京思益华伦专利代理事务

所(普通合伙) 11418

代理人 赵飞 张素玲

(51) Int. Cl.

G01S 7/484 (2006.01)

G01S 7/483 (2006.01)

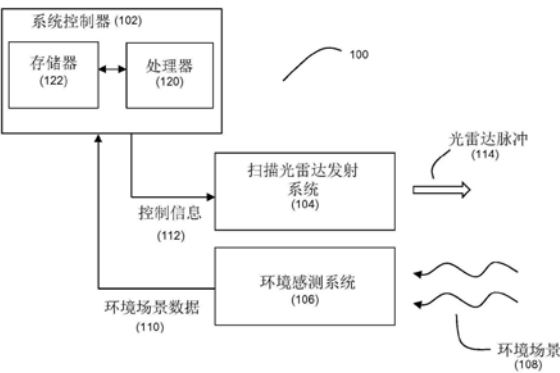
权利要求书4页 说明书28页 附图33页

(54) 发明名称

用于光雷达发射的方法和系统

(57) 摘要

揭示用于改善光雷达发射的各种实施例,包括但不限于使用闭环回路反馈控制来精细地控制反射镜扫描位置的实例实施例、使用范围点向下选择来改善扫描的实例实施例,以及其它实施例。



1. 一种方法,其包括:

接收表示充当扫描光雷达发射系统的扫描区域的环境场景的帧数据,所述帧数据包括界定所述扫描区域的多个点;

对所述帧数据执行拐角检测以识别所述环境场景内的拐角特征;以及

选择所述点的子集以用作由所述扫描光雷达发射系统所发射的光雷达脉冲瞄准的范围点,其中所述子集包含对应于所述环境场景内的所述所识别拐角特征的多个点;且

其中所述方法步骤是由处理器执行。

2. 根据权利要求1所述的方法,其进一步包括:

所述扫描光雷达发射系统将多个光雷达脉冲朝向所述所选子集的所述范围点发射。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述发射步骤包括所述扫描光雷达发射系统根据动态扫描图形将所述光雷达脉冲朝向所述所选子集的所述范围点发射。

4. 根据权利要求2到3中任一权利要求所述的方法,其进一步包括:

所述处理器对于表示所述环境场景的多个帧中的每一个重复所述接收、执行和选择步骤;且

所述扫描光雷达发射系统对于每一帧将所述光雷达脉冲朝向所述所选子集的所述范围点发射。

5. 根据权利要求2到4中任一权利要求所述的方法,其中所述选择步骤包括所述处理器在所述环境场景的对应于所述所识别拐角特征的区域选择比在所述环境场景的另一区域内浓度相对较高的范围点。

6. 根据权利要求5所述的方法,其进一步包括:

所述处理器识别对应于所述环境场景的不同段的多个帧数据段;且

其中所述选择步骤包括所述处理器逐段地选择范围点的所述子集。

7. 根据权利要求6所述的方法,其进一步包括所述处理器根据大小参数和阈值参数控制所述分段。

8. 根据权利要求6到7中任一权利要求所述的方法,其中所述执行步骤包括所述处理器对于多个所述所识别帧数据段中的每一个单独地执行所述拐角检测。

9. 根据权利要求8所述的方法,其进一步包括:

所述处理器根据由(1)距离参数、(2)角度参数和(3)密度参数组成的群组的至少一个成员而执行所述逐段选择。

10. 根据权利要求1到9中任一权利要求所述的方法,其中所述选择步骤进一步包括:

所述处理器选择所述帧数据内的多个点作为用于保持在所述子集中的范围点候选者;以及

所述处理器基于所界定点预算参数而优化用于保持在所述子集中的所述范围点候选者。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中所述选择步骤进一步包括:

所述处理器界定用于所述环境场景的填充图形;以及

所述处理器根据所述所界定填充图形而选择多个范围点候选者。

12. 根据权利要求10到11中任一权利要求所述的方法,其中所述选择步骤进一步包括所述处理器基于距离参数优化用于保持在所述子集中的所述范围点候选者以消除鉴于所

述距离参数而被认为彼此过于接近的多个范围点候选者。

13. 根据权利要求1到12中任一权利要求所述的方法, 其中所述帧数据包括表示所述环境场景的图像数据。

14. 根据权利要求1到12中任一权利要求所述的方法, 其中所述帧数据是从表示所述环境场景的光雷达点云导出。

15. 一种方法, 其包括:

接收表示充当扫描光雷达发射系统的扫描区域的环境场景的帧数据, 所述帧数据包括界定所述扫描区域的多个点;

识别对应于所述环境场景的不同段的多个帧数据段;

单独地分析多个所述所识别帧数据段中的每一个以识别这些帧数据段内的高对比度区域; 以及

选择所述点的子集以用作由所述扫描光雷达发射系统所发射的光雷达脉冲瞄准的范围点, 其中所述子集在所述环境场景的对应于所识别高对比度区域的区域内比所述环境场景的另一区域内包含的范围点的浓度相对较高; 且

其中所述方法步骤是由处理器执行。

16. 根据权利要求15所述的方法, 其进一步包括:

所述扫描光雷达发射系统将多个光雷达脉冲朝向所述所选子集的所述范围点发射。

17. 根据权利要求15到16中任一权利要求所述的方法, 其中所述分析步骤包括所述处理器执行由边缘检测和拐角检测组成的群组的成员。

18. 根据权利要求15到17中任一权利要求所述的方法, 其进一步包括所述处理器根据大小参数和阈值参数控制所述分段。

19. 根据权利要求15到18中任一权利要求所述的方法, 其中所述帧数据包括表示所述环境场景的图像数据。

20. 根据权利要求15到18中任一权利要求所述的方法, 其中所述帧数据是从表示所述环境场景的光雷达点云导出。

21. 一种设备, 其包括:

处理器, 其经配置以: (1) 接收表示充当扫描光雷达发射系统的扫描区域的环境场景的帧数据, 所述帧数据包括界定所述扫描区域的多个点; (2) 对所述帧数据执行拐角检测以识别所述环境场景内的拐角特征, 以及 (3) 选择所述点的子集以用作由所述扫描光雷达发射系统所发射的光雷达脉冲瞄准的范围点, 其中所述子集包含对应于所述环境场景内的所述所识别拐角特征的多个点。

22. 根据权利要求21所述的设备, 其进一步包括:

所述扫描光雷达发射系统, 其中所述扫描光雷达发射系统经配置以将多个光雷达脉冲朝向所述所选子集的所述范围点发射。

23. 根据权利要求22所述的设备, 其中所述扫描光雷达发射系统进一步经配置以根据动态扫描图形将所述光雷达脉冲朝向所述所选子集的所述范围点发射。

24. 根据权利要求22到23中任一权利要求所述的设备, 其中所述处理器进一步经配置以对于表示所述环境场景的多个帧中的每一个重复所述接收操作、所述拐角检测执行操作以及所述子集选择操作; 且

其中所述扫描光雷达发射系统进一步经配置以对于每一帧将所述光雷达脉冲朝向所述所选子集的所述发射。

25. 根据权利要求22到24中任一权利要求所述的设备, 其中所述处理器进一步经配置以选择所述子集, 使得在所述环境场景的对应于所述所识别拐角特征的区域选择比在所述环境场景的另一区域内浓度相对较高的范围点。

26. 根据权利要求25所述的设备, 其中所述处理器进一步经配置以 (1) 识别对应于所述环境场景的不同段的多个帧数据段, 且 (2) 逐段地选择用于包含在所述子集中的所述范围点。

27. 根据权利要求26所述的设备, 其中所述处理器进一步经配置以根据大小参数和阈值参数控制所述分段。

28. 根据权利要求26所述的设备, 其中所述处理器进一步经配置以对于多个所述所识别帧数据段中的每一个单独地执行所述拐角检测。

29. 根据权利要求26到28中任一权利要求所述的设备, 其中所述处理器进一步经配置以根据由 (1) 距离参数、(2) 角度参数和 (3) 密度参数组成的群组的至少一个成员而执行用于包含在所述子集中的范围点的所述逐段选择。

30. 根据权利要求21到29中任一权利要求所述的设备, 其中所述处理器进一步经配置以 (1) 选择所述帧数据内的多个点作为用于保持在所述子集中的范围点候选者, 且 (2) 基于所界定点预算参数而优化用于保持在所述子集中的所述范围点候选者。

31. 根据权利要求30所述的设备, 其中所述进一步经配置以 (1) 界定用于所述环境场景的填充图形, 且 (2) 根据所述所界定填充图形而选择多个范围点候选者。

32. 根据权利要求30到31中任一权利要求所述的设备, 其中所述处理器进一步经配置以基于距离参数优化用于保持在所述子集中的所述范围点候选者以消除鉴于所述距离参数而被认为彼此过于接近的多个范围点候选者。

33. 根据权利要求21到32中任一权利要求所述的设备, 其中所述帧数据包括表示所述环境场景的图像数据。

34. 根据权利要求21到32中任一权利要求所述的设备, 其中所述帧数据是从表示所述环境场景的光雷达点云导出。

35. 一种设备, 其包括:

处理器, 其经配置以 (1) 接收表示充当扫描光雷达发射系统的扫描区域的环境场景的帧数据, 所述帧数据包括界定所述扫描区域的多个点; (2) 识别对应于所述环境场景的不同段的多个帧数据段; (3) 单独地分析多个所述所识别帧数据段中的每一个以识别这些帧数据段内的高对比度区域; 以及 (4) 选择所述点的子集以用作由所述扫描光雷达发射系统所发射的光雷达脉冲瞄准的范围点, 其中所述子集在所述环境场景的对应于所识别高对比度区域的区域内比所述环境场景的另一区域内包含的范围点的浓度相对较高。

36. 根据权利要求35所述的设备, 其进一步包括:

所述扫描光雷达发射系统, 其中所述扫描光雷达发射系统经配置以将多个光雷达脉冲朝向所述所选子集的所述范围点发射。

37. 根据权利要求35到36中任一权利要求所述的设备, 其中所述处理器进一步经配置以作为所述分析操作的部分而执行由边缘检测和拐角检测组成的群组的成员。

38. 根据权利要求35到37中任一权利要求所述的设备, 其中所述处理器进一步经配置以根据大小参数和阈值参数控制所述分段。

39. 根据权利要求35到38中任一权利要求所述的设备, 其中所述帧数据包括表示所述环境场景的图像数据。

40. 根据权利要求35到38中任一权利要求所述的设备, 其中所述帧数据是从表示所述环境场景的光雷达点云导出。

## 用于光雷达发射的方法和系统

本发明申请是中国专利申请CN201580050574.2的分案申请。

对相关专利申请案的交叉引用和优先权主张

[0001] 本专利申请案主张2014年8月15日提交的第62/038,065号美国临时专利申请案的优先权,其全部揭示内容以引用的方式并入本文中。

### 背景技术

[0002] 据信,在此项技术中极为需要改善计算机视觉技术,尤其是在例如汽车计算机视觉等领域中。然而,这些需要不限于汽车计算机视觉市场,因为改善计算机视觉技术的需求广泛地跨越多种领域,包括但不限于自主平台视觉(例如,用于空气、陆地(包含地下)、水(包含水下)和太空的自主车辆,例如基于陆地的自主车辆、自主飞行器,等)、监测(例如,边界安全性、无人驾驶飞机监控,等)、绘图(例如,亚表层隧道绘图、经由无人驾驶飞机绘图,等)、目标辨识应用、远程感测、安全警告(例如,对于驾驶员),等等)。

[0003] 在本文中使用时,术语“光雷达”是指且涵盖激光雷达、激光检测和测距以及光检测与测距(“光达”)中的任一者。光雷达为广泛结合计算机视觉而使用的技术。在示范性光雷达系统中,包含激光源的发射器将例如光雷达脉冲等激光输出发射到邻近环境中。接着,光雷达接收器将从所述邻近环境中的物体接收对此激光输出的反射,且光雷达接收器将处理所接收反射以确定到此类物体的距离(范围信息)。基于此范围信息,可以通过希望计算例如障碍物避免情形中的路径规划、导航点确定等事情的主机处理器获得对环境几何布置的更清晰理解。然而,用于计算机视觉问题的常规光雷达解决方案具有高成本、大的大小、大重量和大功率要求,以及大的数据带宽使用。此情形的最佳实例是车辆自主性。这些并发因素在很大程度上将其有效使用限制于仅需要短视觉范围、窄视场和/或低重游比率的昂贵应用。

[0004] 举例来说,光雷达系统在此项技术中已知,其中光雷达发射器同时照亮大量的范围点。闪烁式光雷达为此类系统的实例。然而,相信这些常规系统具有数个缺点。举例来说,闪烁式光雷达系统每脉冲激光需要非常高的能量,这不仅昂贵而且也可能对眼睛有害。此外,用于闪烁式光雷达系统的读出集成电路通常噪声相当大。而且,用于闪烁式光雷达系统的宽视场信噪比(SNR)通常非常低,这导致短范围,由此削弱其有用性。

### 发明内容

[0005] 为致力于满足此项技术中改善基于光雷达的计算机视觉技术的需要,本文揭示用于以新的创新方式应用扫描光雷达发射概念的方法和系统的数个实施例。扫描光雷达不同于闪烁式光雷达,不同之处在于扫描光雷达将光雷达脉冲依序发射到目标范围点,而非使用很大程度上非目标性的闪烁照明。尽管常规扫描光雷达解决结合闪烁式光雷达所经历的许多问题,但常规扫描光雷达系统通常经受庞大性和帧率限制。为致力于提供此项技术中的额外进步的过程中,本文揭示改善的扫描光雷达发射技术。

[0006] 举例来说,本文揭示一种方法,其包括:(1)处理拍摄列表,所述拍摄列表包括用于

由扫描光雷达发射系统瞄准的多个范围点；(2) 通过基于所述经处理拍摄列表使用多个反射镜扫描位置的闭合回路反馈控制而依据所述反射镜扫描位置对反射镜进行扫描来控制所述扫描光雷达发射系统的动态扫描图形以瞄准所述经处理拍摄列表的所述范围点，其中所述反射镜扫描位置界定所述扫描光雷达发射系统瞄准之处；以及(3) 通过所述受控扫描光雷达发射系统根据所述动态扫描图形将多个光雷达脉冲朝向所述经处理拍摄列表的所述范围点发射。

[0007] 在一实例实施例中，所述扫描位置为可移动反射镜的扫描角度，由此所述可移动反射镜围绕轴线旋转以改变其扫描角度。然而，应理解，所述扫描位置无需限于扫描角度，且其它实施例可以在横向和/或高度方向上扫描所述可移动反射镜以界定所述系统瞄准之处。

[0008] 作为另一实例实施例，本文揭示一种方法，其包括：(1) 通过以下操作使扫描光雷达发射系统根据动态扫描图形瞄准多个范围点：(i) 基于第一电压波形在第一轴线上扫描第一反射镜，以及(ii) 基于第二电压波形在第二轴线上扫描第二反射镜，其中所述第二电压波形随所述目标范围点而变；(2) 根据所述动态扫描图形经由扫描反射镜将多个光雷达脉冲发射到所述目标范围点；以及(3) 基于对于所述扫描反射镜中的至少一个的闭合回路反馈控制而调整所述第一电压波形和所述第二电压波形中的至少一个。

[0009] 更进一步，作为另一实例实施例，本文揭示一种设备，其包括扫描光雷达发射系统，其中所述扫描光雷达发射系统包括：(1) 射束扫描器，所述射束扫描器包含反射镜，其中所述射束扫描器经配置以(i) 响应于控制信号而依据多个反射镜扫描位置对所述反射镜进行扫描且(ii) 将多个传入光雷达脉冲引导到所述扫描反射镜上以将所述光雷达脉冲朝向多个范围点发射；(2) 射束扫描器控制器，其中所述射束扫描器控制器经配置以产生用于所述射束扫描器的所述控制信号，使得所述控制信号界定所述扫描光雷达发射系统对于所述范围点的动态扫描图形；以及(3) 与所述射束扫描器和所述射束扫描器控制器操作性通信的闭合回路反馈系统，其中所述闭合回路反馈控制系统经配置以(i) 感测所述反射镜的多个实际反射镜扫描位置且(ii) 将指示所述反射镜的所述实际反射镜扫描位置的反馈信号提供到所述射束扫描器控制器，所述反馈信号用于由所述射束扫描器控制器使用以调整所述控制信号以便使所述所发射光雷达脉冲保持瞄向所述范围点。

[0010] 根据又一实例实施例，本文揭示一种设备，其包括：(1) 射束扫描器，所述射束扫描器包含第一可扫描反射镜和第二可扫描反射镜，其中所述射束扫描器经配置以(i) 响应于第一电压波形而依据多个反射镜扫描位置在第一轴线上扫描所述第一可扫描反射镜，(ii) 响应于第二电压波形而依据多个反射镜扫描位置在第二轴线上扫描所述第二可扫描反射镜，以及(iii) 经由多个传入光雷达脉冲从所述第一可扫描反射镜向前朝向多个范围点到所述第二可扫描反射镜的反射而将所述光雷达脉冲朝向所述范围点引导；以及(2) 射束扫描器控制器，其中所述射束扫描器控制器经配置以(i) 产生用于所述射束扫描器的所述第一电压波形和所述第二电压波形，使得所述第一电压波形与所述第二电压波形的组合界定所述射束扫描器对于所述范围点的动态扫描图形，以及(ii) 基于对于所述第一可扫描反射镜和所述第二可扫描反射镜中的至少一个的闭合回路反馈控制而调整所述第一波形和所述第二波形中的至少一个。

[0011] 对于另一实例实施例，本文中描述一种方法，其包括：(1) 接收表示充当扫描光雷

达发射系统的扫描区域的环境场景的帧数据,所述帧数据包括界定所述扫描区域的多个点;(2)对所述帧数据执行拐角检测以识别所述环境场景内的拐角特征;以及(3)选择所述点的子集以用作由所述扫描光雷达发射系统所发射的光雷达脉冲瞄准的范围点,其中所述子集包含对应于所述环境场景内的所述所识别拐角特征的多个点,且其中所述方法步骤是由处理器执行。

[0012] 本文中还可作为实例实施例而描述一种设备,其包括处理器,所述处理器经配置以(1)接收表示充当扫描光雷达发射系统的扫描区域的环境场景的帧数据,所述帧数据包括界定所述扫描区域的多个点;(2)对所述帧数据执行拐角检测以识别所述环境场景内的拐角特征,以及(3)选择所述点的子集以用作由所述扫描光雷达发射系统所发射的光雷达脉冲瞄准的范围点,其中所述子集包含对应于所述环境场景内的所述所识别拐角特征的多个点。

[0013] 作为又一实例实施例,本文揭示一种方法,其包括:(1)接收表示充当扫描光雷达发射系统的扫描区域的环境场景的帧数据,所述帧数据包括界定所述扫描区域的多个点;(2)识别对应于所述环境场景的不同段的多个帧数据段;(3)单独地分析多个所述所识别帧数据段中的每一个以识别这些帧数据段内的高对比度区域;以及(4)选择所述点的子集以用作由所述扫描光雷达发射系统所发射的光雷达脉冲瞄准的范围点,其中所述子集在所述环境场景的对应于所识别高对比度区域的区域内比所述环境场景的另一区域内包含的范围点的浓度相对较高,且其中所述方法步骤是由处理器执行。

[0014] 更进一步,作为另一实例实施例,本文揭示一种设备,其包括处理器,所述处理器经配置以:(1)接收表示充当扫描光雷达发射系统的扫描区域的环境场景的帧数据,所述帧数据包括界定所述扫描区域的多个点;(2)识别对应于所述环境场景的不同段的多个帧数据段;(3)单独地分析多个所述所识别帧数据段中的每一个以识别这些帧数据段内的高对比度区域;以及(4)选择所述点的子集以用作由所述扫描光雷达发射系统所发射的光雷达脉冲瞄准的范围点,其中所述子集在所述环境场景的对应于所识别高对比度区域的区域内比所述环境场景的另一区域内包含的范围点的浓度相对较高。

[0015] 对于又一实例实施例,本文中描述一种方法,其包括:(1)经由光雷达产生点云,所述点云表示环境场景且包括多个范围点,以及(2)通过以下操作压缩所述点云:(i)处理表示所述环境场景的数据,以及(ii)基于所述处理,选择所述点云中的多个所述范围点用于保持在经压缩点云中,所述经压缩点云包括的范围点比所述所产生点云少,且其中所述压缩步骤是由处理器执行。在实例实施例中,所述点云可以经由扫描光雷达或经由闪烁式光雷达产生。

[0016] 还可作为一实例实施例而揭示一种设备,其包括:(1)光雷达系统,所述光雷达系统经配置以经由光雷达产生点云,所述点云表示环境场景且包括多个范围点;以及(2)处理器,所述处理器经配置以通过以下操作压缩所述点云:(i)处理表示所述环境场景的数据,以及(ii)基于所述处理,选择所述点云中的多个所述范围点用于保持在经压缩点云中,所述经压缩点云包括的范围点比所述所产生点云少。

[0017] 作为另一实例,本文揭示一种方法,其包括:(1)处理拍摄列表,所述拍摄列表包括用于由扫描光雷达发射系统瞄准的多个范围点,其中所述扫描光雷达发射系统包括(i)可关于第一轴线扫描的第一反射镜和(ii)可关于与所述第一轴线正交的第二轴线扫描的第



二反射镜,其中所述第二反射镜包括自旋多边形反射镜;(2)通过基于所述经处理拍摄列表依据多个反射镜扫描位置扫描第一反射镜和所述自旋多边形反射镜来控制所述扫描光雷达发射系统的动态扫描图形以瞄准所述经处理拍摄列表的所述范围点,其中所述第一反射镜与自旋多边形反射镜的所述反射镜扫描位置的组合界定所述扫描光雷达发射系统瞄准的所述范围点;以及(3)通过所述受控扫描光雷达发射系统根据所述动态扫描图形将多个光雷达脉冲朝向所述经处理拍摄列表的所述范围点发射。

[0018] 根据另一实例实施例,本文揭示一种设备,其包括扫描光雷达发射系统,所述扫描光雷达发射系统经配置以经由多个可扫描反射镜将多个光雷达脉冲朝向多个范围点引导,其中所述扫描光雷达发射系统包括:(1)射束扫描器,所述射束扫描器包含第一反射镜和第二反射镜,其中所述第一反射镜包括自旋多边形反射镜,其中所述射束扫描器经配置以:(i)响应于使所述扫描光雷达发射系统瞄准的第一控制信号而沿着第一轴线依据多个反射镜扫描位置扫描所述第一反射镜;以及(ii)响应于使所述扫描光雷达发射系统瞄准的第二控制信号而沿着第二轴线依据多个反射镜扫描位置扫描所述第二反射镜,且其中所述第一反射镜与所述第二反射镜的所述反射镜扫描位置的组合界定所述扫描光雷达发射系统瞄准的所述范围点;以及(2)射束扫描器控制器,其中所述射束扫描器控制器经配置以产生供所述射束扫描器使用的所述第一控制信号和所述第二控制信号,使得所述第一控制信号和所述第二控制信号界定所述扫描光雷达发射系统对于所述范围点的动态扫描图形。

[0019] 作为另一实例,本文揭示一种方法,其包括:(1)处理拍摄列表,所述拍摄列表包括用于由扫描光雷达发射系统瞄准的多个范围点;(2)通过基于所述经处理拍摄列表而依据多个反射镜扫描位置对反射镜进行扫描来控制所述扫描光雷达发射系统的动态扫描图形以瞄准所述经处理拍摄列表的所述范围点,其中所述反射镜扫描位置界定所述扫描光雷达发射系统瞄准之处,其中所述动态扫描图形包含由线间跳越和线间迂回组成的群组的至少一个成员;以及(3)通过所述受控扫描光雷达发射系统根据所述动态扫描图形将多个光雷达脉冲朝向所述经处理拍摄列表的所述范围点发射。

[0020] 还作为一实例实施例而揭示一种方法,其包括通过处理器将用于光雷达扫描器瞄准的范围点列表转译为用于光雷达扫描器瞄准的拍摄列表,其方式为所述拍摄列表支持动态扫描图形,所述动态扫描图形包含由线间跳越和线间迂回组成的群组的至少一个成员,其中所述范围点列表包括多个范围点,且其中所述拍摄列表包括来自所述范围点列表的多个有序范围点。

[0021] 更进一步,本文作为另一实例实施例揭示一种设备,其包括扫描光雷达发射系统,所述扫描光雷达发射系统经配置以根据包含由线间跳越和线间迂回组成的群组的至少一个成员的动态扫描图形而将多个光雷达脉冲朝向多个范围点发射。

[0022] 在一实例实施例中,此类设备可进一步包括:(1)处理器,其经配置以处理多个范围点以产生范围点的有序集合,每一范围点具有一起界定反射镜扫描位置的相关联行识别符和相关联列识别符,所述有序集合充当用于所述扫描光雷达发射系统的拍摄列表,其中作为所述处理操作的部分,所述处理器进一步经配置以:(i)基于指示所述扫描光雷达发射系统从当前行扫描到另一行所需要的时间量的参数而确定所述扫描光雷达发射系统是否将使用任何线间跳越来瞄准所述范围点;(ii)基于所述线间跳越确定而将所述范围点排序到所述有序集合中;以及(iii)响应于将使用线间跳越的确定,用所述有序集合内的线间跳

越识别符在将执行所述线间跳越的位置处为所述拍摄列表加标记;以及(2)所述扫描光雷达发射系统的射束扫描器,所述射束扫描器包括反射镜,所述射束扫描器经配置以根据包含其中存在的任何线间跳越识别符的所述拍摄列表依据多个反射镜扫描位置对所述反射镜进行扫描以经由所述动态扫描图形瞄准所述范围点,其中所述反射镜扫描位置界定所述扫描光雷达发射系统瞄准之处,且其中所述扫描光雷达发射系统进一步经配置以经由所述扫描反射镜而根据所述动态扫描图形将多个光雷达脉冲朝向所述拍摄列表的所述范围点发射。

[0023] 在另一实例实施例中,,此类设备可进一步包括:(1)处理器,其经配置以处理多个范围点以产生范围点的有序集合,每一范围点具有一起界定反射镜扫描位置的相关联识别符和相关联列识别符,所述有序集合充当用于所述扫描光雷达发射系统的拍摄列表,其中作为所述处理操作的部分,所述处理器进一步经配置以:(i)基于指示所述扫描光雷达发射系统(a)从当前行扫描到另一行、(b)扫描到所述另一行中的范围点和(c)返回到所述当前行所需要的时间量的参数而确定所述扫描光雷达发射系统是否将使用任何线间迂回来瞄准所述范围点;(ii)基于所述线间迂回确定而将所述范围点排序到所述有序集合中;以及(iii)响应于将使用线间迂回的确定,用所述有序集合内的线间迂回识别符在将执行所述线间迂回的位置处为所述拍摄列表加标记;以及(2)所述扫描光雷达发射系统的射束扫描器,所述射束扫描器包括反射镜,所述射束扫描器经配置以根据包含其中存在的任何线间迂回识别符的所述拍摄列表依据多个反射镜扫描位置对所述反射镜进行扫描以经由所述动态扫描图形瞄准所述范围点,其中所述反射镜扫描位置界定所述扫描光雷达发射系统瞄准之处,且其中所述扫描光雷达发射系统进一步经配置以经由所述扫描反射镜而根据所述动态扫描图形将多个光雷达脉冲朝向所述拍摄列表的所述范围点发射。

[0024] 作为又一实例,本文揭示一种方法,其包括:(1)处理拍摄列表,所述拍摄列表包括用于由扫描光雷达发射系统瞄准的多个范围点;(2)通过基于所述经处理拍摄列表依据多个反射镜扫描位置对反射镜进行扫描而控制所述扫描光雷达发射系统的螺旋形动态扫描图形以根据所述螺旋形动态扫描图形瞄准所述经处理拍摄列表的范围点,其中所述反射镜扫描位置界定所述扫描光雷达发射系统瞄准之处;以及(3)通过所述受控扫描光雷达发射系统根据所述螺旋形动态扫描图形将多个光雷达脉冲朝向所述经处理拍摄列表的所述范围点发射。

[0025] 在一实例实施例中,所述扫描位置为可移动反射镜的扫描角度,由此所述可移动反射镜围绕轴线旋转以改变其扫描角度。然而,应理解,所述扫描位置无需限于扫描角度,且其它实施例可以在横向和/或高度方向上扫描所述可移动反射镜以界定所述系统瞄准之处。

[0026] 还作为一实例实施例揭示一种方法,其包括通过处理器将用于光雷达扫描器瞄准的范围点列表转译为用于光雷达扫描器瞄准的拍摄列表,其方式为所述拍摄列表支持螺旋形动态扫描图形,其中所述范围点列表包括多个范围点,且其中所述拍摄列表包括来自所述范围点列表的多个有序范围点。

[0027] 对于再一实例实施例,本文揭示一种设备,其包括扫描光雷达发射系统,所述扫描光雷达发射系统经配置以经由多个可扫描反射镜将多个光雷达脉冲朝向多个范围点引导,其中所述扫描光雷达发射系统包括:(1)射束扫描器,所述射束扫描器包含第一反射镜和第

二反射镜,其中所述射束扫描器经配置以:(i)响应于使所述扫描光雷达发射系统瞄准的第一驱动电压而沿着第一轴线依据多个反射镜扫描位置扫描所述第一反射镜;以及(ii)响应于使所述扫描光雷达发射系统瞄准的第二驱动电压而沿着第二轴线依据多个反射镜扫描位置扫描所述第二反射镜,且其中所述第一反射镜与所述第二反射镜的所述反射镜扫描位置的组合界定所述扫描光雷达发射系统瞄准的所述范围点;以及(2)射束扫描器控制器,其中所述射束扫描器控制器经配置以产生供所述射束扫描器使用的所述第一驱动电压和所述第二驱动电压,使得所述第一驱动电压和所述第二驱动电压界定所述扫描光雷达发射系统对于所述范围点的螺旋形动态扫描图形。

[0028] 作为另一实例,本文揭示一种方法,其包括:(1)处理拍摄列表,所述拍摄列表包括用于由扫描光雷达发射系统瞄准的多个范围点;(2)通过基于所述经处理拍摄列表依据多个反射镜扫描位置对反射镜进行扫描来控制所述扫描光雷达发射系统的动态扫描图形以瞄准所述经处理拍摄列表的所述范围点,其中所述反射镜扫描位置界定所述扫描光雷达发射系统瞄准之处,其中所述动态扫描图形包括宏扫描图形和嵌入于所述宏扫描图形内的基础动态扫描图形;以及(3)通过所述受控扫描光雷达发射系统根据所述动态扫描图形将多个光雷达脉冲朝向所述经处理拍摄列表的所述范围点发射。

[0029] 根据另一实例实施例,本文揭示一种设备,其包括扫描光雷达发射系统,所述扫描光雷达发射系统经配置以经由多个可扫描反射镜将多个光雷达脉冲朝向多个范围点引导,其中所述扫描光雷达发射系统包括:(1)射束扫描器,所述射束扫描器包含第一反射镜和第二反射镜,其中所述射束扫描器经配置以(i)响应于使所述扫描光雷达发射系统瞄准的第一控制信号而沿着第一轴线依据多个反射镜扫描位置扫描所述第一反射镜;以及(ii)响应于使所述扫描光雷达发射系统瞄准的第二控制信号而沿着第二轴线依据多个反射镜扫描位置扫描所述第二反射镜,且其中所述第一反射镜与所述第二反射镜的所述反射镜扫描位置的组合界定所述扫描光雷达发射系统瞄准的所述范围点;以及(2)射束扫描器控制器,其中所述射束扫描器控制器经配置以产生供所述射束扫描器使用的所述第一控制信号和所述第二控制信号,使得所述第一控制信号和所述第二控制信号界定所述扫描光雷达发射系统对于所述范围点的动态扫描图形,所述动态扫描图形包括宏扫描图形和嵌入于所述宏扫描图形内的基础动态扫描图形。

[0030] 作为又一实例,本文揭示一种方法,其包括:(1)通过依据多个反射镜扫描位置对反射镜进行扫描来控制扫描光雷达发射系统的扫描图形以根据所述扫描图形瞄准多个范围点,其中所述反射镜扫描位置界定所述扫描光雷达发射系统瞄准之处;以及(2)通过所述受控扫描光雷达发射系统根据所述扫描图形将多个经调制光雷达脉冲朝向所述范围点发射。

[0031] 还作为一实例实施例揭示一种设备,其包括包括反射镜的扫描光雷达发射系统,所述扫描光雷达发射系统经配置以:(1)依据多个反射镜扫描位置对所述反射镜进行扫描以控制所述扫描光雷达发射系统的扫描图形且根据所述扫描图形瞄准多个范围点,其中所述反射镜扫描位置界定所述扫描光雷达发射系统瞄准之处;以及(2)经由所述经扫描反射镜根据所述扫描图形将多个经调制光雷达脉冲朝向所述范围点发射。

[0032] 在下文中将向所属领域的普通技术人员描述本发明的这些和其它特征以及优势。

## 附图说明

- [0033] 图1描绘一实例系统实施例。
- [0034] 图2A描绘由图1的系统控制器实施的实例处理流程。
- [0035] 图2B描绘包含用于光雷达瞄准的所选范围点的环境场景图像。
- [0036] 图2C描绘用于动态范围点选择算法的实例实施例。
- [0037] 图2D描绘用于示范性动态范围点选择算法的填充点选择算法的实例实施例。
- [0038] 图3描绘用于扫描光雷达发射系统的实例实施例。
- [0039] 图4A到C描绘关于射束扫描器的扫描反射镜的定位误差可以影响光雷达瞄准的可使用扫描区域的方式。
- [0040] 图5描绘与反射镜扫描位置的闭环反馈控制组合的射束扫描器的实例实施例。
- [0041] 图6A到C描绘用于精细控制反射镜扫描位置的闭环回路光学反馈系统的实例实施例。
- [0042] 图7A描绘用于闭环回路反馈系统中的误差校正的实例实施例。
- [0043] 图7B和7C描绘与控制反射镜扫描位置相关的实例电压波形。
- [0044] 图8A到F描绘可以由扫描光雷达发射系统使用的动态扫描图形的实例。
- [0045] 图9A描绘用于将范围点列表转换为光雷达瞄准的拍摄列表的实例实施例。
- [0046] 图9B描绘用于将范围点列表转换为光雷达瞄准的拍摄列表的另一实例实施例。
- [0047] 图9C到F描绘范围点列表到拍摄列表转换的实例。
- [0048] 图10描绘用于射束扫描器控制器的实例实施例。
- [0049] 图11A到G描绘使用与自旋多边形反射镜组合的至少一个扫描反射镜的射束扫描器的实例实施例。
- [0050] 图12A和B描绘可以由光雷达发射器使用的激光脉冲编码图形的实例。

## 具体实施方式

[0051] 图1说明根据一实例实施例的用于动态地扫描光雷达发射的系统100。系统100包含与扫描光雷达发射系统104和环境感测系统106通信的系统控制器102。环境感测系统106可以经配置以感测环境场景108,且将环境场景数据110提供到系统控制器102。基于对环境场景数据110的分析,系统控制器102可以产生控制信息112以递送到扫描光雷达发射系统104。扫描光雷达发射系统又可以根据从系统控制器102接收的控制信息112而发射光雷达脉冲114。如下文进一步详细解释,扫描光雷达发射系统104可以使用对扫描光雷达发射系统104的扫描位置的闭环回路反馈控制。

[0052] 尽管未示出,但应理解,光雷达接收器可以与光雷达发射系统组合使用,其中光雷达接收器接收光雷达脉冲的反射以支持基于所发射光雷达脉冲对范围信息的确定。

[0053] 环境感测系统106可以包含传感器,其感测关于邻近环境场景108的数据以产生环境场景数据110用于递送到系统控制器102。合适传感器的实例包含相机,例如CCD相机、热传感相机,等等。合适传感器的另一实例可以包含另一光雷达系统。环境场景数据110可以包含由相机产生的用于环境场景的图像数据的帧,且环境感测系统106可以经配置以滚动地产生环境场景的帧用于递送到系统控制器102。作为另一实例,传感器可以是能够确定环境感测系统106的地理位置和方向的全球定位系统 (GPS) 接收器和/或惯性测量单元 (IMU)

等等。基于所确定的地理位置,可以存取包含例如街道图和/或地形图的地图信息的数据库以获得环境场景数据110。由此,应理解,环境场景数据110可以采用数种形式中的任一者,包含静态图像、视频图像、地图、光雷达数据等,例如对应于将查询的环境场景数据内的高价值位置的任何伴随的“高价值目标数据”。

[0054] 在一实例实施例中,对于初始扫描,环境感测系统可以使用例如相机的传感器以产生环境场景数据,但额外扫描可以使用从激光范围接收器响应于由扫描光雷达发射系统发送的光雷达脉冲而接收的数据产生的3D图像数据作为环境场景数据110。

[0055] 系统控制器102可以包含处理器120和存储器122。处理器120与存储器122可以经配置以彼此交互,使得处理器120执行存储于存储器122中的指令。处理器120可以是具有足够计算能力以实施本文中描述的处理操作的任何类型处理器。应理解,处理器120可以包括视需要经由网络分散的多个处理器。用于实施处理器120执行的处理逻辑的编程指令可以驻留在非暂时性计算机可读储存媒体(例如,存储器122)上以供由处理器120存取并执行。还应理解,存储器122可以包括多个存储器装置,其可以是多个分布式存储器装置和/或不同类型的存储器装置,包含但不限于一个或多个硬盘驱动器、随机存取存储器(RAM)、可移除式存储媒体,例如闪存盘、光学媒体等等。存储器122还可以存储反映处理器计算的任何信息的多个数据结构,例如所选范围点的清单、拍摄清单等,如下文所描述。数据结构可以是在计算机系统内组织的信息的物理表现。数据结构的实例可以包含数据对象、文件、记录、表、阵列、树,等等。

[0056] 在操作中,处理器120可以处理从环境感测系统106接收的环境场景数据110以产生将控管扫描光雷达发射系统104的操作的控制信息112。此控制信息112可以包含界定扫描光雷达发射系统104将发送其光雷达脉冲114到何处的瞄准信息,在下文的描述提供其实例。

[0057] 扫描光雷达发射系统104经配置以基于从系统控制器102接收的控制信息112而可控地将光雷达脉冲114发射到所需目标。扫描光雷达发射系统104可以经配置以经由可以将光雷达脉冲引导到所需目标的一个或多个可移动反射镜而扫描所需目标。扫描光雷达发射系统104的实例包含于以下描述中。

[0058] 系统控制器102-配置和操作:

[0059] 图2A描绘用于由处理器120执行以从输入环境场景数据110产生控制指令112(在此实例中为拍摄列表)的通用处理流程。数据110充当关于将由处理器120在步骤200处处理的环境场景108的先验数据。基于此处理,处理器产生扫描光雷达发射系统104瞄准的范围点的列表(步骤202)。此列表可以通过选择可能范围点的子集而产生,其中所选范围点接着充当稀疏阵列或表示将由扫描光雷达发射系统104瞄准的环境场景的突出特征的点云。在先验数据110为图像的实例中,充当所选范围点的列表的稀疏阵列可以是先验图像数据110中的像素的子集。

[0060] 接下来,在步骤204处,处理器120将通过步骤202产生的范围点列表转译为用于扫描光雷达发射系统104的拍摄列表。此拍摄列表可以充当用于扫描光雷达发射系统104的控制信息112。尽管在步骤202处产生的范围点列表可以仅为用于瞄准的所选范围点的列表,但拍摄列表充当用于由扫描光雷达发射系统瞄准的所选范围点的有序列表,其中排序考虑到扫描光雷达发射系统104的能力和限制以及系统操作所需的扫描图形。尽管图2A的实例

示出步骤204由处理器120执行,但应理解,步骤204可能由系统中的其它组件执行。举例来说,步骤204可以由扫描光雷达发射系统104内的射束扫描器控制器308执行。作为另一实例,处理器120可以经配置以执行步骤204的一部分,而射束扫描器控制器308可以经配置以执行步骤204的其余部分。对于步骤204由处理器120执行的实例实施例,则控制信息112可以包含拍摄列表。然而,对于步骤204由扫描光雷达发射系统104内的射束扫描器控制器308执行的实例实施例,则控制信息112可以包含来自步骤202的范围点列表。

[0061] 图2B描绘示出对于环境场景的样本图像的步骤202的结果的实例。在此实例中,环境场景数据110示出道路和邻近地形景物。在步骤202处,处理器可以选择将包含于范围点列表中的多个智能范围点210和多个填充范围点212。如下文所解释,智能范围点为系统发现出于关键性地对场景进行取样的目的而展现高实用性的范围点,而填充范围点为提供智能范围点的细节的骨架的范围点。这些点210和212一起可以界定范围点的稀疏阵列。通过减小用以表示环境场景的点阵列的大小,据信,扫描光雷达发射系统可以支持较高帧率,因为其将能够因为扫描光雷达发射系统上降低的点负载而更快速地扫描环境场景。进一步相信,稀疏阵列还可以支持光雷达系统的改善的范围,这主要是因为激光器可以按较低重复率操作,在此情况下,激光器可以展现每脉冲较高量的能量(这又将意味着系统支持的范围较长)。预期实例实施例将能够范围高达约2km或甚至较高(例如,约10km)的距离。

[0062] 智能范围点210可以基于数个准则中的任一者而选择。举例来说,高对比度区域可以认为是系统的所关注区域,其应包含相对较高浓度的范围点。因此,步骤202可以操作以基于对图像数据110的分析而智能地在高对比度区域中选择高浓度的范围点。此由图2B的实例示出,其中智能范围点210集中在图像的相对较高对比度区域中,例如道路的路肩边界、道路与非道路地形之间的断裂,以及远处的山与天空之间的地平线边界。可以用来识别突出范围点的额外准则为展现线或拐角的图像区域。为充实图像110的其它部分,处理器202可以界定填充图形,且基于所界定填充图形而选择填充范围点212。此外,从业者可以选择使用来自运动算法的额外立体3D信息或结构来用额外范围点补充稀疏阵列。

[0063] 用于动态地选择智能范围点和填充范围点的实例处理流程可以见于图2C和2D中。应理解,图2C和2D大体上对应于图2A的步骤200和202。参考图2C,在步骤220处,处理器将前置滤波处理应用于环境场景数据110。对于此实例,环境场景数据可以是图像。前置滤波处理可以经设计以抑制图像中的高频噪声或其它非所需假影。前置滤波处理还可以包含边缘检测操作以识别图像110中的高对比度区域。处理器可以应用多个可选择滤波操作中的任一者来执行步骤220。适当滤波器的选择可以通过滤波器选择参数控制,其中滤波器选择参数可以被包含为用来控制范围点选择的参数250的集合。参数250可以基于用户输入或基于来自环境感测系统、其它传感器(例如GPS、IMU)的数据来优化参数的反馈算法和/或由用户设定的宏操作模式而界定。

[0064] 在步骤222处,处理器可以识别图像110的超像素。在这样做时,处理器能够将图像110分解为自然或较小的段。可以在步骤222处用来控制超像素识别的参数250可以包含大小参数和阈值参数。数个图像分段算法中的任一者可以用于执行步骤222,包括但不限于简单线性迭代聚类(SLIC)分段、QuickShift分段、TurboPixels分段、标准化割图分段和/或基于图形的分段。大小和阈值参数250可以用来控制在步骤222处的分段的性质。通过使用超像素分段技术将图像110分解为自然或较小的段,智能范围点可以接着识别为处理每一自

然/较小段的结果,此举预期会增强且改善范围点选择且最终增强和改善3D场景解释和重建。

[0065] 接下来,在步骤224处,处理器选择将包含于范围点列表中的智能范围点候选者。因此,步骤226的输出表示已经选择用于光雷达扫描的智能范围点的列表。步骤224可以对于由于步骤222而发现的超像素段逐段地执行。数种技术中的任一者可以用于执行步骤224。举例来说,可以使用有效地识别对应于图像中的边缘和拐角的点的技术。在此方面可以使用的开源方法的实例为使用包含于OpenCV程序库中的哈里斯拐角检测器开源算法(Harris Corner Detector open source algorithm)。然而,应理解,其它技术和工具可用于实施步骤224,例如Shi Tomasi算法、加速段测试特征(FAST)算法、最小核值相似区(SUSAN)算法,以及其它拐角检测算法。可以在步骤224处用来控制智能范围点的初始选择的参数250可以包含距离参数、角度参数和参数。距离参数界定例如拐角点的若干类型点之间的不同间隔参数。距离参数可以以像素为单位来表达。距离参数的间隔还可以随范围而变,在此情况下,距离参数可以随先前图像帧和先前范围信息而变。角度参数用来使间隔随方位角和/或高度而变。举例来说,在较大角度下,可以更好地减小点之间的间隔。密度参数为可以主要用作一些距离值的上限或下限的其它类型的间隔参数。

[0066] 在步骤226处,处理器优化来自步骤224的所选智能范围点列表以作出智能范围点的最终选择。作为此操作的部分,步骤226可以利用界定范围点列表的点预算的参数250。此点预算可以识别范围点列表的范围点的最大数目。点预算参数的值可以取决于从业者的需求而为数个值中的任一者。作为一实例,点预算可以是图像数据110中的像素数目的约0.3%到约3.0%。然而,应理解,可以使用用于表达点预算的其它值或量度。

[0067] 在一简单实例实施例中,步骤226可以经配置以考虑点预算参数250,且操作以(1)在智能范围点候选者的数目小于点预算或其所界定部分(在此情况下,与点预算或点预算部分有关的其余部分经分配用于填充范围点)的情况下选择所有智能范围点候选者以用于包含在最终范围点列表中,且(2)减少在步骤224处选择的智能范围点的数目以便符合点预算或其所界定部分。

[0068] 在另一实例实施例中,在选择用于包含在列表中的智能范围点时,步骤226可以调整和/或扩增智能范围点候选者。举例来说,一些智能范围点候选者可以取决于可以在优化期间使用的预测性算法而向上、向下、向左或向右移位某一距离。作为另一实例,在边缘点的情况下,可以在智能范围点候选者的任一侧上添加对应于边缘的一个或多个额外智能范围点以便更好地界定边缘。在拐角点的情况下,一个或多个额外点可以围绕所述拐角点。再一实例额外范围点可以围绕对应于移动对象(例如在车辆应用的情况下为行人)的点。

[0069] 更进一步,步骤226还可以经配置以考虑扫描光雷达发射系统104对于其动态扫描图形的配置。如在下文所解释,扫描光雷达发射系统104可以经配置以使用数个动态扫描图形中的任一者执行范围点扫描,其中每一动态扫描图形可以展现不同特性,其中性能可以通过更改智能范围点的选择而加以改善。举例来说,对于给定类型的扫描器,可能最好向下一行步降智能范围点(如果这样做将避免线跳越,且智能范围点的步降将符合控制可以从点偏移多少个像素的上限而不影响其选择(即,如果紧接最初选择的像素候选者下方的像素将同样表现良好,那么可以作出调整以改善扫描性能)的一个密度参数)。

[0070] 在步骤228处,处理器产生填充用于光雷达扫描的范围点列表的一组填充范围点。



图2D说明执行步骤228的实例处理流程。如图2C中所示,点预算参数将帮助控管步骤228的操作。

[0071] 在步骤230处,处理器组合来自步骤226的智能范围点列表与来自步骤228的栅格范围点列表以产生将用于光雷达扫描的范围点列表240。此列表240大体上对应于图2A的步骤202的输出。列表240上的每一范围点可以依据例如所述点在图像110内的位置的行和列编号的位置信息来表达。

[0072] 图2D更详细地描述步骤228的操作。在步骤260处,处理器确定填充范围点之间的所需间隔。此确定受所界定的点预算影响。举例来说,如果点预算为 $X$ ,且步骤226的操作导致选择 $Y$ 个智能范围点(其中 $Y < X$ ),那么图2D的处理流程在选择填充范围点时将具有为 $X-Y$ 的预算。值 $X-Y$ 又将影响在步骤260处确定的填充范围点之间的间隔。可以影响步骤260的操作的额外因素包含扫描图形动态(例如相连拍摄之间准许的最小间隔)。

[0073] 在步骤262处,处理器选择用于填充范围点的填充图形。可以在步骤262处选择的填充图形的实例包含正方形栅格图形、菱形栅格图形,以及交错栅格(在此情况下,存在多个正方形栅格,但每一连续栅格行具有从先前栅格列或行(取决于哪一个对应于快轴)的偏移)。填充图形选择可以选择用于在步骤260处确定的点间隔的最优填充图形。填充图形选择还可以考虑如从图像110确定的环境因素。举例来说,如果图像为地面的俯视图,那么此事实可以影响特定填充图形的选择,而如果图像为包含地面和天空两者的地平线视图,那么此事实可以影响不同填充图形的选择。填充图形还可以从帧到帧水平地和/或垂直地平移和交叠(在效果上为在2D中的3D旋转),使得在数目 $N$ 个帧之后,将选择可能填充点空间内的所有可寻址像素。一旦已选择填充图形,步骤262就能够基于所选择的填充图形和所确定的点间隔而产生候选填充点的列表。

[0074] 而且,应理解,可以对于图像110的不同段选择不同填充图形。如所提到,在步骤222处,处理器识别图像110可以分解为的不同图像段。因此,在步骤262处,可以将不同填充图形应用于图像110的不同段。举例来说,用于在地平线上方的图像段的填充图形较之于在地平线下方的图像段可以具有较低填充密度。

[0075] 在步骤264处,处理器依次通过候选填充点。在步骤266处,在每一候选填充点与来自步骤226的所选智能范围点之间进行比较。如果存在在候选填充点的所界定阈值距离内的所选智能范围点,那么可以消除候选填充点(步骤268)。否则,保持候选填充点。用于此比较操作的所界定阈值距离可以是响应于用户输入或AI算法而界定的参数。在步骤264处开始的循环在已于步骤266处考虑了用于保持的每一候选填充点之后在步骤268处终止。因此,在完成图2D处理流程之后,处理器即刻界定出用于光雷达扫描的填充范围点列表。

[0076] 图9F描绘可以由图2C和2D的操作而产生的实例范围点列表240。在

图9F的实例中,每一所选范围点由行编号(左侧)和列编号(右侧)界定。应理解,此列表可以是简单的原始范围点列表。如果需要,从业者可以进一步处理所述范围点列表以对于将由扫描光雷达发射系统104使用的动态扫描图形将次序外加到范围点。即,可以与所述列表上的其它范围点按某一顺序放置范围点列表上的每一范围点,所述顺序将界定用于扫描光雷达发射系统104的范围点的拍摄次序。如所解释,可以由处理器在步骤204处执行范围点列表到拍摄列表的此转译。如所提到,拍摄列表界定范围点将由扫描光雷达发射器系统104拍摄的次序。在下文更详细地论述的图9A到9F描绘可以用于将范围点列表240转译



为拍摄列表的处理流程的实例。

[0077] 图9F还示出从范围点列表240产生的实例拍摄列表950。在此实例中,次序界定为自上而下次序,其中在拍摄列表上较高的范围点将先于在拍摄列表上较低的范围点而拍摄(例如,行(“Srow”)104、列(“SCol”)19处的范围点将在行(“Srow”)104、列(“SCol”)26处的范围点之前拍摄,以此类推)。最左边与中间列分别界定拍摄列表上的给定范围点的行编号与列编号。拍摄列表表格中的其它列提供对于扫描光雷达发射器系统104的额外控制信息,如下文结合图9A到F所解释。图9F的实例拍摄列表还包含归因于例如发射激光的最小间隔参数的因素而在步骤204处添加的填充拍摄。

[0078] 图9F的实例拍摄列表可以充当提供到扫描光雷达发射系统104以控管其操作的控制信息112。尽管图2C和9F的实例实施例描述拍摄列表上的范围点成批递送到扫描光雷达发射系统104的布置,但应理解,拍摄列表中的拍摄可以改为滚动地传达到扫描光雷达发射系统,其中每一拍摄一旦被识别就传递到扫描光雷达发射系统。因此,拍摄列表可以输送到扫描光雷达发射系统104,且由此以批次模式和滚动模式两者加以处理。

[0079] 扫描光雷达发射系统104:

[0080] 图3描绘扫描光雷达发射系统104的实例实施例。系统104可以包含与激光光学件302、射束扫描器304和发射光学件306光学对准的激光源300。这些组件可以容纳在提供合适形状占据空间以供用于所需应用的封装中。举例来说,对于激光源300为光纤激光器或光纤耦合激光器的实施例,激光光学件302、射束扫描器304和任何接收器组件可以一起容纳在不包含激光源300的第一封装中。激光源300可以容纳在第二封装中,且光纤可以用来连接第一封装与第二封装。此类准许第一封装由于不存在激光源300而更小且更紧凑。此外,因为激光源300可以经由光纤连接而定位在第一封装远处,因此此类布置向从业者提供关于系统的占据空间的较大灵活性。

[0081] 基于控制信息112,例如在图2A的步骤204处产生的拍摄列表,射束扫描器控制器308可以经配置以控制由射束扫描器304执行的扫描的性质且控制激光源300的启动。对于射束扫描器304和射束扫描器控制器308使用闭合回路反馈系统310,以使得可以精细地控制射束扫描器304的扫描位置,如下文所解释。

[0082] 激光源300可以是适合于如本文所描述的光雷达脉冲发射的数个激光类型中的任一者。

[0083] 举例来说,激光源300可以是脉冲式光纤激光器。脉冲式光纤激光器可以使用约1到4ns的脉冲持续时间以及每脉冲约0.1到100 $\mu$ J的能量含量。脉冲式激光光纤的重复率可以在kHz范围(例如,约1到500kHz)内。此外,脉冲式光纤激光器可以使用单脉冲方案和/或多脉冲方案(见图12A和12B)。然而,应理解,可能使用这些激光器特性的其它值。举例来说,可以使用较低或较高能量脉冲。作为另一实例,重复率可以较高,例如在数十MHz范围内(但预期此类高重复率将需要使用在当前市场价格下相对昂贵的激光源)。

[0084] 作为另一实例,激光源300可以是脉冲式IR二极管激光器(具有或不具有光纤耦合)。脉冲式IR二极管激光器可以使用约1到4ns的脉冲持续时间以及每脉冲约0.01到10 $\mu$ J的能量含量。脉冲式IR二极管光纤的重复率可以在kHz或MHz范围内(例如,约1kHz到5MHz)。此外,脉冲式IR二极管激光器可以使用单脉冲方案和/或多脉冲方案(见图12A和12B)。

[0085] 激光光学件302可以包含用以使激光源300产生的激光束准直的镜管。激光光学件

可以经配置以提供所需射束发散度和射束质量。作为实例,可以取决于从业者的需求而使用二极管到反射镜耦合光学件、二极管到光纤耦合光学件以及光纤到反射镜耦合光学件。

[0086] 射束扫描器304为向系统104提供扫描能力,使得可以利用光雷达脉冲将所希望的范围点瞄准的组件。射束扫描器从激光源300(借助于激光光学件302)接收传入光雷达脉冲,且经由从可移动反射镜的反射将此光雷达脉冲引导到所需发射位置(例如拍摄列表上的范围点)。反射镜移动可以通过从射束扫描器控制器308接收的驱动电压波形314加以控制。射束扫描器304可以使用数个配置中的任一者。举例来说,射束扫描器可以包含双微机电系统(MEMS)反射镜、与自旋多边形反射镜组合的MEMS反射镜,或其它布置。合适MEMS反射镜的实例为单表面尖端/倾斜/活塞MEMS反射镜。作为进一步实例,在双MEMS反射镜实施例的实例中,可以使用单表面尖端MEMS反射镜和单表面倾斜MEMS反射镜。然而,应理解,还可以使用这些MEMS反射镜的阵列。而且,双MEMS反射镜可以在数个频率中的任一者处操作。举例来说,如果第一MEMS反射镜正充当快轴反射镜且第二MEMS反射镜正充当慢轴反射镜,那么第二MEMS反射镜与第一MEMS反射镜之间的共振频率比率可以下降到约1:5到约1:9的范围内。然而,从业者可以选择使用不同比率。作为其它布置的另一实例,小型电流计反射镜可以用作快轴扫描反射镜。作为另一实例,声光偏转器反射镜可以用作慢轴扫描反射镜。此外,对于使用下文论述的螺旋动态扫描图形的实例实施例,反射镜可以是共振电流计反射镜。这些替代反射镜可以从例如纽约电光产品公司(Electro-Optical Products Corporation)的数个来源中的任一者获得。作为另一实例,例如购自科罗拉多Vescent Photonics的光子束转向装置的光子束转向装置可以用作慢轴扫描反射镜。作为又一实例,例如由DARPA SWEEPER程序开发的定相阵列装置的定相阵列装置可能替代快轴和/或慢轴反射镜而使用。

[0087] 而且,在射束扫描器304包含双反射镜的实例实施例中,射束扫描器304可以包含在第一反射镜与第二反射镜之间的中继成像光学件,其将准许使用两个快轴反射镜(例如,两个小型快速反射镜,而非一个小型快速反射镜和一个长的较慢反射镜)。

[0088] 发射光学件306经配置以经由光圈将如由射束扫描器304瞄准的光雷达脉冲发射到所需位置。发射光学件可以取决于从业者的需求而具有数个配置中的任一者。举例来说,环境感测系统106与发射器104可以按光学方式组合为一个路径,使用二色分束器作为发射光学件306的部分。作为另一实例,发射光学件可以包含放大光学件(其实例示出于图5中)。更进一步,对准截止分束器可以被包含为发射光学件306的部分。

[0089] 射束扫描配置与控制:

[0090] 射束扫描器控制器308可以将一个或多个电压波形314提供到射束扫描器304,所述电压波形将驱动射束扫描器的反射镜到所需扫描位置(例如,扫描角度)。给定可移动反射镜在射束扫描器304内的高振荡速率,对射束扫描器的扫描位置的精细控制程度是合乎需要的。对于射束扫描器304的第一反射镜用以经由在相对较高速度下的第一轴线(“快轴”)旋转而射束扫描器304的第二反射镜用以经由在相对较慢速度下的与第一轴线正交的第二轴线(“慢轴”)旋转的实例实施例,光雷达脉冲入射到反射镜时的轻微反射镜定位错误可以引起系统性能的显著劣化。

[0091] 图4A到4C说明此现象。图4A描绘射束扫描器304的所需扫描区域400。然而,如图4B所示,在不具有精细慢轴控制(在此实例中为Y轴)的情况下,可使用的扫描区域402相对于

扫描区域400收缩,因为需要区域404来使Y轴反射镜在旋转期间安定下来。此外,此安定时间可能会随动态扫描图形中将跳越的线的数目而提高,但是即使不具有线跳越,安定时间考虑仍适用。更进一步,如图4C所示,对于快轴(在此实例中为X轴),目标范围点406中的相移可以出现,从而在不实现对快轴反射镜的扫描位置的精细控制的情况下在扫描区域中引起波纹和其它假影。

[0092] 作为这些问题的解决方案,可以使用闭合回路反馈系统310来提供对射束扫描器304所使用的至少一个反射镜的扫描位置的精细控制。射束扫描器控制器308可以接着使用来自闭合回路反馈系统的反馈信息来调整反射镜驱动波形314中的至少一个,且由此实现对反射镜定位的较精细控制。在优选实施例中,对于射束扫描器304的两个反射镜皆使用此反馈控制。

[0093] 图5描绘与闭合回路反馈组合的射束扫描器304的实例实施例。在此实例中,射束扫描器304包含双MEMS反射镜。Y轴MEMS反射镜500经定位以借助于激光光学件302从激光源300接收入射激光脉冲。X轴MEMS反射镜500将此激光脉冲反射到Y轴扫描MEMS反射镜502。应理解,此反射可以是直接反射或间接反射,由此从X轴MEMS反射镜反射的射束在其途中通过例如单位放大率镜管的中继成像光学件而传递到Y轴MEMS反射镜502。Y轴MEMS反射镜502经定位以接收从反射镜500反射的激光脉冲,且进一步将此激光脉冲反射到扫描区域510内对应于拍摄列表上的由射束扫描器304瞄准的范围点的位置。

[0094] MEMS反射镜500和502可以绕其相应旋转轴可控地旋转。X轴MEMS反射镜500将可旋转以控制扫描区域510内的光雷达脉冲沿着扫描区域的X轴的位置,而Y轴MEMS反射镜502将可旋转以控制扫描区域510内的光雷达脉冲沿着扫描区域的Y轴的位置。因此,在激光脉冲照在每一反射镜上时,反射镜500和502沿着其相应旋转轴的组合定位将有效地将激光脉冲引导到扫描区域510内的所需位置。在X轴MEMS反射镜500可以按比Y轴MEMS反射镜502相对较高的速率旋转的此实例实施例中,因此将X轴MEMS反射镜称为快轴反射镜,且将Y轴MEMS反射镜称为慢轴反射镜。

[0095] 从业者应理解,将快轴指定为X轴且将慢轴指定为Y轴是任意的,因为系统位置的90度转动将致使X轴为慢轴且Y轴为快轴。此外,在一实例实施例中,快轴反射镜在反射镜面积上小于慢轴反射镜,且也定位在慢轴反射镜上游(即,快轴反射镜接收光雷达脉冲,且将其反射到慢轴反射镜用于朝向目标范围点发射)。然而,对于其它实施例可以改变这种配置。举例来说,尽管使慢轴反射镜大于快轴反射镜在准许较大扫描区域方面提供益处,但对于可准许减小扫描区域的大小的实施例,慢轴反射镜可以与快轴反射镜大小相同或甚至小于快轴反射镜。作为另一实例,如果快轴反射镜在慢轴反射镜下游,那么可以在两个反射镜之间使用例如中继成像光学件的重新成像光学件以支持此类布置。

[0096] 此外,发射光学件306可以经配置以提供所引导激光脉冲的视场放大。

[0097] X轴闭合回路反馈系统504可以用来实现对X轴MEMS反射镜500的定位的精细控制。Y轴闭合回路反馈系统506可以用来实现对Y轴MEMS反射镜502的定位的精细控制。如上文所指示,尽管优选使用对X轴反射镜500和Y轴反射镜502两者的反馈控制,但据信,在没有反馈设计的情况下仍可以经由将反馈控制应用于反射镜中的仅一者来实现相对于开放回路的性能改善。举例来说,从业者可以选择仅使用Y轴反馈控制系统506。作为另一实例,从业者可以选择仅使用X轴反馈控制系统504。

[0098] 图6A描绘可以对于Y轴反射镜502实施闭环反馈控制的方式的实例实施例。在此实例中, 闭环回路反馈控制为闭环回路光学反馈控制。反射镜502绕着旋转轴622旋转以经由从反射镜502的前侧反射出而以所需方式引导入射光雷达脉冲620。激光器600瞄准反射镜502的背侧606。激光器600可以是适合于位置检测的任何类型的激光器。举例来说, 激光器600可以所脉冲式或持续波(CW)可见二极管激光器。激光器600可以展现可变脉冲宽度, 且产生在uW到mW范围内的功率。

[0099] 激光器600产生的激光束604将从反射镜502的背侧606反射出, 且Y轴位置敏感检测器602可以经定位以接收此反射。检测器602可以是单轴位置感测检测器。反射镜502相对于旋转轴622的角位将影响检测器602接收所反射激光束604之处。因此, 位置检测器602将能够感测指示反射镜502的实际位置的数据。此感测数据可以接着经由608反馈以改善Y轴反射镜控制。

[0100] 图6B描绘可以对于X轴反射镜500实施闭环反馈控制的方式的实例实施例, 且操作方式与图6A的实例相同。反射镜500绕着旋转轴632旋转以经由从反射镜500的前侧反射出而以所需方式引导入射光雷达脉冲630。激光器610瞄准反射镜500的背侧616。激光器610可以是类似于激光器600的激光器。

[0101] 激光器610产生的激光束614将从反射镜500的背侧616反射出, 且X轴位置敏感检测器612可以经定位以接收此反射。反射镜500相对于旋转轴632的角位将影响检测器612接收所反射激光束614之处。因此, 位置检测器612将能够感测指示反射镜500的实际位置的数据。此感测数据可以接着经由618反馈以改善X轴反射镜控制。

[0102] 图6C描绘对反射镜定位的闭环回路反馈控制的另一实例实施例。尽管图6A和6B的实例(如果一起使用)使用两个激光器600和610以及两个位置检测器602和612来检测反射镜位置, 但图6C的实例使用单个激光器650和单个双轴位置敏感检测器662。

[0103] 对于图6C的实例, 例如二色分束器或截止反射镜的分束器654经定位以在从激光器光学件302发出的激光脉冲照在反射镜500上截断所述激光脉冲。对准激光器650还经定位以将对准激光束652引导到分束器654上。二色分束器(充当射束组合器)使来自激光源300的激光束与对准激光束652互相对准。由此, 对准的激光束将入射在反射镜500上, 使得激光完全处于反射镜旋转平面内, 即垂直于反射镜的旋转轴。二色分束器654可以经定位以实现此种互相对准, 且如激光器300与对准激光器650之间的90度组合角度是典型的。激光器650可以是可见CW或高重复率脉冲式二极管激光器。

[0104] 而且, 例如截止分束器的分束器656可以经定位以截断从反射镜502反射的激光, 所述激光将包含由激光源300产生的瞄准光雷达脉冲666以及由激光器650产生的对准激光束652。分束器656将光雷达脉冲666朝向目标范围点引导, 同时还将所述光的一小部分反射到重新成像透镜658上。重新658最终将扫描范围510重新成像到双轴位置敏感检测器662上。位置检测器662将能够沿着两个轴线检测所反射对准激光束652的位置, 且此所检测位置可以充当指示两个反射镜500和502的实际位置的数据。此所感测数据可以接着经由664反馈以改善X轴和Y轴反射镜控制。

[0105] 图7A描绘闭环回路反馈系统310可以借以处理从位置检测器所感测的位置数据以产生错误信号的实例布置, 所述错误信号可以用来驱动对反射镜扫描位置的驱动波形的调整校正。在此实例中, 使用闭环回路反馈系统310来精细调谐扫描器304中的MEMS反射镜

500/502的定位。射束扫描器控制器308和扫描器304内的MEMS驱动器将MEMS驱动电压700施加到MEMS反射镜500/502。此导致反射镜到所需反射镜位置的机械移动702。然而,如所提到,预期在此定位中可能存在将经由闭合回路反馈系统缓解的一些错误。如结合图6A到C的实例实施例所解释,光束偏转704可以通过结合图6A到C的实例实施例所描述的位置传感器602/612/662中的任一者来感测。位置传感器可以伴有用以出于信号处理目的而放大位置传感器所感测的信号的转阻放大器(TIA)。位置传感器可以产生指示MEMS反射镜的实际位置的所感测反射镜位置数据706。因此,如果预期Y轴反射镜瞄准扫描区域的行3,但Y轴反射镜的实际所感测位置有效地瞄准扫描区域的行4,那么反馈系统可以检测到向下1行错误。此错误测量可以馈送到射束扫描器控制器308,以使得射束扫描器控制器可以调整对于Y轴反射镜的驱动波形以实现1行的向上调整。

[0106] 所感测的反射镜位置数据706可以与由比较器710用作输入以计算测量错误712的所需反射镜位置数据708组合。测量错误712可以是指示实际与预期反射镜位置之间的差异的值。

[0107] 射束扫描器控制器308可以接着使用数个技术中的任一者来鉴于测量错误712处理所需反射镜位置数据708,以鉴于此测量错误712调整MEMS驱动电压700。举例来说,可以使用比例-积分-微分(PID)控制技术来执行此反馈控制。作为另一实例,可以使用装置反向响应波形,在此情况下,使用所存储的响应波形来抵消自然装置阶跃响应且减少安定时间。

[0108] 图7B描绘可以用来分别驱动X轴反射镜500与Y轴反射镜502的反射镜位置的实例驱动波形720与722。在此实例中,快轴X轴反射镜500以共振模式驱动,而慢轴Y轴反射镜502以点到点模式驱动,其中驱动波形702随拍摄列表而改变。这些实例示出未校正形式的驱动波形,其中不使用反馈来精细地调谐反射镜定位。

[0109] 图7C描绘可以通过示范性闭合回路反馈系统310校正反射镜定位错误的方式的实例。

[0110] 图7C的左帧示出未经低通滤波的实例Y轴开放回路驱动波形。如对应于实际反射镜位置的未校正的实际位置波形730与用于所命令反射镜位置的波形732之间的差异所示,存在若不使用闭合回路反馈来感测实际反射镜位置则对应于测量错误712的相当显著的错误。即,尽管驱动波形732试图经由方波将反射镜驱动到所需位置,但实际上,在反射镜朝向所需位置移动时,反射镜会以如732所示的波动方式过冲和下冲所需位置,其对应于用于反射镜定位的安定时间。此安定时间随着方波732在高状态之后转变到低状态而自身重复。

[0111] 图7C的右帧示出实例Y轴闭合回路驱动波形。在此实例中,使用如结合图7A所描述的闭合回路反馈来减少安定时间错误。如用于所命令位置的波形736与用于实际位置的波形738的类似形状所示,闭合回路反馈有效地在在效果上消除在图7C的左帧中所示的大安定时间错误。应理解,图7C中所示的通用振幅值无关紧要,且重要特性是每一波形的比较形状和时序。

[0112] 因此,基于对驱动波形的闭合回路调整,据信,可以实现随时间推移将降低所检测的错误信号的对反射镜扫描位置的较精细控制。

[0113] 尽管图6A到C的实例描述使用闭合回路光学反馈控制,但应理解,可以使用反射镜扫描位置的闭合回路反馈控制的其它模式。举例来说,可以使用闭合回路电容反馈控制。利用电容反馈,将通过反射镜的边缘(第一电容器板)和参考金属板(充当第二电容器板)形成

电容器,其中反射镜边缘与参考板之间的空气/真空间隙充当电容性电介质。随着反射镜的扫描位置改变,间隙距离将改变,因此引起电容器电容的改变。闭合回路电容反馈系统将因此随着反射镜改变扫描位置而跟踪电容改变(经由电压测量)以确定实际反射镜位置。基于所确定的实际反射镜位置,可以计算相对于所需位置的错误。作为额外实例,可以使用不同形式的光学反馈或电容反馈用于反射镜定位的闭合回路反馈控制。

[0114] 动态扫描图形:

[0115] 为进一步改善扫描光雷达发射系统104的性能,优选的是使用动态扫描图形。利用固定扫描图形,射束扫描器304将扫过全部扫描区域510,且激光源300在扫描反射镜经定位以瞄准所希望的范围点时被启动。因此,利用固定扫描图形,预期用以界定反射镜扫描位置的驱动波形将不会随拍摄列表112上的范围点而改变。

[0116] 相比之下,利用动态扫描图形,射束扫描器将不会扫过全部扫描区域510,且替代地,反射镜将根据随拍摄列表112上的有序范围点而改变的扫描图形瞄准拍摄列表112上的范围点。因为拍摄列表112将根据环境感测系统106俘获的帧而改变,因此扫描图形是动态的,因为其也会根据帧而改变。

[0117] 图8A到F描绘可以由所述系统使用的不同动态扫描图形的实例。

[0118] 图8A描述用于动态扫描图形的实例基础寻址方案。一般来说,反射镜将被扫描以产生大体上跨越顶行从左到右进行、接着向下到下一行的扫描图形,其中扫描方向从右到左,等等,其中扫描方向向下在每一行交替。然而,应理解,可能使用替代基础图形,例如从底行开始且向上进行,和/或改变交替扫描方向以从右到左开始。而且,如图8A所示,动态扫描图形可以包含线重复、线跳越和线间跳越,以及线间迂回,如下文所解释。

[0119] 利用线重复,射束扫描器在沿着X轴从左到右和从右到左的连续扫描期间维持发射器的Y轴位置。在拍摄列表上的两个像素处于相同行中但过于接近以致在单个遍次期间不能瞄准时可以需要线重复。在此情况下,可以重复线,且可以在返回扫描遍次期间瞄准拍摄列表上的额外像素。动态扫描图形的最小像素间隔约束可以控管线重复的需要。最小像素间隔对应于激光源300可以启动背靠背拍摄的最快速率。还应理解,在使用共振射束转向的实施例中,最小像素间隔参数可以通过扫描区域510内的位置而改变。

[0120] 图8A对于包含共享相同行的一群4个像素的样本行区域示出样本线重复情形。在此实例中,最小像素间隔为5像素。激光源300首先在像素(1)处启动。因为下一像素(2)相距大于五个像素,因此激光器可以在相同遍次中在其处启动。然而,像素(5)在时间上过于接近以致不能寻址,因此系统将在其执行线重复之后在下一遍次上对其进行寻址。因此,在从左到右扫描期间,激光源300经过像素(5)且在像素(3)处启动。扫描器和激光器接着通过在像素(4)处启动且重复相同行(此时从右到左扫描)而完成扫描所述行。在此后续遍次上,像素(5)被寻址,且允许扫描器移到下一行。利用线重复,扫描器可以经配置以重复所述行,直到已询问所有所需像素。

[0121] 利用线跳越,射束扫描器在完成给定行的扫描遍次之后将发射器的Y轴位置调整多于一个行。在拍摄列表中不存在用于一行或一组连续行的像素时,可以使用线跳越。图8A的扫描时序图中示出实例线跳越。

[0122] 利用线间跳越,射束扫描器在完成跨越给定行的全扫描之前调整发射器的Y轴位置。在一行的大相邻部分为空时可以使用线间跳越。在此情况下,系统可以选择寻址下一行

或下几个行(如果这将导致扫描区域对于拍摄列表的更快扫描)。图8A的扫描时序图中示出线间跳越的实例。

[0123] 线间迂回为一种类型的线间跳越。利用线间迂回,射束扫描器在完成跨越给定行的全扫描之前将发射器的Y轴位置从给定行调整到新行,但在完成跨越所述新行的扫描之前返回到所述给定行。如下文所解释,线间迂回可以充当从正常光栅轨迹中的当前行的机会性宝贵迂回以寻址一行中的像素或正常情况下将必须跳过的像素(因为其过于接近于相同行中的另一像素)。图8A的扫描时序图中示出线间迂回的实例。

[0124] 图8B描绘使用如结合图8A所论述的线重复、线跳越、线间跳越和线间迂回的实例动态扫描图形。图8B的动态扫描图形可以由包含双扫描反射镜的射束扫描器使用,其中X轴反射镜作为快轴反射镜以共振频率在两个方向上扫描,且其中Y轴反射镜作为慢轴反射镜以非共振点到点模式在两个方向上扫描。例如结合图6A到C描述的闭合回路光学反馈控制的闭合回路反馈控制可以用来提供Y轴反射镜的相位漂移校正和X轴反射镜的快速安定时间。因此,在一实例实施例中,光学反馈控制可以缓解Y轴安定时间和X轴相移问题。如所提到,利用两方向Y轴移动和线间迂回,Y轴能够在如由图8B的线间迂回实例所示的单个水平扫描遍次期间使自身后退。线间跳越/迂回可以提高扫描器效率且减少帧时间(即,提高帧率)。

[0125] 图8C描绘也使用线重复、线跳越、线间跳越和线间迂回的实例动态扫描图形,但其中图8C的动态扫描图形可以由包含扫描Y轴反射镜(例如Y轴MEMS反射镜)和X轴自旋多边形反射镜的射束扫描器使用。X轴自旋多边形反射镜作为快轴反射镜以非共振模式在一个方向上扫描,且Y轴MEMS反射镜作为慢轴反射镜以非共振点到点模式在两个方向上扫描。例如结合图6A到C描述的闭合回路光学反馈控制的闭合回路反馈控制可以用来提供X轴反射镜的相位漂移校正以及Y轴反射镜的快速安定时间。任选地,闭合回路位置编码器可以替代光学反馈而使用以精细地控制自旋多边形反射镜的定位。图8B与8C的动态扫描图形之间的主要功能差异为图8C的动态扫描图形仅可以在一个方向上扫描,且不以共振方式扫描。

[0126] 图8D描绘以例如椭圆/卵形螺旋的螺旋图形进行扫描的实例动态扫描图形。图8D的动态扫描图形可以支持椭圆重复、椭圆跳越、椭圆间跳越和椭圆间迂回,其分别为结合图8A到C论述的线重复、线跳越、线间跳越和线间迂回的椭圆类似物。射束扫描器可以使用例如X轴MEMS反射镜和Y轴MEMS反射镜的双扫描反射镜。X轴和Y轴反射镜两者皆可以以共振模式在两个方向上扫描。预期使用图8D示出的扫描图形的扫描器将在两个反射镜之间包含中继成像光学件。两个反射镜皆可以接近共振频率而扫描,共振频率可以是第一共振频率。图8D示出实例椭圆/卵形螺旋图形,其中两个单轴反射镜在接近或处于其谐振频率中的一个(两者具有相同频率和相位)下进行扫描。螺旋的振幅通过反射镜上的驱动电压的振幅来控制。与图8B的动态扫描图形相同的概念适用,但同心椭圆形为“行”或“快轴”,且像素处于环中。“列”或“慢轴”通过两个反射镜的振幅寻址。螺旋图形由同心卵形环之间的平移引起。环可以在全回转(椭圆跳越)之后或在全回转之间(椭圆间跳越或椭圆间迂回)重复或被跳过,就像图8B的“类光栅”动态扫描图形中那样。例如结合图6A到C描述的闭合回路光学反馈控制的闭合回路反馈控制可以用来精细地控制反射镜扫描位置。

[0127] 图8A到C的动态扫描图形可以表征为基础扫描图形。这些基础扫描图形可以嵌入到例如结合图8E和8F所描绘的那些宏动态扫描图形的较高阶宏动态扫描图形中。



[0128] 图8E描绘示范性宏动态扫描图形,其中扫描区域划分成多个块,且其中基础动态扫描图形随着扫描器逐块进行而在每一块的一部分内执行。举例来说,图8B和8C的动态扫描图形(或其它动态扫描图形)可以嵌入在每一块部分内。

[0129] 在对于相对连续扫描寻址大像素块时可能产生重置抖动,且此重置抖动可能会导致劣化的信噪比(SNR)。为了减少此可能SNR劣化,动态扫描图形可以将由拍摄列表界定的扫描区域分解为较小块。这些较小块的大小可能受到光雷达接收器所需的最大背景光量的影响。因此,对于使用块结构的光雷达接收器,块大小可以对应于这些块。每一块可以由扫描器重新访问若干次,如图8E所示。如图所示,一个帧分解为若干交错子帧。每一子帧对应于宏图形中Y轴/慢轴的方向改变。图8E的实例示出三个具有五个子帧的块帧,且其中每一块中存在若干行。

[0130] 此宏图形实质上是将块除以一个遍次中可以分群在一起的总像素数目。如所提到,所述数目可以取决于例如SNR的参数。图8E示出动态宏扫描图形的实例。在图8E的实例中,第1和最后块对于每一子帧寻址的像素比其它块更少,以使得定时为有序的,这使得那些像素中的SNR将略小。然而,因为此远离帧的中心像素,因此SNR的此劣化在许多应用中可能是可接受的。

[0131] 图8F描绘类似于图8E的宏扫描图形的示范性宏动态扫描图形,但其中宏扫描在进行到下两个块上之前在两个块的块部分之间切换。换句话说,扫描器在一对块之间切换,直到所述对块内的所有范围点被寻址,此后扫描器移动到另一对块上且重复。如同图8E,图8B和8C的动态扫描图形(或其它动态扫描图形)可以嵌入在图8F宏扫描图形的每一块部分内。

[0132] 范围点列表转译为拍摄列表:

[0133] 数个处理规则中的任一者可以用来将范围点列表240转译为拍摄列表。如上文所指出,范围点列表240到拍摄列表的转译(见图2A中的步骤204)可以通过处理器120或射束扫描器控制器308执行。所述规则可以在软件中执行,在硬件(例如,现场可编程门阵列(FPGA)或专用集成电路(ASIC)中实施,或所述两种情况的某种组合。由此,用来执行从范围点列表到拍摄列表的转译的处理器可以是适合用在处理器120或射束扫描器控制器308内的任何处理器,包括但不限于微处理器、FPGA、ASIC等等。图9A描绘用于此类转译的实例处理流程,其中拍摄列表适应线间跳越(但不包含线间迂回)。图9B描绘用于将范围点列表转译为拍摄列表的实例处理流程,其中拍摄列表适应线间跳越,包含线间迂回。

[0134] 如图9A所示,范围点列表240充当到所述处理流程的输入。在步骤900处,范围点列表的前N行加载到缓存器950中。在此实例中,假定范围点列表已经具有至少为行次序(例如,从顶行开始且向下前进)的范围点。然而,如果不是此情况,处理流程也可以将范围点排序为行次序,以使得前N行可以加载到缓存器950中。在此实例实施例中,N的值为2,在此情况下,缓存器可以保持行Y1和行Y2的范围点,其中每一行包括一个或多个范围点。应理解,2行输入缓冲器的使用仅为实例,且从业者可以选择使用支持考虑N行范围点(其中 $N > 2$ )的大缓存器。尽管在给定时间评估的行和像素的数目的此增大将需要额外处理步骤和额外缓冲空间,但从业者可以在实施此类处理流程时依赖于来自图9A和9B提供的2行实例的指导。而且,应理解,随着所述处理流程操作以从N行缓冲器读出像素以调度到拍摄列表中,步骤900将操作以随着完成每一行而保持用下一行更新缓冲器950。

[0135] 在步骤902处,处理器将像素排序到缓存器行中且用扫描方向为每个像素加标记。



用于拍摄列表的默认扫描图形可以是每一行从左到右扫描的扫描图形。另一选项为以下默认扫描图形：第一行是从左到右扫描方向，第二行改变为从右到左扫描方向，且接着对于后续行继续交替扫描方向。在图9A的实例实施例中，默认扫描图形对于每一行可以是从小到右扫描方向。

[0136] 利用步骤902，每一行中的像素得以排序，以使得其根据默认扫描图形而排序。因此，对于具有从左到右扫描图形的行，像素经排序而使得最左边像素为第一个，次最左边像素为下一个，以此类推，直到将为最后的最右像素。对于具有从右到左扫描图形的行，像素将以相反方式排序。每个像素还可以用识别所述像素的扫描方向的控制元数据（例如，指示从左到右扫描还是从右到左扫描将命中像素的旗标）加标记。还应理解，范围点列表240可以按此方式到达已经预先排序的图9A的处理流程，在此情况下，将不需要步骤902。

[0137] 在步骤904处，从缓存器950读取前两个像素以识别用于评估的当前像素和下一像素候选者。可以评估此对像素以确定其应如何在拍摄列表中排序。

[0138] 在步骤906处，所述处理流程计算当前像素与下一像素候选者之间的 $\Delta T$ 。此 $\Delta T$ 值表示扫描器从当前像素扫描到下一像素候选者所需要的时间量。可以依据当前像素和下一像素候选者的x坐标以及快轴的正弦轨迹和频率来计算 $\Delta T$ 。而且，处理器可以仅对于当前像素和下一像素候选者执行步骤906，或其可以批次模式执行步骤906，其中处理器在进行到步骤908之前计算数个像素对的 $\Delta T$ 。举例来说，在批次模式中，处理器可以计算2行缓冲器950中的每对相邻像素的 $\Delta T$ 值。作为另一批次模式实例，处理器可以计算2行缓冲器950中的像素的像素对的每一可能排列的 $\Delta T$ 值。

[0139] 接下来，在步骤908处，处理器比较对于当前像素和下一像素候选者计算的 $\Delta T$ 与对应于连续光雷达脉冲之间所需的最小时间量的参数（“最小脉冲间时间”）。对于一实例实施例，最小脉冲间时间是常数，其值是依据激光源300所需的最大范围或最小能量而设定。举例来说，对于使用光纤激光器的实施例，光纤激光器将具有从其需要的最小量的能量，且最小脉冲间时间经设定以使得激光器再充电时间足够长以允许此最小量的能量将累积。此外，应理解，激光源的脉冲速率影响例如范围和SNR的特性。举例来说，通过减小脉冲速率，系统的范围将增大。由此，尽管在一实例实施例中最小脉冲间时间是常数，但应理解，此常数可以随着系统级设定而调整。此外，应理解，最小脉冲间时间无需在视场/扫描区域中各处为相同的。

[0140] 如果步骤908导致确定所计算 $\Delta T$ 小于最小脉冲间时间，那么这意味着下一像素候选者过于接近于当前像素，在此情况下，下一像素候选者被调度用于扫描器的下一遍次。因此，在步骤910处，将下一像素候选者调度到拍摄列表缓存器952中，用于以最后跳过者为最先命中者（即LIFO或后进先出）的格式对所述行进行返回扫描。这意味着以激光照射下一像素候选者将需要线重复，且所述下一像素候选者将在当前行的在返回扫描中不需要以激光照射的任何其它像素之后放置在拍摄列表中。为对线重复加旗标，可以用相反扫描方向为下一像素候选者重新加标记。在经排序行的默认扫描图形为交替扫描方向的情境中，还应理解，线重复还可能意味着下一行中的像素将从相对于默认扫描图形的相反扫描方向命中，在此情况下，步骤910还用相对于其先前扫描方向的相反扫描方向为下一行中的像素重新加标记，且根据其新扫描方向重新排序那些重新加标记的像素。

[0141] 接着，在步骤912处，处理器递增下一像素候选者，使得新的下一像素候选者将为

范围点列表缓存器950中紧接在当前下一像素候选者之后的像素(同时当前像素保持为当前像素,以使得当前像素可以接下来相对于新的下一像素候选者进行评估,除非新下一像素候选者在下一行上,在此情况下,处理器将使用下一行中的第一像素作为新的当前像素,且使用在下一行的第一像素之后的像素作为新的下一像素候选者)。应注意,在下一像素在下一行上的情境中,下一行上的像素可能需要重新排序且用相反扫描方向重新加标记。处理器接着返回到步骤906,且所述处理流程重复。图9E示出拍摄列表的实例,其中由于例如图9A示出的处理流程的处理流程而存在线间跳越。

[0142] 如果步骤908导致确定所计算  $\Delta T$  不小于最小脉冲间时间,那么这意味着存在足够量的时间使扫描器以激光照射当前像素,扫描到下一像素,且以激光照射所述下一像素。由此,下一像素候选者可以调度为拍摄列表中的当前像素之后的下一像素。然而,处理器还将测试下一像素,以评估其是否为线间跳越的候选者(步骤914)。

[0143] 为在步骤914处测试下一像素候选者的可能线间跳越,处理器寻求满足两个条件:(1)当前像素与下一像素候选者在不同行上,且(2)在返回扫描中不需要线重复来命中当前行上的像素。如果不满足这些条件,那么下一像素候选者不是线间跳越候选者,且下一像素候选者在步骤918处调度为拍摄列表缓存器952中的下一像素(在此情况下,不使用线间跳越)。如果满足这两个条件,那么在步骤916处,处理器确定是否存在足够时间使扫描器以激光照射当前像素,扫描到下行上的下一像素候选者,且以激光照射所述下一像素候选者。为作出此确定,将所计算  $\Delta T$  与SkipTime(N) 参数进行比较。SkipTime(N) 参数界定扫描器从当前行跳转到下一行所需的最小时间量。N的值可以对应于缓存器中考虑的行的数目。

[0144] 如果  $\Delta T$  小于SkipTime(N),那么这意味着扫描器跳转到下一行且命中下一像素候选者的时间量不够。在此情境中,处理流程进行到步骤918,且下一像素候选者调度为下一像素而无需线间跳越。这意味着扫描器将继续其对当前行的扫描直到所述行的末端,跳转到下一行,且在相反方向上扫描下一像素候选者。由此,可能需要对下一像素重新加标记以鉴于将由扫描器用来到达所述像素的扫描方向而改变其扫描方向。

[0145] 如果  $\Delta T$  大于SkipTime(N),那么这意味着存在足够量的时间使扫描器跳转到下一行且命中下一像素。在此情境中,处理流程进行到步骤922。在步骤922处,(1)下一像素候选者调度为拍摄列表缓存器952中的下一像素,且(2)用线间跳越警报为当前像素加标记以向扫描器通知下一像素需要线间跳越。

[0146] 可以从步骤918或步骤922到达步骤920。在步骤920处,处理器递增当前像素和下一像素候选者。当前下一像素候选者将变为新当前像素,且将从缓存器950获取新的下一像素候选者。如果缓存器950中的下一像素在下一行上,那么处理器可能需要在读取所述新的下一像素候选者之前重新排序下一行的像素(且改变其扫描方向),以适应将用来瞄准那些像素的扫描方向。举例来说,假定新当前像素将为x5y1(位于行1上且具有从左到右扫描方向)且缓存器950中的下一像素为像素x2y2(位于行2上且具有从左到右扫描方向),但像素x2y2与像素x6y2和x9y2共享行2(其中x6y2和x9y2为缓存器950中用于行2的剩余像素)。为适应行2所需的从右到左扫描方向,处理器可以重新排序行2中的像素,以使得在缓存器950中的次序为x9y2、x6y2和x2y2(而非x2y2、x6y2和x9y2),同时还将其经标记扫描方向改变为从右到左。因此x9y2将充当新的下一像素候选者而非x2y2。处理器接着返回到步骤906,且所述处理流程重复。

[0147] 图9A的处理流程因此产生拍摄列表缓存器952中的支持具有线间跳越的动态扫描图形的拍摄列表。

[0148] 如所提到,图9B描绘支持包含线间迂回的线间跳越的实例处理流程。步骤900到922大体上如结合图9A所描述而操作,但步骤914将由步骤930替换,所述步骤930不仅测试如对于图9A中的步骤914所描述的线间跳越情形,而且测试可能的线间迂回情形。

[0149] 为适应线间迂回,图9B的处理流程还考虑对应于扫描器从其当前行去往相距N行的另一行、访问所述另一行中的一个或多个像素且接着回到当前行中的下一像素所需要的最小时间(“DetourTime(N)”,其中在图9B的实例中, $N=2$ )。DetourTime(N)参数可以是常数,其值主要是依据Y轴的机电性质而设定。

[0150] 因此,对于图9B的处理流程,步骤930不仅测试当前像素-下一像素候选者对以评估下一像素候选者是否为线间跳越候选者(见图9A的步骤914),而且步骤930还将测试当前像素-下一像素候选者对以评估下一像素候选者是否为线间迂回候选者。为评估可能的线间迂回,处理器检查当前像素与下一像素候选者是否共享相同行。如果其共享相同行,那么可能在线间迂回,且处理器进行到步骤934。

[0151] 在步骤934处,处理器确定是否存在用于线间迂回的足够时间。其通过比较对于当前像素和下一像素候选者所计算的 $\Delta T$ 与DetourTime(N)参数来进行此操作。

[0152] 如果步骤934导致确定所计算 $\Delta T$ 不大于DetourTime(N),那么处理器进行到步骤918,其如结合图9A所描述而操作,所述处理流程从其继续,如结合图9A所描述。

[0153] 如果步骤934导致确定所计算 $\Delta T$ 大于DetourTime(N),那么这意味着可以调度线间迂回,且处理器进行到步骤936。在步骤936处,处理器检查范围点列表上是否存在可以在线间迂回期间访问的范围点。

[0154] 为支持此确定,在步骤932处,处理器将识别2行缓冲器中的哪些范围点归因于2行缓冲器中的每对相邻像素所计算的 $\Delta T$ 值而可跳过。即,步骤930识别可能在扫描器的返回遍次而非初始遍次上瞄准的范围点(归因于那些范围点过于接近于先前范围点)。如果可能,那么需要经由线间迂回瞄准这些可跳过范围点,以使得可以避免扫描器的返回遍次以便改善扫描时间。应理解,在于步骤932处识别可跳过的点时,处理器可以考虑将由扫描器用来瞄准所关注行上的范围点的扫描方向。如果步骤906以如上文所论述的批次模式操作,那么步骤932可以涉及简单地识别每个像素对的第二像素,对于给定扫描方向,所述像素对的 $\Delta T$ 值小于最小脉冲间时间值。如果步骤906不以批次模式操作,那么步骤932还可以涉及计算2行输入缓冲器中的额外像素对的 $\Delta T$ 值,以使得可以识别可跳过的点。

[0155] 在一实例实施例中,处理器在执行步骤906之后执行步骤932而不管是否到达步骤936,以使得系统在处理流程分支到步骤936的情况下已经准备好执行步骤936。然而,无需为此情况。

[0156] 在步骤936处,处理器评估2行缓冲器中的像素以确定缓存器中是否存在可以在线间迂回中调度为下一像素的任何像素(这些像素可以称为迂回像素)。被认为线间迂回“可访问”的像素池可以包含在下一行中的x值落于(1)当前像素的x值之后(考虑扫描器的扫描方向)但仍提供足够时间使扫描器到达此类x坐标(给定扫描器跳转到下一行所需要的时间)以及(2)在下一像素候选者的x值之前(考虑扫描器的扫描方向)但仍提供足够时间使扫描器到达下一像素候选者的x坐标的那些像素。

[0157] 如果步骤936导致确定对于线间迂回仅存在一个此种可访问像素,那么在步骤938处将所述可访问像素调度为拍摄列表缓存器952中的下一像素。

[0158] 如果步骤936导致确定对于线间迂回存在多个可访问像素,且这多个可访问像素之间的间隔不违反 $\Delta T$ 约束,那么在步骤938处,将那些可访问像素按顺序调度为拍摄列表缓存器952中的下几个像素。

[0159] 如果步骤936导致确定对于线间迂回存在多个可访问像素,但由于 $\Delta T$ 约束而并非都可以针对线间迂回加以调度,那么向在步骤932处识别为可跳过像素的可访问像素给予优先级。在步骤938处将调度可访问的可跳过像素,且如果鉴于可访问的可跳过像素的调度而符合 $\Delta T$ 约束,那么步骤938还将调度任何剩余可访问像素。

[0160] 如果步骤936导致确定对于线间迂回存在多个可访问像素,但由于 $\Delta T$ 约束而并非都可以针对线间迂回加以调度,且没有可访问像素在步骤932处识别为可跳过像素,那么可以使用另一优先化方案来选择针对线间迂回调度哪些可访问像素(例如,从线间迂回移除其移除将准许对于线间迂回调度最大数目个可访问像素的可访问像素,且在领带的情况下,简单地调度x值最接近于当前像素的可访问像素)。可以使用类似优先化方案来解决在存在多个可跳过的可访问像素但那些可跳过的可访问像素由于 $\Delta T$ 约束而不可对于相同线间迂回加以调度的情境中的调度。

[0161] 在步骤938处,可以用线间迂回警报为当前像素加标记以向扫描通知将需要线间迂回来扫描到拍摄列表中的下一像素。此外,如果线间迂回操作以命中下一行上的所有像素,那么可能需要新扫描方向来命中新的下一行的像素。如果情况如此,那么步骤938还可以涉及为缓存器950中新的下一行的像素重新加标记和重新排序。从步骤938,处理器进行到步骤918,且在步骤938处调度的迂回像素之后,将下一像素候选者调度为拍摄列表缓存器952中的下一像素。

[0162] 如果步骤936导致确定对于线间迂回不存在任何可访问像素,那么处理器进行到步骤918,如先前所描述。

[0163] 此外,应理解,在像素于步骤938处作为线间迂回的部分而调度时,处理器可以从缓存器950移除所述像素以避免其在所述处理流程的执行期间被访问两次。

[0164] 图9B的处理流程因此产生拍摄列表缓存器952中的支持具有线间跳越和线间迂回的动态扫描图形的拍摄列表。

[0165] 图9C描绘根据图9B的处理流程经由拍摄列表调度的范围点的实例序列。

应理解,像素以x轴标签 $x_i$ 和y轴标签 $y_i$ 标示,其中用于 $x_i$ 的每一 $i$ 值递增以显示出沿着每一行的像素的顺序,但不识别像素之间的距离。由此,像素 $x_1y_1$ 与 $x_2y_1$ 之间的x轴距离与像素 $x_2y_1$ 与 $x_3y_1$ 之间的x轴距离不相同。

[0166] 如可以在图9C中看出,拍摄列表序列包含用以拍摄像素 $x_1y_3$ 和 $x_2y_3$ 的线间迂回。图9C的底部线示出拍摄列表,其识别拍摄像素的顺序,而图9C的像素曲线示出经由行和列的扫描进展。为更好地理解关于步骤922的可访问像素的概念,可以看出,像素 $x_1y_3$ 在其通过线间迂回访问的条件下为可以从像素 $x_2y_1$ 访问的用于线间迂回的像素。然而,在考虑从像素 $x_2y_1$ 的线间迂回时,像素 $x_2y_3$ 并不够条件作为可以从像素 $x_2y_1$ 访问的用于线间迂回的像素(但像素 $x_2y_3$ 确实够条件作为可以从像素 $x_3y_1$ 访问的像素)。像素 $x_2y_3$ 并不够条件作为可以从像素 $x_2y_1$ 访问的用于线间迂回的像素的原因在于,在从像素 $x_2y_1$ 考虑线间迂回时,

下一像素候选者为 $x3y1$ ，且像素 $x2y3$ 的 $x$ 轴位置落于像素 $x3y1$ 的 $x$ 轴位置之后。由此，像素 $x2y3$ 并不处于像素 $x2y1$ 与 $x3y1$ 之间的用于线间迂回的可访问空间内。

[0167] 图9D和9E描绘根据图9B的处理流程经由拍摄列表调度的范围点的另一实例序列。在此实例中，存在像素 $x4y1$ 是在 $x3y1$ 之后拍摄（但由于 $x3y1$ 与 $x4y1$ 之间的小间隔而在扫描器对于所述行的返回遍次而非所述行的初始遍次上）。如同图9C，图9D的底部线示出识别拍摄像素的顺序的拍摄列表部分，而图9D的像素曲线示出经由行和列的扫描进展。图9E示出剩余像素的拍摄进展，其包含线间跳越以从拍摄像素 $x1y4$ 进展到拍摄像素 $x1y5$ 。因此，对于图9D和9E的范围点列表和拍摄列表，需要三个扫描来拍摄所述像素。

[0168] 图9F示出样本范围点列表240和其对应拍摄列表950，其中拍摄列表950是根据图9B的处理流程而产生，其中最小脉冲间时间（图9F中标示为“Shot2ShotMinTime”）对应于10个像素，且DetourTime(N)对应于50个像素（且其中 $N=1$ ）。再次，应理解，可以使用不同值，且此外，这些值可以在扫描范围上改变。

[0169] 拍摄列表950包含伴随拍摄列表上的每个像素的元信息。举例来说，如由列952所示，拍摄列表上的每个像素可以与识别所述像素是将由扫描器在从左到右扫描期间（在此实例中为值“1”）还是在从右到左扫描（在此实例中为值“0”）期间拍摄的旗标相关联。作为另一实例，如由列954所示，拍摄列表上的每个像素可以与识别所述像素对应于实况导航点还是真实启动命令的旗标相关联。如果像素加旗标为真实启动命令像素，这意味着激光源将在这些像素处启动光雷达脉冲。如果像素加旗标为实况导航点，这意味着扫描器将扫描到所述像素以瞄准它，但激光源不会启动朝向它的光雷达脉冲。实况导航点的使用在一些情形中（例如在使用恒定光纤激光器抽运源时）可以是有利的。在此实例中，列954中的值“1”用以识别真实启动命令。作为另一实例，如由列956所示，拍摄列表上的每个像素可以与对应于光雷达脉冲的特定脉冲图形的代码相关联。下文论述不同脉冲图形的实例。作为又一实例，如由列958所示，可以通过识别是否需要线间跳越（其可以包含线间迂回）来瞄准拍摄列表上的下一像素的旗标来识别拍摄列表上的每个像素。在此实例中，值“1”将识别需要线间跳越来瞄准拍摄列表上的下一像素。

[0170] 利用图9F的实例，可以看出，在将范围点列表转译为拍摄列表时使用线间跳越和线间迂回导致扫描器拍摄拍摄列表上的像素所需要的遍次小于一个。利用扫描遍次的此类减少，系统可以支持较高帧率。

[0171] 实例射束扫描器控制器308：

[0172] 图10描绘可以在拍摄列表包含线间跳越和线间迂回的情况下结合驱动双MEMS反射镜500/502而使用的射束扫描器控制器308的实例实施例。为提供加速度，射束扫描器控制器308可以采用其上部署有逻辑的现场可编程门阵列（FPGA）的形式，如结合图10所示。通过利用FPGA的可重新配置的硬件逻辑支持的并行性，射束扫描器控制器308可以按加速方式操作。然而，其它平台可以用于射束扫描器控制器，包括但不限于微处理器、ASIC，等等。

[0173] 在图10的实例实施例中，射束扫描器控制器经由FIFO2接收范围点列表240作为输入。FIFO1可以用来存储启动命令以及用于每一启动命令的相关联脉冲图形。脉冲图形可以在FIFO1内排序以便提供不同脉冲图形的循环功能，以降低将接收反射光雷达脉冲的光雷达接收器部分上的干扰或不明确性风险。

[0174] 图10的组件1000可以经配置以执行图2A的步骤204（例如，图9B的处理流程并有线

间跳越和线间迂回两者)。组件1000将接着输出与如由图9F所示的控制元数据配对的拍摄列表以及将用于每个像素的脉冲图形。然而,再次,应理解,可以由处理器120执行范围点列表到拍摄列表的转译,在此情况下,到FIFO2的输入将为拍摄列表而非范围点列表。

[0175] 控制器308将按顺序(当前列,行)读出用于由扫描器瞄准且由激光源启动的拍摄列表的每个像素。查询表(LUT)可以用来将拍摄列表上的像素的每一x轴值和y轴值转换为对应于瞄准此些像素所需要的反射镜扫描位置的数字值。

[0176] 对于在此实例中根据正弦轨迹以共振模式作为快轴操作的X轴,将使用列LUT值来识别像素在扫描反射镜的轨迹内的适当时隙。

[0177] 对于在此实例中以点到点模式作为慢轴操作的Y轴,将使用行LUT值来识别将Y轴反射镜驱动到所需扫描位置所需要的电压。如所解释,闭合回路反馈控制可以用来精细地控制此Y轴定位。Y轴驱动电压的产生将由此基于行LUT和闭合回路反馈。此电压值可以接着馈送到数/模转换器(DAC)以产生Y轴驱动电压波形。

[0178] 时钟可以用作正弦X轴波形的来源。举例来说,时钟频率可以在50到100MHz范围内。然而,应理解,可以使用其它时钟频率。为跟踪共振X轴反射镜的X轴位置,可以使用计数机构来随着时钟信号根据正弦波调变而跟踪X轴位置。举例来说,如果X轴空间划分成3226个位置,那么计数器可以对于正弦波半周期循环从0到3225的值以跟踪X轴位置。每一计数器值大体上对应于给定位置沿着Y轴的时隙。此外,给定信号的正弦性质,应理解,这些时隙将不是等间隔的。

[0179] 此计数器值可以接着与当前像素的列LUT值和从左到右(L2R)旗标进行比较以判断X轴反射镜是否瞄准了当前像素的列位置。在反射镜的X轴位置对应于将瞄准的当前像素的X轴位置且反射镜的Y轴位置对应于当前像素的Y轴位置时,激光器触发信号可以接着在适当时间提供到激光器驱动器。在一实例实施例中,激光器触发器可以经定时以在目标像素的正弦波X轴时隙的中间出现。

[0180] 激光器驱动器可以回应于此激光器触发信号以驱动激光器根据与目标像素相关联的脉冲图形朝向所述像素启动光雷达脉冲。激光器驱动器也可以提供对于激光器的任何所需抽运调制。

[0181] 而且,Hsync信号可以由射束扫描器控制器使用以识别每一行的零点位置,这可以促进Y轴平移。

[0182] 额外射束扫描器实施例:

[0183] 如先前所指示,射束扫描器304的额外实例实施例可以使用与自旋多边形反射镜(见图11A到G)组合的MEMS反射镜。此类多边形反射镜可以按在约2kHz到约10kHz的范围内的速率自旋。然而,无需为此情况,因为可以使用其它值。举例来说,在额外实例实施例中,N侧自旋多边形反射镜可以按某速率自旋,使得其旋转频率乘以N比MEMS反射镜的共振频率快约10到18倍。因此,如果MEMS反射镜在接近于约2kHz的全带宽下操作,且自旋多边形反射镜具有4个侧边,那么多边形反射镜的自旋速率可以在约2.5kHz到约4.5kHz之间的范围内。应理解,还可以使用其它比率。为易于说明,自旋多边形中的一些在图11A到G中示出为圆。此类布置的实例由图11A示出,其包含此类射束扫描器304的俯视图和透视图两者。在此实例中,使用单个瞄准激光源300。MEMS反射镜1100为Y轴、慢轴反射镜,而自旋多边形反射镜1102为X轴、快轴反射镜。自旋多边形反射镜1102经定位以接收来自激光源300的入射激光

脉冲(以及来自对准激光器650的用于反馈控制目的的对准激光束-见图6C)。自旋多边形反射镜1102如旋转方向1104所示而旋转,且其将所接收激光脉冲引导到Y轴MEMS反射镜1100,所述Y轴MEMS反射镜又将所述激光脉冲反射到图11B示出的扫描区域中的所需位置。

[0184] 此外,图11A针对单个扫描器示出的通用布置也可以使用两个激光器300充当如图11B所示的双扫描器。图11B描绘使用两个Y轴MEMS反射镜1100和单个共享自旋多边形反射镜1102的双扫描器的透视图和俯视图。单独定位的激光器300可以将激光脉冲1110和1112引导到自旋多边形反射镜1102上,且此举导致射束扫描器产生两个瞄准用传出光雷达脉冲。

[0185] 图11C描绘此通用布置可以支持额外瞄准激光器的方式,其中实例实施例包含三个扫描器、四个扫描器以及N个扫描器,其中N有效地受到用于定位不同激光器300的空间可用性的限制,所述激光器从不同位置以激光照射自旋多边形。作为一实例,N可以取决于从业者的需求和需要而达到值4到16(或更大),如下文所论述。

[0186] 图11D描绘可以用作自旋多边形反射镜1102的不同多边形的实例,其中实例除了图11A示出的六边形实例之外还包含正方形和八边形。此外,N侧多边形可以用于反射镜1102,其中N受到例如Y轴或辅助反射镜的大小、观看角度和多边形的直径(仅列举一些)的参数的约束。

[0187] 图11E示出使用六边形自旋多边形反射镜和4个MEMS反射镜的射束扫描器的俯视图。此实例支持4个约110度的扫描范围。然而,可以支持高达N个约20到180度的独立扫描范围。应理解,4侧反射镜以5kHz自旋意味着可以支持20kHz的可能行速率,但Y轴在各行之间步降将需要时间,因此实际行速率可能是较低值(例如约10kHz)。一般来说,增加自旋多边形反射镜的侧边数目意味着较小扫描范围,其中扫描范围的数目更多地由多边形直径和Y轴大小决定,但Y轴的大小和速度还将影响多边形侧边数目与扫描范围数目和扫描范围大小之间的关系。更进一步,扫描范围可以展现对称角度或非对称角度,如图11F所示,其中可以通过一个扫描范围中较之于另一扫描范围的较高分辨率需求来驱动对称或非对称角度之间的选择。

[0188] 图11G示出使竖直视场(FOV)倾斜以使得例如汽车可以看到地面和地平线以及天空的部分的不同方式。在每自旋多边形反射镜存在多于一个扫描范围时,这可能成为一个问题。

[0189] 图12A和B示出可以由激光源在发射光雷达脉冲时使用的激光脉冲编码图形的实例。这些编码图形是可以应用于瞄准个别范围点的光雷达脉冲的若干类型的强度调制方案。使用这些编码图形帮助降低干扰和/或提高动态范围以获得更好的准确度。光雷达脉冲可以在简单的无代码单个脉冲或脉冲突发到复杂的N代码脉冲突发到不对称振幅调制(AM)突发的范围内变化。

[0190] 举例来说,图12A为脉冲位置调制(PPM)的实例。用于PPM的实例光雷达脉冲可以具有约0.1到约10ns的脉冲宽度,且可以在脉冲之间使用脉冲位置调制(PPM)。作为一实例,可以使用3到N个脉冲,其中所述脉冲相隔约1到10ns。应理解,这些值仅为实例。PPM允许多个范围请求同时存在。因此,扫描光雷达发射系统接近连续地启动的多个经调制脉冲可以同时进行,且接收器可以经由解调而有意义地解译那些经调制脉冲的反射。作为实例,扫描光雷达发射系统可以使用两个(或多于两个)激光器用于产生光雷达脉冲,其中这些光雷达脉



冲为经由PPM相对于彼此调制的脉冲。激光器1可以与激光器2启动其PPM脉冲接近连续地启动其PPM脉冲,而不彼此干扰。此类布置可以扫描光雷达发射系统使用较低有效最小脉冲间时间,因为激光器1可以在激光器2启动的同时再充电(且反之亦然)。PPM还使缓存器不会因多个光雷达系统的共置而受到干扰。因此,如果发射器1(例如,部署在车辆1上)极为接近于发射器2(例如,部署在车辆2上),那么两个扫描光雷达发射器可以按两者之间的光学干扰极少或无干扰的方式启动光雷达脉冲。PPM的使用也可以降低信噪比(SNR)。图12A示出PPM的实例一般化,其中使用N个脉冲。第一脉冲始终存在,N-1个脉冲的任何组合可以定位在第一脉冲之后。图12A还示出PPM的一些实例基本图形。

[0191] 还可以出于与PPM类似的目的而使用强度调制。举例来说,强度调制还可以允许同时发射多个询问,因为所述询问稍后可以经由解调技术加以分离。强度调制还可以降低或消除原本可能由使用彼此非常接近的多个光雷达发射器而引起的光学干扰。此外,强度调制可以提高扫描光雷达发射系统的动态范围,这导致改善的范围准确度。

[0192] 作为强度调制的实例,图12B示出用于短不对称振幅调制(AM)脉冲突发的基本图形的实例。光雷达脉冲可以具有不同比率的不同振幅。短不对称AM脉冲突发实现动态范围的提高(即,信号保持在待恰当检测的可接受强度范围内,以使得可以更准确地检测范围信息)。用于AM脉冲突发的实例光雷达脉冲可以具有约0.1到约10ns的脉冲宽度,其中约2到约10个脉冲包含于突发中,且其中所述脉冲相隔约1到约10ns。如所提到,AM可以用来区分个别脉冲。应理解,这些值仅为实例。此外,应理解,PPM可作为AM的补充而使用。

[0193] 此外,应理解,可以使用额外或替代技术来降低干扰且解决潜在不明确性,包括但不限于偏振调制、具有相干组合的相位调制,或甚至是使用具有不同色彩的额外激光器。每一额外或替代技术在用于系统中时可以提供其自身的权衡。举例来说,使用不同色彩的激光器可以在准许对于拍摄清单使用较低最小脉冲间时间方面提供优势(在另一激光器正启动的同时,一个激光器可以再充电,或其允许两个同时接收的脉冲由接收器解调)。

[0194] 范围点向下选择的额外实施例

[0195] 应理解,本文中描述的动态范围点选择技术还可以用来以其它方式实现光雷达技术中的改善。

[0196] 举例来说,动态范围点选择技术可以用作后扫描压缩工具而非预扫描工具。即,并非使用本文中描述的动态范围点选择技术来限制所发射光雷达脉冲瞄准的范围点的数目,所述动态范围点选择技术可以用作大量光雷达点云上的压缩工具。

[0197] 举例来说,扫描光雷达发射系统可以用来拍摄全阵列范围点(相对于结合上文揭示的实施例描述的稀疏阵列)。这将导致产生具有大量范围点的点云。接着,可以执行例如结合图2C和2D描述的技术的后扫描、动态范围点选择技术以选择哪些范围点应保持在经压缩点云中。尽管此类后扫描压缩不能改善对范围点的预扫描向下选择所展现的帧率或脉冲能量,但应理解,经压缩点云可以提供其自身的益处。举例来说,在需要经由带宽敏感信道传达点云的情境中,经智能压缩的点云将为有利的。

[0198] 使用动态范围点选择技术作为用于点云的压缩工具尤其可以用于压缩3D点云,3D点云通常具有非常大量的点。作为一实例,3D点云可以展平到所需2D视角,且可以分析2D点以使用本文中描述的技术选择其子集作为智能范围点。点的此子集可以接着充当经压缩点云。



[0199] 类似地,例如图2C和2D描述的技术的动态范围点选择技术可以用来压缩从闪烁式光雷达发射系统得出的点云。

[0200] 作为另一实例,可以使用扫描光雷达发射系统来使用经典栅格扫描而非使用动态扫描图形瞄准范围点,且可以使用动态范围点选择技术来选择发射器扫描经过栅格时激光源将在其处实际启动光雷达脉冲的范围点。经典栅格扫描将为固定扫描,其中扫描光雷达发射系统访问扫描区域中的所有点。然而,并非使激光源在所有目标范围点处启动,可以使用例如图2C和2D描述的技术的动态范围点选择技术来选择光雷达发射器将拍摄的范围点。尽管此类固定扫描在系统的帧率或脉冲能量方面将相对于本文中描述的动态扫描实施例提供极小改善或没有改善,但范围点的向下选择仍将提供一定数据带宽减小和功率管理益处,因为发射器可以避免在所有可能范围点处启动光雷达脉冲。

[0201] 尽管上文已关于本发明的示范性实施例描述本发明,但可以对其作出各种修改,所述修改仍处于本发明的范围内。在审阅本文中的教示时将可以辨识出对本发明的此些修改。

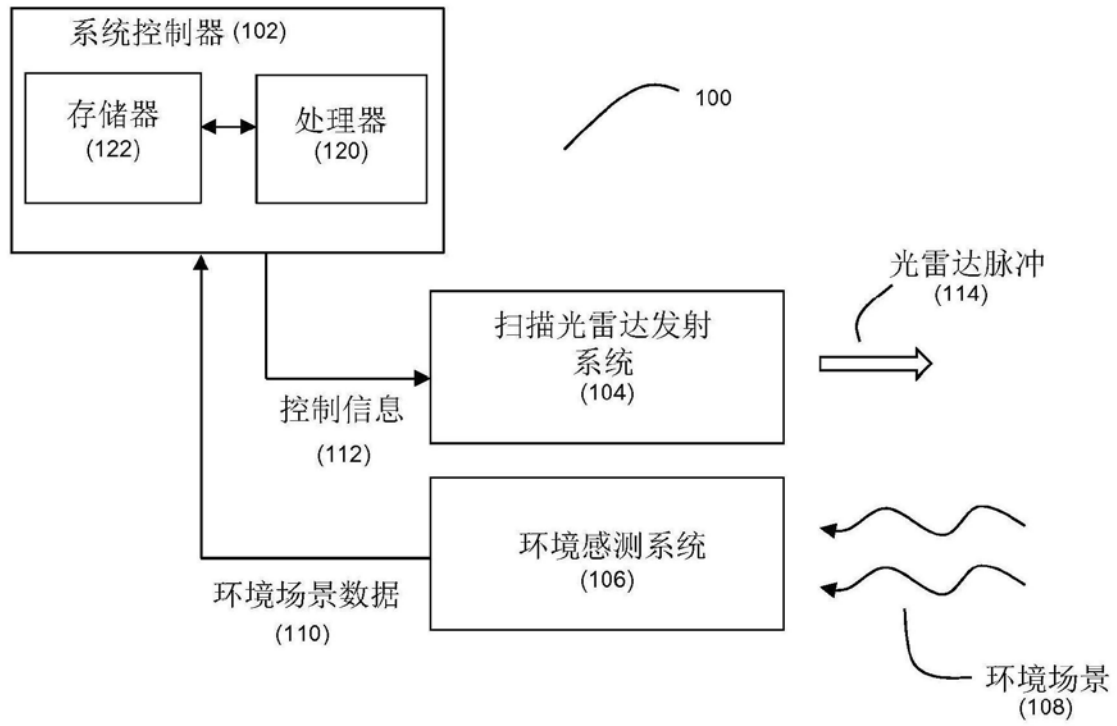


图1

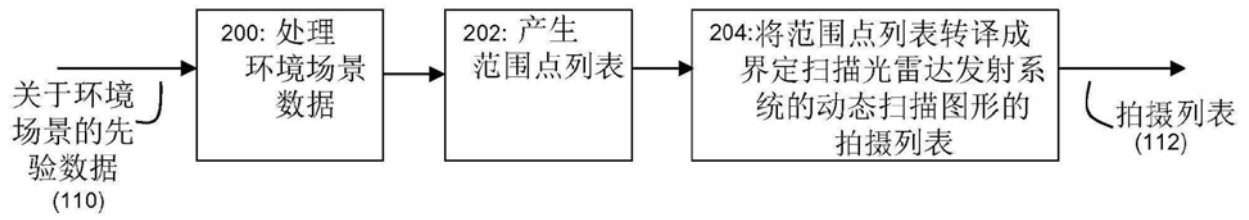


图2A

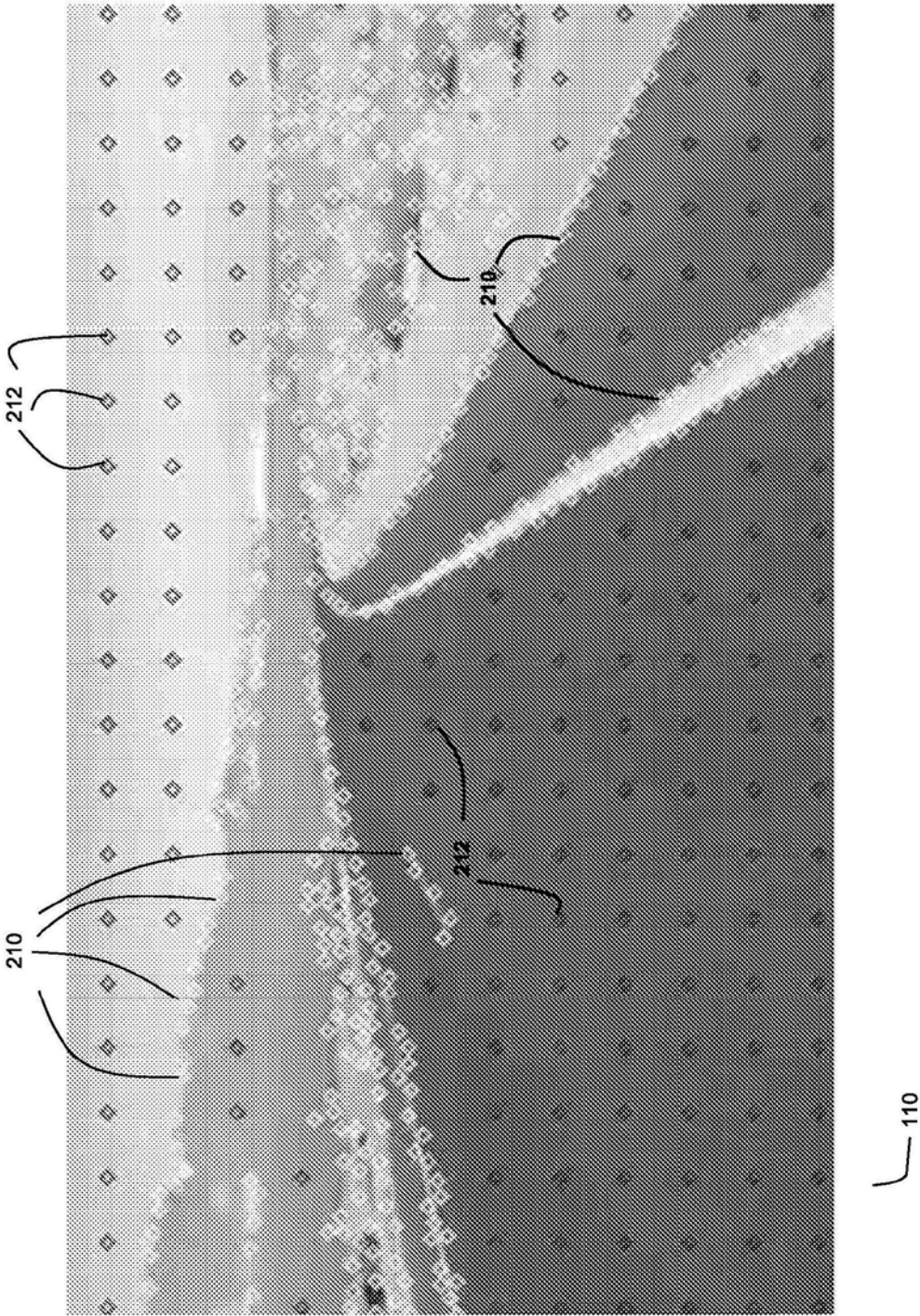


图2B

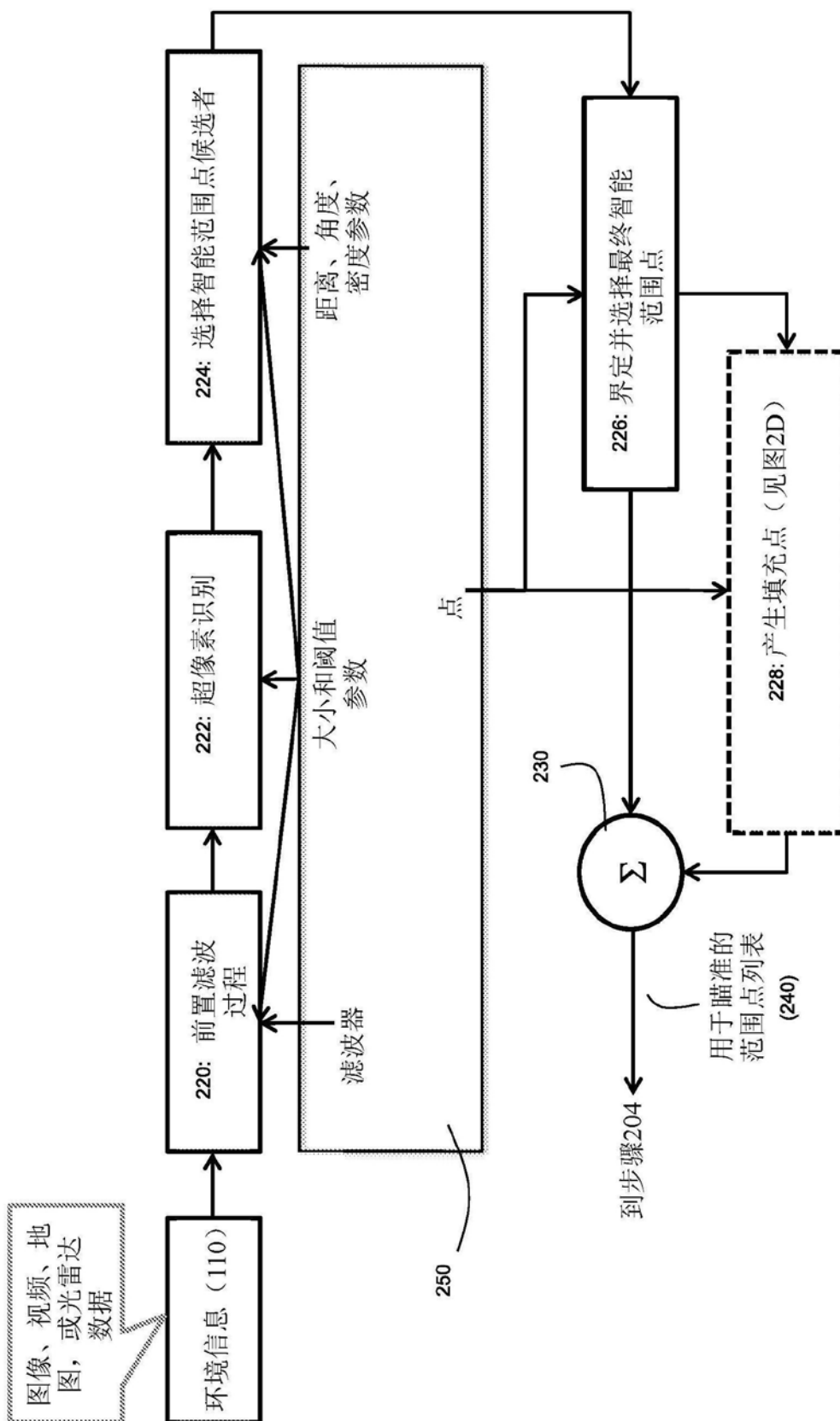


图2C

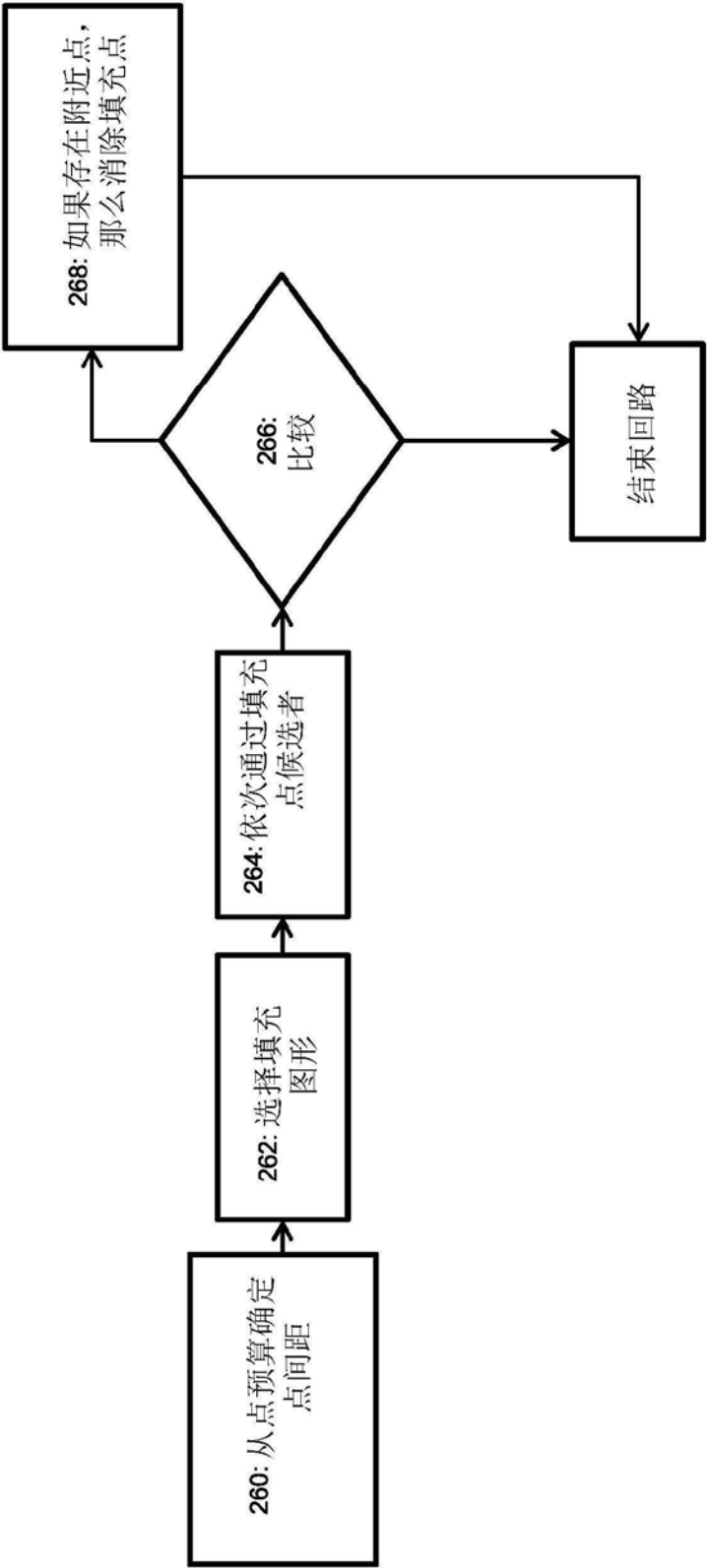


图2D

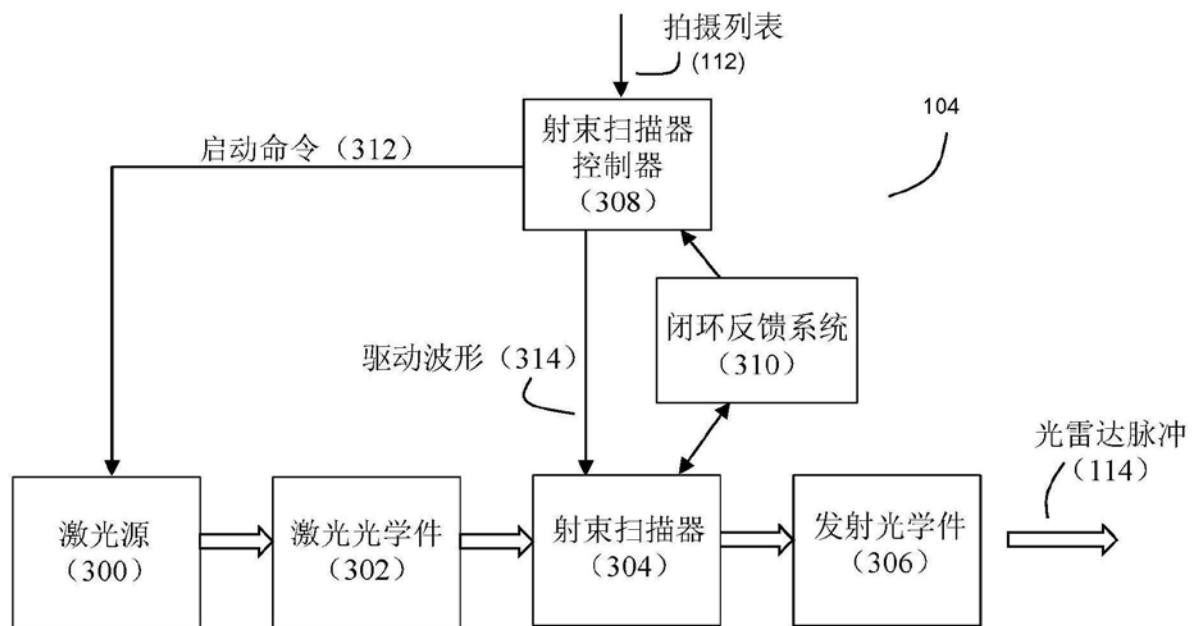


图3

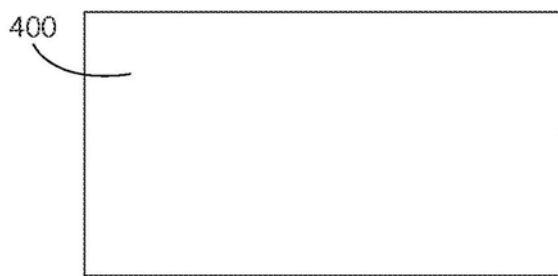


图4A

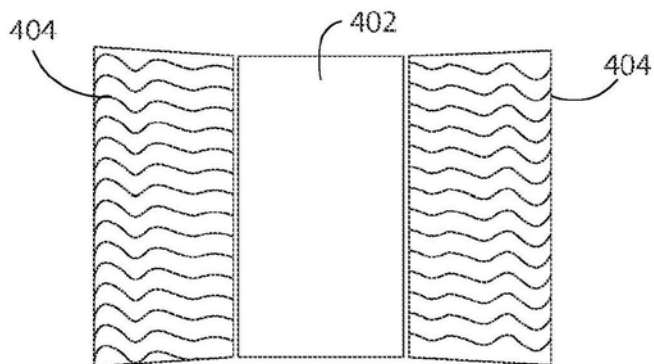


图4B

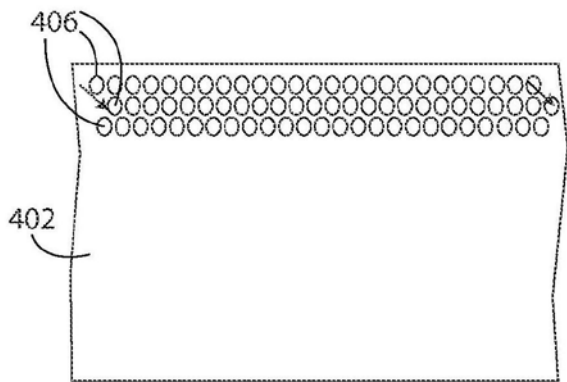


图4C

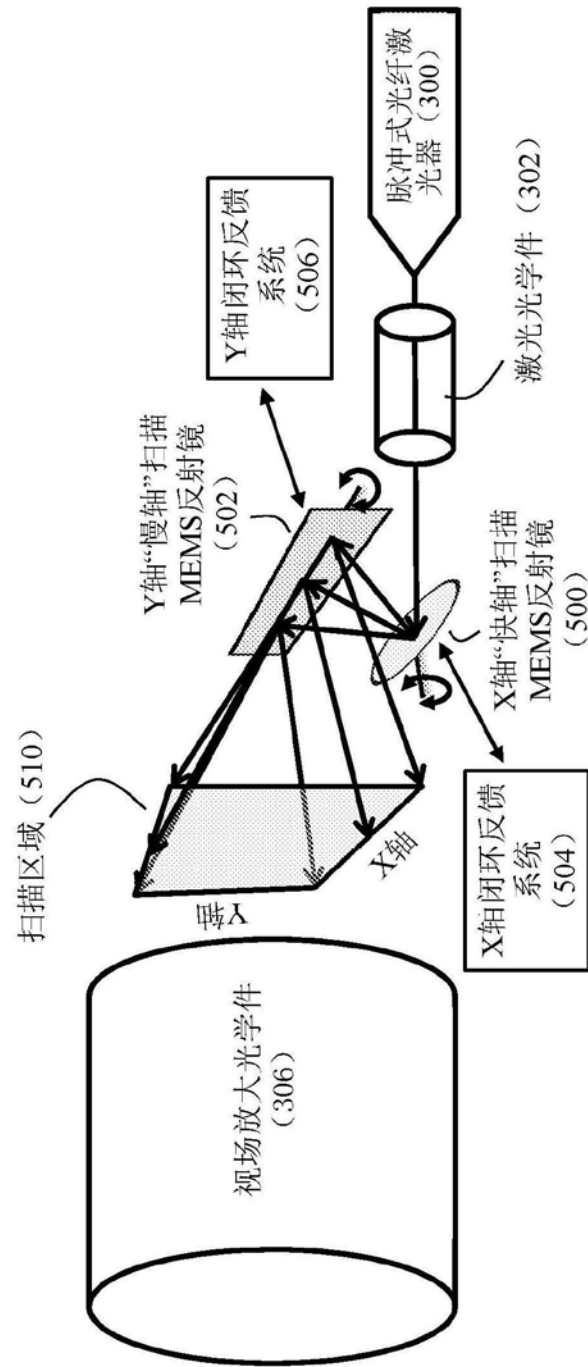


图5



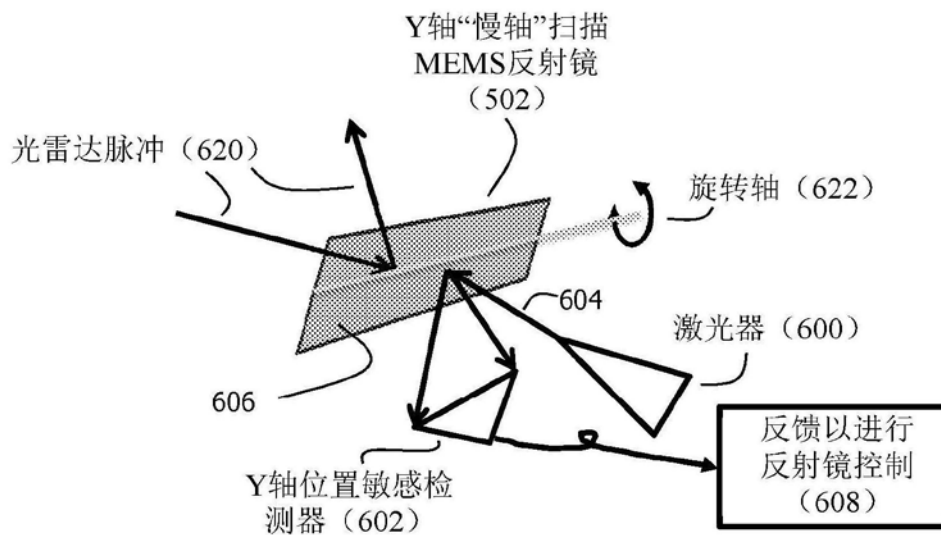


图6A

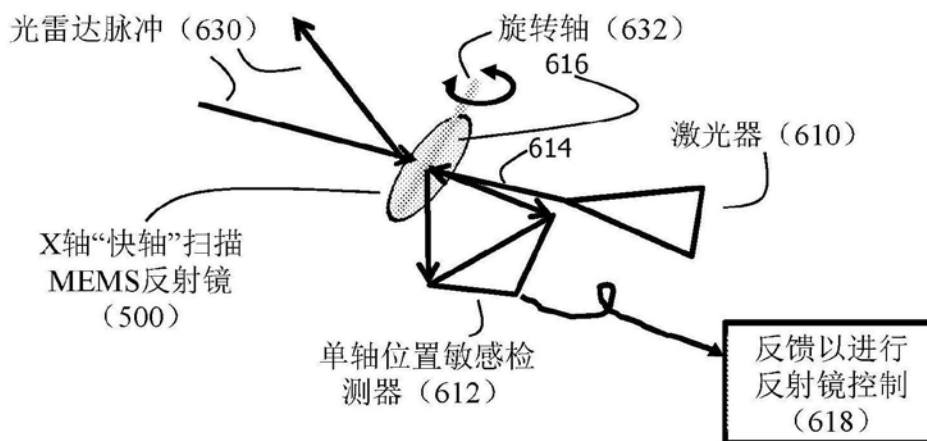


图6B

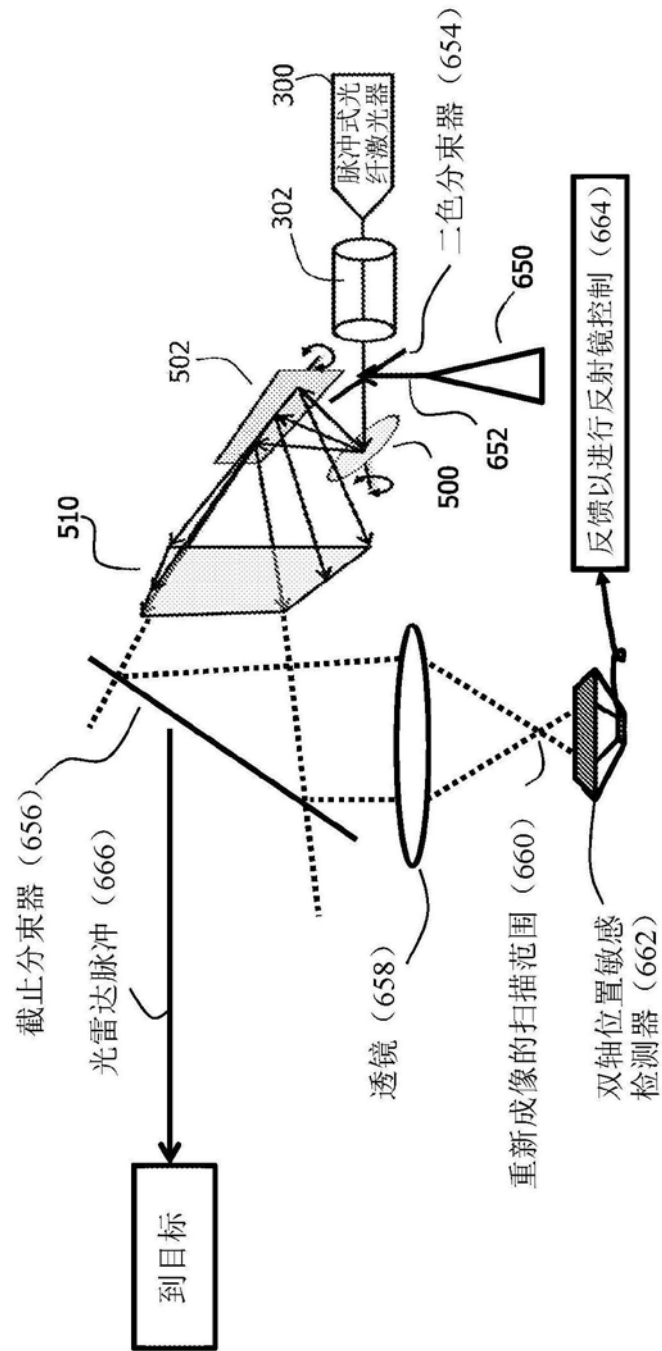


图6C

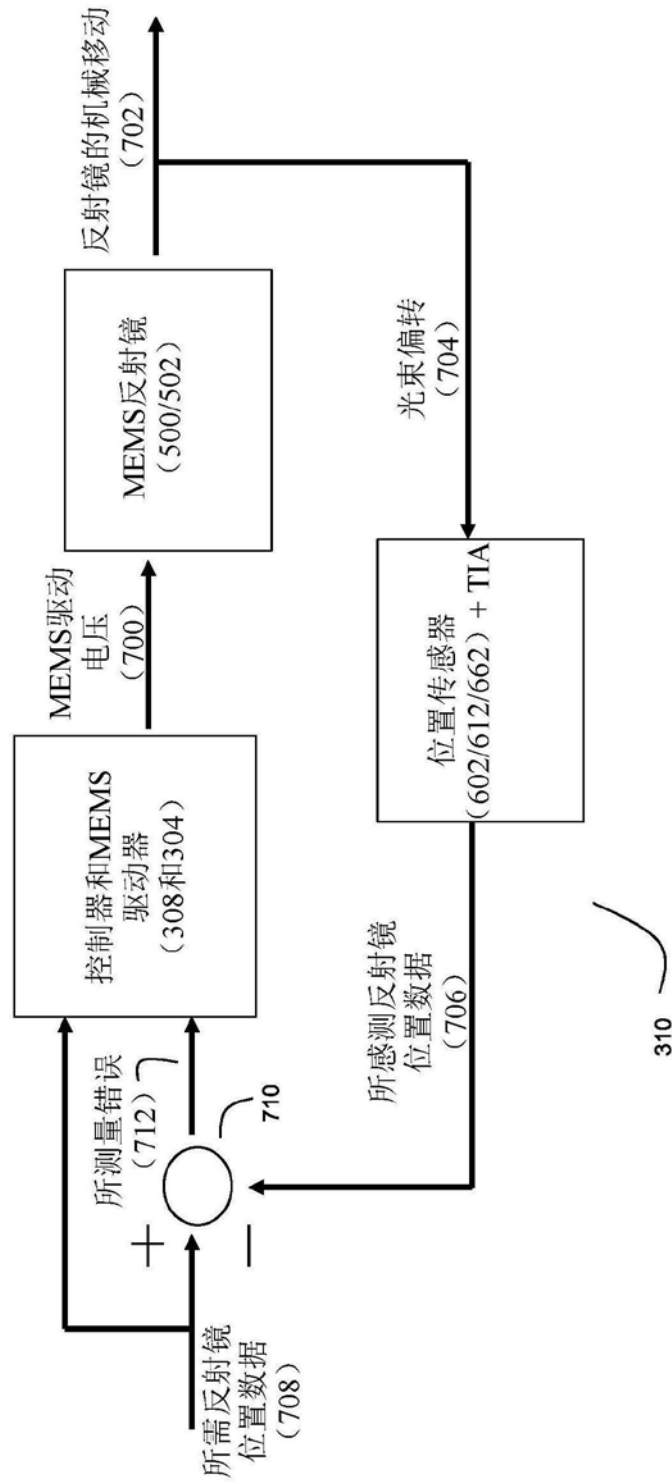
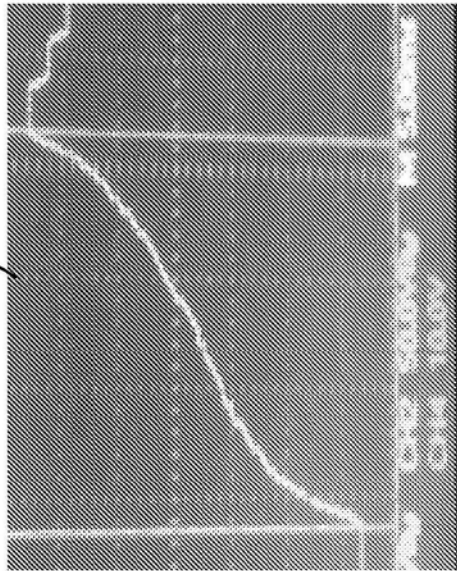


图7A

Y轴或慢轴未校正波形（具有  
低通滤波器）（722）。



X轴或快轴未校正波形（720）

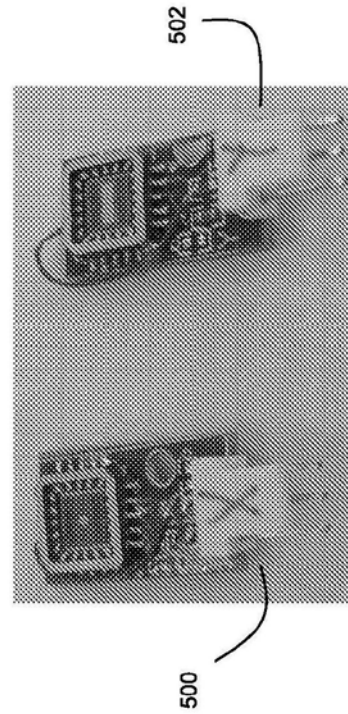
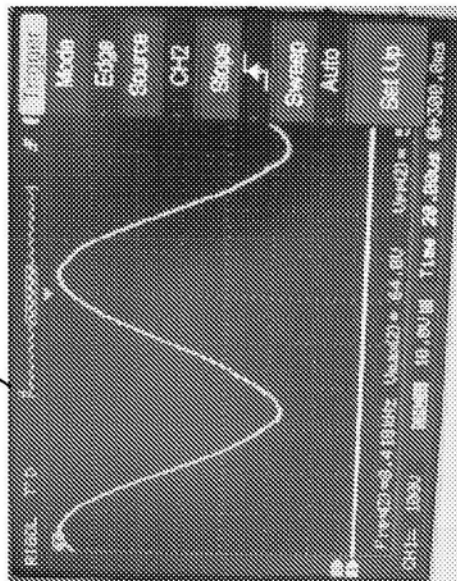
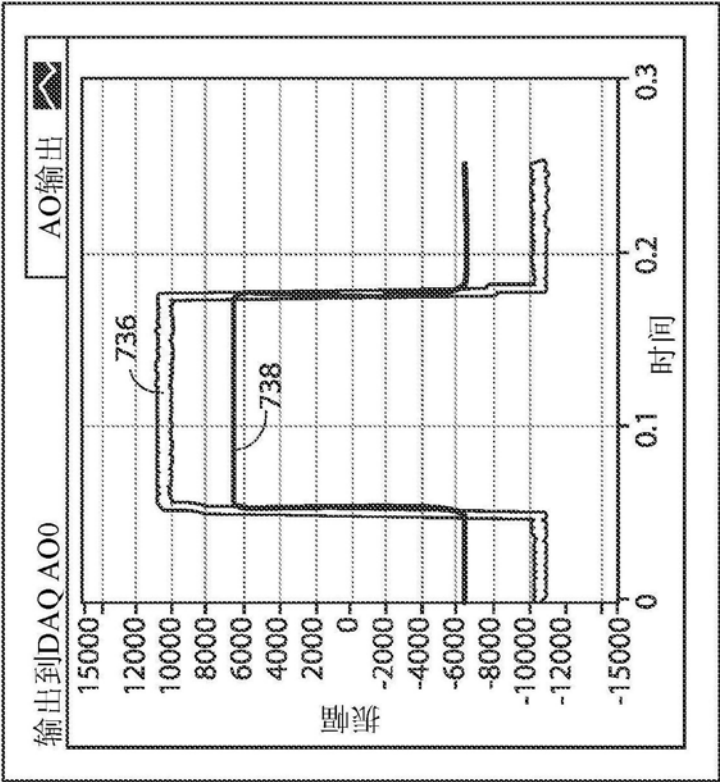


图7B

Y轴闭环控制



不具有低通滤波器的Y轴开环控制

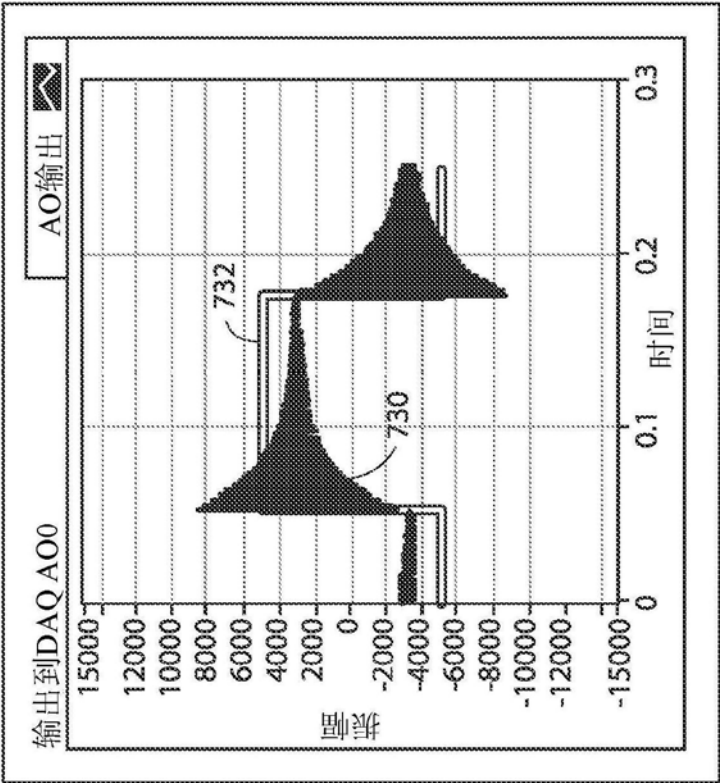


图7C

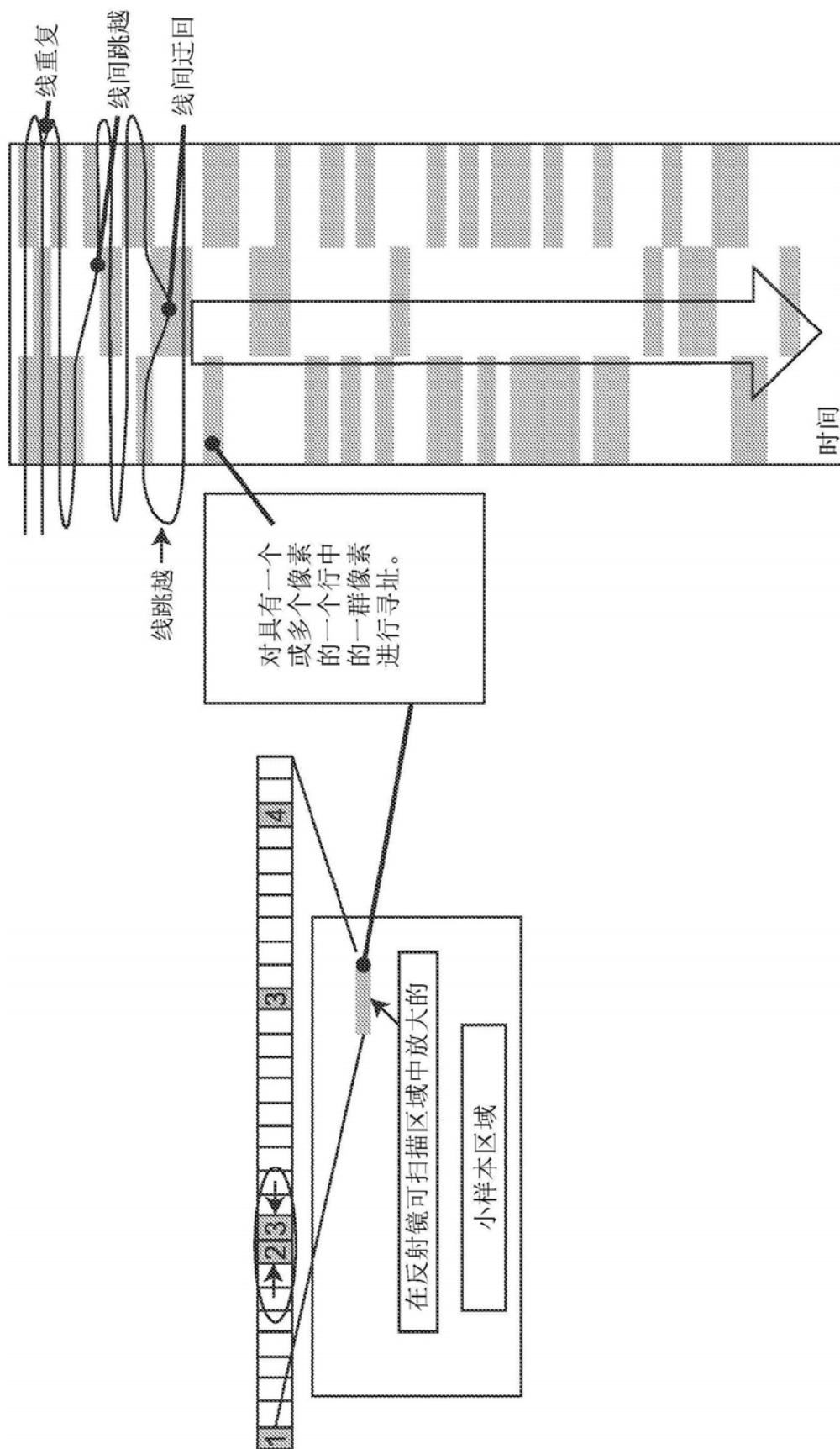


图8A

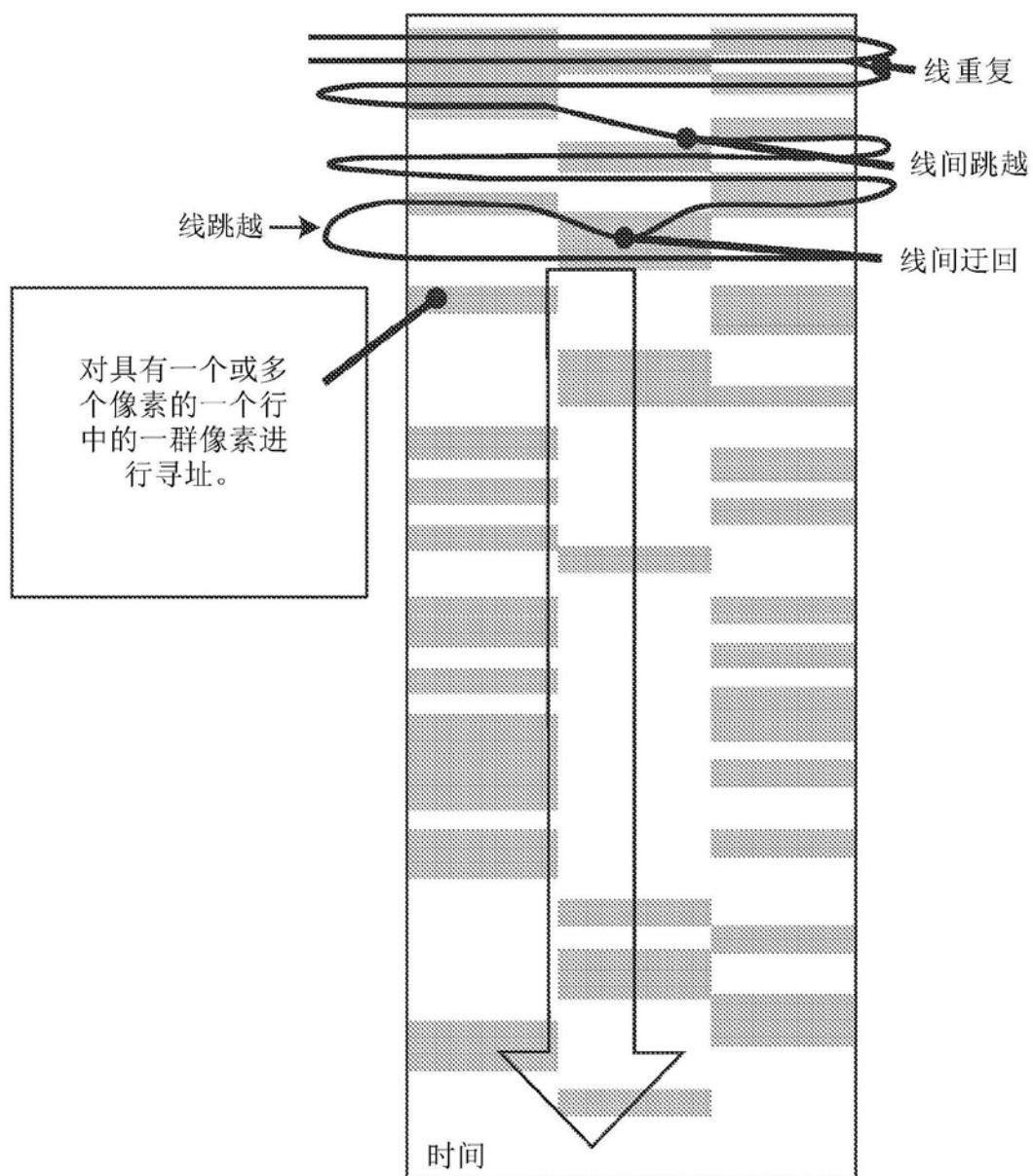


图8B

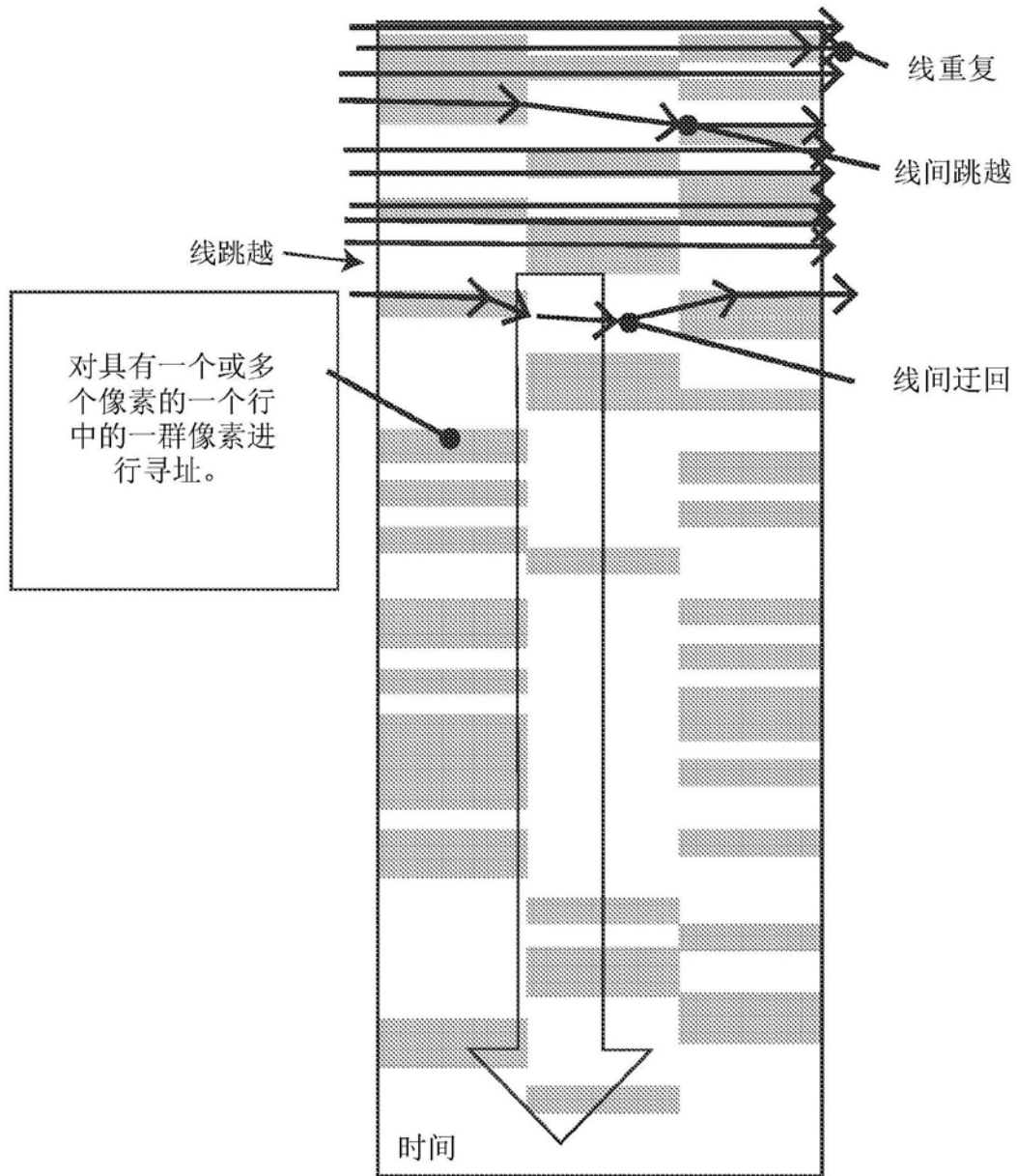


图8C



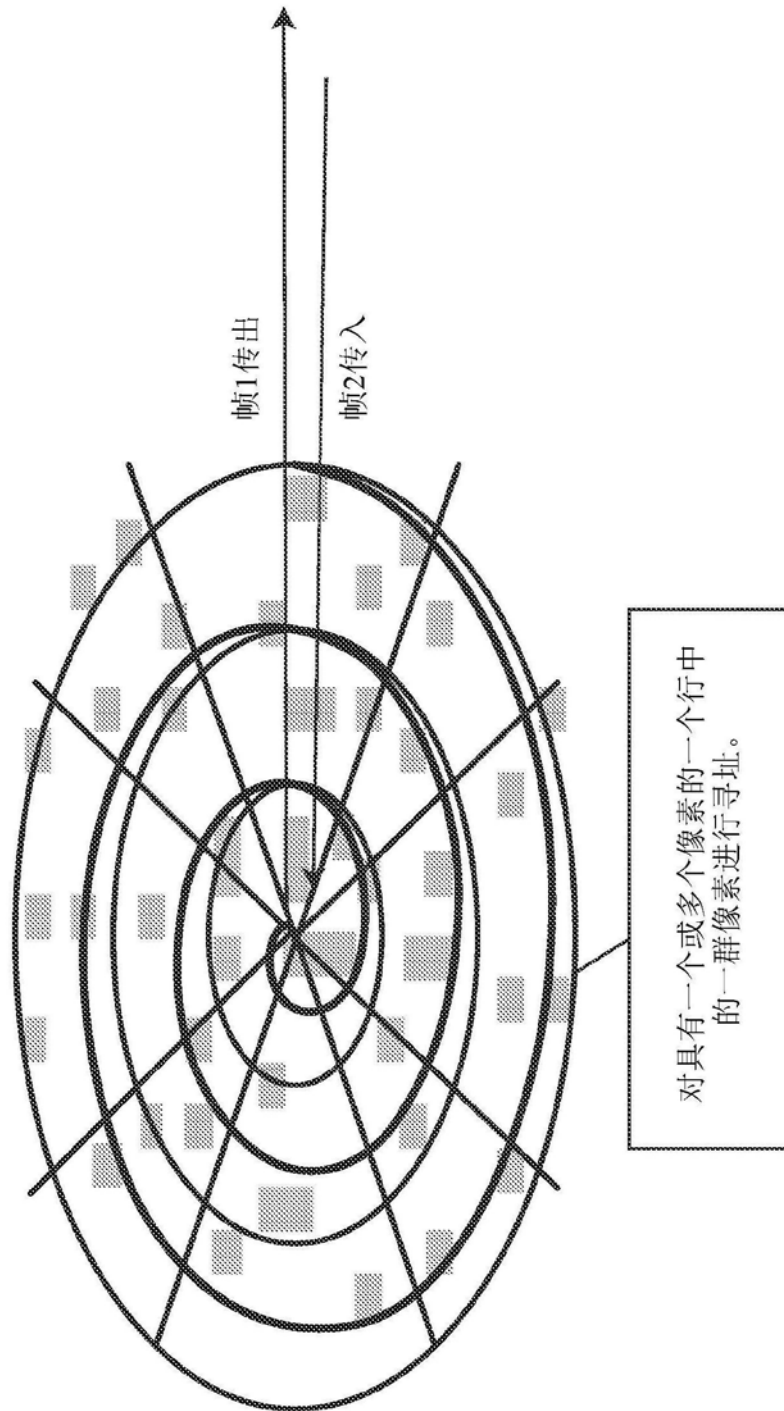


图8D

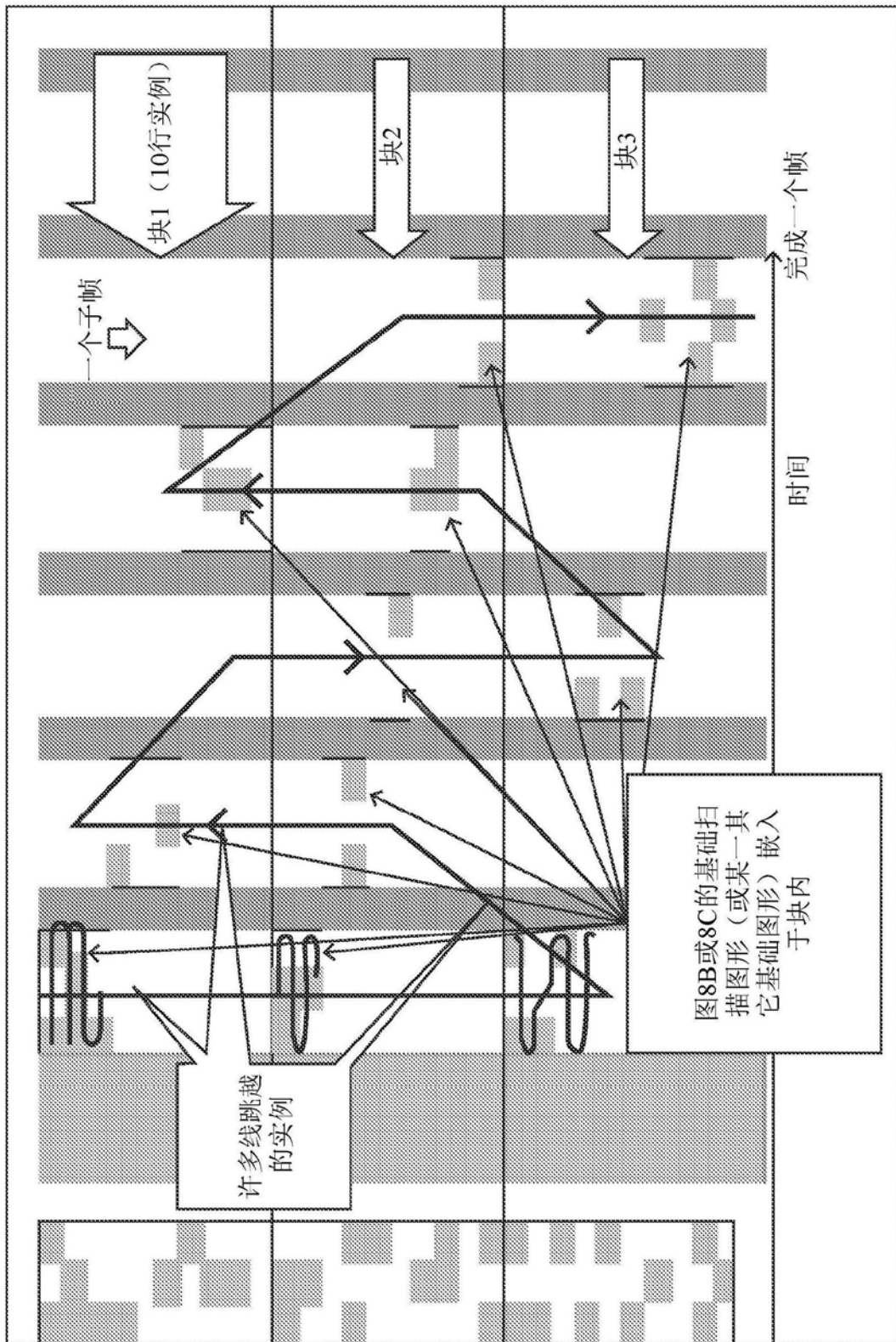


图8E

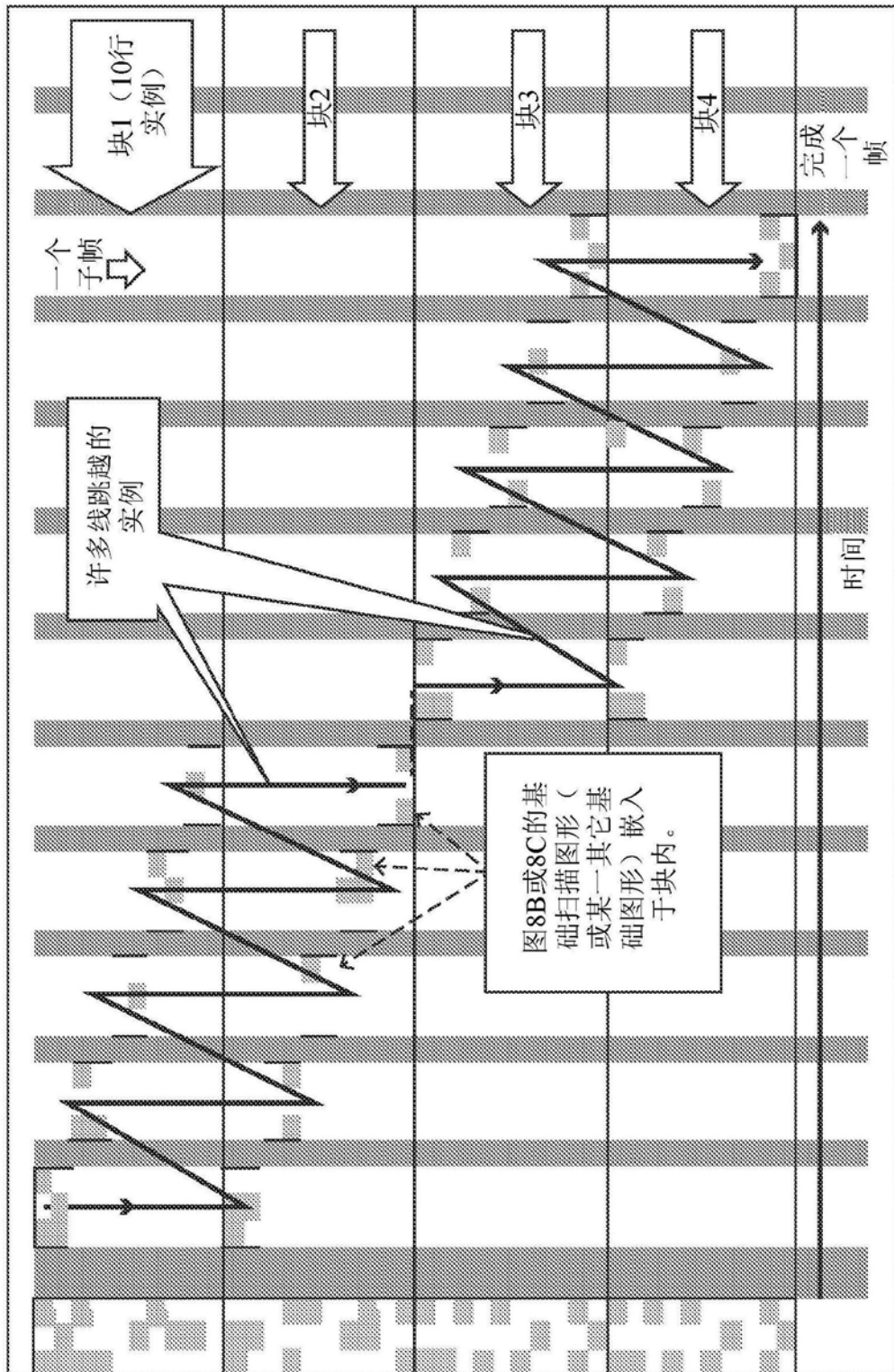


图8F

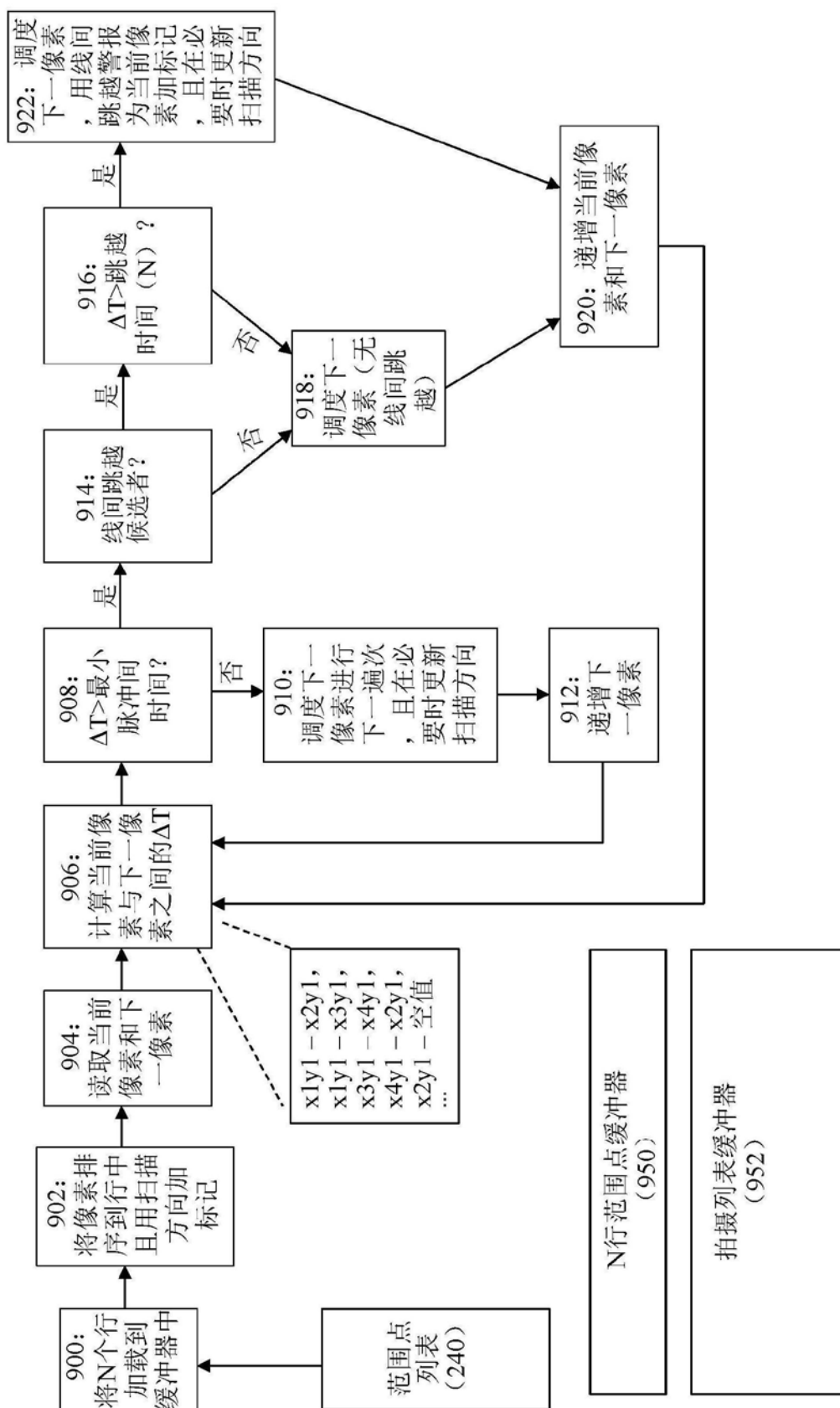


图9A

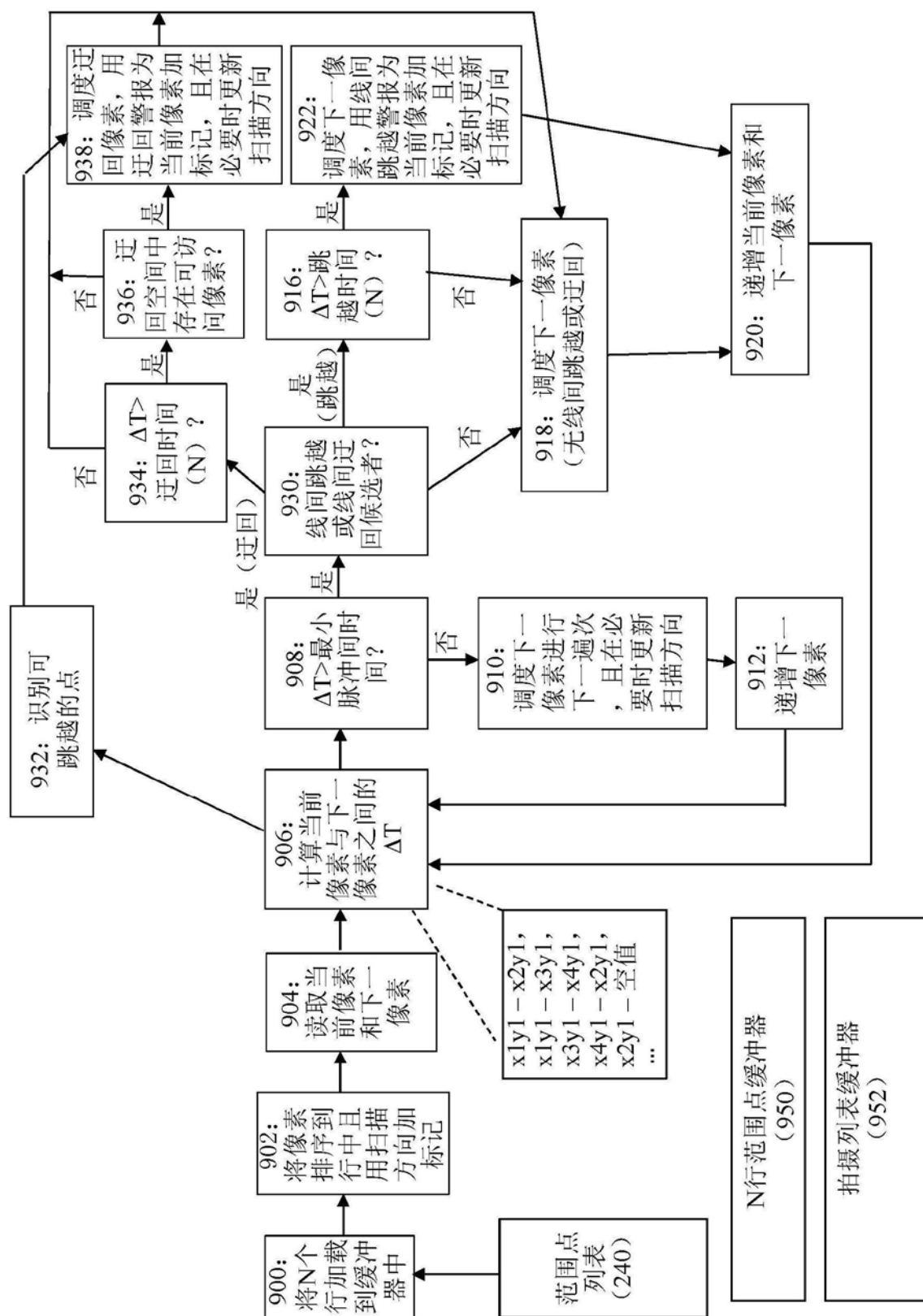


图9B

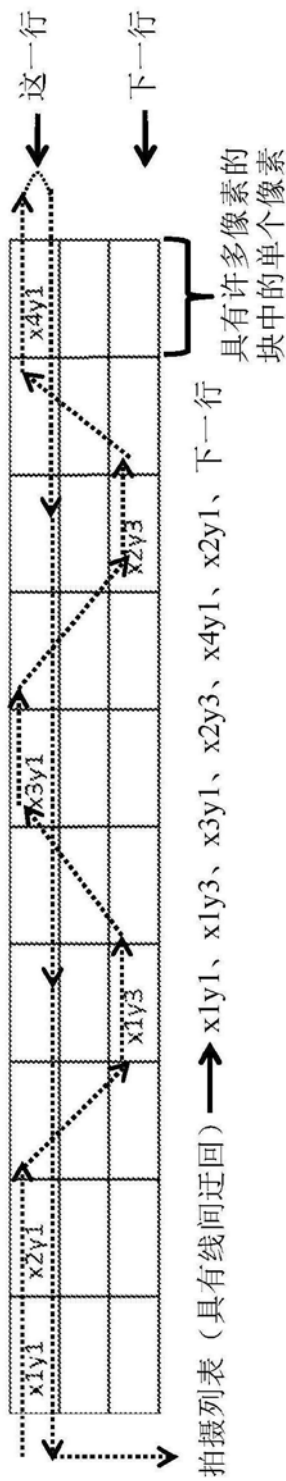


图9C

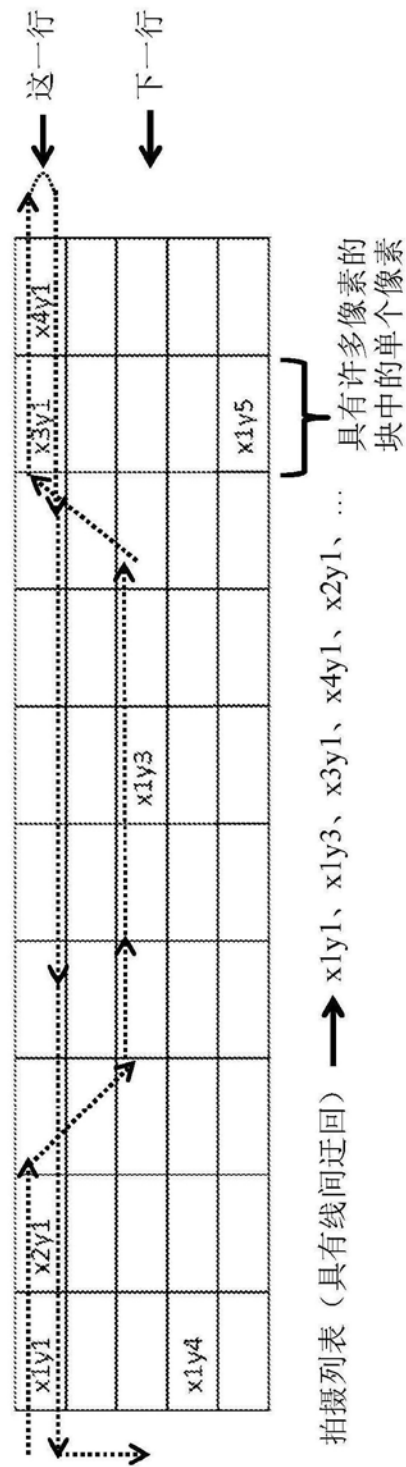


图9D

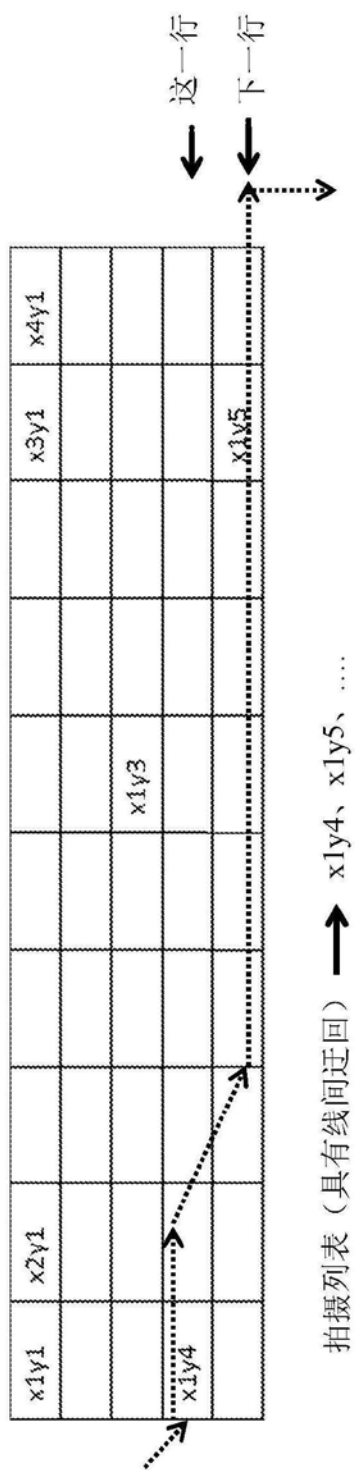


图9E



范围点列表		拍摄列表		952 从右到左或 从左到右	954 其为实况导航点 还是真实启动 命令	956 若干强度调制代 码中的一个	958 在出现以下情况之 后就向系统提示线 间跳越发生
行	列	950 10位 Row	10位 SCol				
104	19	104	19	1	1	1	0
104	26	104	26	0	1	1	0
105	4	105	4	1	1	1	0
105	13	105	13	1	1	1	0
105	22	105	31	1	1	1	0
105	31	105	49	0	1	1	0
105	40	105	40	0	1	1	0
105	49	105	22	0	1	1	0
110	15	110	15	1	1	1	1
110	159	111	95	1	1	1	1
111	95	110	159	1	1	1	1
111	223	111	223	1	1	1	1

此处，线间跳越和线间迂回的实  
施导致扫描器进行的遍次不到一  
个且帧较快

图9F

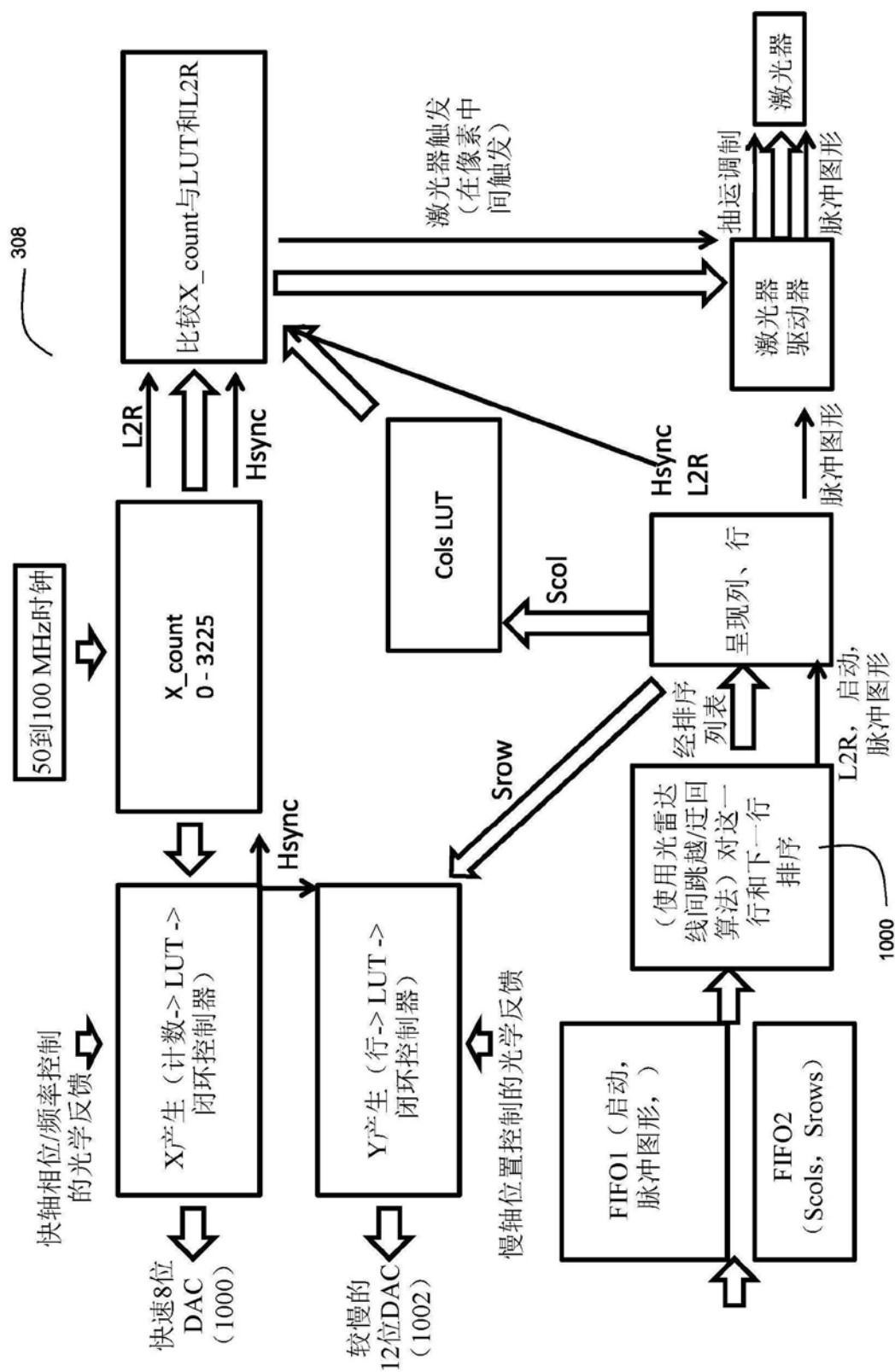


图10

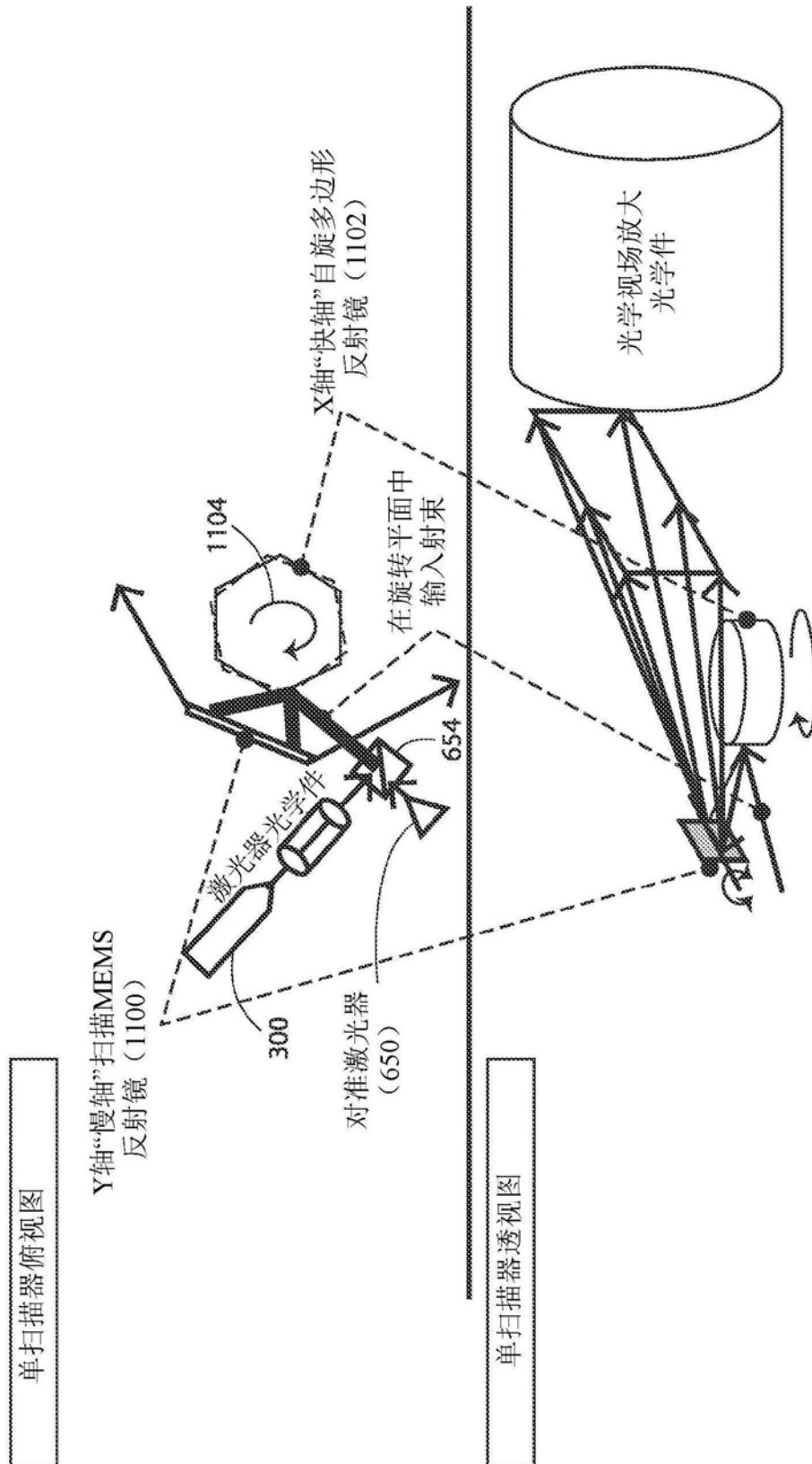


图11A

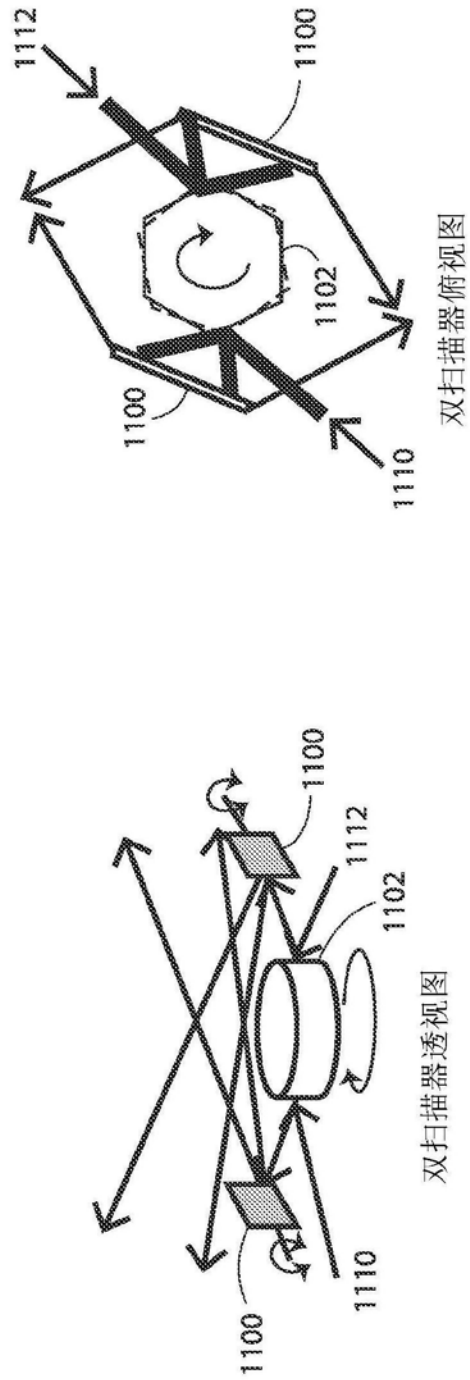


图11B

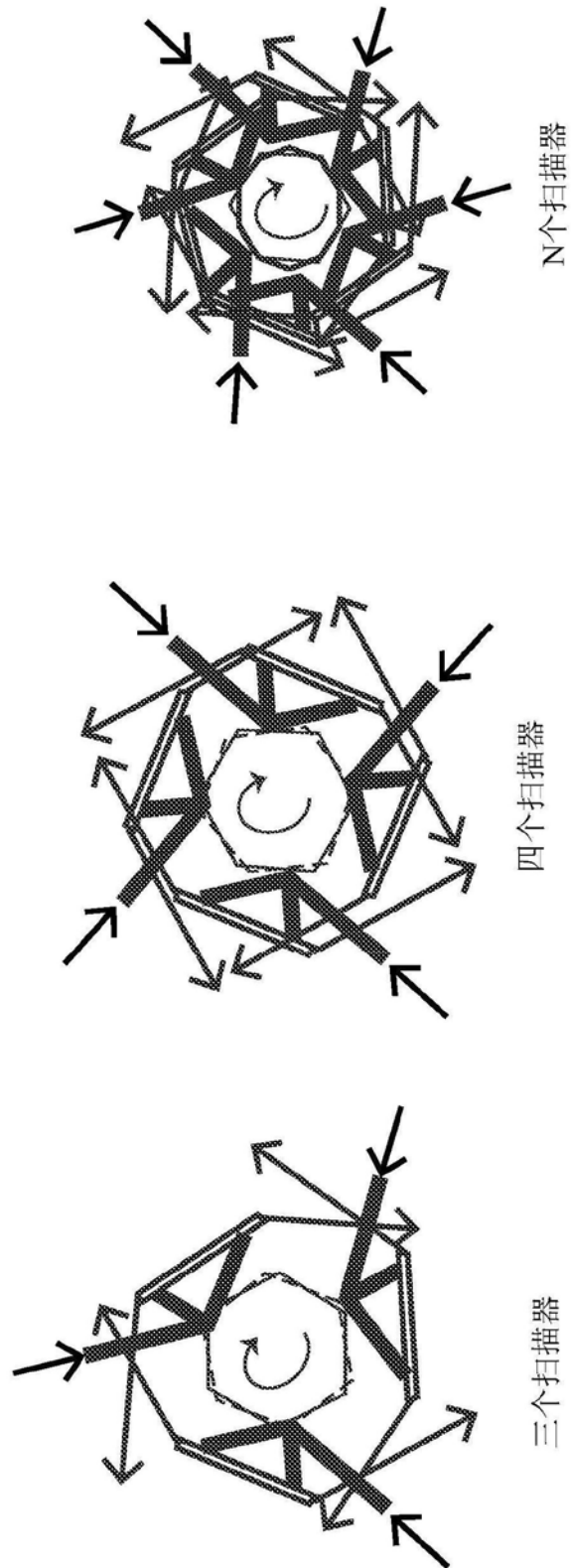


图11C

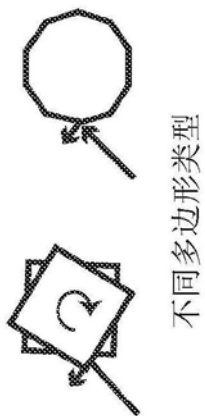


图11D

俯视图：  
0到180度的N个独立扫描范围。  
(在此实例中，存在约110度的  
4个扫描范围。)

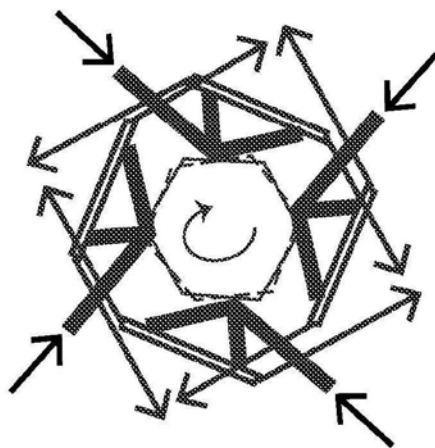


图11E



图11F

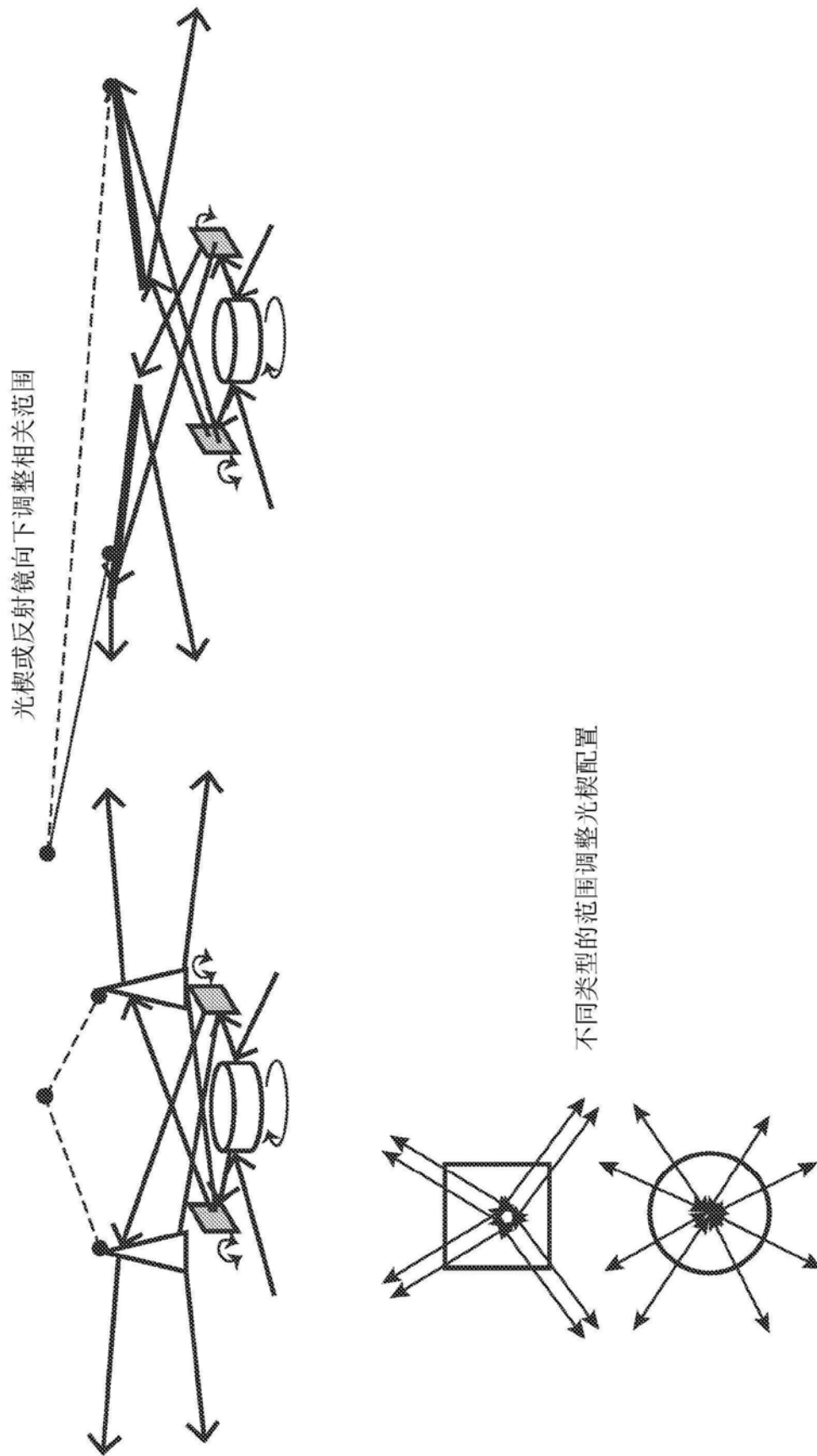


图11G



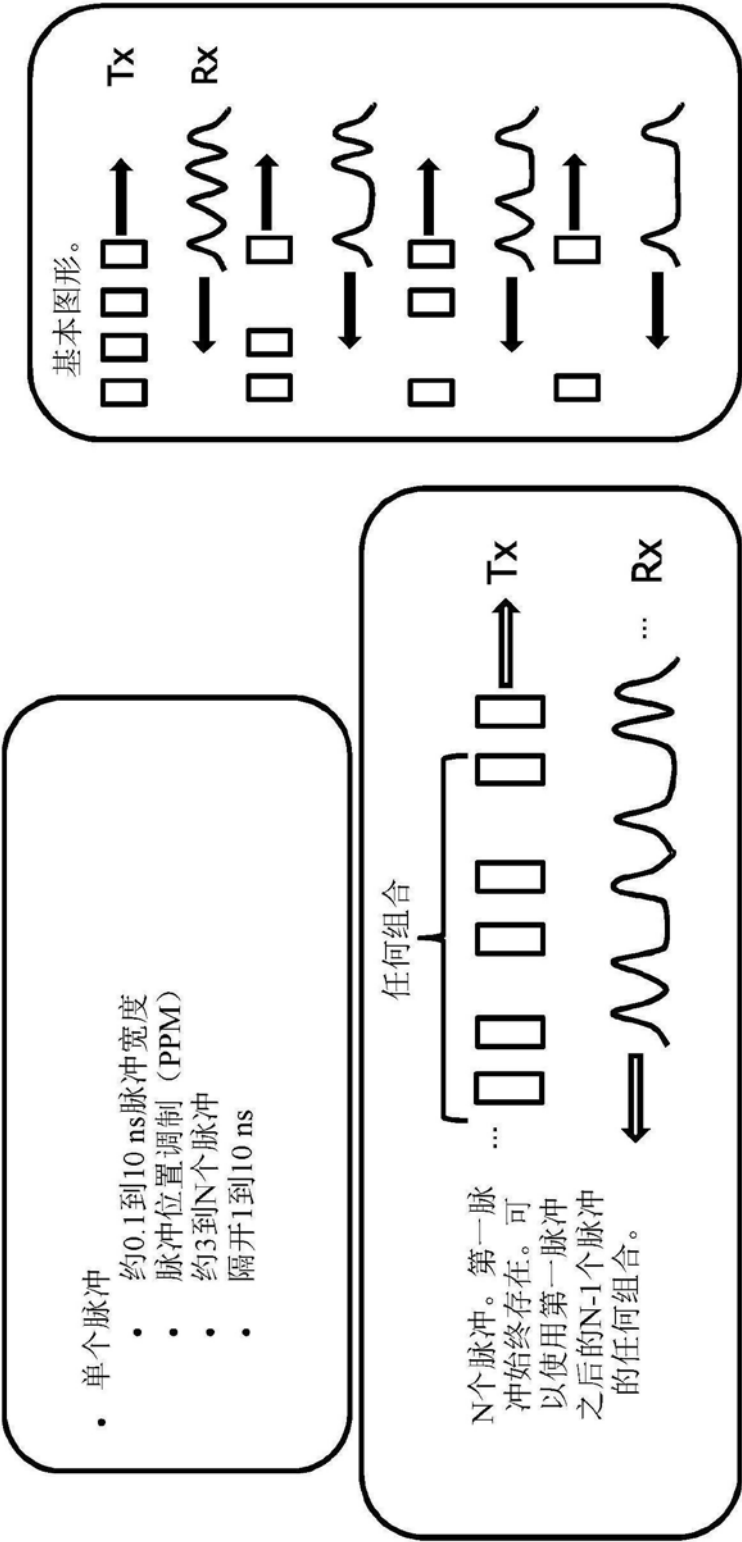


图12A

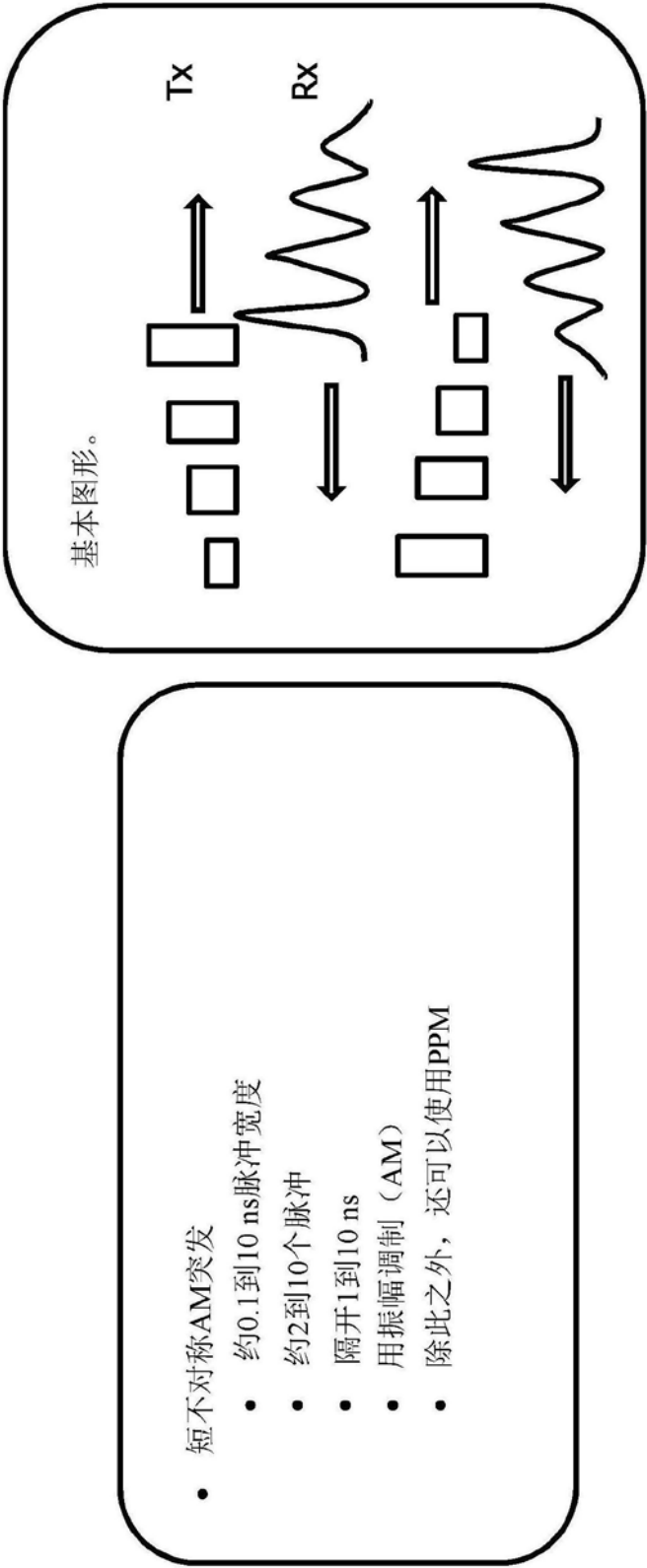


图12B