



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108242064 B

(45)授权公告日 2020.06.02

(21)申请号 201611225179.6

(22)申请日 2016.12.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108242064 A

(43)申请公布日 2018.07.03

(73)专利权人 合肥美亚光电技术股份有限公司
地址 230088 安徽省合肥市高新技术产业
开发区望江西路668号

(72)发明人 王瑜

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事
务所(普通合伙) 11201

代理人 张润

(51)Int.Cl.
G06T 7/593(2017.01)

(56)对比文件
CN 101667303 A,2010.03.10,

CN 101697233 A,2010.04.21,
CN 101303229 A,2008.11.12,
US 2015092016 A1,2015.04.02,
US 7146036 B2,2006.12.05,
US 2014198185 A1,2014.07.17,
赵东威.基于结构光的3D重建系统.《中国优
秀硕士学位论文全文数据库》.2013,(第10期),
全文.
郑顺义 等.基于结构光和极线约束的三维
重建.《图形图像与多媒体》.2009,第28卷(第8
期),全文.
Chadi Albitar et al..Robust
Structured Light Coding for 3D
Reconstruction.《2007 IEEE 11th
International Conference on Computer
Vision》.2007,全文.

审查员 彭玉玲

权利要求书3页 说明书10页 附图8页

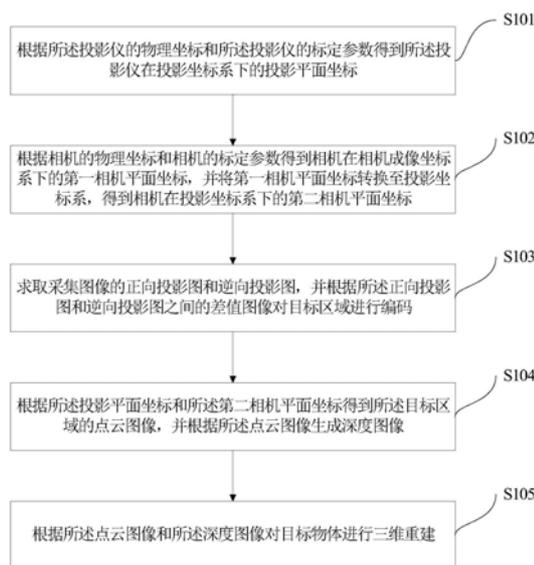
(54)发明名称

基于面阵结构光系统的三维重建方法及系
统

(57)摘要

本发明公开了一种基于面阵结构光系统的
三维重建方法及系统。该方法包括：根据投影仪
的物理坐标和投影仪的标定参数得到投影仪在
投影坐标系下的投影平面坐标；根据相机的物
理坐标和相机的标定参数得到相机在相机成像
坐标系下的第一相机平面坐标，并将第一相机
平面坐标转换至投影坐标系，得到相机在投影
坐标系下的第二相机平面坐标；求取采集图像
的正向投影图和逆向投影图，并根据所述正向
投影图和逆向投影图之间的差值图像对目标区
域进行编码；根据所述投影平面坐标和所述第
二相机平面坐标得到所述目标区域的点云图像
，并根据所述点云图像生成深度图像；根据点
云图像和所述深度图像对目标物体进行三维重
建。本发明实施例的方法，具有三维重建精度
高且效率高的优点。

CN 108242064 B



1. 一种基于面阵结构光系统的三维重建方法,其特征在于,所述面阵结构光系统包括至少一个投影仪和至少一个相机,其中,所述投影仪和所述相机具有标定参数,所述方法包括:

S1:根据所述投影仪的物理坐标和所述投影仪的标定参数得到所述投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标;

S2:根据所述相机的物理坐标和所述相机的标定参数得到所述相机在相机成像坐标系下的第一相机平面坐标,并将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标;

S3:求取采集图像的正向投影图和逆向投影图,并根据所述正向投影图和逆向投影图之间的差值图像对目标区域进行编码,其中,逆向投影的计算方法为全亮图像与正向投影的差值;

S4:根据所述投影平面坐标和所述第二相机平面坐标得到所述目标区域的点云图像,并根据所述点云图像生成深度图像;

S5:根据所述点云图像和所述深度图像对目标物体进行三维重建。

2. 根据权利要求1所述的基于面阵结构光系统的三维重建方法,其特征在于,所述步骤S1包括:

根据所述投影仪的标定参数对所述投影仪的物理坐标进行校正,其中,所述投影仪的物理坐标为二维坐标;

对校正后的所述投影仪的物理坐标进行归一化,并转换为三维坐标,以得到所述投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标,其中,所述三维坐标的Z向坐标为1。

3. 根据权利要求1或2所述的基于面阵结构光系统的三维重建方法,其特征在于,所述步骤S2包括:

根据世界坐标和所述投影坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的第一坐标方程;

根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述相机成像坐标系下的第二坐标方程;

根据所述第一坐标方程和所述第二坐标方程得到所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的坐标值;

根据所述相机的标定参数对所述相机的物理坐标进行校正,其中,所述相机的物理坐标为二维坐标;

对校正后的所述相机的物理坐标进行归一化,并转换为三维坐标,以得到所述相机在相机投影坐标系下的第一相机平面坐标,其中,所述三维坐标的Z向坐标为1;

将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

4. 根据权利要求3所述的基于面阵结构光系统的三维重建方法,其特征在于,所述将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标,包括:

根据世界坐标和所述投影坐标系的关系,建立所述第一相机平面坐标在所述投影坐标系下的第三坐标方程;

根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系,建立所述第一相机平面坐标在所述相机成像坐标系下的第四坐标方程;

根据所述第三坐标方程和所述第四坐标方程将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

5. 根据权利要求1所述的基于面阵结构光系统的三维重建方法,其特征在于,所述步骤S3包括:

根据采集图像的分辨率生成二进制条纹图;

根据采集的全亮图像和正向投影得到逆向投影;

根据所述正向投影图和逆向投影图之间的差值确定所述目标区域;

根据格雷码对所述目标区域进行编码。

6. 根据权利要求1所述的基于面阵结构光系统的三维重建方法,其特征在于,所述S4包括:

根据所述投影平面坐标、第一相机平面坐标、所述投影坐标系下的坐标原点以及所述相机成像坐标系下的坐标原点得到交点坐标;

根据所述交点坐标生成所述目标区域的点云图像;

计算所述交点坐标到投影平面的距离,以生成所述深度图像。

7. 一种基于面阵结构光系统的三维重建系统,其特征在于,所述面阵结构光系统包括至少一个投影仪和至少一个相机,其中,所述投影仪和所述相机具有标定参数,所述三维重建系统包括:

投影平面坐标获取模块,用于根据所述投影仪的物理坐标和所述投影仪的标定参数得到所述投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标;

相机平面坐标获取模块,用于根据所述相机的物理坐标和所述相机的标定参数得到所述相机在相机成像坐标系下的第一相机平面坐标,并将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标;

编码模块,用于求取采集图像的正向投影图和逆向投影图,并根据所述正向投影图和逆向投影图之间的差值图像对目标区域进行编码,其中,逆向投影的计算方法为全亮图像与正向投影的差值;

点云生成模块,用于根据所述投影平面坐标和所述第二相机平面坐标得到所述目标区域的点云图像,并根据所述点云图像生成深度图像;

三维重建模块,用于根据所述点云图像和所述深度图像对目标物体进行三维重建。

8. 根据权利要求7所述的基于面阵结构光系统的三维重建系统,其特征在于,所述投影平面坐标获取模块用于:

根据所述投影仪的标定参数对所述投影仪的物理坐标进行校正,其中,所述投影仪的物理坐标为二维坐标;

对校正后的所述投影仪的物理坐标进行归一化,并转换为三维坐标,以得到所述投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标,其中,所述三维坐标的Z向坐标为1。

9. 根据权利要求7或8所述的基于面阵结构光系统的三维重建系统,其特征在于,所述相机平面坐标获取模块用于:

根据世界坐标和所述投影坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所

述投影坐标系下的第一坐标方程；

根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系，建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述相机成像坐标系下的第二坐标方程；

根据所述第一坐标方程和所述第二坐标方程得到所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的坐标值；

根据所述相机的标定参数对所述相机的物理坐标进行校正，其中，所述相机的物理坐标为二维坐标；

对校正后的所述相机的物理坐标进行归一化，并转换为三维坐标，以得到所述相机在相机投影坐标系下的第一相机平面坐标，其中，所述三维坐标的Z向坐标为1；

将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系，得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

10. 根据权利要求9所述的基于面阵结构光系统的三维重建系统，其特征在于，所述相机平面坐标获取模块用于：

根据世界坐标和所述投影坐标系的关系，建立所述第一相机平面坐标在所述投影坐标系下的第三坐标方程；

根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系，建立所述第一相机平面坐标在所述相机成像坐标系下的第四坐标方程；

根据所述第三坐标方程和所述第四坐标方程将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系，得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

11. 根据权利要求7所述的基于面阵结构光系统的三维重建系统，其特征在于，所述编码模块用于：

根据采集图像的分辨率生成二进制条纹图；

根据采集的全亮图像和正向投影得到逆向投影；

根据所述正向投影图和逆向投影图之间的差值确定所述目标区域；

根据格雷码对所述目标区域进行编码。

12. 根据权利要求7所述的基于面阵结构光系统的三维重建系统，其特征在于，所述点云生成模块用于：

根据所述投影平面坐标、第一相机平面坐标、所述投影坐标系下的坐标原点以及所述相机成像坐标系下的坐标原点得到交点坐标；

根据所述交点坐标生成所述目标区域的点云图像；

计算所述交点坐标到投影平面的距离，以生成所述深度图像。

基于面阵结构光系统的三维重建方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及图像处理技术领域,特别涉及一种基于面阵结构光系统的三维重建方法。

背景技术

[0002] 三维图像得到越来越多的应用。通常,三维图像是通过二维图像转换得到,目前,转换技术很多,然而,有的转换的精度较低,有的转换的效率较低,从而影响三维图像的应用。

发明内容

[0003] 本发明旨在至少在一定程度上解决上述相关技术中的技术问题之一。

[0004] 为此,本发明的一个目的在于提出一种基于面阵结构光系统的三维重建方法,该方法具有三维重建精度高且效率高的优点。

[0005] 本发明的另一个目的在于提供一种基于面阵结构光系统的三维重建系统。

[0006] 为了实现上述目的,本发明的第一方面的实施例公开了一种基于面阵结构光系统的三维重建方法,所述面阵结构光系统包括至少一个投影仪和至少一个相机,其中,所述投影仪和所述相机具有标定参数,所述方法包括:S1:根据所述投影仪的物理坐标和所述投影仪的标定参数得到所述投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标;S2:根据所述相机的物理坐标和所述相机的标定参数得到所述相机在相机成像坐标系下的第一相机平面坐标,并将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标;S3:求取采集图像的正向投影图和逆向投影图,并根据所述正向投影图和逆向投影图之间的差值图像对目标区域进行编码;S4:根据所述投影平面坐标和所述第二相机平面坐标得到所述目标区域的点云图像,并根据所述点云图像生成深度图像;S5:根据所述点云图像和所述深度图像对目标物体进行三维重建。

[0007] 根据本发明实施例的基于面阵结构光系统的三维重建方法,具有三维重建精度高且效率高的优点。

[0008] 在一些示例中,所述步骤S1包括:根据所述投影仪的标定参数对所述投影仪的物理坐标进行校正,其中,所述投影仪的物理坐标为二维坐标;对校正后的所述投影仪的物理坐标进行归一化,并转换为三维坐标,以得到所述投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标,其中,所述三维坐标的Z向坐标为1。

[0009] 在一些示例中,所述步骤S2包括:根据世界坐标和所述投影坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的第一坐标方程;根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述相机成像坐标系下的第二坐标方程;根据所述第一坐标方程和所述第二坐标方程得到所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的坐标值;根据所述相机的标定参数对所述相机的物理坐标进行校正,其中,所述相机的物理坐标为二维坐标;对校正后的所述相机的物理坐标进

行归一化,并转换为三维坐标,以得到所述相机在相机投影坐标系下的第一相机平面坐标,其中,所述三维坐标的Z向坐标为1;将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

[0010] 在一些示例中,所述将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标,包括:根据世界坐标和所述投影坐标系的关系,建立所述第一相机平面坐标在所述投影坐标系下的第三坐标方程;根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系,建立所述第一相机平面坐标在所述相机成像坐标系下的第四坐标方程;根据所述第三坐标方程和所述第四坐标方程将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

[0011] 在一些示例中,所述步骤S3包括:根据采集图像的分辨率生成二进制条纹图;根据采集的全亮图像和正向投影得到逆向投影;根据所述正向投影图和逆向投影图之间的差值确定所述目标区域;根据格雷码对所述目标区域进行编码。

[0012] 在一些示例中,所述S4包括:根据所述投影平面坐标、第一相机平面坐标、所述投影坐标系下的坐标原点以及所述相机成像坐标系下的坐标原点得到交点坐标;根据所述交点坐标生成所述目标区域的点云图像;计算所述交点坐标到投影平面的距离,以生成所述深度图像。

[0013] 本发明第二方面的实施例公开了一种基于面阵结构光系统的三维重建系统,所述面阵结构光系统包括至少一个投影仪和至少一个相机,其中,所述投影仪和所述相机具有标定参数,所述三维重建系统包括:投影平面坐标获取模块,用于根据所述投影仪的物理坐标和所述投影仪的标定参数得到所述投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标;相机平面坐标获取模块,用于根据所述相机的物理坐标和所述相机的标定参数得到所述相机在相机成像坐标系下的第一相机平面坐标,并将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标;编码模块,用于求取采集图像的正向投影图和逆向投影图,并根据所述正向投影图和逆向投影图之间的差值图像对目标区域进行编码;点云生成模块,用于根据所述投影平面坐标和所述第二相机平面坐标得到所述目标区域的点云图像,并根据所述点云图像生成深度图像;三维重建模块,用于根据所述点云图像和所述深度图像对目标物体进行三维重建。

[0014] 根据本发明实施例的基于面阵结构光系统的三维重建系统,具有三维重建精度高且效率高的优点。

[0015] 在一些示例中,所述投影平面坐标获取模块用于:根据所述投影仪的标定参数对所述投影仪的物理坐标进行校正,其中,所述投影仪的物理坐标为二维坐标;对校正后的所述投影仪的物理坐标进行归一化,并转换为三维坐标,以得到所述投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标,其中,所述三维坐标的Z向坐标为1。

[0016] 在一些示例中,所述相机平面坐标获取模块用于:根据世界坐标和所述投影坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的第一坐标方程;根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述相机成像坐标系下的第二坐标方程;根据所述第一坐标方程和所述第二坐标方程得到所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的坐标值;根据所述相机的标定参数对所述相机的物理坐标进行校正,其中,所述相机的物理坐标为二维坐标;对校正后的所述

相机的物理坐标进行归一化,并转换为三维坐标,以得到所述相机在相机投影坐标系下的第一相机平面坐标,其中,所述三维坐标的Z向坐标为1;将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

[0017] 在一些示例中,所述相机平面坐标获取模块用于:根据世界坐标和所述投影坐标系的关系,建立所述第一相机平面坐标在所述投影坐标系下的第三坐标方程;根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系,建立所述第一相机平面坐标在所述相机成像坐标系下的第四坐标方程;根据所述第三坐标方程和所述第四坐标方程将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

[0018] 在一些示例中,所述编码模块用于:根据采集图像的分辨率生成二进制条纹图;根据采集的全亮图像和正向投影得到逆向投影;根据所述正向投影图和逆向投影图之间的差值确定所述目标区域;根据格雷码对所述目标区域进行编码。

[0019] 在一些示例中,所述点云生成模块用于:根据所述投影平面坐标、第一相机平面坐标、所述投影坐标系下的坐标原点以及所述相机成像坐标系下的坐标原点得到交点坐标;根据所述交点坐标生成所述目标区域的点云图像;计算所述交点坐标到投影平面的距离,以生成所述深度图像。

[0020] 本发明的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本发明的实践了解到。

附图说明

[0021] 本发明的上述的和/或附加的方面和优点结合下面附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解,其中:

[0022] 图1是本发明一个实施例的面阵结构光系统的示意图;

[0023] 图2是本发明一个实施例的面阵结构光系统的标定示意图;

[0024] 图3是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建方法中8级条纹编码图;

[0025] 图4是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建方法中采集的8级条纹图;

[0026] 图5是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建方法中采集的全亮图像;

[0027] 图6是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建方法中8级逆向投影图;

[0028] 图7是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建方法中正逆向图比对示意图;

[0029] 图8是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建方法中横条纹编码图像;

[0030] 图9是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建方法分别为R/G/B三色LED拍摄的图像;

[0031] 图10是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建方法中三维彩色点云图像;

[0032] 图11是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建方法中点云配准示意图;

[0033] 图12是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建方法的流程图;以及

[0034] 图13是本发明一个实施例基于面阵结构光系统的三维重建系统的结构框图。

具体实施方式

[0035] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,仅用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0036] 以下结合附图描述根据本发明实施例的基于面阵结构光系统的三维重建方法及系统。

[0037] 在描述根据本发明实施例的基于面阵结构光系统的三维重建方法及系统之前,首先对面阵结构光系统进行介绍,如图1所示,面阵结构光系统包括至少一个投影仪和至少一个相机,其中,投影仪和相机具有标定参数。结合图1所述,面阵结构光系统具体包括投影模块1(即投影仪)、相机模块2(即相机)、目标物体3、投影电路板4、相机电源板5、主控板6和电脑7等。其中,投影模块1用于投影目标物体的图像,相机模块2用于采集图像,目标物体3为拍摄三维重建的目标,投影电路板4用于驱动投影模块1,相机电源板5用于为相机模块2供电,主控板6用于控制投影模块1和相机模块2,电脑7可通过USB等与主控板6相连,传输数据。

[0038] 在基于面阵结构光系统的三维重建之前,首先需要对投影仪和相机进行参数的标定。具体来说,如图2所示,三维重建前需要对系统进行标定,得到重建所需的参数。要求标定时对相机和投影仪分别采用单目相机标定方法,投影仪看作是相机的逆过程。标定结果为每个投影仪和每个相机都有一组标定结果,包括内部参数、外部参数和畸变参数,且所有的外部参数都是基于同一个世界坐标系的。如有M个投影仪和N个相机,则最终有对应的M+N组标定结果,即M+N组内部参数、外部参数和畸变参数,且这M+N组的外部参数的世界坐标系相同。

[0039] 以一个投影仪和一个相机组合的面阵结构光系统为例,如图2所示,目标物体处在世界坐标系 $X_w Y_w Z_w$ 中,投影仪(projector)坐标系为 $X_{projector} Y_{projector} Z_{projector}$,坐标原点为点 q_1 ,相机(camera)坐标系为 $X_{view} Y_{view} Z_{view}$,坐标原点为点 q_2 。

[0040] 图12是根据本发明一个实施例的基于面阵结构光系统的三维重建方法的流程图。如图12所示,根据本发明一个实施例的基于面阵结构光系统的三维重建方法,包括如下步骤:

[0041] S101:根据投影仪的物理坐标和投影仪的标定参数得到投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标。

[0042] 例如:根据投影仪的标定参数对投影仪的物理坐标进行校正,其中,投影仪的物理坐标为二维坐标;对校正后的投影仪的物理坐标进行归一化,并转换为三维坐标,以得到投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标,其中,三维坐标的Z向坐标为1。

[0043] 即:计算如图2中的每个投影位置的V1值。具体来说:

[0044] 1、将投影仪的实际物理坐标存入ProjectorRays(二维坐标,只有坐标X和坐标Y,二维坐标的长宽为投影仪存入pattern图像的像素大小)中。如投影的图像大小为 512×512 ,则ProjectorRays存储的是每个像素点对应的实际物理发光位置。如DLP投影仪中存储的是

对应的菱形镜面的坐标,即ProjectorRays中存储的值是根据每个投影仪的原理而定的。

[0045] 2、根据投影仪标定的内部参数和畸变参数,对ProjectorRays进行畸变校正得到校正后的坐标UnDistortedProjectorRays(二维坐标,只有坐标X和坐标Y)。

[0046] 3、默认投影平面的Z向坐标为1,对UnDistortedProjectorRays归一化且转为三维坐标,得到投影平面坐标v1(三维坐标,坐标X_{projector}、坐标Y_{projector}和坐标Z_{projector})。

[0047] S102:根据相机的物理坐标和相机的标定参数得到相机在相机成像坐标系下的第一相机平面坐标,并将第一相机平面坐标转换至投影坐标系,得到相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

[0048] 例如:根据世界坐标和所述投影坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的第一坐标方程;根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述相机成像坐标系下的第二坐标方程;根据所述第一坐标方程和所述第二坐标方程得到所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的坐标值;根据所述相机的标定参数对所述相机的物理坐标进行校正,其中,所述相机的物理坐标为二维坐标;对校正后的所述相机的物理坐标进行归一化,并转换为三维坐标,以得到所述相机在相机投影坐标系下的第一相机平面坐标,其中,所述三维坐标的Z向坐标为1;将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

[0049] 进一步地,将第一相机平面坐标转换至投影坐标系,得到相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标,包括:根据世界坐标和投影坐标系的关系,建立第一相机平面坐标在投影坐标系下的第三坐标方程;根据世界坐标和相机成像坐标系的关系,建立第一相机平面坐标在相机成像坐标系下的第四坐标方程;根据第三坐标方程和第四坐标方程将第一相机平面坐标转换至投影坐标系,得到相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

[0050] 即:计算如图2中的每个相机平面位置的V2值。具体来说:

[0051] 1、q1点在坐标系X_{projector}Y_{projector}Z_{projector}中的坐标为(0,0,0)。

[0052] 2、把q2点放到和q1同一个坐标系下,即在坐标系X_{projector}Y_{projector}Z_{projector}下计算出q2点坐标。过程如下:

[0053] (1)根据世界坐标系X_wY_wZ_w与投影坐标系X_{projector}Y_{projector}Z_{projector}的关系,列出q2点方程如下:

[0054]
$$\begin{bmatrix} x_{projector} \\ y_{projector} \\ z_{projector} \end{bmatrix}_{q2} = \begin{bmatrix} rp_{11} & rp_{12} & rp_{13} \\ rp_{21} & rp_{22} & rp_{23} \\ rp_{31} & rp_{32} & rp_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix}_{q2} + \begin{bmatrix} tp_1 \\ tp_2 \\ tp_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

[0055] 其中,rp₁₁~rp₃₃为投影仪的旋转矩阵,tp₁~tp₃为投影仪的平移矩阵。旋转矩阵和平移矩阵从投影仪的外部参数中获得。

[0056] (2)根据世界坐标系X_wY_wZ_w与相机成像坐标系X_{view}Y_{view}Z_{view}的关系,列出q2点方程如下,在坐标系X_{view}Y_{view}Z_{view}下q2点的坐标为(0,0,0):

$$[0057] \quad \begin{bmatrix} x_{view} \\ y_{view} \\ z_{view} \end{bmatrix}_{q2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rc_{11} & rc_{12} & rc_{13} \\ rc_{21} & rc_{22} & rc_{23} \\ rc_{31} & rc_{32} & rc_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix}_{q2} + \begin{bmatrix} tc_1 \\ tc_2 \\ tc_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

[0058] 其中rc₁₁~rc₃₃为相机的旋转矩阵,tc₁~tc₃为相机的平移矩阵。旋转矩阵和平移矩阵从相机的外部参数中获得。

[0059] (3) 由于旋转矩阵是标准正交矩阵,就是说它的逆和他的转置相同。且由于两个世界坐标系相同,根据公式(1)和公式(2)求解得到q2在坐标系X_{projector}Y_{projector}Z_{projector}下的坐标为:

$$[0060] \quad \begin{bmatrix} x_{projector} \\ y_{projector} \\ z_{projector} \end{bmatrix}_{q2} = - \begin{bmatrix} tc_1 \\ tc_2 \\ tc_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} rp_{11} & rp_{12} & rp_{13} \\ rp_{21} & rp_{22} & rp_{23} \\ rp_{31} & rp_{32} & rp_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} rc_{11} & rc_{12} & rc_{13} \\ rc_{21} & rc_{22} & rc_{23} \\ rc_{31} & rc_{32} & rc_{33} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} tp_1 \\ tp_2 \\ tp_3 \end{bmatrix},$$

[0061] 从而求得q2点坐标值。

[0062] 3、把v2点放到和v1同一个坐标系下,即:在坐标系X_{projector}Y_{projector}Z_{projector}下计算出v2点坐标。过程如下:

[0063] (1) 假设相机平面为直接接收到的投影仪投影平面的光线,即相机平面与投影平面一一对应,暂不考虑有目标物体存在时的扭曲。根据对应点位置把相机的坐标存入ViewportRays(二维坐标,只有坐标X和坐标Y,二维坐标的长宽为相机采集图像的像素大小)中。如相机采集的图像大小为1024*1024,则ViewportRays存储的是每个像素点对应的投影仪的实际发光位置对应于相机成像平面上的位置。ViewportRays中存储的值是根据每个投影仪的原理而定的。

[0064] (2) 根据相机标定的内部参数和畸变参数,对ViewportRays进行畸变校正得到校正后的坐标UnDistortedViewportRays(二维坐标,只有坐标X和坐标Y)。

[0065] (3) 默认投影平面的Z向坐标为1,对UnDistortedViewportRays归一化且转为三维坐标,得到相机平面坐标3DViewportRays(三维坐标,坐标、X_{view}坐标Y_{view}和坐标Z_{view})。

[0066] (4) 将相机平面坐标由坐标系X_{view}Y_{view}Z_{view}转换到坐标系X_{projector}Y_{projector}Z_{projector}下。过程如下:

[0067] A: 根据世界坐标系X_wY_wZ_w与投影坐标系X_{projector}Y_{projector}Z_{projector}的关系,列出v2点方程如下:

$$[0068] \quad \begin{bmatrix} x_{projector} \\ y_{projector} \\ z_{projector} \end{bmatrix}_{v2} = \begin{bmatrix} rp_{11} & rp_{12} & rp_{13} \\ rp_{21} & rp_{22} & rp_{23} \\ rp_{31} & rp_{32} & rp_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix}_{v2} + \begin{bmatrix} tp_1 \\ tp_2 \\ tp_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

[0069] B: 根据世界坐标系X_wY_wZ_w与相机成像坐标系X_{view}Y_{view}Z_{view}的关系,列出同一个v2点方程如下:

$$[0070] \quad \begin{bmatrix} x_{view} \\ y_{view} \\ z_{view} \end{bmatrix}_{v2} = \begin{bmatrix} rc_{11} & rc_{12} & rc_{13} \\ rc_{21} & rc_{22} & rc_{23} \\ rc_{31} & rc_{32} & rc_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix}_{v2} + \begin{bmatrix} tc_1 \\ tc_2 \\ tc_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

[0071] C、由于投影和相机校正的世界坐标系相同,通过公式(3)和公式(4)计算得到:

$$[0072] \begin{bmatrix} x_{projector} \\ y_{projector} \\ z_{projector} \end{bmatrix}_{v2} = \begin{bmatrix} rp_{11} & rp_{12} & rp_{13} \\ rp_{21} & rp_{22} & rp_{23} \\ rp_{31} & rp_{32} & rp_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} rc_{11} & rc_{12} & rc_{13} \\ rc_{21} & rc_{22} & rc_{23} \\ rc_{31} & rc_{32} & rc_{33} \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} x_{view} \\ y_{view} \\ z_{view} \end{bmatrix}_{v2} - \begin{bmatrix} tc_1 \\ tc_2 \\ tc_3 \end{bmatrix} \right) + \begin{bmatrix} tp_1 \\ tp_2 \\ tp_3 \end{bmatrix},$$

[0073] 其中, $\begin{bmatrix} x_{view} \\ y_{view} \\ z_{view} \end{bmatrix}_{v2}$ 为3DViewportRays,即求得在 $X_{projector}Y_{projector}Z_{projector}$ 坐标系下的坐标 $v2$ 。

[0074] S103:求取采集图像的正向投影图和逆向投影图,并根据正向投影图和逆向投影图之间的差值图像对目标区域进行编码。

[0075] 例如:根据采集图像的分辨率生成二进制条纹图;根据采集的全亮图像和正向投影得到逆向投影;根据正向投影图和逆向投影图之间的差值确定目标区域;根据格雷码对目标区域进行编码。

[0076] 采用的是格雷码编码方法,在一组数的编码中,若任意两个相邻的代码只有一位二进制数不同,则称这种编码为格雷码。格雷码用图像表示的话根据图像的幅数定义级别,如N级格雷码就代表N幅图像,具体而言:

[0077] 1、生成二进制图案的条纹图

[0078] $G(N) = B(N+1) \text{ XOR } B(N)$,

[0079] 根据相机采集图像的分辨率确定该分辨率下最大级别格雷码。Maximum_disparity为单方向的像素数以2的幂向上取整,如采集图像分辨率宽度为1000,则Maximum_disparity为1024。生成的条纹图为2的10次方,即10幅图。也就是说最大级别为10级条纹。如图3所示,为8级条纹编码图,如图4所示,为8级横条纹图。

[0080] 2、求取逆向投影,步骤:

[0081] (1) 获取全亮图像。如图5所示,为采集的全亮图像。

[0082] (2) 求取逆向投影,逆向投影计算方法为全亮图像与正向投影的差值。如图6所示,为8级逆向投影图。

[0083] (3) 编码目标区域选取。

[0084] 计算差值图像,即正向投影与逆向投影之差,当差值图像的绝对值大于固定阈值时,我们认为是目标区域,进行编码和三角化计算,否则,认为是盲区,不参与计算。

[0085] 如图7所示,示出了正逆向图对比的示意,其中,R表示正向投影的灰度值统计,B表示为逆向投影的灰度值统计,黑线为差值图像的灰度值统计。可以看出差值图像相对于正向投影而言有以下优点:

[0086] A:对比度更高,体现在统计图表中幅值更大。

[0087] B:图像均匀性更高,体现在差值图像中中心灰度值一直处于0值附近,而正向投影会有一些的波动。所以,通过差值图像进行编码计算可以有效提高三维成像的精度和减少冗余点的存在,有效的提高了点云重建的效率。

[0088] 3、具体编码步骤

[0089] 如图8所示,示出了横条纹编码图像,比如可以给定的pattern图像最大为8级条

纹,则最细投影条纹在相机采集图像中占4个像素的宽度(图像大小 $1024/2^8$)。根据格雷码转二进制公式进行编码转换(编码转换方式很成熟,在此不做详述)。

[0090] 结合结构光成像系统,考虑到横向竖向都会有畸变,分别就横条纹和竖条纹进行格雷码编码转换。编码就是背景用特定值代替,目标处在不同条纹区域内的都用不同值代替,8级条纹有 $2*8=256$ 种不同值,加背景就是257种不同值。存储的编码图像大小是相机图像大小,1000*1000。

[0091] S104:根据投影平面坐标和第二相机平面坐标得到目标区域的点云图像,并根据点云图像生成深度图像。

[0092] 例如:根据投影平面坐标、第一相机平面坐标、投影坐标系下的坐标原点以及相机成像坐标系下的坐标原点得到交点坐标;根据交点坐标生成目标区域的点云图像;计算交点坐标到投影平面的距离,以生成深度图像。

[0093] 具体地说,已知 q_1 (投影中心,即0,0,0点), v_1 (投影平面位置,即编码对应的位置), q_2 (相机中心), v_2 (相机平面位置,即图像上的直接位置)。其中 v_1 和 v_2 为对应关系,就是一个点对应另一个点。则交点intersection,计算如下:

$$[0094] \quad intersection = \frac{(q_1 + sv_1) + (q_2 + tv_2)}{2}$$

[0095] 其中:

$$s = \frac{(v_1 \cdot v_2)(qd \cdot v_2) - (v_2 \cdot v_2)(qd \cdot v_1)}{(v_1 \cdot v_1)(v_2 \cdot v_2) - (v_1 \cdot v_2)(v_1 \cdot v_2)}$$

$$[0096] \quad t = \frac{-(v_1 \cdot v_2)(qd \cdot v_1) + (v_1 \cdot v_1)(qd \cdot v_2)}{(v_1 \cdot v_1)(v_2 \cdot v_2) - (v_1 \cdot v_2)(v_1 \cdot v_2)}$$

$$qd = q_1 - q_2, \quad ,$$

[0097] 所求交点坐标即为点云的坐标。生成点云图像。然后通过计算交点到投影面的距离求取深度图像的距离值Distance= $v_1 \cdot (intersection - q_1)$,从而生成深度图像。

[0098] S105:根据点云图像和深度图像对目标物体进行三维重建。

[0099] 分别用三色LED拍摄物体(保持物体相对位置不变),得到三色的bmp图像,如图9所示,示出了分别为R\G\B三色LED拍摄的图像。

[0100] 图9中,为相机平面采集图像,看成 v_2 ,点云的R\G\B分量分别从上图中提取,保存为颜色分量。再通过主成份分析计算出各个点云的法向,其中每个点的相邻点采用KTree的方法获得。然后通过添加光照进行渲染,得到三维彩色点云图像,如图10所示,示出了三维彩色点云图像。

[0101] 进一步地,点云配准如图11所示,为进行点云配准的示意图。

[0102] 曲面重建和纹理贴图,纹理映射技术的目标是把二维的纹理图像映射到三维物体表面,建立物体空间坐标(x,y,z)与纹理空间坐标(s,t)之间的对应关系是其关键点。为生成具有真实感的图形,利用纹理映射技术将复杂物体的图像粘贴到三维几何体的表面,置于场景中。需要对原始的点云空间的二维图像映射,然后对曲面重建中顶点求值,然后对曲面重建各顶点进行计算,然后通过插值求得三角面片的特征点对应的纹理空间坐标。再计算每个面片的法线方向,按照特征点和纹理点的对应关系进行贴图。

[0103] 根据本发明实施例的基于面阵结构光系统的三维重建方法,具有三维重建精度高

且效率高的优点。

[0104] 图13是根据本发明一个实施例的基于面阵结构光系统的三维重建系统的结构框图。如图13所示,根据本发明一个实施例的基于面阵结构光系统的三维重建系统200,包括:投影平面坐标获取模块210、相机平面坐标获取模块220、编码模块230、点云生成模块240和三维重建模块250。

[0105] 其中,投影平面坐标获取模块210用于根据所述投影仪的物理坐标和所述投影仪的标定参数得到所述投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标。相机平面坐标获取模块220用于根据所述相机的物理坐标和所述相机的标定参数得到所述相机在相机成像坐标系下的第一相机平面坐标,并将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。编码模块230用于求取采集图像的正向投影图和逆向投影图,并根据所述正向投影图和逆向投影图之间的差值图像对目标区域进行编码。点云生成模块240用于根据所述投影平面坐标和所述第二相机平面坐标得到所述目标区域的点云图像,并根据所述点云图像生成深度图像。三维重建模块250用于根据所述点云图像和所述深度图像对目标物体进行三维重建。

[0106] 在本发明的一个实施例中,投影平面坐标获取模块210用于:根据所述投影仪的标定参数对所述投影仪的物理坐标进行校正,其中,所述投影仪的物理坐标为二维坐标;对校正后的所述投影仪的物理坐标进行归一化,并转换为三维坐标,以得到所述投影仪在投影坐标系下的投影平面坐标,其中,所述三维坐标的Z向坐标为1。

[0107] 在本发明的一个实施例中,相机平面坐标获取模块220用于:根据世界坐标和所述投影坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的第一坐标方程;根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系,建立所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述相机成像坐标系下的第二坐标方程;根据所述第一坐标方程和所述第二坐标方程得到所述相机成像坐标系下的坐标原点在所述投影坐标系下的坐标值;根据所述相机的标定参数对所述相机的物理坐标进行校正,其中,所述相机的物理坐标为二维坐标;对校正后的所述相机的物理坐标进行归一化,并转换为三维坐标,以得到所述相机在相机投影坐标系下的第一相机平面坐标,其中,所述三维坐标的Z向坐标为1;将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

[0108] 进一步地,相机平面坐标获取模块220用于:根据世界坐标和所述投影坐标系的关系,建立所述第一相机平面坐标在所述投影坐标系下的第三坐标方程;根据世界坐标和所述相机成像坐标系的关系,建立所述第一相机平面坐标在所述相机成像坐标系下的第四坐标方程;根据所述第三坐标方程和所述第四坐标方程将所述第一相机平面坐标转换至所述投影坐标系,得到所述相机在投影坐标系下的第二相机平面坐标。

[0109] 在本发明的一个实施例中,编码模块230用于:根据采集图像的分辨率生成二进制条纹图;根据采集的全亮图像和正向投影得到逆向投影;根据所述正向投影图和逆向投影图之间的差值确定所述目标区域;根据格雷码对所述目标区域进行编码。

[0110] 在本发明的一个实施例中,点云生成模块240用于:根据所述投影平面坐标、第一相机平面坐标、所述投影坐标系下的坐标原点以及所述相机成像坐标系下的坐标原点得到交点坐标;根据所述交点坐标生成所述目标区域的点云图像;计算所述交点坐标到投影平面的距离,以生成所述深度图像。

[0111] 根据本发明实施例的基于面阵结构光系统的三维重建系统,具有三维重建精度高且效率高的优点。

[0112] 需要说明的是,本发明实施例的基于面阵结构光系统的三维重建系统的具体实现方式与本发明实施例的基于面阵结构光系统的三维重建方法的具体实现方式类似,具体请参见方法部分的描述,为了减少冗余,此处不做赘述。

[0113] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不是必须针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0114] 尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例,可以理解的是,上述实施例是示例性的,不能理解为对本发明的限制,本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

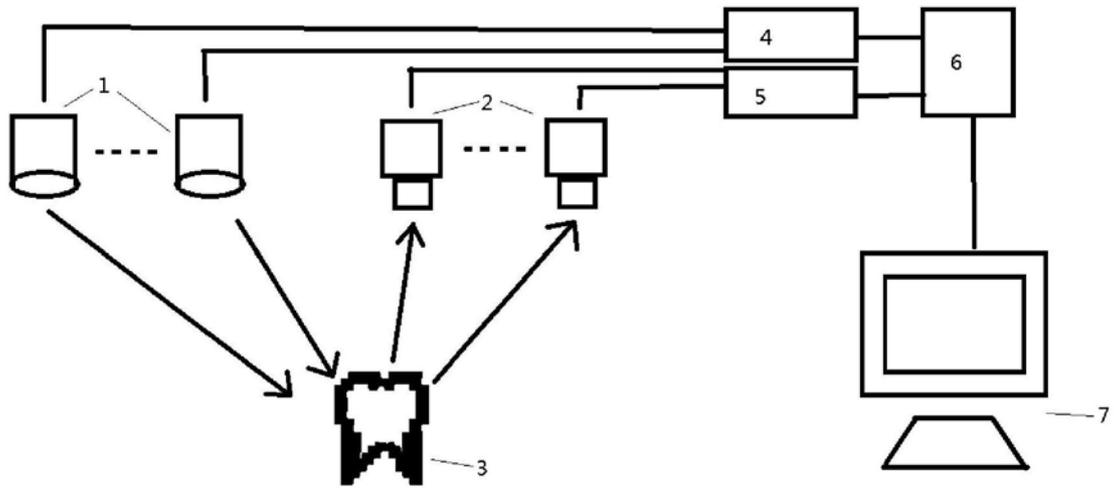


图1

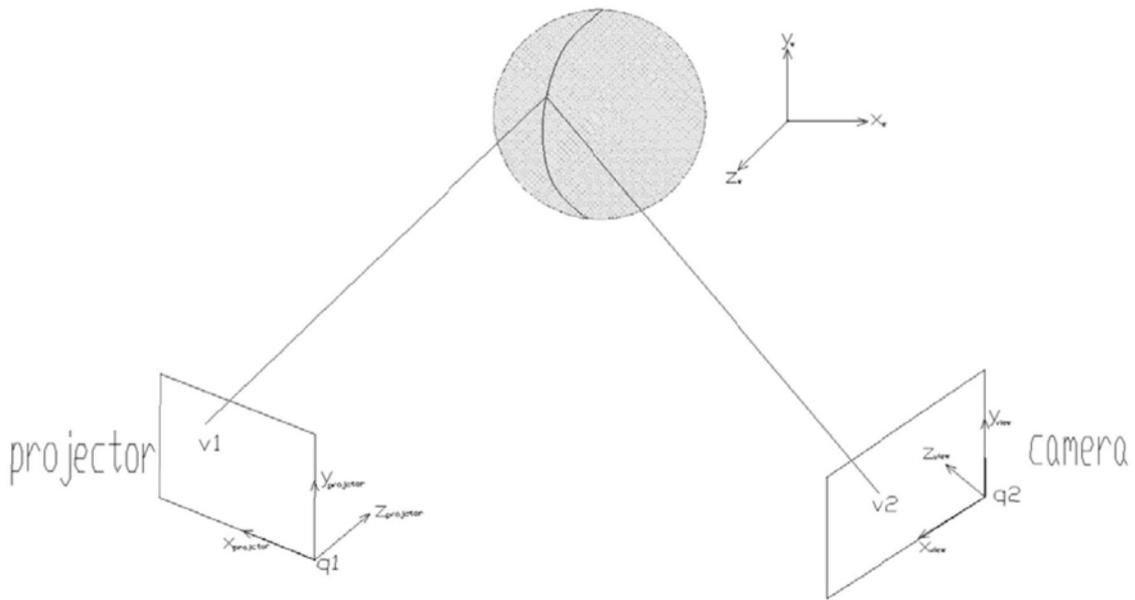


图2

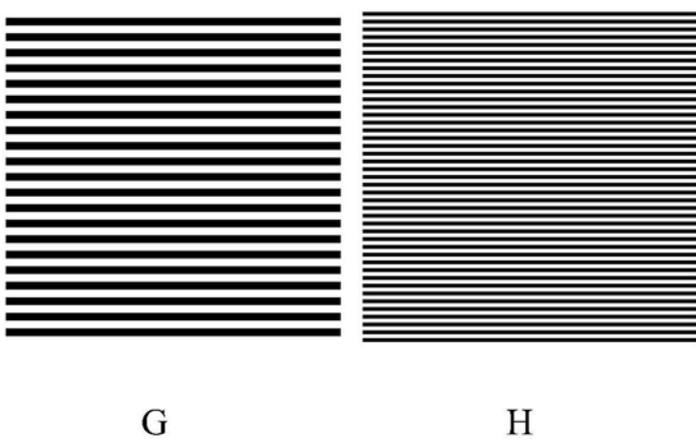
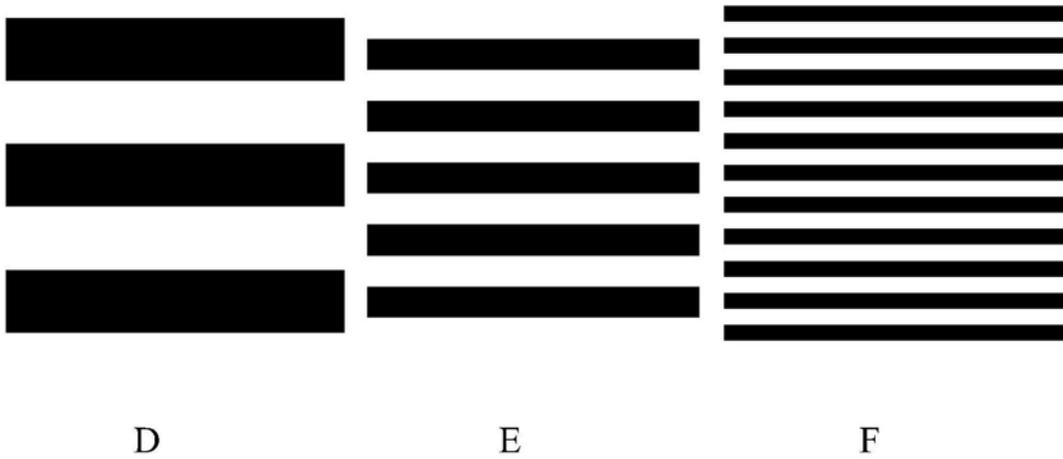
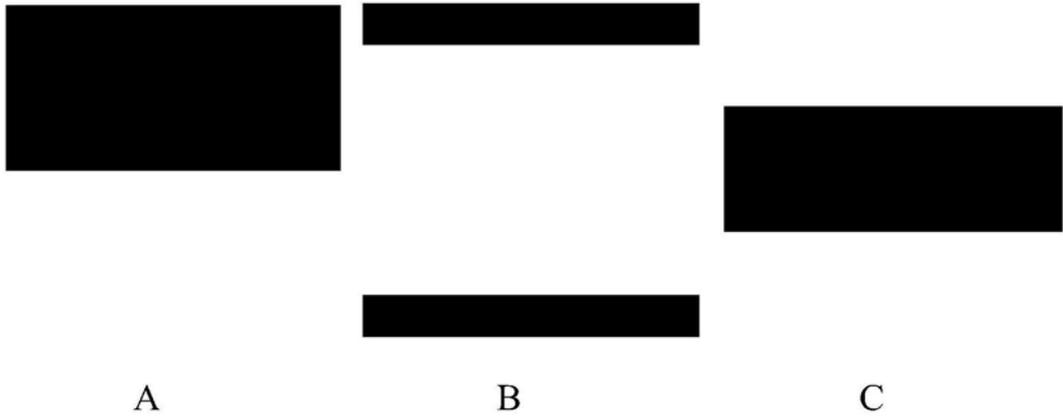


图3

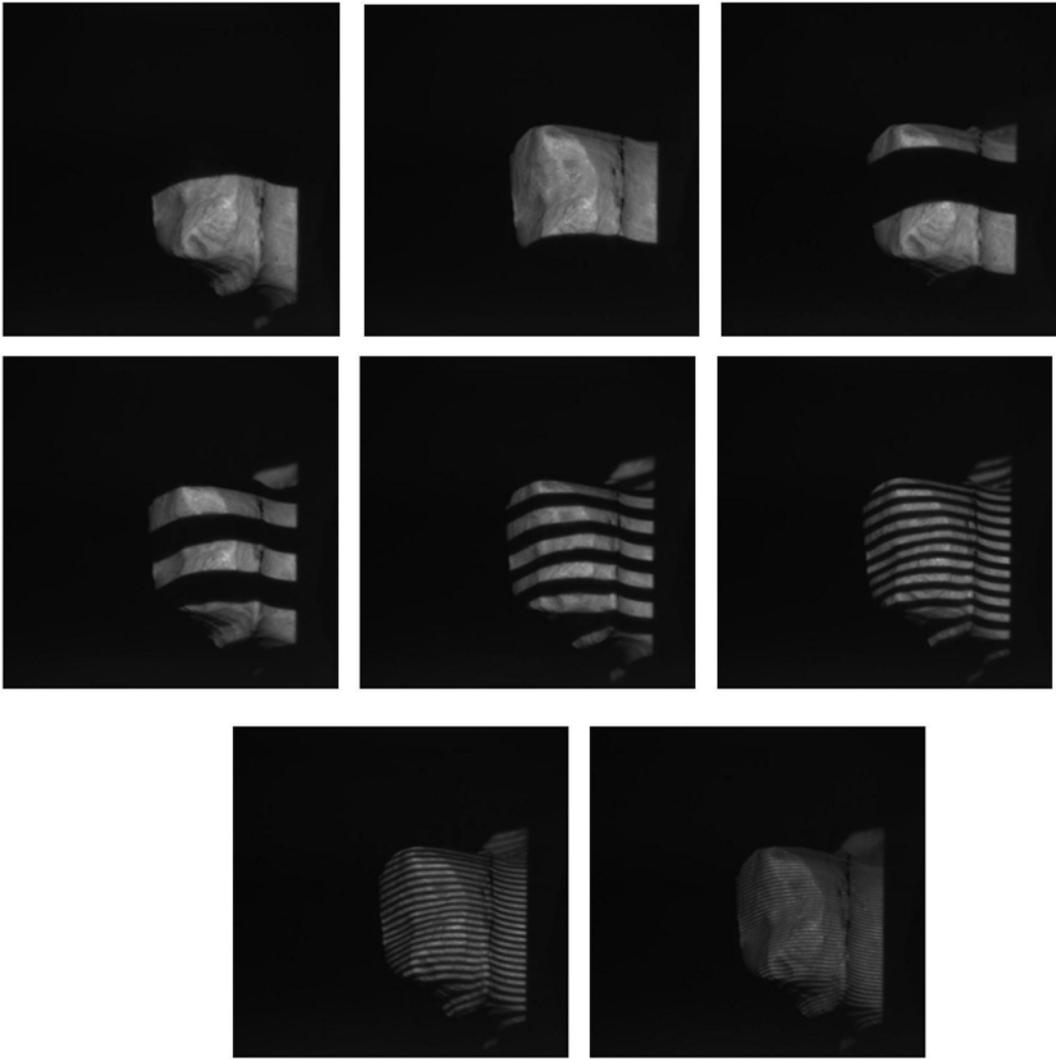


图4

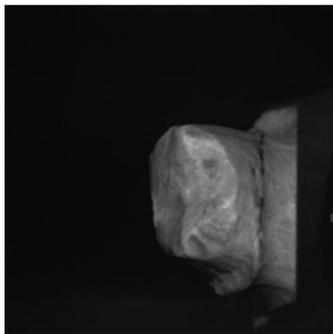


图5

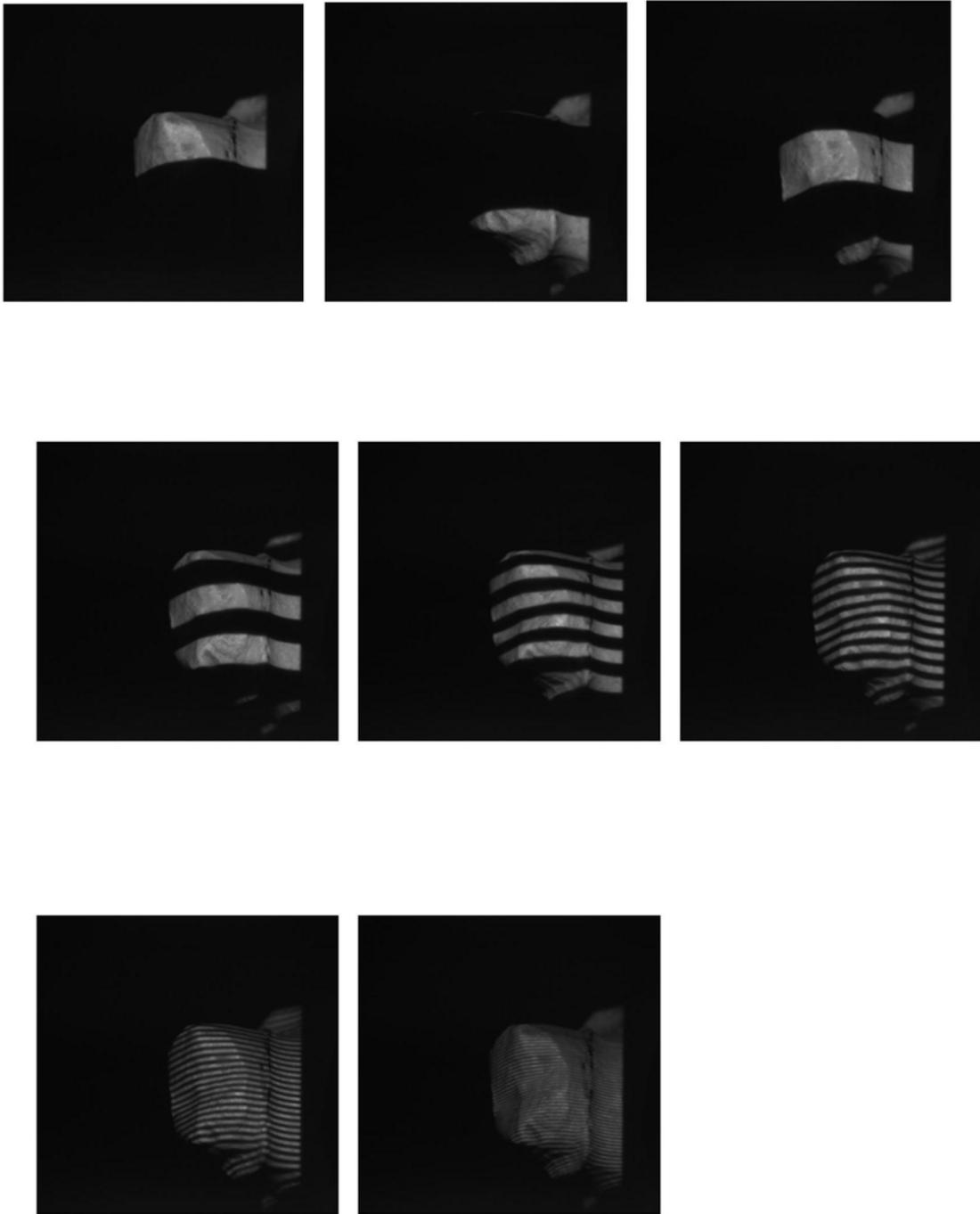


图6

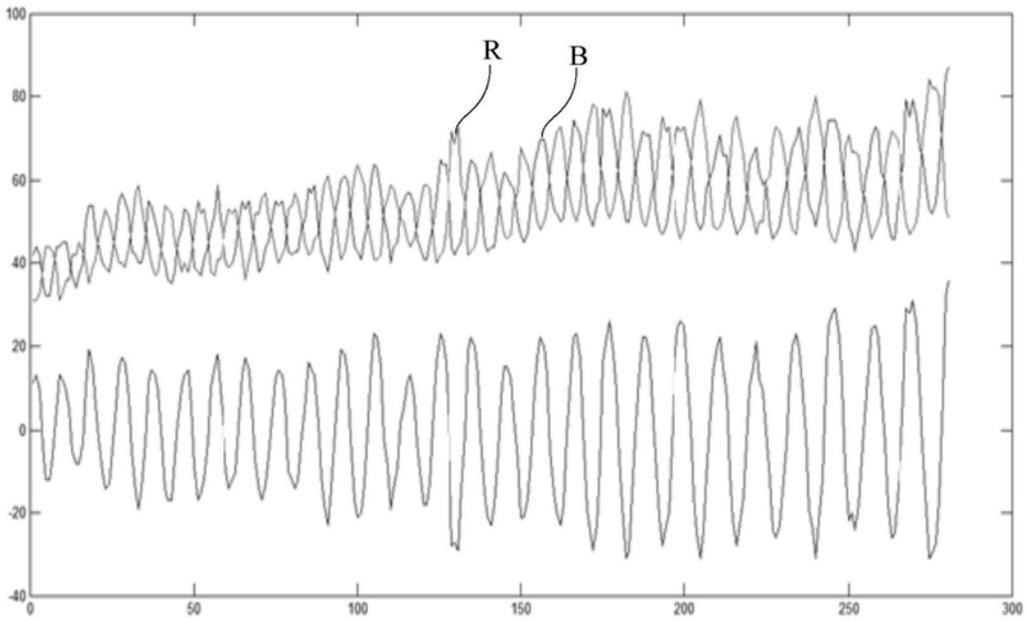


图7



图8

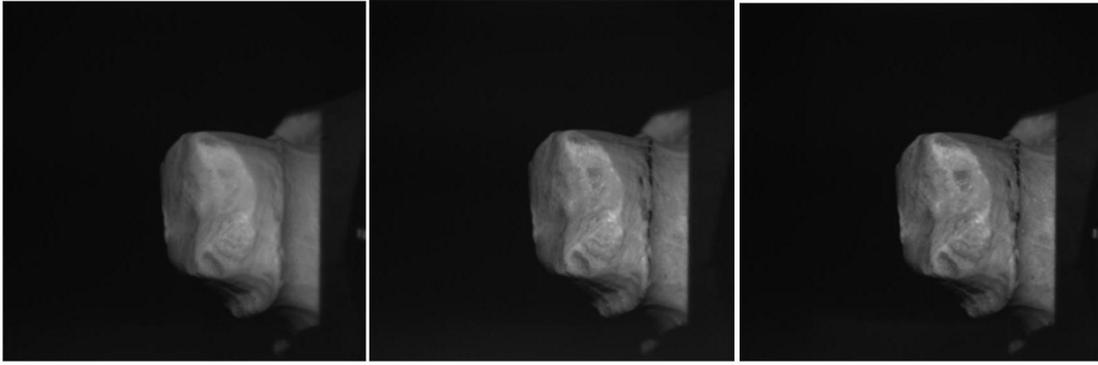


图9

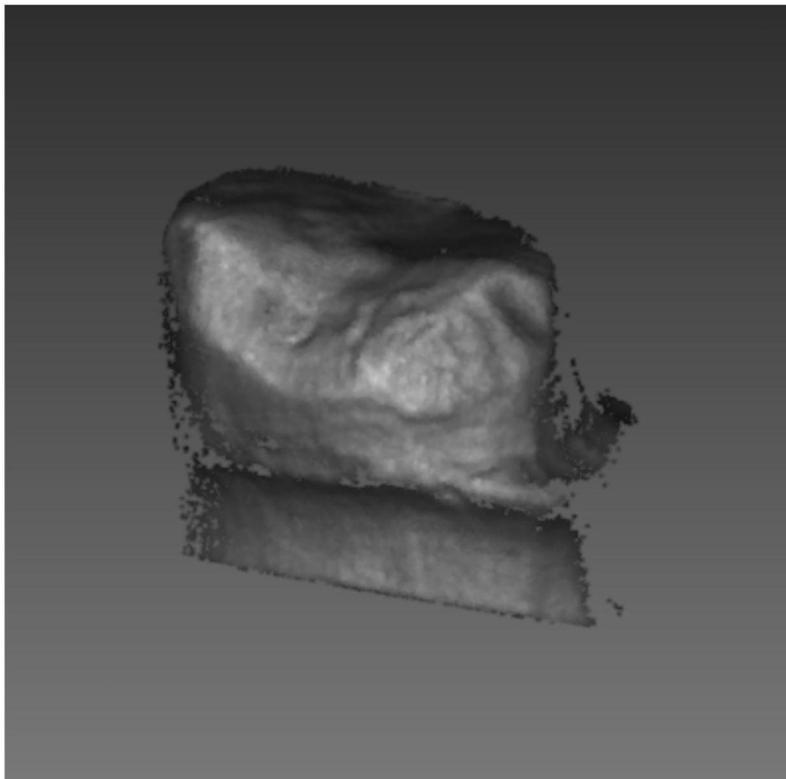


图10

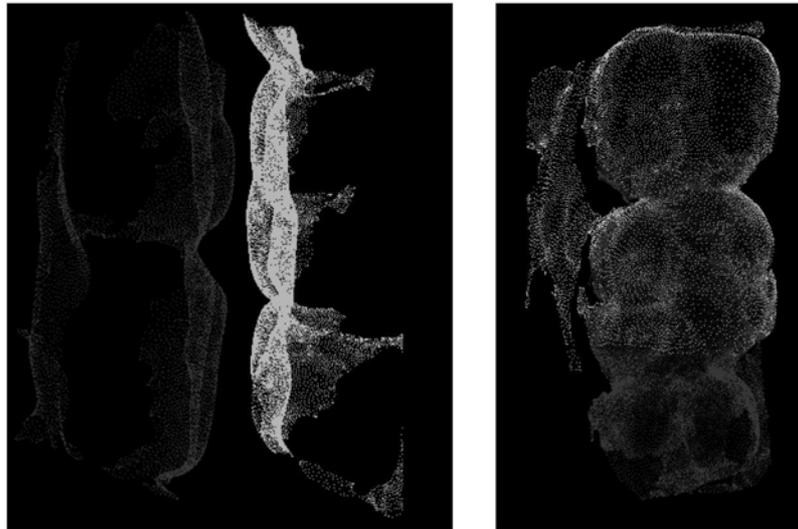


图11

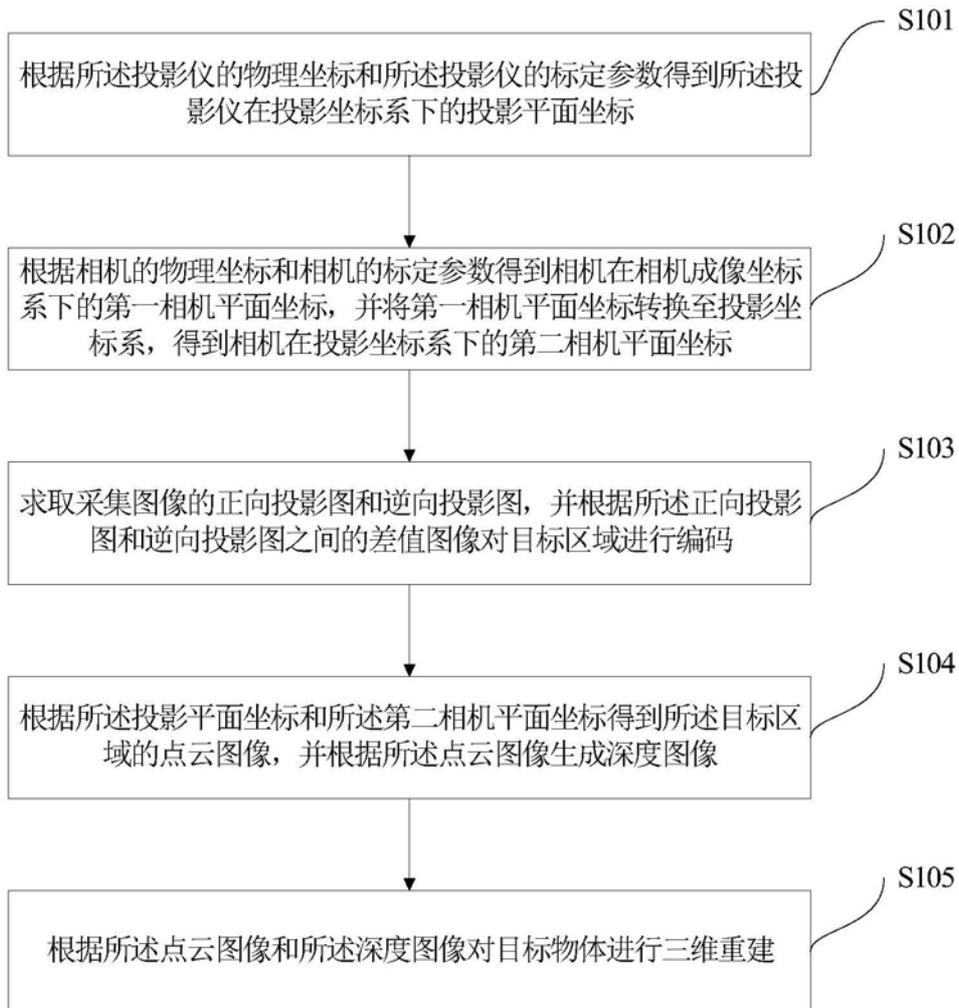


图12

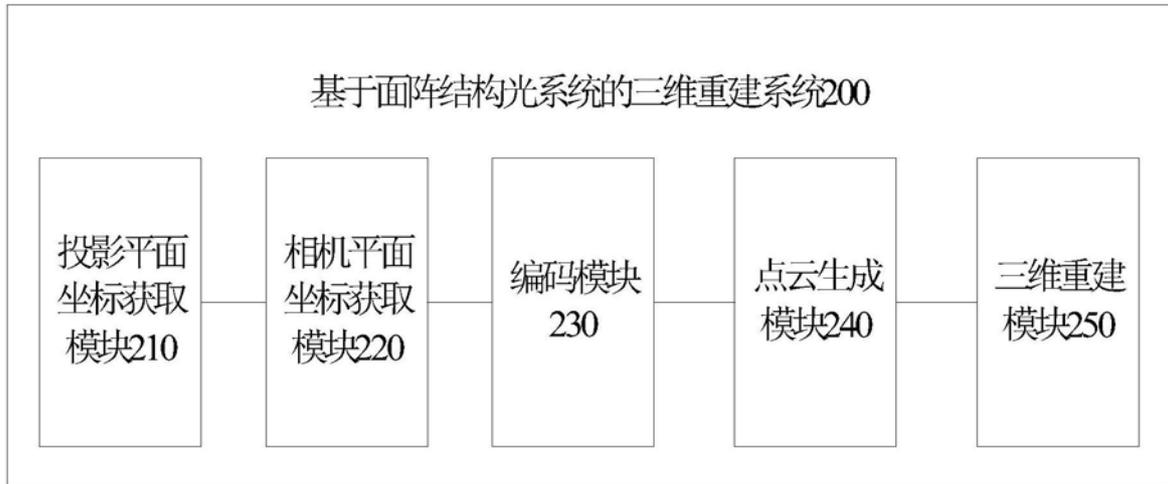


图13