



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113406874 A

(43) 申请公布日 2021.09.17

(21) 申请号 202110678904.X

(22) 申请日 2021.06.18

(71) 申请人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72) 发明人 国中元 缪佳奇 黄隆钤 戴子博 王彦哲 陈星

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务有限公司 33200

代理人 林超

(51) Int. Cl.

G03H 1/22 (2006.01)

G03H 1/00 (2006.01)

G03H 1/08 (2006.01)

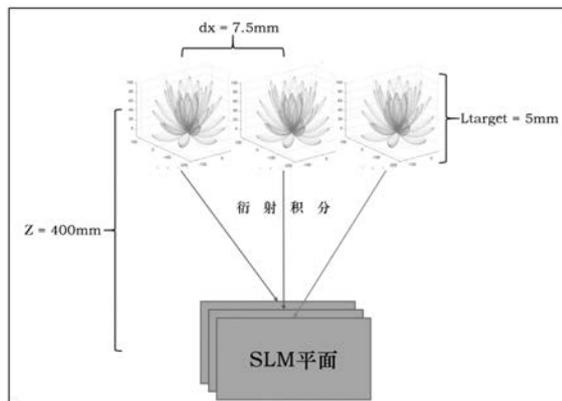
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示系统和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示系统和方法。建模制作3D彩色点云模型,分为RGB三通道子模型;进行去遮挡和降采样处理,缩放坐标尺度,控制模型分布和间隔;计算每个点到SLM平面的衍射积分并叠加获得相息图;调节三个配平行光管激光器的光亮度到最低合适,三束不同颜色的光经偏振片后入射楔形分束镜,经楔形分束镜汇合束后再经过偏振片入射加载了相息图的空间光调制器,反射后透过透镜组入射到人眼成像裸眼3D显示。本发明利用单个空间光调制器实现彩色立体点云宽视角高清晰度的裸眼3D显示系统,解决了单空间光调制器彩色成像无关像混叠和裸眼观察效果差的问题,为彩色立体裸眼显示设备的小型化提供了一种有效途径。



1. 一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示系统,其特征在于:

包括空间光调制器(10)、配平行光管激光器(1、2、3)、偏振片(4、5、6、9)、楔形分束镜(7、8)和透镜组(11);三个配平行光管激光器(1、2、3)发出不同颜色的光束分别经各自的偏振片(4、5、6)后入射到楔形分束镜(7、8),经楔形分束镜(7、8)汇聚合束后再经过一个偏振片(9)入射到空间光调制器(10),经空间光调制器(10)反射后透过透镜组(11)入射到人眼成像。

2. 根据权利要求1所述的一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示系统,其特征在于:三个配平行光管激光器(1、2、3)分别为绿光配平行光管激光器(1)、红色配平行光管激光器(2)和蓝光配平行光管激光器(3);绿光配平行光管激光器(1)发出绿色光束经第一偏振片(4)后入射到第一楔形分束镜(7)发生透射,红色配平行光管激光器(2)发出红色光束经第二偏振片(5)后入射到第一楔形分束镜(7)发生反射,蓝光配平行光管激光器(3)发出蓝色光束经第三偏振片(6)后入射到第二楔形分束镜(8)发生反射;绿色光束经第一楔形分束镜(7)的透射光和红色光束经第一楔形分束镜(7)的反射光共同入射到第二楔形分束镜(8)发生透射,再与蓝色光束经第二楔形分束镜(8)的反射光,共同经第四偏振片(9)入射到空间光调制器(10)。

3. 根据权利要求1所述的一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示系统,其特征在于:所述的空间光调制器(20)为反射型,调制模式为相位调制。

4. 根据权利要求1所述的一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示系统,其特征在于:所述的透镜组(11)是由多个透镜同轴布置构成。

5. 应用于权利要求1-4任一所述显示系统的一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示方法,其特征在于:方法包括:

1) 第一步:

通过建模制作待成像物体的3D彩色点云模型,分为RGB三个通道的三个子模型;对三个子模型均进行去遮挡和降采样处理,缩放三个子模型的坐标尺度,并控制红色通道R的子模型和蓝色通道B的子模型分别位于绿色通道G的子模型的两侧,且三个子模型沿水平方向错开固定的间隔;

三个子模型各自发出沿水平面的光束照射到SLM平面上,计算3D彩色点云模型中的每个点到SLM平面上像素的衍射积分,利用衍射积分获得相息图;

2) 第二步:

按照所述全息三维显示装置布置光路,调节三个配平行光管激光器(1、2、3)各自前端的偏振片使经过偏振片的光束亮度降到最低合适,在空间光调制器(10)加载相息图,调节分束镜(7、8)角度使目标RGB通道分量叠加,透过透镜组(11)裸眼观察看到彩色3D成像。

6. 根据权利要求5所述的一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼3D显示方法,其特征在于:所述步骤1)中,去遮挡,具体为:栅格化子模型的XY平面,保留同一栅格内距离SLM平面最近的点,剩余的点为冗余点进行去除。

7. 根据权利要求5所述的一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示方法,其特征在于:所述步骤1)中,缩放三个子模型的坐标尺度,是针对三个尺寸相同的三个子模型均进行以下处理:

在子模型外建立一个最小包围盒,最小包围盒为正方体,将正方体的边长尺寸

Ltarget, 缩放至小于像面尺寸L的三分之一, 像面尺寸L计算为:

$$L = \lambda z / \text{pix}$$

其中, λ 表示蓝光光束的波长, z 表示绿色通道G的子模型沿光轴到SLM平面的距离, pix 表示空间光调制器中的单个像素边长。

8. 根据权利要求5所述的一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示方法, 其特征在于: 三个子模型沿水平方向错开固定的间隔, 具体是: 红色通道R的子模型和绿色通道G的子模型各自分别到SLM平面中心的连线之间的夹角以及蓝色通道B的子模型和绿色通道G的子模型分别到SLM平面中心的连线之间的夹角均为 $\arcsin(dx/z)$ 。

9. 根据权利要求5所述的一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示方法, 其特征在于: 计算3D彩色点云模型对SLM平面上每个像素的衍射积分, 利用衍射积分获得相息图, 具体是: 将三个子模型的各个点的光衍射到SLM平面的同一个像素的复振幅相加, SLM平面的各个像素处相加后结果提取相位后组成获得相息图。

10. 根据权利要求4所述的一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示方法, 其特征在于: 所述的步骤2) 中, 调节三个配平行光管激光器(1、2、3)各自前端的偏振片使经过偏振片的光束亮度降到最低, 具体为: 首先利用三个配平行光管激光器(1、2、3)各自前的偏振片调节三个配平行光管激光器(1、2、3)发出光束透过偏振片后的光亮度达到最低, 然后再微调三个配平行光管激光器(1、2、3)各自前的偏振片, 使得从第二楔形分束镜(8)出射的光束的颜色为原有待成像物体的颜色匹配一致, RGB颜色正常。

单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及全息显示技术领域的一种3D显示系统和方法,更具体涉及一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼3D显示系统和方法。

背景技术

[0002] 彩色裸眼3D显示物深度感的立体视觉信息。能够完整记录和重建三维物体的波前,提供人眼视觉系统所需的全部深度信息,更真实地重现客观世界相同的场景,彩色、大视场角的三维显示裸眼3D显示技术是目前研究热点之一。彩色裸眼3D显示技术大致分为两大类:一类三个SLM:RGB三色光分别照明三片SLM在重构平面进行3D像视场重建,该方案需要复杂的光路设计以保证 RGB三个通道的再现像精确地合在一起,系统成本太高并大大增加了整体的体积;另一类用单一SLM重建3D像视场。目前基于单片空间光调制器的彩色显示方法主要有时分复用方法、空间划分方法、空间叠加方法三种。

[0003] 时分复用方法:通过周期性地点亮红绿蓝三色光来照明单片SLM,同时在SLM上周期性显示RGB (Red, Green, Blue) 三通道的相息图,来实现彩色投影。时分复用对系统同步性的要求很高,该方案要求空间光调制器有较高的帧频速率,当速率达到一定程度后,人眼通过积分效应感觉到一个时间合成的彩色图像。在该方案原理中,对于一种颜色分量来说,其在时间轴上是有能量损失的,故其成像效果会受到一定的影响。该方法需要精确地控制RGB光源的工作时间与加载对应RGB颜色分量全息图的同步性,这对加载全息图的硬件在响应速度上有较高的要求。

[0004] 空间划分方法:将单片SLM平面划分三块区域,分别加载RGB三通道的相息图,三色光分别照明三块区域,需要光束整形系统来确保照明光波前和划分的区域匹配,提升了复杂度,且单片调制器件的利用率不高。

[0005] 空间叠加方法:将RGB三通道的图像编码在同一幅相息图中,像素利用率高,也不需要分时系统,是单片SLM彩色投影中结构较简单的一种。但当 RGB三色光之一单独照射时,除复原自己颜色通道的像之外,还会再现其他颜色通道的像,这些像会在像面重叠,产生较严重的噪声和无关像问题,故需要在不阻挡有效信号的同时,对无关信号加小孔滤波消除。空间叠加方法光路和系统比其他方法简单,为彩色立体裸眼显示设备的小型化提供具有较大的潜在优势。目前基于该方法在空间叠加法中降低像面噪声和消除无关像的研究不多,该方法目前并没有发挥出其应有的优势。

发明内容

[0006] 为了解决背景技术中存在的问题,本发明要解决的技术问题就是提供一种调节复杂度低、可裸眼观察的彩色立体点云的单空间光调制器裸眼显示系统和方法,改善视角小和制作相息图计算量大、速度慢的问题。

[0007] 本发明采用的技术方案是:

[0008] 一、一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼显示系统,即单空间光调制器实

现彩色立体点云裸眼3D显示系统：

[0009] 包括空间光调制器、配平行光管激光器、偏振片、楔形分束镜和透镜组；三个配平行光管激光器发出不同颜色的光束分别经各自的偏振片后入射到楔形分束镜，经楔形分束镜汇聚合束后再经过一个偏振片入射到空间光调制器，经空间光调制器反射后透过透镜组入射到人眼成像。

[0010] 三个配平行光管激光器分别为绿光配平行光管激光器、红色配平行光管激光器和蓝光配平行光管激光器；具体实施中，三个配平行光管激光器分别为配平行光管波长520nm（绿色）固体激光器、配平行光管波长635nm（红色）半导体激光器和配平行光管波长450nm（蓝色）半导体激光器。

[0011] 绿光配平行光管激光器发出绿色光束经第一偏振片后入射到第一楔形分束镜发生透射，红色配平行光管激光器发出红色光束经第二偏振片后入射到第一楔形分束镜发生反射，蓝光配平行光管激光器发出蓝色光束经第三偏振片后入射到第二楔形分束镜发生反射；绿色光束经第一楔形分束镜的透射光和红色光束经第一楔形分束镜的反射光共同入射到第二楔形分束镜发生透射，再与蓝色光束经第二楔形分束镜的反射光，共同经第四偏振片入射到空间光调制器。

[0012] 所述的空间光调制器为反射型，调制模式为相位调制。

[0013] 所述的透镜组是由多个透镜同轴布置构成。

[0014] 二、一种单空间光调制器实现彩色立体点云裸眼3D显示方法，方法包括：

[0015] 1) 第一步：

[0016] 制作待成像物体的3D彩色点云模型，分为RGB三个通道的三个子模型；对三个子模型均进行去遮挡和降采样处理，缩放三个子模型的坐标尺度，如图1所示，并控制红色通道R的子模型和蓝色通道B的子模型分别位于绿色通道G的子模型的两侧，且三个子模型沿水平方向错开固定的间隔；使得3D彩色点云模型的RGB通道的三个子模型保持固定的间隔，使得三个子模型相互之间是完全间隔分离的。

[0017] 如图1所示，三个子模型各自发出沿水平面的光束照射到代表空间光调制器的SLM平面上，计算3D彩色点云模型中的每个点到代表空间光调制器的SLM平面上像素的衍射积分，利用衍射积分获得相息图；

[0018] 所述的SLM平面为空间光调制器的液晶平面。

[0019] 具体实施中，将三个子模型生产坐标格式为XYZRGB的点序列。

[0020] 2) 第二步：

[0021] 按照所述全息三维显示装置布置光路，调节三个配平行光管激光器各自前端的偏振片使经过偏振片的光束亮度降到最低合适，在空间光调制器加载相息图，调节分束镜角度使目标RGB通道分量叠加，透过透镜组裸眼观察看到一定纵深的彩色3D成像。

[0022] 目标RGB通道分量具体为，空间光调制器衍射得到的9个像，单SLM空间叠加法彩色成像中，其中3个像大小相等、颜色分别为红绿蓝、在同一位置清晰，叠加后可得到完整彩色成像；这3个像称为目标RGB通道分量。

[0023] 所述步骤1)中，去遮挡，即模拟现实中观察到的不透明物体，仅保留人眼在图3的‘观察位置’看到的3D彩色点云模型的正面，去除被遮挡的背面点云；具体为：栅格化子模型的XY平面，子模型的XY平面为垂直于发出光束所在光轴的平面，保留同一栅格内距离SLM平

面最近的点,剩余的点为冗余点进行去除,以达到去除有遮挡关系的冗余点的效果。

[0024] 所述步骤1)中,降采样为降低点云密度,使后续计算更快捷。

[0025] 所述步骤1)中,缩放三个子模型的坐标尺度,是缩放点云,是针对三个尺寸相同的三个子模型均进行以下处理:

[0026] 在子模型外建立一个最小包围盒,最小包围盒为正方体,将正方体的边长尺寸 L_{target} ,缩放至小于像面尺寸 L 的三分之一,像面尺寸 L 计算为:

[0027] $L = \lambda z / \text{pix}$

[0028] 其中, λ 表示蓝光光束的波长, z 表示绿色通道 G 的子模型沿光轴到 SLM 平面的距离, pix 表示空间光调制器中的单个像素边长。

[0029] 三个子模型沿水平方向错开固定的间隔,具体是:红色通道 R 的子模型和绿色通道 G 的子模型各自分别到 SLM 平面中心的连线之间的夹角以及蓝色通道 B 的子模型和绿色通道 G 的子模型分别到 SLM 平面中心的连线之间的夹角均为 $\arcsin(dx/z)$,使复现时目标 RGB 通道分量准确叠加,防止无关像混叠,因此复现时不需要小孔滤波。

[0030] 子模型到 SLM 平面中心的连线,具体为取子模型的点云中所有点坐标的平均坐标到 SLM 平面中心的连线。

[0031] 这样将 RGB 三个通道分量分离并在成像平面保持一定间隔 dx ,所述的成像平面为三个子模型所在的垂直于光轴的平面。

[0032] 计算 3D 彩色点云模型对 SLM 平面上每个像素的衍射积分,利用衍射积分获得相息图,具体是:将三个子模型的各个点的光衍射到 SLM 平面的同一个像素的复振幅相加,所述的衍射积分具体为复振幅,SLM 平面的各个像素处相加后结果各自提取相位后组成获得相息图。

[0033] 后续通过按照相息图进行调制使得成像来自同一 SLM 平面,即保证裸眼观察视角相同,减少元件降低调节难度。采用 CUDA 编程的 GPU 加速运算将运算速度提升 10 倍,平均每个点 4ms。

[0034] 所述的步骤 2) 中,调节三个配平行光管激光器各自前端的偏振片使经过偏振片的光束亮度降到最低,具体为:

[0035] 首先利用三个配平行光管激光器各自前的偏振片调节三个配平行光管激光器发出光束透过偏振片后的光亮度达到最低以防止损伤眼睛,然后再微调三个配平行光管激光器各自前的偏振片,使得从第二楔形分束镜出射的光束的颜色为原有待成像物体的颜色匹配一致,RGB 颜色正常。

[0036] 透镜组将构造好的物体和全息图投影到计算相息图时所设定的空间位置。

[0037] 如图 3 所示,空间光调制器和透镜组之间形成透镜虚像和全息实像,透镜虚像靠近空间光调制器,全息实像靠近透镜组。

[0038] 人眼从透镜组透过观察看到透镜虚像,人眼观察到的透镜虚像大小:

[0039]
$$S_v = L_{target} \times \frac{-v}{u}$$

[0040] 其中, S_v 表示透镜虚像, v 表透镜虚像到透镜组中心的光程, u 表示全息实像到透镜组中心的光程。透镜组的作用为放大全息实像、增大观察视角。

[0041] 并且在全息实像的成像位置处放置平板,在和空间光调制器同一侧处人眼观察看

到全息实像,全息实像具有实像部分和虚像部分,由空间光调制器发出光束照射到平板经漫反射形成。

[0042] 本发明采用去遮挡和降采样处理,剔除在人眼观察位置的视角下模型背面被遮挡的部分,与现实中观察到的不透明物体相符合,使成像更真实,降低了计算量。解决了单空间光调制器彩色成像的空间叠加算法需要小孔、调节复杂,成像有衍射圆斑、裸眼观察效果差的问题。本发明采用的算法直接对RGB子模型点云坐标进行缩放与偏移,保证了单色光源经SLM衍射得到的3个同颜色的像不重叠,又通过光源角度调节使目标RGB通道分量在观察位置重叠,保证了RGB通道分量的裸眼观察视角相同。本发明采用的算法减少了所用元件个数,大幅度降低光路调节难度,提高了裸眼观察效果。是一种大视角全息头戴再现潜在的解决方案。

[0043] 本发明系统投射的是三维物体,相息图加载到空间光调制器,衍射出三维物体的立体实像;使用短焦大口径透镜组将衍射波集中在一个观察距离区域,透镜组将全息实像转换为透镜虚像进行观察,增大了三维像的可见视角。

[0044] 本发明通过建模制作彩色点云相息图,对点云进行去遮挡、降采样,提出新的彩色模型衍射积分空间叠加方法使RGB叠加成像不依赖小孔过滤,既能大幅度减少单SLM彩色成像调节的复杂度,佐以GPU加速相息图计算过程,又能裸眼观察到彩色立体点云模型。

[0045] 本发明实现动态全息三维显示的原理是:制作彩色点云模型并对点云进行去遮挡、降采样以及GPU加速的衍射积分数值运算得到相息图,采用新的空间叠加方法便捷地裸眼观察到彩色立体点云模型,按一定角度间隔多次旋转点云并重复制作相息图,得到相息图序列,在SLM快速切换该相息图序列即可实现动态显示。

[0046] 由于上述技术方案运用,本发明与现有技术相比具有下列优点:

[0047] 1) 本发明与现有技术相比,现有技术大多用不同距离两个面的清晰模糊来说明成像是立体的,本发明提出的技术方案采用彩色点云数据作为立体模型,点的深度各不相同,可看作无数个不同距离平面上点的集合,更细致且符合现实场景;

[0048] 2) 现有技术采用光屏或毛玻璃等粗糙平面散射高亮度的实像便于人眼观察,需要激光器功率较高才能有正常的观察亮度,大部分光能被散射浪费掉,且要保证成像环境没有杂光干扰;而本发明提供了光能利用率高、成像更细腻的裸眼观察,低功率的激光器也能满足要求,环境杂光对裸眼观察的影响很小;

[0049] 3) 本发明创新进行单色点云模型的着色、彩色点云的直接制作,并将一些现有技术如去遮挡、降采样整合,采用CUDA编程的GPU计算将衍射积分计算时间加速了9.1倍;

[0050] 4) 现有空间光调制器成像方法,叠加法制作的相息图常用双相位、球面相位和闪耀光栅使单色光源所成的三个像的球面汇聚点具有不同偏移量,再在光路中使用小孔滤除无关像,进而保留不同颜色一共九个像中的三个目标RGB分量;小孔容易过滤不干净,导致像面残留无关像噪声。而本发明采用针对点云坐标的缩放和偏移的预处理,保证了单色光源生成的三个同颜色的像不重叠;因而程序代码更简洁、所需元件更少、光路调节更简易。

[0051] 5) 现有空间光调制器成像方法,叠加法制作的相息图采用双相位、球面相位,裸眼观察会看到圆环状的衍射斑,严重影响成像效果;而本发明成像质量高,无上述缺陷。

附图说明

- [0052] 附图1为本发明所提出的制作3D彩色点云模型示意图；
- [0053] 附图2为本发明光路系统装置的示意图；
- [0054] 附图3是用于裸眼观察3D全息像时全息实像、透镜、透镜虚像、人眼位置的空间位置分布示意图；
- [0055] 附图4建模制作的莲花点云模型；
- [0056] 附图5为去除当前观察视角下背部被遮挡的部分，并且根据到视点的距离对每个点赋予颜色的彩色莲花点云图；
- [0057] 附图6为光屏上观察的彩色莲花成像图；
- [0058] 附图7为通过透镜组裸眼观察的彩色莲花图；
- [0059] 附图8为单SLM彩色成像使用传统空间叠加算法的成像示例，存在无关像混叠；
- [0060] 附图9为单SLM彩色成像使用传统空间叠加算法的成像示例，存在圆环状衍射斑；
- [0061] 图中：空间光调制器(10)、配平行光管激光器(1、2、3)、偏振片(4、5、6、9)、楔形分束镜(7、8)、透镜组(11)。

具体实施方式

- [0062] 下面结合附图和具体实施对本发明作进一步说明。
- [0063] 如图2所示，光路包括空间光调制器10、配平行光管激光器1、2、3、偏振片4、5、6、9、楔形分束镜7、8和透镜组11；三个配平行光管激光器1、2、3发出不同颜色的光束分别经各自的偏振片4、5、6后入射到楔形分束镜7、8，经楔形分束镜7、8汇合束后再经过一个偏振片9入射到空间光调制器10，经空间光调制器10反射后透过透镜组11入射到人眼成像。
- [0064] 三个配平行光管激光器1、2、3分别为R、G、B三个颜色的配平行光管激光器1、2、3，分别为绿光配平行光管激光器1、红色配平行光管激光器2和蓝光配平行光管激光器3；绿光配平行光管激光器1发出绿色光束经第一偏振片4后入射到第一楔形分束镜7发生透射，红色配平行光管激光器2发出红色光束经第二偏振片5后入射到第一楔形分束镜7发生反射，蓝光配平行光管激光器3发出蓝色光束经第三偏振片6后入射到第二楔形分束镜8发生反射；绿色光束经第一楔形分束镜7的透射光和红色光束经第一楔形分束镜7的反射光共同入射到第二楔形分束镜8发生透射，再与蓝色光束经第二楔形分束镜8的反射光，共同经第四偏振片9入射到空间光调制器10。
- [0065] 具体实施中，绿光配平行光管激光器1、第一偏振片4、第一楔形分束镜7、第二楔形分束镜8、第四偏振片9、空间光调制器10均沿同一直线的主光轴布置。
- [0066] 红光配平行光管激光器2和第二偏振片5所在的光轴与主光轴呈一定偏角布置，蓝光配平行光管激光器3和第三偏振片6所在的光轴与主光轴呈一定偏角，绿色光束、红色光束、蓝色光束的RGB三束平行光在空间光调制器10处汇合。
- [0067] 绿色光束到第一楔形分束镜7发生透射处和红色光束到第一楔形分束镜7发生反射处在第一楔形分束镜7上并不重合，绿色光束到第二楔形分束镜8发生透射处、红色光束到第二楔形分束镜8发生透射处和蓝色光束到第二楔形分束镜8发生反射处在第二楔形分束镜8上并不重合。
- [0068] 空间光调制器20为反射型，调制模式为相位调制。

[0069] 透镜组11为短焦大口径透镜组,是由多个透镜同轴布置构成,以实现增大视角,增强显示效果。短焦是指10mm以内。大口径是指透镜的直径大于30mm。

[0070] 三个配平行光管激光器1、2、3均为一体化半导体激光器,作为光源。

[0071] 本发明的实施例及其实施过程如下:

[0072] 1) 第一步:

[0073] 通过建模制作待成像物体的3D彩色点云模型,如图4所示,原始点云为莲花,是莲花模型360°扫描,具有81000个点的xyz坐标。

[0074] 1.1) 将莲花的3D彩色点云模型分为RGB三个通道的三个子模型;

[0075] 点云着色方面,采用额外的三个坐标RGB来表示每个点的颜色分量。白色莲花即所有点RGB比例为1:1:1。或者可以根据到视点的距离为每个点赋值不同颜色。

[0076] 1.2) 对三个子模型均依次进行去遮挡和降采样处理,以垂直XY平面的方向作为视线方向,模拟真实场景的遮挡关系。

[0077] 去遮挡,即模拟现实中观察到的不透明物体,仅保留人眼在图3的‘观察位置’看到的3D彩色点云模型的正面,去除被遮挡的背面点云;具体为:栅格化子模型的XY平面,子模型的XY平面为垂直于发出光束所在光轴的平面,保留同一栅格内距离SLM平面最近的点,剩余的点为冗余点进行去除,以达到去除有遮挡关系的冗余点的效果。保留同一栅格内离观察者更近的点,以达到去除有遮挡关系的冗余点的效果;自定义栅格大小,每个栅格仅保留一个点以达到降采样的目的。结果如图5所示。

[0078] 降采样为降低点云密度,使后续计算更快捷。

[0079] 1.3) 然后缩放三个子模型的坐标尺度,是缩放点云,是针对三个尺寸相同的三个子模型均进行以下处理:在子模型外建立一个最小包围盒,最小包围盒为正方体,将正方体的边长尺寸 L_{target} ,缩放至小于像面尺寸 L 的三分之一,像面尺寸 L 计算为:

$$[0080] \quad L = \lambda z / \text{pix}$$

[0081] 其中, λ 表示蓝光光束的波长, z 表示绿色通道G的子模型沿光轴到SLM平面的距离, pix 表示空间光调制器中的单个像素边长。

[0082] 1.4) 如图1所示,控制红色通道R的子模型和蓝色通道B的子模型分别位于绿色通道G的子模型的两侧,且三个子模型沿水平方向错开固定的间隔;使得3D彩色点云模型的RGB通道的三个子模型保持固定的间隔,使得三个子模型相互之间是完全间隔分离的。

[0083] 三个子模型沿水平方向错开固定的间隔,具体是:红色通道R的子模型和绿色通道G的子模型各自分别到SLM平面中心的连线之间的夹角以及蓝色通道B的子模型和绿色通道G的子模型分别到SLM平面中心的连线之间的夹角均为 $\arcsin(dx/z)$,使复现时目标RGB分量准确叠加,防止无关像混叠,因此复现时不需要小孔滤波。

[0084] 成像距离 $z = 400\text{mm}$,计算得到 $L = 22.5\text{mm}$,目标像面大小应该小于 $22.5/3 = 7.5\text{mm}$,令目标像面大小 $L_{target} = 5\text{mm}$,RGB点云在空间所处位置保持一定间隔 $dx = 7.5\text{mm}$ 。

[0085] 子模型到SLM平面中心的连线,具体为取子模型的点云中所有点坐标的平均坐标到SLM平面中心的连线。

[0086] 这样将RGB三个通道分量分离并在成像平面保持一定间隔 dx ,成像平面为三个子模型所在的垂直于光轴的平面。

[0087] 具体实施中,将三个子模型生产坐标格式为XYZRGB的点序列。如下表:

[0088] 表1 XYZRGB点云序列片段

[0089]	1.00	177.00	201.90	0.11	1.00	0.89
	2.00	176.00	205.53	0.14	1.00	0.86
	3.00	171.00	202.31	0.11	1.00	0.89
	3.00	172.00	204.16	0.13	1.00	0.88
[0090]	3.00	173.00	205.87	0.14	1.00	0.86
	3.00	174.00	206.96	0.16	1.00	0.84
	3.00	176.00	198.89	0.08	1.00	0.92
	4.00	170.00	203.63	0.13	1.00	0.88

[0091] 1.5) 如图1所示,三个子模型各自发出沿水平面的光束照射到代表空间光调制器10的SLM平面上,计算3D彩色点云模型对代表空间光调制器10的SLM平面每个像素的衍射积分,利用衍射积分获得相息图。

[0092] 具体是:将三个子模型的各个点的光衍射到SLM平面的同一个像素的复振幅相加,衍射积分具体为复振幅,SLM平面的各个像素处相加后结果各自提取相位后组成相息图。

[0093] 该相息图运算过程可以采用CUDA编程的GPU加速运算,具体为,在matlab中把普通矩阵类型转换为gpuArray,即调用matlab内置的CUDA加速,加速后每个点的衍射积分计算耗时是使用CPU计算耗时的1/9.1,平均每个点计算耗时 32ms。

[0094] 表2 GPU加速、去遮挡降采样前后耗时对比

[0095]	设备\点数	81000个点(原始点云)	28724个点(去遮挡、降采样)
	CPU	耗时23740s	耗时7863s
	GPU	耗时2599s	耗时835s

[0096] 2) 第二步:

[0097] 按照全息三维显示装置布置光路,调节分束镜7、8使配平行光管激光器2的红色光线、配平行光管激光器3的蓝色光线与配平行光管激光器1的绿色光线成 $\arcsin(dx/z)$ 角度,便于后续SLM衍射得到的全息像的RGB三通道分量在空间位置上叠加。

[0098] SLM投放第一步制作的相位全息图,点亮RGB激光器,调节偏振片使光束为最亮状态,在凸透镜前用光屏观察漫反射成像,调节两个分束镜的上下螺钮进而调节分束镜的角度,使得在 $z=400\text{mm}$ 处使红、蓝像与绿像完全重合。 $z=400\text{mm}$ 处使用光屏观察到的成像结果如图6所示。

[0099] 并且,调节三个配平行光管激光器1、2、3各自前端的偏振片使经过偏振片的光束亮度降到最低合适,在空间光调制器10加载相息图,透过透镜组11裸眼观察看到一定纵深

的3D成像。

[0100] 步骤2)中,调节偏振片使RGB光束亮度达到最低,室内正常环境光下几乎不可见时再进行裸眼3D像的观察。凸透镜放置于光屏成像的延长线位置:

[0101] 首先利用三个配平行光管激光器1、2、3各自前的偏振片调节三个配平行光管激光器1、2、3发出光束透过偏振片后的光亮度达到最低以防止损伤眼睛,然后再微调三个配平行光管激光器1、2、3各自前的偏振片,使得从第二楔形分束镜8出射的光束的颜色为原有待成像物体的颜色匹配一致,RGB颜色正常。

[0102] 透镜组将构造好的物体和全息图投影到计算相息图时设定的空间位置,即 $z = 400\text{mm}$ 处。

[0103] 如图3所示,空间光调制器10和透镜组11之间形成透镜虚像和全息实像,透镜虚像靠近空间光调制器10,全息实像靠近透镜组11。

[0104] 在 $z = 400\text{mm}$ 的全息实像成像位置处放置光屏,在和空间光调制器10同一侧处看到光屏上的全息实像,微调分束镜7、8的螺钮使目标RGB通道分量重合。该实像由空间光调制器10发出光束照射到光屏,人眼观察到的是实像经过光屏漫反射的结果。

[0105] 人眼从透镜组11透过观察,看到透镜虚像,人眼观察到的透镜虚像大小:

$$[0106] \quad S_v = L_{\text{target}} \times \frac{-v}{u}$$

[0107] 其中, S_v 表示透镜虚像大小, v 表透镜虚像到透镜组中心的光程, u 表示全息实像到透镜组中心的光程。透镜组的作用为放大全息实像、增大观察视角;由图3示意,人眼到透镜虚像两端连线的夹角大于人眼到全息实像两端连线夹角,即透镜组增大了像的大小,也增大了像对于人眼的视角。

[0108] 眼睛移动到靠近凸透镜的位置,上下左右小幅度移动,直到找到彩色立体全息莲花;再次微调分束镜7、8的螺钮使RGB三通道分量完全重合。相机置于人眼的观察者位置,拍摄得到成像照片如图6和图7所示。

[0109] 综上所述,本发明的彩色立体点云裸眼3D显示系统和方法创新地使用了彩色点云立体模型实现彩色模型的真3D裸眼观察,解决了传统单SLM空间叠加方法调节复杂、裸眼成像效果差的问题。传统空间叠加算法使用双相位与球面相位结合形成衍射汇聚点、在相息图叠加闪耀光栅使单色光源所成的三个像的球面汇聚点具有不同偏移量、使用小孔在汇聚点处保留SLM衍射得到的九个像中三个目标RGB通道分量,并微调使这三个分量完全重合,无论是算法编写还是元件调节都很复杂,而且球面相位带来同心圆形状的衍射斑,严重影响裸眼观察效果。本发明采用的算法直接对RGB子模型点云坐标进行缩放与偏移,保证了单色光源经SLM衍射得到的三个同颜色的像不重叠,再通过光源角度调节使目标RGB通道分量在观察位置重叠,保证了RGB通道分量的裸眼观察视角相同。本发明采用的算法减少了所用元件个数,大幅度降低光路调节难度,提高了裸眼观察效果。

[0110] 图8展示了单SLM彩色成像使用传统空间叠加算法时,小孔过滤不干净导致的散斑噪声较大;图9展示了单SLM彩色成像使用传统空间叠加算法时,图片左下角有球面相位带来的圆环状衍射斑。本发明采用的方法解决了这些问题。

[0111] 由此实施可见,本发明提出的技术方案利用单个空间光调制器实现彩色点裸眼宽视角高清晰度的裸眼3D显示系统。本光学系统是目前商用VR头盔所向往的。在像差允许的

范围内,使配置显示系统紧凑,解决了单空间光调制器彩色成像的无关像混叠的问题,相较传统方法提高了裸眼成像质量,降低了元件调节复杂度,为彩色立体裸眼显示设备的小型化提供了一种有效途径。

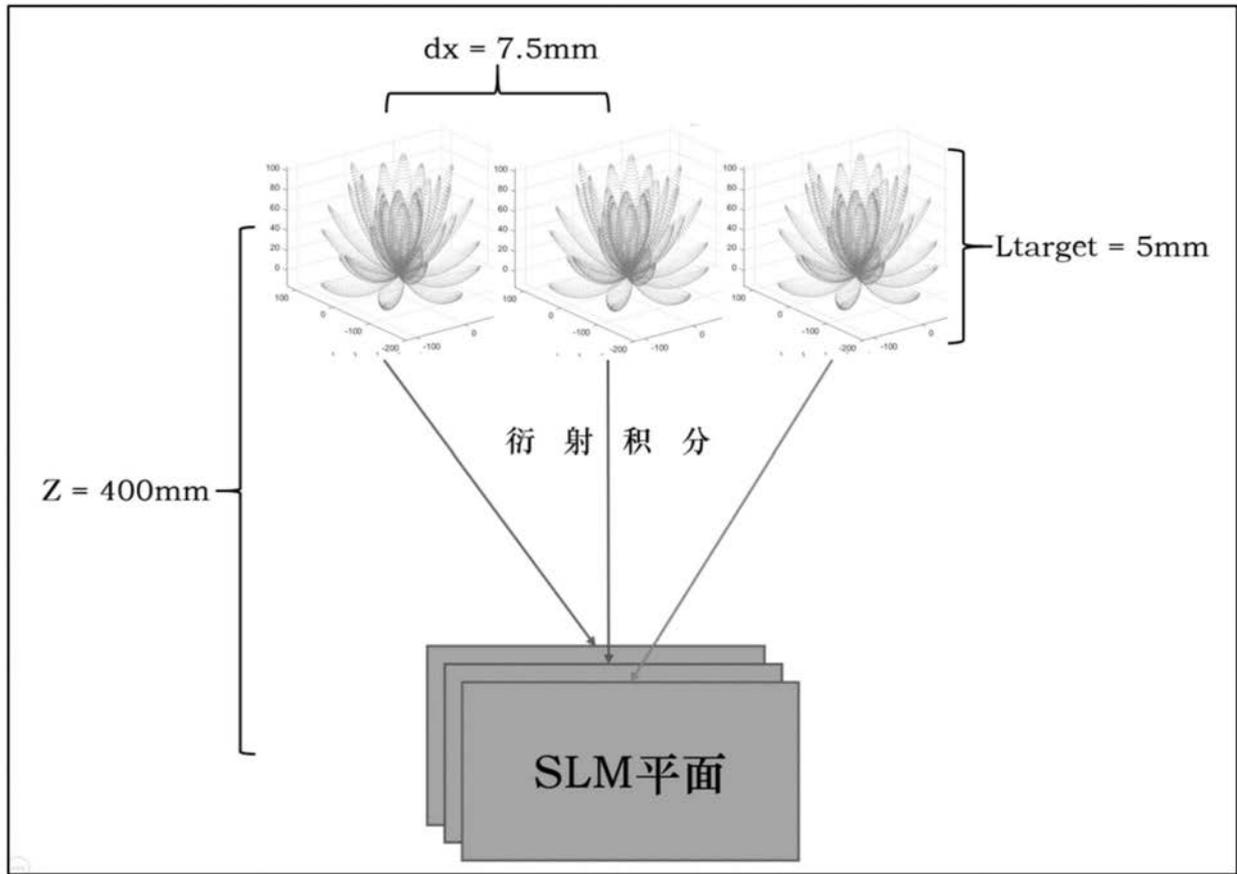


图1

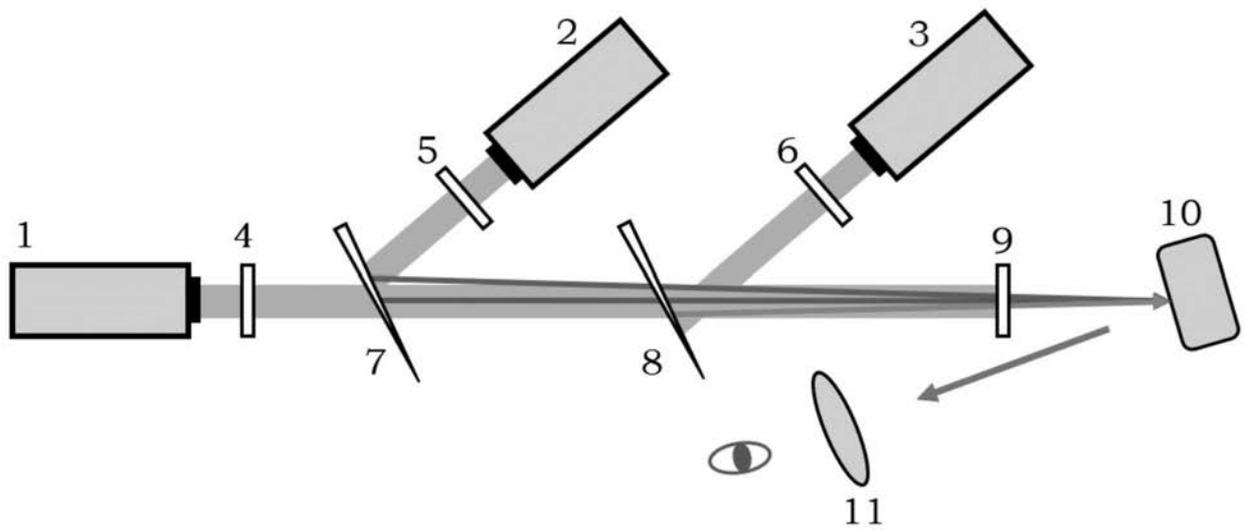


图2

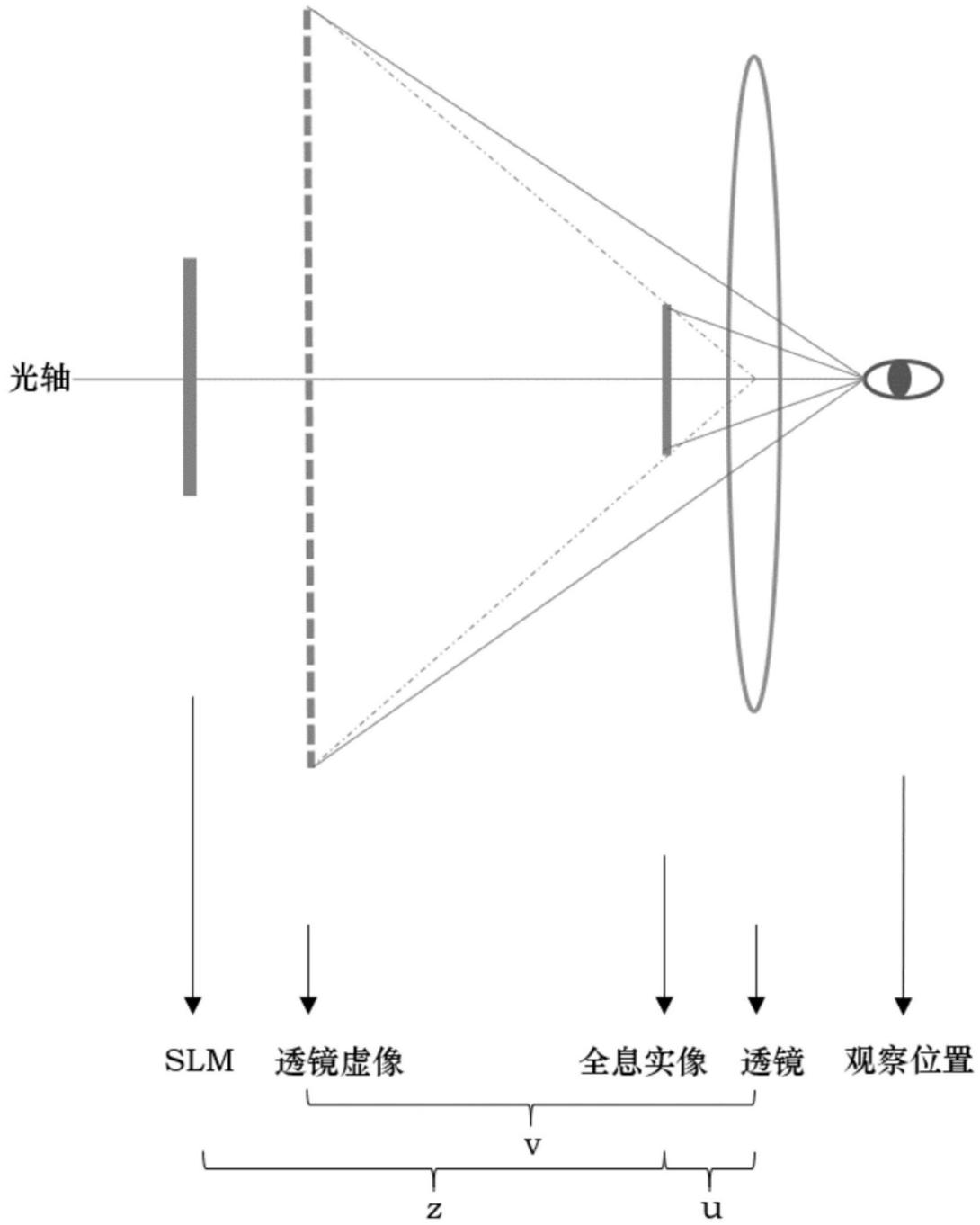


图3

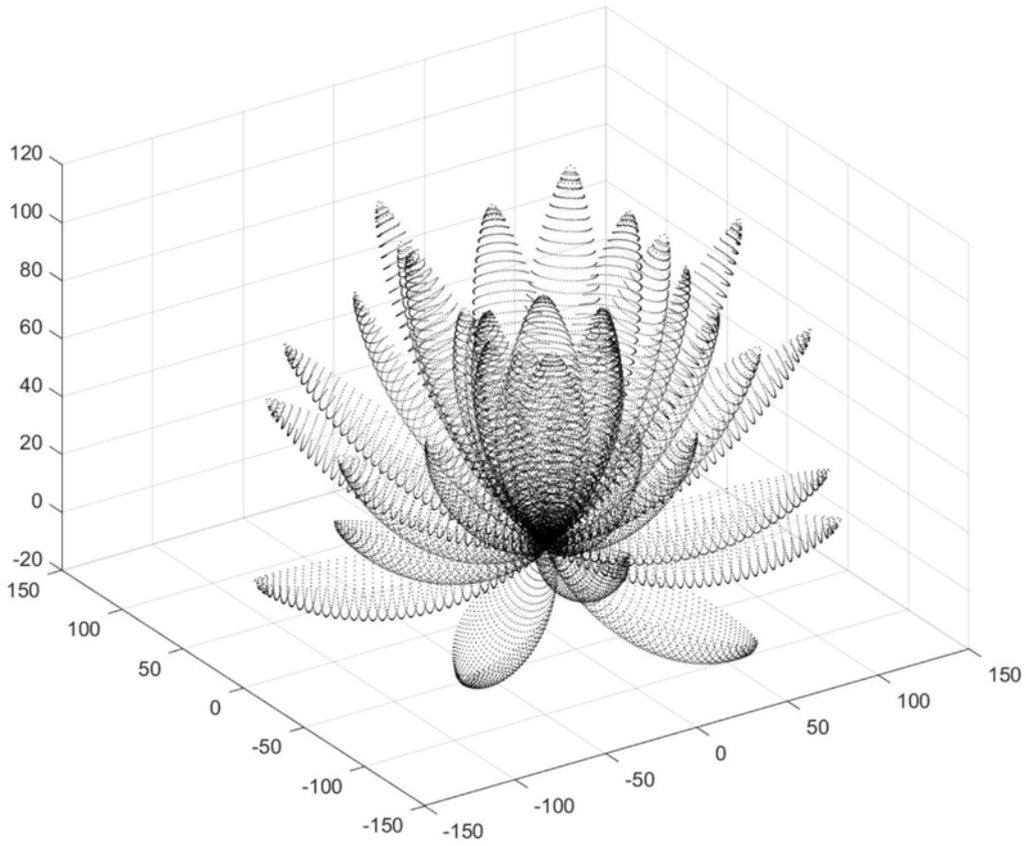


图4

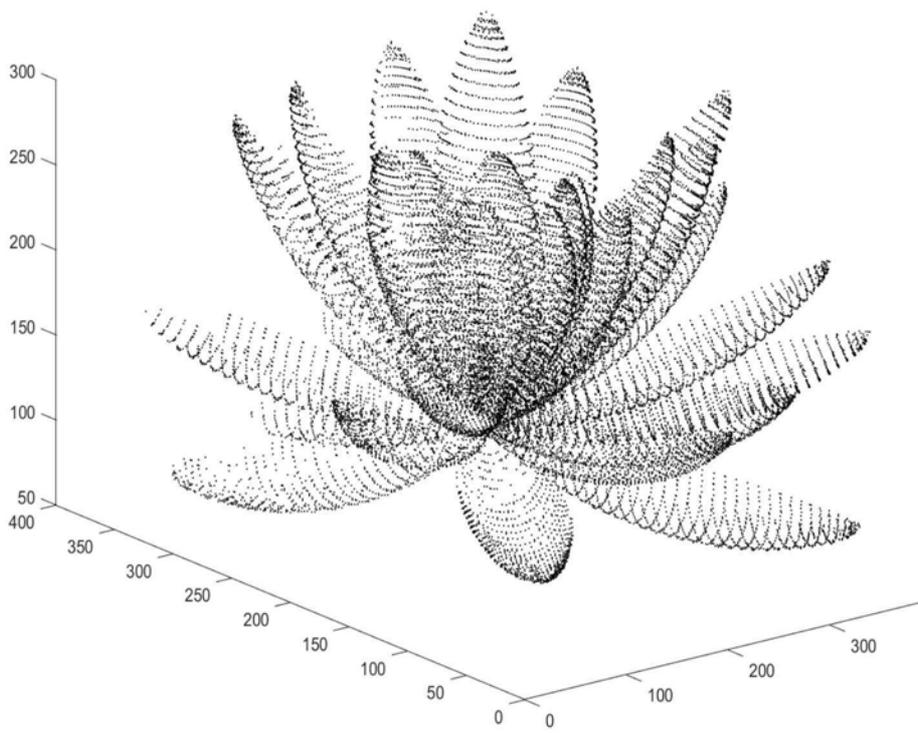


图5

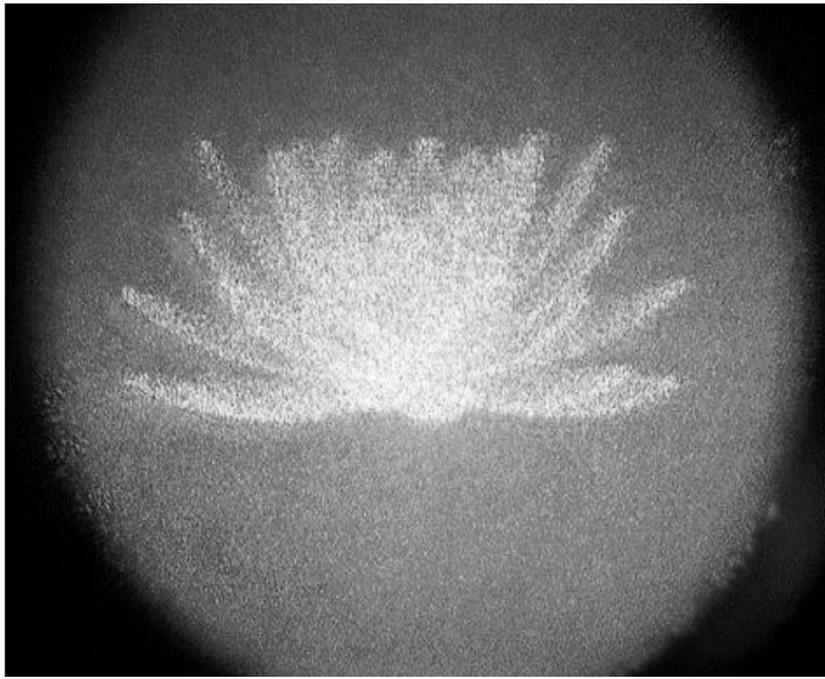


图6

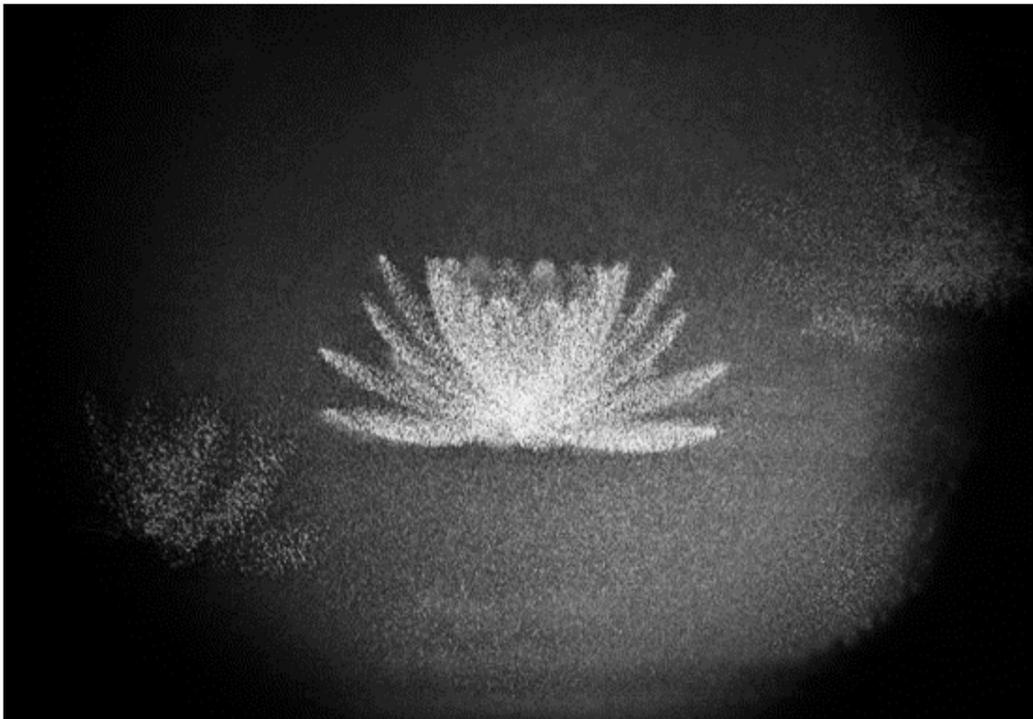


图7



图8

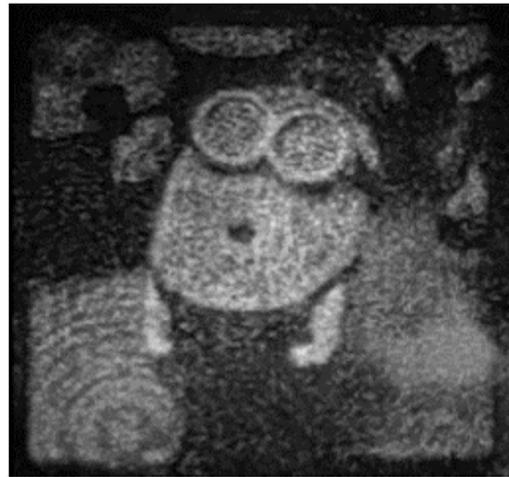


图9