



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105203084 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 30

(21) 申请号 201510392627. 0

(22) 申请日 2015. 07. 02

(71) 申请人 汤一平

地址 310014 浙江省杭州市下城区朝晖六区

(72) 发明人 汤一平

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司

公司 33224

代理人 胡红娟

(51) Int. Cl.

G01C 11/00(2006. 01)

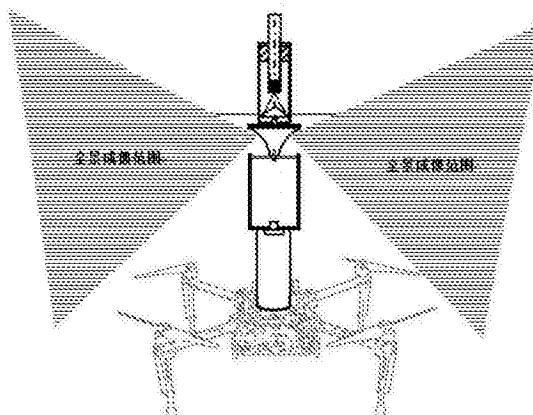
权利要求书4页 说明书17页 附图9页

(54) 发明名称

一种无人机 3D 全景视觉装置

(57) 摘要

本发明公开一种无人机 3D 全景视觉装置主要包括飞行器主体部分、3D 全景视觉装置和飞行控制机地面站控制系统部分；3D 全景视觉装置固定安装在所述的飞行器主体部分中部，3D 全景视觉装置的中轴线与所述的飞行器主体部分的中轴线重叠；3D 全景视觉装置包括全方位视觉传感器、全景激光光源和 LED 带光源；地面监视器根据无线网络传输过来的全景视频图像对无人机周边环境进行 3D 测量与 3D 建模处理。



1. 一种无人机 3D 全景视觉装置,其特征在于:所述无人机 3D 全景视觉装置包括飞行器主体部分、3D 全景视觉装置和飞行控制机地面站控制系统部分;所述的 3D 全景视觉装置固定安装在所述的飞行器主体部分中部,所述的 3D 全景视觉装置的中轴线与所述的飞行器主体部分的中轴线重叠;

所述的飞行器主体部分采用四旋翼飞行器的结构;

所述的 3D 全景视觉装置主要包括主动式全景视觉传感器、嵌入式设备和电源;所述的嵌入式设备包括图像获取模块和无线图像传输模块;主要功能是获取稳定、高清的场景航拍全景图像,并实时传输给所述的飞行控制机地面站控制系统部分;

所述的主动式全景视觉传感器,其硬件包括:全方位视觉传感器、全景激光光源和 LED 带光源;所述的全方位视觉传感器与所述的全景激光光源中的部件采用塑料模具压制生产;

所述的全方位视觉传感器包括凹圆弧镜面、凹圆弧镜面盖、透光玻璃、固定螺钉、外罩和摄像单元;

所述的凹圆弧镜面的轴心线上开有一个螺纹孔;所述的透光玻璃的中心开有一个小孔;所述的外罩由两个半圆柱型相合而成,半圆柱型上的雌雄扣相配合;装配时首先将透光玻璃嵌入到一个半圆柱型的外罩中,然后对准两半圆柱型的雌雄扣,并在其各自外壁上施加外力使其合成为一个固定了透光玻璃的外罩;所述的外罩下部开有一个摄像镜头孔;接着用固定螺钉穿过所述的透光玻璃的小孔与凹圆弧镜面上的螺纹孔进行连接;所述的摄像单元的镜头固定在所述的外罩摄像镜头孔中;所述的凹圆弧镜面盖中心开有一个小孔;

所述的全景激光光源,包括圆锥形镜面、透明外罩、圆圈形激光发射器和底座,圆圈形激光发射器固定在底座上,圆圈形激光发射器的发射光轴心线与底座轴心线一致,圆锥形镜面固定在透明外罩的一端,固定着圆圈形激光发射器的底座固定在透明外罩的另一端;圆圈形激光发射器发射出来的圆圈激光通过圆锥形镜面的反射产生垂直于轴心线的全景激光;所述的圆锥形镜面的背面开有一个螺纹孔;

所述的全方位视觉传感器与所述的全景激光光源进行同轴固定连接,LED 带光源环绕在所述的全方位视觉传感器的下固定座上;

所述的 3D 全景视觉装置主要用于无人机周边环境及物体的 3D 测量和 3D 全景建模。

2. 如权利要求 1 所述的无人机 3D 全景视觉装置,其特征在于:所述的全方位视觉传感器为 360° 水平全景成像及尽可能大的垂直视场和成像焦距与成像距离无关,所述的全方位视觉传感器的采用塑料模具成型加工;

所述的全方位视觉传感器的折反射镜面的垂直剖面为凹圆弧曲线,根据光学反射原理,得到以下几个公式;

$$\alpha = \theta + r' - \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

$$\delta = 2\theta + r' - \pi \quad (2)$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{r}{R}\right) \quad (3)$$

$$\delta = 2\arcsin\left(\frac{r}{R}\right) + r' - \pi \quad (4)$$

式中, r 为入射光束的高度, r' 为入射光束的角度, δ 为反射光束的角度, R 为反射镜面的圆弧半径, α 为入射光束的入射角, θ 为反射镜面圆弧曲线的切线角;

全方位视觉传感器的折反射镜面由凹圆弧的曲线环绕对称轴一周而形成的。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的新型的无人机 3D 全景视觉装置, 其特征在于: 3D 全景视觉装置的主动式 3D 立体全景视觉传感器, 将实际物理空间坐标系建立在全景激光光源的轴心线与垂直于轴心线的全景激光的交点, 坐标值分别用 X 、 Y 、 Z 表示; 全景图像坐标系建立在全景图像的中心, 坐标值分别用 u 、 v 表示; 折反射镜面的坐标系建立在凹圆弧的中心, 坐标值分别用 X' 、 Y' 表示;

为了对空间环境及物体进行 3D 测量, 需要对全方位视觉传感器进行标定, 标定的目的是从成像平面上的点 $p(u', v')$ 上找出入射光束的高度 r 和入射光束的角度的 r' 对应关系, 用公式 (5) 表示;

$$r = f(p(u', v')) \quad (5)$$

$$r' = g(p(u', v'))$$

式中, $p(u', v')$ 是全景成像平面上的一个点, r 为入射光束的高度, r' 为入射光束的角度, $f(\dots)$ 和 $g(\dots)$ 分别表示函数关系。

4. 如权利要求 1 所述的无人机 3D 全景视觉装置, 其特征在于: 无人机的周边环境及物体的 3D 测量, 为了计算出无人机周边环境及物体上的点 $P(x, y, z)$ 空间坐标值, 设凹圆弧镜面的圆弧中心 $O(B, -H)$, 其中 B 为凹圆弧镜面的圆弧中心到圆柱形坐标系轴线的距离, H 为凹圆弧镜面的圆弧中心到全景激光投射面的垂直距离; 根据几何关系用公式 (6) 计算周边环境及物体内壁上的点到空间坐标系原点的距离 P_R ,

$$P_R = [H - r + (B - \sqrt{R^2 - r^2}) \tan r'] \tan r' \quad (6)$$

式中, H 为凹圆弧镜面的圆弧中心到全景激光投射面的垂直距离, B 为凹圆弧镜面的圆弧中心到圆柱形坐标系轴线的距离, r 为全景激光在空间物点的反射光束在凹圆弧镜面的高度, r' 为全景激光在空间物点的反射光束的角度, R 为凹圆弧镜面的曲率半径, P_R 为空间物点到空间坐标系原点的距离。

5. 如权利要求 1 或 4 所述的无人机 3D 全景视觉装置, 其特征在于: 采用全景激光截面法获取整个全景激光投射面所照射周边环境及物体的切片图像及空间坐标值;

在所述的全景激光截面法中采用对光照敏感程度较小的 HSI 颜色模型进行激光投射点的检测; 主动全景投影激光提取算法如下:

Step1: 获取具有激光信息的全方位图像;

Step2: 遍历图像上每一个像素点的 r , g , b 颜色信息;

Step3: 将每一个点的 r , g , b 颜色信息转换成 HSI 颜色模型;

Step4: 根据每一个像素点的 I 分量, 获取全方位图像的总亮度, 进而求出全方位图像的平均亮度;

Step5: 以平均亮度的 1.5 倍作为激光提取的亮度阈值 T , 根据每个像素点的 I 值的范围 $I > T$ 作为激光提取的亮度约束条件;

Step6: 根据每个像素点的 H 值的范围 $0 < H < 60$ 且 $350 < H < 360$ 作为激光提取的色度约束条件;

Step7: 根据每个像素点的 S 值的范围 $0 < S < 40$ 作为激光提取的饱和度约束条件;

Step8: 当激光点同时满足 Step5、Step6 和 Step7 三个约束条件时,提取出该激光点,当不满足任一约束条件时,则舍去;同时遍历下一个像素点;若一幅图像全部遍历完成,则转到 Step1,获取下一幅航拍全景图像继续解析激光投射点;

进一步,针对全景图像的成像特点,对得到的周边环境全景图采用环形遍历的方式,以全景图像的中心位置为圆心,以相等的间隔角度以方位角 β 从 $0^\circ \rightarrow 360^\circ$ 进行遍历,根据公式 (6) 计算得到用圆柱形坐标系表示的周边环境实际空间点云几何数据;用公式 (7) 将用圆柱形坐标系表示的周边环境及物体内部实际空间点云几何数据转化为用笛卡尔坐标系表示的周边环境及物体内部实际空间点云几何数据 $P(x, y, z)$;

$$\begin{cases} x = P_R \times \sin \beta \\ y = P_R \times \cos \beta \\ z = 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中, P_R 为空间物点到坐标系原点的距离, β 为方位角。

6. 如权利要求 5 所述的无人机 3D 全景视觉装置,其特征在于:对无人机周边环境进行 3D 建模,需要对携带着 3D 全景视觉装置的无人机的运动进行估计;将检测坐标系建立在全景激光投射面与对称轴的交点上,使用 SFM 算法,即运动的结构重建算法;无人机的运动由旋转矩阵 R 和平移向量 t 进行描述,即从相邻两帧的全景图像对无人机的运动进行估计,得到无人机的运动轨迹信息;最后根据运动轨迹及全景激光投射面所获得的几何信息或者全景图像对无人机周边环境进行 3D 建模;

具体无人机周边环境 3D 建模过程如下:首先,全方位视觉传感器获得其运动过程中的全方向图像序列;然后利用 SFM 算法提取和跟踪特征点,以获得全方向图像序列中的相对点;接着用线性估计方法估计无人机的运动,主要利用对应点在每个观测点拍摄的两个图像的位置;最后为了更精确地估计无人机的运动,用非线性估计方法重新估算无人机的运动。

7. 如权利要求 6 所述的无人机 3D 全景视觉装置,其特征在于:特征点的提取和跟踪,为了提高 SIFT 算法的跟踪精度,这里根据无人机在空间飞行的运动特征,将对应特征点采集和跟踪规定在一个局部范围内,即通过划分跟踪扇区方法;该方法是基于在全方位图像序列中的两帧之间相对应点的空间位置是不会发生突变的假设,无人机在飞行过程中,相邻两帧图像中的相对应点基本上是在某一个扇区范围内飞行的;有了扇区约束条件来提高 SIFT 算法的跟踪精度;具体实现方法是:在第 N 帧图像中提取特征点,然后在第 $N+1$ 帧图像中的同一扇区内跟踪同一特征点。

8. 如权利要求 7 所述的无人机 3D 全景视觉装置,其特征在于:为了估计无人机的运动,计算两个观测点,即两个不同位置的检测坐标系之间的相对位置和方位的差异信息的基本矩阵;本质矩阵 E 用公式 (8) 表示;

$$r_i'^T E r_i = 0 \quad (8)$$

其中, $r_i = [x_i, y_i, z_i]^T$, $r_i' = [x'_i, y'_i, z'_i]$ 分别为两个全景图像中对应点的光线向量,将公式 (8) 转化成公式 (9);

$$u_i^T e = 0 \quad (9)$$

其中,

$$u_i = [x_i x'_i, y_i x'_i, z_i x'_i, x_i y'_i, y_i y'_i, z_i y'_i, x_i z'_i, y_i z'_i, z_i z'_i]^T \quad (10)$$

$$e = [e_{11}, e_{12}, e_{13}, e_{21}, e_{22}, e_{23}, e_{31}, e_{32}, e_{33}]^T \quad (11)$$

通过对 8 组相应的光线向量 r 求解联立方程获得本质矩阵 E , 计算方法用公式 (12) 表示;

$$\min_e \|Ue\|^2 \quad (12)$$

其中, $U = [u_1, u_2, \dots, u_n]^T$, 本质矩阵 E 是以 $U^T U$ 的最小特征值的特征向量 e 进行计算获得的;

从本质矩阵 E 计算旋转矩阵 R 和平移向量 t , 由公式 (13) 所示, 本质矩阵 E 由旋转矩阵 R 和平移向量 $t = [t_x, t_y, t_z]^T$, 表示;

$$E = RT \quad (13)$$

这里 T 用下面矩阵表示;

$$T = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

从本质矩阵 E 计算旋转矩阵 R 和 T 采用奇异值方法, 即 SVD 方法;

为了获得无人机运动的更高估计精度, 使用光束平差法对无人机的运动进行重新估计。

9. 如权利要求 8 所述的无人机 3D 全景视觉装置, 其特征在于: 通过融合全景激光截面法和 SFM 算法两种处理方法的结果来实现尺度匹配;

算法具体步骤是:

STEP1: 通过全景激光截面法测量一个周边环境的三维坐标;

STEP2: 用 SFM 算法测量同一点的三维坐标;

STEP3: 通过采用最小偏差坐标值之间的距离来计算尺度 s' , 如公式 (19) 所示;

$$\min \sum_{k=1}^m \|\log(p_k) - \log(s' p_k')\|^2 \quad (19)$$

式中, $p_k = [x_k, y_k, z_k]^T$ 表示全景激光截面法测量结果, $p_k' = [x_k', y_k', z_k']^T$ 表示 SFM 算法测量结果。

10. 如权利要求 1 所述的无人机 3D 全景视觉装置, 其特征在于: 通过全景激光截面法对狭长周边环境及物体的横断面的 3D 测量结果进行拼接, 最后还需要进行纹理映射, 实现狭长周边环境的自动 3D 建模; 三角格网是将空间中的离散点云用三角面片构建成物体表面的方法, 获取周边环境横截面的点云数据的过程是处理每一帧的全景切片图像, 所得到的点云数据是规则排列的; 这里采用三角格网模型来进行三维重构, 并将全景图像中的纹理映射到 3D 模型中。

一种无人机 3D 全景视觉装置

技术领域

[0001] 本发明涉及无人直升机、全景激光光源、全方位视觉传感器、无线传输以及计算机视觉技术在无人机视觉等方面的应用,尤其涉及一种无人机 3D 全景视觉装置。

背景技术

[0002] 无人直升机航拍照片具有大比例尺、广视角、高现势性的优点。目前无人机航拍广泛应用于军事侦察、国家生态环境保护、矿产资源勘探、海洋环境监测、土地利用调查、水资源开发、农作物长势监测与估产、农业作业、自然灾害监测与评估、城市规划与市政管理、森林病虫害防护与监测、公共安全、国防事业、数字地球以及广告摄影等领域,有着广阔的市场需求。

[0003] 当前无人机视觉上的研究,大多是利用无人机视觉进行避障,或者利用无人机视觉进行飞行控制。但是,无人机航拍所获取的二维图像缺乏实际的几何数据,无法再现被测物的 3D 实体几何数据;为了获取更详细,更准确的信息,需要对无人机所拍摄的图像进行拼接以活动周围全景图像,另外还需要进行 3D 测量。目前基本上采用双目立体视觉的方式来获取被测物的深度信息。近年来出现了一种直接测量物体深度的技术,如微软公司的深度传感器,但是这种技术属于面扫描技术,要获取 3D 全景仍然存在着很大困难。无人机视觉从 2D 图像走向 3D 图像,从某一个面走向 360° 全景是一个发展趋势,基于无人机航拍图像的 3D 测量与 3D 全景重建技术在军事、民用和科学研究等方面都有着极其广阔的应用前景。

[0004] 申请号为 201410264745.9 的中国专利申请公开了一种基于无人机的航拍测绘装置及图像校准方法,通过设置角度摄像头和竖直摄像头,可以同时提供斜角影像图和俯视影像图;根据两个最终影像点之间的应然距离与两个原始影像点之间的实然距离的比值,对原始影像图进行缩放,从而得到最终影像图。这种方法属于双目立体视觉的测量方式,该方式除了 3D 测量效率低以外,容易受到各种干扰,摄像机构复杂,计算复杂度高,在实用上还存在着较大距离。

[0005] 申请号为 201110085596.6 的中国专利申请公开了一种无人机航拍视频实时全景图拼接方法。利用视频采集卡采集由无人机通过微波通道实时传回基站的图像,对图像序列进行关键帧选择,对关键帧进行图像增强;在图像拼接过程中,首先采用鲁棒性良好的 SURF 特征检测方法对图像帧的特征检测和帧间匹配;又采用帧到全景的图像变换方式,减少图像连乘累积误差,并结合无人机的 GPS 位置信息,确定飞行路径在时序上不相邻但在空间上相邻的图像帧,优化帧到全景的变换关系,确定图像重叠区域,实现图像融合和全景图的构建,实现了边飞边拼接的实时效果;在图像变换时,利用视域上相邻帧信息和空域相邻帧信息,优化图像变换,获得准确的全景图。该案件实现的效果只是将局部图像拼接为全景图像,未涉及到 3D 测量与 3D 重构。

[0006] 申请号为 201010297558.2 的中国专利文献公开了一种基于激光探测和图像识别的无人直升机三维定位及测绘方法,包括了基于激光探测和图像识别的测距传感器、高

度传感器和飞行控制计算机,测距传感器由机载摄像机和激光发射器组成,用于探测无人直升机距周围障碍物的距离,通过改变俯仰角和偏航角,测距传感器对无人直升机周围环境进行探测并测距;高度传感器用于测量无人直升机距地面的飞行高度;根据在不同俯仰角、航向角和飞行高度条件下测量得到的测距数据,实现无人直升机对未知环境的三维同步定位及测绘。该案属于主动视觉对周围障碍物的检测,但是在检测过程中要不断改变俯仰角、航向角和飞行高度,使得摄像机构复杂度增加,实时性降低;此外该案尚未涉及如何应用主动式视觉对周围环境的 3D 重构。

[0007] 综上所述,在无人机航拍技术中,对于还原场景、目标的三维结构存在着如下若干个棘手的问题:1) 如何消除航拍过程中飞机本身的抖动、偏移、旋转等引起摄像机的摆动、旋转对成像模型的不利影响;2) 如何使得无人机以较低的速度甚至“悬停”并稳定地沿预定航线飞行,来获得构建理想的 3D 模型的图像;3) 如何使得无人机在不改变俯仰角、航向角和飞行高度情况下能方便地获取飞行航线上的全景图像,使得无人机视觉装置简单化;4) 如何使得无人机能够适应各种复杂、狭小的环境,并且能够实现悬停、侧飞等多种姿态飞行,无人机的机身机械结构简单;5) 如何对主动式全景视觉传感器进行微型化和轻量化设计,有效减少无人机的负载量;6) 如何进行场景及对象的快速 3D 测量,包括对飞行过程中的障碍物的检测及避障;7) 如何根据相同场景在多个成像上的内在约束关系重建目标三维结构并进行精确测量;8) 如何实现边飞行、边 3D 测量和边 3D 建模。

发明内容

[0008] 为了克服已有的无人机视觉装置的自动化和智能化水平低、难以对周边场景及对象进行快速 3D 测量、难以用视觉方式对周边障碍物进行快速检测与快速避障、周边环境的三维建模困难等不足,本发明提供一种新型的无人机 3D 全景视觉装置,能够提高无人机视觉装置的自动化和智能化水平,对无人机周边环境及物体对象进行快速 3D 视觉测量,并自动实现三维建模。

[0009] 要实现上述发明内容,必须要解决几个核心问题:(1) 适合于 3D 环境视觉测量与 3D 建模的无人机的选型;(2) 实现一种价格低廉、总体重量在无人机的负重能力范围内、具有无线视频图像传输能力、并能快速并高精度获得实际物体深度信息的主动式全景视觉传感器;(3) 采用计算机视觉技术对周边环境的三维重建方法;(4) 采用计算机视觉技术对周边障碍物的检测与避障;(5) 采用计算机视觉技术计算得到无人机的飞行轨迹。

[0010] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0011] 首先是无人机的选型,根据技术要点,本发明采用旋翼式无人机,该机型能够实现“悬停”动作并可以垂直起降,其机动性大大超过固定翼式无人机,非常适合在城市或室内等的复杂狭窄空间或者在需要低速稳定飞行的场合下使用。

[0012] 与传统的直升机相比,多旋翼无人机的结构更为紧凑,各个旋翼间可相互抵消反扭力;由于采用了较小的旋翼,无人机可以飞至离目标更近的区域。多旋翼飞行器通过多个旋翼转速的配合控制来实现多种姿态飞行的,多旋翼产生的推力可更有效的控制无人机的飞行姿态。

[0013] 在航拍应用中,最基本的要求是无人机拍摄出的画面平稳清晰,便于后期的处理以及为之后的三维重建提供优质的航拍素材。

[0014] 首先,无人机需要搭载高分辨率的 3D 全景视觉装置升空并完成飞行航线,这就要求无人机具有一定的负载能力。

[0015] 其次,在航拍过程中对无人机的飞行速度有较高的要求,常常需要无人机以较低的速度甚至“悬停”并稳定地沿预定航线飞行,来获得理想的全景图像。而“悬停”以及低速飞行正是多旋翼无人机所适合的,它较差的抗风性能可通过飞行控制器和相机云台加以补偿。

[0016] 针对航拍这一应用场合的特殊需求和各类型无人机的特点,最终选取四旋翼无人机作为航拍无人机平台。

[0017] 四旋翼无人机系统可分为飞行器主体部分、3D 全景视觉装置和飞行控制机地面站控制系统部分;3D 全景视觉装置固定安装在飞行器主体部分中部,3D 全景视觉装置的中轴线与飞行器主体部分的中轴线重叠。

[0018] 飞行器主体部分根据四旋翼飞行器的结构。考虑到机身自重、强度,机身采用全碳纤维结构,由中心板、机臂和起落架组成。中心板成正四边形,四个机臂分布于中心板四边形的定点处。机身材料采用 2.0mm 厚度 3K 全碳板加工而成,配合航空铝合金管夹和碳纤管组合而成。在各个机臂末端安装电机与螺旋桨,电机采用机臂上安装有电子调速器,中心板上安装有飞行控制器及其附属设备。

[0019] 考虑到需要满足飞行器载重和续航时间的要求,选择的主要电子器件如下:1) 电机:盘式无刷电机,定子尺寸 48MM 幸 2MM,配合 1447 螺旋桨,单个电机全油门拉力为 2260 克,功率 355 瓦,力效 6.4 克每瓦。2) 电子调速器:持续工作电流 30 安,瞬间最大电流 45 安,持续 10 秒。3) 电池:6S 锂电池,电压 22.2V,最大放电倍率 20 ~ 25C,单体内阻 1.2 毫欧,重量 1400 克;在该配置下,无人机最大起飞重量 8 千克,巡航飞行的时间 15 分钟。

[0020] 3D 全景视觉装置主要包括主动式全景视觉传感器、嵌入式设备和电源;嵌入式设备中包括图像获取模块,无线图像传输模块,地面监视器等。主要功能是获取稳定,高清的场景航拍全景图像,并实时的在地面监视拍摄内容。

[0021] 主动式全景视觉传感器内置 WiFi 无线通信。它的特点是体积小、重量轻、直接拍摄全景,非常适合对重量较为敏感、航拍摄像面大的航拍应用。

[0022] 无线图像传输模块,定向天线和监视器,使得地面人员可以实时观察到飞行器飞行中图像获取的内容,以便于控制人员对飞行器做出相应的控制。图像传输设备工作频率为 1.2GHz,该频段的信号,跨越障碍的能力出色,与其他频段干扰少。

[0023] 无线数据通信模块保证了飞行器和地面控制系统之间的数据交换,同时定向天线可以进一步加强图像传输的信号,使得地面监视器不会出现信号干扰和中断的情况。

[0024] 3D 全景视觉装置主要包括无线通信单元、主动式全景视觉传感器和电源;本发明是让无人机携带 3D 全景视觉装置对周边环境进行视觉检测和建模。

[0025] 无人机负重能力与 3D 全景视觉装置的重量匹配的计算:无线通信单元,其重量 <10g,有效通信距离 5km;主动式全景视觉传感器,其重量 <200g,成像分辨率为 300 万像素;电源,其重量 50g;这三者重量的总和为 260g。

[0026] 主动式全景视觉传感器,其硬件包括:全方位视觉传感器、全景激光光源和 LED 带光源;所述的全方位视觉传感器与所述的全景激光光源进行同轴固定连接,LED 带光源环绕在所述的全方位视觉传感器的下固定座上;为了满足轻量化和低成本设计要求,所述的

全方位视觉传感器与所述的全景激光光源中的部件采用塑料模具压制生产。

[0027] 为了最大限度获取无人机周边环境高质量的全景图像,要求所述的全方位视觉传感器的垂直视场尽可能大些,成像的全景图像更便于进行3D测量与3D建模;根据周边环境的3D测量及3D建模的要求,对全方位视觉传感器的折反射镜面的光学成像后的全景图像的测量数据能方便计算,垂直视场角度尽可能大,同时要尽可能减少畸变,并具有较高的检测精度;

[0028] 折反射镜面的垂直剖面设计为凹圆弧曲线,如图2所示,根据光学反射原理,得到以下几个公式;

$$[0029] \quad \alpha = \theta + r' - \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

$$[0030] \quad \delta = 2\theta + r' - \pi \quad (2)$$

$$[0031] \quad \theta = \arcsin\left(\frac{r}{R}\right) \quad (3)$$

$$[0032] \quad \delta = 2\arcsin\left(\frac{r}{R}\right) + r' - \pi \quad (4)$$

[0033] 式中, r 为入射光束的高度, r' 为入射光束的角度, δ 为反射光束的角度, R 为反射镜面的圆弧半径, α 为入射光束的入射角, θ 为反射镜面圆弧曲线的切线角。对于选定的固定焦距的摄像机,反射光束的角度 δ 只有在一个固定的范围内才能在成像芯片上成像;也就是说,入射光束的高度和角度只有满足一定条件才能在成像芯片上成像。

[0034] 全方位视觉传感器的折反射镜面是将凹圆弧的曲线环绕对称轴一周而形成的,如图11所示;这种设计便于塑料模具成型加工,全景成像的畸变小,水平成像范围为 360° ,垂直成像范围接近 90° ,并且成像清晰度与物点距离远近无关;这些特性非常适合于航拍视觉装置。

[0035] 主动式3D立体全景视觉传感器,如图12所示,将实际物理空间坐标系建立在全景激光光源的轴心线与垂直于轴心线的全景激光的交点,坐标值分别用 X 、 Y 、 Z 表示;全景图像坐标系建立在全景图像的中心,坐标值分别用 u 、 v 表示;折反射镜面的坐标系建立在凹圆弧的中心,坐标值分别用 X' 、 Y' 表示。

[0036] 为了对空间环境及物体进行3D测量,需要对全方位视觉传感器进行标定,标定的目的是从成像平面上的点 $p(u', v')$ 上找出入射光束的高度 r 和入射光束的角度的 r' 对应关系,用公式(5)表示;

$$[0037] \quad r = f(p(u', v'))$$

$$[0038] \quad (5)$$

$$[0039] \quad r' = g(p(u', v'))$$

[0040] 式中, $p(u', v')$ 是全景成像平面上的一个点, r 为入射光束的高度, r' 为入射光束的角度, $f(\dots)$ 和 $g(\dots)$ 分别表示函数关系。

[0041] 所述的全方位视觉传感器包括凹圆弧镜面、凹圆弧镜面盖、透光玻璃、固定螺钉、外罩和摄像单元;如图1所示,所述的凹圆弧镜面的轴心线上开有一个螺纹孔;所述的透光玻璃的中心开有一个小孔;所述的外罩由两个半圆柱型相合而成,半圆柱型上的雌雄扣相配合;装配时首先将透光玻璃嵌入到一个半圆柱型的外罩中,然后对准两半圆柱型的雌雄

扣,并在其各自外壁上施加外力使其合成为一个固定了透光玻璃的外罩;所述的外罩下部开有一个摄像镜头孔;接着用固定螺钉穿过所述的透光玻璃的小孔与凹圆弧镜面上的螺纹孔进行连接;所述的摄像单元的镜头固定在所述的外罩摄像镜头孔中;所述的凹圆弧镜面盖中心开有一个小孔。

[0042] 所述的全景激光光源,包括圆锥形镜面、透明外罩、圆圈形激光发射器和底座,圆圈形激光发射器固定在底座上,圆圈形激光发射器的发射光轴心线与底座轴心线一致,圆锥形镜面固定在透明外罩的一端,固定着圆圈形激光发射器的底座固定在透明外罩的另一端;圆圈形激光发射器发射出来的圆圈激光通过圆锥形镜面的反射产生垂直于轴心线的全景激光;全景激光的颜色为红色;所述的圆锥形镜面的背面开有一个螺纹孔,如图4所示。

[0043] 所述的全方位视觉传感器和所述的全景激光光源的固定连接步骤是:螺钉穿过所述的凹圆弧镜面盖上的小孔后对准所述的圆锥形镜面的背面的螺纹孔并旋紧;然后将所述的凹圆弧镜面盖与所述的凹圆弧镜面进行搭扣连接;通过上述连接将所述的全方位视觉传感器和所述的全景激光光源装配成主动式全景视觉传感器,如图5所示;

[0044] 如图12所示,全景激光投射到空间物点 $P(x, y, z)$ 经全方位视觉传感器的凹圆弧镜面反射在成像平面上成像,得到带有全景激光信息的全景图像。根据标定结果,从全景图像上的点 $p(u', v')$ 获得该点光束高度 r 和角度 r' ;为了计算出空间物点 $P(x, y, z)$ 空间坐标值,这里将实际空间坐标系建立在全景激光投射面与对称轴的交点上,建立圆柱形坐标系;根据设计,凹圆弧镜面的圆弧中心 $O(B, -H)$,其中 B 为凹圆弧镜面的圆弧中心到圆柱形坐标系轴线的距离, H 为凹圆弧镜面的圆弧中心到全景激光投射面的垂直距离;根据几何关系用公式(6)计算空间物点到空间坐标系原点的距离 P_R ,

$$[0045] \quad P_R = [H - r + (B - \sqrt{R^2 - r^2}) \tan r'] \tan r' \quad (6)$$

[0046] 式中, H 为凹圆弧镜面的圆弧中心到全景激光投射面的垂直距离, B 为凹圆弧镜面的圆弧中心到圆柱形坐标系轴线的距离, r 为全景激光在空间物点的反射光束在凹圆弧镜面的高度, r' 为全景激光在空间物点的反射光束的角度, R 为凹圆弧镜面的曲率半径, P_R 为空间物点到空间坐标系原点的距离。

[0047] 在实际航拍摄像测量过程中,无人机携带着主动式全景视觉传感器飞行,随着无人机的飞行,全景激光光源为周边环境提供垂直于飞行器主体部分的中轴线的截面全景扫描光,全方位视觉传感器获取全景激光扫描的切片图像;接着,需要在全景激光扫描的切片图像上解析出激光投影位置信息;本发明将上述处理过程称为全景激光截面法;

[0048] 在全景激光截面法中采用对光照敏感程度较小的HSI颜色模型进行激光投射点的检测;主动全景投影激光提取算法如下:

[0049] Step1: 获取具有激光信息的全方位图像;

[0050] Step2: 遍历图像上每一个像素点的 r, g, b 颜色信息;

[0051] Step3: 将每一个点的 r, g, b 颜色信息转换成HSI颜色模型;

[0052] Step4: 根据每一个像素点的 I 分量,获取全方位图像的总亮度,进而求出全方位图像的平均亮度;

[0053] Step5: 以平均亮度的1.5倍作为激光提取的亮度阈值 T ,根据每个像素点的 I 值的范围 $I > T$ 作为激光提取的亮度约束条件;

[0054] Step6: 根据每个像素点的H值的范围 $0 < H < 60$ 及 $350 < H < 360$ 作为激光提取的色度约束条件；

[0055] Step7: 根据每个像素点的S值的范围 $0 < S < 40$ 作为激光提取的饱和度约束条件；

[0056] Step8: 当激光点同时满足 Step5、Step6 和 Step7 三个约束条件时, 提取出该激光点, 当不满足任一约束条件时, 则舍去; 同时遍历下一个像素点; 若一幅图像全部遍历完成, 则转到 Step1, 获取下一幅航拍全景图像继续解析激光投射点。

[0057] 进一步, 针对全景图像的成像特点, 对得到的周边环境全景图采用环形遍历的方式, 如图 6 所示, 以全景图像的中心位置为圆心, 以相等的间隔角度以方位角 β 从 $0^\circ \rightarrow 360^\circ$ 进行遍历, 根据公式 (6) 计算得到用圆柱形坐标系表示的周边环境实际空间点云几何数据; 用公式 (7) 将用圆柱形坐标系表示的周边环境及物体内部实际空间点云几何数据转化为用笛卡尔坐标系表示的周边环境及物体内部实际空间点云几何数据 $P(x, y, z)$;

$$[0058] \quad \begin{cases} x = P_R \times \sin \beta \\ y = P_R \times \cos \beta \\ z = 0 \end{cases} \quad (7)$$

[0059] 式中, P_R 为空间物点到坐标系原点的距离, β 为方位角;

[0060] 为了对无人机周边环境进行 3D 建模, 需要对携带着 3D 全景视觉装置的无人机的运动进行估计; 这里将检测坐标系建立在全景激光投射面与对称轴的交点上, 使用 SFM 算法, 即运动的结构重建算法; 无人机的运动由旋转矩阵 R 和平移向量 t 进行描述, 即从相邻两帧的全景图像对无人机的运动进行估计, 得到无人机的运动轨迹信息; 最后根据运动轨迹及全景激光投射面所获得的几何信息或者全景图像对无人机周边环境进行 3D 建模。

[0061] 具体无人机周边环境 3D 建模过程如下: 首先, 全方位视觉传感器获得其运动过程中的全方向图像序列; 然后利用 SFM 算法提取和跟踪特征点, 以获得全方向图像序列中的相对对应点; 接着用线性估计方法估计无人机的运动, 主要利用对应点在每个观测点拍摄的两个图像的位置; 最后为了更精确地估计无人机的运动, 用非线性估计方法重新估算无人机的运动;

[0062] 特征点的提取和跟踪: 为了在全方位图像序列中获得图像之间的对应点, 首先在第一帧图像中提取特征点, 然后沿着图像序列跟踪这些特征点; 跟踪特征点采用 SIFT 算法, 即尺度不变特征变换算法; 然而, 实际上全方位图像的畸变和投影畸变会影响对应特征点采集和跟踪; 这是因为现有的 SIFT 算法是一种全局的算法, 全景视觉在全局范围内难以保证尺度不变特征变换条件, 从而导致了误跟踪; 为了提高 SIFT 算法的跟踪精度, 这里根据无人机在空间飞行的运动特征, 将对应特征点采集和跟踪规定在一个局部范围内, 即通过划分跟踪扇区方法; 该方法是基于在全方位图像序列中的两帧之间相对对应点的空间位置是不会发生突变的假设, 无人机在飞行过程中, 相邻两帧图像中的相对对应点基本上是在某一个扇区范围内飞行的; 有了扇区约束条件来提高 SIFT 算法的跟踪精度; 具体实现方法是: 在第 N 帧图像中提取特征点, 然后在第 $N+1$ 帧图像中的同一扇区内跟踪同一特征点;

[0063] 无人机的运动估计: 为了估计无人机的运动, 这里计算两个观测点, 即两个不同位置的检测坐标系之间的相对位置和方位的差异信息的基本矩阵; 本质矩阵 E 用公式 (8) 表示;

$$[0064] \quad \mathbf{r}_i^T \mathbf{E} \mathbf{r}_i = 0 \quad (8)$$

[0065] 其中, $\mathbf{r}_i = [x_i, y_i, z_i]^T$, $\mathbf{r}_i' = [x'_i, y'_i, z'_i]^T$ 分别为两个全景图像中对应点的光线向量, 将公式 (8) 转化成公式 (9);

$$[0066] \quad \mathbf{u}_i^T \mathbf{e} = 0 \quad (9)$$

[0067] 其中,

$$[0068] \quad \mathbf{u}_i = [x_i x'_i, y_i x'_i, z_i x'_i, x_i y'_i, y_i y'_i, z_i y'_i, x_i z'_i, y_i z'_i, z_i z'_i]^T \quad (10)$$

$$[0069] \quad \mathbf{e} = [e_{11}, e_{12}, e_{13}, e_{21}, e_{22}, e_{23}, e_{31}, e_{32}, e_{33}]^T \quad (11)$$

[0070] 通过对 8 组相应的光线向量 \mathbf{r} 求解联立方程获得本质矩阵 \mathbf{E} , 计算方法用公式 (12) 表示;

$$[0071] \quad \min_{\mathbf{e}} \|\mathbf{Ue}\|^2 \quad (12)$$

[0072] 其中, $\mathbf{U} = [u_1, u_2, \dots, u_n]^T$, 本质矩阵 \mathbf{E} 是以 $\mathbf{U}^T \mathbf{U}$ 的最小特征值的特征向量 \mathbf{e} 进行计算获得的;

[0073] 从本质矩阵 \mathbf{E} 计算旋转矩阵 \mathbf{R} 和平移向量 \mathbf{t} , 由公式 (13) 所示, 本质矩阵 \mathbf{E} 由旋转矩阵 \mathbf{R} 和平移向量 $\mathbf{t} = [t_x, t_y, t_z]^T$, 表示;

$$[0074] \quad \mathbf{E} = \mathbf{R} \mathbf{T} \quad (13)$$

[0075] 这里 \mathbf{T} 用下面矩阵表示。

$$[0076] \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

[0077] 从本质矩阵 \mathbf{E} 计算旋转矩阵 \mathbf{R} 和 \mathbf{T} 一种方法是采用奇异值方法, 即 SVD 方法, 该方法属于数值运算方法; 但是这种分解方法分解出的四组解间的几何意义并不直观, 难以保证分解结果是惟一正确解, 而且实时性欠佳; 因此, 还需要对无人机的运动进行再估计和尺度匹配方法处理。

[0078] 无人机的运动再估计: 用 SVD 方法从本质矩阵 \mathbf{E} 来估计旋转矩阵 \mathbf{R} 和平移向量 \mathbf{T} 未必能得到良好的结果, 这是因为在 SVD 方法中没有考虑图像中的各种错误。因此, 需要重新估计无人机运动中所获取全景图像内的每个特征点的测量误差; 这里使用光束平差法对无人机的运动进行重新估计; 该方法的思想是将特征重投影误差总和最小化;

[0079] 尺度匹配方法: 由于 SFM 算法中仅仅是对输入的全景图像进行处理, 并不包含任何尺度的信息; 因此, 通过 SFM 算法还不能确定 2 个观测点之间的距离 $|t|$; 然而, 在全景激光截面法处理结果中包括了尺度坐标信息; 因此, 通过融合这两种处理的结果来实现尺度匹配;

[0080] 首先, 通过全景激光截面法测量一个空间物点的三维坐标; 然后, 用 SFM 算法测量同一点的三维坐标; 最后, 通过尽可能接近的三维坐标同一点来实现尺度匹配;

[0081] 当同一点远离观察点时, 用两种不同算法, 即 SFM 算法和全景激光截面法, 对同一点进行处理所得到的坐标值之间的最小偏差更为敏感; 基于此, 这里采用最小偏差坐标值之间的距离来计算尺度 s' , 如公式 (15) 所示;

$$[0082] \quad \min \sum_{k=1}^m \left\| \log(\mathbf{p}_k) - \log(s' \mathbf{p}_k') \right\|^2 \quad (15)$$

[0083] 式中, $\mathbf{p}_k = [x_k, y_k, z_k]^T$ 表示全景激光截面法测量结果, $\mathbf{p}_k' = [x_k', y_k', z_k']^T$ 表示 SFM 算法测量结果。

[0084] 纹理映射: 图 9 所示的是对无人机周边环境的建模过程; 在对周边环境中的某一空间点进行 3D 测量后, 随着无人机的飞行对周边环境中的下一个测量点进行 3D 测量; 然后将各个全景激光截面的 3D 测量结果进行拼接; 最后进行纹理映射, 实现周边环境的自动 3D 建模。

[0085] 另一种从本质矩阵 E 计算旋转矩阵 R 和 T 方法是: 首先, 利用本质矩阵 E 秩 2 的属性求出无人机飞行前后间的平移量 t, 如公式 (16) 所示;

$$[0086] \quad \mathbf{t} = \begin{cases} \begin{bmatrix} -\frac{e_{i2} Me_{k2} + e_{i3} Me_{k3}}{e_{i1}} & Me_{k2} & Me_{k3} \end{bmatrix}^T, j=1, k \neq j \\ \begin{bmatrix} Me_{k1} & -\frac{e_{i1} Me_{k1} + e_{i3} Me_{k3}}{e_{i2}} & Me_{k3} \end{bmatrix}^T, j=2, k \neq j \\ \begin{bmatrix} Me_{k1} & Me_{k2} & -\frac{e_{i1} Me_{k1} + e_{i2} Me_{k2}}{e_{i3}} \end{bmatrix}^T, j=3, k \neq j \end{cases} \quad (16)$$

[0087] 式中, e_{ij} 为本质矩阵 E 的元素, Me_{ij} 为 e_{ij} 的代数余子式;

[0088] 进而求得满足约束 $\|\mathbf{t}\|_2 = 1$ 的两个平移量 $t_1 = 1, t_2 = -1$, 其中,

$$[0089] \quad \mathbf{t} = \frac{\mathbf{t}}{\|\mathbf{t}\|_2} \quad (17)$$

[0090] 然后, 利用求解旋转矩阵方程组的方法求出无人机飞行前后间的旋转矩阵 R;

[0091] 将公式 (17) 代入到公式 (13) 计算旋转矩阵 R, 得到四组分解结果; 最后, 利用直接求取空间 3D 点成像深度的方法快速从四组分解结果中确定出满足空间 3D 点可见性约束的惟一正确解, 计算方法如公式 (18) 给出;

$$[0092] \quad \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{bmatrix} = -[\mathbf{K}^{-1} \mathbf{x} \quad -\mathbf{R}^T \mathbf{K}'^{-1} \hat{\mathbf{y}}]^T \mathbf{R}^T \mathbf{t} \quad (18)$$

[0093] 式中, $\mathbf{K}'^{-1}, \mathbf{K}^{-1}$ 分别为全方位视觉传感器的内外参数矩阵的逆矩阵, σ_1, σ_2 分别为相对应点在无人机飞行前后间的全景图像中的成像深度, 通过全景激光截面法测量得到; \mathbf{R}^T 为旋转矩阵 R 的转矩阵, t 为平移向量, $\mathbf{x}, \hat{\mathbf{y}}$ 分别为相对应点在无人机飞行前后间的全景图像中的成像部分。

[0094] 只要公式 (18) 中的 σ_1, σ_2 均满足大于零的约束, 则对应的 R, t 即为惟一正确解。

[0095] 对于无人机周边环境的 3D 建模, 本发明通过全景激光截面法对垂直于飞行器主体部分的中轴线的截面全景扫描面的 3D 测量结果进行拼接, 最后进行纹理映射, 实现无人机周边环境的自动 3D 建模; 三角格网是将空间中的离散点云用三角面片构建成物体表面的方法, 获取空间物点的点云数据的过程是处理每一帧的全景切片图像, 所得到的点云数据是规则排列的; 这里采用三角格网模型来进行三维重构, 并将全景图像中的纹理映射到

3D 模型中。

[0096] 进一步,利用全景激光截面法进行无人机的避障,对于无人机避障控制只是在无人机有垂直于 Z 轴方向运动时才激活;通过全景激光截面法获得以无人机为中心的周边全景图像,如图 13 所示;采用全方位避障策略对障碍物进行避障,该避障策略是直接根据主动式全景视觉传感器采集到的全景环境信息进行可行性方向评估,选择一个最优可行方向实现避障;以无人机为中心设置圆形活动窗口将无人机飞行方向均匀分为 360 个候选方向,定义无人机正对方向角为 α_0 ,右偏离角度方向为正,左偏离角度方向为负,绝对值大于 90° 情况表示无人机向后退。同时,进一步根据无人机中心与障碍物距离不同将每个扇面再分割为 6 层,其中最外层为影响层,即第 6 层,最内层是保护层,即第 1 层,如果障碍物进入该层并处在移动无人机前行方向时,激活反射式行为,直接后退或停止。

[0097] 当面激光扫描在障碍物上时,障碍物上的每一个激光点在全方位图像上的投影点都对应着全方位避障窗口极坐标系中的一个坐标 (R, α) 。从图 13 可以看出主动式全景视觉传感器检测到障碍物 A 的方位角位于 $\alpha_{33} \sim \alpha_{68}$,距离处在第 2 ~ 6 层之间;障碍物 B 方位角位于 $\alpha_{20} \sim \alpha_{52}$,距离处在第 3 ~ 5 层之间。在移动无人机飞行环境中,每个障碍物都会造成一个不可通过区域,通过障碍物的左右边界根据公式 (19) 可以求出由此障碍物造成的不可通过区域的左边界和右边界。障碍物的左右边界所在方向的角度用 α_{il} 和 α_{ir} 表示,障碍物左右边界处在层面用 l_{il} 和 l_{ir} 表示,考虑到移动无人机的自身宽度大小,取 $\eta = \angle POM$,用公式 (19) 计算不可通过区域的左右边界:

[0098]

$$\begin{cases} \alpha_{i,\min} = \alpha_{il} + l_{il} \times 5^\circ - \eta \\ \alpha_{i,\max} = \alpha_{ir} - l_{ir} \times 5^\circ + \eta \end{cases} \quad (19)$$

[0099] 综合各个障碍物造成的不可通过区域,由公式 (20) 可以得到无人机可飞行的候选方向集合,

$$[0100] \quad \alpha_i = \{ \alpha_i \mid \alpha_i < \alpha_{k,\min} \}_{k \in \Gamma} \cup \{ \alpha_i \mid \alpha_{k,\max} < \alpha_i < \alpha_{k+1,\min} \}_{k \in \Gamma} \cup \{ \alpha_i \mid \alpha_i > \alpha_{k+1,\max} \}_{k \in \Gamma} \quad (20)$$

[0101] 式中, Γ 为集合 $[\alpha_{180}, \alpha_{179}, \dots, \alpha_0, \dots, \alpha_{178}, \alpha_{179}]$, k 表示障碍物的编号。

[0102] 为了从无人机可飞行的候选方向集合 $\{\alpha_i\}$ 中找出移动无人机下一时刻的最佳方向,设计了对各候选方向的评估函数:

$$[0103] \quad g(\alpha_i) = \mu_1 \times \Delta(\alpha_i, k_g) + \mu_2 \times \Delta(\alpha_i, k_r) \quad (21)$$

[0104] 式中, α_i 表示待评估的方向。 $\Delta(\alpha_i, k_g)$ 表示 α_i 方向与目标方向的夹角, $\Delta(\alpha_i, k_r)$ 表示 α_i 方向和航向的夹角。 μ_1 和 μ_2 分别为目标方向和无人机航向的权值,由实验决定,在本发明中 μ_1 和 μ_2 分别设置为 0.8 和 0.2。计算每一个候选方向 α_i 的 $g(\alpha_i)$,选取最小值的方向为无人机控制的飞行方向。

[0105] 本发明的有益效果主要表现在:

[0106] 1) 提供了一种高性价比的、轻型的、能快速并高精度获得 360° 环境空间全景立体信息的主动式全景视觉传感器;

[0107] 2) 提供了一种新型无人机 3D 全景视觉装置;

[0108] 3) 提出了一种无人机快速避障方法;

[0109] 4) 提供了一种对未知环境的三维同步定位、全景 3D 测绘和 3D 建模方法,尤其适用于洞窟内等比较狭窄半封闭空间的 3D 建模。

附图说明

- [0110] 图 1 为一种全方位视觉传感器的结构图;
- [0111] 图 2 为凹面镜反射成像原理图;
- [0112] 图 3 为凹圆弧镜面的正视图;
- [0113] 图 4 为全景激光光源的结构图;
- [0114] 图 5 为一种主动式全景视觉传感器的结构图;
- [0115] 图 6 为主动式全景视觉传感器获取的激光投射全景图;
- [0116] 图 7 为一种四旋翼无人机;
- [0117] 图 8 为一种新型的无人机 3D 全景视觉装置;
- [0118] 图 9 为通过 SFM 算法确定无人机的运动轨迹及 3D 建模的流程图;
- [0119] 图 10 为主动式全景视觉传感器的运动估计处理流程图;
- [0120] 图 11 为全方位视觉传感器的成像原理图;
- [0121] 图 12 为无人机周边环境障碍物的空间点云计算说明;
- [0122] 图 13 为无人机避障原理说明图;
- [0123] 图 14 为新型的无人机 3D 全景视觉装置所获取的全景视频原始图像实例图;
- [0124] 图 15 全景视频图像的柱状展开图。

具体实施方式

[0125] 下面结合附图对本发明作进一步描述。

[0126] 实施例 1

[0127] 参照图 1 ~ 15,一种新型的无人机 3D 全景视觉装置主要包括飞行器主体部分、3D 全景视觉装置和飞行控制机地面站控制系统部分。3D 全景视觉装置固定安装在飞行器主体部分中部,3D 全景视觉装置的中轴线与飞行器主体部分的中轴线重叠,如图 8 所示。

[0128] 飞行器主体部分采用四旋翼飞行器的结构,如图 7 所示;考虑到机身自重、强度,机身采用全碳纤结构,由中心板、机臂和起落架组成。中心板成正四边形,四个机臂分布于中心板四边形的定点处。机身材料采用 2.0mm 厚度 3K 全碳板加工而成,配合航空铝合金管夹和碳纤管组合而成。在各个机臂末端安装电机与螺旋桨,电机采用机臂上安装有电子调速器,中心板上安装有飞行控制器及其附属设备。

[0129] 考虑到需要满足飞行器载重和续航时间的要求,选择的主要电子器件如下:1) 电机:盘式无刷电机,定子尺寸 48MM 幸 2MM,配合 1447 螺旋桨,单个电机全油门拉力为 2260 克,功率 355 瓦,力效 6.4 克每瓦。2) 电子调速器:持续工作电流 30 安,瞬间最大电流 45 安,持续 10 秒。3) 电池:6S 锂电池,电压 22.2V,最大放电倍率 20 ~ 25C,单体内阻 1.2 毫欧,重量 1400 克;在该配置下,无人机最大起飞重量 8 千克,巡航飞行的时间 15 分钟。

[0130] 3D 全景视觉装置主要包括主动式全景视觉传感器、嵌入式设备和电源。嵌入式设备中包括图像获取模块,无线图像传输模块,地面监视器等。主要功能是获取稳定,高清的场景航拍全景图像,并实时传输给地面监视器。

[0131] 主动式全景视觉传感器内置 WiFi 无线通信。它的特点是体积小、重量轻、直接拍摄全景,非常适合对重量较为敏感、航拍摄像面大的航拍应用。

[0132] 无线图像传输模块,定向天线和监视器,使得地面人员可以实时观察到飞行器飞行中图像获取的内容,以便于控制人员对飞行器做出相应的控制。图像传输设备工作频率为 1.2GHz,该频段的信号,跨越障碍的能力出色,与其他频段干扰少。

[0133] 无线数据通信模块保证了飞行器和地面控制系统之间的数据交换,同时定向天线可以进一步加强图像传输的信号,使得地面监视器不会出现信号干扰和中断的情况。

[0134] 3D 全景视觉装置主要包括无线通信单元、主动式全景视觉传感器和电源;本发明是让无人机携带 3D 全景视觉装置对周边环境进行视觉检测和建模。

[0135] 无人机负重能力与 3D 全景视觉装置的重量匹配的计算:无线通信单元,其重量 <10g,有效通信距离 5km;主动式全景视觉传感器,其重量 <200g,成像分辨率为 300 万像素;电源,其重量 50g;这三者重量的总和为 260g。

[0136] 主动式全景视觉传感器,其硬件包括:全方位视觉传感器、全景激光光源和 LED 带光源;全方位视觉传感器与全景激光光源进行同轴固定连接,LED 带光源环绕在全方位视觉传感器的下固定座上;为了满足轻量化和低成本设计要求,全方位视觉传感器与全景激光光源中的部件采用塑料模具压制生产。

[0137] 为了最大限度获取无人机周边环境高质量的全景图像,要求全方位视觉传感器的垂直视场尽可能大些,成像的全景图像更便于进行 3D 测量与 3D 建模;根据周边环境的 3D 测量及 3D 建模的要求,对全方位视觉传感器的折反射镜面的光学成像后的全景图像的测量数据能方便计算,垂直视场角度尽可能大,同时要尽可能减少畸变,并具有较高的检测精度。

[0138] 折反射镜面的垂直剖面设计为凹圆弧曲线,如图 2 所示,根据光学反射原理,得到以下几个公式;

$$[0139] \quad \alpha = \theta + r' - \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

$$[0140] \quad \delta = 2\theta + r' - \pi \quad (2)$$

$$[0141] \quad \theta = \arcsin\left(\frac{r}{R}\right) \quad (3)$$

$$[0142] \quad \delta = 2\arcsin\left(\frac{r}{R}\right) + r' - \pi \quad (4)$$

[0143] 式中,r 为入射光束的高度,r' 为入射光束的角度, δ 为反射光束的角度,R 为反射镜面的圆弧半径, α 为入射光束的入射角, θ 为反射镜面圆弧曲线的切线角。对于选定的固定焦距的摄像机,反射光束的角度 δ 只有在一个固定的范围内才能在成像芯片上成像;也就是说,入射光束的高度和角度只有满足一定条件才能在成像芯片上成像。

[0144] 全方位视觉传感器的折反射镜面是将凹圆弧的曲线环绕对称轴一周而形成的,如图 11 所示。这种设计便于塑料模具成型加工,全景成像的畸变小,水平成像范围为 360° ,垂直成像范围接近 90° ,并且成像清晰度与物点距离远近无关;这些特性非常适合于航拍视觉装置。

[0145] 主动式 3D 立体全景视觉传感器,如图 12 所示,将实际物理空间坐标系建立在全景

激光光源的轴心线与垂直于轴心线的全景激光的交点,坐标值分别用 X 、 Y 、 Z 表示;全景图像坐标系建立在全景图像的中心,坐标值分别用 u 、 v 表示;折反射镜面的坐标系建立在凹圆弧的中心,坐标值分别用 X' 、 Y' 表示。

[0146] 为了对空间环境及物体进行 3D 测量,需要对全方位视觉传感器进行标定,标定的目的是从成像平面上的点 $p(u', v')$ 上找出入射光束的高度 r 和入射光束的角度的 r' 对应关系,用公式 (5) 表示;

$$[0147] \quad r = f(p(u', v'))$$

$$[0148] \quad (5)$$

$$[0149] \quad r' = g(p(u', v'))$$

[0150] 式中, $p(u', v')$ 是全景成像平面上的一个点, r 为入射光束的高度, r' 为入射光束的角度, $f(\dots)$ 和 $g(\dots)$ 分别表示函数关系。

[0151] 全方位视觉传感器包括凹圆弧镜面 2、凹圆弧镜面盖 1、透光玻璃 3、固定螺钉 4、外罩 5 和摄像单元 7;如图 1 所示,凹圆弧镜面 2 的轴心线上开有一个螺纹孔;透光玻璃的中心开有一个小孔;外罩 5 由两个半圆柱型相合而成,半圆柱型上的雌雄扣 6 相配合。装配时首先将透光玻璃 3 嵌入到一个半圆柱型的外罩中,然后对准两半圆柱型的雌雄扣,并在其各自外壁上施加外力使其合成为一个固定了透光玻璃的外罩;外罩 5 下部开有一个摄像镜头孔;接着用固定螺钉穿过透光玻璃 3 的小孔与凹圆弧镜面 2 上的螺纹孔进行连接;摄像单元 7 的镜头固定在外罩摄像镜头孔中;凹圆弧镜面盖中心开有一个小孔 8。

[0152] 如图 4 所示,全景激光光源,包括圆锥形镜面 11、透明外罩 12、圆圈形激光发射器 13 和底座 14,圆圈形激光发射器 13 固定在底座 14 上,圆圈形激光发射器 13 的发射光轴心线与底座 14 轴心线一致,圆锥形镜面 11 固定在透明外罩 12 的一端,固定着圆圈形激光发射器 13 的底座 14 固定在透明外罩 12 的另一端;圆圈形激光发射器 13 发射出来的圆圈激光通过圆锥形镜面 11 的反射产生垂直于轴心线的全景激光;全景激光的颜色为红色;圆锥形镜面 11 的背面开有一个螺纹孔 15。

[0153] 全方位视觉传感器和全景激光光源的固定连接步骤是:螺钉穿过凹圆弧镜面盖 1 上的小孔 8 后对准圆锥形镜面 11 的背面的螺纹孔 15 并旋紧;然后将凹圆弧镜面盖 1 与凹圆弧镜面 2 进行搭扣连接;通过上述连接将全方位视觉传感器和全景激光光源装配成主动式全景视觉传感器,如图 5 所示。

[0154] 如图 12 所示,全景激光投射到空间物点 $P(x, y, z)$ 经全方位视觉传感器的凹圆弧镜面反射在成像平面上成像,得到带有全景激光信息的全景图像。根据标定结果,从全景图像上的点 $p(u', v')$ 获得该点光束高度 r 和角度 r' ;为了计算出空间物点 $P(x, y, z)$ 空间坐标值,这里将实际空间坐标系建立在全景激光投射面与对称轴的交点上,建立圆柱形坐标系;根据设计,凹圆弧镜面的圆弧中心 $O(B, -H)$,其中 B 为凹圆弧镜面的圆弧中心到圆柱形坐标系轴线的距离, H 为凹圆弧镜面的圆弧中心到全景激光投射面的垂直距离;根据几何关系用公式 (6) 计算空间物点到空间坐标系原点的距离 P_R ,

$$[0155] \quad P_R = [H - r + (B - \sqrt{R^2 - r^2}) \tan r'] \tan r' \quad (6)$$

[0156] 式中, H 为凹圆弧镜面的圆弧中心到全景激光投射面的垂直距离, B 为凹圆弧镜面的圆弧中心到圆柱形坐标系轴线的距离, r 为全景激光在空间物点的反射光束在凹圆弧镜

面的高度, r' 为全景激光在空间物点的反射光束的角度, R 为凹圆弧镜面的曲率半径, P_R 为空间物点到空间坐标系原点的距离。

[0157] 在实际航拍摄像测量过程中, 无人机携带着主动式全景视觉传感器飞行, 随着无人机的飞行, 全景激光光源为周边环境提供垂直于飞行器主体部分的中轴线的截面全景扫描光, 全方位视觉传感器获取全景激光扫描的切片图像, 如图 14 所示; 接着, 需要在全景激光扫描的切片图像上解析出激光投影位置信息。本发明将上述处理过程称为全景激光截面法;

[0158] 在全景激光截面法中采用对光照敏感程度较小的 HSI 颜色模型进行激光投射点的检测; 主动全景投影激光提取算法如下:

[0159] Step1: 获取具有激光信息的全方位图像;

[0160] Step2: 遍历图像上每一个像素点的 r, g, b 颜色信息;

[0161] Step3: 将每一个点的 r, g, b 颜色信息转换成 HSI 颜色模型;

[0162] Step4: 根据每一个像素点的 I 分量, 获取全方位图像的总亮度, 进而求出全方位图像的平均亮度;

[0163] Step5: 以平均亮度的 1.5 倍作为激光提取的亮度阈值 T , 根据每个像素点的 I 值的范围 $I > T$ 作为激光提取的亮度约束条件;

[0164] Step6: 根据每个像素点的 H 值的范围 $0 < H < 60$ 且 $350 < H < 360$ 作为激光提取的色度约束条件;

[0165] Step7: 根据每个像素点的 S 值的范围 $0 < S < 40$ 作为激光提取的饱和度约束条件;

[0166] Step8: 当激光点同时满足 Step5、Step6 和 Step7 三个约束条件时, 提取出该激光点, 当不满足任一约束条件时, 则舍去; 同时遍历下一个像素点; 若一幅图像全部遍历完成, 则转到 Step1, 获取下一幅航拍全景图像继续解析激光投射点。

[0167] 进一步, 针对全景图像的成像特点, 对得到的周边环境全景图采用环形遍历的方式, 如图 6 所示, 以全景图像的中心位置为圆心, 以相等的间隔角度以方位角 β 从 $0^\circ \rightarrow 360^\circ$ 进行遍历, 根据公式 (6) 计算得到用圆柱形坐标系表示的周边环境实际空间点云几何数据; 用公式 (7) 将用圆柱形坐标系表示的周边环境及物体内部实际空间点云几何数据转化为用笛卡尔坐标系表示的周边环境及物体内部实际空间点云几何数据 $P(x, y, z)$;

$$[0168] \quad \begin{cases} x = P_R \times \sin \beta \\ y = P_R \times \cos \beta \\ z = 0 \end{cases} \quad (7)$$

[0169] 式中, P_R 为空间物点到坐标系原点的距离, β 为方位角;

[0170] 为了对无人机周边环境进行 3D 建模, 需要对携带着 3D 全景视觉装置的无人机的运动进行估计; 这里将检测坐标系建立在全景激光投射面与对称轴的交点上, 使用 SFM 算法, 即运动的结构重建算法, 对无人机的运动进行估计, 得到测量点坐标变换的信息。

[0171] 具体无人机周边环境 3D 建模过程如下: 首先, 全方位视觉传感器获得其运动过程中的全方向图像序列; 然后利用 SFM 算法提取和跟踪特征点, 以获得全方向图像序列中的相对对应点; 接着用线性估计方法估计无人机的运动, 主要利用对应点在每个观测点拍摄的

两个图像的位置；最后为了更精确地估计无人机的运动，用非线性估计方法重新估算无人机的运动。

[0172] 特征点的提取和跟踪：为了在全方位图像序列中获得图像之间的对应点，首先在第一帧图像中提取特征点，然后沿着图像序列跟踪这些特征点；跟踪特征点采用 SIFT 算法，即尺度不变特征变换算法；然而，实际上全方位图像的畸变和投影畸变会影响对应特征点采集和跟踪；这是因为现有的 SIFT 算法是一种全局的算法，全景视觉在全局范围内难以保证尺度不变特征变换条件，从而导致了误跟踪；为了提高 SIFT 算法的跟踪精度，这里根据无人机在空间飞行的运动特征，将对应特征点采集和跟踪规定在一个局部范围内，即通过划分跟踪扇区方法；该方法是基于在全方位图像序列中的两帧之间相对应点的空间位置是不会发生突变的假设，无人机在飞行过程中，相对应点是在某一个扇区范围内飞行的；有了扇区约束条件来提高 SIFT 算法的跟踪精度；具体实现方法是：在第 N 帧图像中提取特征点，然后在第 N+1 帧图像中的同一扇区内跟踪同一特征点。

[0173] 无人机的运动估计：为了估计无人机的运动，这里计算两个观测点，即两个不同位置的检测坐标系之间的相对位置和方位的差异信息的基本矩阵；本质矩阵 E 用公式 (8) 表示；

$$[0174] \quad \mathbf{r}_i^T \mathbf{E} \mathbf{r}_i = 0 \quad (8)$$

[0175] 其中， $\mathbf{r}_i = [x_i, y_i, z_i]^T$ ， $\mathbf{r}_i' = [x'_i, y'_i, z'_i]$ 分别为两个全景图像中对应点的光线向量，将公式 (8) 转化成公式 (9)；

$$[0176] \quad \mathbf{u}_i^T \mathbf{e} = 0 \quad (9)$$

[0177] 其中，

$$[0178] \quad \mathbf{u}_i = [x_i x'_i, y_i x'_i, z_i x'_i, x_i y'_i, y_i y'_i, z_i y'_i, x_i z'_i, y_i z'_i, z_i z'_i]^T \quad (10)$$

$$[0179] \quad \mathbf{e} = [e_{11}, e_{12}, e_{13}, e_{21}, e_{22}, e_{23}, e_{31}, e_{32}, e_{33}]^T \quad (11)$$

[0180] 式中， $x_i x'_i, y_i x'_i, z_i x'_i, x_i y'_i, y_i y'_i, z_i y'_i, x_i z'_i, y_i z'_i, z_i z'_i$ 分别表示两个全景图像中对应点的光线向量 \mathbf{r}_i 和 \mathbf{r}_i' 分量之间的乘积，式中， $e_{11}, e_{12}, e_{13}, e_{21}, e_{22}, e_{23}, e_{31}, e_{32}, e_{33}$ 分别是矩阵 e 的元素。

[0181] 通过对 8 组相应的光线向量 r 求解联立方程获得本质矩阵 E，计算方法用公式 (12) 表示；

$$[0182] \quad \min_{\mathbf{e}} \|\mathbf{Ue}\|^2 \quad (12)$$

[0183] 其中， $\mathbf{U} = [u_1, u_2, \dots, u_n]^T$ ，本质矩阵 E 是以 $\mathbf{U}^T \mathbf{U}$ 的最小特征值的特征向量 e 进行计算获得的；

[0184] 从本质矩阵 E 计算旋转矩阵 R 和平移向量 t，由公式 (13) 所示，本质矩阵 E 由旋转矩阵 R 和平移向量 $\mathbf{t} = [t_x, t_y, t_z]^T$ ，表示；

$$[0185] \quad \mathbf{E} = \mathbf{R} \mathbf{T} \quad (13)$$

[0186] 这里 T 用下面矩阵表示。

$$[0187] \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

[0188] 从本质矩阵 E 计算旋转矩阵 R 和 T 一种方法是采用奇异值方法,即 SVD 方法,该方法属于数值运算方法;但是这种分解方法分解出的四组解间的几何意义并不直观,难以保证分解结果是惟一正确解,而且实时性欠佳;因此,还需要对无人机的运动进行再估计和尺度匹配方法处理。

[0189] 无人机的运动再估计:用 SVD 方法从本质矩阵 E 来估计旋转矩阵 R 和平移向量 T 未必能得到良好的结果,这是因为在 SVD 方法中没有考虑图像中的各种错误。因此,需要重新估计无人机运动中所获取全景图像内的每个特征点的测量误差;这里使用光束平差法对无人机的运动进行重新估计;该方法的思想是将特征重投影误差总和最小化。

[0190] 尺度匹配方法:由于 SFM 算法中仅仅是对输入的全景图像进行处理,并不包含任何尺度的信息;因此,通过 SFM 算法还不能确定 2 个观测点之间的距离 $|t|$;然而,在全景激光截面法处理结果中包括了尺度坐标信息;因此,通过融合这两种处理的结果来实现尺度匹配。

[0191] 首先,通过全景激光截面法测量一个空间物点的三维坐标;然后,用 SFM 算法测量同一点的三维坐标;最后,通过尽可能接近的三维坐标同一点来实现尺度匹配;

[0192] 当同一点远离观察点时,用两种不同算法,即 SFM 算法和全景激光截面法,对同一点进行处理所得到的坐标值之间的最小偏差更为敏感;基于此,这里采用最小偏差坐标值之间的距离来计算尺度 s' ,如公式 (15) 所示;

$$[0193] \quad \min \sum_{k=1}^m \left\| \log(\mathbf{p}_k) - \log(s' \mathbf{p}_k') \right\|^2 \quad (15)$$

[0194] 式中, $\mathbf{p}_k = [x_k, y_k, z_k]^T$ 表示全景激光截面法测量结果, $\mathbf{p}_k' = [x_k', y_k', z_k']^T$ 表示 SFM 算法测量结果。

[0195] 纹理映射:图 9 所示的是对无人机周边环境的建模过程;在对周边环境中的某一空间点进行 3D 测量后,随着无人机的飞行对周边环境中的下一个测量点进行 3D 测量;然后将各个全景激光截面的 3D 测量结果进行拼接;最后进行纹理映射,实现周边环境的自动 3D 建模。

[0196] 对于无人机周边环境的 3D 建模,本发明通过全景激光截面法对垂直于飞行器主体部分的中轴线的截面全景扫描面的 3D 测量结果进行拼接,最后进行纹理映射,实现无人机周边环境的自动 3D 建模;三角格网是将空间中的离散点云用三角面片构建成物体表面的方法,获取空间物点的点云数据的过程是处理每一帧的全景切片图像,所得到的点云数据是规则排列的;这里采用三角格网模型来进行三维重构,并将全景图像中的纹理映射到 3D 模型中。

[0197] 进一步,利用全景激光截面法进行无人机的避障,对于无人机避障控制只是在无人机有垂直于 Z 轴方向运动时才激活;通过全景激光截面法获得以无人机为中心的周边全景图像,如图 13 所示;采用全方位避障策略对障碍物进行避障,该避障策略是直接根据主动式全景视觉传感器采集到的全景环境信息进行可行性方向评估,选择一个最优可行方向实现避障;以无人机为中心设置圆形活动窗口将无人机飞行方向均匀分为 360 个候选方向,定义无人机正对方向角为 α_0 ,右偏离角度方向为正,左偏离角度方向为负,绝对值大于 90° 情况表示无人机向后退。同时,进一步根据无人机中心与障碍物距离不同将每个扇面再分割为 6 层,其中最外层为影响层,即第 6 层,最内层是保护层,即第 1 层,如果障碍物进

入该层并处在移动无人机前行方向时,激活反射式行为,直接后退或停止。

[0198] 当面激光扫描在障碍物上时,障碍物上的每一个激光点在全方位图像上的投影点都对应着全方位避障窗口极坐标系中的一个坐标 (R, α) 。从图 13 可以看出主动式全景视觉传感器检测到障碍物 A 的方位角位于 $\alpha_{33} \sim \alpha_{68}$, 距离处在第 2 ~ 6 层之间; 障碍物 B 方位角位于 $\alpha_{20} \sim \alpha_{52}$, 距离处在第 3 ~ 5 层之间。在移动无人机飞行环境中, 每个障碍物都会造成一个不可通过区域, 通过障碍物的左右边界根据公式 (19) 可以求出由此障碍物造成的不可通过区域的左边界和右边界。障碍物的左右边界所在方向的角度用 α_{il} 和 α_{ir} 表示, 障碍物左右边界处在层面用 l_{il} 和 l_{ir} 表示, 考虑到移动无人机的自身宽度大小, 取 $\eta = \angle POM$, 用公式 (19) 计算不可通过区域的左右边界:

[0199]

$$\begin{cases} \alpha_{i,\min} = \alpha_{il} + l_{il} \times 5^\circ - \eta \\ \alpha_{i,\max} = \alpha_{ir} - l_{ir} \times 5^\circ + \eta \end{cases} \quad (19)$$

[0200] 综合各个障碍物造成的不可通过区域, 由公式 (20) 可以得到无人机可飞行的候选方向集合,

$$[0201] \quad \alpha_i = \left\{ \alpha_i \mid \alpha_i < \alpha_{k,\min} \right\} \cup \left\{ \alpha_i \mid \alpha_{k,\max} < \alpha_i < \alpha_{k+1,\min} \right\} \cup \left\{ \alpha_i \mid \alpha_i > \alpha_{k+1,\max} \right\} \quad (20)$$

[0202] 式中, Γ 为集合 $[\alpha_{180}, \alpha_{179}, \dots, \alpha_0, \dots, \alpha_{178}, \alpha_{179}]$, k 表示障碍物的编号。

[0203] 为了从无人机可飞行的候选方向集合 $\{\alpha_i\}$ 中找出移动无人机下一时刻的最佳方向, 设计了对各候选方向的评估函数:

$$[0204] \quad g(\alpha_i) = \mu_1 \times \Delta(\alpha_i, k_g) + \mu_2 \times \Delta(\alpha_i, k_r) \quad (21)$$

[0205] 式中, α_i 表示待评估的方向。 $\Delta(\alpha_i, k_g)$ 表示 α_i 方向与目标方向的夹角, $\Delta(\alpha_i, k_r)$ 表示 α_i 方向和航向的夹角。 μ_1 和 μ_2 分别为目标方向和无人机航向的权值, 由实验决定, 在本发明中 μ_1 和 μ_2 分别设置为 0.8 和 0.2。计算每一个候选方向 α_i 的 $g(\alpha_i)$, 选取最小值的方向为无人机控制的飞行方向。

[0206] 实施例 2

[0207] 其余与实施例 1 相同, 所不同的是从本质矩阵 E 计算旋转矩阵 R 和 T 方法; 该方法是: 首先, 利用本质矩阵 E 秩 2 的属性求出无人机飞行前后间的平移量 t , 如公式 (16) 所示;

$$[0208] \quad \mathbf{t} = \begin{cases} \begin{bmatrix} -\frac{e_{i2}Me_{k2} + e_{i3}Me_{k3}}{e_{i1}} & Me_{k2} & Me_{k3} \\ Me_{k1} & -\frac{e_{i1}Me_{k1} + e_{i3}Me_{k3}}{e_{i2}} & Me_{k3} \\ Me_{k1} & Me_{k2} & -\frac{e_{i1}Me_{k1} + e_{i2}Me_{k2}}{e_{i3}} \end{bmatrix}^T, j=1, k \neq j \\ \begin{bmatrix} -\frac{e_{i2}Me_{k2} + e_{i3}Me_{k3}}{e_{i1}} & Me_{k2} & Me_{k3} \\ Me_{k1} & -\frac{e_{i1}Me_{k1} + e_{i3}Me_{k3}}{e_{i2}} & Me_{k3} \\ Me_{k1} & Me_{k2} & -\frac{e_{i1}Me_{k1} + e_{i2}Me_{k2}}{e_{i3}} \end{bmatrix}^T, j=2, k \neq j \\ \begin{bmatrix} -\frac{e_{i2}Me_{k2} + e_{i3}Me_{k3}}{e_{i1}} & Me_{k2} & Me_{k3} \\ Me_{k1} & -\frac{e_{i1}Me_{k1} + e_{i3}Me_{k3}}{e_{i2}} & Me_{k3} \\ Me_{k1} & Me_{k2} & -\frac{e_{i1}Me_{k1} + e_{i2}Me_{k2}}{e_{i3}} \end{bmatrix}^T, j=3, k \neq j \end{cases} \quad (16)$$

[0209] 式中, e_{ij} 为本质矩阵 E 的元素, Me_{ij} 为 e_{ij} 的代数余子式;

[0210] 进而求得满足约束 $\|\mathbf{t}\|_2 = 1$ 的两个平移量 $t_1 = 1, t_2 = -1$, 其中,

$$[0211] \quad \mathbf{t} = \frac{\mathbf{t}}{\|\mathbf{t}\|_2} \quad (17)$$

[0212] 然后,利用求解旋转矩阵方程组的方法求出无人机飞行前后间的旋转矩阵 R ;

[0213] 将公式 (17) 代入到公式 (13) 计算旋转矩阵 R,得到四组分解结果 ;最后,利用直接求取空间 3D 点成像深度的方法快速从四组分解结果中确定出满足空间 3D 点可见性约束的惟一正确解,计算方法如公式 (18) 给出 ;

$$[0214] \quad \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{bmatrix} = -[\mathbf{K}^{-1}\mathbf{x} \quad -\mathbf{R}^T\mathbf{K}'^{-1}\hat{\mathbf{y}}]^T\mathbf{R}^T\mathbf{t} \quad (18)$$

[0215] 式中, \mathbf{K}'^{-1} 、 \mathbf{K}^{-1} 分别为全方位视觉传感器的内外参数矩阵的逆矩阵, σ_1 、 σ_2 分别为相对对应点在无人机飞行前后间的全景图像中的成像深度,通过全景激光截面法测量得到 ; \mathbf{R}^T 为旋转矩阵 R 的转矩阵, \mathbf{t} 为平移向量, \mathbf{x} 、 $\hat{\mathbf{y}}$ 分别为相对对应点在无人机飞行前后间的全景图像中的成像部分。

[0216] 只要公式 (18) 中的 σ_1 、 σ_2 均满足大于零的约束,则对应的 R,t 即为惟一正确解。

[0217] 实施例 3

[0218] 其余与实施例 1 相同,所不同的是直接从检测到无人机的运动轨迹进行空间环境的 3D 重构 ;如果在无人机上配置了 GPS 定位装置和高度传感器,那么就能从传感器直接获得无人机观测点的空间位置信息,无人机周边环境 3D 建模过程就不必进行无人机运动估计步骤,而直接利用测量点的全景点云数据和全景图像数据,并融合 GPS 定位装置和高度传感器的无人机空间位置信息进行 3D 建模。

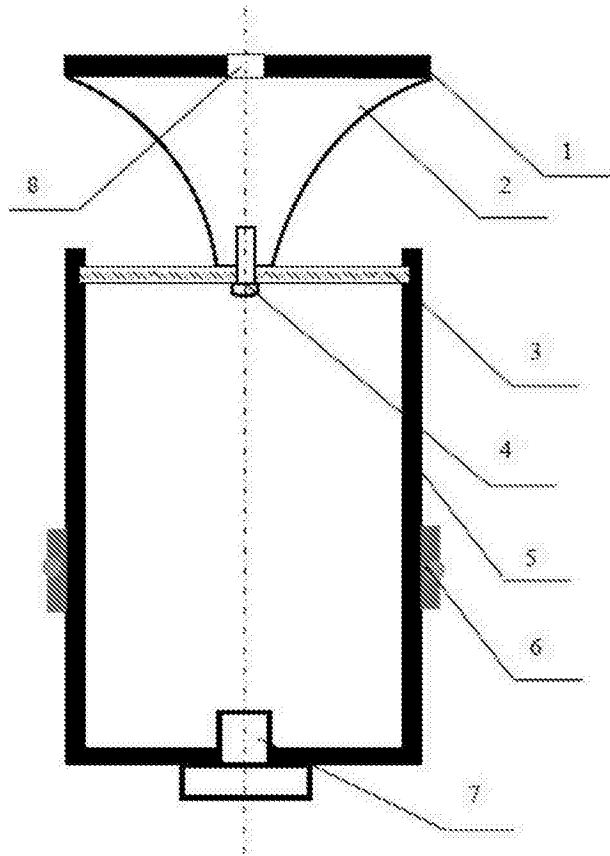


图 1

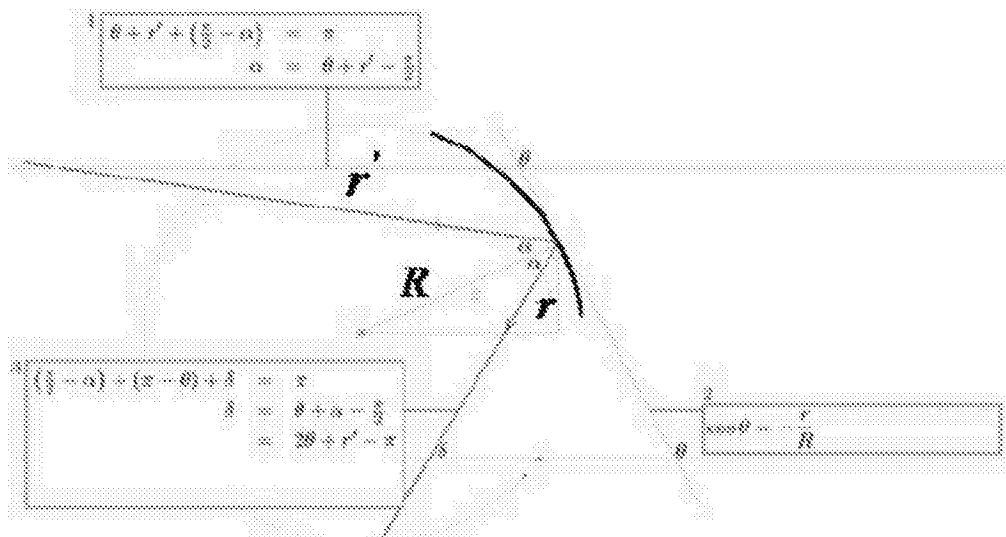


图 2

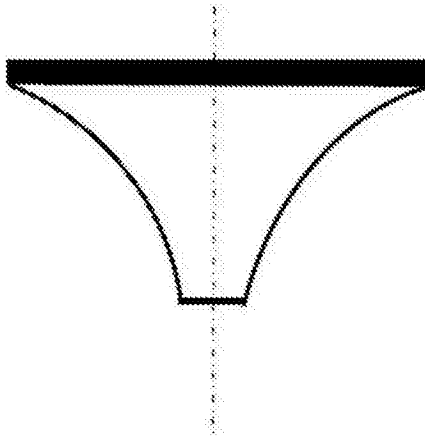


图 3

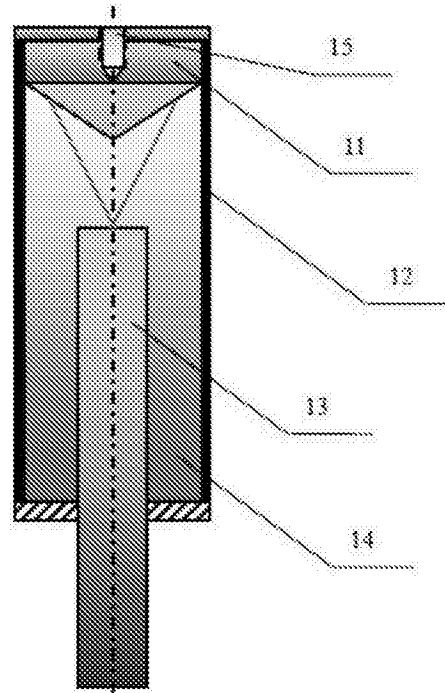


图 4

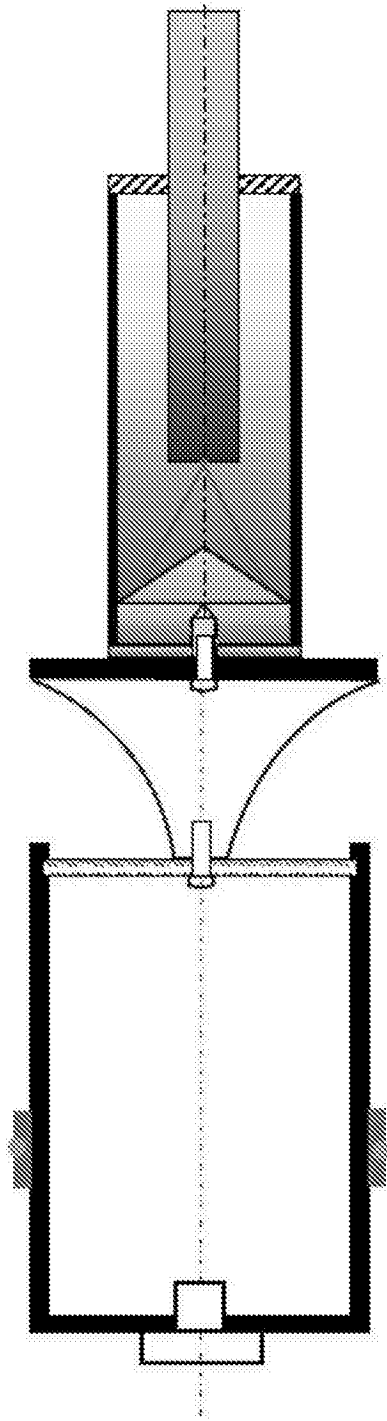


图 5

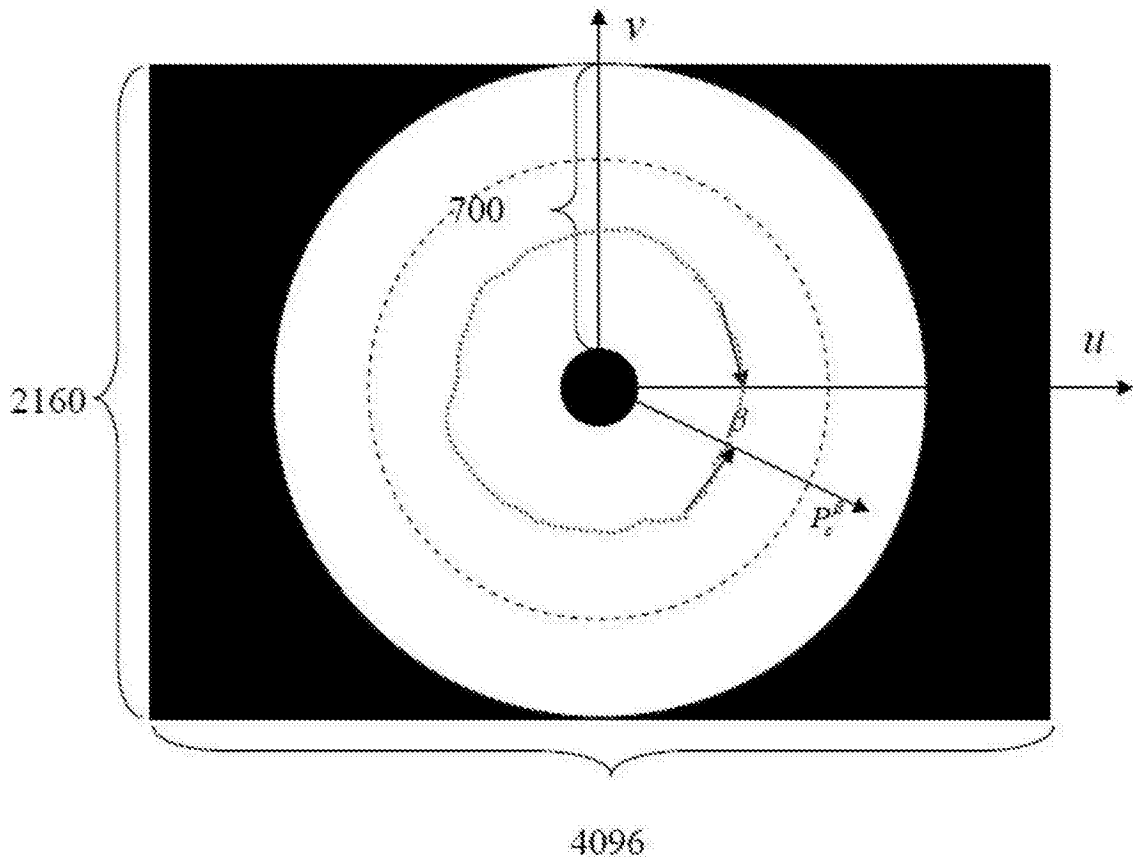


图 6

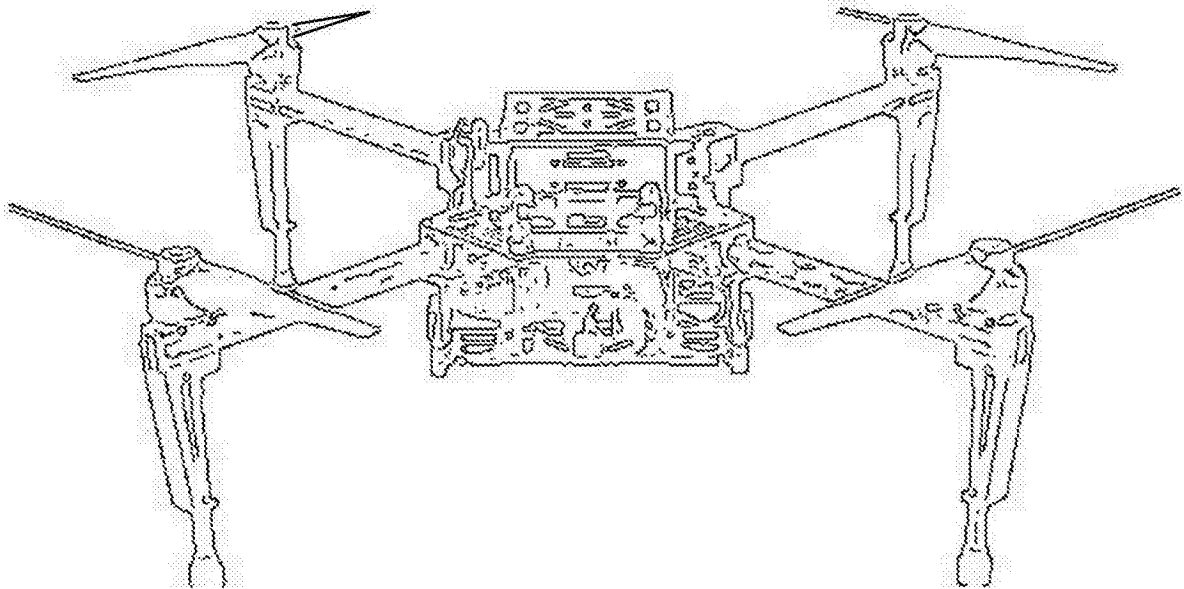


图 7

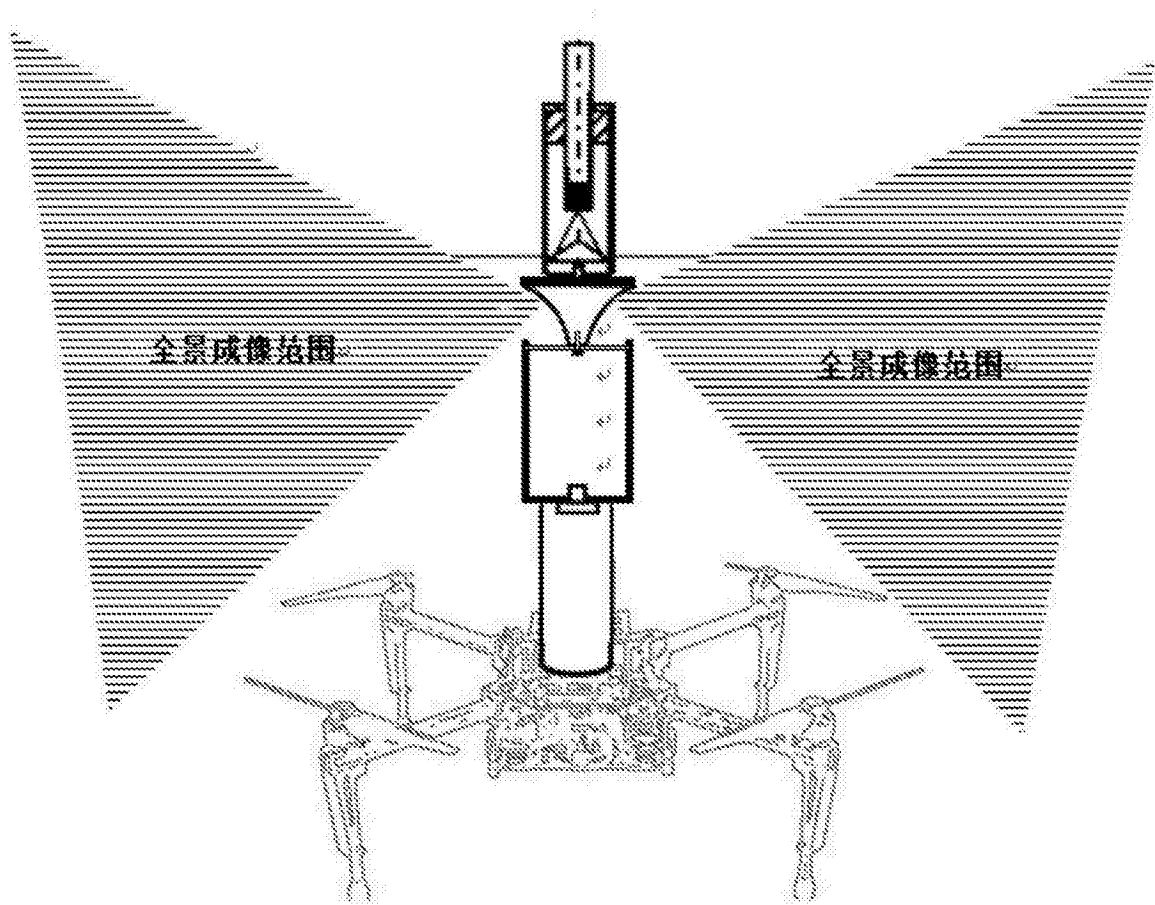


图 8

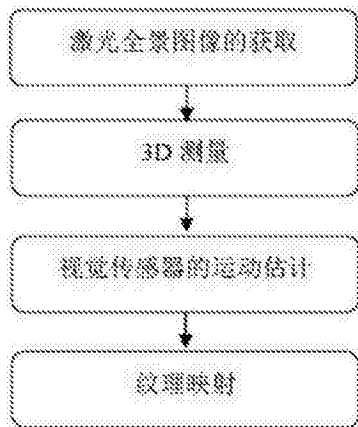


图 9

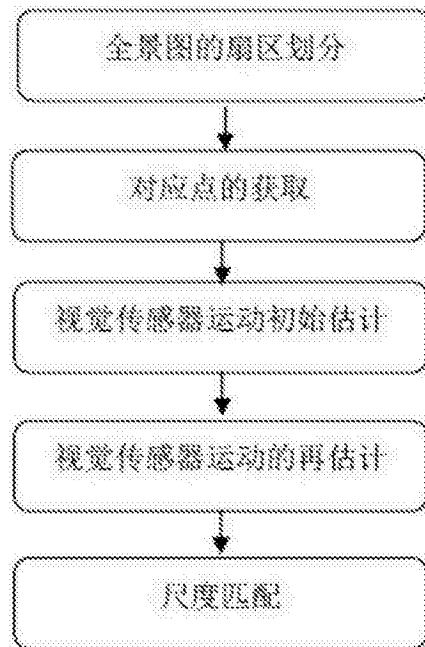


图 10

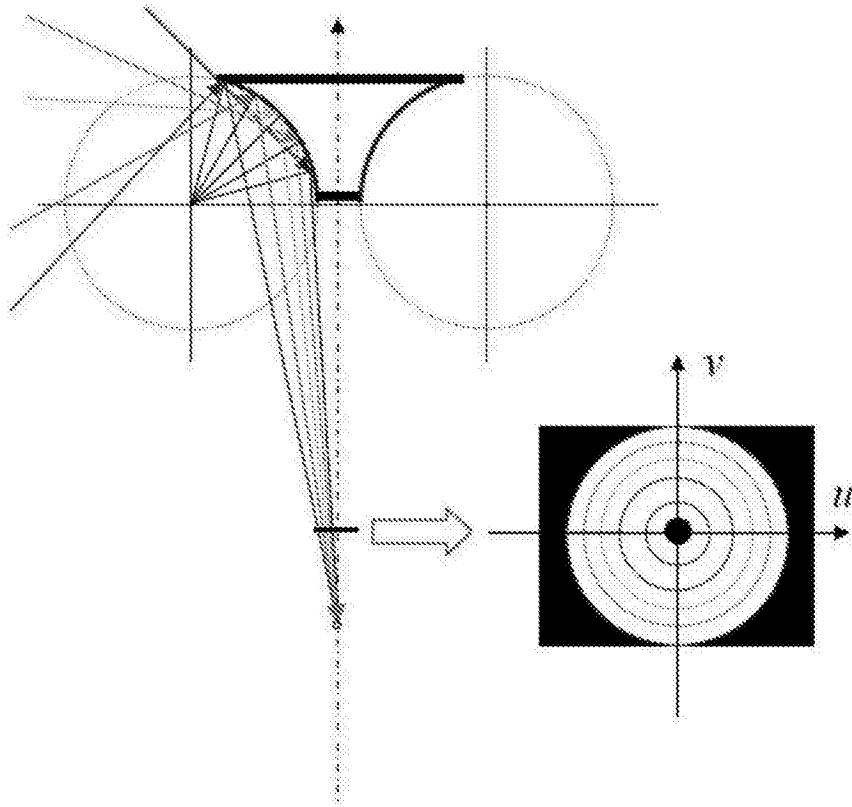


图 11

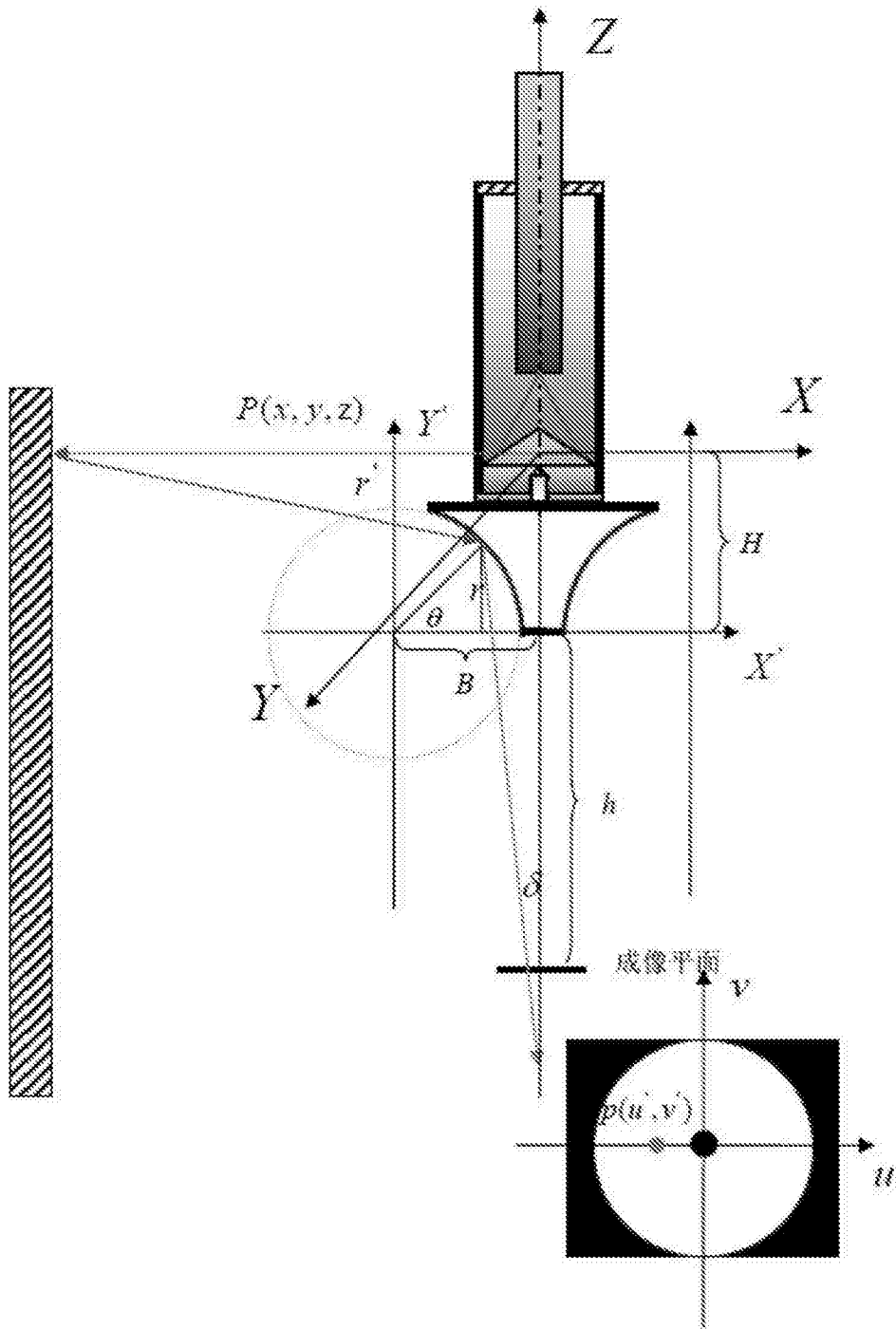


图 12

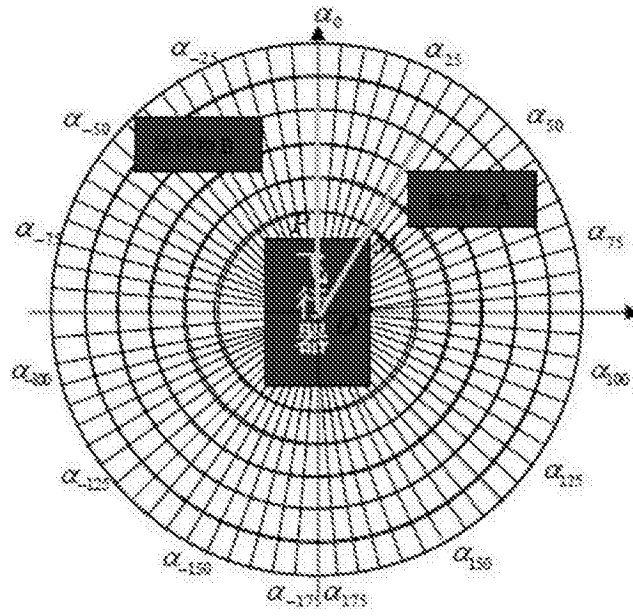


图 13

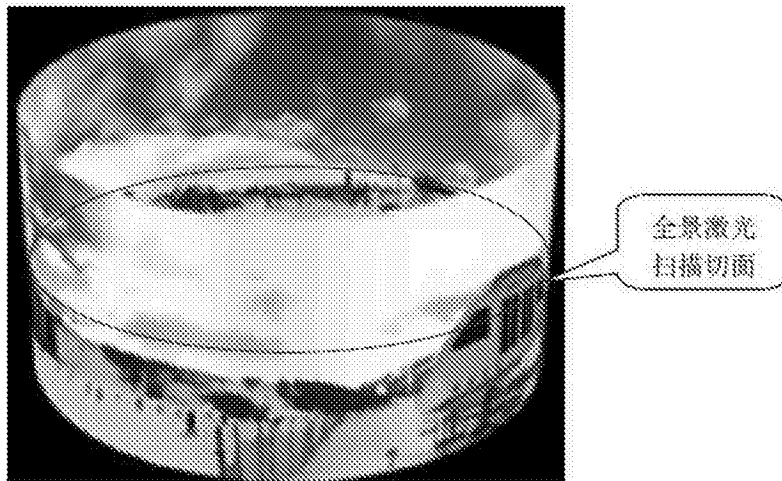


图 14



图 15