



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112750205 A

(43)申请公布日 2021.05.04

(21)申请号 201911046410.9

G01C 21/16(2006.01)

(22)申请日 2019.10.30

(71)申请人 南京深视光点科技有限公司

地址 211000 江苏省南京市浦口区江浦街  
道仁山路1号园区2号楼办公室东侧  
R203室

(72)发明人 萧淳泽

(74)专利代理机构 北京华夏正合知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11017

代理人 韩登营

(51)Int.Cl.

G06T 19/00(2011.01)

G06T 7/70(2017.01)

G06T 7/593(2017.01)

G06T 7/20(2017.01)

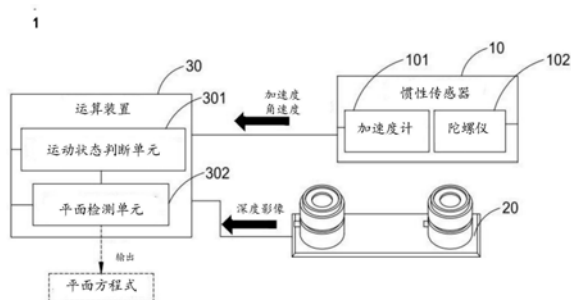
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

## (54)发明名称

平面动态检测系统及检测方法

## (57)摘要

本发明提供了一种平面动态检测系统及检测方法,一惯性传感器可持续取得一惯性数据,一深度摄像机可于一观视范围内持续取得实体物件(例如平面或地面)的一深度影像,而一运算装置经组态可持续判断惯性传感器所取得的加速度及角速度是否超出一阈值,以判断惯性传感器本身或其所搭载装置的运动状态,其中,运算装置可依据加速度、深度影像坐标、深度值及内参矩阵,初始化或持续更新惯性传感器于稳定状态时,实体物件于摄像机坐标系中的一平面方程式,也可透过VIO演算法取得深度摄像机的位姿信息,以持续修正惯性传感器于快速移动时的平面方程式。



1. 一种平面动态检测系统,其特征在于,包含:

一惯性传感器,其包含一加速度计及一陀螺仪;

一深度摄像机,供以持续获取一深度影像,以持续输入该深度摄像机于一观视范围内对于一或多个实体物件的一深度影像坐标及一深度值;

一运算装置,其与所述惯性传感器及所述深度摄像机分别耦接,所述运算装置具有一运动状态判断单元及一平面检测单元,所述运动状态判断单元及所述平面检测单元通讯连接,所述运动状态判断单元供以持续判断所述惯性传感器所取得的一加速度信息及一角速度信息是否超出一阈值;

若未超出该阈值,所述平面检测单元被组态为依据所述加速度信息、所述深度影像坐标、所述深度值及一内部参数矩阵计算出一法向量及一距离常数,并以所述法向量及该距离常数,初始化或持续更新所述惯性传感器于稳定状态时,所述实体物件于一摄像机坐标系中的一平面方程式;以及

若已超出该阈值,所述平面检测单元被组态为依据所述加速度信息的一重力加速度,执行一视觉惯性里程计演算法,以求得所述深度摄像机的一位姿信息,并基于所述位姿信息的一旋转矩阵及一位移信息,持续修正该惯性传感器于快速移动时的所述平面方程式。

2. 如权利要求1所述的平面动态检测系统,其特征在于,所述平面检测单元也被组态为对所述深度影像坐标与所述深度值执行一内积运算,而持续生成所述实体物件于一影像坐标系的一三维坐标,并以该三维坐标、所述内部参数矩阵与所述加速度信息演算该平面方程式。

3. 如权利要求1或2所述的平面动态检测系统,其特征在于,所述运算装置也供以对所述法向量执行一迭代最佳化演算法或一高斯牛顿演算法求得一最佳法向量,并以所述最佳法向量取代所述法向量而演算出所述平面方程式。

4. 如权利要求1或2所述的平面动态检测系统,其特征在于,还包括一彩色摄像机,其分别耦接于所述深度摄像机及该运算装置,供以持续获取所述实体物件的一彩色影像,以供运算装置确立所述实体物件的所述深度影像坐标及一彩色影像坐标之间的对应关系。

5. 一种平面动态检测方法,其特征在于,包含:

一获取影像步骤:一深度摄像机持续获取一深度影像,以持续输入所述深度摄像机于一观视范围内对于一或多个实体物件的一深度影像坐标及一深度值;

一检测惯性数据步骤:一惯性传感器持续取得一加速度信息及一角速度信息;

一判断运动状态步骤:一运算装置持续判断所述惯性传感器所取得的所述加速度信息及所述角速度信息是否超出一阈值,以判断所述惯性传感器的运动状态;

一第一更新平面方程式步骤:若未超出所述阈值,所述运算装置依据该加速度信息、所述深度影像坐标、所述深度值及一内部参数矩阵计算出一法向量及一距离常数,并以所述法向量及该距离常数,初始化或持续更新所述惯性传感器于稳定状态时,所述实体物件于一摄像机坐标系中的一平面方程式;以及

一第二更新平面方程式步骤:若已超出所述阈值,所述运算装置依据所述加速度信息的一重力加速度,执行一视觉惯性里程计演算法,以求得所述深度摄像机的一位姿信息,并基于所述位姿信息的一旋转矩阵及一位移信息,持续修正所述惯性传感器于快速移动时的所述平面方程式。

6. 如权利要求5所述的平面动态检测方法,其特征在于,还包括执行于所述判断运动状态步骤之前的一取得三维坐标步骤:所述运算装置对该实体物件的所述深度影像坐标与所述深度值执行一内积运算,以持续生成所述实体物件于一影像坐标系的一三维坐标,以于所述第一更新平面方程式步骤或所述第二更新平面方程式步骤执行时,以所述三维坐标、所述内部参数矩阵与所述加速度信息演算所述法向量及所述距离常数。

7. 如权利要求5或6所述的平面动态检测方法,其特征在于,所述第一更新平面方程式步骤执行时,所述运算装置也对该法向量执行一迭代最佳化演算法或一高斯牛顿演算法,以求得一最佳法向量,并以所述最佳法向量取代该法向量而演算出所述平面方程式。

8. 如权利要求5或6所述的平面动态检测方法,其特征在于,所述获取影像步骤执行时,还包括一彩色摄像机持续所述实体物件的一彩色影像,以持续输入所述彩色摄像机对于所述实体物件的一彩色影像坐标。

## 平面动态检测系统及检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及计算机视觉技术,尤指一种可参考深度影像、彩色影像及惯性数据,以达成准确检测平面及动态更新平面于三维空间中的相对位置的「平面动态检测系统及检测方法」。

### 背景技术

[0002] 为了于需要3D信息的应用(例如AR/VR服务)提供更为真实的互动效果,检测现实中的平面即相当关键,若以检测属于地面的平面为目标,则检测地面的方法可以为:(a)假设地面为最大的平面并利用RANSAC(Random Sample Consensus,随机取样)演算法,或是利用Hough Transform(霍夫转换)演算法找到三维空间中最大的平面,并定义其为地面;(b)假设地面在影像中各扫描线(scan line)上的Z值为最大,并于修正摄像机姿态(roll rotation)后以影像中Z值最大且符合C曲线(fit curve C)的像素集合,定义其为地面。

[0003] 然而在许多情况下,前述(a)方法所假设的最大平面往往并非地面(例如影像中的最大平面可能为走廊的墙面),而可能发生RANSAC或HoughTransform演算法判断错误的情形,并且,RANSAC演算法具备正确资料(inliers)至少需要占50%以上的限制,HoughTransform演算法也相当耗时;前述(b)方法也可能发生影像中Z值最大且符合C曲线的像素集合,其并非是地面的情形。

[0004] 再者,无论利用何种方法检测影像中的平面,在深度传感器(如深度摄影机)获取深度影像后,依照点云库(Point Cloud Library,PCL)的常规熟知作法,皆需将深度传感器取得的每个像素(pixel),先后与一摄像机投影反矩阵(inverse camera matrix)及一深度值作矩阵乘法运算,以转换成点云(Point Cloud)坐标系中的多个三维坐标,即如本项关系

式所示:  $\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = ZK^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$ , 其中,  $\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$  为点云坐标系中的三维坐标,Z为深度值, $K^{-1}$ 为摄像

机投影反矩阵,而K通常为一内部参数(内部参数为深度传感器的固有性质参数,主要有关

于摄像机坐标与影像坐标间的转换关系),  $\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$  为深度影像于中每个像素的影像坐标(其处

于影像坐标系);其后,再令此些三维坐标的特征点集合以点云的型态呈现,接着,再以前述(a)或(b)等方法检测点云影像中的平面,但前述对每个像素均作矩阵乘法的方式,计算量相当庞大而有不佳的计算效能。

[0005] 综上可知,常规熟知检测三维空间中平面的作法,针对不同的平面类型(例如地面、墙面等平面),须先作强烈假设而可能有平面类型误判的问题,同时也有计算效能不佳的缺点,依此,如何提出一种可更准确检测平面、更节省计算资源的「平面检测系统及检测方法」,乃有待解决的问题。

## 发明内容

[0006] 为达上述目的,本发明提出一种平面动态检测系统,包含:一惯性传感器、一深度摄像机及一运算装置,其中,惯性传感器包含一加速度计及一陀螺仪;深度摄像机可持续获取一深度影像,以持续输入深度摄像机于一观视范围内对于一或多个实体物件的一深度影像坐标及一深度值;运算装置分别耦接于惯性传感器及深度摄像机,运算装置具有一运动状态判断单元及一平面检测单元,运动状态判断单元供以持续判断惯性传感器所取得的一加速度信息及一角速度信息是否超出一阈值,并且,若未超出阈值,平面检测单元可依据加速度信息、深度影像坐标、深度值及一内部参数矩阵计算出一法向量及一距离常数,并以法向量及距离常数,初始化或持续更新惯性传感器于稳定状态时,实体物件于一摄像机坐标系中的一平面方程式;反之,若已超出阈值,平面检测单元可依据加速度信息的一重力加速度,执行一视觉惯性里程计演算法,以求得深度摄像机的一位姿信息,并基于位姿信息的一旋转矩阵及一位移信息,持续修正惯性传感器于快速移动时的平面方程式,而平面方程式的意涵,即位于一平面上的任意点及垂直于该平面的法线,可唯一定义出三维空间中的该平面。

[0007] 为达上述目的,本发明也提出一种平面动态检测方法,包含:

[0008] (1) 一检测惯性数据步骤:一惯性传感器持续取得一加速度信息及一角速度信息等惯性数据;

[0009] (2) 一判断运动状态步骤:一运算装置持续判断惯性传感器所取得的一加速度信息及一角速度信息是否超出一阈值,以判断惯性传感器的运动状态;

[0010] (3) 一第一更新平面方程式步骤:若未超出阈值,运算装置依据加速度信息、深度影像坐标、深度值及一内部参数矩阵计算出一法向量及一距离常数,并以法向量及距离常数,初始化或持续更新惯性传感器于稳定状态时,实体物件于一摄像机坐标系中的一平面方程式;以及

[0011] (4) 一第二更新平面方程式步骤:若已超出阈值,运算装置依据加速度信息的一重力加速度,执行一视觉惯性里程计演算法,以求得深度摄像机的一位姿信息,并基于位姿信息的一旋转矩阵及一位移信息,持续修正惯性传感器于快速移动时的平面方程式。

[0012] 为使贵审查委员得以清楚了解本发明的目的、技术特征及其实施后的功效,兹以下列说明搭配图示进行说明,敬请参阅。

## 附图说明

[0013] 图1为本发明的系统架构图;

[0014] 图2为本发明的平面检测方法流程图(一);

[0015] 图3为本发明的平面检测方法流程图(二);

[0016] 图4为本发明于另一较佳实施例的系统架构图。

## 具体实施方式

[0017] 下面将结合本申请实施例中的附图对本申请进行说明。

[0018] 请参阅「图1」,其为本发明的系统架构图,本发明提出一种平面动态检测系统1,主要包含一惯性传感器10、一深度摄像机20及一运算装置30,其中:

[0019] (1) 惯性传感器 (Inertial Measurement Unit, IMU) 10 包含一加速度计 (accelerometer/G-Seosor) 101 及一陀螺仪 (Gyroscope) 102, 可持续取得的一加速度信息及一角速度信息;

[0020] (2) 深度摄像机 20 可持续获取一深度影像, 以持续输入深度摄像机 20 于一观视范围内对于一或多个实体物件的一深度影像坐标及一深度值, 并且, 深度摄像机 20 可被组态为采用一飞行时间法方案 (Time of Flight, TOF)、一结构光光案 (Structured Light) 或一双目视觉方案 (Stereo Visual) 量测出前述实体物件的深度的深度传感器, 其中, 飞行时间法方案是指深度摄像机 20 可作为一 ToF 摄像机, 并利用发光二极管 (LED) 或雷射二极管 (Laser Diode, LD) 发射出红外光, 当照射到实体物件的物体表面的光反射回来后, 由于光速为已知, 故可藉此利用一个红外光影像传感器, 来量测实体物件于不同深度的位置将光线反射回来的时间, 进而能推算出实体物件于不同位置的深度及实体物件的深度影像; 结构光方案是指深度摄像机 20 可利用雷射二极管 (Laser Diode, LD) 或数位光源处理器 (DLP) 打出不同的光线图形, 并透过特定光栅绕射至实体物件的物体表面上, 进而形成光斑图案 (Pattern), 而由于实体物件于不同深度的位置所反射回来的光斑图案会发生扭曲, 故当反射回来的光线进入红外光影像传感器后, 即可反推实体物件的立体结构及其深度影像; 双目视觉方案指深度摄像机 20 可作为一双目摄像机 (stereo camera), 并利用至少两个摄像镜头拍摄实体物件及深度摄像机 20 所产生的视差 (disparity), 透过三角测量 (Triangulation) 原理量测出实体物件的三维立体信息 (深度影像);

[0021] (3) 运算装置 30 分别耦接于惯性传感器 10 及深度摄像机 20, 并具有一运动状态判断单元 301 及一平面检测单元 302, 运动状态判断单元 301 及平面检测单元 302 通讯连接, 运动状态判断单元 301 被组态为可持续判断惯性传感器 10 所取得的加速度信息及角速度信息是否超出一阈值 (threshold), 以判断惯性传感器 10 本身或其所搭载装置的运动状态, 值得注意的是, 运算装置 30 可至少具有一处理器 (图中未绘示, 例如 CPU、MCU), 其供以运行运算装置 30, 并具备逻辑运算、暂存运算结果、保存执行指令位置等功能, 另外, 运动状态判断单元 301 及平面检测单元 302 本身可运行于一平面动态装置 (图中未绘示, 例如一头戴式显示器, 且头戴式显示器可为 VR 头盔、MR 头盔等头戴式显示器)、一主机 (Host)、一实体伺服器或一虚拟化伺服器 (VM) 的运算装置 30, 惟均不以此为限;

[0022] (4) 承上, 若当下未超出阈值, 平面检测单元 302 被组态为可依据加速度信息、深度影像坐标 (Pixel Domain)、深度值 (depth value) 及一内部参数矩阵 (intrinsic parameter matrix) 计算出一法向量 (normal vector) 及一距离常数 (d 值), 并以法向量及距离常数 (其位处于影像坐标系), 初始化或持续更新惯性传感器 10 于稳定状态时, 实体物件于一摄像机坐标系 (camera coordinate system) 中的一平面方程式 (3D plane equation), 而平面方程式的意涵, 即位于一平面上的任意点及垂直于该平面的法线, 可唯一定义出三维空间中的该平面;

[0023] (5) 反之, 若当下已超出阈值, 则平面检测单元 302 被组态为可依据加速度信息中的一重力加速度, 执行基于滤波 (filter-based) 或基于优化 (optimization-based) 的一视觉惯性里程计 (visual inertial odometry, VIO) 演算法, 以求得深度摄像机 20 的一位姿信息, 并基于位姿信息的一旋转矩阵 (orientation matrix) 及一位移信息 (translation), 持续修正惯性传感器 10 于快速移动时的平面方程式;

[0024] (6) 另,前述所称的影像坐标是为了描述成像过程中,实体物件从摄像机坐标系到影像坐标系的投影透射关系而引入,是我们真正从深度摄像机20内读取到的影像所在的坐标系,单位为像素,而前述所称的摄像机坐标就是以深度摄像机20为原点建立的坐标系,是为了从深度摄像机20的角度描述物体位置而定义。

[0025] 请继续参阅「图1」,本发明在一较佳实施例中,运算装置30的平面检测单元302也可对实体物件的深度影像坐标与深度值执行一内积运算,以持续生成实体物件于一影像坐标系的一三维坐标,并以前述的三维坐标与内部参数矩阵演算出平面方程式。

[0026] 请继续参阅「图1」,本发明在一较佳实施例中,运算装置30的平面检测单元302也可对前述的法向量执行一迭代最佳化(iterative optimization)演算法或一高斯牛顿(gauss newton)演算法求得一最佳法向量及其对应的距离常数(d值),并以最佳法向量取代前述的法向量演算出更臻精确的平面方程式。

[0027] 请参阅「图2」至「图3」,其分别为本发明的平面动态检测方法流程图(一)、(二),并请搭配参阅「图1」,本发明提出一种平面动态检测方法S,可包括以下步骤:

[0028] (1) 获取影像步骤(步骤S10):一深度摄像机20持续获取一深度影像,以持续输入深度摄像机20于一观视范围内对于一或多个实体物件的一深度影像坐标及一深度值;

[0029] (2) 检测惯性数据步骤(步骤S20):一惯性传感器10持续取得一加速度信息及一角速度信息等惯性数据;

[0030] (3) 判断运动状态步骤(步骤S30):一运算装置30持续判断惯性传感器10所取得的一加速度信息及一角速度信息是否超出一阈值,以判断惯性传感器10本身或其所搭载装置的运动状态;

[0031] (4) 第一更新平面方程式步骤(步骤S40):承步骤S30,若未超出阈值,运算装置30可依据加速度信息、深度影像坐标、深度值及一内部参数矩阵计算出一法向量及一距离常数(其对应于影像坐标系),并以法向量及距离常数,初始化或持续更新惯性传感器10于稳定状态时,实体物件于一摄像机坐标系中的一平面方程式;

[0032] (5) 第二更新平面方程式步骤(步骤S50):承步骤S30,若已超出阈值,运算装置30依据加速度信息的一重力加速度,执行一视觉惯性里程计演算法,以求得深度摄像机20的一位姿信息,并基于位姿信息的一旋转矩阵及一位移信息,持续修正惯性传感器10于快速移动时的平面方程式。

[0033] 承上,请继续参阅「图2」至「图3」,并请搭配参阅「图1」,步骤S40执行时,若以欲检测的平面类型为地面为例,且惯性传感器10的惯性数据未超出阈值,也就是惯性传感器10本身或其所搭载装置处于稳定状态时(例如静止),则惯性传感器10仅会读取到静止加速度值g(gravity force direction),而其反方向为实体物件的平面方程式于摄像机坐标的法向量n,关系式可参照如下:

[0034] (1) 惯性传感器10的静止加速度值: $g=9.8\text{m/s}^2$ 或 $10\text{m/s}^2$ 。

[0035] (2) 平面方程式于摄像机坐标的法向量 $n=-g=(n_1, n_2, n_3)$

[0036] (3) 依此,深度影像中的实体物件(地面)于影像坐标下的法向量n'可表示为:

$$[0037] \quad \frac{\left(\frac{n_1}{f_x}, \frac{n_2}{f_y}, n_3\right)}{\left\|\frac{n_1}{f_x}, \frac{n_2}{f_y}, n_3\right\|}$$

[0038] 承上, 请继续参阅「图2」至「图3」, 并请搭配参阅「图1」, 步骤S50执行时, 若以欲检测的平面类型为地面为例, 由于当惯性传感器10处于剧烈或快速运动的情况, 已无法以加速度计101的读数来预估平面方程式的法向量, 故前述的步骤S50于执行时, 可利用例如基于滤波或基于优化的VIO演算法来更新实体物件(地面)的平面方程式, 假设VIO预估的深度摄像机20的相对位姿(Relative Pose Motion)是 $(R_{t-1}^t, T)$ , 并假设更新前的平面方程式为 $n_{t-1} \cdot p = d_{t-1}$ , 则之后的平面方程式得依以下关系式更新, 但以下仅为举例, 并不以此为限:

$$[0039] \quad n_t \cdot p = d_t$$

$$[0040] \quad n_t = (R_{t-1}^t)^{-T} n_{t-1}$$

$$[0041] \quad d_t = d_{t-1} + n_{t-1} \cdot (R_{t-1}^t)^{-1} T$$

[0042] 另, 请继续参阅「图2」至「图3」, 并请搭配参阅「图1」, 本发明在一较佳实施例中, 若系统以欲检测的平面类型为地面为目标, 由于步骤S40执行时, 即便运动状态判断单元301判断惯性传感器10处于稳定状态, 惯性传感器10本身或其所搭载装置也可能并非完全静止, 此外, 也有实体物件(地面本身)有些倾斜的状况, 故在所述的步骤S40执行时, 运算装置30可进一步对法向量执行一迭代最佳化演算法或一高斯牛顿演算法(例如gauss newton least square), 以求得一最佳法向量 $n'_{opt}$ 及其对应的距离常数(下称 $d'$ 值), 并以最佳法向量 $n'_{opt}$ 取代法向量 $n'$ 而演算出平面方程式, 更具体而言, 运算装置30的平面检测单元302演算最佳法向量 $n'_{opt}$ 的公式可参照如下, 但以下仅为举例, 并不以此为限:

[0043] (1) 首先, 将深度影像中的深度值超过一定数值 $d'_{th}$ 的像素予以排除, 再以前述提及的法向量 $n'$ (此处暂称法向量 $n'_0$ , 其对应于影像坐标系)排除后的 $n$ 个深度影像坐标, 算出对应的 $d'$ 值, 如下关系式所示:

$$[0044] \quad n'_0 \cdot p_1 = d'_1$$

$$[0045] \quad n'_0 \cdot p_2 = d'_2$$

$$[0046] \quad \dots$$

$$[0047] \quad n'_0 \cdot p_n = d'_n$$

[0048] (2) 接着, 假设实体物件(地面)的 $d'$ 值, 是在所有深度影像中法向量为 $n'_0$ 的实体物件(其它平面)中最小的, 因为地面应为距离深度摄像机20最远的平面, 所以得依以下关系式, 算出距离深度摄像机20最远平面的对应的 $d'$ 值:

$$[0049] \quad d'_g(n'_0) = \min(d_1, d_2, \dots, d_n)$$

[0050] (3) 其后, 平面检测单元302进一步对法向量执行一迭代最佳化演算法或一高斯牛顿演算法, 求得误差函数(Error Function, 也可称评价函数)最小的一最佳法向量 $n'_{opt}$ , 在此之前需先定义一误差函数 $E(n')$ 及一阈值 $\delta_g$ , 如下所示:

$$[0051] \quad E(n') : S^2 \rightarrow R$$



$$[0052] \quad n'_{opt} = \arg \min_n E(n')$$

[0053] 请继续参阅「图2」至「图3」,并请搭配参阅「图1」,若以欲检测的平面类型为地面为例,则运算装置30的平面检测单元302计算前述法向量的演算公式可参照如下,但并不以此为限,特先陈明:

[0054] A、假设于深度影像中属于地面部分的像素有N个;

$$[0055] \quad P_i = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} : \text{第} i \text{个点的三维摄像机坐标}$$

[0056] B、假设于深度影像中的一像素点坐标为 $(x_i^p, y_i^p)$ ,深度值为 $Z_i$ ,则:

$$[0057] \quad p_i = \begin{bmatrix} Z_i x_i^p \\ Z_i y_i^p \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i^d \\ y_i^d \\ Z_i \end{bmatrix} : \text{第} i \text{个点的深度影像坐标}$$

[0058] for  $i \in [1 \cdots N]$

[0059] C、第i个点于前述两个不同坐标系的三维坐标的Z值相同,前述两个三维坐标于摄像机坐标系与影像坐标系的转换关系如下:

$$[0060] \quad \begin{bmatrix} x_i^d \\ y_i^d \\ Z_i \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & O_x \\ 0 & f_y & O_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}$$

[0061] D、所以摄像机坐标系与影像坐标系的三维影像坐标,可透过深度摄像机20的内部参数矩阵K相关联,而展开上述公式可得出,第i个点于影像坐标系中的深度影像坐标的x、y值分别为:

$$[0062] \quad x_i^d = (f_x X_i + O_x Z_i)$$

$$[0063] \quad y_i^d = (f_y Y_i + O_y Z_i)$$

[0064] E、依据平面方程式的定义,并假设实体物件所处的平面上有前述的第i个点,可知以处于摄像机坐标系的 $P_i$ 演算出的平面方程式为:

$$[0065] \quad n_1 X + n_2 Y + n_3 Z = n \cdot (X, Y, Z) = d$$

[0066] F、承上,摄像机坐标系的法向量 $n = (n_1, n_2, n_3)$ ,d为距离所在摄像机坐标系原点的距离;

[0067] G、依据平面方程式的定义,并假设实体物件所处的平面上有前述的第i个点,可知以处于影像坐标系的 $p_i$ 演算出的平面方程式为:

$$[0068] \quad n'_1 x + n'_2 y + n'_3 z = d'$$

[0069] H、承上,影像坐标系的法向量 $n' = (n'_1, n'_2, n'_3)$ ,d'为距离所在影像坐标系原点的距离;

[0070] I、接着,演算处于摄像机坐标系中实体物件(平面)的法向量,假设 $p_1, p_2$ 两个点都在该平面上,会符合前述第G点的平面方程式,代入后的平面方程式分别如下:

$$[0071] \quad n'_1 x_1^d + n'_2 y_1^d + n'_3 Z_1 = d'$$

$$[0072] \quad n'_1 x_2^d + n'_2 y_2^d + n'_3 Z_2 = d'$$

[0073] J、将上述两个平面方程式相减后,可得出:

$$[0074] \quad n'_1 (x_1^d - x_2^d) + n'_2 (y_1^d - y_2^d) + n'_3 (Z_1 - Z_2) = 0$$

[0075] K、接着,将前述第D点的第i个点于影像坐标系中的深度影像坐标的x、y值代入第J点的方程式可得出:

$$[0076] \quad n'_1 f_x (X_1 - X_2) + n'_2 f_y (Y_1 - Y_2) + (n'_3 + n'_1 O_x + n'_2 O_y) (Z_1 - Z_2) = 0$$

[0077] L、所以,实体物件对应到摄像机坐标系的平面方程式的法向量为:

$$[0078] \quad n = \frac{n'_1 f_x, n'_2 f_y, n'_3 + n'_1 O_x + n'_2 O_y}{\|n'_1 f_x, n'_2 f_y, n'_3 + n'_1 O_x + n'_2 O_y\|}$$

[0079] 承上,请继续参阅「图2」至「图3」,并请搭配参阅「图1」,当运算装置30演算出实体物件对应到摄像机坐标系的平面方程式的法向量n后,接续计算d值的演算公式可参照如下,但并不以此为限,特先陈明:

$$[0080] \quad M、首先,令一常数c = \|n'_1 f_x, n'_2 f_y, n'_3 + n'_1 O_x + n'_2 O_y\|$$

[0081] N、将处于影像坐标系的像素点p<sub>1</sub>代入前述第G点的平面方程式可得出:

$$[0082] \quad n'_1 x_1^d + n'_2 y_1^d + n'_3 Z_1 = d'$$

[0083] O、将前述第D点「第i个点于影像坐标系中的深度影像坐标的x、y值」代入前述第N点的平面方程式可得出:

$$[0084] \quad n'_1 (f_x X_1 + O_x Z_1) + n'_2 (f_y Y_1 + O_y Z_1) + n'_3 Z_1 = d'$$

$$[0085] \quad \rightarrow n'_1 f_x X_1 + n'_2 f_y Y_1 + (n'_3 + n'_1 O_x + n'_2 O_y) Z_1 = d'$$

[0086] P、对前述第O点的平面方程式的等式两侧均除以c:

$$[0087] \quad n_1 X_1 + n_2 Y_1 + n_3 Z_1 = \frac{1}{c} d'$$

[0088] Q、于此,可得出实体物件于摄像机坐标中的平面方程式的d值为:

$$[0089] \quad d = \frac{1}{c} d'$$

[0090] 另,请继续参阅「图2」至「图3」,并请搭配参阅「图1」,本发明在一较佳实施例中,在前述的步骤S30执行前,可先执行一取得三维坐标步骤(步骤S25):运算装置30对实体物件的深度影像坐标与深度值执行一内积运算,以持续生成实体物件于一影像坐标系的一三维坐标,依此,可于步骤S40或步骤S50执行时,以前述的三维坐标、内部参数矩阵与加速度信息演算出前述的法向量及距离常数,进而运算出实体物件的平面方程式,更具体而言,生成

前述三维坐标的演算公式可参照:  $\begin{bmatrix} Zx \\ Zy \\ Z \end{bmatrix} = Z \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$ , 其中,  $\begin{bmatrix} Zx \\ Zy \\ Z \end{bmatrix}$  为处于影像坐标系的三维坐

标,  $z$  为深度值,  $\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$  则为深度影像坐标 (处于影像坐标系), 藉此, 相较于常规熟知点云库 (PCL) 皆需将深度摄像机 20 所取得的每个像素, 先后与一摄像机投影反矩阵 (即前述的  $K$ ) 及一深度值作矩阵乘法运算, 以转换成点云坐标系中的多个三维坐标的作法, 本实施例可省去像素、深度值与摄像机投影反矩阵作矩阵运算的步骤, 而直接以前述的三维坐标进行实体物件 (平面) 的检测, 而能达成节省运算量的有益功效, 同时能省去从深度影像转换至点云的转换时间。

[0091] 请参阅「图4」, 其为本发明的另一较佳实施例的系统架构图, 本实施例与「图1」至「图3」所揭技术类同, 主要差异在于, 本实施例的平面动态检测系统 1 更可包括一彩色摄像机 40 (例如 RGB 摄像机), 其分别耦接于深度摄像机 20 及运算装置 30, 供以持续获取实体物件的一彩色影像, 以供运算装置 30 于步骤 S10 (获取影像步骤) 执行时, 可确立实体物件的深度影像坐标及一彩色影像坐标之间的对应关系, 以提升平面检测的准确性, 另, 本实施例的彩色摄像机 40 也可与深度摄像机 20 构成一 RGB-D 摄像机, 即如本图所示, 且本实施例的深度摄像机 20 可为双目摄像机, 但均不以此为限。

[0092] 综上可知, 本发明据以实施后, 由于可解决常规熟知检测三维空间中平面时, 针对不同的平面类型须作强烈假设而可能有平面误判的问题, 同时能改善常规熟知平面检测方法的计算效能不佳的缺点, 而能达成更为准确检测平面、更节省计算资源的有益功效。

[0093] 以上所述者, 仅为本发明的较佳的实施例而已, 并非用以限定本发明实施的范围; 任何熟习此技艺者, 在不脱离本发明的精神与范围下所作的均等变化与修饰, 皆应涵盖于本发明的专利范围内。

[0094] 【符号说明】

[0095] 1 平面动态检测系统

[0096] 10 惯性传感器

101 加速度计

[0097]

102 陀螺仪

[0098] 20 深度摄像机

[0099] 30 运算装置

301 运动状态判断单元

[0100]

302 平面检测单元

[0101] 40 彩色摄像机

[0102] S 平面动态检测方法

[0103] S10 获取影像步骤

[0104] S20 检测惯性数据步骤

[0105] S25 取得三维坐标步骤

[0106] S30 判断运动状态步骤

[0107] S40 第一更新平面方程式步骤

[0108] S50 第二更新平面方程式步骤。

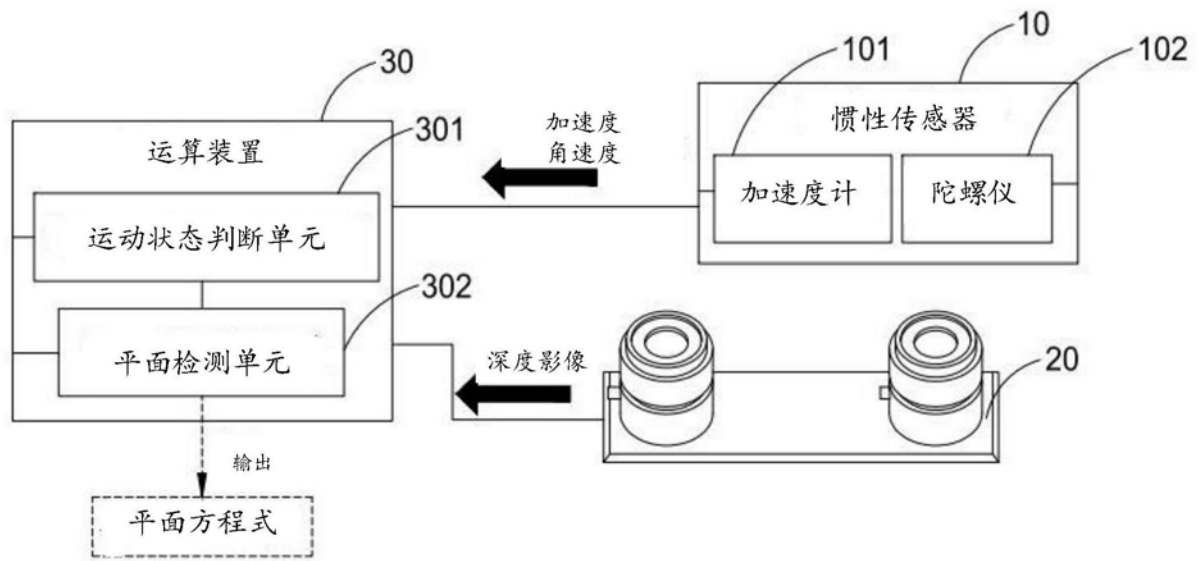


图1

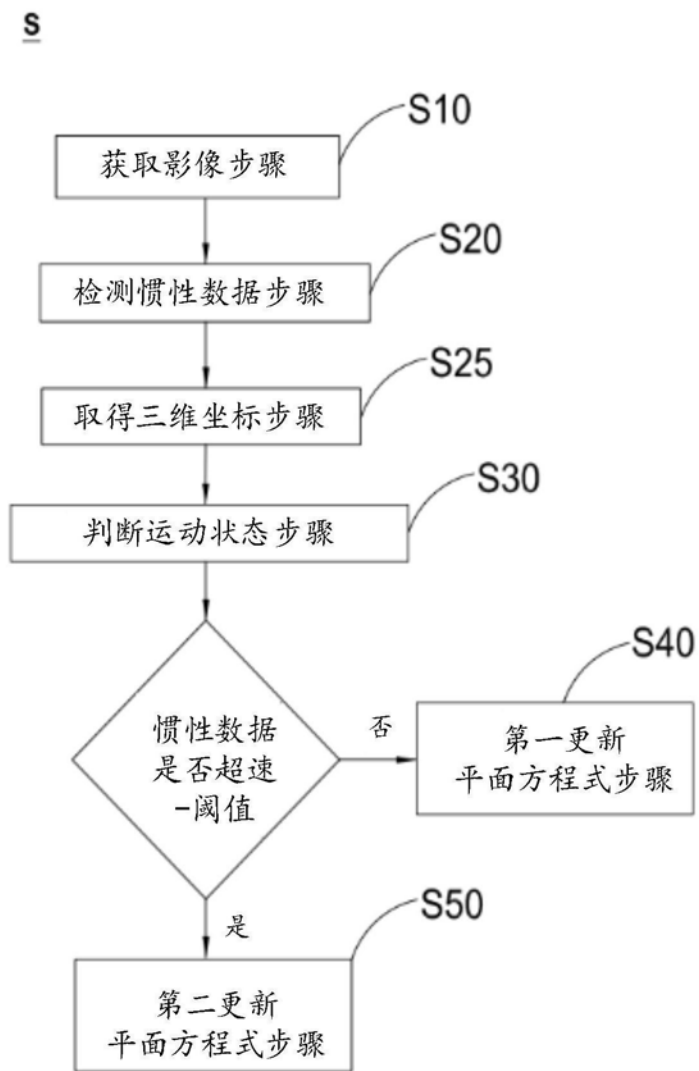


图2

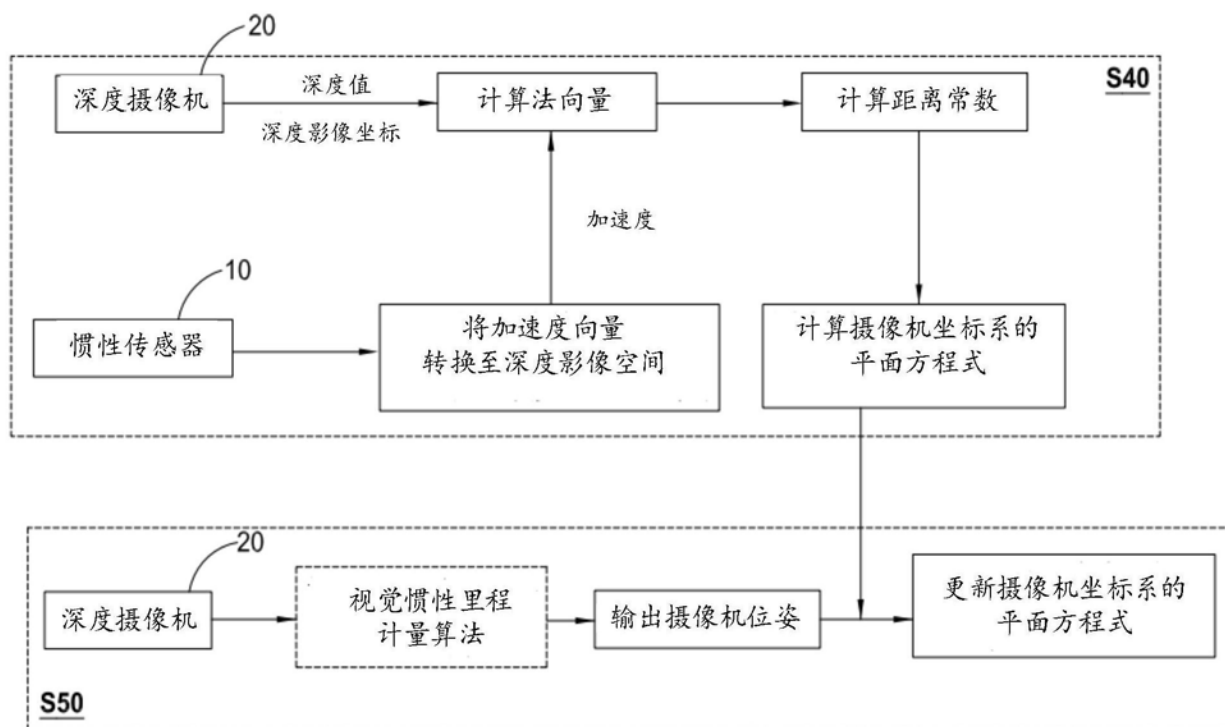


图3

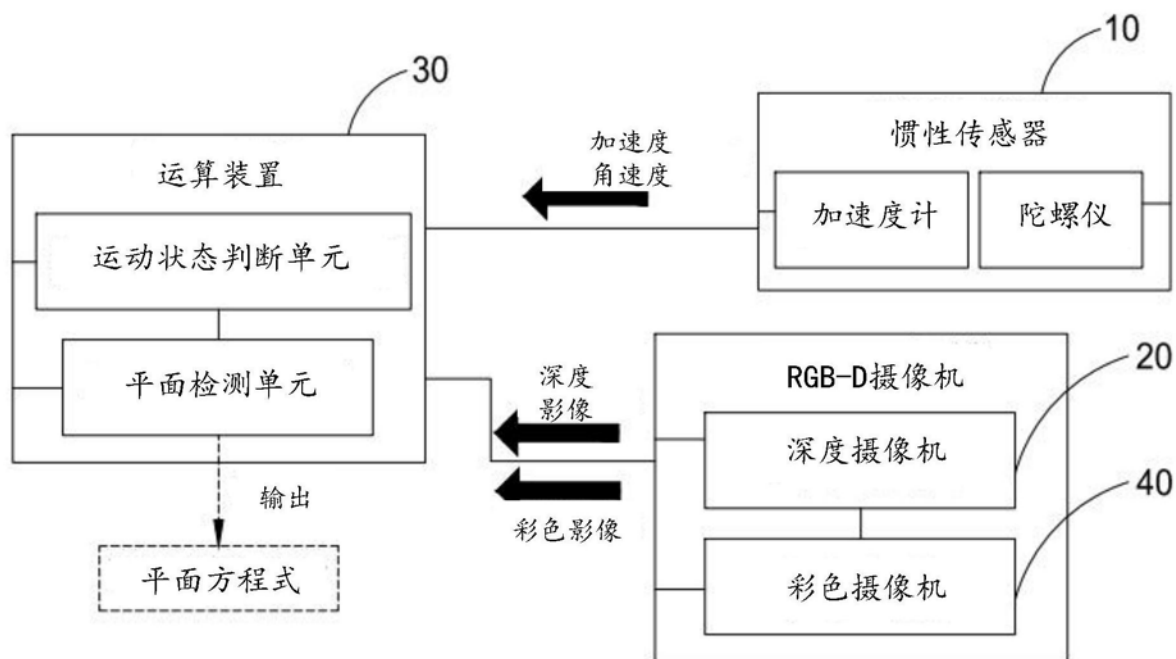


图4