# Depth-IMU融合的3D重建系统设计报告

## Changelog

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 版本号 | 变更人 | 变更说明 | 变更时间 |
| V1.0 | 张琛 | 初稿 | 2015/02/01 |

## 目录

[Depth-IMU融合的3D重建系统设计报告 1](#_Toc412144155)

[**Changelog** 1](#_Toc412144156)

[**一．** **引言** 2](#_Toc412144157)

[**1.1.** **编写目的** 2](#_Toc412144158)

[**1.2.** **问题描述** 2](#_Toc412144159)

[**1.3.** **任务目标** 3](#_Toc412144160)

[**二．** **实现方法** 3](#_Toc412144161)

## 符号定义

如无特殊说明，下文中符号意义如下表1~表3所述。

表 1标识符定义

|  |  |
| --- | --- |
| 符号 | 描述 |
| Img | 图像数据 |
| Acc | 加速度数据 |
| Gyro | 陀螺仪数据 |
| Mag | 磁通数据 |
| {W} | 世界坐标系 |
| {C} | 相机坐标系 |
| {I} | IMU传感器坐标系 |
| Ow | {W}的原点 |
| Oc | {C}的原点 |
| Oi | {I}的原点 |
| R | 设备的旋转矩阵 |
| t | 设备的平移向量 |
| T | (R, t) 拼合成的4x4齐次变换矩阵 |

表 2下标定义

|  |  |
| --- | --- |
| 下标 | 描述 |
| *x* | X轴 |
| *y* | Y轴 |
| *z* | Z轴 |
| *i* | 第i帧 |

表 3缩略语定义

|  |  |
| --- | --- |
| 缩略语 | 描述 |
| RGB-D | RGB以及Depth |
| IMU | 惯性测量单元（Inertial Navigation System） |
| GPS | 全球定位系统（Global Positioning System） |
| AR | 增强现实（Augmented Reality） |
| DOF | 自由度（Degree Of Freedom） |
| EKF | 扩展卡尔曼滤波（Extended Kalman Filter） |

1. **引言**

### 编写目的

本文档目标是设计一个融合Depth相机以及惯性传感器数据的3D场景重建系统，形式化地描述系统架构，以及具体的数据通路和实现方法等；详细说明模块实现的各个细节，包括输入输出、算法细节和实现方法。

### 问题描述

我们的系统通过固定在一起的Depth相机及IMU单元，同步地采集到Depth数据以及设备的瞬时三轴加速度、角加速度、磁通等数据，计算出高精度的设备（相机）姿态，进而得到更精确、鲁棒的场景或物体的三维点云或网格模型。

即，由**输入**：

① 时序Depth帧序列

② 时序IMU帧序列

得到**输出**：

3D点云，或体素模型，或网格模型

系统中各坐标系之间的关系如图1所示：



图 1相机坐标系、IMU坐标系与世界坐标系关系图

IMU坐标系到世界坐标系的变换矩阵为 ，世界坐标系到相机坐标系的变换矩阵为 ，即，设点p在 中坐标分别为 ，有如下关系：

(1)

(2)

(3)

求解或也是我们需要事先解决的问题之一。

1. **实现方法**

### 系统流程概述



图 2Depth-IMU 融合算法流程图

图2演示了融合IMU数据与深度图的3D建模算法流程。相比于仅依赖深度数据的原始KinectFusion算法，我们增加IMU数据，试图用来提升系统的鲁棒性。与聚焦于提升系统重建精度的一些算法不同，我们的主要目标在于，使系统能够在各种场景、各种运动状态下，稳定获取姿态信息，从而避免原始KinectFusion算法在纹理重复较多的场景、大幅抖动等恶劣的条件下姿态跟踪失败的后果，使系统更稳定。

原始KinectFusion算法在设备慢速稳定移动时，能够保持姿态估计的准确性，而快速移动时，容易由于动态模糊造成姿态跟踪失败；IMU在设备快速运动时，能够较为准确地获得姿态与运动轨迹，而在慢速移动时，则难以计算获取运动状态。我们尝试结合二者各自的优点，迭代计算系统的姿态与运动轨迹。

### 算法步骤

如前所述，我们尝试设计一个能够适应更多场景，更复杂运动状态的系统，主要目标在于实现鲁棒的设备姿态估计。下文将仅描述姿态估计的算法过程：

1. 准备工作：坐标系 标定，即求解 变换矩阵

由于深度图进行三维重建的过程中，{W}的定义为系统启动时第一帧对应的相机坐标系，的变换矩阵可以通过求解相机6DOF姿态得到，因此我们还需要标定 。

[1][2][3]使用EKF方法进行标定，[4][5]是两个IMU与相机之间标定的开源实现

2. 惯性导航

利用IMU数据，我们可以粗估IMU传感器的运动姿态[3]，进而估计出相机姿态。当通过IMU数据检测到设备运动超出某阈值Th时，使用k-1时刻的作为k时刻相机姿态的初值，转到步骤3；否则，k时刻相机姿态的初值由给出。

3. ICP算法求解相机姿态

利用深度图进行ICP配准的流程，与步骤2是分别同时进行的。可依采用[1]中提到的失败检测和漂移检测的方法，与步骤2的阈值Th检测相结合，判断是否需要使用做配准初值。输出为

4. 使用对步骤2中k+1时刻的相机姿态进行更新。

1. **参考文献**

[1] Weiss S, Siegwart R. Real-time metric state estimation for modular vision-inertial systems[C]//Robotics and Automation (ICRA), **2011** IEEE International Conference on. IEEE, **2011**: 4531-4537.

[2] C. X. Guo and S. I. Roumeliotis, "IMU-RGBD Camera Extrinsic Calibration:Observability Analysis and Consistency Improvement", Technical Report, University of Minnesota, Dept. of Comp. Sci. & Eng., MARS Lab, February **2012**. [Online]. Available: <http://www-users.cs.umn.edu/～chaguo/>

[3] Kleiner B, Munkelt C, Thorhallsson T, et al. Handheld 3-D Scanning with Automatic Multi-View Registration Based on Visual-Inertial Navigation[J]. International Journal of Optomechatronics, **2014**, 8(4): 313-325.

[4] Camera-to-IMU calibration toolbox, <https://github.com/hovren/crisp>

[5] CalibrationCodes, <https://github.com/MichalNowicki/CalibrationCodes>