# 实验3-2 基于视觉和惯导融合的里程计评估实验

## 实验目的

飞行器的状态估计需要结合精确和低延迟，以实现稳定和鲁棒的飞行。然而，由于空中平台的功率和负载约束，状态估计算法必须在嵌入式硬件的计算约束下提供这些特性。

摄像机和惯性测量单元(IMUs)满足这些功率和负载限制，因此在这些场景中，视觉惯性测距算法(VIO)是状态估计的流行选择，除此之外，它们不需要通过运动捕捉或全球定位系统进行外部定位。然而，从现有的文献结果来看，VIO算法在具有机载状态估计的飞行器的精度、延迟和计算约束条件下表现良好尚不清楚。

本文不同的硬件配置评估了典型的开源VIO算法（ROVIO、VINS-Mono）。评估采用EuRoC数据集，在处理时考虑了姿态估计精度、每帧处理时间以及CPU和内存负载，其中EuRoC数据集为包含6个自由度(6DoF)的飞行机器标准轨迹。

本文的目的是通过在标准飞行器系统的硬件配置上对开源的（公开的）VIO算法进行综合评估来弥补这一不足。我们将本研究的范围限制在单目VIO算法上，因为这是得出可靠的状态估计所需的最简配置（可靠状态估计所必需的最小设置），而且相对于其他传感器配置而言，飞行器的重量和功耗较低，是一种受欢迎的选择。

ROVIO[3] – 能够同时跟踪3D地标和图像区域特征的扩展卡尔曼滤波器。

VINS-Mono[4] - 基于非线性优化的滑动窗口估计器，使用预先集成的IMU因子。

我们的实验是在EuRoC微型飞行器数据集[12]上进行的。这些序列包含同步立体摄像机和IMU数据，这些数据记录了飞行器在多个室内环境中进行的6自由度运动（由一个飞行器在几个室内环境中执行6自由度的运动所捕获的），并根据不同场景（不同序列）使用激光或运动捕捉跟踪系统提供了精确的运动轨迹真实值。这些数据集已经用于许多现有的VIO性能的部分比较结果，并且是目前评价飞行器运动估计算法时最常用的公共图像和IMU序列。

目标是为VIO算法提供一个针对飞行器的完整轨迹和硬件基准，以便为视觉惯性测距方法的研究人员以及需要现成的适用于自身飞行平台的状态估计解决方案的读者提供参考。

•对公开可用的单目视觉惯性测距算法进行全面的综合评价;

•使用六自由度轨迹信息，在多个嵌入式硬件平台上对不同算法的性能进行比较。

## 实验准备

### 设备准备

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 设备名称 | 设备型号 | 数量 | 外观 |
| 四旋翼飞行器开发平台 | 大疆经纬系列M100[1] | 1 | E:\1 教学\4 课程建设\1 本科课程\★智能飞行器应用挑战（实验室专项建设课程）\2 课程建设\1 课程设计\实验一：多传感器组合探测实验（8学时）\1-1 初识旋翼无人机\经纬M100外形图.png |
| 机载微型处理器 | NUC | 1 |  |
| 便携式图像工作站 | 小米/或其它笔记本 | 1 |  |
|  | 妙算I/II | 1 |  |

### 预备知识

1. 三维刚体旋转、坐标变换。
2. IMU运动方程及预积分。
3. 图像匹配与对极几何等。
4. 非线性优化。

#### 视觉SLAM

视觉户惯性组合导航技术与VSI,AM算法类似，主要采用两种方案:一种是采用滤波技术融合惯性和视觉信息;另一种是采用非线性迭代优化技术融合惯性和视觉信息。

##### 2.1.1. 基于滤波的：ROVIO

基于滤波技术的视觉户惯性组合导航算法，可以进一步分为松组合和紧组合两种框架。在松耦合融合中，没有充分使用惯性器件的输出来辅助图像特征点的匹配、跟踪与外点剔除。2007年，Veth提出了一种视觉辅助低精度惯性导航的方法。该算法使用了多维随机特征跟踪方法，其最大的缺点是跟踪的特征点个数必须保持不变。同年，Mourikis提出了基于多状态约束的卡尔曼滤波器(Multi-State Constraint Kalman Filter, MSCKF)算法。其优点是在观测模型中不需要包含特征点的空间位置;但是MSCKF算法中存在滤波估计不一致问题:不可观的状态产生错误的可观性，如航向角是不可观的，但MSCKF通过扩展卡尔曼滤波(Extended Kalman Filter, EKF)线性化后会使航向角产生错误的可观性。为了解决滤波估计不一致问题，李明阳等[7]提出了首次估计雅可比EKF(the First Estimate Jacobian EKF,FEJ-EKF)算法;Huang等[19]提出了基于可观性约束的无迹卡尔曼滤波(U n-scented Kalman Filter, UKF)算法;Castellanos等[20]提出了Robocentric Mapping滤波算法。这些算法均在一定程度上解决了滤波估计不一致问题。2015年，Bloesch等提出了鲁棒视觉惯性里程计(Robust Visual Inertial Odometry，ROVIO)，该算法利用EKF将视觉信息和惯性测量单元(Inertial Measurement Unit, IMU)信息进行紧稠合，在保持精度的同时降低了计算量。

综上，基于滤波的方法在VSLAM的早期发展历程中起到了重要作用。该方法内存占用小，计算速度快。从本质上讲基于滤波的方法以上一时刻的状态，这一时刻的输入和这一时刻的测量，就能估计出来这一时刻的状态了，其思想是根据协方差来选择性的相信量测或者预测出的状态。

2.1.2 基于优化的： VINS

近年来，基于优化的算法得到了快速发展。I,upton和Sukkarieh于2012年首次提出了利用无初值条件下的惯性积分增量方法来解决高动态条件下的惯性视觉组合导航问题。另外预积分理论的建立，使得基于优化的视觉/惯性组合导航算法得以实现。受此思想启发，Stefan等采用Partial Marginalization技术，通过优化非线性目标函数来估计滑动窗口内关键帧的位姿参数。其中，目标函数分为视觉约束和惯性约束2个部分:视觉约束由空间特征点的重投影误差表示，而惯性约束由IMU运动学中的误差传播特性表示。2017年，Forster等完善了计算关键帧之间惯性积分增量的理论，将该理论扩展到旋转李群(Rotation Group)，并分析了其误差传播规律。同样基于预积分理论，沈劲劫课题组提出了视觉惯性导航(Visual Inertial Navigation System, VINS)算法[27]。该算法具备自动初始化、在线外参标定、重定位、闭环检测等功能。ORB-SLAM的设计者Mur-Artal等利用预积分理论，将惯性信息引入ORB-SLAM框架，设计了具有重定位和闭环检测等功能的视觉户惯性组合导航算法[28]。关于预积分理论，目前还缺乏积分增量合并以及相应的协方差矩阵合并方法。

综上，在优化框架后端优化的时候引入矩阵的稀疏性，进行快速求逆操作，很多程度上提高了优化框架的速度。基于优化的方法在近些年来愈发重要。基于优化的方法在迭代中就把margin掉的先验约束保留了下来，但是优化的话必须手动添加这些先验的约束，这样使得优化方法会得到更精确的估计。

VIO测试集

常用的数据集有：KITTI数据集、EuRoC数据集、TUM数据集、Oxford数据集、ICL-NUIM数据集、RGBD Object数据集等等

**KITTI数据集**

KITTI数据集由德国卡尔斯鲁厄理工学院和丰田美国技术研究院联合创办，是目前国际上最大的自动驾驶场景下的计算机视觉算法评测数据集。该数据集用于评测立体图像(stereo)，光流(optical flow)，视觉测距(visual odometry)，3D物体检测(object detection)和3D跟踪(tracking)等计算机视觉技术在车载环境下的性能。KITTI包含市区、乡村和高速公路等场景采集的真实图像数据，每张图像中最多达15辆车和30个行人，还有各种程度的遮挡与截断。

下载地址：<http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/eval_object.php>

**EuRoC数据集**

EuRoC数据集包含11个双目序列，这些序列是由微型飞行器在两个不同的房间和一个大型工业环境中飞行时记录下来的。提供两种类型的数据集: 第一个包含来自Leica多站的三维位置地面真值，并着重于视觉惯性的评估SLAM算法在一个真实的工业场景。

下载地址：<https://projects.asl.ethz.ch/datasets/doku.php?id=kmavvisualinertialdatasets>

**TUM数据集**

数据集包含一些室内的序列，在不同的纹理下，不同的光照和不同的结构条件，从RGB-D传感器采集到的数据中分别去评估物体的重建和SLAM/视觉里程计的性能。TUM提供很多数据集，从各个有利位置捕获对象，每个条目中包含图像序列、相应的轮廓和完整的校准参数。

下载地址：<https://vision.in.tum.de/data/datasets/rgbd-dataset/download>

**Oxford数据集**

对牛津的一部分连续的道路进行了上百次数据采集，收集到了多种天气、行人和交通情况下的数据，也有建筑和道路施工时的数据，总的数据长度达1000小时以上。

下载地址：<https://robotcar-dataset.robots.ox.ac.uk/>

**ICL-NUIM数据集**

该集旨在对RGB-D、视觉测距和SLAM算法进行基准测试。两个不同的场景（起居室和办公室场景）提供了基本事实。客厅具有3D表面地面实况以及深度图和相机姿势，因此完美地适用于不仅用于标记相机轨迹而且还用于重建。办公室场景仅带有轨迹数据，并且没有任何明确的3D模型。

下载地址：<http://www.doc.ic.ac.uk/~ahanda/VaFRIC/iclnuim.html>

**RGB-D对象数据集**

RGB-D对象数据集是300个常见家庭对象的大型数据集。这些对象被分为51个类别。该数据集使用Kinect风格的3D相机来记录，该相机以30Hz记录同步和对准的640x480 RGB和深度图像。拍摄时将每个物体放置在转盘上旋转一整圈并捕获视频序列。对于每个对象，有3个视频序列，每个视频序列都安装在不同高度的摄像机上，以便从与地平线不同的角度观察对象。

下载地址：<http://rgbd-dataset.cs.washington.edu/>

#### EVO

***用于评估里程表和SLAM的Python软件包***

* TUM”轨迹文件
* 'KITTI'姿势文件
* 'EuRoC MAV'（.csv groundtruth和TUM轨迹文件）
* ROS bagfile用

使用教程参考https://zhuanlan.zhihu.com/p/88223106

## 实验原理

整个实验在linux系统上进行，

实验步骤总结：

1. 安装ubuntu14.04。制作启动盘，装系统。
2. 安装Eigen3
3. 安装ceres
4. 在github下载源码
5. 下载数据集

## 实验内容

实验的设计递进方式铺陈

笔记本上测rovio/vins的性能；

妙算I/NUC + rovio/vins，有四种组合，需要通过实验比较分析，得出最适合的硬件/软件方案，即在什么机载平台上用什么vio算法。

### 内容一：笔记本上测rovio/vins的性能

## 实验器材

Intel NUC

### 内容一：

### 内容二：

### 内容三：

## 实验步骤

## 实验重点、难点

### 内容一：

## 实验数据及结果分析

### 内容一：

## 实验结论

## 总结及心得体会

## 实验过程及方法、手段的改进建议

## 参考资料

**（一）教材**

XXX，《电路分析》，XXX出版社，（括号处可以注明第几章）

**（二）资料**

**大疆技术支持提供的文档，凝练内容名称命名保存作为参考资料**；

**如有官方的链接，则提供链接；**

VINS

ROVIO

NUC

妙算I