# 使用王镇&任光阔加速度校正算法求解姿态测试报告

## Changelog

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 版本号 | 变更人 | 变更说明 | 变更时间 |
| V1.0 | 张琛 | 初稿 | 2016/02/11 |

## 引言

### 编写目的

本测试使用实验室IMU硬件，分别用王镇&任光阔的加速度校正算法，以及杜宇的校正参数进行姿态估计，对比得到的姿态误差大小。

### 问题描述



图 1 对比两种不同预处理方法对姿态估计误差影响的流程图

本次实验使用madgwick算法代码[1]做姿态估计，其输入数据为加速度、陀螺仪、磁通共9DOF数据。原始的9DOF数据存在数值偏差（如静止状态的陀螺仪读数不为零，等等），需要通过校正获得真实传感器数据。采用两种不同的数据校正方式，对原始数据进行修正，两种方法的校正数据采集方式、校正算法均不同。

* **校正方法①** （zsens程序使用的数据校正算法）

**校正数据采集**：设备静止水平放置（Z轴竖直向上），数据采集时间t > 1s。

**校正算法**：此校正算法由[2]演化而来。将设备平缓地绕竖直、水平方向旋转，记录加速度、磁通数据的极大极小值，则归一化公式为：

(1)

其中，表示归一化后的重力加速度，表示输入数据，分别表示重力加速度的最大、最小值。磁通数据归一化与 (1)式同理。

另外，假定校正数据采集过程中最后1s为静止水平放置（Z轴竖直向上）。此1s内，对于陀螺仪数据：三轴上的读数（可能非零）即为各自偏差值 。则校正后的陀螺仪数据为：

(2)

G表示陀螺仪三轴数据组成的向量， 分别表示归一化后的陀螺仪数据、原始输入数据、以及静止态陀螺仪偏差读数。

* **校正方法②** （王镇对加速度数据校正算法）

**校正数据采集**：根据[3]中的规范，要求采集数据时设备静止，并且各个数据尽量覆盖设备的各种不同姿态。将设备按照“哪个轴竖直向下”来分，分别采集了±X、±Y、±Z轴竖直向下6组数据；按照“哪个象限大致朝下”来分，分别采集了1~8象限朝下的8组数据。总共有14（=6+8）组校正数据。

**校正算法**：针对加速度数据，记原始测量数据为，实际加速度数据为，假定两组数值之间存在一定的线性关系，

(3)

通过[3]的优化方法解出6个系数，进而得到校正后的加速度真值。

* **误差评估**

为了对比两种校正方式的差异，我们采集9DOF传感器数据时，尽量保证起始/终止时刻设备姿态相同，然后对比数据首尾帧的姿态。考虑稳定性，取起始后约1s（帧序号headIdx=30），姿态为R0，终止前约1s（帧序号tailIdx=-30），姿态为Ri，二者姿态偏差的度量方式见表1。angle值越接近0°，说明起始、终止时刻设备姿态越相近，说明校正效果越好。

表 1

|  |
| --- |
| ΔR = R0\*Ri’; //Ri相对于R0的旋转量  agax = rotationToAxisAngle(ΔR); //转为轴角表示  angle = min(agax[0], 2\*PI -agax[0]); //取角度值，作为误差对比量 |

### 测试环境

* 操作系统：Windows10
* 编程语言：C++, Python, Matlab,
* 开发环境：VS2010, ipython-notebook, matlab R2015a
* 第三方库与工具: opencv, openni, python{numpy, lxml}

## 实验流程

### 校正数据采集

方法①校正数据的采集，需要将设备平缓地绕竖直、水平方向旋转，然后Z轴竖直向上水平放置。

方法②校正数据的采集，要求设备静止，并且各个数据尽量覆盖设备的各种不同姿态。将设备按照“哪个轴竖直向下”来分，分别采集了±X、±Y、±Z轴竖直向下6组数据；按照“哪个象限大致朝下”来分，分别采集了1~8象限朝下的8组数据。总共有14（=6+8）组校正数据。

### 加速度校正参数求解

加速度校正系数为6个（k1, k2, k3, b1, b2, b3），使用这6个参数对加速度进行校正的方法如下：

|  |
| --- |
| //原始加速度数据：  //ax=…; ay=…; az=…  //校正后新的加速度数据：  nax=k1\*ax+b1;  nay=k2\*ay+b2;  naz=k3\*az+b3; |

使用14组校正数据计算得到的校正参数结果为：

|  |
| --- |
| 1.0094183115706945  1.0252736975430581  1.064872558637088  -0.053810043067569778  0.078486444975588321  -0.15274422979183819 |

### 误差对比数据采集

采集9DOF运动传感器数据时，尽量保证起始/终止时刻设备姿态相同，然后对比数据首尾帧的姿态。

实验使用硬件设备ID：1191182355

使用杜宇校正参数配置文件：Calibrate.2355.20160116.xml

数据采集程序：zsens（读取配置文件zsens.info）

采集的数据文件如下：

表 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 数据文件 | 备注描述 |
| 1 | CaptureSession.2355.**static**.20160221.**zcImpl**.xml | 设备静止放置, 2687帧, |
| 2 | CaptureSession.2355.**xyzshuffle**.20160221.**zcImpl**.xml | 设备起始姿态固定(铅笔标记), 拿起来绕xyz轴乱转, 最后归位, 终止姿态尽量与起始保持一致(肉眼有误差), 2840帧 |
| 3 | CaptureSession.2355.**xyzshuffle2**.20160221.**zcImpl**.xml | 同上(设备乱转, 最后归位), 1999帧 |
| 4 | CaptureSession.2355.**xyzshuffle3**.20160221.**zcImpl**.xml | 同上, 3926帧 |

### 姿态估计误差评估

因为误差对比数据采集时，尽量保证起始/终止时刻设备姿态相同，所以我们对比数据首尾帧的姿态，考虑稳定性，取起始后约1s（帧序号headIdx=30），姿态为R0，终止前约1s（帧序号tailIdx=-30），姿态为Ri，二者姿态偏差的度量方式如表3所述。

表 3

|  |
| --- |
| ΔR = R0\*Ri’; //Ri相对于R0的旋转量  agax = rotationToAxisAngle(ΔR); //转为轴角表示  angle = min(agax[0], 2\*PI -agax[0]); //取角度值，作为误差对比量 |

## 实验结果与分析

### 测试结果

因为测试数据假设起始与终止时刻，设备姿态相同，所以以表2判定标准，预期误差输出结果为 (0+e)°，e为系统误差、人工操作等引入的误差，e越小表示结果越好。

误差计算结果如下表4所示。

表 4 首尾帧误差计算结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 使用杜宇校正参数的首尾帧误差 | 使用王镇加速度校正参数的首尾帧误差 |
| 1 | 1.36° | 1.35° |
| 2 | 2.35° | 2.35° |
| 3 | 0.98° | 0.97° |
| 4 | 0.63° | 0.65° |

### 结果分析

1. 表3中测试序号1~4的首尾帧偏移误差都比较小（1~2°）。说明测试数据采集、姿态估计流程正确，madgwick中beta、zeta系统参数选用合适；

2. 使用王镇加速度校正参数，修正加速度raw-data之后，得到的设备姿态偏移误差，与之前结果几乎相同（error<1%）。

## 参考文献

[1] <http://www.x-io.co.uk/open-source-imu-and-ahrs-algorithms/>

[2] 李启雷, 金文光, 耿卫东. 基于无线惯性传感器的人体动作捕获方法[J]. 浙江大学学报:工学版, 2012, 46(02):280-285.

[3] 姜锦正. 非接触式测量天线姿态的技术与系统[D]. 浙江大学, 2014.