

基于手机惯性传感器的虚拟全景系统的研究与实现

孙兆凯

目录

CONTENTS

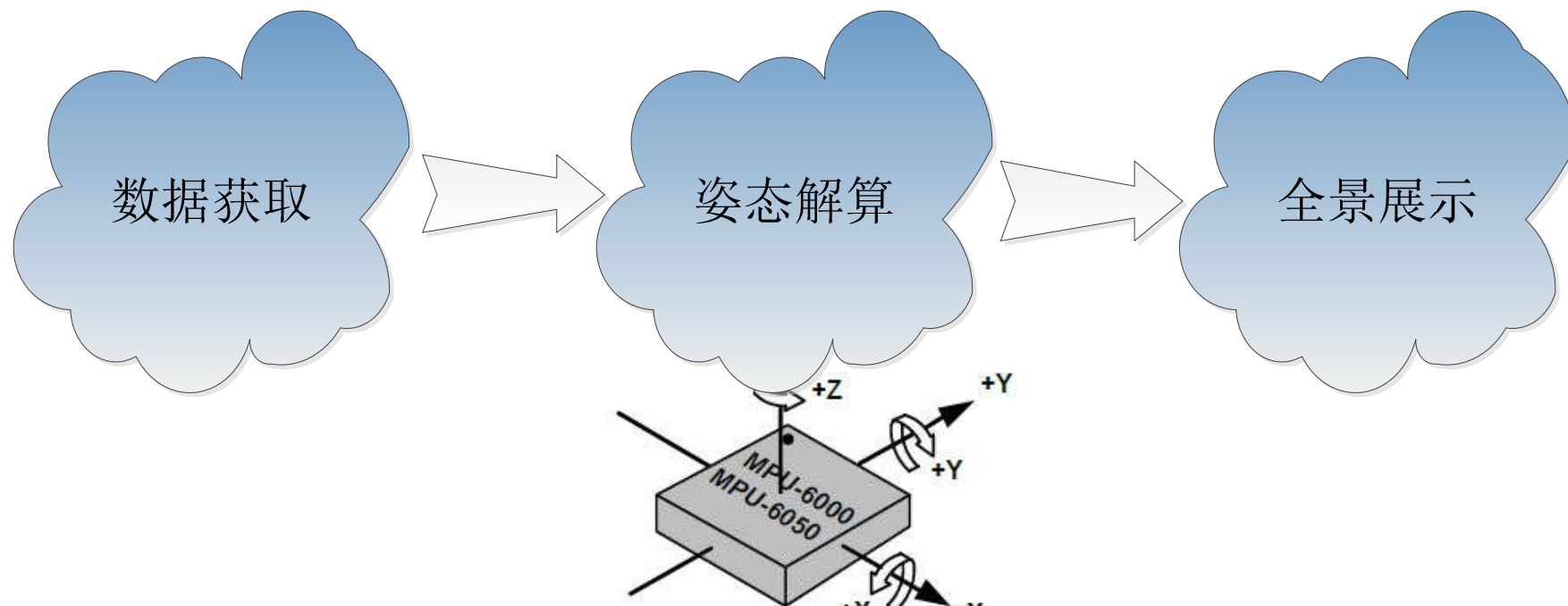
- 1、 绪论
- 2、 姿态解算算法研究
- 3、 陀螺仪数据处理
- 4、 系统设计与实现
- 5、 总结

1

绪论

1. 课题背景与研究意义
2. 国内外研究现状
3. 论文主要工作

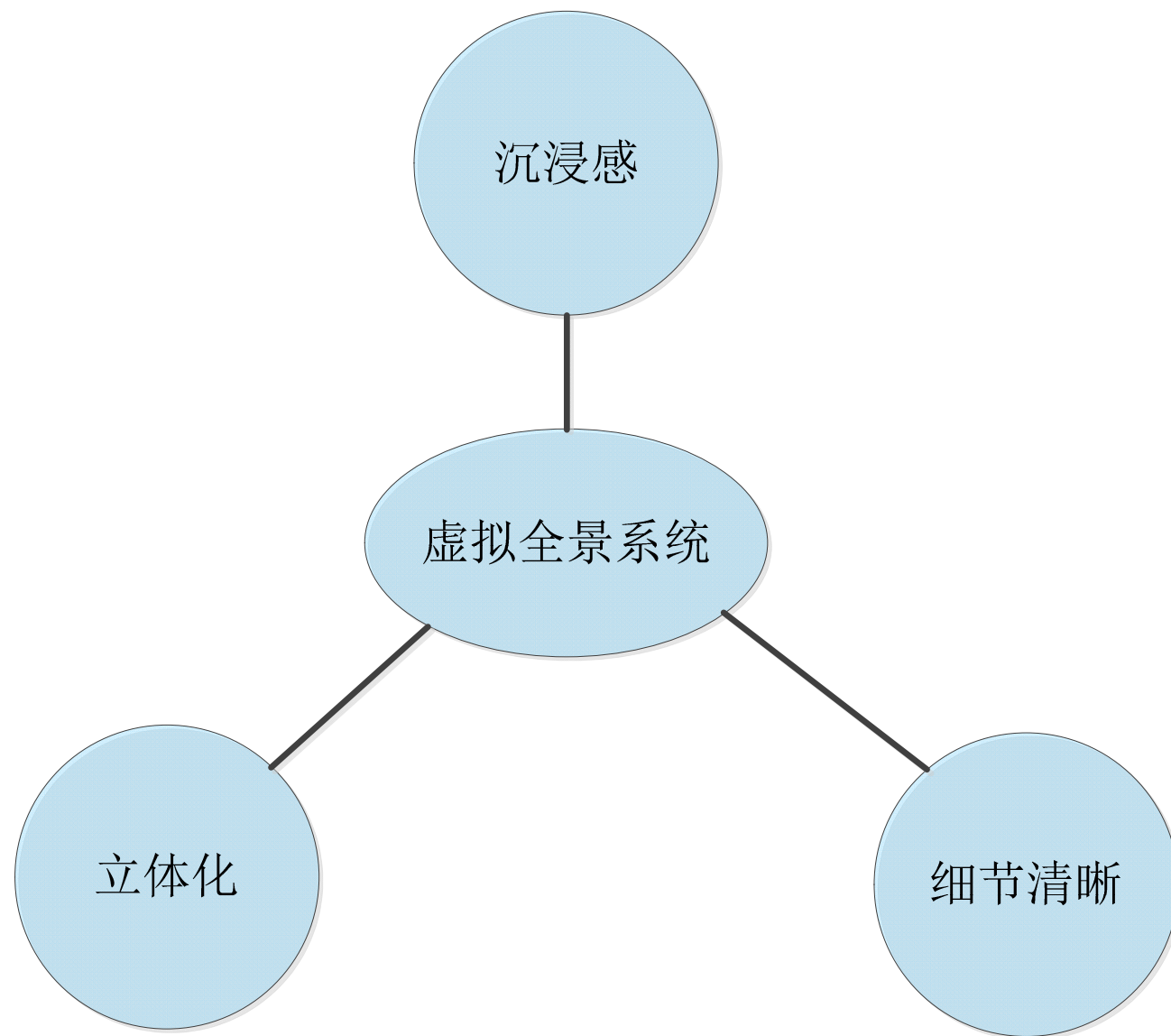
虚拟全景系统



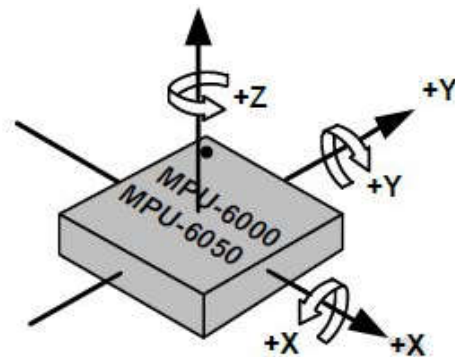
虚拟全景系统是将全景图片立体化展示的系统，可以通过改变载体的姿态控制全景图片的播放

研究意义

虚拟全景系统是一种新颖的多媒体交互方式，凭借其沉浸感强，视觉立体化，图片细节体现清晰的特点，虚拟全景系统得到了快速发展，各式相关的应用相继出现。



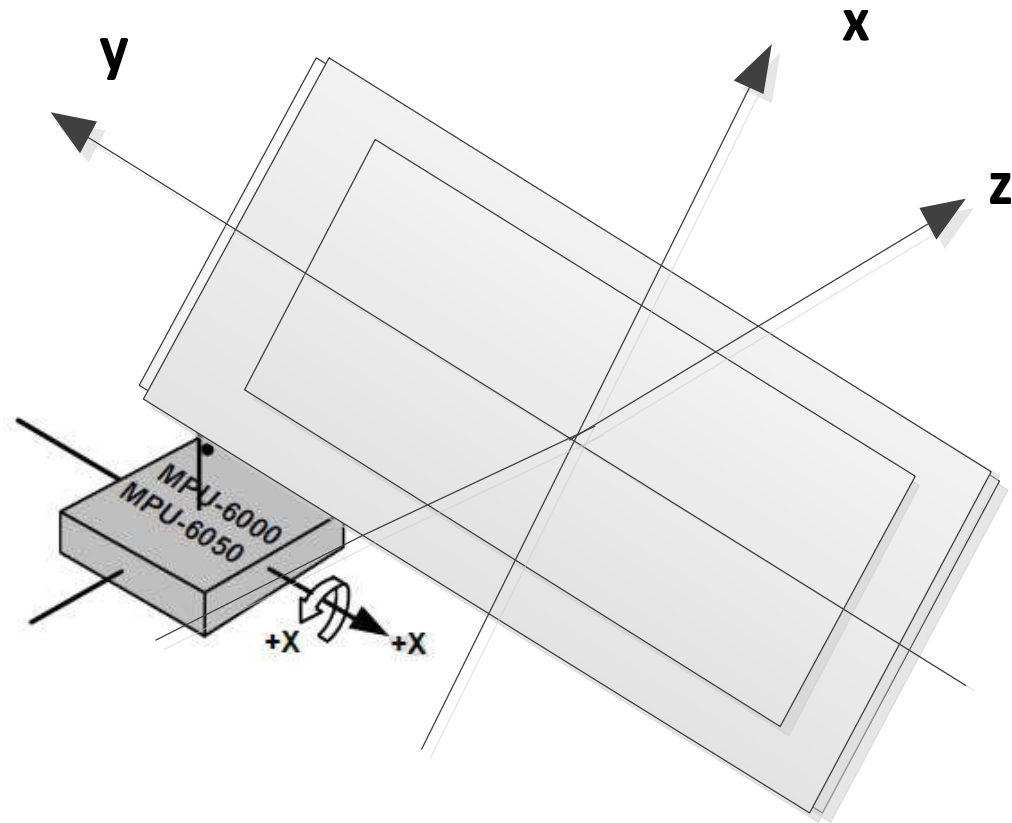
课题背景



型号	MPU6050
体积	15.24mm*15.24mm*2mm
重量	1.1g
精度	180° /h
用途	用于感知载体旋转的角速度

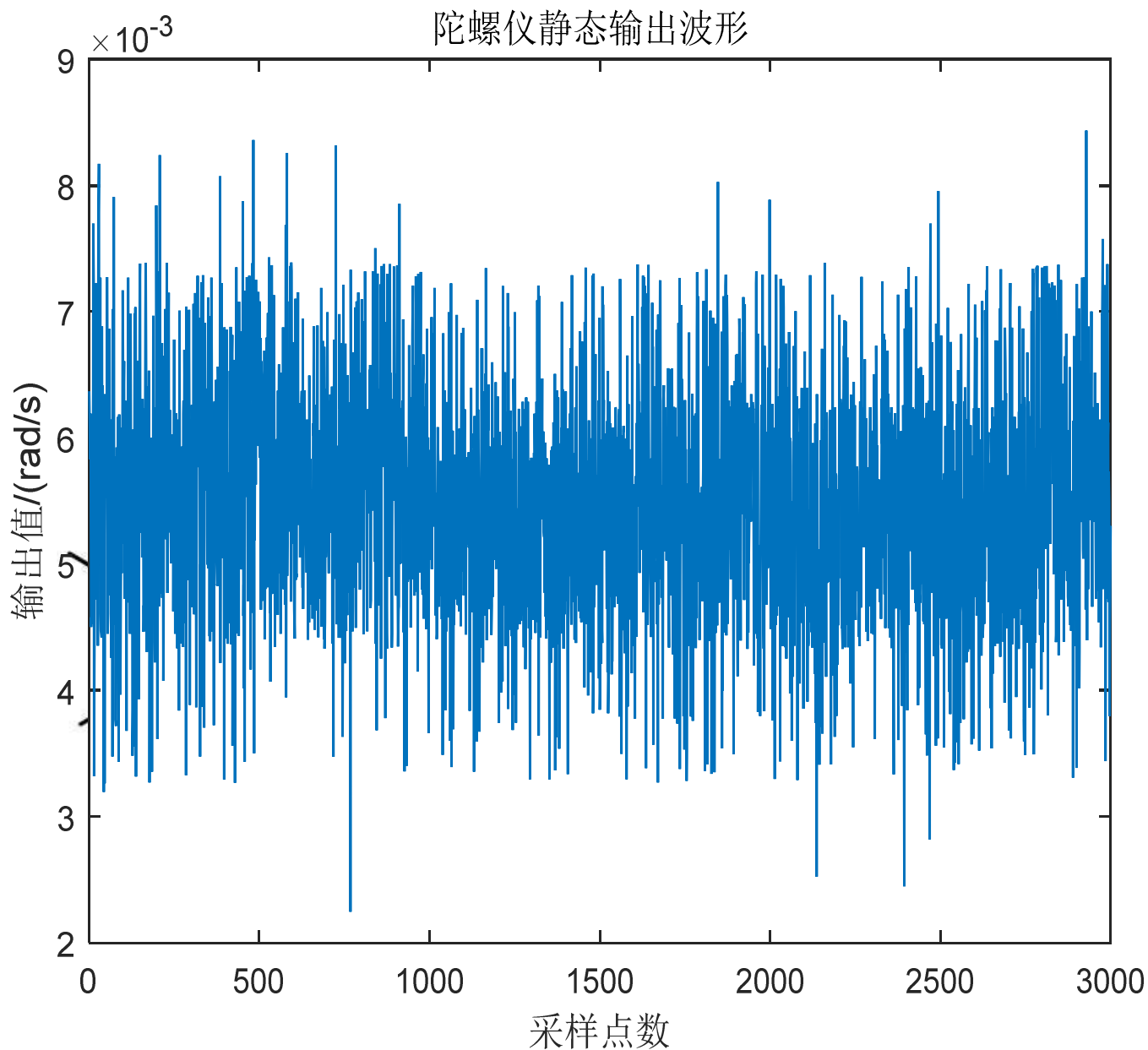
课题背景

内置于手机的陀螺仪，其坐标如右图所示，通过沿着三维坐标轴方向的角速度矢量叠加，能够实时描述手机旋转的角速度。



课题背景

以搭载android5.0系统的智能手机MOTOX为例，设置其陀螺仪输出频率50Hz，取其Z轴方向1分钟的输出数据，得到右图所示的陀螺仪静态输出波形。手机静止状态下，测量角速度约在 0.055rad/s 上下波动。因此陀螺仪原始数据存在较大误差，需进行一定处理之后才可使用。

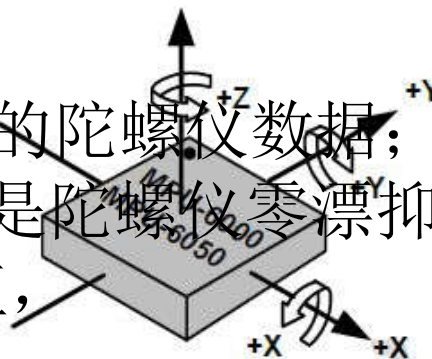


课题背景

陀螺仪原始数据补偿方法：

$$\text{gyro_data} = \text{gyro_read} + \text{gyro_offset}$$

Gyro_data表示补偿之后的陀螺仪数据； gyro_read是陀螺仪原始数据； gyro_offset是陀螺仪零漂抑制，是一段时间内陀螺仪原始数据的均值，



姿态解算算法研究现状

姿态解算算法是利用传感器测量得到的数据，计算载体姿态的算法，其主要方法有以下几种：

欧拉角法：该方法认为载体在三维空间中的有限次转动，可依照次序分别采用三个独立转角来表示，即俯仰角，偏航角，横滚角。每一次旋转可由矩阵来表示。

方向余弦法：该方法通过一个 3×3 阶矩阵来描述参考坐标系与载体坐标系的夹角的余弦。

四元数法：将载体的多次旋转看做绕一个等效的转轴旋转一定角度得到。四元数包含转轴位置及旋转的角度。

上述三种姿态解算算法的特点如下表所示：

姿态解算方法	优势	不足
欧拉角法	方法直观，易于理解	1.三角运算多，运算量较大 2.在求解载体全姿态信息时，会出现奇点
方向余弦法	能够求解载体全姿态信息	计算量太大，不满足实时性要求。
四元数法	1.能够求解载体全姿态信息 2.计算量小，满足实时性要求	不易理解

2

姿态解算算法研究

1. 四元数定义与计算
2. 基于四元数的姿态解算算法
3. 试验效果分析

m m 1 1 0 2

四元数的定义

四元数是一个由四个元构成的超复数：

$$Q(q_0, q_1, q_2, q_3) = q_0 + q_1\mathbf{i} + q_2\mathbf{j} + q_3\mathbf{k}$$

其中， q_0 、 q_1 、 q_2 、 q_3 是实数， \mathbf{i} 、 \mathbf{j} 、 \mathbf{k} 是相互正交的单位向量，同时也是虚单位 $\sqrt{-1}$ 。

四元数的运算

1. 四元数的共轭:

$$Q^*(q_0, q_1, q_2, q_3) = q_0 - q_1\mathbf{i} - q_2\mathbf{j} - q_3\mathbf{k}$$

2. 四元数的范数:

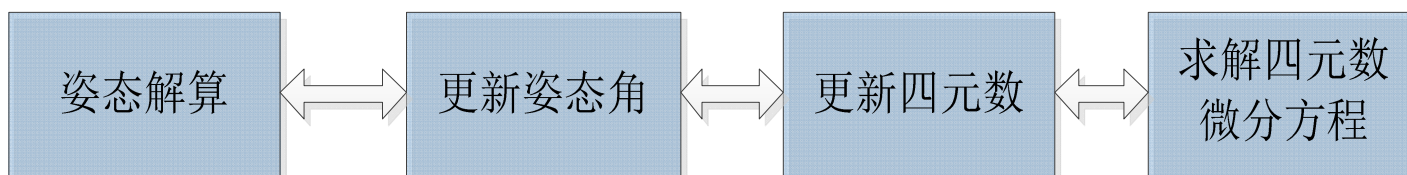
$$\|Q\| = q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2$$

四元数的范数表示四元数的大小，这里我们使用的是规范四元数，即 $\|Q\|=1$

3. 四元数的乘法:

$$\mathbf{P} \otimes \mathbf{Q} = \begin{bmatrix} q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_1 & q_0 & q_3 & -q_2 \\ q_2 & -q_3 & q_0 & q_1 \\ q_3 & q_2 & -q_1 & q_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix}$$

基于四元数的姿态解算算法



四元数的微分方程如下式所示：

$$\bar{\mathbf{q}} = \frac{1}{2} \mathbf{q} \otimes \boldsymbol{\omega}$$

其中 $\bar{\mathbf{q}}$ 是更新之后的四元数， \mathbf{q} 是更新之前的四元数， $\boldsymbol{\omega}$ 是由陀螺仪输出数据组成的一维向量， $\boldsymbol{\omega} = [0, \omega_x, \omega_y, \omega_z]$ 。

基于四元数的姿态解算算法

$$\begin{bmatrix} \bar{q}_0 \\ \bar{q}_1 \\ \bar{q}_2 \\ \bar{q}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_x & -\omega_y & -\omega_z \\ \omega_x & 0 & \omega_z & -\omega_y \\ \omega_y & -\omega_z & 0 & \omega_x \\ \omega_z & \omega_y & -\omega_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix}$$

将前述公式展开，得到如上所示的四元数微分方程，利用四阶龙格-库塔算法对上式求解，其结果如下所示：

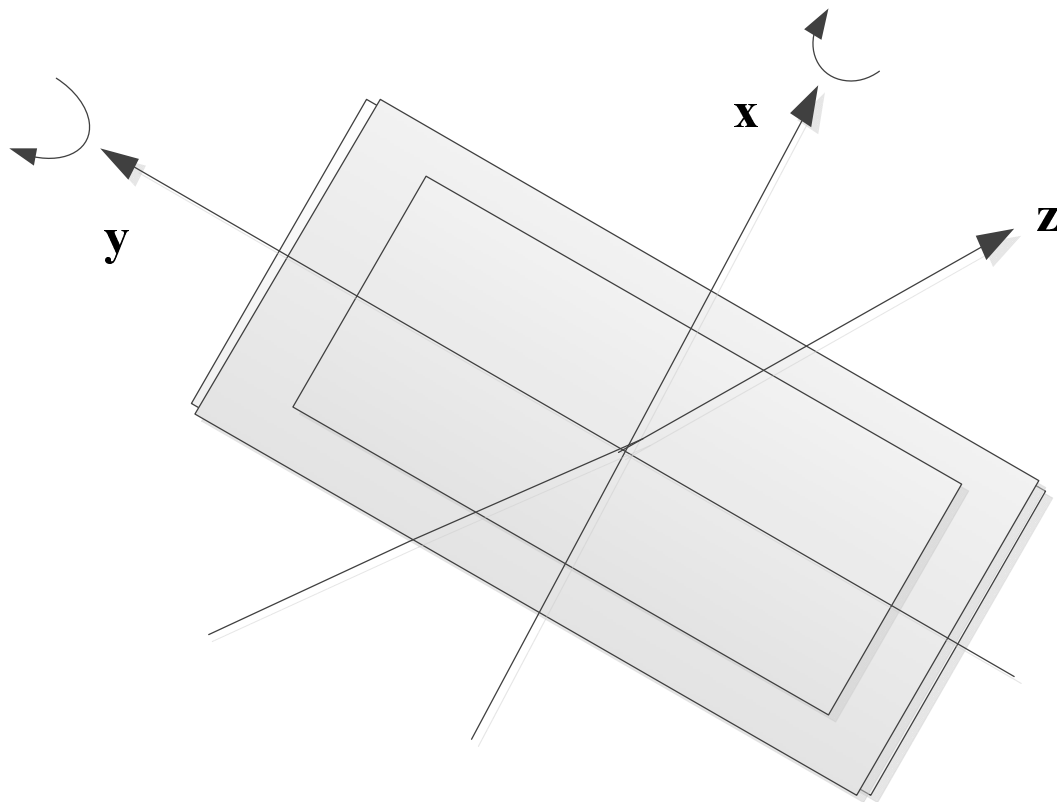
$$\left\{ \begin{array}{l} K_1 = \frac{1}{2} M [\omega(t_n)] Q(t_n) \\ K_2 = \frac{1}{2} M \left[\omega \left(t_n + \frac{h}{2} \right) \right] \left[Q(t_n) + \frac{K_1}{2} h \right] \\ K_3 = \frac{1}{2} M \left[\omega \left(t_n + \frac{h}{2} \right) \right] \left[Q(t_n) + \frac{K_2}{2} h \right] \\ K_4 = \frac{1}{2} M [\omega(t_n + h)] [Q(t_n) + K_3 h] \\ Q(t_{n+1}) = Q(t_n) + \frac{h}{6} (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4) \end{array} \right.$$

基于四元数的姿态解算算法

在本系统中手机内置陀螺仪的输出周期为0.02s，为使求解得到的姿态数据更加准确，我们设四元数的更新周期为0.04s。若设 $t_n=0$ ，则 ω_{t_n} 、 $\omega_{t_n+\frac{h}{2}}$ 、 ω_{t_n+h} 分别表示陀螺仪在第0s、0.02s、0.04s时刻输出的角速度。 Q_{t_n} 和 Q_{t_n+1} 分别表示前一时刻和当前时刻的四元数。

姿态解算效果分析

在虚拟全景系统中，主要将手机X轴及Y轴旋转来控制全景图片的播放。因此我们将手机按下图所示进行旋转，分别绕X轴及Y轴正方向逆时针旋转 360° 。



姿态解算效果分析

按照前文所述的测试方案，每2分钟测试一次旋转结果，对1小时内的30次测试结果进行记录，如下表所示：

测试次数	绕x轴测试结果	误差	绕y轴测试结果	误差
1	359.13°	0.87°	359.42°	0.58°
2	358.96°	1.04°	361.20°	1.20°
3	360.73°	0.73°	360.52°	0.52°
4	358.66°	1.34°	361.10°	1.10°
5	361.17°	1.17°	357.94°	2.06°
26	364.58°	4.58°	355.50°	4.50°
27	364.42°	4.42°	355.48°	4.52°
28	363.84°	3.84°	364.92°	4.92°
29	364.80°	4.80°	355.88°	4.12°
30	365.39°	5.39°	354.92°	5.08°

4.11°

4.36°

姿态解算效果分析

根据查阅相关资料及多次试验可知，虚拟全景系统中，姿态解算的精度在达到 1° 以内时，全景展示可以取得理想的效果。而前述测试精度为 4.11° 及 4.36° ，并未达到理想的精度。为提高姿态解算精度，需要对陀螺仪输出数据进行一定处理。

3

陀螺仪数据处理

陀螺仪误差分析

基于时间序列分析的陀螺仪零偏动态补偿算法

算法性能分析

m m 1 1 0 2



陀螺仪误差分析

1. Allan方差分析法

是一种评价陀螺仪工作精度的指标，通过计算Allan方差，可以将陀螺仪的误差进行量化。

2. 陀螺仪的误差分析

零偏误差作为评价陀螺仪性能最重要的指标，其对陀螺仪工作精度有着非常重要的影响，因此本文主要对陀螺仪的零偏误差进行分析。以Android手机MOTOX内置陀螺仪为例，设置其输出频率为50HZ，取其在工作0、10、20、30、40、50、60分钟后的静态输出值，计算Allan方差，得到如下表所示的零偏误差系数图。

陀螺仪误差分析

受工作时间，器件温度等因素的影响，零偏误差随着时间的增长而不断增加。

时刻 (min)	零偏误差系数
0	0.298929
10	0.360564
20	0.508862
30	1.632960
40	1.481458
50	1.632589
60	2.186752

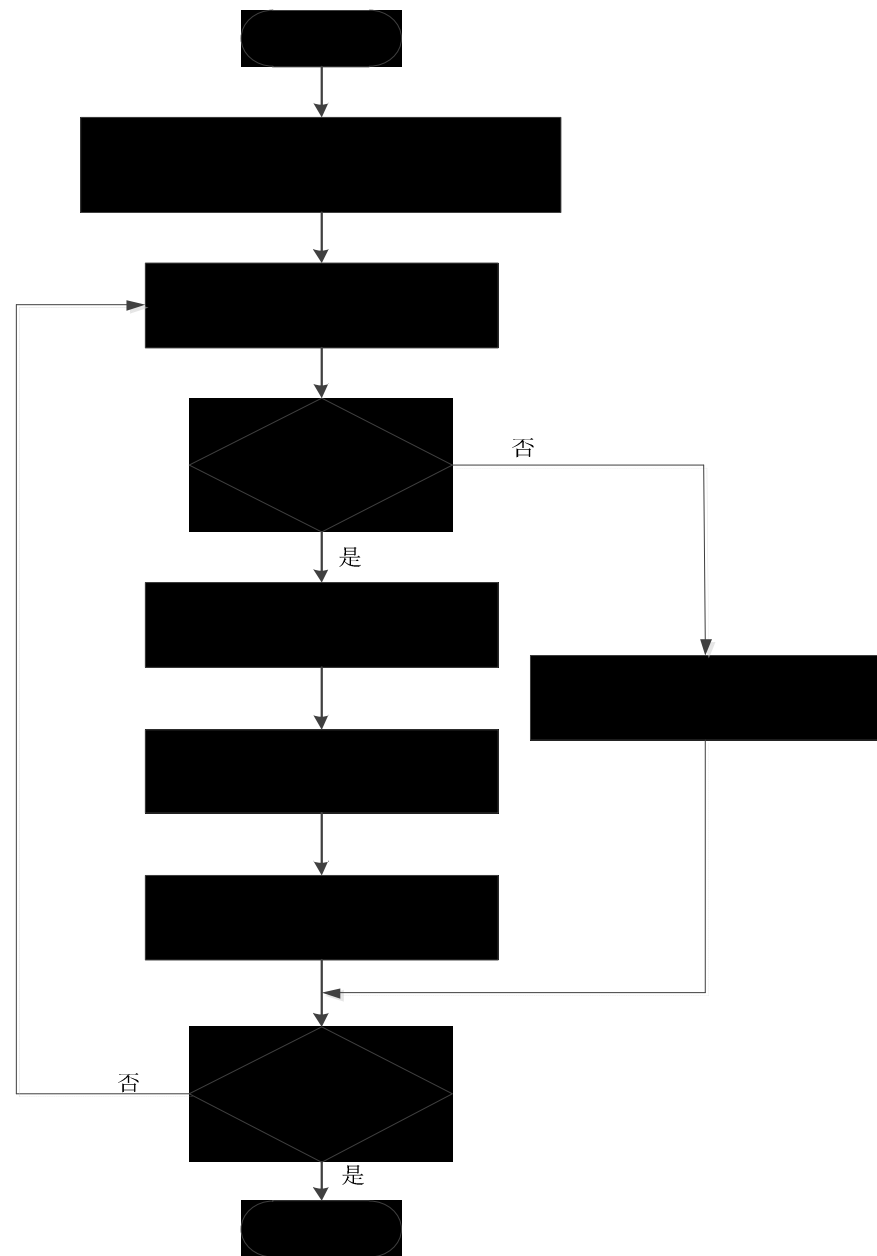
基于时间序列分析的陀螺仪零偏动态补偿算法

传统的零偏补偿方法：

$$\text{gyro_data} = \text{gyro_read} + \text{gyro_offset}$$

Gyro_data表示补偿之后的陀螺仪数据； gyro_read是陀螺仪原始数据； gyro_offset是陀螺仪零漂抑制，是一段时间内陀螺仪原始数据的均值。

本文提出的零偏补偿方法：



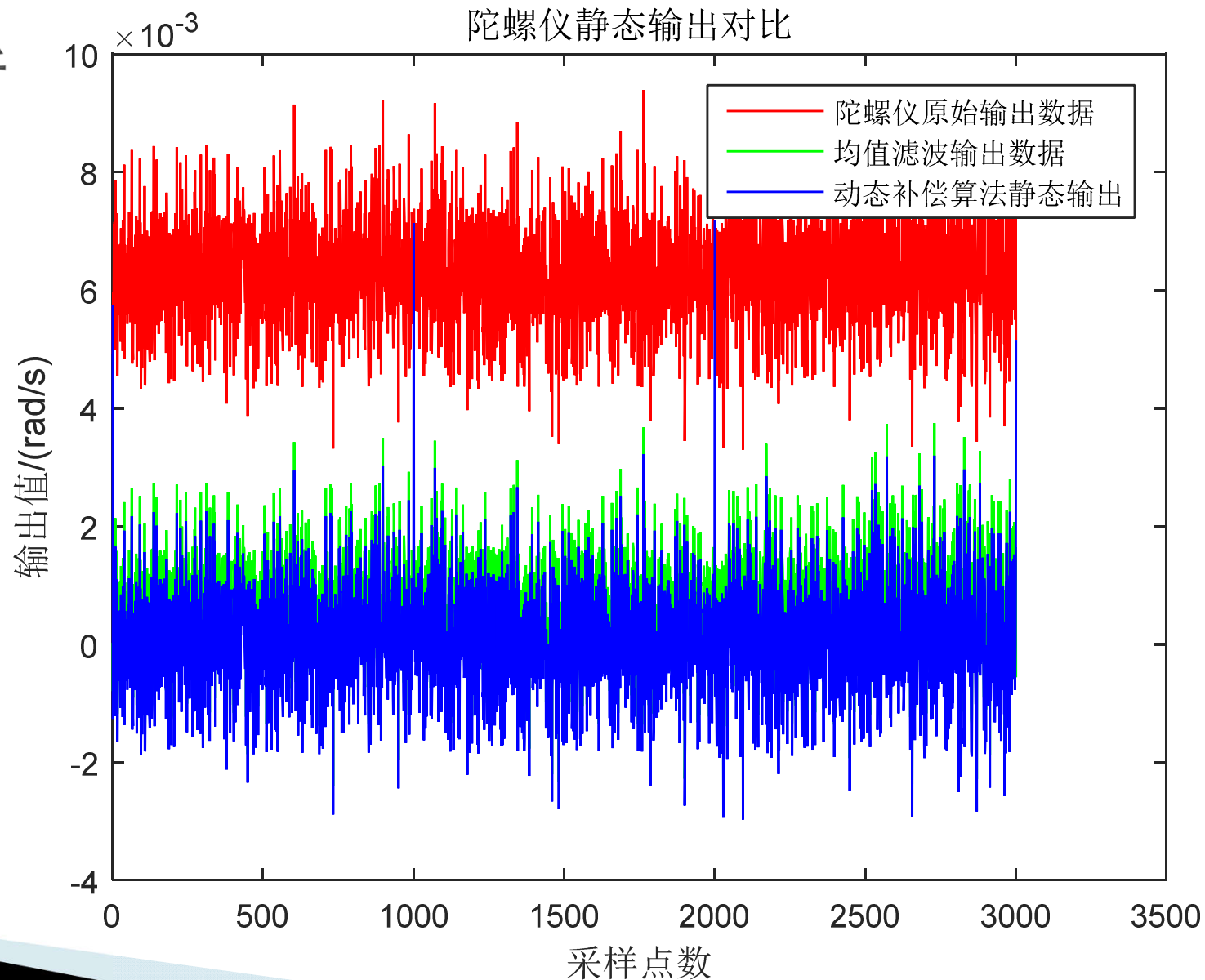
算法性能分析

计算3种情况下的零偏误差系数，如右表所示。随着工作时间的增加，动态补偿方法的误差系数保持稳定。长时间工作情况下，该方法性能优势比较明显。

时刻(min)	原始输出	均值滤波	动态补偿
0	0.298929	0.022867	0.021263
10	0.360524	0.022634	0.023953
20	0.508862	0.016538	0.022094
30	1.632960	0.020177	0.016989
40	1.481458	0.023057	0.010305
50	1.632589	0.034153	0.017740
60	2.186752	0.032810	0.015504

算法性能分析

取三种情况下第60分钟的静态输出数据，得到如右图所示的陀螺仪静态输出对比图。由图可以看出，动态补偿方法下的输出波形更趋近于0，输出数据更加准确。



算法性能分析

按照前述测试方案，在对陀螺仪输出数据进行动态补偿后，记录姿态解算的结果，如下表所示：

测试次数	绕X轴测试结果	误差	绕Y轴测试结果	误差
1	359.21°	0.79°	360.28°	0.28°
2	359.96°	0.04°	359.11°	0.89°
3	361.06°	1.06°	360.14°	0.14°
4	360.74°	0.74°	359.88°	0.12°
5	358.92°	1.08°	361.62°	1.62°
26	360.13°	0.13°	359.55°	0.45°
27	359.27°	0.73°	360.37°	0.37°
28	361.02°	1.02°	361.53°	0.53°
29	362.03°	2.03°	360.06°	0.06°
30	359.18°	0.82°	360.92°	0.92°

1.01°

0.64°

4

系统设计与实现

系统设计

系统实现

软件效果展示

m m 1 1 0 2

系统设计

1. 全景切换模块

为进一步完善系统功能，增加了全景切换功能。其原理如下图所示：



当用户朝指定方向行走时，全景图片也会切换到相应场景

系统设计

1. 全景切换模块

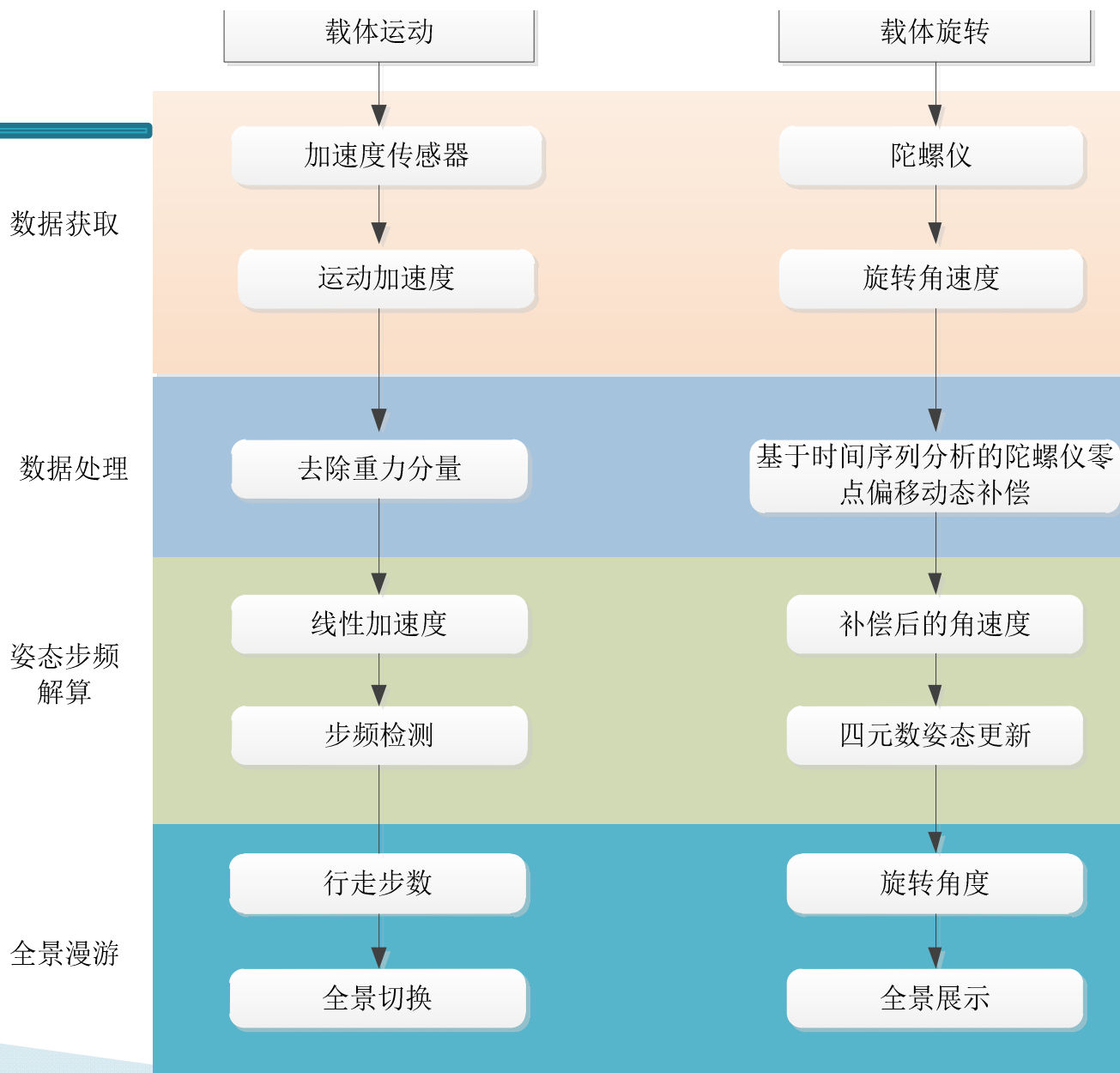
利用加速度计获取到的加速度数据进行步频检测的流程如右图所示：



系统设计

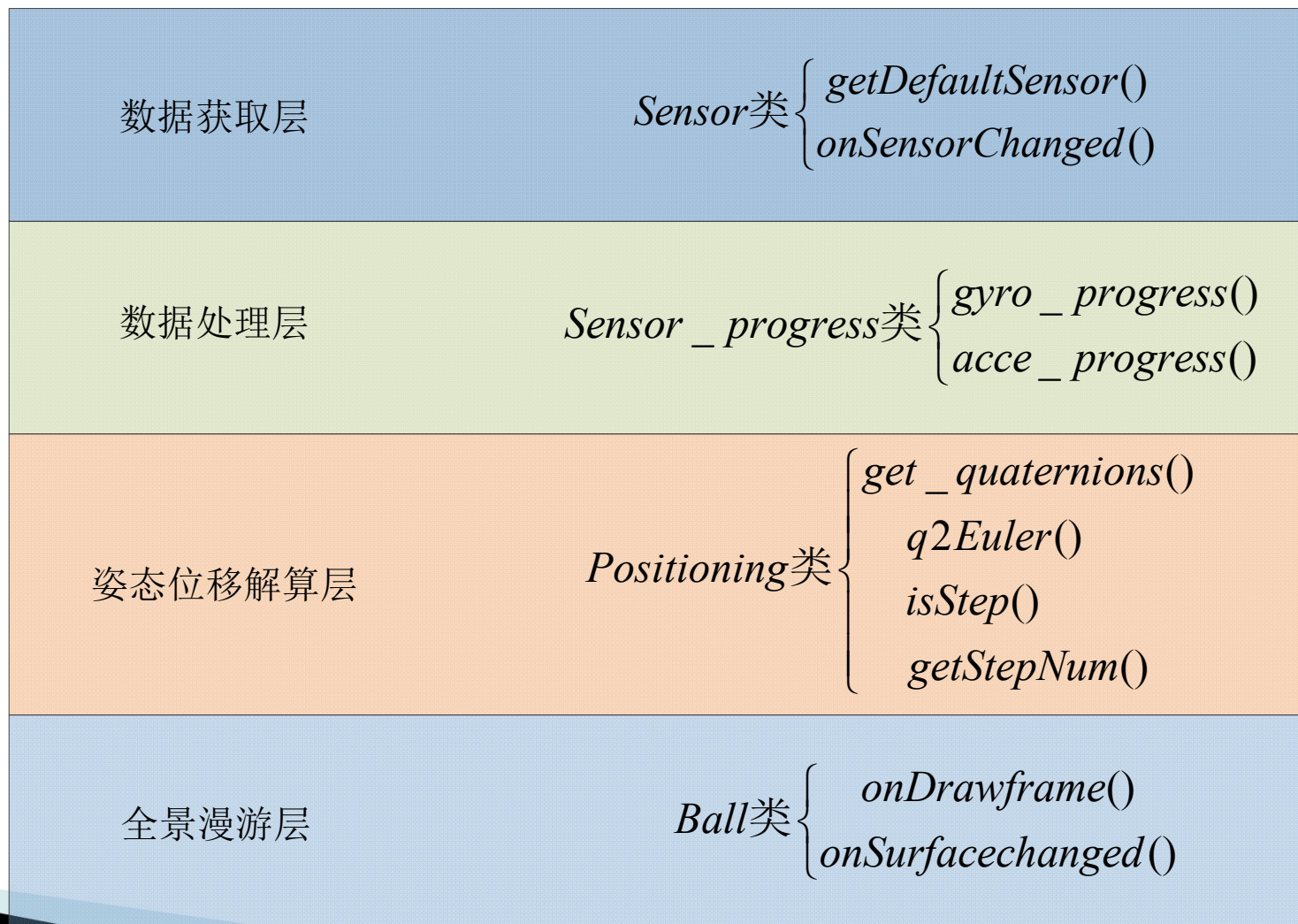
2. 系统架构设计

系统架构可分为4层结构，数据获取层获取手机惯性传感器的有关数据；数据处理层对获取到的数据进行相关处理；姿态步频检测模块利用获取到的数据计算手机的姿态以及运动状况；最后根据手机姿态与用户运动状况控制全景图片的切换与展示。



系统实现

在上述系统架构的基础上，编写实现了如右图所示的各函数以更好的实现各模块的功能。



软件效果展示

1. 全景展示模块

为便于对全景播放效果进行测试，我们对西安电子科技大学老校区北门广场取景30张图片，利用PTGui软件合成如下图所示的全景图片进行展示。并将全景图均分成四个区域，每个区域占据90°的视角。



软件效果展示

1. 全景展示模块

(1) 水平环视

手机姿态： 初始位置

手机姿态角： 0.147624°



沿Y轴正方向顺时针旋转 90°

手机姿态角： -89.206907°



沿Y轴正方向逆时针旋转 90°

手机姿态角： 0.521539°



软件效果展示

1. 全景展示模块

(2) 俯视与仰视

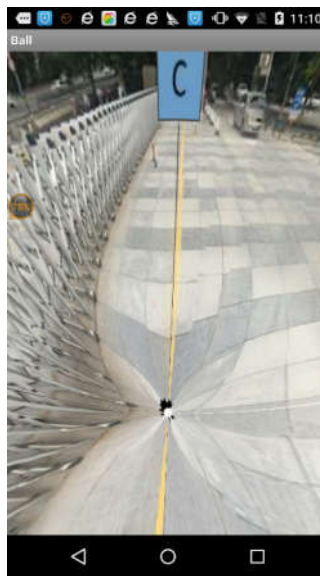
手机姿态： 初始位置

手机姿态角： 0.280556°



沿X轴正方向逆时针旋转 90°

手机姿态角： 90.171563°



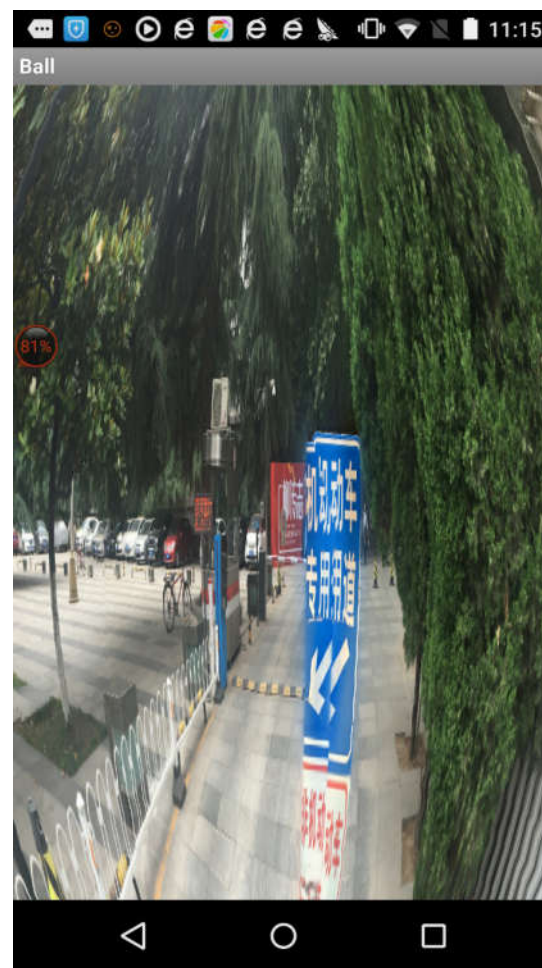
沿X轴正方向顺时针旋转 90°

手机姿态角： 0.156439°



软件效果展示

2. 全景切换模块



5

总结

m m 1 1 0 2

总结

1. 对基于四元数的姿态解算算法进行研究，并对解算性能进行分析、研究。
 2. 提出了一种全新的陀螺仪数据处理算法——基于时间序列分析的陀螺仪零偏动态补偿算法。
 3. 完成了基于手机惯性传感器的虚拟全景系统的设计与实现。
- 