

基于深度学习的惯性导航室内定位算法研究

导师：邓庆绪 教授

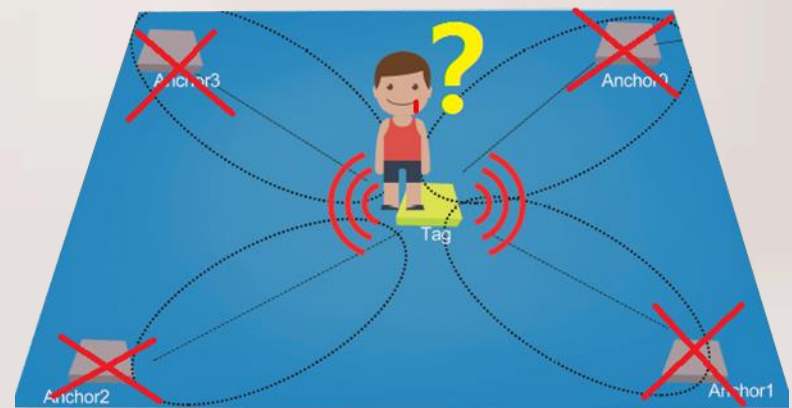
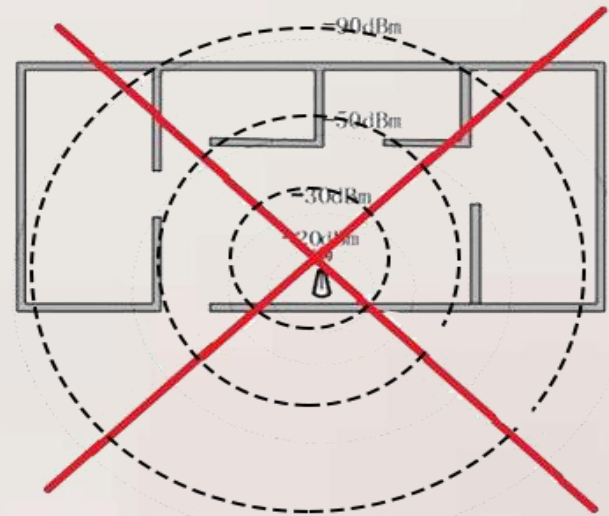
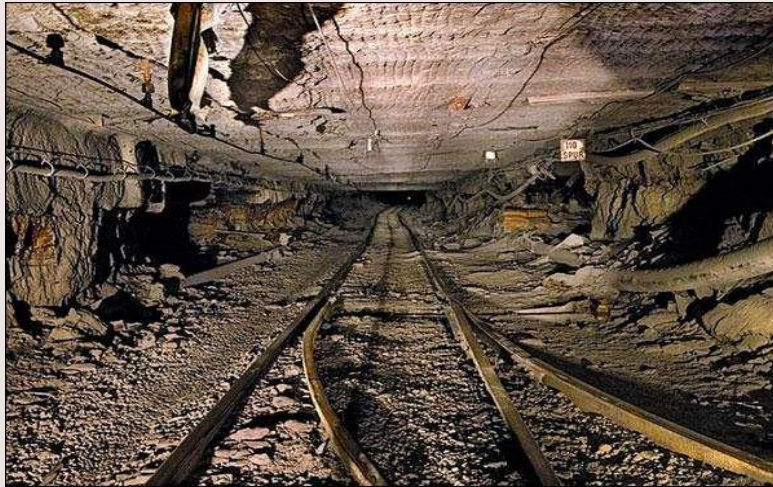
报告人：付萌

学号：1600929

专业：计算机软件与理论

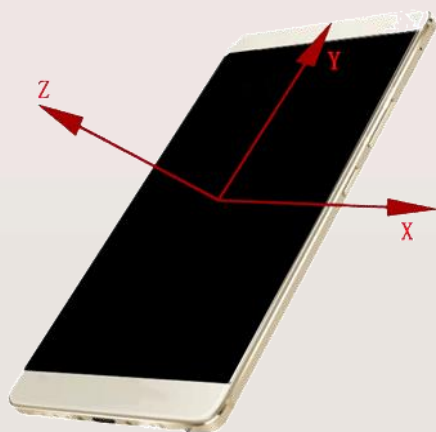
问题抛出

如何在没有基础设施的情况下如何进行室内空间的定位？



定位方案

传统惯性导航积分误差较大，不可使用
手机传感器 + 步行者航迹推算



(当前分组) 原始数据步数: 2 去除不可能步数: 2
历史存储步数: 0/0 总步数: 2/2
绘制图像: 0 当前分组数据条目: 50 总数据条目: 50

使用滤波方法: CommonFilter

思想: 一阶平均

使用轴向: AbsoluteXYZ

思想: 使用手机加速度传感器XYZ轴平方和开根号进行计算

判步方法: Peak(Trend)

思想: 一段时间内出现唯一的波峰意味着一步的发生

滤波方法: Peak(Trend)

思想: 判断走一步之后不再进行额外分类剔除

步长计算方法: Scarlet approach

思想: 加速度做平均然后除以阶段加速度的极差的做法

方向计算方法: CompassRead

思想: 直接读取电子罗盘角度的方法

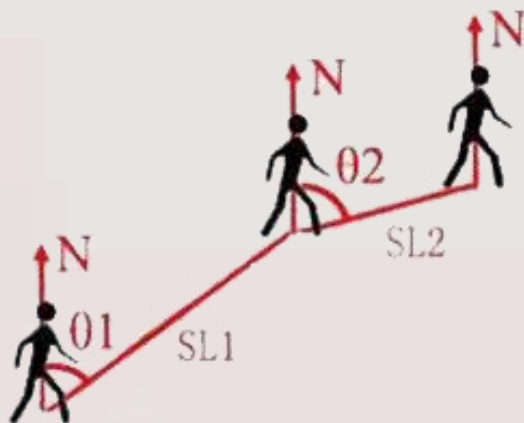
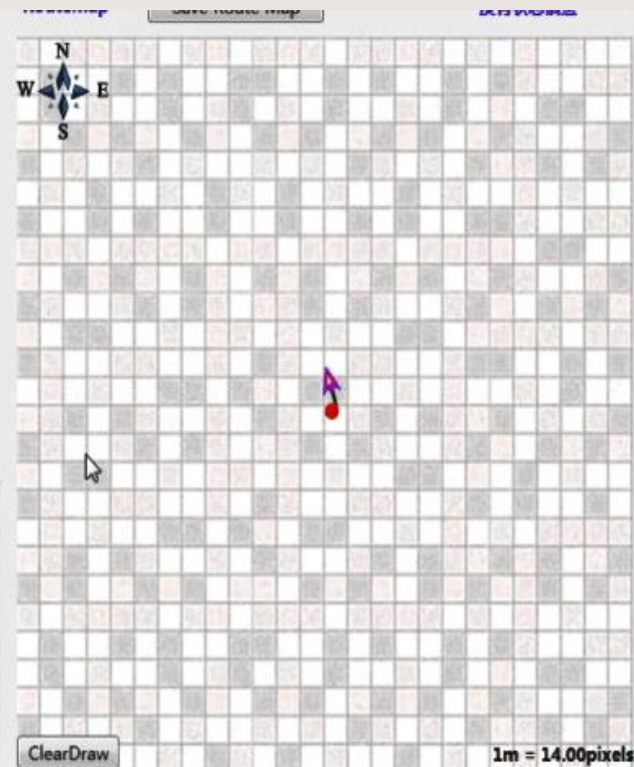
上下位移计算方法: NoCalculate

思想: 不进行上下位移的计算

详细定位信息 初始坐标 (0.0000, 0.0000, 0.0000)

角度: 101.0384 步长: 0.6000 坐标: (0.5889, -0.1149, 0.0000)

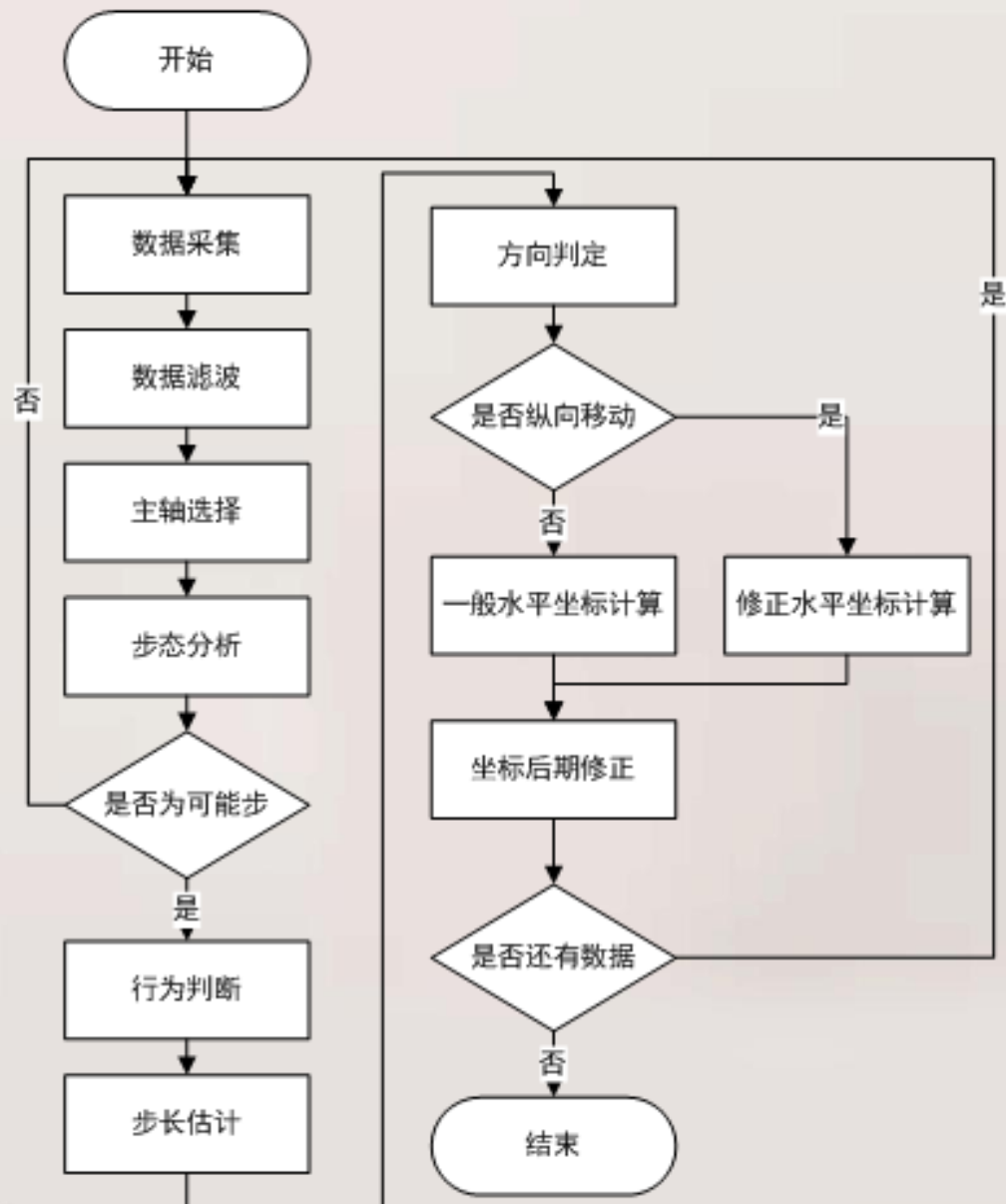
角度: 344.2605 步长: 0.7720 坐标: (0.3795, 0.6282, 0.0000)



$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + SL_k \times \sin(\theta_k) \\ y_{k+1} = y_k + SL_k \times \cos(\theta_k) \end{cases}$$

数据收集
数据滤波
步态分析
方向判定
步长估计
坐标计算

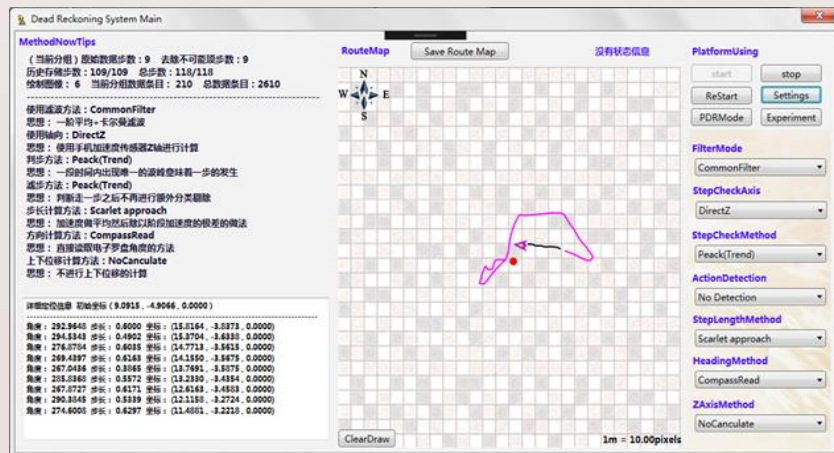
数据收集
数据滤波
主轴选择
步态分析
行为判断
方向判定
步长估计
纵向位移
坐标计算



数据收集



加速度传感器
陀螺仪
磁力计
时间戳
状态标签



特殊算法的结算结果
电子罗盘读数
GPS数据

气压计数据等

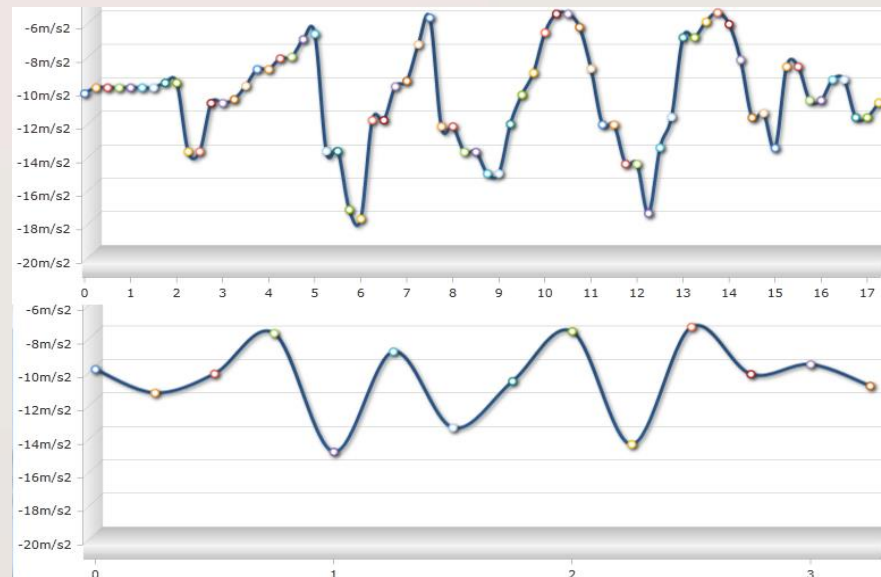
0.074, -0.058, -0.346, -0.074, 3.911, -2.123, 18.240, 26.892, -38.580, 240.111, 75.059, 164.146, 0.281, 1.016, 0.819, 0.510, 1, 1, 2, 0.106, 0.181, -0.486, -18.975, 13.031, -0.979, 21.024, 25.656, -37.404, 233.683, 124.399, 310.585, 0.387, 0.985, 0.849, 0.510, 1, 1, 3, 0.364, 0.154, -0.752, -21.499, 17.693, -3.473, 22.224, 25.440, -35.352, 202.106, 149.954, 167.862, 0.662, 0.574, 0.794, 0.510, 1, 1, 2, 0.129, 0.137, -0.290, -16.159, 15.969, -2.835, 24.720, 17.364, -38.112, 213.663, 116.616, 233.357, 0.367, 1.319, 0.975, 0.510, 1, 1, 3, 0.661, 0.241, -1.436, -17.605, 16.624, -4.346, 9.780, 34.920, -34.224, 227.527, 173.112, 242.106, 0.695, 0.998, 0.977, 0.510, 1, 1, 3, 0.415, 0.239, -0.810, -19.737, 18.510, -4.602, 16.320, 27.120, -37.872, 204.754, 237.765, 292.489, 0.452, 1.359, 1.024, 0.510, 1, 1, 3



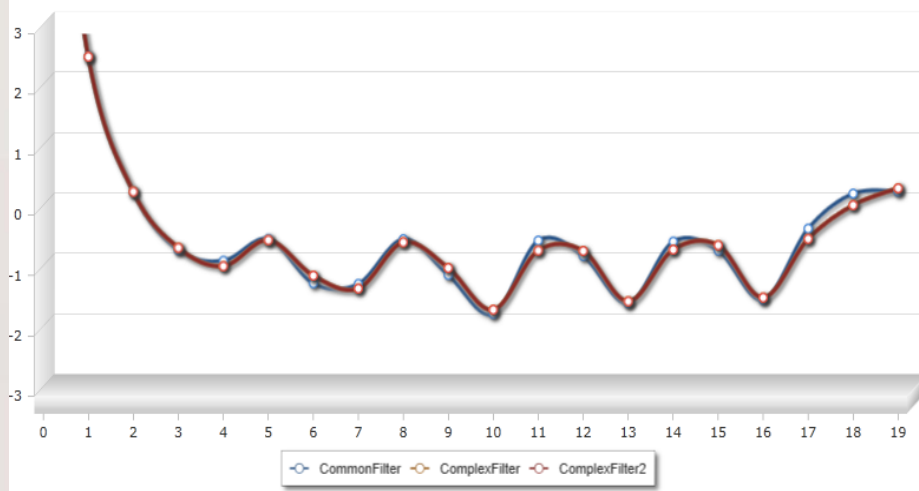
数据滤波

一个人行走的频率为1-3HZ
数据采集的频率至少为20HZ
近90%的数据都没有用
主要是为了获取**主轴数据的波形**

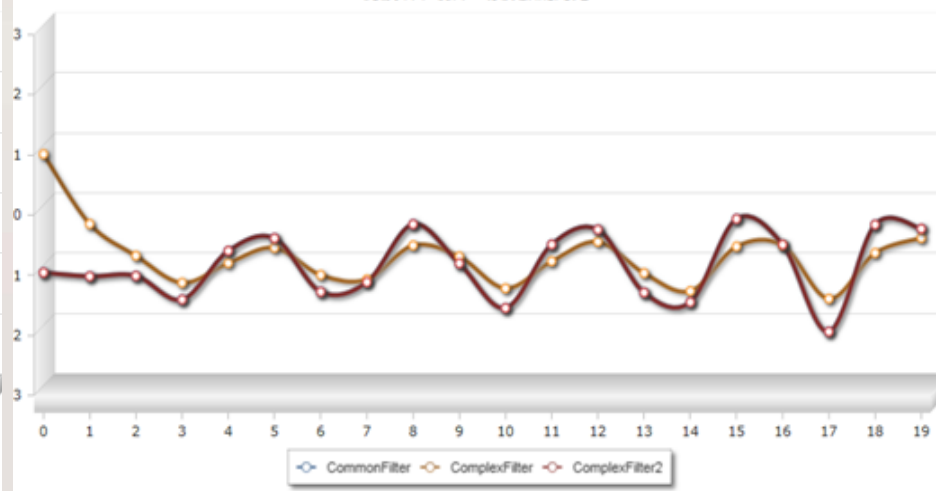
$$a_k = \frac{1}{M} \sum_{i=Mk}^{M(k+1)} a_i$$



滤波结果最后20条数据的对比



滤波结果最后20条数据的对比



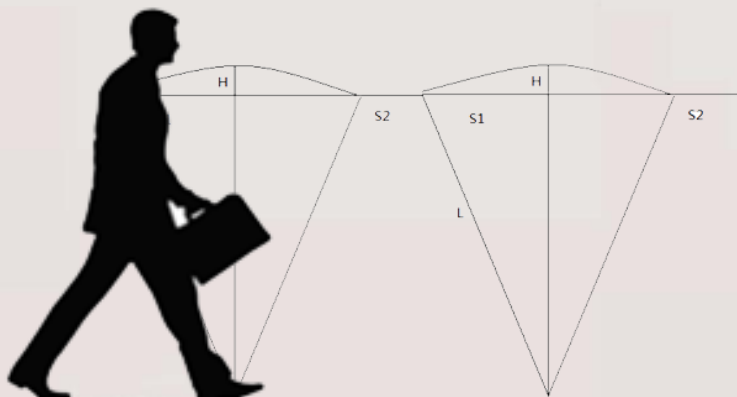
单步长的步长估计

基于加速度的步长估计

Weinberg: $SL = k \times \sqrt[4]{a_{max} - a_{min}}$

Scarlet: $SL = k \times \frac{\frac{\sum_{i=1}^N |a_i|}{N} - a_{min}}{a_{max} - a_{min}}$

Kim: $SL = k \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |a_i|}{N}}$



依据身高估计步长

$$SL = H \times S$$

$$SL = \left[0.7 + a(H - 1.75) + b \times \frac{(SF - 1.79)H}{1.75} \right] \times c$$

依据单摆估计步长

$$SL = 2.5 \sqrt{2HL - H^2}$$

一般公式

$$\begin{cases} SL = \alpha \times fre + \beta \times var + \gamma \\ fre_k = \frac{1}{(t_k - t_{k-1})} \\ var_k = \sum_{t=t_{k-1}}^{t_k} \frac{(a_k - \bar{a}_k)^2}{n} \end{cases}$$

偏航角

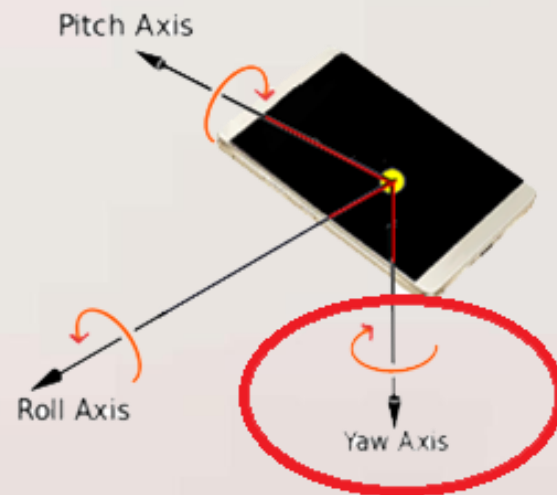
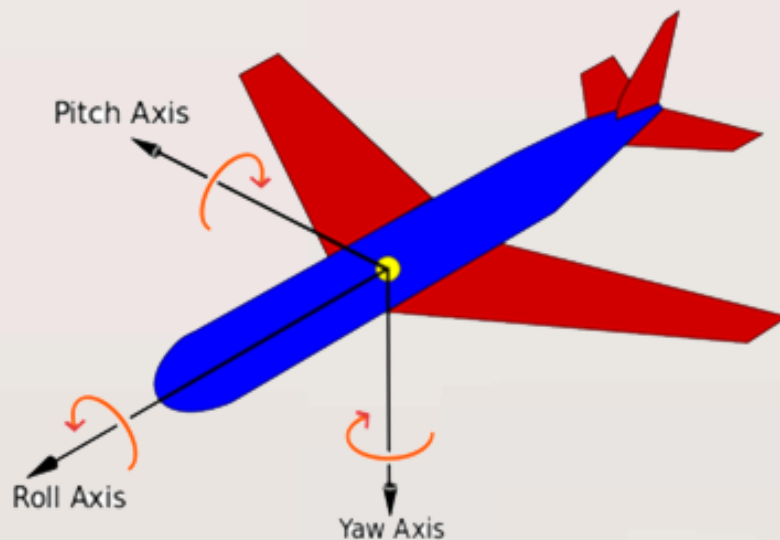
Yaw

俯仰角

Pitch

翻滚角

Roll

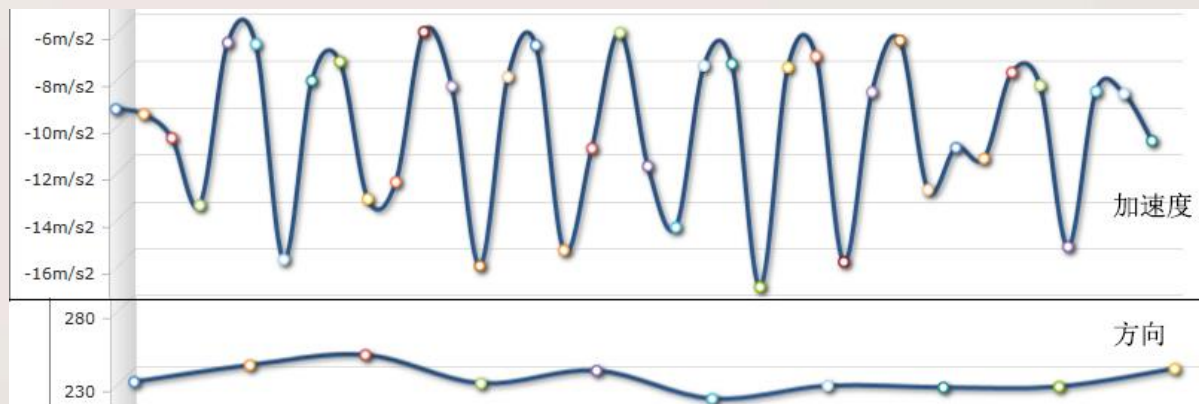


电子罗盘 → IMU → ARHS → AHRS+IMU

$$ED_{yaw} = \sqrt{\sum_{k=n}^{n+N-1} \left[\left(\psi_k^{9DOF} - \bar{\psi}^{9DOF} \right) - \left(\psi_k^{6DOF} - \bar{\psi}^{6DOF} \right) \right]^2}$$

方向判定修正

A 平放方向+后期修正

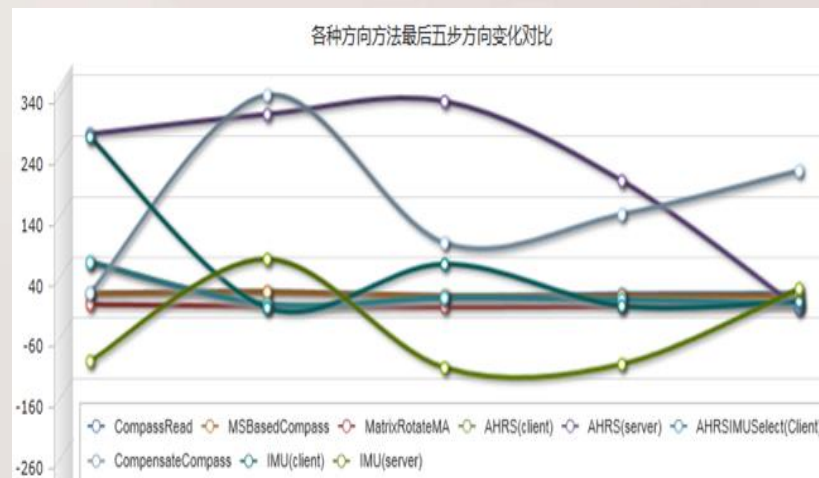


B 旋转矩阵+方向计算

$$\gamma = \sin^{-1}\left(\frac{a_y}{g}\right) \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{a_x}{a_z}\right)$$

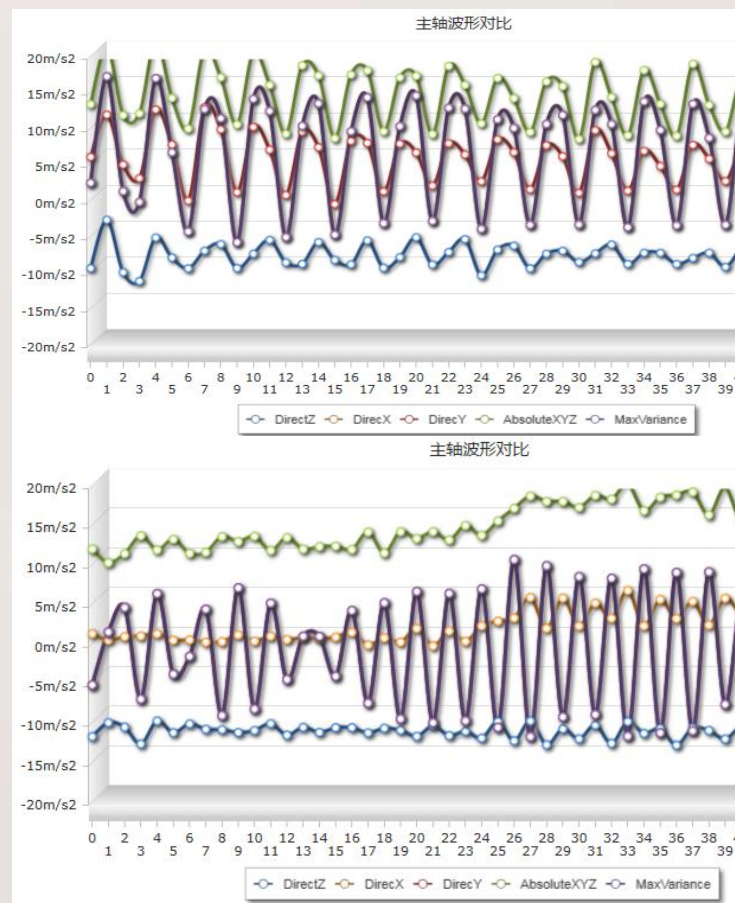
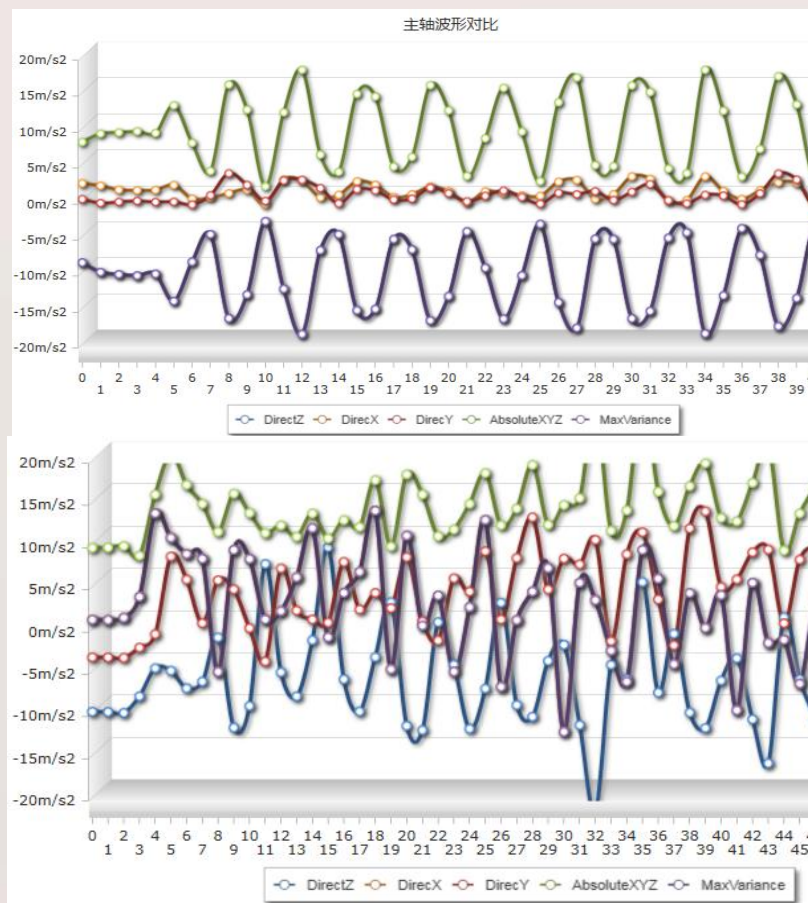
$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta\sin\gamma & -\sin\theta\cos\gamma \\ 0 & \cos\gamma & \sin\gamma \\ \sin\theta & -\cos\theta\sin\gamma & \cos\theta\cos\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{y_w}{x_w}\right)$$



主轴选择

主轴是具有重要意义的**虚拟轴**，减少使用单一传感器的风险。
需要尽可能减少姿态的影响，是**持续步态分析**实现机制的关键。



X轴 Y轴 Z轴 总加速度 最大方差

$$a_{use} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

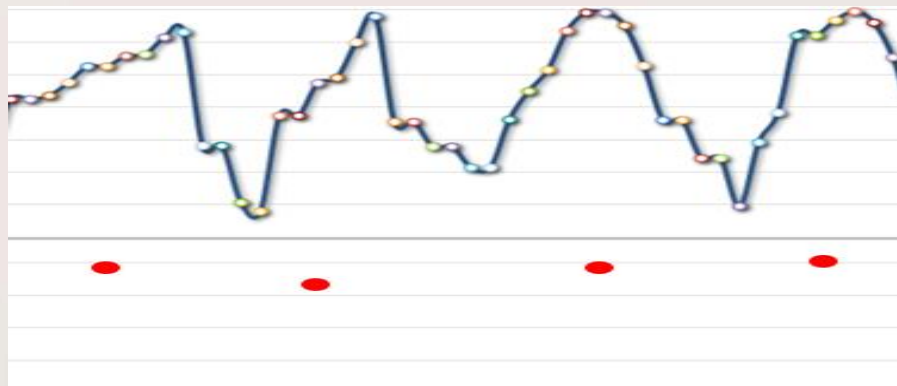
步态分析（只看波形）

峰值检测方法
采样匹配方法

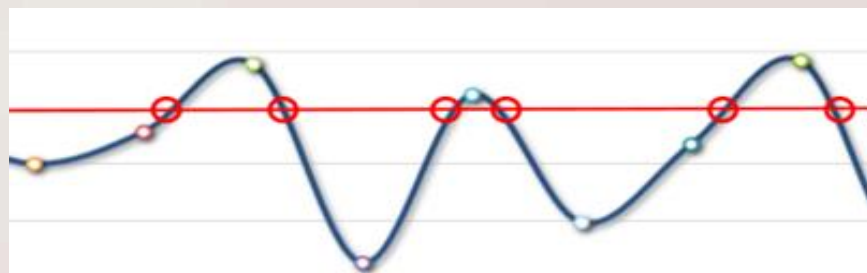
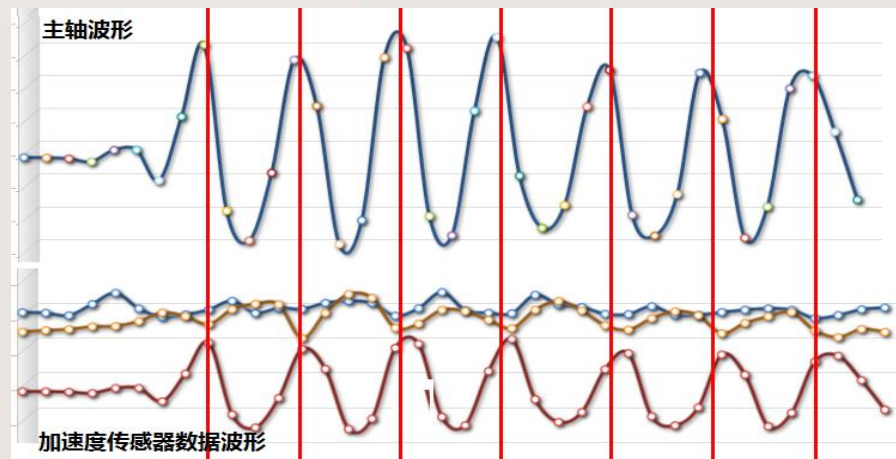
峰谷差值限定法

两次峰谷法

零点交叉方法



MethodName	StepCount	AverageTimeUse
Peack(Trend) / DirectZ	18	0.00044
Peack(Trend and distance) / DirectZ	18	0.00037
Peack(Threshold) / DirectZ	20	0.00024
Sample / DirectZ	1	0.01460
ZeroCross / DirectZ	15	0.00023



行为判断得到确定步集合（也是数据清洗）

剔除静止步 ➡ 对行止的分类 ➡ 行人行为的进一步分类

基础版本：
 阈值判断
 方差判断
 有限状态机判断

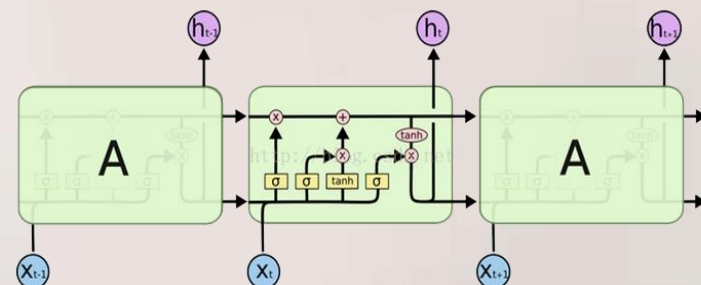
MethodName	DataCountBefore	DataCountOver	TimeUse	DataMinusPercent	MethodInformaton
No Detection	10	10	0.00284	0.00%	判断走一步之后不再进行额外分类剔除
Slop StepFilter	10	1	0.30413	90.00%	其他轴的变化如果不够大，这一步将会被
FSM StepFilter	10	10	0.49516	0.00%	使用有限状态机对可能步进行分类，剔除
Decision Tree	10	10	0.36279	0.00%	决策树分类剔除静止的步
ANN	10	10	0.24784	0.00%	ANN分类剔除静止步
KNN	10	10	1.13989	0.00%	KNN分类剔除静止步
KMeans	10	8	0.26182	20.00%	KMeans分类剔除静止步

.....



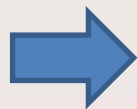
假说：
 行人的当前步状态与前几步有关联。

人类行为识别+LSTM

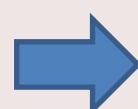


行为判断的方法演化

静止状态
移动状态



静止状态
水平移动
向上移动
向下移动
转弯状态



水平移动
向上移动
向下移动

转弯在方向判定流程处理
静止在步长估计流程处理

```
0.074, -0.058, -0.346, -0.074, 3.911, -2.123, 18.240, 26.892, -  
38.580, 240.111, 75.059, 164.146, 0.281, 1.016, 0.819, 0.510, 1, 1, 2,  
0.106, 0.181, -0.486, -18.975, 13.031, -0.979, 21.024, 25.656, -  
37.404, 233.683, 124.399, 310.585, 0.387, 0.985, 0.849, 0.510, 1, 1, 3,  
0.364, 0.154, -0.752, -21.499, 17.693, -3.473, 22.224, 25.440, -  
35.352, 202.106, 149.954, 167.862, 0.662, 0.574, 0.794, 0.510, 1, 1, 2,  
0.129, 0.137, -0.290, -16.159, 15.969, -2.835, 24.720, 17.364, -  
38.112, 213.663, 116.616, 233.357, 0.367, 1.319, 0.975, 0.510, 1, 1, 3,  
0.661, 0.241, -1.436, -17.605, 16.624, -4.346, 9.780, 34.920, -  
34.224, 227.527, 173.112, 242.106, 0.695, 0.998, 0.977, 0.510, 1, 1, 3,  
0.415, 0.239, -0.810, -19.737, 18.510, -4.602, 16.320, 27.120, -  
37.872, 204.754, 237.765, 292.489, 0.452, 1.359, 1.024, 0.510, 1, 1, 3
```

特征向量的原料:
加速度三轴数据
陀螺仪三轴数据
加速度方差
步频

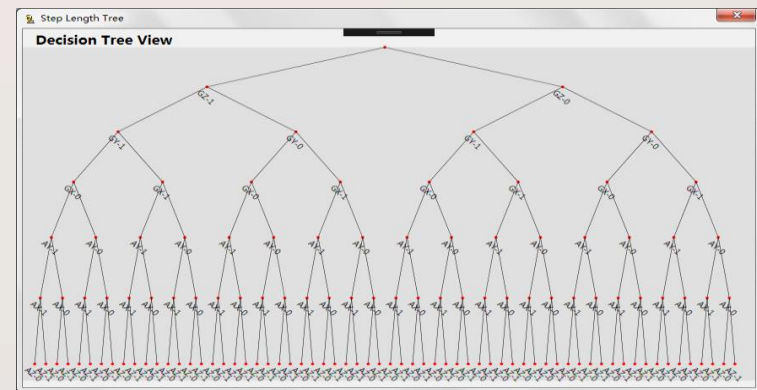
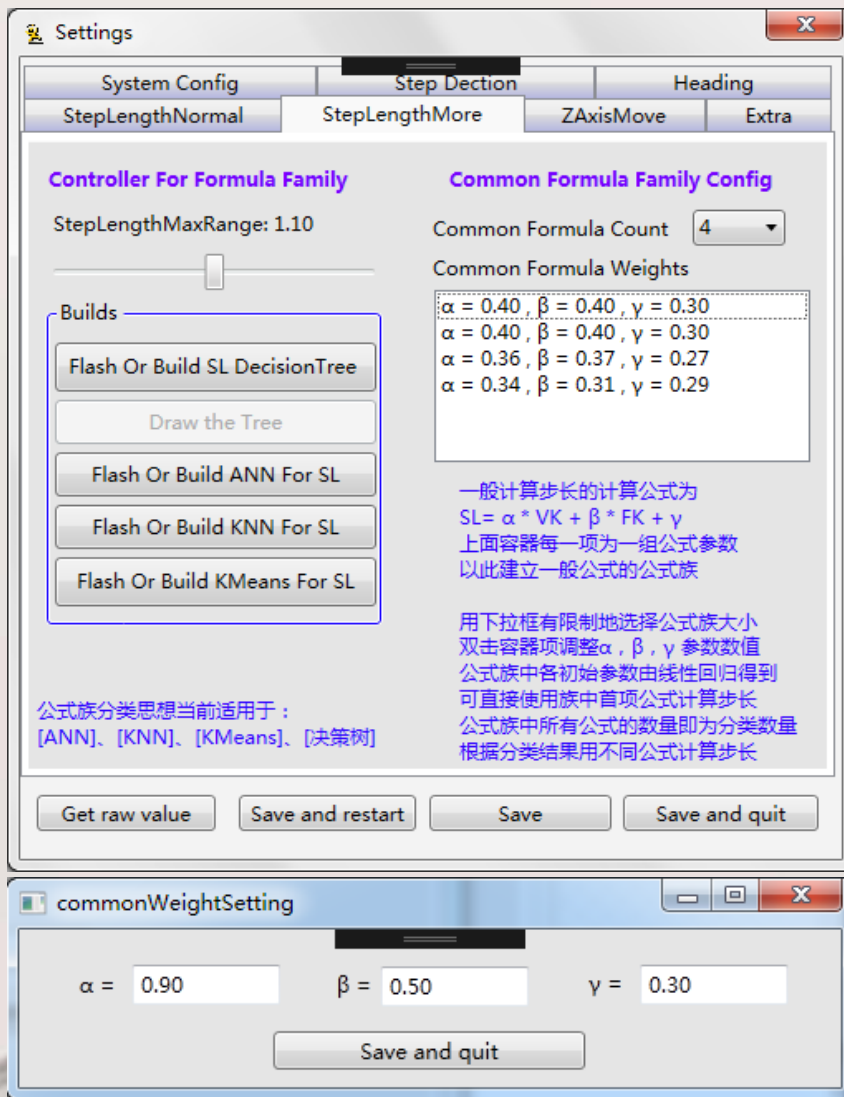
.....

目标类型:
(0, 1, 2) - 1



行为判断的进一步进化（水平方向）

行止判断 \longrightarrow 0m步长 \longrightarrow 步长分档



$$\begin{cases} SL = 0 \\ SL = \alpha_1 \times fre + \beta_1 \times var + \gamma_1 \\ SL = \alpha_2 \times fre + \beta_2 \times var + \gamma_2 \end{cases}$$

$$fre_k = \frac{1}{(t_k - t_{k-1})}$$

$$var_k = \sum_{t=t_{k-1}}^{t_k} \frac{(a_k - \bar{a}_k)^2}{n}$$

$$I = \left\lfloor \frac{SL \times N}{MSL} \right\rfloor$$

行为判断的进一步进化（垂直方向）

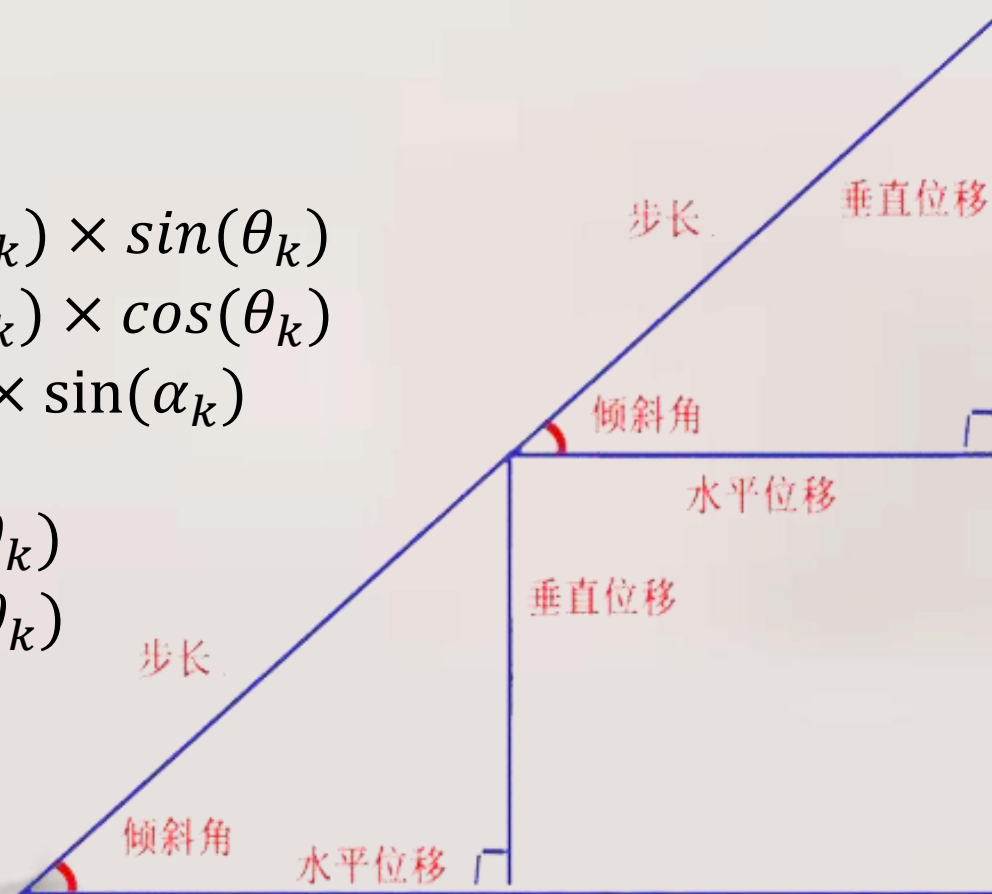


$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + W \times \sin(\theta_k) \\ y_{k+1} = y_k + W \times \cos(\theta_k) \\ z_{k+1} = z_k + M \times H \end{cases}$$



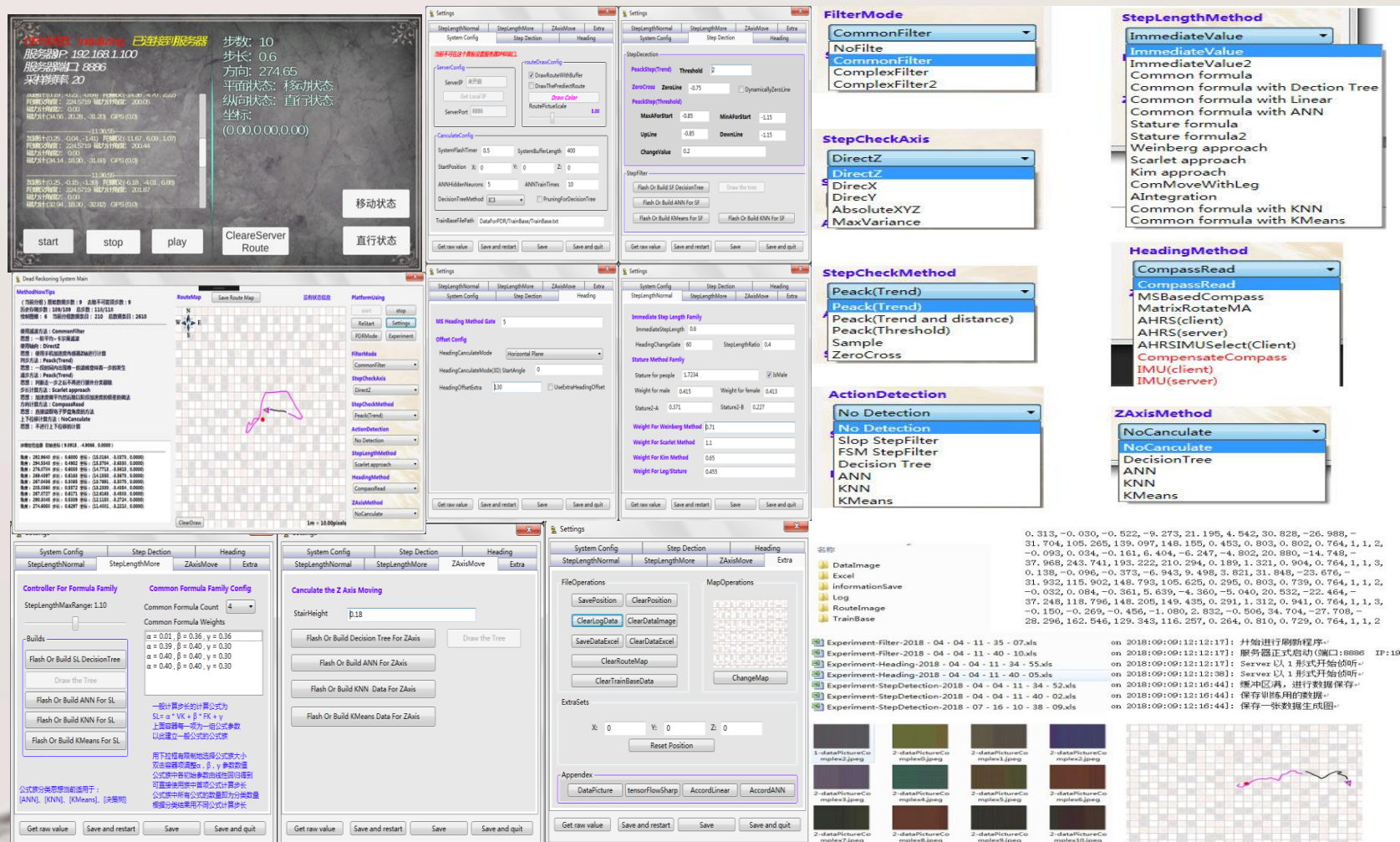
$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + SL \times \cos(\alpha_k) \times \sin(\theta_k) \\ y_{k+1} = y_k + SL \times \cos(\alpha_k) \times \cos(\theta_k) \\ z_{k+1} = z_k + M \times SL \times \sin(\alpha_k) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + SL_k \times \sin(\theta_k) \\ y_{k+1} = y_k + SL_k \times \cos(\theta_k) \\ z_{k+1} = z_k + M \times L \end{cases}$$



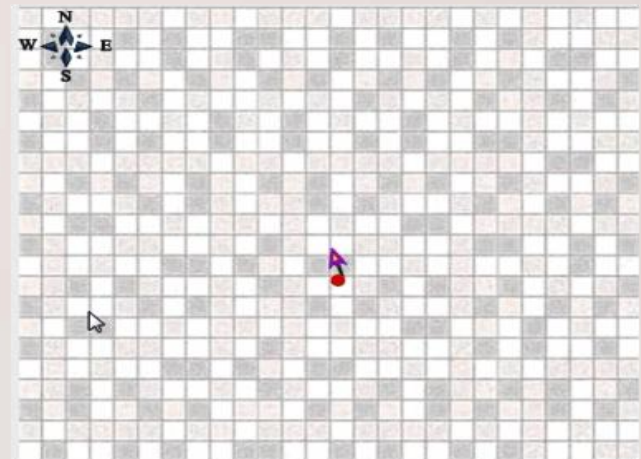
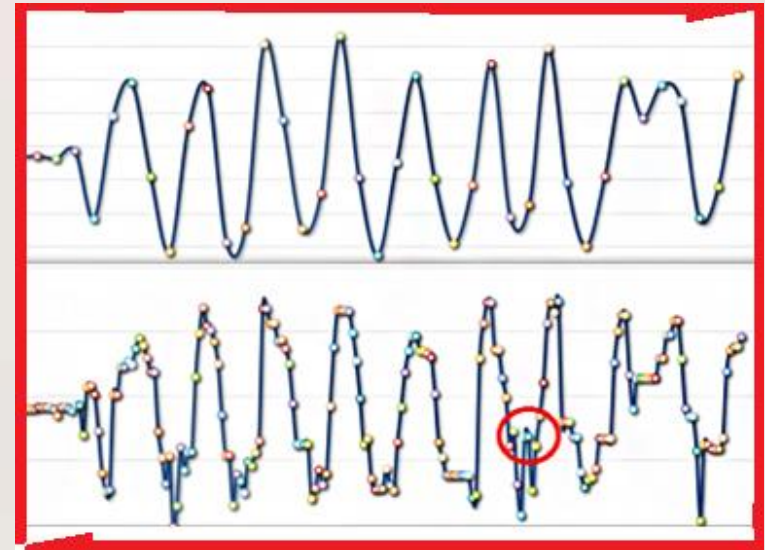
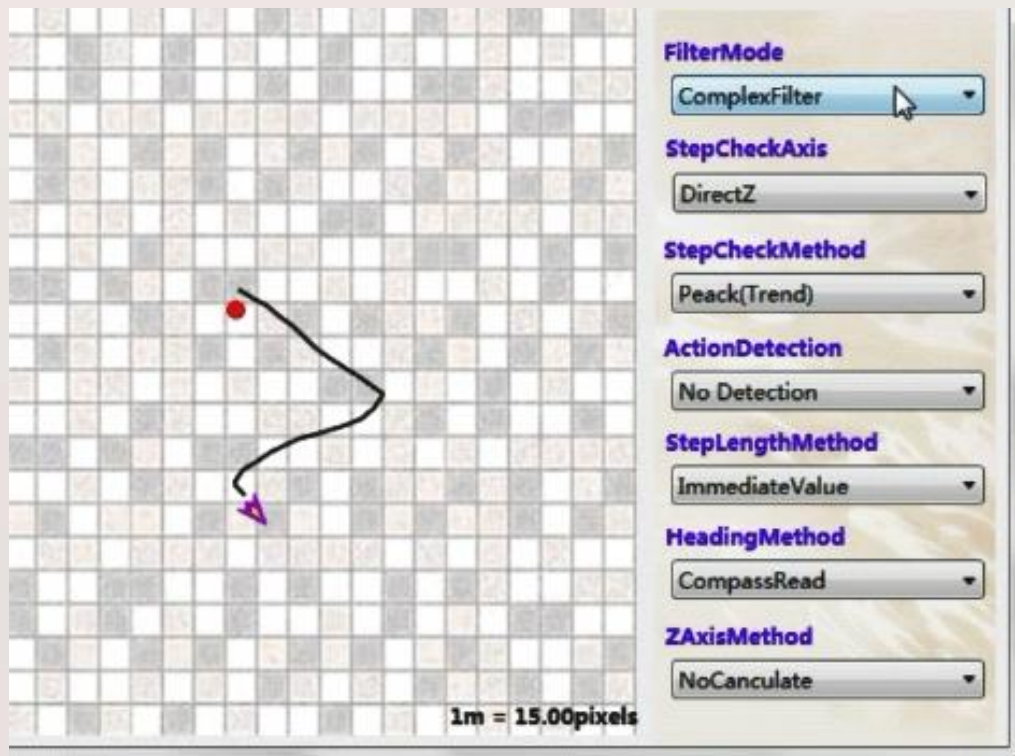
系统实现

容纳472500种流程方法组合方式的定位系统，并随意切换，实时显示轨迹，保存数据。

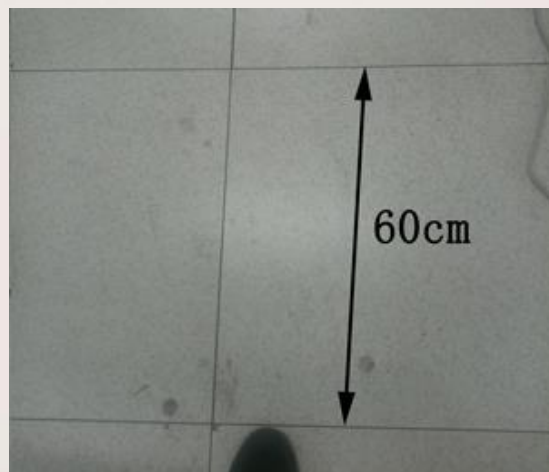


FIFO缓冲区（一种滑动窗口）

消除数据不完整的过程进行的持续计算



步长估计 (2% with Scarlet method)



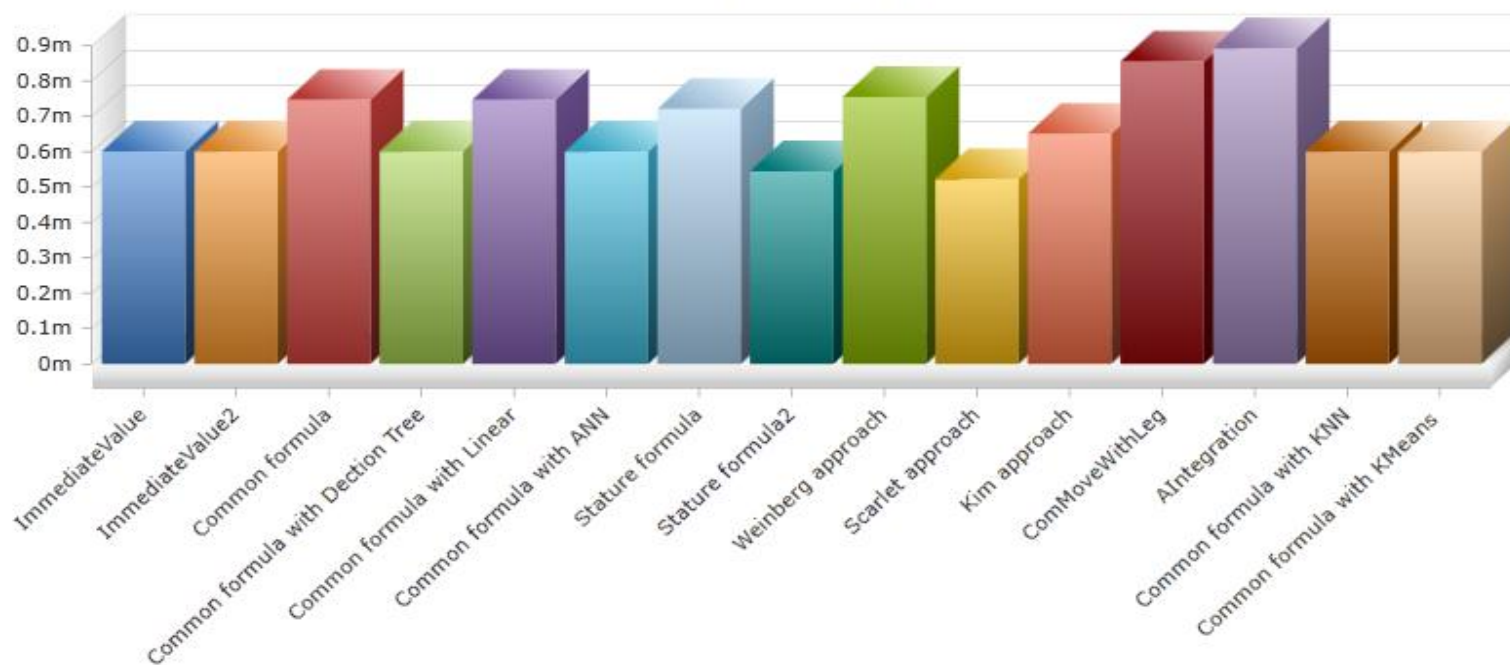
详细定位信息 初始坐标 (0.0000, 0.0000, 0.0000)

角度 : 226.0612	步长 : 0.6000	坐标 : (-0.4320, -0.4163, 0.0000)
角度 : 226.8686	步长 : 0.5500	坐标 : (-0.8334, -0.7924, 0.0000)
角度 : 233.7172	步长 : 0.5500	坐标 : (-1.2768, -1.1178, 0.0000)
角度 : 221.2565	步长 : 0.5454	坐标 : (-1.6364, -1.5278, 0.0000)
角度 : 236.5698	步长 : 0.4548	坐标 : (-2.0159, -1.7783, 0.0000)
角度 : 218.9623	步长 : 0.4410	坐标 : (-2.2933, -2.1213, 0.0000)
角度 : 212.9800	步长 : 0.6543	坐标 : (-2.6494, -2.6702, 0.0000)
角度 : 225.3410	步长 : 0.3852	坐标 : (-2.9235, -2.9409, 0.0000)
角度 : 215.4739	步长 : 0.5628	坐标 : (-3.2501, -3.3993, 0.0000)

$\sqrt{22.0546}$

4.696232532573317967006420212404

各种步长方法最后五步平均值对比



流程方法对比

Data Analysis For Filter

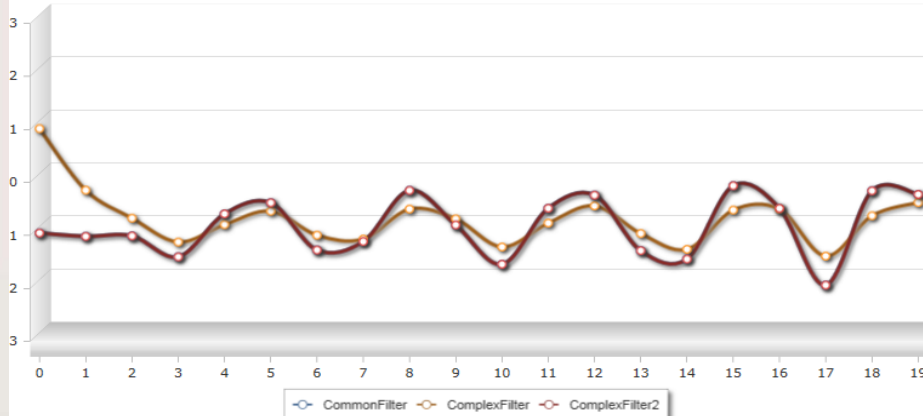
DirectZ

Create Data For Filter

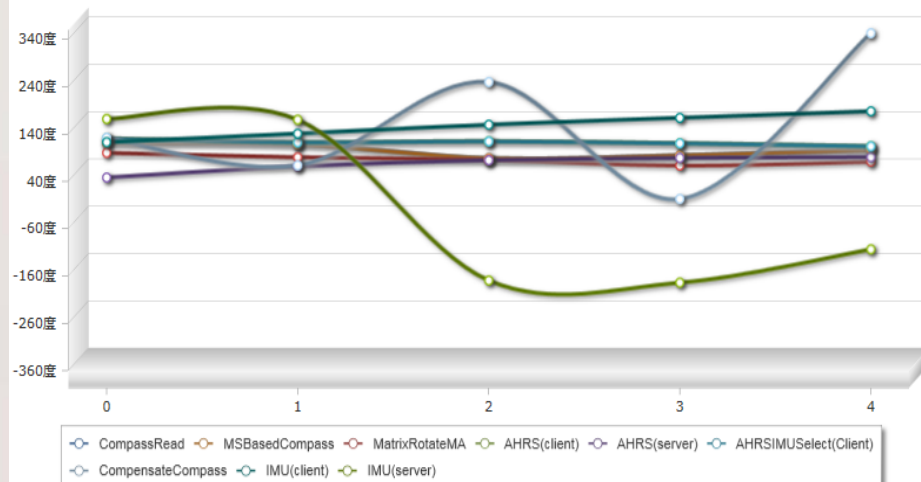
Filter Chart Show

MethodName	DataCountBefore	DataCountOver	TimeUse	DataAverage	MethodInformation
NoFilter	260	260	0.00026	-0.80	不进行滤波
CommonFilter	260	52	0.00072	-0.80	一阶平均
ComplexFilter	260	52	0.02182	-0.74	一阶平均+卡尔曼滤波
ComplexFilter2	260	52	0.07225	-0.80	一阶平均+巴特沃斯滤波

滤波结果最后20条数据的对比



各种方向方法最后五步方向变化对比



Dead Reckoning System Main

MethodNowTips

(当前分组) 原始数据步数: 21 去除不可能项步数: 18
历史存储步数: 0/0 总步数: 18/18
绘制图像: 0 当前分组数据条目: 360 总数据条目: 360

使用滤波方法: CommonFilter

思想: 一阶平均

使用轴向: DirectZ

思想: 使用手机加速度传感器Z轴进行计算

判步方法: Peak(Trend)

思想: 一段时间内出现唯一的波峰意味着一步的发生

滤波方法: Peak(Trend)

思想: 判断走一步之后不再进行额外分类剔除

步长计算方法: ImmediateValue

思想: 步长设定为固定的数值

方向计算方法: CompassRead

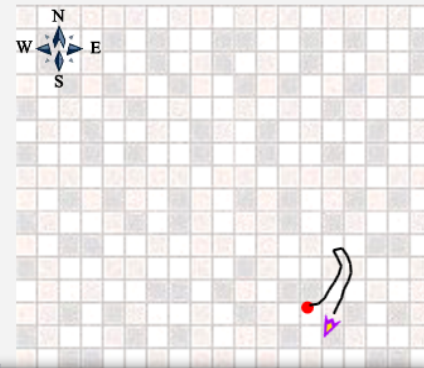
思想: 直接读取电子罗盘角度的方法

上下位移计算方法: NoCalculate

思想: 不进行上下位移的计算

RouteMap

Save Route Map



Experiment for [Dead Reckoning System Main]

Filter StepDection stepFilter Heading StepLength ANN Positioning ZMove ExtraShowing

Data Analysis For Step Dection With Axis

DirectZ

Calculate Step Dection Check

Save As Excel

MethodName	StepCount	AverageTimeUse	MethodInformation	AxisInfo
Peak(Trend) / DirectZ	18	0.00044	一段时间内出现唯一的波峰意味着一步的发生	使用手机
Peak(Trend and distance) / DirectZ	18	0.00037	限制波峰波谷差值的波峰波谷判步方法	使用手机
Peak(Threshold) / DirectZ	20	0.00024	在一个峰值的限定内两次经过峰值判断走出一歩	使用手机
Sample / DirectZ	1	0.01460	对第一步进行采样, 从而对后续数据进行匹配	使用手机
ZeroCross / DirectZ	15	0.00023	根据数据连续两次的经过零点来判断走出一歩	使用手机

Experiment for [Dead Reckoning System Main]

FilterStepDectionstepFilterHeadingStepLengthANNPositioningZMoveExtraShowing

Data Analysis For Step Filter

Save As Excel

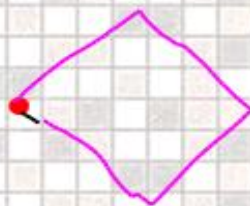
Step Filter Check

MethodName	DataCountBefore	DataCountOver	TimeUse	DataMinusPercent	MethodInformaton
No Detection	10	10	0.00284	0.00%	判断走一步之后不再进行额外分类剔除
Slop StepFilter	10	1	0.30413	90.00%	其他轴的变化如果不够大, 这一步将会被
FSM StepFilter	10	10	0.49516	0.00%	使用有限状态机对可能步进行分类, 剔除
Decision Tree	10	10	0.36279	0.00%	决策树分类剔除静止的步
ANN	10	10	0.24784	0.00%	ANN分类剔除静止步
KNN	10	10	1.13989	0.00%	KNN分类剔除静止步
KMeans	10	8	0.26182	20.00%	KMeans分类剔除静止步

定位实验

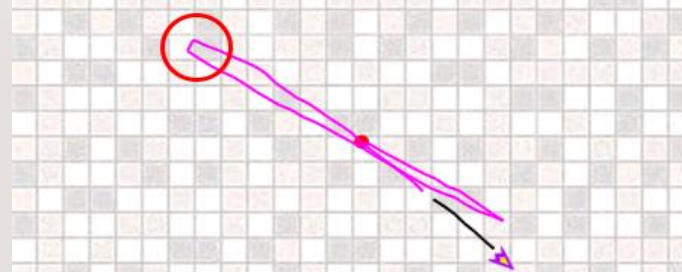
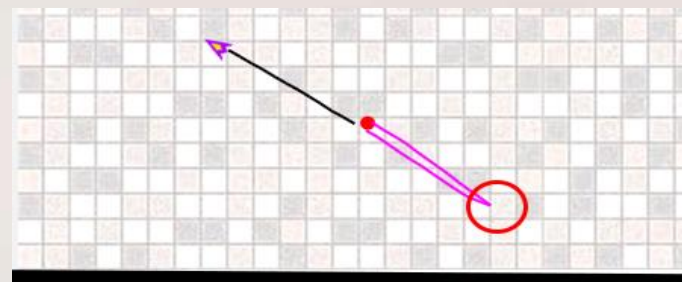
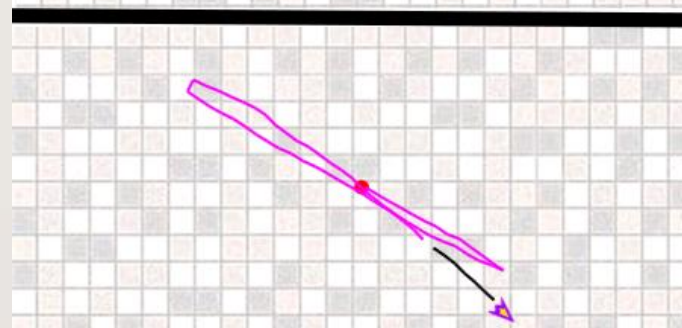
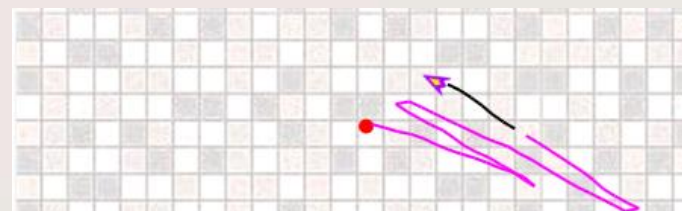


角度：236.6146 步长：0.6000 坐标：(2.9069, -2.9115)
角度：306.8244 步长：0.4149 坐标：(2.5747, -2.6629)
角度：305.8372 步长：0.5500 坐标：(2.1289, -2.3408)
角度：304.1196 步长：0.5768 坐标：(1.6514, -2.0173)
角度：304.1468 步长：0.4936 坐标：(1.2429, -1.7403)

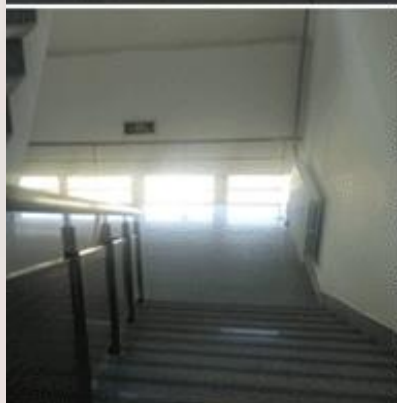


总移动长度65米
累积误差约为2.13米
因转向导致的累积误差约1.03米

转向偏移解决方法：
转向超过60度这一步步长缩减60%



行为判断实验



训练LSTM=====

0.21875
0.25
0.265625
0.265625
0.515625

0.295, 0.043, -0.327, -23.760, 4.332, -
233, 290.656, 0.015, 0.983, 0.699, 0.624, 1, 1, 2,
-0.162, -0.413, -1.577, -20.592, -6.084, -
23, 302.424, 0.060, 1.992, 1.121, 0.338, 1, 1, 3,
-0.322, 0.198, -0.889, 2.856, -19.932, -
821, 352.768, 0.102, 0.776, 0.651, 0.338, 1, 1, 2,
-0.413, -0.566, -0.545, 11.712, -14.028, -
929, 12.752, 0.043, 0.976, 0.708, 0.338, 1, 1, 2,
0.466, 0.048, 0.238, 3.396, -13.824, -
619, 9.232, 0.064, 0.598, 0.565, 0.338, 1, 1, 2,

特征向量	准确率
步频+加速度方差	0.03%
加速度+陀螺仪+加速度方差	23.42%
加速度+陀螺仪+步频	23.43%
加速度+陀螺仪+步频+加速度方差	51.56%
加速度+加速度方差	54.68%
加速度+步频+加速度方差	56.25%
加速度+步频	62.52%
加速度+陀螺仪	82.81%
加速度	100.00%

完整的步行者航位推算室内空间定位流程+实现方法

步态分析 ➡ 主轴选择+步态分析+行为判断

行为判断 ➡ 行为判断+LSTM

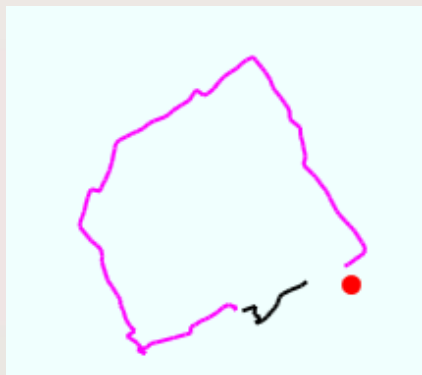
行为判断 ➡ 分档的步长估计

行为判断 ➡ 纵向位移计算

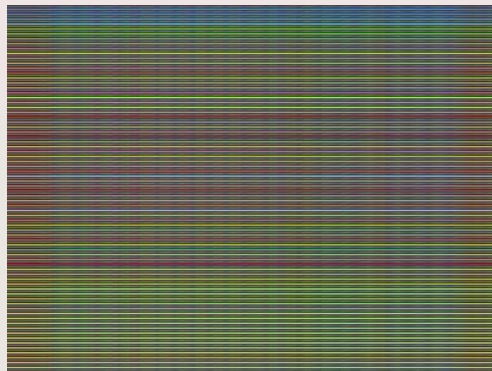
整合与硬件化 扩展行为判断 参数自动获取 实际应用

(曾经在通用汽车、华晨宝马做过现场演示)

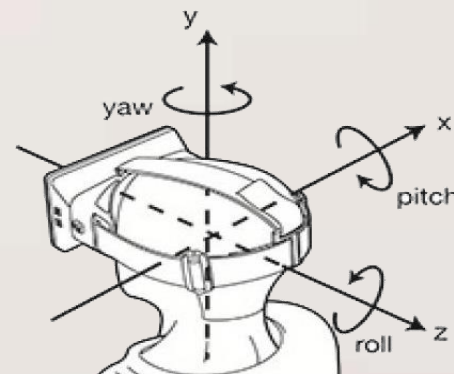
早期建筑楼B座的楼形



根据手机传感器数据绘制的频谱



这个题目的高级玩法



PC上的同步导航游戏



行止判断实验

特征向量	准确率
步频+加速度方差	0.00%
加速度+陀螺仪+步频	29.69%
加速度+陀螺仪+加速度方差	35.94%
加速度+陀螺仪+步频+加速度方差	46.87%
加速度+陀螺仪	59.37%
加速度+步频	62.50%
加速度+步频+加速度方差	70.31%
加速度+加速度方差	87.50%
加速度	89.06%

多谢观看，恳请指导。

谢