基本功能定义：

三大基本运动姿态识别

识别纵向移动（前后跑）

- ✓ 奔跑距离
- ✓ 跑动步数
- ✓ 冲刺次数
- ✓ 平均跑动速度
- ✓ 最大冲刺速度

→ 跑动能力等级

识别横向移动（侧跑）

- ✓ 横向移动距离
- ✓ 变向次数
- ✓ 平均变向（触地）时间

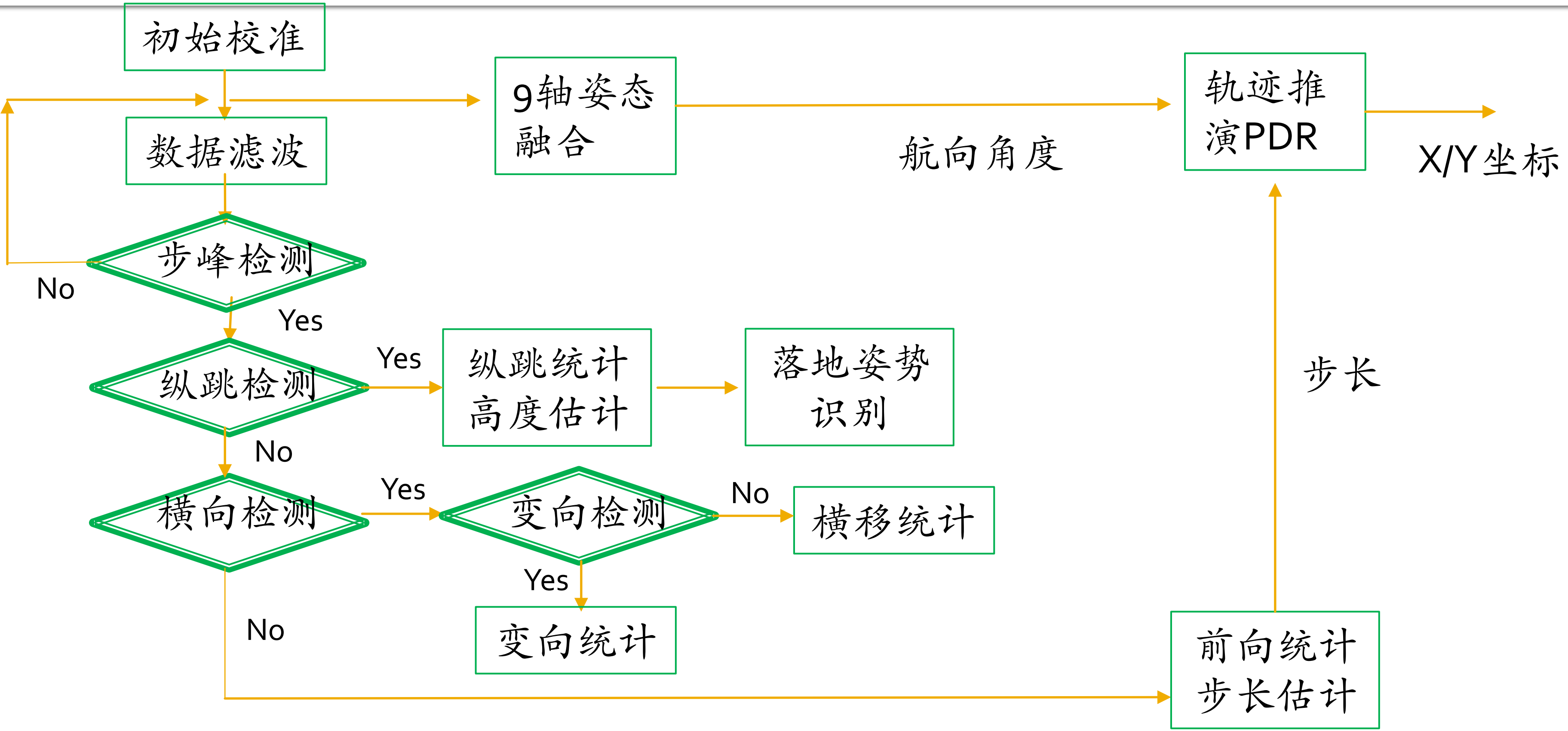
→ 突破能力等级

识别纵跳（弹跳力）

- ✓ 纵跳次数/最大纵跳次数
- ✓ 纵跳平均高度
- ✓ 纵跳滞空时间
- * 落地踝关节翻转角度
- * 落地姿势识别

→ 弹跳能力等级

总体处理流程图



初始校准
数据滤波
9轴姿态融合
航向角度
轨迹推演PDR
X/Y坐标
步峰检测
No
Yes
纵跳检测
Yes
纵跳统计高度估计
落地姿势识别
No
横向检测
Yes
变向检测
No
横移统计
Yes
变向统计
No
步长
前向统计步长估计

1. 前向客户定义

✓ **奔跑距离**

定义为球员在场上水平移动的总距离（纵向移动+横向移动）

✓ **跑动步数**

定义为球员在场上移动的总步数

✓ **冲刺次数**

1、区分球员正常匀速跑与冲刺跑；2、计算球员冲刺次数

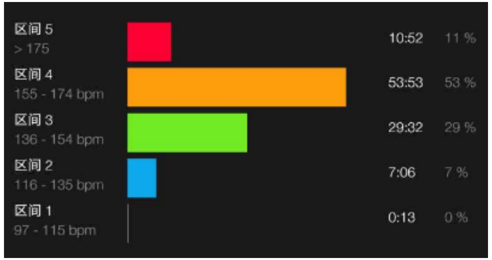
冲刺定义为：瞬时持续加速度（或速度）大于某一阈值（比如15km/h），即该次跑动记为一次冲刺

✓ **平均跑动速度**

定义为球员在场上水平移动的平均速度；并将移动速度区间统计出来

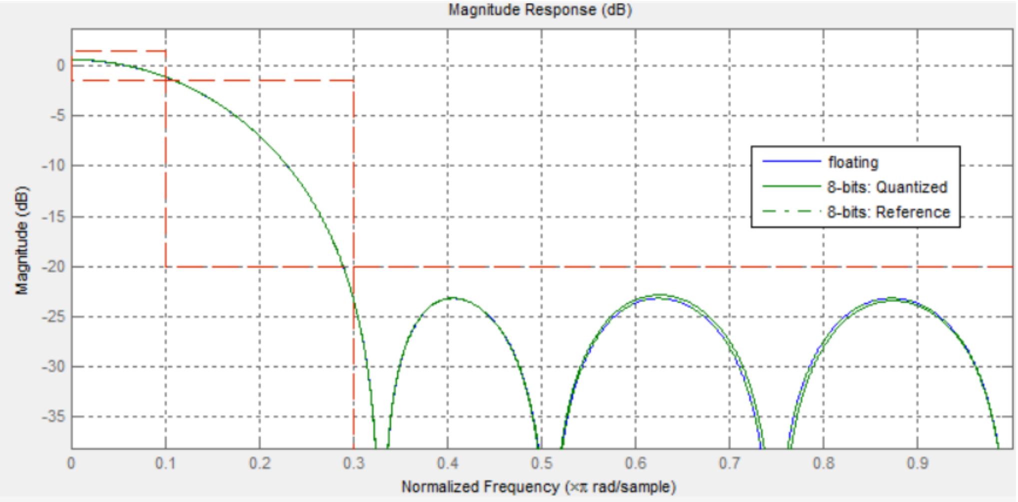
✓ **最大冲刺速度**

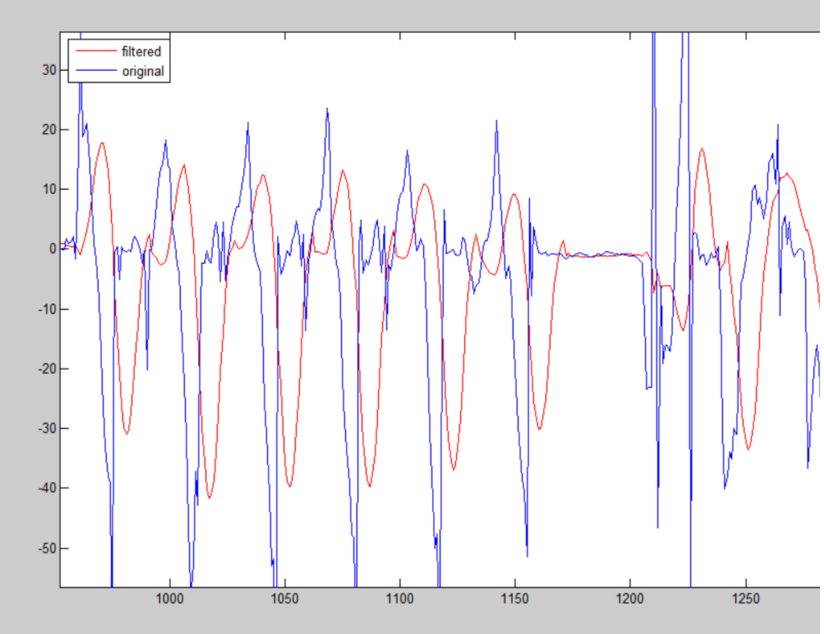
在识别冲刺的基础上，计算球员冲刺的最大速度和平均速度



球员移动速度区间分布

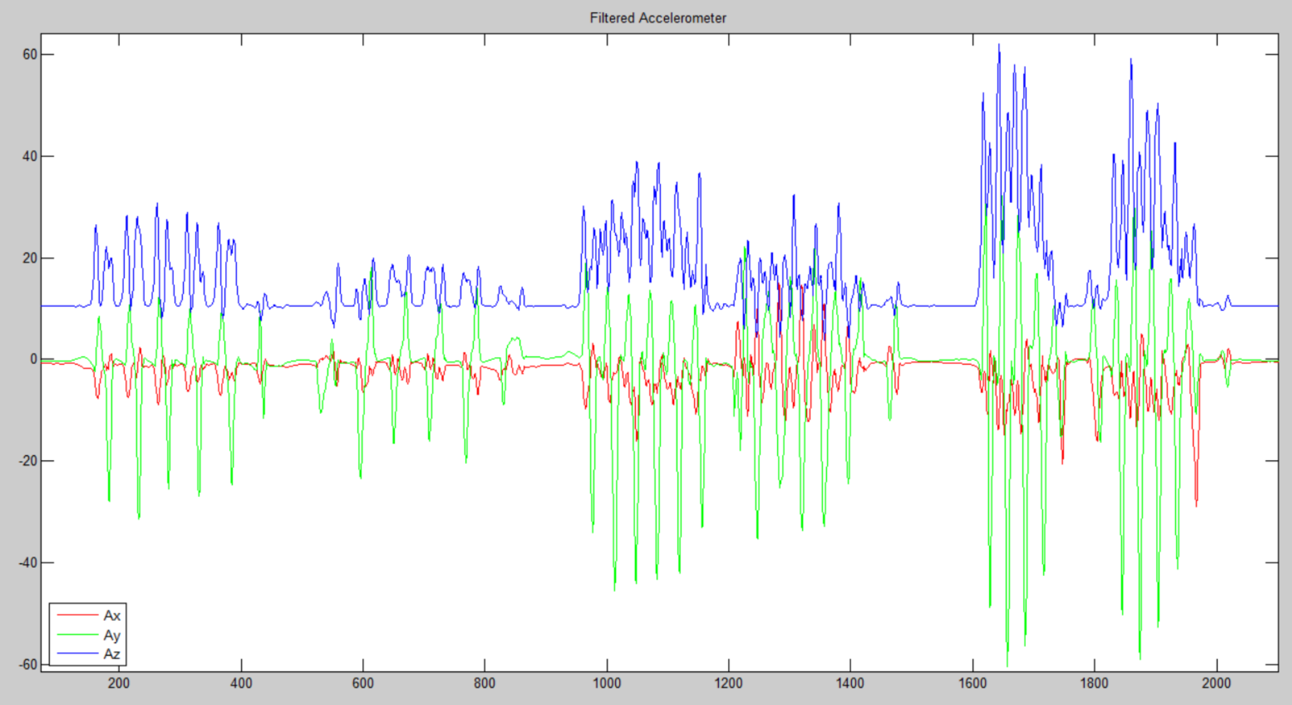
FIR 滤波处理





y(n)=x(n)*0.0779+ x(n-1)*0.1124+x(n-2)*0.1587+x(n-3)*0.1867+x(n-4)*0.1867+x(n-5)* 0.1587+x(n-6)*0.1124++x(n-7)*0.0779

走/跑/冲刺检测



ag_0312_bob.txt

步伐检测：

- Ay轴正/负峰交替，大于一个幅度的阈值。
- 每一个峰对应一次脚落地（累计一步）

步长/速度估计：

- 与检测到的步频(f)和幅度(A)成正比。

L=c1×f+c2×A+c0

c0/c1/c2 为待拟合系数

步伐与步长分析

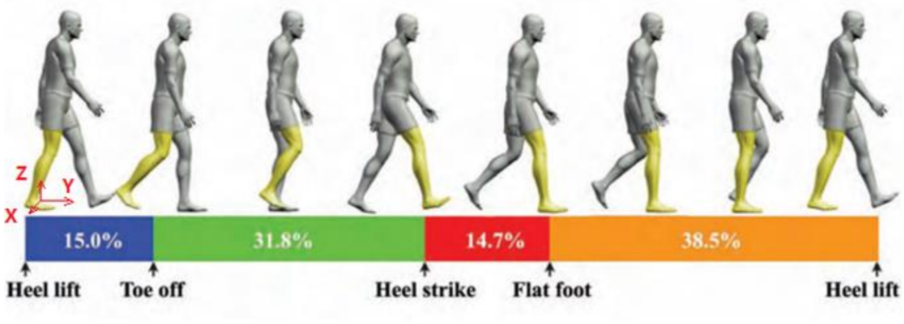
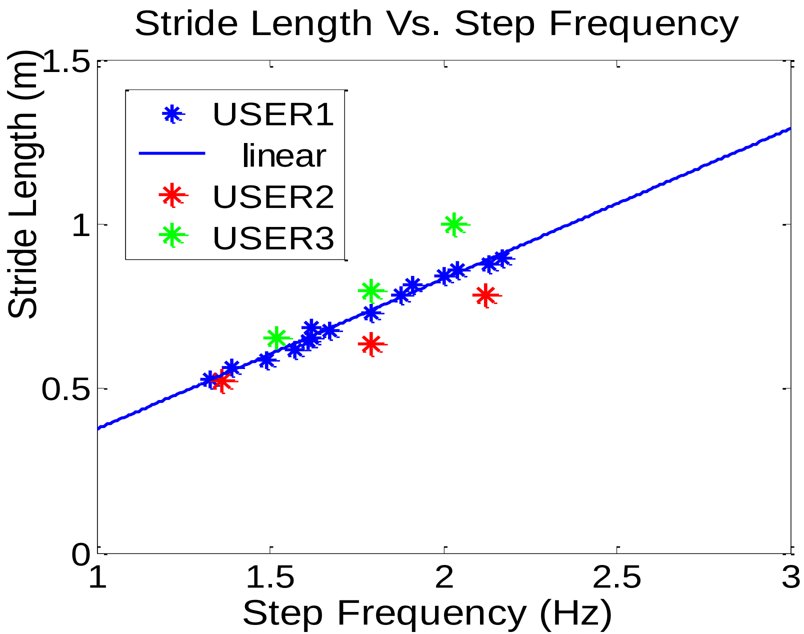


Figure 5.4: The walking gait cycle broken into phases; (blue) push-off, (green) swing, (red) heel strike, and (orange) stance.

[Kwakkel 2008]



2. 横向客户定义

✓ **横向移动距离**

定义为球员在场上横向移动的总距离（并步、滑步、侧步等）

✓ **变向次数**

识别横向移动步伐模式中，移动方向切换一次，记为1次变向

GIF动态图

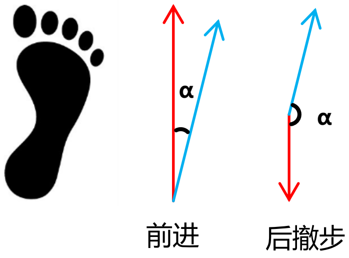
✓ **平均变向（触地）时间**

记录球员每次变向时鞋与地面接触时间，并统计计算平均触地均值

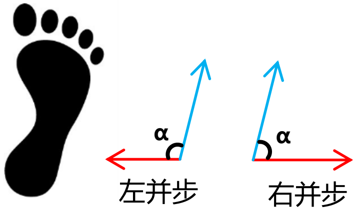
移动方向判定

智能芯片轴向

步伐移动方向



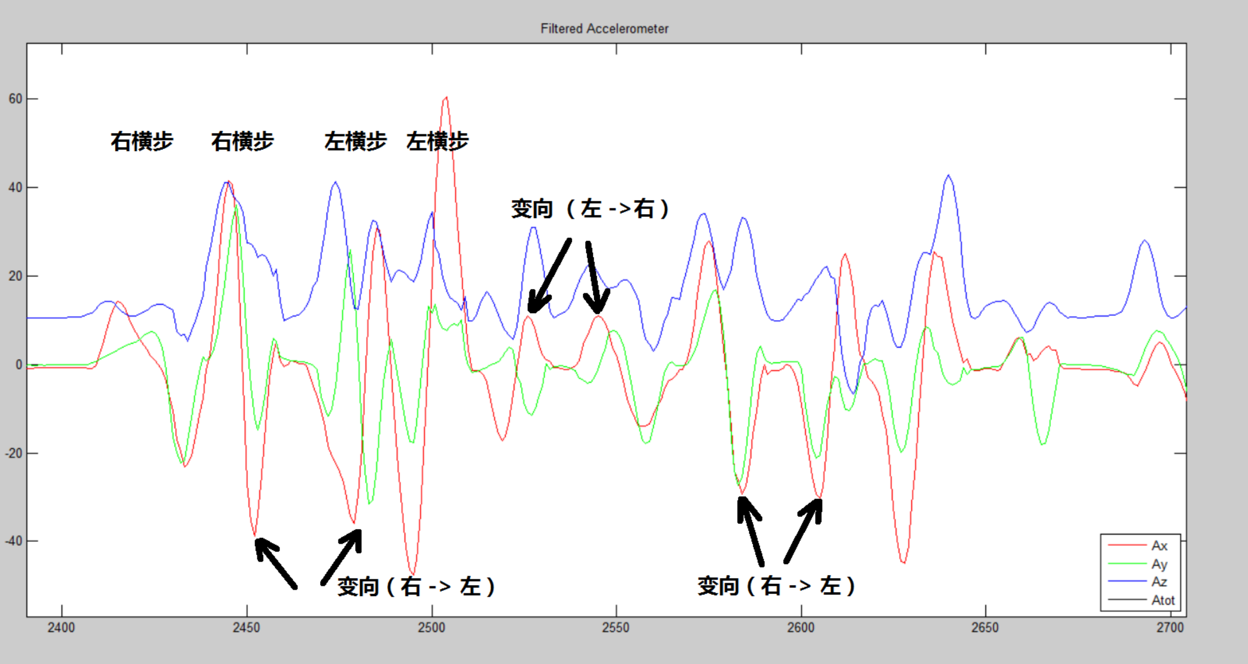
两者夹角α小于45°（以及大于135°）时，定义为纵向移动



两者夹角α介于两者之间（45°＜α ＜ 135°）时，定义为横向移动

注：45°、135°为暂定值，结合后期大量实验数据，可能会作进一步调整

横向检测



Zhongzheng 0313.csv

横向检测：
- Ax轴一个周期幅度积分> Ay轴
- 每一个峰对应一次脚落地（累计一步）

变向检测：
- 一个正峰后又出现一个正峰
  or
  一个负峰后又出现一个负峰

3. 纵跳客户定义

✓ **纵跳次数/最大纵跳次数**

纵跳次数：定义为球员在场上运动时累计跳跃次数（三步上篮的单腿跳、抢篮板动作的纵跳、投篮动作的跳投）
最大纵跳：定义为起跳瞬时垂直加速度大于某一阈值，即该次纵跳记为一次冲刺

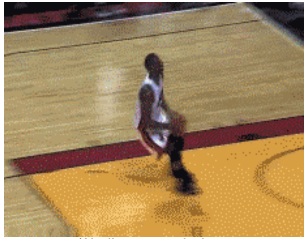
✓ **纵跳平均高度**

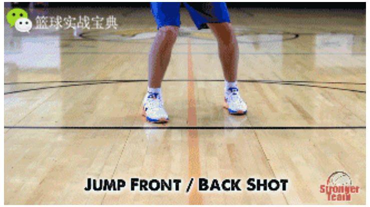
定义为球员在场上运动时跳跃动作的平均跳跃高度

✓ **纵跳滞空时间**

定义为球员在场上运动时跳跃动作的平均滞空时间

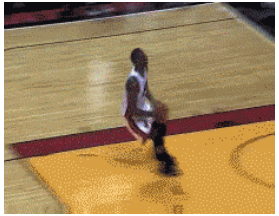

三步上篮 – GIF动态图

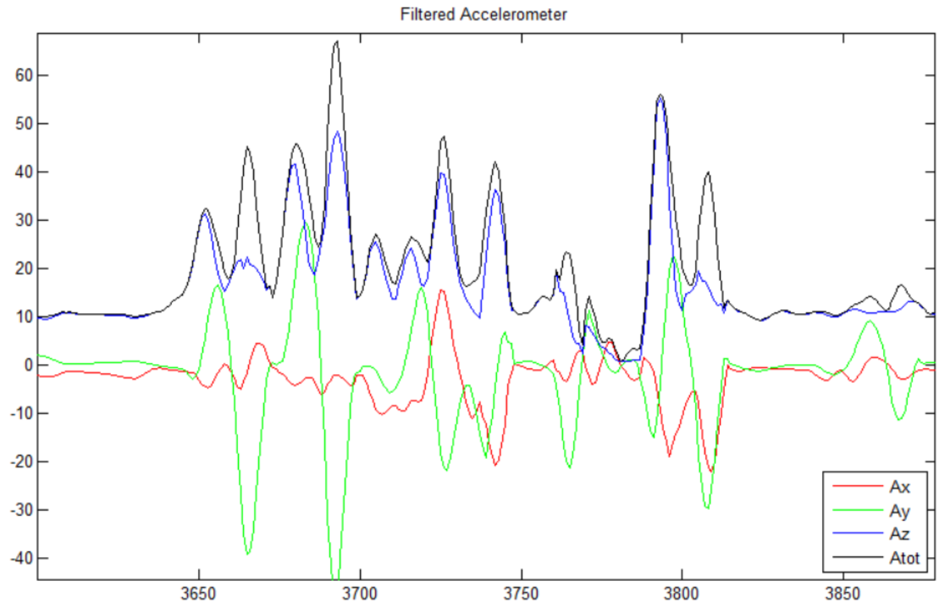

纵跳– GIF动态图



跳投– GIF动态图

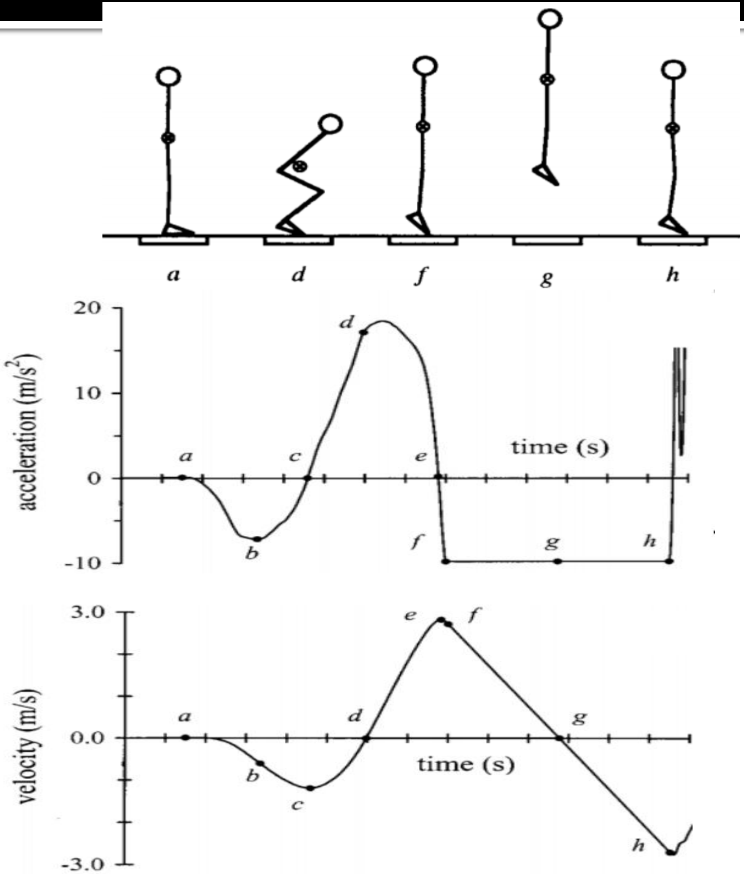
纵跳检测




Filtered Accelerometer
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
3650
3700
3750
3800
3850
Ax
Ay
Az
Atot

三步上篮过程

弹跳高度

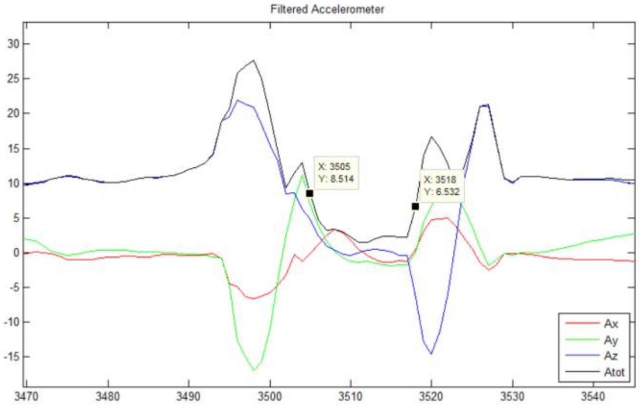


估计方法:

- 根据起落时间差 $v_{to} = \frac{g t_{flight}}{2}$

- 根据起跳冲量 $\int_{t_i}^{t_{to}} (F_{GRF} - mg) dt = m v_{to}$

- 根据经验估计公式



ag_0312_bob.txt

落地姿势识别

* 落地踝关节翻转角度

* 落地姿势识别

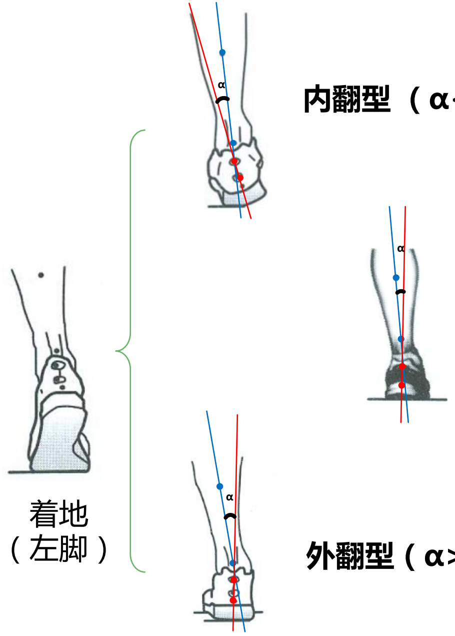
落地踝关节翻转角度：定义为球员在跳跃动作中（包括三步上篮的单腿跳、抢篮板动作的纵跳、投篮动作的跳投），着地瞬间踝关节的内外翻角度

落地姿势识别：在判断着地内外翻角度的基础上，统计三种着地方式的分布概率

跳投 - GIF动态图

足内翻	足外翻	正常
0%	0%	100%

篮球运动三种着地方式



内翻型 （α<-15°）

正常（-15 ° <α<12 ° ）

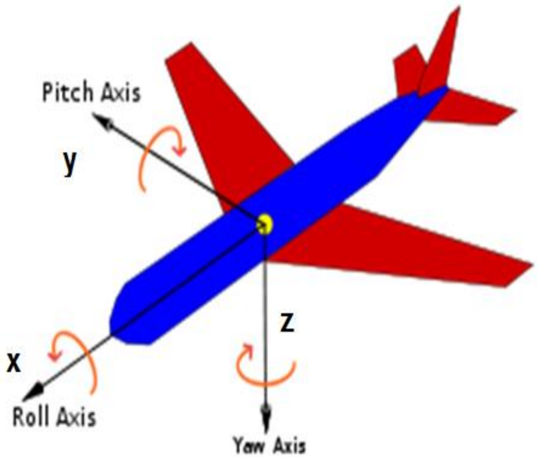
外翻型（α>12 ° ）

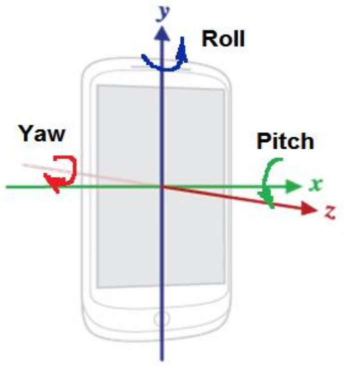
注：α负值代表内翻，α正值代表外翻

结合落地陀螺仪数据

6/9-Axis Sensors Fusion （姿态融合）
- Orientation representation

Euler angle definition





Aircraft versus Android phone

Attitude Representation

- Roll, pitch and yaw angles are denoted as (R, P, H) /(ϕ, ϑ, ψ)
- Direction Cosine Matrix

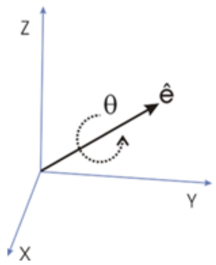
$$x^b = C_a^b x^a = \begin{pmatrix} i_a \cdot i_b & j_a \cdot i_b & k_a \cdot i_b \\ i_a \cdot j_b & j_a \cdot j_b & k_a \cdot j_b \\ i_a \cdot k_b & j_a \cdot k_b & k_a \cdot k_b \end{pmatrix} x^a$$

- Quaternions

$$\bar{q} = q_0 + q_1 i + q_2 j + q_3 k$$

$$\bar{q} = q_1 i + q_2 j + q_3 k + q_4$$

- Rotation vector: rotate ... ar angle θ around a unit vector e=<x,y,z> (rotation axi...



Navigation/Body Frame Def.

	Aerospace	Mobile(Android)
Navigation Frame	x-axis points true **N**orth y-axis points **E**ast z-axis points **D**own (N-E-D)	x-axis points **E**ast y-axis points magnetic **N**orth positive z-axis points **U**p (E-N-U)
Body Frame	x-axis in the longitudinal axis pointing **F**orward y-axis points to **R**ight-side to form a right-handed system z-axis points **D**own (F-R-D)	x-axis points out the **R**ight of the screen y-axis points out of the top of the screen z-axis points out of the screen (R-F-U)
Yaw	Rotation about z-axis, Range of 0° to 360°	Rotation about negative z-axis Range of 0° to 360°
Pitch	Rotation about y-axis, Range of -90° to 90°	Rotation about negative x-axis Range of -180° to 180°
Roll	Rotation about x-axis, Range of -180° to 180°	Rotation about y-axis Range of -90° to 90°

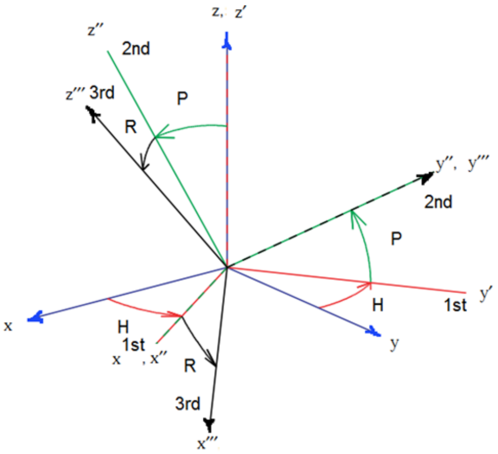
Coordinate Transformation

SO(3)
 3D rotation group is a Lie group, the special orthogonal group of all rotations about the origin of three-dimensional Euclidean space R3 under the operation of composition. [Kuniper 99]

SE(3)
Special Euclidean Group, a 6-dimensional manifold(流形）, 3D trasnlation vector + 3D rotation of a rigid body transformation

Euler Theorem
Any two independent orthonormal coordinate frames can be related by a sequence of rotations(not more than 3) about coordinate axes, where no two successive rotations may be about the same axis.

Cn->b Transformation



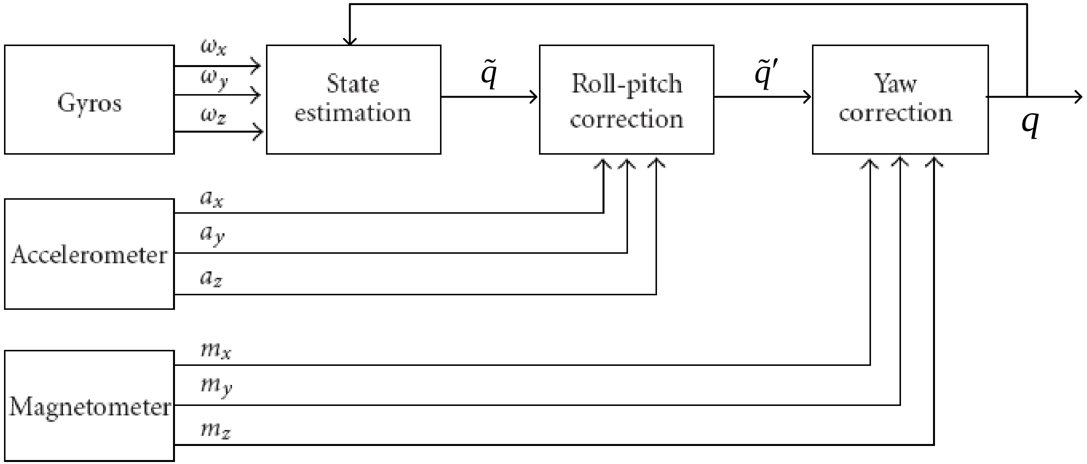
$$(x, y, z)^n \xrightarrow{R_z(H)} (x', y', z')^1 \xrightarrow{R_x(P)} (x'', y'', z'')^2 \xrightarrow{R_y(R)} (x''', y''', z''')^b$$

$$\mathrm{C_n^b} = \mathrm{R_y(R)R_x(P)R_z(H)}$$

$$= \begin{pmatrix} \mathrm{cosRcosH - sinPsinRsinH} & \mathrm{cosRsinH + sinRsinPcosH} & \mathrm{-cosPsinR} \\ \mathrm{-cosPsinH} & \mathrm{cosPcosH} & \mathrm{sinP} \\ \mathrm{sinRcosH + sinPcosRsinH} & \mathrm{sinRsinH - sinPcosRcosH} & \mathrm{cosPcosR} \end{pmatrix}$$

Orientation Fusion Algorithm

- Filter: Quaternion-based EKF
- System state: Quaternion (Derived by gyroscope output)
- Measurement: Accelerometer and Magnetometer output



Orientation Fusion Algorithm (Cont.)

- State Vector: $X = [q_0 \quad q_1 \quad q_2 \quad q_3]^T$
- State Equation:

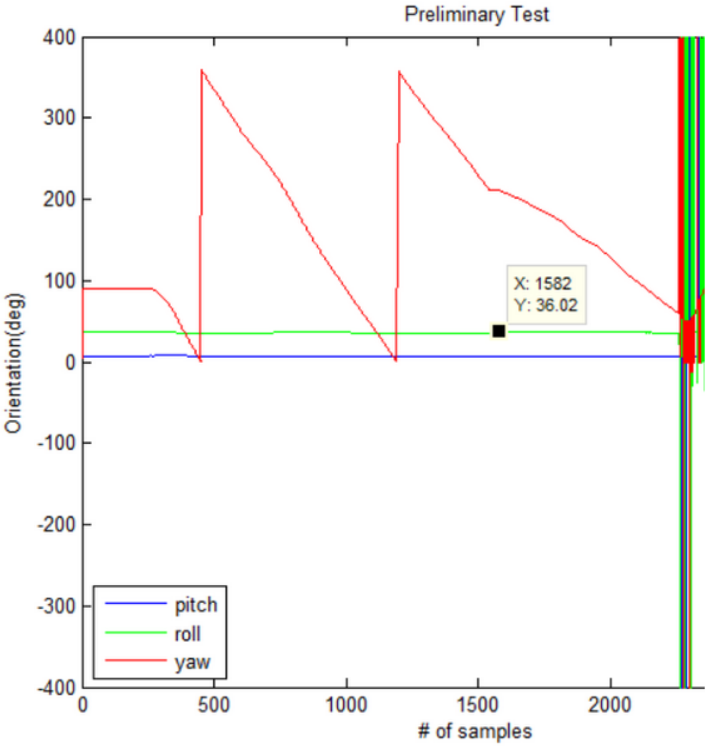
$$\dot{X} = \frac{1}{2}\begin{bmatrix} 0 & -\omega_x & -\omega_y & -\omega_z \\ \omega_x & 0 & \omega_z & -\omega_y \\ \omega_y & -\omega_z & 0 & \omega_x \\ \omega_z & \omega_y & -\omega_x & 0 \end{bmatrix} X$$

- Measurement Equation:

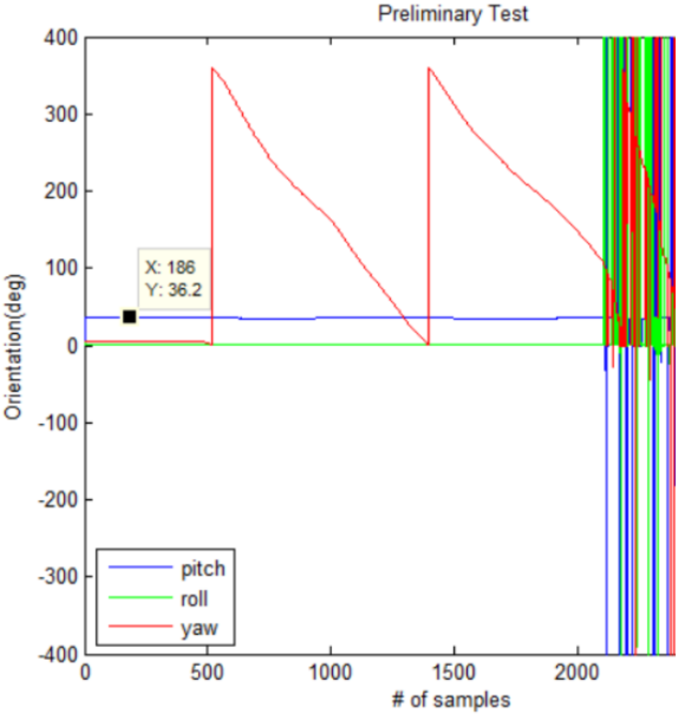
$$Z_{k+1} = \begin{bmatrix} a_{k+1} \\ m_{k+1} \end{bmatrix} = h(X_{k+1}) + v_{k+1} = \begin{bmatrix} C_n^b(q_{k+1}) & 0 \\ 0 & C_n^b(q_{k+1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overrightarrow{g_n} \\ \overrightarrow{m_n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{k+1}^a \\ v_{k+1}^m \end{bmatrix}$$

处理结果

3）covert_0311_45x_4.csv　x轴向下45度，然后水平旋转3圈
实际处理结果ROLL 35度左右；



4）covert_0311_45y_4_default.csv　y轴向下45度，然后水平旋转3圈
实际处理结果PITCH 35度左右；



深圳地磁信息

https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm

Magnetic Field

Model Used:	WMM2015						
Latitude:	22.6° N						
Longitude:	114° E						
Elevation:	0.0 km Mean Sea Level						

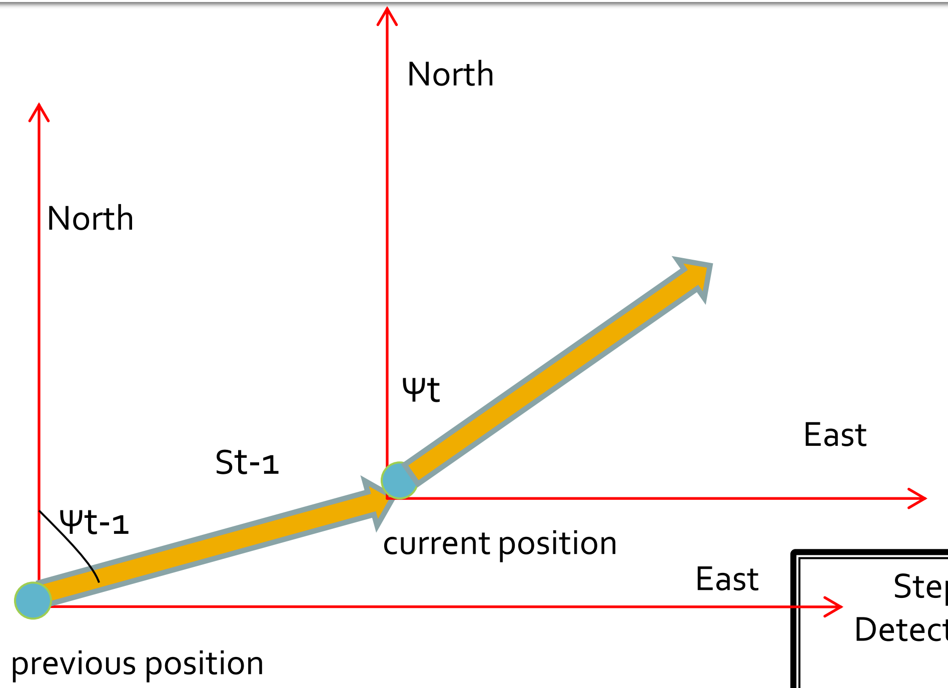
Date	Declination (+ E | - W)	Inclination (+ D | - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N | - S)	East Comp (+ E | - W)	Vertical Comp (+ D | - U)	Total Field
2017-03-10	-2.8353°	33.8459°	37,662.3 nT	37,616.2 nT	-1,863.0 nT	25,256.4 nT	45,346.8 nT
Change/year	-0.0648°/yr	0.1405°/yr	-20.1 nT/yr	-22.2 nT/yr	-41.5 nT/yr	120.4 nT/yr	50.4 nT/yr
Uncertainty	0.28°	0.22°	133 nT	138 nT	89 nT	165 nT	152 nT

Declination

Model Used:	WMM2015
Latitude:	22.6° N
Longitude:	114° E

Date	Declination
2017-03-10	2.84° W ± 0.28° changing by 0.06° W per year

轨迹推演Pedestrian Dead Reckoning



$$E_t = E_{t-1} + \hat{s}_{[t-1,t]} \sin \psi_{t-1}$$
$$N_t = N_{t-1} + \hat{s}_{[t-1,t]} \cos \psi_{t-1}$$

Step Detection	Stride Length	Heading Estimation
Pedestrian Deck Reckoning		