

# 传感器输出的数据

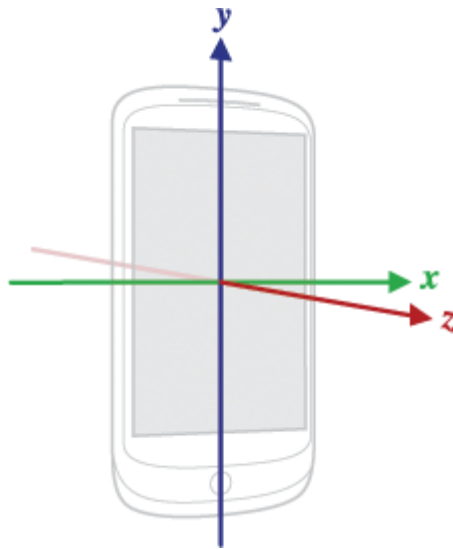


图 1 手机坐标系

## 加速度计

在手机坐标系中，三个轴方向上的加速度标量： $a_x$ ， $a_y$ ， $a_z$ ，单位为 $m/s^2$ 。

包括两种：Accelerometer，Linear Accelerometer，后者排除了重力因素。

## 陀螺仪

在手机坐标系中，绕三个轴旋转的角速度： $\omega_x$ ， $\omega_y$ ， $\omega_z$ ，单位为 $rad/s$ 。

## GPS

给出了在某一坐标系统中，空间坐标：高度，经度，纬度。

## 心率传感器

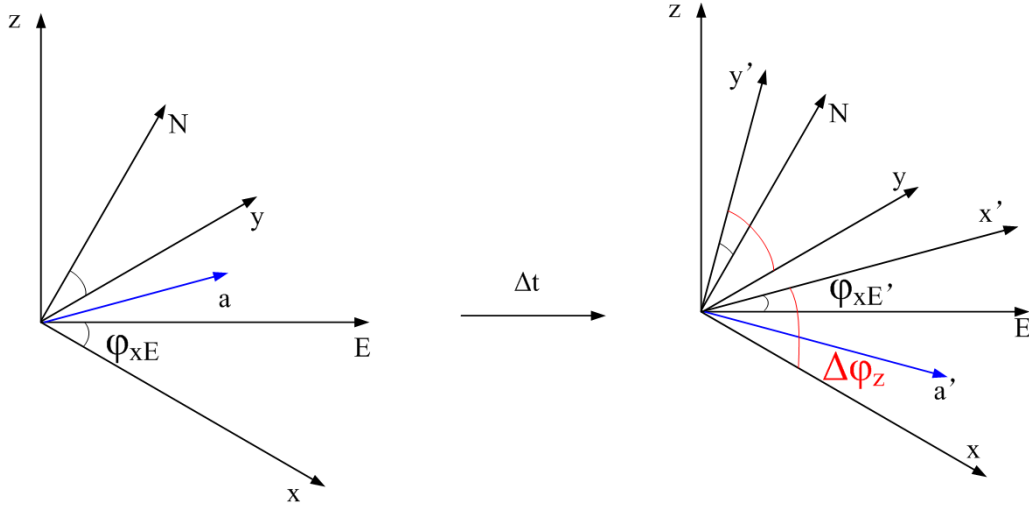
实时心率信息，次/s。

# 传感器数据处理

## 实时速度

### 使用加速度计+陀螺仪

首先以在二维平面（x-y 平面）上的运动为例：



如图示， $z$  轴方向不动，且和向上的方向平行， $E$  轴和  $N$  轴分别代表东方和北方。经过  $\Delta t$  时间后，方向发生变化， $x$ - $y$  平面绕  $z$  轴旋转了  $\Delta\varphi_z$ ，加速度相对于  $x$ - $y$  轴发生了方向和大小变化。

假设在  $\Delta t$  时间内，角速度和加速度的变化都是均匀的（可取  $\Delta t$  很小），这段时间内，由陀螺仪测出的绕  $z$  轴旋转的始末角速度为  $\omega_z$  和  $\omega_z'$ ，我们有：

$$\Delta\varphi_z = \frac{\omega_z + \omega_z'}{2} * \Delta t \quad (1)$$

在  $\Delta t$  时间内，记加速度矢量  $a$ ， $x$  轴， $E$  轴之间的始末夹角分别为  $\varphi_{xa}$ ， $\varphi_{aE}$ ， $\varphi_{xE}$ ， $\varphi_{xa}'$ ， $\varphi_{aE}'$ ， $\varphi_{xE}'$ ，有：

$$\begin{cases} \varphi_{aE} = \varphi_{xE} - \varphi_{xa} \\ \varphi_{aE}' = \varphi_{xE}' - \varphi_{xa}' \end{cases} \quad (2)$$

$$\varphi_{xE}' = \varphi_{xE} + \Delta\varphi_z \quad (3)$$

在  $\Delta t$  时间内，记加速度计测出的  $x$ ， $y$  轴方向始末加速度标量为  $a_x$ ， $a_y$ ， $a_x'$ ， $a_y'$ ，记加速度在  $E$ ， $N$  轴上的分量为  $a_E$ ， $a_N$ ， $a_E'$ ， $a_N'$ ，我们有：

$$\begin{cases} |a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \\ |a'| = \sqrt{a_x'^2 + a_y'^2} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \varphi_{xa} = \arctan(a_y / a_x) \\ \varphi_{xa'} = \arctan(a_y' / a_x') \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} a_E = |a| * \cos\varphi_{aE} \\ a_N = |a| * \sin\varphi_{aE} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} a_E' = |a'| * \cos\varphi_{aE'} \\ a_N' = |a'| * \sin\varphi_{aE'} \end{cases} \quad (7)$$

在 $\Delta t$ 时间内，记始末速度在 E、N 轴的分量为 $v_E, v_N, v_E', v_N'$ ，则：

$$\begin{cases} v_E' = \frac{a_E + a_E'}{2} * \Delta t + v_E \\ v_N' = \frac{a_N + a_N'}{2} * \Delta t + v_N \end{cases} \quad (8)$$

则 $\Delta t$ 时间结束后，速率为：

$$|v'| = \sqrt{v_E'^2 + v_N'^2} \quad (9)$$

假设初始速率 $v_0$ 、x 轴与 E 轴初始夹角 $\varphi_{xE0}$ 已知，则可以迭代求出任一个 $\Delta t$ 时间之后的速率。综上所述，经过 $\Delta t$ 时间后，速率迭代公式为：

$$|v'| = \sqrt{\left( \frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2} * \cos(\varphi_{xE} - \arctan(\frac{a_y}{a_x})) + \sqrt{a_x'^2 + a_y'^2} * \cos(\varphi_{xE} + \frac{\omega_z + \omega_z'}{2} * \Delta t - \arctan(\frac{a_y'}{a_x'}))}{2} * \Delta t + v_E \right)^2 + \left( \frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2} * \sin(\varphi_{xE} - \arctan(\frac{a_y}{a_x})) + \sqrt{a_x'^2 + a_y'^2} * \sin(\varphi_{xE} + \frac{\omega_z + \omega_z'}{2} * \Delta t - \arctan(\frac{a_y'}{a_x'}))}{2} * \Delta t + v_N \right)^2} \quad (10)$$

其中， $\Delta t$ 为采样间隔， $a_x, a_y, a_x', a_y'$ 为加速度计输出数据， $\omega_z, \omega_z'$ 为陀螺仪输出数据， $v_E, v_N$ 为上一次采样时计算出的速度在 E、N 轴上的分量， $\varphi_{xE}$ 为上一次采样时 x 轴、E 轴的夹角，因此只要知道初始时的这三个值，利用较高频率的采样，就能计算出任意时刻的实时速度。

同理，可以计算出 x-z 平面、y-z 平面的速度分量，通过矢量运算，即可计算出合速度及速率。

## 使用 GPS

使用 GPS 计算速率，假设在 $\Delta t$ 内，始末坐标分别为 $(x, y, z)$ 和 $(x', y', z')$ ，该短时间内为匀变速运动，则有：

$$|v'| = \frac{\sqrt{(x'-x)^2+(y'-y)^2+(z'-z)^2}}{\Delta t} * 2 - |v| \quad (11)$$

其中， $|v|$ 、 $|v'|$ 分别为 $\Delta t$ 时间内的始末速率，因此只需要知道初始速率，即可计算出任意时刻的实时速率。

## 跑动总距离统计

即运动员的运动总路程，知道了运动员的实时速率之后，只需要将时间对速率积分即可：

$$l = \int v_t dt \quad (12)$$

## 不同速度跑动距离统计

将所有采样数据，按照速率的大小进行分类聚合，求出每一个样本的运动路程，然后求和即可。

## 冲刺跑、高强度跑的次数，间隔时间

将所有采样数据按照时间序列，根据冲刺跑、高强度跑的定义，可以筛选每次出冲刺跑、高强度跑的时间范围，然后统计次数和时间间隔即可。

## 实时心率监控、心率监控报警

利用心率传感器，直接获得的便是实时心率。当心率超过某一范围时，即可出发警告信息。

## 不同心率所持续的时间比例

原理和不同速度跑动距离统计相同。

## 运动轨迹热图

将 GPS 所有采样的数据绘制在坐标系中，即可得出每个运动员的运动轨迹热图。