



计步器原理

HY11P13

应用说明书

目录

1	简介	3
2	原理说明	3
2.1	加速度传感器的介绍	3
2.2	控制晶片	4
3	设计规划	5
3.1	硬体说明	5
3.2.1	加速度传感器电路.....	6
3.2.2	周边电路.....	6
3.2	软体处理	6
3.2.3	功耗管理.....	6
3.2.4	加速度输出速率.....	7
3.2.5	计步器算法.....	7
4	技术规格	11
5	结论	11
6	参考数据	12

1 简介

如今对于身体开始发福的朋友们，也包括所有渴望健康的朋友来说，保持每天的运动量是最好的减肥和健身方法。医学家统计得出，人一天大约要过剩 300 卡的多余热量，每天步行一万步，就意味着可以把这些过剩热量消耗光。

去健身房？又贵又不方便。不如带个电子计步器，可显示步数、运动时消耗的热量。有了电子计步器，一切都改变了，每天定量记录运动的多少，在闲暇时间适当的步行可以弥补一天运动量的不足。小小的电子计步器能让您和的家人都走上运动健身的最佳健身之路。

计步器在像移动电话一样，成为活跃人士必不可少的“附件选择”。原因何在？因为它能够轻松地记录下你的活动水平，制订目标，跟踪进展情况，并且判断活动量是否充足来达到人们健身和控制体重的目的。

最新研究显示，计步器提供的数字对大多数人来说是准确和一致的。计步器能激发人们变得更加活跃，引导人们走向健康生活。美国糖尿病协会年会提供的两份研究报告说，使用了计步器走路来帮助控制病情的，并患有 2 号糖尿病病人的身体健康水平有了小幅度的提高。

最重要的是，计步器很便宜！在你还没想好花几千甚至上万元投资家庭健身房或者跑步机时，计步器会是你健康生活中最好的投资之一。

本次应用是基于 HY11P13 结合加速传感器 KXTE9 进行计步器的应用，当然是用 HY11P13 结合数字类的 sensor 有点大材小用，但是如果是用 HY11P13 结合温湿度量测是一款个性化及性价比较高的计步器。所以本文主要介绍计步器的算法，这对以后用 analog 类的 sensor 来设计计步器也有个引导作用。

2 原理说明

2.1 加速度传感器的介绍

- 工作电压为 1.8V-3.6V，超低的耗电流；
- KXTE9 为 $\pm 2g$ 电容式架构的三轴加速度 sensor；
- KXTE9 具有方向与活动侦测的功能，并且侦测到这些动作时，在使能中断的情况下能输出中断信号；
- 加速度的输出速度可以设置为：40HZ,10HZ,3HZ,1HZ 这四种方式；
- 包含四个中断源及一个中断信号输出引脚；
- I2C 的通信界面来设置 KXTE9 的相关参数，并通过这样的通信方式来读取加速度的数据；

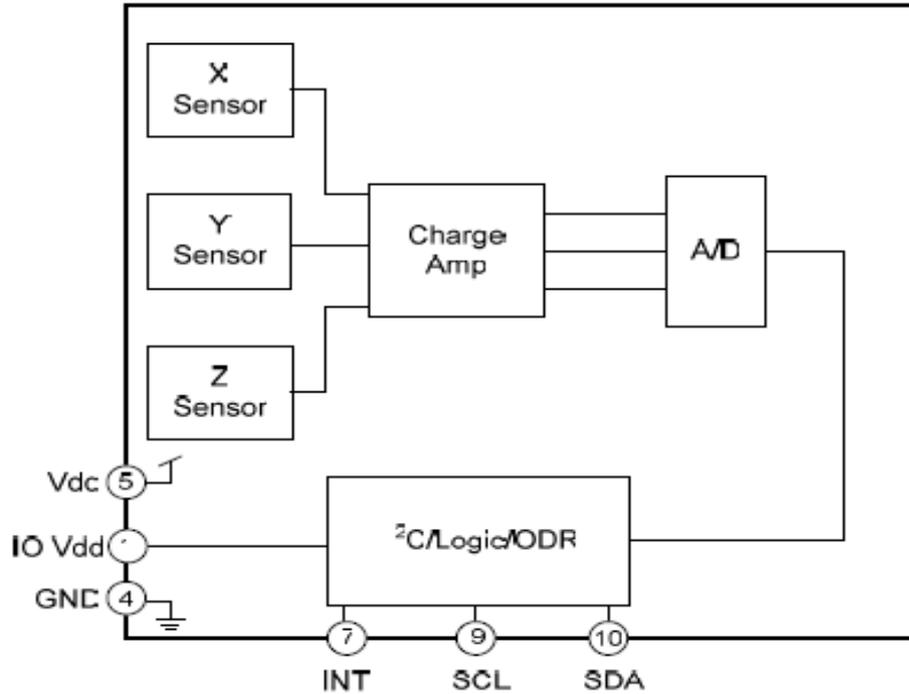


图 1..KXTE9 内部结构

2.2 控制晶片

HY11P13 ADC 的特性

- 低电压工作 → ADC 最低工作电压 2.4V
- ADC Gain 放大 → x1/4 ~ x16
- 内置预放大电路(PGA) → x1 ~ x8
- 参考电压设置 → x1/2 与 x1
- Offset 设置 → 0、±1/4Vref、±1/2Vref、±3/4Vref
- 内置输入讯号切换 → V+ V- , V+短路, V-短路 ,V+ V-交叉 4 种模式切换
- 多通道讯号输入
- 多种输出速率选择 → ADCK / 256 ~ ADCK / 32768
- 高分辨率 → 18 bits 输出分辨率
- 最小分辨电压 → 最小分辨电压 0.07uV
- Rail To Rail 讯号输入 → 输入讯号最低为 VSS - 0.2V, 最高为 VDDA
- Gain 低温漂系数 → 10 PPM/°C

HY11P13 芯片的特性

- 8 位加强型精简指令集, 共有 69 个指令包含硬件乘法指令及查表指令。
- 2.2V to 3.6V 工作电压范围, -40°C~85°C工作温度范围。
- 外部石英震荡器及内部高精度 RC 震荡器, 6 种 CPU 工作频率切换选择, 可让使用者达到最佳省电规划。

a. 运行模式 300uA@2MHz;

- b. 待机模式 3uA@32KHz;
- c. 休眠模式 1uA;

- 内置 LCD 驱动 →4×20 点显示压。
- 低电压检测 →多段式电源电压检测;
- 内置多段式稳压输出 →3.3V, 2.93V, 2.64V, 2.4V;
- 串列 SPI 通讯;
- PWM/PFD 输出.;

3 设计规划

3.1 硬体说明

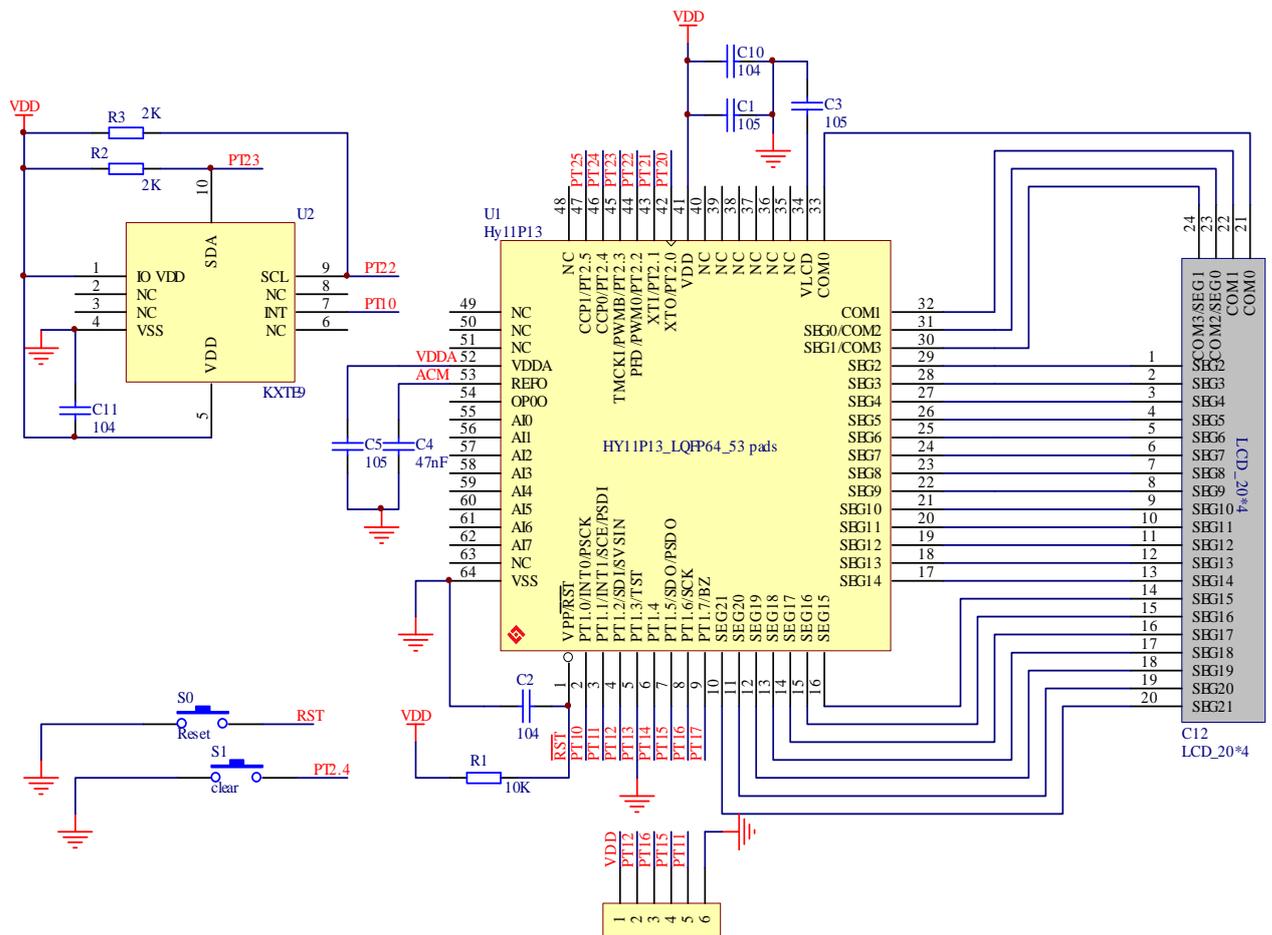


图 2.计步器电路

计步器电路主要包含:

- KXTE9 加速度传感器电路
- HY11P13 控制和显示电路

3.2.1 加速度传感器电路

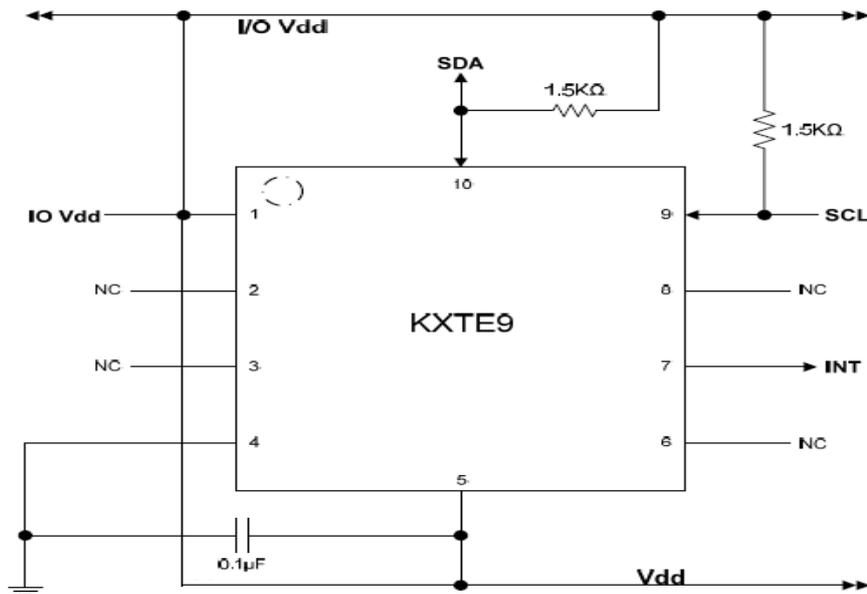


图 3.加速度 KXTE9 硬件图

KXTE9 加速度传感器的控制电路相当简单，只需在 I2C 这两个控制引脚上加两颗上拉电阻，它的工作电压直接由系统的工作电压来提供，它直接利用 I2C 的界面和 INT 中断信号输出引脚通过 HY11P13 对进行相应的设置。加速度的侦测原理是当它在加速运动状态时根据物理学原理会给他一个反作用力，当加速度越大给他的反作用力也就越大，KXTE9 也就通过压力的感测模块与 ADC 量测模块把加速度值转换为数字信号输出。

3.2.2 周边电路

计步器的外围电路非常简单仅包含 LCD 显示电路与 SPI 通信接口。而主控制器 HY11P13 内部有整合 LCD 驱动模块，所以显示部分只需连接相应的 LCD 面板。另外 SPI 接口是为了利用 HYCON 的 ADC 的性能评估软体来采集人体在走路时加速度的变化曲线，并通过这样直观的图形来确定较理想的计步算法。

3.2 软体处理

3.2.3 功耗管理

KXTE9 数字式加速度传感器的工作电压直接用 3.0V 来提供，在功耗管理上为了节省整个系统的功耗，当计步器在设定的 1S 钟之内都是处于静止状态时，会使 KXTE9 与 HY11P13 进入待机模式达到省电的目的。在待机模式下为了能快速侦测到人体的步伐，通过使能 KXTE9 的加速度大于设定的阈值时产生中断信号，并把这个中断信号连接到 HY11P13 的外部中断源引脚，HY11P13 在待机状态下侦测到这个外部中断信号使系统离开待机状态。这样整个系统可以快速回到工作模式来做计步处理。

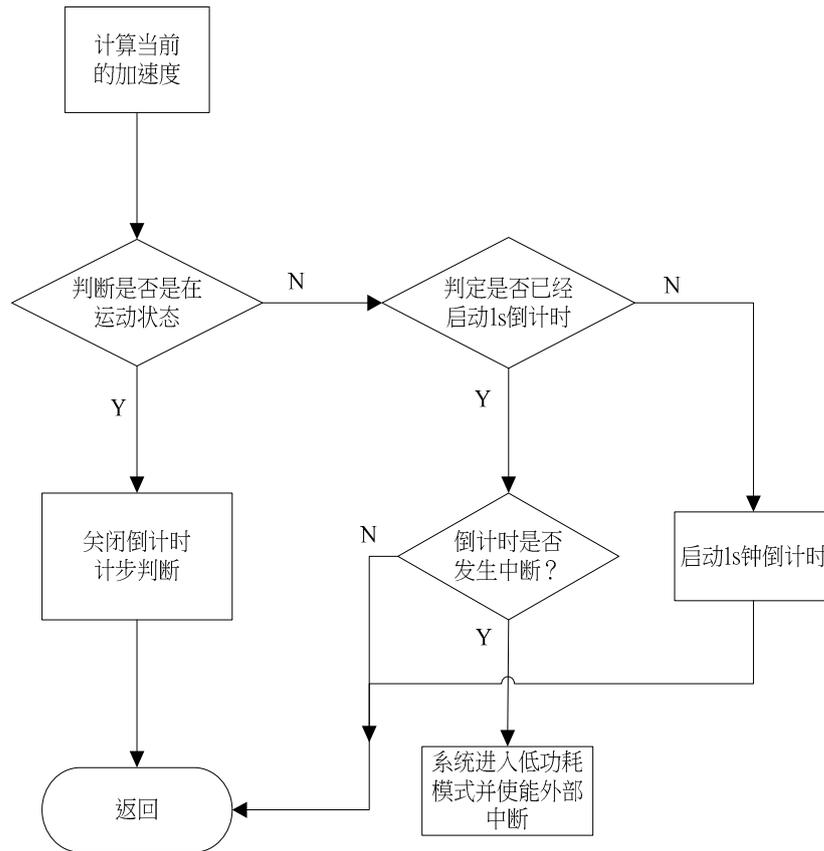


图 4.功耗管理流程

3.2.4 加速度输出速率

对于 KXTE9 来说，最快的输出速度是 40HZ，当然加速度输出速度越快，就越能抓到人体步伐的加速度曲线变化，这也对准确判断人体步伐起着关键的作用。基于准确率的考虑，设置 KXTE9 加速度的输出速度为 40hz，但为了防止读出数据出错需要数据的读取速度小于输出速度，所以设置加速度的读取速度为 30HZ。

另外在使用 KXTE9 时需要注意的是：它并不合适用于跑步的计数，因为人体的步伐频率为 0.5HZ-5ZH，也就是人体最快的跑步频率为 5HZ，KXTE9 设置为最快的输出频率下，一个完整的步伐也只能读到 6 笔左右的数据，仅用这 6 笔数据去判断步伐会造成比较大的误差。

3.2.5 计步器算法

计步器的算法包含以下几个重要的点：

- 加速度计算公式
- 极值
- 动态阈值
- 计步判定方法
- 时间窗口

加速度的计算公式：

$$A = \frac{(X - 32)^2 + (Y - 32)^2 + (Z - 32)^2}{8}$$

- ◆ 其中 X,Y,Z 分别为 X 轴、Y 轴、Z 轴的加速度；
- ◆ 32 为每个坐标轴减去的一个 offset；
- ◆ 除以一个 8 是为了控制加速度值在 256 以内，这样只需一个寄存器就可保存当前加速度的值，以便节省晶片的寄存器空间，也可以给运算带来方便；

公式分析:

作为一个三轴加速度 sensor, KXTE9 有 6 种不同的放置模状态，而且不同放置状态下对应的面的那个轴的 offset 会有差（如图 5），为了得到在静止的时不同放置状态下的加速都是相同的值，所以加速度的计算公式里面有减掉 32 的 offset 值来 满足不管计步器放置什么方向加速度的值都是一样。

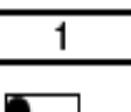
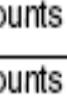
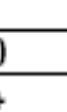
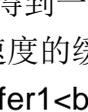
Position	1	2	3	4	5	6
Diagram						
X	32 counts	48 counts	32 counts	16 counts	32 counts	32 counts
Y	48 counts	32 counts	16 counts	32 counts	32 counts	32 counts
Z	32 counts	32 counts	32 counts	32 counts	48 counts	16 counts
X-Polarity	0	+	0	-	0	0
Y-Polarity	+	0	-	0	0	0
Z-Polarity	0	0	0	0	+	-

图 5.加速度 sensor6 个放置状态对应 offset 值

极值处理:

处理极值的目的是为了得到一个有效的计步判断阈值。人体步阀的波形大概如图 6。在软件上定义保存四个连续加速度的缓存器：buffer1、 buffer2、 buffer3、 buffer4。当在加速度递增过程的时候存在 Buffer1<buffer2 并且 buffer2>buffer3>buffer4 的时候可以得到一个极大值;同理当 buffer1>buffer2 并且 buffer2<buffer3<buffer4 可以得到一个极小值。

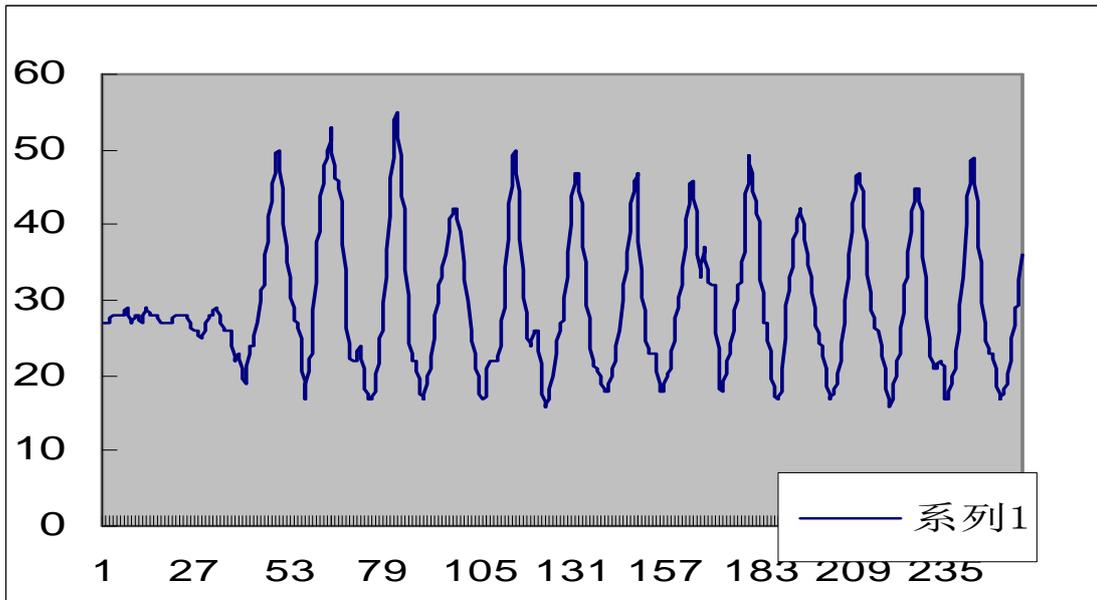


图 6.人体步伐对应加速度

动态阈值处理:

动态阈值的计算公式:

$$\max AVE_n = (\max_{n-7} + \max_{n-6} + \max_{n-5} + \dots + \max_{n-1} + \max_n) / 8$$

$$\min AVE_n = (\min_{n-7} + \min_{n-6} + \min_{n-5} + \dots + \min_{n-1} + \min_n) / 8$$

$$Thr_n = (\max AVE_n + \min AVE_n) / 2$$

其中 max 与 min 为软件分别定义的连续 8 个极大值与连续 8 个极小值的缓存器.采用软上才用 8 比滑动平均的形式来取得当前的极大值的平均值与极小值的平均值, 并且由这两个平均值取得当前的动态阈值。

计步判断:

由于有定义存放连续 4 笔加速度值的缓冲器 Accbuffer1、Accbuffer2、Accbuffer3、Accbuffer4。当刚好在 $Accbuffer1 > Accbuffer2 > Threshold$ 的时候, 并计步标志为零的状态进行计步处理, 且置计步标志。在计步处理上结合时间窗口来判断该步伐是否有效, 如果满足在设置的时间窗口之内, 则计步加 1 否则被时间窗口滤除。当变化 $Accbuffer1 < Accbuffer2 < Threshold$ 的时候把计步标志 clear 掉, 以便下次加速度值大于阈值来进行计步处理。

时间窗口:

当每 1 步的频率满足 0.2-2s 的时间窗口时定义为计步有效否则就滤除。这个时间的计算可以用 HY11P13 晶片的 TimerB 计时器来进行处理。

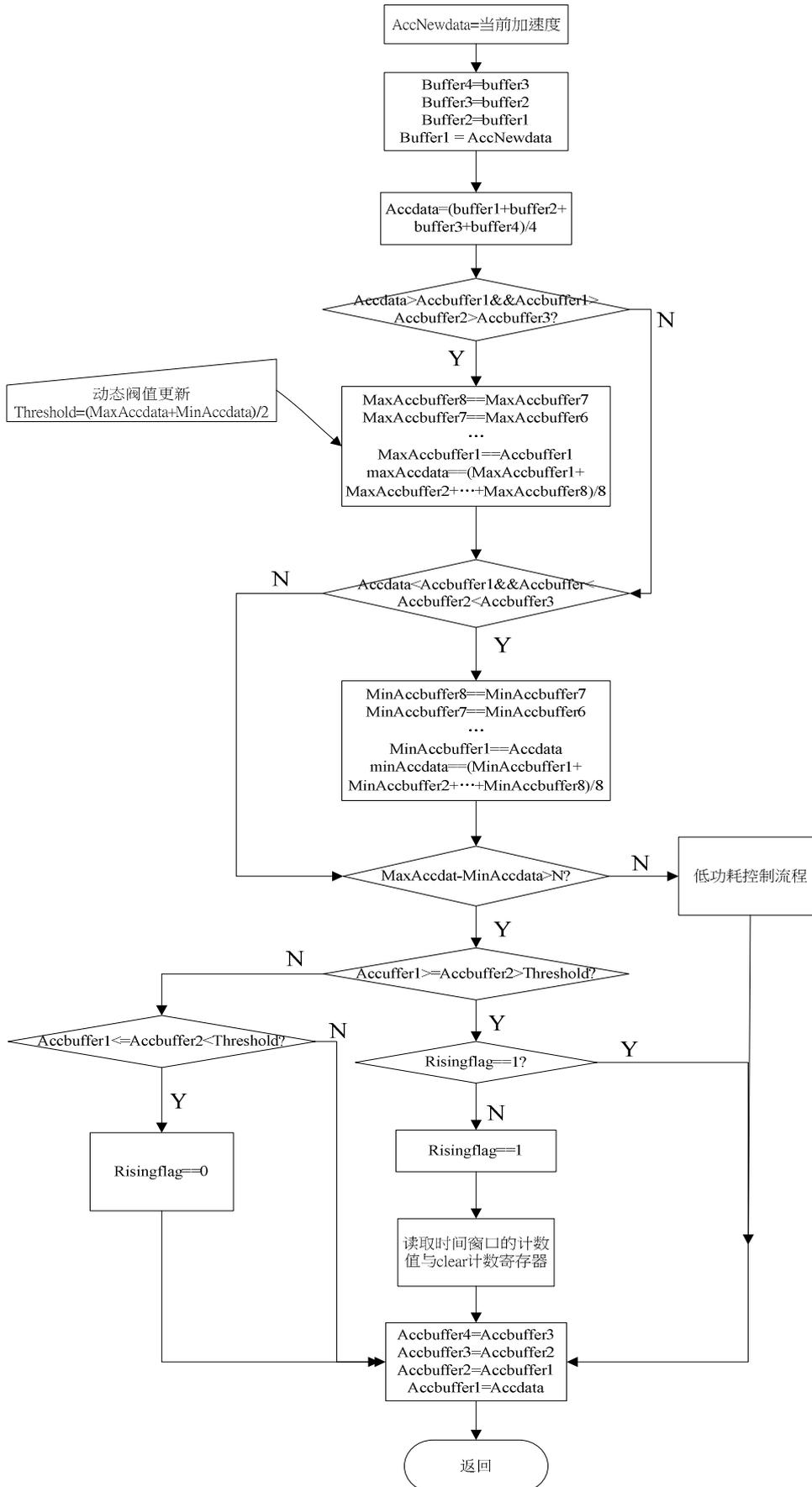


图 7.计步判断流程

4 技术规格

工作规格

- 电源接点: 3.0V
- 功耗: 工作模式 300uA, 待机模式 2uA;
- 适用范围: 压力, 温度, 流量, PH 计各种传送器;
- 工作温度: -40℃ ~ +85℃;
- 存贮温度: -55℃ ~ +125℃;
- 相对湿度: <95% (20±5℃条件);

计步准确率

计步器的准确率是使用者最关心的一个问题, 当然准确率和使用者的佩戴及其他因素也有相当大的关系, 所以在使用时需要注意以下几点:

- 不要把计步器放置在不规则运动的背包中;
- 不要垂直挂在腰或者背包上;
- 走路时不要蹭着地板走路;
- 走路时不要一会快走一会又慢走;

下面图 8 是人体走 60 步所采集到的加速度的曲线图, 从这个图形可以直观的看出人体每迈出一大步对应一个加速度的峰值, 所以按照上面介绍的加速度计算方式是可以准确计数人体所走的步伐数。

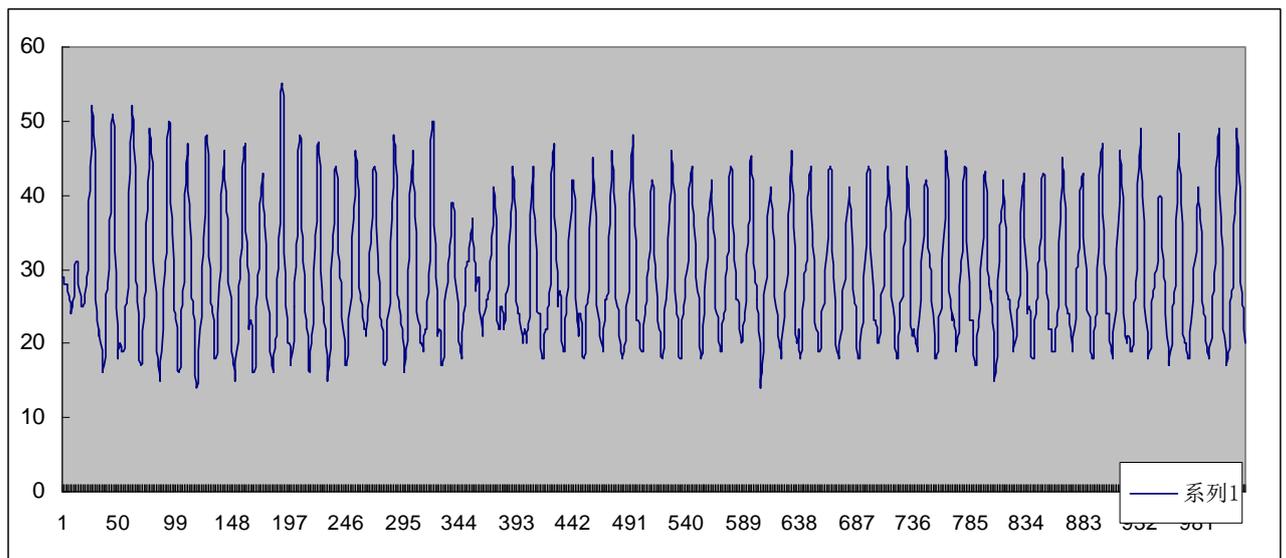


图 8.60 个步伐对应加速度曲线

5 结论

由于 HY11P13 资源丰富在计步器的应用上有较大的优势, 因为 HY11P13 内部有整合高精度 ADC 及 capture 功能模块, 可以利用这两个功能对温湿度进行量测。这又便于使用者针对当前温湿度的情况来判断是否合适外出活动。针对这些因素的考量, HY11P13 在这类计步器的应用上具有外围简单、低功耗、性价比较高的特色。所以 HY11P13 在这种个性化计步器的应用上较大的竞争优势。在此分享予各位先进。

6 参考数据

HY11P23 DataSheet: <http://www.hycontek.com/page2.html>

User's Guide: <http://www.hycontek.com/page2.html>

Application file: <http://www.kionix.com/accelerometers/accelerometer-KXTE9.html>