

## Using 3-Axis Accelerometer ADXL330 to High Accuracy Pedometer

SONG Hao-ran<sup>1\*</sup>, LIAO Wen-shuai<sup>2</sup>, ZHAO Yi-ming<sup>2</sup>

(1. Fudan University Microelectronics Dept., Shanghai 200021, China; 2. Analog Devices Inc)

**Abstract:** During recent years, more and more portable devices, such as handset, MP3 and PMP, are calling for healthy and mobile features. Pedometer is an instrument that can measure human step and calculate consumed energy. Unlike traditional mechanical pedometer, a new kind of pedometer based on ADXL330 from Analog Device, is of high sensitivity, high accuracy (95%), high integration and low power consumption (3.3 mW), suitable for portable consumer electronic device. ADXL330 is 3 axis analog outputs, low g accelerometer, with 330 mV/g<sub>n</sub> sensitivity.

**Key words:** MEMS; pedometer; accelerometer; sensitivity

EEACC: 7230; 7320E

## 基于加速度传感器 ADXL330 的高精度计步器

宋浩然<sup>1\*</sup>, 廖文帅<sup>2</sup>, 赵一鸣<sup>2</sup>

(1. 复旦大学微电子系, 上海 200021; 2. 美国模拟器件公司)

**摘 要:** 目前随着数字化时代的到来, 越来越多的手持设备, 例如手机、MP3 和 PMP 等等, 都要增加健康或者运动的功能。计步器作为一种测量仪器, 可以计算行走的步数和消耗的能量, 就成为在这些手持设备上增加的功能之一。有别于传统的机械方式, 利用美国模拟器件公司的加速度传感器 ADXL330 做成的计步器具有灵敏度高、准确性高(95%)、集成度高以及功耗低(3.3 mW)的特点, 非常适合手持式消费类电子产品。ADXL330 是一个三轴模拟输出、灵敏度为 330 mV/g<sub>n</sub>、低功耗的加速度传感器。

**关键词:** 微机电系统; 计步器; 加速度传感器; 灵敏度

中图分类号: TP212.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2006)04-1005-04

目前, 计步器的构成有机械式和电子式两种。机械式的计步器利用人体行走时的振动引起计步器内部簧片或者弹力小球的振动来产生电子脉冲, 内部处理器通过判断电子脉冲的方法来达到计步的功能。这种机械式方式的成本比较低, 但是它的准确性和灵敏度很低。MEMS(微机电系统)是一种新式的加速度传感器制作工艺, 它可以很容易和传统的 CMOS 工艺结合起来, 这样制成新式的加速度传感器(ADXL330)。电子式的计步器就是利用这种

新式的产品, 通过测量人体行走时加速度的变化, 来达到计步的功能。电子式计步器就可以克服机械式的准确性和灵敏度低的缺点。

## 1 人体行走模型

距离、速度、加速度等等有很多参数来描述人体行走的行为, 本文主要采用加速度这个参数来模拟人体行走。如图 1 所示, 我们可以分别定义三个不同方向的加速度: 垂直、前向和侧向。

收稿日期: 2006-03-03

作者简介: 宋浩然(1976-), 男, 在职研究生(通讯联系人), 从事模拟传感器的应用开发以及模拟电路方面的研究和设计, forestshr@yahoo.com.cn.

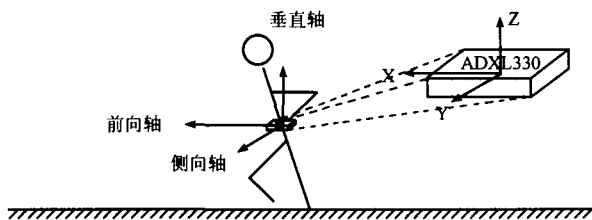


图1 人体行走模型

ADXL330 是一个三轴(X轴、Y轴和Z轴)模拟输出的加速度传感器,正好可以作为垂直、前向和侧向三个方向的传感器。如图2所示,ADXL330 X、Y、Z三轴的数据输出就代表了人体行走三个方向的加速度曲线。从图中我们可以看到三个方向中垂直方向(Z轴)具有明显的周期特性。

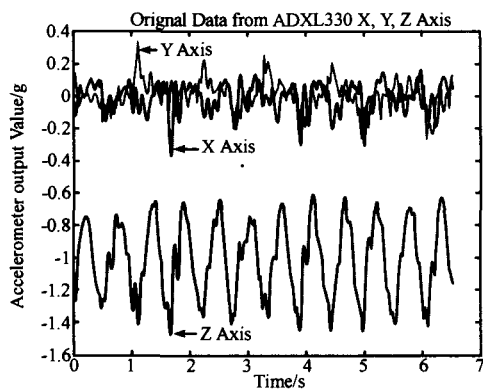


图2 人体行走时 ADXL330 三轴输出数据曲线图

然而,手持设备的摆放是任意的,并不是严格的和图1吻合。因此任意位置的分析是比较有效的。我们定义 $\alpha_v$ 、 $\beta_v$ 、 $\gamma_v$ 分别为垂直方向和X、Y、Z轴的夹角,因此垂直方向的加速度在X、Y、Z轴上分别为:

$$Acc\_X\_V = (\cos\alpha_v) \cdot Acc\_V$$

$$Acc\_Y\_V = (\cos\beta_v) \cdot Acc\_V$$

$$Acc\_Z\_V = (\cos\gamma_v) \cdot Acc\_V$$

同理,我们可以得到在前进和侧面方向在X、Y、Z上的加速度分别为:

$$Acc\_X\_F = (\cos\alpha_F) \cdot Acc\_F$$

$$Acc\_Y\_F = (\cos\beta_F) \cdot Acc\_F$$

$$Acc\_Z\_F = (\cos\gamma_F) \cdot Acc\_F$$

$$Acc\_X\_F = (\cos\alpha_F) \cdot Acc\_F$$

$$Acc\_Y\_F = (\cos\beta_F) \cdot Acc\_F$$

$$Acc\_Z\_F = (\cos\gamma_F) \cdot Acc\_F$$

因此,在X、Y、Z轴上的加速度为:

$$Acc\_X = Acc\_X\_V + Acc\_X\_F = Acc\_X\_S$$

$$Acc\_Y = Acc\_Y\_V + Acc\_Y\_F = Acc\_Y\_S$$

$$Acc\_Z = Acc\_Z\_V + Acc\_Z\_F = Acc\_Z\_S$$

实际上,根据图3的分析,我们比较关心垂直方

向的加速度, $Acc\_X\_V$ 、 $Acc\_Y\_V$ 、 $Acc\_Z\_V$ 。

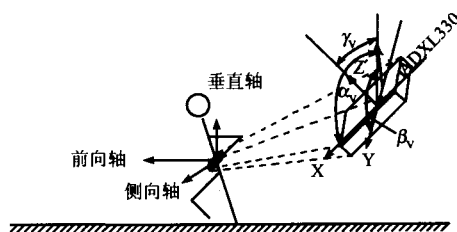


图3 任意位置的加速度

## 2 计步器自适应算法

通常来讲,人体每秒钟行走0.5~2步,最多不超过5步。因此,合理的计步器输出为0.5~5 Hz。在模拟电路部分,我们采用5 Hz的抗混叠带宽来过滤高频噪声;在数字电路部分,采用5 Hz截止频率的FIR低通滤波器来过滤高频噪声。图4是低通滤波器的频率响应。

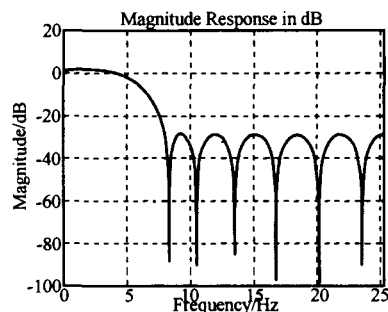


图4 低通滤波器的频率响应曲线

另外,低通滤波器无法过滤0.5 Hz以下的噪声,因此我们采用了时间窗口的方法来实现。如图5所示,我们把大于 $T_1$ 或者小于 $T_2$ 的频率输出都认为是噪声的影响。

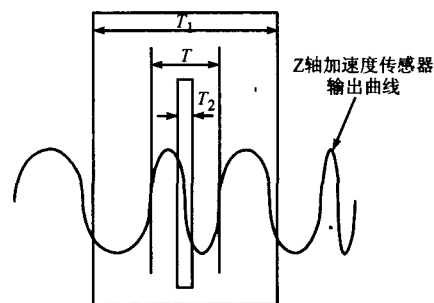


图5 去除低频和高频的时间窗口

不同的人行走会有不同加速度大小的输出,因此软件中动态参数的设置提供了一种自适应的方法,来满足不同行人的要求。动态参数包括动态精度、动态阈值以及加速度传感器的峰-峰值的输出。动态精度是用来量化采样的数据以去除高频的噪声;动态阈值满足下式就可以判断一步的成立。

$$Pld\_Data > Dynamic\_Threshold > New\_Data$$

如图 6 所示,软件中量化的模块有两个移位寄存器组成:新数据寄存器和旧数据寄存器。新数据寄存器的内容为动态精度和加速度变化值,当加速度变化值大于动态精度时,这时的数据就可以移位到新数据寄存器;当加速度变化值小于或者等于动态精度时,新数据寄存器保持不变。旧数据寄存器则不断的更新采样的数据。

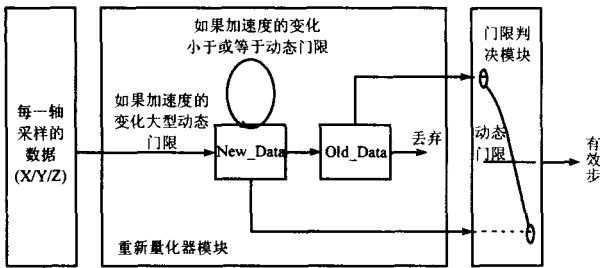


图 6 量化模块和阈值判断模块

通常,我们采用一轴最大加速度输出为有效的输出,加速度传感器的峰—峰值用来判断哪个轴输出为有效的输出。

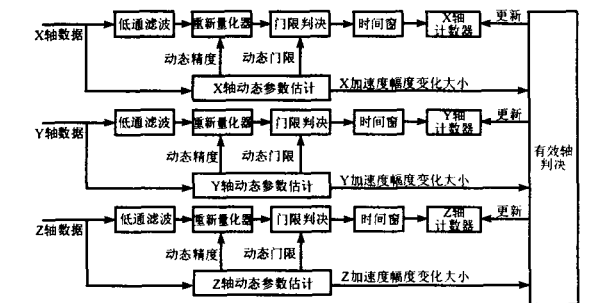


图 7 算法框图

### 3 硬件实现

图 8 为计步器硬件的结构框图。它有两个模块组成:传感器模块和控制模块。这两个模块接口为 I<sup>2</sup>C,传感器模块以从模式记录步数,控制模块以主模式设置、读取和显示传感器的信息<sup>[6]</sup>。

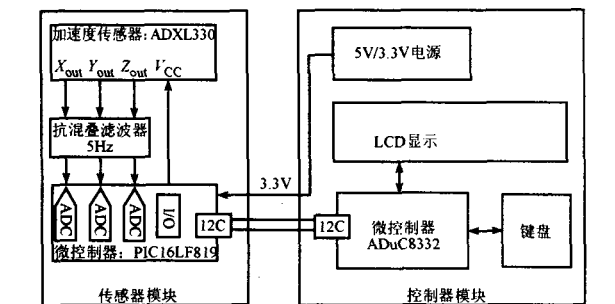


图 8 计步器硬件的结构框图

传感器模块由三轴加速度传感器 ADXL330、AD8554<sup>5</sup>(四通道运算放大器组成抗混叠滤波器<sup>[7]</sup>)和内部集成多通道 ADC 的单片机 PIC16LF819<sup>[4]</sup>

组成。ADXL330 作为传感器来感知人体行走的动作,并有 X、Y、Z 三个模拟输出。带宽为 5Hz 的抗混叠滤波器来去除高频噪声,对于 ADXL330,只要在模拟输出管脚上加上电容就可以实现。利用单片机 PIC16LF819 内部三个通道的 ADC 对三个模拟输出进行采样,同时利用一个数字输出管脚作为 ADXL330 的电源。控制模块有 LCD 显示模块、微控制器 ADuC832<sup>2</sup>(内嵌 8051 核)、键盘和电源组成。对此计步器进行各种放置位置的测量,测量结果如图 9、10、11、12。其中图 9 为 X 轴向上时测试的结果,图 10 为 Y 轴向上时测试的结果,图 11 为 Z 轴向上时测试的结果,图 12 为 Z 轴向下时测试的结果。另外,为了验证此计步器的精度,分别对 X、Y、Z 轴的上和下四种情况进行 100 步统计性测量,测量结果如表 1。

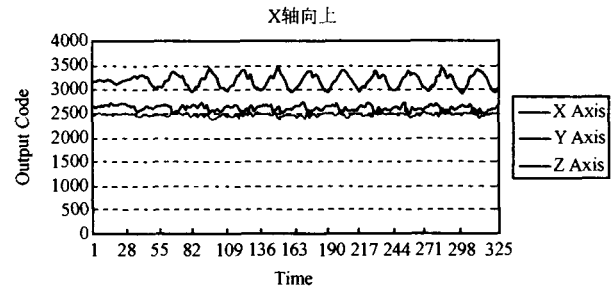


图 9 X 轴向上时测试结果

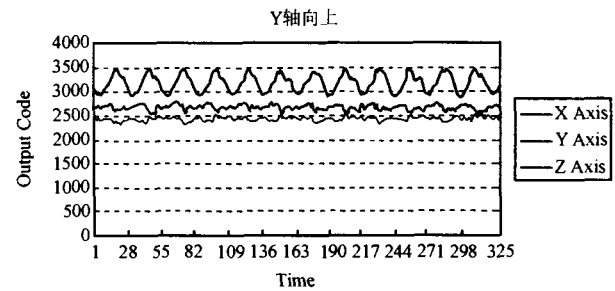


图 10 Y 轴向上时测试结果

表 1 四向情况中,进行百步的统计性测值

次	X 轴	误	Y 轴	误	Z 轴	误	Z 轴	误
数	向上	差	向上	差	向上	差	向下	差
1	99	-1	99	-1	98	-2	100	0
2	99	-1	102	2	100	0	100	0
3	100	0	99	-1	101	1	99	-1
4	99	-	99	-1	100	0	99	-1
5	101	1	99	-1	99	-1	98	-2
6	100	0	100	0	99	-1	98	-2
7	100	0	99	-1	100	0	98	-2
8	99	-1	99	-1	101	1	101	1
9	99	-1	99	-1	99	-1	101	1
10	100	0	100	0	99	-1	101	1

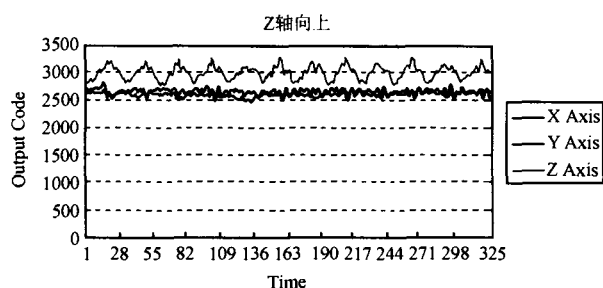


图 11 Z 轴向上时测试结果

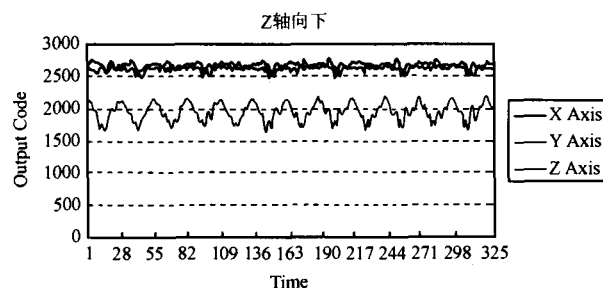


图 12 Z 轴向下时测试结果

## 4 结 论

ADXL330 是美国模拟器件最新发布的一款功耗低、封装小、高精度的三轴加速度传感器。基于 ADXL330 的计步器可以得到比传统的机械式计步

器更高的精度和准确度,从表 1 可以看到此计步器的精度达到了 98%,功耗经测量只有 3.3 mW,非常适合应用于手持式设备。

## 参考文献:

- [1] ADXL330 Datasheet[EB/OL]. Analog Devices Inc, Norwood, MA. <http://www.analog.com>.
- [2] ADuC832 Datasheet, Analog Devices Inc. [EB/OL], Norwood, MA. <http://www.analog.com>.
- [3] Harvey Weinberg. Using the ADXL202 in Pedometer and Personal Navigation Applications[R]. Application Note AN-602, Analog Devices Inc, 2002.
- [4] PIC16F819 Datasheet[EB/OL]. Microchip Technology Inc. <http://www.microchip.com>.
- [5] AD8554 Datasheet[EB/OL]. Analog Devices Inc., Norwood, MA. <http://www.analog.com>.
- [6] Naoki Asakawa. Tech Analysis: HDD for Mobile Phones Withstand 1.5-Meter Drop[J]. Nikkei Electronics Asia, Jan 2005.
- [7] Walter G. Jung "Op Amp Application[M]", Analog Devices Inc. 2002.
- [8] Charles Kitchin and Lew Counts. "A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers[M]. 2nd Edition", Analog Devices Inc. 2004.

(上接第 1004 页)

部分电路的总放大倍数设计为单位 1)。

## 6 结 论

提出了一种可实现的单磁芯双绕组新型磁传感器,其线性量程可根据需要调整为数个奥斯特至数十奥斯特。本文通过建立该传感器的模型,系统地解决了该磁场传感器的理论问题。本文报道了既涉及铁磁性材料又涉及电路的该磁传感器理论的建立过程,给出了传感器的输出电压与电路参数、磁芯结构参数及磁参数的关系。从理论上给出了一种采用单非晶丝磁芯双励磁绕组结构的非接触检测弱磁场的新型传感器的原理,该理论的建立为我们设计具有高性能的传感器提供了基础,可通过对电路参数及磁参数的优化获得具有优异性能的磁传感器。该原理对研制高性能的磁传感器及其它与软磁材料有关的其它类传感器具有很好的理论指导意义,同时对于解决电磁相互交织问题提供了一种有效的方法。

## 参考文献:

- [1] Treutler C P O. Magnetic Sensors for Automotive Applications [J]. Sensors and Actuators A, Physical, 2001, 91(1-2): 2.
- [2] Trate E J, Magnelind P E, A Ya Tzalenchuk, et al. High Tc SQUID Systems for Magnetophysics[J]. Physica C, 2002: 368, 50-54.
- [3] Gracfa A, Moron C. Biaxial Magnetometer Sensor[J]. IEEE Trans. Magn. 2002, 38(5): 3312-3314.
- [4] Sasada I. Orthogonal Fluxgate Mechanism Operated with dc Biased Excitation[J]. Journal of Applied Physics, 2002, 91(10): 7789-7791.
- [5] Totsu K, Haga Y, Esashi M. Three-Axis Magneto-Impedance Effect Sensor System for Detecting Position and Orientation of Catheter tip[J]. Sensors and Actuators A, Physics[J]. 2004: 111, 304-309.
- [6] Lee L L, Tasy C L, Harada K. Zero Ripple DCCT for Power Electronics Applications[J]. J. Magn. Soc. Japan, 2000, 24: 787-790.
- [7] Lee L L, Tasy C L, Harada K. Novel Zero Ripple DC Current Transformer Design[J]. IEEE Trans Magn, 1999, 35(5): 3514-3516.