

Principle and Application of Angle Sensor Based on Acceleration

Jian Huang

XiJing University, Xi'an 710123, China;

Abstract. This paper presents how to use the acceleration for angle detection and give a specific hardware and software design. Base on this advances three axis low-g digital output accelerometer made by freescale semiconductor. The MMA7455L is a Digital Output (I2C/SPI), low power, low profile capacitive micromachined accelerometer featuring signal conditioning. Through the calculation, can accurate measurement of the Angle, at present is widely used in the Angle measurement field.

Keywords: Acceleration transducer; Angle measure; Homotaxial dip

基于加速度的角度传感器的工作原理及其应用

黄健

(西京学院, 西安 710123, 中国)

摘要: 本文阐述了利用加速度进行倾角检测的工作原理、使用方法并给出了具体的硬件和软件设计。在此基础上介绍了飞思卡尔公司的 MMA7455L 数字三轴加速度传感器, 该芯片具有数字输出 (I2C/SPI) 接口, 易于进行数据处理。该芯片是低功耗、紧凑型电容式微机械加速度计, 通过计算, 可精确测量角度, 目前被广泛地应用在角度测量领域。

关键词: 加速度传感器; 角度测量; 单轴倾角

引言

确定系统倾斜的一种常用方法是对陀螺仪输出求积分。这种方法虽然简单, 但随着积分周期的增加, 与零偏稳定性相关的误差也会快速增大。利用加速度计进行倾斜检测的基本假设是, 加速度只与重力相关。实际应用时, 可对输出信号进行信号处理, 消除其中的高频成分^[1]。

倾斜检测利用重力矢量及其在轴上的投影来确定倾斜角。由于重力为直流加速度, 因此, 任何其它的直流加速度都会破坏输出信号并导致错误计算。本文旨在讨论将重力加速度输出换算成倾斜角的基本原理, 如何将单轴加速度转换为理想倾斜角, 并给出实际应用。另外提供一些基本的校准信息, 以减少失调和灵敏度失配带来的误差^[2]。

1 单轴倾角计算

在只需对有限角度进行倾斜检测且分辨率较低的应用中, 可使用单轴器件。例如在图 1 中, 单轴 (即 x 轴) 通过重力旋转, 在本例中假设 x 轴始终处于重心面。根据基本三角

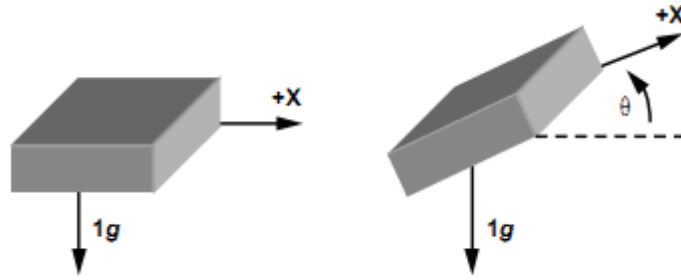


图 1 单轴倾角检测

形原理, x 轴上的重力矢量投影会产生等于加速度计 x 轴与水平线夹角正弦值的输出加速度。水平线与重力矢量垂直。在重力为理想 $1g$ 时, 输出加速度为:

$$A_{x, out}[g] = 1g \times \sin(\theta) \quad (1)$$

采用单轴计算时, 需注意, 随着水平线与 x 轴夹角的增大, 倾角计算的灵敏度, 即一定输入变化带来的输出变化会变小, 该角越接近 $\pm 90^\circ$, 灵敏度越接近 0. 在图 2 中能够看到这点。

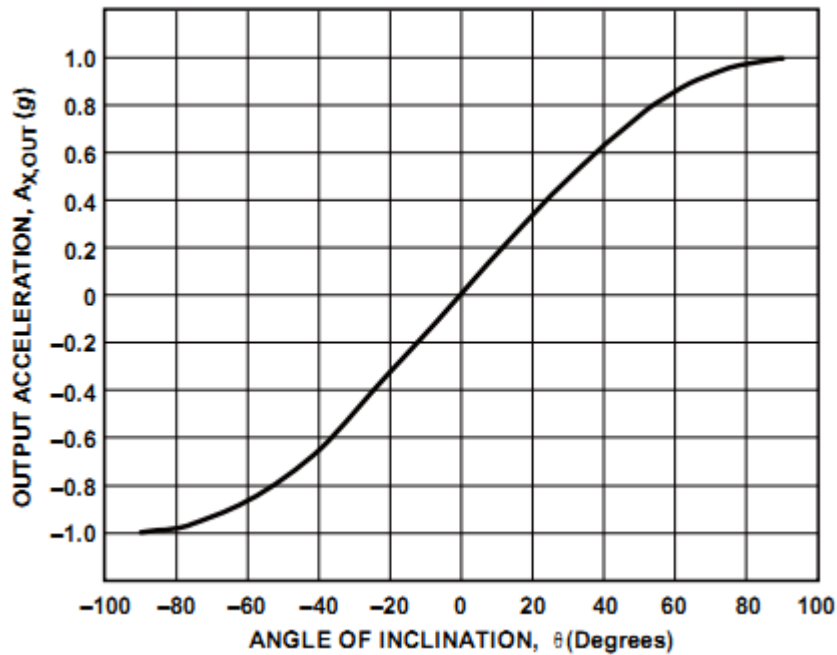


图 2 单轴倾斜检测中的输出加速度与倾斜角

由于倾斜计算以数字方式实现, 所以输出加速度表示为单位最低有效位 (LSB) 的一个恒定加速度或代码, 该值来自模数转换器 (ADC) 或直接来自数字输出部件。由于输出分辨率为恒定加速度, 因此倾斜角度分辨率是可变的, 其中, 最佳分辨率在接近 0° 时取得, 最差分辨率在 $\pm 90^\circ$ 时获得。

图 3 和图 4 分别是 1° 和 0.25° 倾斜角步进下的增量灵敏度。增量灵敏度为单位倾斜角步进的输出变化 (单位: mg) [3]

$$S[g] = 1g \times (\sin(N+P) - \sin(N)) \quad (2)$$

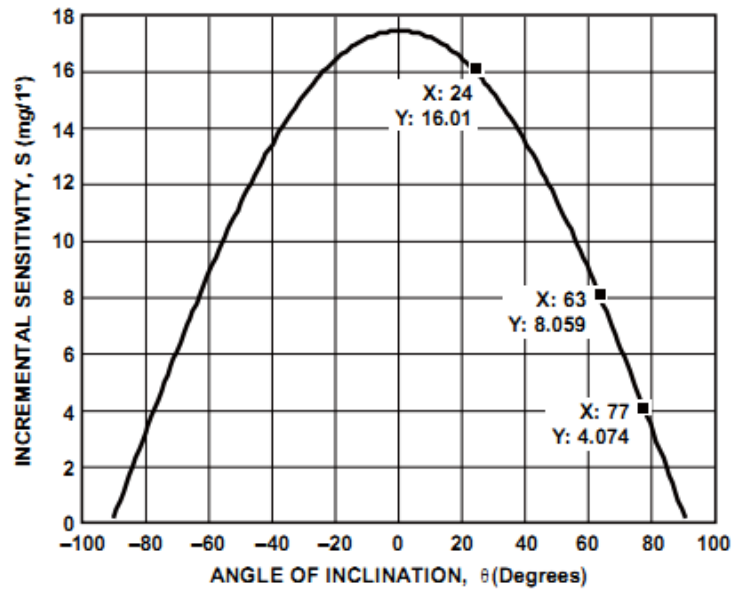


图 3 1 步进下的增量倾斜灵敏度

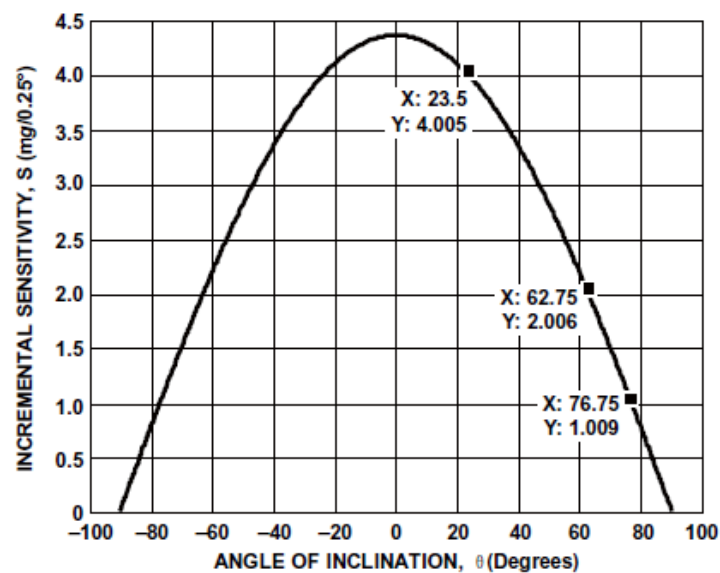


图 4 0.25° 步进下的增量倾斜灵敏度

2 MMA7455简介

MMA7455 是一款数字输出 (I2C/SPI)、低功耗、紧凑型电容式微机械加速度计, 具有信号调理、低通滤波器、温度补偿、自测、可配置通过中断引脚 (INT1 或 INT2) 检测 $0g$ 、以及脉冲检测 (用于快速运动检测) 等功能。 $0g$ 偏置和灵敏度是出厂配置, 无需外部器件。客户可使用指定的 $0g$ 寄存器和 g -Select 量程选择对 $0g$ 偏置进行校准, 量程可通过命令选择 3 个加速度范围 ($2g/4g/8g$)。MMA745xL 系列具备待机模式, 使它成为以电池为电源的手持式电子器件的理想选择[4]。

3 角度传感器MMA7455典型应用

3.1 MMA7455 的外部引脚

表 1 MMA7455 引脚描述

Pin #	Pin Name	Description	Pin Status
1	DVDD_IO	Digital Power for I/O pads	Input
2	GND	Ground	Input
3	N/C	No internal connection. Leave unconnected or connect to Ground.	Input
4	IADDR0	I ² C Address Bit 0 (optional)*	Input
5	GND	Ground	Input
6	AVDD	Analog Power	Input
7	CS	SPI Enable (0), I ² C Enable (1)	Input
8	INT1/DRDY	Interrupt 1/ Data Ready	Output
9	INT2	Interrupt 2	Output
10	N/C	No internal connection. Leave unconnected or connect to Ground.	Input
11	N/C	Leave unconnected or connect to Ground.	Input
12	SDO	SPI Serial Data Output	Output
13	SDA/SDI/SDO	I ² C Serial Data (SDA), SPI Serial Data Input (SDI), 3-wire interface Serial Data Output (SDO)	Open Drain/Input/Output
14	SCL/SPC	I ² C Serial Clock (SCL), SPI Serial Clock (SPC)	Input

其中第 7 脚是数字输出接口 SPI（为 0）和 IIC（为 1）选择端，第 12、13、14 引脚是 SPI 或 IIC 数据或时钟引脚。第 8、9 脚是数据输出脚，采用中断方式。

3.2 MMA7455 应用接口电路

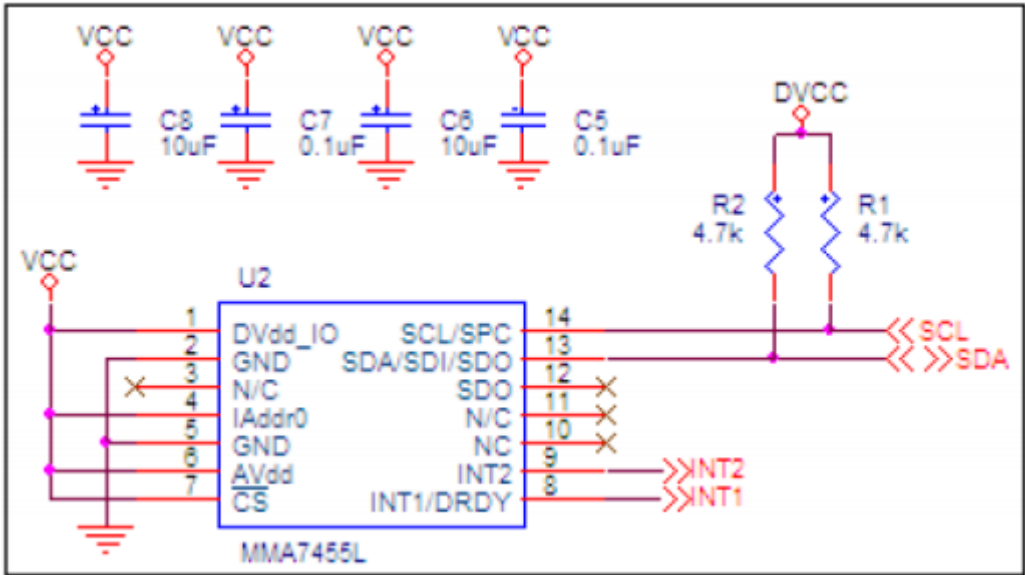


图 5 MMA7455 IIC 总线接口电路

该总线接口电路可连接到单片机、ARM 等具备 IIC 接口的硬件中，在本设计中，采用与 51 单片机连接。

3.3 软件编程

在本设计中，采用 51 单片机 STC89C52 与 MMA7455 相连，通过对 IIC 总线的读写操作，读取重力加速度值，在通过上述公式（1）和（2）计算出对应的角度值，并将结果通过串口在电脑中显示。部分程序如下：

单片机读取 MMA7455 数据程序

```
unsigned char mma7455_readbyte(unsigned char address)
```

```
{
unsigned char ret = 100;
i2c_start();//启动
send_byte(0x3a);//写入设备 ID 及写信号
send_byte(address);//待读寄存器地址
i2c_start();//重新发送开始
send_byte(0x3b);//写入设备 ID 及读信号
ret = read_byte();//读取一字节
i2c_stop();
return ret;
}
```

单片机串口显示程序

```
if(mma7455_readbyte(0x09)&0x01)
{
x = mma7455_readbyte(0x06);
}

senddata('X');
senddata(x/100+0x30);
senddata((x%100)/10+0x30);
senddata((x%100)%10+0x30);
senddata(0x0d);
```

4 总结

本文阐述了利用加速度测量角度的工作原理和方法,并给出了具体的计算公式。并且给出了具体应用,实现了硬件电路和软件编程。本设计具有广泛的应用价值,可应用于手机/PMP/PDA;硬盘驱动;自由下落检测;笔记本电脑:自由下落检测,防盗;计步器;运动传感,故障记录仪等领域。

本文所述设计在 2011 全国大学生电子设计竞赛 B 题“基于自由摆的平板控制系统”中得到了实际应用,并获得省级二等奖。

参考文献:

- [1] 曹玉珍, 蔡伟超, 程旻. 基于 MEMS 加速度传感器的人体姿态检测技术 [J], 纳米技术与精密工程. 2010, 8(1):37-40.
- [2] 王昌喜, 杨先军, 等. 基于三维加速度传感器的上肢动作识别系统 [J], 传感技术学报. 2010, 23(6):816-819.
- [3] 阮久宏, 杨福广, 李贻斌. 车辆加速速度自抗扰控制 [J], 控制理论与应用. 2011, 28(9):1189-1193.
- [4] 李显, 吴美平, 张开东, 曹聚亮, 黄杨明. 导航卫星速度和加速度的计算方法及精度分析 [J], 测绘学报. 2012, 41(6):816-823.

References:

- [1] Cao Yuzhen, Cai Weichao, Cheng Yang. Measurement Technique of Body Posture Based on

- MEMS Accelerometer [J].*Nanotechnology and Precision Engineering*, 2010, 8(1):37-40.
- [2] Wang Changxi, Yang Xianjun, etc. Upper Action Recognition System Based on Triaxial Accelerometer [J].*Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2010, 23(6):816-819.
- [3] Ruan Jiuhong, Yang Fuguang, Li Yibin. Vehicle Acceleration Active Disturbance Rejection Control [J].*Control Theory & Applications*, 2011, 28(9): 1189-1193.
- [4] Li Xian, Wu Meiping, Zhang Kaidong, Cao Ju Liang, Huang Yangming. Calculation Method and Precision Analysis of Navigation Satellite Velocity and Acceleration [J].*ACTA Geodaetica et Cartographica SINICA*, 2012, 41(6):816-823.