



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104406584 B
(45)授权公告日 2017. 10. 31

(21)申请号 201410546130.5

(22)申请日 2014.10.16

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104406584 A

(43)申请公布日 2015.03.11

(73)专利权人 哈尔滨工程大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南
通大街145号哈尔滨工程大学科技处
知识产权办公室

(72)发明人 孙华 吴宗凯 张岩 薛晶晶
李昊俊

(51) Int. Cl.
G01C 21/08(2006.01)

审查员 董丹丹

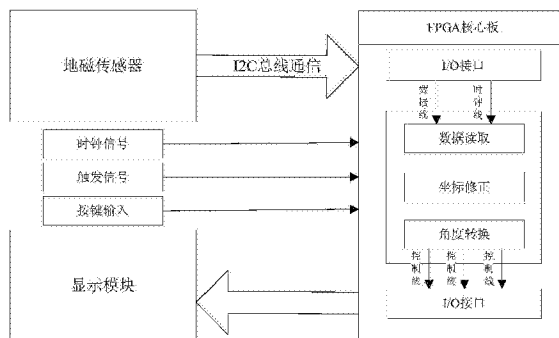
权利要求书3页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种基于硬件语言的航向角指示仪

(57)摘要

本发明属于系统导航领域,具体涉及一种基于硬件描述语言的航向角指示仪。基于硬件语言的航向角指示仪,包括:地磁传感器、FPGA控制器、数码管,使用FPGA作为控制器,地磁传感器接收到载体的地磁数据,通过I2C总线把接收数据传给FPGA,经过FPGA进行数据处理,经数据处理后实现对地磁传感器所采集信号的计算、校正,最后将载体的航向角输出显示。航向角指示仪实现了对地磁传感器所采集信号的计算、校正,最后将载体的航向角输出显示。



1. 一种基于硬件语言的航向角指示仪,包括:地磁传感器、FPGA控制器、数码管,其特征是:使用FPGA作为控制器,地磁传感器接收到载体的地磁数据,通过I2C总线把接收数据传给FPGA,经过FPGA进行数据处理,经数据处理后实现对地磁传感器所采集信号的计算、校正,最后将载体的航向角输出显示;

所述的地磁传感器为MAG3110型三轴地磁传感器模块;

所述的FPGA与地磁传感器的通信方式采用的是I2C方式,根据I2C总线的时序对地磁信息进行采集;

所述的数码管为三位共阳数码管,作为航向角指示仪的显示器采用静态显示的方式;

(1) 地磁传感器与FPGA的数据传输

根据I2C总线协议时序图以及地磁传感器的操作时序图,在FPGA中使用硬件描述语言建立一个I2C通行模块,完成地磁传感器与FPGA磁场测量信息的传输,地磁信号采集程序具体步骤如下:

第一步:设置一个计数器,输出周期为10us的方波作为SCL信号;并设置每个周期的10us为下降沿,2.5us为低电平,5us为上升沿,7.5us为高电平;

第二步:当SCL第一个高电平时,SDA给低电平;

第三步:在之后的八个低电平时,给SDA赋MAG3110写地址0x1C;

第四步:在接着的下降沿时,让SDA高阻态输出,结束一次赋值;

第五步:在之后的八个低电平时,给SDA赋目标寄存器地址;

第六步:在接着的下降沿时,让SDA高阻态输出,结束一次赋值;

第七步:判断是写操作还是读操作,写操作:在之后的八个低电平时,给SDA赋数据,结束;读操作:重复起始位,并进入下一步;

第八步:当SCL第一个高电平时,SDA给低电平;

第九步:在之后的八个低电平时,给SDA赋MAG3110读地址(0x1D);然后,在接着的下降沿时,让SDA高阻态输出,结束一次赋值;

第十步:在之后的八个高电平时,从SDA读取数据,结束;

第十一步:输出结束信号;

FPGA与地磁传感器的通信方式采用的是I2C方式,根据I2C总线的时序对地磁信息进行采集;初始化部分,先将MAG3110设为STANDBY模式配置OSR,ODR将MAG3110设为ACTIVE模式,传感器开始转化数据具体程序步骤如下:

第一步:写操作允许,对寄存器CTRL_REG1进行赋值0x00;

第二步:上一步结束后,再对寄存器CTRL_REG1进行赋值0x30;

第三步:上一步结束后,再对寄存器CTRL_REG1进行赋值0x31;

数据读取部分,读DR_STATUS状态寄存器,如果 $DR_STATUS \& 0x08 = 1$,一次转换已经完成,此时读取数据;读OUT_X_MSB(0x01)、OUT_X_LSB(0x02)、OUT_Y_MSB(0x03)、OUT_Y_LSB(0x04)、OUT_Z_MSB(0x05)、OUT_Z_LSB(0x06)寄存器,分别得到X、Y、Z三轴十六位的数据;此时转动MAG3110,三轴数据会发生变化;具体程序步骤如下:

第一步:读操作允许,读取寄存器DR_STATUS的值;

第二步:上一步结束后,判断读取的数据的第四位数据是否为1,是:则进入下一步;不是:则返回上一步;

第三步:设置寄存器OUT_X_MSB(0x01);把数据存入xData数组的高八位;
 第四步:设置寄存器OUT_X_LSB(0x02);把数据存入xData数组的低八位;
 第五步:设置寄存器OUT_Y_MSB(0x03);把数据存入yData数组的高八位;
 第六步:设置寄存器OUT_Y_LSB(0x04);把数据存入yData数组的低八位;
 第七步:设置寄存器OUT_Z_MSB(0x05);把数据存入zData数组的高八位;
 第八步:设置寄存器OUT_Z_LSB(0x06);把数据存入zData数组的低八位;
 第九步:设置x坐标值为xData,y坐标值为yData,z坐标值为zData,输出结束信号;

(2) 地磁场修正

在程序中对于受到干扰时地磁场形状进行修正,使之经过拉伸、平移变换成原点位于圆心的规则圆;具体程序步骤如下:

第一步:把x坐标值赋给XMAX和XMIN数组;

第二步:判断新的x坐标值与XMAX和XMIN的大小关系,如果大于XMAX,则赋给XMAX;如果小于XMIN,则赋给XMIN;并输出X0为XMAX和XMIN的平均值;

则X0、Y0为X、Y平面的原点,原受干扰的椭圆被修正成了一个圆;通过测量出载体在X、Y轴的磁场强度,再应用反三角函数,使用泰勒级数展开即可求出载体的航向角;

根据泰勒级数在0处展开的公式:

$$\arctan(x) = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} + \dots$$

选择保留到5次方项;先求出 $x = \frac{Y \text{ 的坐标值} - Y0}{X \text{ 的坐标值} - X0}$;然后分三步求出接下去的三项;最后一步输出 $\arctan(x)$ 的值,即角度值,然后再输出一个结束信号;

(3) 载体的航向与真北的夹角

数据处理程序流程包括:

等待角度计算完成后;

第一步:判断X坐标值是否等于均值X0;如果是,那么再判断Y坐标值是否大于均值Y0,是则角度等于90度并且需加上地区的地磁北与真北夹角;如果Y坐标值不大于均值Y0;则角度等于270度再加上地区的地磁北与真北夹角;

第二步:判断Y坐标值是否等于均值Y0;如果是,那么再判断X坐标值是否大于均值X0,是则角度等于0度并且需加上地区的地磁北与真北夹角;如果X坐标值不大于均值X0;则角度等于180度再加上地区的地磁北与真北夹角;

第三步:判断X坐标值和Y坐标值是否都大于均值?是则角度等于计算得出的角度值再加上地区的地磁北与真北夹角;不是,进入下一步;

第四步:判断是否是X小于均值而Y大于均值?是则角度等于180度减计算得到的角度再加上地区的地磁北与真北夹角;不是则进入下一步;

第五步:判断是否是X小于均值而Y小于均值?是则角度等于180度加计算得到的角度再加上地区的地磁北与真北夹角;不是则进入下一步;

第六步:判断是否X大于均值而Y小于均值且计算得到的角度是否大于地区的地磁北与真北夹角?是则角度等于360度减计算得到的角度再加上地区的地磁北与真北夹角;不是则进入下一步;

第七步:判断是否X大于均值而Y小于均值且计算得到的角度是否小于地区的地磁北与真北夹角?是则角度等于地区的地磁北与真北夹角减计算得到的角度;

第八步:最后输出处理后的角度值;

(4) 数码管显示模块

航向角指示仪的显示器使用的是三位共阳数码管,采用静态显示的方式,具体显示程序步骤如下:

第一步:初始化显示数组display[],因为使用的是共阳的数码管,所以给display[]赋的是共阳数码管的0~9显示码;

第二步:得到处理后的角度值后,计算每位数码管显示的数字,通过取整取余计算得到角度值的各位数字;并按顺序始终显示出来。

一种基于硬件语言的航向角指示仪

技术领域

[0001] 本发明属于系统导航领域,具体涉及一种基于硬件描述语言的航向角指示仪。

背景技术

[0002] 航向角是载体导航最重要的参数之一,在船舶载体上提供操纵指示和执行相应的任务,就必须用到精确的航向角指示。同样,对任何移动载体来说,精确可靠的航向角对载体的运行均是非常必要。地球磁场比较稳定,如果利用好这个资源,利用地磁传感器测量载体在地磁场的各个信号分量,再通过数值计算、误差校正,可以计算出载体的航向角,从而提高载体的导航精度和导航性能。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种基于硬件描述语言的航向角指示仪。

[0004] 本发明的目的是这样实现的:

[0005] 基于硬件语言的航向角指示仪,包括:地磁传感器、FPGA控制器、数码管,使用FPGA作为控制器,地磁传感器接收到载体的地磁数据,通过I2C总线把接收数据传给FPGA,经过FPGA进行数据处理,经数据处理后实现对地磁传感器所采集信号的计算、校正,最后将载体的航向角输出显示。

[0006] 地磁传感器为MAG3110型三轴地磁传感器模块。

[0007] FPGA与地磁传感器的通信方式采用的是I2C方式,根据I2C总线的时序对地磁信息进行采集。

[0008] 数码管为三位共阳数码管,作为航向角指示仪的显示器采用静态显示的方式。

[0009] 本发明的有益效果在于:航向角指示仪实现了对地磁传感器所采集信号的计算、校正,最后将载体的航向角输出显示。

附图说明

[0010] 图1航向角指示仪总体设计框图;

[0011] 图2 I2C时序图;

[0012] 图3系统流程总框图;

[0013] 图4地磁信号采集流程图;

[0014] 图5未修正地磁场形状示意图;

[0015] 图6修正后的地磁场示意图;

[0016] 图7数据处理程序流程图;

具体实施方式

[0017] 下面结合附图对本发明做进一步描述。

[0018] 本发明是基于硬件语言(Verilog语言)的航向角指示仪,包括:地磁传感器、FPGA

控制器、数码管。其特征是使用FPGA作为控制器,地磁传感器接收到载体的地磁数据,通过I2C总线把接收数据传给FPGA,经过FPGA进行数据处理,经数据处理后实现了对地磁传感器所采集信号的计算、校正,最后将载体的航向角输出显示及实现各部分的Verilog程序。

[0019] 利用硬件描述语言(Verilog语言)对地磁传感器测得的载体磁场数据进行数值计算、误差校正,最后给出载体的航向角。航向角指示仪主要由FPGA控制板、地磁传感器模块和数码管显示模块组成。使用FPGA作为控制器,地磁传感器接收到载体所在位置的地磁数据,通过I2C总线把接收数据送给FPGA,经过FPGA进行数据处理,经数据处理后实现了对地磁传感器所采集信号的计算、校正,最后将载体的航向角输出显示。航向角指示仪总体设计框图如图1所示。

[0020] 航向角指示仪的控制器使用的是自主设计的FPGA核心板,其核心为CYCLONE III系列的EP3C40Q240C8N。选择的地磁传感器为Freescale公司的MAG3110微小型三轴地磁传感器模块。

[0021] MAG3110为三轴地磁传感器能敏感来自三个方向的地磁信息,它采用标准I2C总线协议,任何带I2C总线的微处理器,都可以轻松的访问它并接收其采集到的磁场数据。图2是其I2C总线的时序,SCL高电平时SDA下降沿代表有效数据开始,然后每个SCL的高电平读取SDA的数据,最后在SCL高电平时SDA上升沿结束。系统流程总框图如图3所示。

[0022] 写时序:I2C起始位->MAG3110写地址(0x1C)->目标寄存器地址->写入数据->停止位

[0023] 读时序:I2C起始位->MAG3110写地址(0x1C)->目标寄存器地址->重复起始位->MAG3110读地址(0x1D)->接收数据->停止位

[0024] (1)地磁传感器与FPGA的数据传输

[0025] 根据I2C总线协议时序图以及地磁传感器的操作时序图,在FPGA中使用硬件描述语言建立了一个I2C通行模块,来完成地磁传感器与FPGA磁场测量信息的传输,地磁信号采集程序流程图如图4所示。具体程序步骤如下:

[0026] 第一步:设置一个计数器,输出周期为10us的方波作为SCL信号。并设置每个周期的10us为下降沿,2.5us为低电平,5us为上升沿,7.5us为高电平;

[0027] 第二步:当SCL第一个高电平时,SDA给低电平;

[0028] 第三步:在之后的八个低电平时,给SDA赋MAG3110写地址(0x1C);

[0029] 第四步:在接着的下降沿时,让SDA高阻态输出,结束一次赋值;

[0030] 第五步:在之后的八个低电平时,给SDA赋目标寄存器地址;

[0031] 第六步:在接着的下降沿时,让SDA高阻态输出,结束一次赋值;

[0032] 第七步:判断是写操作还是读操作,写操作:在之后的八个低电平时,给SDA赋数据,结束读操作:重复起始位,并进入下一步;

[0033] 第八步:当SCL第一个高电平时,SDA给低电平;

[0034] 第九步:在之后的八个低电平时,给SDA赋MAG3110读地址(0x1D)。然后,在接着的下降沿时,让SDA高阻态输出,结束一次赋值;

[0035] 第十步:在之后的八个高电平时,从SDA读取数据,结束;

[0036] 第十一步:输出结束信号;

[0037] FPGA与地磁传感器的通信方式采用的是I2C方式,根据I2C总线的时序对地磁信息

进行采集。初始化部分,先将MAG3110设为STANDBY模式(CTRL_REG1寄存器低两位00)配置OSR,ODR(CTRL_REG1寄存器高5位)将MAG3110设为ACTIVE模式(CTRL_REG1寄存器低两位01),传感器开始转化数据具体程序步骤如下:

[0038] 第一步:写操作允许,对寄存器CTRL_REG1进行赋值0x00;

[0039] 第二步:上一步结束后,再对寄存器CTRL_REG1进行赋值0x30;

[0040] 第三步:上一步结束后,再对寄存器CTRL_REG1进行赋值0x31;

[0041] 数据读取部分,读DR_STATUS(0x00)状态寄存器,如果DR_STATUS&0x08=1,一次转换已经完成,此时可以读取数据;读OUT_X_MSB(0x01)、OUT_X_LSB(0x02)、OUT_Y_MSB(0x03)、OUT_Y_LSB(0x04)、OUT_Z_MSB(0x05)、OUT_Z_LSB(0x06)寄存器,分别得到X、Y、Z三轴十六位的数据;此时转动MAG3110,三轴数据会发生变化。具体程序步骤如下:

[0042] 第一步:读操作允许,读取寄存器DR_STATUS的值;

[0043] 第二步:上一步结束后,判断读取的数据的第四位数据是否为1,是:则进入下一步。不是:则返回上一步;

[0044] 第三步:设置寄存器OUT_X_MSB(0x01)。把数据存入xData数组的高八位;

[0045] 第四步:设置寄存器OUT_X_LSB(0x02)。把数据存入xData数组的低八位;

[0046] 第五步:设置寄存器OUT_Y_MSB(0x03)。把数据存入yData数组的高八位;

[0047] 第六步:设置寄存器OUT_Y_LSB(0x04)。把数据存入yData数组的低八位;

[0048] 第七步:设置寄存器OUT_Z_MSB(0x05)。把数据存入zData数组的高八位;

[0049] 第八步:设置寄存器OUT_Z_LSB(0x06)。把数据存入zData数组的低八位;

[0050] 第九步:设置x坐标值为xData,y坐标值为yData,z坐标值为zData,输出结束信号;

[0051] (2)地磁场修正

[0052] 理论上X轴和Y轴测量值的矢量和是一定值,即其运动轨迹是一个圆心位于原点的规则圆,这样才可以应用公式来求载体的航向。但是,由于在实际使用中,如机房、实验室等环境下存在多种仪器、电气设备很容易给地磁传感器的测量精度带来影响,从而造成航向测量不准。结合地磁传感器的产品说明书可知,当受到干扰时地磁场形状图是一个椭圆,而不是一个圆,且中心也有所偏离,如图5所示。因此并不能根据得到的这个磁场形状来计算载体航向与北向的夹角,所以要在程序中对于这个椭圆进行修正,使之经过拉伸、平移变换成图6所示的原点位于圆心的规则圆。以X轴为例具体程序步骤如下:

[0053] 第一步:把x坐标值赋给XMAX和XMIN数组;

[0054] 第二步:判断新的x坐标值与XMAX和XMIN的大小关系,如果大于XMAX,则赋给XMAX。如果小于XMIN,则赋给XMIN;并输出X0为XMAX和XMIN的平均值;

[0055] 则X0、Y0为X、Y平面的原点,原受干扰的椭圆被修正成了一个圆。由地磁传感器的原理可知,通过测量出载体在X、Y轴的磁场强度,再应用反三角函数,使用泰勒级数展开即可求出载体的航向角,由于计算量的限制,这里我选择展开到项。

[0056] 根据泰勒级数在0处展开的公式:

$$[0057] \quad \arctan(x) = x - \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} + \dots$$

[0058] 可知,要想得到的结果误差越小,保留的项就得越多,但是同时考虑到计算量的问

题,最终选择保留到5次方项。先求出 $x = \frac{Y \text{ 的坐标值} - Y_0}{X \text{ 的坐标值} - X_0}$ 。然后分三步求出接下去的三项。最后一步输出 $\text{acrtan}(x)$ 的值,即角度值,然后再输出一个结束信号。

[0059] (3) 载体的航向与真北的夹角

[0060] 由于地球本身是块大磁铁,地磁北极由地球内部的稳定磁场决定,地理北极(即真北)在地球的旋转轴处,是地球上经线的汇聚处。地磁南北极与地理南北极并不重合,而是存在一个夹角,可以将此角定义为磁偏角,磁偏角随着用户罗盘平台的经度和纬度而变化。地磁传感器测量的角度是与地磁北的夹角,但是实际应用中应该用与真北的夹角,因此在程序中还应该减去地磁北与真北的夹角,也就是需要减去磁偏角。例如,哈尔滨地区的地磁北与真北夹角为 11.5° ,只需在所计算出的角度中减去 11.5° 即可得到载体的航向与真北的夹角。表1为我国主要城市磁偏角分布情况。

[0061] 表1 我国主要城市磁偏角分布情况

[0062]

城市	磁偏角	偏向
北京	$6^\circ 05'$	西

[0063]

西安	$2^\circ 30'$	西
成都	$1^\circ 09'$	西
哈尔滨	$11^\circ 30'$	西
南京	$4^\circ 59'$	西

[0064] 具体数据处理程序步骤如下,数据处理程序流程图如图7所示:

[0065] 等待角度计算完成后。

[0066] 第一步:判断X坐标值是否等于均值 X_0 。如果是,那么再判断Y坐标值是否大于均值 Y_0 ,是则角度等于90度并且需加上11.5的校正角度值。如果Y坐标值不大于均值 Y_0 。则角度等于270度再加上11.5度。

[0067] 第二步:判断Y坐标值是否等于均值 Y_0 。如果是,那么再判断X坐标值是否大于均值 X_0 ,是则角度

[0068] 等于0度并且需加上11.5的校正角度值。如果X坐标值不大于均值 X_0 。则角度等于180度再加上11.5度。

[0069] 第三步:判断X坐标值和Y坐标值是否都大于均值?是则角度等于计算得出的角度值再加上11.5度。不是,进入下一步;

[0070] 第四步:判断是否是X小于均值而Y大于均值?是则角度等于180度减计算得到的角度再加上11.5度。不是则进入下一步;

[0071] 第五步:判断是否是X小于均值而Y小于均值?是则角度等于180度加计算得到的角度再加上11.5度。不是则进入下一步;

[0072] 第六步:判断是否X大于均值而Y小于均值且计算得到的角度是否大于11.5度?是则角度等于360度减计算得到的角度再加上11.5度。不是则进入下一步;

[0073] 第七步:判断是否X大于均值而Y小于均值且计算得到的角度是否小于11.5度?是则角度等于11.5度减计算得到的角度;

[0074] 第八步:最后输出处理后的角度值;

[0075] (4) 数码管显示模块

[0076] 航向角指示仪的显示器使用的是三位共阳数码管,采用静态显示的方式,具体显示程序步骤如下:

[0077] 第一步:初始化显示数组display[],因为使用的是共阳的数码管,所以给display[]赋的是共阳数码管的0~9显示码;

[0078] 第二步:得到处理后的角度值后,计算每位数码管显示的数字,通过取整取余计算得到角度值的各位数字。并按顺序始终显示出来。

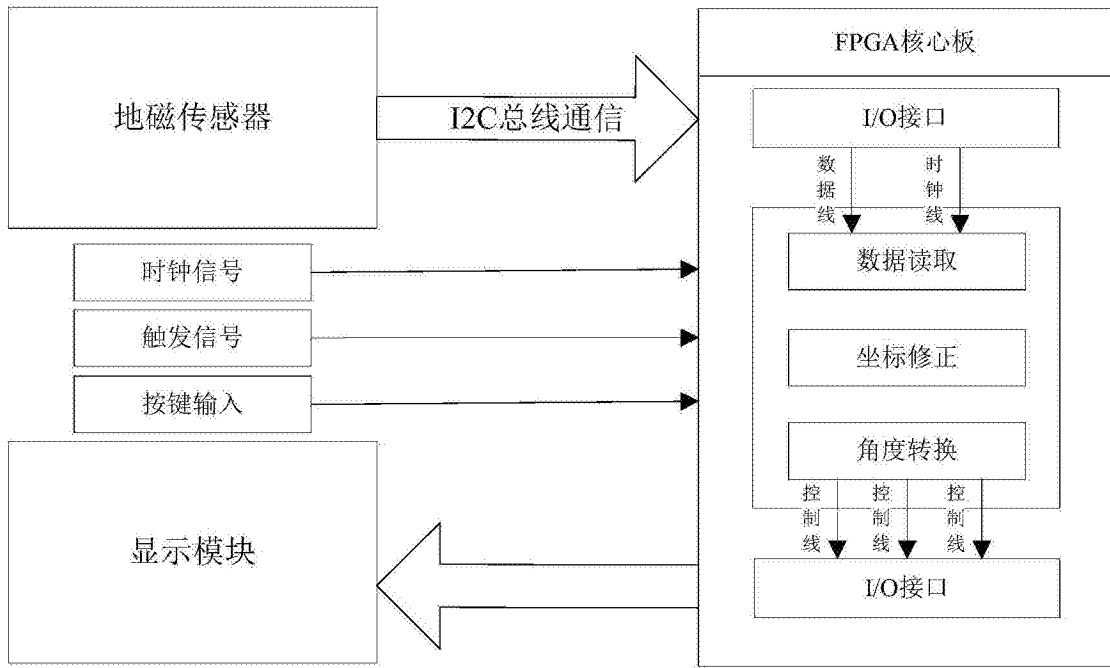


图1

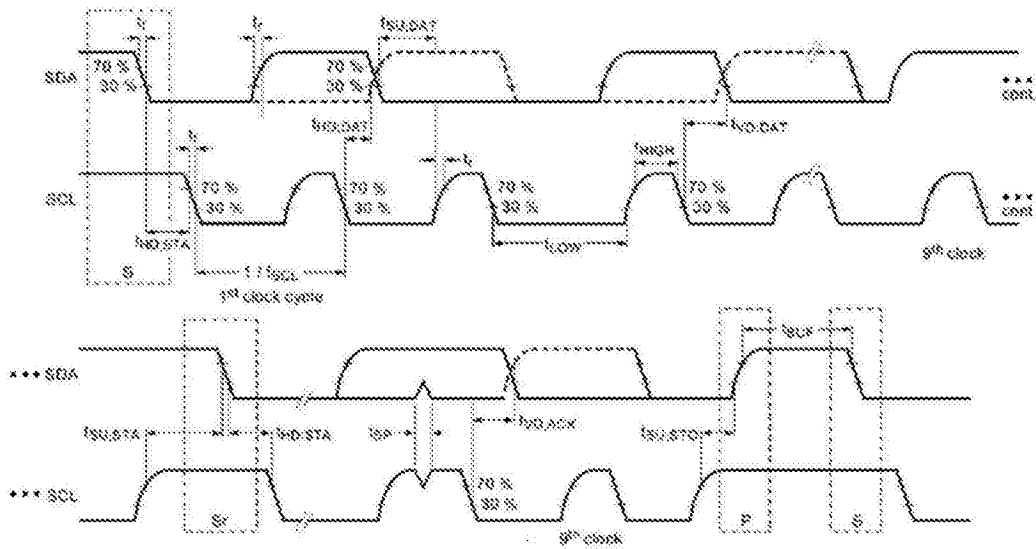


图2

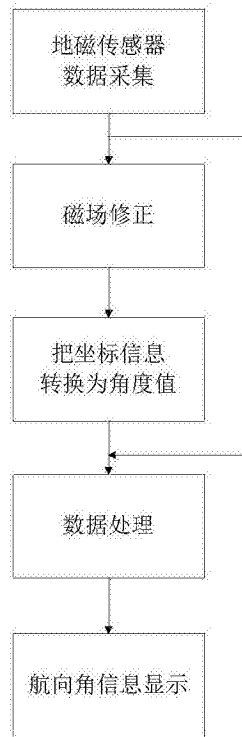


图3系统流程总框图

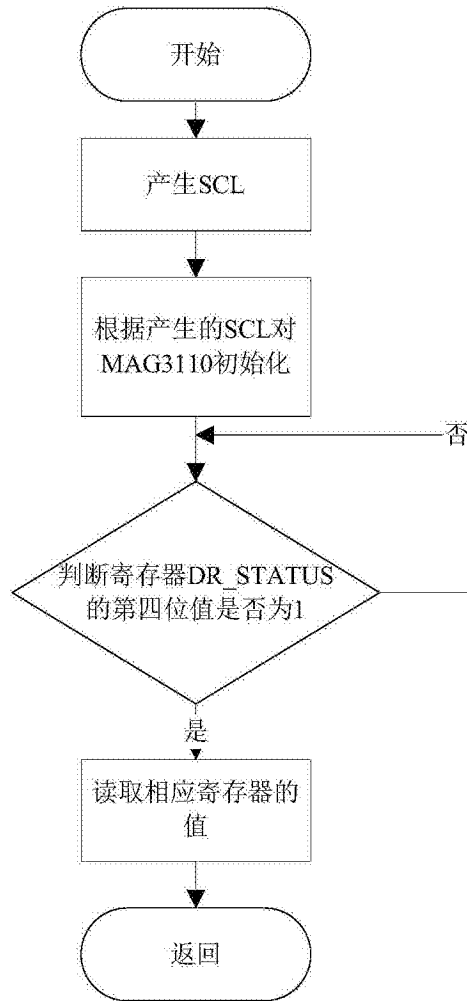


图4

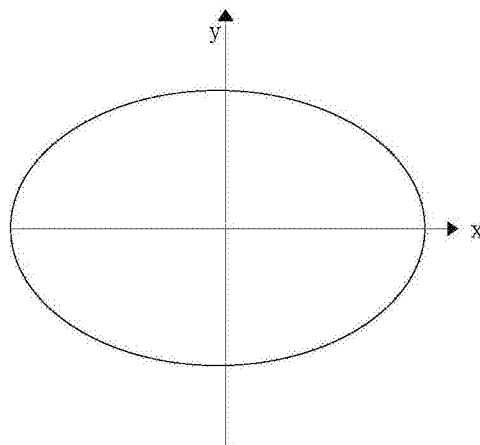


图5

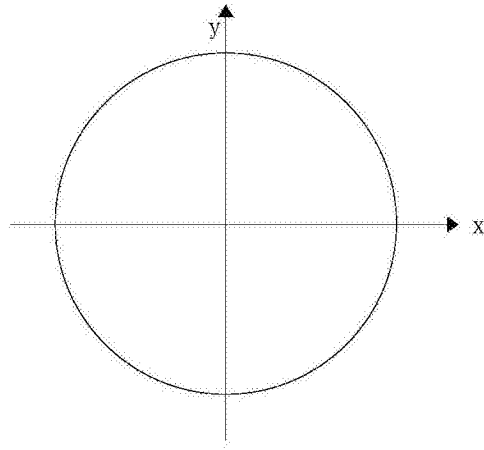


图6



图7