

助赢电子直立调试使用手册下

感谢你使用助赢 2 合一或者 3 合一传感器。本手册内容是店主学习过程中得资料总结，参考了网上很多资料，互相交流仅供参考，不文明者请绕行。

前言：

2014 年智能车官方提出陀螺仪型号不限制。故而很多同学在寻求更好的陀螺仪，装备上自己的爱车上。在店主寻求和使用陀螺仪的过程中特整理此版本，仅供参考，学习交流！

一、陀螺仪分类

陀螺仪有很多种按结构分：1 机械陀螺 2 MEMS 硅陀螺 3 MEMS 石英陀螺 4 激光陀螺 5 静电陀螺

陀螺仪按接口分：数字和模拟。数字输出就接到 I/O 口 I2C 或 SPI。模拟的输出接 AD 关于使用模拟还是数字传感器，个人推荐在摄像头直立组用模拟。

二、加速度计、陀螺仪的原理

好多同学对这两个总是分不清楚，不知是个什么东西，特别是怎样将采集的数据转换成角度。我将概括这么几个基本并且重要的话题：

加速度计 (accelerometer) 原理是什么，检测什么

陀螺仪 (gyroscope, 也称作 gyro) 原理是什么，检测什么

如何将传感器 ADC 读取的数据转换为物理单位 (加速度计单位是 g, 陀螺仪的是 度/秒)

在整篇文章中我尽量将数学运算降低到最少，高中水平即可！如果你知道什么是正弦、余弦、正切函数，那无论你的项目使用哪种平台你应该都会明白和运用这篇文章中的思想，如 freescale 芯片、Arduino、Propeller、Basic Stamp、Atem1 芯片、PIC 芯片等等。

①元方你怎么看加速度计模块？

我们先从加速度计开始。当我们在想象一个加速度计的时候我们可以把它想作一个圆球在一个方盒子中。如图 1 所示。

我们假定这个盒子不在重力场中或者其他任何会影响球的位置的场中，就当做一个真空环境好了。球处于盒子的正中央。想象盒子在外太空中，远离任何天体，如果很难想象，那就当做盒子在航天飞机中，一切东西都处于无重力状态。在右面的图中你可以看到我们给每个轴分配了一对墙（我们移除了 Y+ 以此来观察里面的情况）。设想每面墙都能感测压力。如果我们突然把盒子向左移动（加速度为 $1g=9.8m/s^2$ ），那么球会撞上 X- 墙。然后我们检测球撞击墙面产生的压力，X 轴输出值为 $-1g$ 。

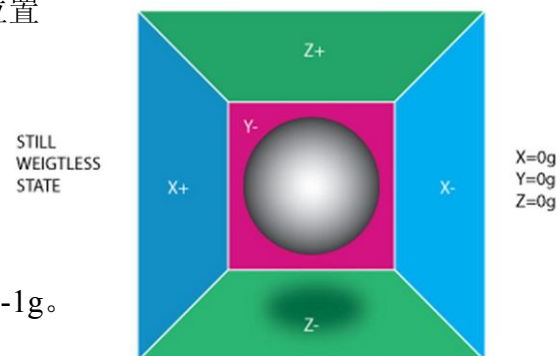


图 1 加速度计是个球

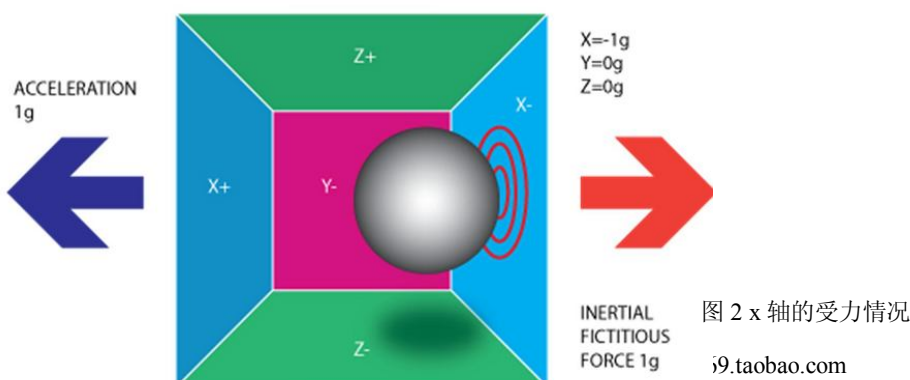


图 2 x 轴的受力情况

请注意加速度计检测到得力的方向与它本身加速度的方向是相反的。这种力量通常被称为惯性力或假想力。在这个模型中你应该学到加速度计是通过间接测量力对一个墙面的作用来测量加速度的，在实际应用中，可能通过弹簧或者杠杆等装置来测量力，如果你有废弃的 enc03-mb 你可以解开她的衣服，内部构造是一个大杠杆，类似于张衡地动仪！。这个力可以是加速度引起的，但在下面的例子中，我们会发现它不一定是加速度引起的。

如果我们把模型放在地球上，球会落在 Z-墙面上并对其施加一个 $1g$ 的力，见下图 3：

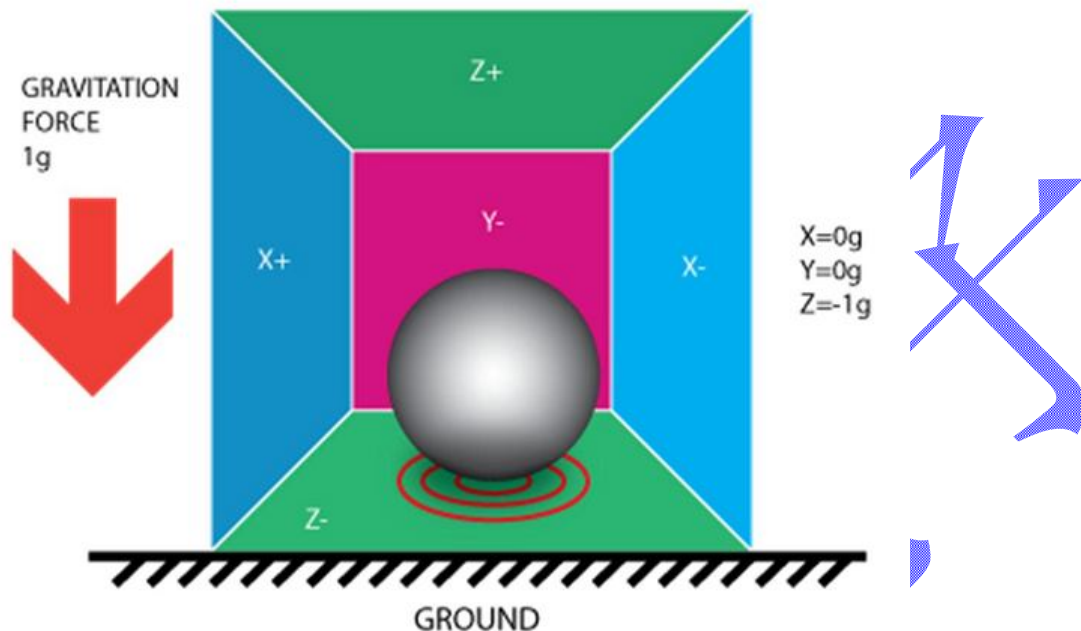


图 3 实际的陀螺仪环境

在这种情况下盒子没有移动但我们任然读取到 Z 轴有 $-1g$ 的值。球在墙壁上施加的压力是由引力造成的。在理论上，它可以是不同类型的力量 - 例如，你可以想象我们的球是铁质的，将一个磁铁放在盒子旁边那球就会撞上另一面墙。引用这个例子只是为了说明加速度计的本质是检测力而非加速度。只是加速度所引起的惯性力正好能被加速度计的检测装置所捕获。

虽然这个模型并非一个 MEMS 传感器的真实构造，但它用来解决与加速度计相关的问题相当有效。实际上有些类似传感器中有金属小球，它们称作倾角开关，但是它们的功能更弱，只能检测设备是否在一定程度内倾斜，却不能得到倾斜的程度。到目前为止，我们已经分析了单轴的加速度计输出，这是使用单轴加速度计所能得到的。三轴加速度计的真正价值在于它们能够检测全部三个轴的惯性力。让我们回到盒子模型，并将盒子向右旋转 45 度。现在球会与两个面接触：Z-和 X-，见下图 4：

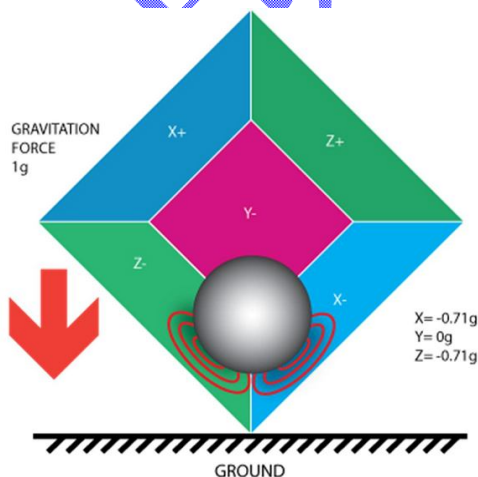


图 4 左右接触

0.71g 这个值是不是任意的，它们实际上是 $1/2$ 的平方根的近似值。我们介绍加速度计的下一个模型时这一点会更清楚。

在上一个模型中我们引入了重力并旋转了盒子。在最后的两个例子中我们分析了盒子在两种情况下的输出值，力矢量保持不变。虽然这有助于理解加速度计是怎么和外力相互作用的，但如果我们将坐标系换为加速度的三个轴并想象矢量力在周围旋转，这会更方便计算。

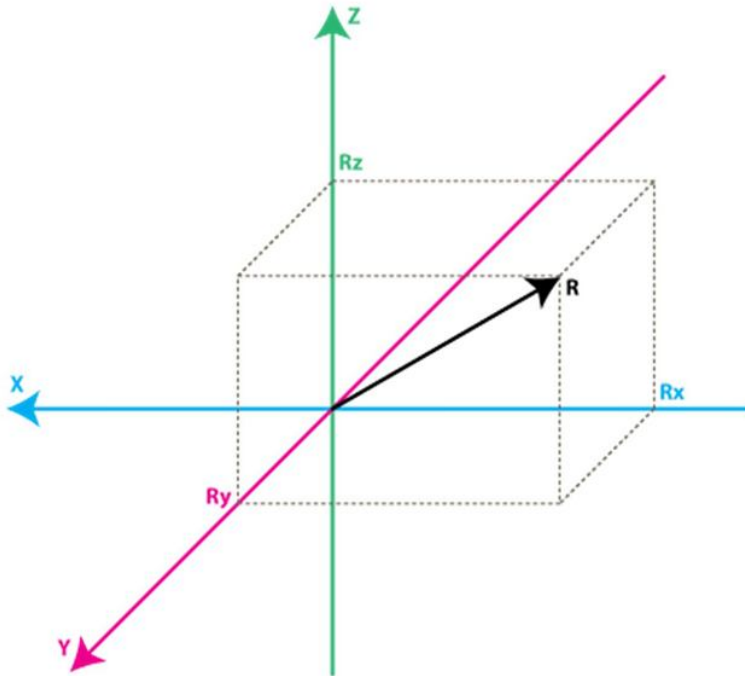


图5 矢量模型

请看看在上面的模型，我保留了轴的颜色，以便你的思维能更好的从上一个模型转到新的模型中。想象新模型中每个轴都分别垂直于原模型中各自的墙面。矢量 R 是加速度计所检测的矢量（它可能是重力或上面例子中惯性力的合成）。 R_x , R_y , R_z 是矢量 R 在 X , Y , Z 上的投影。请注意下列关系：

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2 + R_z^2$$

(公式 1)

此公式等价于三维空间勾股定理。

还记得我刚才说的 $1/2$ 的平方根 0.71 不是个随机值吧。如果你把它们代回上式，回顾一下重力加速度是 $1g$ ，那我们就能验证：

$$1^2 = (\text{SQRT}(1/2))^2 + 0^2 + (\text{SQRT}(1/2))^2$$

在公式 1 中简单的取代： $R=1$, $R_x = -\text{SQRT}(1/2)$, $R_y = 0$, $R_z = -\text{SQRT}(1/2)$

经过一大段的理论序言后，我们和实际的加速度计很靠近了。 R_x , R_y , R_z 值是实际中加速度计输出的线性相关值，你可以用它们进行各种计算。

下面我们用模拟传感器采集回来的数据进行分析。不管使用什么类型的 ADC 模块，你都会得到一个在一定范围内的数值。例如一个 10 位 ADC 模块的输出值范围在 0 .. 1023 间，请注意， $1023 = 2^{10} - 1$ 。一个 12 位 ADC 模块的输出值范围在 0 .. 4095 内，注意， $4095 = 2^{12} - 1$ 。

我们继续，先考虑下一个简单的例子，假设我们从 10 位 ADC 模块得到了以下的三个轴的数据：

AdcRx = 586

AdcRy = 630

AdcRz = 561

每个 ADC 模块都有一个参考电压，假设在我们的例子中，它是 3.3V。要将一个 10

位的 ADC 值转成电压值，我们使用下列公式：

$\text{VoltsRx} = \text{AdcRx} * \text{VREF} / 1023$ **AdcRx 就是采集的数据，公式的基本含义就是把参考电压 VREF 分成了 1023 份，采集的数据和 1023 的比值就是模拟输出和参考电压的比值！**

小注：8 位 ADC 的最大值是 $255 = 2^8 - 1$ ，12 位 ADC 最大值是 $4095 = 2^{12} - 1$ 。

将 3 个轴的值代入上式，得到：

$\text{VoltsRx} = 586 * 3.3 / 1023 \approx 1.89\text{V}$ （结果取两位小数）

$\text{VoltsRy} = 630 * 3.3 / 1023 \approx 2.03\text{V}$

$\text{VoltsRz} = 561 * 3.3 / 1023 \approx 1.81\text{V}$

每个加速度计都有一个零加速度的电压值，你可以在它的说明书中找到，这个电压值对应于加速度为 0g。通过计算相对 0g 电压的偏移量我们可以得到一个有符号的电压值。比方说，0g 电压值 $\text{VzeroG} = 1.65\text{V}$ ，通过下面的方式可以得到相对 0g 电压的偏移量：

$\text{DeltaVoltsRx} = 1.89\text{V} - 1.65\text{V} = 0.24\text{V}$

$\text{DeltaVoltsRy} = 2.03\text{V} - 1.65\text{V} = 0.38\text{V}$

$\text{DeltaVoltsRz} = 1.81\text{V} - 1.65\text{V} = 0.16\text{V}$

现在我们得到了加速度计的电压值，但它的单位还不是 g (9.8m/s^2)，最后的转换，我们还需要引入加速度计的灵敏度 (Sensitivity)，单位通常是 mV/g 。比方说，加速度计的灵敏度 $\text{Sensitivity} = 478.5\text{mV/g} = 0.4785\text{V/g}$ 。灵敏度值可以在加速度计说明书中找到。要获得最后的单位为 g 的加速度，我们使用下列公式计算：

$\text{RX} = \text{DeltaVoltsRx} / \text{Sensitivity}$

$\text{RX} = 0.24\text{V} / 0.4785\text{V/g} \approx 0.5\text{g}$

$\text{RY} = 0.38\text{V} / 0.4785\text{V/g} \approx 0.79\text{g}$

$\text{RZ} = 0.16\text{V} / 0.4785\text{V/g} \approx 0.33\text{g}$

当然，我们可以把所有的步骤全部放在一个式子里，但我想通过介绍每一个步骤以便让你了解怎么读取一个 ADC 值并将其转换为单位为 g 的矢量力的分量。

$\text{Rx} = (\text{AdcRx} * \text{Vref} / 1023 - \text{VzeroG}) / \text{Sensitivity}$ (公式 2)

$\text{Ry} = (\text{AdcRy} * \text{Vref} / 1023 - \text{VzeroG}) / \text{Sensitivity}$

$\text{Rz} = (\text{AdcRz} * \text{Vref} / 1023 - \text{VzeroG}) / \text{Sensitivity}$

现在我们得到了惯性力矢量的三个分量，如果设备除了重力外不受任何外力影响，那我们就可以认为这个方向就是重力矢量的方向。如果你想计算设备相对于地面的倾角，可以计算这个矢量和 Z 轴之间的夹角。如果你对每个轴的倾角都感兴趣，你可以把这个结果分为两个分量：X 轴、Y 轴倾角，这可以通过计算重力矢量和 X、Y 轴的夹角得到。计算这些角度比你想象的简单，现在我们已算出了 Rx, Ry, Rz 的值，让我们回到我们的上一个加速度模型，再加一些标注上去见图 6：

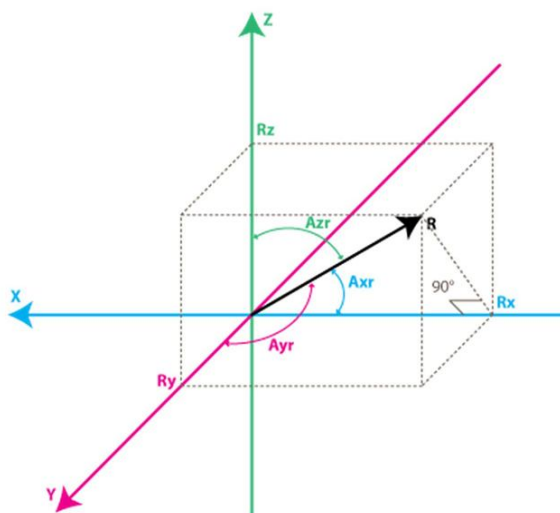


图 6 加速度模型

我们感兴趣的角度是向量 R 和 X , Y , Z 轴之间的夹角, 那就令这些角度为 A_{xr} , A_{yr} , A_{zr} 。观察由 R 和 R_x 组成的直角三角形:

$\cos(A_{xr}) = R_x / R$, 类似的:

$\cos(A_{yr}) = R_y / R$

$\cos(A_{zr}) = R_z / R$

从公式 1 我们可以推导出 $R = \text{SQRT}(R_x^2 + R_y^2 + R_z^2)$

通过 $\arccos()$ 函数 ($\cos()$ 的反函数) 我们可以计算出所需的角:

$A_{xr} = \arccos(R_x/R)$

$A_{yr} = \arccos(R_y/R)$

$A_{zr} = \arccos(R_z/R)$

当然同学们也可以看 R_x 和 R_z 等的组合, 这个样子就用 \arctan 等公式。

我们花了大段的篇幅来解释加速度计模型, 最后所要的只是以上这几个公式。根据你的应用场合, 你可能会用到我们推导出来的几个过渡公式。我们接下来要介绍陀螺仪模块, 并向大家介绍怎么融合加速度计和陀螺仪的数据以得到更精确的倾角值。但在此之前, 我们再介绍几个很常用的公式:

$\cos X = \cos(A_{xr}) = R_x / R$

$\cos Y = \cos(A_{yr}) = R_y / R$

$\cos Z = \cos(A_{zr}) = R_z / R$

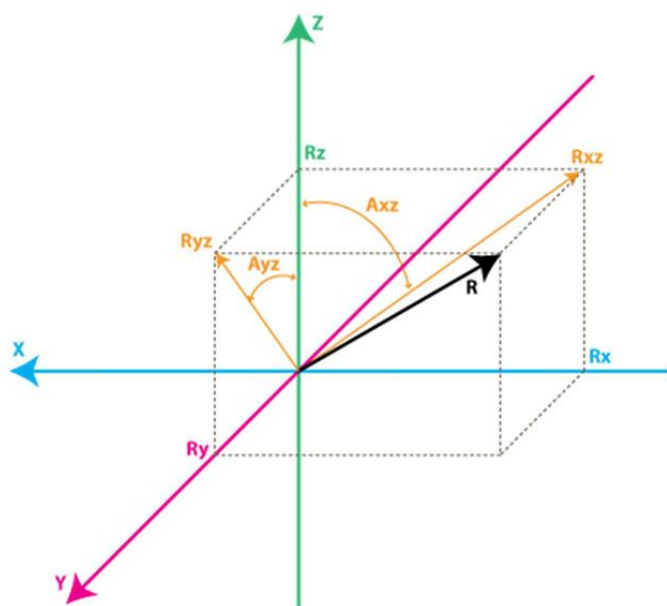
这三个公式通常称作方向余弦, 它主要表达了单位向量 (长度为 1 的向量) 和 R 向量具有相同的方向。你可以很容易地验证:

$\text{SQRT}(\cos X^2 + \cos Y^2 + \cos Z^2) = 1$

这是个很好的性质, 因为它避免了我们一直检测 R 向量的模 (长度)。通常如果我们只是对惯性力的方向感兴趣, 那标准化模长以简化其他计算是个明智的选择。

② 陀螺仪

对于陀螺仪我们将不会像加速度计一样介绍它的等价盒子模型, 而是直接跳到加速度计的第二个模型, 通过这个模型我们会向大家介绍陀螺仪是怎么工作的



陀螺仪的每个通道检测一个轴的旋转。例如, 一个 2 轴陀螺仪检测绕 X 和 Y 轴的旋转。为了用数字来表达这些旋转, 我们先引进一些符号。首先我们定义:

R_{xz} - 惯性力矢量 R 在 XZ 平面上的投影

R_{yz} - 惯性力矢量 R 在 YZ 平面的上投影

在由 R_{xz} 和 R_z 组成的直角三角形中，运用勾股定理可得：

$$R_{xz}^2 = R_x^2 + R_z^2, \text{ 同样: } R_{yz}^2 = R_y^2 + R_z^2$$

同时注意：

$R^2 = R_{xz}^2 + R_y^2$ ，这个公式可以公式 1 和上面的公式推导出来，也可由

R 和 R_{yz} 所组成的直角三角形推导出来

$$R^2 = R_{yz}^2 + R_x^2$$

在这篇文章中我们不会用到这些公式，但知道模型中的那些数值间的关系有助于理解。

相反，我们按如下方法定义 Z 轴和 R_{xz} 、 R_{yz} 向量所成的夹角：

AXZ - R_{xz} （矢量 R 在 XZ 平面的投影）和 Z 轴所成的夹角

AYZ - R_{yz} （矢量 R 在 YZ 平面的投影）和 Z 轴所成夹角

现在我们离陀螺仪要测量的东西又近了一步。陀螺仪测量上面定义的角度变化率。

换句话说，它会输出一个与上面这些角度变化率线性相关的值。为了解释这一点，

我们先假设在 t_0 时刻，我们已测得绕 Y 轴旋转的角度（也就是 A_{xz} ），定义为 A_{xz0} ，

之后在 t_1 时刻我们再次测量这个角度，得到 A_{xz1} 。角度变化率按下面方法计算：

$$\text{Rate}_{Axz} = (A_{xz1} - A_{xz0}) / (t_1 - t_0).$$

如果用度来表示角度，秒来表示时间，此值的单位就是 度/秒。这就是陀螺仪检测的东西。

在实际运用中，陀螺仪一般都不会直接给你一个单位为度/秒的值（除非它是个特

殊的数字陀螺仪）。就像加速度计一样，你会得到一个 ADC 值并且要用类似公

式 2 的式子将其转换成单位为 度/秒的值。让我们来介绍陀螺仪输出值转换中

的 ADC 部分（假设使用 10 位 ADC 模块，如果是 8 位 ADC，用 1023 代替 255，如果是 12 为 ADC 用 4095 代替 1023）。

$$\text{Rate}_{Axz} = (\text{AdcGyroXZ} * V_{\text{ref}} / 1023 - V_{\text{zeroRate}}) / \text{Sensitivity}$$

公式 3

$$\text{Rate}_{Ayz} = (\text{AdcGyroYZ} * V_{\text{ref}} / 1023 - V_{\text{zeroRate}}) / \text{Sensitivity}$$

AdcGyroXZ ， AdcGyroYZ - 这两个值由 ADC 读取，它们分别代表矢量 R 的投影在 XZ 和 YZ 平面内的转角，也可等价的说，旋转可分解为单独绕 Y 和 X 轴的运动。

V_{ref} - ADC 的参考电压，上例中我们使用 3.3V

V_{zeroRate} - 是零变化率电压，换句话说它是陀螺仪不受任何转动影响时的输出值，对 Acc Gyro 板来说，可以认为是 1.23V

Sensitivity - 陀螺仪的灵敏度，单位 $\text{mV}/(\text{deg/s})$ ，通常写作 $\text{mV}/\text{deg/s}$ ，它的意思就是如果旋转速度增加 $1^\circ/\text{s}$ ，陀螺仪的输出就会增加多少 mV 。Acc_Gyro 板的灵敏度值是 $2\text{mV}/\text{deg/s}$ 或 $0.002\text{V}/\text{deg/s}$

让我们举个例子，假设我们的 ADC 模块返回以下值：

$$\text{AdcGyroXZ} = 571$$

$$\text{AdcGyroYZ} = 323$$

用上面的公式，在代入 Acc Gyro 板的参数，可得：

$$\text{Rate}_{Axz} = (571 * 3.3\text{V} / 1023 - 1.23\text{V}) / (0.002\text{V}/\text{deg/s}) \approx 306 \text{ deg/s}$$

$$\text{Rate}_{Ayz} = (323 * 3.3\text{V} / 1023 - 1.23\text{V}) / (0.002\text{V}/\text{deg/s}) \approx -94 \text{ deg/s}$$

换句话说设备绕 Y 轴（也可以说在 XZ 平面内）以 $306^\circ/\text{s}$ 速度和绕 X 轴（或者说

YZ 平面内）以 $-94^\circ/\text{s}$ 的速度旋转。请注意，负号表示该设备朝着反方向旋转。按

照惯例，一个方向的旋转是正值。要测试出哪个旋转方向会使得输出脚电压增加。最好使用示波器进行测试，因为一旦你停止了旋转，电压就会掉回零速率水平。果断放弃用万用表测试，如果真的没有示波器，就用助赢的软件包的虚拟示波器。如果值大于零速率电压值那说明这个旋转方向是正向。

到了这里有点小累了。。。休息一下。。

助赢电子上海店 <http://shop60778869.taobao.com>

提供智能车比赛车模、摄像头、直立传感器、各种配件