

引言

该应用笔记介绍了一种低g三轴加速度计的倾斜检测理论和倾斜角测量方法。一般来说，这里描述的程序也可以应用于三轴模拟或数字加速度计，这取决于它们各自的规格。

目录

1	计算倾斜角度	4
1.1	工作原理	4
1.2	倾斜检测	5
1.2.1	单轴倾斜检测	5
1.2.2	双轴倾斜检测	6
1.2.3	三轴倾斜检测	7
2	版本历史	9

图片目录

图 1.	使用加速度计的单轴测量倾斜.....	4
图 2.	加速度计的单轴360°旋转.....	5
图 3.	加速度计的单轴360°旋转坐标图.....	5
图 4.	双轴加速度计的倾斜灵敏度.....	6
图 5.	三轴加速度计的倾斜角度.....	7
图 6.	三轴加速度计的倾斜灵敏度.....	8

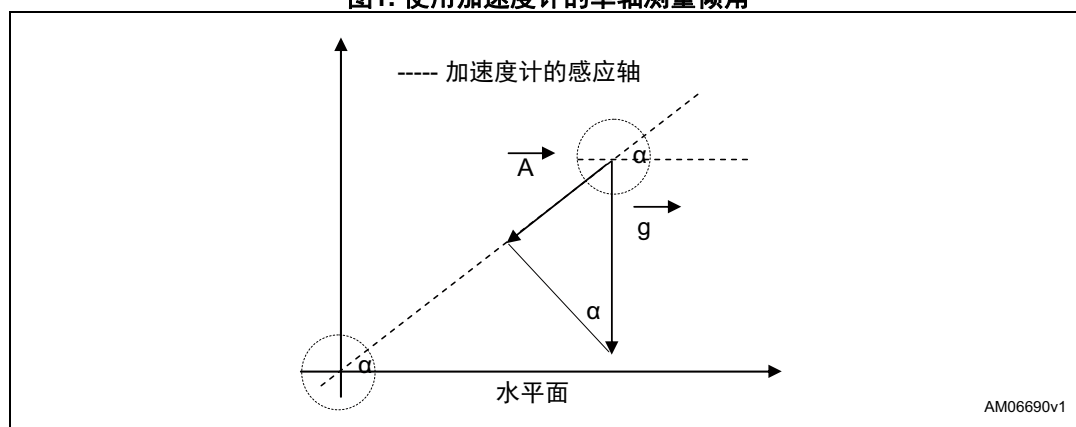
1 计算倾斜角度

低gMEMS加速度计广泛用于消费电子和工业应用中的倾斜检测，如屏幕旋转和汽车安全报警系统。低g加速度计的另一个广泛用途是用于地图转换和个人导航设备的倾斜补偿式电子罗盘。该应用笔记描述了如何通过对一些可能导致角度倾斜计算错误的非理想因素进行补偿，从而准确测量相对于本地地球水平面的倾斜角度。有关详细信息和设备规格，请参阅<http://www.st.com>提供的相关加速度计数据手册。一般来说，也可以使用三轴模拟或数字加速度计，取决于各自的规格。

1.1 工作原理

图 1 显示用于倾斜测量的加速度计的单一感应轴。

图1. 使用加速度计的单轴测量倾角



加速度计测量重力向量在感应轴上的映射。被测加速度的振幅随感应轴与水平面的夹角 α 的正弦值的变化而变化。

公式1

$$A = g \times \sin(\alpha)$$

使用公式1可以估算倾斜角度，

公式2

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{A}{g}\right)$$

其中：

- A = 测量的加速度
- g = 地球的重力向量

加速度计的单轴（360°旋转）显示在图2和3中。

图2. 加速度计的单轴360°旋转

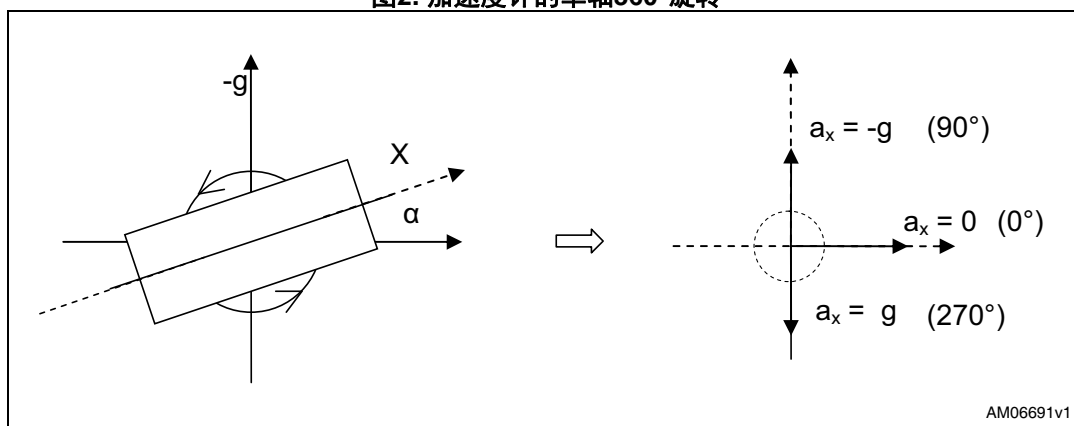
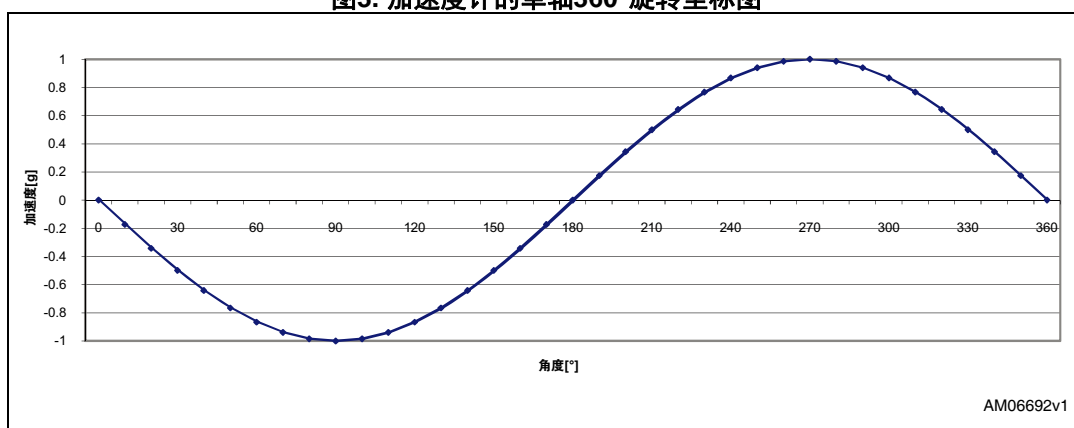


图3. 加速度计的单轴360°旋转坐标图



1.2 倾斜检测

1.2.1 单轴倾斜检测

从图2和3可以看出，当感应轴垂直于重力方向时，传感器对倾斜角度的变化最敏感。在这种情况下，灵敏度约为 17.45 mg/° [= $\sin(1^\circ) - \sin(0^\circ)$]。由于正弦函数的导数函数，当感应轴接近其 $+1 \text{ g}$ 或 -1 g 位置时，传感器的灵敏度较低（对倾斜角度变化的响应较慢）。在这种情况下，灵敏度仅有 0.15 mg/° [= $\sin(90^\circ) - \sin(89^\circ)$]。表1显示不同倾斜角度下的灵敏度。也就是说，如图3所示，正弦函数在 $[0^\circ \text{ } 45^\circ]$ 、 $[135^\circ \text{ } 225^\circ]$ 和 $[315^\circ \text{ } 360^\circ]$ 处具有良好的线性度。

表1. 单轴加速度计的倾斜灵敏度

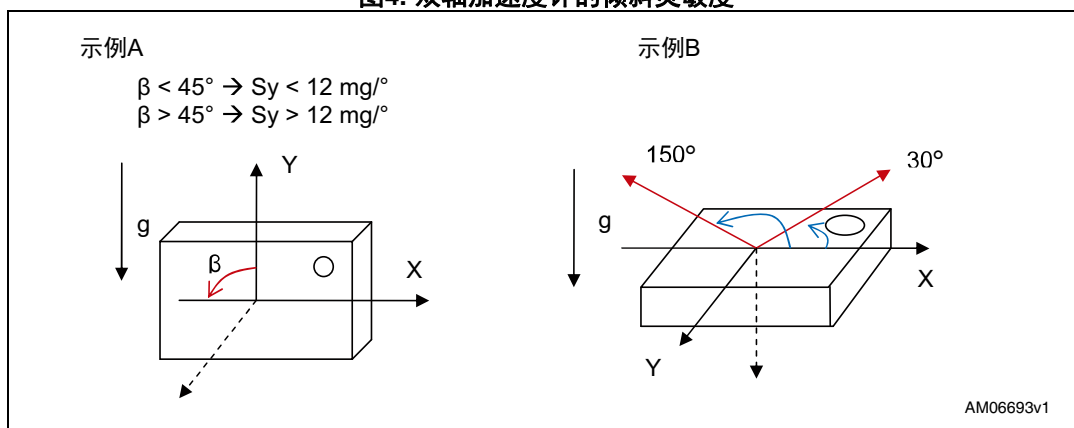
倾角[°]	加速度[g]	$\Delta g / ^\circ$ [mg/°]
0	0.000	17.452
15	0.259	16.818
30	0.500	15.038
45	0.707	12.233
60	0.866	8.594
75	0.966	4.37
90	1.000	0.152

1.2.2 双轴倾斜检测

当使用双轴倾斜传感方法时，用户应了解在两种不同的情况下，这种方法可能会限制总体精度，甚至阻止倾斜计算。

- **图 4, 例A:** 绕虚线箭头将加速度计逆时针旋转 β 角度。当 β 小于 45° 时，X轴灵敏度较高，Y轴灵敏度较低。当 β 大于 45° 时，X轴灵敏度较低，Y轴灵敏度较高。因此，如果使用两轴方法，通常建议根据正交轴 $\pm 1 g$ 条件计算角度。
- **图 4, 例B:** 在此位置，X轴和Y轴的灵敏度都很高。但是，如果不借助第三个轴（例如Z轴），就不可能区分 30° 的倾斜角和 150° 的倾斜角，因为X轴在这两个倾斜角度具有相同的输出。

图4. 双轴加速度计的倾斜灵敏度



1.2.3 三轴倾斜检测

借助三轴加速度计，用户可以组合使用Z轴与X轴和Y轴进行倾斜感应，以提高倾斜灵敏度和精度（参见图5）。

有两种方法计算图5中的三个倾角。第一种方法是利用基本三角函数公式3、4和5，其中 A_{x1} 、 A_{y1} 和 A_{z1} 是将加速度计校准应用到原始测量数据后得到的值（ A_x 、 A_y 、 A_z ）：

公式3

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{A_{x1}}{g}\right)$$

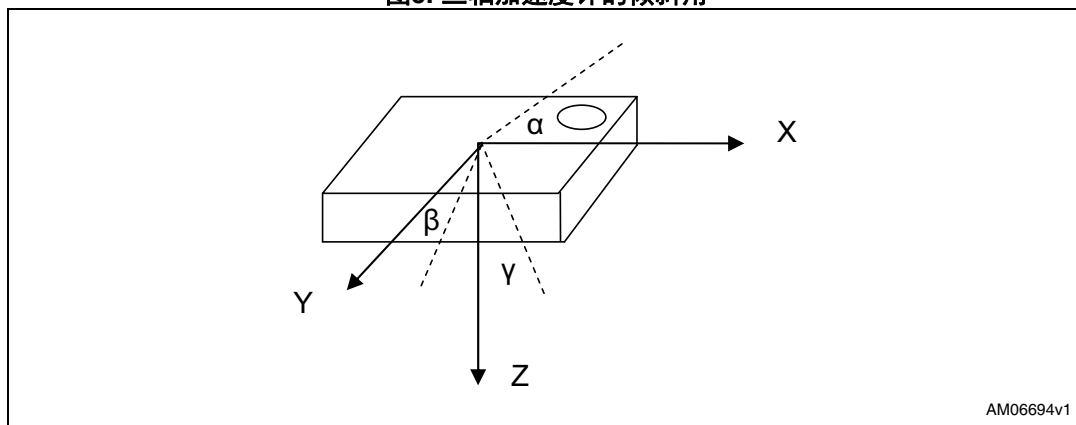
公式4

$$\beta = \arcsin\left(\frac{A_{y1}}{g}\right)$$

公式5

$$\gamma = \arccos\left(\frac{A_{z1}}{g}\right)$$

图5. 三轴加速度计的倾斜角



第二种方法是利用三角函数公式6和7计算俯仰和滚转倾斜角，在360度旋转时保持恒定灵敏度，如图6所示。

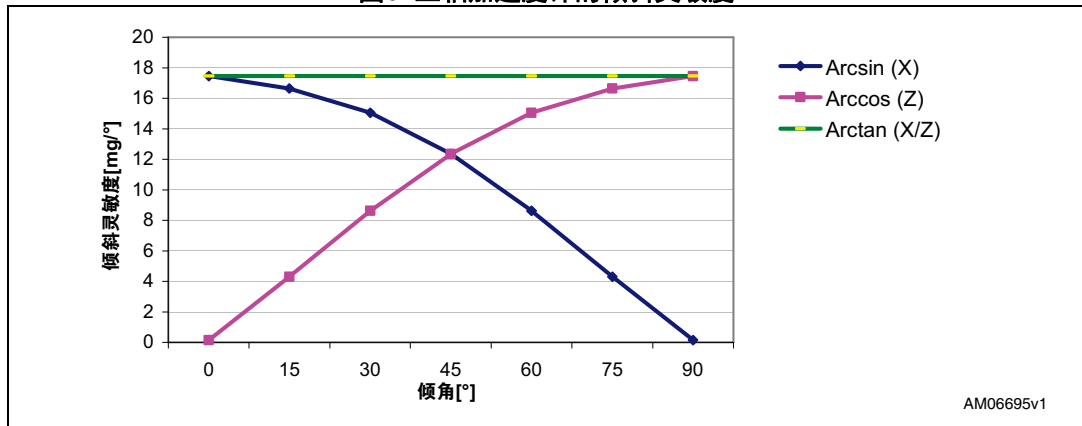
公式6

$$\text{Pitch} = \alpha = \arctan\left(\frac{A_{x1}}{\sqrt{(A_{y1})^2 + (A_{z1})^2}}\right)$$

公式7

$$\text{Roll} = \beta = \arctan\left(\frac{A_{y1}}{\sqrt{(A_{x1})^2 + (A_{z1})^2}}\right)$$

图6. 三轴加速度计的倾斜灵敏度



2 版本历史

表2. 文档版本历史

日期	版本	变更
2014年6月10日	1	初始版本。

表3. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2019年11月6日	1	中文初始版本。

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。若需 ST 商标的更多信息，请参考 www.st.com/trademarks。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

© 2019 STMicroelectronics - 保留所有权利