

# 基于MEMS的倾角模块 解决方案

## 应用介绍

倾角测量技术专门用于测量物体相对于垂直/水平位置的倾斜度，在实际应用中随处可见。随着生产和科学的不断发展，倾角测量越来越广泛的应用于工业科研、汽车、能源收集利用、医疗保健、消费电子等各领域。MEMS加速度传感器是测量物体倾斜角度的常用器件，面对需求越来越大的市场需求，如何提高倾角测量的精度，成为众多传感器厂商竞相研究的重点

目前在电力和通讯杆塔上，已经开始试装的倾角传感器可做为灾害和安全监控的有效手段，ADI的MEMS多轴加速度计产品可以提供高精度的解决方案并能根据客户的需求进行算法改进设计。

## 系统设计考虑及主要挑战

### ► 应用需求

- 30°范围内满足 $\pm 0.05^\circ$ 精度要求
- 温度范围：-45°C~70°C
- 供电电压：3.5 V to 5.5 V
- 通信协议：客户定制的UART

### ► 目的

- 确信杆塔的施工是垂直于地面的
- 监控塔的倾斜角度并能提供报警信号到控制单元

### ► 各类未对齐的偏差

- 硅基片的轴到轴偏差
- 芯片在PCB上焊接偏差
- PCB安装偏差
- 模块装配偏差

### ► 系统校准可以消除大多数对齐错误

### ► 用户对齐

- 消除安装误差
- 相对测量模式

## ADI的解决方案

### ► 高精度

- 0.001°分辨率：这由系统噪声决定
- $\pm 0.05^\circ$ 模块精度：这是室温下的指标，这取决于系统校准夹具，目前是0.05°的精度，有机会做得更好
- $\pm 60^\circ$ 角度范围： $\pm 30^\circ$ 范围内精度略高

### ► 低噪声传感器

- ADXL355：25  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，专注于静态低噪声应用
- ADXL357：80  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，专注于震动场景，ADXL357虽然噪声性能不及ADXL355但是它的抗震动指标VRE（Vibration Rectification Error）震动整流误差好比ADXL355好

### ► 超低功耗

- 传感器运行功耗：200  $\mu\text{A}$  ADXL355/7
- 处理器运行功耗：41  $\mu\text{A}/\text{MHz}$  ADuCM4050

### ► 集成算法

- 传感器校准
- 滤波算法
- 用户对齐
- 相关倾角模式设定

## 系统框图

硬件框图如下图所示所示，电路的基本结构由三部分组成：超低功耗处理器、高精度加速度计以及电源。

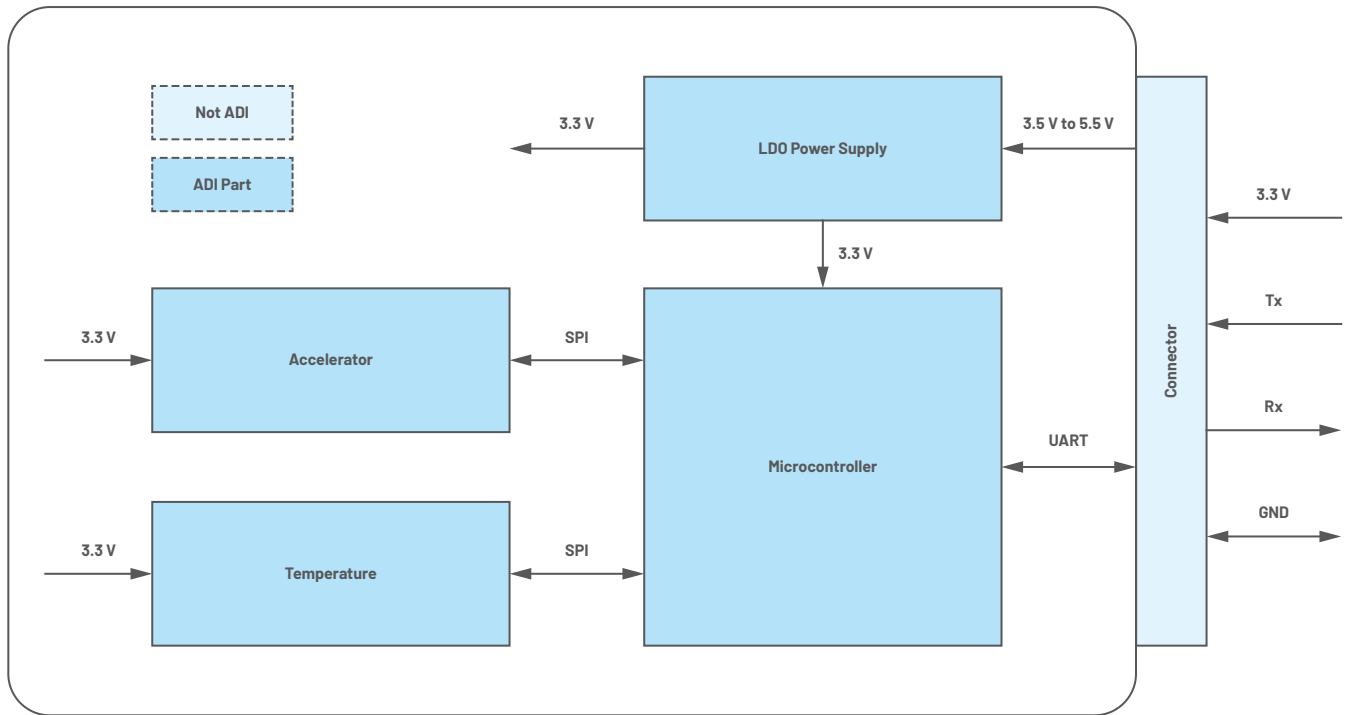


图1.

## 软件框图

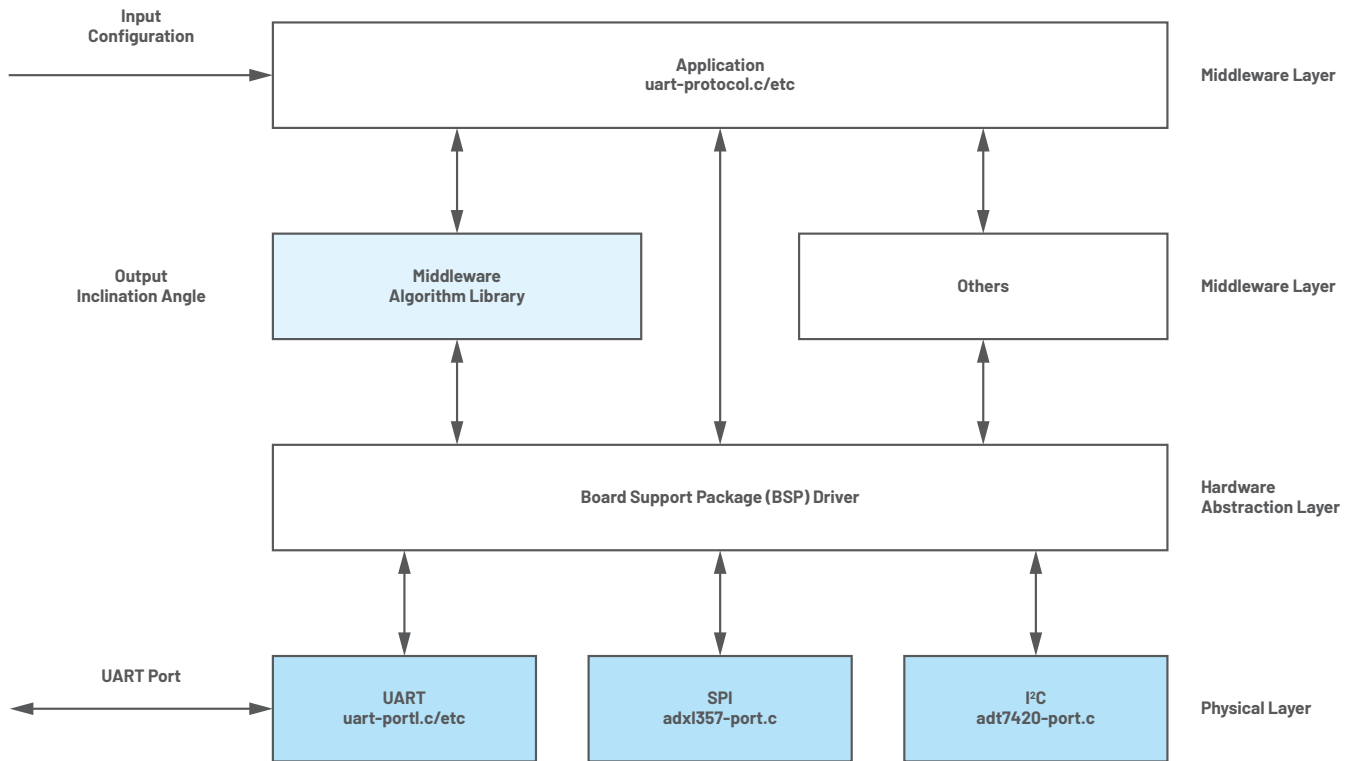


图2.

## 样机图片

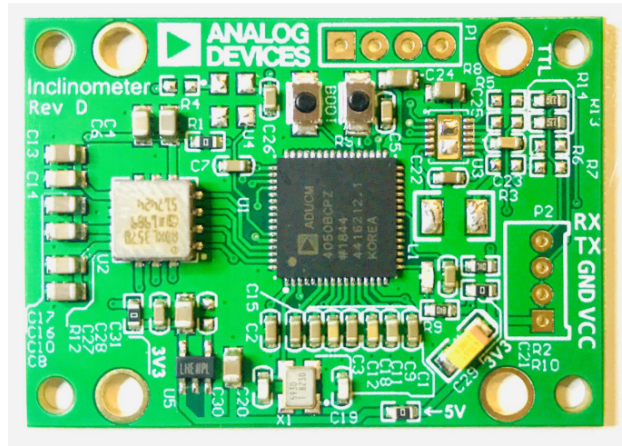


图3.

表 1. ADI 信号链

加速度传感器	处理器	温度传感器	供电管理
ADXL354/ADXL355/ADXL356/ADXL357	ADuCM3029/ADuCM4050	ADT7420/ADT7422	ADP150/ADP160

表 2. 主要器件介绍

器件型号	技术特点描述	优势
加速度传感器		
ADXL354/ ADXL355	ADXL354/ADXL355属于低噪声密度、0 g低失调漂移、低功耗、3轴MEMS加速度计新系列产品。具有可选测量范围；ADXL355支持 $\pm 2.048$ g、 $\pm 4.096$ g和 $\pm 8.192$ g范围，在温度范围内提供业界领先的噪声、失调漂移和长期稳定性，可实现校准工作量极小和极低功耗的精密应用；ADXL354和ADXL355的低噪声加上低功耗性能使得现在能以高性价比实现低电平振动测量应用，比如结构健康监测（SHM）	带数字输出的低噪声、低漂移、低功耗3轴加速度计
ADXL356/ ADXL357	模拟输出ADXL356和数字输出ADXL357均为低噪声密度、低0g失调漂移、低功耗、3轴加速度计，具有可选测量范围；ADXL356B支持 $\pm 10$ g和 $\pm 20$ g范围，ADXL356C支持 $\pm 10$ g和 $\pm 40$ g范围，ADXL357支持 $\pm 10.24$ g、 $\pm 20.48$ g和 $\pm 40.96$ g范围；ADXL356/ADXL357在温度范围内提供业界领先的噪声、最小失调漂移和长期稳定性，可实现校准工作量极小的精密应用	带数字输出的低噪声、低漂移、低功耗3轴MEMS加速度计
处理器		
ADuCM4050	ADuCM4050微控制器单元（MCU）是一款集成电源管理的超低功耗集成式微控制器系统，可用于处理、控制和连接；MCU系统基于Arm®Cortex®-M4F处理器；MCU还由数字外设、嵌入式静态随机存取存储器（SRAM）和嵌入式闪存、一个提供时钟、复位和电源管理功能的模拟子系统以及模数转换器（ADC）子系统组成	集成电源管理的超低功耗ARM Cortex-M4F MCU
温度传感器		
ADT7422	ADT7422是一款高精度数字I <sup>2</sup> C温度传感器，在焊接到最终印刷电路板（PCB）上后，符合ASTM E1112标准的临床温度测定规范；ADT7422包含一个内部带隙基准电压源、一个温度传感器和一个精密模数转换器（ADC）；ADT7422提供16位温度结果，在25°C至50°C的温度范围内，分辨率为0.0078°C，精度高达 $\pm 0.10$ °C，在PCB焊接过程后不需要校准	适用于生命体征应用的精度为 $\pm 0.10$ °C的16位数字I <sup>2</sup> C温度传感器
供电管理		
ADP160	ADP160是一个超低静态电流、低压差线性调节器，工作电压为2.2 V至5.5 V，输出电流最高可达150 mA；在150 mA负载下仅有195 mV的低压差，有助于提高效率，使器件能在较宽的输入电压范围内工作	超低静态电流、150 mA、CMOS线性调节器，提供1.2 V至4.2 V范围内的15种固定输出电压选项

## 设计资源

### 应用笔记和技术文章

- ▶ 为应用选择最合适的MEMS加速度计—第一部分  
[analog.com/cn/analog-dialogue/articles/choosing-the-most-suitable-MEMS-accelerometer-for-your-application-part-1.html](http://analog.com/cn/analog-dialogue/articles/choosing-the-most-suitable-MEMS-accelerometer-for-your-application-part-1.html)
- ▶ 为应用选择最合适的MEMS加速度计—第二部分  
[analog.com/cn/analog-dialogue/articles/choosing-the-most-suitable-accelerometer-for-your-application-part-2.html](http://analog.com/cn/analog-dialogue/articles/choosing-the-most-suitable-accelerometer-for-your-application-part-2.html)
- ▶ 选择正确的加速度计，以进行预测性维护  
[analog.com/cn/technical-articles/choose-the-right-accelerometer-for-predictive-maintenance.html](http://analog.com/cn/technical-articles/choose-the-right-accelerometer-for-predictive-maintenance.html)
- ▶ MEMS振动监控：从加速度到速度  
[analog.com/cn/analog-dialogue/articles/MEMS-vibration-monitoring-acceleration-to-velocity.html](http://analog.com/cn/analog-dialogue/articles/MEMS-vibration-monitoring-acceleration-to-velocity.html)
- ▶ MEMS加速度计性能已臻成熟  
[analog.com/cn/technical-articles/MEMS-accelerometer-performance-comes-of-age.html](http://analog.com/cn/technical-articles/MEMS-accelerometer-performance-comes-of-age.html)
- ▶ 测量AC加速度：校准还是不校准？  
[analog.com/cn/technical-articles/measuring-ac-accelerations-to-calibrate-or-not-to-calibrate.html](http://analog.com/cn/technical-articles/measuring-ac-accelerations-to-calibrate-or-not-to-calibrate.html)
- ▶ 温度变化及振动条件下使用加速度计测量倾斜  
[analog.com/cn/analog-dialogue/raqs/raq-issue-144.html](http://analog.com/cn/analog-dialogue/raqs/raq-issue-144.html)
- ▶ ADI公司MEMS加速度计提供低功耗振动测量，开启无线状态监控新时代  
[analog.com/cn/about-adi/news-room/press-releases/2017/5-03-2017-adis-MEMS-accelerometers-provide-low-power-vibration-measurements.html](http://analog.com/cn/about-adi/news-room/press-releases/2017/5-03-2017-adis-MEMS-accelerometers-provide-low-power-vibration-measurements.html)

### 设计工具

- ▶ EVAL-ADXL35X  
[analog.com/cn/EVAL-ADXL35X.html](http://analog.com/cn/EVAL-ADXL35X.html)
- ▶ EVAL-ADXL355-PMDZ  
[analog.com/cn/EVAL-ADXL355-PMDZ.html](http://analog.com/cn/EVAL-ADXL355-PMDZ.html)

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

 **ADI EngineerZone™**  
中文技术论坛

请访问 [ez.analog.com/cn](http://ez.analog.com/cn)



关注ADI智库



超越一切可能™

如需了解区域总部、销售和分销商，或联系客服和技术支持，请访问 [analog.com/cn/contact](http://analog.com/cn/contact)。

向我们的ADI技术专家提出棘手问题、浏览常见问题解答，或参与EngineerZone在线支持社区讨论。请访问 [ez.analog.com/cn](http://ez.analog.com/cn)。

©2020 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。  
商标和注册商标属各自所有人所有。

BR22259sc-5/20

请访问 [ANALOG.COM/CN](http://ANALOG.COM/CN)