

# 飞行器备份仪表显示系统

张凡

2018.11.27



**背景介绍**

**设计方案**

**设计实现**

**结果展示**



# 背景介绍

## 项目背景



卫星导航定位系统

恶劣自然环境

电子干扰



迷航、坠毁、碰撞、被敌方击毁



备份仪表显示系统



安全着陆

备份仪表显示系统对于我国国防建设有着重要的意义和应用价值

## 项目目标

应国防XXX项目需求，设计并实现一种适用于飞行器的备份仪表显示系统。

## 技术要求

- 采集惯性传感器数据
- 飞行器姿态解算
- 姿态图形化显示
- 每组姿态解算时间在10 ms 以内
- 每场图形生成时间在16.67 ms以内

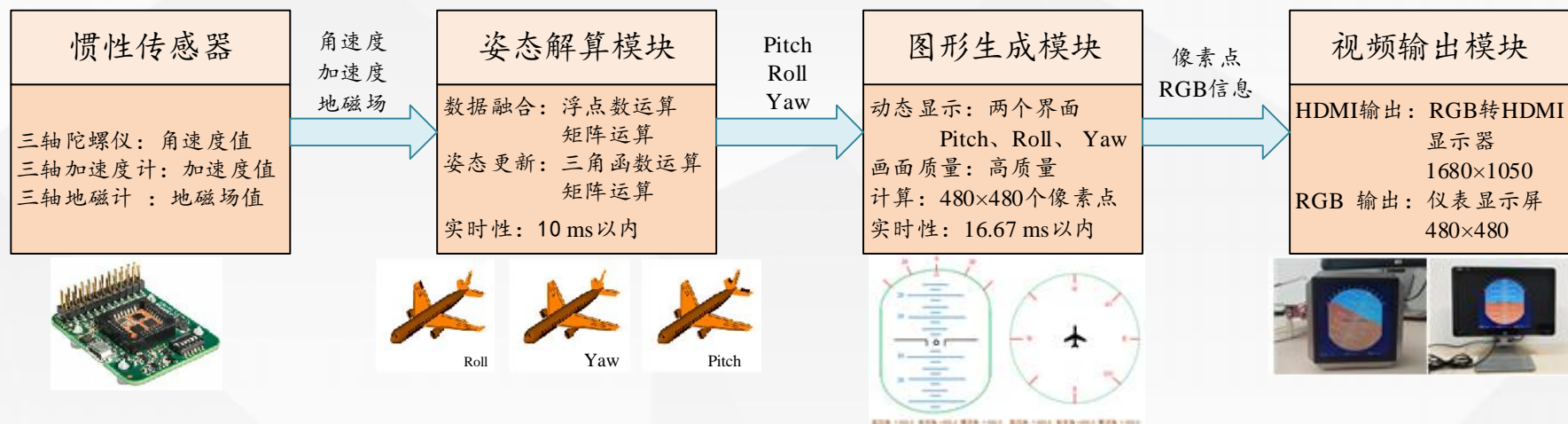
(显示界面刷新频率为60 Hz)





# 设计方案

## 系统设计流程



## 实现方案选择

系统实现方案	优点	缺点
方案1 ASIC (专门目的设计的集成电路)	计算速度快、实时性好	设计复杂、周期长, 只能针对特定应用
方案2 DSP (数字信号处理器)	数据处理速度快	资源有限, 集成度不高, 功能单一, 显示效果不佳
方案3 GPU (图形处理器)	显示效果良好	开发复杂, 核心技术受限
方案4 ARM (微处理器) +FPGA	数据处理速度快	显示效果不佳, 接口复杂, 集成度不高
方案5 DSP+FPGA	能满足基本要求	结构法复杂, 开发难度大, 不利于升级和扩展, 显示效果不佳
<b>方案6 FPGA</b>	逻辑资源丰富、灵活、并行计算、可移植性强、可进一步提升系统效率, 图形生成速度快、显示效果好, 避免国外芯片的封锁, 提高系统的国产化程度	



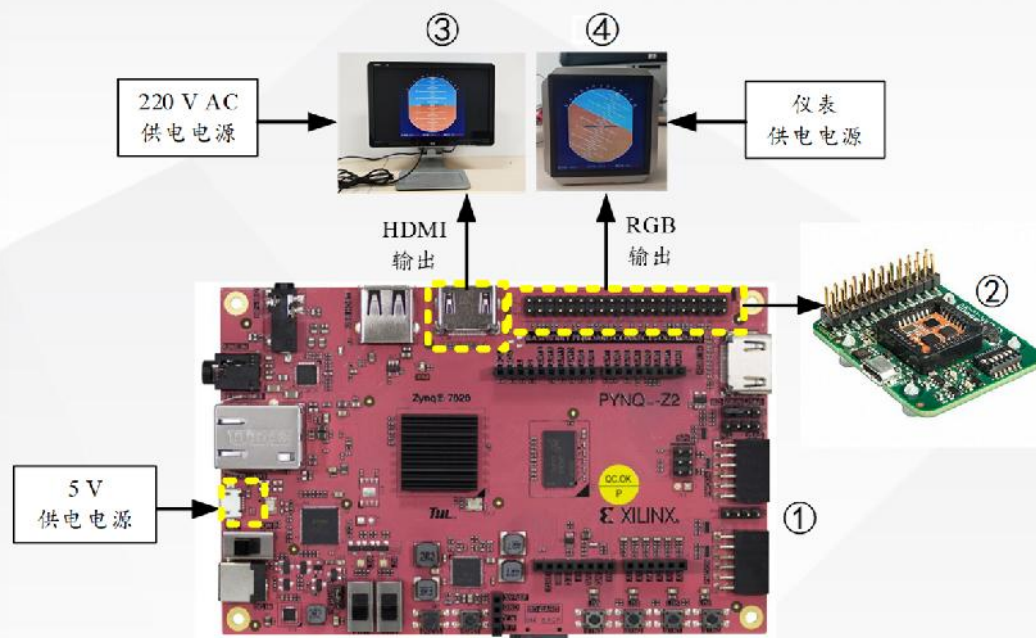
# 设计实现



## 系统实现

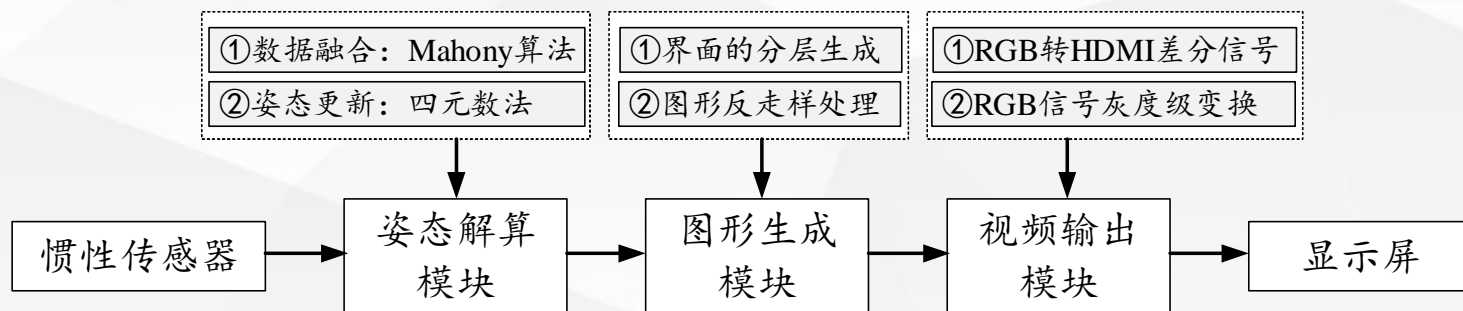
### 硬件实现

编号	名称
①	PYNQ-Z2开发板 (连接5 V供电电源)
②	MTi-3-8A7G6-DK惯性传感器
③	1680×1050显示器 (连接220 V供电电源)
④	480×480仪表显示屏 (连接专用供电电源)



系统硬件电路连接示意图

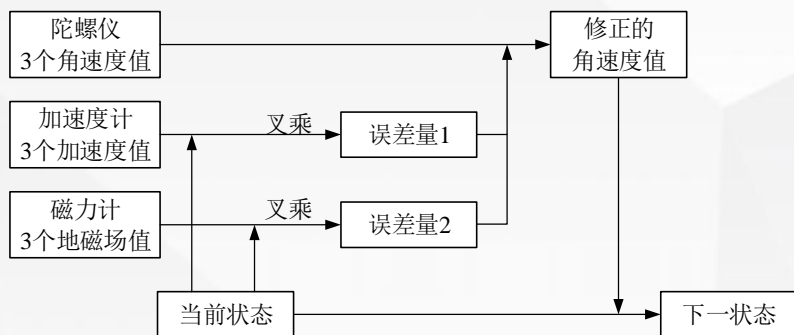
### 软件实现



系统软件编程实现流程图

## 姿态解算模块

### 数据融合—Mahony算法



提高解算精度

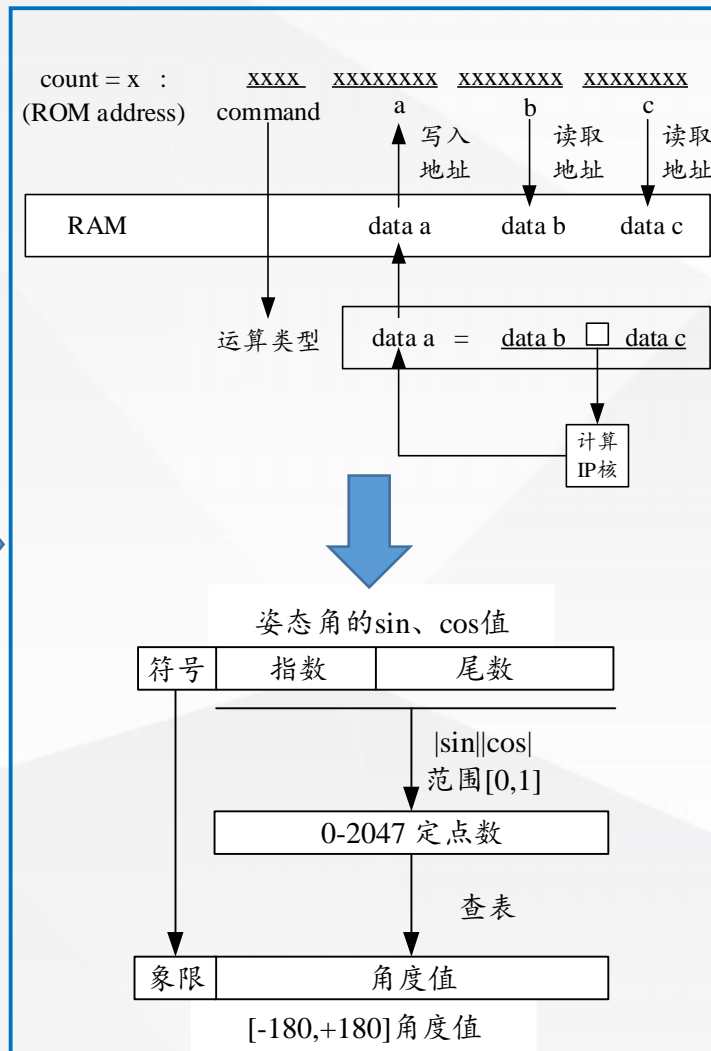
### 姿态更新—四元数法

$$q = \begin{bmatrix} w \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi/2)\cos(\theta/2)\cos(\psi/2) + \sin(\varphi/2)\sin(\theta/2)\sin(\psi/2) \\ \cos(\varphi/2)\sin(\theta/2)\cos(\psi/2) + \sin(\varphi/2)\cos(\theta/2)\sin(\psi/2) \\ \cos(\varphi/2)\cos(\theta/2)\sin(\psi/2) - \sin(\varphi/2)\sin(\theta/2)\cos(\psi/2) \\ \sin(\varphi/2)\cos(\theta/2)\cos(\psi/2) - \cos(\varphi/2)\sin(\theta/2)\sin(\psi/2) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varphi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{atan2}(2(wz + xy), 1 - 2(z^2 + x^2)) \\ \arcsin(2(wx - yz)) \\ \text{atan2}(2(wy + zx), 1 - 2(x^2 + y^2)) \end{bmatrix}$$

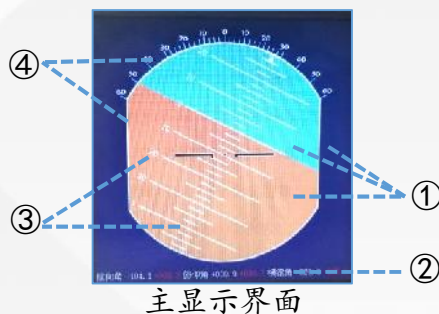
避免万向节死锁

算法实现

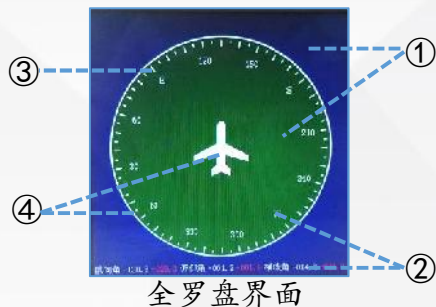


## 图形生成模块

### 界面分层生成



主显示界面



全罗盘界面

#### ① 背景层

主显示界面：不同区域背景色填充（动态，随Pitch、Roll变化）  
全罗盘界面：不同区域背景色填充

#### ② 字符层

主显示界面：姿态角数字显示（动态）  
全罗盘界面：姿态角数字显示（动态）+罗盘指示字符（随Yaw旋转）

#### ③ 刻度线层

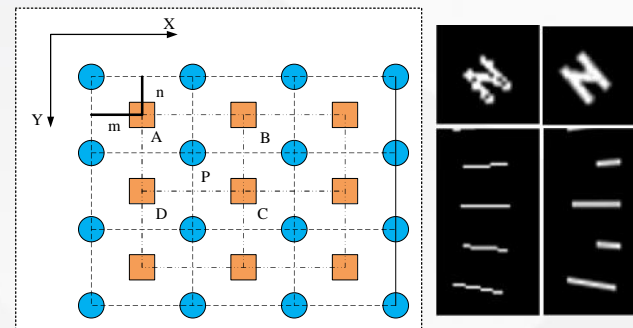
主显示界面：Pitch刻度线和角度指示字符（随Pitch、Roll变化）  
全罗盘界面：Yaw刻度线（随Yaw旋转）

#### ④ 图案层

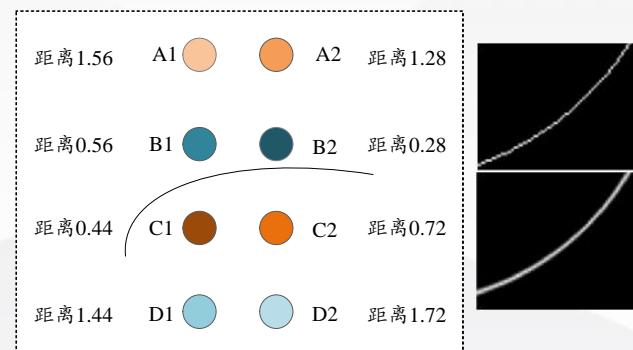
主显示界面：Roll刻度线和角度指示字符，天地球轮廓线，水平标志  
全罗盘界面：罗盘轮廓线（圆），飞机标志

分层设计提高了图像生成速度，满足对实时性的要求

### 图形反走样处理



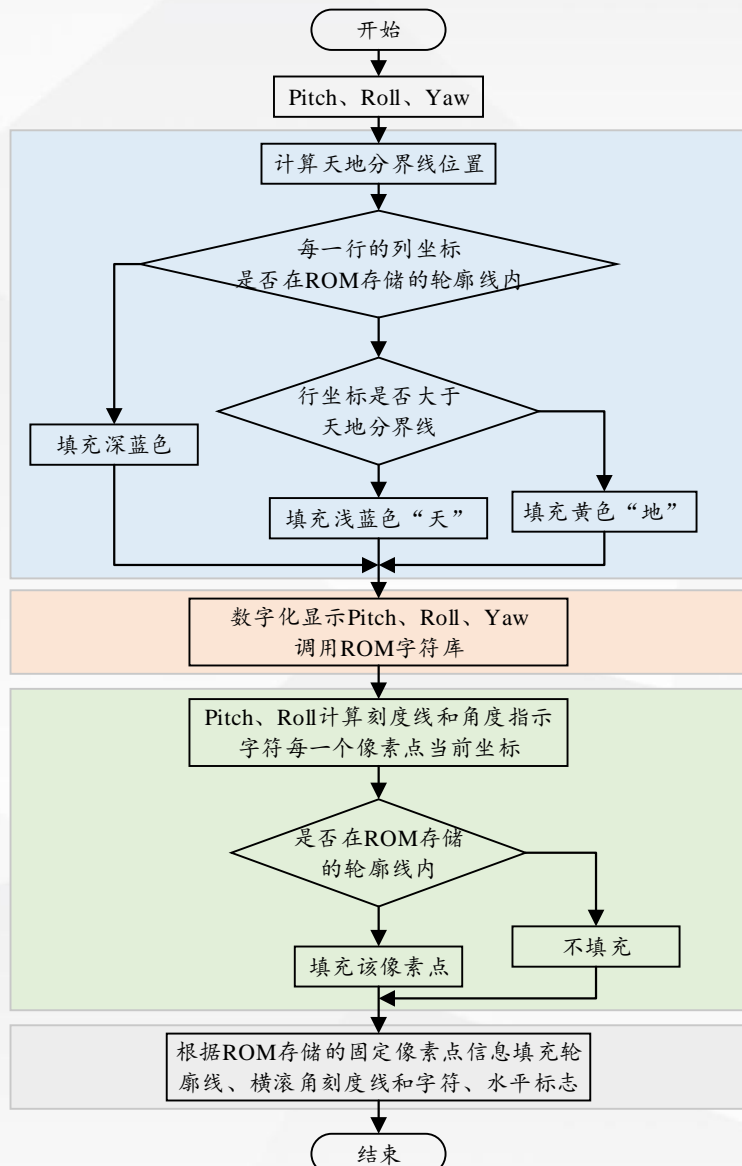
直线和字符反走样算法



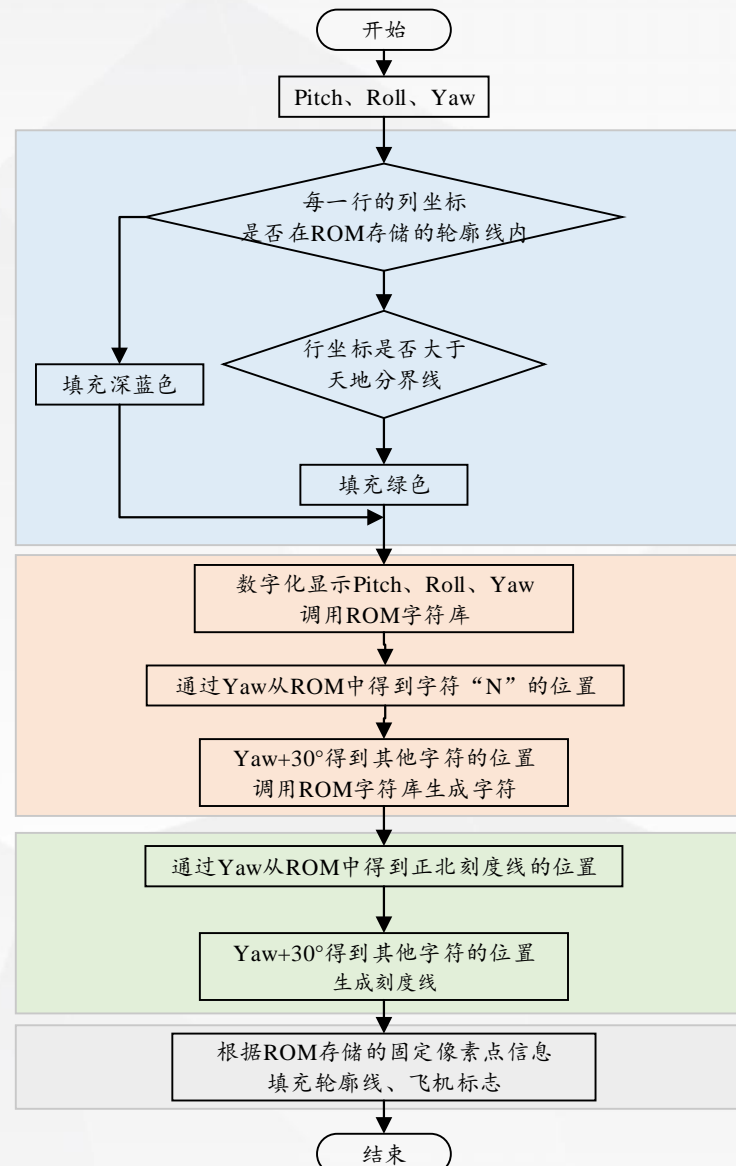
圆弧反走样算法

反走样消除空洞现象，改善锯齿现象，满足对高显示质量的要求

## 图形生成模块算法实现



主显示界面算法流程图



全罗盘界面算法流程图

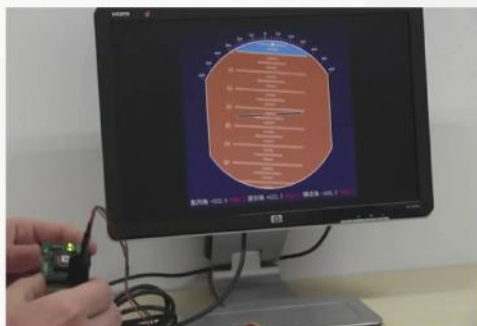


# 结果展示

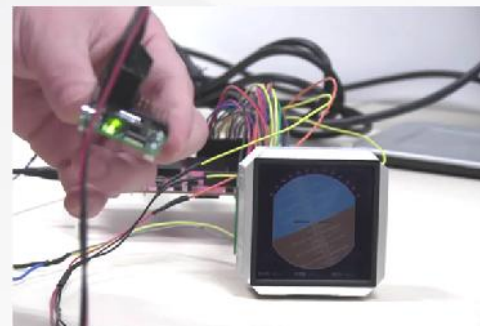
## ► 视频输出结果



显示器480×480界面



显示器960×960界面



仪表显示屏界面

## ► 基本性能参数

俯仰角	-90° ~90° (精度0.1°)	机体抬头为正
横滚角	-180° ~180° (精度0.1°)	机体右翻为正
航向角	0° ~360° (精度0.1°)	正北方向为0°
姿态解算	读取数据6.21 ms	计算80 μs
图形生成显示	图形绘制2.32 ms	图形显示4.85 ms

## 项目总结

01

使用四元数和Mahony算法相结合的思想，使得姿态解算精度得到很大提高

02

采用分层生成图像的思想，大幅度减少了图像的生成时间，满足对实时性的要求

03

对生成图像中的圆弧、直线、字符等图形都进行反走样处理，显著减少了锯齿，消除了空洞现象，提高了图像显示的质量

04

通过对本设计的优化和完善，可将姿态解算模块和图形生成模块设计为可直接调用的IP核，并可流片为专用的备份仪表IC



**THANKS**