

福建省航空学会2018年学术年会学术报告

无人机航向信息的融合控制



无人机航向信息的融合控制

一、现状

二、方法

三、融合

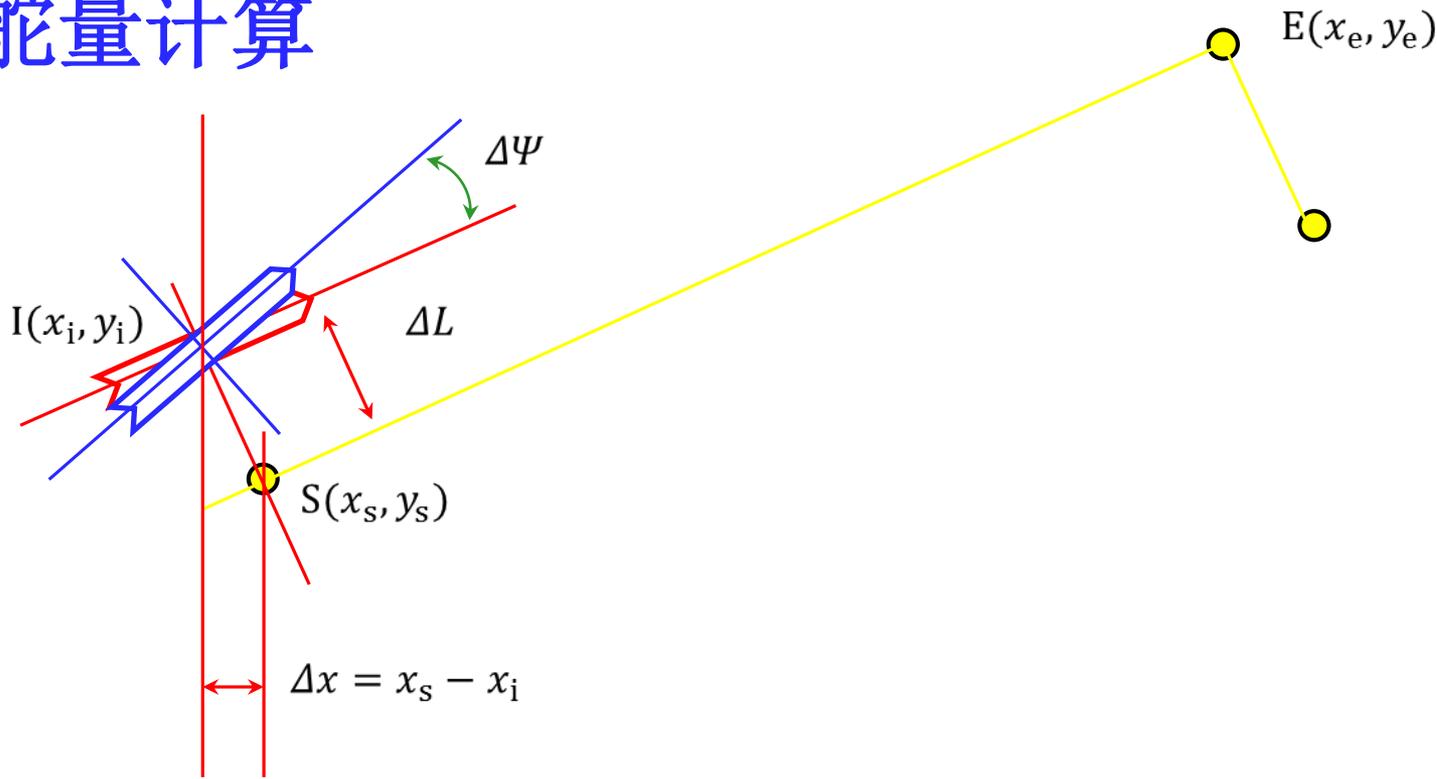
四、控制

一、现状

1、飞行航线



2、舵量计算



$$pwm_direct = p_{direct} * \Delta\Psi + \sum_{n=1}^k (i_{dist} * \Delta\Psi)$$

$$pwm_dist = p_{dist} * \Delta L + \sum_{n=1}^k (i_{dist} * \Delta L)$$

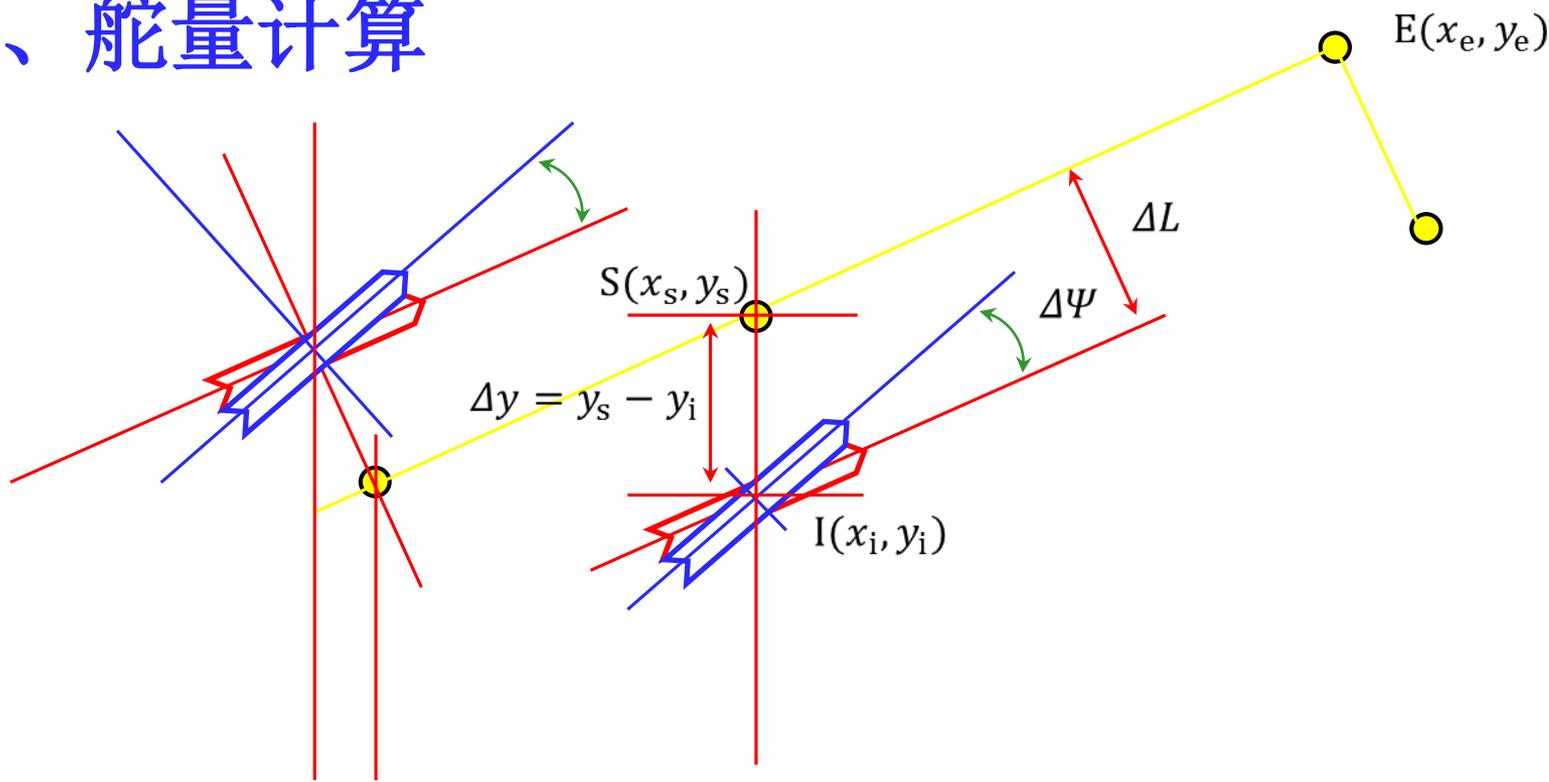
$$pwm_x = p_x * \Delta x + \sum_{n=1}^k (i_x * \Delta x)$$

$$pwm_y = 0$$

} pwm_out

在航线上方时

2、舵量计算



$$pwm_direct = p_{direct} * \Delta\Psi + \sum_{n=1}^k (i_{dist} * \Delta\Psi)$$

$$pwm_dist = p_{dist} * \Delta L + \sum_{n=1}^k (i_{dist} * \Delta L)$$

$$pwm_x = p_x * \Delta x + \sum_{n=1}^k (i_x * \Delta x)$$

$$pwm_y = 0$$

在航线上方时

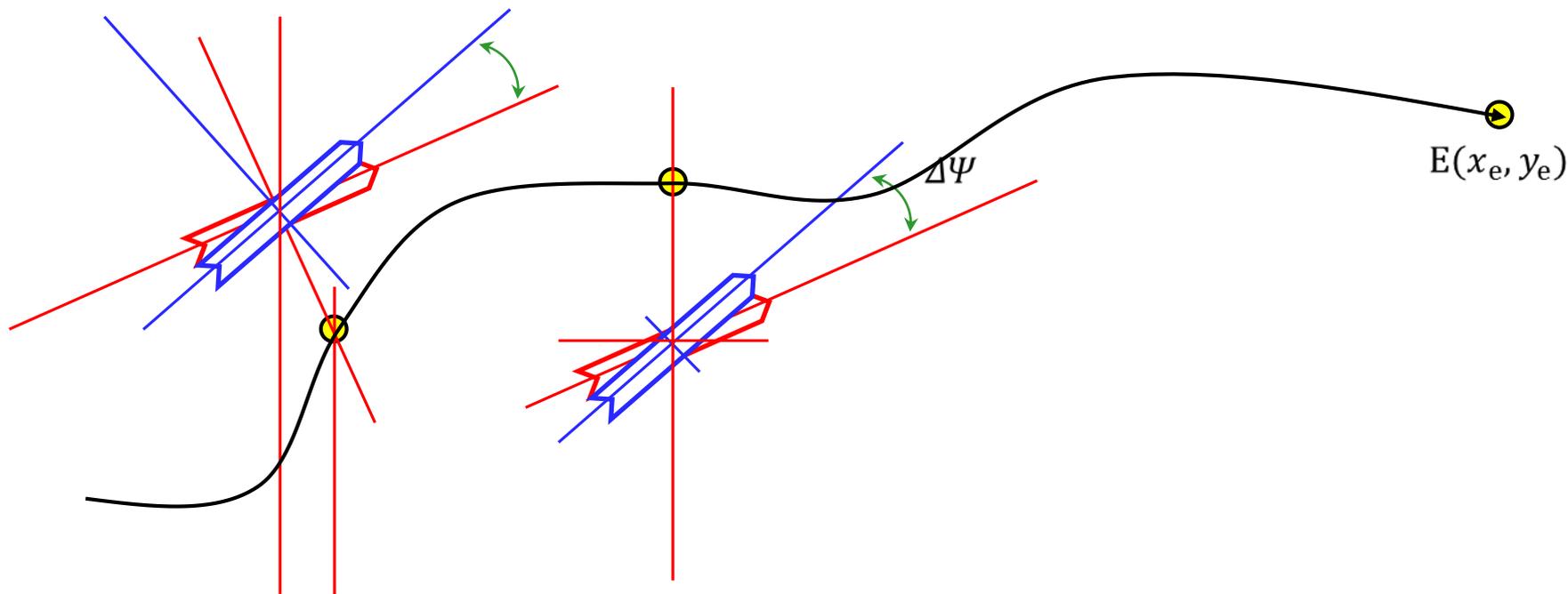
$$pwm_x = 0$$

$$pwm_y = p_y * \Delta y + \sum_{n=1}^k (i_y * \Delta y)$$

在航线下方时

pwm_out

2、舵量计算



$$pwm_direct = p_{direct} * \Delta\Psi + \sum_{n=1}^k (i_{dist} * \Delta\Psi)$$

$$pwm_dist = p_{dist} * \Delta L + \sum_{n=1}^k (i_{dist} * \Delta L)$$

$$pwm_x = p_x * \Delta x + \sum_{n=1}^k (i_x * \Delta x)$$

$$pwm_y = 0$$

在航线上方时

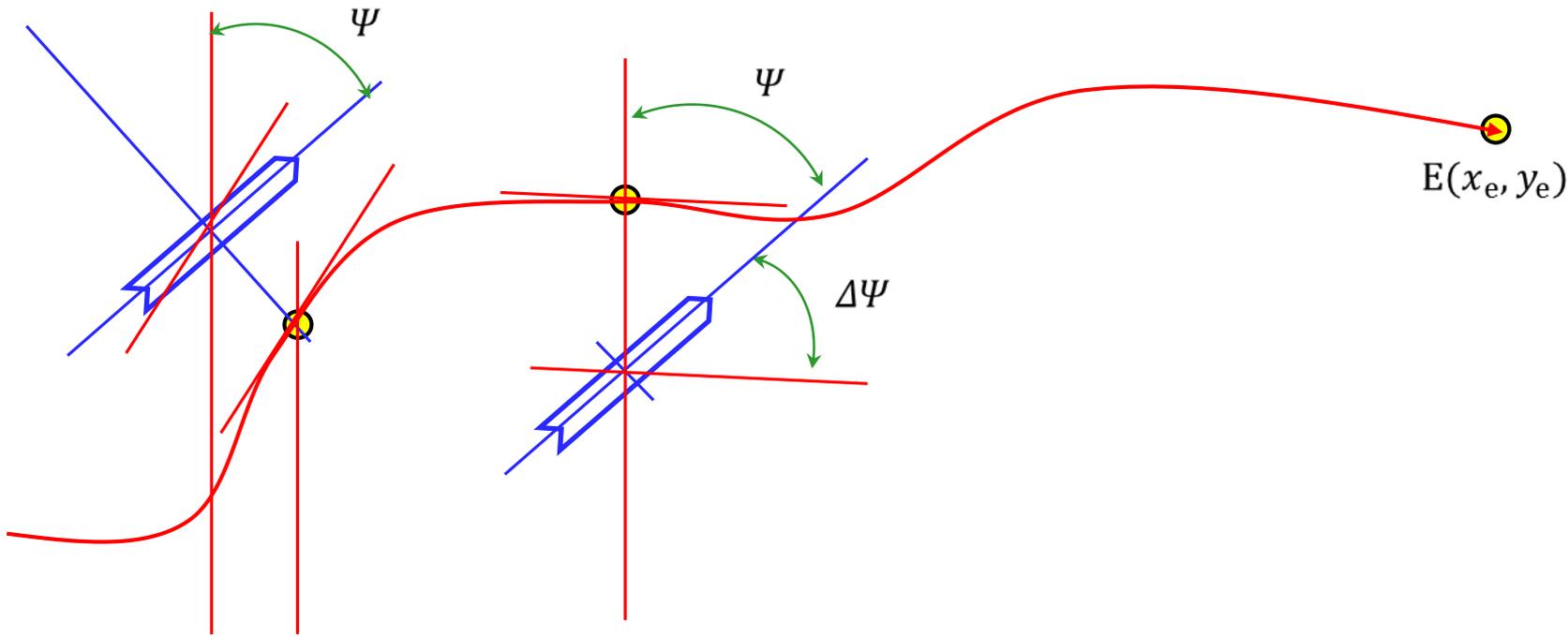
$$pwm_x = 0$$

$$pwm_y = p_y * \Delta y + \sum_{n=1}^k (i_y * \Delta y)$$

在航线下方时

} pwm_out

2、舵量计算



$$pwm_direct = p_{direct} * \Delta\Psi + \sum_{n=1}^k (i_{dist} * \Delta\Psi)$$

$$pwm_dist = p_{dist} * \Delta L + \sum_{n=1}^k (i_{dist} * \Delta L)$$

$$pwm_x = p_x * \Delta x + \sum_{n=1}^k (i_x * \Delta x)$$

$$pwm_y = 0$$

在航线上方时

$$pwm_x = 0$$

$$pwm_y = p_y * \Delta y + \sum_{n=1}^k (i_y * \Delta y)$$

在航线下方时

pwm_out

二、方法

1、MEMS航向

2、惯性计算航向

3、GPS/BD2/BD3计算航向

4、图像识别计算航向

1、MEMS航向

(1) 机械式磁罗盘



(2) 磁通门式罗盘

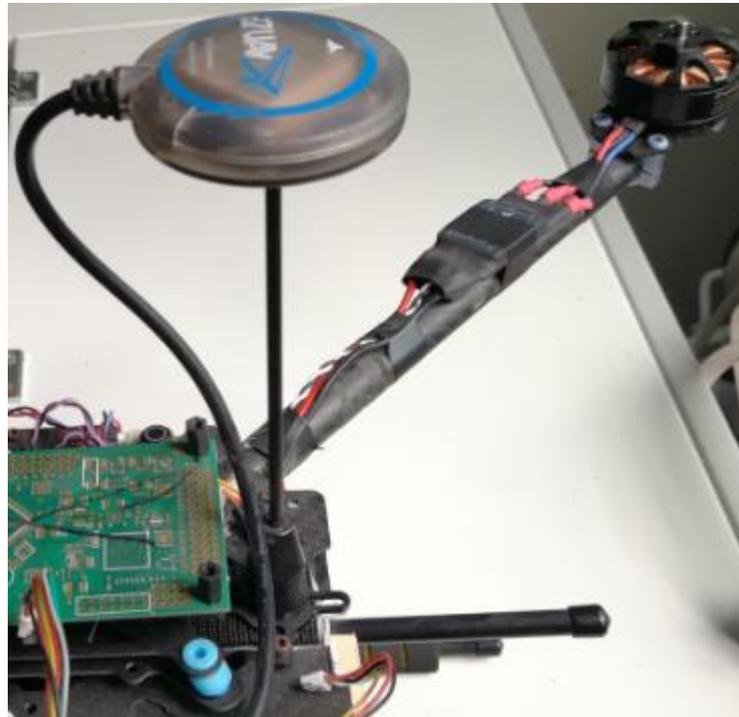
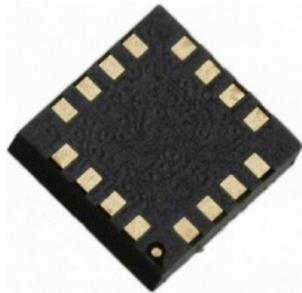
Fluxgate



MS1A-02、MS3A-02 高精度磁通门传感器

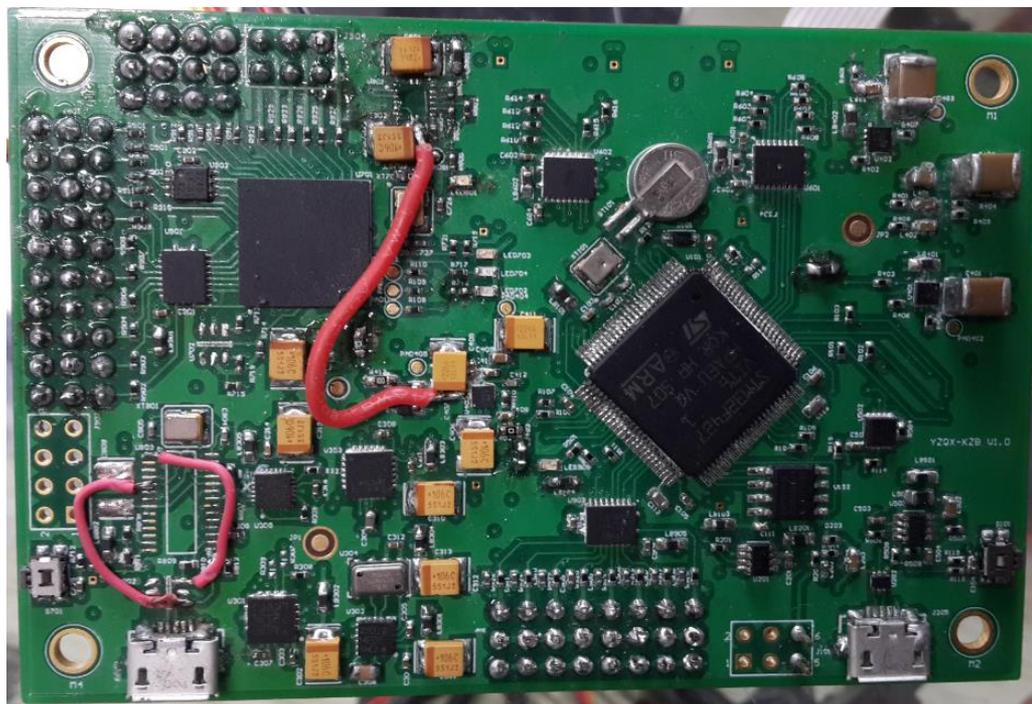
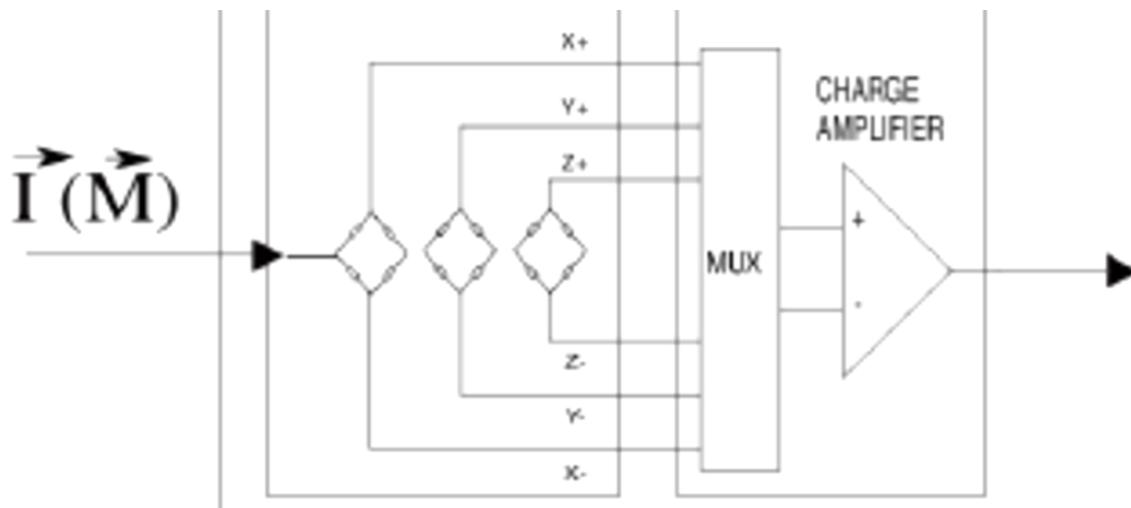
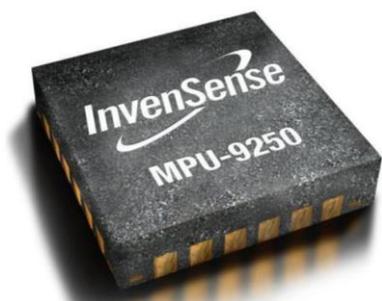
(3) 霍尔效应式罗盘

Hall-effective,
HMC5883



(4) 磁阻式罗盘

MPU9250 and LSM303



磁阻效应, 金属或半导体的电阻值随外加磁场变化而变化 LSM303

MEMS传感器缺点:

易受电场、磁场、建筑物等干扰

2、惯性导航计算航向

惯性导航系统（INS）

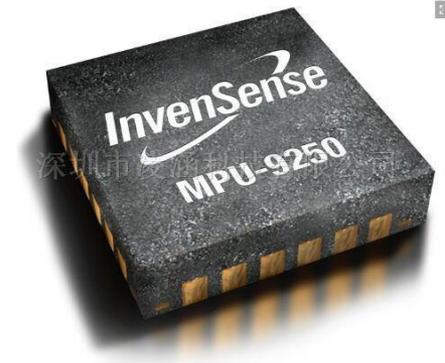
测量载体在自身的参考系上的加速度和积分，得到其在导航坐标系中的当前的速度和偏航角等信息。

随着MEMS（微电子机械系统）惯性器件技术的进步，现如今的小型无人机才采用了微机电陀螺仪。

惯性导航器件



微机电陀螺仪



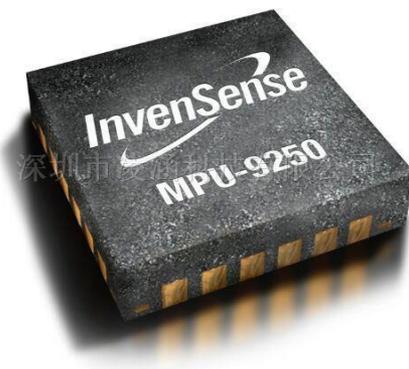
惯性测量装置：

加速度计和陀螺仪。不依赖外部任何信息，也不向外辐射能量，隐蔽性好，可全天候工作。

但现今使用的微机电陀螺仪需用到地磁信息，易受电磁干扰，且会形成累积误差。

缺点：

- (1) 易受干扰
- (2) 有累积误差



3、卫星导航计算航向

卫星导航系统：空中部分（6颗以上卫星），
地面部分（全球监测站和控制站）
用户接收设备构成。

GPS、北斗、伽利略
及GLONASS



采用卫星接收机，接收**6**颗以上的卫星信号，可运算出无人机的三维坐标位置及航向等飞行参数。

但此方法对卫星依存度高，在崇山峻岭等低空或室内飞行易出现信号中断或被遮挡。

缺点：

- (1) 精度差
- (2) 更新慢
- (3) 信号易受周围高大物体干扰



4、图像识别计算航向

视觉导航

基于机器视觉，根据图像中像素点的灰度值，计算出航向等参数数值，涉及图像识别及模式匹配等技术，实现系统导航任务。



视觉导航

要求传感器精度高，图像处理速度快。

技术难度大，造价高，目前难以应用到小型无人机上。

优点：

不易受干扰，

不会产生累积误差。

缺点：处理速度慢

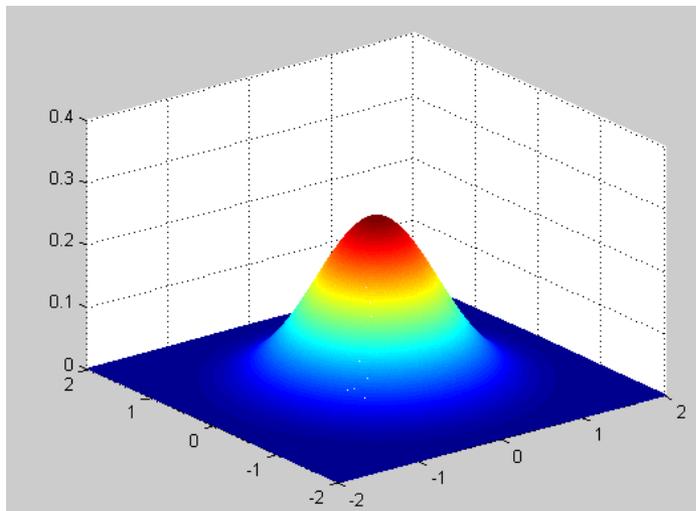


4、图像识别计算航向

视频演示

无人机的航向信息采集及处理

高斯处理



$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

灰度化

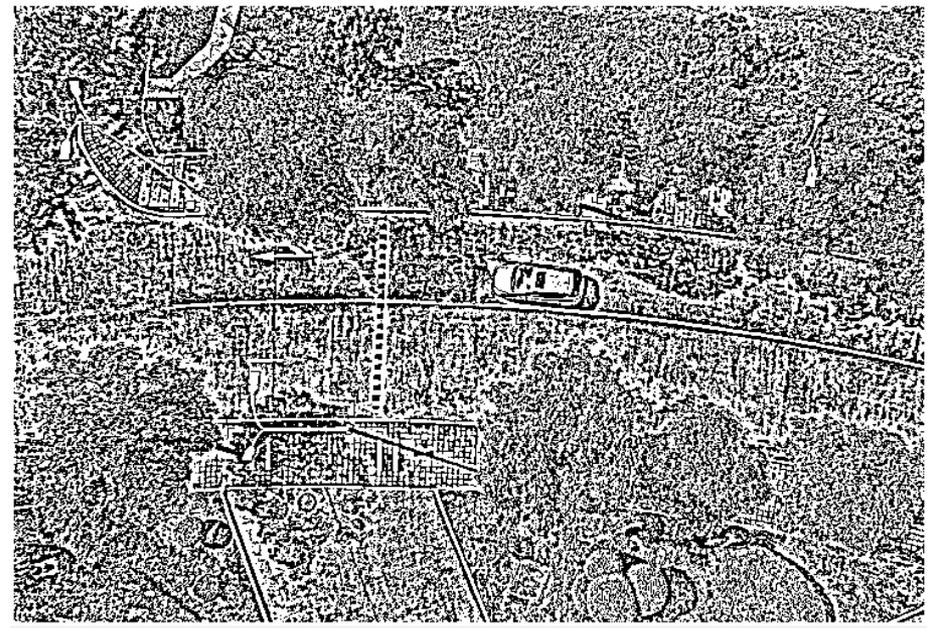
$$Gray = 0.30 * R + 0.59 * G + 0.11 * B$$

原图灰度化处理

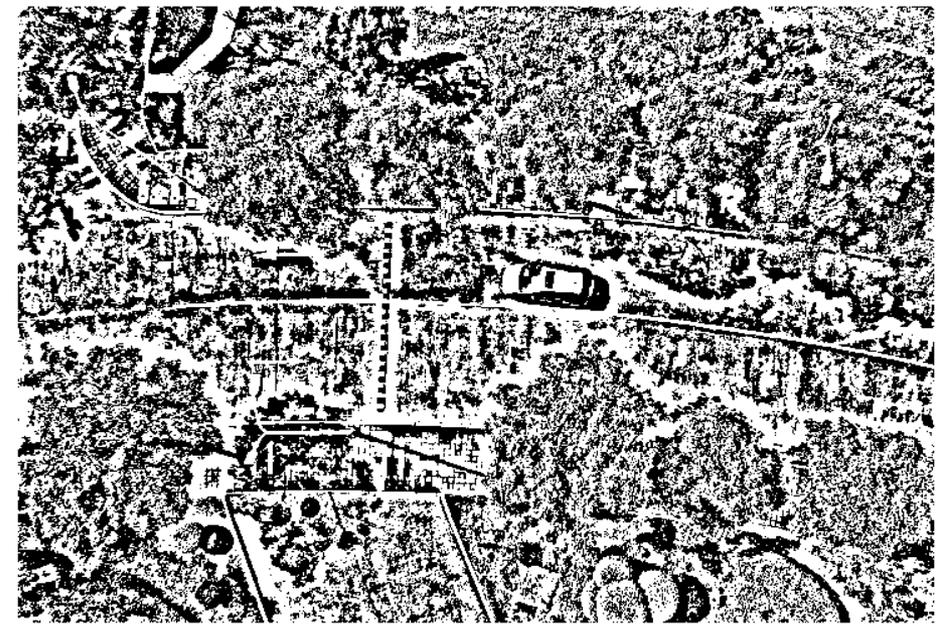


NIBLACK算法阈值选取

$$T(x, y) = E_l(x, y) + \alpha * \sigma(x, y)$$



3*3窗口



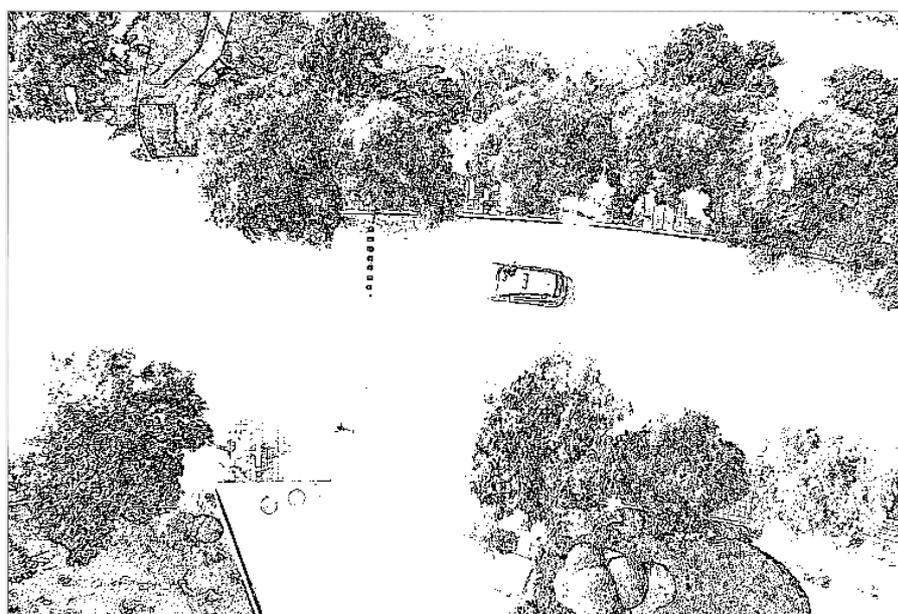
9*9窗口

原图灰度化处理

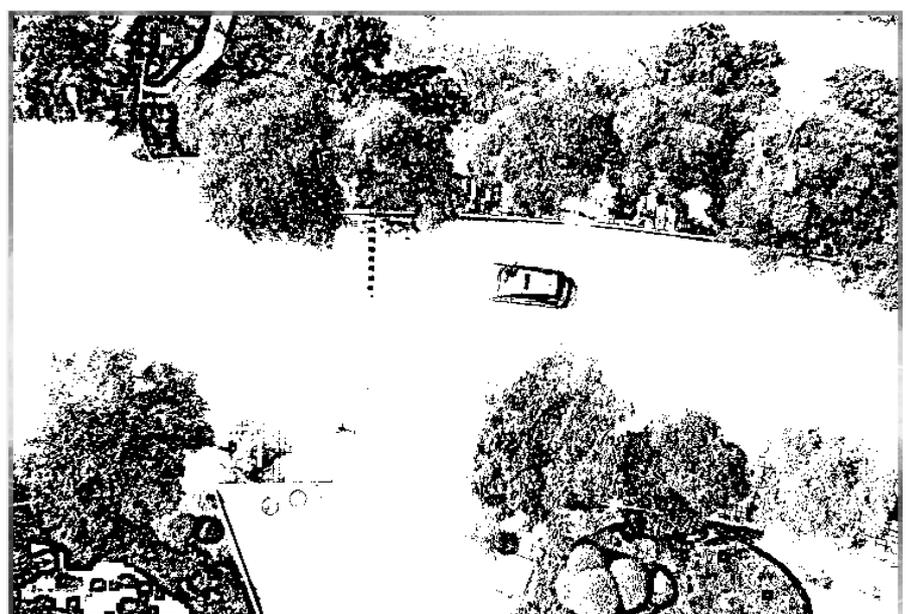


BERNSEN算法:

T1、T2、M、N、T



3*3窗口



9*9窗口

原图灰度化处理



改进BERNSEN算法:

m 、 h 、 S

$$h < a \bullet S \quad (a \in 0.25 \sim 0.5)$$

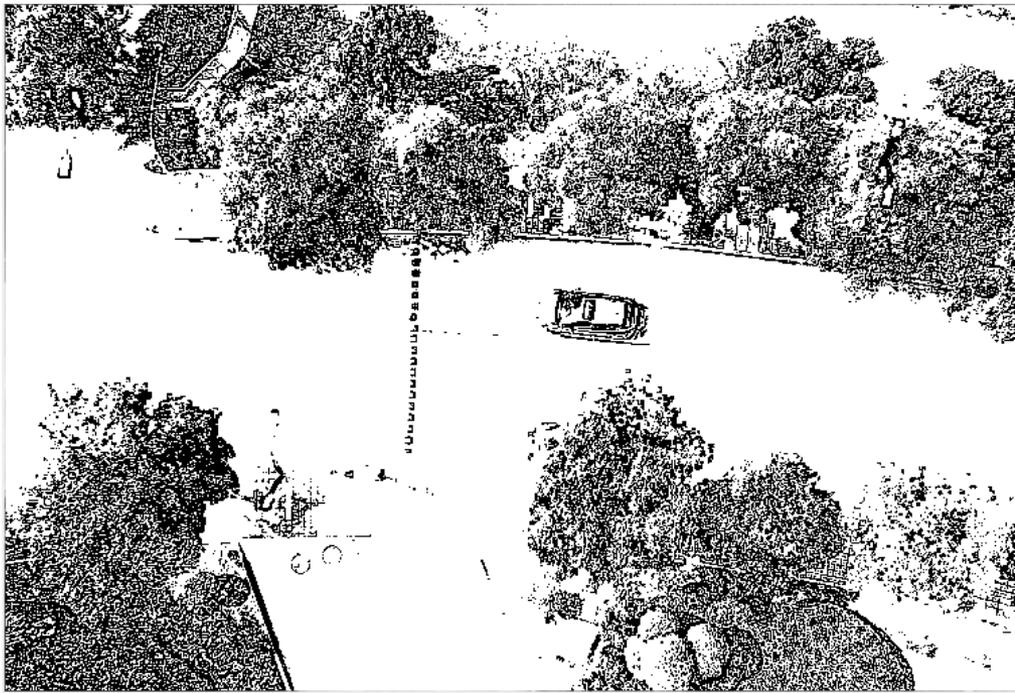
$$T = m$$

否则: $m > b \bullet S \quad (b \in 0.10 \sim 0.30)$

$$T = 255$$

$$I(i, j) > T(i, j) \Rightarrow I(i, j) = 255$$

$$I(i, j) < T(i, j) \Rightarrow I(i, j) = 0$$



以像素点 $I(i, j)$ 为中心的 $w*w$ 窗口，其最大灰度值与最小灰度值的均值为 m

$$m = \frac{\max(I(i, j)) + \min(I(i, j))}{2}$$
$$h = \max(I(i, j)) - \min(I(i, j))$$

其中求出的最大灰度值与最小灰度值之差为 h

区域内灰度值总和为 S

如果 $h < a \cdot S$ ($a \in 0.25 \sim 0.5$)

则该区域阈值 $T = m$

a 是上式的一个权值，可根据实际需要在适当的范围内取值。

否则判断均值 m 与区域总灰度值 S 的关系

如果： $m > b \cdot S$ ($b \in 0.10 \sim 0.30$)

阈值 $T = 255$

否则阈值 $T = 0$

最后判断该区域像素点 $I(i, j)$ 与阈值 $T(i, j)$

$$I(i, j) > T(i, j) \Rightarrow I(i, j) = 255$$

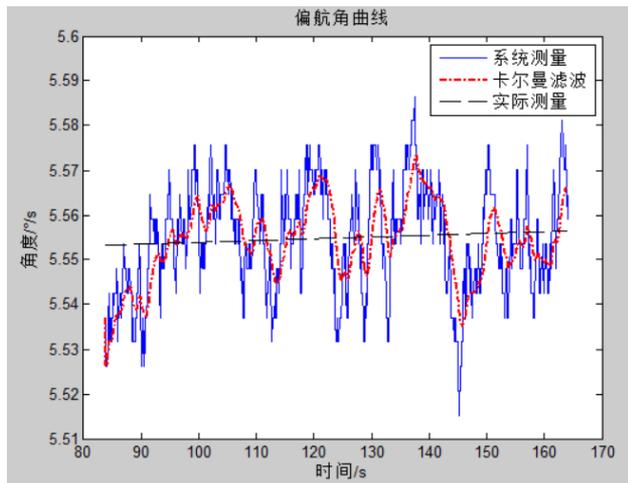
$$I(i, j) < T(i, j) \Rightarrow I(i, j) = 0$$

算法：

对BERNSEN算法的改进优化结合了NIBLACK算法的思想，弥补了BERNSEN算法中目标与背景相似情况下的难点，在获取预期效果的同时也提高了处理速度，与FPGA器件结合处理图像的速度加快，增强飞行过程中所需的实时性要求，为后续的图像导航提供更清晰的图像效果，更易判断当前航向。

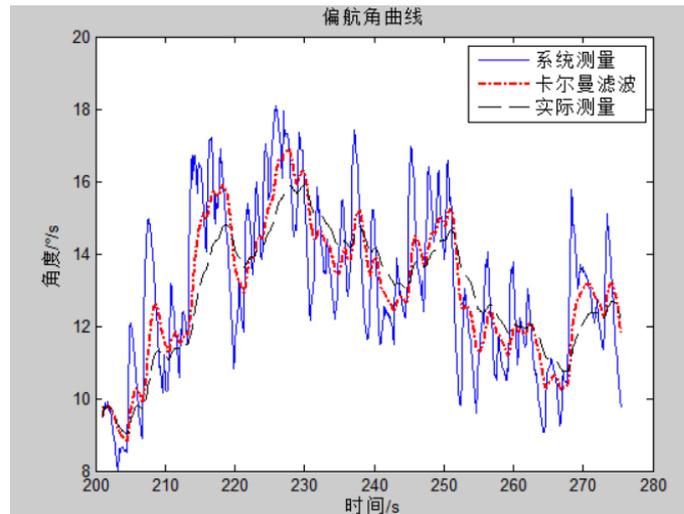
惯性传感器航向控制实验与分析

静止偏航角



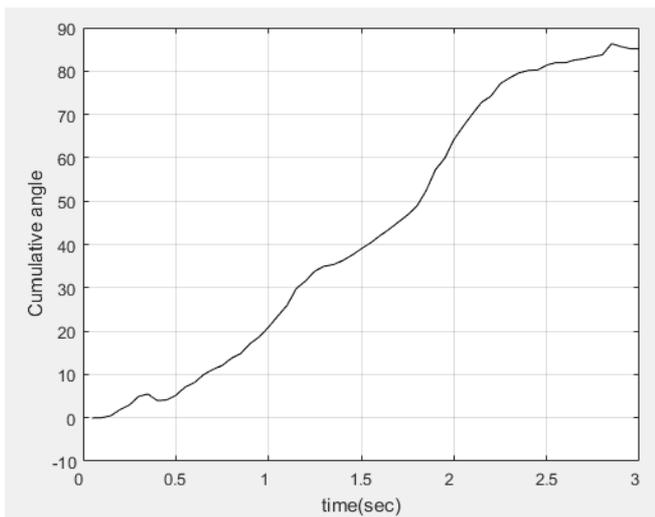
MPU9250测量机体角度曲线

运动偏航角

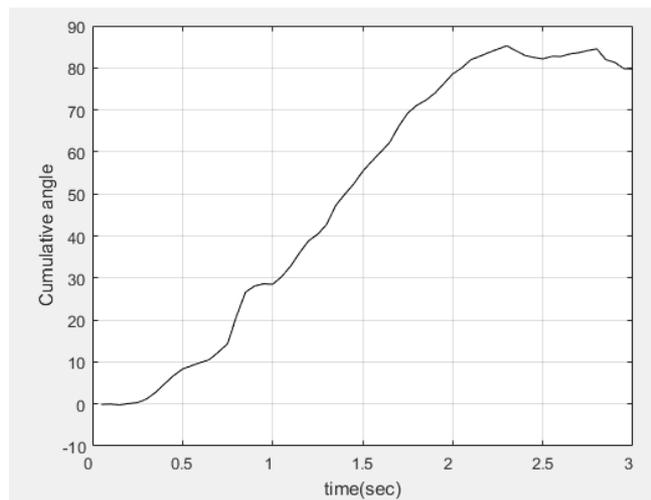


CMOS图像传感器航向仿真

一般图像处理



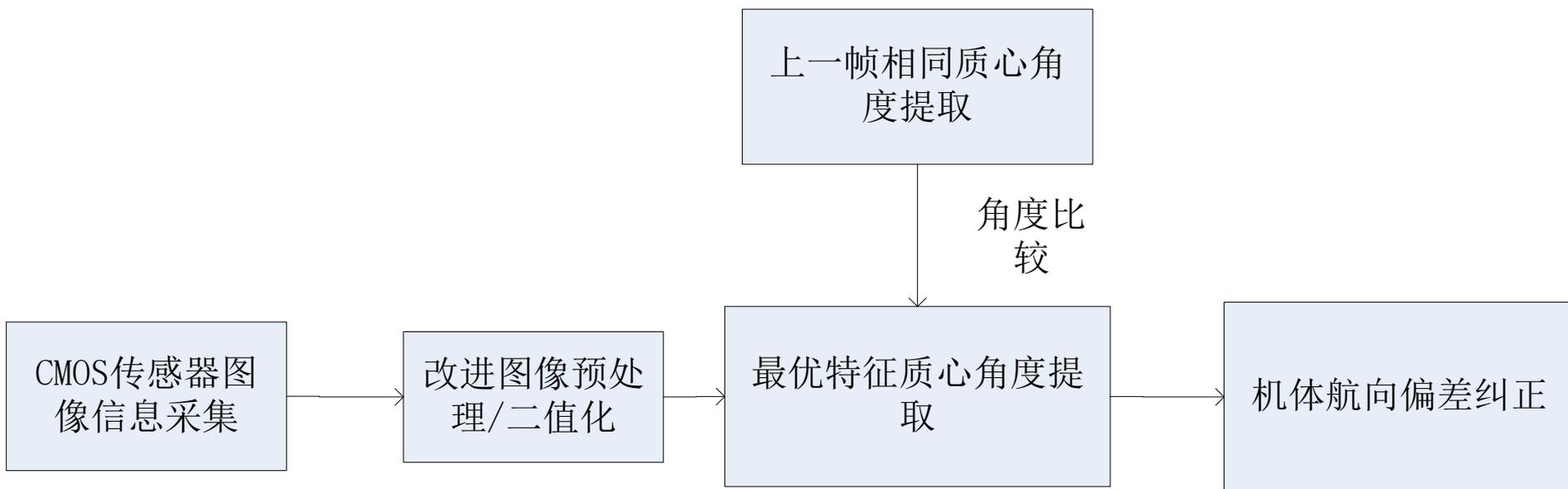
改进图像处理

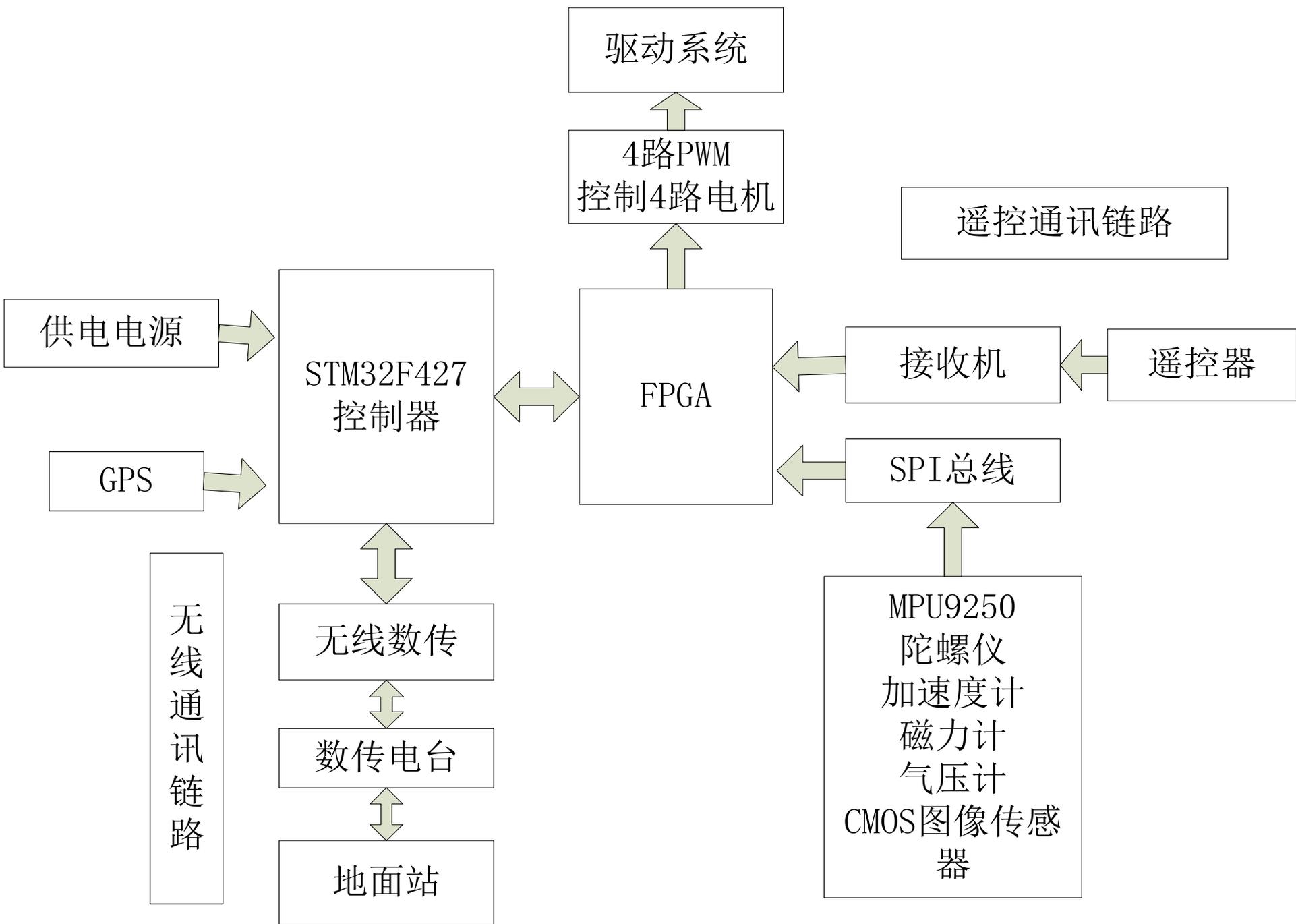


主要处理方式的比较:

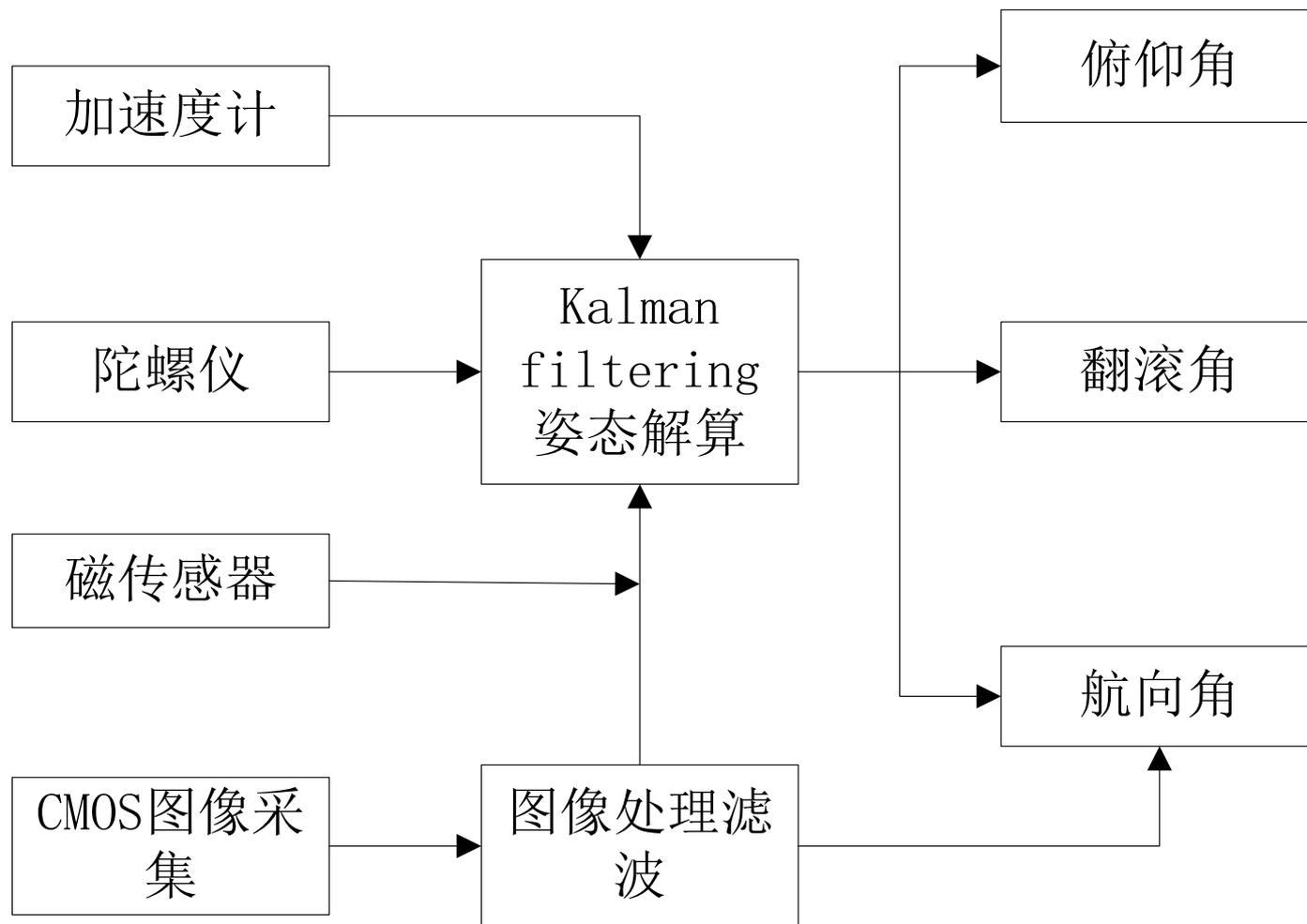
序号	图像处理方法	处理窗口大小	效果等级	时间/s
1	NIBLACK	3*3	C	0.4093
2	NIBLACK	9*9	C	2.3582
3	BERNSEN	3*3	B	0.3231
4	BERNSEN	9*9	A	1.9757
5	改进BERNSEN	3*3	A	0.3909

A为良好, B为较合适, C为不合适





数据滤波处理



姿态数据卡尔曼滤波处理

提出了优化改进的二值化处理方法，对采集到的图像进行灰度化、高斯滤波等处理，针对室内及低空的四旋翼无人机，采取的图像处理方法要注意其阈值的取舍，提高了处理后的图像清晰度和图像处理速度。对适用于无人机上图像导航所需处理的大量图像有很好的效果。

三、融合

设定参数的健康系数(错误计数), 得出状态量

```
/*!
```

```
* Structure that stores data for the SBG_ECOM_LOG_MAG message.
```

```
*/
```

```
typedef struct _SbgLogMag
```

```
{
```

```
    uint32    timeStamp;          /*!< Time in us since the sensor power up. */
```

```
    uint16    status;            /*!< Magnetometer status bitmask. */
```

```
    float     magnetometers[3];  /*!< X, Y, Z magnetometer data in A.U. */
```

```
    float     accelerometers[3]; /*!< X, Y, Z accelerometers in m.s-2. */
```

```
} SbgLogMag;
```

```
/*!  
 *      Structure that stores data for the  
SBG_ECOM_LOG_MAG_ CALIB message.  
 */  
  
typedef struct _SbgLogMagCalib  
{  
    uint32  timeStamp; /*!< Time in us since the sensor power up. */  
    uint16  reserved;   /*!< Reserved for future use. */  
    uint8   magData[16]; /*!< Magnetometers calibration data. */  
} SbgLogMagCalib;
```

四、控制

图像导航控制算法设计

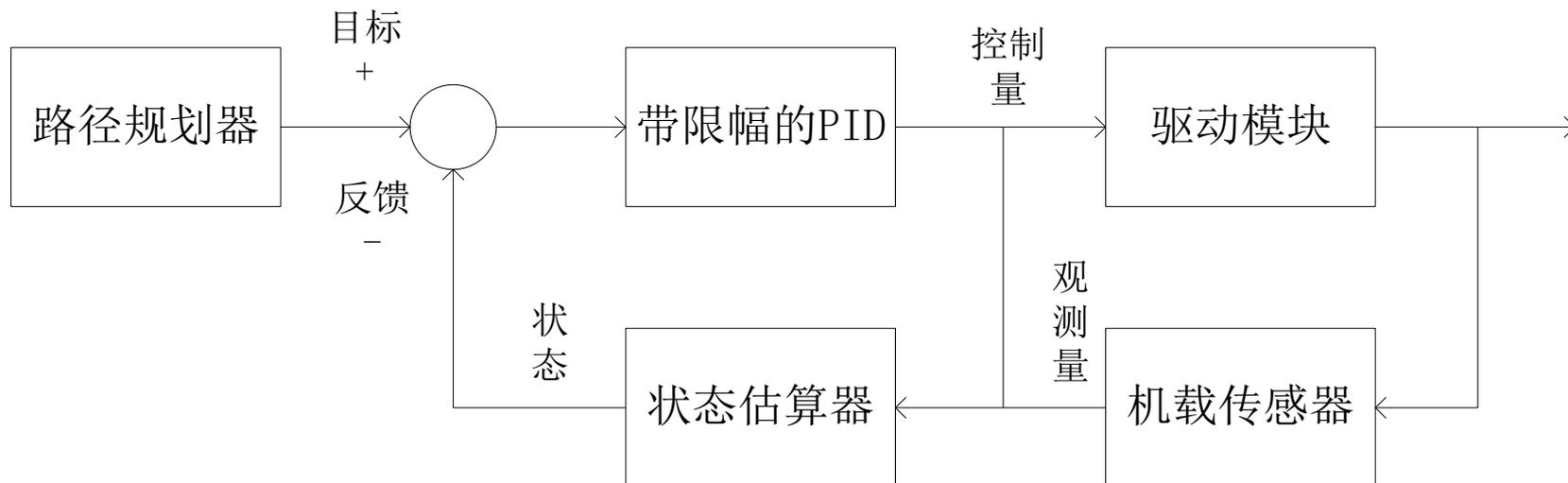
对实时采集到的图像进行处理，得到目标与背景较为清晰的图像，然后对其中区域选择两个最优特征点，根据质心算法得到其中心点，连接中心点算出其斜率，并与下一帧采集到的图像进行角度比较得到角度差即为所求转过的角度。

$$A_0(x_0, y_0) \quad B_0(x_1, y_1)$$

$$k_s = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}$$

$$\Delta\theta = \tan^{-1} k_g - \tan^{-1} k_s$$

控制系统结构

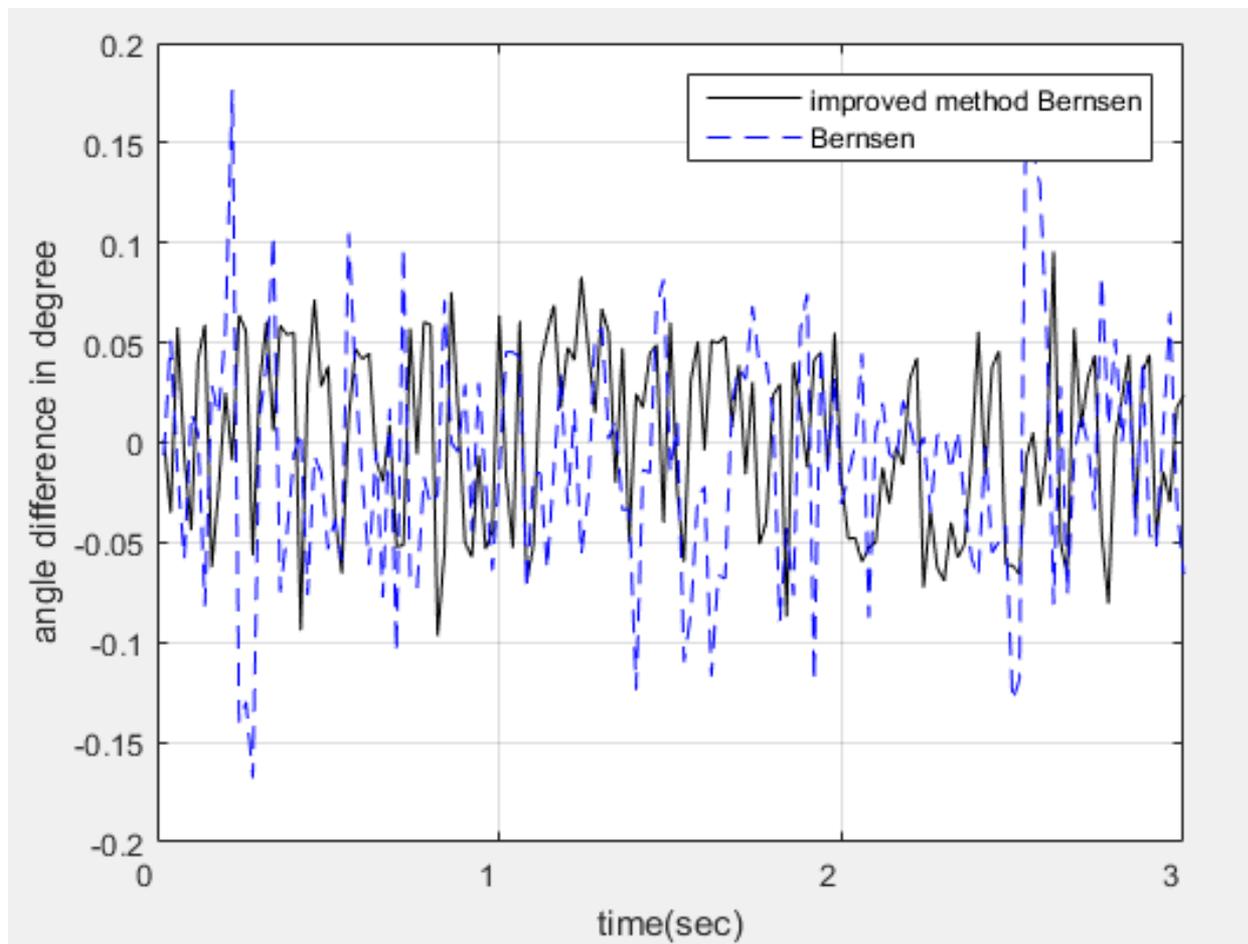


无人机控制器的输入量可以是地面站上规划的路径，其朝向的目标是在空间中的三维坐标及无人机的朝向。

将此数据作为控制器的输入，并把其与状态估算器得到的估量值作为误差，通过一个带限幅的PID控制器，产生的控制量传送至动力系统。



角度定点测量对比



低空定点测量角度对比

多传感器实验结果分析总结

通过实验结果分析，可以看出经CMOS图像传感器的动态航向检测角度偏差最大在 $\pm 3^\circ$ 左右，经过改进的图像处理算法后，其计算速度和处理后的图像效果都得到了一定的提升，能够很快的调整误差，在可接受的时间内达到 90° ，之后可以基本保持稳定。

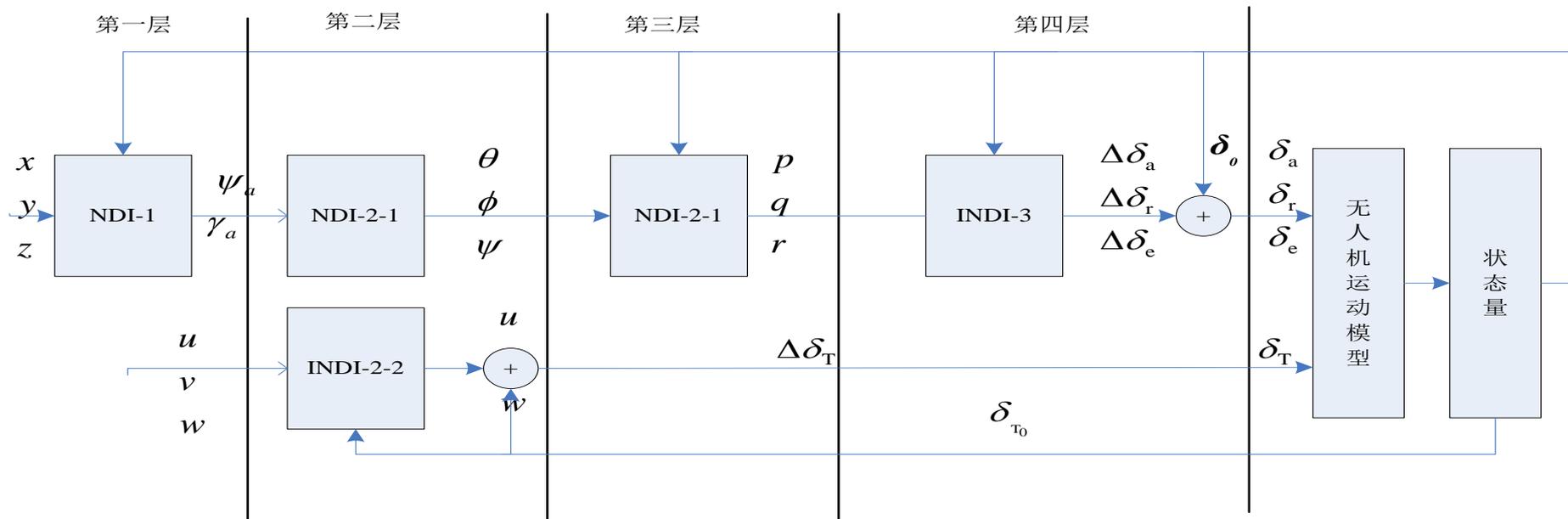
能得到较精确的航向姿态信息。在空中定点飞行时，能够保持较好的稳定性。惯性传感器受到干扰的情况下，依靠CMOS图像传感器的航向检测也能够正常完成任务，基本达到设计要求的实时性和实用性的目的。

四、控制

1、姿态控制算法研究

多层增量动态逆控制算法

提高实时性和姿态控制的鲁棒性



四、控制

PID

$$\text{pwm} = p * \Delta\Psi + \sum_{n=1}^k (i * \Delta\Psi) + d * \frac{d\Delta\Psi}{dt}$$

四、控制

PID,

线性二次调节器 (Linear Quadratic Regulator, LQR),

线性矩阵不等式控制 (Linear Matrix Inequality, LMI),

反馈线性化, 鲁棒控制, H_∞ , 滑模控制, 反步控制,

扩展观测器 (Extended State Observe, ESO),

模型预测控制器 (Model Predictive Control, MPC),

鲁棒扰动观测器 (Distubance Observer, DOB),

可加性分解动态逆 (Addictive State Decomposition, ASD, Dynamic Inversion),

非光滑控制, 终端模块控制, 神经网络, 模糊控制, 粒子群算法.

四、控制

2、两类路径跟踪控制算法。

基于几何运算方法

追踪法

视线法LOS

追踪视线法PLOS

非线性导航方法NLGL ...

基于控制理论方法

PID法

自适应控制法

模型预测控制MPC

线性二次调节器法LQR ...

总结:

为解决传统导航易受周围环境干扰的问题，提出了一种新的图像处理导航方法，基于**FPGA**硬件电路提高了图像处理速度。对无人机的航向进行图像导航控制。经过测试，达到了预期控制目的。

展望:

- 1、图像处理时，只考虑定点转向的情况，对飞行过程中复杂的高度变化和动态图像还需深入研究；对图像处理算法的改进处在预处理阶段，对复杂图像或背景与目标接近的图像还有待更深的研究。
- 2、姿态滤波的算法是基于机载系统姿态变换不大的情况。在其他条件下，需对原有的滤波算法进行大量实验，得到适用的滤波方法有待更深一步的研究。
- 3、飞控硬件根据任务需求，可以增加其他传感器，或搭载更先进的处理器满足图像处理的实时性要求。