

## 第三章 四桨碟形飞行器控制系统实现

### 3.1 控制率设计<sup>[15][22][16][17]</sup>

#### 3.1.1 PID 控制

将偏差的比例 (P)、积分 (I) 和微分 (D) 通过线性组合构成控制量, 用这一控制量对被控制对象进行控制, 这样的控制器称为 PID 控制器。

PID 控制器结构简单, 参数容易调整, 是控制系统中技术比较成熟, 而且应用最广泛的一种控制器。

早期的 PID 控制器通过硬件来实现, 称之为模拟 PID 控制器; 随着计算机的发展, 出现了数字 PID 控制器。数字 PID 控制器与模拟 PID 控制器相比, 具有非常强的灵活性, 可根据实验和经验在线调整参数, 因此可以得到更好的控制性能。本设计采用数字 PID 控制。

##### 3.1.1.1 数字 PID 控制算法

由于计算机控制是一种采样控制, 只能根据采样时刻的偏差值计算控制量, 而不能像模拟控制那样连续输出控制量, 因此必须对积分和微分进行离散化处理。离散化处理方法为: 以  $T$  作为采样周期,  $k$  作为采样序号, 则离散采样时间  $kT$  对应着连续时间  $t$ , 用求和的形式代替积分, 用增量的形式代替微分。

$$\Delta u_k = K_p(\Delta e_k + Ie_k + D\Delta^2 e_k) = K_p \Delta e_k + K_I e_k + K_D \Delta^2 e_k;$$

$$u_k = u_{k-1} + \Delta u_k;$$

式中:  $k$  为采样序号,  $k=0, 1, 2, \dots$ ;

$u_k$  为第  $k$  次采样时刻的计算机输出值;

$e_k$  为第  $k$  次采样时刻输入的偏差值;

$e_{k-1}$  为第  $k-1$  次采样时刻输入的偏差值;

$K_p$  为比例系数;

$K_I$  为积分系数,  $K_I = K_p I = K_p T / T_I$ ;

$K_D$  为微分系数,  $K_D = K_p D = K_p T_D / T$ ;

$$\Delta e_k = e_k - e_{k-1};$$

$$\Delta^2 e_k = e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2} = \Delta e_k - \Delta e_{k-1};$$

图 3-1 是 PID 算法程序框图。

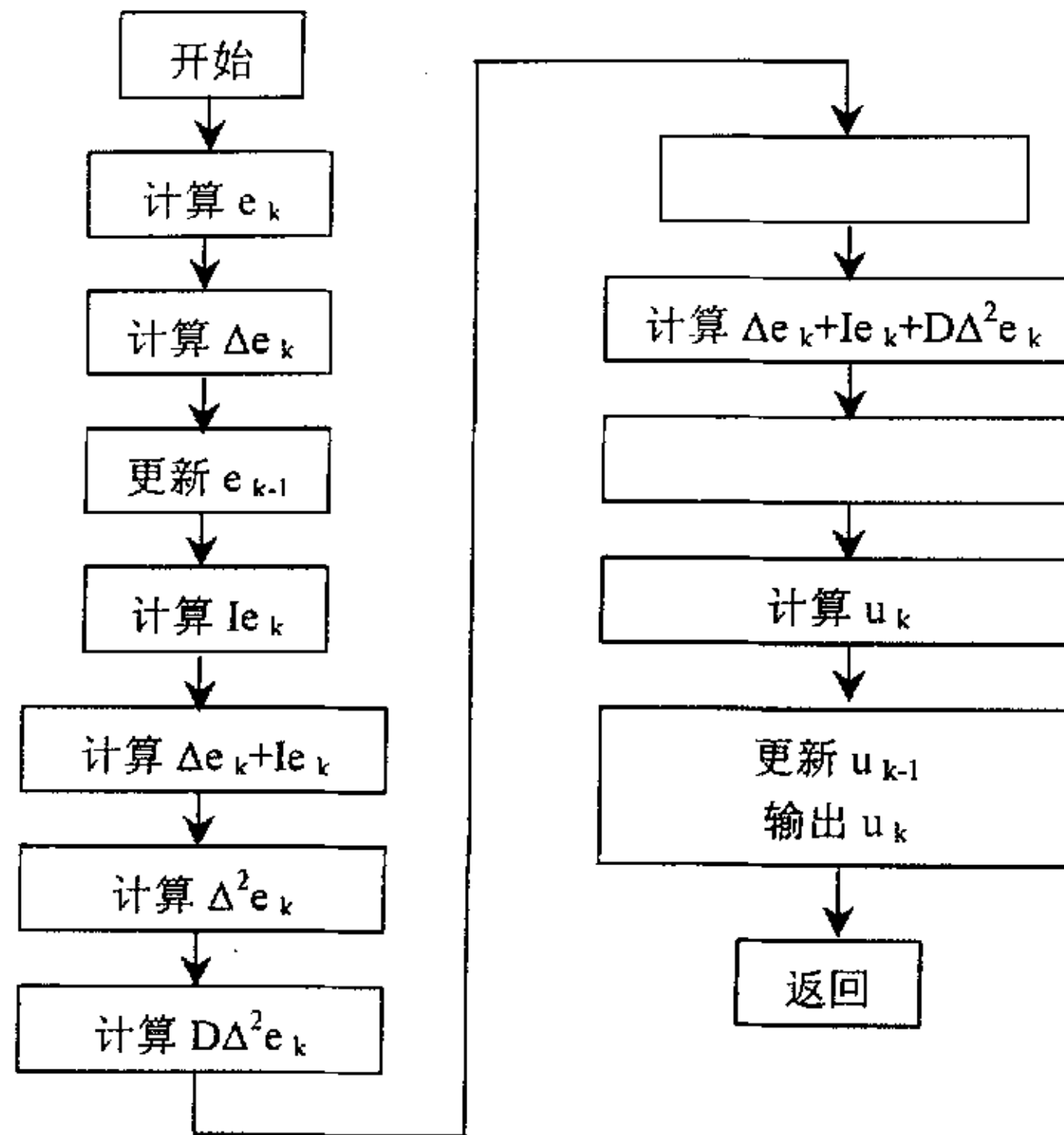


图 3-1 位置式 PID 控制算法程序框图

### 3.1.1.2 PID 设计

#### ● PITCH控制量:

$$\Delta_{\text{PITCH}} = K_p \Delta e_k + K_I e_k + K_D \Delta^2 e_k;$$

其中:  $k$ 为采样序号,  $k=0, 1, 2 \dots$ ;

$e_k$ 为PITCH参考量与传感器测量值之间的偏差;

$K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ 分别为比例系数、积分系数、微分系数;

$$e_k = \text{PITCH}_{\text{REF}} - \text{PITCH}_{\text{SENSOR}};$$

#### ● ROLL控制量:

$$\Delta_{\text{ROLL}} = K_p \Delta e_k + K_I e_k + K_D \Delta^2 e_k;$$

其中:  $k$ 为采样序号,  $k=0, 1, 2 \dots$ ;

$e_k$ 为ROLL参考量与传感器测量值之间的偏差;

$K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ 分别为比例系数、积分系数、微分系数;

$$e_k = \text{ROLL}_{\text{REF}} - \text{ROLL}_{\text{SENSOR}};$$

#### ● GYRO-X控制量:

$$\Delta_{\text{GYRO-X}} = K_p \Delta e_k + K_I e_k + K_D \Delta^2 e_k;$$

其中:  $k$ 为采样序号,  $k=0, 1, 2 \dots$ ;

$e_k$ 为GYRO-X参考量与传感器测量值之间的偏差;

$K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ 分别为比例系数、积分系数、微分系数;

$$e_k = (\text{GYRO-X})_{\text{REF}} - (\text{GYRO-X})_{\text{SENSOR}};$$

● GYRO-Y控制量:

$$\Delta_{\text{GYRO-Y}} = K_p \Delta e_k + K_I e_k + K_D \Delta^2 e_k;$$

其中:  $k$ 为采样序号,  $k=0, 1, 2 \dots$ ;

$e_k$ 为GYRO-Y参考量与传感器测量值之间的偏差;

$K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ 分别为比例系数、积分系数、微分系数;

$$e_k = (\text{GYRO-Y})_{\text{REF}} - (\text{GYRO-Y})_{\text{SENSOR}};$$

● GYRO-Z控制量:

$$\Delta_{\text{GYRO-Z}} = K_p \Delta e_k + K_I e_k + K_D \Delta^2 e_k;$$

其中:  $k$ 为采样序号,  $k=0, 1, 2 \dots$ ;

$e_k$ 为GYRO-Z参考量与传感器测量值之间的偏差;

$K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ 分别为比例系数、积分系数、微分系数;

$$e_k = (\text{GYRO-Z})_{\text{REF}} - (\text{GYRO-Z})_{\text{SENSOR}};$$

参数 $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ 的选择包括理论设计法和实验确定法, 理论设计法需要建立被控对象的数学模型, 实验确定法包括凑试法和经验法。

由于难以建立准确的数学模型, 也没有可借鉴的经验, 因此使用试凑法, 通过实验, 按照先比例——后积分——再微分的顺序来确定各控制参数。

PID控制具有结构简单、技术成熟等优点, 但单纯的PID控制难以满足复杂的控制系统的要求, 而且难以建模, 当飞行环境和参数改变时, 控制率要做相应的改变, 因此引入分段比例控制。

### 3.1.2 分段比例 PID 控制

● 确定输入输出量

输入变量:  $e_{\text{PITCH}}$ 、 $e_{\text{ROLL}}$ 、 $\Delta_{\text{PITCH}}$ 、 $\Delta_{\text{ROLL}}$ 、 $\Delta_{\text{GYRO-X}}$ 、 $\Delta_{\text{GYRO-Y}}$ 、 $\Delta_{\text{GYRO-Z}}$ 、 $\Delta_{\text{CHANNEL}[3]}$ 、 $\Delta_{\text{CHANNEL}[4]}$ ;

输出控制量:  $\Delta_{\text{CH}[1]}$ 、 $\Delta_{\text{CH}[2]}$ 、 $\Delta_{\text{CH}[3]}$ 、 $\Delta_{\text{CH}[4]}$ ;

其中:  $e_{\text{PITCH}}$ 为俯仰角偏差;

$e_{\text{ROLL}}$ 为滚转角偏差;

$\Delta_{\text{PITCH}}$ 、 $\Delta_{\text{ROLL}}$ 、 $\Delta_{\text{GYRO-X}}$ 、 $\Delta_{\text{GYRO-Y}}$ 、 $\Delta_{\text{GYRO-Z}}$ 分别为角度偏差  $e_{\text{PITCH}}$ 、 $e_{\text{ROLL}}$ ,

角速率 GYRO-X、GYRO-Y、GYRO-Z 的 PID 控制量;

$\Delta_{\text{CHANNEL}[3]}$ 、 $\Delta_{\text{CHANNEL}[4]}$ 分别为遥控器三通道和四通道的控制增量;

$\Delta_{\text{CH}[1]}$ 、 $\Delta_{\text{CH}[2]}$ 、 $\Delta_{\text{CH}[3]}$ 、 $\Delta_{\text{CH}[4]}$ 分别为右、前、后、左电机的 8 位精度控制增量;