横航向闭环控制

同学们好，今天我们来学习横航向闭环控制。（标题页）

根据飞机需要完成的任务以及要求的飞行品质，横航向自动器可以引入不同的指令。最常见的指令主要是倾斜角，偏航角，作为飞机的输入信号。响应的控制量主要为副翼偏角和方向舵偏角，作为飞机的控制信号。

保持无倾斜飞行的自动驾驶仪很早就采用了。这种自动驾驶仪实际上是一种比例控制，它的敏感元件是一个垂直陀螺。通过垂直陀螺感受倾斜角信号，输入舵机，偏转副翼，从而达到控制倾斜角的目的。右边就是它的结构图，根据结构图得到系统的传递函数，写成零极点的形式，可以发现有一对复数零点和三个极点，其中有两个实数极点和一对复数极点，分别对应横航向的螺旋模态，滚转模态和荷兰滚模态。根据零极点的分布，勾画系统的根轨迹图。可以发现，随着Kr的增加，螺旋模态特性得到改善，滚转模态衰减减慢，并且当值超过某一值后，螺旋模态和滚转模态耦合成一对复根。

为了进一步分析倾斜角控制的基本作用，根据零点和荷兰滚极点接近的特点，可以简化传递函数，约掉零点和荷兰滚极点。通常情况下，螺旋模态的极点值远远小于滚转模态的，所以可以把螺旋模态的极点值去掉，这样得到了一个非常简单的传递函数。此时当副翼以单位阶跃输入时，开环系统稳态时的倾斜角将变为无穷大，也就是说开环操纵时，副翼的操纵量detax与倾斜角gamma没有一一对应的关系。

如果将结构图进行等效变换，此时系统的闭环传递函数变为，如果仍以单位阶跃为输入，则闭合系统稳态时的倾斜角为kr分之一，可见，有了反馈控制后，对于常值副翼偏转，飞机将稳定在某一倾斜角上，改变了原来“角速度控制”的特性，变为了“角度控制”。当副翼偏转角为零时，飞机将稳定在无倾斜的位置上。如果飞机受到干扰倾斜到某个角度，它将能自动恢复到原来的无坡度状态，不需要飞行员干预。

为什么闭环系统具有角度控制的特性呢，我们来看，当飞机出现倾斜角扰动时，自动器将使副翼偏转，产生一个企图消除倾斜角的气动力矩，使得飞机具有类似静稳定的特性。

根据根轨迹图，发现引入比例控制后，虽然解决了倾斜角的控制问题，但是滚转模态特性变差，特别是kr增加到一定值后，滚转模态和螺旋模态还会耦合成衰减较慢、周期较长的振荡运动。这种特性是飞行员不欢迎的。所以在倾斜角控制的自动器中，很少采用单独的比例控制，要消除或减轻这种不利影响，可以在比例控制的基础上，加上微分信号，也就是滚转加速度信号。

下面我们看看偏航角的自动控制，共有三种方案，分别是方向舵控制，副翼控制以及方向舵和副翼协调控制。

最早的自动驾驶仪就是用方向舵来控制飞机的偏航角的。它的控制系统结构图如右图所示，可以得到方向舵的控制规律和传递函数，传递函数中的零值特征根就代表着偏航角模态。可见，如果没有偏航角反馈，偏航角运动模态是中立稳定的，飞机受扰动后，不能恢复原来的偏航角。引入偏航角反馈后，它的根轨迹图如图所示，可以发现此时零值极点很快与螺旋模态耦合成一对复根，系统偏航角运动模态由中立稳定变为稳定，偏航角控制的目的也就达到。

从图中还可看出，采用上述控制，荷兰滚模态和滚转模态特性都要变差。为了克服这些缺点，可以在比例控制的基础上，加上偏航角的微分控制信号。

除了用方向舵控制偏航角外，也可以用副翼来执行偏航角控制的任务。

对用副翼控制偏航角来说，最简单的仍然是比例控制，根据系统的结构图得到控制律和传递函数，可以发现用副翼控制也能使飞机的偏航角运动模态由中立稳定变成稳定，从而达到控制偏航角的目的。但是，滚转模态和荷兰滚模态的模态特性会变差，特别是对荷兰滚模态影响更大。为了克服这个缺点，与方向舵控制相仿，也要引入微分信号。

另外，偏航角控制还可以用副翼和方向舵协调控制来完成的，这种双通道同时工作的理论分析比较复杂，这里暂时不进行分析。

好，今天的课就讲到这里，再见。