

飞控系统功能重构技术研究

王少萍 李沛琼 裴 英

(北京航空航天大学自动控制系, 北京, 100083)

STUDY ON FUNCTION RECONFIGURATION OF FLIGHT CONTROL SYSTEMS

Wang Shaoping, Li Peiqiong, Pei Ying

(Automatic Control Department, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing, 100083)

摘 要 探讨了执行机构在“有效资源永不放弃”原则下所采用的功能重构方法。采用伪逆法针对飞控系统操纵面损坏故障进行了功能重构研究,通过仿真证明该重构方法的有效性。

关键词 功能重构 伪逆法 飞控系统

中图分类号 V249

Abstract This paper provides a function reconfiguration method. Under the rule of "effective source never give up", this paper proposes a function reconfiguration method for actuators. The pseudo-inverse method is applied to investigate the function reconfiguration for the rudder fault mode of a flight control system. The simulation results indicate that the method is effective.

Key words function reconfiguration, pseudo-inverse method, flight control systems

1 功能重构技术

系统故障时,使系统转入新工作结构而采用的管理措施称为重构^[1]。它充分利用系统的信号与资源,达到安全可靠的目的,完成系统规定的任务。一般飞行控制系统主要由传感器、计算机、执行机构 3 大部分组成。不同的部件故障时,采取不同的重构方法。由于飞机的操纵面不能设置多余度,目前采用功能重构的方法,即利用飞行控制系统各个操纵面之间的空气动力学关系,当一个操纵面故障后,可改变控制律,重新分配控制指令,利用其它操纵面来实现它的功能。虽然某个操纵面只是单余度,但操纵面的不同组合则可能产生不同的操纵作用。近代先进飞机都采取了多操纵面的不同组合来提高飞机的容错能力。

2 伪逆法进行功能重构的原理

伪逆法的基本思想就是在控制律输出和执行机构之间增加了一个控制混合器^[2],如图 1 所示。在正常情况下,控制混合器矩阵是单位矩阵,即 $K_0 = I$,一旦操纵面发生故障,就应该调整控制混合器中各元素的值,将失效操纵面的力和力矩重新分配到剩余正常的操纵面。由此可见,控制混合器的作用就是在故障条件下实现控制效果的再分配。

操纵面损坏造成的直接影响是改变飞机操纵面的偏转指令,而伪逆法重构最根本的思想是使得飞机总体的控制输入基本不变。其具体做法如下:

设正常的飞机方程为

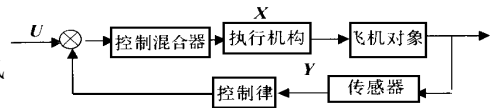


图 1 加入控制混合器的控制系统

$$\dot{\hat{X}}(t) = AX(t) + B_0K_0u(t) \quad (1)$$

操纵面损坏故障飞机方程为

$$\dot{\hat{X}}(t) = AX(t) + B_1K_1 - Iu(t) \quad (2)$$

式中: $X(t)$ 为飞机的状态向量, $n \times 1$ 维; A 为 $n \times n$ 方阵; $u(t)$ 为飞行员指令或飞行控制系统指令的向量; B_0 为正常飞机的控制矩阵; K_0 为正常飞机的控制混合器的增益矩阵, B_1 为操纵面损坏飞机的控制矩阵; K_1 为操纵面损坏飞机的控制混合器的增益矩阵。

在操纵面故障模式下, 操纵面故障后并不对飞机产生附加的不期望的指令, 对飞机的控制输入为零, 为了保证飞机在故障的情况下具有相同的动态特性, 必须满足

$$B_0K_0 = B_1K_1 \quad (3)$$

从上式中可解出 K_1 , 分以下 3 种情况:

¹ $m = n$, B_1 是奇异矩阵, 则

$$K_1 = B_1^{-1}B_0K_0 \quad (4)$$

⁰ $m < n$, B_1 是 $n \times m$ 维矩阵, 其秩为 m , 则

$$K_1 = (B_1^T B_1)^{-1} B_1^T B_0 K_0 \quad (5)$$

» $m > n$, 则

$$K_1 = B_1^T (B_1 B_1^T)^{-1} B_0 K_0 \quad (6)$$

不同的故障模式, 根据伪逆法可以求出不同的 K_1 矩阵。当飞控系统通过故障检测发现了某种故障模式, 系统就可以自动切换到事先设计好的控制混合器上, 以实现功能重构。

选某三轴电传验证机为研究对象, 可用的操纵面有 7 个: 左右平尾、左右副翼、左右机动襟副翼以及方向舵。在对飞机的功能重构方案研究时, 认为左右平尾、左右副翼都是独立的操纵面, 在必要时, 还可以利用左右机动襟副翼对飞机进行操纵。当平尾一侧损坏时, 采用 2 种重构处理方式设计控制混合器:¹ 仅考虑副翼重构;⁰ 不仅考虑副翼, 而且考虑机动襟副翼的重构。

图 2 为平尾损坏条件下飞机的响应曲线, 其中: a 为正常条件下响应曲线; b 为只利用副翼进行重构的响应曲线; c 为利用机动襟副翼和副翼进行重构的响应曲线。

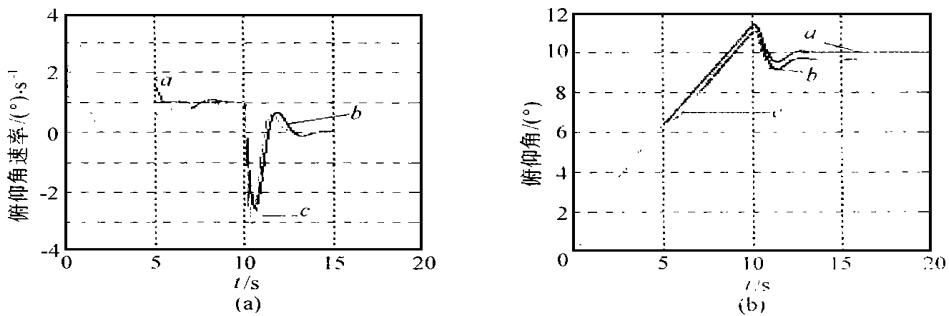


图 2 平尾损坏时加入俯仰指令纵向响应曲线

3 结论

由仿真曲线可以看出, 用伪逆法设计的重构方案是成功的。在飞机加入小指令时, 当舵面损坏时经过故障检测再加入事先设计好的混合器, 纵向俯仰角速率响应能快速地跟踪正

常情况下的响应。虽然俯仰角存在一定的静差,系统此时已将故障补偿,只需要再加入一定的控制指令消除静差即可。另外,从控制过程中副翼的偏角可以看出加入机动襟副翼作用时,要比仅采用副翼重构的过程曲线更平滑,过程控制效果要好一些。

参 考 文 献

- 1 Raza S J, Silverthorn J T. Use of pseudo-inverse for design of control systems. AIAA-85-1900, 1985. 185~196
- 2 裴英. 系统重构应用理论研究:[学位论文]. 北京:北京航空航天大学, 1998