

浅谈现代飞机控制系统的重构控制

王 涛

(中国国际航空股份有限公司 西南分公司飞行部一大队五中队, 四川 成都 610202)

摘 要 当前我国空中交通变得日益繁忙, 减小飞机的事故发生, 提高飞机的安全性和可靠性变得非常重要, 研究飞机的安全性和可靠性的一个重要领域就是飞机控制系统的重构技术。飞机控制系统的重构控制技术研究最开始主要集中在飞机线性化模型在小扰动背景下的重构控制规律的设计探究, 而飞机控制系统的重构技术能够减小飞机控制系统硬件余度的依赖, 允许飞机在发生大范围故障或者战斗过程中损伤时依然能够完成飞行任务, 其飞行性能并不受到多大影响。因此, 研究飞机控制系统的重构技术是当前飞行器综合设计领域中的一项热门专题。

关键词 飞机 控制系统 重构控制

中图分类号: TM91

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)01-0001-03

1 前言

当前我国空中交通变得日益繁忙, 减小飞机的事故发生, 提高飞机的安全性和可靠性变得非常重要, 研究飞机的安全性和可靠性的一个重要领域就是飞机控制系统的重构技术^[1](如图1所示飞机控制系统)。该技术是运用一种主动容错控制技术, 能够在系统中各个部件故障或遭遇意外损伤时对故障进行检测和辨识, 适时改变控制器参数或者结构, 实现系统重构或重建, 让飞行器能适应故障或者特殊任务环境, 有效确保系统安全性与维持飞机一定的操纵品质^[2]。所以, 飞机控制系统的重构技术能够减小飞机控制系统硬件余度的依赖, 允许飞机在发生大范围故障或者战斗过程中损伤时依然能够完成飞行任务, 其飞行性能并不受到多大影响^[3]。因此, 研究飞机控制系统的重构技术是当前飞行器综合设计领域中的一项热门专题。

2 飞机控制系统的重构控制技术的发展现状

飞机控制系统的重构控制技术研究由来已久, 最开始集中在飞机线性化模型方面的探究, 尤其是小扰动背景下关于重构控制方式的设计探究, 并没有一个明确概念, 也只是由美国国家航空宇航局(该单位的英文缩写: NASA)简单的提出^[4]。到1988年, 美国ACC在“飞机重构控制”方面开设了一个专门研究栏目, 专门探究线性系统中存在的一系列故障重构问题现象(如图2所示飞机重构飞行控制方法)。次年, Napolitano等研究员提出了飞机控制的重构技术, 并得到了非常著名的算法, 即飞机控制的重构算法, 该算法主要采用的是多模态卡尔曼滤波器来计算飞机在某一零件损坏情况下的线性动力学模型, 以此建立起飞行控制的重构算法^[5]。随着研究的不断深入, 飞机控制系统的重构控制技术的研究领域变得更宽广, 包括研究飞机强耦合性、非线性、时变性等方面的系统探究, 飞控系统的自适应能力(飞控重构技术的智能化), 以及以后重构控制算

法与增益调节控制律的聚集, 还会出现运用潜力与适应灵活性的飞机控制系统的重构控制技术。

3 飞机控制系统的重构控制技术分析

3.1 伪逆法

当前, 伪逆法可以说是非常重要的一种方法, 该方法是一种使用飞机飞行的故障信息动态调整改变系统的反馈控制增益, 重构系统以后可以使得飞机处于更加趋于正常状态完成飞行控制, 同时该方法又被称为伪逆法, 因为在原系统的导进阵前要乘以一个伪逆阵, 因此叫做伪逆法^[6]。伪逆法重构方案的目标是按照已有的正常状况下控制输入与控制输入矩阵是 $U_0 B_0$, 故障下控制输入与控制输入矩阵是 $U_g B_g$ 。计算获得 U_g 让发生故障前后的输入输出特性没改变, 也就是 $U_g B_g \approx U_0 B_0$ 。那么要让故障后的控制效果和正常情况的控制效果一样, 伪逆控制输入:

$$U_g = B_g^+ B_0 U_0 = B_g^+ B_0 K_0 X$$

公式中: $B_g^+ = B_g^+ B_0 B_g^T$, 由于 $U_g = -K_g X$

其中 $u \in R^n$, $k_g = B_g^+ B_0 K_0$ 是飞行器故障以后的控制混合器反馈增益矩阵, B_g^+ 是 B_g 的伪逆矩阵, K_0 是正常情况下的反馈增益矩阵。

随着飞行器的增多, 故障的出现频繁, 伪逆法已经成为一类十分常用的重构控制方法, 其优点是算法单一, 操作简单方便, 从而在实验室研究, 理论探究、飞行实际探究中获得了广泛采用(如图3所示飞机飞行操纵面)。例如: 飞机的飞控系统操纵面发生故障, 通常是损坏故障现象, 就可以采用飞机飞行的故障信息动态进行实际操作, 将系统的反馈控制增益进行改变, 当系统故障信息得以重构后就会拥有一个可以趋于正常情况飞行下的一种性能, 从而达到对飞行器的飞行控制^[7]。伪逆法还有一个优点就是在重构办法中飞行控制律无需改变, 只需要导入一个“控制混合

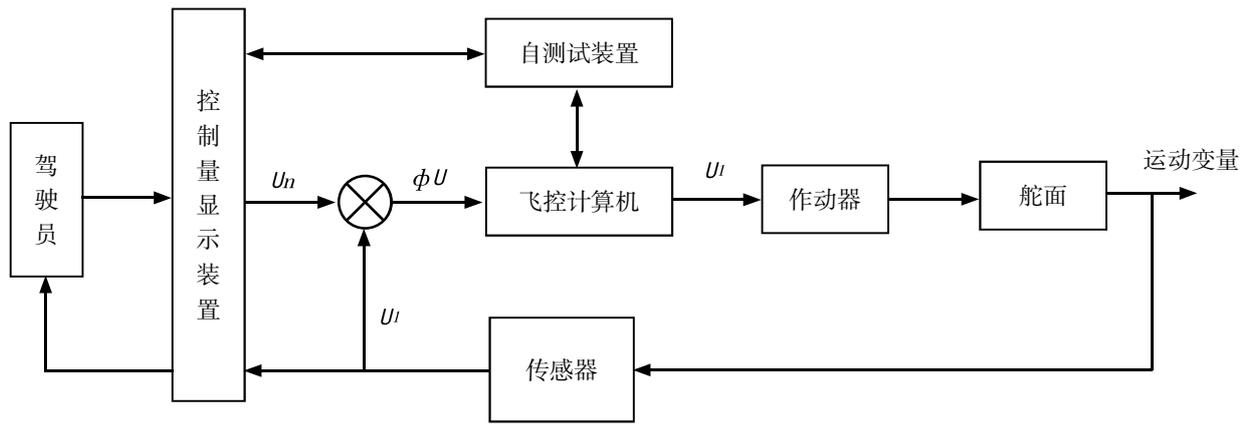


图1 飞机控制系统

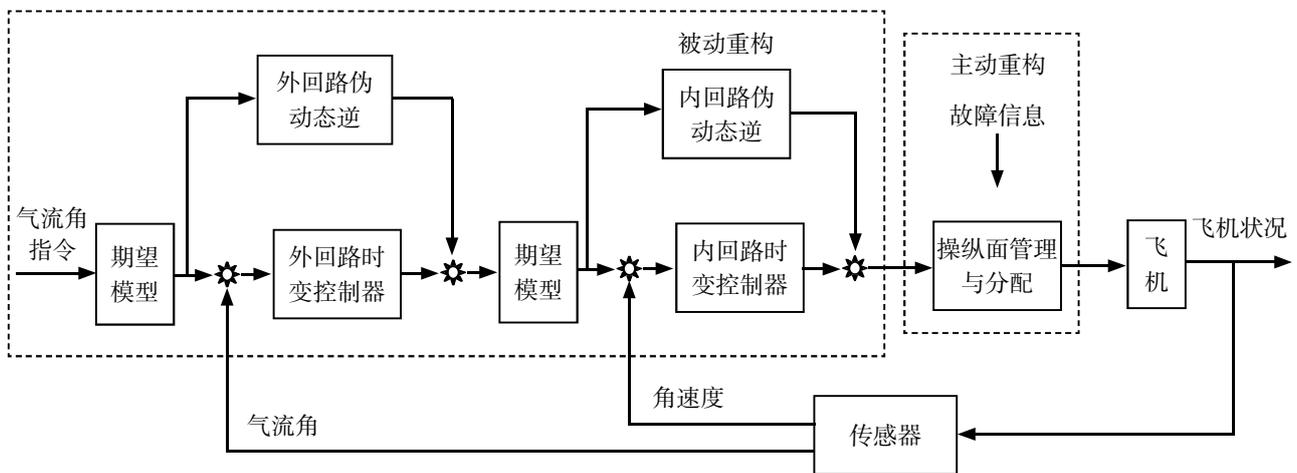


图2 飞机重构飞行控制方法

器”就能解决问题。引入控制混合器是在飞机飞行中就可以按照各类故障情况切换到各类工作模式，不过控制混合器的设定要注意，必须在已经离线状况进行设计完成。

3.2 多模型自适应法

多模型自适应控制器是利用多类型各式样模型建立的模型集覆盖系统参数改变的存在范围，并且每个模型单独设计了控制器，并按照一定的切换方式方法选取最好控制器实施控制，但是在当前的技术条件下，飞行控制系统的整体鲁棒性没有一种方法进行真实有效的评定^[8]。多模型自适应法是采用一种有限集假如作为基础，并且在这有限集中能够完整刻画飞行控制系统造成的不同坏损情况，而且该控制系统中还建立了许多坏损辨识模型与相应的控制器，控制器能让有关的辨识模型范围中全面大的集合内鲁棒，这样会让集合彼此能彼交迭，重构控制设计解自然就会存在其中。该方法主要用到飞行器执行机构坏损以及功能缺失问题上，同时所有飞行控制重构系统中出现损伤模型时，

该系统还能完成相关的观测器建立，飞行器在运行时，多模型自适应控制器还能实时的探寻最接近目前真实情况的模型，然后转换进相适宜的控制器，也更好的适应各种故障环境问题。

3.3 无需故障信息的方法

无需故障信息的方法主要是直接自适应法，还有关于神经网络自适应重构控制等各种类型方法。直接自适应法是比较常见的方法，根据直接自适应控制方法的应用环境，采用各种构造技术，让发生故障后的飞机可以达到正实性的条件。自适应调节机制有个明显的作用，就是可以用故障飞机跟随参考模型的输出实现重构系统的稳定。该方法具有有效性，可以在某一特定的限制环境下实施进行。其次是神经网络自适应重构控制方法，该方法是采用非线性飞行控制系统，通过该系统故障的点位与大小都无需提前获知，系统的参数更不需要分析辨别，就能完成精准跟踪参考模型的输出。该方法的缺点就是控制系统的稳固性、

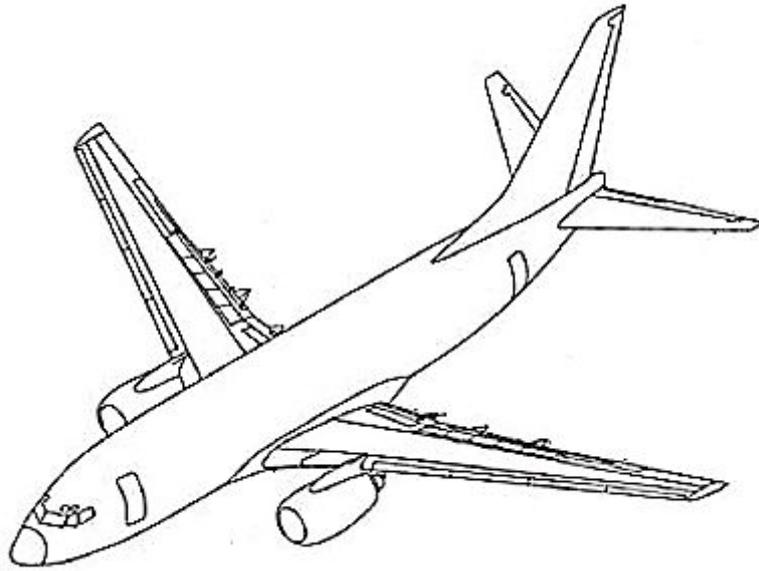


图3 飞机飞行操纵面

收敛性无法在重构控制律以后进行评价认定。

4 结语

针对空中飞机事故发生问题,本文探讨了关于飞机一个重要领域就是飞机控制系统的重构技术,该技术作为一种主动容错控制技术,能够在系统中各个部件故障或遭遇意外损伤时对故障进行检测和辨识,适时改变控制器参数或者结构,实现系统重构或重建,让飞行器能适应故障或者特殊任务环境,有效确保系统安全性与维持飞机一定的操纵品质。但是当飞行技术的研究不断深入,飞机控制系统的重构控制技术的研究领域摄入到飞机强耦合性、非线性、时变性等方面的系统探究,飞控系统的自适应能力(飞控重构技术的智能化),以及以后重构控制算法与增益调节控制律的聚集。文章在接下来也进行深入的探讨了这几种技术,其中伪逆法可以说是非常重要的一种方法,优点是算法单一,操作简单方便,在重构办法中飞行控制律无需改变,只需要导入一个“控制混合器”就能解决问题。从而在实验室研究,理论探究、飞行实际探究中获得了广泛采用。其次比较重要的是多模型自适应法,多模型自适应法是在这有限集中能够完整刻画飞行控制系统造成的不同坏损情况,而且该控制系统中还建立了许多坏损辨识模型与相应的控制器,控制器能让有关的辨识模型范围中全面大的集合内鲁棒,这样会让集合彼此能彼交迭,重构控制设计解自然就会存在其中。最后是无需故障信息的方法,该方法有有效性,可以在某一特定的限制环境下实施进行,不足就是控制系统的稳固性、收敛性无法在重构控制律以后进行评价认定。因此探讨机控制系统的重构技术,其目

的是能够减小飞机控制系统硬件余度的依赖,允许飞机在发生大范围故障或者战斗过程中损伤时依然能够完成飞行任务,其飞行性能并不受到多大影响。

参考文献:

- [1] 李艺海,巩鹏潇,方自力.某型机飞控系统“双通道故障”、俯仰方向振荡问题分析与定位研究[J].科技创新与应用,2020(24):57-58,61.
- [2] 郭俊俏,喻松.电传飞控系统的综合控制台方案[J].中国科技信息,2019(10):50-51.
- [3] 王民,张新珂,冯军克,曾柯.某型飞机飞控系统自检不通过故障分析[J].航空维修与工程,2019(06):76-78.
- [4] 雷鸣,卢晓东,霍幸莉.飞机颤振试飞操纵面脉冲激励响应仿真方法研究[J].装备环境工程,2020(09):48-53.
- [5] 刘艳,高正红.基于性能需求的战斗机操纵面优先级评估模型[J].飞行力学,2018(04):6-10.
- [6] 易坚,陈勇,董新民,支健辉,刘棕成.多操纵面飞机交叉耦合鲁棒控制分配策略[J].控制与决策,2017(01):171-175.
- [7] 温博文,董文瀚,解武杰,马骏.深度自编码观测器飞机操纵面快速故障诊断[J].飞行力学,2016(06):34-38,44.
- [8] 刘棕成,陈勇,董新民,薛建平,程建锋,王族统.含执行器非线性的多操纵面飞机自适应跟踪控制[J].系统工程与电子技术,2017(02):383-390.