

数控系统传感器故障检测隔离及适应技术

南京航空航天大学 杨蔚华* * 盛 雯 孙健国

【摘要】 介绍一种发动机传感器故障的检测、隔离及适应方法,并给出某型涡轴发动机的数字仿真实例,说明该方法的有效性和实用性。

主题词: 航空发动机 传感器 故障检测

分类号: TP277

1 引 言

发动机传感器工作于高温强振动环境中,是系统极不可靠的元件之一,为提高发动机数控系统可靠性,有必要对传感器故障进行检测、隔离与适应^[1,2]。本文以某型涡轴发动机为对象,而且能产生故障传感器测量值的最优估计。从而提高了发动机控制系统的可靠性。该方法不仅能检测单一传感器故障,对多个传感器故障也能提供解析余度。

2 故障检测隔离及适应的工作原理

(1) 初始化

在数字仿真中,首先初始化发动机和发动机模型使两者达到预定的稳定状态,以消除传感器惯性环节的影响,从而避免在初始状态发生误报警。

(2) 计算一次通过部件级模型产生最优估计值

部件模型输入参数依然是发动机工作环境参数(高度 H 与马赫数 Ma)、燃油量 W_f 、负载力矩 Q_f 等,所不同的是,此时部件级模型接受卡尔曼滤波方程的最优状态估计(N_g 、 N_p 和 T_{45})作为计算起点,并利用已经修正的初猜值(P_k 、 P_g 和 P_p)计算发动机各截面参数,这样以最优估计值为部件级模型的基点,同时初猜值也是在最优估计的基础上修正得到的,正是由于采取了以上修正方法才使得部件级模型不需多次迭代,而只要经过一步计算就使其更接近于实际发动机的真实值,从而跟踪实际发动机。由此可以看到,在迫使模型跟踪实际发动机的过程中未对模型参数做任何修正,只修正计算初始点和初猜值。这样,经修正的部件级模型的输出,可以认为是发动机的最优输出估计值。

(3) 产生残差向量

利用部件级模型计算出的最优估计值与实际发动机传感器测量值相比较,产生残差向量 N 即: $N = N_g - N_g^d$, $N = N_p - N_p^d$, $N = T_{45} - T_{45}^d$, $N = P_{s3} - P_{s3}^d$, $N = [N, N, N, N]^T$ 。其中: N_g 、 N_p 、 T_{45} 和 P_{s3} 分别为发动机燃气发生器转速、功率涡轮转速、燃气发生器出口总温、压气机出口总压的传感器测量值。 N_g^d 、 N_p^d 、 T_{45}^d 和 P_{s3}^d 分别为相应部件级模型最优估计值。该残差向量 N 将用

于检测故障及卡尔曼滤波。

(4) 故障检测与隔离

将上一步产生的残差向量 N 与事先已确定好的各传感器的阈值 U 相比较, 若残差均小于阈值, 说明传感器工作正常; 若残差中任何一个 N 大于阈值 U , 则认为第 i 个传感器故障, 这样不仅能够对故障进行检测, 同时也能够立即知道是哪一个传感器发生了故障, 对故障进行隔离。阈值的选取按实际涡轴发动机传感器故障时经验值选定。若有传感器出现故障, 则作以下工作。

(5) 故障适应及产生有效输出

当传感器发生故障, 并找出故障传感器后, 在数控系统中, 就不能再使用故障传感器的测量值, 而用相应的部件级模型的最优估计取代故障传感器测量值, 作为整个检测系统的有效输出。

(6) 置残差 N 为零

当第 i 个传感器发生故障后, 相应的输出由模型的估计值代替, 这样应使故障传感器不再与数控系统相联系, 也就是说, 将与故障传感器相对应的残差置零, 同时将卡尔曼最优滤波型方程中 C 阵相应的行置零, 这样, 不仅使之与数控系统相隔离, 同时, 也使得该故障信号不再作用于卡尔曼最优滤波方程。对于未发生故障的传感器或者故障适应之后, 做以下工作。

(7) 将有效输出用于数控系统

对于未发生故障的传感器, 仍然使用传感器的测量值作为有效输出, 使之用于数控系统, 而对于故障传感器, 如前所述, 用部件级模型的最优估计值作为有效输出, 以保证数控系统仍能安全工作。

(8) 积分卡尔曼最优滤波方程

含噪声的状态方程模型如下两式: $DX^a = ADX + BDU + DW$, $DY = CIX + DDU + DV$ 。其中: DW 为过程噪声, DV 为测量噪声, 且均假设为零均值白噪声; DX 为 $[N_g \ N_p \ T_{4a}]^T$, DY 是输出量为 $[N_g \ N_p \ T_{4a} \ P_{3s}]^T$, DU 是控制量为供油量。根据卡尔曼最优滤波理论得到最优估计方程: $\hat{DX}^a = ADX^d + K(DY - CIX^d)$ 。其中, K 为卡尔曼增益阵。

积分 $DX^a = ADX + BDU + DW$ 得到状态量的最优估计值。利用此最优估计值对部件级模型加以修正, 具体是当部件级模型没有跟踪上实际发动机时, 放弃部件级模型自身所计算的状态, 而迫使部件级模型到达最优估计值所示状态, 在此基础上再对实际发动机进行跟踪, 由于此时是以最优估计值为计算基点, 因而能够更接近实际发动机真实值。由此可见, 修正是否更精确, 不仅依赖于卡尔曼滤波的最优估计值, 也取决于部件级模型本身。在对计算初值加以修正的基础上, 本文对部件级模型的初猜值进一步加以修正, 使之能更好地跟踪实际发动机。

(9) 修正初猜值

为了产生更接近于实际发动机的最优估计, 以代替故障传感器测量值, 提高部件级模型本身的计算准确性, 对部件级模型的初猜值进一步加以修正。在部件级模型的计算中, 根据部件的气动热力学特性计算发动机各截面参数, 最终归结为解一个三元非线性方程组, 选压比为初猜值, 则上述方程组可表示为: $\Delta g_i(P_k, P_g, P_p) = E$ 。在非实时部件级模型中, 利用 Newton-Raphson 法解上述非线性方程组是个多次迭代过程, 经多次迭代, 求得上述方程组的近似解, 而在实时部件级模型不允许反复迭代, 只能一次通过求解, 同时又要保证部件级模型能更好地

跟踪发动机, 这里利用卡尔曼最优状态估计对部件级模型的基准值进行修正, 从而也对(“E)加以修正, 进而对初猜值进行了修正, 经修正后的初猜值更接近方程组的解, 在此基础上计算部件级模型, 即使不迭代, 也能使部件级模型跟踪实际发动机真实值。

3 数字仿真实例

由以上故障检测、隔离与适应系统的工作原理, 可以看到, 其核心部分是部件级模型和基于卡尔曼滤波理论的最优滤波方程, 最优估计值不仅作为故障传感器的替代值, 而且不断地为部件级模型提供更接近于实际发动机真实的基准点, 使部件级模型更好地跟踪实际发动机, 而不必修正模

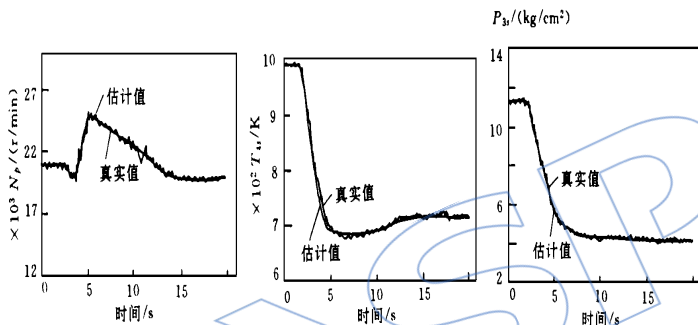
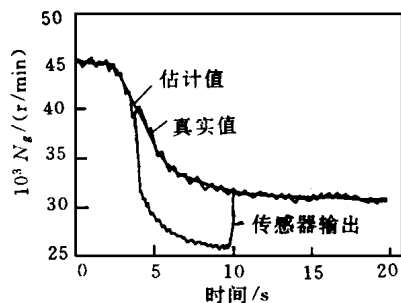


图 1 过渡过程 N_g 故障仿真曲线

型参数。图 1 是某涡轴发动机采用上面介绍的方法, 进行传感器故障检测、隔离及适应的数字仿真例子。效果是令人满意的。

参 考 文 献

- 1 Alan D Pisano. Failure Indication and Corrective Action for Turboshaft Engines. Helicopter Propulsion System Specialist's Meeting, 1979
- 2 Luppold R H, Roman J R. Estimating In- Flight Engine Performance Variations Using Kalman Filter Concepts. AIAA-89- 2584

(责任编辑 王庆康)

FAILURE DETECTION ISOLATION AND ACCOMODATION OF SENSORS FOR ENGINE CONTROL SYSTEM

Yang Weihua, Sheng Wen, Sun Jianguo

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

ABSTRACT

A method of failure detection, isolation and accomodation for engine sensors is presented. The method is based on engine component level nonlinear model and extended Kalman filter to obtain optimal estimation values of failed sensors and calculation references of the engine model. This makes engine model adapt to the actual engine perfectly and provides analytical redundancy for the failed sensors. In this case, the reliability of the engine control system is enhanced greatly. A numerical digital simulation of a given turboshaft engine has been accomplished. The results prove the effectiveness and practicability of the present method.

Key Words Aircraft engines Failure detection Sensors

AN EXPERIMENTAL STUDY ON A LOBED NOZZLE OF AN INFRARED SUPPRESSION SYSTEM

Zhang Jingzhou, Li Ligao, Gao Chao, He Wenbing

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

ABSTRACT

An experimental study on the lobed nozzle of an infrared suppression system has been carried out at the low-speed wind tunnel with the electrical heater. The total temperature distribution at mixing flow exit and the temperature distribution on mixing duct and sheltering sheath were measured under different mass flow ratios of secondary stream to primary stream and different distances of the mixing duct from the sheltering sheath. The results show that ambient air mixing plays a dual role for reducing the exhaust temperature and mixing duct temperature. Sheltering from the hot wall makes the sheltering sheath temperature close to ambient temperature in case of the sheltering distance greater than 20 mm. Simultaneously, the plume irradiance and total radiation intensity for a typical lobed nozzle of an infrared suppression system were also measured to evaluate the infrared suppression effect. The data indicate that it does significantly reduce infrared radiation signature.

Key Words Nozzles Infrared radiation Suppression