

评“用卡尔曼滤波方法确定再入体空气动力系数”

中国气动研究与发展中心 蔡金狮

在最近的《航空学报》第3卷第3期中，江权伟等同志提出在没有轨道观测数据的情况下，仅凭借飞行器上过载和角速率测量数据，确定再入体空气动力系数的卡尔曼滤波方法。对此我提出不同看法与江权伟等同志共商榷。我认为：该文所建立的确定气动系数的数学模型是不可辨识的；在没有轨道观测数据，仅依靠过载和角速率测量数据的情况下，只能确定再入体气动系数的比值，而不能准确地确定气动系数。

系统辨识理论告诉我们，对于一个系统辨识的数学模型，如果从参数空间至模型输入-输出空间的映象是一一对应的，这种模型就可辨识。如果对某系统辨识的数学模型，有多个不同的参数组对应于同一个输入-输出关系，则此模型是不可辨识的。

该文的系统辨识数学模型的参数空间由待估值的气动力系数 C 和状态变量初始值 (X_0, H_0) 组成。舵偏角 δ 为已知，是系统输入。因该模型仅凭借过载和角速率进行辨识，所以系统的输出为 $(\tilde{N}_x, \tilde{N}_y, \tilde{N}_z, p, q, r)$ 。容易证明。

对该系统，参数空间的数组 $A(C, X_0, H_0)$ 和数据 $B(C \exp(\Delta H_0/k_0), X_0, H_0 + \Delta H_0)$ 对应于相同的输入-输出关系，因此系统的参数组不可辨识。

仅凭过载和角速率数据不能确定气动系数是有其物理意义的。飞行器运动是由作用于飞行器上的力和力矩所决定；而飞行器运动参数——过载和角速率也可以反过来确定飞行器上的力和力矩。但是气动力和力矩是气动系数和动压 Q 乘积的函数。对于具有相同初始状态的飞行器，不同的气动系数，只要它与动压的乘积相等，就会有相同的气动力和力矩，从而有相同的过载和角速率。因此仅凭过载和角速率，如果没有附加新的信息将动压分离出，就无法确定气动系数。这是事物的物理本质，是不能通过数学方法(如卡尔曼滤波)来解决的。

仅凭过载和角速率数据，只能确定飞行器气动系数的比值，当然如能确定某一气动系数，也就可以确定其它气动系数。

由该文(9)式可得：

$$Q = (\tilde{N}_{xg} + X_1 m(g^2 + r^2)) / (c_{x_0} s) \equiv (N_x g) / (c_{x_0} s)$$

将上式代入该文(8)、(9)两式，可得新的状态方程组和观测方程组。其待估值的气动系数为 $C = \left(\frac{c_{y\beta}}{c_{x_0}}, \frac{c_{y\delta r}}{c_{x_0}}, \frac{c_{x\alpha}}{c_{x_0}}, \frac{c_{x\delta q}}{c_{x_0}}, \frac{c_{lp}}{c_{x_0}}, \frac{c_{ld}}{c_{x_0}}, \frac{c_{m\alpha}}{c_{x_0}}, \frac{c_{mq}}{c_{x_0}}, \frac{c_{m\delta q}}{c_{x_0}}, \frac{c_{n\beta}}{c_{x_0}}, \frac{c_{nr}}{c_{x_0}}, \frac{c_{n\delta r}}{c_{x_0}} \right)^T$ 。

此数学模型的状态方程和观测方程均不包含动压 Q 和高度 H ,因此,无需轨道参数,采用最大似然法或卡尔曼滤波法皆可辨识气动系数的比值,而不能辨识气动系数。

该文采用广义卡尔曼滤波方法,以气动系数的滤波收敛值做为所确定的气动系数值。由于该系数的不可辨识性,滤波收敛值与状态参数的滤波初值以及协方差初值有关。模拟计算表明,改变这些初值,则所确定的气动系数也不同。只要将这些初值稍许改动,则所确定出的主要气动系数其误差可达20%以上。因此文中所说已解决了在无轨道测量数据情况下,仅凭过载和角速率数据确定系数的说法是不确切的。

COMMENT ON "DETERMINATION OF AERODYNAMIC COEFFICIENTS FOR A REENTRY BODY BY MEANS OF AN EXTENDED KALMAN FILTER"

Cai Jinshi

(Aerodynamic Research Center of China)

The comment emphatically indicates that a mathematical model for aerodynamic parameter identification of a reentry body bases only on the data of angular rates and accelerations onboard but not on trajectory observation data, as stated in the paper, it can only determine the ratio between aerodynamic coefficients of the reentry body but can't determine the aerodynamic coefficients directly.

中国航空学会第三次全国代表大会

中国航空学会于一九八三年三月二十四日至二十八日在西安召开了第三次全国代表大会。全国各地的航空和航天生产、使用、科研、教学部门的近三百名代表出席了会议。会议听取和审议了第二届理事会的工作报告,讨论通过了新的会章,采取无记名投票的方式选举产生了新的理事会。

西北工业大学校长季文美当选为理事长,高镇宁、油江、姚峻、王万林、黎明、庄逢甘、曹传钧、张阿舟当选为副理事长,王南寿当选为秘书长。

经常务理事会通过,聘请曹里怀、梅嘉生、沈元为中国航空学会顾问。