

频域线性算法用于雷达导引头建模*

王苏峰 王正志

(国防科技大学自动控制系 长沙 410073)

王东木

(北京仿真中心 北京 100854)

摘要 采用“面向控制”模型的建模新方法——频域线性算法,对采用比例导引的主动式雷达导引头进行建模。此算法可辨识出对象模型和模型偏差的硬边界。针对主动式雷达导引头使用环境恶劣,以及导引头与目标、环境相互作用关系复杂,使用了调整的频域线性辨识算法(即需要先验知识)。仿真计算表明,此辨识算法鲁棒性好,辨识可信度高。

关键词 雷达导引头, H 辨识, 频域线性算法

分类号 TP13

Radar Guider Modeling at Frequency Using Linear Algorithm

Wang Sufeng Wang Zhengzhi

(Department of Automatic Control, NU DT, Changsha, 410073)

Wang Dongmu

(Beijing Simulation Center, Beijing, 100854)

Abstract In the paper we present the initiative radar guider modeling which adopts the proportion guiding method using the “control-oriented” model’s linear frequency algorithm. The algorithm can identify the plant’s model and the hard bound of model’s error. Since the guider’s working environment is bad and its relationship with the target and environment is very complicated, we make use of the tuned linear frequency algorithm. The simulating result shows that this method has a good robust and reliability.

Key words radar guider, H identification, linear algorithm

在防空导弹武器系统建模中,主动式导引头建模是其中一个关键问题,也是难点。由于导引头使用空域大,环境温度变化剧烈,有意或无意干扰杂波多,目标作不确定机动等,故导引头模型为一复杂的模型。但是,为满足制导控制系统设计及其它方面的需要,要求对导引头建立一个可信度高的简单的线性时不变模型。由于传统统计建模法采用模型 $y = Mu + d$ 进行建模,其中 d 是随机噪声,并经常假设为高斯分布,故在导引头建模中难以实用,如最小二乘法:把测量数据先对于传统模型的误差极小化,辨识出模型参数,然后再根据误差的随机分布,得到模型参数的置信限。本文采用 90 年代国际控制界提倡的“面向控制”模型的建模新方法——频域线性辨识算法,对数学模型 $y = (M + \Delta M)u + d$ 进行辨识,这里 d 是有界噪声, ΔM 为有界的模型偏差。此算法可有效地辨识出对象的模型及模型偏差的硬边界。

1 频域线性辨识算法

频域线性辨识算法是基于带噪声的频域输入输出数据,在线性 L 空间中找出一个逼近系统,来反映输入输出数据的关系。文献[1]提出了一种频域线性辨识算法,此算法先把时域观测数据变为频域数据或直接测量频域数据,再将这些采样测量数据作为傅里叶系数,在窗口(三角窗、指数窗、直角窗或

* 国家自然科学基金资助项目
1999 年 4 月 6 日收稿
第一作者:王苏峰,男,1970 年生,博士生

Fejer 窗) 函数下线性地构造出被辨识对象的模型, 并算出模型偏差的硬边界。要用此算法辨识实际系统, 考虑到计算机的有限字长及计算误差积累, 则输入信号的设计很重要。为了获得好的辨识结果, 需很好研究系统的最优输入信号, 即满足计算机有限字长计算的需要, 又满足实际系统测试的需要。

设 H 为开单位圆盘 $\Omega = \{z \mid |z| < 1\}$ 上有界解析函数组成的 Hardy 空间(即有界稳定函数空间), 其上范数定义为 $\|f\|_H = \Delta \sup_{|z| < 1} |f(z)|$ 。辨识系统为稳定的离散时间线性时不变系统, 传递函数为 $\hat{h}(z)$, $\hat{h}(z) \in \Psi$, $\Psi \Delta \{f \in H, f \text{ 在单位圆 } |z| = 1 \text{ 上连续}\}$ 。在 Ψ 中一个重要的传递函数子空间是 $H(\Omega, M)$, 定义如下:

$$H(\Omega, M) \Delta \{f \in H \mid f \text{ 在 } \Omega_\rho \text{ 中解析, } |f(z)| \leq M, \forall z \in \Omega_\rho\}$$

其中 $\Omega_\rho = \{z \mid |z| < \rho\}$ 和 $\rho > 1$ 。

在此辨识问题中, 试验数据是带噪声的系统频率响应值, 系统频率响应值可由正弦信号频率递增扫描试验得到。不过要重点研究一下理论上的辨识与时域输入输出数据之间的关系。在此假定噪声边界与频率不相关。

下面介绍频域线性辨识算法。

假设: 真实未知被辨识系统是稳定的、线性、时不变, 离散时间系统, 传递函数为 $\hat{h}(z) \in H(\Omega, M) \subseteq \Psi$ 。

给定有限长试验频域响应数据

$$E_k^N(\hat{h}, \hat{\eta}) = \{\hat{h}(e^{j2\pi(k-1)/N}) + \hat{\eta}_k\}, k = 1, 2, 3, \dots, N \tag{1}$$

且 $|\hat{\eta}_k| \leq \epsilon, \forall k = 1, 2, \dots, N$ 。

定义 N 点逆离散傅里叶变换为

$$\tilde{h}_N(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} E_{i+1}^N(\hat{h}, \hat{\eta}) W_N^{-ik}, k = 0, 1, \dots, N-1 \tag{2}$$

$$W_N = e^{j2\pi/N}$$

那么辨识模型就是 n 阶 Cesaro 求和为

$$\hat{h}_{id}^N(z) \Delta \sum_{k=0}^{n-1} a_k \tilde{h}_N(k) z^k, n = N \tag{3}$$

其中 $a_k = 1 - \frac{k}{N}, k = 0, \dots, n-1$, 为一窗函数, 是保证逼近系统收敛的。

这里有些参数需要预先知道: M, n, ρ, ϵ , 所以我们采用调整的频域线性辨识算法。定义最坏情况模型辨识误差为

$$e_N(M, \rho, \epsilon) \Delta \sup \left\{ \| \hat{h} - \hat{h}_{id}^N \|_H \mid \|\hat{\eta}_k\| \leq \epsilon, k = 1, 2, \dots, N, \hat{h} \in H(\Omega, M) \right\}$$

根据文献[1], 推出最坏情况模型辨识误差满足下式

$$e_N(M, \rho, \epsilon) \leq \frac{2M\rho^{-N+1}}{\rho-1} + \frac{1}{n} \frac{M\rho(1-\rho^{-n})}{(\rho-1)^2} + \left[\frac{1}{\pi} \log(n) + c \right] \epsilon \tag{4}$$

其中参数 M, n, ρ, ϵ 未知, 可由先验知识求出来。 c 为一常数, 并与系统及参数 \hat{h}, N, n 无关。

2 雷达导引头建模

为了应用频域线性辨识算法, 可用一离散时间系统 $y = (M + \Delta M)u + d$ 来对雷达导引头数学模型进行近似。其中 M 并不复杂, 可近似看作是线性时不变的, 但噪声部分 d 却很复杂, 它包含的噪声分量很多, 其特性各异, 这是由导弹导引头与目标、环境相互作用关系很复杂, 使用条件恶劣导致的。当对雷达导引头在测试试验中进行辨识时, 噪声部分 d 可近似为具有平稳特性的有界噪声, 于是可应用频域线性辨识算法。图 1 是采用比例导引的雷达导引头物理实现上一个简化的方块图。

以半实物仿真中的主动式雷达导引头建模为例, 由于导引头处在实验室测试环境下, 因此给出的模拟目标信号可以充分激励系统的模式, 满足可辨识条件。下面以导引头近似模型进行数字仿真, 导引头近似模型经过一系列的处理, 数据也经过处理。

频域线性算法所要求的参数 M, n, ρ, ϵ 未知, 可由先验知识求出来: M 为幅频估计最大值, 考虑到导

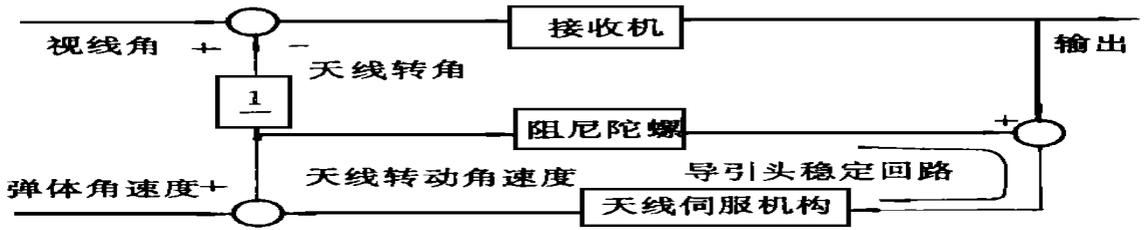


图1 导引头简化方块图。

Fig. 1 The Guilder's simplified block chart

引头主要是复现目标有关信号, 通道增益应该为 1, 所以可取 $M = 1.1$, 留有一定余量; n 为辨识模型阶次, 反复试验, 可取一次佳值; ρ 为系统稳定边界, 导引头既需要快速性, 也需要好的稳定性, 在导引头设计时有设计指标要求; ϵ 为噪声边界, 可在无输入信号时, 对雷达导引头进行大量测试, 取最大值就可以。图 2 就是采用频域线性辨识算法对采用比例导引制导算法的雷达导引头进行辨识的输出结果。

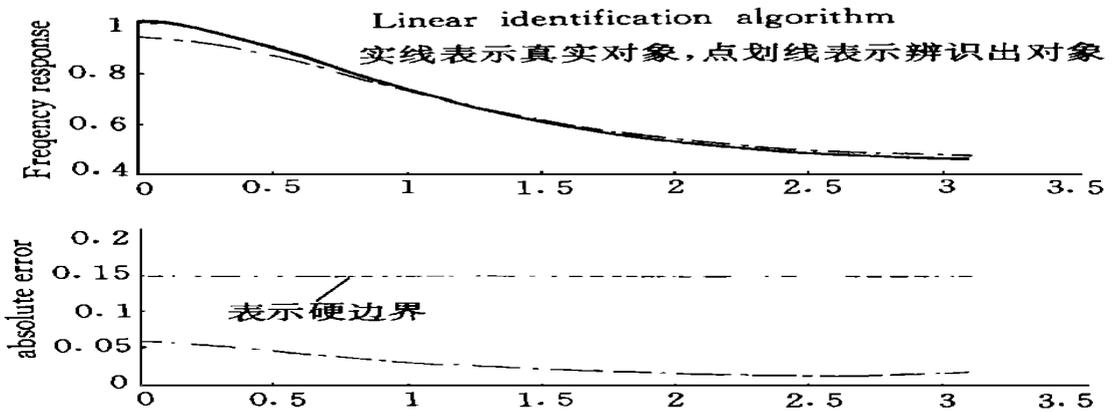


图2 实际对象与辨识出对象比较

Fig. 2 Comparing the real plant with identified plant

从图 2 可看出, 估计出来的对象与实际对象幅频响应相差是很小的。幅频响应相对误差在 10% 以下, 满足工程设计上的要求。将此辨识出来的模型用于雷达导引头的全数字仿真, 我们可从最好和最坏两个方面去考察雷达导引头的动态特性, 因此辨识的鲁棒性、可靠性和可信度都是相当好的。

3 结论

频域线性算法应用于雷达导引头辨识的结果达到了预期效果。此辨识算法鲁棒性好, 辨识结果可信度高, 可靠性好, 充分反映了雷达导引头的动态特性, 从辨识鲁棒性来说优于传统辨识算法, 并且可用于评估导引头的机理模型。对于采用比例导引的雷达导引头来说, 引进频域线性辨识算法, 在一定程度上解决了导引头建模难题。存在的问题是先验知识的确定, 先验知识确定得不好, 辨识算法是不收敛的。

参考文献

- 1 Gu G, Khargonekar P P. Linear and Nonlinear Algorithms for Identification in H_∞ with Error Bounds. IEEE Trans. Automat. Contr., 1992, 37(7): 953 ~ 963
- 2 Helmicki A J, Jacobson C A, Nett C N. Control-oriented system identification: A worst-case/deterministic approach in H_∞ . IEEE Trans. Automat. Contr., 1991, 36: 1163 ~ 1176
- 3 穆虹等主编. 防空导弹雷达导引头设计. 北京: 宇航出版社, 1996
- 4 钟媛. 寻的制导系统的综合分析设计[硕士学位论文]. 北京: 航天工业部二院, 1986