

# 基于 MATLAB 的控制系统优化设计

吴晓燕, 李彦彬, 赵敏荣, 秋党庆  
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**以多回路高阶非线性控制系统为例,介绍 MATLAB 环境下控制系统优化设计的方法。提出的非线性特性 MATLAB 实现技术和运用 SIMULINK 工具箱 NCD 模块进行计算机辅助参数寻优的方法,可作为控制系统分析、设计和仿真应用研究的参考。

**关键词:**控制系统;参数优化;MATLAB 语言;SIMULINK 工具箱;仿真

**中图分类号:**TP273;TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)02-0037-04

控制系统优化设计一般是指被控对象是已知的,控制器的结构、形式也已确定,需要调整或寻找控制器的某些参数,使系统性能在给定的目标函数下达到最优<sup>[1]</sup>。通常,控制系统优化设计是应用最优化理论,通过系统仿真方法完成的,其过程见图1。由图1可以看出,优化设计的关键是寻优和仿真。然而在以往的控制系统优化设计工作中,合适的寻优方法和仿真方法的选择、相应算法的程序设计与实现等,是一个十分复杂、繁琐的工作过程,常常使控制工程师感到不便,甚至陷入困境。

## 1 MATLAB 环境下控制系统优化设计

在 MATLAB 环境下进行控制系统优化设计,包括系统建模和优化设计两大部分。系统建模指的是建立系统的仿真模型,可应用 MATLAB 的仿真工具箱 SIMULINK 完成<sup>[2]</sup>。优化设计是整个设计的核心,它应用 MATLAB 的非线性控制设计模块 NCD(Nonlinear Control Design)完成。

NCD 模块包含在 MATLAB 的 NCD 工具箱中,并需要 SIMULINK 的支持。它是一种在时域内进行控制系统设计的设计工具,为使用者提供了一种直观、方便的图形用户界面(GUI)。通过使用 NCD 模块,在给出时域性能指标要求(约束)的前提下,可以对应用 SIMULINK 建立的系统模型中控制器或校正装置的参数(设置为变量)进行整定,进而获得其优化值。

## 2 基于 MATLAB 的非线性控制系统优化设计

对非线性控制系统的分析和研究,传统方法是相平面法和描述函数法,但这两种方法都有很大的局限性。相平面法作为一种时域法,仅适用于低阶系统(一阶、二阶系统);描述函数法对高阶系统是适用的,但此法不仅应用条件比较苛刻,系统结构略微复杂就不适用,且只能在频域里对系统进行分析。这里,以某型弹自动驾驶仪俯仰稳定控制回路为例,介绍在 MATLAB 环境下进行非线性控制系统计算机辅助优化设计的

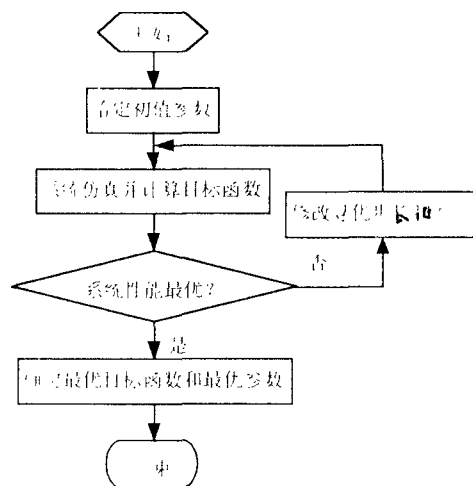


图1 控制系统优化设计过程框图

方法。

### 2.1 系统组成和仿真模型

某型弹自动驾驶仪系统俯仰稳定控制回路如图 2 所示。

图中,  $u$  为控制指令,  $\dot{g}$  为弹体俯仰角速度,  $n$  为弹体过载。

系统中的限幅放大器是具有饱和特性的非线性元件,故系统为多回路非线性高阶控制系统。除局部反馈回路和主反馈回路的两个校正装置外,其余均为系统的不可变部分。在 MATLAB 环境下,应用 SIMULINK 仿真工具箱建立的相应系统仿真模型如图 3 所示。

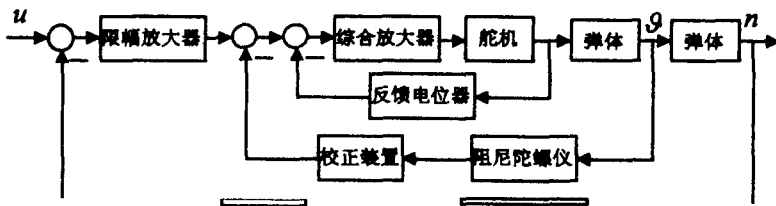


图 2 俯仰稳定回路结构框图

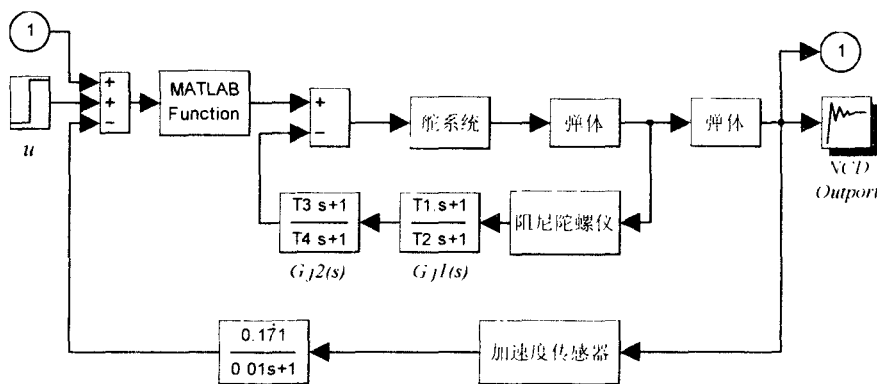


图 3 俯仰稳定回路仿真模型

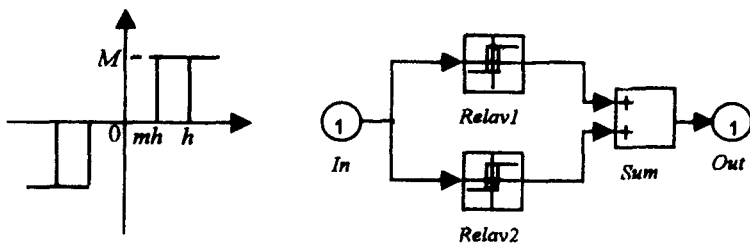
### 2.2 非线性特性的 MATLAB 实现

应用 SIMULINK 建立非线性元件的仿真模型时,对于 SIMULINK 规定的标准形式,即可由其非线性模块库中的标准非线性模块直接实现。但本例系统中具有饱和和非线性特性的限幅放大器属于非标准形式(标准形式:线性段斜率为 1)。为此,本文采用下述两种方法解决上述问题。

1) 通过对标准非线性模块进行适当组合实现

将非标准形式的非线性环节适当分解为若干标准非线性模块的组合(或标准非线性模块与线性模块的组合)。例如,具有死区与滞环的继电特性,属于 SIMULINK 非线性模块库中的非标准模块,现将两个标准非线性模块并联,即可建立其仿真模型,如图 4 所示。

对于非标准形式的饱和非线性特性,可由 SIMULINK 标准饱和非线性模块与线性增益模块串联实现,如图 5 所示。



(a) 非线性特性 (b) SIMULINK 实现

图 4 死区与滞环继电特性及仿真模型



图 5 饱和非线性特性及仿真模型

2) 应用 MATLAB 函数实现

如果系统元件具有较为复杂的非线性特性,仅靠标准非线性模块的组合无法实现,只要能写出非线性特性的表达式,既可应用 MATLAB 函数实现<sup>[3]</sup>。下面以饱和非线性特性为例,说明 MATLAB 函数实现方法。

首先,在 SIMULINK 非线性模块库中选取 MATLAB FCN 模块,将其作为仿真模型中的非线性环节模型;其次,在该模块参数设置对话框的 MATLAB FUNCTION 一项中键入函数名;最后,在 MATLAB 编辑器中建立相应的 MATLAB 函数。若记饱和非线性特性的函数名为 xf,其 MATLAB 函数如下:

```
function y = xf(u)
    if abs(u) <= a
        y = k * u;
    else if u > a
        y = k * a;
    else y = -k * a;
    end
end
```

2.3 校正元件参数的计算机辅助优化设计

在图 3 所示的仿真模型中,Gj1(s)和 Gj2(s)的串联组合即为校正装置,现应用 MATLAB 的非线性控制设计模块 NCD,对其参数 T1、T2、T3、T4 进行优化设计。

1) 问题定义

即以时域指标的形式给出目标函数。系统工作在线性范围时,其单位阶跃响应的性能指标满足:上升时间  $t_r < 0.7\text{ s}$ ,调节时间  $t_s < 2.2\text{ s}$ ,超调量  $\sigma\% < 40\%$ 。系统工作在非线性范围时,其阶跃响应的最大值  $n_{\max}$  (弹体的许用过载)约为  $4\text{ g}$ 。

2) 参数设置

包括初始值设置和变量定义。根据设计要求,应用频域法,确定出校正装置的形式为积分-微分校正装置。在此基础上,即可确定参数 T1、T2、T3、和 T4 的初始值,并在 MATLAB 命令窗口下输入。变量定义是将 T1、T2、T3 和 T4 直接键入相应的对话框中。

3) 最优问题求解

选中 Optimization 菜单下的 Start,最优化开始。最终生成满足要求的优化参数。

2.4 最优化系统的数字仿真

在 MATLAB 环境下,直接应用 SIMULINK 仿真工具箱,对上述优化设计后的系统进行了数字仿真,结果见图 6。系统工作在线性段,可求出单位阶跃响应的性能指标约为:上升时间  $t_r = 0.2\text{ s}$ ,调节时间  $t_s = 1\text{ s}$ ,超调量  $\sigma\% = 25\%$ 。系统工作在非线性段,当控制指令  $u = 3\text{ V}$  时,弹体的最大过载  $n_{\max}$  接近  $3\text{ g}$ 。显见,系统各项性能指标完全满足设计要求。

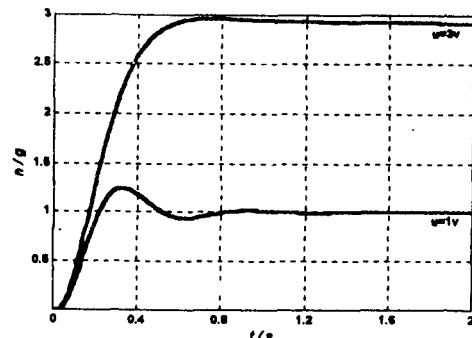


图 6 最优化系统的阶跃响应曲线

3 结束语

控制系统的优化设计只有借助于计算机才能完成,而 MATLAB 正是控制领域进行计算机辅助设计的一种非常好的工具语言。SIMULINK 的魅力在于强大的功能和简便的操作,因而才在近几年一跃成为国内外学术界和工程领域在动态建模和仿真方面应用最广泛的软件之一<sup>[4]</sup>。本文可为控制系统设计和仿真应用研究提供参考。设计研究过程均在 MATLAB5.1 环境下进行。

#### 参考文献:

- [1] 熊光楞,肖田元,张燕云.连续系统仿真与离散事件系统仿真[M].北京:清华大学出版社,1991.
- [2] 薛定宇.控制系统计算机辅助设计——MATLAB 语言及应用[M].北京:清华大学出版社,1991.
- [3] 沈永福,顾文锦,张翼飞. MATLAB 环境下弹道仿真的框图实现[J].计算机仿真,1999,16(2):60-62.
- [4] Tischler Mark B, Colbourne Jason D, Morel MARK R, et al. A Multidisciplinary Flight Control Development Environment and Its Application to a Helicopter[J]. IEEE Control Systems Society, 1999, 19(4): 23-28.

## Optimal Design for the Control System Based on MATLAB

WU Xiao-yan, LI Yan-bin, ZHAO Min-rong, QIU Dang-qing

(The Missile Institute of the Air Force Engineering University (AFEU.), Sanyuan 713800, China)

**Abstract**·The method of optimal design for the control system with MATLAB is introduced, by taking a multi-high order nonlinear system for example. In this paper, the modeling approach of the nonlinear characteristic by MATLAB and the computer-aided optimization of parameter using SIMULINK tool box are presented, giving a reference to the analysis and design of the control system and the simulation research.

**Key words**·control system; optimization of parameter; MATLAB; SIMULINK; simulation