

CO₂ 激光半主动导引头控制系统仿真

王惠群 罗毓昂

(西南技术物理研究所,成都,610041)

摘要: 详细阐述了连续系统数字仿真程序包在 CO₂ 激光半主动导引头控制系统中的应用。该程序包适用于单变量。可以面向方程,也可以面向框图。程序结构采用模块式。

关键词: 连续系统仿真 传递函数 仿真模块 跟踪特性 稳态误差 超调量

Control system simulation of CO₂ laser semi-automatic seeker

Wang Huiqun, Luo Yuang

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

Abstract: It is described in detail that continuous system simulation program package is applicable for CO₂ laser semi-automatic seeker control system. It is used in single valuable control system. It may be used to equation-oriented or block diagram-oriented. Module pattern is adopted by program structure.

Key words: continuous system simulation transfer function module tracking characteristic static error overtop value

引 言

采用连续系统数字仿真程序包—CSS(continuous system simulation),在 486PC 机上仿真 CO₂ 激光半主动导引头控制系统。CSS 程序包适用于连续单变量系统。可以面向方程,也可以面向框图。程序结构采用模块式^[1]。现在国际控制界最流行的控制计算机辅助设计语言 MATLAB。MATLAB 软件采用 windows 图形界面,操作更方便。其仿真工具 Simulink 可方便的绘出仿真框图^[3]。我们之所以选用 CSS 程序包是因为它里面有延时模块,延时模块与其它模块组合,就能随心所欲的产生出各种规则或不规则的输入信号,并且时间比较精确。

1 导引头控制系统分析与设计

1.1 导引头控制系统的组成及工作过程

导引头控制系统由偏航伺服系统和俯仰伺服系统组成。图 1 是俯仰伺服系统的原理框图。俯仰伺服系统的原理框图与偏航伺服系统的原理框图相似。不同的是偏航伺服系统的原理框图中把 gyroscope internal loop 改成 gyroscope enternal loop,用 U_{HS} 表示偏航扫描

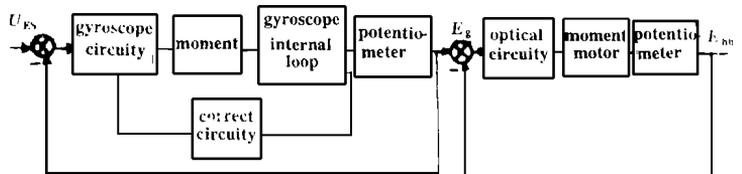


Fig. 1 Elevation servo system

U_{ES} —elevation scan input signal E_{hh} —elevation servo system output

输入信号, B_{bh} 表示偏航伺服系统的输出。

偏航控制系统工作过程:偏航控制系统由陀螺伺服系统及光学伺服系统组成。偏航扫描信号经放大及校正电路和功放,输给陀螺的力矩器。力矩器给陀螺内环加一力矩,使陀螺产生进动。陀螺外环绕轴转动,外环带动电位计移动。电位计的输出信号 B_g 输给光学伺服系统,经滤波校正及功率放大后,输给力矩电机。力矩电机带动光学轴作偏航运动。

俯仰控制系统工作过程:俯仰控制系统由陀螺伺服系统及光学伺服系统组成。俯仰扫描信号经放大及校正电路和功放,输给陀螺的力矩器。力矩器给陀螺外环加一力矩,使陀螺产生进动。陀螺内环绕轴转动,外环带动电位计移动。电位计的输出信号 E_g 输给光学伺服系统,经滤波校正及功率放大后,输给力矩电机。力矩电机带动光学轴作俯仰运动。

1.2 导引头控制系统扫描参数

导引头扫描视场为 $\pm 6^\circ$ 。扫描速度 $6^\circ/s$ 。瞬时视场 $\pm 1.5^\circ$ 。偏航扫描信号为三角波。俯仰扫描信号为五阶梯波。故扫描视场为“目”字里面加一横的形状,其大小为 $12^\circ \times 12^\circ$ 。根据导引头控制系统扫描参数,可得到扫描电压信号参数。导引头完成一次扫描的时间为 $5T$ 即 $8.333s$ 。

导引头控制系统由陀螺伺服系统及光学伺服系统组成。激光导引头有三个工作状态。(1)锁零状态:此时陀螺伺服控制系统的输入端接地,因而陀螺伺服系统的输出为 0。把它输给光学伺服系统,即陀螺轴和光轴和弹轴一致的状态,称为锁零状态。当导弹随飞机飞行或地面测试导弹的零位参数时,需此状态。(2)扫描状态:扫描信号输给陀螺伺服系统,使陀螺伺服控制系统实现扫描运动。其输出又输给光学伺服系统,使光学轴进行扫

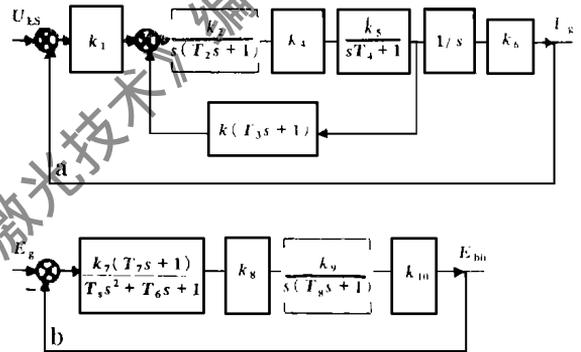


Fig. 2 Elevation servo system mathematics model
a—elevation gyroscope servo system model b—elevation optical servo system model

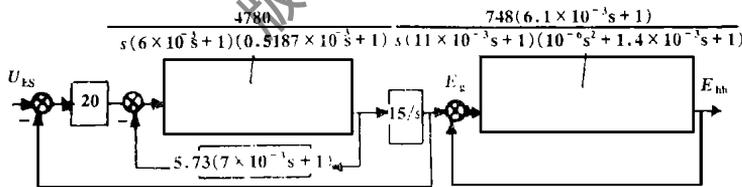


Fig. 3 Elevation control system transfer function model

的输出信号输给光学伺服系统,使光学轴跟踪陀螺轴,实现光轴跟踪目标。

1.3 导引头控制系统数学模型传递函数

图 2a 是俯仰陀螺伺服系统的数学模型,图 2b 是俯仰光学伺服系统数学模型。对应图 2 中的各个环节的传递函数,见图 3。

1.4 导引头控制系统校正环节的参数整定

校正环节包括微分校正环节 $k_1(T_1s + 1)$;积分惯性校正环节 $k_2/[s(T_2s + 1)]$,可调节校正环节的参数 k_1, T_2 ,使控制系统的超调量最小,上升时间最快,见图 3。 $k_1 = 5.73, T_2 =$

描运动。(3)制导状态:当导引头捕获到目标反射的激光脉冲信号时,扫描信号就被切换成目标信号。目标信号输给陀螺伺服控制系统,使陀螺进动,陀螺

0.5187×10^{-3} 。从计算机上仿真数据可看出,选择上述参数,控制系统的综合性能指标最佳,即控制系统具有较快的上升时间($4 \times 0.01666s$)及较小的超调量(5.73%)。我们做了一些对比实验。减小 $k_1, k_1 = 2$,从计算机上仿真数据可看出,超调量极大增加(26%)。增大 $k_1, k_1 = 8$ 。控制系统处于临界阻尼,无超调量,但是上升时间很慢($10 \times 0.01666s$)。增大 $T_1, T_1 = 0.8 \times 10^{-3}$ 或减小,从计算机上仿真数据可看出,超调量有所变化($4\% \sim 2\%$),但上升时间增大了($6 \times 0.01666s$)。综上所述,我们选取 $k_1 = 5.73, T_2 = 0.5187 \times 10^{-3}$,使控制系统的综合性能指标最佳。

2 连续系统数字仿真

我们所述的仿真程序适用于连续单变量系统,程序结构采用模块化。用该连续系统数字仿真软件包,对前述的俯仰控制系统和偏航控制系统在 486PC 机上进行了计算机模拟仿真。

2.1 程序包的使用

下面简介该程序包的使用。先介绍几种常用的模块。图 4 是绘制仿真排队图将要用到的仿真模块(信号发生器,反号器,比例器,比例加法器,比例积分器)。其中 P_1, P_2, P_3 是常数, C_2, C_3, C_4 表示输入信号, C_1 表示输出信号。

2.2 仿真排队图

根据这些模块组合可画出俯仰控制系统的仿真排队图,见图 5。图 5a 是由模块组合后产

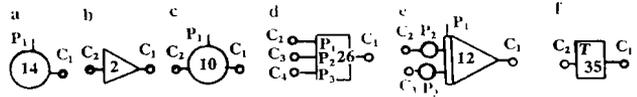


Fig. 4 Simulation model

- a—signal-source $C_1 = P_1$
- b—anti-signal $C_1 = -C_2$
- c—proportioner $C_1 = P_1 \times C_2$
- d—proportioner-addition $C_1 = P_1 \times C_2 + P_2 \times C_3 + P_3 \times C_4$
- e—addition-integration $C_1 = P_1 \times (C_2 \times P_2 + C_3 \times P_3) dt$
- f—delayer $C_1 = e^{-T_s} C_2$

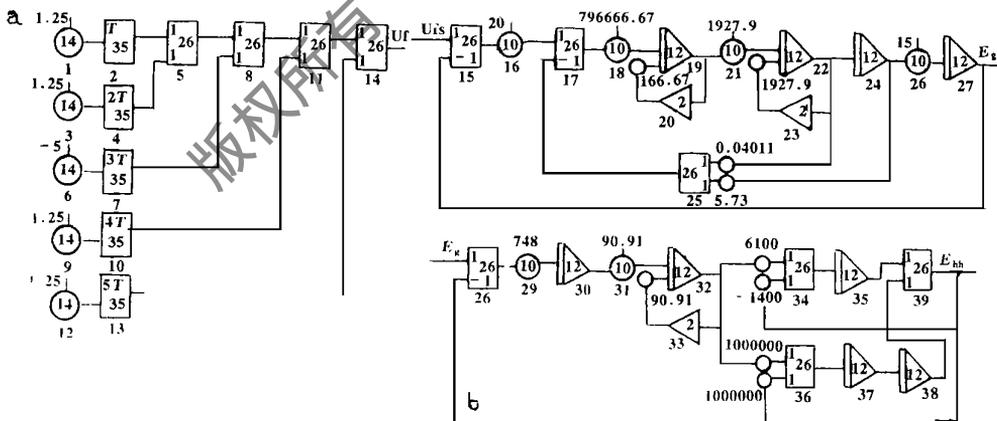


Fig. 5 Elevation control system simulation block-diagram

生的五阶梯波扫描信号的仿真排队图。图 5b 是由模块组合后产生的俯仰控制系统的仿真排队图。同理可画出偏航扫描系统的仿真排队图(略)。作者在画俯仰控制系统和偏航控制系统的仿真排队图时,先把俯仰控制系统和偏航控制系统的传递函数的各部分尽量分解成积分环节,惯性环节,振荡环节。这样就很容易画出俯仰控制系统和偏航控制系统的仿真排队图。

2.3 仿真参数输入

画好控制系统的仿真排队图后,要按照仿真排队图输入数据。输入数据要照下面三部分

输入。(1)连接数据输入。连接数据输入由数据语句,用户编号,运算块类型号,连接关系组成。以表 1 仿真排题图为例: data 1,14,0,0,0 即为连接数据输入。(2)参数数据输入。参数数据输入由数句语句,用户编号,参数组成。例如: data 1.25,0,0。(3)仿真控制数据输入。

在表 1 中, D 为运算步长, $D = T/1000$, $T = 1.6666s$, T_2 是仿真时间, $T_2 = 8.4s$, T_1 是屏幕显示仿真结果的时间间隔, $T_1 = T/100$ 。

data statement	step	simulation time	print internal	output operation model number					
	D	T_2	T_1	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
data	0.00016666	8.4	0.016666	14	39	0	0	0	0

即在一个 T 的时间内显示 100 个仿真数据结果。 K_1, K_2 表示所要显示的用户编号的模块的仿真结果。按照上述三个步骤输入完数据后,即可在计算机上运行该仿真程序。

3 仿真结果

3.1 超调量,稳态误差,跟踪时间的定义^[2]

超调量:在系统响应的过程中,输出量的最大值为 $h(t_p)$ 小于稳态值 $h(\infty)$,则响应无超调量。如果 $h(t_p)$ 大于 $h(\infty)$,则定义超调量 = $\{ [h(t_p) - h(\infty)] / h(\infty) \} \%$

跟踪时间:响应从稳态值的 10% 上升到 90% 所需的时间。上升时间越小,响应时间越快。

稳态误差:系统输出的实际值与希望值之差。

3.2 导引头实际运行输出结果与计算机仿真结果比较

作者在 486 微机上用 Quick Basic 软件运行该仿真软件包。图 6 是运行该仿真软件包绘制的俯仰和偏航控制系统的输入和仿真输出图形。通过俯仰控制系统的输入和仿真输出图形的对比,可知俯仰控制系统具有很好的跟踪性能,输出能很好的跟踪输入的变化。

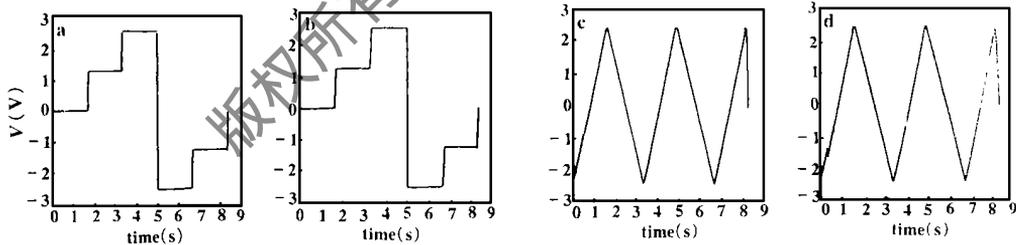


Fig. 6 Input signal and simulation output of horization and elevation

a—elevation scan input signal b—elvation simulation output c—horization scan input signal d—horization simulation output

根据计算机输出的仿真数据,可计算出系统的超调量,稳态误差。导引头运行的输出接示波器显示。由示波器显示的结果计算出了系统的超调量,稳态误差。现将两种结果对比如下。计算机仿真俯仰控制系统对俯仰扫描信号(五阶梯信号)能很好的跟踪。超调整量最大为 5.47%,稳态误差为 0.05%。导引头俯仰控制系统实际运行输出结果的示波器显示,俯仰控制系统对俯仰扫描信号(五阶梯信号)能很好的跟踪,超调量为 7.2%,稳态误差为 1%。计算机仿真偏航控制系统对偏航扫描信号(三角波扫描信号)具有很好的跟踪性能,位置误差为 5.9%。导引头偏航控制系统实际运行输出结果的示波器显示,偏航控制系统对偏航扫描信号(三角波扫描信号)具有很好的跟踪性能,位置误差为 19.8%。

激光切割超音速喷嘴设计 *

刘建华 陈一坚 段 军 胡席远

(华中理工大学材料科学与工程学院,武汉,430074)

摘要: 分析了传统喷嘴工作在较高的供气压力下进行激光切割时产生激波的原因及激波对切割工艺的不良影响。为了解决这一问题,提出了一种设计超音速拉瓦尔喷嘴的新方法。这种新型超音速喷嘴包括四部分:稳定段、收缩段、喉部、扩张段。每一部分都是严格按照空气动力学理论进行设计的。这种喷嘴喷射出的气流动量高,流速均匀,边界整齐。利用这种喷嘴进行激光切割,可有效地提高切割质量和切割速度。

关键词: 激光切割 超音速喷嘴 激波

Design of supersonic nozzles for laser cutting

Liu Jianhua, Chen Yijian, Duan Jun, Hu Xiyuan

(Department of Materials Science & Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: This paper analyses the reasons of the shock producing when the conventional nozzle is working at the high pressure in laser cutting, and the harmful effects of the shock in laser cutting. In order to solve this problem, a new method for the design of a supersonic nozzle is presented. This supersonic nozzle consists of four sections: stable, convergent, throat and divergent. Each of these sections is designed strictly based on gas dynamic theories. The exit jet from this type of nozzle with high momentum, good uniform and a tidy boundary can be obtained. Laser cutting speed and quality can be efficiently improved by using this type of nozzle.

Key words: laser cutting supersonic nozzle shock wave

*国家自然科学基金重点项目资助。

3.3 结 论

我们研制的 CO₂ 激光半主动导弹引头,其控制系统能精确的控制导引头作偏航和俯仰方向的运动。经示波器观测的导引头控制系统的输入、输出波形及数据证明,该控制系统运行良好,具有很好的跟踪性能和稳态性能,其跟踪性能指标和稳态性能指标与上述该控制系统的计算机仿真输出的跟踪性能指标和稳态性能指标基本一致。

参 考 文 献

- 1 孙增圻,袁曾任.控制系统的计算机辅助设计.北京:清华大学出版社,1988
- 2 孙增圻.计算机控制理论及应用.北京:清华大学出版社,1989
- 3 薛定宇.控制系统计算机辅助设计——MATLAB 语言及应用.北京:清华大学出版社,1996

作者简介:王惠群,女,1965 年出生。工程师,硕士。现从事计算机控制和激光技术工作。
罗毓昂,男,1941 年出生。高级工程师。现从事激光技术工作。