

# 基于 MATLAB/Simulink 的纵向质心 外弹道仿真\*

杨秀丽<sup>1</sup>, 黄 浦<sup>2</sup>, 张维君<sup>1</sup>

(1 空军航空大学, 长春 130022; 2 中科院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 为了在设计初期能得到导弹的可能飞行弹道和飞行特性, 采用 MATLAB/Simulink 软件建立了系统的仿真模型并进行仿真计算, 给出了相应的仿真结果及其分析, 为其它系统的设计提供了依据和参考。此种仿真方法比传统编程语言仿真周期短, 使动态系统的仿真变得容易且直观。

关键词: Simulink; 仿真; 纵向运动; 弹道

中图分类号: TJ013.2 文献标志码: A

## The Simulation of Mass Point Lengthways Trajectory Based MATLAB/Simulink

YANG Xiuli<sup>1</sup>, HUANG Pu<sup>2</sup>, ZHANG Weijun<sup>1</sup>

(1 Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China;

2 Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, Changchun 130033, China)

Abstract: To obtain possible flight trajectory and flight characteristics, the simulation model is set up and calculated with MATLAB/Simulink. Then corresponding simulating results and analysis are given which provide some accordance and reference to the design of other systems. The period of the simulation method is shorter than using traditional programming language and it makes the simulation of dynamic system easy and intuitive.

Keywords: Simulink; simulation; lengthwise movement; trajectory

### 0 引言

在一般情况下, 研究导弹在空间的飞行问题是很复杂的, 为了简化对问题的研究, 通常分为几个阶段进行, 其中第一个阶段就是研究弹道学问题<sup>[1]</sup>。导弹在空间的运动需要用一组一阶微分方程来描述, 计算弹道就是求解一阶微分方程组。但是只有少数微分方程组能用初等方法求得解析解, 多数问题的研究必须借助于现代的仿真技术。传统的仿真是用高级语言编程计算, 需要经历一个代码编制与调试等繁琐复杂的过程, 而 MATLAB 提供的 Simulink 仿真能轻松地解决这样的仿真问题。

文中采用 MATLAB/Simulink 完成了导弹在铅垂平面内的质心运动弹道的建模与仿真计算, 主要的工作就是研究 Simulink 在弹道计算方面的应用, 为类似模型建立提供一点思路。

### 1 纵向质心外弹道仿真数学模型

一般来说, 运动方程组的方程数目越多, 描述导弹的运动就越完整、越准确。但研究和解算也就越麻烦。在工程上, 特别是导弹和制导系统的初步设计阶段, 在解算精度允许的范围内, 应用一些近似方法, 对导弹运动方程组进行简化, 以便利用较简单的运动方程组来达到研究导弹运动的目的。在一定假设条件下, 可以把导弹的运动分解为纵向运动和侧向运动。由于此次研究关心的是导弹的射程和射高, 所以文中研究纵向运动。

所谓纵向运动, 是指导弹运动参数  $\beta, \gamma, \gamma_V, \omega_x, \omega_y, \varphi, \varphi_V, z$  恒为零的运动。导弹的纵向运动, 是由导弹质心在飞行平面内的平移运动和绕其质心的转动运动所组成的。在导弹初步设计阶段, 为能简捷地得到导弹可能的飞行弹道及其主

\* 收稿日期: 2009-02-25

作者简介: 杨秀丽(1979-), 女, 吉林松原人, 硕士, 研究方向: 精确制导技术。

要飞行特性,研究导弹的飞行问题通常首先暂不考虑导弹绕质心的转动运动,而将导弹当作一个可操纵质点来研究,这种简化的处理通常是基于“瞬时平动”假设(认为导弹在整个飞行期间的任一瞬时都处于平衡状态,即导弹操纵机构偏转时,作用在弹道上的力矩在每一瞬时都处于平衡状态)。

简化后可以得到导弹纵向质心运动方程组:

$$\begin{cases} m \frac{dV}{dt} = P \cos \alpha - X - mg \sin \theta \\ mV \frac{d\theta}{dt} = P \sin \alpha + Y - mg \cos \theta \\ \frac{dx}{dt} = V \cos \theta \\ \frac{dy}{dt} = V \sin \theta \\ \frac{dm}{dt} = -m_c \end{cases}$$

式中: $V$ 为导弹速度; $\theta$ 为弹道倾角; $x$ 为导弹的射程; $y$ 为导弹飞行的高度; $m$ 为导弹的瞬时质量。

以上 5 个参数是纵向运动的运动学参数,也是这个微分方程组所要求解的 5 个未知量。在这个微分方程组中还有 6 个已知参数。 $\alpha$ 为推力与导弹轴线的夹角; $P$ 为导弹发动机推力; $Y$ 为全弹升力; $X$ 为全弹阻力; $m_c$ 为导弹单位时间内质量消耗量; $g$ 为重力加速度。

将这 6 个已知量代入微分方程组,解此微分方程组就能得到导弹的飞行弹道及其主要飞行特性。

在这个微分方程组中已知量都是随时间变化的,很难计算出方程组的解,这样的微分方程组多借助于编程来求解,但是编程繁杂、周期较长,文中是采用 MATLAB/Simulink 建立仿真模型,进行计算求解,这种解法既简单又快捷。

## 2 纵向质点外弹道仿真建模

### 2.1 微分方程组中已知参数的设定

已知参数由两个合作系统给出,一个是导弹空气动力学的计算系统,一个是发动机推力试验系统。全弹升力  $Y$  和全弹阻力  $X$  由前一系统给出,这两个力都是变量,随时间和飞行高度变化;推力与导弹轴线的夹角  $\alpha$ 、导弹发动机推力  $P$  以及导弹单位时间内质量消耗量  $m_c$  是由第二个系统给出;重力加速度  $g$  按定值计算。

### 2.2 微分方程组的建立

在 Simulink Library Browser 中选择相应的模块,方程组中各方程与各积分模块一一对应。根据仿真初始条件设定积分模块的初始值,方程右侧是变量的,如质量、速度、弹道倾角等,则从该变量积分模块的输出引入,这样可以保证各个量的实时输入性,也就是保证系统的动态性。

### 2.3 推力模块的建立

提供推力的是固体火箭发动机,根据发动机推力试验系统提供的数据,发动机作用时间为 4s,采用时间模块控制推力的作用时间。使用推力试验数据组中平稳推力值作为推力计算值,并且认为作用时间内推力值是不变的。

### 2.4 质量模块的建立

在发动机的燃料燃烧时间内,导弹的质量随时间的变化在减少,并且认为质量是均匀减少的,也就是  $\frac{dm}{dt} = -m_c$ 。使用积分模块,通过设置参数来保证方程中带有质量参数的量都是随时间变化的。这样在仿真系统中就形象而清晰地表达了导弹质量的变化,可以降低仿真数据的误差。

### 2.5 仿真结束条件设置

仿真结束条件设置是通过控制质点飞行高度来实现的,当质点飞行高度  $y$  小于等于 0 时,即结束仿真。为了防止仿真提前结束,要将仿真结束时间设置足够长,比如开始可以设置为无穷大 (inf),然后可以根据具体时间进行调节,只要稍大于飞行时间(导弹飞行高度再次等于零的时间与导弹开始飞行的时间之差)就可以。

### 2.6 仿真结果查看

用 Simulink 仿真的最大特点就是仿真得到的结果可以多种形式表现出来,有曲线、数据及动画。在本仿真结果中,采用 XYGraph 模块显示弹道曲线,采用 3DoF Animation 模块显示飞行动画,采用 Scope 模块来显示速度、弹道倾角、射程和飞行高度。采用 To Workspace 模块就把需要的变量的值输入到工作空间中,以便于查看系统运行生成的中间数据。

### 2.7 仿真模型的建立

通过以上分析、处理,采用 Simulink 建立的质点纵向外弹道仿真模型如图 1 所示。

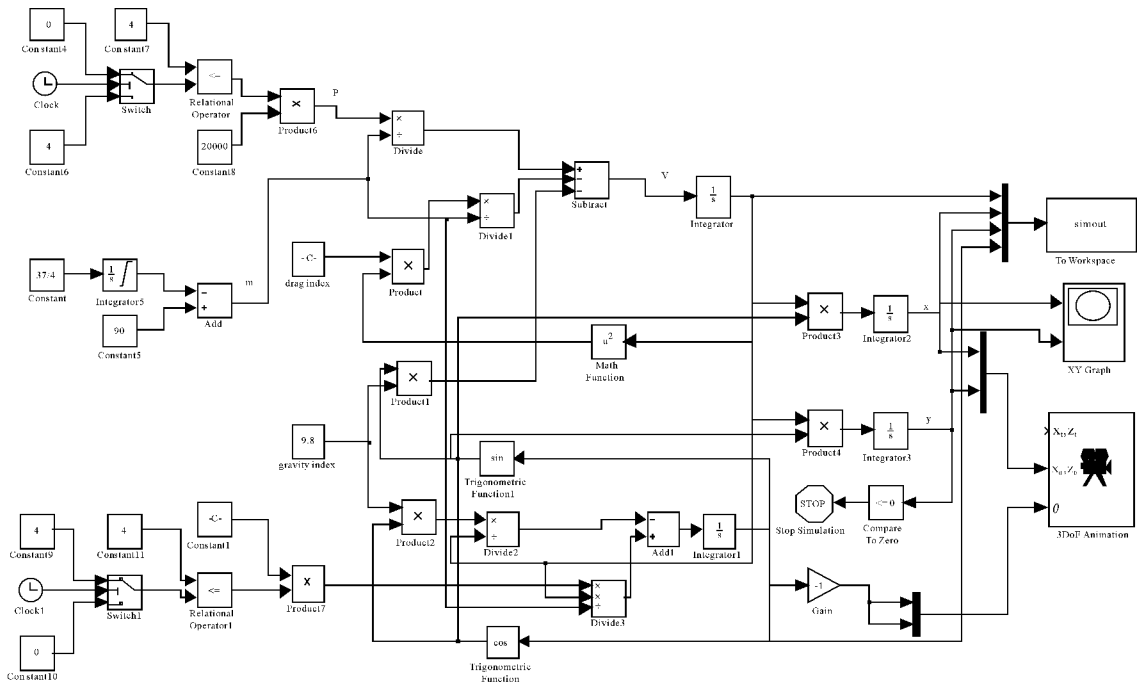


图 1 质点纵向外弹道仿真模型

### 3 仿真结果及分析

给定一组参数和变量的初始值,就可以唯一地确定一条弹道曲线。更改同一参数或不同参数就可以得到同一质点的不同纵向外弹道或不同质点的不同纵向外弹道。并且这些参数都可以在模型中直接设置。比如初速度和发射角分别在积分器初值中设定。选择变积分步长的 Ode45 解算器进行仿真计算,最小步长自动调节,仿真开始时间为 0 时刻,结束时间为 90s(大于质点实际飞行时间),各参数设置好后即可开始仿真计算,仿真结果如图 2~图 5 所示。

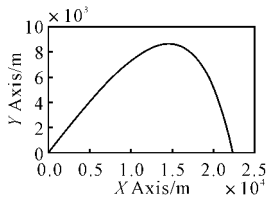


图 2 弹道曲线

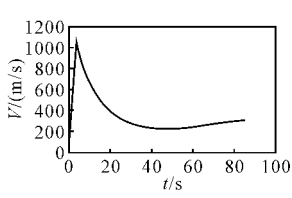


图 3 时间-速度曲线

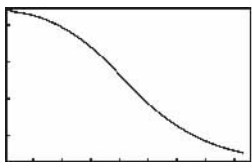


图 4 弹道倾角曲线

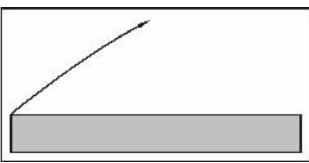


图 5 三维动画仿真

图 2 所示的弹道曲线表示的是射程-飞行高度曲线,符合抛物线理论弹道曲线。通过这条曲线可以读出射程和飞行高度值。图 3 所示的速度曲线,在推力作用段速度以大斜率上升,推力

作用结束后由于空气阻力作用速度骤降,到升力与重力相持时速度平缓变化。图 4 所示为弹道倾角曲线,就是导弹与地面之间所夹的角。图 5 所示为导弹飞行三维动画仿真,通过这个动画可以清晰地看见导弹飞行状态。

### 4 结论

在导弹方案设计或设计初期阶段,采用 MATLAB/Simulink 进行仿真计算,来研究某地地导弹的弹道曲线。仿真结果显示弹道曲线符合一般抛物线理论弹道,此弹道曲线和所得数据为其它系统的设计提供了依据和参考。同时为弹道仿真研究提供了一种简单、直观且易行的方法,使用 Simulink 建立仿真模型进行计算节省了时间,缩短了设计周期。

#### 参考文献:

- [1] 钱杏芳,林瑞雄,赵亚男. 导弹飞行力学[M]. 北京:北京理工大学出版社,2003.
- [2] 黄忠霖. 控制系统 MATLAB 计算及仿真[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [3] 薛定宇,陈阳泉. 基于 MATLAB/Simulink 的系统仿真技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [4] 石辛民,郝整清. 基于 MATLAB 的实用数值计算[M]. 北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社,2006.
- [5] 柴霖,方群. 基于 MATLAB/Simulink 的鱼雷导引弹道仿真[J]. 系统仿真学报,2003,15(2):231-234.