

基于 Visual C ++ 的潜射导弹运载器的运动控制仿真

袁宝吉, 吴猛猛, 廉海波

(海军潜艇学院, 青岛 266042)

摘要: 基于 Visual C ++ 软件, 利用简化的 6 自由度微分方程, 对发射导弹时运载器的运动状态进行仿真。在此基础上对运载器的运动过程进行了预报, 并给出了优选的运载器操纵方案。

关键词: 潜射导弹; 运动控制; 仿真

中图分类号: E927

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2012)03-0014-03

水下发射弹道导弹对运载器的姿态、深度及各运动要素要求非常严格, 对航速, 发射深度, 运载器的横摇角、纵摇角、偏航角、升沉速度和齐射时间都有着严格的规定, 这对运载器的操纵控制提出了很高的要求。为此, 能够通过解算运载器 6 自由度运动方程, 对运载器的发射过程作出预报和对操纵提出合理的规划是十分必要的。

1 数学建模

正确的数学建模是对运载器运动过程进行仿真的基础。建立潜射导弹运载器发射操纵仿真的数学模型的基本思想是: 导弹发射时对运载器施加一个冲量将使运载器获得动能, 从而使导弹产生纵向加速度 \dot{u} 、横向加速度 \dot{v} 、垂向加速度 \dot{w} 以及横倾角加速度 \dot{p} 、纵倾角加速度 \dot{q} 、偏航角加速度 \dot{r} 。利用美国大卫·泰勒海军舰艇研究和发展中心(DTNSRDC)的 Gertler 六自由度运动微分方程的简化形式, 得到 6 个加速度项与施加于运载器诸力的函数关系, 通过计算机仿真运算, 最终可对潜艇在发射导弹时的运动状态作出预报。仿真流程见图 1。

2 Visual C ++ 的实现方法

潜射弹道导弹仿真其特点是, 在仿真时需要给运载器指挥员提供足够多的运载器运动参数的信息显示, 同时要能够提供所有可能的可供指挥员操纵运载器的控制量。而且, 潜射弹道导弹整个发射过程时间非常短暂, 必须保证运载器控制的实时性和操纵响应时间上的真实性。鉴于此, 选择了 Microsoft Visual Studio .NET 作为开发平台, 选择对话框模式进行仿真软件开发。仿真主界面见图 2。

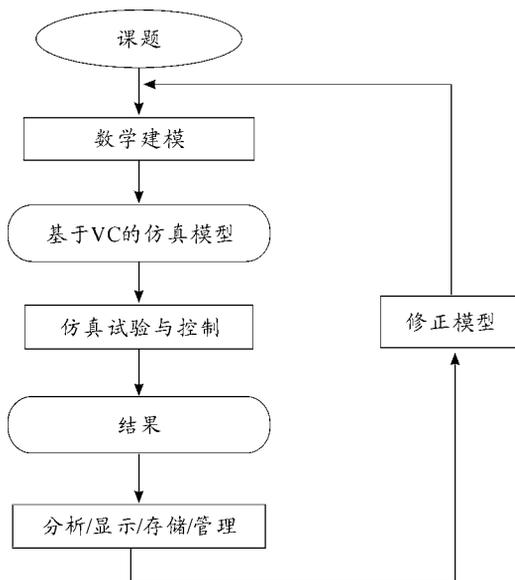


图 1 仿真流程



图 2 仿真主界面

2.1 运载器运动参数信息量的显示和计算

运载器指挥员处在运载器内,运载器运动状态的各种信息通过传感器和相应的显示仪器传递给艇指挥员。为了模拟这一物理事件,在 OOP 编程中,采用 Windows 系统提供的标准控制 AppStudio 对话框编辑器 Edit Control 控件。由于运动状态只给艇指挥员作为决策依据,所以将其属性项中的 Read Only 项设置为 True,以防止对该控件进行修改而影响决策数据的真实性。具体参数包括运载器的实际深度、纵摇角、横摇角、偏航角、实际航速、齐射时间、尾舵逆速和升沉速度等。其中,尾舵逆速和升沉速度 2 个量在运载器中不能显示,在仿真软件中仅作为对比运载器实际航速是否处于逆速区,以用来分析逆速区操舵与正常操舵的区别,而升沉速度是决定导弹能否正常发射的一项重要指标,供操纵者确定发射时机。

2.2 运载器运动控制量的加入和控制

采用 Visual C++ 进行仿真的一个主要因素就是方便的控制。作为控制量,大量使用了 Button、Combo Box、Check Box 控件。

为了提高仿真的真实性,采用了 CWnd::SetTimer(UINT_PTR nIDEvent, UINT nElapse, void (*) (HWND, UINT, UINT_PTR, DWORD) lpfnTimer) 触发 WM_TIMER 消息,由 void CMy02Dlg::OnTimer(UINT nIDEvent) 函数作为实时仿真的主控函数。代码如下:

```
void CMy02Dlg::OnTimer( UINT nIDEvent )
{
    .....

    JiSuan(); //控制数学模型的计算
    XianShi(); //控制主要信息的显示
    JiLuShuJu(); //建立 TXT 文本文件,记录操纵过程中所有参数,以进行操纵品质分析

    BianLiangXunJian(); //在规定的巡检时间内对所有操纵量进行巡检,以实现实时控制

    if ( FaSheBiaoZhi ) m_QiSheShiJian + = float ( ShiJianJianGe ); //若按下发射按钮,则进行齐射时间计算和显示
    T ++; //统计仿真计算的次数
    UpdateData( false ); //更新控件
    CDialog::OnTimer( nIDEvent ); //重载 CDialog 基类的 OnTimer( nIDEvent ) 函数
}
```

在这里基于本文所述数学模型的 JiSuan() 函数是整个仿真软件设计的关键,在该函数中计算了数百个相互关联的运载器速度、角速度、加速度、角加速度以及一些中间参数。而后,选择运载器指挥员需要的运载器运动状态参数和控制参数由 XianShi() 函数进行显示,所有数据由 JiLuShuJu() 负责记录,其实现代码为:

```
void CMy02Dlg::JiLuShuJu( void )
{
    .....
```

```
FP = fopen( " data. txt", " w " ); //创建记录文件
fprintf( FP, " % d % 12. 4f % 12. 4f\n", T, u, v, w, du, dv, dw, m_speed ); //定义文件格式
}
```

然后由 BianLiangXunJian() 对所有控制量进行巡检,以便实时更新仿真中所需要的数据。由于要求发射导弹可以在运载器运动开始仿真,以及运载器各项运动指标满足要求后才能进行,该过程需要艇指挥员判断。在运载器发射按钮按下后,将 bool FaSheBiaoZhi 置为 true,程序开始计算仿真时间,并由 double m_QiSheShiJian 显示给 Edit Box 控件,最后刷新全部控件。

这里需要说明的是,运载器的常规机动运动变化缓慢,所需的控制量少而且数值小,这种情况下,可以将系统的巡检时间设置为较大的数值,但是,在发射导弹时运载器的控制量变化剧烈、运动变化幅度大,而且在计算中将较多的变化剧烈的参数应用于积分项,这时就应提高系统的控制量巡检速度,以保证仿真精度。

为此,采用了双定时器触发机制。由“开始仿真”按钮触发低频定时器,由“发射”按钮触发高频定时器,两者重载相同的 OnTimer(UINT nIDEvent) 函数。OnTimer(UINT nIDEvent) 函数按照相关频率巡检并计算,由 bool GaoDiPin 标识来确定。在不同的触发频率下,与巡检时间相关的参数要相应变化。

2.3 潜射导弹时运载器的控制

运载器发射导弹时要受到静力(包括重力与浮力),艇体水动力(包括与加速度有关的流体惯性力、与速度有关的流体粘性力、外部控制力、流压力和力矩)以及在发射瞬间运载器所受到的复杂的激变力。其中,运载器在发射导弹瞬间所受到的激变力是最复杂的,包括导弹对运载器的发射反力、高压燃气造成的负压区、导弹出筒与海水灌入造成的失重与超重等,难以用数学方法推算。

在此,借鉴了大量某型弹道导弹核运载器水下发射导弹时的测量数据,并按照高频触发器触发时间间隔,对这些数据进行了三次样条插值处理,按照高频触发时间获取离散后的数据,定义为全局的数组变量 double FanLi[i], FuYaLi[i], ShiChaoZhong[i], 并加入到公式的计算中去。

由于共用瞬时补水舱的缘故,导弹采取了分组发射方式,此时在发射某一枚导弹时只允许固定的某几枚导弹作为齐射,这时必须禁止选择其他导弹,以防止造成程序执行混乱。在程序中是采用给相应的 Check Box 控件添加事件处理函数来禁止其余发射筒发射导弹。代码如下:

```
OnBnClickedCheckNo * ( )
{
    .....

    GetDlgItem( IDC_CHECK_NoJHJ ) - > EnableWindow( false );
}
```

潜射弹道导弹仿真的关键是齐射导弹时的仿真,而齐射导弹时的仿真关键又在于时间的控制。在这种情况下,就必须考虑到操纵各种控制量(例如操舵、调水、注排水、吹除)的实艇响应时间和变化规律。为了提高仿真的真实度,在充分进行实艇调研的前提下,确定了这些控制量的响应时间,并将其按照线性规律变化进行简化处理,使之能够较准确地反映实艇操纵规律。

如图3所示,若按钮上的CString为“停止”表明该按钮已被按下,运载器的围壳舵正处于上浮状态,程序将按照高/低频定时器设置的实艇变化规律进行响应时间段内舵角的增减;反之,如果在巡检时按钮上的CString为“上浮”则表明该按钮处于初始状态,运载器仿真中的舵角数据保持原数值不变。



图3 仿真软件检测按钮

2.4 运载器操纵方案的优选

运载器发射导弹后各运动参数必然超出规定范围,此时运载器的状态是最难控制的,而齐射又要求在规定时间内使运载器重新回到规定的参数范围内。这种情况下,操艇经验起到了很大的作用。由于对运载器运动过程中全部数据的每一步仿真进行了记录,这样就可以在多次的操作过程中选取截止目前最优的一次操纵(最优的标准有2条:一是齐射准备时间最短,二是操纵中的超调量最小)作为推荐操纵,从而制作出专家推荐操纵对话框(图4)。



图4 运载器操纵方案优选控制页面

专家推荐值是一个开放式的系统,随着操纵过程中不断出现新的更优操纵方法,其值将会被新的操纵方法刷新。实现代码如下:

```
if (min_QiSheShiJian < m_QiSheShiJian && fabs(m_z - *) <
    fabs(m_ShiJiShenDu - *) && .....)//判断记录文件中是否存在
在比当前专家推荐操纵更优的操纵方法
{
    .....
    m_FangXiangDuoDuoJiao = new_FangXiangDuoDuoJiao;//将
新的方向舵舵角值赋给专家推荐值
    .....
}
```

为保密起见,本文所涉及到的所有运载器技术数据均以“*”或“JHJ”代替。

3 结束语

使用该软件对某型运载器进行了发射导弹的仿真,所得结果与实艇已有的试验数据吻合,验证了软件的可靠性。

参考文献:

- [1] 闵景新,魏英杰,王聪. 潜射导弹垂直发射过程流体动力特性数值模拟[J]. 兵工学报,2010(10):1303-1309.
- [2] 姚奕,聂永芳,冯林平. 潜射导弹运载器水下发射关键技术研究[J]. 飞航导弹,2010(2):56-59.
- [3] 傅慧萍,张宇文. 潜射导弹运载器的艇体扰流场计算[J]. 弹箭与制导学报,2001(1):50-53.
- [4] 曹嘉怡,鲁传敬,李杰. 潜射导弹水下垂直自抛发射过程研究[J]. 水动力学研究与进展:A辑,2006(6):752-759.
- [5] 陈庆贵,齐强,朱保义. 某型导弹发射内弹道数值仿真[J]. 海军航空工程学院学报,2010(5):501-504.

(责任编辑 刘 炯)