

飞行器基础实验课

# 航电部分实验指导书

清华大学航天航空学院

航空宇航电子系统实验室

2018 年 6 月 29 日

# 目录

一、飞行器航电基础实验攻防模拟平台概述.....	2
二、实验 1 Simulink 飞行器电子系统模块搭建 .....	14
三、实验 2 航电仪表熟悉与操作 .....	18
四、实验 3 EH101 直升机任务飞行 .....	22
五、实验 4 单兵便携式防空导弹性能分析 .....	24
六、实验 5 EH101 直升机与单兵攻防对抗 .....	26
七、实验 6 初教 6 与 F18 任务飞行 .....	28
八、实验 7 两型战斗机的攻防演练.....	30

# 一、飞行器航电基础实验攻防模拟平台概述

## 1. 实验目的

使用虚拟现实（VR）飞行模拟设备理解现代飞行器驾驶舱内的电子系统，直观认知民航飞机的驾驶舱仪表布局、类型、显示、设置等功能。操作虚拟现实环境中的仿真飞行器完成飞行任务，从而理解飞行过程中仪表对目视飞行的辅助作用，以及对于安全飞行的重要性。使用单兵便携式防空导弹 VR 仿真设备，学习比例法、平行接近法、追踪法、三点法等为例的导引律和基本控制律，理解各制导参数对导弹中靶率的影响，加深对导弹制导原理的理解。

## 2. 实验内容

使用基于 VR 的飞行器攻防模拟系统，在实验中直观地了解飞行器仪表的功能与设置，学习制导律（导引律和控制律）对导弹中靶率的影响。实验系统架构如图 1 所示，依托该实验系统，本实验课程包括 6 个基础实验：

- 1) 使用 Matlab 的 Simulink 搭建和仿真航电系统；
- 2) 使用 VR 飞行模拟设备了解 EH101 型直升机、初教 6 飞机、F18 战斗机的典型航电仪表和基本操控原理；
- 3) 使用 VR 飞行模拟设备了解飞行驾驶方法和过程，并完成基本飞行任务；
- 4) 在 VR 环境中，了解使用单兵便携式防空导弹的使用方法和性能；
- 5) 直升机与防空导弹进行攻防对抗演习；
- 6) 两型战斗机的对抗演练。



图 1 实验用 VR 攻防模拟平台系统架构

### 3. EH101 型直升机简介

#### 1) 基本数据

EH101 外形数据如图 2 所示，其他飞行相关技术参数见表 1。

表 1 EH101 技术数据

容积	29.0 立方米	基本空重	7121 千克
使用空重	9298 千克	最大燃油重量(4 个内部油箱，总计)	3438 千克
最大允许速度	309 千米/小时	最大起飞重量	14288 千克
平均巡航速度	296 千米/小时		

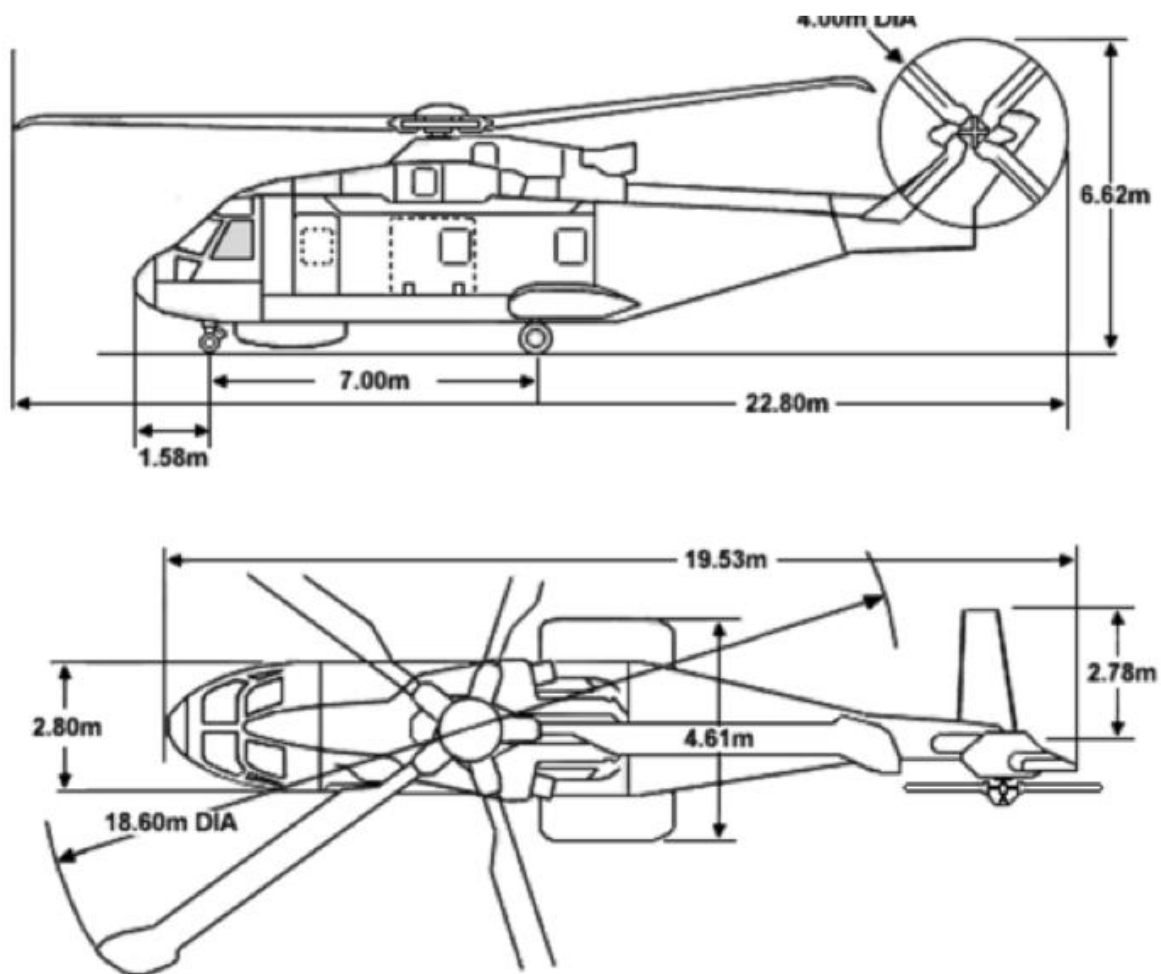


图 2 EH101 外形数据

## 2) 机型概述

EH101 是由意大利阿古斯塔公司(Agusta)和英国韦斯特兰公司(Westland)联合研制的具有 21 世纪初先进水平的三发中型多用途直升机，可承担多样化的任务。目前主要有五种改型：反潜型、预警型、陆军陆军型、民用客运型、民用货运型，前两者主要作为海军舰载机使用。

EH101 的两人机组由飞行员、副飞行员/观察员组成，也可由单人完成所有驾驶操作。反潜型的机组还包括一名观察员和一名水声设备操作员。EH101 的驾驶舱采用了“玻璃化”设计，装有六个兼容夜视镜的高清晰彩色阴极射线管显示器，相关键盘位置合理、控制简捷。飞控系统的核心是阿莱尼亚·马可尼公司的

飞行管理计算机，能够自动管理导航、控制、座舱显示、发动机监控及总线等子系统。目前英国航宇公司正在开发 EH101 的电传飞行操纵系统。借助于上述先进技术和设备，EH101 机组成员的劳动强度有了显著的降低，能够将更多的精力集中于作战任务本身。

EH101 反潜型先进的航空电子设备以 MIL-STD-1553B 总线为骨干，飞行管理系统、作战管理系统和其他航电设备有效的互联为一个整体。民用型的 EH101 则采用 ARINC429 总线。其双余度任务计算机能自动完成跟踪、探测、控制和显示操作，机组成员无需过多干预。该计算机的信号处理技术处于世界领先水平，能迅速处理、分析和转发来自各个机载传感器的信息。

## 4. F18 战斗机简介

### 1) 基本数据

F18 战斗机的三视图如图 3 所示，其他飞行相关技术参数见表 2。

表 2 F18 战斗机技术数据

长度	17.07 米	基本空重	10455 千克
翼展	11.43 米	最大飞行速度	1814 公里时
高度	4.66 米	最大起飞重量	22328 千克
机翼面积	37.16 平方米	航程	2346 米
作战半径	722 千米	爬升率	254 米/秒
翼载荷	459 千克/平方米	推重比	0.67

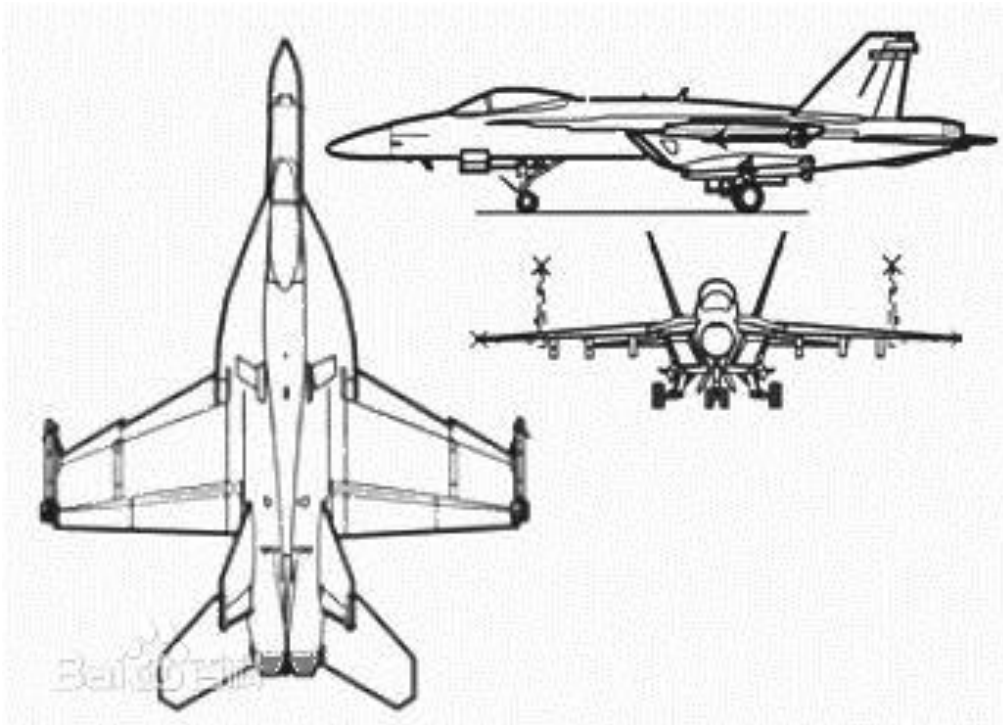


图 3 F18 战斗机外形数据

## 2) 机型概述

F-18 战斗机（英文：F-18 Strike Fighter，绰号：Hornet，通称：波音 F-18“大黄蜂”，编号：亦作 F/A-18），是美国一型单座双发超音速多用途舰载战斗机，也是美国军方第一种兼具战斗机与攻击机身份的型号，在世代上属于第三代战斗机。

F-18 战斗机具备优秀的对空、对地和对海攻击能力。作为美国海军最重要的舰载机，F/A-18 的用途广泛，它既可用于海上防空，也可进行对地攻击。

F-18 战斗机由美国麦道公司（现波音/Boeing）为美海军研制，于 1978 年首飞，1983 年进入美国海军服役，2006 年 7 月 28 日 F-14“雄猫”战斗机退役后，成为美国航空母舰上唯一的舰载战斗机。

F-18A 大黄蜂是单座、双发舰载战斗攻击机。有 YF/A-18A/B、F/A-18A、RF-18A、F/A-18B、F/A-18C 和 F/A-18D 等 6 种型别，共生产了 1137 架，其中

150 架是双座教练型，112 架是侦察型，F-18A 大黄蜂是第 1 种生产型，主要用于舰队防空和舰载攻击机的护航，有些飞机也用于执行空对地、空对舰攻击任务。主要的火力控制设备包括 AN/AVQ-28 平视显示器、AN/AYK-14 中央任务计算机 (2 台)、AN/APG-65 脉冲多普勒雷达、多功能显示器、外挂物管理装置、AN/AWG-21 反辐射导弹(AGM-78)控制器等。执行空对地攻击的型号座舱中的显示器有些变化，并装备有前视红外(FLIR)和激光光点跟踪器(LST)。在海湾战争中，F/A-18 是美国舰队的主力作战飞机。

5. 初教 6 教练机简介

1) 基本数据

初教 6 教练机的三视图如图 4 所示，其他飞行相关技术参数见表 3。

表 3 初教 6 技术数据

机长	8.46 立方米	基本空重	1172 千克
起飞重量	1419 千克	最大平飞速度	286 千米/小时
最大允许速度	309 千米/小时	最大爬升率	6.3m/秒
平均巡航速度	170 千米/小时	航程	640 千米



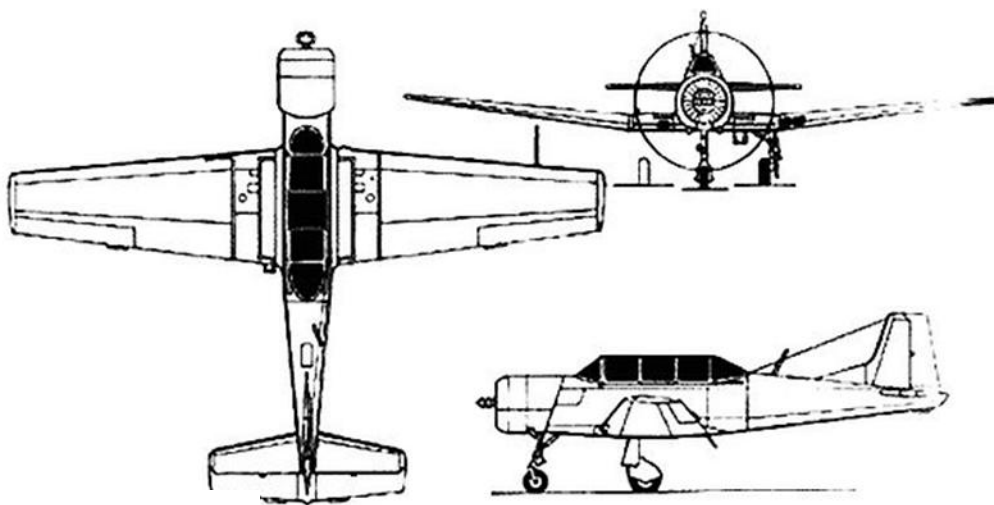


图 4 初教 6 三视图

## 2) 机型概述

初教-6 (HAIG CJ-6)，是中国南昌飞机制造公司研制成功的串列双座初级教练机，于 1958 年 8 月第一次试飞，长期服役于中国空军及地方航校，是中国空军初级教练机主力机型。该机飞行性能优越，能完成所有的初级飞行训练项目，是我国第一个荣获国家质量金奖的机种。它为我国成功地培养了数以万计的飞行员，堪称中国飞行员成长的摇篮。除了中国使用以外，并且外销到美国，澳大利亚，英国，朝鲜等国家，不少私人收藏家也购入这架飞机作为私人用途。

初教-6 教练机为双座、下单翼、前三点起落架设计，动力装置是一台 285 马力的活塞-6 甲 (HS-6A) 星型气冷 9 缸发动机，配双叶自动变距螺旋桨。初教-6 机身、机翼和尾翼安定面采用全金属结构，仅副翼和舵面为金属骨架蒙布结构。该型装有全套飞行仪表，无线电通讯导航设备。

CJ-6 的主要型别有：

CJ-6 原型机，装一台 AI-14P 星型气冷活塞发动机，共制造了 5 架。

CJ-6 生产型，装一台活塞 6 型发动机，是最初投入批生产的型别。

CJ-6 甲型，装一台提高功率的活塞 6 甲发动机，大量成批生产并装备部队

的主要型别。

CJ-6 乙型，加装武器的改型，加装两挺 7.62 毫米口径的机枪，备弹 120～180 发；可挂 10～25 千克的炸弹 2 枚；增加相应的瞄准具与照相枪。1966 年生产了 10 架。

“海燕”，以 CJ-6 甲为基础改型设计的多用途农业飞机。

## 5. 单兵便携防空导弹发射器简介

### 1) 系统简介



图 5 单兵便携防空导弹发射器

单兵便携式防空导弹是地空导弹系列中体积最小、重量最轻、射程最近、射高最小的一种轻型防空武器，主要配备于作战地域前沿或重要设施的防空区域，主要打击对象是低空、超低空飞行的战斗机、攻击机、轰炸机和武装直升机。

单兵便携式防空导弹的最大特点就是小、轻、快、猛，不需专用电源车、指挥车和成套的保障设备，便可在敌前沿作战区域内进行隐蔽攻击，因此属单兵点防空装备。发射方式大致可分为两种：一种是肩扛式发射，一种是依托式发射。

实验系统中的单兵便携防空导弹发射器系统如图 5 所示，系统包括一套高精度磁定位装置以及一个导弹发射架。该系统作为半实物的导弹发射器用于单兵防

空与直升机模拟器的联合对抗训练实验中。使用该发射器可模拟防空兵对直升机进行瞄准打击。为了更好地模拟真实导弹对飞行物体的跟踪，该实验系统中的导弹采用了合适的导引律和控制律算法对导弹路径进行实时规划，而要完成规划则需要时刻知道炮筒的初始位置。在单兵便携防空导弹发射器中，采用磁定位系统对炮筒的坐标和姿态进行实时定位，并将定位信息传入视景系统，用于导弹规划路径。

## 2) 高精度磁定位装置

高精度磁定位系统的系统架构如图 6 所示，该系统主要分为两个部分，分别为磁源发射端和传感器接收端，其中磁源和传感器均由三轴线圈组成。

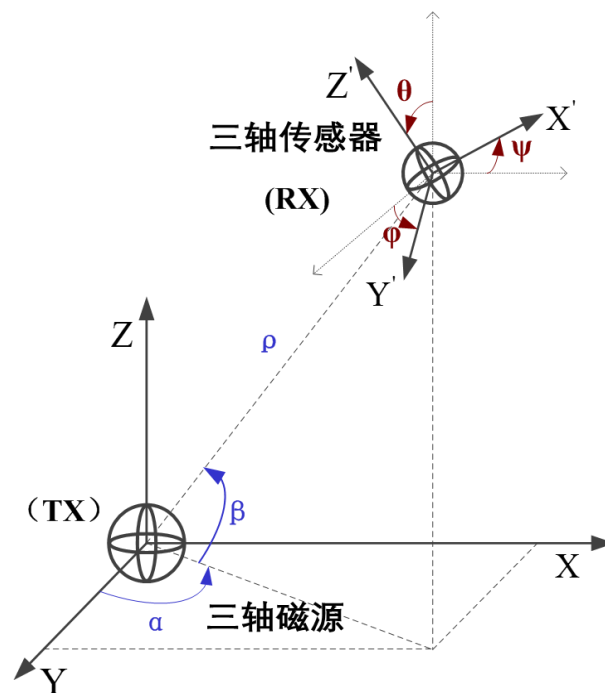


图 6 磁定位系统的系统架构

磁定位系统是使用交变的电磁场来确定目标物体方位的系统，信号发射部分的作用是向三个相互垂直的线圈分时发送一定的较低频率的正弦电流信号，进而在空间中产生三个正交的磁场。信号接收部分的作用是利用三个相互垂直的线圈对感应到的交流信号进行幅度的测量与相位的判决，经 AD 采样后的数字信号经过传输电路送入到数据处理与控制部分进行计算处理得到传感器相对于磁源

的位置信息。电磁定位系统的主要优点是定位的距离较远，且不存在遮挡问题，可实现毫米级定位，该套定位系统的相关指标如表 4 所示。

表 4 磁定位系统性能参数

参数	值	单位
位置精度	0.93	mm
角度精度	0.65	°
刷新率	123	Hz
定位距离	1.2	m

6. 智能教员台简介

一个完整的飞行模拟器通常由模拟座舱，运动系统，视景系统，计算机系统以及教员控制台等五大部分组成，其中教员控制台在飞行模拟器中扮演着监控中心的角色，主要用来监视和控制飞行训练。

通过本教员台控制程序可以完成初教 6 训练机、F18 歼击机和直升机的飞行模拟训练指示、飞行任务的制定、飞行任务考核指标检测和模拟飞机姿态显示等功能。整个教员台控制系统的框图如图 7 所示。教员台界面负责设置飞行实验科目以及检验实验是否合格，视景计算机将视景中飞机的实时姿态、飞行坐标等数据定时发送给教员台控制界面。平台的运动指令数据来自六自由度平台和 720 度平台的摇杆输入或者虚拟现实眼镜输入，用于改变平台的运动状态以及视景的显示状态。

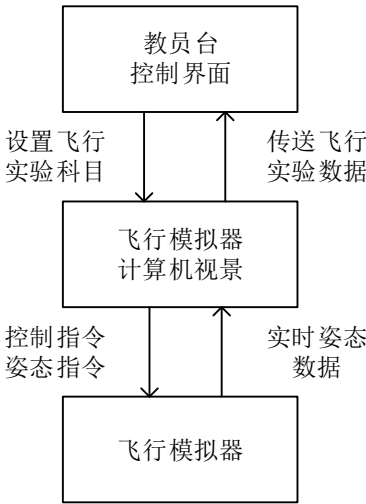


图 7 教员台系统框架

智能教员台软件如图 8 所示。通过教员台可以选择飞行实验科目并且实时检测实验是否合格，还可以检测飞机轨迹是否偏离预定的航线，进行相应的实验指示，语音提示飞行实验是否完成，教员台还可以指示模拟机进行航线飞行实验并且实时提示飞机航线和航路点是否正确。还可以设置飞行实验时长，不满足条件时进行语音提示。

除上述所示功能外，智能教员台还具有的功能有：

(1) 地图实时显示 EH101 航迹功能：包括直升机模拟机、F18 歼击机和初教 6 训练机的姿态数据、坐标数据以及清华大学西操场和北京首都国际机场坐标等。并且可以可通过鼠标操作拖拉缩放地图界面和自动跟随显示等；

(2) 设置模拟机坐标功能：可一键将任意模拟器的坐标设置到清华大学或者北京首都国际机场等；

(3) 发送教员指令功能：可以发送任意文字显示在任意模拟器的 VR 眼镜和视景显示器上，如起飞、降落命令等。

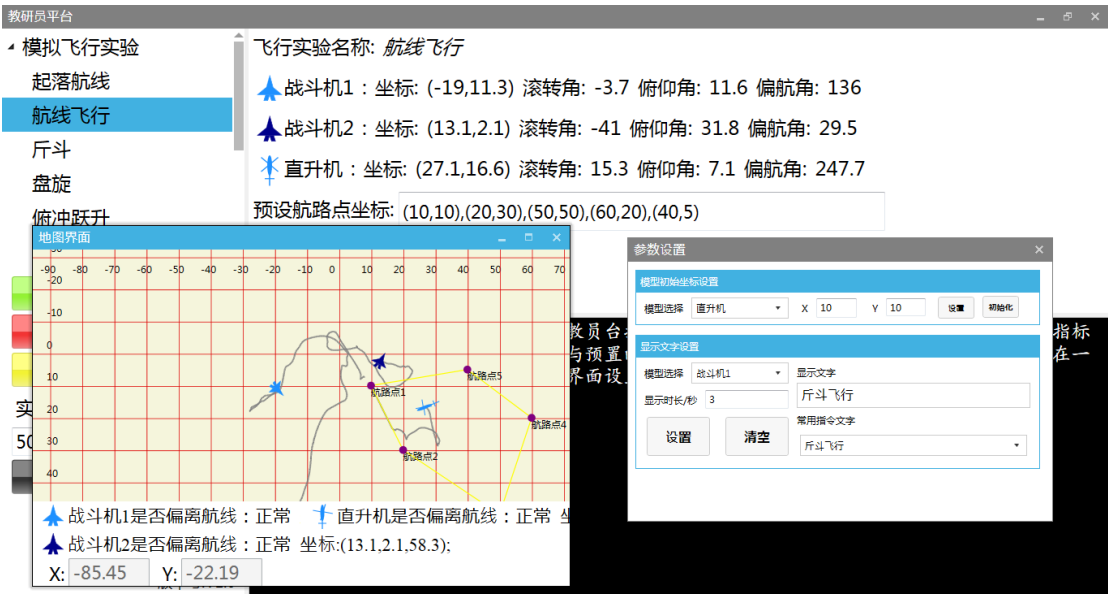


图 8 教员台软件界面

## 7. 第三方监视视景系统简介

除了使用智能教员台进行实时地第三方监视，在本实验系统当中还可以通过第三方视景软件实时监视飞机的姿态与运动，整体软件界面如图 9 所示。可以通过键盘上的数字 1，2，3 按键分别切换 EH101 直升机、F18 战斗机和初教 6 模拟器的视角显示。

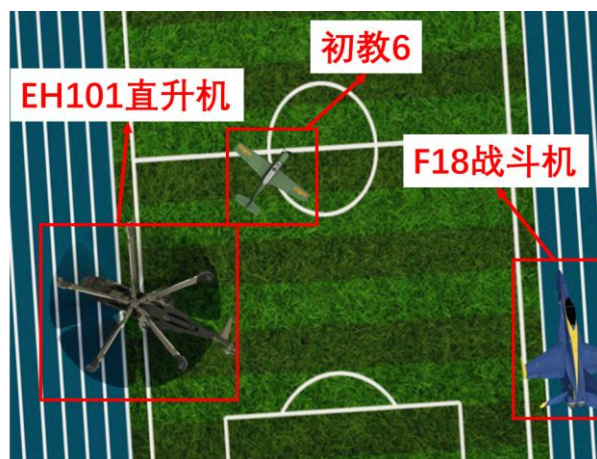


图 9 第三方视角软件界面

## 二、实验 1 Simulink 飞行器电子系统模块搭建

### 1. 实验目的

学习使用 Matlab 软件中 Simulink 实现飞行器电子系统模块搭建和仿真的方法，理解航电系统组成原理和基本概念。

### 2. 实验设备（自备）

计算机、Matlab Simulink 软件。

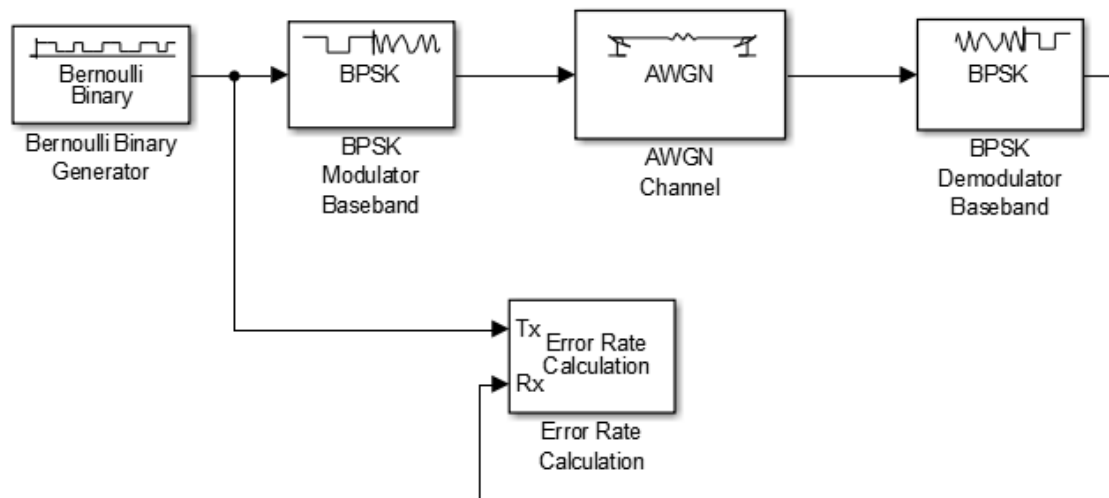
### 3. 实验任务

在以下 3 个系统仿真中任选 1 个，完成模块搭建，并进行仿真计算，统计仿真数据，完成实验报告。

#### 1) 任务 1：通信链路建模与仿真

- a. 在 Matlab 命令窗口运行命令“simulink”，或单击工具栏中 Simulink 的图标，打开 Simulink 模块库浏览器窗口，如图 1 所示；
- b. 单击工具栏上的 File→New→Model，新建一个空白窗口并保存；
- c. 在左侧导航中选择 Communication Blockset 即可使用其中模块；
- d. 通过拖拽可以添加模块，同时可以对模块进行复制删除；
- e. 双击模块打开模块的参数设定窗口，同时参数设定窗口包含了该模块的基本功能帮助；
- f. 根据 BPSK 信号调制调解原理，在 AWGN 噪声传输仿真环境下，用 Simulink 的 Communication Blockset 实现 BPSK 发送与接收，并统计相应的误码率；
- g. 发送端数字信号由信源产生，采用随机二进制信号；

示例 1:



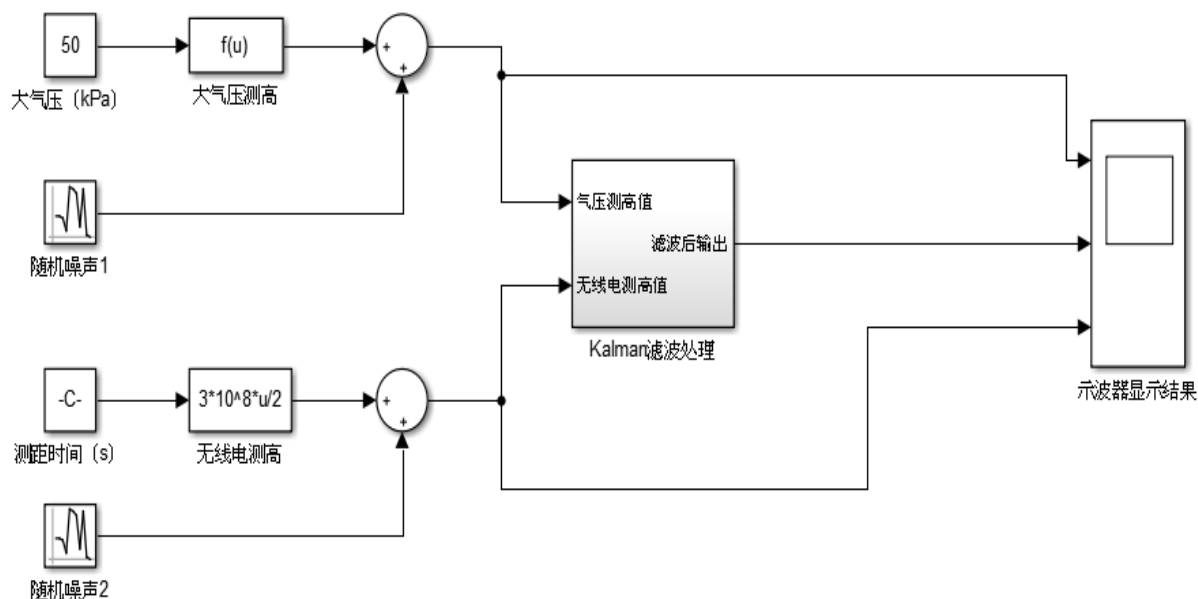
实验报告要求：给出 Simulink 框图，信号的 BER 曲线（可参考 Matlab 中的 bertool 工具）。

## 2) 任务 2：高度表建模与仿真

- 在 Matlab 命令窗口运行命令“simulink”，或单击工具栏中 Simulink 的图标，打开 Simulink 模块库浏览器窗口。
- 单击工具栏上的 File→New→Model，新建一个空白窗口并保存；
- 通过拖拽可以添加模块，同时可以对模块进行复制删除；
- 分别建立气压高度表与无线电高度表模型；
- 使用卡尔曼滤波方法对两个高度信息进行融合；

示例 2:



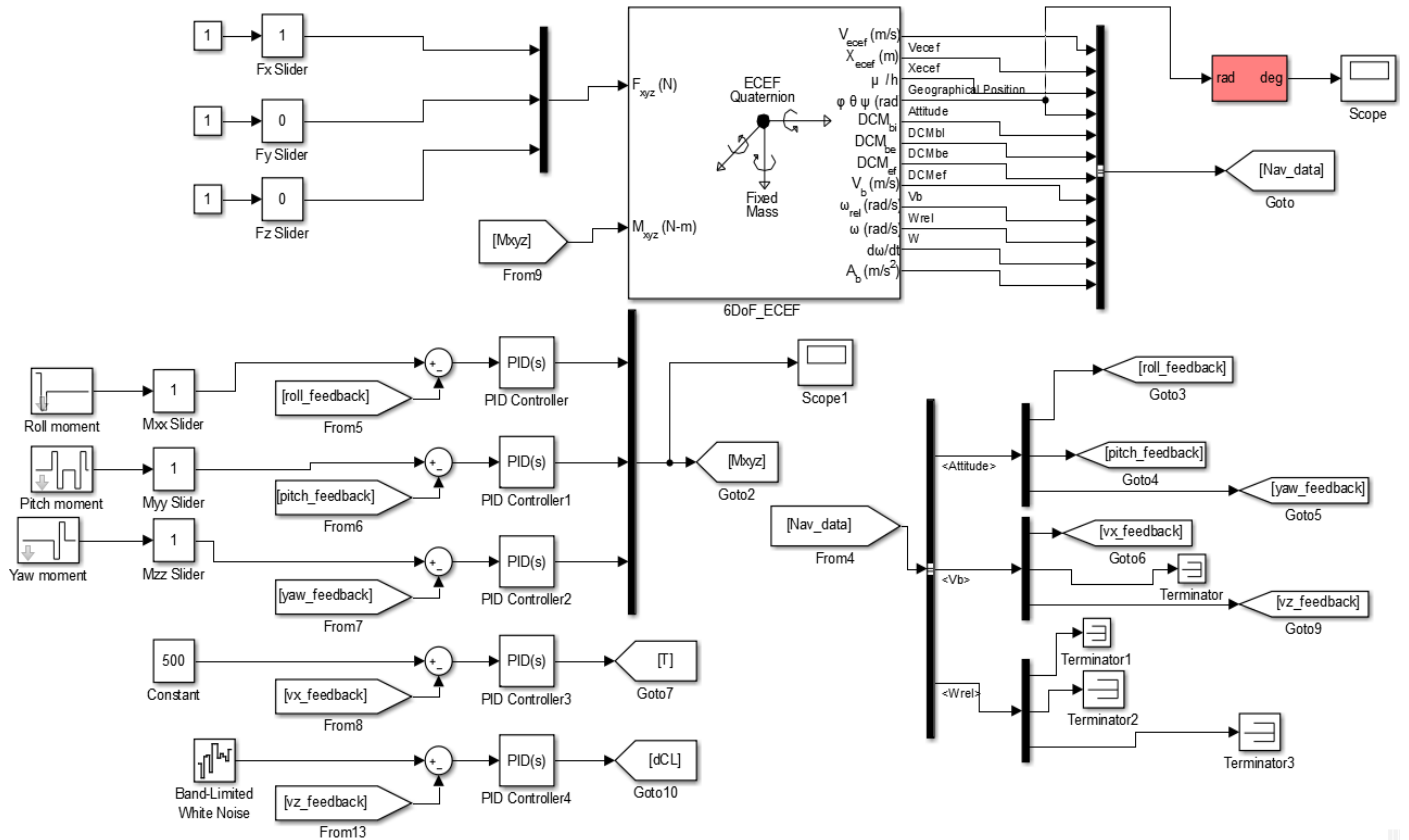


实验报告要求：画出 Simulink 框图，画出卡尔曼滤波曲线。

### 3) 任务 3：飞行器控制系统仿真

- 在 Matlab 命令窗口运行命令 “simulink”，或单击工具栏中 Simulink 的图标，打开 Simulink 模块库浏览器窗口；
- 单击工具栏上的 File→New→Model，新建一个空白窗口并保存；
- 在左侧导航中选择 Aerospace Blockset 即可使用其中模块；
- 通过拖拽可以添加模块，同时可以对模块进行复制删除；
- 在 Simulink 环境中搭建飞行器姿态控制回路，控制飞行器三个姿态通道；

示例:3:



实验报告要求：画出 Simulink 框图，比较 PID 调节中不同传动比下，姿态响应特性。

## 三、实验 2 航电仪表熟悉与操作

### 1. 实验目的

基于 ppt 讲解和 VR 飞行模拟器，了解 EH101 型直升机仪表显示系统界面与功能，直观理解飞行状态显示方式。

### 2. 实验设备

VR 飞行模拟器：虚拟现实头戴装置、虚拟显示交互设备（鼠标键盘）

### 3. 实验任务

#### 1) 熟悉 EH101 直升机的仪表界面（中英文对照）

显示系统架构和界面如图 10 所示。

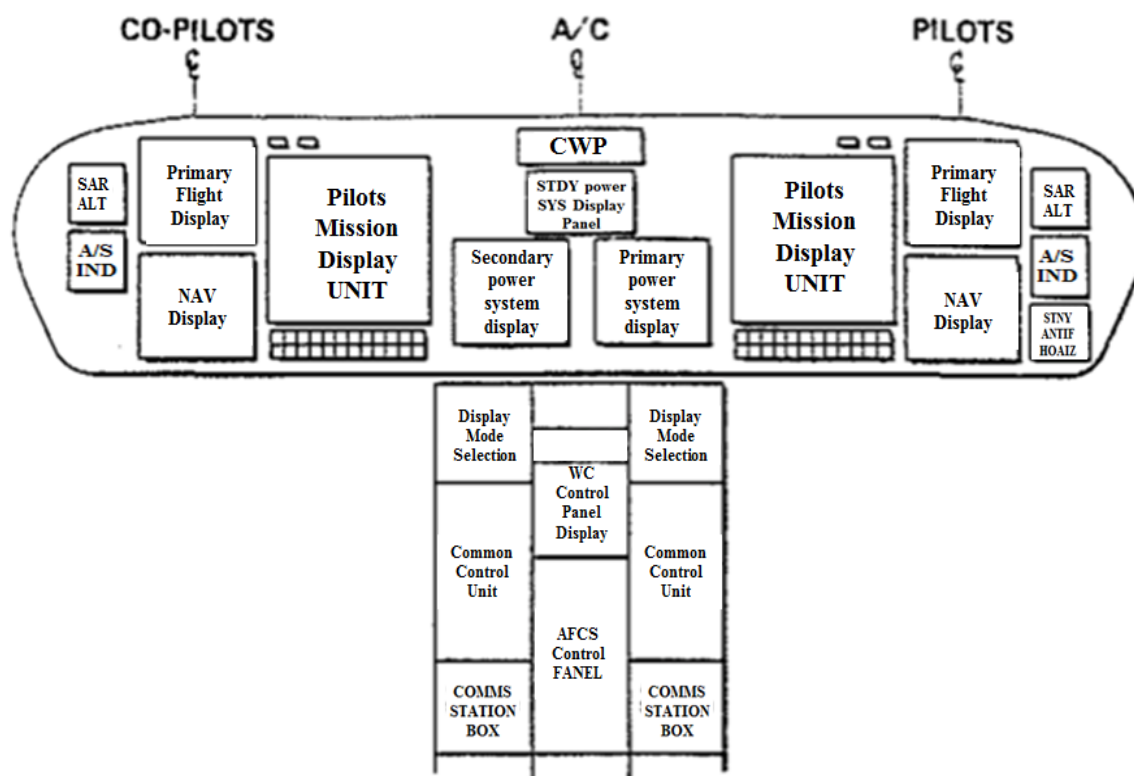


图 10 显示系统架构和界面

显示模块（Display Unit）采用全彩色 7×6 英寸显示器。主、副驾驶座对应的显示系统基本对称。以主驾驶座为例（右侧为主驾驶座），首先是飞行任务显示单元（Pilots Mission Display Unit, PMDU）；在 PMDU 右侧上下排列两块显示屏，分别为主飞行显示（Primary Flight Display, PFD）与导航显示（Navigation Display, ND）；最右侧垂直排列了三块分别是气压高度计、空速指示计和备用水平指示计。在中央区域，最上方是注意事项与告警面板（CWP），之下三块都是动力系统显示，中间是备用动力显示面板（Standby power system display panel），左边是副动力系统显示（Secondary power system display），右边是主动力系统显示（Primary power system display）。在“T 型”显示系统的下方纵列排布着显示系统的相关控制面板，同样是左右对称的形式，靠近驾驶员的一列对称的从上至下分别为：显示模式选择（Display mode selection, DMS）、通用控制模块（Common control unit）与通信电台操作箱（Communication station box）。中间一列从上至下分别是动力系统显示模式选择（Power system display mode selection）和自动飞行控制系统面板（AFCS control panel）。

表 5 操作界面中英文对照表

英文名称	中文名称
Display Unit	显示模块
Pilots Mission Display Unit(PMDU)	飞行任务显示单元
Primary Flight Display(PFD)	主飞行显示
Navigation Display(ND)	导航显示
Barometric altimeter	气压高度计
Airspeed indicator	空速指示计

Standby level indicator	备用水平指示计
CWP	注意事项与告警面板
Standby power system display panel	备用动力显示面板
Secondary power system display	副动力系统显示
Primary power system display	主动力系统显示
Display mode selection(DMS)	显示模式选择
Common control unit	通用控制模块
Communication station box	通信电台操作箱
Power system display mode selection	动力系统显示模式选择
AFCS control panel	自动飞行控制系统面板

## 2) 显示模式切换

DMS 面板提供了所有电子设备的控制功能，特别是系统在突发事件后失效时可以进行重新配置。如前所述，有两种 DMS，一种是控制飞行与导航显示的，另一种是动力系统的 DMS。

如图 11 所示，DMS 面板中有三个区域，从上至下分别是：飞行显示的控制、导航显示的控制以及子系统再配置的控制。点击 HT SEL 按键，切换高度显示；点击 NAV DISPLAY SELECT 中的选项切换导航显示模式；点击 ATT / HDG 下的 REV 键，对指示进行复位操作。

实验现象：通过对 DMS 显示模式中的操作，在对应主、副驾驶的 PFD 与 ND 中的显示模式进行改变。高度显示在指示高度（IAS）与校准高度（RAS）中进

行切换。导航模式中的路径显示在 HIS、地图、地图与气象雷达等中间进行切换。  
最后 ATT / HDG 的相关传感器进行复位。

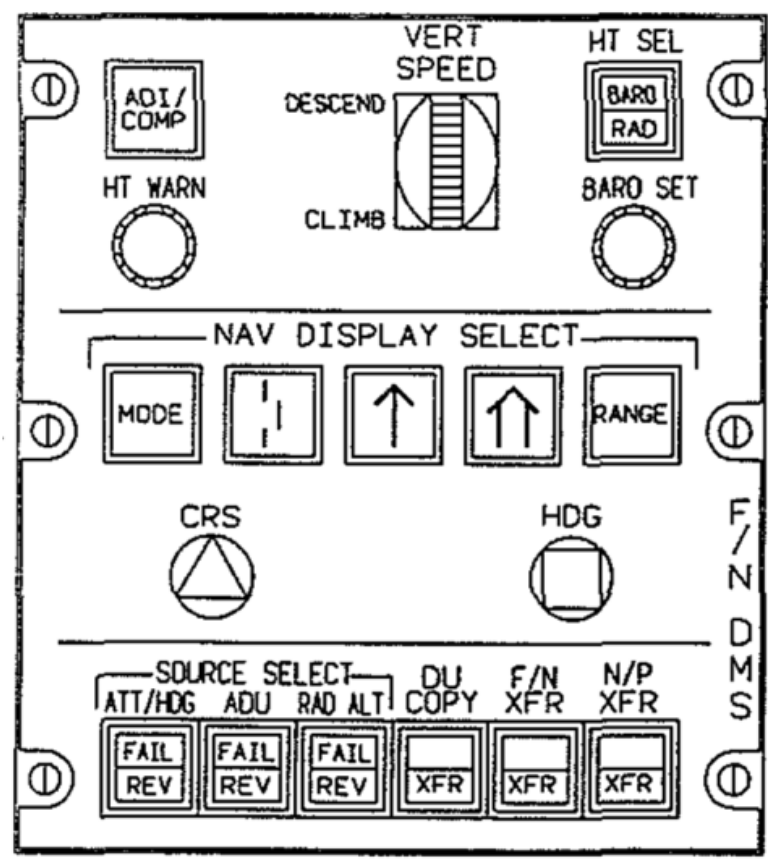


图 11 DMS 面板

考察主飞行显示单元读数，常用的显示配置如图 12 所示，最上方通过对 DMS 的设置选择显示 IAS 或 RAD，在右下角还有一个快速读数的电子显示。正中是飞机的姿态显示。

实验步骤如下：驾驶飞机起飞；按照主飞行显示中的 IAS 读书飞行到高度 3000 英尺高度；按照姿态显示保持飞机水平飞行。

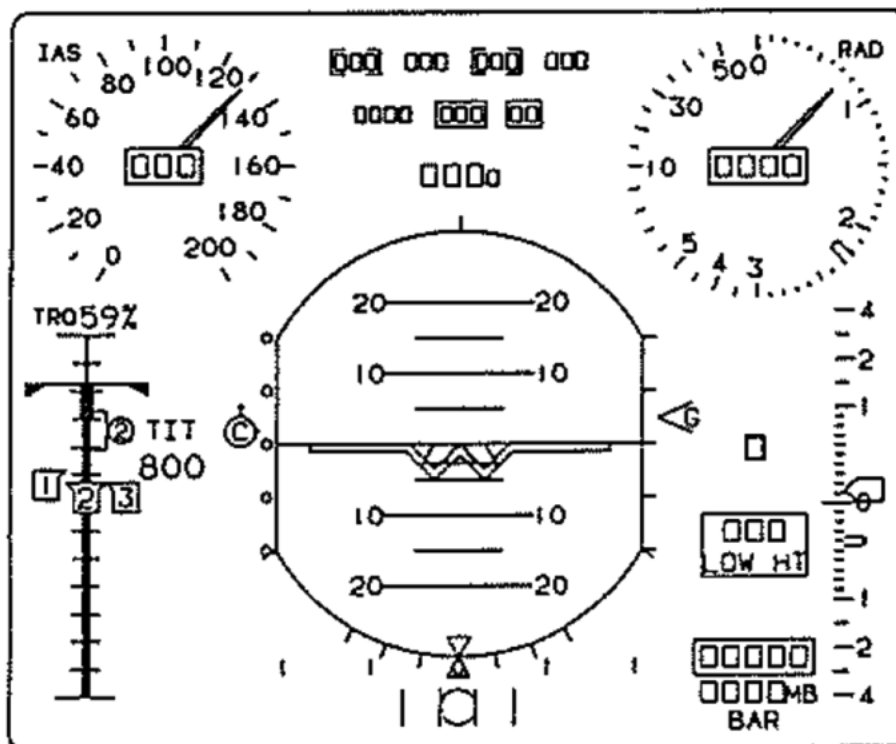


图 12 主飞行显示单元

实验现象：飞机爬升过程中高度读书不断变化，在保证不发生失速的情况下爬升到 500 英尺的高度，并保持水平巡航，此时高度计显示度数为 500 英尺，姿态显示器上飞机与水平指示计保持平行，飞机处于天空蓝色区域。

#### 4. 实验报告

飞行中记录 5 个特定高度与速度的数据，绘出飞行包线。

## 四、实验 3 EH101 直升机任务飞行

### 1. 实验目的

了解驾驶 EH101 直升机执行飞行任务的过程，通过仪表以及目视飞行，安全将飞机从北京首都机场飞行至清华大学西操场。

## 2. 实验设备

VR 飞行模拟器：虚拟现实头戴设备、飞行操作设备、六自由度平台。

## 3. 实验任务

### 1) 驾驶 EH101 起飞

打开电源；开启发动机；检查 CWP 面板上是否有告警项目；北京机场是民用机场，首先与塔台进行对话，请求起飞获得许可；使用操纵杆拉起飞机开始爬升；爬升至 500 英尺高度，进入巡航。

实验现象：通过实施正式起飞步骤，将飞机带入指定高度。

### 2) 掌握爬升与下降

开启自动飞行高度保持模式；保持最佳飞行速度 296km/h；通过查看导航显示单元，实时读取航向指示；参照地图实时确定飞行方向，准确向清华大学飞行；通过窗外地形观察飞行的航向是否需要调整；接近清华后通过操纵油门与拉杆将飞行高度降到 150 英尺。

实验现象：以指定高度稳速向清华大学方向前进，保持最佳飞行速度，通过导航与主显示器对飞行的状态进行监视，以安全的速度以及准确的航向进行飞行，大概在 15 分钟内飞到清华附近。

### 3) 驾驶 EH101 降落

观察周边建筑的特征，找到西大操场，注意躲避建筑；主要以目视替代导航显示进行飞机航向的引导；通过操纵油门与拉杆在西大操场上进行降落。

实验现象：降低高度后清华建筑将目视可见，通过建筑特征判断西大操场的方位，同时准确操纵操纵杆，进行地形和建筑躲避，完成安全飞行降落操作。

### 4) 使用导航显示系统



导航显示系统如图 13 所示。使用导航 DMS，将显示模式调到 HSI；b. 根据仪表上显示的飞行方向进行飞行操作调整；确保飞行方向向西南，目的地坐标 39.962, 116.362。

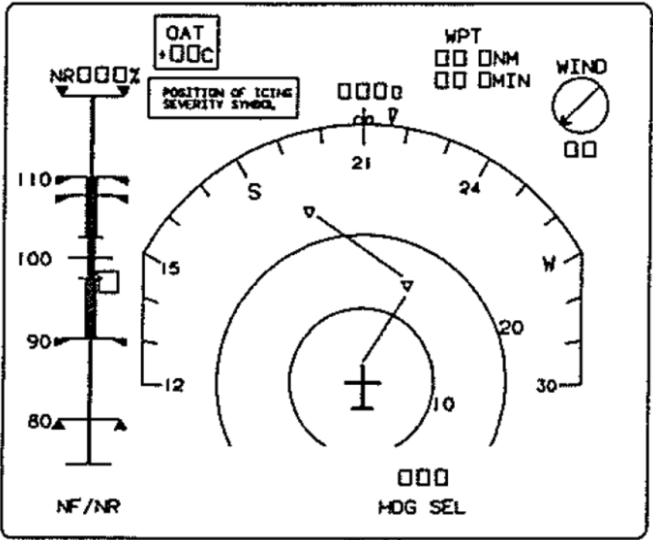


图 13 导航显示系统

实验现象：导航显示中，飞机头固定向前，像一个转动的指南针，另外还有导航路径、偏航指示，方向等信息。系统还可以提供附加信息，如距离目的地的时间与行程、外部空气温度、风向。地图数据使用路径点进行显示，路径点被链接成线，表示当前选择的飞行路径。另外还有主要动力指数显示其上。

#### 4. 实验报告

记录飞行坐标点，导出飞行航迹， 画出飞行剖面图。

## 五、实验 4 单兵便携式防空导弹性能分析

### 1. 实验目的

了解导弹制导原理，体会不同导引律和控制律参数对中靶率的影响。

## 2. 实验设备

虚拟显示头戴设备及其手持控制器 HTC、肩扛式导弹发射器、投影仪。

## 3. 实验任务

- 1) 校准实验设备，HTC 头戴设备与手持设备通过自带程序进行校准，仿真导弹发射装置通过手持发射装置校准；
- 2) 分别设置导引律为比例法、平行渐进法、三点法、追踪法；
- 3) 如使用比例法，设置比例法参数  $k$ ；
- 4) 设置参数，风速为  $x$  米 / 秒、能见度  $y$  千米、传动比系数；
- 5) 寻找并等待自动飞行的飞机进入射程范围；
- 6) 使用十字准星进行瞄准；
- 7) 使用手持设备对目标进行锁定；
- 8) 按动手持设备按键进行射击；
- 9) 输出法向过载、脱靶率；
- 10) 点击 Reset 重新开始回合。

实验现象：不同导引律和控制律会有脱靶现象。如果中靶，则场景中的直升机（自动驾驶状态）被导弹击落并爆炸坠毁；如果脱靶，导弹将在远处自动爆炸。

## 4. 实验报告

叙述比例法、平行渐进法、三点法、追踪法的特点；记录过载并画出曲线，统计中靶率。

## 六、实验 5 EH101 直升机与单兵攻防对抗

### 1. 实验目的

检验实验课知识的掌握程度并进一步加深认识和理解。

### 2. 实验设备

六自由度平台，单兵炮筒，HTC 头戴显示设备

### 3. 实验任务

#### 1) 守方

##### (1) 驾驶 EH101 从首都机场起飞

打开电源；开启发动机；检查 CWP 面板上是否有告警项目；北京机场是民用机场，首先与塔台进行对话，请求起飞获得许可；使用操纵杆拉起飞机开始爬升；爬升至 500 英尺高度，进入巡航；开启自动飞行高度保持模式；保持最佳飞行速度 296km/h；通过查看导航显示单元，实时读取航向指示；参照地图实时确定飞行方向，准确向清华大学飞行；通过窗外地形观察飞行的航向是否需要调整；接近清华后通过操纵油门与拉杆将飞行高度降到 150 英尺。

实验现象：实施正确飞行操作，在 15 分钟左右接近目的地清华大学附近。

##### (2) 在西操网球场安全着陆

观察周边建筑的特征，找到西大操场，注意躲避建筑；主要以目视替代导航显示进行飞机航向的引导；观察地面攻防的目视范围，并操作飞行方向进行躲避，尽量不被目标发现；如被导弹锁定，系统发出告警信息；拉起飞机、加大油门快速远离攻击；如躲避成功，通过操纵油门与拉杆在西大操场上进行降落；被击中，飞行任务失败，使用 Reset 重新启动。

实验现象：成功躲避导弹并安全降落为目标进行飞行。若被锁定，系统通过告警声音与告警字进行提示。若被击中系统进入黑屏并显示任务失败，需要重新启动飞行任务。

## 2) 攻方

### (1) 寻找目标

- a. 校准实验设备，HTC 头戴设备与手持设备通过自带程序进行校准；仿真导弹发射设备在开始后用设备上校准装置进行一次校准；
- b. 选择并配置导引律；
- c. 通过佩戴头戴虚拟现实头盔的转动进行视角改变，寻找目标；或通过操作炮筒角度改变视角，寻找攻击目标。

实验现象：西大操场场景通过移动虚拟现实设备视角发生变化，可以观察站立点的空地目标情况，如有目标飞进视景，利用瞄准准星进行瞄准。另外，站立点位置不改变。

### (2) 锁定目标进行射击

- a. 利用十字准星瞄准目标；
- b. 利用手持设备锁定目标；
- c. 利用手持设备对目标进行攻击，发射导弹；
- d. 击中目标，点击 reset 重启系统；
- e. 未击中目标，飞机仍在飞行中，准备进行第二次发射；
- f. 未击中目标，飞机安全降落，任务失败，点击 reset 重启系统。

实验现象：如击中目标，任务成功，目标爆炸坠毁；如未击中，飞机安全降落，任务失败。

## 4. 实验报告

总结攻防对抗方法，攻方与守方各总结至少三条经验。

## 七、实验 6 初教 6 与 F18 任务飞行

### 1. 实验目的

了解驾驶初教六模拟器或者 F18 模拟器执行飞行任务的过程,通过仪表以及目视飞行,完成相关的指定飞行任务。

### 2. 实验设备

VR 飞行模拟器: 虚拟现实头戴设备、飞行操作设备、两台 720 度平台。

### 3. 实验任务

#### 1) 起落航线

所有机场会采用五边飞行的起降模式来确保飞行顺畅,因此起落航线飞行为飞行员训练中最基本的科目。在本实验中,驾驶初教六或 F18 战斗机模拟器从北京首都国际机场起飞,绕机场跑道进行五边飞行,飞行航线可连接成为一个矩形如 14 所示。起飞是第一边,叫离场边;转弯 90 度进入第二边,叫侧风边;再次转向飞向跑道另一端是第三边,叫顺风边;到达跑道另一端后转向 90,进入第四边叫基本边;最后着陆是第五边,叫末边。飞行航迹连接起来是一个长方形。

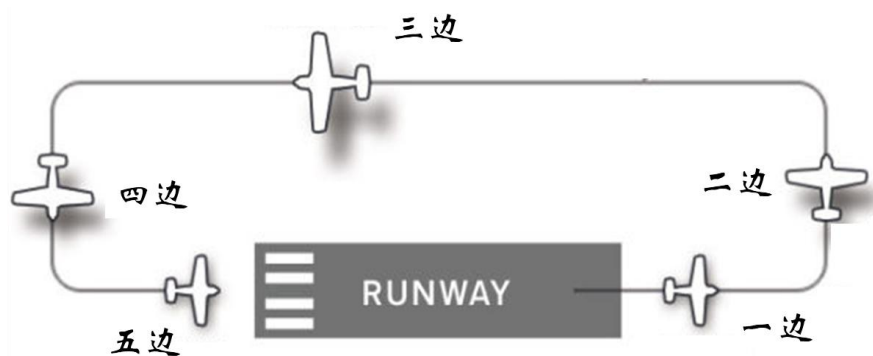


图 14 五边飞行航迹示意图

#### 2) 斤斗与盘旋

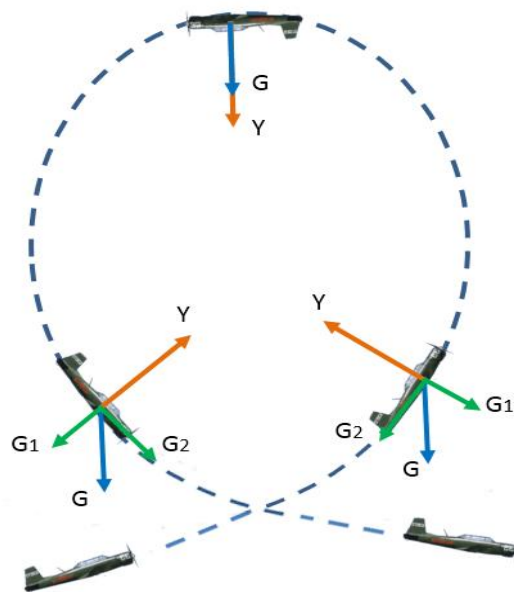


图 15 斤斗飞行航迹示意图

驾驶初教 6 或 F18 战斗机模拟器从北京首都国际机场起飞，然后在垂直面内进行  $360^\circ$  反转，在实验过程中，应选中地面某物体为参照物进行飞行，以便保持航迹在同一垂直面内，在顶点坡度时，应尽量保持飞机机身与重力垂直。其航迹如图 15 所示。

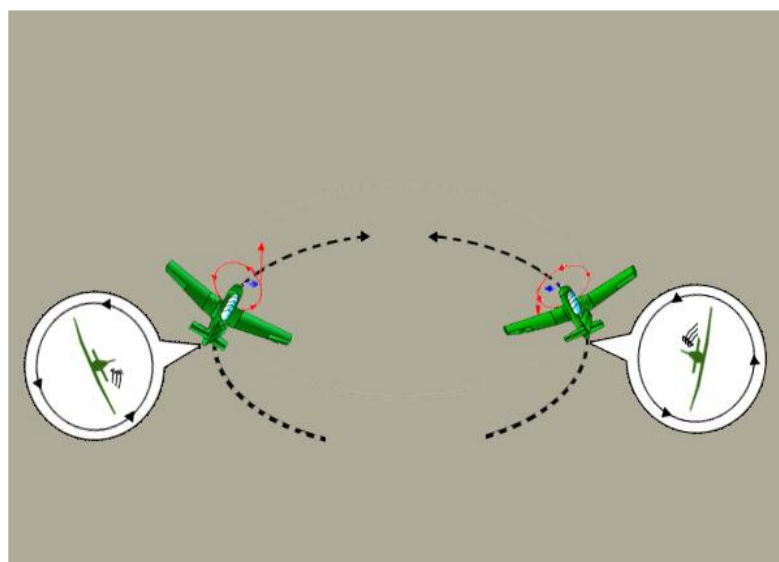


图 16 盘旋飞行航迹示意图

驾驶初教六或 F18 战斗机从机场起飞后，飞机保持同一高度在水平内做圆周运动，在飞行过程中，也需要选择地面某一参照物作为参考，以便保持飞行进入

和退出均在同一条直线上。盘旋飞行中应注意飞机的坡度（横滚角）应尽量保持一致，且飞机的飞行高度应该保持一致。飞行航迹如图 16 所示。

### 3) 编队飞行

两名同学组队分别驾驶初教六模拟器和 F18 模拟器进行编队飞行，当接收到教员台指令后，驾驶初教六与 F18 战机同时从北京机场起飞，沿着地图上导航仪表显示从北京机场飞往清华西操，由于 F18 战机速度更快，因此与初教六进行编队飞行时，要担任领航角色。在飞行过程中，根据教员台指令，进行固定动作飞行。在飞行过程中，应时刻注意飞机之间的距离，保持相应的间距。

## 4. 实验报告

- (1) 针对飞行任务一，记录飞行坐标，画出飞行航迹，与标准长方形相比较；
- (2) 针对飞行任务二，应记录飞机的航迹，以及对应飞行过程中的三个姿态角，分析在斤斗飞行实验过程中，飞行是否保持在同一垂直面内，以及在最高点时，飞机的俯仰角是否接近零度；分析在盘旋飞行实验过程中，飞行的坡度是否保持一致，飞机飞行高度是否在同一高度；
- (3) 针对飞行任务三，记录飞行过程中飞机的姿态角度，分析两架飞机动作的一致性。

# 八、实验 7 两型战斗机的攻防演练

## 1. 实验目的

模拟演练战机的空中对抗，加深对课堂知识的理解

## 2. 实验设备

两个 720° 飞行模拟器，HTC 头戴显示设备

### 3. 实验任务

#### (1) 驾驶某型战斗机从首都机场起飞

打开电源；开启发动机；北京机场是民用机场，首先与塔台进行对话，请求起飞获得许可；使用操纵杆拉起飞机开始爬升；爬升至 700 英尺高度，进入巡航；通过查看导航显示单元，实时读取航向指示，可根据外地形观察飞行的航向是否需要调整；另一方面实时查看雷达显示器上另一台战机的位置。

#### (2) 目标瞄准与对抗

当对方战机进入攻击方位时，首先进行目标锁定，并酌机发射导弹。如果被导弹锁定，系统将发出告警信息，这时拉起飞机、加大油门快速远离攻击；如躲避成功，系统告警信息声则停止声响；此时可拉起飞机，再次寻的战斗进入下一次对抗。被击中，飞行任务失败，使用 Reset 重新启动。

注意事项：地图空间较大，应随时查看地图，了解自己的位置和敌机位置。若被锁定，系统通过告警声音与告警字进行提示，应及时所处机动。若被击中系统进入黑屏并显示任务失败，需要重新启动飞行任务。

### 4. 实验报告

总结攻防对抗方法，攻方与守方各总结至少三条经验。