



固高科技（深圳）有限公司

地 址：深圳市南山区科技园深港产学研基地西座
W211 室

电 话：0755-26970835 26970817

传 真：0755-26970846 电子邮件：

support@gogoltech.com

网 址：<http://www.gogoltech.com.cn>

三自由度直升机系统 用户手册 V2.0

- 务必将此手册交给客户。
- 非常感谢您选购固高科技 GHP 系列产品。
- 在您使用之前，请仔细阅读此手册，确保正确使用。
- 如果您在使用中遇到技术故障，欢迎来电来函咨询。
并请将此书妥善保存，以备随时查阅。

2018. 5. 20

版本更新记录表

版本号	升级信息	更改日期
V1.2	初次发布	2014.08
V2.0	1、硬件由 GT-400 运动控制卡更换为 GTS-400 运动控制卡； 2、Matlab 软件下的控制程序更新为基于 GTS 运动控制卡开发的程序 3、删除 DOS 系统软件及实验内容。	2018.05

目 录

目录

固高科技（深圳）有限公司	1
版本更新记录表	2
第一章注意事项	4
1.1 开箱后注意事项	4
1.2 使用中注意事项	4
第二章系统概述	5
2.1 三自由度直升机系统组成	5
2.1.1 三自由度直升机系统实验本体	5
2.1.2 三自由度直升机本体	6
2.1.3 三自由度直升机系统电控箱	6
2.1.4 控制平台	6
第三章系统安装	7
3.1 安装运动控制卡	7
3.2 连线	7
3.3 软件安装	7
第四章三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件	9
4.1 三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件介绍	9
4.1.1 固高倒立摆系统 MATLAB 实时控制软件简介	9
4.1.2 固高三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件的特点	9
4.1.3 固高三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件包括的组件	9
4.1.4 固高三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件的拷贝	9
4.2 三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件的使用	9
4.2.1 MATLAB 以及 Simulink 应用的基本介绍下面介绍 MATLAB 编程：	9
4.2.2 三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制工具箱的使用	11
第五章维护及常见故障处理	14
常见故障对策	14

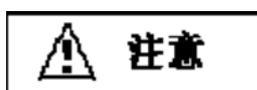
第一章注意事项

安全警告在安装、使用和维护前请仔细阅读本手册

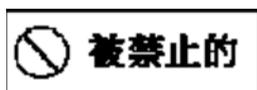
警告标志



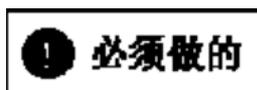
指出存在一个潜在的危險，如不可避免，可能会导致生命危险或严重伤害。



不正确的操作可能会导致设备毀坏



禁止操作



必需操作

注意事项

1.1 开箱后注意事项

- ◆ 检查产品在运输过程中是否造成损坏
- ◆ 检查所属配件是否备齐（参照装箱单）
- ◆ 如果产品内容不符合，有短缺或损坏，请与本公司或经销处联系

1.2 使用中注意事项

- ◆ 三自由度直升机系统的本体要安放在足够平足够大的地面上，不可倾斜放置

第二章 系统概述

2.1 三自由度直升机系统组成

三自由度直升机系统（简称直升机系统）作为自动控制和航空航天实验系统，可以满足工科院校的自控原理、现代控制理论、智能控制、计算机控制等实验需求。三自由度直升机系统是固高科技有限公司为全方位满足自动控制和航空航天课程的教学需要而研制、开发的实验教学平台。

三自由度直升机实验系统是研究直升机飞行控制技术的平台,它主要由电机、电机驱动器、位置编码器、运动控制器及接口板等元件组成。此系统可以分为直升机实验本体、电控箱及由运动控制卡和 PC 机组成的控制平台等三大部分。系统组成框图见图 2-1。

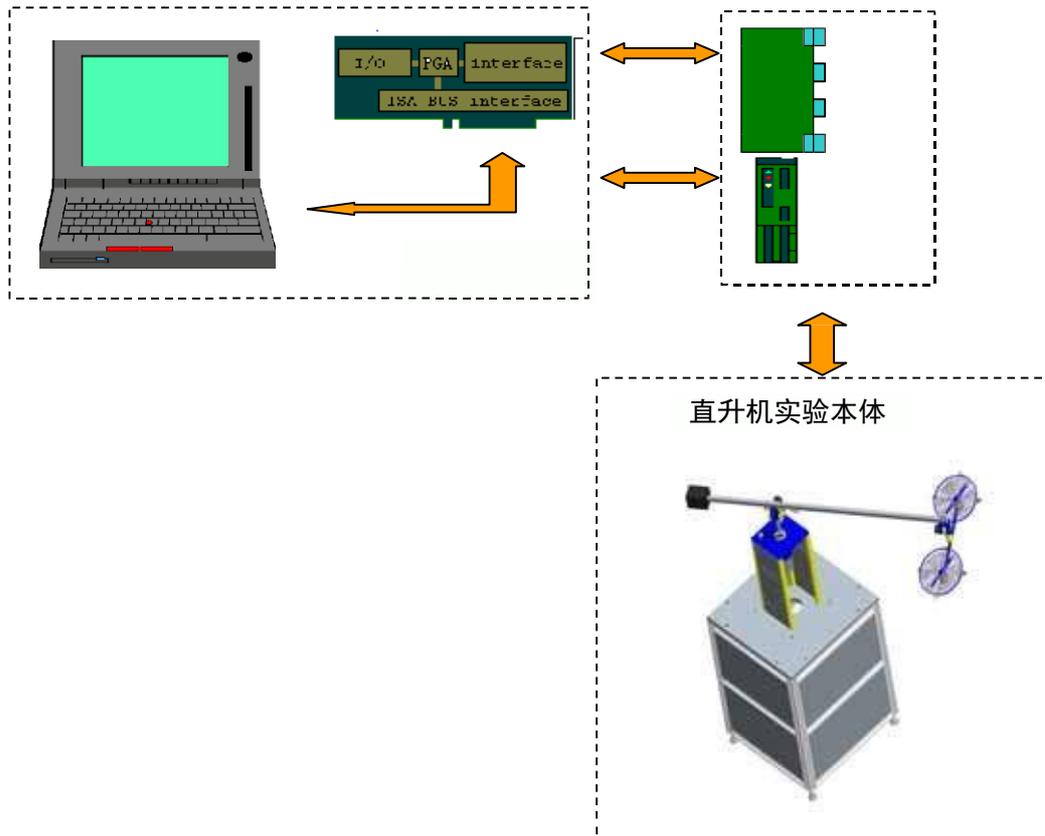
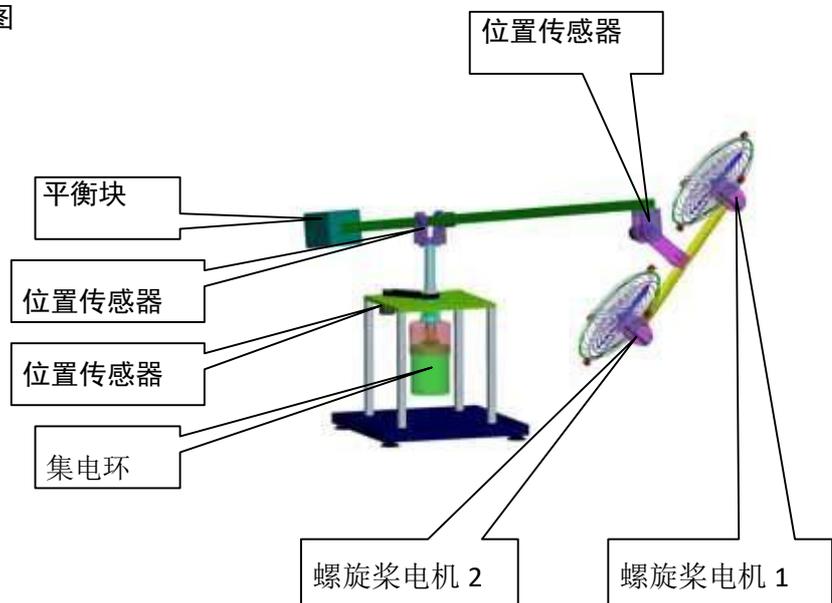


图 2-1 直升机实验系统框图

2.1.1 三自由度直升机系统实验本体

安装在直升机本体末端的两个直流电机驱动两个螺旋桨，通过三个位置编码器把直升机的俯仰角、螺旋桨的滚动角和飞机旋转的偏航角反馈到控制器，计算出控制量驱动两个电机转动完成直升机飞行姿态的控制。



三自由度直升机系统包含直升机本体、电控箱、控制平台三部分。

2.1.2 三自由度直升机本体

直升机本体主要由以下部件组成：

- ◆ 机械本体
- ◆ 螺旋桨电机
- ◆ 位置传感器
- ◆ 平衡块
- ◆ 集电环

2.1.3 三自由度直升机系统电控箱

电控箱主要由以下部件组成：

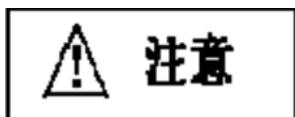
- ◆ **DC24V/6A** 直流开关电源
- ◆ 电机驱动器
- ◆ 运动控制卡接口板
- ◆ 电源开关

2.1.4 控制平台

- ◆ **IBM PC/AT** 兼容的 **PC** 机（公司不提供），带 **PCI** 总线插槽
- ◆ **GTS400-PV-PCI** 运动控制卡
- ◆ Matlab 实验软件

第三章 系统安装

3.1 安装运动控制卡



将数据采集卡从防静电袋取出之前，请将手与有效接地的导体接触，以去除静电。不要用手接触卡上的芯片，以免损坏数据采集卡。

检查运动控制卡的外观有无损坏；

- ◆ 关闭计算机电源，打开机箱；
- ◆ 将运动控制卡插入空闲 **PCI** 槽中；
- ◆ 用螺钉锁紧运动控制卡和转接头；
- ◆ 合上机箱。

3.2 连线

- ◆ 进行连接前，请先确认主电源开关处于关闭状态；
- ◆ 将运动控制卡的 **CN1** 插口和电控箱的 **CN1** 插口用屏蔽电缆连结起来；
- ◆ 将直升机本体的 **25** 芯电缆接到电控箱的 **25** 针插口；
- ◆ 将直升机本体的两个 **4** 芯电缆接到电控箱相应的 **4** 芯航空插头中；
- ◆ 将电源线一端插入电控箱插座，另一端接入 **AC220V/50Hz** 电源。



下一步所用电缆均用于强电，如有破损可能导致人身事故。

3.3 软件安装

三自由度直升机系统附带光盘含如下软件及文件：

- ◆ **README.DOC** 文档
- ◆ **GTS-400** 运动控制卡用户使用手册
- ◆ **GTS-400** 运动控制卡 **Windows** 动态链接库，应用实例和测试软件
- ◆ 三自由度直升机系统用户使用手册
- ◆ 三自由度直升机系统实验指导书

使用之前请阅读 **README.DOC**，并仔细阅读运动控制卡用户使用手册。

-
- ◆ Windows 环境下驱动程序安装：请参阅 GTS-400 运动控制卡用户使用手册附录 A。

❗ 必须做的

- ◆ 在进行系统连线、拆卸与安装前，必须关闭系统所有电源。
- ◆ 使用前请仔细检查连线。
- ◆ 出现失控时，应立即按电控箱电源开关按钮，并详细检查故障原因。

第四章三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件

4.1 三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件介绍

4.1.1 固高倒立摆系统 MATLAB 实时控制软件简介

基于在教学和工程实验领域广泛应用的 MATLAB/Simulink 平台, 固高科技推出了三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件(后面简称“实控软件”)平台, 使得使用固高三自由度直升机系统的控制教学实验和先进算法研究变得无比轻松, 学生不需要等待掌握编程语言(典型的如 C 语言)后才能做控制理论实验, 科研人员只需要把精力集中在控制算法研究上而不需要接触艰深的硬件接口, 而且现在可以把系统的建模、仿真和实时控制一条龙的研究整合在一起, 您的建模和仿真结果不需要太多修改就可以在实际物理设备上实验验证。

4.1.2 固高三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件的特点

实控软件采用了 MATLAB/Simulink 的实时工具箱 RTW (Real-TimeWorkshop) 实现控制任务, 专用的实时内核代替 Windows 操作系统接管了实时控制任务, 内核任务执行的最小周期是 1ms, 大大地提高了系统的实时性, 可以满足实时性控制的要求。

Simulink 软件实验平台具有如下特点:

- 一、系统建模、仿真、实时控制一体化界面;
- 二、基于 Windows 的图形化操作界面, 解决了 Windows 下对控制的高实时性要求;
- 三、具有良好的 Simulink 控制界面, 积木式搭建控制算法;
- 四、实时地在线修改或者调整参数;
- 五、方便对各个输出在线进行观察和记录。

4.1.3 固高三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件包括的组件

实时控制软件包括的组件有:

- 一、固高 GTS-400-SV 运动控制器基本模块;
- 二、固高三自由度直升机系统的俯仰和偏航的实时控制程序;

4.1.4 固高三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件的拷贝

实控软件可工作在 Windows 7.0 以及 Windows XP 等操作系统环境下, 其它环境下未于测试。系统运行时需要 MATLAB2012B、MATLAB/Real-Time Workshop、MATLAB/Real-Time Windows Target 等支持。用户使用实控软件前必需安装上述支持软件。从理论上来说, 实控软件不需要安装板卡驱动程序。

实控软件的安装步骤如下:

第一步: 实控软件以光盘的形式分发, 请将光盘插入驱动器; 第二步: 拷贝实验程序下的文件夹至 matlab\R2012B 下, 启动 MATLAB/Simulink 使用本软件。

4.2 三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制软件的使用

4.2.1 MATLAB 以及 Simulink 应用的基本介绍下面介绍 MATLAB 编程:

```
g= 9.8; %重力加速度单位: m/s2
pi=3.14;%圆周率
mh= 1.8;%直升机本体质量单位: kgl a=0.88;%直升机本体到旋转轴的距离单位: m
mw =3.443; %平衡块的质量单位: kg l b=0.35;%平衡快到支点的距离单位: m
Tg=mh*g*la -mw*g*lb; %系统有效的重力矩单位: N*m
Je=mh*la^2 +mw*lb^2; %直升机系统旋转轴的转动惯量单位: m*kg2
```

```

%Kf=1.0; %直升机电机的力常数
Kf= 12; %直升机电机的力常数

s=0.707;%阻尼比
tp=1.5; %峰值时间单位: s
w0 = pi/(tp*sqrt(1-s*s));
Kep=-w0^2*Je/(Kf*la)           %俯仰轴的比例常数
Ked=-2*s*w0*Je/(Kf*la)        %偏航轴的微分常数

t= 0:0.1:10;
Num=[-Kf*Kep*la/Je]
Den=[1,-Ked*Kf*la/Je,-Kf*Kep*la/Je]
Ge= tf(Num,Den) %俯仰轴的闭环传递函数
u=ones(size(t));           %输入激励
lsim(Ge,u,t)               %系统仿真

```

关于 MATLAB 编程更详细的信息，请参看 MATLAB 帮助及相关书籍。

Simulink 是基于鼠标拖动的图形化，模块化设计的系统分析工具。

点击 SimulinkLibrary browser 的“File”下拉菜单，点击“File/New/Model”，或者直接按热键“Ctrl-N”，应用程序生成一个新窗口，用户可以将 SimulinkLibrary 中的模块用鼠标拖动到新窗口中。

通过鼠标可以将两个模块连接起来。以下面的简单例子来说：将模块信号发生器

“Simulink/Sources/SignalOperator”、示波器“Simulink/Sinks/Scope”、封装子系统

“Simulink/Subsystems/Subsystem”拖到新窗口中，然后按住鼠标，将系统输入输出连接起来。其中封装子系统默认含有输入“in1”、输出“out1”模块，用户可以自行增删输入输出。将线性控制系统模块“Control System Toolbox/LMISystem”增加到子系统中，并且将输入输出连接起来，则系统如图 5-9 所示：

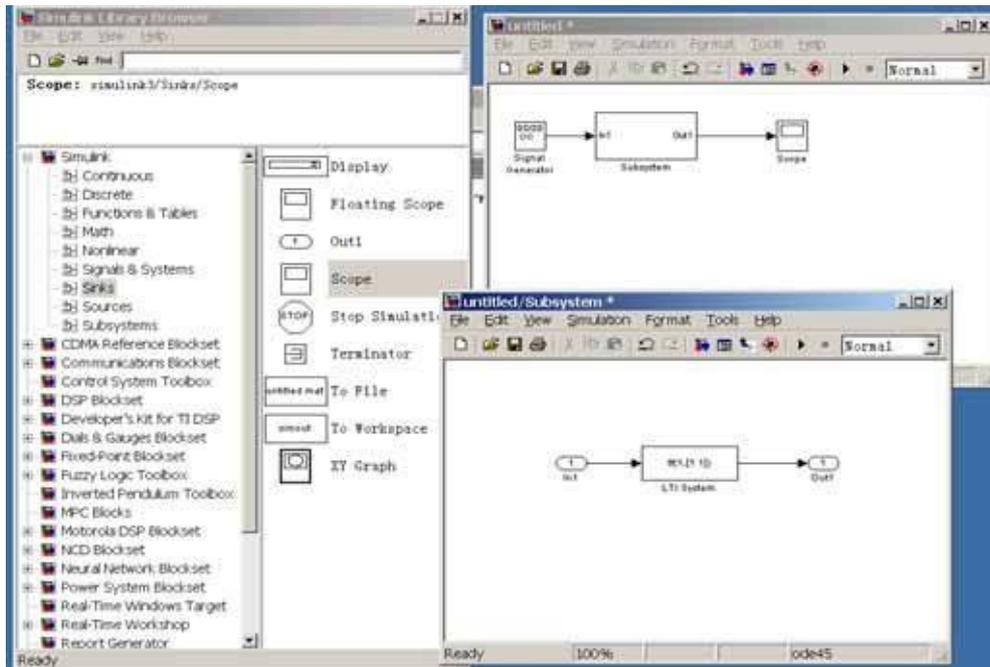


图 5-9 Simulink 实例窗口双击需要修改参数的模块进行参数修改，修改完毕就可以进行系统的仿真以确定系统的性能和特性

了。

例如假设线性系统为：

$$G(s) = \frac{2s+1}{s^2+3s+10}$$

采用幅值为 1，频率为 1 赫兹的正弦信号作为实验信号，系统的输出如示波器（图 5-10）所示。

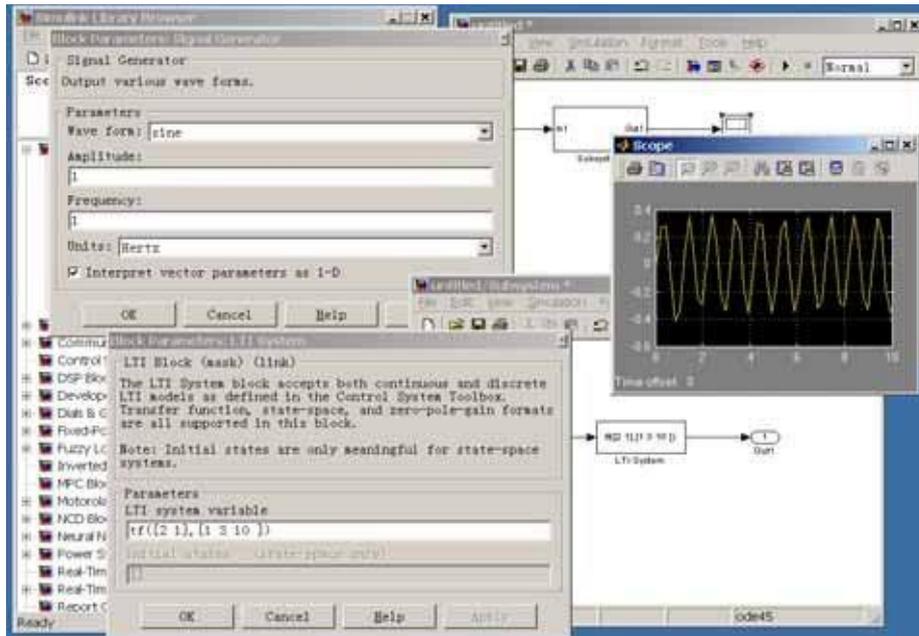


图 5-10 系统示波器输出

S-Function 是为方便用户扩展 Simulink 模块库而设计的，它有专门的格式。用户可以用 MATLAB Editor 手动编写 S-Function，也可以通过 S-Function Builder 集成环境定制。

关于 S-Function 以及封装子系统的知识请参看 MATLAB 的联机帮助以及相关书籍。

4.2.2 三自由度直升机系统 MATLAB 实时控制工具箱的使用

在用户安装了 MATLAB/Real-TimeWindowsTarget 和 VisualC/C++后，在使用实时控制软件前，必须在 MATLAB 下安装 Real-TimeWindowsTarget 实时内核以及选择 C 语言编译环境（参看 MATLAB 联机帮助），方法如下：

第一， **Real-Time WindowsTarget** 实时内核的安装。

1、在 MATLABcommand 窗口中，键入

```
rtwintgt-install
```

MATLAB 显示以下的信息：

```
YouaregoingtoinstalltheReal-TimeWindowsTargetkernel.
```

```
Doyouwanttoproceed?[y]:
```

2、继续安装内核. 键入

```
y
```

MATLAB 安装内核然后显示以下的信息：

```
TheReal-TimeWindowsTargetkernelhasbeensuccessfullyinstalled.
```

如果出现提示你重启电脑的信息，你必须在正确使用前重启电脑。

3、检查内核是否被正确安装。键入

```
rtwho
```

MATLAB 应该显示以下相似的信息：

```
Real-TimeWindowsTargetversion2.2 (C)TheMathWorks, Inc.
```

```
1994-2002
```

```
MATLABperformance= 100.0%
```

KernelTimeslicePeriod=1ms

在安装 Real-Time Windows Target 实时内核后，可以开始使用实控软件了。固高直升机实时控制工具箱软件包括固高 GT-400-SV 运动控制器基本模块和三自由度直升机的实时控制示例程序。用户可以根据说明自己设计更新的算法。实时控制示例程序包括俯仰轴、偏转轴和旋转轴控制的 PID 算法。

实验操作步骤如下：

1. 检查电源线、控制线正确安装。确认直升机本体电源关闭。
2. 保证螺旋桨保持静止稳定状态。
3. 打开直升机本体开关，接通电源。
4. 打开示例程序，设置正确地控制参数，开始实控。
5. 通过拖动滚动条来调整直升机的俯仰角度和旋转速度。
6. 实验结束，关闭程序，关闭电控箱。下面介绍三自由度直升机系统实时控制工具箱的应用及使用方法。

首先在 Windows 操作系统环境下启动 MATLAB 应用程序，在 CommandWindows 窗口中键入 Simulink 命令或者点击工具栏  按钮，启动 Simulink 应用程序。

运行“H3Dof_T_Step.slx”程序，仿真界面如下（图 5-12）所示：

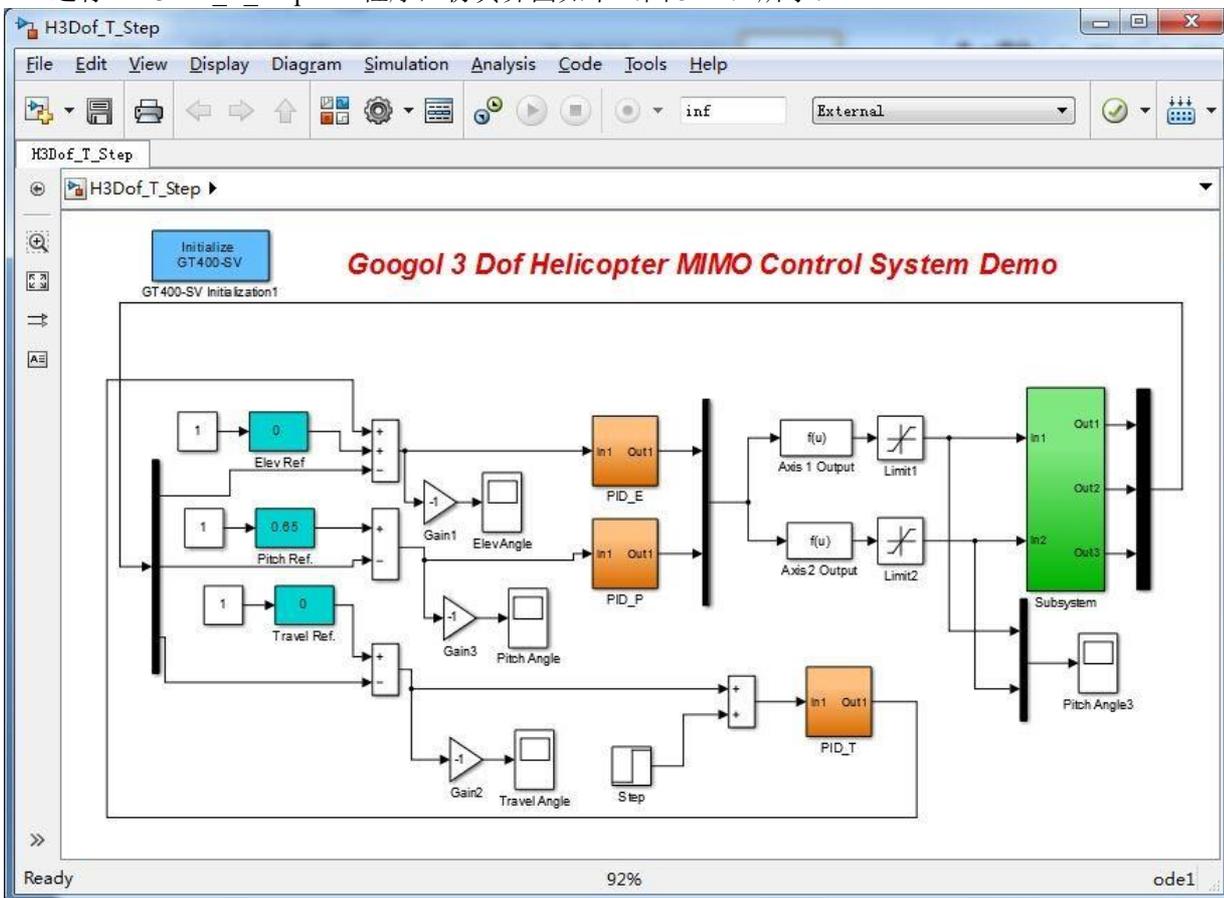


图 5-12 三自由度直升机系统仿真程序 模块包括“PIDController”和“RealTimeControl”两个主要的部分。其中“RealTimeControl”是三自由度直升机硬件驱动部分，其主要功能是通过控制板卡采集三个轴的位置数据和对螺旋桨电机发出控制指令。如果对于 C 语言和 MATLAB 的 CMEX 功能以及板卡硬件部分不是很熟悉，建议用户不要修改。关于控制卡的数据采集和控制指令发出请参照《GTS 系列运动控制器用户手册》和《GTS 系列运动控制器编程手册》。本系统有三个“PIDController”模块分别控制俯仰轴和偏转轴和旋转轴。如图 5-12 橙色方块所示，双击打开其中一个模块（如下图 5-13 所示）。

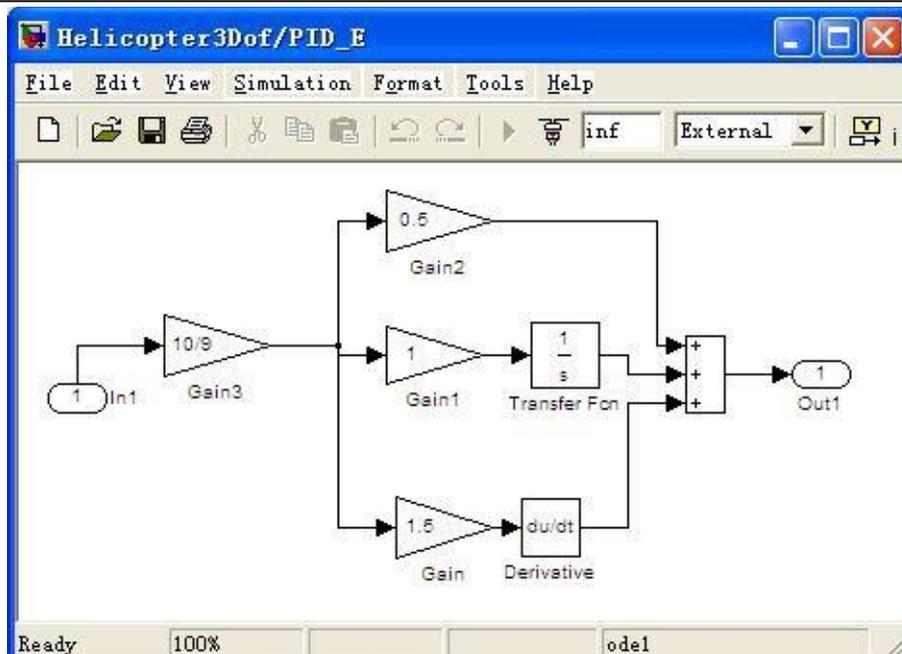
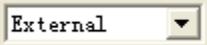


图 5-13 三自由度直升机的 PID 控制算法模块 本系统所采用的控制器为 PID 控制器，关于 PID 算法的的相关知识和理论请参考计算机控制系统类相关书籍。我们可以通过设置 PID 参数对所控轴的响应进行调整。

点击“Tools/Real-TimeWorkshop/BuildModel”或者工具栏上的  按钮，编译模型。然后选择菜单条上“Simulink”菜单中的“External”或者在工具栏上  选择仿真模式为外部模式。接着点击菜单条上“Simulink”菜单中的“Connect to target”或者在工具栏上  按钮，连接模型。然后点击菜单条上“Simulink”菜单中的“Start”菜单或者工具栏上  按钮，系统开始进行实时控制。

用户可通过修改控制器模块结构和参数，来检验自己的控制算法。如无特殊情况，用户一般不必修改“RealTimeControl”模块。用户可以根据提示完成相应的实验。关于在 Simulink 环境下实时控制的主题请参看 MATLAB 联机帮助。

第五章维护及常见故障处理

- ◆ 定期检查直升机各部件之间的连接。

常见故障对策

故障现象	可能原因	相应措施
电机不动	电源线没有连接好	检查连线，重新连接
	没有上电	使电源开关按钮至 ON 位置
	控制卡异常	检查运动控制卡是否正常
异常噪音	机械故障	检查本体机械连接是否松动