## **Googol Technology**

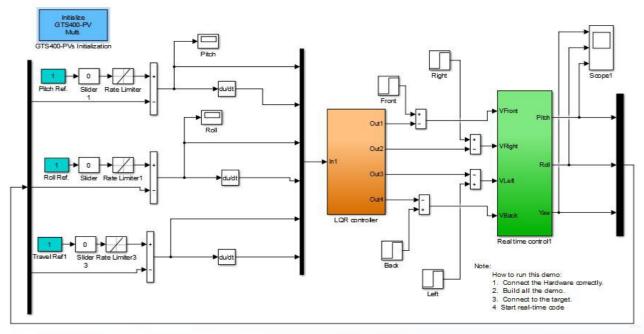
四旋翼飞行仿真器系统(教学设备)

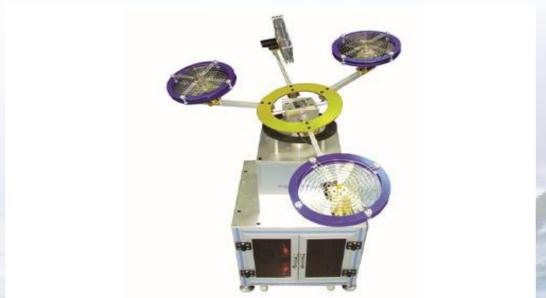
GHP 系列

### 安装与使用手册

Googol 6 state 4RotorHover LQR Control Demo Position mode of Yaw axis

版本 V 2022





固高派动 (东莞) 智能科技有限公司

©Googol 2022

2022年 01月

### 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
V2.1	校核实验数据	2022.01

I

### 版权声明

固高派动(东莞)智能科技有限公司保留 所有版权

固高派动(东莞)智能科技有限公司(以下简称固高派动)具有本产品及其软件的专利权、 版权和其它知识产权。未经授权,不得直接或间接的复制、制造、加工、使用本产品及相关 部分。

### 声明

固高科技保留在不预先通知的情况下修改设备和文档的权力。 固高科技不承担由于本说明书或本产品的使用不当,所造成的直接的、间接的、特殊的、 附带的或相应的损失和赔偿。

### 商标声明

Windows 和 Microsoft 为 Microsoft 公司注册商标。IPM 和 IPM Motion Studio 为 Technosoft 公司注册商标。MATLAB 为 Mathworks 公司注册商标

### 联系我们

#### 固高科技(香港)有限公司

香港九龙观塘伟业街 108 号丝宝国际大厦 10 楼 1008-09 室

Tel.: (852) 2358 1033, (852) 2719 8310

Fax: (852) 2719 8399

http://www.googoltech.com

#### 固高科技 (深圳) 有限公司

深圳市南山区高新科技园深港产学研基地西二楼 Tel: (86) 755 2697 0817; (86) 755 2697 0835

Fax: (86) 755 2697 0846

http://www.googoltech.com.cn

#### 固高派动 (东莞)智能科技有限公司

广东省东莞市松山湖工业东路 6号固高科技园A 栋 9楼 9F,A#Buldg,No.6, Industry East Road,Songshan Lake,Dongguan,Guangdong,China (Googol Park) Tel: 0769-38809218 Fax: (86) 769-38853560-8106

Fax: (86) 769-38853560-8106 https://www.paradoxtech.cn/

### 安全注意事项

四旋翼飞行仿真器系统主要用于教学和科研。在安装、使用和维护之前, 请仔细阅读本手册。请将本手册妥善保存,以备需要时随时查阅。

### 使用注意事项

使用(安装、运转、保养、检修)前,请务必熟悉并全部掌握本手册内容和其它相关资料,在熟知全部机器知识、安全知识以及注意事项后再使用设备。

本手册将安全注意事项分为"危险""注意""强制""禁止"分别记载。

表 1-1 警告标志

◆ 危险	不正确的操作将会导致重大人身事故。
注意	不正确的操作会导致设备损坏。
● 强制	必须要做的操作。
◇ 禁止	被禁止的操作。

另外,即使"注意"所记载的内容,也可能因为不同的情况产生严重后果,因此任何一条注意事项都很重要,在设备使用过程中请严格遵守。



虽然不符合"危险""注意"的内容,但是用户在使用过程中必须严格遵守的事项,在相关地方以标识。



### 强制

- 本手册记述了安全上一般应该注意的事项,在实际实验环境下用于实验研究 人员的安全措施不可能完全记载,敬请原谅。
- 为了安全的使用四旋翼飞行仿真器控制系统,用户必须按照本说明书的要求 对设备操作及维护人员进行安全教育,直接操作人员必须认真阅读四旋翼飞 行仿真器系统所有说明书。



### 注 意

- 本手册中的图片及相片,为代表性实例,和实际产品可能有所不同;
- 由于破损或丢失说明书需要定购说明书,请与我公司销售部门联系:
- 客户自行进行产品改造产生的不良后果,不在本公司保修范围之内,本公司 概不负责。



### 危险

● 在操作四旋翼飞行仿真器系列产品前,按下电源开关,并确认伺服电源被切断,伺服电源切断后,电源指示灯熄灭。

在四旋翼飞行仿真器运行出现异常情况下,若不能及时关断电源,则可能造成人身伤害 或设备损坏。

船型电源开关:



● 在紧急停止后,请排除故障后再打开电源。

由于误操作可能导致倒立摆错误的运动,引发安全事故。

● 开始运行前,四旋翼飞行仿真器必须置于初始状态。

非实验人员请勿操作倒立摆,否则有可能引发人身伤害或设备损坏。

- 在进行四旋翼飞行仿真器实验时,请遵守以下事项。
  - 1. 保持从四旋翼飞行仿真器正面观看或操作。
  - 2. 遵守操作顺序。
  - 3. 考虑四旋翼飞行仿真器失控等突变状况的应急方案。
  - 4. 确保设置躲避场所,以防万一。

由于误操作可能造成四旋翼飞行仿真器运动,引发人身伤害事故。

- 在实验过程中,遇以下的情况,请确认四旋翼飞行仿真器危险范围内无人, 并且实验人员处于安全操作位置。
  - 1. 电源接通时。
  - 2. 操作四旋翼飞行仿真器时。
  - 3. 自动运行时。

不慎进入四旋翼飞行仿真器运动范围内或与机器接触,都可能引发人身安全事故,当出 现异常时,请立即关断电源。



### 注 意

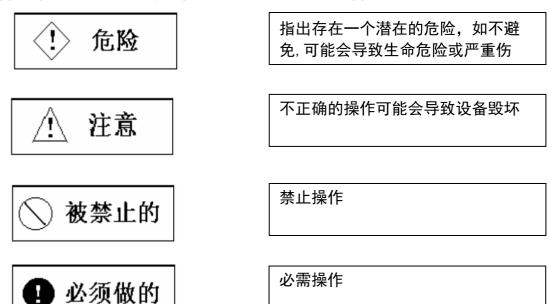
- 进行四旋翼飞行仿真器实验前,请检查以下事项,有异常则及时修理或采取 其它必要措施。
  - 1. 四旋翼飞行仿真器动作有无异常。
  - 2. 电源接线和信号线有无破损。
  - 3. 电源接线和信号线接头是否接触良好。
- 实验完毕后,请将四旋翼飞行仿真器置于初始状态。
- 在理解本手册"注意"的基础上,才能使用四旋翼飞行仿真器进行实验。

### 目录

版本更新记录表I
版权声明II
声明
商标声明ⅠⅠ
联系我们II
安全注意事项
使用注意事项III
第一章 注意事项
1.1 开箱后注意事项
1.2 使用中注意事项
第二章 系统概述
第三章 系统安装
3.1 安装运动控制卡6
3.2 连线6
3.3 软件安装7
四旋翼飞行仿真器系统附带光盘含如下软件及文件:7
第四章系统使用说明 9
4.1 统操作步骤
第五章 四旋翼飞行仿真器系统 MATLAB 实时控制软件10
5.1 四旋翼飞行仿真器系统 MATLAB 实时控制软件介绍
5. 1. 1 四旋翼飞行仿真器系统 MATLAB 实时控制软件简介10
5.1.2 固高四旋翼飞行仿真器系统 MATLAB 实时控制软件的特点10
5.2 四旋翼飞行仿真器系统 MATLAB 实时控制软件的使用11
5.2.1 MATLAB 以及 Simulink 应用的基本介绍11
5. 2. 2 四旋翼飞行仿真器系统 MATLAB 实时控制工具箱的使用 13
5. 2. 3 四旋翼飞行仿真器仿真程序和实时控制程序使用方法 16
第六章 维护及常见故障处理28

### 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



#### 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
- ◆ 四旋翼飞行仿真器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 四旋翼飞行仿真器系统组成

四旋翼飞行仿真器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、控制系统和计算机控制系统课程设计的需求。四旋翼飞行仿真器控制实验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。

四旋翼飞行仿真器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。

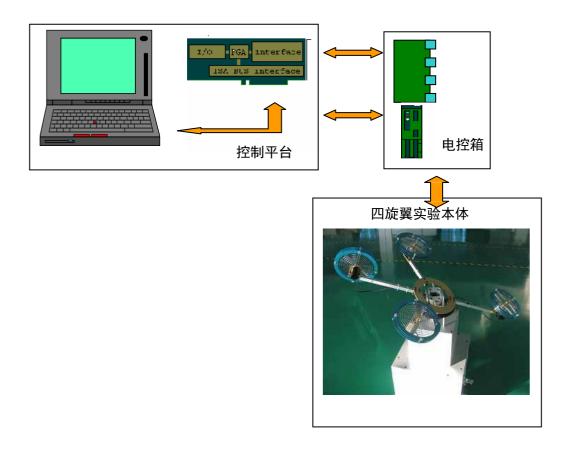
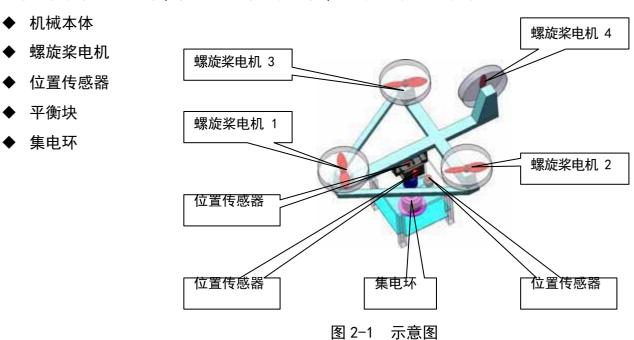


图 2-1 四旋翼飞行仿真器实验框图

### 2.1.1 四旋翼飞行仿真器系统实验本体

两个直流电机被安装在直升机本体的末端来驱动两个螺旋桨,通过安装在支点和两个螺旋桨中心的编码器把直升机的俯仰角、螺旋桨的翻转角和旋转速度反馈到控制卡,再由用户编写的控制算法计算出控制量发给两个电机进行飞行姿态和速度的控制。 其示意图见图 2-1 所示,图 2-2 所示为实物图; 主要有以下几个部分组成:



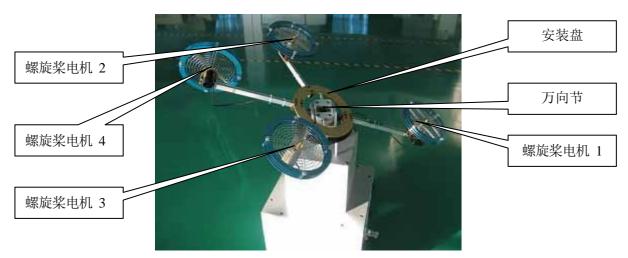


图 2-2 实物图



图 2-3 集电环

### 2.1.2 四旋翼飞行仿真器系统电控箱

### 电控箱内安装有如下主要部件:

- ◆ DC24V/14.6A 直流开关电源
- ◆ 电机驱动器
- ◆ 运动控制卡接口板
- ◆ 电源开关

电控箱实物图如图 2-4 所示;



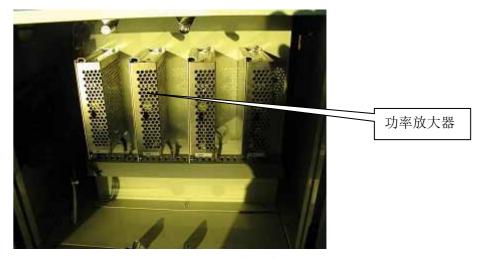


图 2-4-2 电控箱内部

### 2.1.3 控制平台

- ◆IBMPC/AT 兼容的 PC 机(公司不提供), 带 PCIe 总线插槽
- ◆ GTS400-PV-PCIe 运动控制卡
- ◆ 演示实验软件
- ♦ Windows 10.0
- ◆ Matlab 2021b(带Real-time Workshop 和Lcc 编译器)

### 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 PCIe 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;
- ◆ 将手持盒的 4 芯航空插头接到电控箱相应的 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。

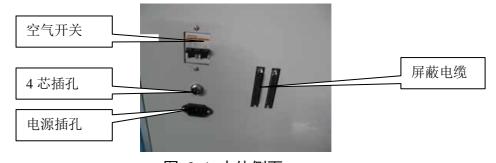


图 3-1 本体侧面



下一步所用电缆均用于强电,如有破损可能导致人身事故。

手持盒用来控制电源的开与断,当把空气开关朝上打开后,旋开手持盒的旋钮开关,会看到红色指示灯亮,再按下绿色指示灯,绿色指示灯亮,至此就可以进行软件安装,控制四旋翼飞行仿真器了(具体步骤见下面图片所示);



图 3-2 旋开旋钮开关



图 3-3 按下绿色按钮

#### 3.3 软件安装

四旋翼飞行仿真器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
- ◆ 四旋翼飞行仿真器用户手册
- ◆ 四旋翼飞行仿真器实验指导书
- ◆ 控制程序
- ◆ 电气原理图

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。

固高科技(深圳)有限公司 GOOGOL TECHNOLOGY (SZ)LTD

## ❶ 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 系统使用说明

### 4.1统操作步骤

- 1) 将四旋翼飞行仿真器系统(本体足够大,预留足够的空间,使旋转过程中以 免碰到其他物品)放置在水平的地面上。
- 2) 将电脑上电。
- 3) 将电控箱上电。



- ◆ 系统操作时,请严格按上述操作步骤执行。
- ◆ 关闭电源时务必要先关闭电控箱电源再关闭电脑电源。

# 第五章 四旋翼飞行仿真器系统MATLAB实时控制软件

5.1 四旋翼飞行仿真器系统 MATLAB 实时控制软件介绍

#### 5.1.1 四旋翼飞行仿真器系统 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, 固高科技推出了四旋翼飞行仿真器系统 MATLAB 实时控制软件(后面简称"实控软件")平台, 使得使用固高四旋翼飞行仿真器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, 更令人振奋的是现在我们可以把系统的建模、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。

#### 5.1.2 固高四旋翼飞行仿真器系统 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。

#### 5.2 四旋翼飞行仿真器系统 MATLAB 实时控制软件的使用

### 5.2.1 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: kg

la = 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

Ib = 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));

 $Kep = -w0^2*Je/(Kf*Ia)$  %俯仰轴的比例常数Ked

= -2\*s\*w0\*Je/(Kf\*la) %旋转轴的微分常数

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

Isim(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 SimulinkLibrarybrowser 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/Signal Operator"、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 "ControlSystemToolbox/LMISystem"增加到子系统中,并且将输入输出连接起来,则系统如图 5-1 所示:

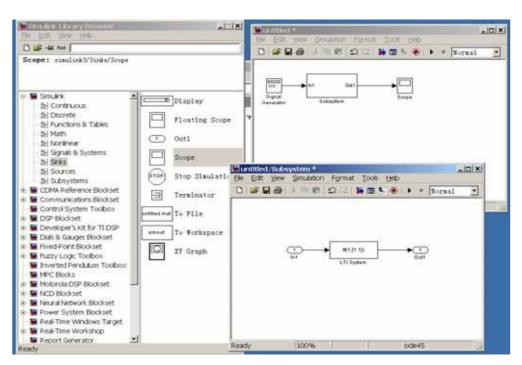


图 5-1Simulink 实例窗口

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 5-2)所示。

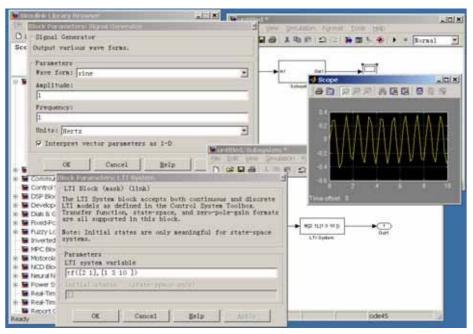


图 5-2 系统示波器输出

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 MATLABEditor 手动编写 S-Function,也可以通过 S-FunctionBuilder 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。

#### 5.2.2 四旋翼飞行仿真器系统 MATLAB 实时控制工具箱的使用

在用户安装了 MATLAB 2012b 后,还得在 MATLAB 下安装 Real-Time Windows Target 实时内核。

第一,Real-Time Windows Target 实时内核的安装。

1、在 MATLAB command 窗口中, 键入

rtwintgt -install

MATLAB 显示以下的信息:

You are going to install the Real-Time WindowsTarget kernel.

Do you want to proceed? [y] : 2.

继续安装内核. 键入

У

MATLAB 安装内核然后显示以下的信息:

TheReal-TimeWindowsTargetkernelhasbeensuccessfully installed.

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

MATLAB performance = 100.0%

Kernel timeslice period = 1 ms

第二、选择 C 语言编译环境。

1、在 MATLAB command 窗口中, 键入

mex -setup MATLAB 显

示以下的信息:

Please choose your compiler for buildingMex-files:

Would you like mex to locate installed compilers? ([y]/n):

2、键入

У

MATLAB 显示下面的信息:

Select a compiler:

[1] : Lcc-win32 C 2.4.1 in D\PROGRA $^1$ \MATLAB\R2012b\sys\lcc

[2] : Microsoft Visual C++ 2008 SP1

固高科技(深圳)有限公司 GOOGOL TECHNOLOGY (SZ)LTD

[0] : None

Compiler: 1 3、为了选择

Microsoft 编译器, 键入数字 1

MATLAB 显示以下的信息:

Please verify your choices:

Compiler: Lcc-win32 C 2.4.1

Location: D\PROGRA~1\MATLAB\R2012b\sys\lcc 4.

键入

У

在安装 Real-Time Windows Target 实时内核以及选择 C 语言编译环境完成后,可以开始使用四旋翼飞行仿真器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。实时控制实力程序包括俯仰轴、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、翻转和巡航角度。
- 6. 实验结束,关闭程序,关闭电控箱。

#### 5.2.3 四旋翼飞行仿真器仿真程序和实时控制程序使用方法

#### 1) 系统配置和相关操作

- a) 将 FHover 文件夹拷贝到用户指定目录,这里假设为 D:\user\FHover。
- b) 在 Win7(32bit)系统下,直为接双击 matlab. exe 运行 matlab2012b; 在 Win7(32bit)系统下,右键单击 matlab. exe 选择"以管理员身份运行"。



图 5-3 Win7 下运行 matlab2012b

- c)将 matlab 工作目录切换到 D:\user\FHover。
- d) 在当前目录中, 依照图 5-4 所示, 选择按类型对文件进行分类排列。

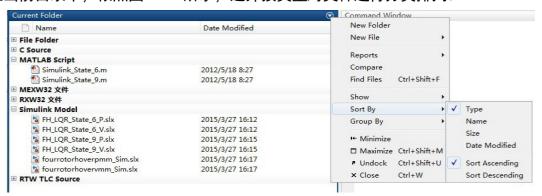


图 5-4 matlab2012b 当前目录文件分类

e) 在当前目录中,选择要进行仿真或者实时控制的程序,双击打开使用。程序中包含以下仿真和实时控制程序:

Simulink\_State\_6.m --> 6 状态变量 K 阵求取 m 文件

Simulink\_State\_9.m --> 9 状态变量 K 阵求取 m 文件

FH LQR State 6 P. slx --> 6 状态变量位置模式 LQR 实时控制程序

FH\_LQR\_State\_9\_P. slx --> 9 状态变量位置模式 LQR 实时控制程序

FH\_LQR\_State\_6\_V.slx --> 6 状态变量速度模式 LQR 实时控制程序

FH\_LQR\_State\_9\_V.slx --> 9 状态变量速度模式 LQR 实时控制程序

FH LQR State 9 P Sim. slx

--> 9 状态变量位置模式 LQR 仿真程

序 FH\_LQR\_State\_9\_V\_Sim.slx --> 9 状态变量速度模式 LQR 仿真程

序

下面以 FH\_LQR\_State\_9\_P\_Sim.slx 为例,来说明仿真过程。

a)、双击当前目录下的 FH\_LQR\_State\_9\_P\_Sim.slx 文件, 弹出图 5-5 界面。注意:要将仿真模式选为 Normal。

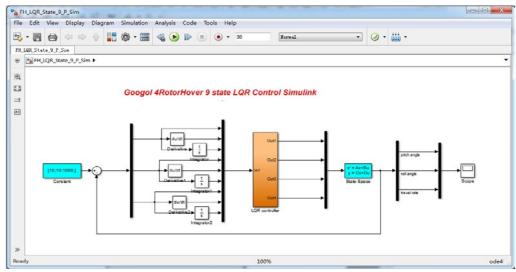


图 5-5

b)、仿真模块包括 "LQR Controller" 和 "State Space"两个主要的部分。 其中 "State Space"是四旋翼飞行仿真器通过动力学建模的状态方程表 达式;双击 "State Space"模块,如图 5-6 所示;

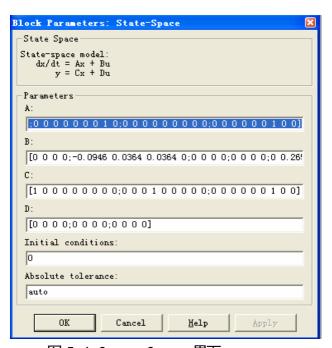


图 5-6 State Space 界面

c) 双击 "LQR Controller" 模块, 弹出图 5-7 界面; 再点击 "k1" 模块弹出界面 5-8, 里面的参数通过运行 Simulink\_State\_9.m 得 到;

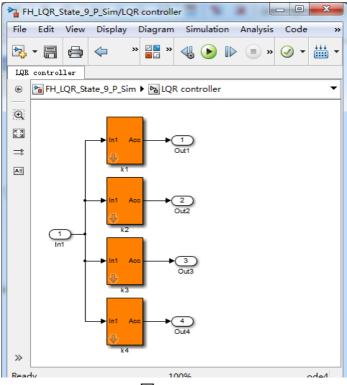


图 5-7

Subsystem (	mask)			ŕ
Parameters				
k11				
-2.7821				
k12				
-1.3411				
k13				
-0.3675				
k14				ll'
0				
k15				
0				
k16				
0				
k17				
0				L
k18				
0				
				Ш

图 5-8

d) 回到图 5-5 界面,点击"**》**"按钮,运行仿真程序,点击"Scope"模块,查看仿真结果;如图 5-9 所示;

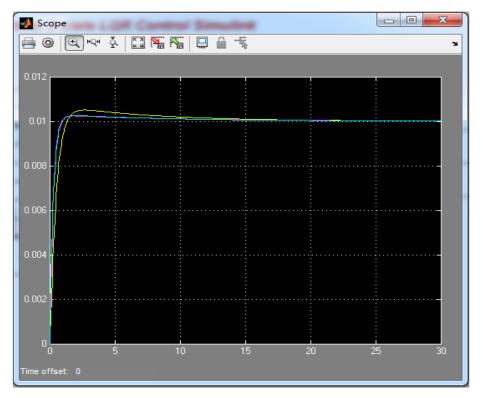


图 5-9 仿真结果

e) 点击 "Constant"模块,修改期望值,如图 5-10 所示,再运行仿真程序,查看仿真结果;

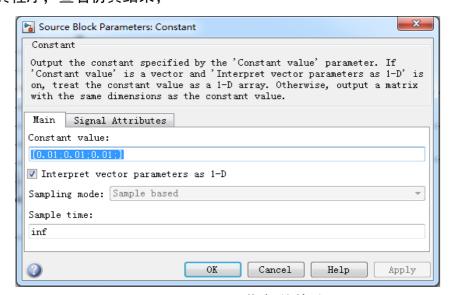


图 5-10 期望值修改

如果对仿真结果不够满意,需要更改控制参数,可以通过运行 f) Simulink\_State\_9.m 得到,如图 5-11 所示。

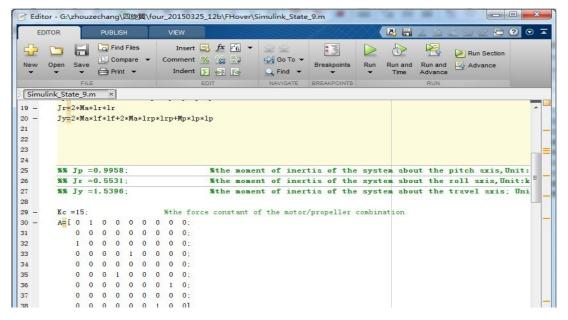


图 5-11

g) 修改 Simulink\_State\_9. m 里面的 Q 值(如图 5-12), 再点击 弹出界面 5-12;



会

```
Q11=100;Q22=5;Q33=0.01;Q44=100;Q55=5;Q66=0.01;Q77=100;Q88=5;Q99=0.001;
    Q=[Q11 0 0 0 0 0 0 0 0;
       0 Q22 0 0 0 0 0 0 0;
       0 0 933 0 0 0 0 0 0:
       0 0 0 944 0 0 0 0 0:
       0 0 0 0 Q55 0 0 0 0;
       0 0 0 0 0 Q66 0 0 0;
       000000007700;
       0 0 0 0 0 0 0 Q88 0;
       0000000000999];
```

图 5-12

h) 查看 MATLAB 命令窗口,可以看到已经求出反馈阵 K(如图 5-13 所示)。

```
Using Toolbox Path Cache. Type "help toolbox_path_cache" for more info.
 To get started, select "MATLAB Help" from the Help menu.
к =
  -8.9059 -12.2109 -0.0878 -0.0000 0.0000 -0.0000
                                                            0.0000 0.0000
                                                                                 0.0000
   3.4253
            4.6965
                      0.0338 -7.1250 -5.4159
                                                   -0.0707
                                                              0.0000
                                                                       0.0000
                                                                                 0.0000
   3, 4253 4, 6965 0, 0338 7, 1250 5, 4159 0, 0707 -0, 0000 -0, 0000
                                                                                -0.0000
  -0.0000 \quad -0.0000 \quad -0.0000 \quad -0.0000 \quad -0.0000 \quad -0.0000 \quad 10.0344 \quad 10.8878 \quad 0.0316
|>> |
```

图 5-13

i) 再根据 u=-Kx, 把第一行的参数取反后, 输入到图 5-7 的 "k1" 模块; 把第二行的参数取反后, 输入输入到图 5-7 的 "k2" 模块; 把第三行的参数取反后, 输入到图 5-7 的 "k3" 模块; 把第四行的参数取反后, 输入到图 5-7 的 "k4" 模块;

#### 2) 实时控制程序使用

根据四旋翼飞行仿真器的仿真程序所选择好的控制律来对四旋翼实物本体来进行实时控制;实时控制软件的操作步骤:

- (1) 打开四旋翼飞行仿真器的电源开关,并把手持盒的旋钮开关旋起, 以及按下 绿色按钮,保证四旋翼飞行仿真器已经上电;
- (2) 双击 FH\_LQR\_State\_9\_P. slx 模块, 弹出界面 5-14;

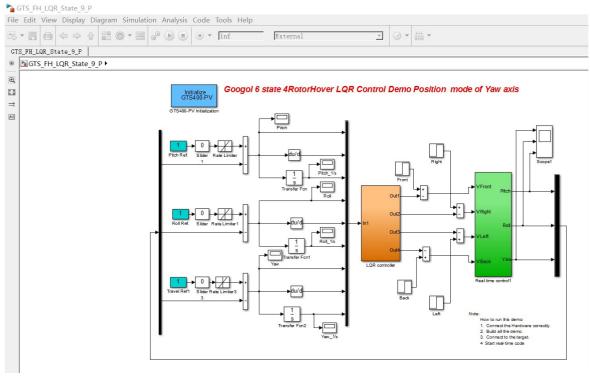


图 5-14

FH\_LQR\_State\_9\_P. slx 模块主要由 "LQRController" 和 "Realtime Control" 两大部分;

### (3) 双击 "LQR Controller" 模块, 弹出界面 5-15;

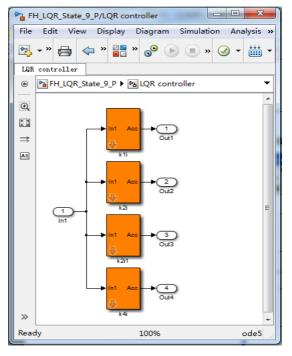


图 5-15

### (4) 双击 "k1i" 模块, 弹出界面图 5-16;

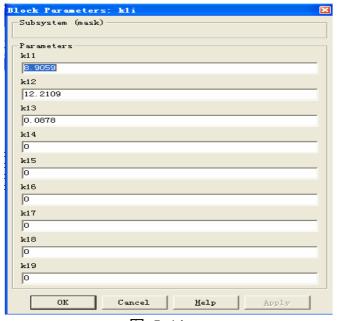


图 5-16

"k1i"模块的参数为图 5-13 计算所得出来的反馈矩阵 K 第一行取反后 的参数,类似地 "k2i"模块的参数为图 5-13 计算所得出来的反馈矩阵 K 第三行 取反后的参数; "k3i"模块的参数为图 5-13 计算所得出来的反馈矩阵 K 第二行取反后的参数; "k4i"模块的参数为图 5-13 计算所得出来的反馈矩阵 K 第四行取反后的参数;

(5) 双击图 5-14 中的 "Real time Control" 模块, 弹出如图 5-17 界面;

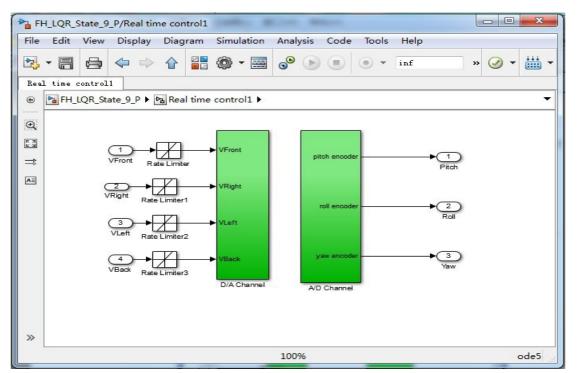


图 5-17

"RealtimeControl"模块包含有两个模块"D/AChannel"、"A/DChannel"两个模块,"D/AChannel"为控制输出,"A/D Channel"为编码器采样;

(6) 双击 "D/A Channel" 模块, 弹出界面 5-18;

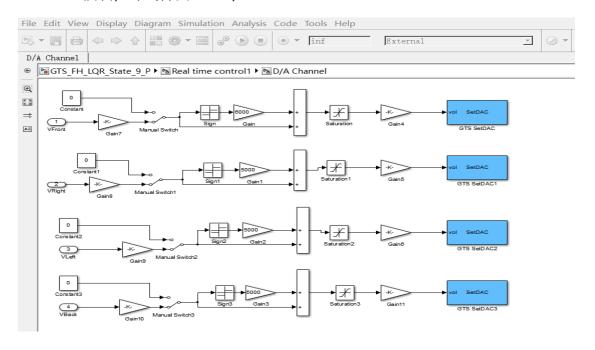


图 5-18

"D/A Channel"模块功能介绍,



a) 当双击 "Mallal Switch" 模块连到 "Constant"模块时,可以更改 "Constant"模块里面的参数,直接控制电机旋转,可以通过该功能来 检测电气系统是否工作正常;



b) 当双击 "Manual Switch L" 模块连到 "Gain"模块时,通过控制律来对电机控制, "Gain"模块是标度变换,数字量与模拟量的对应关系;

- (7) 双击 "A/D Channel" 模块, 弹出界面 5-19;

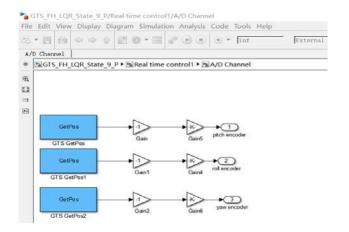


图 5-19

(8) 回到界面图 5-14, 再次检查四旋翼飞行仿真器本体机械方面和电气方面是否完好; 确认后点击 "∰ ▼" 按钮, 对程序进行编译; 直到 MATLAB 的 "Command Window" 窗口弹出界面 5-20;

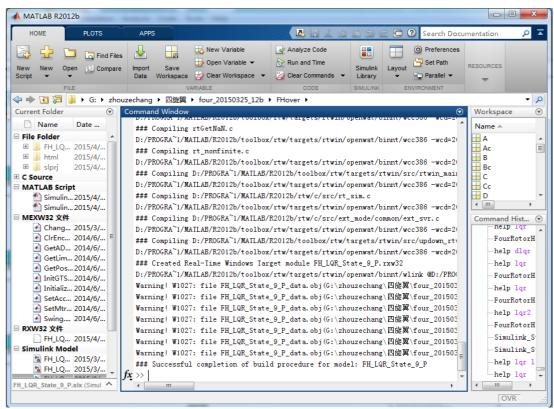


图 5-20

(9) 之后,回到界面 5-14,点击" →"按钮,再点击" →"按钮,此时可以控制四旋翼飞机了。

(10) 如果对控制效果不满意,可以重新计算反馈矩阵 K, 更改新的控制参数, 来观看新的控制效果, 直到满意为止; 用户可以根据提示完成相应的实验。关于在 Simulink 环境下实时控制的相关主题请参看 MATLAB 联机帮助。

### 第六章 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
	电源线没有连接好	检查连线,重新连接
电机不动	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
运行过程中电脑自动关	可能是电脑显卡发	检查显卡是否很发烫,有没有
机	热造成	独立的风扇散热