

**本科毕业论文（设计）**

**题目：双旋转倒立摆的协同控制**

（二号，楷体，加粗，居中）

|  |  |
| --- | --- |
| 姓名 | （三号，楷体，加粗，居中） |
| 学院 | **例**：**中德智能制造学院** |
| 专业 |  |
| 学号 |  |
| 指导教师 |  |
| 职称 |  |
| 提交日期 | **年 月 日** |

**深圳技术大学本科毕业论文（设计）诚信声明**

本人郑重声明：所呈交的毕业论文（设计），题目《 》 是本人在指导教师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式注明。除此之外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。本人完全意识到本声明的法律结果。

毕业论文（设计）作者签名：

日期： 年 月 日

**目录**

[摘要 I](#_Toc18696)

[Abstract II](#_Toc26763)

[1. 前言 1](#_Toc19280)

[1.1 课题研究背景及意义 1](#_Toc6085)

[1.2 课题基础及国内外研究进展 1](#_Toc15592)

[1.3 课题主要研究内容 2](#_Toc3813)

[2. 一级旋转倒立摆的建模与稳定控制 3](#_Toc29168)

[2.1 旋转倒立摆系统的结构分析 3](#_Toc9793)

[2.2 旋转倒立摆系统在典型激励信号下的响应 3](#_Toc30632)

[3. 基于模糊控制器的双倒立摆协同控制 4](#_Toc25683)

[3.1 模糊理论与模糊控制的基本概念 4](#_Toc14301)

[3.2 模糊控制器的设计 4](#_Toc31755)

[总结 5](#_Toc4303)

[参考文献 6](#_Toc5515)

[致谢 7](#_Toc18795)

**双旋转倒立摆的协同控制**

（主标题二号华文中宋加粗，副标题四号宋体，1.5倍行距居中排版。）

# 【摘要】随着信息技术的进步,文章最后通过无线仿真器和串口实验验证了该系统通信结果的正确性。（小四号楷体、1.5倍行距、段前段后0.5行、两端对齐排版)

# 【关键词】短距离无线通信; IEEE802.15.4; NRF9E5; 点到点（小四号楷体、1.5倍行距、段前段后0.5行、两端对齐排版）

Cooperative control of double rotating inverted pendulum

# 【Abstract】Along with the development Point -to- Point wireless communication which based on NRF9E5 and IEEE802.15.4 is researched in this paper.T show that the wireless system can communicate efficiently and accurately. （小四号， Times New Roman, 1.5倍行距，段前段后0.5行）

**【Key words】**Wireless Communication；IEEE802.15.4；NRF9E5；Point -to-Point （小四号， Times New Roman, 1.5倍行距，段前段后0.5行）

1. 前言

（各章标题小二号黑体加粗，1.5倍行距、段前段后0.5行）

## 课题研究背景及意义（三号黑体加粗，1.5倍行距、段前段后0.5行）

倒立摆控制系统是一种具有不稳定、多变量、强耦合等特性的[非线性系统](https://baike.baidu.com/item/%E9%9D%9E%E7%BA%BF%E6%80%A7%E7%B3%BB%E7%BB%9F)，典型的直线倒立摆系统如图1所示主要由摆杆、运动小车、和电机等部分组成，通常由伺服电机、运动控制器和多种传感设备构成闭环系统[1]（正文中引用文献序号用小4号 Times New Roman 体、以上角标形式置于方括号中）。倒立摆系统有多种类型，除了直线倒立摆以外，根据倒立摆结构特点和运动方式的区别还可以分为如图1-2所示旋转倒立摆、平面倒立摆和空间倒立摆，每种类型的倒立摆摆杆数量都可以增加从而变成二级到多级倒立摆，它的控制难度也随摆杆数量增加而提高。（正文内容小四号宋体，1.5倍行距、段前段后0.5行）



图1-1 一级直线倒立摆（五号、宋体）

## 课题基础及国内外研究进展

国外学者最早开始研究了对直线倒立摆控制的一系列问题，研究人员、研究内容和时间如表1所示。早在20 世纪50 年代，倒立摆的出现可以追溯到研究火箭助推器原理，那时麻省理工学院的控制学专家提出并设计了一级倒立摆装置，之后国际上的控制学领域就开始了集中于直线倒立摆系统的研究热潮。1984年以前，线性倒立摆的控制方法主要集中在PID控制、极点配置、状态观测器、LQR等线性控制理论。控制理论和方法主要经历了从经典控制理论到现代控制理论的转变过程，随着直线倒立摆摆杆数的增加，这些线性控制方法能够成功地实现稳定的摆控，但当摆杆偏离垂直角较大时，控制器的抗干扰能力和鲁棒性下降，控制效果也随之下降，因此倒立摆系统的非线性特性逐渐开始受到重视。

## 课题主要研究内容

本文的主要研究内容是设计模糊控制器，通过主从控制的方式对两个一级旋转倒立摆进行协同控制，建立双旋转倒立摆控制系统。首先具体分析实物旋转倒立摆的结构特点，了解其结构组成和运动原理，设立旋转倒立摆的Lagrange方程并代入Quanser公司产品的用户手册提供的QUBE-servo2的参数数据求解拉格朗日方程，得出倒立摆系统的动力学模型，然后转化为矩阵形式的状态空间方程，以便在MATLAB/simulink中装载旋转倒立摆的参数并进行后续的仿真实验。后续通过结合对比仿真信号与真实信号的方法，进行了典型激励响应实验、起摆和稳摆实验，验证了倒立摆系统的有效性和可控性。在基于实现单个旋转倒立摆稳定控制的基础上，本文设计了一种模糊控制器以建立两个旋转倒立摆之间的主从控制通讯，该模糊控制器以主摆的旋臂角位移和摆杆角速度作为输入变量，根据变量在控制过程中的实际范围编辑隶属度函数，经由特定的模糊规则输出从摆的电机电压，从而控制从摆的动作，实现双旋转倒立摆同步运动，最后通过采集、对比两个倒立摆的实时数据验证控制器的有效性。

1. 一级旋转倒立摆的建模与稳定控制

## 旋转倒立摆系统的结构分析与动力学建模

通过旋臂和摆杆的速度方程可以描述旋转倒立摆的运动，由旋臂的长度和角速度可得旋臂在水平方向的速度V为：

 (2-1)

对于摆杆，其质心速度在水平方向的分量和在竖直方向的分量分别为：

 (2-2)

## 旋转倒立摆系统在典型激励信号下的响应

完成旋转倒立摆系统的建模后需要对模型进行验证，检验旋转倒立摆系统在典型激励信号下的响应分为两个部分。首先利用MATALB的函数功能，通过计算倒立摆电机的传递函数在不同的时域信号激励下的响应波形，然后在Simulink搭建传递函数模型从而获得仿真模型的响应波形，通过quarc控制软件把相同的激励信号施加给真实旋转倒立摆硬件，获得真实系统的响应情况，同时可以通过仿真信号和真实信号的对比来验证倒立摆系统模型的有效性和准确性。

1. 基于模糊控制器的双倒立摆协同控制

## 模糊理论与模糊控制的基本概念

在现代无线通信中，数据都是以数据包装的方式来进行传输的。对NRF9E5这样的无线片上系统，每次发送/接收数据也都是以数据包装的方式来进行的。数据包格式是通信协议的重要部分，NRF9E5的无线数据包格式如表1所示**：**

表 3-1 氨标准系列

（表的标题：位于表的上方，居中，宋体，五号；表的序号：按章编排，如此表为第三章第一个表，则序号为“表 3-1”，序号与文字描述之间空一格表中文字：宋体，五号）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 管号 | 标准工作液ml | 吸收液ml | 氨含量μg |
| 0 | 0 | 10.00 | 0 |
| 1 | 0.25 | 9.75 | 0.25 |
| 2 | 1.00 | 9.00 | 1.00 |
| 3 | 3.00 | 7.00 | 3.00 |
| 4 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| 5 | 7.00 | 3.00 | 7.00 |
| 6 | 10.00 | 0 | 10.00 |

其中，在上述NRF9E5的无线数据包中，PAYLOAD段规定了其结构如表2所示。发送模块SW1被按下，从而控制点亮相应的LED—实现了点到点的无线通的数据传输。

## 模糊控制器的设计

模糊推理系统的图形用户界面由5个部分组成，其中模糊推理系统编辑器（FIS Editor）、隶属函数编辑器（Membership Editor）、模糊规则编辑器（Rule Editor）是可以互动的编辑器，也是本章模糊控制器设计的主要工作。另外两个模糊规则观察器和输出曲线观察器是只读工具。

1. 总结

本文的主要研究内容是设计模糊控制器，通过主从控制的方式对两个一级旋转倒立摆进行协同控制，建立双旋转倒立摆控制系统。首先具体分析实物旋转倒立摆的结构特点，了解其结构组成和运动原理，设立旋转倒立摆的Lagrange方程并代入Quanser公司产品的用户手册提供的QUBE-servo2的参数数据求解拉格朗日方程，得出倒立摆系统的动力学模型，然后转化为矩阵形式的状态空间方程，以便在MATLAB/simulink中装载旋转倒立摆的参数并进行后续的仿真实验。后续通过结合对比仿真信号与真实信号的方法，进行了典型激励响应实验、起摆和稳摆实验，验证了倒立摆系统的有效性和可控性。在基于实现单个旋转倒立摆稳定控制的基础上，本文设计了一种模糊控制器，该模糊控制器以主摆的旋臂角位移和摆杆角速度作为输入变量，根据变量在控制过程中的实际范围编辑隶属度函数，经由特定的模糊规则输出从摆的电机电压，从而控制从摆的动作，实现双旋转倒立摆同步运动，最后通过采集、对比两个倒立摆的实时数据验证控制器的有效性。

**参考文献**

[1]娄华平,孙运强,范广.短距离无线通信在监控系统中的使用[J].科技情报开发与经济,2006,17:121-136.（五号楷体，1.5倍行距）

[2]Matthew S. Gast.802.11无线网络权威指南[M].南京：东南大学出版社，2006.

[4]IEEE 802.15.4 2003[S]:67-85.

[5]LeCun Y, Bottou L, Bengio Y, et al. Gradient-based learning applied to document recognition[J]. Proc. IEEE, 1998, 86(11): 2278-2324.（五号, Times New Roman，1.5倍行距）

[6]贝克.嵌入式系统中的模拟设计[M].北京：北京航空航天大学出版社，2006.

[7]智兆华.微控制器及相关技术的新进展[J].今日电子，2005,06:87-105.

[8]433/868/915 MHz RF transceiver withembedded8051 compatible microcontroller and 4 input,10 Bit ADC NRF9E5. http://www.nordic.com.

# 致谢

# （小二号黑体加粗）

本文能顺利完成，首先最要感谢的是我的导师\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*（小四号宋体，1.5倍行距、段前段后0.5行）