

西安邮电大学

毕业设计（论文）

题 目： 基于状态观测器多智能体编队控制

学 院： 自动化学院

专 业： 自动化

班 级： 自动 1403 班

学生姓名： 杨振

学 号： 06141101

导师姓名： 李朕 职称： 讲师

起止时间： 2017 年 12 月 5 日至 2018 年 6 月 10 日

毕业设计（论文）声明书

本人所提交的毕业论文《基于状态观测器多智能体编队控制》是本人在指导教师指导下独立研究、写作的成果，论文中所引用他人的文献、数据、图件、资料均已明确标注；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并表示感谢。

本人完全理解《西安邮电大学本科毕业设计（论文）管理办法》的各项规定并自愿遵守。

本人深知本声明书的法律责任，违规后果由本人承担。

论文作者签名：

日期： 年 月 日

西安邮电大学本科毕业设计(论文) 选题审批表

申报人	李朕	职 称	讲师	学 院	自动化		
题目名称	基于状态观测器的多智能体编队控制						
题目来源	科研	是			教学		其它
题目类型	硬件设计		软件设计	是	论文		艺术作品
题目性质	应用研究				理论研究		是
题目简述	多智能体的编队问题是多智能体领域研究的一个重点方向。而在控制理论中，事件驱动能够都够有效地降低智能体之间的通讯成本。本课题旨在在状态观测器的基础上，研究多智能体编队控制问题。						
对学生知识与能力要求	熟悉 matlab，离散数学，现代控制理论的相关知识，有较强的学习能力。						
具体任务以及预期目标	1. 分布式控制机制的思想和方法； 2. 编写程序实现模拟； 3. 完成设计报告；						
时间进度	2017.12.5 至 2018.2.29 查阅相关文献资料，制定设计方案，完成开题报告 2018.3.1 至 2018.3.31 细化设计方案，完成准备知识 2018.4.1 至 2018.5.31 优化设计，撰写毕业论文 2018.6.1 至 2018.6.10 修改、打印论文，毕业答辩						
系（教研室）主任 签字		2017 年 12 月 9 日			主管院长 签字		2017 年 12 月 9 日

西安邮电大学本科毕业设计（论文）开题报告

学生姓名	杨振	学号	06141101	专业班级	自动 1403
指导教师	李朕	题目	基于状态观测器的多智能体编队控制		

选题目的（为什么选该课题）

近年来，随着时代发展，多智能体系统已然成为目前学术界的一个热点问题之一，并且是一门非常迅速的新兴控制科学。它涉及到很多领域，例如无人机、人工智能、机器人、生物、数学、生物、计算机等领域。多智能体系统在成为面向对象出现以后的新一种进行系统分析与设计的强有力思想方法与工具，对社会的不同领域有很大的促进作用，使得其迅速发展，在理论应用上取得许多成果，因而多智能体系统得到许多专家学者的关注。对于多智能体系统它并没有明确的概念和精确的定义。一般而言，多智能体系统有相当多个数的简单的智能体和常规规则组成。智能体可以是计算机、生物以及生命组织等等。通常研究其智能性、自主性、系统性、交互性、持续性、协调性、目标性、分布性等特性。多智能体系统中领域规则则用来描述邻居个体之间信息间交互与合作的。倘若存在两个邻居智能体，他们相互之间信息的交换从不发生改变，用固定拓扑加以描述。反之，用切换拓扑加以描述。而多智能体的编队控制问题在现实生活得到应用，应用证明多智能体系统抗干扰性强；机器人足球比赛近几年来是一个经典的多智能体应用，因为比赛中机器人要承担不同的角色，不一样的角色分工不一样，这使得研究多智能体系统的相关问题指明方向，以及多智能体系统研究得到更广的使用。

前期基础（已学课程、掌握的工具，资料积累、软硬件条件等）

已学课程：《现代控制理论》、《自动控制原理》、《MATLAB》、《高等数学》

掌握工具：《自动控制原理》、《MATLAB》

资料积累：《网络科学导论》（汪小帆 高等教育出版社）、
《自动控制原理》（胡寿松 科学出版社有限责任公司）、
《现代控制理论》（闫茂德 机械工业出版社）

硬件条件：笔记本电脑

软件条件：MATLAB 等软件

要研究和解决的问题（做什么）

如何解决用一个具体的任意空间位置确立多智能体系统保持希望队形编队，即如何确定参考智能体相对空间位置以及解决以参考智能体到智能体，和智能体与智能体之间的空间位置，即一致性问题。李雅普诺夫定理关于一致性问题。一致性问题是指系统在任意初始状态下，利用一致性控制协议进行信息交互协调作用，并且根据所得到的邻居信息来调整自身的状态，最终使得所有状态的某种特性能够达到一致或趋于一致。

工作思路和方案（怎么做）

工作思路：运用代数理论、矩阵理论和 Lyapunov 方法，给出了非线性多智能体达到领航跟随一致的充分条件，当某个状态下智能体之间的某些关系超过阈值，则触发事件，使之变化行进策略，期间监听状态，可能会有多个策略被触发，利用程序把算法体现出来，运动轨迹通过图表方式显示出来便于总结

解决方案：

第 01 周 — 第 02 周：查询相关资料以及实现原理，并编写开题报告。

第 03 周 — 第 04 周：学习自动控制原理、现代控制理论等书籍知识。

第 05 周 — 第 07 周：根据解决方案设计状态观测器触发器。

第 08 周 — 第 09 周：根据算法编程，然后进行调试。

第 10 周 — 第 11 周：整体进行测试，得到数据，完成课题的设计。

第 12 周 — 第 14 周：完成论文撰写，准备答辩。

指导教师意见

签字：

2018 年 1 月 9 日

西安邮电大学毕业设计 (论文)成绩评定表

学生姓名	杨振	性别	男	学号	06141101	专 业 班 级	自动 1403 班
课题名称	基于状态观测器的多智能体编队控制						
指导教师意见	评分（百分制）：_____ 指导教师(签字)：_____ 年__月__日						
评阅教师意见	评分（百分制）：_____ 评阅教师(签字)：_____ 年__月__日						
验收小组意见	评分（百分制）：_____ 验收教师(组长)(签字)：_____ 年__月__日						
答辩小组意见	评分（百分制）：_____ 答辩小组组长(签字)：_____ 年__月__日						
评分比例	指导教师评分__%(%) 评阅教师评分__%(%) 验收小组评分__%(%) 答辩小组评分__%(%)						
学生总评成绩	百分制成绩			等级制成绩			
答辩委员会意见	毕业论文(设计)最终成绩(等级)：_____ 学院答辩委员会主任(签字)：_____ 年__月__日						

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
第一章 引言.....	1
1.1 课题背景.....	1
1.2 课题任务.....	2
1.3 论文结构介绍.....	2
第二章 背景知识.....	3
2.1 数学工具.....	3
2.1.1 图的定义.....	3
2.1.2 图的类型.....	3
2.1.3 拉普拉斯矩阵.....	4
2.1.4 克罗内克积.....	6
2.1.5 稳定性定理.....	7
2.2.1 分布控制与 SISO、MIMO 的区别.....	7
2.2.2 编队控制的背景.....	8
第三章 基于状态观测器的多智能体编队控制.....	10
3.1.1 基于状态观测器的多智能体编队控制的介绍.....	10
3.3.2 模型叙述.....	10
3.3.1 模型证明.....	12
3.3.3 证明结论.....	15
第四章 程序的仿真.....	16
4.1 程序以及仿真结果.....	16
4.1.1 仿真验证原理图.....	16
4.1.2 仿真结果.....	16
第五章 工作总结.....	28
致 谢.....	29
参考文献.....	30

摘 要

随着时代的发展和科技的进步,基于状态观测器多智能体编队控制引起众多专家的关注,并使得编队控制变成一个热门的研究领域。在这种潮流下,多智能体编队的主要问题凸显出来。在基于状态观测器的多智能体编队控制中有几个比较首要的问题,如何设计合理的控制增益能够保证编队的形状,和如何在系统运行的过程中及时的检测智能体的位置信息。由于实际中的状态变量可能是未知的,所以需要考虑状态观测器的设计问题。

本文阐明了智能体之间坐标确定、智能体之间的相互坐标、编队系统让智能体编队的形成、以及智能体之间的编队控制。其中用到了许多知识,譬如图论、克罗内克积、稳定性定理、分布式控制、多智能体编队、李雅普诺夫定理、状态观测器的设计、以及 MATLAB 的程序仿真。

关键词: 智能体编队; 状态观测; 分布式控制;

ABSTRACT

Under the development of technical progress, the state observer multi-agent formation control has drawn many attentions. made formation control become a hot issue. In this case, the main problem of multi-agent formation needs to be highlighted. There are several problems in multi-agent formation control based on state observer, that how to solve the arbitrary initial coordinate between the formation, that how to design an appropriate control gain such that the formation shape can be guaranteed, and how to measure the position information when each agent moves. Since the state of agent may be unknown, the state observer should be considered. in a casual determination of coordinate interval between coordinates, and mobile agent formation system determination of random coordinates. because the coordinates are indeed determined, the result coordinates of the formation are determined based on the state observer multi-agent control.

In this paper, the distance between the agent between the agent and the formation control of the agent are discussed. A lot of knowledge was applied, such as the graph theory, the Kronecker product, stability theorem, the distributed control system, the Lyapunov theorem, the state observer design and MATLAB simulation program which will be reflected in the later text.

Keywords: Smart body formation; State observation; Distributed control

第一章 引言

1.1 课题背景

跟着时间长河的流逝与现代科技的成长，我们可以在现实生活中观察到许多编队的行为、比如天上飞的大雁南迁、地上爬的蚂蚁搬家、以及水里游的鱼群（图 1-1）觅食，这些只是我们所观察到的处过我们人类以外很小一部分的编队，在人类中有国庆阅兵编队、无人机表演编队（图 1-2）、以及护卫舰的编队^[6]。

以此看来在个世界由生命体、非生命体等组成，生命体有生命体的编队，非生命体有其自己的控制编队。其中可以包括比较宏观的地球也可以看做太阳系中的一个非生命体却用具有生命体的智能体，它有自己的编队在太阳系在有自己的运行轨迹，进行着围绕太阳的公转，和自身的自转，还有其他行星的自转公转的编队，这样可以形成一个比较安全并且平衡稳定的太阳系，正是这样的平衡有顺序的编队，让地球形成各种各样气候带，让地球更加适宜人们的居住。太阳系的编队，让地球保持稳定平和形成适宜气候环境，让地球上的生命体、非生命体，种类繁多各式各样，促进的多样性的发展。正是这样众多天文学家、物理学家、还有众多学者对地球的运行轨迹，太阳系的运行编队，太阳系的稳定的环境所研究，研究其运行编队，以及控制算法。

在生活中也会有编队，比如一个庞大的工程，有一个总工程师，下面有许多工程师，工程师下面有个个负责人，负责人下有工人。每个人都有自己的使命，而所有人形成一个树根状，个个人分工明确，节省时间，提高效率，这也是编队的魅力所在。还有在大海里有众多的鱼群，为何形成鱼群编队，鱼群编队行成的原因是什么？经学者专家研究表明，鱼群行动能够减少其海中危险性，比如结伴而行，遇见掠食动物，通过鱼群的庞大编队可以迷惑掠食者，让其不敢轻易下手，对鱼群形成攻击，当遇见攻击时，可以降低在被捕食几率。还有一个原因是，在海中结伴而行形成编队可以减少能量损耗，生活中也有很多这样的事例。比如大雁南飞，大雁群体通过编队这样的方式可以减少能量损耗，这样能够进行更远的迁移活动。

正是这样的自然现象，引起众多试验研究，并将其多智能体运用众多领域中，可发现其的应用价值，目前，多智能体已经成为众多科学问题，如动物行为学问题，生态学问题、通信学问题等等。通过了解众多知识得知其中多智能体控制分为两种，一种是集中控制另外一种分布式控制，在这种选择中本问中选择分布式控制，相信在上文已经看到了多智能体控制选择。因此本文中形成一个期望编队，并达到所期望队形，其研究多个理论相结合，设计观测器，利用分布式控制等达到编队控制目的。而不是采用集中式控制，因为在集中控制每个智能体至少拥有一个智能体获得系统中的编队权限，获得领导编队的，规划任务的权限，这

样智能体数量变多时，所受到的负载会变大。而分布式控制会减少负载，一样完成编队控制，信息交换会变少。但也有其缺点，分布控制会有多智能体之间的信息相互干扰，影响其信息传递^[5]。



图 1-1 鱼群觅食



图 1-2 无人机

1.2 课题任务

课题所包括的任务：

查询资料学习分布控制、多智能体编队、理解二维三维多智能编队、学习编队控制协议的设计。

通过书本互联网等资源学习图论、克罗内克积、稳定性定理、状态观测器的设计、拉普拉斯定理的学习。

最后使用 MATLAB 软件工具进行仿真，分析其结果，并且改变维度参数进行调试。

1.3 论文结构介绍

第一章进行编队控制背景介绍，以及在生活中存在的编队控制，和现实中编队控制的应用，然后通过选择，选择用分布控制来进行编队。

第二章主要介绍了所需的基础知识，通过第二章可以分为两节，第一节是所用的工具即图论、克罗内克积、稳定性定理。第二部分是介绍状态观测器、分布控制，以及它不同于单输入单输出，以及编队的知识点。

第三章主要讲述采用状态方式，来表达编队过程，然后设计状态观测器，来通过一致性来表示编队能实现，最后通过推导出 K 值来验证结果。

第四章通过所得参数编写程序，模拟状态观测器，查看编队连通结构，验证推倒过程是否成立。

第二章 背景知识

2.1 数学工具

2.1.1 图的定义

提到图论，就图论而言图论是生活的一部分，是数学的部分基础，说到数学问题就会想起图论在离散数学中的作用，因为图论是离散数学的一个重要基础之一，重要的组成部分。近些年来，因为数学促进了高速计算的发展，影响了计算机科学的进步，使得数学更接近我们的生活，譬如图灵机的产生它促进了，科学计算机的产生，并为其打下了夯实的基础。近年来观察到在计算机科学发展的途中，数学与计算机科学产生碰撞，两者之间相互促进，相互发展，相互影响，并在生活中广泛应用。据说图论的产生是由一个叫做欧拉的人解决了历史问题而产生的，在 18 世纪的具有才智的欧拉解决了这历史问题，由此图论诞生，这也使得具有才智欧拉成为拉起图论帷幕的开创者。

图论在近年来发展迅速，图论也逐渐完熟起来，因而图论应用在各个领域中都有常见，在常见的学说中有工程学、信息科学、密码学，并与新兴计算机科学相结合，解决了离散事物中的定性、定量。这些只是在学术上的应用于影响，它也在生活中应用解决其他问题。

图的定义我们都了解，图有很多种，有点、线之间可以相互结合构成一个平面或者多面即空间，有点通过线的有序连通，形成有向图。如若无序连通是无向图。图的种类有很多种就如上诉，平面图、空间图、有向图、无向图，平面空间与有向无向结合形成众多的图。还有比较常见的图，点线组成，或者线线组成的图，譬如圆、椭圆、三角形、多边形、圆柱等等。这些只是图的很小一部分，生活中图的存在比比皆是，图的涉及广泛程度，难以揭晓。通过学习很多图论问题都是拓扑学发展而来譬如“四色问题”。以最简单的拓扑学一个性质来介绍拓扑学，在初中时代，数学证明图像相等问题，而在拓扑学中并不存在这个问题，拓扑学中只有等价，不同的图形、形体，在拓扑变换，它们还是等价的图形。拓扑学也称几何拓扑学，只是几何拓扑学是早期的一种称谓叫法，而近代统称拓扑学，拓扑学发展到今天拥有两个比较大的部分。

2.1.2 图的类型

本文中所常见的两种分为下图所示并写出矩阵指出，在此设相通不通权重分别为 1, 0。

(1) 五个节点连通无向图 2-1 以及无向图邻接矩阵

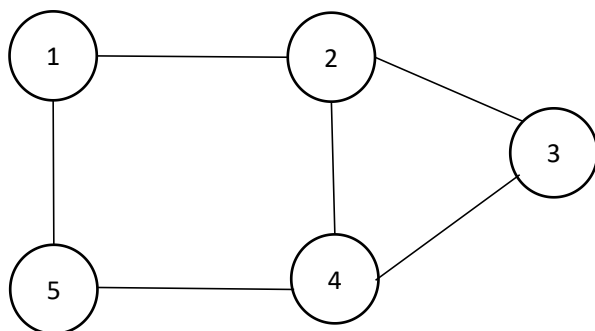


图 2-1 五节点连通无向

A 是五节点连通无向邻接矩阵，矩阵如下图。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(2) 六节点连通有向图以及六节点连通有向图邻接矩阵 B

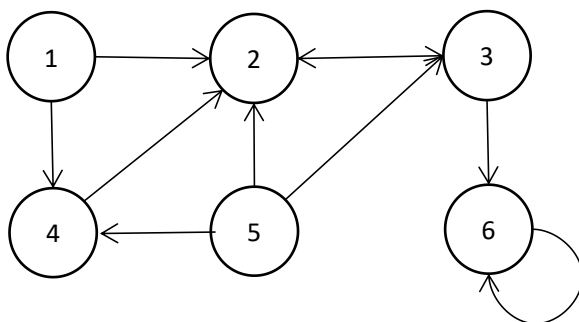


图 2-2 六节点连通有向图

B 是六节点连通有向邻接矩阵，矩阵如下所示。

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2.1.3 拉普拉斯矩阵

给一个图设这个图为图 $G^{[9]}$ ，这图是有六个节点 7 条无向线段连接的无向图，我们通过用着个图来定义拉普拉斯矩阵，图如下图所示。

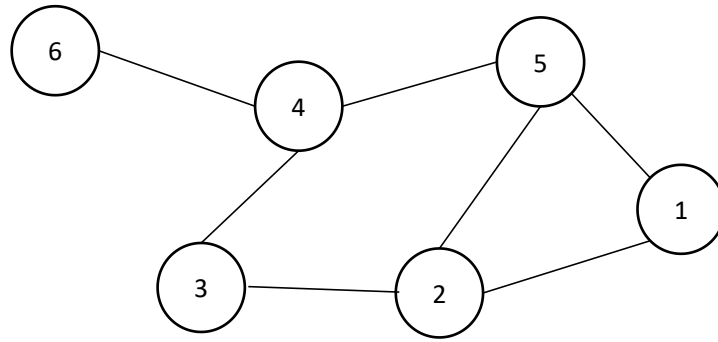


图 2-3 六节点无向图

在此设相通不通权重分别为 1, 0。则解邻接矩阵：

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

通过每列求和，得到矩阵 d_i ：

$$d_i = \sum_{j=1}^n A \quad (1)$$

写成矩阵：

$$D = \begin{bmatrix} d_1 & \cdots & \cdots \\ \cdots & d_2 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ \cdots & \cdots & d_n \end{bmatrix}$$

矩阵 D 为：

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

从而得到定义： $L = D - A$

$$L = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 3 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 3 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

通过上述推到得出拉普拉斯定义 $L=D-A$ ；其矩阵为， $L:=(l_{i,j})_{n \times m}$ 经计算得出 i, j 三种不同情形的结论：

(1) 若 $i=j$ ，得出

l_{ij} 等于 $\deg(v_i)$, $\deg(v_i)$ 是顶点的度；

(2) 若 i, j 两数值不同，但是顶点 v_i 和 v_j 是相邻的得出：

$l_{ij}=-1$ ；

(3) 在其他情况下得出：

$l_{ij}=0$ ；

2.1.4 克罗内克积

克罗内克积所表示的是矩阵之间的运算，其定义是：如果 A 是一个 $m \times n$ 的矩阵，而 B 是一个 $p \times q$ 的矩阵，克罗内克积则是一个 $mp \times nq$ 的矩阵^[4]，表示为下列所示：

$$A \otimes B = \begin{bmatrix} a_{11}B & \cdots & a_{1n}B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}B & \cdots & a_{mn}B \end{bmatrix}$$

举个例子：

$$A \otimes B = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 4 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 4 & 2 & 2 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B \otimes A = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 4 & 1 & 2 \\ 4 & 2 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

由上得知有 $A \otimes B \neq B \otimes A$ 说明克罗内克积不具有交换律。

通过学习其他例子得知克罗内克积具有转置、非交换性等等性质。

2.1.5 稳定性定理

稳定性定理是微分方程的一部分，在现代控制理论中，分为以下几种稳定，下面简略介绍现代控制理论中的几种稳定^[8]。系统方程为： $\dot{g} = Ag + Bu$ ， $u = cg$ 。

(1) 李雅普诺夫意义下的稳定性；

对随机的 $g(0)$ ，都存在有界 $g(t)$ ，则称 $\dot{g} = Ag$ 的 0 解是李雅普诺夫意义下的稳定。若对随机的 $g(0)$ ，都存在 $\lim_{t \rightarrow \infty} g(t) = 0$ ，则会称为 $\dot{g} = Ag$ 的 0 解为渐稳定。

一下举例子分别表示稳定矩阵 A、渐稳定矩阵 B、不稳定情形矩阵 C。

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -1+j & 0 & 0 \\ 0 & -1-j & 0 \\ 0 & 0 & -5 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

(2) 有界输入、状态 (BIBS) 稳定；

如若有 $g(0)$ 在随机的有界输入 $u(t)$ 作用下，均有 $g(t)$ 有界，则有系统 BIBS 稳定。如若对随机 $g(0)$ 及在随机的有界输入 $u(t)$ 下，都存在着有 $g(t)$ 有界，称之为这个系统 BIBS 全稳定。

(3) 总体稳定：

如若对随机的 $g(x)$ 及在随机的有界输入 $u(t)$ 作用下存在着，对任意的 $g(t)$ ， $h(t)$ 有界，则称系统整体稳定。

通过现代控制理论了解到在系统方程条件下来定义稳定性问题，通过根源来说，以上的几类稳定性问题，其实以上问题可以总结为 A 的特征值问题。在判别在以上意义下的稳定性，均是要得出特征值 A，然后对这些特征值进行研究，在通过定理进行判别。

2.2.1 分布控制与 SISO、MIMO 的区别

分布控制不同于单输入单输出、多输入多输出，分布控制采用的方式与 SISO、MIMO 的方式有不同的差异，以下来说下 SISO、MIMO 的简单介绍，原理介绍以及其的优缺点。

(1) 单输入单输出的简介以及原理：

单输入单输出也称之为点变量系统，在生活比较常见，其名就说明了其的工作方式。在智能体或者物体间通过输入器接收单独的一个信号，然后经过某种程序判断，产生单独的结果。在这种的方式之间，信号比较特定，不会出现信号干扰，执行力强。

（2）单输入单输出系统的描述：

可以通过所学方程来表示单输出的非时变，通过唯一数值，产生独一的定值结果，其方程是：

$$\frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 = b_m \frac{d^m u}{dt^m} + \dots + b \frac{du}{dt} + b_0 u \quad (2)$$

（3）单输入单输出的优点：

信号是单独唯一的，不存在同时进行，不同信号，进行判别最终推出单独的数据。单输入单输出执行力比较强，不会出现信号误码的问题。

（1）多输入多输出的简介以及原理：

MIMO 是最早由外国科学家提出的，他利用发射设备多个发射器单独的发射信息，在同时在接收设备上使用多个接收设备接收信息，通过编码器，不同的方式解分信息，这样的方式可以决定了用户能够达到的峰值吞吐率。当多智能体之间发射信息被反射的时间，反射设备多个发射器可以产生多个信息。使用单输入单输出（SISO）的控制方式时，就以其名，可了解到，一个发射设备一个接收设备，意味每次多智能体之间只能发送一次或接收一次信息信号。多输入多输出也就是 MIMO 式，可以使多智能体之间产生多个信息信号，接收多个信息信号，并且能够明确区分出信号所发自那个智能体，MIMO 的方式可以提高性能资源，在此同时能够增加信息信号的覆盖范围。

（2）多输入多输出具有的优点：

多输入多输出的优点是，通过利用信息通道降低或者一直信息信号的衰落，使得信息信号能够进行同时传输，降低信息错乱问题。由上两点总结出来 MIMO 拥有两个优点分别是，提高通信通道容量，和提高通信信道的稳定性性能。

一般来说，多个信息通道，会引起信号衰落问题，这个缺点都看做为不利于通信交流，同过数据与研究来说，MIMO 的方式能通过增加发射设备和接收设备来增加信号通道容量，通过数据运算可以运算出最佳的设备传输与接收。

2.2.2 编队控制的背景

由于近些年的电子学科的发展、信息科学发展，人工智能和多智能体控制得到进一步发展。因为近年来多智能体控制受到，众多学者以及企业的关注，使得多智能体控制技术日益发展。在编队控制受到外界关注，以及控制的快速发展，这样使得这个问题随处可见，这个也引起了众多平凡百姓的关注，在今年有些大

城市出现无人机表演，其实无人机表演也是编队问题，也是多智能体编队控制的结果。在生活中编队控制的应用越来越普及，编队控制也影响了我们的生活，控制编队是在平面或者多维空间里进行的，通过设定来解决维度问题，在编队控制中采用和数学相结合，用数学图论的方法解决，编队控制的问题。通过智能体达到最终坐标，按照命令执行运动任务，然后达到所需要的结果。在军事上航空母舰的护航也是采用的编队控制，每个战舰都有其使命，都是航空母舰编队控制中的一个部分一个个体，编队控制使这些战舰形成一个系统，系统之间进行交流来控制这个整体。编队控制的影响涉及到了数学、企业商用、军队、以及现实生活，这种影响无处不在，并且仍在继续着。然后编队任务可以在二维平面或者三维空间中进行，所以智能体的运行状态可以是二维的也可以使三维的根据设定来决定其维度，一般来说把智能体应用到二维或者三维时，这种情形可以采用用数学的方法来处理这个问题，通过把多智能体看做数学矩阵问题，可以用矩阵的值积方法来运算。如果是多维的情况下，可以采取编队控制矩阵化，来处理这个问题。本文为了方便就才用了二维平面三维空间来展示多智能体编队。所以在这里可以设多智能体的个数为 M 个每一个智能体都有其自身的任务，所以可以给多智能体所组成的多智能体编队的智能体进行数学编号^[11]。

智能体之间控制的办法有，领导跟随法是说，从多个智能体之间，之前设多智能为 M 个且 M 大于等于二，因为在这种方法下多智能的数学编号 M 要大于等于两个，不然这种方法没办法实现。在这种方法下，在多智能体之间选择出来一个领导者，其他的多智能体跟随领导者，这种方法可以对编队位置进行空间移动。行为法是把多个智能体编队运动分解为几个运动，在每个运动过程都有其信息传递，然后通过控制器的下发的指令完成其编队运动任务。虚拟结构法是把多个智能体编队看成一个整体，每一个智能体在其编队的位置，然后记性整体运动。图论法是指，在编队任务过程中有很多智能体，且智能体之间有自己的交流方式，所以多智能体之间有其相应的结构，由于多智能体之间信息交流，控制就会形成网络结构，此时可以通过数学中的图论来解决这个问题，因为采用图论的方式可以更完美的分析多智能体编队系统。

第三章 基于状态观测器的多智能体编队控制

3.1.1 基于状态观测器的多智能体编队控制的介绍

多智能体的编队是在一定的条件设计状态观测器，采用现代控制理论中的系统方程，然后进行分布控制编队。通过了解知道了第一章写了关于编队背景的介绍说明，在第一章背景介绍中，说了许多有关于编队的问题，在有生命体的编队控制，以及在无生命迹象的物体或者说物体的编队控制。其中有许多学者专家对编队控制的关注缘由，还有多编队控制在现实生活中的应用。

在背景介绍的最后一部分写了有关于，在本文中所用控制是采用的那种编队控制。第二章编写了在基于状态观测器的编队控制的条件下所需要用到的基础知识以及所用到的工具，通过了解得知，第二章整体分为两部分一部分是介绍所用的工具，以及工具的定义所涉及到的性质，第二部分所描述的是分布控制、编队以及状态观测。而第三章写了如何设计状态观测器，以及证明基于状态观测器的条件的下多智能体的编队控制的证明。

3.3.2 模型叙述

编队控制的模型方程为： $\dot{x}_i = \mathbf{A}x_i + \mathbf{B}u_i$ ，其中 x 为状态向量 u 为状态输入，假设一个线性定常体系 $\Sigma_0=(\mathbf{A},\mathbf{B},\mathbf{C})$ ，其中我们不知道 x 的确定值。如若动态体系的 $\hat{\Sigma}_0$ 以定常体系 Σ_0 会有 $x_i \rightarrow \hat{x}_i$ ，即为 $\lim_{t \rightarrow \infty} |x_i - \hat{x}_i| = 0$ ，其中称 $\hat{\Sigma}_0$ 是 Σ_0 的状态观测器。线性定常体系 $\Sigma_0=(\mathbf{A},\mathbf{B},\mathbf{C})$ 的表达式为：

$$\begin{cases} \dot{x}_i = \mathbf{A}x_i + \mathbf{B}u_i \\ y_i = \mathbf{C}x_i \end{cases} \quad (3)$$

若系统完全能观，系统有唯一解，因此只有当系统是完全能观时，状态向量才能由原系统的输入 u 和输出 y 以及他们各阶导数的线性组合构造出来。

为了避免使用微分器，状态观测器的重构就是利用可以直接测量的 u_i 、 y_i ，构造一个结果与原系统相同的系统，来确定状态向量估值。用一个很直观的方法构造一个与原系统相同的完全相同的系统。

为确定估值通过构建系统，构建系统图为下图 3-1 所示：

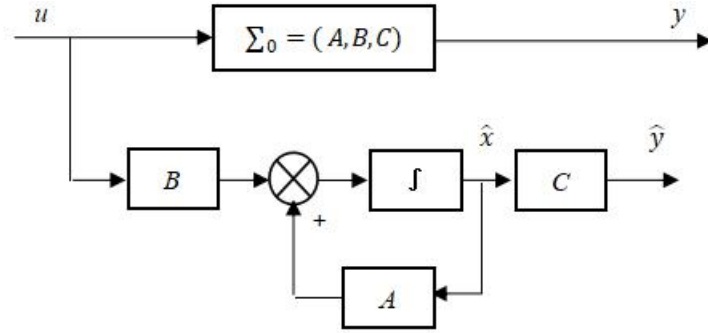


图 3-1 开环观测构造图

该图的状态表达为：

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}_i = A\hat{x}_i + Bu_i \\ \hat{y}_i = C\hat{x}_i \end{cases} \quad (4)$$

根据比较初始状态表达可得：

$$\dot{x}_i - \dot{\hat{x}}_i = A(x_i - \hat{x}_i)$$

即为：

$$x_i - \hat{x}_i = e^{At}[x_i(0) - \hat{x}_i(0)]$$

下用渐近稳定的状态观测结构图得出表达方程，其图 3-2。

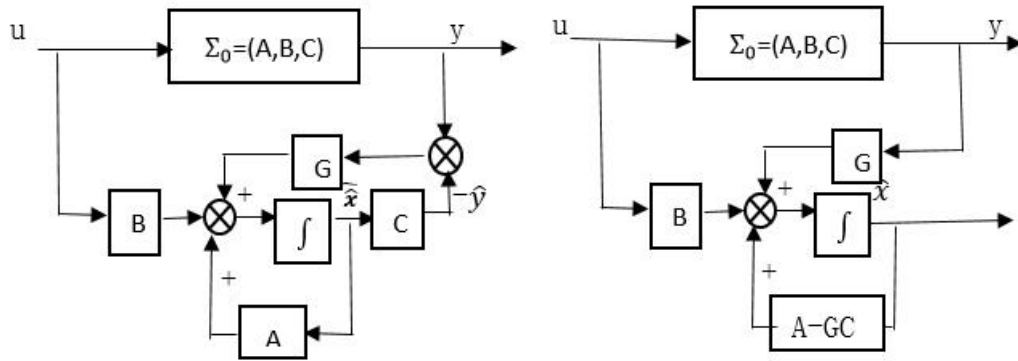


图 3-2 渐近稳定的状态观测结构图

通过构图得知表达式为：

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_i &= A\hat{x}_i + Bu_i + G(y_i - \hat{y}_i) \\ &= A\hat{x}_i + Bu_i + Gy_i - GC\hat{x}_i \\ &= (A - GC)\hat{x}_i + Gy_i + Bu_i \end{aligned}$$

输出表达式为：

$$\hat{y}_i(t) = C\hat{x}_i(t)$$

假设 1: 在给定任意的无向图中, 对于任意的一个节点到另外一个节点都存在有一条连通的路, 也就是说节点与节点之间是连通的, 我们可以称为这种图为连通结构图。然后通过构建线性反馈律得出:

$$u_i(t) = k \sum_{j \neq i, j=1}^N a_{ij}(x_i(t) - x_j(t)) \quad (5)$$

算法 1: 当 K 趋近于零时, u 也是趋近零时成立的。在假设 1 成立的条件下, 基于状态观测器和控制的增益下, 编队控制可以达到渐近的一致, 就是当 t 趋近于无穷大的时, 会存在 $x_i(t) - x_j(t)$ 趋近零成立, 也就是说达到一致。根据状态方程得出, 状态方程为:

$$\dot{x}_i(t) = Ax_i(t) + Bu_i(t) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N-1, N)$$

因为设 $H_i(t) = x_i(t) - d_i$

所以有: $\dot{H}_i(t) = (\dot{x}_i(t) - \dot{d}_i) = Ax_i(t) + Bu_i(t)$

由 $u_i(t) = k \sum_{j \neq i, j=1}^N a_{ij}(x_i(t) - x_j(t))$

$$(\dot{x}_i(t) - \dot{d}_i) = Ax_i(t) + Bk \sum_{j \neq i, j=1}^N a_{ij}[(x_i(t) - d_i) - (x_j(t) - d_j)] + Ad_i$$

即为:

$$\dot{H}_i(t) = AH_i(t) + BK \sum_{j \neq i, j=1}^N a_{ij}[H_i(t) - H_j(t)] + Ad_i$$

由一致性处理得:

$$H_i(t) - H_j(t) \rightarrow 0;$$

估值与原值保持一致, 说明编队可以实现。

3.3.1 模型证明

定理 1^[1]: 若假设 1 成立, 则观测器系统趋向于系统 $\sum_0 = (A, B, C)$, 也就是

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |x_i - \hat{x}_i| = 0$$

证明: 系统 $\sum_0 = (A, B, C)$, 不完全能观, 按照能观性分解得 \sum_0 分解形式,

其中设 $Q=B, W=A$ 设方程为: $Q = I_N \otimes B, W = I_N \otimes A, u_i(t) = (L \otimes K)x_i(t)$ 在式子中 L 为拉普拉斯矩阵。

$$x = \begin{bmatrix} x_o \\ x_{\bar{o}} \end{bmatrix}, \quad I_N \otimes A = \begin{bmatrix} I_N \otimes A_{11} & 0 \\ I_N \otimes A_{22} & I_N \otimes A_{22} \end{bmatrix}, \quad I_N \otimes B = \begin{bmatrix} I_N \otimes B_1 \\ I_N \otimes B_2 \end{bmatrix}$$

$$C = [I_N \otimes I_n \quad 0]$$

所以 $\sum_1 = [I_N \otimes A_{11}, I_N \otimes B_1, I_N \otimes C_1]$, $\sum_2 = [I_N \otimes A_{22}, I_N \otimes B_2, 0]$, 其中

\sum_1, \sum_2 均为不能观子系统。

为构建观测体系，设 $\hat{H} = (\hat{H}_o, \hat{H}_{\bar{o}})^T$ 为状态 H 的估算值，所以会有

$G = (G_1, G_2)^T$ 由此可以得出观测体系方程：

$$\dot{\hat{H}} = (I_N \otimes A) \hat{H} + (I_N \otimes B)u + (I_N \otimes G)(y - \hat{y})$$

$$\dot{\hat{H}} = I_N \otimes (A - G) \hat{H} + (I_N \otimes G)y + (I_N \otimes B)u$$

定义误差向量为 $\hat{x} = x - \hat{x}$ 可导出状态误差方程为：

$$\dot{\tilde{H}} = \hat{H} - \dot{\hat{H}} = \begin{bmatrix} \hat{H}_o - \dot{\hat{H}}_o \\ \hat{H}_{\bar{o}} - \dot{\hat{H}}_{\bar{o}} \end{bmatrix}$$

$$\dot{\tilde{H}} = \hat{H} - \dot{\hat{H}} = \begin{bmatrix} \dot{\hat{H}}_o & \dot{\hat{H}}_{\bar{o}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I_N \otimes A_{11}) H_o + (I_N \otimes B_1) u \\ (I_N \otimes A_{21}) H_o + I_N \otimes A_{22} H_{\bar{o}} + (I_N \otimes B_2) u \end{bmatrix}$$

$$- \begin{bmatrix} (I_N \otimes A_{11} - I_N \otimes (G_1 C_1)) \hat{H}_o + (I_N \otimes B_1) u + I_N \otimes (G_1 C_1) H_o \\ [I_N \otimes A_{21} - I_N \otimes (G_2 C_1)] \hat{H}_o + I_N \otimes A_{22} \hat{H}_{\bar{o}} + (I_N \otimes B_2) u + I_N \otimes (G_2 C_1) x_o \end{bmatrix} \quad (6)$$

可由(6)得到方程：

$$\begin{cases} \dot{H}_o - \dot{\hat{H}}_o = (I_N \otimes A_{11}) - I_N \otimes (G_1 C_1) (H_o - \hat{H}_o) \\ H_o - \hat{H}_o = e^{(I_N \otimes A_{11} - I_N \otimes (G_1 C_1))t} (H_o(0) - \hat{H}_o(0)) \end{cases}$$

通过选择适合的 G_1 可使 $(I_N \otimes A_{11} - I_N \otimes G_1 C_1)$ 的特征值具有实部，所以

$\lim_{t \rightarrow \infty} |H_{\bar{o}} - \hat{H}_{\bar{o}}| = 0$ 同理可得到：

$$\begin{cases} \dot{H}_{\bar{o}} - \dot{\hat{H}}_{\bar{o}} = (I_N \otimes A_{21} - I_N \otimes (G_2 C_1)) (H_o - \hat{H}_o) + I_N \otimes A_{22} (H_{\bar{o}} - \hat{H}_{\bar{o}}) \\ H_{\bar{o}} - \hat{H}_{\bar{o}} = e^{(I_N \otimes A_{22})^t} (H_{\bar{o}}(0) - \hat{H}_{\bar{o}}(0)) + \int_0^t e^{I_N \otimes A_{22}(t-\tau)} (I_N \otimes A_{21} - G_2 C_1) e^{(I_N \otimes A_{11} - G_1 C_1)\tau} (H_o(0) - \hat{H}_o(0)) d\tau \end{cases}$$

通过以上结果的，当 $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{(I_N \otimes A_{22})^t} = 0$ ，成立时有， $\lim_{t \rightarrow \infty} |H_{\bar{o}} - \hat{H}_{\bar{o}}| = 0$ ；则有程：

$$\begin{aligned}\dot{H}_i(t) &= AH_i(t) + BK \sum_{j \neq i, j=1}^N a_{ij} [H_i(t) - H_j(t)] \\ &= (I_N \otimes A) H(t) + B (L \otimes BK) H(t)\end{aligned}$$

在以上条件下与 A_{22} 特征值均具有负实部等价。只有被控系统的不能观子系统渐近稳定时，才能使得实际值预估值渐近。

定理 2^[2]: 假设 \sum_0 可观, 无向图 G 是连通结构在网络控制系统中控制输入为 $u_i(t)$, 都有以下存在;

$$I_N \otimes (PA + A^T P) - \alpha \otimes PB^T K^T KB P < 0$$

则:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |H_{\hat{\theta}} - \hat{H}_0| = 0$$

也就是编队成立。

证明: 令 $V(t) = H^T(t)(I_N \otimes P)H(t)$

构造李亚普洛夫函数求导李雅普诺夫函数:

$$\begin{aligned}\dot{V}(t) &= \left(\sum_{i=1}^N H_i^T(t) PH_i(t) \right) \\ &= \sum_{i=1}^N [(AH_i^T(t) + BK \sum_{j \neq i, j=1}^N a_{ij} (H_i(t) - H_j(t))) \times \\ &\quad H_i(t) + H_i^T(t) P (AH_i(t) + BK \sum_{j \neq i, j=1}^N H_j(t))] \\ &= \sum_{i=1}^N H_i^T (A^T P + PA) H_i(t) - \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N - \\ &\quad H_i H_j (H_i(t) - H_j(t))^T PBKK^T BP (H_i(t) - H_j(t))\end{aligned}$$

设矩阵 T 为酉矩阵, $T = [T_1^T, T_2^T, T_3^T \dots T_N^T]$, 则由 L 的特征值从小到大排列后, 总有 $0 = \lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \lambda_3 \leq \dots \lambda_N$, 使得 $L = T^T \alpha T$, 其中 $\alpha = \text{diag}\{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_N\}$ 所以有:

令:

$$\begin{aligned}& (T \otimes I_N) y(t) = H(t) \\ & - H^T(t) (L \otimes PBKK^T BP) H(t) \\ & = - y^T(t) (T^T \otimes I_N) (L \otimes PBKK^T BP) (T \otimes I_N) y(t)\end{aligned}$$

$$= -y^T(t) \quad (T^T L T \otimes P B K K^T B P) y(t)$$

$$= -y^T(t) \quad (-\alpha \otimes P B K K^T B P) y(t)$$

$$\dot{V}(t) = H^T(t) [I_N \otimes (P A + A^T P)] H(t) - y^T(t) \quad (-\alpha \otimes P B K K^T B P) y(t)$$

$$= y^T(t) [(I_N \otimes P A + A^T P) - \alpha \otimes P B^T K^T K B P] y(t)$$

因为 $I_N \otimes (P A + A^T P) - \alpha \otimes P B^T K^T K B P < 0$ 。

所以由上证明可以得出结论, 说明了基于观测器的多智能体能完成编队。

3.3.3 证明结论

本章模型证明是通过三个部分来进行的, 第一步是通过现代得表达方程, 通过对表达式的定义得到到编队方程, 然后第二步是在第一步的基础上寻找编队方程所需的条件, 证明所需的估值与实际值得一致性, 使编队能够实现, 第三步证明了状态观测条件的存在, 并且寻找 K 的参数值。在这过程中重要的是选择正确的编队控制方程, 然后方程通过寻找满足该观测器的条件, 并证明其存在, 满足条件的证明, 以及寻找参数值^[10]。

第四章 程序的仿真

4.1 程序以及仿真结果

4.1.1 仿真验证原理图

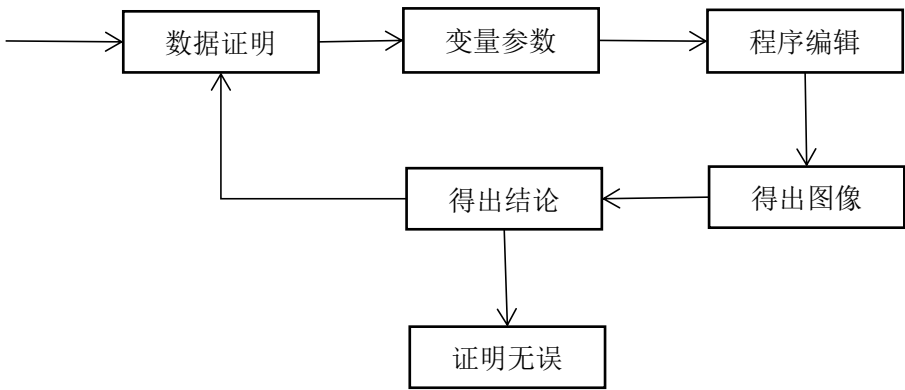


图 4-1 仿真验证原理图

4.1.2 仿真结果

图例 1：如图 4-1 得知下图是一个六智能体系统，让其形成一个底边是一个直角三角形的三棱柱体的形状，然后通过连通结构图来解决编队控制中理想位置以及估值与实际数值编队的问题。

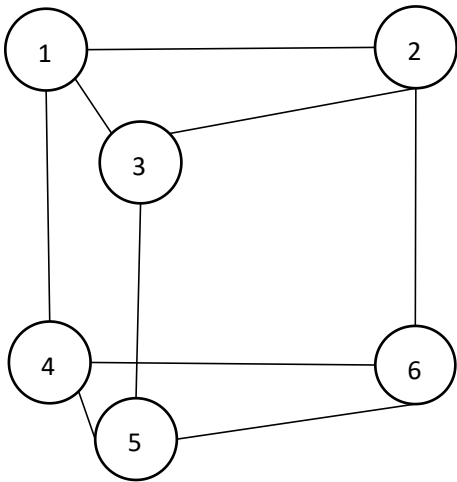


图 4-2 六智能体系统

通过参照六智能体系统连通结构，处理接下来通过运算给予出仿真所需参数，以及在这些参数确定条件下形成的仿真图，参数所包含有 **A**、**B** 矩阵，**A** 矩阵是随机给予，矩阵 **B**，给予编队理想位置 d ，六智能体系统邻接矩阵 **D**，以及运算推导出参数 **K** 值。

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

D 为六智能体系统邻接矩阵 D

$$d = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 15 \\ 15 & 15 & 15 & 0 & 0 & 0 \\ 15 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

d 为编队理想位置。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A 为任意三维矩阵。

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

B 为单位矩阵。

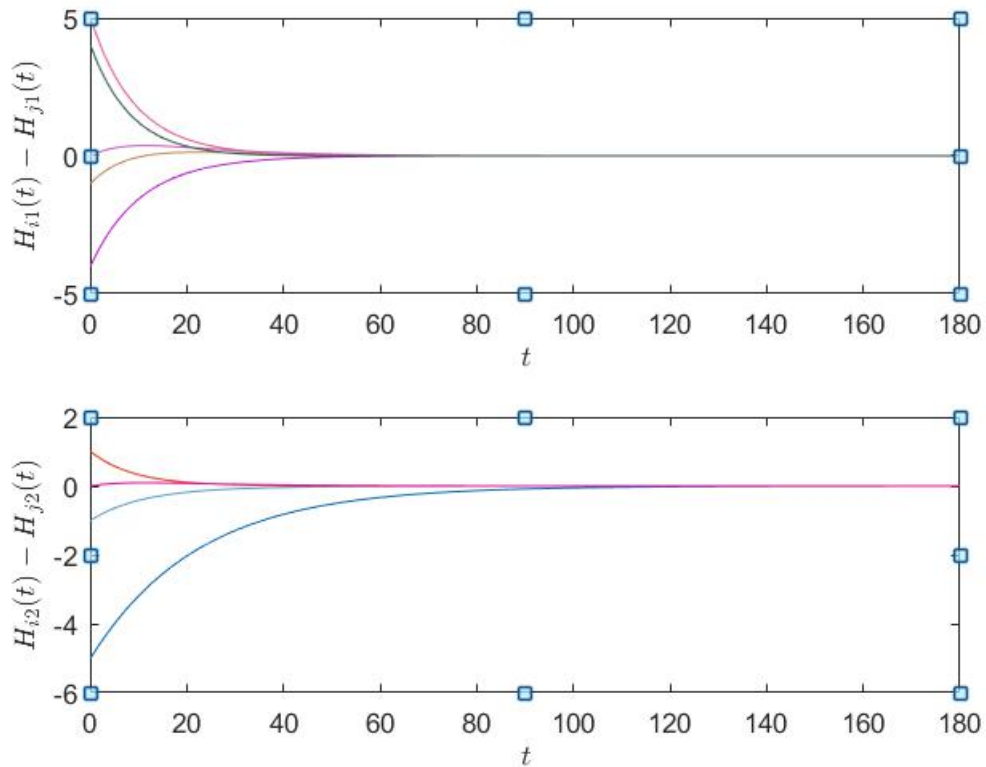


图 4-4 一致性 a 、 b 表示图

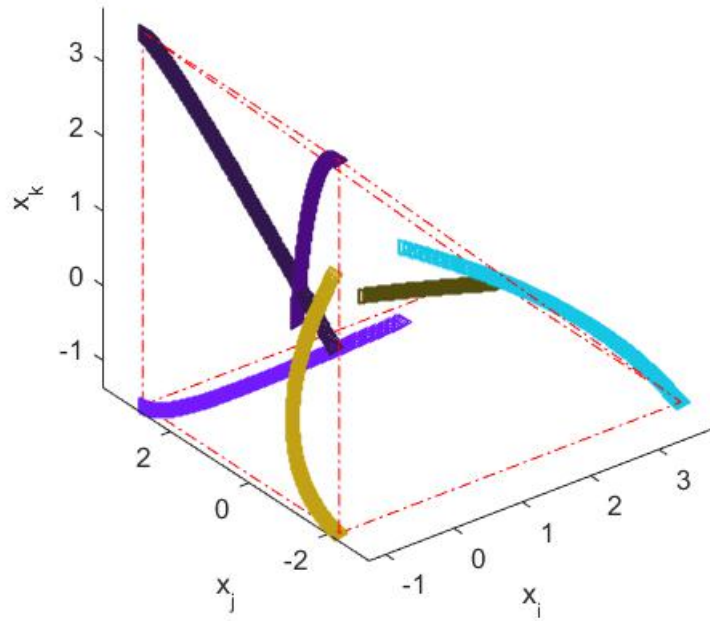


图 4-5 六节点连通图

上图 4-4 表达的意思是 $H_i(t)-H_j(t)$ 趋近零时，估值与实际值随之时间的变化趋近一致，等一段时间后估值与实际值相等因此控制编队可实现。

从图 4-5 中看出在 $H_i(t)-H_j(t)$ 趋近零时的式子成立，也就是说在这个条件下的智能体编队在任意的位置，到最终理想连通结构坐标图在这其中每个智能体在空间的任意点最终达到其理想位置。

图例 2:

当改变参数值是图形还是会发生变化，将参数 A 、 B 、 D 、 d 、 K 重新生成视图，这次我们加上之前未写的拉普拉斯矩阵；矩阵变化值如下所示。

$$A \text{ 为任意三维矩阵: } A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B \text{ 为任意的单位矩阵: } B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

d 矩阵为理想位置：

$$d = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 30 & 0 & 0 & 30 \\ 30 & 30 & 30 & 0 & 0 & 0 \\ 30 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

D 为邻接矩阵：

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

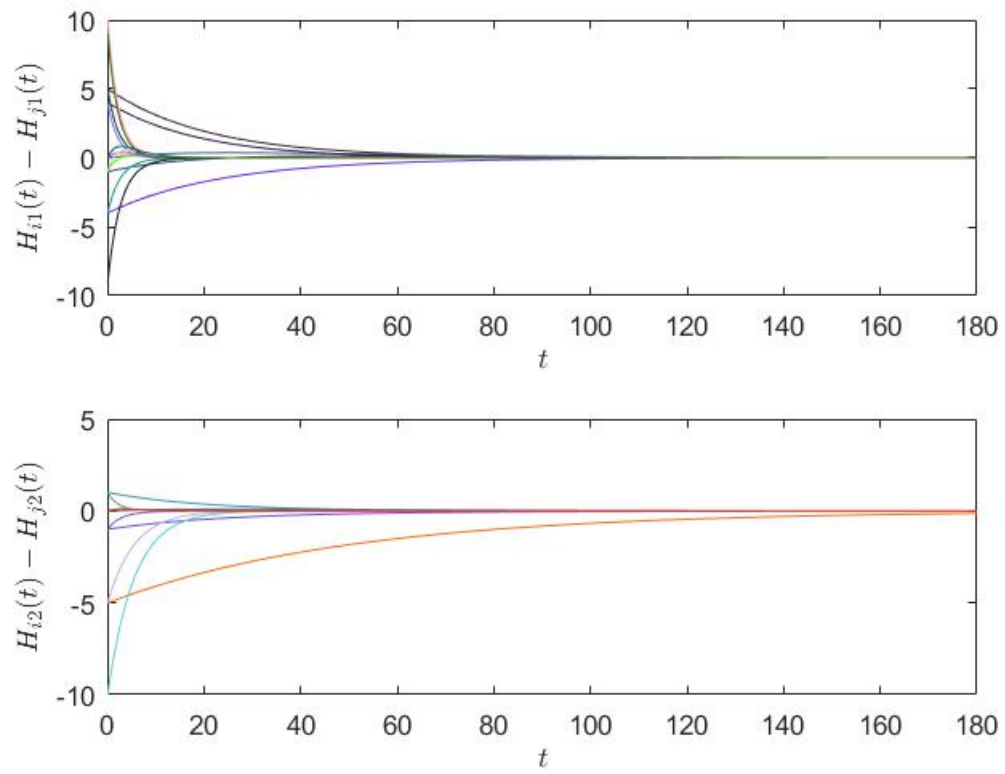


图 4-6 一致性 a 、 b 表示图

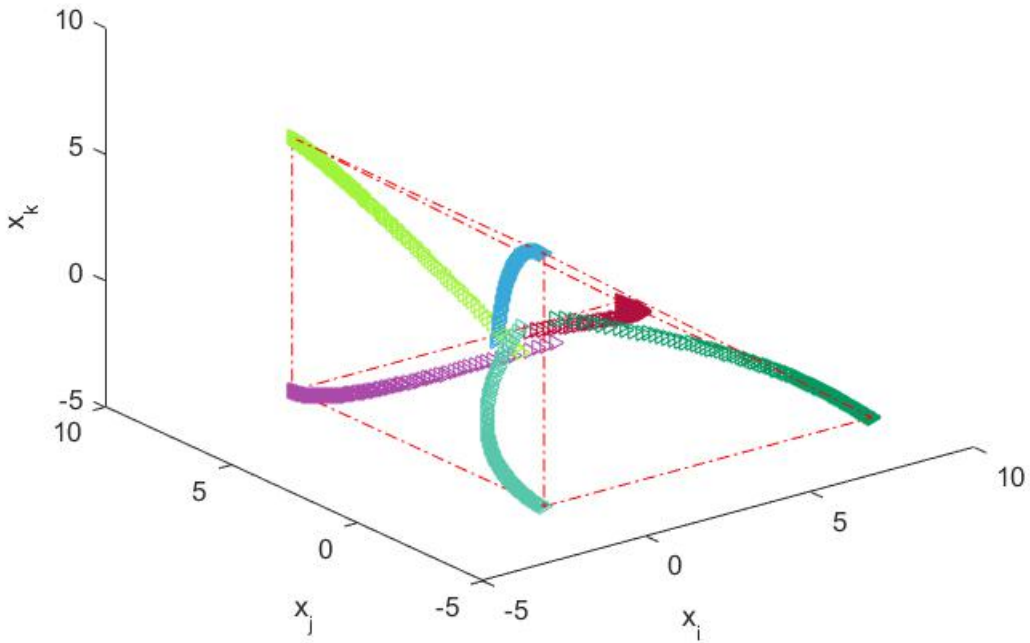


图 4-7 六节点连通图

通过观察发现图 4-6 与图 4-4 的差别，其中前两个图比较出，改变 K 值可以收敛一开始估值与实际值的更加密集，后两图发现改变了其中的参数可以得知估值与实际值需要更多的时间才能达到一致性。在图 4-6 中第一个一致性图中 $t=75$ 时，估值才与实际值接近相同，随时间推移，估值等于实际数值。然而在第二个图中我们发现在 $t=178$ 的时候估值与实际才近似一样，表明虽然节点更加密集，但是数值的一致性一致需要更多的时间才一致。

通过图 4-7 我们发现，在改变了参数值后，在任意位置到理想坐标位置，多智能体时刻运动状况更加清晰，不是像一开始的图连成线条。这说明改变其中参数 A 、 K 、 d 值会影响连通结构图像。

图例 3：当连通结构为正七面体的时间时，它的连通结构，十个个顶点分布按照顶点排列顺序取值来取值，其为十节点正七面体的连通结构。其中用到的参数 A 、 D 、 B 、 d ，各个参数数值为：

$$A \text{ 为任意三维矩阵: } A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B \text{ 为任意的单位矩阵: } B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

D 为邻接矩阵为：

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

d 为编队控制理想位置:

$$d = \begin{bmatrix} 15 & 30 & 30 & 0 & 0 & 15 & 30 & 30 & 0 & 0 \\ 45 & 30 & 0 & 0 & 30 & 45 & 30 & 0 & 0 & 30 \\ 30 & 30 & 30 & 30 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

在这些条件限制下可以出现, 正七面体十节点连通结构在仿真中表现的图形如下面图示所示, 其中图 4-8 表示的为 $H_i(t)-H_j(t)$ 趋近零时所表示的图形, 图 4-9 表示的是在正七面体十节点连通结构中多智能体任意位置到理想位置过程图形, 我们可以通过下图可以了解到其中的奥秘。

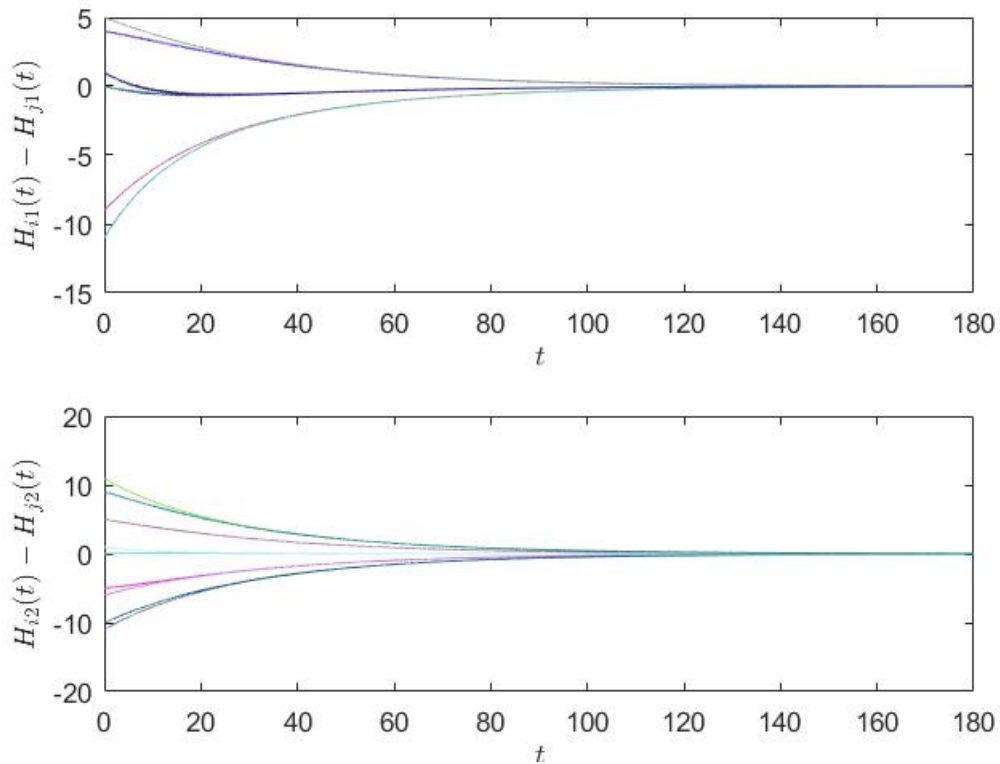


图 4-8 一致性 a 、 b 表示图

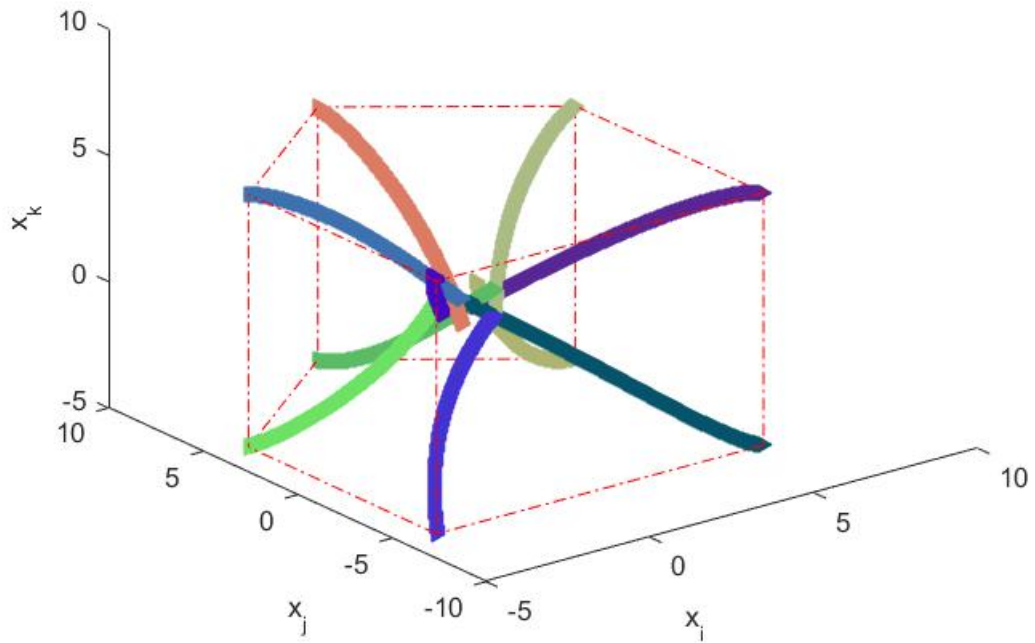


图 4-9 十节点连通图

通过图 4-8 看出其中第一个图中当 $t=130$ 时, $H_i(t)-H_j(t)$ 趋近零, 且第一个图中各个节点分散的非常明显, 第二个图中各个节点分散的并不很明显并且对称, 但在这个图中 $t=128$ 时, $H_i(t)-H_j(t)$ 趋近零。图 4-9 为任意位置到理想位置连通图。

第五章 工作总结

通过本次毕业设计让我了解到了很多，了解到了以前不曾了解到的书本与实际相结合，所学的知识可以解决生活或者工作中的问题，毕设到这一块基本已经结束，在此次毕设中运用到了许多现代控制理论的东西，也让我回忆起许多之前所学习的知识和忘记的知识。在本次设计中更加明确了状态方程每一部分所代表的意义以及对编队控制中所代表的意义，这样使我收获良多，成长良多。

在本文中主要通过状态方程来表示基于状态观测器编队控制，采用状态方程来表示编队，同过其参数，所用节点连通结构来控制编队排列状态，以及编队控制的理想模型，理想位置。其中参数的确定与给予控制了多智能体编队图像的形成，在仿真中可以看成，在文中我们可以发现，在编队控制的学习中，我们学到很多其他的知识，在第二章可以看成编队控制的学习不是一日而成需要时间的积累才能达到知识的储备，第三章是把模型的叙述，以及编队模型的证明过程，其中包含了编队可实现的条件当两个数值一致时，实际值与估值相同编队可以实现其过程，下来的证明是所求编队可实现时，求参数 K 值的。

本次毕设中还有用到 MATLAB，在仿真中可以明显看出当参数改变时，所形成的连通结构，以及数值的一致性都会产生变化，在一致性中我们可以发现改变参数会改变其一致性随着时间的变化，最终保持一致，而连通结构中可以观察到多智能体在模拟编队控制中，它的密集程度会发生改变。在些可以在本文的第四章中可以看出。

致 谢

在本次毕设中我非常感谢李朕老师的指导，因为本文是在李朕老师悉心指导下完成的。从本文的出题，文献的参考，模型的引用，每一步都有老师的指导在里面，每一步都有老师的辛勤与汗水，在毕设过程中老师不辞辛苦压缩自己的时间来给我们解惑，甚至在周末听我们说有些问题不理解的地方都会来学校等我们并给我解惑，在这期间李朕老师给予我很大的信心，因为之前对编队控制了解的不是很，通过老师的叙述，让我们知道如何了解解决编队控制的问题，让我们感觉有了方向更加有了信心。

感谢李朕老师的帮助与建议以及方向上的指导，和对他那高尚的学术风格，渊博的知识以及为人谦逊的态度让我感到敬佩，在此向李朕老师表示真诚的致谢来彰显其人格的高尚谦逊。

参考文献

- [1] 闫茂德, 高昂, 胡延苏. 现代控制理论 [M]. 机械出版社, 2016-02-01.
- [2] 张志涌. 精通 MATLAB 6.5 版教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [3] 龚乐年. 现代控制理论解题分析与指导[M]. 南京东南大学出版社, 2005.
- [4] 韩曾晋. 自适应控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1986.
- [5] 汪宁, 郭进西. MATLAB 与控制理论实验教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [6] Slotime J J, Li W P. Applied Nonlinear Control[M]. Englewood cliffs: Prenttice Hall, Inc, 1991.
- [6] 解学书. 最优控制理论与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1956.
- [7] 王志贤. 最优估计与系统辨识[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2004.
- [8] 张立卫. 最优化方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [9] 赵光宙. 现代控制理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [10] Wu C W. Synchron in Complex Networks Nonlinear Dynamical Systems[D]. World Scientific Publishing, 2007
- [11] Wang X, Lemmon M D. Self-triggered Feedback Control Systems with Finite-Gain L_2 Stability [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2009, 54(3):452-467.