



# 广东工业大学

## QG 中期考核详细报告书

题 目	<u>Krause 多智能体共识模型实验复现</u>
学 院	<u>计算机学院</u>
专 业	<u>人工智能</u>
年级班别	<u>23 人工智能创新班</u>
学 号	<u>3123004841</u>
学生姓名	<u>罗彬</u>

2024 年 4 月 5 日

## 目录

目录 .....	1
项目概述 .....	2
1. 理解 Krause 模型的核心原理 .....	2
3. 研究集群形成的过程、稳定性条件 .....	2
论文内容 .....	2
1. 引言 .....	2
2. 离散智能体模型 .....	2
3. 连续智能体模型 .....	2
4. 离散与连续智能体模型之间的关系 .....	2
5. 结论 .....	2
前置论文学习 .....	3
多智能体系统 .....	3
领导者—跟随者系统 .....	3
拓扑结构 .....	3
固定拓扑 .....	3
切换拓扑 .....	4
分布式优化 .....	4
论文实验复现 .....	4
关键代码流程图 .....	4
对应公式 .....	4
fig.5 .....	5
fig.2 .....	6
fig.3 .....	7
fig4 .....	8
fig6 .....	9

# 项目概述

## 主要任务

1. 理解 Krause 模型的核心原理
2. 复现论文中的实验 (Fig 5、Fig 2、Fig 3)，验证模型的预测能力。
3. 研究集群形成的过程、稳定性条件

## 方法：

通过阅读论文，初步认识了多智能体共识模型

利用 python 的三大库，复现了论文中的 fig2, 3, 5, 4, 6，并绘制了结果  
对实验结果进行了分析，以验证模型的预测并尝试解答论文想论证的结论

# 论文内容

## 1. 引言

讨论了多智能体系统在不同领域的应用，强调了研究共识形成的重要性

## 2. 离散智能体模型

这部分详细介绍了离散智能体模型，关键就是智能体如何根据邻居的意见更新自己的意见，  
论文提出了智能体意见收敛到集群的证明，并讨论了集群形成的基本特性

通过数学证明展示了集群间距离应该满足的最小条件，并引入了集群稳定性的概念，分析了  
集群在受到外部干扰时的行为

I 部分提出了离散智能体的理论 II 部分进行了实验的分析 III 部分

## 3. 连续智能体模型

为了更好地理解大规模系统的行为，引入了连续智能体模型

分析了连续模型的收敛性质，并探讨了离散模型和连续模型之间的关系

通过连续模型，模拟大规模智能体系统的行为，并提供了部分收敛结果和集群间距离的下界  
证明

## 4. 离散与连续智能体模型之间的关系

研究了离散智能体模型和连续智能体模型之间的联系

证明了在一定条件下，离散模型的行为可以近似为连续模型的行为

即在足够大的智能体数量下，系统的行为对于初始条件和模型的具体形式可以有一个比较模糊的要求，要求不强

## 5. 结论

总结了集群形成的机制，系统稳定性的条件，以及连续智能体模型对理解大规模系统行为的贡献

# 前置论文学习

## 多智能体系统

---

### 特点

分布式决策：系统中的每个智能体都能够独立地做出决策，而不需要中央控制

局部交互：智能体之间通过局部通信进行信息交换，每个智能体通常只能与其邻居或已知的其他智能体直接交互

协同合作：智能体可以协同工作以完成共同的任务或达成共同的目标，例如编队飞行

自适应性：多智能体系统能够根据环境变化和系统状态自我调整 and 适应，以维持系统性能或实现更好的执行效果

可扩展性：系统可以通过增加更多的智能体来扩展其功能和性能，而不会对现有系统造成过大的干扰

## 领导者—跟随者系统

角色分配：分为领导者和跟随者

领导者制定关键决策，控制整体，把信息分享给跟随者

跟随者跟随领导者，实现协同工作

少量的跟随者出现问题，不影响整体的大致功能，只要领导者不出现大问题

## 拓扑结构

### 固定拓扑

在多智能体系统中，智能体之间的通信网络结构在一段时间内保持不变，在系统运行过程中，智能体之间的连接关系、通信路径和相互作用模式是静态的，不会因为外部条件或系统内部状态的变化而发生改变

也就是说固定拓扑在图中，点与点之间的连线关系不会改变

不适用于那些需要智能体动态交互或环境条件，不是那么适合实际环境

## 切换拓扑

在多智能体系统中，智能体之间的通信网络结构随时间变化，这种拓扑结构的特点是在系统运行过程中，智能体之间的连接关系、通信路径和相互作用模式可能发生改变

切换拓扑在实际应用中非常常见，无人机编队飞行、移动机器人群体协作都可以用切换拓扑构建

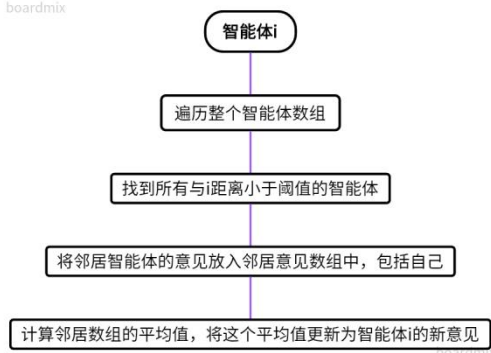
## 分布式优化

每个智能体访问局部信息并基于此做出决策, 适用于解决大规模系统的全局分析效率低下问题

# 论文实验复现

## 关键代码流程图

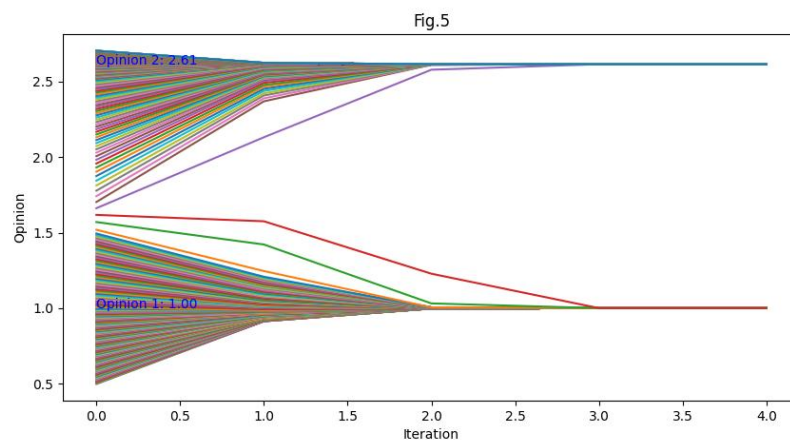
boardmix



## 对应公式

$$x_i(t+1) = \frac{\sum_{j:|x_i(t)-x_j(t)|<1} x_j(t)}{\sum_{j:|x_i(t)-x_j(t)|<1} 1}. \quad (1)$$

fig.5



### 复现细节

#### 初始意见分布

在区间  $[0, 2.5]$  上，有 251 个智能体，它们的意见均匀分布

在区间  $[2.5, 3]$  上，有 500 个智能体，它们的意见也均匀分布

这两个区间的意见密度不同，第二个区间  $([2.5, 3])$  的意见密度是第一个区间  $([0, 2.5])$  的十倍

#### 含义解释

随着迭代次数的增加，每个智能体意见的变化，最终会收敛到一个稳定的意见集群中

### 结果

#### 收敛到稳定平衡

通过模拟智能体之间的交互，意见最终收敛到两个集群，一个是 2.61，一个是 1

第一个集群包含 153 个智能体，第二个集群包含 598 个智能体

这两个集群之间的意见距离是 1.6138，这个值大于 1.2559（计算方法是  $1 + 153/598$ ），表明虽然集群之间的距离小于 2，但是满足稳定平衡的条件

$$|x_A - x_B| > 1 + \frac{\min(W_A, W_B)}{\max(W_A, W_B)}$$

if and only if

$$\max\{|m - x_A|, |m - x_B|\} > 1.$$

这可以在这个公式中验证

$W_a$  为 A 位置的智能体的数量，也可以看做权重为  $w$  的单个智能体， $m$  为质量中心，达到稳定必须要让两个智能体集群  $x_a$  和  $x_b$  的距离大于上面的不等式，这是根据引入一个任意小的扰动因子，不发生聚合所推出的公式，下面的是质心到两个集合的位置都要大于 1

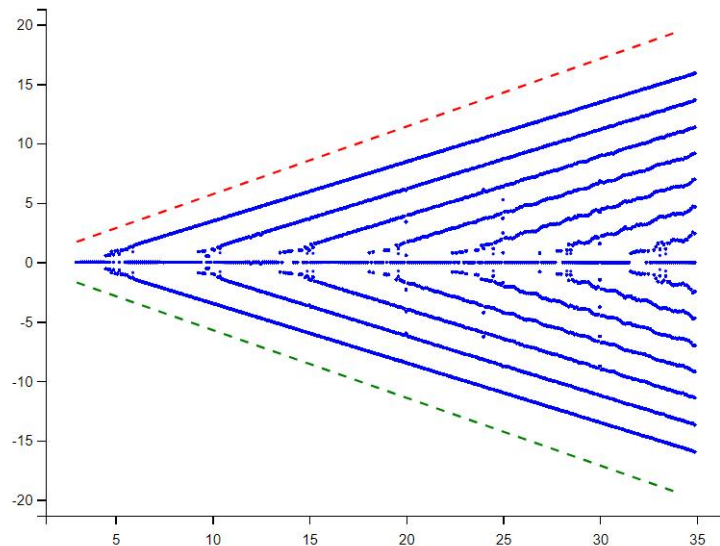
### 结论

在多智能体系统中，即使初始意见分布密度不同，智能体也可以通过局部交互最终形成意见集群，这些稳定的集群代表了系统中的主要意见

集群稳定在 2 倍阈值之间，最终集群之间不会成为邻居，也就是不会形成链接，同时距离大于最小距离，保持系统的整体连贯性

当使用更多的智能体时，如果保持初始意见分布的密度比例不变，也就是让两个区间的数量比值相同，也会得到类似的结果。这表明系统的动态行为在一定程度上是尺度不变的，即系统的主要意见不会因为智能体数量的增加而改变

fig.2



#### 复现细节

L: 初始意见分布区间的长度

创建 5000 个智能体，让他们在 L（意见区间）上随机分布（大数据量随机分布）

创建 500 个智能体，让他们在 L（意见区间）上均匀分布（小数据量均匀分布）

判断最终收敛后，记录每个 L 下收敛的意见集群，往下偏移  $2/L$  之后画图（相对于意见区间的中点），描绘随着 L 的变化，意见集群分布的变化

#### 含义解释

在不同初始意见分布下，集群在平衡状态下的位置如何随着 L 的变化而变化

#### 结果

意见集群的分布范围大致和 L 呈线性增加

大数据量下随机分布和小数据量下均匀分布呈现出相似的分布规律

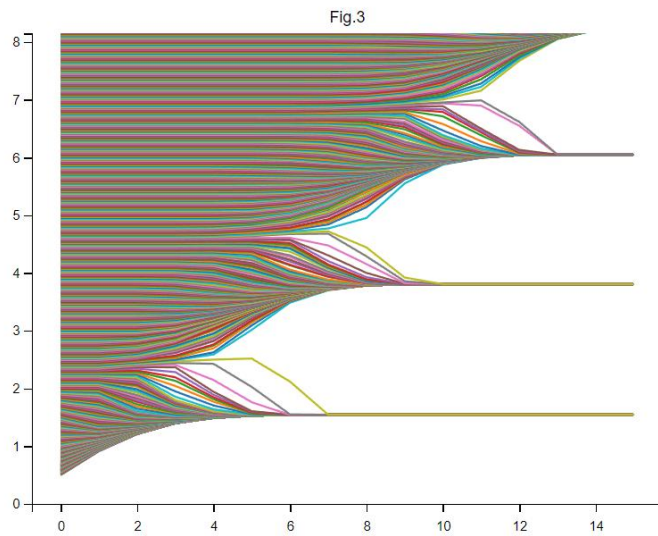
意见集群的间距几乎不变

#### 结论

均衡状态具有普遍性，也就是不同的 L 下都会有稳定收敛的意见集群点

无论是均匀分布还是随机分布的初始意见，只要数据量够大，最终的集群形成都表现出相似性

fig.3



#### 复现细节

模拟意见区间在正无限区间上均匀分布，为了模拟取了 0-30 进行模拟，并截取了 0-8 的分布，x 轴是迭代次数，对应  $t_2$

#### 含义解释

随着时间的变化，意见区间从 0 到正无穷下的意见收敛变化

#### 结果

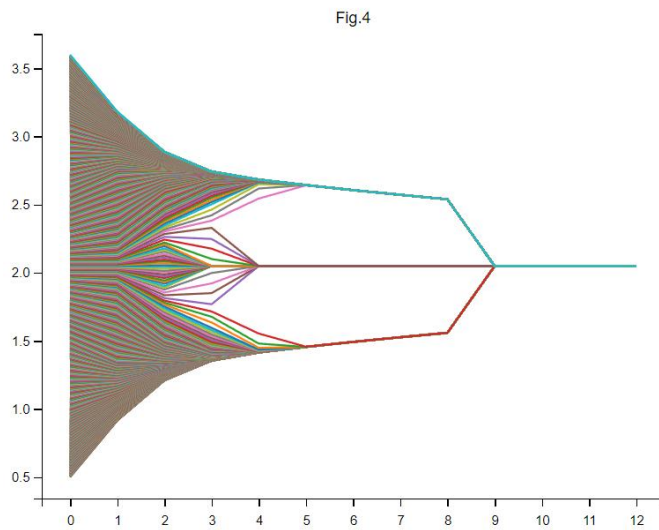
在足够长的迭代后，都能收敛到几个不同的集群点中，达到稳定所需的时间随  $L$  的增加而增加（正无穷情况下）

#### 结论

即使意见分布区间在半无限区间上，也能有稳定的集群点，间距大约是 2.2，意义是增加更多的智能体也能达到稳定状态，代表模型具有可扩展性



fig4



#### 含义解释

一个临时亚稳定的例子，L 的值为 0-4

#### 结果

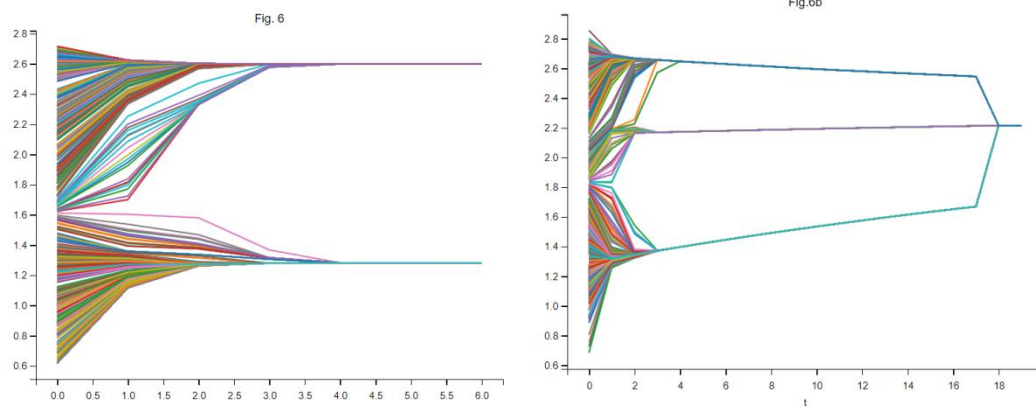
前面几次迭代形成了两个不互相交互的群体，两个群体中的一小部分都与位于中间的少数智能体进行交互，导致这两个分隔群体的距离慢慢减小，最终达到了距离小于 1，从那个点开始，这些群体直接相互吸引并合并成一个单一的集群

#### 结论

即使最初集群之间没有直接开始相互影响，它们也可能通过中间的智能体间接影响彼此，这种间接互动可能导致集群间的分离距离逐渐缩小，最终聚合为同一个集群

说明了多智能体系统可能不是一开始就达到稳定状态，而是可能经历一系列中间状态，最终才达到稳定

fig6



### 复现细节

运用了共同概率密度函数（PDF），将意见随机分布在  $(2.5, 3)$  和  $(0, 2.5)$  的区间上，并且  $(2.5, 3)$  的意见密度比  $(0, 2.5)$  要大，同时 b 图智能体数量比 a 要大得多

### 结果

#### 图 a

随时间演变，最终收敛到一个不稳定的平衡状态（距离是 1.399，这个距离小于权重比例之和  $(1 + 152/349 \approx 1.436)$ ）

#### 图 b

一开始分成了两个单独的意见集体，后来由于中间少数智能体的间接影响，导致最终合并成了一个稳定的意见集群

### 结论

图 a 的智能体数量少一些，系统最终达到了一个不是很稳定的平衡状态，这种状态在增加了初始的智能体数量后，也就是图 b，就被打破了，最终收敛到一个更加稳定的集群中，达到更稳定的平衡状态

这表明随着智能体的数量增加，系统的稳定性可能会增加，也就是具有规模效应，越大的多智能体系统，在内部的相互沟通下，能达到更加稳定的状态