



多智能体自组织机制



自组织机制研究背景

自组织机制研究背景

思考——自然界中存在哪些自组织现象？



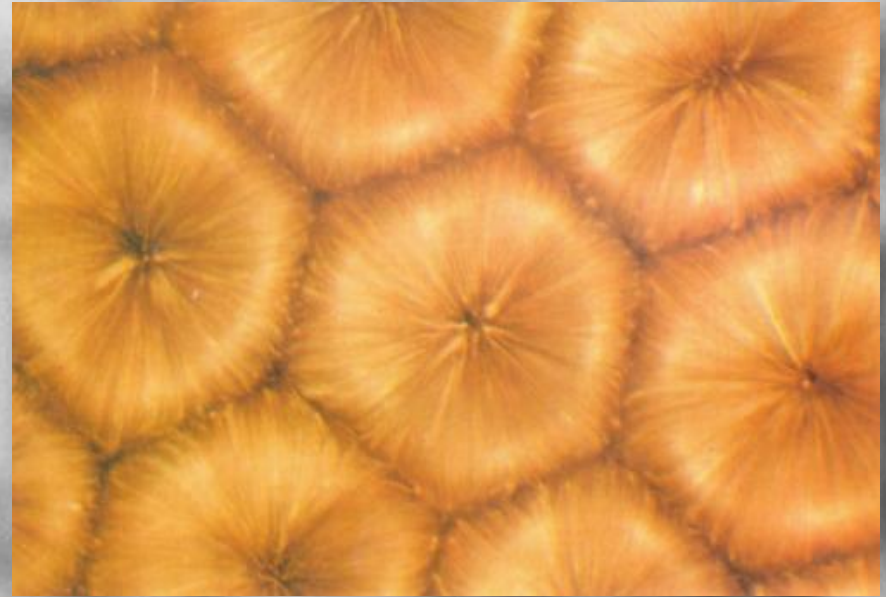
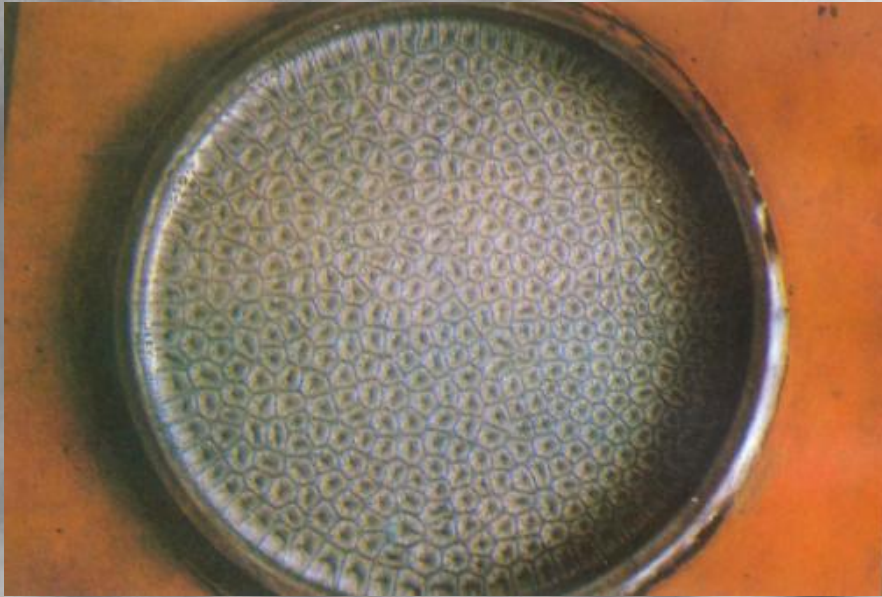
鱼群中没有“领头鱼”，却能保持固定队形，形成自发性聚集



斑羚飞渡

自组织机制研究背景

自然界中存在的自组织现象



贝纳特对流：水平容器中的薄层液体在加热的一定程度后产生规则的多边形图案

自组织机制研究背景

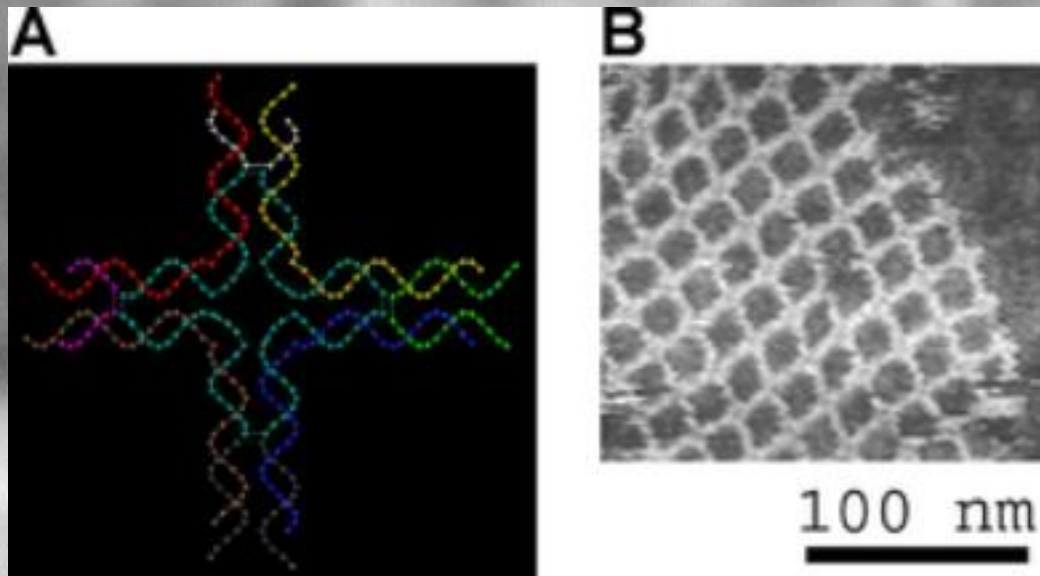
自然界中存在的自组织现象



单个蚂蚁没有智能，通过合作却能完成复杂的筑巢、搬运食物行为

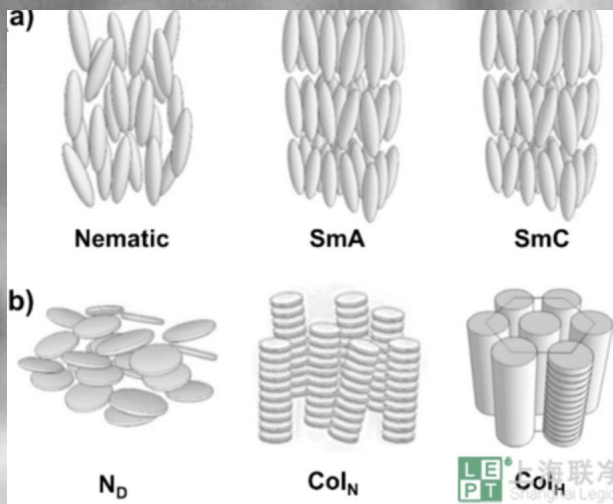
自组织机制研究背景

- 在生物学中，从蛋白质和其它生物大分子的自发折叠 **Spontaneous folding**，**磷脂双分子层 Lipid bilayer** 的形成，发育生物学的图案形成 **Pattern formation** 和 **形态发生 Morphogenesis**，人体运动的协调，群居昆虫如蜜蜂，蚂蚁，白蚁和哺乳动物的社会行为，到鸟类和鱼类的群集行为 **Flocking behaviour**，都可以观察到自组织现象。

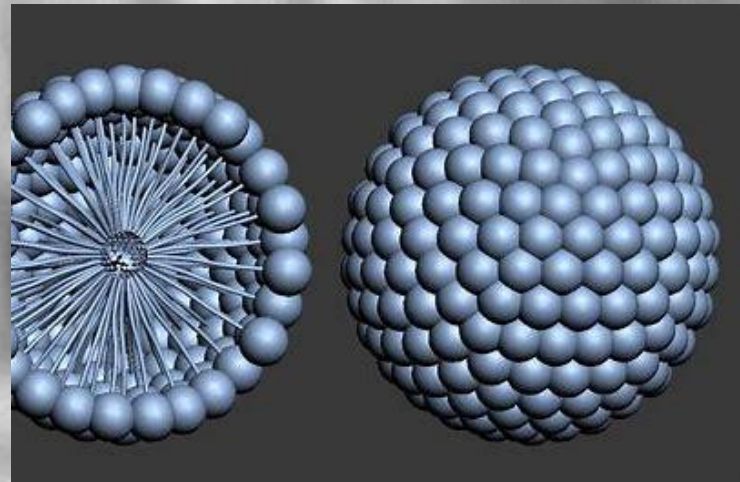


自组织机制研究背景

- 化学中的自组织包括**分子自组装** Molecular self-assembly, **反应扩散系统** Reaction-diffusion systems 和**振荡反应** Oscillating reactions, **自催化网络** Autocatalytic networks, **液晶** Liquid crystals, **网格络合物** Grid complexes, **胶质晶体** Colloidal crystals, **自组装单分子层** Self-assembled monolayers, **胶束** Micelles, **嵌段共聚物的微相分离** Microphase separation of block copolymers 和 **Langmuir-Blodgett膜** Langmuir-Blodgett films.



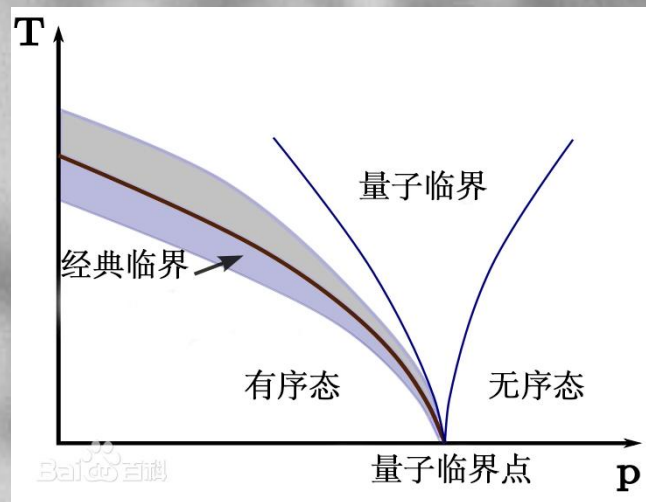
液晶



胶束

自组织机制研究背景

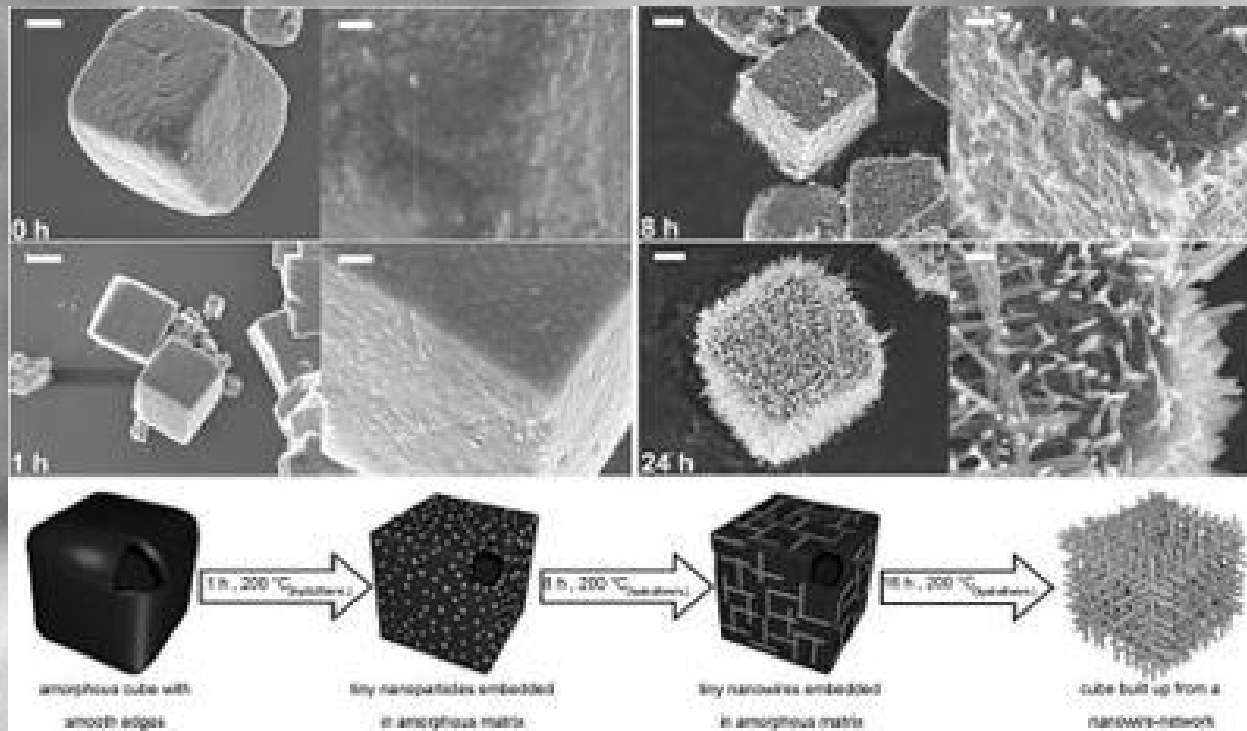
- 物理学中的自组织现象包括**相变** Phase transitions 和**自发对称性破缺** Spontaneous symmetry breaking，例如**自发磁化** Spontaneous magnetization，经典物理学中的晶体生长，激光，超导和量子物理学的玻色-爱因斯坦凝聚 Bose-Einstein condensation。它在动力学系统，**摩擦学**，**自旋泡沫系统** Spin foam systems 和**环量子引力** Loop quantum gravity 的自组织**临界** Self-organized criticality 中被发现，也在河流盆地和三角洲，**枝晶凝固** Dendritic solidification（如雪花）和**湍流结构** Turbulent structure 中被发现。



自组织机制研究背景

- 来自数学和计算机科学的現象，例如[元胞自动机](#) Cellular automata, [随机图](#) Random graphs, 以及[进化计算](#) Evolutionary computation 和[人工生命](#) Artificial life 的某些实例，都表现出了自组织的特征。
- 在群体机器人 Swarm robotics 中，自组织被用来产生涌现行为 Emergent behavior。尤其是随机图理论作为复杂系统的一般原理，已被用作自组织的正当理由。在多主体系统领域，理解如何设计一个能够表现出自组织行为的系统是一个活跃的研究领域。
- 优化算法也可以认为是自组织化 Self-organizing的，因为它们旨在找到问题的最优解。如果将这个解视为迭代系统的一个状态，则最优解是系统选定的收敛结构。自组织网络包括[小世界网络](#) Small-world networks和[无标度网络](#) Scale-free networks。它们来自自下而上的相互作用，这与组织内部的自上而下的层次网络不同，后者不是自组织的。

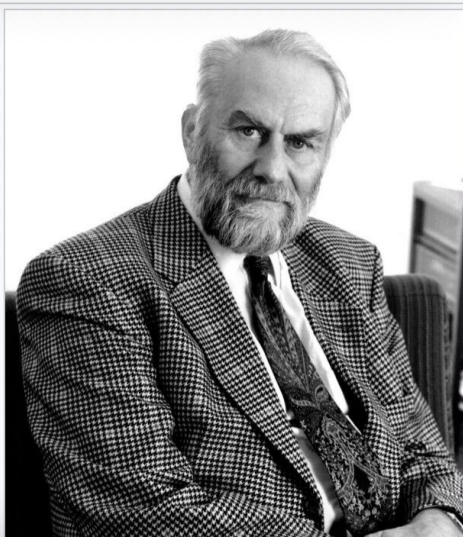
- 自组织 **Self-organization**, 在社会科学中也被称为[自发秩序](#) *Spontaneous order*, 是指通过起源于初始无序系统的部分元素之间的局部发生相互作用, 使某种形式的整体秩序形成的过程。
- 当有足够的能量可用时, 该过程可以是自发的, 不需要任何外部主体进行控制。
- 它是由看似随机的扰动触发的, 并由正反馈放大, 最终形成了完全分散的自组织, 它分布在系统的所有组件中。因此, 自组织通常是有长期稳定的生存能力, 在严重的干扰下能自我修复。
- [混沌理论](#)中讨论的自组织, 就如同不可预测的大海中的确定性孤岛。



课程

- 举例人类社会中的自组织现象？

自组织机制研究背景



类别	信息
姓名	赫尔曼·哈肯 Hermann Haken
出生日期	1927年7月12日
出生地	德国莱比锡
所在机构	斯图加特大学理论物理学名誉教授。 美、英、法、日本和前苏联等国多个研究机构的客座科学家、顾问和访问教授，并当选许多国家科学院的外籍院士
主要研究方向	群论、固体物理学、激光物理学、非线性光学、统计物理学、等离子体物理学、分岔理论、化学反应模型和形态发生理论等皆贡献不菲
主要贡献	激光理论的奠基人之一、协同学创始人

德国理论物理学家H. Haken认为，从组织的进化形式来看，它分为两类：他组织和自组织。

- 如果一个系统靠外部指令而形成组织，就是他组织；
- 如果不存在外部指令，系统按照相互默契的某种规则，各尽其责而又协调地自动地形成有序结构，就是自组织。
- 自组织现象无论在自然界还是在人类社会中都普遍存在。一个系统自组织属性愈强，其保持和产生新功能的能力也就愈强。例如，人类社会比动物界自组织能力强，人类社会比动物界的功能就高级多了。

自组织机制研究背景

自组织

组织过程与系统所获得的信息或指令密不可分。按照控制论的观点,系统必须获得一定相应量的信息才有可能组织起来,一个系统的组织程度与其所获得的信息量是对应的。

自组织指的是开放系统的演化过程。如果系统的时间结构、空间结构或时空结构的演化过程不是由于外界强加给系统的指令或信息而发生的,则称以这种方式形成某些模式的过程叫做“自组织”。

《系统协同与自组织过程原理及应用》

自组织机制研究背景

自组织

总概念	组织(有序化、结构化)		非或无组织(无序化、混乱化)	
涵义	事物朝有序、结构化方向演化的过程		事物朝无序、结构瓦解方向演化的过程	
二级概念	自组织	被组织	自无序	被无序
涵义	组织力来自事物内部的组织过程	组织力来自事物外部的组织过程	非组织作用来自事物内部的无序过程	非组织作用来自事物外部的无序过程
典型	生命的生长	晶体、机器	生命的死亡	地震下的房屋倒塌

《[自组织方法论研究](#)》

自组织机制研究背景

自组织（self-organization）概念

组织：1）系统内部按照一定规则形成的**特定结构和功能**

2）系统中的要素按照某种指令形成特定结构和功能的过程 ——**组织化**

3）组织化的必要条件：**信息**

自组织：系统的要素通过彼此的相干性、协同性
或某种默契而形成的特定结构和过程

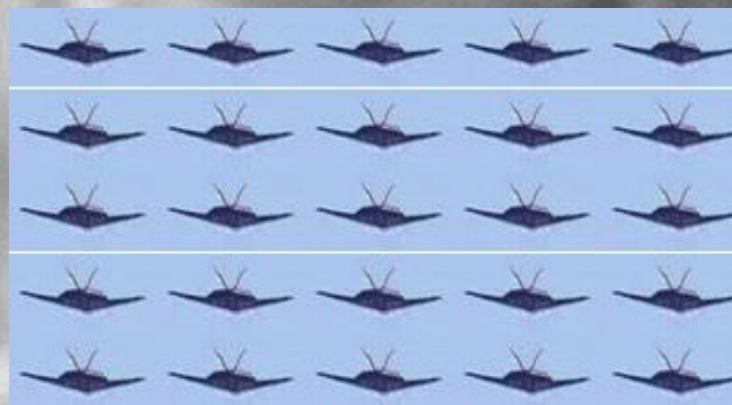
自组织机制研究背景

自组织特点

自组织具有**局部化**和**分散化**的特点，简单的个体之间通过采用自组织，可以完成复杂的任务



自组织



自组织的应用场景

自组织的思想被广泛运用于计算机领域各个方向：

- 多智能体系统？
- 网格计算？
- 传感器网络？

2

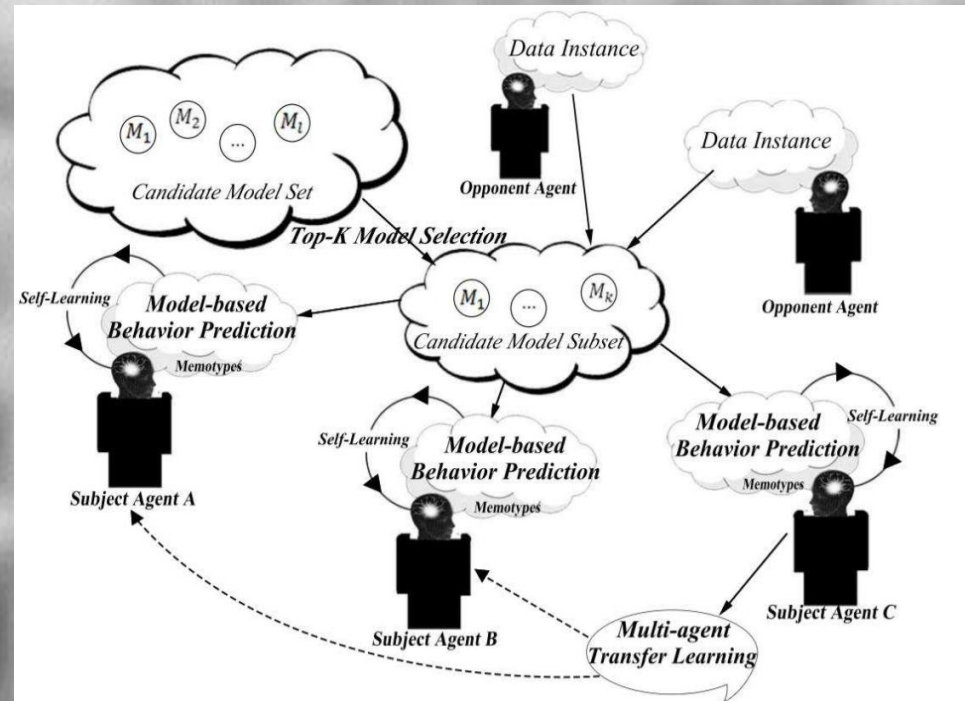


多智能体系统中的自组织

多智能体系统中的自组织

多智能体系统自组织定义

- a mechanism or a process which enables a system to change its organisation without explicit command during its execution time



多智能体系统中的自组织

多智能体系统自组织行为特征

- **没有明确外部控制**
 - 系统的适应和改变只基于内部组件的决定，而不遵循任何明确的外部命令
- **分散控制**
 - 自组织过程通过组件间的局部交互来实现，无需内部或外部的集中控制。此外，对全局信息的访问也受到交互位置的限制。
- **动态性和进化性**
 - 自组织系统可以随着环境的改变自适应动态进化

多智能体系统中的自组织

自组织多智能体系统分类：

按照是否具有明确的**控制中心**，可以将自组织多智能体系统分为：

- 弱自组织系统 Weak self-organizing systems
- 强自组织系统 Strong self-organizing systems

多智能体系统中的自组织

弱自组织系统

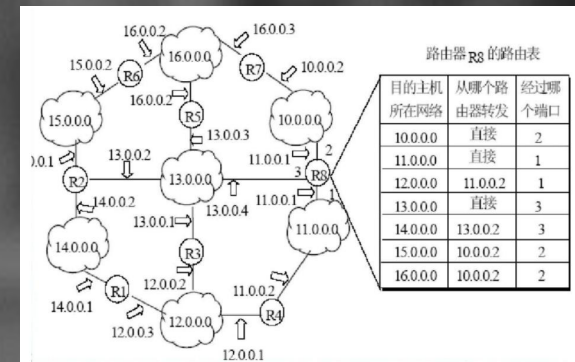
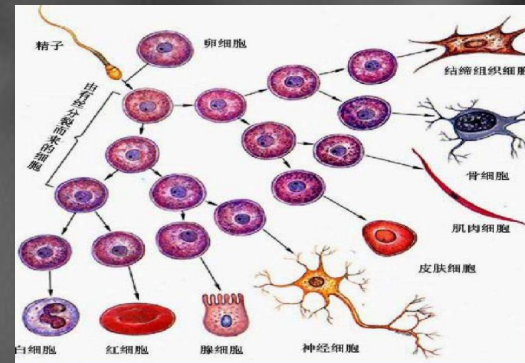
- def: Weak self-organising systems are those systems where, from an internal point of view, re-organisation may be under an internal (central) control or planning.
- eg. 白蚁社会中，工蚁在蚁后的控制下构筑巢穴和搬运食物



多智能体系统中的自组织

强自组织系统

- def: Strong self-organizing systems are those systems where there is no explicit central control either internal or external.
- eg.
 - 细胞学中不同区域的细胞在没有明确控制信号的控制下，自发性的分裂分化形成不同的组织器官
 - 计算机网络领域，路由器中路由表的形成



课堂练习

- 强自组织系统
- 弱自组织系统

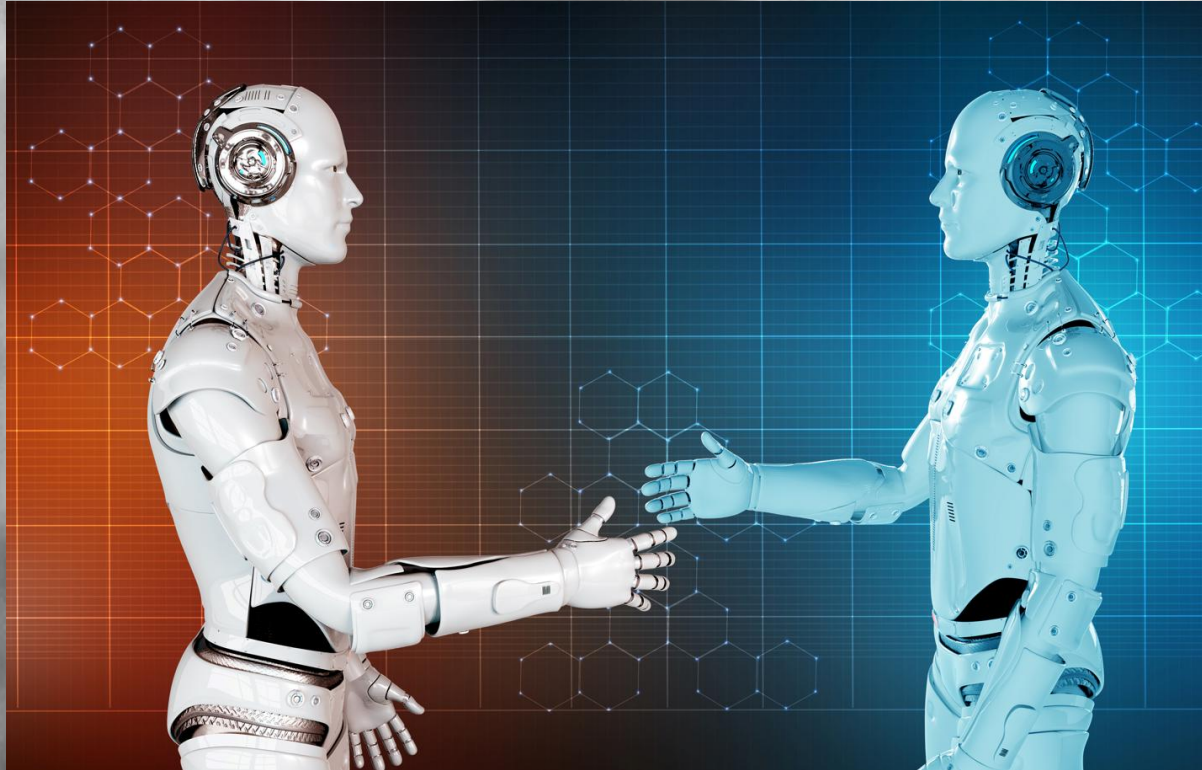
3



多智能体系统交互结构自组织

多智能体系统交互结构自组织机制

思考

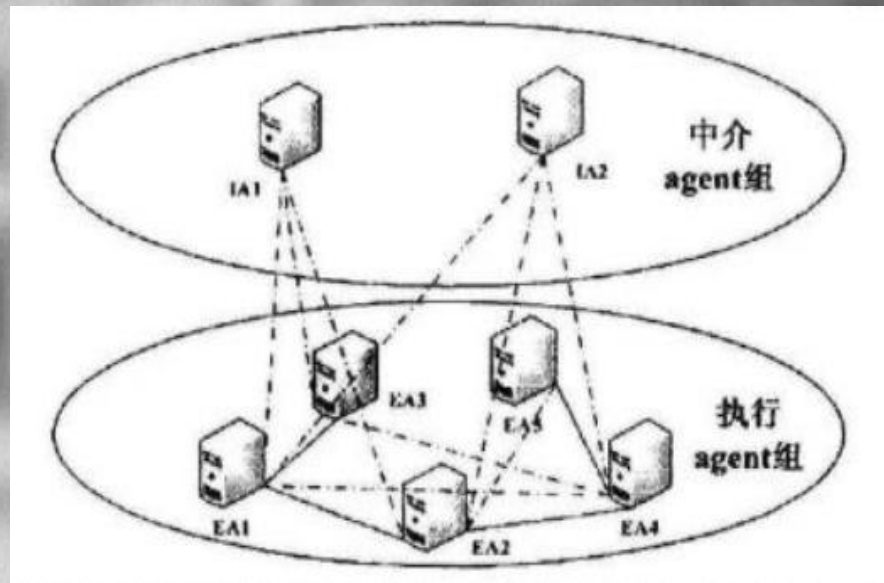
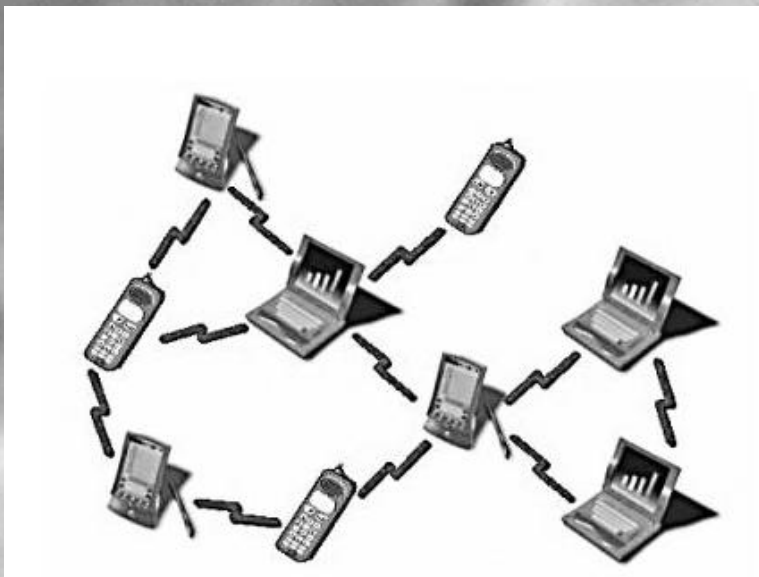


**思考->智能体之间如何进行交互？
智能体之间的交互结构是否会影响系统效率和功能？**

多智能体系统交互结构自组织机制

根据交互结构分类

- 基于**直接交互**的自组织机制
- 基于**间接交互**的自组织机制



基于直接交互的自组织机制

- 特点：智能体之间的信息交换是通过**直接交互**进行的，专注于改变agent组织的结构
- 主要方法：
 - 基于**度连接**——agent在自己的所有邻居中选择度最大并且与自己不相连的agent建立连接，同时在自己的邻居agent中选择一个度最小的agent取消连接
 - **优点**：拥有很多连接的个体一般能较快的学习到主流策略，所以与度最大的个体建立连接可以更快的完成学习

基于直接交互的自组织机制

- 主要方法：
 - 基于**表现**连接——agent在自己的所有邻居中选择收益最高并且与自己不相连的agent建立连接，同时在自己的邻居agent中选择一个收益最低的agent取消连接
 - **优点**：通常使用好策略的agent收益会更高，与收益高的agent建立连接可以更好的学习到这种策略

基于直接交互的自组织机制

- 主要方法：
 - **随机全局连接**——agent在所有agent中随机选择一个与自己不相连的agent建立连接，同时在与自己相连的agent中随机选择一个agent取消连接
 - **基于全局建议连接**——agent更加认可和自己做出相同选择的agent，因此agent选择一个当前时刻与自己做出相同策略并且与自己不相连的agent建立连接，同时在自己邻居agent中选择一个当前时刻与自己策略不同的agent取消连接

多智能体系统交互结构自组织机制

基于直接交互的自组织机制：

- **优点：**简单、高效
- **缺点：**智能体数量过大时收敛速度慢、不适用于大规模系统
- eg.
 - 基于自组织机制的无人机通信网络构建



多智能体系统交互结构自组织机制

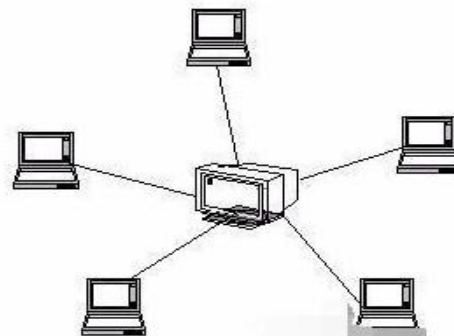
基于间接交互的自组织机制

特点：智能体之间的信息交换不是直接进行的，而是通过某种**中介**进行



基于间接交互的自组织机制

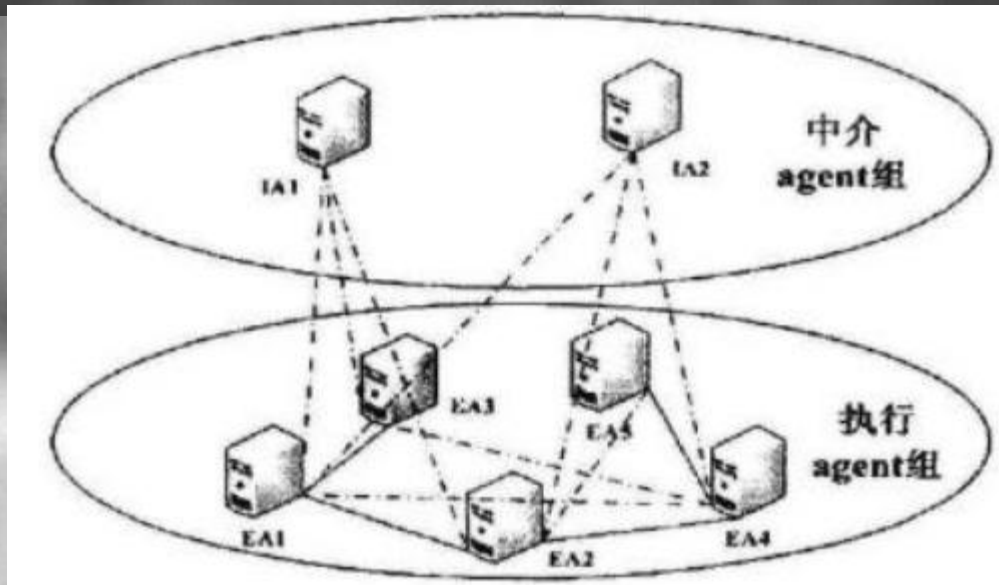
- 主要方法：
 - 基于**中心节点**的自组织机制——agent之间的信息交换都是通过中心节点参与来实现的
 - 优点：公平、安全
 - 缺点：效率低、具有单点故障的问题



多智能体系统交互结构自组织机制

基于间接交互的自组织机制

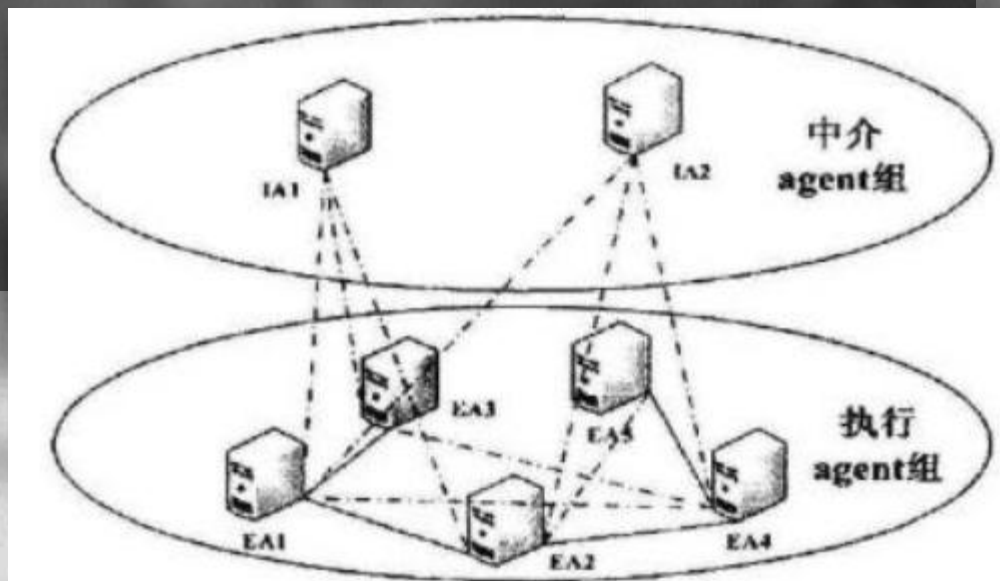
- 主要方法：
 - **基于中介节点的自组织机制**——agent通过中介来建立连接，主要分为执行agent和中介agent。



多智能体系统交互结构自组织机制

基于中介节点的自组织机制

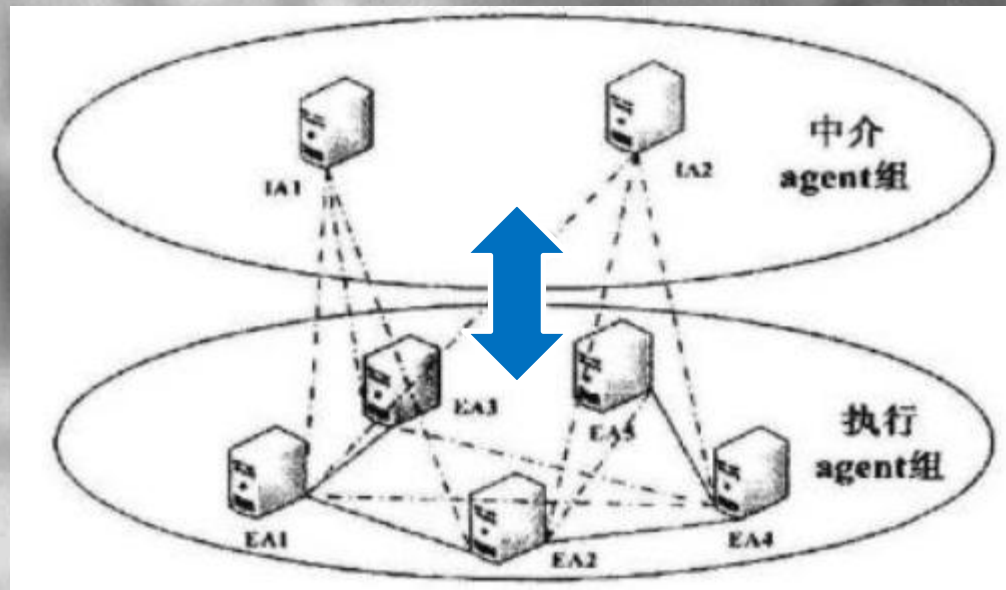
- **执行agent:** 负责执行任务、记录资源利用率、取消不必要的连接。
- **中介agent:** 接收执行agent发来的调整连接请求，为执行agent推荐合适的连接候选



多智能体系统交互结构自组织机制

基于中介节点的自组织机制

- **agent状态切换机制**：当前任务很少的执行agent可以切换为中介agent，为当前任务繁忙的超载agent承担起调整连接的工作



多智能体系统交互结构自组织机制

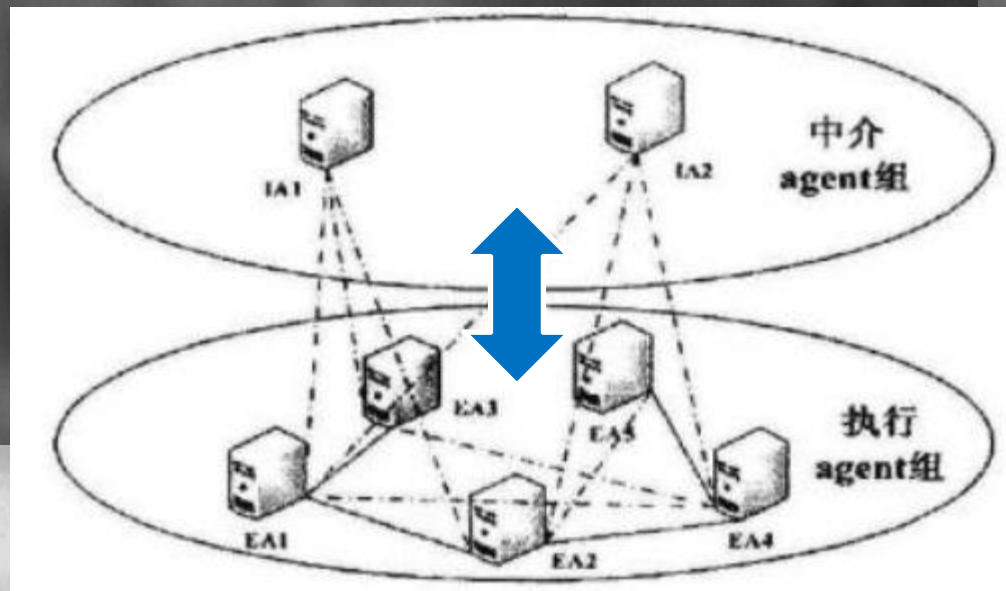
基于中介节点的自组织机制

- **优点:**

- 通过分工，提升系统效率
- 通过agent状态切换机制，使系统负载均衡

- **缺点:**

通过中介进行连接切换，有一定的系统开销



4



多智能体系统能力资源自组织

多智能体系统能力资源自组织

思考



**思考->多智能体系统中有哪些资源？
如何将资源分配给智能体以提高系统效率？**

基于强化的资源自组织机制

- **主要思想：**

初始时分配一定量资源，然后根据agent表现（负载率、收益、任务完成量等）调整资源

- **例如：**

初始时刻为所有agent等量分配资源，一段时间后根据agent的负载率调整资源分配，负载率高的分配更多资源，负载率低的收回资源

多智能体系统能力资源自组织

基于贪心的资源自组织机制

- **主要思想：**

优先满足当前时刻表现最好的agent的资源请求

- **优点：**

简单、表现好

- **缺点：**

- 不够灵活



多智能体系统能力资源自组织

基于市场的资源自组织机制

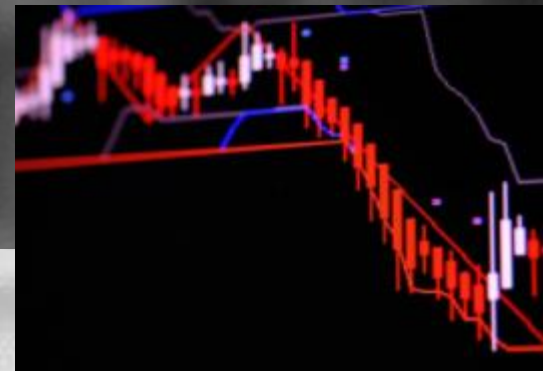
- **思想：**

- 根据系统资源利用情况，动态调整资源价格，agent通过支付一定的价格来使用资源

- **实例：**

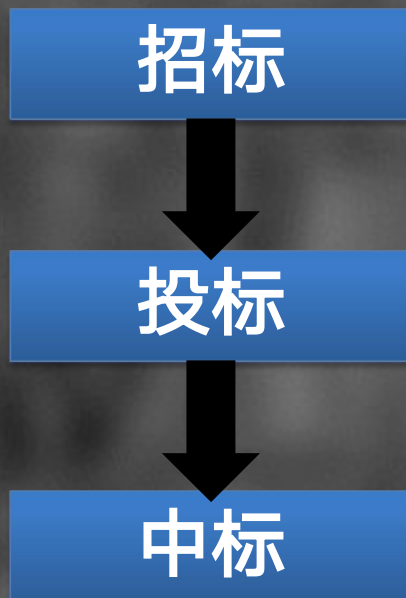
- 云计算、股票价格波动等

- **优点：**灵活、鲁棒性好



基于拍卖的资源自组织机制

- 主要思想：



- 可靠性高
- 灵活性强

其它资源自组织机制

- 基于博弈论的资源自组织机制
- 基于学习的资源自组织机制
- 基于谈判的资源自组织机制
- 基于公平分配的资源自组织机制
-

5



结合自组织的多智能体协作

结合自组织的多智能体协作

思考



思考->采用自组织机制能为多智能体协作带来什么优势？

协作场景

-

结合自组织的多智能体协作

众包自组织

- **定义：**

无组织关系的非特定大众在主观意愿上互不相干，但却在相互默契的某种规则下解决众包任务，由此形成的具有类似组织效果的有序结构

- **特点：**

- 非强制性
- 无层级型
- 类组织性
- 进化性



结合自组织的多智能体协作

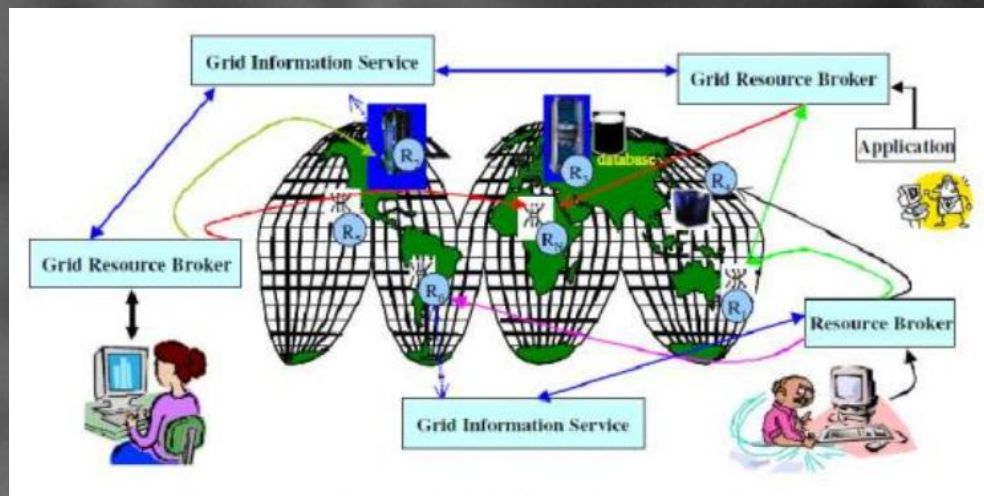
网格计算

- **定义:**

- 网格: 一个集成的资源与计算环境, 由多个位置不同的计算机资源组成
- 网格计算: 基于网格的问题求解

- **特点:**

- 分布式
- 资源整合
- 均衡负载



结合自组织的多智能体协作

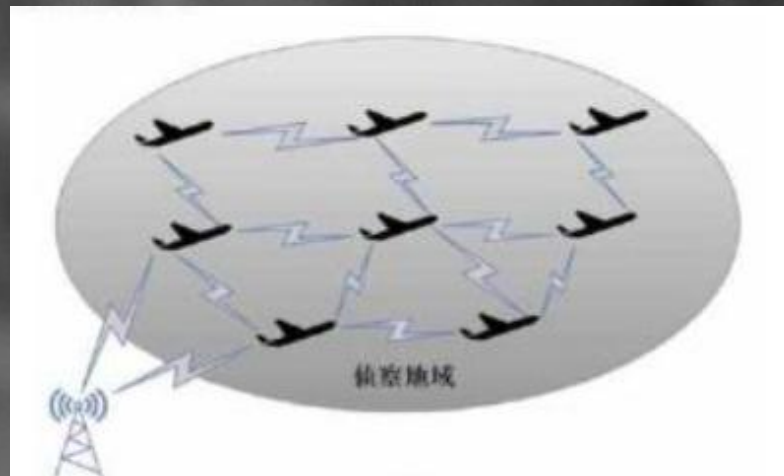
无人机自组织网络

- **定义：**

无人机群建立的动态网络，处于该网络中的无人机可以实现信息传递共享，以协作完成复杂任务

- **特点：**

- 拓扑变化频繁
- 节点密度不均匀
- 可用能量有限——基于电池容量
- 任务场景和移动模型特殊



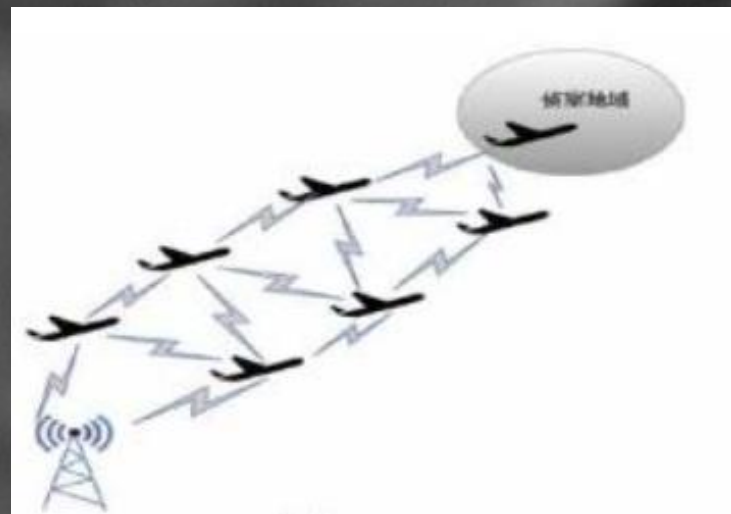
结合自组织的多智能体协作

无人机自组织网络

- 应用场景



无人机搜救



无人机侦查

6



任务分配与负载均衡

任务分配与负载均衡

思考



思考->多智能体系统中不同的智能体承担什么样的角色？他们是如何彼此分配任务的？

任务分配与负载均衡

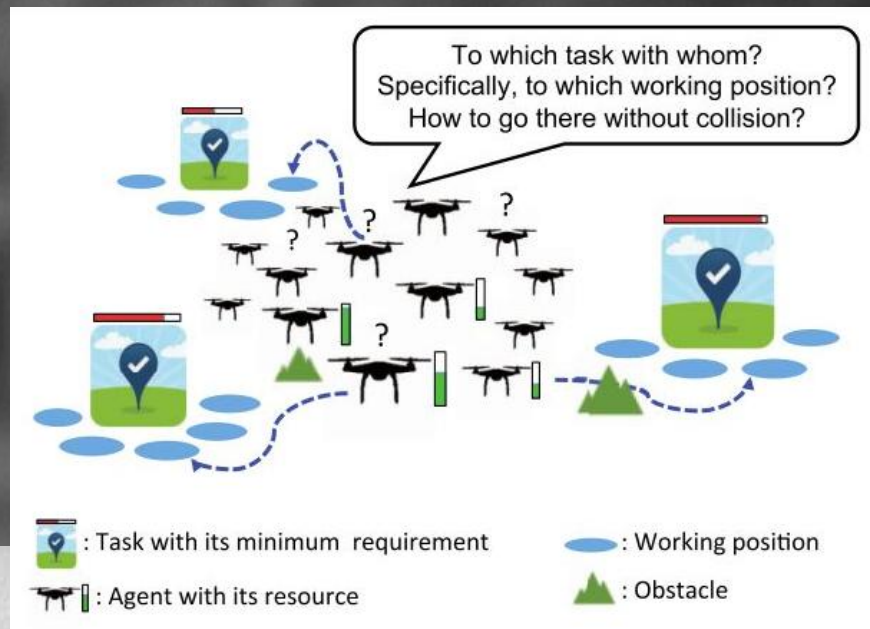
任务分配

- 问题描述

多Agent系统中任务分配是指：当一个Agent无法独立完成任务时，如何将合适的任务分配给合适的Agent以实现整体执行效果最优。

- 分类

- 集中式任务分配
- 分布式任务分配



集中式任务分配

- **典型方法**

- 整数规划方法

- 搜索算法

- 例如：启发式、基于满意决策等

- 智能优化算法

- 例如：群智能算法、遗传算法等

- **特点：**

- 实现简单、具备产生全局最优解的潜力、适用于小规模系统

集中式任务分配

- 整数规划方法

整数线性规划数学模型一般形式：

$$\max Z = \sum_{j=0}^n c_j x_j$$

$$\text{s.t} \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i & (i = 1, 2, \dots, m) \\ x_j \geq 0 & (j = 1, 2, \dots, n) \text{ 部分或全部为整数} \end{cases}$$

集中式任务分配

- 整数规划例子

设有一个背包，其最大承重为 b ，考虑 n 件物品，其中第 j 件重量为 a_j ，其价值为 c_j 。问如何选取物品装入背包中，使得背包内物品的总价值最大？

设决策变量 $x_j = \begin{cases} 1, & \text{若选第 } j \text{ 件物品} \\ 0, & \text{若不选} \end{cases}$

则背包问题可以表示为下列整数规划：

$$\begin{aligned} \max_x \quad & \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n a_j x_j \leq b \\ & x \in \{0, 1\}^n \end{aligned}$$

集中式任务分配

- 整数规划方法

(1) 求 整数规划 的 松弛问题 最优解：

如果 该 最优解就 是整数，那么得到整数规划最优解；

如果 该 最优解 不是整数，那么转到下一个步骤 分支与 定界；

(2) 分支与 定界：

任选一个 非整数解变量 x_i ，在 松弛问题 中加上约束：

$$x_i \leq [x_i] \text{ 和 } x_i \geq [x_i] + 1$$

形成 两个新的 松弛问题，就是两个分支；

上述分支，分的越细致，限制条件越多，同时 最优解的质量就越差；

集中式任务分配

- 搜索算法

A*算法使用两个集合来表示待遍历的节点，与已经遍历过的节点，这通常称之为open_set和close_set

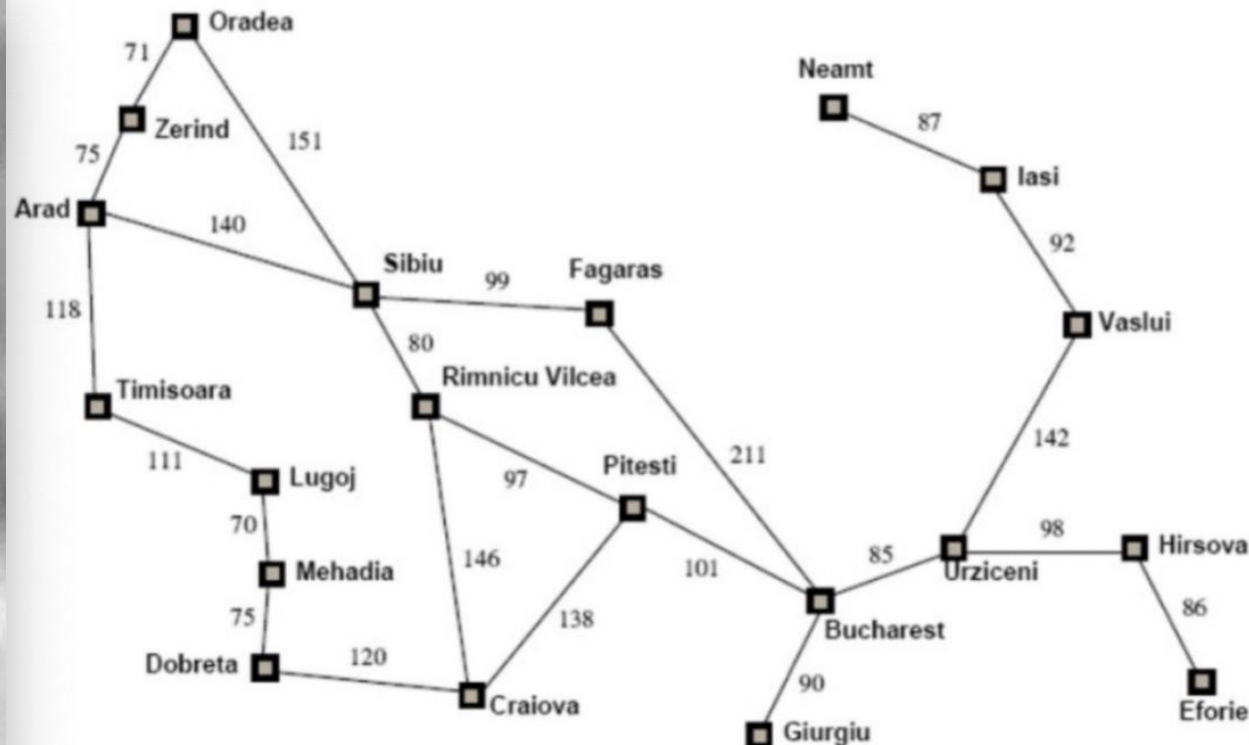
- * 初始化open_set和close_set;
- * 将起点加入open_set中，并设置优先级为0（优先级最高）；
- * 如果open_set不为空，则从open_set中选取优先级最高的节点n：
 - * 如果节点n为终点，则：
 - * 从终点开始逐步追踪parent节点，一直达到起点；
 - * 返回找到的结果路径，算法结束；
 - * 如果节点n不是终点，则：
 - * 将节点n从open_set中删除，并加入close_set中；
 - * 遍历节点n所有的邻近节点：
 - * 如果邻近节点m在close_set中，则：
 - * 跳过，选取下一个邻近节点
 - * 如果邻近节点m也不在open_set中，则：
 - * 设置节点m的parent为节点n
 - * 计算节点m的优先级
 - * 将节点m加入open_set中

任务分配与负载均衡

集中式任务分配

- A*搜索算法

Task: Find a path from Arad to Bucharest



分布式任务分配

- **典型方法**

- 基于行为激励的方法
- 基于市场机制的方法
 - 例如合同网协议、拍卖算法等
- 基于空闲链的方法
- 基于群智能的方法

- **特点**

可并行计算、可以快速计算方案、应对动态环境效果好、
可适用于大规模系统

任务分配与负载均衡

分布式任务分配：

基于行为激励的背景：

20世纪20年代，美国风行一种行为主义的心理学理论，其创始人是华生。这个理论认为，管理过程的实质是激励，通过激励手段，诱发人的行为。在“刺激—反应”这种理论的指导下，激励者的任务就是去选择一套适当的刺激，即激励手段，以引起被激励者相应的反应标准和定型的活动。

任务分配与负载均衡

分布式任务分配：

行为主义激励论又包括老行为主义激励论、新行为主义激励论、行为修正激励论。

- （1）老行为主义基本公式为刺激—反应，通过刺激手段诱发人的行为。
- （2）新行为主义包括：意图、愿望、行为目的、映象和计划。
- （3）行为修正激励论是以操作条件反射为其理论基础的。
人类的许多行为是具有操作性、工具性的性质，人由于某种需要而引起探索或“自发的”活动。

任务分配与负载均衡

分布式任务分配：

基于拍卖机制的背景：

假设一个卖家有一些资源可以卖给能够利用这些资源的若干个买家，但卖家并不清楚买家愿意为其支付的费用是多少。对于卖家来说，设计一套合适的拍卖的方式可以最大化其期望收益。而拍卖是集体决定价格和分配的过程，卖家定义拍卖的规则和过程，买家提交出价，依据拍卖的规则和这些出价最终决定商品或资源在买家中的分配和每一买家应支付的价格。

负载均衡

- **问题描述**

多Agent系统中的负载均衡问题是指：到达系统的任务会分配给不同的Agent，当一个任务被分配到某个Agent上如果该Agent正在执行另一任务，此时就需要将到达任务放入任务等待队列中直到该Agent空闲。随着任务的不断到达，可能会出现一些拥有资源多的Agent上的任务等待队列很长，而另一些资源少的Agent的任务等待队列始终为空，此时系统就处于不均衡状态。

负载均衡策略分类

- **静态负载均衡**

根据系统当前状态来调整各节点的负载，从而达到当前状态下系统的负载均衡

- **特点：**

- 可以很好的实现某个时刻的负载均衡
- 对未来的负载情况无能为力
- 动态任务环境下开销较大

负载均衡策略分类

- **动态负载均衡**

利用历史任务信息预测未来任务到达强度，根据预测出的未来任务到达强度进行当前状态的负载均衡

- **特点：**

- 可以缓解未来负载不均衡情况
- 减少系统计算负载均衡的开销
- 适用于动态任务环境

负载均衡

- **典型方法：**
 - **静态：**
 - 基于博弈论的负载均衡
 - 基于任务信息的负载均衡
 -
 - **动态：**
 - 基于指数平滑方法预测负载
 - 基于服务复制与转移的动态均衡
 -