第 8 章 基于 Agent 的建模方法

一、复习题

- **基于 Agent 的系统模型的层次**
- **个体 Agent 的建模需解决的问题，识别个体 Agent**
- **Agent 的通用模型及其 Agent 形式化**
- **慎思 Agent、反应 Agent 和混合型 Agent**
- **多 Agent 系统的体系结构，需要处理的 5 个问题**

二、概念

1.引入

- 目前采用的行为建模方法主要有：
  - 有限状态机
  - 基于规则的方法
  - 基于案例推理
  - 神经网络
- 各有优缺点：
  - 有限状态机和基于规则的建模方法适用于具有小型知识库的系统。
  - 神经网络建模方法无法跟踪模型的推理过程。
  - 基于案例推理方法不能全面反应认知决策过程。
  - Agent 从模拟人的行为出发，对一个实体的信念、意志、期望等精神状态进行描述。
  - Agent 具有自主性、社会性和主动性等特征。
  - 因此基于 Agent 的建模技术，更能准确表述和表达仿真模型中具有智能的实体，采用 Agent 技术可以方便构建基于智能体模型模拟人的行为，构建更实用的行为模型。
- 现在提出了基于 Agent 的建模（Agent-Based Modeling, ABM），由此衍生出一系列的相关概念和技术：
  - 基于 Agent 的软件工程
  - 基于 Agent 的计算
  - 面向 Agent 的程序设计
  - Agent 通信语言（ACL）等。
- 20 世纪 90 年代以来，Agent 成为计算机领域和人工智能领域研究的重要前沿，许多领域借鉴或采用该概念（或思想）进行本领域的研究工作（建模与仿真），如社会科学、经济科学、生物科学等。

2. Agent 的定义

- Agent 最初来源于分布式人工智能的研究。
- 目前，由于 Agent 已经渗透到计算机科学技术的许多领域和许多非计算机领域中，所以从一般意义上很难给出 Agent 严格而清晰的定义，到目前为止，还没有形成一个统一确定的 Agent 定义。
- 在英文中，“Agent”有三种含义：
  - 一是指对其行为负责任的人；
  - 二是指能够产生某种效果的，在物理、化学或生物意义上活跃的东西；
  - 三是指代理——接受某人的委托并代表他执行某种功能或任务。
- 基于对 Agent 英文原意的理解，常被人解释为代理。但随着 Agent 广泛应用的不同领域，不再局限于“代理”。
- **一个 Agent 应具有的特性：**

1）Agent 是一个具有明确边界和界面的问题求解实体。

2）Agent 处于特定环境之中，通过感知器来观测环境，通过效应器来作用于环境。

3）自治性。 Agent 能自行控制其状态和行为，能够在没有人或其他程序介入时操作和运行，这是 Agent 最本质的特征。

4）社会性。无论是现实世界，还是虚拟世界，通常都是由多个 Agent 组成的系统。在该系统内，单个 Agent 或多个 Agent 的行为必须遵循符合 Agent 社会的规则。能通过 Agent 交互语言，与其他 Agent 进行灵活多样的交互，并有效进行合作。

5）反应性。Agent 能够感知其所处的环境（物理世界，或操纵人机界面的用户，或与它进行交互和通信的其他 Agent 等等），能及时迅速地作出反应以适应环境变化。

- 在一些特定领域的研究，特别是人工智能领域的研究，还赋予 Agent 一些更高级的特性，使其更符合于所研究对象的特征：

➢ 1）理性。Agent 没有相互冲突的目标。

➢ 2）诚实性。Agent 不故意传播虚假的信息。

➢ 3）友好性。 Agent 总是尽可能地完成其他 Agent 的请求。

- Agent 的特性常常因应用的不同领域而有所不同，形成对 Agent 的不同理解或定义，*自治性是 Agent 概念的核心*。
- 在实际应用中，Agent 常被分为三种类型：

➢ 类型 Agent：描述特定实体或某一类实体。

➢ 集中服务 Agent(多 Agent 系统中)：为多个 Agent 提供特定的服务或一组服务。

➢ 移动 Agent：可在不同的实体之间进行移动。

- **总结：**

➢ Agent 是实际系统的物理实体抽象或系统的功能抽象，能够在一定的环境中为了满足设计目标而采取一定的自主行为；

➢ Agent 总是能感知其所处的环境，并且有可以影响环境的多个行为能力，能够适应环境变化。

3.Agent 和对象的区别

- 对象是系统中用来描述客观事物的一个实体，是构成系统的一个基本单位。
- 一个对象由*一组属性*和对这组属性进行操作的*一组服务*组成。

➢ 从认识论的角度：对象就是一种*抽象技术*，最基本特征是*封装、继承和多态*；

➢ 从软件的角度：对象是一个*计算实体*，封装了一些*状态*以及可根据这些状态采取特定措施的*方法*，对象之间可通过消息的传递来进行交互。

- **对象与 Agent 有许多共同点：**

➢ 如数据和方法的封装；

➢ 如 Agent 拥有对象的继承与多态等性质。

- **Agent 与对象的一些明显区别：**

- 一是 Agent 和对象的自治程度。

对象可以完全控制其内部状态，没有在控制其行为方面表现出自治性——一个对象申明了一个公有方法，不能控制该方法是否被执行了。

➢ 在面向对象情况下，决策由调用方法的对象决定；

➢ 在 Agent 情况下，决策由收到请求的 Agent 决定。

- 二是有关自治行为的灵活性，即自治性、反应性、社会性。

标准的对象模型没有关于*行为特性*的说明。

- 三是 Agent 有自己独立的控制线程；而在标准的对象模型中，整个系统才有一个控制线程。

➢ 标准对象模型中的主动对象可能与 Agent 概念最相近。

主动对象——是一组属性和一组服务的封装体，其中至少有一个服务不需要接收消息就能主动执行（主动服务）。

- 主动对象拥有自己的控制线程，可以在没有其他对象控制情况下*自主实施自己的某种行为或某些行为*。
  - 主动对象不一定具有 Agent 灵活的自治行为。
- 值得注意的是：尽管 Agent 与对象有着重大的区别，但这并不妨碍用面向对象技术来实现 Agent。许多 Agent 开发工具和应用实例都是用面向对象技术来实现。
  - Agent 技术在继承面向对象技术所有优点基础上，赋予 Agent 更多人性化的特征，与实际自然系统或人工系统更贴近。

面向对象能做的事， Agent 技术都可以做， Agent 技术还可以处理许多更为复杂的问题。

- 目前，行为建模研究热点是基于多 Agent 系统的建模。

4.多 Agent 系统

- 单一 Agent 很难对存在于动态开放环境之中的大规模复杂问题进行求解 。
- 人类智能本质上是社会性的，人们往往为解决复杂问题组织起来，这些组织能够解决任何个人都无法解决的问题。
- 面对复杂系统，必须用多个 Agent 来刻画、抽象这样的系统。由多个 Agent 组成的系统称为多 Agent 系统（Multi- Agent System, MAS）。

多 Agent 系统（Multi-Agent System，MAS）——将多个 Agent 组成的系统，是一种新的方法论，是生产分布式控制、自适应及处理复杂过程的关键技术。

◘ 多 Agent 系统具有以下特点：

1）高层次的交互。

可以描述*复杂的社会交互模式*: 合作、协调、协商。通过更高层次的 Agent 通信语言（如基于言语行为理论 Speech-Act theory），在知识层次交互，是一种柔性交互。

2）Agent 之间丰富的组织关系。

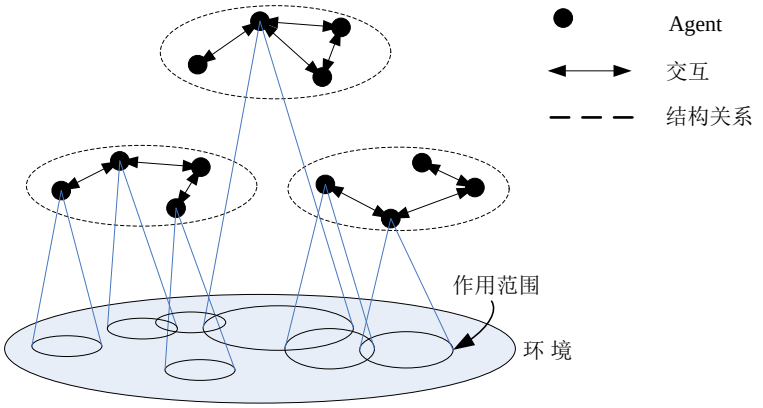
- Agent 间的关系——来自于组织中各种关系，如同等关系、上下级关系等。
- Agent 系统结构——来自组织的结构，如团队、群组、联盟等。
- 这种关系和结构随 Agent 之间的交互不断演化。

3）数据、控制和资源的分布。

MAS 特别适合需要多个不同的问题求解实体（Agent）相互作用共同求解某个共同的问题或各自问题的领域，多数情况下，实体、数据、资源在物理或逻辑上是分布式的。

4.1 多 Agent 系统的结构

- 各个 Agent 相对独立，Agent 之间可能存在复杂的关系



◘ **结构相关**

结构相关性是指不同 Agent 之间具有结构关系，如小组关系、上下级关系等。

这种结构关系将对系统中 Agent 的运行以及 Agent 之间的相互作用产生影响。

- **行为相关**

不同的 Agent 对环境的一部分产生影响，某些 Agent 的影响范围发生重叠，则它们之间就产生了行为上的相互影响。

4.2 Agent 的作用

- MAS 架构特别适合用来解决具有模块化、分散性、可变性、不良结构、复杂性等特征的应用问题。

1）模块化：

- 最适合于被分成自然模块的应用问题。
- 一个 Agent 有自己的状态变量集，不同于环境的状态变量。
- Agent 状态变量的一些子集与环境状态变量的一些子集相耦合，以提供输入输出。
- 重用性增加。

2）分散化：

一个 Agent 不需要外部的激励，可自主地监视自己的环境，并在认为合适的时候采取行动。

- Agent 的分散性特性适合能被分解为独立进程的分布式应用。

独立进程——在不需要其他进程连续指导情况下能够做有用的事。

3）可变性：

因为 Agent 非常适合于模块化和分散化的问题，当一个问题可能经常变化时， Agent 的两个特征结合在一起会使它们具有特殊的价值。

- 模块化允许部分修改，
- 分散化使得模块变化对其他模块行为的影响达到最小。

一个系统快速、经常变化，且无不良边际影响的能力，对系统的竞争力越来越重要。

4）不良结构：

不良结构——在系统设计时，并非所有必须的结构化信息能够得到。Agent 自然地支持这样的应用。

- 仅需要识别系统中实体的类和它们对环境的影响，能够与改变环境的其它任何 Agent 进行适当的交互。

5）复杂性：

- 衡量系统复杂性的一种方法——系统必须演示的不同行为的数目；
- Agent 体系结构可以将组合行为空间的发生从设计时移到运行时，急剧地减少必须要设计的软件代码数，进而降低构造系统的成本。

4.3 基于 Agent 的建模思想

5 Agent 技术发展和应用的两个基本推动力：

1）无论是现在还是将来，计算机科学及其应用领域内，由 Agent 组成的 MAS 有能力扮演重要的角色。

因为现在的计算机平台和信息环境都是分布的、开放和异构的，计算机不再是一个独立的系统，而是越来越多的与其他的计算机及它们的用户紧密的联系在一起。

2）在建立和分析人类社会中的交互模型和理论方面，MAS 也可以扮演重要的角色。

- **基于 Agent 建模的思想：**

- 将 Agent 作为系统的基本抽象单位，必要的时候可赋予 Agent 一定的智能（Intelligent）；
- 然后在多个 Agent 之间设置具体的交互(Interact)方式，从而得到相应系统的模型。

- Agent、智能和交互——是基于 Agent 建模思想中最基本也是最重要的内容。

- **Agent 在建模中的角色：**

- 1） Agent 是一个自治的计算实体。
- 2）智能性——Agent 在变化的环境中灵活而有理性地运作，具有感知和效应的能力。
- 3）互交能力——Agent 可以被其他为追求自己的子目标而执行相应任务的 Agent 所影响。

- 由于将 Agent 看成是主动对象，基于 Agent 的建模技术完全可以从面向对象技术中继承并发展。

4.4 识别个体 Agent

- 给定系统有确定的系统问题和系统边界，识别个体 Agent 的任务就是解决这样的问题：
- 将系统中的什么映射作为 Agent？也就是对系统进行 Agent 抽象。

Agent 抽象的基本原则：从系统的物理结构出发，围绕着系统的目标来对系统进行抽象。

- 以系统的物理结构作为抽象的基本点，可根据物理世界的实际构成来划分 Agent。
- **一般的处理原则：**将组成系统的每个实体都抽象为一个 Agent（实体 Agent）。这对自然的分布式系统尤为实用。

要注意两个问题：

1）异质 Agent 与同质 Agent 的处理

- 实体之间可能是异质的，存在本质上的区别，如经济系统中的人、企业与政府等；
- 有些实体之间是同质的，在本质是相同的，如一个生物种群中多个生物个体。

- 处理方法：将异质 Agent 分别形成相应的 Agent 类，而将同质的多个 Agent 抽象归结为一个 Agent 类。

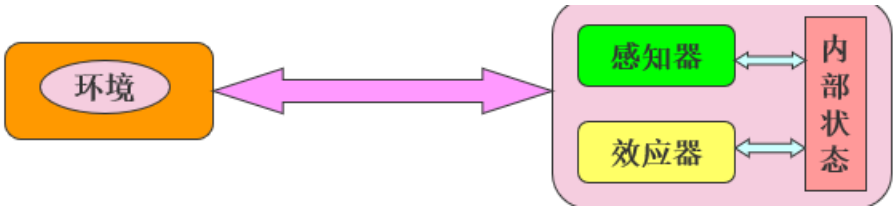
2）抽象的粒度——抽象的层次

在确定了实体 Agent 后，有时为了实现系统的目标，还要设计一些其他的辅助 Agent——集中服务 Agent。

- 实体 Agent：一般来说，组成 Agent 群体的多个 Agent 有共同的状态和行为，由此抽象出这类 Agent。
- 辅助 Agent：为一个 Agent 群体提供某些共同的服务，或提供有关这个 Agent 群体的信息。
- 移动 Agent：为物理上分布的系统提供传输信息或执行特定的功能。
- 经过上面的处理后，确定组成系统的所有 Agent，建立系统的 Agent 类图，在实际的分析与建模的过程中，可根据需要反复进行这一过程。
- 个体 Agent 的建模需解决的问题：
  1） Agent 由那些模块组成？
  2）模块之间如何交互信息？
  3）Agent 感知到的信息如何影响行为和内部状态？
  4）如何将这些模块用软件或硬件的方式组合起来形成有机整体，真正实现主体。

5.Agent 的通用模型

就目前来说，可以将 Agent 视为由环境、感知器和效应器三部分组成，Agent 的通用模型如图 8.2 所示。



1）每个 Agent 都有自己的状态。

2）每个 Agent 都拥有一个感知器来感知环境，根据环境的状态来改变自己状态的方法。
3）每个 Agent 都拥有一个效应器作用于环境，用来改变环境状态的方法。

从计算的角度看，主体是一个计算实体，

- 具有属于自身的资源，
- 能够感知环境信息，
- 根据*内部的行为控制机制*确定主体应采取的行动，
- 主体的行动实施后，将对自身状态和环境状态产生影响。

6.Agent 形式化

- 假设环境变化可以抽象为一个环境状态序列，环境在任何离散的瞬时状态的有穷集合为：

$$E = \{e_0, e_1, e_2, \cdots\}$$

- 主体有一个可执行动作集合 $A = \{a_0, a_1, a_2, \cdots\}$
- 主体在环境中的一次执行r是环境状态与主体动作的一个交替序列：

$$r : e_0 \xrightarrow{a_0} e_1 \xrightarrow{a_1} e_2 \xrightarrow{a_2} \cdots \xrightarrow{a_{u-1}} e_u$$

- 主体的动作决策部件可以定义为以下函数： $Choose : E^* \to A$

E^* 为环境演化的状态序列。

- 主体的动作将对环境状态产生影响，定义影响函数为：

$$Change : E \times A \to \wp(E)$$

- 标准主体定义为以下三元组：

$$Agent =< A, Choose, Change >$$

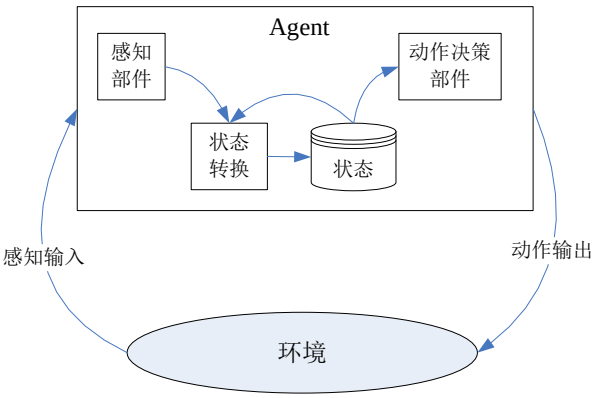
7.具体 Agent

7.1 慎思 Agent（认知 Agent、思考 Agent）

——是一个显式的符号模型，包括环境和智能行为的逻辑推理能力，具有信念-期望-意图（Beliefs-Desire-Intentions, BDI）结构，它保留经典人工智能传统（数理逻辑的符合学派），是一种基于知识的系统。

环境模型一般是预先实现的，形成主要部件——知识库。

- 慎思 Agent 是具有内部状态的主动软件，具有知识表示、问题求解表示、环境表示、具体通信协议等。



Agent 的慎思结构反映了传统人工智能的特点，是构造 Agent 的最佳方式。

慎思 Agent 要面对两个基本问题：

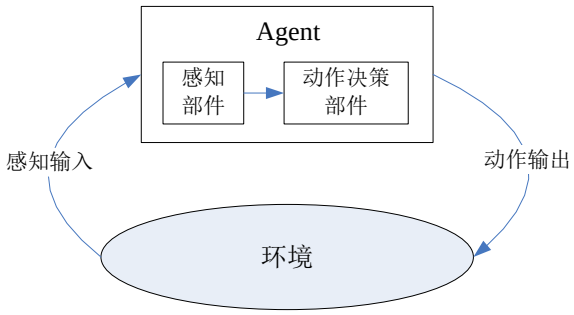
1）转换问题：如何在一定的时间内将现实世界翻译成一个准确的、合适的符号描述——计算机视觉、自然语言理解等领域的研究；

2）表示/推理问题：如何用符号表示复杂的现实中的实体和过程，以及如何让 Agent 在一定时间内根据这些信息进行推理做出决策——知识表示、自动推理、自动规划等领域的研究。

- **慎思 Agent 缺陷：**
  - 1）由于表示的复杂性，慎思 Agent 适应动态环境有一定局限性；
  - 2）没有必要的知识和资源，在 Agent 执行时，加入有关环境的新信息和知识到已有的模型中比较困难。

7.2 反应 Agent

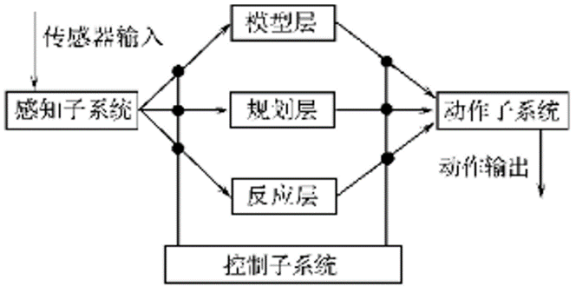
- 采用应激响应的行动方式对其所处环境的当前状态进行响应。(没有符号表示的世界模型，不使用复杂的符号推理，不对环境进行描述)
- 通过与其他 Agent 简单交互，使 Agent 系统表现出复杂的整体行为。(不考虑历史情况，也不为未来制定计划)
- 具有坚定性和容错能力两大重要属性。(响应速度较快，不需要进行复杂推理和费时思考)



Agent 的反应结构反映了基于行为的人工智能的特点，是构造 Agent 的最佳方式。

7.3 混合型 Agent

- 混合结构的 Agent 系统融合经典和非经典的人工智能，在一个 Agent 中包含两个（或多个）子系统：
  - 1）慎思子系统：用符号表示的世界模型，用主流人工智能中提出的方法生成规则和决策；
  - 2）反应子系统：不经过复杂的推理就对环境中出现的事件提供反应。
  - 3) 反应子系统优先级高于慎思子系统，以便对环境中出现的重要事件提供快速反应。
  - 混合型 Agent 采用一个层次结构，底层以反应 Agent 为主，高层以慎思 Agent 为主。
  - 一个典型的结构模型如下图所示。



8 多 Agent 系统的体系结构

为了建立由多个 Agent 组成的完整的系统模型，确定多 Agent 系统的体系结构，就要处理好以下 5 个问题：

1）系统应有多少个 Agent?

根据系统的目标要求，确定各种 Agent 的总数以及系统运行时 Agent 的数目是否可改变。

2）Agent 之间采用什么样的通信渠道?

通常在传输介质（共享物理环境与数字网络）、访问（广播、面向目标、Agent 到 Agent）等方面可能有所不同。

3）Agent 之间采用什么样的通信协议？通信协议决定了被建立的 Agent 之间如何交流。

- 通常采用的通信方式：
  - 共享全局存储器（如黑板机制）；
  - 消息传递；
  - 两者的结合。

4）怎样建立 Agent 与其相关的其他 Agent 之间的结构?

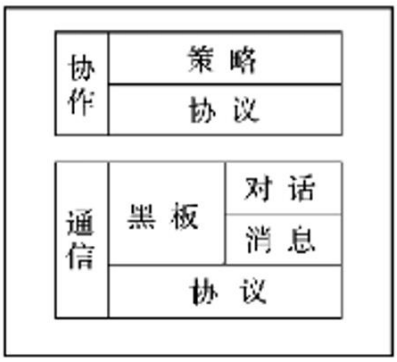
- 一个 Agent 群体的结构描述每个 Agent 的直接的熟人（Agent）和它们之间由于信息和物料流动等原因而产生的拓扑结构，如分层嵌套结构、网络结构等。

5）Agent 之间如何协调它们的行动?

- 要解决好上述 5 个问题的前提条件：对物理系统的透彻了解和对系统目标的准确把握。
- 在这个阶段：
  - 对相关技术的了解（如面向对象的消息传递、常用的合同网协议、耗散机制等）也会促进问题的解决，
  - 可能会根据需要返回到前两个阶段进行再分析（Agent 层、个体 Agent 特征模型）。
- 问题解决后，我们就建立了一个完整的多 Agent 系统模型。

9.多 Agent 系统的体系结构

- 多 Agent 系统的体系结构的核心：解决 Agent 之间的通信与协作问题。
- 在多 Agent 系统中，各个 Agent 通过相互间的消息发送和接收来协同工作。
  - 通信机制——使得各个 Agent 能够相互传递消息；
  - 协作机制——使得各个 Agent 根据运行过程中所传递的消息，协调彼此的行动，实现合作。
- 通信是协作的基础，通信方法分为黑板系统和消息/对话系统。



10. Agent 通信语言

10.1 Agent 通信语言：

是一种用于表达 Agent 之间交互消息的描述性语言，
它定义了交互消息的格式（语法）和内涵（语义）。

影响较大的 Agent 通信语言：

- **KQML**
- **ACL**

10.2 通信方式

Agent 之间常用的通信机制有三种：

- **黑板机制**
- **邮箱机制**
- **消息传递机制**

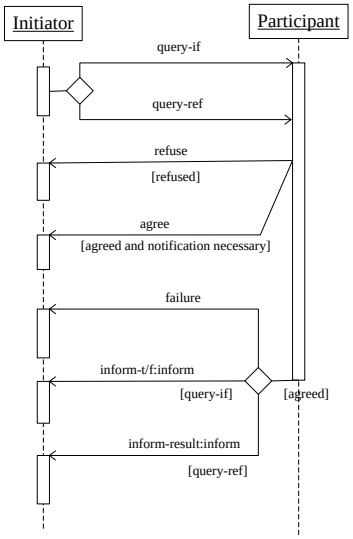
10.3 交互协议

交互协议定义了 Agent 之间为了进行协作，实现某个特定目标而进行交互的结构化消息。

FIPA 对一些典型的对话定义了交互协议：

- **请求（request）；**
- **查询（query）；**
- **合同网（contract-net）；**
- **代理（broking）；**
- **订阅（subscribe）；**
- **建议（propose）等。**

注：FIPA(The Foundation for Intelligent Physical Agents)是一个由活跃在 Agent 领域的公司和学术机构组成的国际组织，其目标是为异构的 Agent 和移动 Agent 系统之间能够互操作而制订相关的软件标准。



- 在开放、动态的多 Agent 环境下，具有不同目标、资源能力限制的多个 Agent 必须对其目标、资源的使用进行协调才能保证合作的有序进行。协调是手段，合作是目的。
- **多 Agent 协调机制可以分为：**

- 组织结构协调
- 计算市场模型
- 基于对策论的协商模型
- 基于合同网的协调机制
- 基于规划的协调
- 社会规范协调。

11 Agent 的实现

- 在实现系统模型之前，一个重要任务是开发平台的选择。

由于目前对 Agent 还没有一个统一的定义，所出现的 Agent 开发工具也没有可遵循的统一标准，大都是按自己的理解和需要，采用 Smalltalk、C++和 Objective C 等语言打包而成的 Agent 模型。

- 目前在复杂系统的研究中，被广泛推荐和采用的基于 Agent 的建模和开发工具是由 SFI 研制的 Swarm。Anylogic
- 选择开发工具和建立系统模型相结合，反复调整直至比较完善。
- 在具体实现的 Agent 可以用类似于下图 8.3 实体 Agent 类和图 8.4 集中服务 Agent 的伪码来简单地表示。
- **典型实体 Agent 模型**

```
Agent_Entity:
Begin

States:
   Private_Preferences;
   Private_Variables;
   Pubic_Variables;
   And so on
```

Perceptions:
Accept_Information_Methods;
Get_Information_Methods;
And so on
Behaviors:
Make_Decisions;
Compute_Internal_Variables;
Draw_self;
And so on
End

典型集中服务 Agent 程序模型

Agent_Population:
Begine:
States:
Internal_Represent_of_collection;
Current_Active_Agent;
Nunmber_of_Agents;
And so on;
Perceptions:
Accept_Information_Methods;
Get_Information_Methods;
And so on;
Behaviors:
Private Behaviors:
Get_Nth_Agent(N);
Randomize_Agents;
And so on;
Public Behaviors:
Initilize;
Special_Service_Methods;
And so on;
End