

## 第25章 agent 体系结构

前面采用agent讨论了人工智能。虽然主要讲 agent，但也强调用于建立智能 agent的技术也能应用于其他的领域：图象分类和分析、专家咨询和推理系统，调度和计划、自然语言处理系统，等等。常假定讨论中的 agent是机器人，但是很多思想也可以应用到非物理 agent。在这最后一章，将致力于如何将各种AI技术集成到智能agent结构中。

但是首先必须问一个问题，一般地讲，关于智能 agent的体系结构是不是有一个统一的说法？就像有成千上万种动物占据着成千上万个不同的小环境一样，我们同样希望有很多很多的人工agent，它们执行着无数项人类想要它们做的任务。它们的结构的确切形式将取决于任务和执行这些任务的环境。例如，一些 agent在一个强调时间的环境中工作，在这个环境中，对不可预料的和正在改变的环境状态的反应必须是快和不含糊的。其他的 agent有时间和知识来预测动作的未来过程的结果，以便能做出更合理的选择。

当然，其中一些agent将比其他的更复杂和聪明，因此我们也许能把焦点放在这些 agent的结构上。这些agent要求有本书中讨论的所有能力：固定的反应能力；基于图标和特征的存储器结构；搜索技术；推理、计划和通信能力。我们能指望存在一个理想的、拥有所谓“人类级”智能的agent体系结构吗？可能不会。即使是人也会因先天或后天的因素而成为大量的不同类型的人。一些人用图进行思考，一些人用符号，一些人用声音；一些人是冲动的，一些人是深思熟虑的；一些人想得详细，一些人比较毛糙；一些人容易适应新的环境，一些人却不易；等等。虽然我们在相同的“湿件（wetware）”上运行得都很好，但我们的认知结构可能很不一样。

可能没有一个统一的、理想的智能 agent体系结构。但是下面会讨论一些我最为熟悉的、也是典型的可供参考的体系结构。当然，除此之外，专家们还提出并使用了另外的体系结构。

### 25.1 三级体系结构

最初的集成智能agent系统之一是集成计算机程序和硬件的一个系统，它叫做“Shakey the Robot” [Nilsson 1984b]。Shakey已经用到了很多在本书中描述的技术——虽然在形式上它们比现代的同类更原始。硬件由一个大约有一个小冰箱大小的小车、对接触敏感的“触角”、一个电视照相机和一个光学探测器构成——所有这些都由一个计算机通过一个二路声频/视频连接控制（见图25-1）。小车能在一个由墙隔开的、用门连接的、堆有很多大盒子的房间中移动。它能在自己的环境中把盒子从一个地方推到另一个地方。程序组件包括可视场景分析程序（它能认出盒子、门和屋角）、进行计划的程序（用STRIPS,它能生成一个到达目标的动作序列）和把计划转化为环境中的中间级和低级动作的程序。Shakey结构如图25-2所示。

可将Shakey的设计视为所谓的三级结构的一个早期例子。每一级对应从传感信号到电机命令的不同路径。在图25-2中，用如下的方法强调了这些路径：低级用灰箭头，中级用灰色点划线，高级用黑色点划线表示。低级动作（LLA）使用一个短而快的、从传感信号到操纵装置的路径，该路径处理重要的“反应”——如接触传感器检测到接近一个对象时 stop。到达指定

的轴角目标点的电机伺服控制等等也由低级机制处理。

中级把LLA组合成更复杂的行为——它的实现取决于执行任务时的状态（检测到的和模型化的）。作为一个例子，一个中间级动作（ILA）是gothrudoor例程，它使Shakey通过一个已命名的门。它由roll-forward和turns组成，它们由接触探测器和一个内部模型中的信息指导，直到它断定Shakey已完全通过了那个门。Shakey的ILA用一种与第2章提到的T-R程序非常相似的方式编码。

高级路径涉及到一个STRIPS计划者。将一个用谓词演算合式公式表达的目标赋予执行系统，它监督STRIPS构造计划。完成的计划被表达为一个ILA序列，序列和它们的前提条件以及结果通过一个三角表表示。像执行一个T-R程序一样执行该三角表。三角表形式的计划也被存在一个计划库（经推广后，像第22章讨论的一样）中，以为将来所使用。

最近，三级结构已经用在各种机器人系统中。一些原始动作的伺服控制常被用在最低级，很多不同的AI子系统被用在中级和高级，包括黑板系统、动态贝叶斯信念网络、模糊逻辑到计划空间计划者。作为一个典型的例子，可以参考[Connell 1992]。

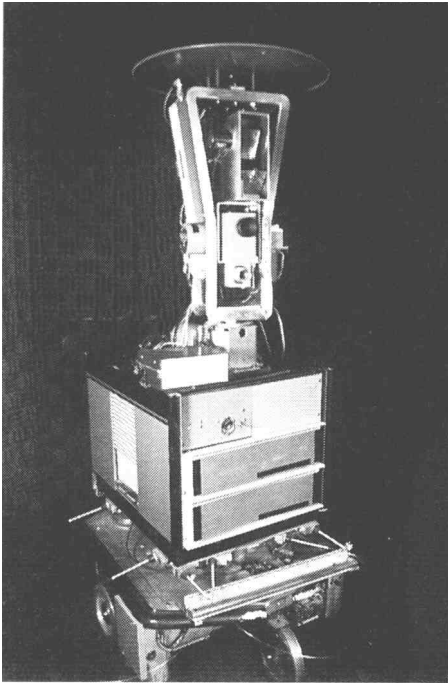


图25-1 Shakey 机器人

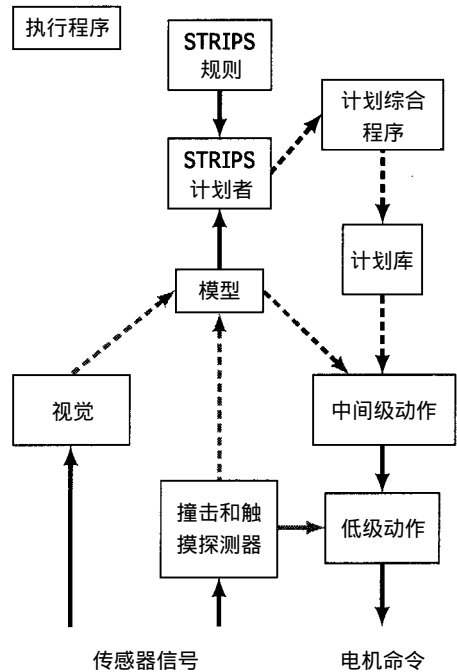


图25-2 Shakey体系结构

## 25.2 目标仲裁

一个三级体系结构是解决把快速反应能力和计划动作序列以完成复杂任务相结合这类问题的一种方式。在大多数agent体系结构中，反应动作要优先于计划制定。对反应动作的要求仅仅是一个agent要同时参与几个（有时是竞争）目标这类一般情况的一个实例。agent常常有几个需要达到的目标。其中一些由它们的用户（有不同的优先级）给出，有些是内在的（像安全需要，补充燃料、自维护等）。一组目标中的每一个，按照当时的目标优先级和从当前状态达

到目标的相对代价，都有一定的“紧迫性”<sup>①</sup>。有些目标用低级例程最好处理，有些能用保存的ILA到达，有些将需要做出计划。由于目标的紧迫性会随着 agent 动作和在新的，有时是无法预料的环境而变化，因此 agent 结构必须能在竞争的ILA和计划中做出仲裁。

[Benson & Nilsson 1995]提出了一个 agent 结构，它把反应、学习和计划能力集成在一起。和仲裁有关的结构部分如图 25-3 所示。目标及优先级通过执行器传给系统，它们保持活动直到被用户解除。系统有若干个 ILA 存储在计划库中——就像 T-R 程序一样被存储且与特定的目标相符合。如果任何活动目标能通过存储在计划库中的 T-R 程序实现，这些 T-R 程序就成为活动的 ILA。没有现存的 T-R 程序的目标将导致计划者去试图产生新的 T-R 程序——通过扩展计划库中的合适 T-R 程序或者开始一个新的程序。任何由计划者产生来到达一个活动目标的新 T-R 程序成为活动的 ILA。内建目标总是有提前建立的 T-R 程序，它们一直是活动的 ILA。

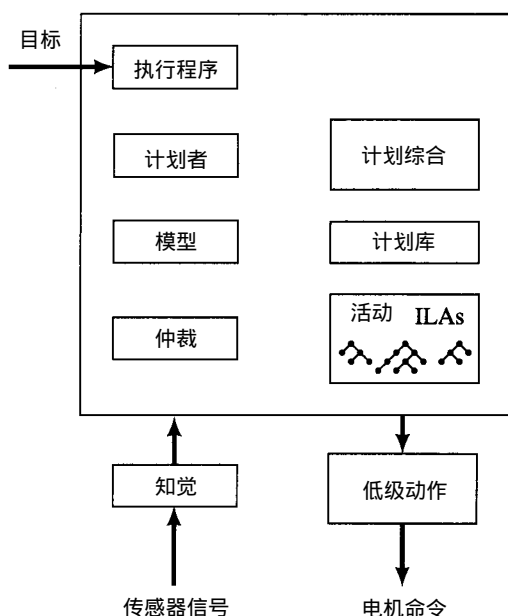


图25-3 组合计划和反应

实际由 agent 执行的动作是由一个激活的 ILA 调用的动作。仲裁程序的任务就是在每个时刻选择由哪一个 T-R 程序来“管理”当前的 agent。这个选择用一个简单的代价—收益计算来实现。该计算考虑了目标的优先级和到达目标的估计费用（更详细的内容参见 [Benson & Nilsson 1995]）。维护安全性和避免危险总是有高的优先级，因此，当任何紧急情况出现时总是先选择它们。仲裁模块和计划者模块并发工作以便在计划的同时，agent 能够动作（合适的话）。如果较低优先级的目标可以用较低的估计费用实现（它们也能用昂贵的更高优先级实现），那么就先执行较低优先级的目标<sup>②</sup>。

### 25.3 三层塔式结构

在三级体系结构中，高级别比低级别使用了更抽象的知觉谓词和更复杂的动作。但是反应动

<sup>①</sup> 这些优先级和代价能用和第 10 章讨论的相似的奖赏调度来满足。

<sup>②</sup> 这个特殊的 agent 结构也满足动作学习模型（计划者能用它）。关于学习元件的详细内容，参见 [Benson 1997]。

作通常是由基本的传感信号引发的，故高级动作协调将要求更详细的知觉处理。[Albus1991]提出了层次式或“塔式”知觉和动作处理。知觉处理塔从基本的传感信号开始，一层一层向前推进，直到对检测到的东西的表示更精确和更抽象。动作塔由越来越复杂的基本动作序列组成。知觉塔和动作塔之间的联接可以存在于层次结构的所有级别。最低级的连接对应简单的反应，而更高级的连接则对应由知觉谓词指定的复杂动作。

为了显式说明agent的内部表示，建议加一个如图25-4所示的第三个或者叫“模型”塔。给定agent环境表示的感知规则被存在一个层次模型中——每一级包含由任何计划和动作（那一级的相应处理）使用的信息。例如，在中间级，可能有一些模型（像潜在的函数或拓扑状态空间）适合于路线计划。像那些基于逻辑或语义网络的表示一样，在更高级别，逻辑推理、计划和通信将要求以声明方式表示。

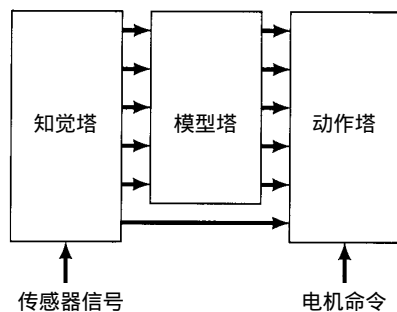


图25-4 三层塔式体系结构

虽然三层塔式结构确实不错，但它仍仅仅是一个粗糙的、空洞的理论，还需要很多东西来完善它。相信将来的发展将要求更多的实验工作以把AI技术（像这本书中所讨论的）与具有感知和动作的agent集成起来。

## 25.4 自举

“人类级（human-level）”的人工智能毫无疑问将比当代的机器人和agent需要更精练的知觉和动作指令系统。当前最缺乏的是那些必须移入模型塔更高层的常识知识。大部分AI研究者认为甚至在agent执行人类很容易就能找到的路线任务前，这些知识也必须被编码进我们的agent。CYC工程是由一组研究人员从事的研究计划，他们把认为需要的知识进行编码。从AI的早期开始，一些研究者就认为这些知识能通过自动学习程序、自组织系统、模拟演化或者一些捷径等“容易方式”得到。CYC的研究者甚至希望在CYC达到一定的关键阶段后，系统将通过自己阅读文本、和人交谈和受教育等方式来学习更多的知识。人类从以前得到的知识中通过一个“自举”过程学会大量他们使用的知识——开始在婴儿时，有天生的脾性；后来通过各种Piagetian阶段（瑞士心理学家皮亚杰关于儿童思维发育理论）从以前获得的技巧和概念中学习，当成年时，通过锻炼、阅读和交流学习。对我来讲，AI agent需要用来展示人类级智能的知识是如此之多，以致要求一个相似的自举过程。这个过程可能将涉及到一些技术，它们和本书描述的自动学习过程比较相似。我们必须找到一种方式，以使一个agent在它的设计者设计了适当的较低层塔式结构后，它自己能把其他的层加到它的三层塔结构上。

## 25.5 补充读物和讨论

[Whitehead, Karlsson, & Tenenbergs 1993]开发了一个系统，它能知道如何达到几个目标中的每一个，并且当几个目标都是活动时能对它们进行仲裁。

在谈到agent结构中不同积木图的多样性时，Stan Rosenschein过去常常说“盒子，盒子，我们都已得到了盒子（Boxes, Boxes, we've all got boxes.）”。除了本章提到的几个结构方案外，还引用了下面几个（要知道有很多我没有提到）[Laird, et al. 1991, Hayes-Roth 1995, Gat 1992,

Wilkins, et al 1995, Bates, Loyall & Reilly 1992, Firby & Kahn 1995]。

在所有这些问题中，一个关键的问题是在运行时是精炼一个计划还是执行当前的计划（可能有一个计划，当时间不是关键因素时它可以被编译，例如在设计时）。像本书前面提到的，元级结构（例如[Russell & Wefald 1991, 第2章]）能用来做这种选择。在很多情况下，计算的时空权衡特性是大多数 agent 动作应该有反应的、具有扩展 agent 已知边缘问题的计划和学习能力。

在本书中，我尽力覆盖大多数当前已知的 AI 技术，我认为它们对达到人类级 AI 是需要的。它是一个大的集合，但在接近我们的目标之前它必须变得更大。我认为随着发展，我们将继续从心理学、神经心理学、控制论、信号处理、经济学以及计算机科学等方面来汲取思想。对于有志于从事人工智能事业的读者，我的建议是当面对现存 AI 系统的低下能力与动物和人类智能的异常复杂能力的巨大差距时，我们应该折衷地、富有想像力地、谦逊地对待。但是我们的谦逊没有必要也不应该削弱我们的目标和胆识。

## 习题

### 25.1 Isaac Asimov 关于机器人的三个定律是：

- 1) 一个机器人不能伤害一个人，也不允许一个人来伤害机器人。
- 2) 一个机器人必须服从人类给出的命令，除非这个命令与第一个定律相矛盾。
- 3) 一个机器人必须保护它自己的存在，只要这个保护不和第一、第二两个定律矛盾。

当用这些定律构造自治 agent（物理的 agent 和软件 agent）时，描述一下你能想到的各种困难。需要什么 AI 能力？

### 25.2 你认为本书中谈到 AI 技术、感知设备和可用的理论足以支持构造我们真正称谓的“智能”机器吗？为什么？如果你认为当前的 AI 技术不充分，至少回答下面的一个问题，给出你的答案证据：

- 1) 需要实质性增加新的理论和思想吗？如果需要，在什么领域？
- 2) 我们仅仅需要更大和更快（也许还要更多的并行）的计算机吗？
- 3) AI 研究在走不合适的路吗？需要全新的方法吗？如果这样，AI 研究应该把重点放在哪里？
- 4) AI 的长期研究目标在原理上是不可能的吗？

### 25.3 既然你已经研究了 AI 中的很多重要思想，回到第 1 章做习题 1.5，评论一下强 AI 与弱 AI（没有“正确”“答案”，但有一些有说服力的答案）。