



多智能体 原理与技术

[加]Jiming Liu 著
靳小龙 张世武 [加]Jiming Liu 译

AUTONOMOUS
AGENTS AND
MULTI-AGENT
SYSTEMS

*Explorations in Learning,
Self-Organization and
Adaptive Computation*



清华大学出版社



多智能体

原理与技术

[加]Jiming Liu 著

靳小龙 张世武 [加]Jiming Liu 译

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书旨在介绍自治智能体与多智能体系统研究领域的理论和计算基础,并深入讨论开发各种基于智能体的系统的实用方法。全书分为7章,分别介绍智能体的概念,行为建模、规划与学习,合成的自治,分布式计算的动力性,智能体系统中自组织的自治,自治计算,自治计算的动力性与复杂性。

这本书可作为各类高等学校计算机科学与技术专业及相关专业的研究生教材,也可供有关研究人员与工程师参考。

多智能体原理与技术

Jiming Liu: Autonomous Agents and Multi-Agent Systems: Explorations in Learning, Self-Organization and Adaptive Computation

EISBN: 981-02-4282-4

Copyright © 2001 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Authorized translation from the English language edition published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

All rights reserved. This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan).

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2002-4364

本书中文简体字版由 World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 授权清华大学出版社在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)出版发行。未经出版者书面许可,任何人不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

多智能体原理与技术/[加]Jiming Liu 著;靳小龙,张世武,[加]Jiming Liu 译. —北京:清华大学出版社,2003
书名原文:Autonomous Agents and Multi-Agent Systems: Explorations in Learning, Self-Organization and Adaptive Computation

ISBN 7-302-06902-6

I. 多… II. ①J… ②靳… ③张… ④J… III. 自组织系统 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 058992 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 赵彤伟

文稿编辑: 王冰飞

封面设计: 常雪影

版式设计: 刘祯森

印 刷 者: 北京昌平环球印刷厂

装 订 者: 北京国马印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印 张: 12 字 数: 245 千字

版 次: 2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06902-6/TP·5112

印 数: 1~4000

定 价: 30.00 元

前言

Discovery consists in seeing what everyone else has seen and thinking what no one else has thought.

Albert Szent-Gyorgi, 1937 Nobel Prize in Physiology and Medicine.

自治智能体是具有自治性的计算实体。自治性使得智能体具有存活于它们的环境并享受其存在的独特能力。人类、人类社会、健康的经济、成功的组织以及生物有机体都具有这种特性。这种特性可以认为是理所当然的(take for granted)。

与本书的姊妹篇《多智能体模型与实验》比较而言,本书的目的在于:(1)介绍自治智能体与多智能体研究领域的相关工作,特别是其理论与计算基础;(2)深入讨论开发各种基于智能体的系统(比如,自治机器人、集体视觉与运动、自治的动画、搜索与分区智能体等)的实用方法。这些方法的核心在于基于行为自组织的自治性的合成与隐现。本书将着重研究自治计算中涉及的许多重要问题,包括体系结构、学习、适应性、动力性以及复杂性。

本书分为7章。

第1章阐述了自治智能体开发的计算模型与技术问题,包括智能体的动作选择、适应、进化、自组织、学习以及结构。在突出近期研究的一些重要结果的同时,还指出需要继续研究的方向。

第2章给出了一个机器人操作策略的自动规划中智能体行为建模、规划与学习的例子。本章着眼于一些潜在的研究课题,比如如何计算地建模并合成行为规划。

第3章验证了行为自组织在建立合成的自治方面的作用,特别是行为获取的潜在算法与具体结构。本章描述了一个已经实现的智能体,它在与虚拟环境进行交互的同时学习一系列参数化的运动行为。

第4章所关注的是分布式计算的动力性。本章讨论了下面两个方面的内容:(1)如何通过分布式智能体作为对其局部环境的反应的繁殖行为来处理一些任务;(2)如何基于动力系统模型构建智能体的

行为库。

第5章介绍多智能体系统中自组织自治的概念。本章将具体研究如何实现在一个二维搜索空间找到一些预定义的目标位置的集体行为。

第6章着眼于自治计算的适应性与自组织。在提供表示与算法细节的同时,本章还通过几个图像分区的示例研究来演示新的计算范例。在示例研究中,自治智能体作用于给定图像的单个像素,并执行一些反应式的行为反应。作为行为反应的一部分,智能体自我复制与发散的方向是从它们高适应度的前代或同代智能体继承而来的。

第7章阐述了自治计算的动力性与复杂性。本章给出了几个动力模型的示例,示例中的自治智能体试图去检索一些图像特征,比如:边、边界以及复杂的曲线等。

本书面向两类读者群体。一类是计算机科学与工程学科的学生,他们可以用本书来学习如何运用智能体模型与自治计算技术解决一些实际问题。另一类是计算机研究人员、工程师以及初学者,他们可以用本书介绍的知识解决开发智能系统或自治系统时所遇到的问题。

[加] Jiming Liu

2001年夏天

译者序

智能体(agent)这个概念来源于人们对人工智能的认识:人工智能的最终目标就是要实现具有智能的能够代替人类来处理事务的“代理”。正因为此,所以在智能体研究的早期阶段,人们对智能体的心智状态的研究投入了大量的精力。许多模型与理论相继产生,譬如,Cohen-Levesque 的 BDI 模型、Rao-Georgeff 的 BDI 模型等。但是,随着对智能体研究的深入,人们对智能体的认识已经广泛化了。智能体已经变成了一种描述复杂现象、研究复杂系统、实现复杂自适应性计算的方法。

自然界广泛存在着这样一类系统,其中涉及大量的,甚至是无穷多的个体,每个个体都是自治的,而且具有各自或相同或不同的行为规则,个体之间通过某种手段进行直接或间接的交互。这类系统不依赖于某些外来的控制而存在,并且可以通过个体之间或个体与环境之间的交互而隐现出个体层面上不可预见的宏观行为。这类系统通常称为复杂系统。人类社会、生态系统、股票市场是几个典型的例子。传统的复杂系统研究方法往往用某些纯数学的手段,譬如,微分方程,来宏观地刻画该类系统,这种自上而下的方法对复杂系统初期的研究做出了重要的贡献。但是,通过对复杂系统的深入研究,人们发现只从宏观上刻画复杂系统是很不够的。这种自上而下的方法将复杂系统中所有个体都看作是同类的(homogenous)并因此而忽略了个体的局部特征,所以使得该方法并不能刻画一些细节的局部的行为。为此,一类自底向上的方法应运而生。在这些方法中,智能体扮演着重要的角色。

与自上而下的方法不同,基于智能体的复杂系统研究首先根据所要研究的系统或现象定义单个的智能体,给予其一定的行为和参数,然后定义智能体之间以及智能体与其环境之间的交互规则。通过智能体之间的交互而模拟所要刻画的系统或现象。自从该方法产生以来,它已经得到了很成功的应用。比如,蚁群系统(Ant Colony System)、粒子群系统(Particle Swarm System)、元胞自动机(Cellular Automata)、人工神经网络(Artificial Neural Network)等。

译者序

目前,我国学者侧重于对智能体心智状态理论的研究以及基于智能体的应用系统模型的构建。对这种复杂系统研究方法本身以及智能体在复杂系统研究中的作用的研究并不多,而且专门介绍智能体的书籍也寥寥无几。

本书的英文版《Autonomous Agents and Multi-Agent Systems: Explorations in Learning, Self-Organization and Adaptive Computation》自从出版以来得到了智能体与多智能体研究领域的很大关注。被评为 World Scientific Publishing 出版社 2001 年度最畅销的书籍之一。而且收录于哈佛大学、斯坦福大学等著名大学的图书馆中。鉴于本书英文版的巨大影响,我们决定将其翻译为中文版,以便我国学者与研究人员参考使用。

作为智能体研究的专著,本书首先给出了对智能体的一般性定义,然后重点介绍了智能体与多智能体系统研究的理论基础,其中包括智能体的计算结构,智能体的行为建模、规划与学习,分布式计算的动力性,以及基于智能体的自治计算等。此外还依据具体的应用背景详细介绍了几种典型的智能体计算模型。

值得一提的是,本书还有一本姊妹篇《多智能体模型与实验》(由 Jiming Liu 教授与译者以及吴建兵博士合著)。该书主要通过基于智能机器人的实验介绍了智能体个体、智能体群,以及多智能体系统的一些重要的模型。

由于译者水平有限,所以难免有误译之处。敬请读者以及 Jiming Liu 教授指正。

译者
2003 年秋

目录

第 1 章 简介	1
1.1 智能体的定义	1
1.2 基本概念与问题	2
1.3 学习	2
1.3.1 自然与人工系统中的学习	3
1.3.2 智能体学习	4
1.4 神经智能体	7
1.4.1 自组织图	8
1.4.2 自组织图的应用	8
1.5 进化智能体	9
1.6 合作式智能体中的学习	10
1.7 计算结构	11
1.7.1 行为包含结构	11
1.7.2 动作选择结构	12
1.7.3 复合基体结构	13
1.8 智能体的行为学习	17
1.8.1 学习智能体的行为	17
1.8.2 行为学习	17
第 2 章 行为建模、规划与学习	19
2.1 操作行为	19
2.2 操作行为的建模与规划	20
2.2.1 面向状态的表达	20
2.2.2 状态转移函数	21
2.2.3 基于动作方案的行为规划	22
2.3 操作行为的学习	26
2.3.1 状态转移的自动归纳	26
2.3.2 经验学习样本的生成	28
2.4 总结	32

2.5	其他建模、规划与学习方法	32
2.5.1	人工势能场	32
2.5.2	人工神经网络	34
2.5.3	APF 和 ANN 的相似与区别	35
2.5.4	APF 与 ANN 的关系	38
2.5.5	小结	40
2.6	其他相关研究与背景	40
2.6.1	装配操作规划	40
2.6.2	AI 规划	41
2.6.3	操纵行为规划	41
第 3 章	合成的自治	43
3.1	基于行为自组织的合成自治	43
3.2	行为自组织	45
3.2.1	概述	45
3.2.2	虚拟运动员智能体	48
3.3	总结	62
3.4	其他相关研究与背景	62
3.4.1	关节人物动画	62
3.4.2	类生命行为	63
3.4.3	隐现行为	64
第 4 章	分布式计算的动力性	65
4.1	术语与定义	66
4.2	方法概述	67
4.2.1	智能体的局部激励	67
4.2.2	分布式智能体的反应行为	68
4.3	基于智能体的分布式搜索的动力性	70
4.3.1	动力系统模型	70
4.3.2	具有不同动态行为的智能体	73
4.3.3	基于智能体的分布式计算小结	80
4.4	评论	81

4.4.1	动力系统建模	81
4.4.2	智能体的准自治	82
4.4.3	基于智能体方法的特点	82
4.4.4	智能体的目标可达性	83
4.5	总结	83
4.5.1	待解决的问题	83
4.5.2	扩充	84
4.6	其他相关研究	84
第5章	智能体系统中自组织的自治	85
5.1	集体视觉与运动	85
5.2	图像特征检测与跟踪中自组织的视觉	86
5.2.1	自组织的视觉	86
5.2.2	二维的网格环境	87
5.2.3	二维网格中的局部激励	87
5.2.4	自组织行为	87
5.2.5	复制与扩散(R-D)算法	89
5.2.6	应用实例	90
5.3	群体机器人自组织的运动	92
5.3.1	群体导航与回归任务	92
5.3.2	多智能体系统概述	93
5.3.3	基于局部记忆的行为选择与基于全局性能的行为学习	95
5.3.4	不同智能体组的动力性	96
5.3.5	应用实例	98
5.3.6	评论	106
5.4	总结	107
5.5	其他相关研究与背景	108
5.5.1	元胞自动机	108
5.5.2	群体机器人中的学习	108
第6章	自治计算	109
6.1	术语与定义	110

6.2	基于适应性自组织行为的智能体	110
6.2.1	概述	110
6.2.2	智能体的适应性自组织行为	111
6.2.3	智能体的收敛	114
6.3	智能体的一般特性	115
6.4	适应性的复制与扩散(aR-D)算法	115
6.5	应用实例	116
6.6	计算成本	125
6.7	与传统分割方法的比较	127
6.8	基于智能体的搜索中行为特征的效果	128
6.9	影响智能体计算的参数	130
6.10	自治智能体的动力性	131
6.10.1	对智能体动力性的理解	132
6.10.2	智能体动力性的连续模型	132
6.10.3	智能体动力性模型的推导	133
6.11	学习与进化之间的平衡	133
6.12	总结	134
6.13	其他相关研究与背景	135
6.13.1	特征提取	135
6.13.2	分割	135
第7章	自治计算的动力性与复杂性	137
7.1	分散式智能体的行为	138
7.2	目标可达性	138
7.2.1	E 中的目标可达性(其中 $\dim E=1$)	138
7.2.2	E 中的目标可达性(其中 $\dim E=2$)	139
7.2.3	行为参数对目标可达性的影响	140
7.3	群体的动力性	142
7.3.1	E 中的群体动力性(其中 $\dim E=1$)	142
7.3.2	E 中的群体动力性(其中 $\dim E=2$)	145
7.4	应用实例	149
7.5	自治计算的复杂性	153

7.5.1 背景知识	153
7.5.2 环境的复杂性	154
7.5.3 应用实例	154
7.6 总结	160
7.7 其他相关研究	160
参考文献	161
索引	175

第 1 章

简 介

But what I see—those quiet, twinkling points of lights—is *not all the beauty there is*. Should I stare lovingly at a single leaf and willingly remain ignorant of the forest? Should I be satisfied to watch the sun glinting off a single pebble and scorn any knowledge of a beach?

Isaac Asimov, ‘Science and Beauty’, *The Roving Mind*,
Prometheus Books, 1983.

本章概述了开发能够学习行为并适应复杂任务环境的智能体的方法。在回顾了行为学习、进化计算以及行为自组织与选择结构的进展之后,本章详细地介绍了一些通用的智能体技术,比如基于强化理论的智能体学习、自组织图和遗传算法等。本章还提供了后面章节中的应用实例所需要的背景知识。

1.1 智能体的定义

从广义上理解,智能体的概念涵盖了许多不同的计算实体,这些实体能够感知环境并作用于环境。由于基于智能体的方法具有自治性、适应性、稳健性,而且易于实现,所以对那些结构性不好或者定义不明确的任务有很大的优势。这是因为在这些任务中用完全数学的或计算的方法可能无法实现或者代价太高。智能体可以是物理实体,比如在笛卡儿任务环境中可以合作地操作目标物体,并将它们由一个位置移到另一个位置的机器人系统^[1~2];智能体也可以是计算代码,例如优化智能体,它们可以协同地检验某些数值并有效地将大的搜索空间缩小到可以实现的一系列小空间^[3]。举例来说,蚂蚁智能体已经应用在通信网络中来完成负载平衡的任务^[4]。其他智能体的实例还有个人软件助理,可以用来在数据与知识任务中搜索、过滤并分析信息。

无论智能体应用在何种领域,有一点是相同的,即在解决问题的过程中,智能体与任务空间中进行局部的物理上或计算上的交互。在对从其任务空间接收到的不同局部约束作出反应时,智能体可以选择并展示不同的行为模式。例如,在机器人操作中,机器人的

行为模式与它们在笛卡儿空间的局部运动直接相关。在优化或搜索中,智能体的行为模式反映在它们对搜索方向与需要多大程度的局部化搜索的决定上。智能体的行为模式可以预定义,也可以在智能体与环境交互的过程中在满足一定的条件后激发,或者基于内置学习机制来动态地学习。

自治智能体(autonomous agent)经常用来解决分布式的、涉及多个不同能力的智能体的任务。这些智能体要协作、合作,甚至有时要彼此进行竞争,从而以最有效的方式完成给定的任务。Singh^[5]提出了对多智能体系统(multi-agent system)中智能体的意图、技能以及通信进行建模的理论框架。Barbuceanu 与 Fox^[6]通过实验演示了如何把通信动作、对话以及决策理论整合在一起来实现多智能体的协作。

1.2 基本概念与问题

在基于智能体的系统的开发中,很自然会产生这样的问题:智能体如何从其经验中学习?智能体或者智能体群如何动态地演化?多个智能体如何互相合作来实现共同的目标?什么样的结构在实现自主学习智能体中是有用的?如果研究清楚了以下几点,那么上面的问题就很容易回答了。

(1) 学习机制(learning mechanism)

学习机制是自治智能体基于来自其任务环境的性能反馈(奖励信号)而修正并归纳其行为的根本。基于一种内置的学习机制,智能体将不再局限于预定义的行为。它将能够适应动态变化的环境条件和新的要求。

(2) 进化机制(evolutionary mechanism)

进化机制给智能体提供一系列必需的操作,使其能够根据以前的经验来产生并调节行为规划模块、控制模块以及选择模块。有了进化能力之后,智能体就可以在执行任务和学习有效行为的过程中变得更加具有适应性和稳健性。

(3) 体系结构(architecture)

计算结构规定了智能体的行为模块、学习与进化模块以及相关的能力模块之间的组织。它决定了智能体的工作方式,其中包括不同模块之间的相互关系与通信。

1.3 学 习

本节首先概述不同的学习技术。本节准备回答的问题是:在自然系统和人工系统中,所谓学习一般能学到什么?在什么样的环境下,可以进行学习?智能体学习的目的是什么?实现这些目的有什么途径?在回答这些问题之后,本节将要讨论一种普遍应用的智能体学习技术,称为强化学习(reinforcement learning)。

1.3.1 自然与人工系统中的学习

本小节首先介绍两个系统,了解它们的共同特征。然后基于这些特征来讨论学习智能体的基本特征和要求,主要研究智能体试图解决什么类型的问题以及它们在处理其任务环境时应该执行什么类型的交互这两个问题。

1. Skinner 的鸽子系统

第一个例子是一个生物系统——鸽子系统。这个系统是 Skinner 和他的同事在 20 世纪 40 年代与 General Mills 公司合作承担的研究项目^[7]。该项目的目标是设计、开发并测试一个完全由几只鸽子所控制的导航系统。在他们所设计的鸽子导航系统中,每只鸽子都关在一个压力舱内。鸽子可以啄图像盘上的目标区域。导航系统工作原理为:当导航系统聚焦于目标(即目标区在图像中间)并且鸽子正确地啄到该区域时,所有位于盘子边缘的弹道控制阀释放等量的空气,因此伺服系统保持在中间位置。当目标图像离开中心,这意味着目标与系统之间有了一个角度差,而鸽子又一次正确地啄到目标区域,一边的弹道控制阀会比另一边的释放更多的气体,这样伺服系统会进行相应的角度调整。在导航系统的实际控制中,目标位置的调整以及角度调整是根据 3 只鸽子的动作投票作出的。少数派的鸽子会因为它们的行为而受到惩罚,因此会转移到多数派中。在进行实际的实时控制任务之前,会先用特定的强化装置对鸽子进行训练。在训练中,正确的啄行为会通过提供奖励(比如,谷子)来强化,而错误的行为会通过拿走谷子来惩罚。就像 Skinner 想象的一样,通过这种手段,可以训练一些鸟来完成某些类型的任务。在这个例子中可以注意到,在控制过程中,每只鸽子均独立完成自己的工作,没有进行相互沟通。通过进行初始的训练和工作中的强化,3 只鸽子可以成功地将系统导向目标。本质上,该系统是分布式的,通过一些全局评价的反馈,作为个体的每只鸽子都会被逐渐训练成为其局部环境中的任务专家。

2. 受生物启发的行走式机器人

在上面介绍的导航系统中,鸽子实际上是在执行对设备的角位置控制。如果再仔细考虑该例子,人们自然会想是否可以将学习和应用行动控制的基本原理与生物组织中的反射相结合来开发学习机器人,使得机器人或多或少地能够像鸽子那样工作。这正是 Beer 和他在 Case Western Reserve 大学的小组所研究的问题。Beer 对如何开发一种可以在自然地形上行走的机器人很感兴趣,他利用了一种叫作受生物启发的机器人方法。在这种方法中,正如 Beer 他们所演示的那样,机器人的运动控制分布在不同的模块上,例如机器人的腿。每条腿都用一个局部的传感器——马达控制电路来控制。通过正确连接控制电路(例如,禁止确定步速(pace-making)与行走(stepping)同时进行),就可以很容易

地实现一些基本的行走运动,包括摆动和站立等。

除了结合分布式控制原理之外,Beer 他们的机器人还配备了一组腿的反射,用来跨越障碍,伸展到某个高度,以及寻找立足点。在这个过程中,机器人具有一定的灵活性,例如使用机械弹簧的被动柔量(passive compliance),利用关节刚性控制和各腿上的负载分布的主动柔量(active compliance)。有了这种能力,机器人可以在行走过程中补偿任何机械扰动,即使在缺少一条腿的情况下也可以如此。

1.3.2 智能体学习

下面概述几种与动态变化的不可预测的环境进行交互的自治机器人的学习技术。智能体的学习技术可以根据下面的因素来进行分类:(1)学习目的;(2)智能体的作用;(3)学习的触发机制。从广义上讲,可以把学习分为两类,即学习某个事物是真是假的信念和相对于某个输出标准来评价某个动作方案是否有效。前者更加主观,更加具有判断性,而且很大程度上依赖于不同的证据来源。现实中存在很多证据收集方法,有些是目标驱动的,以定理证明的方式实现。而其他的倾向于由兴趣所驱动,以等待-观察的方式实现。下面的几节中将概述学习某个信念的不同方法。

1. 智能体信念的开发与更新

智能体信念的开发与更新主要和智能体通过相互作用来了解并理解外部世界有关。智能体在产生和更新内部知识状态时发挥着以下的两个或其中一个作用:(1)主动式学习;(2)反应式学习。

(1) 主动式学习(active learning)

主动式学习包含了自治智能体在推出一个结论或规划,以及归纳所收集到的数据时的所有活动。

① 目标分解方法(goal decomposition approach)/演绎方法(deductive approach):该方法的关键在于运用逻辑推理的方法来得出严格的结论(例如,解释)时的形式化的定理证明。它有一个潜在的假设,即每个观察和经验都可以形式化地表达,而且可以加入到演绎推理中,而不考虑知识的不确定性和不一致性(尽管非单调形式已经在某种程度上放松了这种要求)。这些假设使得该方法脱离了现实应用。另外,该方法具有高度计算复杂性的局限。

② 经验或归纳学习(experiential or inductive learning):该方法依赖于所收集到的具有潜在通用规则的实例的数据样本。与上面所提到的演绎方法一样,该方法在逻辑上是合理的。类似地,它假定理解外部世界主要是一个形式合理化的问题。

该方法在一些明确定义的领域中是有效的。在这些领域中,事实用一些一般化的表达式来描述。

③ 概率学习(probabilistic learning): 概率学习方法的哲学原理是自治智能体能够通过取样或者观察外部环境的动态变化而进行学习。从观察中得到的实验数据可以用来预测现实本身。该方法将信念或知识看作事件的概率。因此,一个事物为真的信念可以看作它能够被观察为真的概率。概率学习的主要基础是贝叶斯定律,即一个事件的后验概率由该事件的先验概率以及该事件的可能性所决定。

这种方法降低了前两种方法的假设,因为在这里,信念不必非真即假,它可以是不同程度的真。该方法的难点在于不同事件之间的相互依赖明显地使计算复杂化,而且经验数据样本可能不足以产生一个有效的预测。

(2) 反应式学习(reactive learning)

前一节回顾了智能体可以积极地表达并推理所观测到的证据的一些有用的学习方法。在学习中,这些证据的使用因学习方法的原理的不同而不同。本节阐述智能体在学习或更新信念过程中的另外一个重要作用。该作用本质上是被动的,并且没有任何关于观察什么和学习什么的明确描述。实际上,前面阐述的方法可以看作是基于表达的,而下面要研究的方法则是基于机制的。

① 连通方法(connectionistic approach): 该方法受到人类神经网络学习的启发。它依赖于一种几个相互连接且分层的计算节点机制,该机制可以逐渐地学习(计算)一个从输入数据样本到输出数据样本的映射。

② 事件学习(accidental learning): 该方法可以描述如下,一个智能体具有对学习兴趣进行优先次序排序的机制,而且始终监视某些事件的发生。智能体的兴趣用作选择和准备学习材料的指导原则。智能体不会明确地搜索事件。事件学习方法作为智能体一种后台的时间共享的任务来工作。

如果遇到相关事件,智能体就将观察保存到记忆堆栈中,然后继续进行观察。累积的事件经历将会随着事件学习的进行而更新或精练。

③ 随大流学习(go-with-the-flow learning): 该方法中,智能体依赖于其他智能体的影响。即如果其他智能体已经学得一个信念,那么这个智能体也会接受它。智能体避免完全独立地作出任何重要的信念更新。

④ 多路信道或切换(channel multiplexing or switching): 在这种方法中,一个智能体通过同时打开几个信息通道来学习。一些信息可以比其他信息来得频繁,那么智能体将这些信道信息统一为一个单一的频率来比较并概括。

⑤ 选购方法(shopping around approach): 在这种方法中,智能体收听不同的通道以得到其他智能体的知识,并将相关信息存入堆栈,然后逐渐精练这些收集到的知识。该方法实际上是前3种方法的一个综合。