

第一章 人工智能概述

从 1946 年美国数学家麦卡锡 (J·W·McCarthy) 和研究生埃克特 (J·D·Eckert) 合作 , 研制成功世界上第一台通用电子数字计算机 ENIAC 以来 , 计算机作为一门学科得到了迅速发展。其理论研究和实际应用的深度和广度 , 是其他学科所无法比拟的。可以说 , 计算机的诞生和发展是本世纪科学技术最伟大的成就之一 , 对推动科学技术和社会的进步起到了巨大的作用。

探索能够计算、推理和思维的智能机器 , 是人们多年梦寐以求的理想。由于在理论上控制论、信息论、系统论、计算机科学、神经生理学、心理学、数学和哲学等多学科的发展和互相渗透 , 在技术上电子数字计算机的出现、发展和广泛的应用 , 人工智能 (Artificial Intelligence, 简称为 AI) 的研究应运而生了。人工智能作为一门正在发展的综合性边缘学科 , 与原子能技术和空间技术一起被称为本世纪的三大科学技术成就。五十多年来 , 人工智能的理论研究和实际应用均得到迅速的发展。

第一节 人工智能概况

一、什么是人工智能

要想给人工智能作出一个如同数学定义那样严格的科学定义是件困难的事情。直到现在 , 到底 “ 什么是人工智能 ? ” 仍然是学术界争论不休的问题 , 还没有一个被一致接受的论述。尽管如此 , 我们还是从不同的角度向读者介绍几种有影响的说法。

斯坦福大学人工智能研究中心的尼尔逊 (N·J·Nilsson) 教授从处理的对象出发 , 认为 “ 人工智能是关于知识的科学 , 即怎样表示知识、怎样获取知识和怎样使用知识的科学 ” 。麻省理工学院温斯顿 (P·H·Winston) 教授则认为 “ 人工智能就是研究如何使计算机去做过去只有人才能做的富有智能的工作 ” 。斯坦福大学费根鲍姆 (E·A·Feigenbaum) 教授从知识工程的角度出发 , 认为 “ 人工智能是一个知识信息处理系统 ” 。

总之 , 人工智能是一门综合性的边缘学科。它借助于计算机建造智能系统 , 完成诸如模式识别、自然语言理解、程序自动设计、定理自动证明、机器人、专家系统等智能活动。它的最终目标是构造智能机。

二、什么是智能

什么是智能 ? 什么样的行为称得上是智能行为 ? 这两个问题如同 “ 什么是人工智能 ? ” 一样 , 至今在学术界仍然没有达到共识。

具有权威性的字典对智能给出如下的定义 :

1. 通过适当的行为调整，成功地满足各种新的状况的能力；
2. 以导致所希望目标的方式来理解现有事实间的相互关系。

第一种定义反映了智能的学习能力，第二种定义描述了智能的面向目标、问题求解和理解等几方面的属性。

通常，人们认为智能是在客观世界中解决实际问题的能力，而具备这种能力至少需要下面几个方面的知识。

1. 关于客观世界中的诸多背景知识，包括历史资料和现实状况；
2. 能对所掌握的知识进行分析、选择、归纳和总结的知识；
3. 解决问题所需的策略、决策和预测的知识；
4. 问题本身所包含的专门知识。

如果计算机系统掌握了上述知识，具有一定解决问题的能力之后，就可认为该系统具有智能了。

为现代人工智能产生作出卓越贡献的英国天才数学家图灵（A·M·Turing）1950年提出了著名的图灵试验，对智能标准作了明确的定义。

图灵试验由计算机、被测试的人和主持试验的人组成。计算机和被测试的人分别在两个不同的房间内。测试过程由主持人提出问题，由计算机和被测试人分别回答。被测试人回答问题时尽可能地表明他是“真正的”人，计算机也尽可能逼真地模仿人的思维方式和思维过程。如果试验主持人听取对问题的回答后，分辨不清哪个是人回答的，哪个是计算机回答的，则可以认为被测试计算机是有智能的。

图灵试验虽然形象描绘了计算机智能和人类智能的模拟关系，但是图灵试验至少有下面三个问题是值得商榷的：

1. 试验主持人提出问题的标准，在试验中没有明确给出。也就是说，试验没有给出应该用什么样的问题进行提问，才能说明机器具有智能。
2. 被测试人本身所具有的智力问题，图灵试验也疏忽了。试验中没有说明被测试人是正常人还是智力残缺的人；是成年人还是小孩；是受过教育的人还是文盲。
3. 图灵试验仅强调试验的结果，而没有反映智能所具有的思维过程。

李耐特（D·B·Lenat）和费根鲍姆在1991年发表的论文《知识阈值理论》（On the thresholds of knowledge）中明确给出了智能的定义。他们认为智能是在一个巨大的搜索空间中寻找满意解的能力，这个巨大的搜索空间是由知识库所定义的知识空间。

李耐特和费根鲍姆认为智能不能离开知识，有了知识才谈得上智能。另外，他们还认为知识库中需要采取显式方式表示知识，只有显式表示的知识才能在知识库中发挥效力。这一论述区分了智能和本能（条件反射和非条件反射）的差别。他们认为智能活动需要通过知识进行搜索，寻求满意解来实现，它并不是简单的刺激反应过程。

1976年尼尔逊提出了物理符号系统假设。假设指出所有的智能行为都等价于一物理符号系统。此物理符号系统由一个符号集组成，每个符号都是一个物理实体，若干符号可以按某种物理方法关联起来形成一个符号结构。另外，系统还含有一组作用在符号结构上以便生成其他符号结构的过程。

由此可见，尼尔逊的物理符号系统假设所描述的智能就是一个生成某些符号结构的自动机。它包括建立过程、修改过程、复制过程和消除过程等功能。

日本著名人工智能专家渡边慧教授认为：人类智能主要体现在演绎能力和归纳能力。如果

计算机具有这种能力就是有智能了。

目前关于什么是智能，什么是智能活动，仍然处于“各抒己见、众说纷纭”的阶段，人们还不能够准确地揭示其本质。这也许正是人工智能工作者锲而不舍的一个重要原因。

我们认为：如果计算机系统具有学习能力，能够对某领域的有关问题给出正确的结论或者有用的建议，而其中所使用的手段和方法（诸如学习、发现、推理、决策等）与人相似，并且能够解释系统的智能活动过程，那么，可以认为此计算机系统具有智能了。

第二节 人工智能的研究途径

由于对人工智能本质的不同理解，形成了人工智能多种不同的研究途径，主要是符号主义 (Symbolism) 和联接主义 (Connectionism) 途径。

以认知心理学派为代表的符号主义认为：人类智能的基本元素是符号，人类的认识过程就是一种符号处理过程，思维就是符号的计算。也就是说，人类的认识和思维都是可以形式化的。人类使用的自然语言本身就是用符号来表示的，人类的许多思维活动如决策、设计、规划、运筹、诊断都可以用自然语言来描述，因而也就可以用符号表示了。

符号主义的理论基础是物理符号系统假设。许多成功的专家系统、自然语言理解系统都是基于这种观点研制的。

作为通用智能基础的 Soar 系统是符号主义者的杰作，它试图通过提供一个思维模拟的工具，来促进我们对人类智能的认识。Soar 系统的理论基础是智能行为的基础为物理符号系统。Soar 系统的结构是层次结构：记忆层 (memory level)，决策层 (decision level) 和目标层 (goal level)。

记忆层位于系统的最底层，在这个层发生的活动就是知识的存储，符号的存取，即通过符号引出的知识是可以重新得到的。决策层实现知识的编码，并完成大部分初级操作。目标层的任务是建立目标，并通过决策序列达到目标。

人工智能的另一个研究途径是联接主义，即人工神经网络。联接主义根据对人脑的研究，认为人类智能的基本单元是神经元，人类的认知过程就是网络中大量神经元的整体活动。这种活动不是串行方式，而是以并行分布方式进行的。区别于符号主义，人工神经网络中不存在符号的运算。

人工神经网络的研究可以追溯到 40 年代 1943 年美国心理学家 Mcculloch 和数理逻辑学家 Pittis 在《数学生物物理》杂志上发表了一篇有关神经网络数学模型的文章。该模型被称为 M-P 模型。

1949 年心理学家海勃 (D·D·Hebb) 提出了突触联接强度可变的假设。假设认为：学习过程最终发生在神经元之间的突触部位，突触的联接强度随突触前后神经元的活动而变化。即若神经元 a 接收另一神经元 b 来的输入，那么当这两个神经元都猛烈活动时，从 a 到 b 的联结权就增大。此假设被称为 Hebb 学习律，它为神经网络的学习算法奠定了基础。

50 年代及 60 年代初期，一群研究人员结合生物学和心理学研究的成果，开发出一批神经网络，开始用电子线路实现，后来较多的是用更灵活的计算机进行模拟。如 1957 年罗圣勃莱特 (F·Rosenblatt) 的感知机。它第一次将神经网络研究从纯理论付诸于物理实施。1960 年威丘 (B·Widrow) 提出了自适应线性元件的概念。这是一个连续取值的线性网络，用于自适应系统。

神经网络研究高潮的标志是美国加州工学院的物理学家霍普菲尔特(J·Hopfield)于1982年和1984年发表的两篇文章。文章提出的人工神经网络模型被称为Hopfield神经网络。

1984年黑顿(J·Hinton)等人提出了一种可行的算法,称为玻兹曼(Boltzmann)模型。由于Boltzmann机的结构非常简单,容易硬件化,人们利用模拟电路的噪声来模拟退火,引入一个全局性的随机参数,可以使网络的状态变量从局部极小过渡到全局的稳定点。

1986年拉孟哈特(D·E·Rumelhart)和麦克里兰德(J·L·McClelland)提出了PDP(Paralleled Distributed Processing)理论,试图探讨人类认识过程的微观结构,同时也提出了多层神经网络的误差反传(BP)算法。基于BP算法的多层神经网络是当代应用最为广泛的神经网络之一。

1988年美国加州大学蔡少堂(L·O·Chua)等人提出了细胞神经网络模型。这是一个大规模非线性模拟系统,同时具有细胞自动机的动力特征。此模型用于图像处理取得了良好的效果。

应该指出的是,虽然经过众多科学家坚持不懈的努力,在神经网络研究中取得了大量成果,但是由于神经网络研究的复杂性,目前还是处于基础性的研究阶段,还有待于数学家、物理学家、微电子学家、生物学家、心理学家、控制理论学家和计算机科学家们共同努力,进行更加艰苦卓越的研究工作。

第三节 人工智能的研究目标

人工智能的研究目标可划分为近期目标和远期目标两个阶段。

人工智能近期目标的中心任务是研究如何使计算机去做那些过去只有靠人的智力才能完成的工作。根据这个近期目标,人工智能作为计算机科学的一个重要学科,主要研究依赖于现有计算机去模拟人类某些智力行为的基本理论、基本技术和基本方法。五十多年来,虽然人工智能在理论探讨和实际应用上都取得了不少成果,但是仍有不尽人意之处。尽管在发展的过程中,人工智能受到过重重阻力,而且曾陷于困境,但它仍然在艰难地向前发展着。

探讨智能的基本机理,研究如何利用自动机去模拟人的某些思维过程和智能行为,最终造出智能机器,这可以作为人工智能的远期目标。

这里所说的自动机并非常规的计算机。因为现有常规计算机属冯·诺依曼(J·Von Neumann)体系结构,它的出现并非为人工智能而设计。常规计算机以处理数据世界中的问题为对象,而人工智能所面临的是事实世界和知识世界。智能机器将以事实世界和知识世界的问题求解为目标,面向它本身处理的对象和对象的处理过程而重新构造。人工智能研究的远期目标的实体是智能机器,这种机器能够在现实世界中模拟人类的思维行为,高效率地解决问题。

从研究的内容出发,李艾特和费根鲍姆提出了人工智能的九个最终目标:

1. 理解人类的认识 此目标研究人如何进行思维,而不是研究机器如何工作。要尽量深入了解人的记忆、问题求解能力、学习的能力和一般的决策等过程。

2. 有效的自动化 此目标是在需要智能的各种任务上用机器取代人,其结果是要建造执行起来和人一样好的程序。

3. 有效的智能拓展 此目标是建造思维上的弥补物,有助于使我们的思维更富有成效、更快、更深刻、更清晰。

4. 超人的智力 此目标是建造超过人的性能的程序。如果越过这一知识阈值,就可以导

致进一步的增殖，如制造行业上的革新、理论上的突破、超人的教师和非凡的研究人员等。

5. 通用问题求解 此目标的研究可以使程序能够解决或至少能够尝试其范围之外的一系列问题，包括过去从未听说过的领域。

6. 连贯性交谈 此目标类似于图灵测试，它可以令人满意地与人交谈。交谈使用完整的句子，而句子是用某一种人类的语言。

7. 自治 此目标是一系统，它能够主动地在现实世界中完成任务。它与下列情况形成对比：仅在某一抽象的空间作规划，在一个模拟世界中执行，建议人去做某种事情。该目标的思想是：现实世界永远比我们的模型要复杂得多，因此它才成为测试所谓智能程序的唯一公正的手段。

8. 学习 该目标是建造一个程序，它能够选择收集什么数据和如何收集数据，然后再进行数据的收集工作。学习是将经验进行概括，成为有用的观念、方法、启发性知识，并能以类似方式进行推理。

9. 储存信息 此目标就是要储存大量的知识，系统要有一个类似于正文百科词典式的，包含广泛范围知识的知识库。

总之，无论是人工智能研究的近期目标，还是远期目标，摆在我们面前的任务异常艰巨，还有一段很长的路要走。在人工智能的基础理论和物理实现上，还有许多问题要解决。当然，仅仅只靠人工智能工作者是远远不行的，还应该聚集诸如心理学家、逻辑学家、数学家、哲学家、生物学家和计算机科学家等，依靠群体的共同努力，去实现人类梦想的“第二次知识革命”。

第四节. 人工智能的研究领域

在人工智能学科中，按照所研究的课题，研究的途径和采用的技术考虑，它所包括的研究领域有模式识别、问题求解、自然语言理解、自动定理证明、机器视觉、自动程序设计、专家系统、机器学习、机器人等。此处并不打算详细论述这些应用领域的相关理论和技术，而仅仅介绍这些领域研究所涉及到的一些基本概念和基本原理。目的是使读者对人工智能这门学科的研究领域能有一个总体了解，为后续章节的学习奠定基础。

一、模式识别(Pattern Recognition)

模式识别是人工智能最早研究的领域之一。它是利用计算机对物体、图像、语音、字符等信息模式进行自动识别的科学。

(一) 模式识别的过程

模式识别过程一般包括对待识别事物进行样本采集、信息的数字化、数据特征的提取、特征空间的压缩以及提供识别的准则等。此过程如图 1-1 所示。图中虚线下部是学习训练过程，上部是识别过程。

在学习的过程中，首先将已知的模式样本进行数值化，送入计算机，然后将这些数据进行分析，去掉对分类无效的或可能引起混淆的那些特征数据，尽量保留对分类判别有效的数值特征，这个过程亦称为特征选择。有时，还得采用某种变换技术，得出数量上比原来少的综合性特征（称为特征空间压缩，亦称为特征提取），然后再按设想的分类判别的数学模型进行分类，并

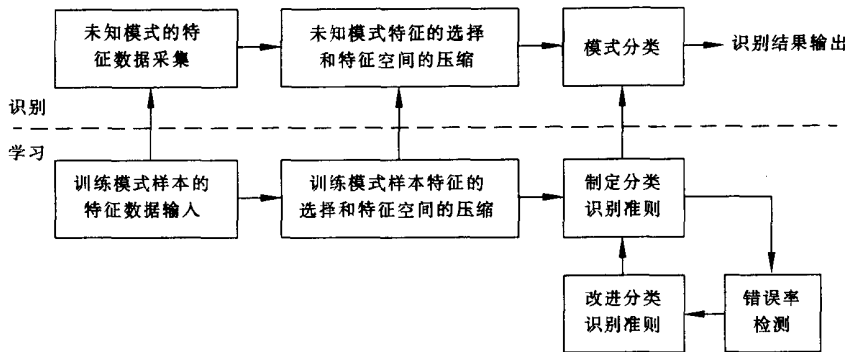


图 1-1 模式识别的过程

将分类结果与已知类别的输入模式进行对比，不断修改，制定出错误率最小的判别准则。

(二 模式识别的分类

模式识别常用的方法有统计决策法与句法方法，监督分类与非监督分类法和参数与非参数法等。

1. 统计决策法与句法方法

统计决策法利用概率统计的方法进行模式识别。它先对已知样本模式进行学习，通过样本特征建立起判别函数。当给定某一待分类模式特征后，看它落在特征超平面上判别函数的哪一侧，就可以判别它是属于哪个类别了。

句法方法也称为结构法。它把模式分解成若干个简单元素，然后用特殊文法规则描述这些元素之间的结构关系。不同的模式对应着不同的结构。例如图 1-2 所示的图片，现在对图片的结构作一描述。这种描述可采用树结构来实现，如图 1-3 所示。事实上，这种描述使用了形式语言的技巧。

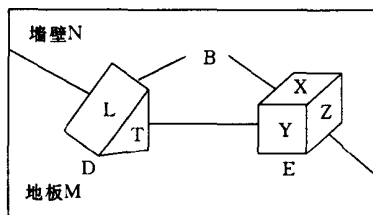


图 1-2 结构法示例

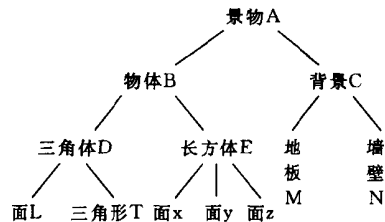


图 1-3 图片的树结构概述

句法方法适合于结构明显、噪声很少的模式识别。现已用于文字、染色体、指纹等的识别。

2. 监督分类与非监督分类

如果模式样本有 n 个特征，那么一个样本就构成了一个 n 维的特征向量，它在 n 维空间就对应一个点。所谓的分类问题就是把特征空间分割成对应于不同类别的互不相容的区域，每一个区域对应于一个特定的模式类，而不同类别之间的界面用“判别函数”来描述。

对于监督分类，需要根据样本的特征向量来确定判别函数，只有在判别函数确定之后，才能够用它对未知模式进行分类。同时，要知道待分类模式足够的先验知识。

在缺乏待分类模式的先验知识的情况下，就要采用非监督分类，即聚类分析。聚类分析方

法是用数学的方法分析各特征向量之间的距离及分散程度。有些特征向量可能聚集成若干个群，可以按各个群之间的距离远近进行分类。

聚类分析有两种基本方法，其一是分级聚类方法，其二是迭代最优化方法。无论采取哪种方法，重要的是选取合适的聚类准则和类间相似性的测度。聚类准则应是使类间相似度尽量小，而类内相似度尽量大。类间相似性的测度一般定义为两类样本之间的最小、最大距离或两类样本距离的某种统计量，有时还要考虑样本之间的近邻关系。

3. 参数与非参数法

参数法亦称为参数估计法。它是当模式样本的类概率密度函数的形式已知，或者从提供的作为设计分类器用的训练样本能估计出类概率密度函数的近似表达式的情况下使用的一种模式识别方法。例如，在多数情况下，类概率密度函数常常用正态分布来近似，即用正态分布的均值和协方差矩阵作为估计计算判别函数的参数。

参数估计中最常用的方法是最大贝叶斯估计和最大似然估计。

如果样本的数目太少，难以估计出概率密度函数，这时就要使用非参数估计法。

非参数估计方法常用的有 k -最近邻判定规则。其基本思想是直接按 k 个最近邻样本的不同类别分布，将未知类别的特征向量分类。

二、问题求解 (problem solving)

人工智能中的问题求解是指通过搜索的方法寻找问题求解操作的一个合适序列，以满足问题的要求。

问题求解的基本方法有状态空间法和问题归纳法。

问题求解的状态空间法可以描述为：

若定义 S 为被求解问题可能的初始状态的集合， F 为求解过程中可使用的操作的集合，而 G 为目标状态的集合，那么问题求解的过程则是在状态空间中寻找从初始状态 X_i 出发 到达目标状态 X_g 的一个路径。这个路径称之为解路径。

一般情况下，问题求解程序由下面三个部分组成：

1. 数据库 数据库中包含与具体任务有关的信息，这些信息描述了问题的状态和约束条件。状态分量的选择应该满足独立性、必要性和充分性。各个分量不同的取值组合对应着不同的状态，但并不是所有的状态都是问题求解所需要的。问题本身所具有的约束条件可以帮助除去那些非法的状态和不可能出现的状态，而保留在数据库中的是问题的初始状态、目标状态和中间状态。

2. 操作规则 由于数据库中的知识是叙述性知识，而操作规则是过程性知识。系统中的操作规则都由条件和动作两部分组成，条件给出了操作的适应性的先决条件，动作描述了由于操作而引起的状态中某些分量的变化。

3. 控制策略 系统中的控制策略确定了求解过程中应该采用哪一条适用的规则，所谓的适用规则是指从规则集合中选择出最有希望导致目标状态的操作，施加到当前状态上，以便克服组合爆炸。

问题求解的状态空间法通常是一种搜索技术。基本的搜索策略有：深度优先法、广度优先法、爬山法、回溯策略、图搜索策略、启发式搜索策略，与或图搜索和博弈树搜索等。

三、自然语言理解 (Natural Language Understanding)

自然语言理解包括问答系统、声音理解系统、手书文字识别系统和机器翻译系统等。

从通用计算机问世以来，人们就想用计算机把一种语言翻译成另一种语言。当初，人们认为翻译包括两个基本过程，即查词典和语法分析，但是使用这种方法并没有达到预期效果，这是因为人们在理解某种语言的时候，不仅要依赖于他的语法知识，而且还要运用他所涉及世界的有关知识。

从 1966 年以来，同自然语言理解相关的研究，几乎都转向问答系统的探讨上来，即用某种方法去研究建立一个计算机系统，让机器理解语言。该系统根据机器对人所提问的问答，就可以判断机器是否理解了人所说的语言。

自然语言理解的研究具有十分重要的意义。

1. 如果人们能用自己的语言同计算机打交道，而不必为使用计算机去学习程序设计语言，这对计算机的广泛应用无疑具有深远意义。

2. 自然语言理解的研究可以更好地了解人类大脑是如何工作的。语言是人类思维不可分割的一部分，人类的记忆、推理、意识都是与语言是如何工作的问题密切相联。

3. 人工智能工作者在自然语言理解的研究过程中，注意力集中在语言的功能上，即把语言看作是一个智能生物同另一个智能生物的通信过程。书写程序是为了在计算机上完成专门的语言任务，在书写和利用这种程序在计算机上实验的过程中，人们可能形成和发展人类语言处理的理论基础的观念和技术。

1970 年 Winograd 在计算机上实现了一个灵活地结合句法、语义、推理以及上下文和世界知识的程序，成功地进行人—机间的对话，这是 Winograd 对自然语言理解所作的卓越贡献。他的贡献在于要使机器理解语言，不仅要考虑句法，还要考虑语义，利用知识，要引进一般的社会知识，以及利用上下文信息。现在，人们认识到把所有语法、语义、语用 (pragmatics) 诸因素结合起来，对句子进行适当的分析和解释的重要性。

近年来，从知识表示方面去研究自然语言理解取得了进展。如框架 (frame) 理论可以解决世界知识的组织问题；剧本 (scrip) 对理解报纸、故事方面发挥作用。

另外，利用机器归纳推理和抽象化处理，人们采用“做文摘”的方式来实现自然语言理解已成为现在研究的方向。

四、自动定理证明 (Automatic Theorem Proving)

自动定理证明在人工智能的研究中是一个极其重要的领域。如基于谓词演算的推理自动化研究，使我们更清楚地理解某些推理的细节。许多非数学领域的问题，如医疗诊断、信息检索、规划制定和难题求解，都可以像定理证明问题那样进行形式化，从而转化为一个定理证明问题。因此，自动定理证明在人工智能研究中起着重要作用。

自动定理证明的方法通常有：

1. 自动演绎法 自动演绎法是自动定理证明最早使用的一种方法。1956 年纽厄尔、肖和西蒙的逻辑理论家 (LT) 程序和 1959 年吉勒洛特 (Gelernter) 等人的几何定理证明机 (Geometry Theorem-Proving Machine 简称 GTM) 就使用这种方法。

LT 采用“正向链”推理方法，其基本思想是依据推理规则，从前提出发并依靠公理向后推理，可得出许多定理，如果待证明的定理恰在其中，则定理得证。而 GTM 采用的是“反向链”推理方法，其基本思想是从目标出发向前提推导，依靠公理产生新的子目标，这些子目标逻辑蕴涵着最终目标。

2. 决策过程法 所谓的决策过程是指判断一个理论中某个公式的有效性(Validity)。例如,1980年依沃(Evvo)等人提出了使用集合理论的决策过程;1980年尼尔逊等人提出了带有不解释函数符号的等式理论决策过程;1978年我国著名的数学家、计算机科学家吴文俊教授提出了关于平面几何和微分几何定理的机器证明方法。吴文俊教授方法的基本思想是:首先将几何问题代数化,即通过引入坐标,把有关的假设和求证部分用代数关系表述,然后再处理表示代数关系的多项式,即把判定多项式中的坐标逐个消去,采用多项式的消元法来验证,如果消去后结果为零,那么定理得证;否则再进一步检查。这个算法已在计算机上证明了不少难度相当高的几何问题,得到国际学术界的赞扬,被认为是当时定理机器证明和决策中最好的一种方法。

3. 定理证明器 定理证明器是研究一切可判定问题的证明方法。它的基础是1964年鲁宾逊(J·A·Robinson)提出的归结原理(Resolution Principle)。用归结原理所形式化的逻辑里,没有公理,只有一条使用合一(unification)替换的推导规则,这样一个简捷的逻辑系统,却是谓词演算中的一个完备系统。也就是说,任意一个恒真的一阶公式,在鲁宾逊的逻辑系统中都是可证的。

归结原理的确十分诱人,它使得许多研究者投入到对归结原理的改进工作中。重要的改进工作有:

(1)1964年沃斯(Wos)、卡逊(Carson)和鲁宾逊(Robinson)提出了单文字子句优先策略和支撑集策略;

(2)1965年鲁宾逊提出超归结方法(Hyper-resolution);

(3)1967年斯拉格尔(J·R·Slagle)提出语言归结;

(4)1968年努夫兰德(Loveland)和拉克哈孟(Luckham)提出线性归结;

(5)1970年波叶(R·Boyer)提出锁归结;

(6)1968年沃斯和鲁宾逊提出了一种和归结方法相容的处理等式的方法,即调解方法(paramodulation)。

1972年波叶和孟尔(J·Moore)开始着手研制与沃斯等基于归结方法的证明器不同的证明器。他们研制的证明器是基于类人方法的证明器。这个证明器集中于归纳领域,使用一阶逻辑语言,将归结原理与重写规则结合在一起,把已证的等式,按用户的选择转变为重写规则,以便以后使用。该系统的重要功能是能够提出归纳方案,然后对归纳方案进行分析、比较、整理,得出对所证问题适用的归纳方案。

五、机器视觉(Machine Vision)

机器视觉研究的任务是理解一个图像,即利用像素(pixels)所描绘的景物。其研究领域涉及到图片处理、图像处理、模式识别、景物分析、图像解释、光学信息处理、视频信号处理以及图像理解。这些领域可分成信号处理、分类和理解三类。

1. 信号处理 信号处理研究把一个图像转换为具有所需特征的另一个图像的方法。比

如，人们往往想要使所输出的图像尽可能具有较好的信号—干扰比，或者使图像的某些特征得到增强，以便于人们观察。这种处理技术通常称为图像处理或图片处理。数字技术、光学技术和电气的视频信号处理技术通常是信号处理中所采用的技术。

2. 分类 分类技术研究如何把图像划分为预定类别。分类是从图像中抽取一组预先确定的特征值，然后根据用于多维特征空间的统计决策方法决定一个图像是否“符合”某一类。这类方法一般称为模式识别或模式分类。

5. 理解 在给定某一图像的情况下，一个图像理解程序不仅描述这个图像的本身，而且也描述该图像所描绘的景物。对于一个图像的理解，需要任务领域的先验知识和复杂的图像处理技术。

视觉对于人来说是非常容易的，但要构成一个可以与人类相比的计算机视觉系统是非常困难的。这些困难也正是机器视觉所研究的课题。

(1) 因为一个图像不能提供足够的信息恢复其具有的景物。一个三维的景物通过投影，成为一个二维图片，它的深度方向被折叠起来了。为了解决这些不确定性需要附加的限定，这些限定基于合理的假定和测量，如果没有这些限定，视觉工作将无法进行。

(2) 一个物体的外观受到其表面材料、环境条件、光源角度、周围的光线、照相机的角度和特性的影响，造成了在一个图像中许多因素混淆在一起，很难确定每种因素对某一具体像素所起的作用。

(3) 领域先验知识对图像理解所起的作用不能低估。然而，这些先验知识在所观察的图像中又往往非常弱，这就造成了理解图像的难度。

(4) 人类虽然是视觉专家，但要弄清楚人们是怎样去看的却是一个困难的问题。也就是说，很难用问题求解那样的方法，形成一个视觉的分析方法。

(5) 计算机视觉系统必须处理大量的信息，造成了工程上的实际困难。例如，在空中拍摄一张照片，经数字化后有 3000×3000 个像素，每个像素 8 位，每个图像就有 9 兆字节。如果每个像素要进行 10 次操作以便进行边缘检测，那么就要对一个图像进行 9 千万次操作，可见其工作量之巨大。

上述问题本身就是多年对视觉研究的成果，随着这些问题的进一步解决，机器视觉系统的能力就可得到进一步的增强。

六、自动程序设计 (Automatic Programming)

编制和调试一个复杂的计算机程序是件费时的繁琐工作。一方面，具有错误的程序比比皆是，而完美、无懈可击的程序却极其少有；另一方面，计算机不允许程序存在错误，程序的失误带来的后果是极其严重的，有时甚至是不能容忍的，这就造成了程序设计的困境。为了摆脱这种状况，就要从软件开发技术方面寻找出路。可以说，自动程序设计是从人工智能方面解决此问题的一种方法。

自动程序设计主要关心下面两个问题：

(一) 程序验证 (Program Verification)

程序验证是利用一个已验证过的程序系统来自动证明某一给定程序 P 的正确性。

设程序 P 的输入是 x ，它必满足输入条件 $\varphi(x)$ ；程序的输出是 $Z = P(x)$ ，它必满足输出条

件 $\Psi(x, z)$, 则这时程序的正确性有三种类型 :

1. 部分正确性 若对任意输入 x , 只要 $\varphi(x)$ 为真且程序终止 则 $\Psi(x, P(x))$ 为真 称程序 P 是部分正确的。

2. 终止性 若对任意输入 x , 只要 $\varphi(x)$ 为真 则程序 P 终止。称程序 P 是终止的。

3. 完全正确性 若对任意输入 x , 只要 $\varphi(x)$ 为真 , 则程序 P 终止 , 且 $\Psi(x, P(x))$ 为真。程序 P 完全正确。

(二) 程序综合 (Program Synthesis)

程序综合指根据所给定问题的具体描述由计算机自动生成满足要求的程序 P 。根据这个思想, 所生成的程序 P 应对输入条件 $\varphi(x)$ 和输出条件 $\Psi(x, z)$ 是完全正确的。目前程序综合的基本途径主要是程序变换, 即通过对给定的输入、输出条件进行逐步变换, 以构成所要求的程序。

七、专家系统 (Expert System)

专家系统是当前人工智能应用中最成功的一个领域。

从 1965 年费根鲍姆研制第一个专家系统 DENDRAL 以来, 专家系统以它所产生的巨大经济效益和社会效益, 已扩展到数学、物理、化学、医学、地质、气象、农业、法律、教育、交通运输、机械、艺术以及计算机科学本身等领域, 甚至还渗透到政治、经济、军事等重要决策部门。

专家系统发展之所以如此迅速, 主要因为 :

(1) 专家系统解决实际问题的周密性 ;

(2) 人类专家知识的系统组织, 对其应用领域的发展起到了促进作用 ;

(3) 专家系统突出知识的价值。通常推广和应用专家的知识, 要通过培训的方法, 这需要很长的时间, 而专家系统大大减少了知识传授和应用的代价, 使其可以获取很大的经济效益。

专家系统具有下面三个特性 :

(1) 启发性 它运用规范的专门知识和直觉的评判知识进行问题求解 ;

(2) 透明性 它使用户能够在无需了解其系统结构的情况下与专家系统直接交往, 了解其知识内容和推理过程 ;

(3) 灵活性 它可以不断接收新知识, 调整有关的控制信息, 使其与整个知识库协调。

下面简略介绍几个著名的专家系统。

DENDRAL 系统根据质谱仪所产生的数据, 不仅可以推断出确定的分子结构, 而且还可以说明未知分子的谱分析。据说该系统已经达到化学博士的水平。

MYCIN 是第一个功能较全的医疗诊断专家系统。它是 1974 年由斯坦福大学 HPP 科研小组研制成功的。该系统在不知道原始病原体的情况下, 判断如何用抗菌素来处理血液细菌感染病患者。输入系统的原始数据是患者的症状、病史和化验结果, 系统可以根据专家知识和输入的资料判断出是什么病菌引起的感染, 然后提出治疗的方案。

PROSPECTOR 是斯坦福国际研究所计算机科学技术部人工智能中心的杜达 (R. O. Dude) 哈特 (P. E. Hart) 等人研制的一个地质勘探专家系统, 具有以下三个功能 :

(1) 勘探评价 地质工作者在某一地区获得一些有用资料后, 系统可以提供帮助。即系统可以对这些资料进行分析和评价, 预测成矿的可能性, 并指导用户下一步应采集哪些资料对勘

探工作者有价值。

(2) 区域资源评价 系统处理某区域的地质数据，其处理结果是这个区域地质矿藏资源的分布，可用来对该地区的资源进行评估。

(3) 井位选择 当确定某一地区蕴藏某种矿后，系统可以帮助地质工作者选择最优钻井位置，以避免不必要的浪费。

八、机器学习 (Machine Learning)

自从 1980 年在卡内基-梅隆大学 (Carnegie-Mellon University) 召开第一届机器学术研讨会以来，机器学习的研究工作发展很快，已成为人工智能学科的中心课题之一。

目前，机器学习领域的研究工作主要围绕以下三个方面进行：

(1) 面向任务的研究 研究和分析改进一组预定任务的执行性能的学习系统。

(2) 认知模型 研究人类学习过程并进行计算机模拟。

(3) 理论性分析 从理论上探索各种可能的学习方法和独立于应用领域的算法。

近年来，在基于解释的学习、概念形式化模型、归纳概念获取、从数据库自动发现规律、机器学习工具、诊断专家系统的错误和新增加规则等领域异常活跃，这将对产生新的计算机体系结构提供一个良好的背景。

九、机器人 (Robots)

我们可以把机器人定义为一种可再编程序的多功能操作装置。机器人可以代替人从事有害环境中的危险工作，从而提高工作质量和生产效率，降低成本。在科学研究上机器人为人工智能提供了一个综合试验场所，它可以全面地检查人工智能各个领域的技术，并探索这些技术之间的关系。

就机器智能来考虑，机器人可以行使下面的功能：

(1) 模式识别 给机器人配备视觉、触觉，使其能够识别可见景物的实体和阴影，甚至可以辨别出两幅图像间的微小差别，从而完成模式识别的功能。

(3) 运动协调推理 机器人的运动协调推理功能是依赖感觉驱动的。感觉是机器人接受外界的刺激，而运动就是机器人的行动。这两者之间的关系实际上构成一个产生式系统。

机器人和机器人学 (robotics) 的研究促进了人工智能思想的发展。它所导致的一些技术可以用来模拟物理世界，也可用来描述从一种物理状态转变为另一种物理状态的过程。

第五节 人工智能研究的历史回顾及进展

一、人工智能研究的历史回顾

本世纪 40 年代，一批科学家认真总结前人在哲学、心理学、逻辑学、数学和物理学等学科的成果，开创自己富有创造性的研究工作。这些工作为以后的人工智能和计算机科学的奠基产生了深远的影响。

这个时期几项卓越的工作是：

1. 麦克卡洛克 (W·S·McCulloch) 和比脱斯 (W·Pitts) 神经逻辑计算的研究。1943 年心理学家麦克卡洛克和数学家比脱斯从信息处理的观点，采用数理模型的方法对神经细胞动作进行研究，提出了二值神经元阈值模型。这项工作被后人公认为是对神经网络计算认真研究的开始。

2. 维纳 (N·Wiener) 的控制论。维纳控制论的学术思想可以说是历史上对机器智能在哲学、理论和方法上的一次全面讨论。遗憾的是，维纳控制论思想所基于的最优预测理论要求被求解的问题满足严格的统计性质。

3. 图灵的理想计算机模型 1936 年英国数学家图灵提出了一个理想计算机模型（即图灵机），创立了自动机理论，将“思维”机器研究和计算机理论研究向前推进了一大步。图灵的主要贡献主要表现在：

(1) 他提出了基于离散量的递归函数作为智能描述的数学基础；

(2) 给出了基于行为主义的测试机器是否有智能的标准，即图灵试验。

4. 香农 (Shannon) 的信息论。美国数学家香农，1948 年发表了《通讯的数学理论》，它标志着——信息论的诞生。信息论对心理学产生了很大的影响，而心理学又是人工智能研究的重要支柱。认知心理学派从信息论那里得到了启发，认为人的心理活动可以通过信息的形式加以研究，并在此基础上提出了各种描述人的心理活动的数学模型。

这个时期的一些研究工作对人工智能的产生与发展起到了重要的作用。这些研究成果甚至对近代科学技术的影响也是非常巨大的。

真正对人工智能学科起到划时代作用的还算四十多年前的一次著名会议。1956 年夏季，在美国达特玛斯 (Dartmouth) 大学，由年轻数学助教麦卡锡 (J·W·McCarthy) 联合他的三个朋友明斯基 (M·L·Minsky，哈佛大学年轻的数学家和神经学家)、朗切斯特 (N·Lochester，IBM 公司信息研究中心负责人) 和香农 (贝尔实验室研究信息的数学家)，共同发起，邀请了 IBM 公司的莫尔 (T·More) 和塞缪尔 (A·L·Samuel)、麻省理工学院的塞尔夫利奇 (O·Selfridge) 和索罗孟夫 (R·Solomonoff) 以及兰德公司 (RAND) 和卡纳奇 (Carnegie) 工科大学的纽厄尔 (A·Newell) 和西蒙 (H·A·Simon) 等人参加，一起探讨用机器模拟人类智能的问题。整个研讨会历时两个月之久，在会上，他们第一次正式使用了人工智能这一术语。这次具有历史意义的研讨会，标志着人工智能这门新兴学科的正式诞生。

人工智能一诞生，就以新兴事物的姿态崭露头角。就在这一年，人工智能在实验研究上取得了两项重大的成果。

其一是美国纽厄尔、肖和西蒙合作，编制了称为逻辑理论机的程序系统。该程序模拟了人用数理逻辑证明定理时的思维规律，它用分解（把一个问题分解为若干个子问题）、代入（用常量代入变量）和替换（用一个逻辑符号替换另一个逻辑符号）等方法，来处理待证的定理。如果这些子问题最终能变换成已知的公理或已证明过的定理形式，那么该定理就得证了。分解、代入和替换属于推理规则。先解决子问题，然后再解决总问题是由程序给定的解题步骤来完成的。该程序证明了名著《数学原理》第二章中的 38 条定理。后来经过改进，又于 1963 年证明了该章中的全部 52 条定理。这是用计算机对人的思维活动进行研究的第一个成功的探索。

其二是塞缪尔于 1956 年研制的跳棋程序。该程序具有自学习、自组织和自适应能力。这是一个启发式程序，可像一名优秀棋手那样，向前看几步后再走棋。它可以向人学习下棋经验或自己积累经验，还可以学习棋谱。这是模拟人类学习过程的一个卓有成效的探索。1959 年这

个程序已击败了它的设计者，1962年又击败了美国一个州的冠军。

除此之外，1956年另一个有影响的成就是乔姆斯基（N·Chomsky）提出了一种文法的数学模型，开创了形式语言的研究。形式语言和自动机是等价的，它们都可以用来研究人的思维过程。

也是在1956年，塞尔夫利奇研制出第一个字符识别程序，接着又在1959年推出功能更强的模式识别程序。

定理证明在1958年取得了新的成就。美籍数理逻辑学家王浩，在IBM 704计算机上证明了《数学原理》中有关命题演算的全部220条定理。他还证明了该书中150条谓词演算定理中的85%，时间只用了几分钟。1959年，王浩仅用了8.4分钟的时间就证明了上述全部定理。

从1957年开始，纽厄尔、肖和西蒙等人开始研究一种不依赖于具体应用领域的通用问题求解系统（General Problem Solving 简称为GPS），GPS是在LT的基础上发展起来的。系统做成后，又反过来应用于改进LT。GPS的研究前后共持续了10年，最后的版本是1969年公布于世的。

GPS使用了两个基本原理；中间一结局分析和递归问题求解。中间一结局分析是一种确信只有存在某个应用目的时才试图采用某个操作符（即算符）的技术。假定已定义了两个物体的可能特征，根据定义，两物体之间的某种差别是它们的某些特征值的一种差异。某个操作符改变这些特征值，由表列出操作符和它们引起的差别，规定了一个操作符的差别表后，再应用这张表来指导对子问题的选择。

GPS的工作基础是纽厄尔、肖和西蒙他们通过心理学实验，发现人在解题时的思维过程大致可分为以下三个阶段：

- (1) 首先想出大致的解题计划；
- (2) 根据记忆中的公理、定理和解题规则，按计划实施解题过程；
- (3) 在实施的解题过程中，不断进行方法和目的的分析，修订解题计划。

这是一个具有普遍意义的思维活动过程，其中最活跃的是方法和目的的分析。

1960年麦卡锡研制出表处理语言LISP。可以方便地处理符号，在人工智能的各个研究领域中都得到广泛的应用。

1961年明斯基发表了题为“走向人工智能的步骤”的论文，对当时的人工智能研究起了推动作用。

1964年鲁宾逊提出了著名的归结原理，标志着人工智能中定理的机器证明（或是自动演绎）这个分支的开始。由于该原理的全部推导过程只需运用一条简单的推理规则，颇引人入胜，曾一度被誉为人工智能研究中重大方法论的突破。

到了70年代初期，人们发现归结原理并不能解决人工智能的一切问题，甚至连具有中等难度的数学定理也不能够圆满地证明，从而使得一度对归结原理的“热望”演变成为“失望”。不过人们冷静下来进行较缜密的分析后，发现企图用任何一种与问题领域无关的纯解析的全能形式系统来解决一切问题的努力均属徒劳无功。因而促使人们致力于研究开发各种非归结的、基于规则的演绎系统和自然演绎系统。

综观人工智能的发展历史，人们清楚地认识到这样的—个基本事实：自从计算机诞生之日起，它就以其特有的、基于符号处理的推算能力来区别于传统的计算，并展现出有可能实现某种机器智能的前景，这一前景鼓舞着计算机工作者去开拓人工智能的新领域。人们为这个领域所取得的每一项成果而欢欣鼓舞。然而，随着研究的深入，人们逐渐认识到这条通向智慧之门

的道路，并非处处都是阳光灿烂，对它寄予过高的希望看来是不切实际的。

纽厄尔和西蒙在 1958 年曾作出预言：

不出十年，计算机将成为世界象棋冠军，除非通过一个比赛规则不准它参加；

不出十年，计算机将发现并证明那时还未证明的数学定理；

不出十年，计算机将谱写出具有相当美学价值并被评论家们认可的乐曲；

不出十年，大多数心理学家的理论将采用计算机程序来形成。

然而，时间已过四十多年，至今他们的预言一个也没有得到完全实现，他们本人也不得不承认这个现实。西蒙教授于 1988 年 12 月应邀出席在东京举行的《第二次第五代计算机系统国际会议 (FGCS'88 日本东京)》，在会上作了报告。报告中有一段耐人寻味的话：

“从一开始，人工智能和认知科学工作者就因过分地乐观而受人的指责。我希望我们已为某些乐观而感到内疚了，而且对于一个经历了 30 多年历程才走到今天这一步的一个领域来说，我也不认为这种指责和内疚是过分的。”

那么是什么原因导致这些预言不能得到实现，阻滞着人工智能的发展呢？下面我们就人工智能的几个相关问题进行一下分析。

1. 图灵机和冯·诺依曼机的启示

图灵机是按照一定算法实现符号处理的抽象自动机。机器智能依赖于实现的环境，即机器智能的物理载体，则是以“存储程序概念”为核心设计思想而构造的冯·诺依曼机。在冯·诺依曼机中，计算机推理是完全集中在处理部件（即 CPU）中，而完成计算和推理所需要的知识则在存储器中。计算机在任何一个时间片只能进行一步计算，而且每一步计算仅访问存储器中的一、二个单元。在给定的一个时间片内，机器仅能处理系统知识的一个极小部分。

人工智能研究者认为智能活动需要许多知识片间的相互密切配合作用，进行智能信息处理的计算机结构都应支持这种知识片之间的相互作用，以利于提高效率。对于每一个存储单元，不仅应成为知识信息的存储场所，而且也是知识信息处理活动的场所。现在看来，传统冯·诺依曼机无法满足上述要求。也就是说冯·诺依曼机的智能能力与人还相差甚远。人可以认识多年未见面、面貌大变的老同学、老朋友；可以很敏捷地在十分复杂的环境下对事物作出判断。若用计算机去做这些事情却是十分困难的。

2. 计算机博弈的困难

博弈是自然界的一种普遍现象。它表现在对自然界事物的对策或智力竞争上。博弈不仅存在于人们用于娱乐的下棋之中，而且存在于政治、经济、军事和生物的斗智和竞争之中。

尽管西洋跳棋和国际象棋的计算机程序已经达到了相当高的水平，然而计算机博弈依然面临着巨大的困难。这主要表现在以下两个方面的问题。

其一是组合爆炸问题。状态空间法是人工智能中最基本的形式化方法。若用博弈树来表示状态空间，对于几种常见的棋类，其状态空间都大得惊人。例如，西洋跳棋为 10^{40} 国际象棋为 10^{120} 围棋则是 10^{700} 。如此巨大的状态空间，现有计算机是无法忍受的。

其二是现在的博弈程序往往是针对二人对弈，棋局公开，有确定走步的一类棋类进行研制的。而对于多人对弈，随机性的博弈这类问题，至少目前计算机还是难以模拟实现的。

3. 机器翻译所面临的问题

在计算机诞生的初期，就有人提出了用计算机实现自动翻译的设想。由于当时计算机技术水平的限制还无法提供大容量的存储设备和速度足够快的运算部件来处理像文字翻译这样的复杂问题。直到 60 年代机器翻译的研究才进入活跃期。如果对机器翻译不是那么苛刻要求，

而仅仅把它看作计算机的一种辅助翻译，那么现在已经问世的英—俄、日—英、英—汉、日—汉、俄—汉等翻译机，可以应用于某些特定的场所。

机器翻译目前所面临的问题仍然是 1964 年语言学家黑列尔（B·Hillel）所说的构成句子的单词和歧义性问题。

歧义性问题一直是自然语言理解（NLU）中的一大难关。同样一个句子在不同的场合使用，其含义的差异是司空见惯的。因此，要消除歧义性就要对原文的每一个句子及其上下文，寻找导致歧义的词和词组在上下文中的准确意义。然而，计算机却往往孤立地将句子作为理解单位。另外，即使对原文有了一定的理解，理解的意义如何有效地在计算机里表示出来也存在问题。

目前的 NLU 系统几乎不能随着时间的增长而增强理解力，系统的理解大都局限于表层上，没有深层的推敲，没有学习，没有记忆，更没有归纳。

导致这种结果的原因是计算机本身结构的问题和研究方法的问题。现在 NLU 的研究方法很不成熟，大多数研究局限在语言这一单独的领域，而没有对人们是如何理解语言这个问题作深入有效的探讨。

4. 自动定理证明和 GPS 的局限

自动定理证明的代表性工作 1965 年鲁宾逊提出的归结原理。

归结原理虽然简单易行，但它所采用的方法是演绎，而这种形式上的演绎与人类自然演绎推理方法是截然不同的。基于归结原理演绎推理要求把逻辑公式转化为子句集合，从而丧失了其固有的逻辑蕴涵语义。

前面曾提到过的 GPS 是企图实现一种不依赖于领域知识，求解人工智能问题的通用方法。GPS 想摆脱对问题内部表达形式的依赖，但是问题的内部表达形式的合理性是与领域知识密切相关的。研究表明，GPS 可以很好地用于求解某类问题，而对另一些问题，则需要改变问题的内部表达形式。问题内部表达形式的改变，反过来又要求改变 GPS 的内部结构。

不管是用一阶谓词逻辑进行定理证明的归结原理，还是求解人工智能问题的通用方法 GPS，我们都可以从中分析出表达能力的局限性，而这种局限性使得它们缩小了其自身的应用范围。

5. 模式识别的困惑

虽然使用计算机进行模式识别的研究与开发已取得大量成果，有的已成为产品投入实际应用，但是它的理论和方法与人的感官识别机制是全然不同的。人的识别手段——形象思维能力，是任何最先进的计算机识别系统望尘莫及的，正如费根鲍姆教授所说的：“我们认为最能显示人的特点的一切结构精密的符号制造物，如数学和逻辑、拼接基因或在根据仪器推断下的地质实况的能力，计算机处理得最高明，因为知识结构越严密，我们越容易把它编纂起来供计算机使用。另一方面，在现实世界中，生活并不是一项结构严密的任务——一般家畜都能轻而易举地对付，但机器不会，这并不是说它们永远不会，而是说目前不会。”

6. 自动程序设计的困难

自动程序设计仍是自顶向下进行功能分解的一种软件开发方法，从外部功能上进行模拟客观世界，其开发过程是从“做什么”到“如何做”。我们知道，尽管这种程序设计方法并不是什么新的方法，然而，它使程序设计向自动化方向的确迈了一大步。它使程序设计者从烦琐的低级语言程序设计中摆脱出来，使用比较自然的高级语言来完成思维活动。

以往的程序设计活动被认为是一种艺术，在很大程度上体现了设计者的个人技巧。随着软

件工程思想的出现，程序设计成了一种有规可循的思维活动。它的基本思想是将用户表达的非形式说明转化成形式规范，然后再通过编码形成程序，最后再加上有关的说明书，形成实实在在的产品。

按照上述思路进行程序设计，必须具备以下的几个条件：

(1)要充分理解用户的意图 这个问题直接关系到所设计的程序能否满足用户的要求。事实上，要想使计算机取代程序设计员是很困难的。因为人们采用的能够真正说明意图的表达形式，计算机很难理解；另一方面计算机容易理解的表达形式，对人类又不适应。

(2)要有恰当的生成程序代码 程序设计的问题除了有可能超出所涉及的领域知识外，程序设计知识也是至关重要的。程序设计既涉及到选择控制结构，又涉及选择数据结构。这样使得程序作有效的选择变得十分困难。即使对用户要求有所理解，要想将这种要求转变成代码也不是那么容易的事情。

(3)要有一个程序设计的具体标准 程序设计的过程是在理解的前提下，以知识为基础的思维活动。单一的过程法、演绎法和变换法都不是程序设计员实际所采用的根本方法，尽管问题分解、逐步求精已被人们广泛使用，然而在实际中却没有一个具体的使用标准。同一个人在不同时间设计的同一个程序，其程序可能不尽相同，这种现象是不足为奇的。这是因为人本身有许多潜在的因素起作用，而绝不是简单映射和变换的关系。

综上所述，想要使计算机进行程序自动设计并非易事。目前在自动程序设计方面采用的方法仍是定理证明法，程序变换法，基于知识的方法，问题求解法和归纳法。对于定理证明法而言，要使用谓词正确表达复杂程序的输入输出，比写程序还难。而且其定义域必须完全公理化，否则证明器就无法产生证明，因而也就无法生成程序。程序变换法仅仅适合于描述清楚易于理解的问题。传统的问题求解可能导致问题的复杂化而难以控制。归纳法很不完全，而基于知识的方法具有与专家系统相同的困难。因此，现在自动程序设计仍然处在初级阶段，理论的不完善和技术的成熟使之进展十分缓慢。

如果说人工智能诞生后的头十年，主要是一批科学家在实验室中进行人工智能的基本原理和方法的研究，那么从 1965 年费根鲍姆教授领导的研究小组开始研究专家系统 DENDRAL 开始，人工智能从实验室走了出来，进入实际应用时代。

70 年代后期开始，一大批实用型专家系统不断涌现。如用于超大规模集成电路设计的 KBVLSI，自动程序设计系统 PSI；用于遗传学实验设计的 MOLGEN 系统；用于感染病诊断治疗的教学系统（GUZDON）等。这些专家系统的实际运行取得了重大的社会和经济效益，也为人工智能的发展带来了生机。

除此之外，为了加速专家系统的研制速度，人们还先后开发了一批用于建造和维护专家系统的工具系统。例如：Meta-DENDRAL, TEIRESIAS 和 EMYCIN 等。

专家系统的成功所产生的社会影响，不但激起人工智能学术界的研究开发热情，而且也引起了社会各界的兴趣。一个新的研究开发领域——知识工程 (Knowledge Engineering) 由此应运而生。

1977 年费根鲍姆教授在第五届国际人工智能联合会 (IJCAI) 会议上提出了知识工程的概念。至此，专家系统已基本成熟。人工智能研究者纷纷围绕开发专家系统进行理论、方法、技术等各方面的研究，一门新兴的学科——知识工程逐渐形成了。

费根鲍姆认为，知识工程是应用人工智能的原理和方法，对那些需要专家知识才能解决的应用难题，提供求解的手段。恰当运用专家知识的获取、表达和推理过程的构成与解释，是设计