

人工智能导论原理、应用及现状

——第五代计算机——

(二)

渠川璐

北京航空学院计算机科学与工程系

一九八三年五月

目 录

緒 言	2
第一章 AI发展簡史与真实 AI 状况	4
第二章 人工智能应用补遺	21
第三章 AI的邏輯工具	31
第四章 AI技术的随机工具	59
第五章 AI系統的支持手段(一)	77
第六章 大型 AI系統支持手段	117
第七章 一般人工智能系統功能组织	197
第八章 SRI的 HPP'80 专家咨詢系統	207
第九章 軍事应用	
第十章 在航空中的应用	

緒 言

自从七十年代起计算机的智能化已成定局、七十年代末已正式称之为“第五代计算机”。这标志着一个历史新时期的开始，虽然这也许根本就是原来计算机发展的动因。因为，从A.M. 图灵(Turing)作出具体有限自动机模型之前远在1854年英国乔治·布尔(布尔代数的创始人George Boole)的奠基性著作标题就叫作“关于思维规律之调查研究”(An investigations on the laws of thoughts)。探讨过去、凝视现在、展望未来，所有自动化方面的最新成果和趋势都告诉我们：大势所趋，智能化机器将是全面垄断性的各行各业自动化的支持性学科。

也许它是有争议的学科，但这是出于偏见与不顾现实。科学发展本身已作出了很好的回答。国际上已召开了七届国际人工智能联合会(IJCAI)，国内已召开了三届中国人工智能学术会议。一些有眼光的单位早已作出了很实用的成绩，并将整个单位的发展方向规定为“人工智能”(Artificial Intelligence 下略称AI)。

AI看起来似乎很神秘，其实它只是计算机的更精湛的使用途径及计算机仿真模拟到人类思维过程的一个阶段，其目标是利用计算机自动解决问题。因为在复杂的问题面前，人类从速度与记忆能力上都无法高效率、短时间解决它，但人类有办法提出一些方式方法。所以利用人类提供的“能力性程序”使机器被赋予“能力”去自动“产生”程序以解决问题无疑是最合理的途径。把人与工具(不论是多先进的工具)对立起来而且是人为地对立起来当然是件最愚蠢的事。不论人类与工具间的主宰与被主宰关系变得如何间接，不论机器变得主动性有多大的提高但归根结蒂是“人主宰机器”而不是某些荒诞无稽不负责任的幻想电影(以美国电影“未来世界”为代表)或幻想小说所说的“机器征服人类”。没有任何一个科学工作者会无理性地发展这种工具或以此为目标。但这种荒谬宣传是起了它的恶劣作用的，因为我们不能要求绝大多数人都很懂电子计算机。利用非科学工作者的不了解情况去蛊惑人心的行为在动机与效果上都是妨碍人类进步而且是卑

鄙的。

我在22年前(1960年)、3年前(1979前)……一系列論文與講義的基礎上重新撰寫本門學科的講義作為大學計算機專業本科生40學時左右的講義。但我認為不搞計算機的同志仍然可以看懂除計算公式之外的一切內容。也就是說我力圖使這本講義成為對象面相當寬的一本參考書，這將為澄清一些聳人聽聞的荒誕觀點並為發展真正的第五代計算機多少起一些開拓道路的作用。

渠川璐

1983年元月于

北航605教研室

第一章

AI发展簡史与真实AI状况

人类在不断发展自己解决问题的工具。随着人类社会的发展，需要人类解决的问题也越趋复杂化，因此对于解决问题的工具也就要求相应地能适应。这显然是个常识性问题。

在原始社会中，人类的问题只存在解决食物以維持生存问题而食物的来源从植物中是不足的，但强大的其它动物常常是与人类爭夺食品並危害人类生存的对立面。人类当时要解决的问题是武器、剝刀、居处问题，所以祖先必需发展石器以用于对付野兽（目前澳洲土人用的“飞去来器”——Boomerang——仍然是古人的杰作之一）、剝取兽肉、开洞穴居、……。

现代社会遇到了大量复杂问题，如：人口与经济规划，军事上大规模多兵种快速协同作战与后勤指挥，能源的潜在貯藏的深层勘查、空中、空间、水下、…资源或其它的大规模偵察……等。这些问题的有效解决也需要工具，而且需要快速有效的工具。这种问题与解决问题的手段（工具）已然不可能用常规的电子计算机使用方法。因为，对象是极多参数动态变化的、规律往往是事先不知道的、要求解决的效率是很高的、……。这就使得常规电子计算机使用方法无法奏效。因为：第一、无法事先把问题解决过程詳細准确地模型化（Modeling）；第二，既无准确数学模型就无法編出程序，也就不能在计算机上运行；第三，沒有多少予备时间来给“模型”分析设计人員及程序设计人員作准备但要求快速精确的答案。这就迫使人們从事于工具的現代化改造。当前，主要是搜索电子计算机的潜力问题。而满意的答案就是：人类不需要知道直接解决问题的过程並將之数字模型化也不需要直接編制解决问题的程序，相反，人类将只編制“能力性程序”输入机器由机器自己产生出直接解决问题的程序然后把答案输出给人类。这样，机器将負担学习、感知（Perception）、推論、对策、决策、予测的直接过程而人类所要作的只是把上述諸环节的方法性程序編制出来，机器則根据情况对上述方法进行选择並产

生出相应的问题解决“直接程序”。这样，在很大程度上机器将是“自我主宰性”更高地工作着。这与现行常规计算机运行方式很不相同。常规计算机作出问题解决可以图示于图1-1中。在这里，机器本身的工作性质只是单纯快速执行人类已经仔细模型化并程序化至每一步细节的程序。甚至表面看来机器“似乎可以”决策的情况，也是人为地仔细考核了可能发生的事件引入人为安排好中断优先权的“优先

中断服务子程序”（Priority-interrupt Subroutine）来进行抉择”解决问题的途径的。当然，每一个优先——中断服务子程也是事先每一步都仔细由人排好了的。这样，我们只能说：常规计算机应用中，计算机只是一个快速执行机器，它事实上接受的不是“能力性程序”（又名“超程序”——meta-program）而是“直接工作性程序”（一般程序）。所以，在这里机器是无任何“智能”存在的。西方泛称电子计算机为“电脑”是没有任何根据的。也就是说机器在这里完全没有“自主权”。它也决不可能作出模型分析员，程序员料想之外的事件的任何解决。图1-1示出常规计算机使用时处处依赖于人的非自主状态。

那么，能不能使机器稍微“自主”一些呢？精确一些讲就是机器能不能不是一步一步根据事先拟定的指令来运行而是有一些“自我推理、产生、决策”能力以节省表面看来很节约的“执行时间”以外所消耗的大量人力和时间呢？

唯一的方法就是给机器的是智能化的程序——即：给机器的是“能力性程序”或“超程序”。所谓人工智能（AI）就是指使计算机（当前唯一可用的智能机器是数字计算机系统）能高效率模拟人类感知、学习、推理、对策、决策、产生及预测等思维功能，用以解决问题（Problem-Solving）。具有这种特种软件的计算机系统就成为智能化计算机或通称“第五代计算机”。

（一）人工智能是什么技术

由于社会上存在着种种被歪曲了的看法，因此有必要稍为详细地介绍一下。

大体上讲有两种错误偏向：第一种是盲目排斥，由于他们不大懂AI是常规计算机的发展而误以为是一门遥远和不可能捉摸的学科；

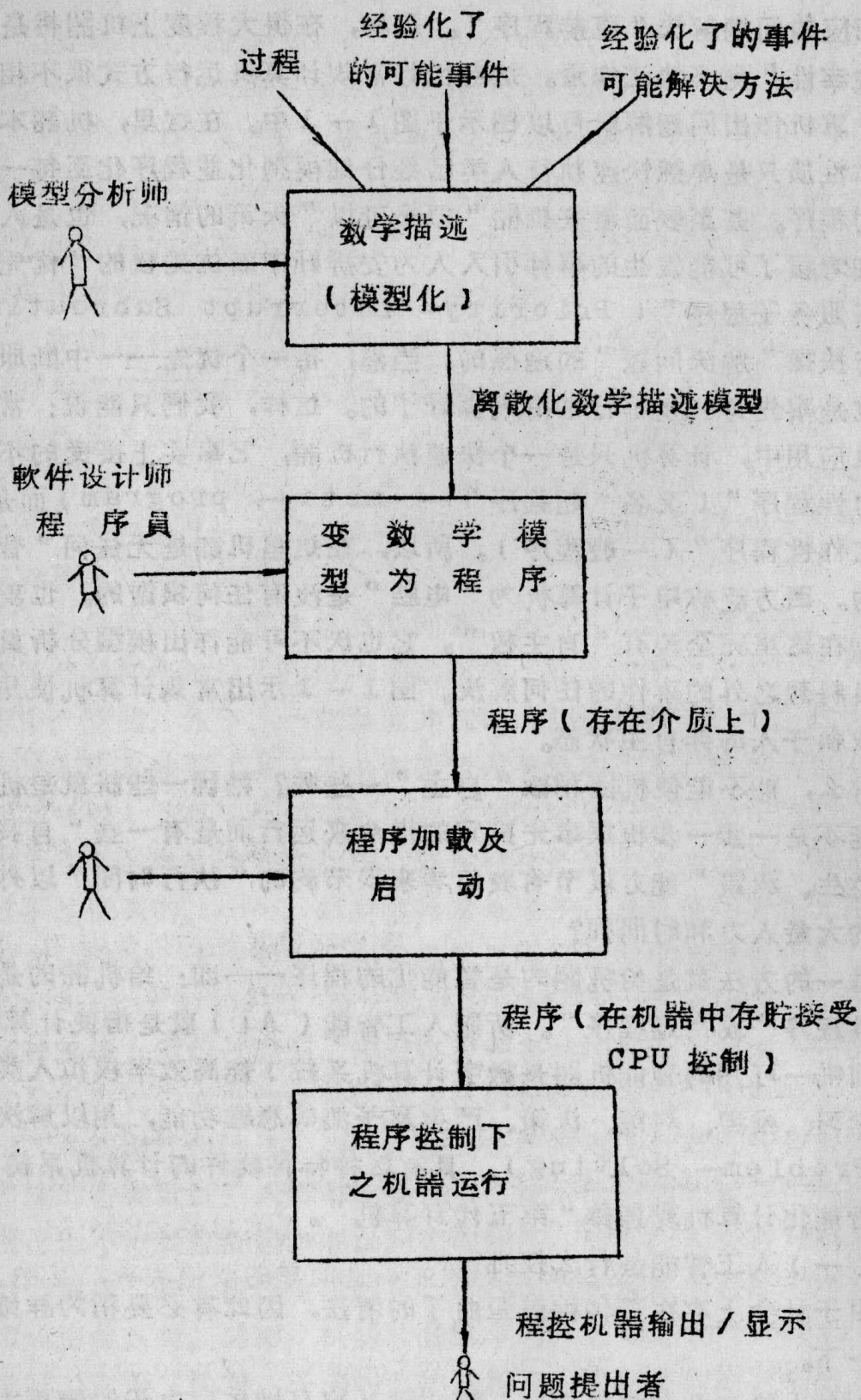


图 1-1-1

第二种是极端夸大，他們聳人听闻地宣称由于计算机的能力很强，一旦机器掌握知识将把人类征服。这两种极端其实都是来自一种状态的人——对计算机浅尝辄止的人。前者不知道AI已经在各个领域广泛应用，后者则不知道AI化的计算机仍然是人所主宰的工具。无论如何，两个极端的后果都是直接、间接妨碍了社会大力从事于更高级计算机的研制。

(1) AI的确切定义

在83年来谈AI似乎比前几年更有利，因为社会上已公认AI是第五代计算机。

AI从学朮上講是仿真 (Simulation/Emulation) 技术模拟对象的变化后的继续。它是：用自动机 (当前可用的是数字计算机系统) 来模拟人类思维外部行为籍以高实效地解决问题的科技。

这里强调了几点，即：(1) 手段——自动机系统；(2) 方法——对思维外部行为实行模拟仿真；(3) 目的——高实效地解决问题。

一切落实在高实效地解决问题上。想要高实效地解决问题就得有手段、有方法。方法就是对思维外部行为 (External Behavior) 进行仿真。手段仍然是从微计算机、小型计算机、大型计算机及其控制系统直至大型计算机网络，至于采用多大规模的手段要看想解决的问题多大而定。

(2) 关于思维外部行为：在这里，我们强调思维的外部行为。因为五十年代后期十分盛兴的麦克洛——匹弟斯神经网络理论已经在事实上宣告破产。没有任何AI系统是利用它来获得成功的。麦克洛——匹弟斯等人过份简单地把神经元 (Neuron) 之间信息传递简化为“控制”与“兴奋”从而向双值逻辑“0”与“1”上靠攏並以为人类思维过程的物质表现就是那么简单的机械过程。但这条道路根本没有走通。根据现代生物学对人脑的研究*，人类思维固然引起一些大脑内部神经现象，但这些神经现象并不是简单的双值现象，其中还

* 参考 Ito 著 "The integrate functions of brain" Vol-3

有糖的燃燒、化学物质的释放（如聚乙烯乙亚胺、烏基噪呤……等），郎氏生芽（Ranvier sprouting）… 等。而脑电位的分布也只是事情的一方面，这种探索可能是无穷无尽的，而且有多少解释能说明这些物理的、化学的、生物的、……现象能一一对应于某项知识和思考？我們不排除对这些研究有可能促进 AI 参考其中有用的一种。但 AI 的研究目标很严苛地要解决问题而不是要用无机材料复制一顆有机的大脑。

这正如关于“反饋”（Feedback）理論用于自动閉环伺服控制之中显然参考了人类（也包括动物）的“手——眼系統”的原理但却从从来不研究手、眼之間在大脑中是怎样一种神经过程一样。人要伸手抓取处于空間座标（ x_i, y_j, z_k ）的一件物体不是一个盲目乱摸的过程，而是手的运动不断反饋给人再用眼修正手的运动从而达到目的。我們“宏观地”（外部地）研究这个反饋——协调过程，用一个能达到同一目的的数学传递函数描述这个外部过程（而不是内部神经过程）再用马达、放大器和电阻、电容、传感器复現这个外部过程也一样帮助我们作出了能对 36 种在传送带上不管以怎样角度输送来的工件进行自动视觉分析（用电视摄像机作人工眼）並利用图象比較（计算机内存貯的不同角度的工件图象及其特征值）协调机器手的运动将其返回正确工位的 H I V I C 智能机器手（H I t a c h i V I s i o n C o m p u t e r）。这里絲毫不牵涉人脑内部行为。模拟人脑内部行为来进行思维模拟也許是几百年后的事情。

对于更复杂的思维过程——如感知*、学习、推論（Reasoning、Inference）、对策、决策、予測… 等行为也同样，AI 的研究仍然是对发现行为（外部行为）进行计算机仿真用于解决问题也同样不涉及几百年后才会见效（或許根本不能见效）的对人脑神经行为进行模拟。因为人脑的思维物质过程涉及太多局限于人类测试手段的不完备大約很长时间不会弄清楚。但 AI 系統模拟思维外部行为却已广

* 感知（Perception）与感觉（Sensing）不同，感知不仅能感觉而且还能“知”——懂得这种感觉。

泛用于国民经济、军事决策指挥、机器发明、工业与机器人…等方面并且已经十分成功。目前急需作的仍然是对思维外部行为作出更完备的模型以便机器模拟得更好。

③ 智能自动机

为了不限制人类本身的发展，在AI定义中我们使用了“自动机”(Automata)手段这个名词。因为数字计算机只是双值逻辑自动机，它只是人类在四十年代中叶开始实现的一种机器。它只是人类发展自动机过程中的中间产物，如果围绕着智力工作自动化这个目标肯定逐渐有新型自动机出现并取代目前的数字计算机，因此不能拿目前AI用计算机这个事实手段代替较长远还能应用的AI定义，所以用自动机这个名词较恰当。

另外，我们在AI定义中并没有讲“电子”计算机，这是因为已经有激光计算机*等非电子计算机出现。

请读者注意的另一点是：在支持手段上我提出的是计算机“系统”而不是单纯指计算机。因为计算机本身只是一台数学机器，它的输入输出只是二进制数字代码。但作为包含各种外围通道、变换装置(A/D、D/A)、传感器与伺服系统的计算机系统则可以输入、输出物理量，所以它能完成更多的工作。例如：机器人就不能只用计算机来支持，而需要计算机控制系统支持。系统的另一层意思是指不只是一台计算机而是多台计算机及多个终端组成的计算机网络，规模视用途可能大至覆盖全球。这在AI中也是很重要的，因为在全球性自动军事指挥决策系统(大型C3系统)或在大规模专家咨询系统(如第八章谈的司丹佛研究院HPP'80系统)中，一台计算机是不够用的。这种网络要求很“实时”*(Real-time)，所以从调度软件至传输手段上都很特殊。

自从图灵(A·M·Turing)提出有限自动机的概念以来，我们不认为这种基于双值逻辑的自动机今后也是一成不变的。但“自动机”

* 参考科学出版社81版渠川璐著“电子数字计算机实时控制系统”第八章

* “实时”指的是在“刺激”(事件输入)输入后AI系统作出响应，两者之间时间差 Δt 很小。

这个观念可能不变，但其原理及结构上却是不断在进展。所以采用“自动机”这个名词在 AI 定义中可能较不限制我们的思想，但当前可用于 AI 的唯一手段是数字计算机系统则是无疑的。

(4) AI 方法方面

当前为了模型化思维过程，使用的两种基本方法一个是形式逻辑方法 (Formal Logic)，另一种是统计概率方法。

在推理方面，形式逻辑方法占据相当位置。但应注意到的是形式逻辑方法终究是“形式的”，也就是说逻辑变量的赋予意义上可能不正确经逻辑推论（框架是形式上正确的）后推论也可能是荒谬的。另外，关于人类使用经验来解决问题，这些经验从纵的方面看可能有数千年历史，从横的方面看可能经数十亿人的每人数十、百次实践证明为真，但总是有限次为真。所以经验实质上是统计的为真。利用统计中的矩法、回归 (Regression)、相关 (Correlation)……方法通过机器获取经验就不是形式的。前者——形式方法——多用于一般专家咨询系统，后者——统计方法——则既用于专家咨询系统也用于各种模式识别之中。

在感知的“知”中，多数 AI 系统使用特征抽取 (Feature Extraction) 及在判别空间中的利用闵克夫司基距离自动分类、描述的聚类方法 (Clustering)。从原则上看是属于统计的。谱分析及谱特征识别在这里也大量被采用着。

在机器学习中，多数采用人——机交互作用方式，利用机器学习“超知识” (Meta-knowledge)——即方法论——而不是直接学习解决某个问题的方法。

在对策中，AI 机器则充份利用了现代运筹学 (Operation Research) 方法。对策 (Game) 理论早期发展可能只是为了赌博。但其中由于多年来人类注意到对抗双方输赢的规律与战争及商业战是极其类似的，与在解决问题中超越障碍过程也是极其类似的。因此 AI 中采用的对策知识实质上也是采自 OR 理论。很有价值的一本参考书是 Guillet 所著 “An introduction to operation research” (无中译本)。二人零和 (一方的输分等于对方的赢分)

相加为“零”，即绝对对抗）理論已被发展为 n 方混合对策理論* 这对于現代軍事AI及国际外交战、商业战决策是很有价值的。

AI中的决策 (Decision-making) 方法是在对策的基础之上产生的最优化对策，其基础也是現代运筹学。

AI中的预测 (Prediction) 則大部分基于统计数学方法，其中很重要的方式是采用条件概率反推的貝叶司 (Bayes) 方法，即利用先验知识 (Priori Knowledge) 推测后証知识 (Posteriori Knowledge)。

司丹佛大学爱德华，A·費根巴屋姆教授在计算机联想 (Association) 方面作过大量工作，其原理也是基于计算机存貯单元之間经过多次“訓練”逐漸形成有序的不同条件概率連系 (条件概率是用数字估计的頻率)。他最成功的成名之作是 EPAM 程序 (即 Elementary Processor and Associate Memory “元处理机与联想记忆”的英文缩写)。联想可以减少搜索空間。

总之，AI方法都是上述有根据的理論派生出的“能力性方法”。这些超知识变换成超程序后即“产生” (Produce) 出直接解决问题的程序，这就是所謂“产生式系統” (Production System)，因为直接解决问题的程序是机器根据能力性程序自动产生的。这点与常规计算机使用方式就不大相同了。

(二) 人工智能发展的三个阶段

AI这门技术发展大体上可分为三个阶段，即：史前期；孕育期与应用期。

(1) 史前期——1854 ~ 50年代末期

史前期的特点应该认为是刚刚提出这方面的设想与理論但尚未经实践檢驗。

这段时间的大事首先是1854年我們提到过的乔治·布尔将思維的形式规律整理成数学形式。但这时並沒有数字计算机，因此这些理

* 参考摩根司特恩：“博奕論”一书

論只能留待后来驗証。

1946年12月世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 实现，尽管它的速度只有 3820 次/秒，但它可以远高于人的速度实现逻辑操作。

有了支持手段之后，沉寂了近一百年的工程界又开始正式研究用机器实现部份思维过程的问题。这是由当时还很年轻的，而后来都成为计算机图灵奖获得人的 M. 明斯基、J. 麦卡锡（现二人均为麻省理工学院 AI 研究所负责人）。A. 纽威尔，H. A. 塞蒙（前者在司丹佛研究院 AI 研究所，后者现在卡尼基—梅龙大学计算机系）以及通讯界明星贝尔研究所的 C. E. 山农等组织的一次关于计算机模拟思维的途径研讨会，会上提出了很多后来都一一实现了的人工智能方法，但当时还没有“人工智能”这个名词，这个文集汇编出版时起名叫作“自动机研究”（“Automata Studies”）。五十年代后期这次由若干年轻的科研人员发动的这次会议成为向人工智能领域的进军号与先头突破口，这是载入史册的重大事件。当时唯一可惜的一点是麦克洛——匹第司提出的神经网络理论，因为这大约是会上唯一一篇企图用计算机经由模拟人脑神经细胞行为来达到智能化机器实现的论文，这真是没必要的多余事。后来的 AI 实践没有任何人是走这条道路的，但都获得了成功，但麦克洛——匹第司神经网络学说和企图模拟神经系统内部信息过程的途径早已没人再提起，也没有获得任何成果——这真是一种科学上的破产！

五十年代是电子计算机大发展的一个阶段，不但速度上有了很大提高、价格上也大有降低。计算机控制系统、多机系统和网络等支持手段都在这段时期成型。这就为 AI 的物质实现提供了良好基础。

(2) 孕育期——50年代末期~60年代末期

由于支持手段的成熟，关于 1854 年布尔提出的思维机器化研究转入高潮。其中有几件大事无疑是里程碑使持怀疑论者不再持怀疑和观望态度。遗憾的是我国至今尚有不求甚解者仍然连观望态度都不持而是一味排斥，可谓偏见矣！

这段时期的大事都是由电子计算机证明了的，因此无法持疑。这些事件包括：塞蒙、纽威尔及的“逻辑理论家”（LT）AI 程序成功地将罗素与怀德海所答“数学原理”一书（“Principia

Mathematia) 中 52 个未经证明的定理分两次用计算机全部证明。无疑，这里有机器自动推理、决策、产生…等 AI 功能。塞蒙给它的只是“能力性程序”，后来塞蒙用一部分人类经验训练了机器，这些少量经验性规律塞蒙起名叫作“启发”(Heuristics)。启发式自动推理、产生式 AI 系统形成了人—机共生模式的各尽所能系统。它表明机器在快速推理、产生方面的优于人的能力和直接解决问题的能力，而人类在提供强有力的启发性规律(超知识)方面有机永远无可比拟的创造性。两者完美的结合才造成完美的 AI 系统。这个 LT 程序引起了轰动也使人们认识到机器的非常规使用有很大潜力。有趣的是这项突破虽使塞蒙和纽威尔获得了图灵奖，但据 1980 年末塞蒙来华时告诉笔者他当时只用了一台字长 16 位、内存 16 KW 的一台小型计算机就完成了这个工作。而后来有些人向笔者诉苦讲自己的机器太小无法从事 AI 研究，这真是令人啼笑皆非的事情。为什么别人可以在 16 KW 存储容量的机器上作出工作而当前连微机都可以至少有 64 KB 内存和 312KB~2MB 甚至 22MB~200MB 的外存反而要报怨机器太小？

塞蒙的工作打响了 AI 化计算机的第一炮。

第二件大事就是塞蒙开始着手计算机自动解决问题的研究了。他开展了一个叫作 GPS (General Problem Solver——通用问题解决程序) 的 AI 系统软件的研究。所谓问题解决就是指下面一些事情：

△问题：指的就是在某些“约束”(Constraints) 条件下要达到的“目标”(Goal)。

△解决：在约束之下利用超程序的推理、决策、产生能力产生程序、搜索知识、删除不必要的知识达到目标。

GPS 采用了塞蒙提出的 B—链推理 (Back-chained Reasoning) 及“手段—目标”(Means-End) 方法为依据在六十年代上半叶解决了。所谓 B—链(或“反向推理”)就是将目标分解为若干较简单的“子目标”(Sub-goal)，反推应当完成什么过程来解决这些子目标，而子目标的完成的“与”(AND)就综合成总目标的解决。GPS 分两个阶段作了表演，第一阶段模拟了

我們在本書第(一)分冊中所提到過的著名的“猴子與香蕉問題”^{*}獲得成功，在60年代末頁GPS控制了司丹佛研究院一個真的機器人再度獲得成功。到GPS階段已然表現出AI系統不僅可以解決形式結構很強的數學公理系統形式地引發的定理的證明之類問題，而且可以解決“知識操作”，這就為AI系統中很重要的的一個分支——知識工程(Knowledge Engineering)打下基礎。

司丹佛大學費根巴屋姆教授的EPAM程序也是在這個階段獲得成功的。他作到了機器聯想。

而麥卡錫則發展了著名的表處理語言LISP(LIST Processor)可用以處理字符及增、刪、改樹狀查找，這種語言有幾種特殊語句如：LAMBDA^{*}——對變量函數值直接給出而不命名，如LAMBDA(X,Y).
X² + Y

CAR, CDR —— 可以將表刪掉某些項，如CAR是刪除表中其餘項只留第一項，而CDR則刪除表中第一項留下其餘項，因而使表操作變得很容易。如(CAR, (FAST
COMPUTER IS GOOD)) 結果 FAST
(CDR, (FAST COMPUTER IS GOOD))
結果 COMPUTER IS GOOD

APPEND —— 組合表語句

如 (APPEND ' (AB)' (CD))

結果 (ABCD)

如 (APPEND ' (A)(B)' (C)(D))

結果 ((A)(B)(C)(D))

CONS —— 對表進行合並 (sorting)，即對表增加一個第一個元素

如 (CONS ' A' (BC))

結果 (A B C)

^{*} 在北航80屆研究生李連生同志也在計算機上實現了這個例子

^{*} LAMBDA是church教授在1941年首先引入的概念

当，最重要的是 LISP 可以造表、改表、並且其原子式是字符组成，因此易于表达知识（人类知识往往是事实的语言——字符的有序意义串组成的——表达的）。而且 LISP 语句很容易对应树状结构，这就便于搜索知识。

表结构的操作可以构造成 P 表（前提表）、A 表（加表）、D 表（删表）。所以根据一定的前提可以对“环境”（又称“世界”）进行变，这样易于逼近问题。

麦卡锡的 LISP 语言的出現使得 AI 有了软件支持工具，它可以操作与表达知识。其中另一个语句 COND 是个条件分支语句，如：

```
COND ( 条件 1  表达式 1 )
      ( 条件 2  表达式 2 )
      ⋮
      ( 条件 n  表达式 n )
```

COND 语句就是一般语句中的 IF 语句。例如 (DEFINE (SGN X)

```
(COND (GREATERP X 0) 1)
      (ZEROP X) 0)
      ((LESSP X 0) -1)))
```

条件 1
表达式 1

条件 2
表达式 2

条件 3
表达式 3

等于定义变元 $X > 0$ 时定义的函数 SGN X（由语句 DEFINE 定义）值为 1；当变元 $X = 0$ ， $SGN X = 0$ ；当变元 $X < 0$ ，则 $SGN X = -1$ 。反之 $X = 0$ 或 1，-1 时上述三条件 (GREATERP X 0)、(ZEROP X)、(LESSP X 0) 或为真或为伪。

LISP 的出現可以对非数值变量进行操作了，也为 AI 中知识工程制造了程序工具。继麦卡锡之后司丹佛研究院创制了 LISP1.5。当然都是孕育期的产物。即 AI 的软件工具也启蒙了。

第三类大事即各种模式识别技术 (PR —— Pattern Recognition) 的成功及智能机器人的相续成功。

于是推广期到达了。这个时期到来得十分迅猛。

(3) 推广期——70年代初至今

这个时期的成果太多也太成功了，以至于除了别有用心的人之外大量专家和专业机构都轉向了AI的研究。这些应用例子如：

(1) 司丹佛研究院的HPP' 80大型计算机专家諮詢系統的投入运行。它包含两部分：第一部份是知识工程軟件工具（见本书第（二）分册第八章），另一部分是十几个現場运行的用于各項工程、科研、医学領域的应用AI系統。需要声明的是人們往往錯誤理解专家諮詢系統是把某一个专家的知识存貯进计算机再在有问题时把他的知识調用打印出来。这样理解是不对的。专家諮詢系統需要计算机有很多的終端在AI知识工程軟件支持下把很多人类专家的知识输入但不是簡單存貯而是把这些知识打碎成原子知识，再重新推理、组合、产生。这样可以对人类专家們的知识去掉个别专家的錯誤，保存多数专家的正确意见与答案。更重要的是AI系統可以利用知识推理、产生軟件产生出更多的知识。这就进展到现代所謂“知识工程”的阶段。在知识工程中被计算机操作的不是数据而是知识代碼。相当地，所配置的不是数据库（Data Base）而是知识库。知识库的构造一般规模較大，为了解答问题很快，对知识库进行搜索必需很快，所以相应地产生了树状搜索的策略问题和对不必要搜索的枝、叶的删枝（Prunning）问题。这些问题都在第（二）分册第三章中有所描述。

知识工程不仅用在专家諮詢系統，现代化的计算机輔助设计（CAD）中也要运用。如第（一）分册中Latombe设计的AI化CAD軟件TROPIC中就把上述技术运用在其中。为了解决问题能够快速，TROPIC的知识庫是分层結構的关系知识库。这个知识库分为三层：第一层是关于问题所属領域的知识庫；第二层是问题本身的知识庫；第三层是问题解决方面的知识庫。三者用SPSi（Structural Problem Solver——結構问题解决程序的英文缩写）来結構成某个专门问题进行解决。

2. 兰德公司SMG系統

设在美国加州Santa Monica的兰德公司有一个特約研究，他們利用AI方法在计算机上对于从城市规划、能源规划一直到各种类型的战略战朮进行最优规划模拟，在本书第（二）分册第九章中对此进