

遗传算法

自然法则

计算

人工智能

②

计算机科学 1994 Vol. 21 No. 3

按自然法则计算导论^{*}

——一个颇具前途的学科

9-12

TP301.6

刘 岩 王义和 李晓明

(哈尔滨工业大学计算机科学与工程系 哈尔滨 150006)

摘 要 In this article, the authors, first, introduce the fundamental principle of "physical computation" and the process of its coming into being. Then, on the view of "physical computation", we systematically discuss the "nature of intelligence". Finally, we overview the current state in this realm outside and in our country. In conclusion, we provide, to our knowledge, the significance and the prospect of "physical computation".

关键词 Physical Computation, Simulated Annealing, Deterministic Annealing, Genetic Algorithm, Artificial Neural Networks, Elastic Networks.

一、什么是按自然法则计算

Geoffrey. C. Fox 在 1991 年^[1]首次提出了“按自然法则计算”(Physical Computation)这一概念。按 Fox 的定义,按自然法则计算是“将大量的自然科学领域的思想、方法,用于其传统应用领域之外的其它领域”,将原思想、方法的本质提取出来,用于解决新领域的问题。

G. C. Fox 例举了按自然法则计算的四大分支:将统计物理学中的退火思想应用于组合优化理论的模拟退火算法(简称 SA);将生物学和神经细胞学思想用于“机器学习”和“模式识别”的“人工神经网络”;模拟牛顿力学方法的弹性网络方法;以及由模拟退火算法与启发式搜索算法相结合而演化来的确定性退火思想。

事实上,早在 Fox 之前,按自然法则计算的思想就已广泛地为人们所认识。六十年代末,密执安大学的 John. H. Holland 根据生物遗传学规律给出了一种生成和测试型算法^[2,3]——“遗传算法”(Genetic Algorithm),并在其著作《Adaptation in Nature and Artificial System》(1975)中对遗传算法进行了系统

地阐述。事实上,遗传算法是仿效生物物种进化原理的一种程序设计方法。生物通过自然淘汰和突然变异,以适应环境。遗传算法也是使问题的解不断变化,在优胜劣汰中,最终求得较好解^[2],随着研究的进一步深入,关于遗传算法的成功应用不断涌现。密执安大学的 Robert Axelrod 和新墨西哥大学的 Stephanie Forrest 将遗传算法用于解决为社会学家和经济学家所喜闻乐道的囚徒的二难推理问题,以寻求一种解决问题的策略。经实验,算法可以很快找到一种称之为“以牙还牙”的策略,并在进一步的实验中“识破虚张声势者的欺骗,并强化该策略”^[3]。伊利诺斯大学的 David. E. Goldberg 利用 GA 开发出一个控制系统,该系统用于对由美国南部向北部运输天然气的管道进行控制。通用电气与伦斯勒工业研究所的一个研究小组利用 GA 开发出用于高空喷汽发动机辅助设计的系统,在该系统的辅助下设计人员只需两天时间就能设计出比人工八周的设计还优三倍的方案^[3]。

1982 年, Kirkpatri^[4] (独立地 1985 年, Cerny^[5]) 将统计物理学中的退火思想与 Metropolis (1953 年) 给出的 Metropolis 抽样

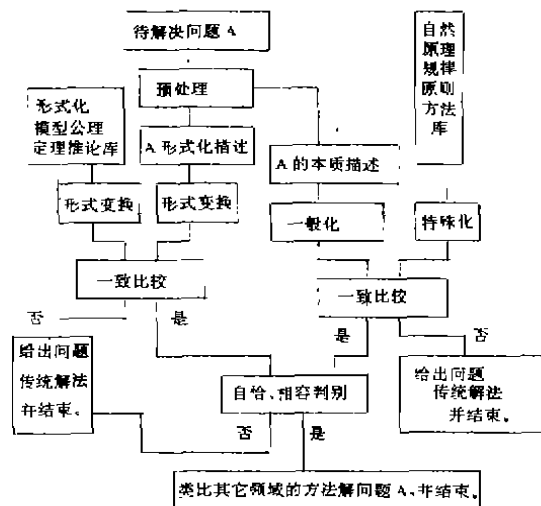
* 863 智能机主题基金资助课题。王义和 教授、李晓明 教授

法^[6]结合起来,给出一种称之为“模拟退火算法”(SA)的先进组合优化方法,该方法的诞生标志着按自然法则计算进入了一个全新阶段。事实上,“大多数自然过程本质上都可归结为优化过程”^[1],模拟退火算法恰是解决组合优化问题的一个有力工具,因此SA自诞生以来在包括机器学习、数据压缩、图象处理、甚至天体物理在内的众多领域都有着成功的应用^[6,7,8]。

随着研究的不断深入,按自然法则计算的其它分支相继被提出,Kenneth Rose 在其博士论文《确定性退火、聚簇和优化》(1991)中系统地论述了确定性退火算法,并利用它成功地解决了经典组合优化问题之一的“点聚簇问题”。

目前按自然法则计算已发展成为一门包括模拟退火、确定性退火、遗传算法、神经网络、弹性网络等众多分支的一个颇具前景的研究方向。

按自然法则计算解决问题的步骤与思路大体上可用以下框图表示:



由上图可知,“按自然法则计算”对于给定的问题首先进行预处理,得到问题的“本质描述”和“形式表示”;将问题的形式化表示与自然科学的形式化“模型”、“公理”、“定理”、“推论”相比较,如果形式上一致,则有可能采用相同的方法进行处理;将问题的本质描述

与自然“规律”、“原理”、“原则”相比较,如果它们本质上相同,则一定能采用相同的方法进行处理。

二、按自然法则计算的本质及其对智能的本质特征的看法

“科学规律有其适用范围,该范围是客观的和以学科界线为转移的”。以上思想是“按自然法则计算”的理论基础。“按自然法则计算”是在承认自然科学规律的特殊性的同时,追求其普遍性的一门学问,它以“计算”和“计算机”科学为研究对象,追求事物的本质规律,并力图给出事物的自然模型。

从科学史的角度来看,科学经历了由“包罗万象的古希腊哲学”到“现代分支众多、研究领域专一的庞大的学科体系”的演变,这反映了现代科学发展到了相当的高度。随着科学的不断发展,各学科相互借鉴,相互渗透的趋势日趋明显,出现了许多边缘学科。这些边缘学科的产生,表面上反映了学科之间的相互启发,相互影响的作用,但从本质上来讲,越来越多的边缘学科的产生正体现着科学本身是一个有机的整体。随着科学的发展和人们对自然规律认识的加深,“突破学科界线,以自然规律为研究对象”有可能成为必然的趋势。我们认为在“计算和计算机科学”领域,按“自然法则计算”可能恰恰反映了这一趋势。

自 1956 年,人工智能(AI)一词诞生以来,由于在基本出发点、方法学、应用领域等方面的不同考虑,形成了对人工智能的几种不同的认识。较有代表性的是人工智能的三大学派:符号主义,或逻辑/符号主义学派;连接主义,或并行分布处理学派;进化主义,或行动/响应学派。此三大学派各持一端,文[9][10]对人工智能的本质展开了激烈的辩论。

如果站在“按自然法则计算的角度”,对“智能行为的本质特点”将有以下认识。

由“按自然法则计算”的基本思想可知,要研究智能的本质,就要从分析“智能”的天

然载体——“人脑”思维的本质属性入手。人(或说人类智能)对一个待解决的问题通常如下处理:

首先,联想头脑中与此问题有关的知识(所处理的一切知识都不是独立的,即它们之间都存在着某种相互关系。另外,所选的知识未必穷尽所有相关知识);

然后,凭某种“知识性”或“经验性”指导原则(未必对一切选择都量化)对知识进行组合,有时产生某种“顿悟”,巧妙地引入一些起关键作用的“自明的公理”或对某些似乎无关的知识进行“出乎意料”的相关处理;

再面向目标,得到或选择(未必都通过定量的比较或形式的推理,有时可能引入一些其它的因素,例如说心理因素)一种解决问题的方法(未必是最优方法);

最后,将结果与目标要求相比较,看是否满意(而不是看是否最佳),如果达到满意程度,则终止思考过程并给出答案;否则,如果解与要求相差极远,则总结新的经验和教训,引入更多的知识,并更长时间地进行涉及更多知识的思考(以求得到更丰富的“联想”和更多的“顿悟”),在此基础上,重复前述过程;如果解与目标相差不大,则引入更多知识,对解进行改进。最终给出对问题的解。

通过对上述人类思维过程的分析可知,人类思维的三个本质特性是:“随机不确定性”、“非线性”、“追求满意解”(简称“满意性”)。“随机不确定性”体现在,“联想”时,对“知识之间联系”的认识是因人、因事、因时而异的;解决问题时,对知识的组合方式,含有某种不确定性;“顿悟”的产生从某种意义上来说是随机不确定的,…。 “非线性”体现在,解决问题时,所用的知识都彼此有一定关系,而且在具体情况下所面临的问题,以及问题的各个方面都是相互制约的,…。 “满意性”体现在,对解的要求是以“现实满意性”为标准的,…。概括地说,“智能过程”就是“随机不确定地、非线性地,追求满意解的过程”。

作为终极目标,按自然法则计算试图突

破现有的“确定、线性地,追求精确解的图灵计算模型”,建立“随机、非线性地,追求满意解的智能计算模型”,即给出智能的“本质模型”。

虽然现在还没有迹象表明上述终极目标会在短期内实现,但按自然法则计算的各分支在不同领域的成功应用仍可表明,该学科既有深远的理论意义,又具现实的应用价值。事实上,“按自然法则计算”与人工智能的三大学派也是密不可分的,例如,属于连接主义学派的人工神经网络和属于进化主义学派的遗传算法都是“按自然法则计算”的重要分支,但显然,“按自然法则计算”对它们认识的角度有所不同。

三、按自然法则计算的研究现状

按自然法则计算的思想,在国际学术界已引起人们的广泛重视。目前,在国际上,按自然法则计算在应用领域较成功的分支有:人工神经网络、模拟退火、遗传算法、确定性退火。其中模拟退火(包括其变种,确定性退火)算法的应用范围广至“机器学习”、“模式识别”、“数据压缩”、“天体物理”^[6]、CAD^[7]、甚至“地矿勘探”^[11]等众多领域。遗传算法作为一种具隐式并行性(implicit paralling)^[3,12]的优化算法,在某些方面较模拟退火算法更具优越性。它在“解经典组合优化问题”、“方案决策”、“软件工程”、“自动控制”、“计算机辅助设计”等领域都有着成功的应用^[3,12]。

目前国际上,在“按自然法则计算”理论研究方面,站在该领域前列的有:

G. C. Fox^[1]、John. H. Holland^[3]、S. Kirkpatrick^[4]、J. J. Hopfield^[13]、K. Rose^[8]、P. Simic^[14]、W. Furmanskj^[15,16]、B. R. Brooks^[17]等人。

其中尤以 G. C. Fox 及其合作者的工作最全面,最深入,且最具代表性。

另外,有很多著名学者虽然未必知道或未必同意“按自然法则计算”这一说法,但所谓殊途同归,他们在其各自的领域中,也往往自觉或不自觉地遵循了这一思想。英国剑桥

大学的 Penrose 即为一例。

作为一名杰出的物理学家和数学家, Penrose 曾于六十年代, 以在“发现黑洞现象, 并论证该现象存在的可能性”的过程中所做的贡献而闻名^[18,19]。Penrose 在其宏篇巨著《The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics》(1989, Oxford University Press) 一书中不自觉地体现了“按自然法则计算”的思想^[20]。

Penrose 在书中表面上是要驳斥“计算机有朝一日能做人脑所做的一切工作, 甚至能超过人脑”的观点。事实上, Penrose 想将“经典物理学”、“量子物理学”和“神经心理学”综合起来为实现本质意义上的“智能”指出一条道路来^[20]。Penrose 认为^[20,18], “计算机不可能完全模仿数学家的思想”是因为它受其本身的计算能力所限制。Penrose 认为计算机的计算能力的范围是与 Godel 定理有关的。Godel 定理认为, 任何数学系统都含有一些不言而喻的(或称自明的, 或先验的)精确性, 这些精确性是不能被数学系统的初定律(或称公理)有效地证明的^[18,21,22]。Penrose 认为, “人的思想能理解这些精确性, 而受规则限制的计算机则不能”。他认为, “人的思想与计算机的根本区别, 可能与量子物理学有关”。众所周知, 量子物理学的一个奠基性原理为“测不准原理”^[23], 该原理决定了“量子级系统不会有单独方向的行为或状态, 但会有许多不同的以某种方式相互重迭的状态。然而, 在测定这一系统时, 所有重迭的状态都会塌陷成为单个状态; 在所有可能性中显然只发生一种可能性”。Penrose 指出“现在的任何计算机都不能取代这种量子过程”。显然, Penrose 将量子物理学中的“测不准原理”、可计算性理论和集合论中的“Godel 定理”与人类思维的“随机不确定性, 非线性, 满意性”有机地结合起来考虑, 这显然是“按自然法则计算”的思维方法。Penrose 暗示, 通过量子思想的引入可能突破受规则限制的计算机能力(即突破现有的图灵模型), 得到真正的智能模型。按 Penrose 的

话说就是“有朝一日, 人类会找到回答这一切问题的最终答案”, 这一目标显然与“按自然法则计算”的终极目标相一致。

在国内, 八十年代末, “人工神经网络”(ANN)的研究逐渐热了起来, 后来, 由于对 ANN 的过高期望被“人工神经网络”日益暴露出的缺点所打破, ANN 的研究开始降温; “模拟退火”, “遗传算法”在国内也有一些具体应用, 且有几家著名的科研机构还在从事其理论研究。

四、结论

在“按自然法则计算”(P. C.) 领域, 我们课题组进行了若干理论与应用研究, 并对国际国内在该领域的前沿工作进行了跟踪。随着工作的不断深入, 我们对该领域的研究前景持越来越乐观的态度。

考虑到当前“科学技术条件”的限制及人们对“智能”认识的局限性, 我们暂时不讨论“按自然法则计算”在突破“现有的图灵计算模型, 建立智能计算模型”和“建立计算及计算机科学”领域的“大统一理论”(如果该理论存在的话)方面所可能具有的深远影响。仅从“按自然法则计算”在正确认识“计算及计算机科学”领域现有的规律, 发现新规律以及指导应用等方面的作用出发, 对 P. C. 进行讨论。我们认为研究 P. C. 至少具有以下三方面的意义:

(1) 研究“按自然法则计算”有助于从新的角度对“人工神经网络”、“模拟退火”、“确定性退火”、“遗传算法”等进行更全面的认识。从 P. C. 的角度看问题, 就会认清 ANN 的局限性和阶段性, 不会把 ANN 当成是解决人工智能的终极途径, 或走向另一个极端, 抹杀 ANN 在“学习”与“识别”中的作用; 从 P. C. 的角度看问题, 就会正确认识 SA“完美的理想定理”与“极不完善的应用理论”之间关系, 不会认为对于 SA 已无事可做; 从 P. C. 的角度看问题, 就会正确认识 DA 与 GA 在解决低维和高维问题时各自的优缺点。

(2) 以“按自然法则计算”的方式进行思维, 能将我们的思路自动地引向对事物本质规律的探索, 使我们自觉地建立不同领域规律之间的联系, 启发我们开发出新的模型和算法。

(3) 认识到“按自然法则计算”的意义, 可以更有效地寻求适合于 SA、DA、GA、ANN 的应用领域, 开发出更多的有应用价值的系统。(参考文献共 23 篇略)