

智能计算机基础研究'94

李未 怀进鹏 白硕 编

清华大学出版社

智能计算机基础研究'94

李未 怀进鹏 白硕 编

清华大学出版社

1994年4月

(京)新登字 158 号

智能计算机基础研究'94

李未 怀进鹏 白硕 编

责任编辑 贾仲良

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本:787×1092 1/16 印张:35.5 字数:886千字

1994年4月第1版 1994年4月第1次印刷

印数:0001—1200

ISBN7-302-01530-9/TP·623

定价:88.00元

前 言

八六三智能机系统主题基础研究专题,经国内专家酝酿和初评,又经专家组评审,在92—94年度,下达了31个课题,共53个子课题。据初步统计,两年来智能机主题在基础研究方面发表的论文超过400篇,在国内一级学报和国外发表的论文超过80篇。为了检查这两年来在基础研究方面的进展,总结经验教训,专家组决定召开这次基础研究学术会议。

会议从准备工作开始,就受到有关课题组和各方面的热情支持。这次会议程序委员会一共收到论文180余篇。不论从论文的数量还是从论文的质量来看,比过去都有较大提高。由于时间和经费方面的限制,程序委员会不能把所有好的论文都收入到论文集,经过会议程序委员会认真评选,只选出了其中的三分之一共62篇,形成了这本论文集。

经过七年的探索和实践,专家组在如何挑选课题,实施八六三计划方面已经形成了共识,这就是:“理论和方法上要有所创新,关键技术上要有所突破,在应用和产品开发上要有效益”。根据这个精神,作为智能机主题的一个重要方面,基础研究的主要任务应该是:正确地提出研究方向,确定有关键意义的问题,有效地组织研究队伍,以确保在本世纪内取得创新和突破。

在经过专家们酝酿协商之后,我们在课题指南(基础专题)中提出了12个研究方向,并从中选定了“并行计算”、“常识推理”和“数字模拟混合系统”三个方向作为突破口。因为它们都有很强的应用背景,而且尚待创新和突破的问题的目标明确,特别是在这三个方向上我国的研究基础较好,有望在几年内取得重大创新和突破。

对这三个方向,我们也根据它们的特点采取了不同的组织方法。例如,在并行计算方面,我们把有关课题直接划归“国家智能中心”,由中心实施组织和领导,以便把并行计算的理论研究与中心承担的发展“大规模并行计算机”技术和产品的任务更紧密地结合起来,互相促进。

在常识推理方面,我们采用了“组织起来集体攻关”的办法。具体的作法是:选拔国内在这方面有成就的一部分中青年学者,有针对性地下达课题,以保证这个集体有必要的研究经费和条件,采用定期讨论,发扬科学民主,鼓励学术思想的创新性。以便逐步形成一个有共同目标,共同语言,互相切磋,开放宽松,富有创造精神的集体。经过两年的初步实践,取得了较好的效果。目前参加这个集体的有15人,平均年龄35岁以下。这个集体两年完成论文122篇,平均每人每年4篇。他们的论文连续两年进入了国际著名的人工智能及软件理论会议,在我国刊物上发表的论文中,《中国科学》10余篇,《计算机学报》(中外文)20余篇。15人中,有4人被提名破格晋升正教授,7人破格晋升副教授,4人受邀到国外短期讲学访问。这个集体已初步成为我国在常识推理研究方面的一支劲旅。

在数字和模拟混合计算模型研究方面,我们采取了国际合作的研究方式:以实时系统

的理论为突破口,与“联合国大学软件所”签定了为期两年的合作研究项目。经过双方磋商,我们推选了在这方面有基础的国防科技大学、上海交通大学、南京大学、以及北京航空航天大学代表中方参加合作项目。经双方两年的努力,我国与联大软件所一起在实时系统研究方面达到了国际先进水平,形成了有特色的研究方法。双方还合作培养了在该方向进行创造性研究的高级人才,并促进了我国与国际在软件研究方面的交流。这个合作项目也为在改革开放环境下,探索我国在基础研究方面进行国际合作的新体制方面做出了贡献。

尽管我们取得了不少成绩,但是与发达国家相比,我们在基础研究方面,还有很大差距,还应作长期不懈地努力,以便为计算机科学和技术的进步做出更大的贡献。

最后,我要对清华大学出版社,以及会议组委会的怀进鹏和白硕同志表示感谢,由于他们的努力,这本论文集才得以在这么短时间里出版。

李 未

1994年3月

目 录

0 特邀报告

基于人工神经网络的语义、句法模式识别	戴汝为 (1)
时段演算综述	周巢尘 (6)
计算智能: 一个重要的研究方向	李国杰 (9)
关于知识库维护的逻辑	李 未 (13)

1 并行计算与算法

求解 TSP 的演化算法	Iain Macleod 陈璐鹃 康立山等 (23)
GPMB——一个新的多分支全局软件流水方法	汤志忠 张赤红 陈 刚 (36)
$(1, x_1, x_0)$ 型奇异 Ulam 集简捷判定	郭 容 (47)
100MFLOPS 和 10MFLOPS 谁快	刘德才 王鼎兴 郑纬民等 (54)
PLC 板存储系统设计	龙 翔 李 未 (63)
迭加格子 Boltzmann 模型	邹秀芬 陈炬桦 李元香等 (71)
冒险模拟退火算法及其在任务映射上的应用	倪 南 张德富 王 晨 (78)
关于一般模拟退火算法的收敛性	何 军 印 鉴 (87)
DATALOG 查询可并行计算的几个层次	施伯乐 朱扬勇 (92)
最小生成树的多边更新并行算法	唐策善 (99)
一种关于 Do-loop 并行划分的新观点与新方法	刘 键 谢 卫 (108)
地球资源卫星轨道捕获的算法研究	王锡祥 (116)
数据库多查询任务并行处理技术研究	李庆华 高 燕 崔国华 (126)

2 常识表示与推理

模态逻辑 K 可证公式的整体性质	孙吉贵 程晓春 刘叙华 (137)
基于中介逻辑 ML 的不完全信息推理系统 ISML	朱梧楦 肖奚安等 (144)
开放逻辑中的重构与认识进程	丁德成 苏开乐 孙智伟 (163)
认知学习模拟的逻辑方法	洪家荣 (169)
带函词的中介谓词演算系统 MF^* 的三元消解原理	肖奚安 朱梧楦 邓国彩 (178)
一种静态的协商模型	胡 蓬 何 英 石纯一等 (188)
逻辑聚类演算	白 硕 (199)
关系数据库的证据生成与合成	陈 雁 徐 萍 张文修 (206)
克服不完全领域理论问题的补充解释的学习方法 CE	张 旗 石纯一 (212)
类比求精的计算模型	李 波 赵泌平 (222)
一种面向联想类比学习的逻辑	徐金辉 蔡庆生 陈恩红 (231)
反应块及其在类比推理中的应用	李 红 徐立本 张世伟 (237)
非单调模糊集合运算	刘东波 (245)
一种适用于开放世界的决策方法	鞠实儿 (256)
信念空间: OISS 的一个基础	肖育东 (262)

悖论逻辑的表演算系统 林作铨 (276)

3 新计算模型

一个面向对象的图形化的计算模型 汪成为 朱明远 (282)

DYL 数字模拟混合乘法器及其在神经网络高速运算中的应用

..... 王守觉 魏允石 石 寅 (290)

一种广义模糊逻辑 何新贵 (297)

可能性构造空间(PCS)中的联想算子集 李德华 雷宜武 焦淑卿 (302)

分布式推理判决系统 郭 雷 郭宝龙 (322)

神经网络中的动态阈值联想 汪 涛 俞瑞钊 何志均 (331)

动态系统自动分析的转换式方法 马世龙 郑志明 宁书成 (339)

自适应动态隐节点前向网络的研究 陈 海 李天牧 (349)

海马记忆功能模型与记忆的巩固 黄秉宪 (356)

基于神经网络的非线性优化方法 任宏萍 尹申明 陆建东 (363)

Transputer 阵列上实现的通用 Kohonen 应用平台 ... 张 群 何 刚 陈国良 (368)

逻辑电路的神经网络 刘永才 徐惠刚 (375)

基于 μ 质了及其感受野的认识模型 沈 清 李志刚 (381)

人工神经网络的竞争学习方法 钱敏平 (388)

4 软件理论与工程

符号处理机器的存储结构操作 宋 柔 朱 宏 高健舜 (398)

Unity 的代数语义研究(I) 黄且圆 王 驹 (406)

知识推理描述语言 NUML 的设计、实现及应用 ... 许满武 陆剑锋 曾凡聪等 (415)

带否定的 DATALOG 的语义的不动点特性 周傲英 施伯乐 (425)

结构化的形式规格说明语言 Z.S 的设计与实现 潘 旭 朱在铭 (435)

VLIW 编译器智能优化系统 张 莉 陈 红 周 颖等 (445)

NDOOM: 一个 Modula-2 的面向对象扩充的设计与实现 郑国梁 李宣东 (453)

状态迁移理论——关于循环不变式的探讨 都志辉 张乃孝 (462)

程序设计语言的语用性质 王怀民 刘凤岐 (467)

相对伪线性项重写系统及其合流性 林 凯 孙永强 陆汝占 (474)

状态逻辑型程序设计语言 闫志欣 (483)

5 多媒体技术与自然语言处理

智能计算机辅助教学系统生成工具 YUCAI 陆汝铃 陈永红 曹存根等 (493)

面向多媒体数据处理的并行加速系统 张 晶 高 文 陈熙霖 (500)

汉语的知识表示及其语言工程方法 姚天顺 滕永林 唐泓英等 (510)

基于 GPSG 和广义 LR 算法的汉语分析器 周 斌 吴立德 (520)

基于解释学习的汉语句子分析研究 郭炳炎 李晓黎 (527)

CAD 图形支撑环境 刘慎权 谭 峻 唐卫清等 (534)

多媒体同步技术 曹 钧 钟玉琢 徐光佑 (544)

一个网络环境下的多媒体信息管理系统 MIMS ... 王 朴 朱海滨 朱晋宁等 (553)

基于人工神经网络的语义、句法模式识别

戴汝为

(中科院自动化所人工智能开放实验室)

摘 要: 本文首先从科学中的启发性论据、系统的整体性能等方面加以引申来探讨形象(直感)思维。然后讨论人的模式识别,并以此为参照来考虑用计算机进行模式识别的问题,扼要地对以人工神经网络与物理符号系统相结合为着眼点的“语义、句法模式识别方法”加以介绍。并以手写汉字识别为例,说明这一方法在实际应用中的有效性。

1 前 言

我国著名科学家钱学森于 80 年代初提出创建思维科学技术部门的主张,并认为思维科学研究的突破口在于形象思维^[1]。1986 年国家高技术计划把“智能计算机系统”作为信息领域的主题之一。由于开展了智能计算机的研讨,并对人工智能研究的进展缓慢加以反思后,越来越多的人对研究形象(直感)思维的重要意义有了更进一步的认识。

谈到形象(直感)思维往往使人联想到科学中的启发性论据(heuristics),就人工智能领域来说,专家系统取得了很大的进展,而启发式知识的应用及启发式搜索是专家系统不同于一般计算程序的关键之一。启发式知识是一些难以精确描述的知识,它以专家的经验为基础,以及一些直观感觉,带有假设的色彩。我们可以对启发式知识作这样的理解:有关目前问题的局况与合适的解之间的经验知识,这种经验知识难以用语言讲清楚,但又非常重要。另一个值得重视的问题是如何从整体上来看待一个系统的整体性能,把握全系统的形象,而不是系统中的一枝一节。格式塔(Gestalt)心理学的观点是值得借鉴的,格式塔的一个基本特征是,凡是格式塔,虽然它是由各种成份与要素构成的,但该格式塔决不等于构成它的所有成份之和。一个格式塔是一个完全独立于这些成份的全新整体,它是从原有的构成成份中“实现”出来的,它的特征与性质都是在原来的构成成份中找不到的,概而言之,部分不能决定整体;“整体”的性质反过来却可以对“部分”的性质有着极重要的影响。必须重视整体的形象。

还有一个问题是中医里的“证”,即从人体的整体状态考虑进行综合诊治,不是头疼医头,脚疼医脚,而是讲从整体上考虑问题。另外,人从眼、耳、鼻、舌等感官获得信息,进行模式识别,把感官感觉到的信息和知识,与大脑中存贮的信息从整体上加以比较,进行搜索与匹配,找出并识别“形象”。而这种搜索与匹配的效率与情感密切相关。从以上这些方面加以引申来探讨形象(直感)思维,可以说是抓住了问题的实质。

2 中国传统文化中的比喻的方法

在讨论到形象(直感)思维时,认为一些经验体会是“只可意会,不可言传”。有人就问,既

然不可言传,那么怎么能理解,又如何加以研究呢?这是中国传统思维着重于“用心体会”的认知方式存在着不容易进行交流的弱点,但绝不是无法研究。中国历史上佛教到了六祖慧能继承衣钵创立了南宗顿教,规定的教义之一是“不立文字”。讲求的是创造的直观,亦即在感受中领悟到某种宇宙规律。慧能本人是不识字但能“悟”的典范,而佛教也一直流传下来。《易传·系辞》上曾有一段很深刻的文字,“书不尽言,言不尽意;……圣人立象以尽意”。前人对只可意会的东西的论述,采用的是比喻的方法。比较典型的一个例子,是范缜对形神关系的比喻,就非常精采,在中学教科书中可找到。形神的比喻是:“神之于质犹利之于刀,形之于用,犹刀之于利。利之名非刃也,刃之名非利也;然而舍利无刃,未闻刃没而利存,岂容形亡而神在?”(《神灭论》)。前人还采用“比类取象”,“援物比类”等方法。这里我们用中医诊断疾病来对形象(直感)思维作比喻,也许可以对形象(直感)思维有进一步了解与较好的说明。从中医诊断来加以分析,首先是立“象”^[2],大夫通过多种媒体(望、闻、问、切)等感知及自身的体会,建立子模式,再形成与各种病症对应的模式类。立“象”的过程是大夫与大量的病人接触、学习与诊断的过程,病人实际上起到为大夫提供样本的作用。立“象”是十分复杂的认知过程,是大夫的实践与经验积累的过程。可以说是多维的(望、闻、问、切)自下而上的综合集成(metasyntesis)过程^[3],这是由大夫的大脑这一系统来完成的。最终把实践经验沉积于大夫的脑中,形成表征与各种病症相对应的各种模式类的“意”,达到立象表意。立“象”很重要,在此过程中,采用以象说象的办法建立一种描绘整体形象的比较抽象的象称为“意”。中医大夫对病人疾病的诊断是靠对人体的整体了解以“意”之间的相似性来加以判断的。以象说象的办法可以用一个二元式来表示一个模式P的方式加以表达,P包括象(用I表示)与意(用E表示)两个成份,

$$P=P(I,E);$$

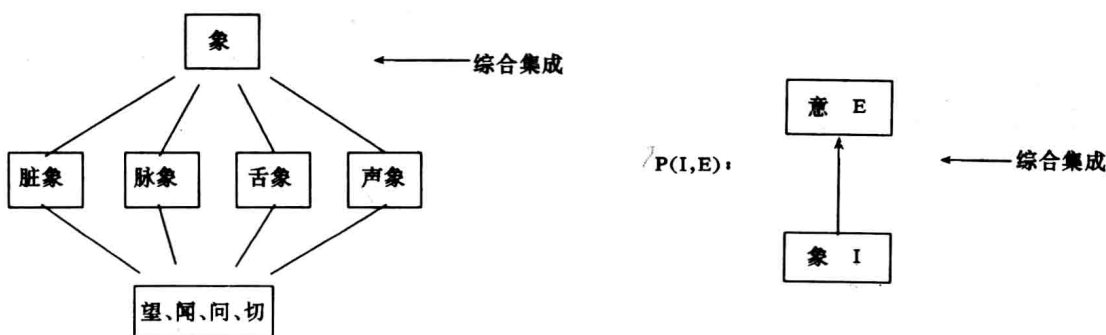
其中: I 称为模式P的象,包括感性成份与理性成份;

E 称为模式P的意,是一种比I较为抽象的象,也包括感性成份与理性成份;

E 的感性成份是相应的象I的感性成份的凝炼和浓缩;

E 的理性成份是相应的象I的理性成份的涵益和总结。

由于中国传统思维中认为感性与理性是相通的。所以E可以认为是从I通过综合集成,即从定性到定量的综合集成所得的结果。。



如上图所示,从象到意可以是一个层次,也可以用多层次形象的类比与寓意来完成。

总之,人识别模式可以说是形象(直感)思维的一种方式,而综合集成在识别的过程中起

着核心的作用。关于模式识别,德国的涅曼教授有如下的说法:对于简单的模式,识别指的是分类。对于复杂的模式,识别指的是描述。可以说模式识别包括分类与描述两重含义。归结起来,人的模式识别有两个要点,即认知(cognition)与识别(recognition),英文的 recognition 这个字表达得较为清楚,说得更详细一点。人的模式识别可概括为:

(1) 以实践与经验为基础,通过多种媒体的认知(cognition)经反复学习,包括有教师的学习,在人脑中建立模式类,即“建模”或立“象”,并通过综合集成而从总的方面掌握“意”存贮于脑中。

(2) 对新出现的模式,用一种衡量“意”之间的相似性度量进行搜索识别(recognition)。判定与存贮在脑中的哪一类模式相匹配。这就需要对存贮在脑中的所有模式进行搜索。而在搜索过程中不是一个一个的顺序搜索,搜索与匹配是两个重要的环节,与人的情感有关,那种突如其来的发现,例如突然领悟到了“呀!原来是这么回事”的体验,是需要借助于情感的。当人们颇为激动的时候,他们从象到意的综合集成及搜索与匹配的效率就会提高。总之,从中国传统思维中把形象(直感)思维概括为“象、意、情”的综合体现,应该说是很有道理的。

3 模式的语义与句法两者间的关系

上面我们讨论了人的模式识别。用计算机进行模式识别所形成的软、硬件技术已成为信息技术中的一个组成部分。虽然也有一些人从认知的角度来研究模式识别,但到目前为止,用计算机进行模式识别的工作中,所面对的都是十分死板的模式。对于“建模”这一重要问题几乎完全忽略,把问题转为“对样本的特征抽取”,而特征抽取并没有一般的行之有效的方法。在利用计算机进行处理的前题条件下,上节所谈到的关于一个模式包含两部分的构思得到充分的发挥。一个模式也可定义为:

$$P=P(x,u)$$

其中: x 表示 P 的结构信息,称为句法部分;

u 表示 P 的属性等,称为语义部分。

并考虑一个模式 P 由一些称为基元(primitive)的基本元素构成,这些基元具有某些能刻划基元性质的属性,属性可以用数值表示,基元之间的相互联系用关系属性表示,由若干基元可以构成子模式,再由若干子模式构成更复杂的模式,以此类推,最终构成所研究的模式。如果一个子模式由若干基元组成,而基元的属性已经知道,那么子模式的属性如何由基元的属性加以决定的办法称为语义规则或语义函数。于是就形成一个形式化的体系,可以采用一种称为“语义句法方法”的方法^[4]来描述这一体系。这种描述也包括两个部分:一是句法部分,用一个上下文无关文法或有限状态文法的导出式表示;;二是语义部分,它包括基元、子模式的属性、基元与子模式间的关系属性,以及语义函数。

在用计算机进行模式识别的发展过程中,最初采用的一般性的数学方法是统计法或决策理论法,以后又提出一种以形式语言理论为基础的句法方法^[4],其着眼点是构成模式的语法与语义之间存在着一种折衷的关系,即可以通过使语义的表达变得复杂一些而降低句法的复杂性,或者反之使句法的表达复杂一些而降低语义的复杂性。这一方法实质上是把统计方法与句法方法有效地综合在一起,既体现出统计方法的优点,又具有句法方法能利用结构信息的长处;传统的统计方法与句法方法实际上分别成为这一方法的特殊情况。

4 确定语义函数的近似方法

我们讨论人的模式识别时,从“象”到“意”是人脑加以综合集成而达到的,用计算机根本没法作到。局限于语义句法的描述而言,实际上在对语义的处理方面,如何计算语义函数也是个问题,换句话说,如果一个子模式 $P(x,u)$ 由 k 个子模式 $P_1, \dots, P_k$ 模式构成,它的属性为 u 。 P_i 的属性为 $u_i, i=1, 2, \dots, k$ 。说得简单一点,所谓的语义函数,就是如何由 $u_1, u_2, \dots, u_k$ 而得到 u 。如果一个模式由一个树状结构表示,那么问题就是如何从树的叶节点的属性逐层往上综合以求得与根节点相对应的属性。语义函数是一个非线性的映射,这种非线性的映射计算起来比较困难。

近年来人工神经网络研究取得了很大的进展,人工神经网络可以作为一种分布式表达,所谓的分布式表达是相对于局部表达而言的。局部的含义在于所使用的基元具有独立的物理意义,这就是传统的物理符号系统的基本假设。而分布式表达则是表达模型所使用的基元,没有独立的物理含义。人们很自然地把人工神经网络与物理符号系统两者结合起来。另外,有人论证了在满足一定条件的情况下,一个多层人工神经网络可以实现一个非线性映射。根据这个理论结果,我们就可以用人工神经网络来作为语义函数,如图所示。而这种人工神经网络的参数即“权”值是通过有教师的学习来完成的,由教师把握住宏观的情况。所以人在这一过程中起到积极的作用。这样一来确定语义函数就有了一定的办法。我们把模式的语义句法描述及采用人工神经网络的识别方法称为“基于人工神经网络的语义句法模式识别方法”^[5]。

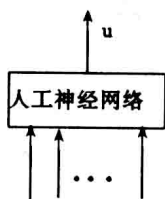


图:语义函数的构建原理

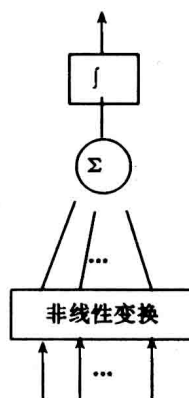


图:语义函数构成

这一方法体现了把人工神经网络与物理符号系统两者相结合用于解决模式的识别问题。上述确定语义函数的方法已在手写汉字识别中得到应用^[6],识别手写汉字所遇到的困难是由于各人书写汉字时的方式与习惯不同,所以是千变万化的,计算机难以判断对于输入机器的一个汉字,有的笔划究竟是一个短划呢,还是由于噪声形成的“毛刺”。另外,由于连笔等问题把笔划当成基本元素不实际,所以把字根(偏旁部首)作为基本单元,称为子结构。通过一些运算把子结构检测出来,与子结构对应的运算是靠人确定的。一个子结构由若干笔划组

成,检测到的子结构由畸变的笔划构成,具有模糊性,把这些模糊了的笔划的属性 $u_1, u_2, \dots, u_k$ 送到一个类似于感知器(perceptron)的网络中,并经过一定的非线性处理来求得与子结构对应的属性(用一个向量表示),然后根据一系列的样本来进行学习,如图所示。例如对于字根“木”,把左偏旁正、负样本输入计算机,当一个样本输入时确定网络的输出应该是“正”或“负”,用一个算法对参数加以调整,并给出一定的准则,以确定在 n 个参数 $P_1, P_2, \dots, P_n$ 中,有较大影响的 m 个,则这个量可以定义为字根的属性。该训练过的网络就起到语义函数的作用。

5 人-机结合的识别系统

研制模式识别系统有两种构思,一种是致力于研究完全不依赖于人的系统,也就是自主(autonomous)系统;另一种是研制人与计算机两者均能发挥作用的人-机结合的系统。关于人-机结合的观点,作者已经专门有过阐述^[7]。以往对模式识别的研究过程中曾经引入过学习的机制,并分为有教师的学习(supervised learning)与无教师的学习(nonsupervised learning)两种类型,前者有作为“教师”的人参与系统的运行,后者则是按某种给定的准则进行学习,无人参与。在有教师的学习中,关键之处让人指点一下,大量繁琐的工作由计算机去完成,教师的作用是把握宏观状况。例如在识别手写汉字的过程中,采用人工神经网络来识别字根,需要通过包括该字根的正样本,与不包括该字根的负样本来进行学习,从而决定网络的参数。这就需要通过一个教师来判断当样本输入时,究竟是正样本还是负样本,需不需要调整网络的参数,教师起了大作用。从长远目标来看,今后我们要研究的是人和机器相结合的识别系统,或智能系统,但目前只能做些“妥协”,实事求是,尽量开拓当前计算机的科学技术,使计算机尽可能地多帮助人来完成一些识别的工作。

致谢 作者多次从钱学森先生的来信中得到启示、鼓励与帮助,在此表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1] 钱学森主编,《关于思维科学》,上海人民出版社,1986
- [2] 王前、刘庚祥,从中医取象看中国传统抽象思维,《哲学研究》,1993年第4期
- [3] 戴汝为,从定性到定量综合集成技术,《模式识别与人工智能》,1991年第4卷第1期
- [4] J. W. Tai (戴汝为)、K. S. Fu (傅京孙), Semantic Syntax-Directed Translation for Pictorial Pattern Recognition, Purdue Univ. Tech. Rep., TR-EE-81-38, Oct., 1981
- [5] R. W. Dai (戴汝为), A Connectionist Syntactic Semantic Approach for Pictorial Pattern Recognition, Infoscience '93, Seoul Korea, (Invited paper), 1993
- [6] 刘迎建、戴汝为、张立清,基于神经网络的手写汉字特征选择,《模式识别与人工智能》,1992年第5卷第3期
- [7] 戴汝为、王珏,关于智能系统的综合集成,《科学通报》,1993年第38卷第14期

时段演算综述

周巢尘

(联合国大学国际软件技术研究所, 澳门 3058 信箱)

摘 要

时段演算 (Duration Calculus) 的研究始于 1989 年。当时 Esprit 的研究项目 ProCos 正寻求设计严格安全系统的形式技术, 应该项目的需要开始了时段演算的研究。迄今四个演算已相继建立, 即时段演算 (Duration Calculus), 扩充时段演算 (Extended Duration Calculus), 平均值演算 (Mean Value Calculus), 和概率时段演算 (Probabilistic Duration Calculus)。

时段演算是一种实时区间逻辑 (Interval Logic), 见 [14]。它将布尔函数在区间上的积分进行形式化, 从而可用来描述和推导离散状态系统的实时和逻辑特性, 其余的三个演算均是它的扩充。文献 [16] 中的扩充时段演算引入了分片连续式可微函数, 这样就可用来描述连续状态的特性, 它已应用于具有连续和离散状态的混成系统 (Hybrid Systems) 的设计, 平均值演算^[15]则以平均值取代积分, 以 δ -函数表示瞬时动作, 如通信和事件等。平均值演算可用来将基于状态的需求说明, 经状态和事件混合描述, 求精为以事件为基础的描述, 甚至最终成为可执行的程序。概率时段演算^[5,6]为设计人员提供规则, 来推导和计算一个不可靠系统, 满足时段演算中表达的需求的概率, 这里, 不可靠系统是由概率自动机作为模型的。

时段演算已应用了若干实例, 如煤气燃烧器^[9], 铁路交叉口控制^[10], 水位控制^[1]和自动导航^[8], 该演算亦已用于定义 Qccam 式语言的实时语义^[12,4], 描述调度程序的实时行为和线路设计^[2]。

时段演算亦已应用于联合国大学国际软件技术研究所和我国 863 计划的联合项目——DeTfORS (Design Technique for Real Time Systems)。该项目应用时段演算发展了混成系统的形式设计技术及离散化技术。DeTfORS 的研究论文可见于 [18—22]。

时段演算的工具正在开发中, 请见文献 [13]、[11]、[17]。

参 考 文 献

- [1] M. Engel, M. Kubica, J. Madey, D. J. Parnas, A. P. Ravn, A. J. van Schouwen: A Formal Approach to Computer Systems Requirements Documentation, presented in the Workshop on Theory of Hybrid Systems, Lyngby, Denmark, 19—20 Oct. 1992
- [2] M. R. Hansen, Zhou Chaochen, J. Staunstrup: A Real-Time Duration Semantics for Circuits, Proc. of the Workshop on Timing Issues in the Specification and Synthesis of Digital Systems, Princeton, March 1992

- [3] M. R. Hansen, Zhou Chaochen: Semantics and Completeness of Duration Calculus, J. W. de Bakker, C. Huizing, W. -P. de Roever, G. Rozenberg, (Eds) *Real-Time:: Theory in Practice*, REX Workshop, LNCS 600, pp 209—225, 1992
- [4] He Jifeng, J. Bowen: Time Interval Semantics and Implementation of a Real-Time Programming Language, *Proc. 4th Euromicro Workshop on Real-Time Systems*, IEEE Press, June 1992
- [5] Liu Zhiming, A. P. Ravn, E. V. Sorensen, Zhou Chaochen: A Probabilistic Duration Calculus, presented in the 2nd Intl. Workshop on Responsive Computer Systems, Saitama, Japan, Oct. 1—2, 1992 published in H. Kopetz and Y. Kakuda (eds), *Dependable Computing and Fault-Tolerant Systems Vol. 7: Responsive Computer Systems*, pp 30—52. Springer Verlag Wien New York, 1993
- [6] Liu Zhiming, A. P. Ravn, E. V. Sorensen, Zhou Chaochen: Towards a Calculus of Systems Dependability, presented in the Workshop on Theory of Hybrid Systems, Lyngby, Denmark, 19—20 Oct. 1992. accepted by *High Integrity Systems Journal*, Oxford University Press
- [7] B. Moszkowski: A Temporal Logic for Multi-level Reasoning about Hardware. In *IEEE Computer*, Vol. 18 (2), pp 10—19, 1985
- [8] A. P. Ravn, H. Rischel: Requirements Capture for Embedded Real-Time Systems, *Proc. IMACS-MCTS'91 Symp. Modelling and Control of Technolgical Systems*, Vol 2, pp. 147—152, Villeneuve d'Ascq, France, 1991
- [9] A. P. Ravn, H. Rischel, K. M. Hansen: Specifying and Verifying Requirements of Real-Time Systems, *Proceedings of the ACM SIGSOFT'91 Conference on Software for Critical Systems*, New Orleans, December 4—6, 1991, *ACM Software Engineering Notes*, Vol 15, No 5, pp 44—54, 1991 (published also in *IEEE Trans. Software Eng.*, Vol 19, No 1, pp41—55, January 1993)
- [10] J. U. Skakkebak, A. P. Ravn, H. Rischel, Zhou Chaochen: Specification of Embedded Real-Time Systems, *Proc. 4th Euromicro Workshop on Real-Time Systems*, IEEE Press, pp 116—121, June 1992
- [11] J. U. Skakkebak, P. Sestoft: Checking Validity of Duration Calculus Formulas, submitted to Conference on Computer-Aided Verification, Crete, June 1993
- [12] Zhou Chaochen, M. R. Hansen, A. P. Ravn, H. Rischel: Duration Specifications for Shared Processors, *Proc. of the Symposium on Formal Techniques in Real-Time and Fault-Tolerant Systems*, Nijmegen, January 1992, LNCS 571, pp 21—32, 1992
- [13] Zhou Chaochen, M. R. Hansen, P. Sestoft: Decidability and Undecidability Results for Duration Calculus, *Proc. of STACS '93. 10th Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science*, Wurzburg, Feb. 1993
- [14] Zhou Chaochen, C. A. R. Hoare, A. P. Ravn: A Calculus of Durations, *Information Processing Letter*, 40, 5, pp. 269—276, 1991
- [15] Zhou Chaochen, Li Xiaoshan: A Mean-Value Duration Calculus, UNU/IIST Report No. 5, March 1993, to be published in the Hoare Festschrift, Prentice-Hall International
- [16] Zhou Chaochen, A. P. Ravn, M. R. Hansen: An Extended Duration Calculus for Hybrid Real-Time Systems, to be published in the *Proc. of the Workshop on Theory of Hybrid Systems*, Lyngby, Denmark, 19—20 Oct. 1992
- [17] J. U. Skakkebak, Natarajan Shankar: Towards a Duration Calculus Proof Assistant in PVS, *ProCos II Report ID/DTH JUS 5/1*, March 1994
- [18] Michael R Hansen, Paritosh K Pandya, Zhou Chaochen: Finite Divergence, UNU/IIST Report No. 15, Nov 1993

- [19] Yu Xinyao, Wang Ji, Zhou Chaochen and Paritosh K Pandya: Formal Design of Hybrid Systems, UNU/IIST Report No. 19, Feb. 1994
- [20] Wang Ji, Yu Xinyao and Zhou Chaochen: Refinement of Digital Dynamic Systems, UNU/IIST Report No. 20, Feb. 1994
- [21] Yu Huiqun, Paritosh K. Pandya, and Sun Yongqiang: A Calculus for Hybrid Sampled Data Systems, UNU/IIST Report No. 21, Feb. 1994
- [22] Zheng Yuhua and Zhou Chaochen: A Formal Proof of the Deadline Driven Scheduler, UNU/IIST Report No. 16, Feb. 1994

计算智能：一个重要的研究方向

李 国 杰

(国家智能计算机研究开发中心)

摘 要：本文论述计算智能是值得重视的一个研究方向，着重讨论了演化计算的理论基础和优点，强调许多实际的智能应用只有靠大规模并行处理才能解决。本文的目的在于引起国内学者对人工智能研究新方向的重视。

863 计划智能机主题已经进行 6 年了，现在来回顾一下近十几年来国际上人工智能研究的历史和分析考察这一领域的新动向是件十分有意义的事。80 年代中期，人工智能曾经被认为是“下一件最大的事情”，有 400 多个厂商标榜生产人工智能产品。到 1993 年，只有少数几家保存下来，绝大多数人工智能技术与产品已融入主流计算机产品，成为更大市场的一部分。现在一些成熟的 AI 技术已像空气一样渗透到计算机企业，而一些基础性的研究又回到了实验室。世界上第一本关于人工智能企业的杂志“AI Trends”，于 1994 年开始改名为“Critical Technology Trends”，编者在更名启事中讲到遗传算法、自适应系统、细胞自动机和混沌理论与人工智能一样都是对今后十年的计算技术有重大影响的关键技术。这些关键技术大多属于日益被重视的“计算智能”(Computational Intelligence)。

1 计算智能与人工智能

世界上有“计算智能”学术会议，其规模不亚于人工智能会议，也有“计算智能”学术刊物，但究竟什么是计算智能，并没有确切的定义。如同人工智能一样，不同的人对计算智能有不同的理解。我们不必急于为计算智能下定义，更不必像争论“智能计算机”一样在名词上浪费时间，重要的是弄明白“计算智能”究竟包含哪些新思想。

广义地讲，人工智能也是试图用计算来实现人的智能，所以人工智能也可以看作计算智能。当加拿大的学者创办“计算智能”学术刊物时，人们只觉得增添了一种人工智能学报，并未仔细考虑这两者的区别。随着人工神经网络、遗传算法、演化程序、混沌计算等研究逐渐兴旺，而每年召开的人工智能学术会议，如 AAAI 等，又不大乐意接受这方面的论文与产品演示^[1]，从事上述研究的学者逐步形成相当规模的国际学术会议，取名为计算智能，似乎造成一种与人工智能分庭抗礼的局面。但从学术上讲，把计算智能看成人工智能研究的新方向也许更恰当。

本世纪 30 至 40 年代，当图灵等著名学者提出计算模型时，并没有强调数字计算与符号计算的区别。到 60 年代，采用数字计算来模拟思维的各种研究一直是很活跃的。60 年代中后期，尤其是 70 年代以后，建立在心理学刺激/反应模型基础上的物理符号系统逐渐成为思维模拟的主流，符号处理也几乎成了人工智能的代名词。近些年来，人们一谈到人工智能就

马上想到逻辑、规则、推理；而一谈到计算就联想到矩阵运算，解微分方程等，似乎智能与计算是两股道上跑的车。人工智能走过几十年曲折道路之后，现在是需要认真反思的时候了。

研究思维模拟主要的道路有四条：基于心理学的符号处理方法、基于社会学层次型的智能体 (Agent) 方法，基于生物进化的演化计算与自适应方法以及基于生理学的人工神经网络方法。目前集聚在计算智能大旗下的主要是后两个学派的学者（加上从事模糊计算和混沌计算等方面的学者）。实际上，只要在计算机上（不考虑模拟量计算机）模拟人类思想，不管用什么方法，其本质的基础还是二进制数字计算。所谓 Church-Turing 假设原始的论述只是对数论函数（以自然数为输入）而言，后来人们有意无意地推广到任意函数、人脑功能甚至一切物理现象，这一推广是否有道理一直有争议^[2]。我们不应过份强调数字计算与符号计算的区别，而应强调综合集成。在当前符号处理主宰人工智能的情况下，更应强调遗传算法等以数字计算为基础的方法对推动人工智能发展有特殊的作用。

人工智能研究中处处碰到组合爆炸，而局部搜索等演化计算是对付组合爆炸的有力工具。在局部搜索中甚至可以把离散优化问题转换成连续量优化问题，采用经典的数学方法求解^[3]。近年来已经证明符号逻辑的基础问题——SAT 问题以及许多典型的 NP 完全问题，可以转换为类似波动方程的微分方程问题，为有效地求解这些困难问题提供了新思路^[4]。因为演化计算中算法已不是经典意义下的算法，神经网络本质上是一动力学系统，这些新思想的引入可能使计算复杂性和可计算性的研究出现新局面。例如，S. Franklin 已经证明给定任意二进制表示的实数，用图灵机无法判定它是不是整数，但用与图灵机相对应的具有无限离散量神经元的神经网络可以判定^[5]。在集成神经网络与符号计算方面，国外已做了大量工作，预示着光明前景。

2 演化计算

人的智能是从哪里来的？归根结蒂是从生物进化中得到的，反映在遗传基因中。脑的结构变化也是通过基因的变化一代一代遗传下来。每一种基因产生的生物个体（看成一种结构）对环境有一定的适应性，或叫适合度 (fitness)，杂交和基因突变可能产生对环境适应性强的后代，通过优胜劣汰的自然选择，适合度高的结构被保存下来。因此，从进化的观点来看，结构是适合度的结果。在这种观点启发下，60 年代 Fogel 等提出了演化程序 (Evolutional Programming) 思想，70 年代 Holland 提出了遗传算法。如同神经网络研究一样，经过近二十年的沉寂到 80 年代后期，由于在经济预测等应用领域获得成功，演化计算成为十分热门的研究课题。

演化计算实质上是自适应的机器学习方法，它的核心思想是利用演化历史中获得的信息指导搜索或计算。常用的演化计算包括遗传算法。遗传程序 (Genetic Programming)、演化程序、爬山法即局部搜索、人工神经网络、决策树的归纳以及模拟退火等等。这些不同的方法具有以下几项共同的要素：(1) 自适应的结构，(2) 随机产生的或指定的初始结构，(3) 适合度的评测函数或判据，(4) 修改结构的操作，(5) 每一步中系统的状态即存储器，(6) 终止计算的条件，(7) 指示结果的方法，(8) 控制过程的参数。上述几种演化计算方法中，只有遗传算法与遗传程序是一组结构 (a population) 同时演化，其他方法是一个结构的演化。所谓遗传程序与通常的遗传算法的主要区别在于采用的“结构”（即问题的表示）不同。最初的遗传算法