

人工智能

计算

智能

10

45-48

计算和智能

苏运霖

TP18

(暨南大学计算机科学系 广州 510632)

摘要 Based upon [1], this paper further explores the relations between computing and intelligence as well as between natural intelligence and artificial intelligence. It is the first time that it introduces the concept of computized intelligence so as to advance the research on intelligence science.

关键词 Computing, Intelligence, Natural intelligence, Artificial intelligence.

大约一年多以前,作者发表了拙作《智能机理和软计算》^[1],曾引起不少同行的兴趣,希望进一步推进关于这个问题的研究。作者本人也感到,只有把在那里提出的一系列问题逐个地解决,这个问题的研究才能真正构成一个有价值的理论体系。

近年来日益被引起重视的认知心理学,把它的研究范围集中在对感知觉、注意、表象、学习、记忆、思维和语言等心理过程或认知过程以及儿童的认知发展的研究,并且试图在此基础上实现人工智能。在这样做时,一个支配性的观点就是智能的各种表现都是信息加工过程,即把人脑看作是类似于计算机的信息加工系统。Newell 和 Simon 认为,包括人和计算机在内,信息加工系统都是由感受器、效应器、记忆和处理加工器组成的。其一般过程为:感受器接收外界信息,效应器作出反应。信息加工系统都以符号结构来标志输出人和输出,记忆可以储存和提取符号结构,如图1所示。

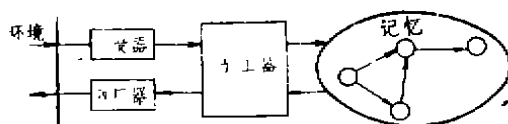


图1 信息加工系统的一般结构

(据 Newell 和 Simon, 1972)

以这个理论为基础,就会导出一些重要的认知心理学的结论。第一、认知心理学应当研究行为的内部机制,即研究意识或心理的内部活动。第二、心理过程可理解为信息的获得、存储、加工和使用的过程。或者一般来说,经过一系列连续阶段的信息加工过程。第三、可以并应当建立心理过程的计算机模型,即计算机程序。

认知心理学的上述三点结论,恰好可以成为我们推进关于软计算与智能问题研究的基础。既然人的智能包括感知觉、注意、表象、学习、记忆、思维和语言等等,那么这些方面便都可理解为信息的获得、存储、加工和使用的过程。因此所有这些过程都可以并应当建立心理过程的计算机模拟。这样一来,我们所讨论的利用软计算来进行智能机理研究的观点就不全面了,而应该把精确计算,包括数值的,半数值的以及非数值的精确计算也包含在内。同时,也就存在这样一个问题:作为模拟人脑的计算机,一般都认为是有极限的,关于这个问题我们下边还要作进一步的讨论。如果认为人的智能也有极限,那么两者的极限是否相同呢?假如认为人脑比计算机有更强大的功能,那么计算机如何能够以其较小的机能去实现对超出它的机能以外的人脑机能的模拟呢?本文的目的就是进一步讨论这些问题。

在此基础上,本文提出计算化智能的概念,作为联系自然智能和人工智能的一个桥梁。如果采用这

[2] 史雪梅、李德毅,模糊归纳与概念树的进化,中国机器学习论文集,1993

[3] 李德毅,从隶属函数到隶属云,待发表,1995

[4] 李德毅,论正态隶属函数的普适性,待发表,1995

[5] 李德毅、孟海军、史雪梅,隶属云和隶属云发生器,计算机研究与发展,32(6),1995

[6] 李德毅、史雪梅,语言原子模型和似然推理,计算机智能接口与应用论文集,1993

[7] 李德毅,基于隶属云的语言原子模型,待发表,1995

[8] 杨雪南、李德毅,一种数据库中特征规则的发现方法,中国机器学习论文集,1993

一概念,则自然智能和人工智能之间就更便于沟通了。

1. 关于计算的进一步讨论

古语云:“眉头一皱,计上心来”,又有一句是:“机关算尽太聪明”。这里的“计”,是计谋的意思,“谋”又表示谋略,因此“计”指的是计策谋略或者决策办法的意思,“心”,实际上是指的大脑,这是古代人对于智能活动场所的误解——他们把心当成了进行智能的器官。另一句话中的“机关”,指的也是决策、计谋。这后一句的关键词是“算”,用得绝妙;它说明,古人已经把决策这件事当成计算或者通过计算实现的。

由生理学的研究得知,人脑并不具有类似于计算机的运算器这种结构,但是人在进行数字计算方面并无困难。这是因为,人脑的分布式神经网络结构仍可以发挥类似于运算器这样一种功能:把来自两个输入的数在某个加工处理部件中形成和数或乘积,差数或商,等等。

更有意思的是,人在经过一定的训练,掌握了某些心算的方法之后,竟可以很快地进行多位的并行运算,正确地获得运算的答案。这很类似于在人脑中进行了分布式的计算。从这一点来说,它又比单个运算器的结构更进了一步,而更象是多处理器的多个累加器结构,或者就是分布式的结构。

人类对于计算的掌握,实际上也经历了从简单到复杂,从初级到高级的阶段。人由于生活和同自然界进行斗争的需要,才逐渐地掌握数据的概念。顺便指出,人对零这个概念的认识,要比对其它数的认识,又晚了许多年。人首先掌握的是对于整数的初等运算。之后,才逐渐地认识分数和分数的运算。又过了许久,人们才认识了,在有理数之外无理数的存在,而且,无理数在数量上要比有理数多得多。至此,人类才完成了对实数的认识。而后,才又把对数的认识开拓到虚数,形成了复数的概念。只有到这时,人类对数的认识才真正完成。而这个认识的完成,经历了漫长的岁月。

对于这些数的计算,或者说算术运算,在理论上说即是精确的计算,或者采用同软计算相对的说法,我们称它为硬计算。

精确的算术计算之所以能够方便地进行,原因在于,人们对于这些运算,给出了明确的定义和法则,定义是确定两个计算的结果是什么,计算的法则包括诸如交换律,结合律及分配律等等这样的法则。

一方面,人脑作为实现理论计算的加工处理器,可以进行要如何精确就如何精确的算术计算。而另一方面,作为人脑模拟的计算机,由于其结构的限制,却没有能力这样做。在计算机中,实数只能近似

地表示成为有理数,因此尽管计算的过程是精确的,“硬”的,但由于对象本身的近似性,因而结果也只能是近似的。所以在数的范围内,就已经有了近似的“软”的意味了。

由于对数的计算的确定性,人们在用计算机进行对它们的计算当中,只须通过表述式就可以完成了。在任何一种高级程序语言中,都能这样做。

当人们把数学发展到更高阶段,特别是发展到高等数学的阶段后,对个别数的运算就发展到允许对多个数的运算(如数组、区间等),运算的名目也大大地增加了,包括微积分运算等等。有的运算,可以作为子程序来实现,因而它们仍可以通过表达式来进行。但是,一些计算,由于涉及到计算的复杂性或重复性,已经无法再靠一些表达式来完成了,而要用连续实施的加工过程即程序来完成了。

如果说数值计算是人类所认识和掌握的头一种计算的话,人们认识的深化使人们认识了半数值计算。D. E. Knuth 把随机数的运算当成为半数值的,因为对于随机数运算来说,就再也没有象上述对数那样明确肯定的法则可循了。众所周知,随机数的生成一般都通过子程序来实现以节省使用者自己编程序来得到它的劳动,而涉及随机数的问题也都要用连续实施的加工过程即程序来完成。

人类随着自身科学技术水平的提高,又把计算引向一个新的领域,即非数值计算的领域。D. E. Knuth 在谈到这个领域时,列举了排序、语言翻译、解决高等代数和组合分析中的问题、定理证明、软件研制开发、以及日常生活的各种过程的模拟,等等。D. E. Knuth 把这类问题的研究称作“非数值分析”。我们则简单地就把它称为计算,非数值计算,上边我们提到,我们的古人早已这样做了。

D. E. Knuth 接着指出,在这样一些问题中,数值只是偶尔地出现。而在使用计算机解决这些问题的过程中,主要地使用的是计算机进行决策的能力,而不是它进行算术运算的问题,通俗地说,计算机进行决策的能力也就是它进行逻辑运算或逻辑计算的能力。

无论如何,既然这些问题——包括数值的,半数值的以及非数值的,都是通过计算机来解决,因此我们就未尝不可把它们叫做数值计算,半数值计算和非数值计算。

Knuth 又说,“非数值分析”的名字对于这一领域的研究过于消极,最好应赋予它一个能表达它的特征的一个正面的描述性术语。他考虑了“信息处理”这个术语,但又觉得太广了一点。不过,既然只是“广”了一点,自然它们是被包含于这个范畴中的。因此,也就同我们前边提到的“智能的各种表现都是信息加工过程”相一致。因此,我们现在就自然地导出:

智能的各种表现 $\longleftrightarrow$ 信息加工过程
非数值计算 $\longleftrightarrow$ 信息加工过程
因而自然可进一步得出

智能的各种表现 $\longleftrightarrow$ 非数值计算

但由于数值计算和半数值计算理所当然地也属于智能表现,因此我们就导出了计算化智能的概念。即凡是能在计算机上来进行的,即属于计算化的智能。

然而我们知道,计算机模型最终是以理想的物理系统,即“可靠的”和“自然的”模型为基础的,自1936年以来,被接受的通用计算的标准模型是图灵机,它形成成为计算机科学的基础。丘奇-图灵假说,曾是计算机科学中压倒性的信条,它指出,不可能有比图灵机更强有力的可靠计算装置(除了由于更丰富的指令系统或并行计算的结果引起的相对的多项式加速外)。如果是这样,计算化智能也就以图灵机为极限了。因此,我们提出这样一个问题就是十分自然的了,即,人的计算化智能是否同计算机的计算化智能相当?或者说,以图灵机为模型的计算机不可解的,对人也不可解?

答案显然应该是不,人通过自己的智慧解决的问题,却有可能不能把这解题过程表达或为计算机程序,这是因为解题的整个过程预先并不确定,在进行的每一步,人们都无法知道,可能出现的事件如何,因而无法事先作出决策。在这种情况下,自然不可能有预先编制好的程序,由计算机来执行它而解决问题。所以,我们也可以这样说,人脑是在信息不充分的情况下仍可解决问题或进行计算的信息加工处理模型,而以图灵机为模型的计算机是只有信息充分时才可进行的信息加工处理模型(或许有时甚至在信息充分时也不能解决问题)。

我们实际上已经说明(但还不是严格的形式化证明),人脑的计算化智能要比图灵机为模型的计算机能力强。为了得到真正模拟人脑的计算机模型,揭示出理想的可靠的超图灵机模型便具有重大的实际意义和理论意义。从理论上说,就可以为超越图灵模型的计算理论开辟道路,使人工的计算化智能确实成为人脑的计算化智能的模拟。而从实际的层次来说,以超图灵理论为基础设计和构造的计算机将有能力去模拟现存的计算机不能模拟的一些现象,这就可以使计算机为人类做更多的事情。

最近文[2]指出了这样的模型,非一致的图灵机模型可作为例证。此机器在它们的带上除接收输入外,还接收另一个序列 W_i 来帮助计算。对于长度 n 相同的所有可能的输入,机器接收相同的忠告序列 W_n 。但对于不同长度的输入序列,则提供不同的忠告序列。我们专注于多项式时间(和使用多项式长的忠告)来进行计算的非一致机器类。我们以 P/Poly

来表示这类机器,例如,出现于 P/Poly 的一个超图灵函数是“单个停机”函数,给定计算机程序 F 的单个编码和一个序列 $X \in \{1\}^*$,这个函数确定,当作用于序列 $X \in \{1\}^*$ 时,这个程序是否终止,如果忠告和时间都是指数长的[即 $O(2^n)$],则忠告可用来指出对于长度为 n 的 2^n 可能的输入串以及计算所有的函数 $f: \{0,1\}^* \rightarrow \{0,1\}$,其中包括不可计算的那些所需的响应。

Siegelmann 和 Sontag^[3,4]指出,这样的非一致的类对于模拟计算模型来说,确实非常自然。他们引进了第一个计算模型,它是一致的,但又有不一致的超图灵能力。这个模型是经典的模拟递归神经网络(ARNN, Analog Recurrent Neural Network)。ARNN 在实践中作为具有自动学习和适配能力的机器是很有名的^[5],图2为其示意图(一个相关的模型是对实数进行计算的模型^[6])。

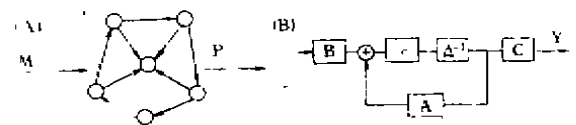


图2 模拟并发神经网络(ARNN)

(A)图形示图 (B)工程示图

ARNN 由有限多个神经元组成。每个处理器 $i=1, \dots, N$ 的活动由下列方程来修改:

$$x_i(t+1) = \sigma \left(\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j(t) + \sum_{j=1}^M b_{ij} u_j(t) + c_i \right) \quad (1)$$

其中 N 是神经元的个数, M 是外部输入信号的个数, x_i 是神经元的活动, u_j 是外部的输入, 而 a_{ij} , b_{ij} 和 c_i 是常数或权(“模拟”一词意味着它们是实系数,而非有理系数。)函数 σ 是最简单的 S 形线,即饱和线性函数(但它也可以其它各种 S 形线函数所代替)。

$$\sigma(x) = \begin{cases} 0 & \text{若 } x < 0 \\ x & \text{若 } 0 \leq x \leq 1 \\ 1 & \text{若 } x > 1 \end{cases} \quad (2)$$

ARNN 以多项式时间来计算超图灵类 P/Poly 并以指数时间来计算所有二元函数。这一事实同下列发现的经典计算能力相关,即当把实数权限定为有理数时,则此网络仅有图灵机的能力。

类似于丘奇-图灵假说,ARNN 被当作为一个基本的模拟计算模型,并且因而产生了下列的猜测:“任何可靠的模拟计算机的能力都不会超出模拟开发网络(到多项式时间为止)”^[4]。为了支持这一断言,进一步提出一个混沌的可靠动态系统——“模拟移位图”,它有和 ARNN 同样强的计算能力。

从以上的论述,应当清楚,图灵机的能力不如模拟模型 ARNN 的能力,但是 ARNN 是否就已经完全达到人脑的计算化智能呢?作者认为它也仍然未达到。限于篇幅,关于这个问题的讨论将另文给出。

其次,是关于计算的表达的问题,我们已经指出,数值计算,即使是比四则运算更为复杂的,如向量运算,矩阵运算,三角函数以及微积分等等,借助于明确的法则,都可以通过归约、转换、分解、合并等办法来进行推演。但是对于非数值计算而言,以语言翻译为例,给出了文法,一般的做法是首先进行词法分析,然后进行语法分析,在此过程中要形成各种各样用于目标生成的表格,最后才来实现目标代码的生成,即把源语言转换成为目标语言,或者把源语言的程序转换为目标语言的程序。这是一个极为繁杂的过程,其困难在于,虽然有明确的“算法”,但这个算法却不能作成象公式那样,以供进行“计算”时推演。因此,如果说要建立心理过程或智能过程的计算机模型,即计算机程序,人们应该致力于研究使这个计算机程序象数值计算一样,能先用计算公式表达,这样再来写程序,就会简单得多了。

第三,仍回到软计算的问题,迄今我们还未涉及软计算的问题。显而易见,我们的非数值计算,既有可通过精确计算或硬计算来解决的,也有要求软计算或近似计算的。前边提到,对于 ARNN 来说,当把实数的权限定为有理数时,则此网络仍然仅有图灵机的能力。如果是这样,那么,ARNN 仍然只有理论上的价值,因为到目前为止,我们的计算机,都把实数限定为近似的有理数,如何使计算机真正地表示出实数呢?这是没有解决的难题。

而且,就软计算来说,它同硬计算的差别并不在于参与计算的数据的近似性,而在于计算过程的近似性。比如说,在软计算中,那种精确的古典逻辑就不总是适用了,而要代之以非单调逻辑、模糊逻辑等等。这些,在已经把布尔逻辑“硬化”的计算机上,如何进行,显然也是一个难题。

2. 关于智能的讨论

我们前边指出,心理过程或智能过程可理解为信息的获得、储存、加工和使用的过程。这一提法,存在着疏漏。这里应当指明什么是这一过程的主体。就人而言,它本身是获得、储存、加工和使用过程的主体,或者说是他的大脑,身体的各个器官,包括眼、耳、鼻、舌、身及组成这些器官的神经网络,是这些过程的主体,因此这是智能过程。而对于计算机而言,使得它获得、储存、加工和使用信息的,乃是人事先为它编制好而且储存在计算机内的程序。从这一意义上说,即使计算机看起来在进行着带有智能特点的工作,但它还远不是智能,因此,人类的目标,是去

构造出真正意义下的智能,即让计算机本身作为上述这些过程的主体。

一旦计算机本身作为主体,来进行获得、储存、加工和使用信息的过程,那么它具有的智能也就超出计算化智能的水平。

前边我们已经指出了存在着非计算化的智能,这就是说,对于这种智能过程,人无法首先编出程序,写出明确的公式来解决它。

那么,当计算机也具有了非计算化的智能时,那它是否真的具有人一样的智能呢?作者认为,正如许多学者所谈到的那样,要使计算机具有象人一样的喜怒哀乐的感情,而且感情的爆发,可以在很短时间内就出现,几乎是不可能的。

3. 结论

本文从计算和智能的关系,进行了探讨,从而引出了计算化智能的概念。由此指出,认知心理学界提出的建立心理过程或智能过程的计算机模型,即计算机程序,这一目标,仅仅对于计算化智能能做到,而对于非计算化的智能,是无法实现的。按照我们的观点,仅当信息加工使用过程的主体是实现该过程的宿主时,才可以称得上是智能。否则就称不上。计算化,自然应当既有精确的硬计算,也有近似的软计算,或许还可以说,近似的软计算,要比精确的硬计算,更为普遍、经常和大量。我们的任务,就是如何有效地表达计算,使得它可以方便地进行,这是摆在人类面前十分艰巨的任务。

参 考 文 献

- [1] 苏运霖,智能机理与软计算,计算机科学,1994年第6期
- [2] Hava T. Siegelmann, Computation Beyond the Turing Limit, Science, 18 April 1995 Vol. 268
- [3] H. T. Siegelmann and D. Sontag, Theor. Comput. Sci. 131, 331 (1994)
- [4] H. T. Siegelmann and D. Sontag, J. Comput. Syst. Sci. 排印中,本文以前的版本出现于 Proc. of the Fifth ACM Workshop on Computational Learning Theory, Pittsburgh, PA, July 1992
- [5] J. Hertz, A. Krogh, R. Palmer, Introduction to the Theory of Neural Computation, (Addison-Wesley, Redwood City, CA, 1991)
- [6] A. M. Turing, Proc. London Math. Soc (2) 42, 230, 1936
- [7] Lofti A. Zadeh, Fuzzy Logic and Soft Computing, Principles, Application and Perspectives 30th, Anniversary Lecture, The Chinese University of Hong Kong 26th Oct. 1993