



陈敏 主编

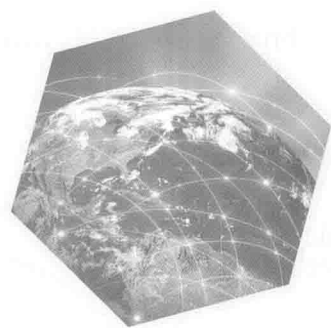
Introduction to Cognitive Computing

认知计算 导论



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



认知计算 导论

陈 敏 主编

内 容 简 介

本书是研究认知计算的一本导论书,阐述了认知科学向认知计算的演进。从信息论到数据科学,从大数据分析到认知计算,本书试图将认知计算理论的由来、思想和支撑技术做一个系统且深入的探讨。围绕认知计算与人、机器和虚拟网络空间的交互与融合,本书介绍了为认知计算在信息采集、获取、传输、存储和分析等方面提供各种支持的关键技术,包括物联网、5G 网络、云计算、大数据分析和机器人技术等。同时本书对认知计算与以上各种技术的关联进行了详细研究和探讨,并给出相应的技术架构和应用实例。认知计算源于数据科学,因此我们对各种机器学习和深度学习算法做了详细介绍。在此基础上,将理论与实际相结合,本书在最后两篇对认知计算的应用和前沿专题做了进一步讨论,包括 Google 和 IBM 的认知计算应用、医疗认知系统、5G 认知系统和认知软件定义网络等。全书共分为 7 篇,21 章。

本书可作为语言学、心理学、人工智能、哲学、神经科学和人类学等多个交叉学科本科生或研究生的教材或参考书,也可供相关专业工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

认知计算导论/陈敏主编. —武汉:华中科技大学出版社,2017.4
ISBN 978-7-5680-2808-0

I. ①认… II. ①陈… III. ①计知-计算技术 IV. ①TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 077944 号

认知计算导论

Renzhi Jisuan Daolun

陈 敏 主编

策划编辑:王红梅

责任编辑:余 涛

封面设计:原色设计

责任校对:李 琴

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:25.25 插页:2

字 数:613 千字

版 次:2017 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:58.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



作者简介

陈 敏 华中科技大学计算机学院教授、博导，嵌入与普适计算实验室主任，2012年入选国家第二批“青年千人计划”。23岁获博士学位。曾先后任国立汉城大学和加拿大不列颠哥伦比亚大学博士后、韩国首尔大学助理教授。2011年入选教育部“新世纪优秀人才支持计划”。陈敏教授主要从事认知计算、物联网感知、情感计算通信和机器人技术、5G网络、软件定义网络、医疗大数据、人体局域网等领域的研究工作。在国际学术期刊和会议上发表论文200余篇，发表论文谷歌学术引用总数超过9000次，H-index = 48，SCI他引次数超过2500次。担任IEEE计算机协会大数据技术委员会主席。获IEEE ICC 2012、IEEE IWCMC 2016等国际大会最佳论文奖。荣获2017年度IEEE通信学会Fred W. Ellersick Prize。

一、从认知科学到认知计算

20 世纪中后期,行为主义思潮逐渐衰落,伴随着语言学、信息论和数据科学的兴起,以及计算机技术的飞速发展与普及,引发了一场声势浩大且令人深思的认知革命,随之产生了认知科学(Cognitive Science)。认知科学是一门研究信息如何在大脑中流转及处理的跨领域学科。从事认知科学研究的科学家们通过对包括语言、感知、记忆、注意力、推理和情感等方面的观察,来探寻人的心智能力。人类的认知过程主要体现在以下两个阶段。首先,人们通过五官、皮肤等人体自身的感知器官来觉察周围物理环境,获得外部信息作为输入。其次,输入信息经神经传输至大脑进行存储、分析、学习等复杂处理,并将处理结果通过神经系统反馈给身体的各个部位,由各部位做出适当的行为反应,由此形成一个完整的涵盖决策和执行过程的闭环。因此,新生儿在认知世界的过程中需要不断同外部世界进行交流沟通,以获取外部环境的各种信息,同时利用所获取的信息以及动作反馈逐步建立自身的认知系统。由于认知系统具有极高的复杂性,所以认知科学需要运用包含多门学科的工具和方法来对认知系统进行多维度 and 全方位的深入研究。因而,认知科学横跨了语言学、心理学、人工智能、哲学、神经科学和人类学等多个交叉学科和研究领域。可以说,迄今为止人们在认知科学领域所取得的成就,与其跨学科的研究方法是密切相关的。

近年来,随着计算机软硬件技术的高速发展、大数据时代的来临以及人工智能研究的兴起,认知计算逐渐成为人们关注的焦点。我们在图 1 中展示了认知计算的演进过程。大数据分析 with 认知计算是由数据科学演进而来的两种不同的技术。大数据分析强调其所处理的数据应具有大数据的特征;认知计算更侧重于处理方法的突破,其所处理的数据不一定是大数据,就像人脑记忆力有限,但对形象信息的认知和处理极其高效。认知计算偏向于借助认知科学理论来构建算法,从而模拟人的客观认知和心理认知过程,使机器具备某种程度的“类脑”认知智能。“类脑计算”旨在使计算机可以从人类思维的角度去理解和认知客观世界。机器可以通过认知计算来加强对世界与人内在需求的认知,从而增强自身的智力和决策能力。其中,特别是针对牵涉复杂情感和推理的问题,认知计算将超越传统机器学习。认知智能将通过物联网、机器人等技术嵌入在用户身边,辅助人类决策,并提供关键性的建议。如果认知计算所处理的数据具备大数据的特征,那么它同时也是大数据分析。

二、以人为中心的认知循环

在对人工智能研究如火如荼的今天,面对虚拟网络空间(Cyber Space)提供的多种多样的数据,人们开始思考如何才能让机器(Machine)变得更加智能,从而为人类

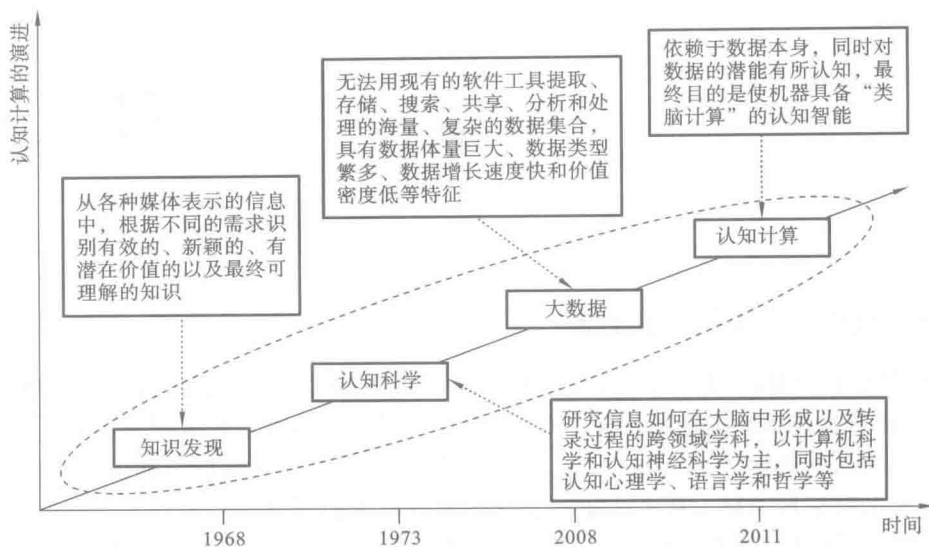


图1 认知计算的演进

(Human)提供更好的服务。认知计算与 Human、Machine 和 Cyber Space 相交互与融合,并形成全新的“以人为中心的认知循环”(the Circle of Human-centric Cognitions),其主要的内涵包括以下三个方面。

1. 基于数据与信息的认知:提高机器的智能

在 Human & Machine & Cyber Space 中,我们把计算机网络、基础通信架构装置、终端设备及机器人等硬件设施统称为 Machine,把存在于虚拟网络里的信息所构成的空间称为 Cyber Space。对认知计算的研究,首先离不开对 Cyber Space 中已有数据与信息进行分析,以提高机器的智能。因此,传统的物联网、5G 网络、云计算、大数据分析等技术将为认知计算在信息的采集、获取、传输、存储和分析等方面提供各种支持。

2. 机器或人对已有信息的全新解读或诠释:突破数据的局限

在香农的信息理论中,单位时间内数字通信系统中传递的信息受信道容量的限制,数据传输量是有限的。但是,现实世界中机器智能对信息源源不断的需求量与有限的物理信道容量总是相互矛盾的。如果没有持续海量的数据供给,机器通过计算不能再获取有效养分而导致其智能的增长可能停滞。然而,人类对机器的能力寄予越来越高的期望,人工智能的后期发展能否突破数据的局限至关重要。

我们提出机器有可能对现有的 Cyber Space 中的信息进行再解读和诠释,从而产生新的信息,该过程也可有人的参与。不同的机器从不同的角度对信息进行全方位的理解,用户在此过程中也可增加不同的观点。比如,王国维用三句词描绘做学问的三大境界,可是原作者(分别是晏殊、柳永、辛弃疾)并无此意,只是王国维对原信息做了“创造性地背离”和诠释而已。对信息做新的解读,可以进一步挖掘信息的潜能,加上多维度的信息共享,能使机器博采众长。与光电系统中固定存储和传输的信息相比,信息的诠释能使数据更具生命力。一旦突破数据的局限,机器的智能将持续向前迈进,从而有可能具备认知智能。如图 2 所示,我们相信 Human、Machine、Cyber Space 之间的交互,以及突破机器学习对信息的依赖将是认知计算在大数据时代呈现的两大新特征。

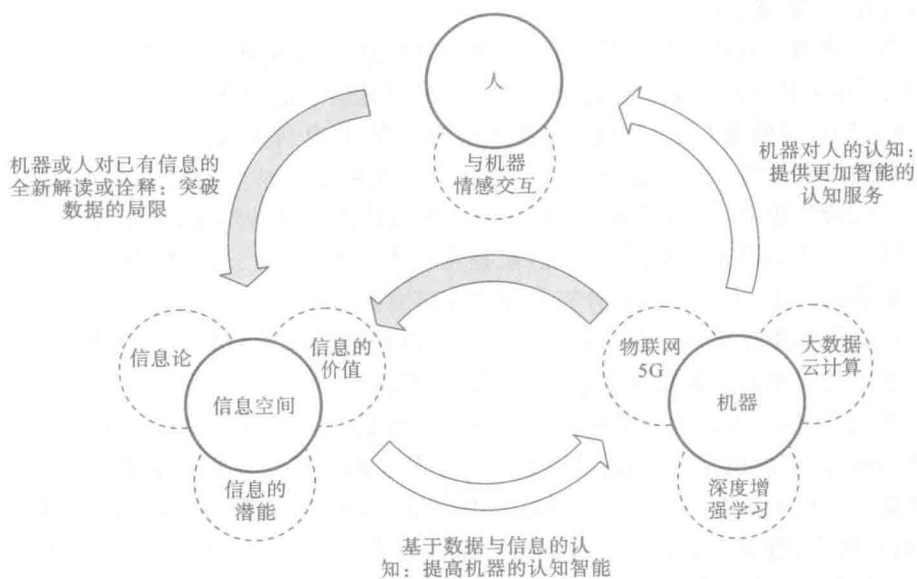


图2 以人为中心的认知循环

3. 机器对人的认知:提供更加智能的认知服务

到目前为止,机器基于数据进行学习尚未向精神领域做足够的延伸,难以做到关注人的情感、心理等内在信息。认知计算为机器探索人的内在需求提供了一种有效途径,让机器对人的认知产生更加深刻的领悟,从而为用户提供一种更加智能的认知服务。这种认知服务结合了机器的认知智能,与传统物联网时代的智慧城市、智慧医疗、智慧家居、智慧交通等应用所要求的机器智能相比,认知服务更加强调以人为本,探知人的精神世界,贴合人的内在需求。

图2包含了一个以人为中心的认知循环。从认知计算的角度来看,怎样才能充分挖掘信息的潜能呢?机器基于物联网、云计算、机器学习等技术,对已有信息的价值已经做了充分的挖掘。从信息论角度看,光电系统所承载的信息量是有限的,认知计算若要使机器智能进一步提高,一方面需要运用已有的数据分析方法,另一方面又要突破数据的局限。结合深度学习和增强学习的方法,认知计算还可借鉴人类的形象思维和图像理解能力,采用类脑计算,加入人和机器对数据的解读和诠释,使数据变得更加有生命力。随着信息全新的诠释与数据的再生,Cyber Space 也将被相应地拓展。因此,Human、Machine、Cyber Space 之间的共融与交互,使机器能够为人类提供更加智能的认知计算应用与服务。

三、从认知的潜能看信息的价值

不同于传统意义上基于光电的数据传输和分析,认知计算旨在让机器在某种程度上模拟人脑的思维。人脑的学习与计算以及神经元间的信息传递,相比于光电系统中由数据驱动的计算完全不同,即数据虽然在物理上能够被度量,但人脑通过对其进行学习和计算却能解读出海量的多维度信息。因此,受信息的价值和认知潜能的启发,本书将从认知数据的产生/采集、传输、分析以及应用等角度详细解读认知计算。

1. 信息价值与认知计算

人类生活离不开物质和能量,同时也离不开信息,即任何正常人都具有相应的信息需求。一方面,在对物质需求日益提高的今天,人们对信息的要求也日益提高。另一方面,支撑认知计算的基石也是信息,从狭义层面上看,信息所蕴含的价值是可以量化的,就像信息可以被度量一样。信息价值论跳出了人类社会经济学的狭隘范畴,摒弃了主客体对立的价值思考方式,提出了一种契合自然规律的一般价值论,具有极强的解释力和包容性。它不局限于人造通信系统,而是将人类生理、心理、语言以及自然社会现象等融入信息的产生/采集、传输、分析与应用等研究问题之中,使得信息在这个时代的价值比任何时代都更加突出。丰富且多维度的信息价值为认知计算的发展提供了原料,为认知系统如何不断获取认知智能提供了新的思路。

具体来讲,信息的价值分为固有价值 and 拓展价值。固有价值是信息形成之初固有的自然属性;拓展价值是信息在传输过程中,受外在因素影响逐步形成的社会属性。对一个优良的信息块而言,如果信息的拓展价值较低,则表明信息的价值没有被充分挖掘、分析和利用,造成了信息潜能的埋没。优良的信息自产生以来,除了具备可以被度量的信息量价值,另一部分价值潜能如同被原作者放入一个“隐蔽的信箱”,等待今后被开启和解读。

2. 认知的潜能

所谓机器的认知潜能主要包含两个方面:认知系统所具备的认知潜力,以及信息所蕴含的价值潜能。两者相辅相成可放大信息的价值,推动认知智能的演进。

人的一生在不断学习进步。当人脑的认知能力达到某种程度之后,便可触类旁通,可以对数据在不同维度间进行转化,转化后的信息又可以被应用到其他维度的数据层面,从而产生新的信息和观点。由人类创造的认知系统也应具有或多或少的认知潜能,当机器具备一定程度的认知智能时,又何尝不能对已有信息进行再创造呢? 认知系统在训练的过程中模拟人的思维,通过持续地学习,获得不断增强的智能性,逐步接近人类所具备的认知能力。为实现这一目标,其中一个关键性的假设在于:作为认知计算主体的机器,其生命是无限的,因此其认知潜在在理论上难以被量化。在有限的信息空间中,机器的认知潜能如果被激发,我们也可以说信息的价值潜能得到拓展。

3. 从认知的潜能看信息的价值

由信息的基本概念可知,信息的生命周期中每个阶段都具备认知的潜能,若各个阶段的潜能得到激发,信息所蕴含的价值将被充分挖掘。

从产生信息开始,信息的固有价值便决定了其本身是否具备认知的潜能,这取决于信息是否包含普遍的自然规律、道理和精神。若信息拥有的内涵能引发丰富的联想,衍生出多种多样的形象信息,其价值也终将被不断开发。

当然,信息是否具有认知的潜能,也依赖于产生信息的主体(人或者机器)的智能和创造力。不论是人类本身与生俱来的想象力,还是后天学习所获得的领悟,只有当人脑的认知能力进化到一定程度,才能创造出虽在物理上可度量但蕴含引发后人无限感慨和联想的信息,启发当代乃至后来人的想象空间,从而折射出海量的多维数据。

有了具备认知潜能的信息源,认知计算还需要一个承载和传递信息的桥梁,物联网由此成为感知物理世界数据的最前端,为认知系统提供源源不断的数据。与认知计算相结合,物联网的数据感知服务将更加偏重于以人为中心的应用。应用“人本化”也使

得认知计算与移动计算紧密关联,认知智能所需的数据采集与计算也需要考虑用户的移动性才能达到能效优化。而这种移动性同时为认知数据采集提供了一种便捷的方法:大规模的移动人群对数据的无意识采集与传递,即群智感知。在群智感知技术的运用下,信息在传播过程中可使认知系统“集思广益”。

在虚拟世界,移动用户又是通过在线社交网络相联,社交网络无形中也是一个“以用户兴趣为中心”的数据产生和传播的载体,因此认知计算与社交网络相结合的“认知社交网络”也是未来一个新的研究方向。另一方面,5G 移动通信技术的提出极大地加快了数据传输速度,让爆炸式增长的信息量得以在短时间内迅速传播,这将极大支撑高级认知系统对海量信息传输的需求。

与此同时,机器学习、深度学习的发展也让认知系统有能力理解不同维度信息之间的关联性。此外,不论是人类丰富的想象力和深刻的解读能力,还是机器的增强学习,都能让我们从现有信息中发现新的信息,在机器、人与信息空间的认知环中,已有信息与新信息的共享和融合,所产生的认知智能又使机器具备更强的“信息解读”能力,最终形成良性循环,使机器具备更高的智能性,为人类提供更好的服务。

四、认知计算与物联网、大数据分析、云计算

图3所示为认知计算的系统架构。通过依托5G网络、物联网、机器人和认知设备等底层架构,以及云环境、超算中心等基础设施,同时利用机器学习、深度学习平台,来完成包括人机交互、语音识别、计算机视觉等任务,从而服务于包括健康监护、认知医疗、智慧城市、智能交通和科学家做实验等上层应用。这个系统架构中的每一层都伴随着相应的技术挑战和系统需求。因此,本书对认知计算与各层之间的关联进行了详细研究与讨论。

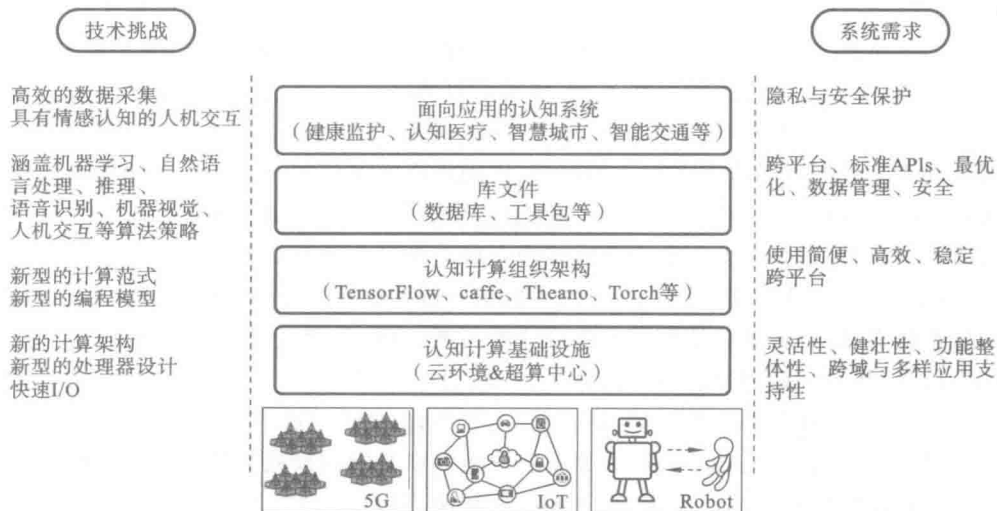


图3 认知计算的系统架构及其挑战

1. 认知计算与物联网

由前可知,认知计算需要以信息为基础。通信领域注重信息的传输,计算机领域注重信息的使用。信息在实际认知计算应用中主要表现为数据,包括形式多样的结构化

和非结构化数据。而物联网通过种类丰富的信息传感设备,实时采集客观世界中受关注对象的各种有价值信息,并通过互联网形成一个巨大的网络,实现海量传感设备的互联互通,使得数据世界与物理世界共融。因此,本书第1章详细介绍了认知数据的采集方法及过程。物联网首先通过RFID、无线传感器等自动识别和感知技术,以及卫星定位及WiFi指纹等定位技术获取受监测对象的相关信息;其次,借助各种高效的通信手段将相关信息遍布于网络中加以共享和整合;最后,利用云计算、机器学习、数据挖掘等智能计算技术对信息进行分析处理,最终实现信息物理融合系统中的智能化决策和控制。物联网实现了信息的感知与传输,随着物联网的普及和广泛应用,还会产生越来越多的物联网数据,为认知计算的实现提供重要的信息源。同时,认知计算作为一种新的计算模式,反过来可以为物联网的数据感知和采集提供效率更高,能效更优的实现手段。

2. 认知计算与大数据分析

信息持续增长和机器计算能力的不断提升在大数据时代尤为明显。相比传统结构化数据的增长,社交媒体和移动互联网数据等非结构化数据增长更加迅猛。结构化和非结构化数据组成了认知大数据,其特点可以用5V表示:Volume(海量)、Velocity(变化快、速率高)、Variety(多样化)、Value(以价值为中心)、Veracity(真实性)。同时,这些特点使得信息的分析处理面临诸多难题,大数据分析和认知计算为我们提供了有效的途径。大数据分析与认知计算是两种不同的技术,它们可以独立,也可以共存。

首先,针对某个数据集的大数据分析不一定是认知计算。大数据思维强调以数据为核心,从海量数据中挖掘价值,获得洞察力,如果脱离了大量的数据作为基础,将无法保证预测的精确度与可靠性。人的一生阅历不断积累,穷尽了大千世界的各种信息之后,也会逐渐具备看待世界的大数据视角,具备大数据思维。大数据思维和深度学习一样,都具有层次性。第一层是关心物质生活和环境改善,第二层是追求精神文化,第三层是关注生命意义。越往上层,人数越少。目前的机器智能所模拟的思维主要集中在第一层和第二层,关心人的健康状况、生活水平和情感状态,与之对应的是健康监护、智慧医疗、智能家居、智慧城市、情感照护等应用。更深一步的第三层——关注生命意义对用户的人生发展方向提出个性化的建议,以助用户实现幸福而更有意义的人生,这是目前机器所不能做到的,也是未来人工智能的一大挑战。在数据集符合了大数据特征的情况下,我们对数据的分析和处理方式最直接的是采用已有的机器学习方法,但是否用到“类脑”计算的数据处理技巧是区别大数据分析和认知计算的关键。要机器达到更高的思维境界,应该更加强调数据价值潜能的拓展,使机器能认知数据的内涵及其包含的形象信息,像人一样理解周围的信息。

其次,虽然认知计算也兼顾数据在量上的积累,但并不意味着对数据量的依赖。认知计算基于类似人脑的认知与判断,试图解决生物系统中的模糊性和不确定性问题,以实现不同程度的感知、记忆、学习、思维和问题解决等过程。例如在现实生活中,小孩子学会认识一个人只需要很少的次数,虽然数据量不够大,但是对数据的处理上采用了类似认知计算的方法。对于普通人和领域专家来说,即使数据都一样,但是普通人得到的知识与专家得到的知识在深度上的确完全可能不同,这是因为两者思维的高度有别,解读数据的角度也有差异。通过认知计算,机器能够从有限的数据中挖掘出更多的隐含意义。就像人的“顿悟”,机器能否突然在某个时间点,基于原有的数据爆炸式地“解读”

出另一段海量信息？不依赖于大数据分析，机器是否能获得认知智能？这些问题留给读者来思考。

最后，认知计算和大数据的结合将实现“双赢”。认知计算受人类的学习过程启发，人类学会认识一个形象只需很短的时间，就能轻易地分辨出猫和狗等事物，而传统的大数据需要进行大量的训练之后才能达到人类这个简单的能力。比如 Google Photos 虽通过大量图片学习后能区分猫和狗，但还没办法识别出猫的不同品种，并且，浩如烟海的数据具有较大的冗余性，将会占用大量的存储空间。而认知计算倾向于走一条比大数据分析更加轻巧的途径，不仅挖掘数据的共性和价值，在收获认知智能后，使大数据分析不仅只是使用“计算蛮力”。在大数据时代之前，认知计算并未被充分地研究。如今人工智能的兴起及云端充足计算资源的支持为认知计算的发展提供了有力条件，使机器从认知用户内在需求的角度解读和挖掘数据的含义成为可能。

本书第三篇对认知计算与大数据分析进行了详细且全面的探讨，在第 4 章对机器学习进行了概述，第 5 章归纳了机器学习的主要算法，第 6 章结合大数据的特点探讨了面向大数据分析的机器学习算法。

3. 认知计算与云计算

云计算(cloud computing)将计算、存储和带宽等资源虚拟化，使得软件服务部署成本降低，为认知计算应用的产业化和推广提供支撑。另外，云计算所具有的强大的计算与存储能力，为认知计算提供动态、灵活、弹性、虚拟、共享和高效的计算资源服务。本书第 11 章对认知云计算(或云端认知计算)的相关知识进行了归纳，第 12 章为读者提供了面向认知计算的云编程与编程工具的介绍，第 13 章介绍了目前深度学习研究与应用最流行的机器学习库——TensorFlow 开源软件库。

现实生活中产生大量的数据信息，在云计算平台上进行大数据分析之后，使用机器学习等技术对数据进行挖掘，不同类别的信息对应不同的处理技术，如文字信息对应自然语言处理，图像信息属于机器视觉，最后将结果应用于不同的领域。无论是 IBM 语言认知服务或是 Google 认知计算应用，都强调实现类似人脑的认知与判断，并开发云服务模式。云计算和物联网为认知计算提供了软硬件基础，大数据分析为认知计算提供了方法和思路。在未来，认知云计算与认知物联网将成为新的研究方向，帮助人们发现和识别数据中的新机遇和新价值。

五、认知计算与信息论和 5G 网络

人类的认知属于一系列针对特定信息的活动，通常，我们会用相对应的数学理论将其具象化。早期通信领域学者认为物质世界中传递的信息特指通信系统中的信息。信息论的奠基人克劳德·艾尔伍德·香农(Claude Elwood Shannon)在其著名论文《通信的数学理论》(1948 年)中定义了此种信息，并提出了计算信息量的公式，如下：

$$H(X) = - \sum_i P(x_i) \log_2 P(x_i) \text{ (b)}$$

从公式可知，当各个符号出现的概率相等，即“不确定性”最高时，信息熵最大。因此，信息可以视为“不确定性”或“选择的自由度”的度量。

随着智能手机、多媒体移动通信及服务种类的增加，人们对信息量的需求也与日俱增，与此同时对未来移动通信网络也提出了更高的要求。下一代移动网络联盟

(Next Generation Mobile Networks Alliance)定义了第五代移动通信系统(5G)的以下要求:① 以 10 Mb/s 的数据传输速率支持数万用户;② 以 1 Gb/s 的数据传输速率同时提供给在同一楼办公的众多人员;③ 支持数十万的并发连接用于支持大规模传感器网络的部署;④ 频谱效率应当相比 4G 显著增强;⑤ 覆盖率比 4G 有所提高;⑥ 信令效率应得到加强;⑦ 延迟相比 4G 应该显著降低。也就是说,5G 网络不仅要满足高通信容量需求,而且移动用户的数据速率也需要有巨大的提升,详见第 19 章。

根据数字通信系统的理论基石,即香农公式:

$$R=W\log_2\left(1+\frac{S}{N}\right)(\text{b/s})$$

其中 W 为信道带宽, S 为信号的平均功率, N 为噪声的平均功率, S/N 为信噪比,可以获得有噪声信道的极限速率(单位时间内在信道上传送的信息量的上限)。根据香农公式,可以从以下三个角度来提升用户的传输速率。

第一,扩展频谱范围,如使用新的频段,但是现有的频谱资源有限。比如在 5G 中的毫米波通信(mmWave),使用高频的优点是速度快,同时传递的信息量大,但缺点是信号的衰减非常严重,而且传输距离非常近。

第二,提高频谱利用率,如通过大规模天线阵列(Massive MIMO)技术和高阶调制技术,提高小区内单位频谱资源下的传输速率上限。

第三,采用更加密集的小区布置,在单位面积上部署更多小区。理论上,总的容量会随着单位区域内小区数量呈线性增长,在给定区域内降低小区半径并容纳更多数量的小区将会提供更多的容量和更多的频谱复用。

随着认知计算的发展,以香农信息论为基础,可进一步探知“认知信息论”。认知活动其实就是基于香农信息熵对庞大的感知输入信号进行描述,从而获得外界事物的存在信息和属性信息;同时根据事物之间相互约束信号,可以得到事物之间的关联规律信息;最后通过获得的事物间的规律信息并根据相应信息参数的改变来推测事物的状态信息。

由此给上述三个解决方法带来了一系列疑问。例如,信息的增值和通信容量的增加,除了前面探讨的对物理世界数字通信系统的不断完善和提升,我们能否从认知的角度对信息进行更加深入的解读和利用?信息是否只能以物质的形式(如声、光、电、能量、磁盘、生命科学领域的 DNA、甚至中医领域的“气血”等在物理空间中能够进行度量的介质)为载体?信息可否作为信息的载体?人或认知系统对已有信息的诠释、解读或挖掘,由此产生的新的数据价值,是否可以理解为信息量扩充的一种方式呢?信息载体(information carrier)与信息的载体(carrier of information)有何区别?这些疑问留给广大读者思考。

六、如何突破大数据分析对数据的依赖

从古至今,人类不断地探索自身,并试图像“上帝造人”一样创造机器。如今,许多机器在“体力”上已经远远超过人类,然而却始终无法达到人类智慧的高度。最初的机器学习通常分为监督学习和非监督学习,我们“喂”给机器的数据通常具有固定的格式,机器根据这些数据训练模型,完成回归、分类、聚类等任务。但是机器能接收的信息是有限的,机器难以学习非线性情况下的信息,它只能根据现有的大部分情况进行推测,

而且同一数据的标签在不同情况下可能是不同的,机器学习到的信息在不同用户看来,其可用性也有别。传统的监督学习和非监督学习基于输入数据的封闭式训练,已经满足不了对机器智能可持续性提升的需求,因此增强学习成为机器学习领域一个热门的研究分支。

增强学习和人类学习的过程非常相似。以小孩学说话为例,当要教其一个单词时,通常会指着单词代表的某个事物或者做单词代表的动作,反复读那个单词,如果小孩理解错了,在做出错误判断之后,大人会给予纠正,而对于小孩的正确判断,大人会给予奖励。在人类学习的过程中,周围环境也是一个很重要的因素。增强学习借鉴了这一点,它是机器从环境到行为映射的学习。它设立一套奖励机制,当所做行为对目标有益时,就给予一定的奖励,反之则施予一定的惩罚。前往目标的过程所做的选择不止一个,因此每次做的选择不一定是最好的,但一定是对目标的实现最有利的。以 AlphaGo 为例,它在吸收了几百万局棋局并进行深度学习之后,使用增强学习进行实战对弈,此时它的策略并不像深度学习那样做出当前最优的落子选择,而是进行全局规划,选择最可能导致最终获胜的落子位置。在这个过程中,机器不仅根据过去的经验,同时为了能使目标奖励最大,也会尝试新的路径,就像学画画一样,当掌握了基本技巧之后,就开始掺杂些即兴发挥,而机器尝试的这个过程其实也在产生数据,训练的最终目标不是回归、分类或聚类,而是最大化奖励,以这个为目的,对于机器来说不管是成功的尝试还是失败的尝试,都是有意义的,机器接下去走的每一步都会借鉴之前尝试的经验。

但是机器一味地自我尝试对某些事情的认知效果并不佳,就像小孩学习语言,如不与他人交流难以进步,机器也如此。因此,“闭门造车”的学习系统不是一个好的认知系统。同时,认知系统也可直接和人类进行“交流”。如果专门指派一个人和机器“交流”,这样就太耗费时间及人力了,采用“众包”的方法可以让人与机器的交流变得自然。典型的案例是游戏 Foldit,这款游戏给定一个目标蛋白,玩家可以用各种氨基酸进行组装,最终拼凑出这个蛋白的完全体。玩家通过游戏自愿参与到氨基酸的组装过程,当玩家数量足够多的时候,这群“非专业”玩家的集体智能将超越少数专业人士。我们可以借用这种方法,通过编写定制化的“认知计算软件”,让用户“无意识地”与机器交流,以提升机器在某个应用领域的智能性。参与众包的用户“无意识地”提供的多样化信息也缓解了认知学习对数据的依赖,同时也提供了一种新的数据处理方式。

七、认知计算与深度学习

认知系统使用数据分析、机器学习等技术开发和建立模型,用于帮助制定正确的决策。通常情况下,决策者使用预测模型的结果来提高他们的决策能力,并帮助他们采取正确的行动。作为机器学习的重要技术分支,深度学习在认知系统中被用来提高预测模型和分析模型的准确性和高效性。

本书第7章详细介绍了认知分析的相关概念,当预测模型为应用服务时,不仅需要适应业务变化要求的高速处理能力,同时需要应对数据源的复杂性和多样性,分析模型需要结合大数据集,包括业务数据库、社交媒体、客户关系系统、网络日志、传感器和视频等各种类型的数据以提高预测能力。越来越多的预测模型部署在高风险环境中,如疾病早期诊断、机器故障监测等,预测结果如果具有很高的准确性将意味着生命得到挽救,重大危机得以避免等。但是,在数据量大、变化速度快的环境下使用数据挖掘、机器

学习和深度学习进行自动预测分析是具有挑战性的工作。

建立模型对大量数据进行识别和理解时,通过数百或数千次的迭代,数据元素之间的关联类型不断变化。由于数据元素的复杂性和数据量大的原因,这些模式和关联很容易被忽视。机器学习和深度学习方法的应用,有利于发现数据模式和它们之间的关联,这是提高认知系统预测模型性能准确性的关键。

预测模型使用原始数据进行分类、预测。首先对数据进行预处理、特征提取和特征选择,然后使用这些特征进行分类、预测。数据预处理、特征选择、特征提取合称为特征表示,寻找到良好的特征表示对最终分类和预测的性能非常关键。原有的手工特征选择需要专业的知识,费时费力,能否选择出好的特征很大程度上靠经验。当需要分析大量数据,并且手工提取特征困难时,深度学习方法更能体现出其优势。

深度学习采用分层结构,模拟人脑进行信息处理,具有数据特征学习的能力,不需要事先设计原始数据特征,直接使用大量原始数据,逐层特征提取和学习结构,在输入到输出之间建立一种复杂的非线性映射关系。在处理非结构化的图像、文本、语音等数据时,深度学习的性能更加突出。如第8章所介绍的,深度学习使用多层神经网络结构进行数据的特征学习和提取,它包括一个输入层、一个输出层和多个隐藏层,并且在模型的学习过程中调整相邻两层神经元之间的连接参数。常见的深度学习架构包括深度信念网络(见第9章)、卷积神经网络和递归神经网络(见第10章)等。深度学习是机器学习的一个分支,与其对应的我们称为浅层学习,对比浅层的神经网络,深度学习能为更复杂的非线性关系建模。在深度学习算法中,输入将经过更多层的转换,每一层输入数据通过转换进入下一层作为输入,通过组合低层特征形成更加抽象的高层特征表示或属性,从而建立数据的逐层特征表示。

深度学习通过大量数据的训练,学习以调整各层参数,从而学习到数据的有效特征表示,最终能够提升分类或预测的准确性。深度学习的特征如下:

(1) 多层神经网络模型结构。与通常的浅层学习相比,深度学习使用更多隐藏层,能够学习到从输入到输出更加复杂的线性关系。

(2) 特征学习是目的。通过逐层特征变换,将数据的原始表示变换到一个新的特征空间,学习输入数据的有效特征表示,使分类或预测变得容易且精确度得到提高。

(3) 采用大量数据逐层训练的方法。深度学习模型需要大量数据采用逐层训练的方式学习网络结构,使用浅层模型手工设计的特征数据量相对较少。

八、认知计算与形象思维

人的大脑皮层分为左、右两个半球,两侧半球在功能上不同。对于大多数人来说,左脑负责语言、意念、逻辑等,右脑负责形象思维和情感等。左脑发达的人通常逻辑性强、比较理性,比如科学家;右脑发达的人通常具有较强的创造力、擅长空间和物体形状认知,比如艺术家。因此,按照思维内容的抽象性不同,人类的思维方式分为逻辑思维和形象思维,与此对应,人类认识自然界的方法也分为理性方法和感性方法。

理性方法是以严格的概念定义为基础,感性方法则是建立输入和输出之间的某种映射关系。人脑究竟是怎样实现1000亿个神经元的信息编码、处理、存储的我们并不知道,但是在认知系统中可以通过数据分析来模拟人脑的思维方法。手工特征设计方法对特征的设计和提取进行了严格的定义,可以认为是一种理性方法,也就是模拟了人

类的逻辑思维能力。特征学习方法是学习输入到输出之间的映射关系,是一种感性方法,也就是模拟了人类的形象思维能力。

如图 4 所示,分别用理性方法和感性方法来判断一个四边形是否为正方形。理性的解析方法就是寻找正方形的特征,判断 4 条边长度是否相同,是否具有 4 个直角,如图 4(a)所示。这种方法需要理解角及直角的概念,边及边长的概念。如果给孩子看正方形的图片,告诉他这是正方形,几次学习之后孩子就能够准确识别出正方形,如图 4(b)所示。幼儿并不懂边和角的概念,却能够认识正方形。孩子识别正方形的方法是感性方法,或者说是直觉,实质上是通过学习,孩子在大脑中建立了正方形图形和概念之间的一种映射关系。理性方法识别正方形需要寻找图像的特征,手工设计特征可以看作是这种方法的模拟。孩子认识正方形是使用感性方法建立图形和概念之间的映射关系,使用深度学习模型学习特征便可看作是这种方法的模拟。

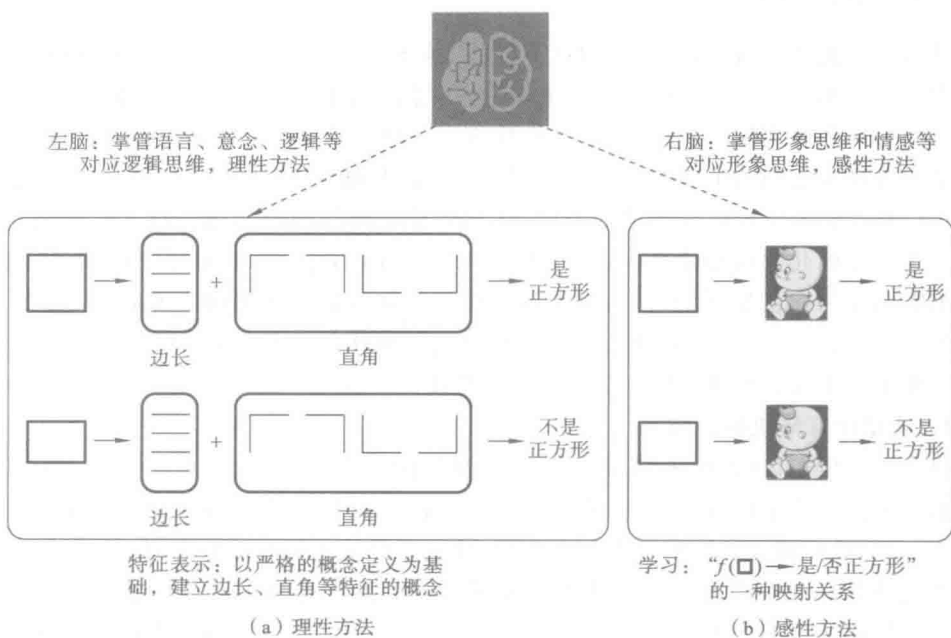


图 4 认识正方形的感性和理性方法

九、认知计算与图像理解

使用计算机解决现实世界中的问题,需要模拟人脑的思维方式。认知系统中分类和预测模型需要对原始数据提取特征,使用手工设计特征的方法模拟人脑的逻辑思维能力,或者通过深度学习学习方法学习特征,从而对人脑的形象思维能力进行模拟。随着计算机应用的深入,人们越来越意识到现实世界中的很多问题,人类理解起来很容易,但是很难用理性的方法描述,对于计算机来说,理性的解析方法是低效的或者完全不可能实现。也就是说,无法使用手工设计特征的方法设计有效的数据特征,用计算机实现特征表示将很困难。

提取图像特征是图像理解的基础,不管是用于图像分类、图像检索还是其他应用。以人脸识别为例,人脸图像特征的提取可以分为手工设计特征和学习特征两种方式。手工设计特征的方式,是计算机模拟理性方法来识别,需要确定人的脸部有哪些特征可

以用来区分,比如鼻子、眼睛、眉毛、嘴巴形状等。因为要考虑表情、化妆、胡须、眼镜、光照的变化和拍摄角度不同等因素,所以特征设计和特征提取非常困难。但是人类在进行人脸识别时,很少考虑图像中的具体特征,完全凭直觉进行判断。照片中人的表情、光线、拍照角度和是否戴墨镜完全不会影响到识别的效果。我们可以理解为人类的这种凭直觉的识别方法是建立了输入——某个人照片,输出——姓名(他是谁),二者之间的一种映射关系。深度学习进行图像分类时,模仿人类图像识别的感性方法,通过大量的图像数据学习,获得了图像和分类结果之间的映射关系,也就是获得输入图像的特征表示,应用特征进行分类。使用训练获得的映射关系,可以获得输入图像的分类结果。具体到生命科学领域,本书在第 18.4 节中对医疗认知系统中的图像分析进行了详细探讨。

十、认知计算应用

从信息论到认知科学,再到认知计算,我们试图将认知计算理论的由来、思想和支撑技术做一个系统且深入的探讨。本书从最大化信息的价值出发,面向数据的产生/采集、传输、分析和利用四个阶段,对认知计算与物联网、云计算、大数据分析、机器学习和深度学习等技术之间的关联进行了详细讨论。在此基础上,本书将理论与实际相结合,进一步讨论了认知计算的两个重要方面:认知计算应用与前沿专题。除了已经趋于成熟且广为人知的几大认知计算应用,如第 16 章介绍的 Google 的 AlphaGo、第 17 章介绍的 IBM Watson 认知系统等,本书详细探讨了认知计算的相关前沿专题,如第 19 章设计的 5G 认知系统、第 21 章研究的认知软件定义网络等。此外,本书第六、七篇中还重点介绍了自主设计和研究的几类认知计算应用。

1. 认知计算与机器人技术

机器人诞生于 20 世纪中期,经过半个多世纪的发展,机器人技术已经对人类的生产和生活方式产生了深远影响,并成为衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。“制造出像人一样的机器”在几千年前就已经是人类的伟大愿望,但目前,人和机器人仍然是一种使用和被使用、替代和被替代的关系。新的社会发展趋势表明:未来机器人系统将从更多的方面模仿人,尤其是机器人与人之间应更多地表现出一种和谐共存、优势互补的合作伙伴关系,与人共融是新一代机器人系统的重要特征。

认知交互的一种重要媒介是仿人机器人,本书第 14 章对基于仿人机器人的人机交互进行了介绍,并详细介绍了自主设计的直立行走仿人智能机器人。而随着机器人与人之间相互作用的增强,我们对于具有高度复杂性与认知功能的机器人的能力需求也在不断增加。将传统机器人与人工智能和认知科学相结合,推动实现机器人的认知智能,将是机器人发展的重要方向。因此,在第 15 章中,我们讨论了基于主流机器学习技术手段建立的机器与人的情感及生理健康相关的认知应用。

2. 情感通信系统

我们的世界通过互联网、手机和无数的物体互联,物理世界和信息世界无缝融合成为未来网络发展趋势。在物质生活日益丰富的今天,人们开始将关注的重心从物理世界转移到精神世界。以面向居家环境为例,传统的智慧屋(Smart Home 1.0)只是通过 M2M 的联网方式实现节能,并方便用户对家电进行远程控制,如小米公司推出的米家智慧屋。而加入机器对人的认知后,传统的智慧屋就进化成具有认知情感智能的新一

代智慧屋系统——智慧屋 2.0(Smart Home 2.0),它融合了 Smart Home 1.0 与情感认知,是实现用户、智能应用、绿植和室内环境于一体的智能系统。系统结合智能家居和室内绿植,对室内用户情绪的感知和调节提供了智能的认知服务,能够感知用户的情绪并以此调节环境以优化用户的情绪。

人的情绪逐渐成为精神世界的直接参考指标,对人情绪的认知将成为认知计算的一个重要应用。由此催生出新的具有情绪认知的人机交互技术。目前可用的人机交互系统常常是在视距环境(即在相互的视野之内)中支持的人机交互,而大多数人与人之间、人与机器人之间的交互都是非视距模式的。为了打破传统人机交互系统的限制,本书第 20 章介绍了一种基于非视距模式的情感通信系统。一般情况下,我们的远程交流方式是手机视频或语音通话,但本书所述的交流媒介则是抱枕机器人。例如,独自一人在家的自闭症儿童,在母亲长期出差的情况下,情绪十分消极,这对孩子身心健康的影响很大。此时孩子渴望得到母亲的关心,这其中不仅仅是母亲的一段通话音频,孩子还希望得到触觉上真实的情感安抚,如同母亲陪在身边一样。因此,如何进行远距离情感通信成为我们的研究动因。基于非视距模式的情感通信系统首先将情感定义为一种类似于语音和视频的多媒体数据,情感信息不仅可以被识别,还可以进行远距离传输。同时,考虑到情感通信的实时性要求,系统提出了情感通信协议,以保证情感通信的可靠性。

3. 医疗认知系统

随着人类社会的经济发展和环境变化,慢性病的发病率不断上升,现已成为人类健康的最大威胁。对于医疗专业人士来说,使用认知计算的优势是能够利用医疗认知系统帮助诊断,可以从各种类型的数据和内容中找到优化决策,从而采取合适的操作。在医疗行业中,没有找到正确的数据关系和模式所带来的风险很高。如果重要的信息被忽视或误解,那么病人将遭受长期的伤害甚至是死亡威胁。通过多学科融合技术,如机器学习、人工智能以及自然语言处理,认知计算可以从数据中发现疾病的模式和关系,并综合分析所有不同的数据点,从而帮助医疗专家进行学习,最终找到正确的解决方案。在认知系统中,人类和机器之间的协作是固有的,这将能够保证医疗机构从数据中获取更多的价值以及解决复杂的问题。

病人的医疗数据中既有结构化数据也有非结构化的文本数据,本书第 18 章设计的医疗认知系统可以使用机器学习方法对人类的健康数据进行分析 and 建模,构建慢性疾病检测模型。此外,本书第 18.3 节还介绍了一个医疗认知系统,它使用医疗文本数据分析方法建立通用的疾病风险评估模型,具体方法是使用词向量对文本数据进行数字化表示(详见第 3 章),用卷积神经网络进行文本特征提取,最终得到疾病风险评估的结果。

综合上述探讨,我们将本书分为七篇。

第一篇讨论认知计算与物联网,该篇从信息的采集与获取方面探讨了物联网对于认知计算的支持,共三个章节。第 1 章详细介绍了认知数据的采集方法及过程、物联网感知和群智感知;第 2 章介绍了一种特殊的认知感知形式——认知触觉,阐明了触觉与认知的关系并对认知触觉网络概念、架构和应用实例做了详细说明;第 3 章介绍了一种具体的认知数据类型——自然语言,该章对认知系统中使用的语料库和自然语言处理技术做了详细介绍。