DOI:10.13966/j.cnki.kfjyyj.2005.01.005

■ 本栏目由北京师范大学知识工程研究所与本刊合办

知识可视化的理论与方法

赵国庆 黄荣怀 陆志坚

(北京师范大学 知识工程研究所,北京 100875)

【摘要】 本文首先介绍知识可视化的由来,与数据可视化、信息可视化的联系与区别;接着论述知识可视化的理论基础——双重编码理论,并从知识制品的角度分析知识可视化的本质;然后分析了知识可视化与教育技术、知识工程的关系;最后介绍知识可视化的研究框架和几种已有的知识可视化方法,并分析了其发展趋势。

【关键词】 知识可视化; 数据可视化; 信息可视化; 知识制品

【中图分类号】G434 【文献标识码】A 【文章编号】1007-2179(2005)01-0023-05

一、知识可视化的由来

"可视化"一词源于英文的"visualization",原意是"可看得见的、清楚的呈现",也可译为"图示化",如计算机编程的可视化界面(VB、VC等)。

"可视化"作为专业术语的出现始于1987年2月,当时美国国家自然科学基金会(National Science Foundation,简称NSF)召开的一个专题研讨会给出了"科学计算可视化"的定义、覆盖的领域以及发展方向。这标志着科学计算可视化作为一门学科在国际范围内已经成熟(潘云鹤,2001)。按照潘云鹤(2001)的观点,科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing)的基本含义是指运用计算机图形学或者一般图形学的原理和方法,将科学与工程计算等产生的大规模数据转换为图形、图像,以直观的形式表示出来。

数据可视化(Data Visualization)的概念首先来自科学计算可视化,科学家们不仅需要通过图形图像分析计算机算出的数据,而且需要了解计算过程中数据的变化。随着计算机技术的发展,数据可视化的概念已大大扩展,不仅包括科学计算数据的可视化,而且包括工程数据和测量数据的可视化。现代的数据可视化技术指的是运用计算机图形学和图像处理技术,将数据转换为图形或图像在屏幕上显示出来,并进行交互处理的理论、方法和技术。它涉及到计算机图形学、图像处理、计算机辅助设计、计算机视觉及人机交互技术等多个领域。

一般说来,科学计算可视化是指空间数据场的可视化,而"信息可视化"(Information Visualization)则是指非空间数据的可视化。随着社会信息化的推进和网络应用的日益广泛,信息源越来越庞大。除了需要对海量数据进行存储、传输、检索及分类等以外,更迫切需要了解数据之间的相互关系及发展趋势。实际上,在激增的数据背后,隐藏着许多重要的信息,人们希望能够对其进行更高层次的分析,以便更好地利用这些数据。Card et al. (1999)将信息可视化定义为:"使用计算机支持的、交互性的视觉表示法,对抽象数据进行表示,以增强认知。"

Eppler & Burkard (2004)认为知识可视化(Knowledge Visualization)是在科学计算可视化、数据可视化、信息可视化基础上发展起来的新兴研究领域,应用视觉表征手段,促进群体知识的传播和创新。一般来讲,知识可视化领域研究的是视觉表征在提高两个或两个以上人之间的知识传播和创新中的作用。这样一来,知识可视化指的是所有可以用来建构和传达复杂知识的图解手段。除了传达事实信息之外,知识可视化的目标在于传输见解、经验、态度、价值观、期望、观点、意见和预测等,并以这种方式帮助他人正确地重构、记忆和应用这些知识。

知识可视化与信息可视化有着本质差别,信息可视化的目标在于从大量的抽象数据中发现一些新的见解,或者简单地使存储的数据更容易被访问;而知识可视化则是通过提供更丰富的表达他们所知道内容的方式,以提高人们之间的知识传播和创新(Eppler & Burkard,2004)。这里我们从可视化对象、可视化目的、可视化方式和交互类型四个方面对数据可视化、信息可视化与知识可视化三者进行比较,如表一所示:

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表一　三者的比较

	数据可视化	信息可视化	知识可视化
可视化对象	空间数据	非空间数据	人类的知识
可视化目的	将抽象数据以直观的方式表示出来	从大量抽象数据中发现一些新的信息	促进群体知识的传播和创新
可视化方式	计算机图形、图像	计算机图形、图像	绘制的草图、知识图表、视觉隐喻等
交互类型	人－机交互	人－机交互	人－人交互

二、理论基础——双重编码理论

双重编码理论的一个重要原则是：同时以视觉形式和语言形式呈现信息能够增强记忆和识别。该理论于1986年由Paivio提出，试图把语言和非语言放在同等重要的位置上。Paivio(1986)声明：人类认知是独特的，它在同时处理语言和非语言对象时非常特别。该理论认为，语言系统直接处理语言的输入和输出(以演讲和书写的形式)，同时充当非语言对象、事件和行为的符号功能，任何的表征理论都必须符合这一二重性。

该理论设想有两个认知子系统，一个专门用于表征和处理非语言对象(如表象)，另一个则专门用于处理语言对象。Paivio还假定有两个不同类型的表征单元：imagens和logogens，imagens用于表征心理图像，logogens用于表征语言实体。logogens是以关联和层次的形式组织的，而imagens是以部分－整体关系组织的。双重编码理论定义了三种类型的加工：(1)表征性的，语言和非语言表征的直接激活；(2)调用性的，通过非语言系统激活语言系统或反过来通过语言系统激活非语言系统；(3)联合加工，在语言系统内部或非语言系统内部的表征的激活。一个任务可能需要三种加工中的一种或全部(Paivio，1986)。从双重编码理论可以看出，知识可视化将知识以图解的方式表示出来，为基于语言的理解提供了很好的辅助和补充，大大降低了语言通道的认知负荷，加速了思维的发生。

三、知识可视化的实质

知识制品(Knowledge Artifacts)的概念在越来越多的文献中提及。知识制品是我们日常处理的对象，如我们写的报告、发送的邮件和阅读的书刊等。按照Newman(2003)的观点，知识制品被谈及时，实际上具有双重含义：认知知识制品(cognitive knowledge artifact)和物理知识制品(physical knowledge artifact)。认知知识制品是指对真实物理世界的了解和理解，通常被简化为“知识”；物理知识制品则是指认知知识制品的表示法。认知知识制品侧重于内容，物理知识制品侧重于表现形式。另外，知识制品会因其编码方式、呈现方式和抽象程度的不同而各不相同。从个人角度来看，知识制品可以是外显的(explicit)、内隐的(implicit)或隐性的(tacit)。然而，大多数知识制品都是这些类型的组合。我们最熟悉的是显性知识制品，它们以一定的方式进行编码，使得人们能够触摸到、看到、听到或操作。显性知识制品可以在人们之间进行传播，但不同的制品形式，其传播的效果会完全不一样。为了使用上的方便，一些学者往往将知识制品限定为显性的物理知识制品——能够直接作用人的感官的知识制品，即知识的外在表现形式。因此，知识可视化的实质是将人们的个体知识(暂且称为认知知识“制品”)以图解的手段表示出来，形成能够直接作用于人的感官的知识的外在表现形式(显性的物理知识制品)，从而促进知识的传播和创新。

另外，知识表征(Knowledge Representation)在认知心理学、人工智能以及知识可视化等领域有着不同含义。在认知心理学中，知识表征是指知识在人脑中的存储和组织形式或者说是知识在人脑中的呈现方式，与此相对应的是人脑的各种记忆模型；在人工智能领域，知识表征更多被称为知识表示，是指知识在计算机中的存储形式和运算机制，因此与其对应的是数据结构和相应的算法；而在知识可视化领域，知识表征则是指知识的外在表现形式，与此相对应的是承载知识的图解手段，也是直接作用于人的感官的刺激材料。由此可见，知识可视化是连接认知心理学和人工智能研究的新的桥梁，为计算机的知识表征作用于人脑提供了可依赖的方法和手段(如图1)。

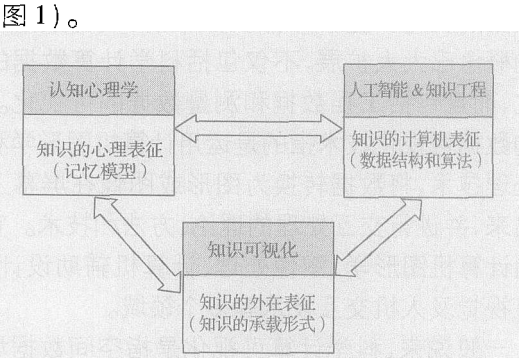

图1　知识表征在相关领域的含义

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

四、知识可视化与教育技术、知识工程

如前所述,知识可视化是指应用视觉表征手段促进群体知识的传播和创新,其实质是将人们的个体知识(认知知识制品)以图解的手段表示出来,形成能够直接作用于人的感官的知识外在表现形式(物理知识制品),从而促进知识的传播和创新。教育技术是为了促进学习而对过程和资源进行设计、开发、应用、管理与评价的理论与实践,其目的是改善教学过程,使教学效果最优化。

从知识可视化和教育技术的目的来看,两者是相当一致的。知识可视化无疑将成为教育技术达成教学效果最优化的利器之一,因此也是教育技术的一个重要的研究领域。

另外,知识可视化是在数据可视化、信息可视化的基础上发展起来的,因此有着更多的技术背景。从表面上看,知识可视化只是知识的一种图解式表示手段,但若往深层次发展,却需要更多的人工智能、知识科学、计算语言学和认知语言学等的强力支持。例如知识可视化的一个研究方向是通过计算机自动发掘文本信息中隐含的概念体系(如小说中的人物及其关系,科普文章中的概念及其关系),并自动生成图表(概念图等),为教师备课提供原材料,或为学生进一步加工(校对、细节修补等)提供原始框架。这种研究将为教学设计自动化打下良好的基础,而这一目标的达成需要借助知识工程和语言学的研究成果,甚至是与知识工程以及语言学的同行一道,攻克一些难题。从这个角度来看,知识可视化是知识工程的应用领域。

综合以上分析,可以认为:知识可视化是知识工程在教育技术领域的应用方向之一,也是在教育技术领域应用知识工程的突破口之一,它对知识工程提出了要求,为教育技术提供了机遇。

五、知识可视化的研究框架

(一)研究的三个角度

为了通过可视化来促进知识的有效传输和创新,至少需要从三个角度来考虑,它们回答了知识可视化的三个关键问题,分别是:

- 将对什么类型的知识可视化
- 为什么要对这些知识进行可视化
- 如何对这些知识进行可视化

图2从这三个角度出发,列出的一些可能答案。

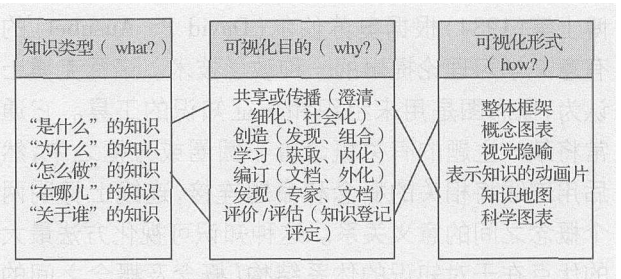

图2 知识可视化研究的三个角度

"知识类型"在于区分需要进行传输的知识的类型。不同的文献对知识分类的结果不同,至今还没有一个能够将可视化形式与知识类型相对应的知识分类法,因此还没有能够为特殊知识类型提供特殊表示方法的框架;"可视化目的"对使用可视化表示的目的进行了区分,可以包括:通过视觉手段进行共享、知识创新、学习、把过去的经验编成文件供别人使用和知识构图等;"可视化形式"给出了可视化的几种方法,如启发式草图、概念图表、视觉隐喻、知识地图和科学图表等。当然,这个图表中的知识类型、可视化目的以及可视化形式等的列举只是一个示意,更没有一个对应关系,需要研究者们根据自己的需要去确定(Eppler & Burkard, 2004)。

(二)研究的一般思路

知识可视化研究可以借鉴传统的四步实验法,即:(1)构建理论上的形式化模型和相应的算法;(2)开发实现该理论的软件;(3)应用理论和工具,构建解决实际问题的方案;(4)评估建构的系统,重复这四步,直到得到满意的效果。

在实施时,需要进行进一步的分解这四大步骤。第一步大致可以分解为:(1)明确知识可视化的目的,即解决研究的动机问题;(2)选取一种切实有效的知识分类法;(3)分析该分类法下的各种知识类型,哪些适合进行可视化,哪些不适合进行可视化;(4)为各种知识类型选择合适的知识可视化方法,即图解手段;(5)为各种图解形式寻求对应的计算机知识表示法,即建立相应的数据结构(含逻辑结构和物理结构)和算法。第二步则可以依据软件工程的思想将其分解为需求分析、设计、编码和测试等步骤。第三步是实验环境的创设。第四步则是实验效果的分析和评估,从而为进入下一个迭代做准备。

六、几种已有的知识可视化工具

(一)概念图(Concept Map)

概念图是康奈尔大学的诺瓦克(J. D. Novak)

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

博士等(1984)根据奥苏伯尔(David P. Ausubel)的有意义学习理论提出的一种教学技术。诺瓦克博士认为，概念图是用来组织和表征知识的工具。它通常将某一主题的有关概念置于圆圈或方框之中，然后用连线将相关的概念和命题连接，连线上标明两个概念之间的意义关系。这种知识可视化方法最大的优点在于对知识的体系结构(概念及概念之间的关系)一目了然的表达出来，还突出表现了知识体系的层次结构。另外，概念图还是很好的结构化知识评估工具。为了方便使用计算机辅助创建和评估概念图，美国评估、标准和学生测试中心(Center for Research on Evaluation, Standards and Student Testing，简称 CRESST)对概念图的概念和连接词进行了预定义，提出了知识地图(Knowledge Maps)。

(二)思维导图(Mind Map)

思维导图最初是二十世纪60年代英国人托尼·巴赞(Tony Buzan)创造的一种笔记方法。托尼·巴赞(1999)认为：传统的草拟和笔记方法有埋没关键词、不易记忆、浪费时间和不能有效刺激大脑等四大不利之处，而简洁、效率和积极的个人参与对成功的笔记有至关重要的作用。在草拟和笔记的办法成效越来越小的情况下，需要一种可以不断增多回报的办法，这种办法就是思维导图。尽管思维导图的初始目的只是为了改进笔记方法，它的作用和威力还是在日后的研究和应用中不断显现了出来，并广泛应用于个人、家庭、教育和企业。

托尼·巴赞认为思维导图是对发散性思维的表达，因此也是人类思维的自然功能。他认为思维导图是一种非常有用的图形技术，是打开大脑潜能的万能钥匙，可以应用于生活的各个方面，其改进后的学习能力和清晰的思维方式会改善人的行为表现。

(三)认知地图(Cognitive Maps)

认知地图也被称为因果图(Causal Maps)，是由 Ackerman 和 Eden(2001)提出的，它将"想法"(ideas)作为节点，并将其相互连接起来。想法不同于概念(concepts)，它们大多是句子或段落。认知地图(Eden, 1988; 1992)是以个体建构理论(Personal Construct Theory)为基础提出的，其中的"想法"都是通过带箭头的连接线连起来，但连接上没有连接词，连接线的隐含意思是"因果关系"或"导致"，且没有层次的限制。认知地图主要用于帮助人们规划工作，促进小组的决策。

(四)语义网络(Semantic Networks)

在心理学中，语义网络被定义为词语或概念的语义相似性或相关程度。然而，Fisher(1990)将其定义为节点和连接组成的网络，有连接词但不严格限制在层次结构上。这样，语义网络更像概念图，而不像主流心理学和计算机科学中定义的那样。与概念图一样，语义网络以概念和有意义的、不受限的连接词为基础，形成基本的实例或命题。Fisher(2000)认为语义网络可以被看成多维的，而非二维的。语义网络可以非常大，包含成百上千的相互关联的概念。由于它非常大，使用者在某一时刻只能看到其中的一个部分，也就是与中心概念直接关联的概念。

(五)思维地图(Thinking Maps)

思维地图是由 David Hyerle 博士 1988 年开发的帮助学习的语言。在这种语言中，教师和学生一共可以使用8种图，用以帮助阅读理解、写作过程问题解决、思维技巧提高。这8种图都是以基本的认知技巧为基础的，这些技巧包括比较和对比、排序、归类、和因果推理。与木匠使用一套工具类似，学生在建构知识时要使用多个图来提高基本的阅读、写作、数学以及问题解决能力和高级思维能力。大量的研究既笼统地支持使用不同的视觉工具，也支持特定的思维地图。最新大脑研究提供了为什么学生使用思维地图时表现更好的证据。

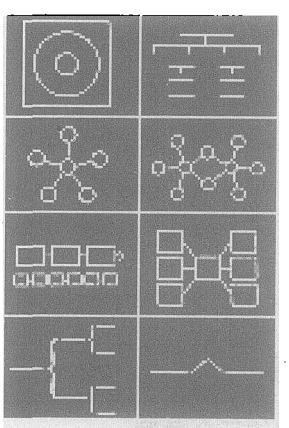

图3　思维地图的8种图(Thinking maps，2004)

这8种图分别是：括弧图(Brace Map)、桥接图(Bridge Map)、起泡图(Bubble Map)、圆圈图(Circle Map)、双起泡图(Double Bubble Map)、流程图(Flow Map)、复流程图(Multi-Flow Map)和树状图(Tree Map)。学生使用括弧图分析物理对象，在左侧的线上是整个对象的名称或图像，在右侧的第一个括弧

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的线上是对象的主要组成部分;桥接图为学生提供了看类比的过程的工具;起泡图用来描述形容词(和形容短语)的使用;圆圈图用来进行头脑风暴以及通过提供情景信息呈现一个主题的先前知识;双起泡图是比较和对比的工具;流程图用来对信息进行排序;复流程图用于显示和分析因果关系;中间矩形表示的是事件,左边是时间发生的原因,右边是事件产生的影响;树状图用于对事物和观点进行归类。

七、总 结

知识可视化作为一个新兴研究领域,是指应用视觉表征手段促进群体知识的传播和创新,其实质是将人们的个体知识以图解的手段表示出来,形成能够直接作用于人的感官的知识外在表现形式(显性的物理知识制品),从而促进知识的传播和创新。随着科技的发展和人们对知识可视化要求的不断提高,知识可视化表现出以下几个发展趋势:(1)二维到多维的转变(Eppler & Burkard, 2004)。当前的知识可视化技术大多是依靠计算机的二维屏幕实现的,将很快与虚拟现实空间相结合。(2)静态向动态、交互的转变(Eppler & Burkard, 2004)。知识可视化不能仅仅是为了知识传输的静态对象,而是需要建立一种迭代的、协作的过程,使得可视化过程动态发生。

【参考文献】

[1]Ackerman, F. & Eden, C. (2001). Contrasting single user and networked group decision support systems for strategy making. *Group Decision and Negotiation*, 10, 47-66.

[2]Eden, C. (1988). Cognitive mapping. *European Journal of Operational Research*, 36,1-13.

[3]Eden, C. (1992). On the nature of cognitive maps. *Journal of Management Studies*,29,261-265.

[4]Eppler, M. J. & Burkard, R. A. (2004). Knowledge Visualization: Towards a New Discipline and its Fields of Application. *ICA-Working Paper #2/2004*, University of Lugano, Lugano.

[5]Fisher, K. M. (1990). Semantic Networking: The new kid on the block. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (10), 1001-1018.

[6]Fisher, K. M. (2000). SemNet Software as an assessment tool. *Assessing Science Understanding*,197-221.

[7]Knowledge Representation and Reasoning with Graphs. (2004). *Knowledge Representation and Reasoning with Graphs*, < http://www.lirmm.fr/~cogito/ >

[8]Newman, B. (2003). Agents, Artifacts, and Transformations: The Foundations of Knowledge Flows. *The Knowledge Management Handbook*,1,301-316.

[9]Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. New York: Cambridge University Press.

[10]Paivio, A. (1986). *Mental Representations*. New York: Oxford University Press.

[11]Thinking maps. (2004). *Thinking maps*, < http://www.thinkingmaps.com/ > .

[12]黄志澄(1999). 给数据以形象 给信息以智能——数据可视化技术及其应用展望[J]. 电子展望与决策,1999(6):3-9.

[13]潘云鹤(2001). 计算机图形学——原理、方法及应用[M]. 北京:高等教育出版社.

[14]托尼·巴赞著,李斯译(1999). 思维导图[M]. 北京:作家出版社,1999:39-58.

(编辑:魏志慧)

【收稿日期】 2004-10-16

【作者简介】 赵国庆,在读博士,北京师范大学知识工程研究所;陆志坚,在读硕士,北京师范大学知识工程研究所;黄荣怀,教授,博士生导师,北京师范大学知识工程研究所所长。

Theory and Methodology of Knowledge Visualization

ZHAO Guoqing, HUANG Ronghuai & LU Zhijian

(*Research Institute of Knowledge Engineering*, *Beijing Normal University*, *Beijing* 100875, *China*)

Abstract: The paper analyzed the origin of KV (abbr. of Knowledge visualizaion) and difference between KV from data visualization and information visualization first. Then, It introduced Dual Coding Theory, which might be the theoreticaI basis of KV, and explored the essence of KV from the perspective of knowledge artifact. After that, talked over the relationship of KV, educational technology, knowledge engineering. Finally, a research framework of knowledge visualization and some availabIe methods were introduced.

Key words: knowledge vsualization; data visualizationl; information visualization; knowledge artifact

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net