

基于事例的设计推理研究* TP18

耿卫东 潘云鹤 何志均

(浙江大学人工智能研究所 杭州310027)

摘 要

In this paper, we mainly discussed the Case-based Reasoning in design process. Considering the features of design activities, we detailedly discussed the mechanism of Case-based Reasoning in design and gave a general Case-based design reasoning process.

一、引 言

事例 (case) 推理是AI中新崛起的一种重要推理技术。一般认为^[1], 事例推理起源于Shanker在《Dynamic Memory (动态记忆)》中所做的工作, 后由其学生逐渐发展起来。它基于人的认知过程, 其核心思想是: 在进行问题求解时, 使用以前的求解类似问题的经验来进行推理, 而不必从头做起。这与AI中的基于模型的推理技术形成鲜明的对比, 一个典型的事例推理过程可归纳如下:

- 1) 根据当前的问题从事例库中检索相应的事例。
- 2) 调整该事例中的求解方案, 使之适合于求解当前问题。
- 3) 求解当前问题并形成新的事例。
- 4) 根据一定的策略将新事例加入到事例库中。

设计是一个面向目标的、有约束的决策、探索和学习活动^[2], 它根据设计说明给出的设计对象的期望功能(或行为)的描述, 产生出符合设计要求的设计结果。研究表明^[3-4], 设计人员通常依据以前的设计经验来完成当前的设计, 并不是每次都从头开始, 以前的失败经验被用来避免犯同样的错

误, 而成功的经验则被用来指导当前的设计。这与事例推理非常相似, 但目前的CAD系统因为设计推理技术的限制, 几乎都不支持设计推理过程, 因此很有必要研究事例推理技术在设计问题求解中的应用。

本文选择了一种非常典型的设计活动——造型设计作为研究领域, 分别从设计事例的表示、组织与检索、调整与学习等几个方面来探讨设计问题求解中的事例推理技术。

二、设计事例的表示

在AI中的基于事例推理的问题求解系统中^[5], 一个典型的事例一般包含三部分信息: 1) 问题的说明信息, 即问题的初始条件。2) 问题求解的目标。3) 达到该目标的解决方案。原则上设计事例也应包含这三部分信息, 但设计问题一般比较复杂, 有关这三部分的信息很难用单个的事例来表示。即使能用单个的事例表示, 这样的设计事例也会因其中包含有太多的信息而变得十分庞大, 使得事例上的操作很难进行。况且, 在实际的设计活动中, 有相当一部分的设计问题都是定义不良的^[7], 很多表面上一致的设计要求实际上隐含着冲突, 给设计事例的表示带来了困难。但一般来说, 设计过程可明显地

* 国家自然科学基金和863智能计算机主题资助研究项目

分为两个阶段：1)概念设计阶段，即进行方案的生成。2)方案落实阶段，即根据设计方案进行设计结果的生成操作，形成最后的设计结果。

为克服设计事例表示上的困难，我们结合设计过程分阶段这一特点，引入了设计事例的层次式表示，把设计事例的表示分成两部分：一部分为概念设计事例，用来支持设计活动中的方案设计；另一部分为方案落实事例，用来支持方案落实及设计结果生成操作。概念设计事例中包含有设计问题的初始约束条件、设计所要达到的目标（设计要求）及满足设计要求的一个可行的设计方案等；方案落实事例中包含有设计方案、落实方案的操作序列及最后的设计结果描述等。

将设计事例采用层次式表示之后，不仅可以降低每个事例中的信息的粒度，使得事例容易操作，还可以根据设计活动中不同阶段的特点，采用不同的方式来表示不同层次的事例。由于对定义不良的设计问题的调整操作主要集中在方案设计阶段，因此对概念设计事例，我们以“影响图”的方式来表示，将其中的设计说明、设计要求及设计方案的每一组成部分看成一个节点，根据它们之间的依赖程度用加权有向弧将它们连接起来而形成影响图。有了影响图，就可以较容易地调整定义不良的设计问题；而方案落实事例的表示，则可根据具体的设计领域，采用适合于该设计活动且便于其操作的表示方式。

对造型设计来说，其设计过程可分为以下两个阶段：

1)创意策划阶段，即根据设计要求进行创意策划，并选取适当的形体元素和表现手法。

2)形体生成阶段，根据设计方案中选取的形体元素和表现手法，进行实际形体的生成操作，形成最后的结果。

创意策划阶段的特点与一般设计过程中的概念设计阶段的特点基本相同，其事例的

表示可直接采用上面给出的概念设计事例的表示方法。但在形体生成阶段，其表现手法的操作对象往往是某形体的有具体意义的特定部分，如复合反转手法，相似形态置换手法，异质同构手法，分解重构手法等。如果只是采用简单的单个事例方式来表示形体生成阶段的事例，将使得表现手法的操作对象的确定变得十分困难。因此，对形体生成阶段的事例，我们觉得应采用分布式的表示方式^[8]，将一个大的形体生成阶段的事例分割成很多小的具有一定意义的片断事例，这些片断围绕特定的设计目标而组织。通过片断事例之间的链接信息来保存整个形体的构成信息。这样的表示方式，不仅使得表现手法易于实现，而且还保存了很多单一的事例表示方式所难于保存下来的形体的局部特征信息，有力地支持了造型设计过程。

三、设计事例的组织与检索

事例的组织与检索是进行事例推理系统设计的一个重要环节，其策略的好坏对事例推理的效率有很大的影响。目前在AI中，事例的组织与检索策略主要有以下几种^[1,9,10]，

1)最近相邻策略 (nearest neighbor)。根据事例中各组成部分的权值，求其权值和，然后根据其权重的远近来组织相应的事例。检索过程与此类似。

2)归纳推理策略。不断地从事例的各组成部分抽取出最能将该事例与其他事例区别开来的成分，并根据这些成分将事例组织成一个类似于判别网络的层次结构。检索时采用判别树搜索策略。

3)知识导引策略 (knowledge-guided)。根据目前已知的知识来决定事例中哪些特征（或信息）在进行事例的检索时是重要的，并根据这些特征来组织和检索，这使得事例的组织与检索具有一定的动态性。

虽然有些系统从知识使用角度出发，对事例的检索与存储技术作了一些优化，如抽象索引、部分匹配、泛化匹配等^[11,12]，但总

的策略并未超出上述三类。那么,设计事例的组织 and 检索策略又该如何呢?

3.1 设计事例的组织

事例的组织原则有两个,一是能够快速检索出事例调整时所需要的相关信息,二是快速地找出与当前问题相匹配的事例。但设计事例的表示应表现出一定的动态性,这是因为设计师往往随着其对“设计世界”的看法的变化而动态地组织其设计知识。就造型设计事例的组织而言,这种动态性主要表现在设计意图与实际形体的对应上受不同的审美观、表现手法及设计习惯的影响。因此,根据上面给出的设计事例的几个组织原则,可对造型设计事例采用如下的策略:

1)对创意策划事例,一方面由特定造型设计领域的概念语义模型来组织它们,这有利于快速查询相关造型设计信息;另一方面则依据创意要求和表现手法来组织它们,这对知识处理,如事例的调整等十分有利。在检索时,根据操作性质的不同,分别依据语义或表现手法作相应的查询。

2)对形体生成事例,先依据实体、图形、图像、文字对它作适当的区分,然后由一个具有学习功能的导引器来组织对表现手法的选择、评价等方面的知识。这样通过导引器中知识的演变来实现事例的重组,从而在一定程度上体现了动态组织设计事例的思想。

3.2 设计事例的检索

事例的组织策略已在相当程度上决定了事例的检索策略。事例检索操作的目标是快速地从CASE(事例)库中找到一个(或多个)跟当前的问题求解最相关的事例。对设计事例的检索来说,仅由事例的组织策略来进行相应的检索操作是不够的,这是因为设计活动中的知识使用具有“演变性”,这样的“演变性”决定了在进行设计事例的选择时,不仅与相似性确认程度和子行为匹配程度有关,而且还与该设计事例的使用“历史”有关。针对设计活动的这一特点,我们在概念

设计事例中增加了一个组成部分,用来记录事例被选中的成功或失败的历史,以利于最佳事例的确认;而对形体生成事例,因其采用分布式表示,故对其各片断事例保留其被调整成功的成功率。这为以后的事例调整操作提供了很好的支持。

四、设计事例的调整与学习

事例的调整操作在事例推理中相当重要。它的主要作用是:适当调整在检索操作中获得的最佳事例中的求解方案,使之适合于求解当前问题。因为事例的调整操作往往跟一个特定的领域相关,因而也很难定义一个通用的方式来执行事例的调整操作。

由于大量的设计问题是定义不良的,所以设计事例的调整操作除上述功能之外,另外一个重要的作用就是解决设计要求中的定义不良问题,即对设计问题中隐含的约束进行一定的整合与协调。以造型设计为例,对于其创意策划事例,利用其各组成部分形成的影响图,很容易求得每一部分的变动对设计事例的整体行为的影响,方便地实现定义不良问题的调整,然后根据创意要求信息、设计说明等信息,选择表现手法,并根据语义模型,获得适当的领域知识,确定相关的操作对象(如形体、文字、图形等),并形成新的设计方案;对形体生成事例,其调整操作如下:首先隔离出可用的片断事例,然后不合要求的片断事例采取功能相同替换、功能分割等操作来进行调整,然后对相应的片断事例执行表现手法操作序列,再根据片断事例间的链接信息进行重构,得到最后的设计结果。最后将形成的新的事例加入到CASE库中。

如果不采取适当的措施,随着新的事例不断地加入到CASE库中,将会使CASE库变得十分庞大,其推理效率必受到影响。为将CASE库控制在一定规模内,必须对加入到CASE库中的事例进行学习。这样的“学习”实际上就是把多个事例“合并”为一个。目前AI中的事例学习仅是一个泛化过程,

即只进行相似性学习^[1]。但是,对设计事例的学习来说,仅从相似性角度来进行学习是不够的,它还应能够根据设计事例的被使用情况来进行学习,这样才能体现出设计知识的演变性。如果根据设计事例的相似性和被使用情况来进行学习,那么一个设计事例被加到CASE库后,将发生下列情况之一:

1)直接作为新的事例独立地加到CASE库中。

2)替换CASE库中的旧事例。

3)与CASE库中的旧事例合并,形成一个新的事例。

4)若CASE库中已有相同的事例,则被抛弃。

具体采用何种策略进行上述调整,应视实际的设计活动特点而定。

五、基于事例的设计推理过程

上面几节,我们以造型设计为例,讨论了设计事例的表示,组织、检索、调整、学习等。综合这几个方面,一个完整的基于事例的设计推理过程可归纳如图1:

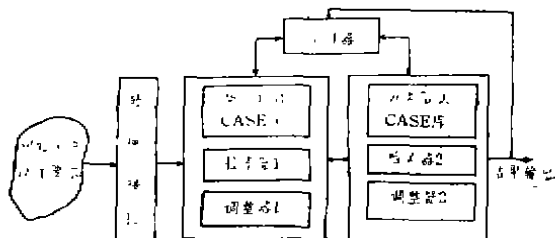


图1

初始条件和设计要求通过用户接口转换成设计事例的检索要求,然后由概念设计事例检索器从CASE库搜寻出最相关的事例,由调整器对设计要求中的隐含约束进行整合,并执行相应的方案调整操作,形成一个可行的设计方案。再根据设计方案从方案落实CASE库中找出相应的设计事例,并执行调整操作。调整成功后,则执行方案落实事例中的方案落实操作,形成一个实际的设计结果输出给用户,同时将形成的新的设计事例通过学习器加到CASE库中。尽管这里为

理解起见,我们把概念设计事例的推理和形体设计事例的推理分开讨论,但实际上这两者是相互贯穿的。在进行概念设计事例的推理时,可以通过特化操作访问方案落实事例中的知识。相应地,在进行方案落实事例的推理时,可以通过泛化操作来访问概念设计事例中的知识。这样的设计推理过程是非线性的。

通过上面的讨论可以看出:设计中的事例推理与AI中的事例推理有以下几点不同:

1)设计这样一个从抽象到具体的过程以及设计中使用到的大量信息决定了设计事例的表示要体现出一定的层次性。

2)设计中的事例推理除了要对设计方案调整外,还要着重对定义不良的设计问题进行调整。

3)设计事例的被使用情况对事例的检索、调整、学习等操作起着相当重要的作用。

目前我们正准备把上述基于事例的设计推理技术应用到我们开发的广告CAD系统中去。

参考文献

- [1] R. Barletta, An introduction to case-based reasoning, AI Expert, August 1991. 中译文见《计算机科学》20(1)1993
- [2] J.S. Gero, Design prototypes, a knowledge representation schema for design, AI magazine, 11(4)1990
- [3] S. Molaughlin 等, Requirements of a reasoning system that supports creative and innovative design activity, Knowledge-based systems, 2(1)1992
- [4] M.L. Make, Process models for design synthesis, AI magazine, 11(4)1990
- [5] T. Smithers, AI-based design versus geometry-based design or why design cannot be supported by geometry alone, Computer-aided design, 21(3), 1989

(转封四)

(接第39页)

- [6] S. Slade, Case-based reasoning: a research paradigm, AI magazine 12(1), 1991
- [7] G. Fisher 等, Making design objects relevant to the task at hand, AAAI-91
- [8] M. Ramond, Distributed cases for case-based reasoning facilitating use of multiple cases, AAAI-90.
- [9] D. Navinchandra 等, A transformational approach to case-based synthesis, AI EDAM 5(1)1991.
- [10] E. A. Domeshek, Indexing stories as social advice, AAAI-91, p3-9.
- [11] E. Simondis and J. Miller, Validated retrieval in case-based reasoning, AAAI-90
- [12] K. P. Sycara, Index transformation techniques for facilitating creative use of multiple cases, AAAI-90
- [13] T. R. Hinrichs and J. L. Kolodner, The roles of adaptation in case-based design, AAAI-91
- [14] K. Hammand 等, Integrating planning and acting in a case-based framework, AAAI-90
- [15] J. L. Kolodner, Improving human decision making through case-based decision aiding, AI magazine 12(2)1991
- [16] P. Pu, Assembly sequence planning using case-based reasoning techniques, Knowledge-based systems, 4(4)1991
- [17] A. R. Goiding 等, Improving rule-based systems through case-based reasoning, AAAI-91
- [18] S. A. Rajamoney 等, Prototype-based reasoning, an integrated approach to solving large novel problems, AAAI-91
- [19] L. K. Branting 等, Rules and precedents as complementary warrants, AAAI-91
- [20] E. K. Jones, Model-based case adaptation, AAAI-92
- [21] I. Makoto T. 等, A method of calculating the measure of salience in understanding metaphors, AAAI-90
- [22] D. B. Leake, An indexing vocabulary for case-based explanation, AAAI-91
- [23] D. Stanfil 等, Towards memory-based reasoning, Communication of ACM, 29(12)1986
- [24] K. D. Ashley 等, Generating dialectical examples automatically, AAAI-92
- [25] A. J. Cradlock, Common sense retrieval, AAAI-92
- [26] D. C. Edelson, When should a cheetah remind you of a bat? reminding in case-based teaching, AAAI-92

计算机科学

(1974年1月创刊)

第20卷第4期(双月刊)

1993年8月23日出版

国内统一刊号: CN51-1239

代号: 78-68

定价: 2.50元 国外定价, 5美元

编辑者: 中国科学技术情报研究所重庆分所

顾问: <计算机科学> 审编委员会

出版者: 中国科学技术情报研究所重庆分所

重庆市市中区胜利路132号

邮政编码: 630013 电话: 350828

印刷者: 中国科学技术情报研究所重庆分所印刷厂

总发行处: 四川省重庆市邮政局

订购处: 全国各地邮政局

广告经营许可证: 渝工商广字930066