

基于案例推理和神经网络的桥梁知识的复用

彭卫兵, 任爱珠, 徐 峰

(清华大学土木工程系, 北京 100084)

摘 要: 采用面向对象方法进行桥梁知识数据组织, 建立了包含几何信息和非几何信息的桥梁案例数据, 并通过系统建模平台, 建立了和中小跨径桥梁通用图库中项目图纸信息一一对应的可供推理的案例数据库。案例数据采用 SQL Server 2005 数据库技术进行结构化存储。研究了适合桥梁结构设计的构件相似性定义, 建立了获取桥梁结构设计相似案例方法。采用人工神经网络技术, 挖掘相似案例中蕴涵的知识, 实现对最相似案例的修改, 形成符合新的设计要求的桥梁设计案例。实现桥梁数据的参数和知识驱动, 形成了基于挖掘以往设计案例中包含的知识的桥梁结构设计方法, 为桥梁结构设计企业重复利用以往设计案例提供了有效的解决方法和新的思路。

关键词: 桥梁结构设计; 知识复用; 案例推理; 人工神经网络

Reuse of Bridge Knowledge Based on Case Reasoning and Neural Network

PENG Wei-bing, REN Ai-zhu, XU Feng

(Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

【Abstract】 An available method of converting standard drawings into reusable bridge design case is developed. With this method, data object of design knowledge, which integrates both geometric descriptions and non-geometric description, is established with object-oriented technology. At the same time, bridge data are divided into several levels for better comprehensibility and lower programming complication. Design case is stored into database with SQL server 2005. Similarity definition of bridge case is carried out by analyzing bridge design knowledge in order to get relative similar design cases. Case intelligent adaptation technology is created by neural network for new bridge design, and so a bridge model, driven with knowledge and parameters, is achieved.

【Key words】 bridge structure design; knowledge reuse; case reasoning; artificial neural network

1 概述

在我国基础建设快速发展, 行业竞争日益激烈的今天, 充分利用企业历史设计资料对提高设计效率和企业竞争力显得尤为重要。然而, 现行 CAD 软件的过程建模和产品信息建模能力的不足, 导致桥梁设计图纸缺乏基于领域专业知识的图形数据组织, 无法形成良好的支持后续方案设计调用的数据, 阻碍了设计单位对设计图纸进行有效的复用。桥梁设计资料的复用是一个复杂的过程, 要综合考虑桥梁的功能、结构、造型以及材料、施工等信息; 另外, 桥梁结构设计结果采用 Autocad 软件的 2 维图纸结合计算书表示, 无法参数化和知识驱动。简而言之, 桥梁设计重用主要需要开展如下工作: (1) 建立可供重用的标准构件, 形成数据挖掘的案例数据仓库; (2) 建立适合结构化存储的桥梁数据对象, 实现参数和知识驱动; (3) 研究比较各种数据挖掘算法, 形成适合桥梁结构设计的算法。

目前, 在工程设计资料复用方面已有一些初步研究。美国斯坦福大学的 Fruchter 和 Demian 通过对建筑产品模型相关性的研究, 发现支持设计复用的有效信息^[1], 并开发了 CoMem 系统, 该系统可以支持设计知识复用过程^[2]。Maher 建立了基于新设计问题形式描述的 CASECAD 系统, 使设计者能够对已有设计案例进行获取^[3]。Amjad 等研究者在对桥梁信息的一定简化后, 进行了基于案例推理的钢结构桥梁评级的研究工作^[4]。但是, 这些设计系统停留在对设计案例的收集、存储、检索上, 并未提供有效的工具以充分利用设计案例及其蕴涵

的领域知识。

2003 年以来, 由交通部公路科学研究院组织, 清华大学、四川交通勘测设计院等单位共同开发, 针对西部地区复杂的地形地貌及气候特点, 形成了具有广泛适应性的通用图纸, 本文的桥梁基础数据主要是该项目的成果之一: 通用图纸库^[5-6]。

本文结合交通部西部交通建设科技资助项目“中小跨径桥梁通用设计图图库管理系统”提出了基于设计案例的智能化桥梁结构设计方法, 建立了融合行业知识的桥梁设计案例三维模型。在给定桥梁结构的主要设计参数后, 系统能够挖掘以往设计案例的相关知识进行推导计算, 自动生成符合新的设计要求的三维桥梁实体, 并可进一步生成用于施工的结构设计图纸, 从而替代了大量的重复设计过程和绘图过程。同时, 组织良好的数据结构, 可以方便桥梁后续方案设计中相关数据的快速调用。

2 桥梁设计案例库的建立

2.1 桥梁案例数据对象与图形数据组织

在传统的土木工程应用领域中, 智能推理的数据相对单一, 推理时无须严格数据组织。对于桥梁结构设计数据来说,

基金项目: 交通部西部交通建设科技基金资助项目(200331822314)

作者简介: 彭卫兵(1978 -), 男, 博士研究生, 主研方向: 土木工程 CAD/CAE 技术, 桥梁图形知识库数据挖掘; 任爱珠, 教授、博士生导师; 徐 峰, 博士研究生

收稿日期: 2006-12-29 **E-mail:** pwb03@mails.thu.edu.cn

数据庞大且内容复杂，良好的数据组织是推理的关键。传统的造型 CAD 系统中，预定义构件特征，形成构件库，但是该构件库不易扩充、灵活性较差；本研究通过数据组织和层次性划分，实现了构件的动态扩充和不同类型构件的统一，为智能推理提供参数一致的数据基础。

2.1.1 层次型桥梁案例数据对象

设计信息包含图形信息、材料信息以及描述性信息。为了简化数据的复杂度，通过分解和映射，建立了和实际设计习惯相符的 4 层桥梁设计数据的表示架构：(1)描述性信息。该信息包括斜角和跨度等数据，这些参数在推理的过程中是控制性参数；(2)分类层次。根据设计习惯，将设计过程中的构件划分为上部结构构件和下部结构构件；(3)包含材料信息的构件层；(4)图形元素层。案例数据对象如图 1 所示。

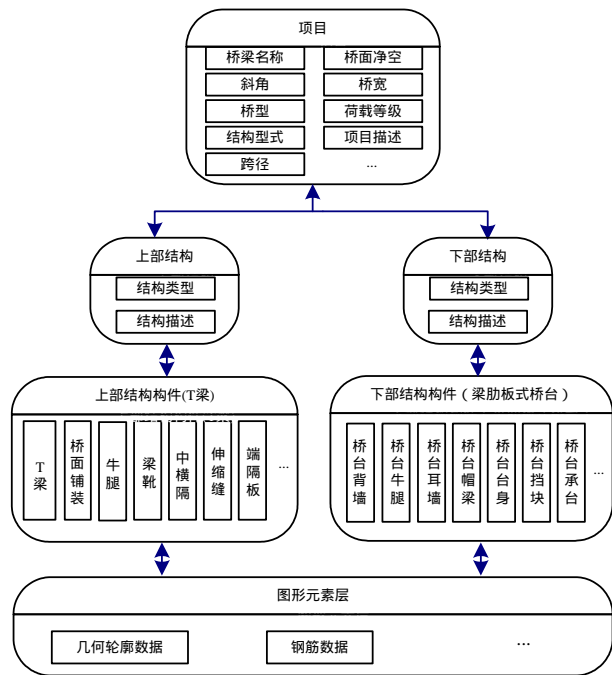


图 1 层次型桥梁结构设计数据对象

2.1.2 图形数据组织

本研究将图形数据分为两类：几何轮廓和钢筋。几何轮廓包括构件外形；数据组织采用两个嵌套类来表示，主要包括形状对象和绘图类型类；钢筋包括纵筋、箍筋和钢束。具体如图 2 所示。通过这样的数据组织，用户可以方便地建立新的几何轮廓和修改现有的几何轮廓。另外，同构几何轮廓动态采用同一个数据表进行存储，实现了构件几何数据的特征化。

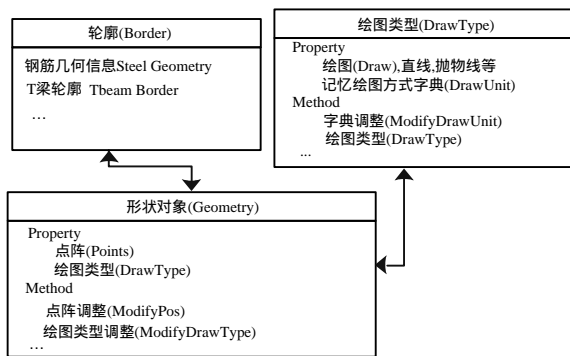


图 2 构件轮廓数据组织

在构件中钢筋数据组织是案例推理的核心问题之一。参考实际配筋过程中，设计人员通常将同一类钢筋描述为一个钢筋组，本研究采用 3 层数据对象模型：(1)构件钢筋对象，主要包括各个钢筋组合及其相应的位置信息；(2)钢筋组合对象，主要包括钢筋及其对应的排列信息；(3)具体的钢筋对象，即钢筋和排列两个对象。其中，钢筋对象负责描述单根钢筋的形状和材料信息；排列对象描述具体钢筋的排列信息。该模型如图 3 所示。图 4 则显示了各层次的钢筋数据对象和实际配筋图元素的对应关系。

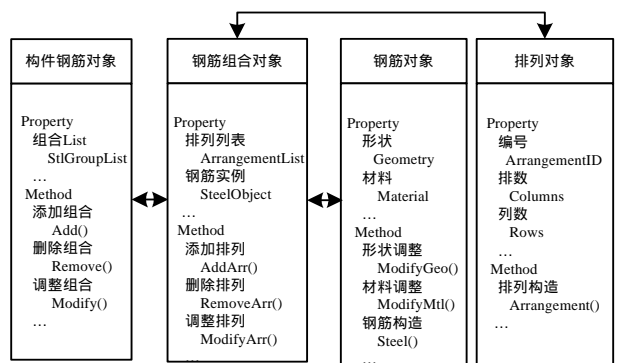


图 3 3 层钢筋数据对象

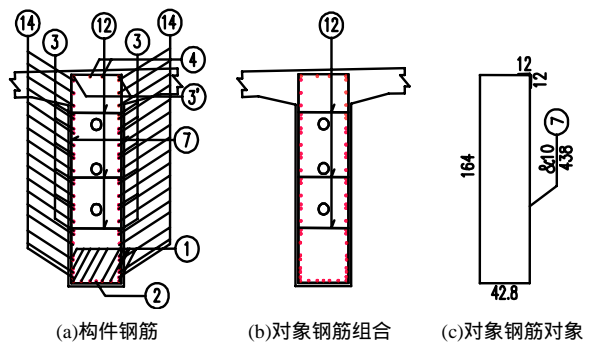


图 4 钢筋数据对象和图形元素的对应关系

2.2 三维桥梁案例的形成及存储

本研究在 dot net 2.0 环境下 结合 OpenGL 和 SQL Server 2005 数据库技术采用 C#语言，编制了融合知识和三维桥梁数据的桥梁结构设计系统。通过查阅通用图纸，形成桥梁案例数据；借助系统中一组通用的预定义方法，如拉伸、旋转、放样等，可快速构建桥梁案例的案例数据，具体过程如图 5 所示。图 5 中从三维桥梁模型到图纸的箭头表示可以通过案例形成施工图纸，该过程采用了基于 com 组件的技术。

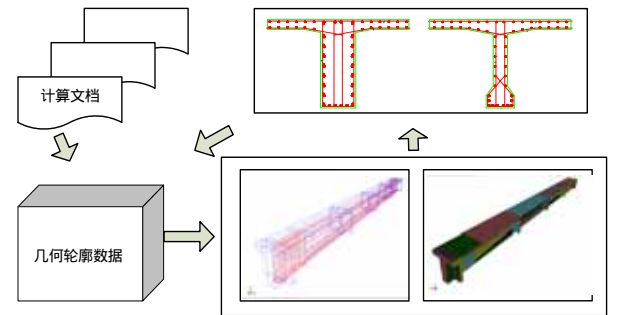


图 5 三维桥梁案例的形成

3 智能推理架构与实现

基于重用的案例数据组织及相应的案例库建立后，推理

架构主要包括以下 5 个步骤(图 6)：

- (1)待预测数据输入和选择训练模型；
 - (2)通过待预测数据和桥梁案例库获得最相似案例，如果输入参数与最相似案例的相似性为 1.0 ,则直接返回当前案例作为输出案例，推理结束，否则进入第 3 步；
 - (3)权重自动调整，获得最相似案例的系列相关案例，形成训练数据；
 - (4)通过训练数据形成训练模型；
 - (5)通过训练模型和待预测数据形成预测结果数据。
- 经过上述步骤，形成基于数据挖掘的最相似案例的获取和案例修改的方法。

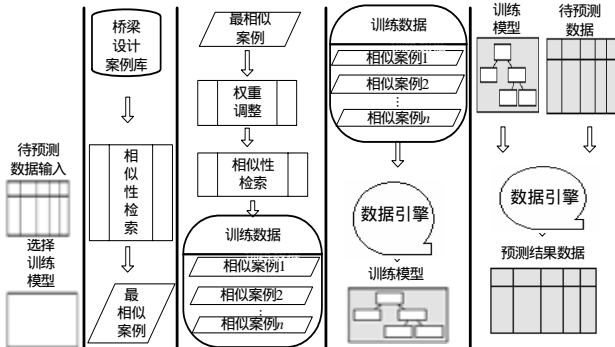


图 6 智能推理的 5 个步骤

3.1 相似性定义及相似案例获取

3.1.1 相似性定义

构件的相似性主要通过比较构件的属性。在传统的构件案例比较过程中，由于属性在各案例中的排序及数目的不一致使比较难以进行。在本研究中，案例入库按照严格的程序完成，保证了相同属性在构件中位置的一致性，同时，通过层次性的数据组织，将数目不一致的属性归一化形成统一的属性，以此形成了可相互比较的案例，构建了相似案例获取的机制。以下分 3 个层次实现构件相似性定义：

(1)几何形状相似性定义。案例库在不断录入的过程中，根据几何特征，将同构的几何形状的数据组织在同一个表中。为研究方便，对于异构的几何形状本研究默认二者之间相似度为 0。同构构件相似性比较采用式(1)进行。

$$similarity = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{b_i} \quad (1)$$

其中， $b_i = \max(c_i, r_i)$ ； $d_i = \min(c_i, r_i)$ ； c_i 为输入形状的第*i*个属性； r_i 为参考案例的第*i*个属性； n 为属性个数。

(2)钢筋相似性定义。在桥梁结构设计过程中，在计算出相应的配筋面积后，再配置钢筋。因此，本研究借鉴配筋计算的方法，将钢筋的推理属性划分为 6 种类型的钢筋面积，具体见表 1，钢筋面积计算自动由程序完成。经过钢筋的相似性定义也采用式(1)计算。

表 1 纵筋相似性定义

属性	定义	数值类型
钢筋等级	离散为 0, 1, 2, 3 枚举型	枚举型 int
梁端 A_s	梁端受拉钢筋	double
梁端 A_s'	梁端受压钢筋	double
梁中 A_s	梁中受拉钢筋	double
梁中 A_s'	梁中受压钢筋	double
梁中 $A_{s,fb}$	梁中分布钢筋	double
梁端 $A_{s,fb}$	梁端分布钢筋	double

(3)构件的相似性定义采用式(2)计算。

$$f(case, reference) = (\sum w_i \times v_i) / (\sum |w_i|) \quad (2)$$

其中， v_i 表示第*i*个属性的相似值，式(1)进行计算。当输入属性为几何形状、钢筋，式(1)中的*n*为几何形状的点数、钢筋属性的个数；当为其他属性时， $n=1$ ； w_i 表示第*i*个属性的权重；*case*为案例库中案例；*reference*为输入案例。

3.1.2 相似案例的获取

根据用户偏好，在预先设置案例的每个属性值后，基于构件相似性的定义，可获取相似案例。在程序实现中，通过 SQL 语句比较数据库中的案例属性，并根据相似性方程计算案例之间相似性。表 2 是本文推理中的初始权重，具体的相似案例获取结果见第 3.2 节。

表 2 案例属性

属性	定义	数值类型	相似性方程	初始权重
案例名称	案例标识，不作为案例推理参数	String	无	无
跨径	单跨跨径	Double	(1)	10
结构形式	标识为简支还是连续	Int	(1)	10
桥宽	桥面板整体宽度	Double	(1)	4
截面形状	预先定义好的以 double 为值的列表	Double 列表	解析后用(1)	10
汽车荷载	将公路 - 级 等离散为 0, 1, 2 等便于推理的形式	Int	(1)	5
主梁类型	预应力 T 梁、小箱梁或其他类型，用整数表示	Int	(1)	10
混凝土等级	将 C20 等离散为 0, 1, 2 等便于推理的形式	Int	(1)	5
钢筋属性	具体见表 1	String	解析后用(1)	10
钢束属性	和钢筋属性配置方法一致	String	解析后用(1)	8

3.2 基于人工神经网络的相似案例修改技术

桥梁结构设计参数众多，相互间的关系也较为复杂，本文针对的是基于神经网络的案例修改技术。目前已有几十种神经网络模型，它们从各个角度对生物神经系统不同层次的描述和模拟^[7]。BP神经网络是最具代表性、使用最多的误差反向传播的多层前馈式网络，该网络除输入、输出节点外，还有一层或多层隐层节点，且同层节点间无耦合。输入信号从输入节点依次通过各隐层节点，最后传到输出节点，每一层节点的输出只影响下一层节点的输入^[8]。

在实际使用过程中，用户输入的设计参数通常存在空值，因此，在本研究中，输入设计控制性参数后，采用相似性计算公式，得到案例库中最相似的一个案例，然后调整权

表 3 案例预测结果(部分)

描述	名称	跨径/m	结构形式	桥宽/m	形状列表	汽车荷载	砼等级	钢筋属性	相似值	T 梁梁高/m
输入参数	输入参数	27	简支	12	空	公路 - 级	空	空	1.0	空
最相似案例	STL25W12A00	25	简支	12	形状表	公路 - 级	C50	钢筋表	0.984 9	170
	STL25W24.5A00	25	简支	24.5	...	公路 - 级	C50	...	0.971 3	170
相似案例列表	STL30W12A00	30	简支	12	...	公路 - 级	C50	...	0.974 9	180
	STL30W24.5A00	30	简支	24.5	...	公路 - 级	C50	...	0.946 2	180

预测结果	STL30W27A00	27	简支	12	预测形状列表	公路 - 级	C50	预测钢筋列表		174.8 取 175

(下转第 207 页)