

面向事实的概念建模方法研究综述

潘文林^{1a,2}, 刘大昕^{1b}

(1. 哈尔滨工程大学 a. 机电工程学院; b. 计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001; 2. 黑龙江省现代制造工程技术研究中心, 哈尔滨 150001)

摘要: 领域概念知识建模是构建信息系统分析的关键技术和任务之一, 同时也是知识工程的瓶颈问题, 其难点在于如何正确完整地捕捉和验证领域专家的知识。ER 和 UML 等有属性特性的建模方法能够很好地描述领域知识, 但却难以让领域专家确认知识的正确性和完整性。面向事实的信息建模(FOM)是一种完全面向自然语言交流的领域概念知识建模方法, 是一种理想的概念建模和本体工程辅助工具。简要分析了概念建模过程, 比较了不同概念建模方法, 介绍了 FOM 的技术演化过程, 从业务规则、动态建模、模型抽象机制、模型转换和工程应用等方面评述了 FOM 的研究现状和待研究问题。

关键词: 概念建模; 完全面向交流的信息建模; 面向事实建模; 对象角色建模; 自然语言信息分析

中图分类号: TP311

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2010)04-1227-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.04.006

Fact-oriented conceptual modeling: survey

PAN Wen-lin^{1a,2}, LIU Da-xin^{1b}

(1. a. College of Mechanical & Electrical Engineering, b. College of Computer Science & Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 2. Heilongjiang Modern Manufacturing Engineering Research Center, Harbin 150001, China)

Abstract: Fact-oriented information modeling is a kind of conceptual modeling, which depends on the fully natural language communication between domain experts and information analysts, to capture and represent domain knowledge. Modeling method will influence the conceptual capture process and the quality of conceptual model, the reason is that the syntax structure of the modeling language is different from the natural language, modelers need do some language translate works that cause some information loss. This paper provided a brief history of fact-oriented modeling; reviewed the current state of methodology, tools and engineering practice.

Key words: conceptual modeling; fully communication oriented information modeling; fact-oriented modeling; object role modeling; natural language information analysis method

0 引言

随着计算机技术的快速发展和应用领域的不断扩展,信息系统的规模越来越大,结构越来越复杂,支持的业务工作越来越多,但系统的可用性、正确性、完整性和可靠性等问题也更加突出,导致这些问题主要根源在于难以正确、完整地捕捉并描述业务领域的知识。需求分析是信息系统开发的起点和最关键的工作,而概念建模是需求分析过程中获取业务领域知识必需的技术和过程。概念建模的任务就是建立信息系统应用领域的概念模型,该模型应能正确、完整、一致地描述应用领域的业务知识与各种业务规则,同时还应能方便地转换为信息系统的逻辑模型或数据结构^[1]。

概念建模过程是信息分析师与领域专家反复交流的过程:信息分析师首先采用自然语言或简要的图表记录从领域专家处获得的知识;然后采用某种建模语言将这些知识表达为结构化的概念模型;最后将建立的概念模型再转换为自然语言描述,给出相应的实例,与领域专家交流以便确认模型的正确性。这样的迭代过程甚至会伴随信息系统的整个生命周期。概念

建模过程中信息分析师需要反复进行自然语言与建模语言之间的转换工作,建模语言与自然语言的结构差异将导致部分信息的损失,因此,建模语言的选择十分重要。

目前主流的概念建模方法包括实体联系建模(ER)和统一建模语言(UML)等。ER和UML是基于“对象(实体)—属性”结构的建模方法,其概念模型描述符合人类认识现实世界的分类抽象方法,其逻辑模型描述与程序设计语言的结构体或类相似。但“对象—属性”结构与自然语言的概念表达结构差异较大,如果在建模过程中作为领域专家与建模者之间的交流媒介,这种信息表达结构上的差异将造成交流障碍,建模者难以正确、清晰、全面地捕捉领域知识,领域专家不能以自然语言的方式来验证所获得的信息模型。因此,从建模过程和模型描述的角度来看,ER和UML适合于用来描述最终获得的概念模型,但不适合于用做模型获取过程中的信息交流工具。

面向事实建模(fact-oriented modeling, FOM)是一种无属性结构的建模方法,采用自然语言中事实陈述句的结构来描述业务领域的概念。这种基于“主—谓(一宾)”结构描述的

收稿日期: 2009-08-22; 修回日期: 2009-09-26

作者简介: 潘文林(1972-), 男, 云南泸水人, 副教授, 博士研究生, 主要研究方向为数据库与知识工程、信息建模(panwenlin@hrbeu.edu.cn); 刘大昕(1941-), 男, 江苏海门人, 教授, 博导, 主要研究方向为数据库与知识工程。

概念模型特别容易理解,模型的正确性验证也比较容易,是建模过程中领域专家与建模者之间交流业务领域概念模型的理想工具。例如,“杨老师周一上午 34 节课在 02 教室给留学生 A 班上汉语综合课”这样的语句,使用 FOM 方法可以非常简单地抽象为“〈教师〉在〈时段〉在〈教室〉给〈班级〉上〈课程〉”这样的五元关系模型,采用 ER 和 UML 等“对象—属性”结构的建模方法则很难直观准确地描述这样的概念。

1 FOM 方法简介

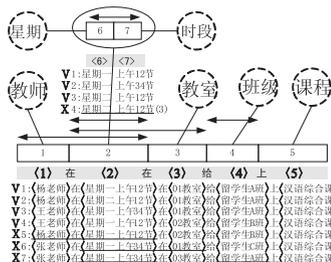
FOM 方法以类似自然语言陈述句的方式描述事实、事实之间的关系以及相关的约束。图 1 是对前面给出的自然语言实例的层次抽象分析。图 2 是相应的一种 FOM 模型,成为完全面向交流的 FCO-IM 概念模型。图 2 中,虚线圆表示原子对象,实线圆表示实体对象(或联系实体化),连接在一起的方框组表示对象之间的联系,每个对象在联系中承担一个角色,对象及其角色使用线条连接在一起,方框组合上的箭头线表示对象角色组合的惟一约束。每个方框组下方是联系的语言结构和相应的实例,即事实。这样的模型比 ER 和 UML 等模型更容易阅读,模型的正确性也比较容易验证。由于没有属性的概念,FCOM-IM 模型很容易映射为“主谓(宾)”结构的陈述句,便于领域专家阅读以确认模型。

杨老师 周一上午34节课 在 02教室 给 留学生A班上 汉语综合课

〈教师〉在〈时间〉 在〈教室〉 给〈留学生班级〉 上〈课程〉

〈星期〉〈上课时段〉

图1 自然语言陈述语句的层次抽象分析实例



注:语句前加“V”表示该语句语义正确,“X”表示错误
图2 完全面向交流的FCO-IM模型

2 FOM 方法的演变发展

1970 年代,欧洲学者开始研究如何开发出具有高层次语义的信息系统模型。荷兰学者 Abrial^[2] 和 IBM 研究院的 Senko^[3] 提出了二元关系建模的方法。1973 年,德国西门子的 Falkenberg 研究员将二元建模方法成功扩展为 n 元关系建模,并且提出应将属性排除在概念层之外,原因是属性导致了某些建模问题,如难以明确地将陈述句中的主语和宾语界定为对象或属性,这导致了模棱两可的建模决策,该问题同时还导致概念模式演化的复杂性。随后,Falkenberg^[4] 提出了对象角色模型(object-role model, ORM)的框架。该建模框架去除了属性的概念,模型的核心只有对象及它与其他对象的关系中所扮演的角色。该建模框架可以表达一元关系和嵌套关系。因为 FOM 方法的各种分支技术都源于 ORM 框架,更多学者也将 FOM 的模型称为 ORM 模型。

荷兰学者 Nijssen^[5] 发展了 ORM 框架,采用圆和方框来表

示对象和角色,增加了角色的阅读方向,同时还给出了可行的建模过程,这样就形成一套建模方法,称之为演化的自然语言信息模型(evolutionary natural language information model, ENAL-IM)^[6]。Nijssen 与比利时的 Control Data 研究中心团队进一步发展了该建模方法。研究团队中的 van Assche 提出了将对象类型划分为词汇对象类型(LOT)和非词汇对象类型(NLOT)的思想。LOT 是原子对象类型,后来又称之为值类型;而 NLOT 是对一元或多元关系进行对象化处理的结果,因此又称之为实体类型。

随后,惠普实验室的 Kent^[7] 提出了几个重要的语义观点,澄清了实体、联系等概念相关的问题,最近再版了他在 Data and Reality 上发表的相关学术文章,以纪念他为概念建模领域作出的重要贡献^[8]。

比利时布鲁塞尔 Vrije 大学的 Meersman 教授^[9] 完成了对子类的建模方法,并且作为团队领导,设计了 Falkenberg 和 Nijssen 提出的信息模型的查询语言 RIDL,Meersman 是主要贡献者。荷兰学者 Verheijen 等人^[10] 将 ORM 建模方法重命名为自然语言分析方法(an information analysis method, NIAM),并作了一个总结报告。随后,NIAM 逐渐变成了几种相似方法的缩写,如自然语言信息分析方法(natural language information analysis method)。Vermeir^[11] 和 Falkenberg 等人分别提出了两种用于子类建模的矩阵分析方法。

1980 年代,Nijssen 和 Falkenberg 先后到澳大利亚昆士兰大学做访问学者。在两位学者的指导下,Halpin 增强了面向事实建模方法,其博士论文首次以形式化的方式讨论了 ORM 建模语言,包括对语言的完备性、一致性和模型等价的证明,并提炼和扩展了基本的建模语言符号^[12]。

1989 年,Halpin 和 Nijssen 合作出版了第一本介绍 ORM/NIAM 方法的著作;1990 年,Wintraecken^[13] 在荷兰也出版了介绍该方法的著作。时至今日,详细解释该建模方法的还有 Halpin^[14] 和 Bakema 等人^[15] 的著作。

此后,还有其他学者对 ORM 方法也作出了一些贡献,不再逐一罗列。现今,ORM 已经发展出了多种版本,但其基础还是对象角色框架。多数 ORM 的支持者较喜欢直观的 n 元关系建模,但也有偏爱二元关系建模的,如以色列 Ben-Gurion 大学的 Shoval 等人^[16] 的著作。法国 Nantes 大学 Habrias^[17] 开发的规范化面向对象方法(normalized object-oriented method, NOOM)是另一种 ORM 版本。

昆士兰大学的 Hofstede 和荷兰 Nijmegen 大学的学者 Proper 等人开发出了谓词集合模型(predicator set model, PSM),该模型包含了复杂的对象构造器^[18]。比利时学者 De Troyer 等人^[19] 开发了自然的对象关系模型(natural object-relationship model, NORM),也有对象构造器。移居美国的 Halpin 开发了一个以形式化为基础的扩展版本 FORML,并与 InfoModelers 公司的 Bloesch 等人^[20] 一起开发了一个相关的查询语言 Con-Quer。荷兰 HAN 大学的 Bakema 等人^[15] 将实体类型改造为嵌套关系,开发出完全面向交流的信息建模方法 FCO-IM。

面向事实方法的各种版本几乎都有相关的工具支持。最早的一个工具是由 Nijssen、Meersman 带领 Control Data 公司的开发者合作开发的,即 IAST 和 RIDL,目前已不再使用。Bloesch、Halpin 和其他学者开发了 VisioModeler、ActiveQuery 和 Mi-

Microsoft Visio 企业版中的 ORM 建模架构。支持 FCO-IM 的有商业软件 CaseTalk 和免费软件 Infagon。Dogma Modeler 和 T-Lex 都是基于 ORM 的工具,专为本体研究而开发的。NORMA 是一个开源的 Microsoft Visual Studio 插件,目前正在开发新的版本以全面支持新一代的 ORM 2.0 建模^[21]。

3 研究现状

概念建模技术相关的研究内容主要包括建模语言的形式化基础及其语义表达能力、模型可视化、静态建模方法、动态规则和过程建模方法、模型管理和模型表达相关的多层抽象机制、概念模型查询语言、与其他建模语言之间的模型转换、概念模型转换为本体描述的方法、模型范式、建模过程和工程实践等应用问题。面向事实建模技术的研究热点目前主要集中在动态规则和过程建模、模型转换、本体描述与应用实践这几个方面,下面分七个方面讨论目前的研究重点和热点。

3.1 模型转换

ORM 模型是概念模型,需要进一步转换为逻辑模型、内部模式或外部模式才能用于信息系统的开发实现。将 ORM 模式转换为关系数据库模式的正向工程研究已经持续了十多年^[22,23],反向工程的研究也同样如此^[24,25,16],并且已有多个 ORM 工具支持自动转换工作。

最近几年的研究热点开始转向将 ORM 模型转换为 UML^[26]、XML 模式^[27]、外部模式(窗体和表格等)、Web 接口^[28-30]和程序设计语言。有的 ORM 工具已能自动将 ORM 模式映射为对象程序设计代码^[31];有学者开始研究如何从 ORM 模型生成完整的应用程序^[32]。已有文献提出将 ORM 模型转换为本体描述语言 OWL 和描述逻辑表达的知识模型,但还没有成熟的算法和方法提出。

上述文献中采用的各种研究方法主要针对两种语言模型之间的直接转换,未采用更高抽象层次的映射方法,如最近提出的基于本体元建模理论的语义模型映射技术。从模型转换算法的形式化表达来看,只有少数几篇论文讨论具体的算法实现问题,多数文献停留在图形符号对应转换的分析层面。进一步的研究应直接在 MOF 和 XMI 的基础上,采用本体元建模理论解决不同模型之间的转换问题。

3.2 概念模型查询语言

可直接查询 ORM 模型的概念查询语言是 ORM 相关的研究方向。第一个概念查询语言是 RIDL^[10],随后是 LISA-D^[18]和 ConQuer^[20]。目前,Halpin 领导的 NORMA 项目正在研究如何提供一种统一的文本语言来表达公式和查询 ORM 模型,研究目标是该语言应同时具有 FORML 和 ConQuer 两种语言的表达能力,且语法更为简单。

3.3 动态规则和过程建模

与 UML 相比,ORM 的优势主要在于静态信息建模,但在动态规则和过程建模方面则毫无见长。为了弥补这个缺陷,有的学者提出了 ORM 的扩展版本以支持时态和业务过程建模。

Falkenberg 等人^[33]提出的面向时间的过程模型 TOP 可以采用事实类型来表达不同时态维度和粒度的模型。TRIDL 模型含有时间操作符和动作语义^[34],LISA-D^[18]支持基本的更新操作。基于过程代数的形式化基础,Hofstede^[35]提出将任务结

构和任务处理建模为几个不同的过程。EVORM^[36]形式化描述了信息系统的一阶和二阶演化方法。有的学者已经解决了反射规则^[37]、行为扩展^[19]和从 ORM 模型推导出活动模型^[38]等这些问题。

近期的研究表明,面向事实方法甚至比 UML 更适宜于添加状态机行为语义到模型中^[39],而且更易于描述动态规则,动态规则可以作为事实类型来描述,但却很难描述为对象类型或类^[40]。Morgan^[39]提出了基于静态建模符号体系来表达动态规则和业务过程的语义,这种思想从抽象的角度来看有表达优势,容易将静态模型和动态模型集成为一体;同时,通过使用对象化联系等抽象技术,可以控制面向事实的对象粒度,可以从不同层次观察过程模型。

虽然上述文献已经提出了 ORM 相关的几种动态规则和过程建模模型,但还未形成有效的建模方法,未将动态模型与静态模型集成为一体,这是需要进一步研究的问题。虽然文献中提出了基于静态建模符号体系来表达动态规则和业务流程语义的思想,但还未提出具体实现方法和相关算法,需要进一步研究。

3.4 本体描述和语义表达能力

正在进行的一些研究热点包括:a)使用 ORM 建模方法来构建和重用本体^[41-43],将 ORM 模型转换为 OWL 和描述逻辑等本体描述;b)有多位学者建议寻求更好的方法丰富 ORM 的语义表达能力,以便解决以下问题:情景感知系统的语义互操作^[44]、部分—整体关系^[45]、默认推理^[46]、各种概念连接问题^[47]以及实体分解规则^[48]等;c)有多篇文献讨论了是否应扩展 ORM,以便直接支持集合类型、高阶语义类型和代数数据类型^[49-51]。

3.5 模型抽象机制

只要应用领域稍微复杂些,其 ORM 模型图可能就会很大,不方便阅读和理解。这是 ORM 建模方法最致命的缺点。为了解决该问题,有学者提出了抽象机制来管理很大的 ORM 模型^[52-54],目前已有个别 ORM 工具能管理手工抽象出来的高层模型,但还没有提出具体抽象算法来实现模型的自动抽象机制。与静态结构模型相似,面向事实的过程模型也会面临过于复杂和庞大的问题。目前还没有文献讨论 ORM 过程模型的多层抽象机制问题。

3.6 对象化和建模范式

因为支持对象的一元联系建模,ORM 能够支持对象化联系的建模方法。FCO-IM 将所有实体类型都处理为对象化的联系^[15],而 NORMA 则基于序语位置和命题规范提出一种新的形式化语义来支持隐含的对象化联系技术^[55]。

目前,有为数不少的学者对 ORM 本身的相关主题进行了研究,如模型范式、模式等价、模式转换、概念优化以及子类范式等^[2,22,56-58],这些问题不仅是 ORM 相关的热点研究问题,也是概念建模领域的热点研究问题。

模型范式扩大了概念模型的重用范围,是研究本体概念模型重用方面最重要的研究内容之一。随着设计模式思想在面向对象领域的实现,该思想也逐步应用到概念模型的重用研究中。

3.7 工程实践与应用

目前,ORM 的应用研究主要集中在模型质量评价^[59]、数据

仓库中动态多维数据的反规范化^[60]、需求工程^[61]和决策支持系统^[62]等领域。Dietz 等人^[63]探索了联合使用 ORM 与主动对象关系建模(agent object relationship modeling, AORM)的方法。Everest^[64]和 Bollen^[65]讨论了 ORM 在教育领域的建模实践,这同时也是对建模过程本身的实践。Bommel^[66]和 Hoppenbrouwers 等人^[67,68]探讨了使用 ORM 建模的最佳实践指南。

ORM 建模方法虽然已经提出三十多年,但一直不是工业级的建模方法,业界应用案例不多,这可能与以下因素相关:ORM 建模方法只面向概念建模;ORM 建模语言与各类主流程序设计语言和数据库模式差异较大,相应的工具支持不足,概念建模处于整个信息系统生命周期的初始阶段,仍未受到足够的重视等。

随着语义网技术的发展,领域本体的概念建模需求不断增长,ORM 建模技术也逐渐应用到本体工程中。最近,有学者从模型质量、建模时间等角度,对采用不同建模方法建立同一业务领域的概念模型进行了比较,其结论是采用 ORM 建模的模型综合评价最好^[21]。

4 结束语

ORM 是以分析自然语言为核心的概念建模技术,具备完备和一致的形式语义表达和推理能力,可采用一阶逻辑进行形式表达,不仅适用于需求分析的辅助建模工具,还可用于描述领域知识。该建模技术已经提出三十多年,形成了几个相似的流派,开发出了不同的建模工具,并在多个信息系统分析和本体建模项目中得以应用实践。作为概念建模工具,ORM 在动态建模、模型抽象机制等方面还存在一些需要解决的问题;作为本体建模辅助工具,还需将 ORM 模型转换为 OWL 等本体描述语言的模型;此外,ORM 的业务规则表达也需进一步研究。

参考文献:

- [1] OLIVÉ A. Conceptual modeling of information systems[M]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2007: 27.
- [2] ABRIAL J R. Data semantics[C]//Proc of DataBase Management. North-Holland, Amsterdam; [s. n.], 1974: 1-60.
- [3] SENKO M. Information systems: records, relations, sets, entities and things[J]. *Information Systems*, 1975, 1(1): 3-13.
- [4] FALKENBERG E. Concepts for modeling information[C]//Proc of IFIP Working Conference on Modelling in Data-Base Management Systems. [S. l.]: North-Holland Publishing, 1976: 95-109.
- [5] NIJSSEN G M. A gross architecture for the next generation database management systems[C]//Proc of IFIP Working Conference on Modelling in DataBase Management Systems. Freudenstadt: North-Holland Publishing, 1976.
- [6] NIJSSEN G M. Current issues in conceptual schema concepts[C]//Proc of IFIP Working Conference on Modelling in DataBase Management Systems. Nice: North-Holland Publishing, 1977: 31-66.
- [7] KENT W. Entities and relationships in information[C]//Proc of IFIP Working Conference on Modelling in DataBase Management Systems. Nice: North-Holland Publishing, 1977: 67-91.
- [8] KENT W. Data and reality[M]. 2nd ed. Bloomington: 1st Books Library, 2000.
- [9] MEERSMAN R. The RIDL conceptual language[R]. Brussels: Centre for Information Analysis Services, Control Data Belgium, 1982.
- [10] VERHEIJEN G M A, Van BEKKUM J. NIAM: an information analysis method[C]//Proc of IFIP WG8.1 Working Conference. Noordwijkerhout, Netherlands: North Holland Publishing, 1982.

- [11] VERMEIR D. Semantic hierarchies and abstractions in conceptual schemata[J]. *Information Systems*, 1983, 8(2): 117-124.
- [12] HALPIN T. A logical analysis of information systems; static aspects of the data-oriented perspective [D]. Queensland: University of Queensland, 1989.
- [13] WINTRAECKEN J. The NIAM information analysis method: theory and practice[M]. Netherlands: Kluwer, 1990.
- [14] EMBLEY D W. Object database development[M]. [S. l.]: Addison-Wesley, 1998.
- [15] BAKEMA G, ZWART J P, Van der LEK H. Fully communication oriented information modelling[M]. Netherlands: Ten Hagen Stam, 2000.
- [16] SHOVAL P, SHREIBER N. Database reverse engineering: from the relational to the binary relational model[J]. *Journal of Data and Knowledge*, 1993, 10(3): 293-315.
- [17] HABRIAS H. Normalized object oriented method[J]. *Encyclopedia of Microcomputers*, 1993, 12: 271-285.
- [18] HOFSTEDE A H M, PROPER H A, WEIDE T P van der. Formal definition of a conceptual language for the description and manipulation of information models[J]. *Information Systems*, 1993, 18(7): 489-523.
- [19] De TROYER O, MEERSMAN R. A logic framework for a semantics of object oriented data modeling[C]//Proc of OOER'95. Berlin, Heidelberg: Springer, 1995: 238-249.
- [20] BLOESCH A, HALPIN T. Conceptual queries using ConQuer-II [C]//Proc of the 16th International Conference on Conceptual Modeling. New York: Springer, 1997: 113-126.
- [21] HALPIN T. Fact-oriented modeling: past, present and future[C]//Proc of Conceptual Modelling in Information Systems Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007: 19-38.
- [22] De TROYER O. On data schema transformations[D]. [S. l.]: University of Tilburg, 1993.
- [23] RITSON P, HALPIN T. Mapping integrity constraints to a relational schema[C]//Proc of the 4th Australian Conference on Inf Systems. Brisbane: [s. n.], 1993: 381-400.
- [24] CAMPBELL L, HALPIN T. The reverse engineering of relational databases[C]//Proc of the 5th Workshop on Next Generation CASE Tools. Utrecht: [s. n.], 1994.
- [25] BIRD L J. Data reverse engineering: from a relational database system to a 3-dimensional conceptual schema[D]. [S. l.]: University of Queensland, 1997.
- [26] BOLLEN P. A formal transformation from object role models to UML class diagrams[C]//Proc of EMMSAD'02 Workshop. Toronto: [s. n.], 2002.
- [27] BIRD L, GOODCHILD A, HALPIN T. Object role modeling and XML schema[C]//Proc of the 19th ER Conference. Berlin, Heidelberg: Springer, 2000: 309-322.
- [28] CAMPBELL L, HALPIN T. Automated support for conceptual to external mapping[C]//Proc of the 4th Workshop on Next Generation CASE Tools. Paris: [s. n.], 1993: 35-51.
- [29] De TROYER O, CASTELEYN S, PLESSERS P. Using ORM to model Web systems[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005: 700-709.
- [30] MARLON D M, ALDRED L J, ter HOFSTEDE, et al. From conceptual models to constrained Web forms[C]//Proc of Real World Semantic Web Applications. [S. l.]: IOS Press, 2002: 50-68.
- [31] CURLAND M, HALPIN T. Model driven development with NORMA [C]//Proc of HICSS-40. Washington DC: IEEE Computer Society, 2007.
- [32] PEPELS B, PLASMEIJER R. Generating applications from object

- role models[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2005; OTM 2005 Workshops. Berlin, Heidelberg: Springer,2005: 656-665.
- [33] FALKENBERG E, WEIDE T P van der. Formal description of the TOP model, Technical Report 88-01[R]. [S. l.]: Department of Information Systems, University of Nijmegen,1988.
- [34] BRUZA P D V, WEIDE T P van der. The semantics of TRIDL[R]. [S. l.]: Department of Information Systems, University of Nijmegen, 1989.
- [35] TER HOFSTEDE A H M. Information modelling in data intensive domains[D]. [S. l.]:University of Nijmegen,1993.
- [36] PROPER H A. A theory for conceptual modeling of evolving application domains[D]. [S. l.]: University of Nijmegen,1994.
- [37] HALPIN T, WAGNER G. Modeling reactive behavior in ORM ' [C]//Proc of Conceptual Modeling-ER2003. Berlin, Heidelberg: Springer,2003:567-569.
- [38] PROPER H A, HOPPENBROUWERS S J B A, WEIDE T P van der. A fact-oriented approach to activity modeling[C]//Proc of OTM 2005 Workshops. Berlin Heidelberg: Springer,2005:666-675.
- [39] MORGAN T. Some features of state machines in ORM[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2006; OTM 2006 Workshops. Berlin, Heidelberg: Springer,2006:1211-1220.
- [40] BALSTERS H, CARVER A, HALPIN T, *et al.* Modeling dynamic rules in ORM[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2006; OTM 2006 Workshops. New York: Springer,2006:1201-1210.
- [41] DIETZ J L G. A world ontology specification language[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2005; OTM 2005 Workshops. New York: Springer,2005:688-699.
- [42] SPYNS P. Object role modeling for ontology engineering in the DOGMA framework[C]//Proc of OTM 2005 Workshops. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005:710-719.
- [43] TROG D, VEREecken J, CHRISTIAENS S, *et al.* T-Lex: a role-based ontology engineering tool[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2006; OTM 2006 Workshops. New York: Springer,2006:1191-1200.
- [44] HENRICKSEN K, INDULSKA J, McFADDEN T. Modelling context information with ORM[C]//Proc of On the Move to Meaningful Internet Systems 2005; OTM 2005 Workshops. Berlin, Heidelberg: Springer,2005:626-635.
- [45] KEET M. Part-whole relations in object-role models[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2006; OTM 2006 Workshops. New York: Springer,2006:1118-1127.
- [46] HALPIN T, VERMEIR D. Default reasoning in information systems [C]//Proc of Database Applications Semantics. London: Chapman & Hall;1997:423-441.
- [47] HALPIN T. Constraints on conceptual join paths[C]//Proc of Information Modeling Methods and Methodologies. Hershey: Idea Group, 2005.
- [48] HALPIN T. Business rule modality[C]//Proc of CAiSE'06 Workshops. [S. l.]: Namur University Press, 2006:383-394.
- [49] HALPIN T. Modeling collections in UML and ORM[C]//Proc of the 5th IFIP WG8.1 International Workshop on Evaluation of Modeling Methods in Systems Analysis and Design. Kista, Sweden:[s. n.], 2000.
- [50] HALPIN T. Higher-order types and information modeling[C]//Proc of Advanced Topics in Database Research. Hershey: Idea Pub Group,2005:218-237.
- [51] PEPELS B, PLASMEIJER R, PROPER H A. Fact-oriented modeling from a programming language designer's perspective[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2006; OTM 2006 Workshops. New York: Springer,2006:1170-1180.
- [52] CAMPBELL L J, HALPIN T A, PROPER H A. Conceptual schemas with abstractions; making flat conceptual schemas more comprehensible [J]. *Data Knowledge Engineering*,1996,20(1):39-85.
- [53] JARRAR M. Modularization and automatic composition of object-role modeling (ORM) schemes[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2005; OTM 2005 Workshops. [S. l.]: Springer, 2005.
- [54] KEET M. Using abstractions to facilitate management of large ORM models and ontologies[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2005; OTM 2005 Workshops. Berlin, Heidelberg: Springer,2005:603-612.
- [55] HALPIN T. Objectification[C]//Proc of CAiSE'05 Workshops. FEUP, Porto:[s. n.],2005:519-532.
- [56] AZIZAH F N, BAKEMA G. Data modeling patterns using fully communication oriented information modeling (FCO-IM)[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2006; OTM 2006 Workshops. Berlin, Heidelberg: Springer,2006:1221-1230.
- [57] HALPIN T, PROPER H A. Database schema transformation and optimization[C]//Proc of the 14th International Conference on Object-Oriented and Entity-Relationship Modeling. Berlin, Heidelberg: Springer,1995:191-203.
- [58] HALPIN T A, PROPER H A. Subtyping and polymorphism in object-role modeling [J]. *Data and Knowledge Engineering*,1995, 15 (3):251-281.
- [59] PIPRANI B. Using ORM-based models as a foundation for a data quality firewall in an advanced generation data warehouse[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2005; OTM 2005 Workshops. New York: Springer,2006:1148-1159.
- [60] HANSEN J, DELACRUZ N. Evolution of a dynamic multidimensional denormalization meta model using object role modeling[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2006; OTM 2006 Workshops. New York: Springer,2006:1160-1169.
- [61] EVANS K. Requirements engineering with ORM[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2005; OTM 2005 Workshops. Berlin, Heidelberg: Springer,2005:646-655.
- [62] PIERSON E J, CRUZ N D. Using object role modeling for effective in-house decision support systems [C]//Proc of OTM 2005 Workshops. New York: Springer, 2005:636-645.
- [63] DIETZ J L G, HALPIN T. Using DEMO and ORM in concert: a case study[C]//Proc of Advanced Topics in Database Research. Hershey: Idea Group, 2004.
- [64] EVEREST G. Experiences teaching NIAM/OR modeling[C]//Proc of NIAM-ISDM 1994 Conference. 1994:N1-26.
- [65] BOLLEN P. Using fact-orientation for instructional design[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet System 2006; OTM 2006 Workshops. New York: Springer,2006:1231-1241.
- [66] Van BOMMEL P, HOPPENBROUWERS S J B A, PROPER H A, *et al.* Exploring modelling strategies in a meta-modelling context[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2006; OTM 2006 Workshops. New York: Springer,2006:1128-1137.
- [67] HOPPENBROUWERS S J B A, LINDEMAN L, PROPER H A. Capturing modeling processes-towards the MODial modeling laboratory [C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2006; OTM 2006 Workshops. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006:1242-1252.
- [68] HOPPENBROUWERS S J B A, PROPER H A, WEIDE T P van der. Fact calculus: using ORM and lisa-D to reason about domains[C]//Proc of on the Move to Meaningful Internet Systems 2005; OTM 2005 Workshops. Berlin, Heidelberg: Springer,2005:720-729.