

57-63

8

模型管理系统及其发展^①

黄梯云^② 李一军 周宽久
(哈尔滨工业大学管理学院)

TP399

【摘要】分析和综述了模型管理系统中各种模型表示方法和模型管理方式,讨论了近年来模型管理研究在模型生成、模型合成和模型运行方面的进展,最后提出一种引入面向对象模型表示并将机器学习理论用于模型操纵和知识获取的模型管理系统结构框架。

关键词:决策支持系统,模型管理系统,面向对象技术

决策支持系统

0 引言

模型管理是决策支持系统走向实用和成功的关键。灵活实用的模型管理方式对辅助决策者理解复杂的实际问题、选用合适的模型、提高决策的有效性具有十分重要的意义。模型管理系统主要涉及模型表示和模型管理方式。

在模型表示方面,首先分析和综述结构化构模表示、面向对象表示、模型的数据表示、框架表示和构模语言表示等各种方法。在此分析基础上指出模型表示是模型管理系统的基础,模型表示方法恰当与否直接影响模型的定义、模型操纵、模型求解等具体功能。一个好的模型表示方法应支持模型与方法的集成,模型与方法独立,支持渐近式构模,支持模型的集成、共享与重用。因此,面向对象的模型表示应是很有前途的方法。

模型管理方式主要涉及模型的集成、模型与数据库的连接和模型操纵知识的学习等。目前,这方面存在的问题是模型与数据特性不匹配、模型与方法分离以及不能很好地支持模型的集成、共享与重用。

为了解决这些问题,本文提出一种基于类的模型管理及建模支持系统的结构。有关这种结构的实现方法将在另文发表。

1 模型表示方法的进展

不同学者对模型管理系统作用的想法不尽相同,但大多数学者认为模型管理系统是一个软件系统,支持模型的开发、存贮、操纵、控制以及模型的有效利用。模型开发包括问题启发、构模风范选择、模型提出、模型有效性及模型验证;模型存贮功能包括模型表示、逻辑视图以及物理存贮;模型操纵任务包括模型选择、模型提取、模型合成、模型例化、模型求解以及结果分析和报告生成;模型控制功能包括配置和进化管理、一致性和完整性维护。总之,一个有效的模型库管理系统应为构模的各个阶段提供支持、提高决策者的效率。在DSS的发展过程中,许多学者致力于实现上述目标,但已有的决策支持系统绝大多数只强调决策过程的选择阶段,而对决策过程的设计阶段缺少支持,而且有关模型的共享、重用和进化管理研究则很少。

为了克服以上的不足,许多学者(Bonczek、Blanning、Kosvnski、Dolk、Elam、Liang、Lenard、Geoffrion)开展了模型管理系统的理论研究,把人工智能引入模型库管理系统,他们认为模型管理的关键在于模型表示方法,这方面研究的文章很多,下面是几种比较著名的模型表示方法。

1) 模型表示的实体关系模型

该模型由 Blanning^[1]提出,他认为数据与决策模型作为信息资源具有相似性,他把数据管理

① 国家自然科学基金资助项目:796700231。

② 黄梯云,教授,博士生导师,通讯地址:哈尔滨市南岗区法院街13号,邮编:150001。

的 CODASYL DBTG 框架应用到模型管理领域。决策模型的关系视图 (view) 同存贮数据的关系视图一样, 是一个逻辑的信息视图, 把用户和信息的物理存贮和处理分离, 由于模型不是一个实际的数据库, 因此称为虚关系 (virtual relation), 即是输入输出属性对应值域的笛卡尔积的子集。模型的集成可看成是多个关系的自然连接。由于是虚关系之间的连接, 因此不会出现有损连接, 虽然这种方法得到了非常有趣的理论结果, 但在实践中限制太严格, 表现在:

- 在模型与数据连接上, Blanning 的实体关系模型似乎把模型的输入属性类型限制为标量, 在纯粹的关系方法中, 由于关系模型要求模式具有第一范式的性质, 即规定属性值是不可分解的, 因此不允许数组矩阵类型, 只有使用关系嵌套, 才可引入数组和矩阵类型, 而数组、矩阵类型数据在管理模型中用得非常普遍。

- 大型的多用户的模型库中, 要求属性名在所有模型中具有相同的含义。

- 排除了模型库中维护具有相同的输入输出属性之间映射的模型。

2) 结构化构模

结构化构模是由 Geoffrion^[23]提出的, 他制定了结构化构模语言 SML。该语言通过引入基本实体 (PE)、复合实体 (CE)、属性实体 (ATT)、变量实体 (VA)、函数实体 (F) 和测试实体 (T) 表示模型。一个实际的模型可由上述 6 类实体构成, SML 通过引入依赖变量和索引变量, 使各实体之间建立一一对应关系, 因此 SML 语言是一种表达能力较强的构模语言。

用 SML 表示模型直观清楚, 指明了各实体之间的依赖关系和对应关系, 但所得到的结构图并不与实际的决策模型相一致, 实际中很难使用, 它只是让决策者懂得模型内实体之间的对应关系和依赖关系, 实际问题求解仍然需要计算机能够执行的算法, 只有算法才能体现各实体之间的函数关系, 这是它的一个缺点。其次用 SML 表示的模型不支持模型与方法、模型与数据部件的集成, 这就不可避免地造成模型与方法、模型与数据的特性不匹配。典型的管理模型输入常常需要象向量矩阵等复杂类型的数据输入, 这些类型一般的数据库管理系统并不支持, 为了给模型输入端口

提供数据, 传统的 DSS 使用特殊应用程序或低级过程来实现, 因此一个通用的可从不同数据库中提取数据的作法就受到限制, 这就是模型部件与数据部件的特性不匹配。

3) 面向对象的模型表示法

采用面向对象方法表示模型的有 Huh^[5]、Lenard^[4]、Ma^[3]、Lazimy^[25], 他们是从不同角度应用面向对象方法表示模型的。

Huh 的方法基于 SML 的面向对象模型表示, 用以克服由于模型部件和方法部件、模型部件与数据部件的独立而带来的两个特性不匹配。他首先将由 SML 定义的模型与方法封装成模型类 (modeltype), 引入类定义的继承机制, 这样避免了模型部件与方法部件的特性不匹配。其次对数据类型进行扩充, 引入端口类, 将端口定义成端口类对象 (porttype), 通过操作的多态性实现模型与数据集的集成, 这样避免了模型部件与数据部件的分离而带来的特性不匹。不支持模型的合成是它的缺点。

Lenard 在文[4]中讨论了基于 SML 的面向对象模型与基于 SML 关系模型的一致性, 进而说明可以用关系数据库实现面向对象的模型管理系统作为数据库管理系统的一个函数, 而有关各种实体的操作可作为其对应实体类的方法, 因此各种实体类与实体的关系表示一一对应, 可以用面向对象的方法表示模型, 模型可解释为由对象和消息组成的有向图, 另外增加 Integratewith 操作支持模型的合成, 增加求解模型的方法以支持模型与方法的封装。Lenard 的方法实现模型的内部表示, 解决了因传统 DSS 模型部件与方法部件的分离而带来的模型与方法特性不匹配。模型类的属性由各种实体对象构成, 各种实体类的定义引入了继承机制, 但没有解决模型—数据的特性不匹配问题。Lenard 的模型表示法因提供 Integratewith 操作支持与其它模型的合成, 但它不支持集成后所得到的模型可以作为一个单独的模型继续作为部件去同其它模型合成。

Ma 提出一个面向对象的框架表示模型, 他认为一个数学决策模型是一个决策过程的简单的抽象表示, 包括一组变量和指明它们关系的一组操作。因此, 模型就变成了模型类, 模型类的定义利用了面向对象的继承机制, 这样避免了定义的

冗余和不一致,并且支持渐近式构模,这是它的优点,缺点是模型的层次构造,模型的数据例化不方便。

Lazirny 提出的模型表示方法是将属性、属性类及方法定义在一个类中,这样的模型称为初始模型(Genetic Model),当向属性类中增加领域知识时形成领域模型(Domain Model),领域模型可看成初始模型属性类的子类,领域模型的属性类是其对应初始模型属性类的子类,初始模型或领域模型中的属性类都可以例化,形成模型实例。该方法的优点是支持渐近式构模,缺点是缺乏模型的层次构造及模型与数据集独立的支持。

4) 模型的数据表示法

模型的数据表示法由 Lenard^[7]、Dolk^[8]提出,将由 SML 语言表示的模型转换成关系数据库的形式,每个模型都由包含模块(Module)及模块结构(Modular Structure)数据的两个关系、包含组(Genera)及组结构(Generic Structure)数据的 4 个关系,包含元素及元素结构数据的 5 个关系组成。

模块关系:a) MUDULE(模块);b) CONTENT(内容)

组关系:a) GENUS(对应实体);b) CALLS;
c) RULES;d) DATATYPE

元素关系:a) E;b) CE;c) AREAL;d) AINT;e) ACHAR

由于关系数据库理论的成功应用,模型的数据表示法是把关系数据库理论应用于模型库管理的典范,优点是一个数据库管理系统可以用来将 DSS 的模型、数据和对话 3 个功能统一起来。

5) 模型的框架表示

Hong^[9]采用框架表示模型类(Model Type),并提出模型类、模型模板和模型实例 3 个从抽象到具体的继承层次,模型类是一个六元组:

model type = (输入表,输出表,中间变量表,约束条件表,方法表,模型设定表)

模型模板是模型类的结构例化,将应用领域知识增加模型类中就得到模型模板,模型模板是一个六元组:

model template = (模板名称,模型类名,输入表,输出表,目标函数表,约束条件表)

模型类名表示该模型模板所对应的模型类;

模型模板可继承模型类的特性如输入输出变量类型和求解算法等;模型实例是模型模板的数据例化,即指明输入端口的数据来源,它是一个二元组:

model instance = (模型模板,数据源)

数据源可以是用户自定义函数、数据库名称或其它模型实例。

因此,模型实例继承模型模板的特性,继承机制的引入减少了模型结构定义的冗余,数据源可以是另一个模型实例的输出,这个模型实例的数据源也可能是另一个模型实例的输出,这样就由模型实例构成了一个实例树,因此它支持模型的集成,模型类的定义没有引入继承机制以及不支持模型的层次构造是这种方法的不足,另外,将模型结构的数据转换成方法所需要的数据形式非常困难。

6) 模型抽象

模型抽象是一种模型的表示方法,由 Dolk 和 Konsynski^[10]提出,模型抽象类似于框架和面向对象中的类,它是在程序设计语言的抽象数据类型基础上提出的,由数据对象、过程和由一阶谓词演算表示的断言组成,数据对象由数据项和类型组成,类型可以是另一个数据抽象,数据抽象的主要缺点是没有将对象和过程封装成一个整体,这也是它与面向对象方法的主要区别,面向对象方法正是在抽象数据类型的基础上发展起来的。

7) 构模语言表示模型

构模语言是 DSS 设计者为用户提供的一套程序设计语言,一般说来构模语句具有某些易于执行造模功能的特征,其语句的功能较强,使用比较方便,用户使用构模语句可构造自己的模型,南京大学开发的 NUIDSS^[11]、国防科技大学研制的 GFKD-DSS^[12]都提供构模语言,中科院计算技术研究所研制 DEIDS^[13]采用嵌入 C 语言的模型描述语言描述模型,用构模语言描述的模型实质上就是一个实际问题的求解过程,需要进一步解决模型的重用和共享问题。

模型表示是模型管理系统的基础,模型表示方法恰当与否直接影响模型的定义、模型操纵、模型求解等其它方面,一个好的模型表示方法应支持模型与方法的集成,模型与方法独立(即更换相同功能的方法不致于修改模型)、支持渐近式构

模、支持模型的集成、共享与重用。由此可见,面向对象的模型表示应是很有前途的方法。

2 模型管理研究进展

在讨论了模型表示方法之后,接下来讨论模型管理,模型管理包括模型的生成、重构、集成、更新以及模型的运行。

2.1 模型的生成

生成一个模型可以采用系统提供的模型表示方法定义模型,也可以是系统根据用户对问题的描述自动生成一个模型,模型的自动生成有基于类比推理的模型自动生成、基于知识的模型自动生成、基于机器学习的模型自动生成和基于一阶谓词演算的模型自动生成。

2.1.1 类比推理辅助模型自动生成

类比推理是人工智能领域中的一个重要研究课题,它是人类思维方式的计算机模拟。人类思维活动经常使用类比推理。一个类比经常定义成“ A 导致 B 就象 C 导致 D 一样”(“ $A \rightarrow B :: C \rightarrow D$ ”),在大多数情况下,最后一项 D 被忽略,根据 A 、 B 、 C 的性质求出 D 。类比推理包括3个阶段:推理、映射和应用。在推理阶段得到 A 和 B 之间的关系,接着通过映射确定 A 与 C 之间的关系,最后在应用阶段,确定 D 。当遇到一个新问题 C 时,系统就从实例库中提取出与问题 A 相似的实例,修改旧的解 B 而得到新的解 D 。在基于CASE的系统中,学习常常伴随记忆新的实例,对已有的实例进行分类,从实例中提取知识。应用类比推理的前提是存在大量的经验实例库。

Liang^[14]、Chi^[15]提出应用类比推理辅助模型生成,用户对得到的模型稍加修改就得到一个新的决策模型。类比推理的核心是映射即判断 A 和 C 的相似性,Liang的定义实例相似性包括3个层次即概念相似性、结构相似性和函数相似性。概念相似性是指两个问题中的特性相似性而不考虑元素图和初始图中的函数依赖。结构相似性是指两个问题的实体图、属性层次、元素图和初始图的相似性,如果两个图同构则这两个图相似。函数相似性描绘不同模型的数学方程的共同特征。如果两个函数包括相同的操作符和函数,则两个函数相似。结构相似性判断比较复杂,因为涉及判断

两个有向图的同构问题,有向图的同构判断算法的时间复杂性较高,适用于结点数较少的情况。Chi提出的类比推理是基于框架的模型表示,给每个输入输出端口赋予一定的权,通过计算新的问题输入输出谓词与实例库中的实例的输入输出谓词匹配程度计算新问题与实例的相似度,从而确定与该问题最相似的实例,这种方法比较简单,容易实现。

2.1.2 基于一阶谓词演算的模型自动生成

一阶谓词演算引入模型管理是人工智能与决策支持系统相结合的产物。Dutta和Basu^[16]、Bonczek等^[17]用一阶谓词表示领域专家的构模知识,通过推理进行问题求解。

Bonczek认为决策支持系统由3部分组成语言系统(Language System, LS)、问题处理系统(Problem Processing System, PPS)和知识系统(Knowledge System, KS),用户把问题输入DSS,语言系统将其转换成内部形式传送给问题处理系统,问题处理系统调用知识系统中的知识进行问题求解,然后将所得结果通过语言系统反馈给用户,知识系统中的知识称为模型,因此这里的模型是用一阶逻辑表示的。问题处理系统是一个推理系统,通过归结反演推出结论。

Dutta和Basu、Bonczek提出用一阶逻辑(First Order Logic, FOL)表示模型,并对其进行了扩充,将谓词分为两种:领域谓词(Domain Predicate)和模型谓词(model predicate)。领域谓词用于表示领域知识并有一个谓词的固定解释,如 $GT(a, b)$ 表示 $a > b$,模型谓词用于定义模型的输入输出接口。通过线性回归模型表示如下:

$$GT(\text{Count}(a, \text{Typ}(x)), \text{Typ}(y), \text{Plus}(\text{Card}(x), 2)) \& \text{REGRESS}(a, \text{Typ}(x), \text{Typ}(y), x, y, b, r) \& GT(r, 0.7) \rightarrow \text{VAL}(a, x, y)$$

GT 、 VAL 是领域谓词,REGRESS是模型谓词。

两种方法都是利用归结反演进行问题求解,但他们又有不同,Dutta和Basu在用一阶逻辑表示模型的基础上,引入实关系和虚关系(Virtual relation),一个实关系表示一个关系数据库,由实关系的合成得到虚关系。这样通过归结反演的证明过程实现了(1)模型与数据库的连接(2)模型的合成。

一阶逻辑表示模型的优点是将领域知识引入模型管理,使用户不必清楚如何使用模型以及如何为每个模型的输入端口提供参数,减轻了用户负担。但是子句的归结反演容易造成组合爆炸,对于规模小的知识库这种方法可行,因此适于较窄的领域。如何解决组合爆炸问题,一种方法是引入启发函数,选择有希望的子句进行合一,再者引入 $\alpha \rightarrow \beta^{[8]}$ 过程进行剪枝会缩小搜索空间。将机器学习引入模型管理,利用学到的经验知识,选择以前成功子句,将会提高归结速度,减少搜索空间。因此,机器学习研究在基于一阶逻辑的模型管理领域大有用武之地。

2.1.3 模型的语义继承网(Semantic Inheritance Net)表示法

语义继承网首先用于专家系统的知识表示,专家系统 PROSPECTOR^[13]就是采用语义网表示专家知识的。语义继承网是一个有向图,结点表示具体的对象,边表示对象之间的关系。

2.1.4 模型管理系统中的机器学习(Machine Learning, ML)

学习是一个有特定目的的知识获取过程:其内部表现为新知识结构的建立和个性,而外部表现为性能的改善^[20]。机器学习就是用计算机实现这一过程,当前机器学习已成为人工智能领域的核心,它的应用已遍及人工智能的各个领域,特别是专家系统、自然语言理解、模式识别、计算机视觉和机器人学。有些学者将机器学习应用到决策支持系统的模型管理领域。Liang^[14]的类比推理是在大量实例(case)的基础上实现的,而大量实例的积累就是一个学习过程(死记硬背式学习)。Holsapple^[22]利用遗传算法自动构造模型,Shaw^[23]利用机器学习获取模型操纵知识,机器学习应用于模型管理分为4个方面:1)模型操纵知识的获取;2)模型操纵知识的求精;3)模型表示的求精;4)模型选择启发函数的生成。模型操纵知识求精是普化(generalization)和特化(specialization)的反复过程。机器学习引入模型构造的目的是使系统在构模时少走弯路,避免犯以前犯过的错误。

2.2 模型合成(model synthesis)

模型合成是指两个或两个以上独立的模型之间的互连,即一个或几个模型的输出可以作为其

它模型的输入。Liang^[21]提出基于图形的模型合成, Muhanna 和 Pick^[24]提出一个系统框架并给出一个模型描述语言(MDL),支持模型的合成,即合成的结果也是一个模型,可以作为一个独立的模型进行求解甚至可以继续构造功能更为复杂的模型。从这一点来看它支持模型的合成与重用。例如假设模型库中已有预测经济订货量两个模型,那么可利用这两个模型定义另一个模型,并可以把它作为一个独立模型存于模型库中。

2.3 模型运行

模型的任务是将存于数据库中的大量历史和当前数据转变成信息,如何实现模型与数据库之间的连接?基于一阶逻辑的模型管理系统利用知识库中的知识实现模型与数据库的连接^[17]。另一种方法是借助 SML 语言指明模型端口与数据库之间的对应依赖关系^[25]。目前,大多数的模型管理系统不支持模型与数据集(即多个数据库)的独立性,即修改数据集的同时必须修模型。模型与数据的独立性应该是评价模型管理系统的一个重要指标。

3 一种新的决策支持系统体系结构

综上所述,可以看出面向对象的模型表示方法是非常有效的模型表示形式:它实现了模型与方法的封装,通过子类继承超类的特性支持渐近式构模,将专家的构模知识存入知识库,减轻用户构模负担,用户只需输入问题描述,系统便给出结果,这样的系统势必会受到用户的欢迎,由于目前基于一阶逻辑的知识表示形式的归结反演推理机制容易造成组合爆炸,将机器学习的理论与技术应用于模型操纵知识的获取可望解决这一不足。因此,新一代的决策支持系统可采用图 1 所示体系结构,对模型管理系统进行了扩充,它应该包括问题处理系统、学习系统、模型类库系统和知识库系统。模型类库系统负责模型类的定义与维护,知识库系统负责构模知识的管理与维护,问题处理系统负责处理用户经语言系统输入的问题,学习系统收集问题处理系统运行成功与失败的实例,按照一定的学习算法从中提取出规则,丰富知识库。

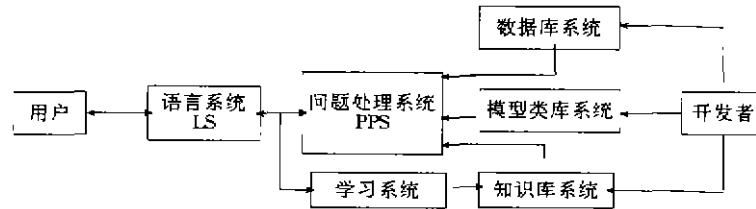


图1 一种新的决策支持系统体系结构

4 结束语

本文讨论了当前几种著名的模型表示和建模方法,分析了它们的优点和不足,进而提出了一种新的决策支持系统的体系结构,它不同于传统的DSS结构,特点是做到了两种DSS体系结构的结合,并在此基础上引入面向对象的模型表示方法和机器学习,克服了原有的缺点和不足。

参考文献

- Blanning K W. An Entity-Relationship Approach to Model Management. *Decision Support Systems*, 1986, 2: 65~72
- Geoffrion A M. The SML language for structured modeling; level 1 and 2. *Operations Research*, 1992, 40(1): 38~57
- Soon-Young H. Modelbase construction with object-oriented constructs. *Decision Sciences*, 1992, 24(2): 409~431
- Lenard M L. An object-oriented approach to model management. *Proceedings of the 20th Annual Hawaii International Conference on System Science*, North Hollywood California: Western Periodicals Company, 1987
- Jian M. An object-oriented framework for model management. *Decision Support Systems*, 1995, 13: 133~139
- Lazimy R. Object-oriented Modeling Support System: Model Representation and Incremental Modeling. *Hawaii International Conference on System Science*, Western Periodicals Company, 1993 445~459
- Lenard M L. Representing models as data. *Nineteenth Hawaii International Conference on System Science*, Western Periodicals Company, 1986, 389~396
- Dolk D R. Model management and structured modeling: the role of an information resource dictionary system. *Communications of ACM*, 1988, 31(6): 704~718
- Hong. Inheritance and instantiation in model management. *Hawaii International Conference on System Science*, Western Periodicals Company, 1990
- Dolk D R, Kossynski B R. Knowledge representation for model management systems. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 1984, 10(6)
- 陈世福. 智能决策支持系统 NUIDSS 的设计与实现. *软件学报*, 1994, 6
- 陈文伟等. GFKD-DSS 决策支持系统开发工具. *计算机学报*, 1991, 4
- 史忠植. 智能决策系统开发环境 DEIDS. *人工智能与智能计算机*, 北京: 电子工业出版社, 1991
- Liang T P. Analogical reasoning and case-based learning in model management system. *Decision Support Systems*, 1993, (10): 137~160
- Chi T R, Whinston A B, Kiang M Y. Case Based Reasoning to Model Building *Hawaii International Conference on System Science*, 1993, 324~332
- Durta A, Basu A. An artificial intelligence approach to model management in decision support system. *IEEE Computer* 1984, 9: 89~97
- Bonczek R H, Holsapple C W, Winston A B. A generalized decision support system using predicate calculus and network data base management. *Operations Research*, 1981, 29(2): 263~281
- 付惊孙, 徐光佑, 蔡自兴. 人工智能及其应用. 清华大学出版社, 1987
- 黄可鸣编. 专家系统导论. 南京: 东南大学出版社, 1988
- 洪家荣. 机器学习—回顾与展望. *计算机科学*, 1991 (2): 1~8
- Liang T P. Development of a knowledge-based model management system. *Operations Research*, 1988, 26(6): 849~863
- Holsapple C W, Jacob V S, Zaveri J S. Learning by problem processors: adaptive decision support systems. *Decision Support Systems*, 1993, 10: 85~108
- Shaw M J. Applying machine learning to model management in decision support systems. *Decision Support Systems*, 1988, 4: 285~305

-
- 24 Muhanna W A, Pick R A. Meta-modeling concepts and tools for model management: a system approach. *Management Science*, 1994, 40(9): 1093~1123
- 25 Ramirez R G, Chee C, Louis R D. Independence and mappings in model-based decision support systems. *Decision Support Systems*, 1993, 10: 341~358

The Model Management System and Its Development

Huang Tiyun, Li Yijun, Zhou Kuanjiu

Management School, Harbin Institute of Technology

Abstract An architecture of a new generation of decision support system is proposed in this paper on the basis of evaluation of current several famous model representations and modeling methods. And the advance these decades in model generation and model integration is also discussed. At last, the architecture of model management system which adopts object-oriented model representation and machine learning theory to support model manipulation and knowledge acquisition is concluded.

Keywords: decision support system, model management system, object-oriented technology