

按内容检索的图象数据库系统数据模型^{*}

周学海 李光亚 赵振西

(中国科学技术大学计算机系 合肥 230027)

摘要 数据模型的研究是设计按内容检索的图象数据库系统的基础。本文在超语义数据模型的基础上,提出了一种新的图象数据库系统模型。该模型融合了面向对象的数据模型、语义数据模型和知识模型的特点,并根据图象信息的特点,增加了若干对象类型构造子,使得该模型能较好地支持按内容检索的图象数据库系统建模。

关键词 数据模型,按内容检索,语义特征,图象特征,空间推理。

中图法分类号 TP311.13

随着图象数据的增多,支持按内容检索的图象数据库技术已成为数据库领域和人工智能领域研究者关注的一个热点。数据模型是按内容检索的图象数据库系统的关键问题之一。

按内容检索的图象数据库系统与传统的数据库系统有较大差别。其体系结构从逻辑上可划分为5个层次:支持空间推理的户视图层;表示特定领域的实体、属性、关系及操作方法的语义特征层;表示与特定领域无关的图象本身特征的图象特征层;描述图象对象的特定特征表示方法的图象特征表示层;表示特征的物理存储结构的特征组织与特征索引层。^[1]图象数据库系统需支持用户对图象所表达的语义信息(如眼睛的大小)、图象的特征信息(如图象的背景颜色等)以及图象对象间的空间关系等不同抽象层的信息检索。因此数据模型应具有表达无结构图象实体的数据类型,能以层次结构组织图象语义特征、图象特征和图象实体,可以由基本的图象特征构造复杂图象特征;能根据特定的领域知识从图象特征导出图象语义特征;支持空间推理。

关系模型以及扩充的关系模型^[2],对图象信息系统的建模能力有限,对按内容检索的支持只能停留在按关键字检索。采用面向对象数据模型如 VIMSYS^[3]系统,其知识表达能力有限,限制了其由图象特征导出语义特征的能力。超语义数据模型^[4]没有对空间关系建模提供有力的支持,不支持图象数据类型,因此也不适合对图象信息系统建模。

我们根据图象数据的特点,在超语义数据模型的基础上,扩充若干原子类型、类型构造子,提出了一种新的对象语义模型,以便有效地对图象语义特征、图象特征以及对象间空间关系建模,支持用户对图象信息各抽象层的查询。

本文首先给出数据模型的形式定义,然后讨论该模型对按内容检索的图象数据库系统建模的支持,最后是小结。

1 图象对象语义模型 ISDM

ISDM (image semantic data model) 将类型分为两类,原子类型和对象类型。为表达无结构的图象实体,又将原子类型分为两类。

定义 1.1. 原子类型有两种^[5]: (1) 可直接显示的基本类型,如 INTEGER, STRING, REAL 等,记为 SP ; (2) 对系统来说无结构的原子类型,如表示图象基本区域的 REGION 类型等,记为 SI 。原子类型记为 S , $S = SP \cup SI$ 。原子类型的域记为 $dom(S)$ 。

为支持由图象特征导出图象语义特征以及由特定的领域知识来指导图象特征的提取,ISDM 的对象类型在面向对象数据模型基础上,引入了推理规则集合。

定义 1.2. 对象类型定义为六元组 $Class = (IS, AS, MS, ES, CS, HS)$ 。其中 IS 为类型的标识名, AS 为属性集合, MS 为对象操作集合, ES 为计算表达式集合, CS 为对象静态约束集合, HS 为推理规则集合。约束条件用一阶谓词逻辑表示;推理规则基于传统的 Horn 子句。对象类型记为 C 。

* 本文研究得到国家自然科学基金资助。作者周学海,1966年生,讲师,主要研究领域为图象信息系统,李光亚,1972年生,博士生,主要研究领域为超媒体系统,赵振西,1937年生,教授,博士生导师,主要研究领域为智能软件开发环境,多媒体技术。

本文通讯联系人:周学海,合肥 230027,中国科学技术大学计算机系

本文 1996-11-07 收到原稿,1997-05-04 收到修改稿

定义 1.3. 类型 $T=CUS$.

ISDM 中的对象属性分为 4 个大类:(1) 原属性;用于表示图象的基本图象特征;(2) 标准的用户自定义属性;(3) 计算属性;由已定义属性通过 ES 构成;计算属性记为 AC,其对应的类型记为 TAC;(4) 推理属性;其结果由已存在的信息及推理规则确定.推理属性记为 AD,其对应的类型记为 TAD.

为支持由简单对象类型构造复杂对象类型,ISDM 提供了 7 种类型构造子.

定义 1.4. 记集合 $Cst=(*, \cdot, +, \vee, \wedge, -)$, 构造子集合 $CSet=\times \cup Cst$. 由原子类型和一组类型构造子可构造其他对象类型,即

- (1) 元组构造子表示类型的直积,支持聚集关系,即 $T=[T_1, T_2, \dots, T_n]$, 记为 \times ;
- (2) 集合构造子可以构造原子类型的值集合或对象类型的对象集合.即 $T=\langle T' \rangle$, 记为 $*$;
- (3) 表构造子可以构造类型实例的连接集合,集合中的元素可以重复,即 $T=\langle T' \rangle$, 记为 \cdot ;
- (4) 并构造子表示若干类型的概括,即 $T=T_1+T_2+\dots+T_n$, 记为 $+$;
- (5) 或构造子表示若干类型的选择,即 $T=T_1 \vee T_2 \vee \dots \vee T_n$, 记为 \vee ;
- (6) 交构造子表示类型实例的交集,即 $T=T_1 \wedge T_2 \wedge \dots \wedge T_n$, 记为 \wedge ;
- (7) 差构造子表示两类型实例的差集,即 $T=T_1-T_2$, 记为 $-$.

根据对象类型的构成可将其分为简单对象类型和复杂对象类型.

定义 1.5. 仅由原子类型和元组构造子构成的对象类型称为简单对象类型;由原子类型、 \times 和 Cst 集合中的一个或若干个构造子构成的对象类型称为复杂对象类型.

根据类型说明中是否含有推理属性,可将类型分为推理类型和标准类型.

定义 1.6. 含有推理属性的类型称为推理类型,记为 Cd .

定义 1.7. 类层次是一有向树 $TR=(V, E)$, V 为结点集, E 为边集.且

- (1) V 是 V_r (原子结点集), V_\times (\times 结点集), V_\cdot (\cdot 结点集), V_+ ($+$ 结点集), V_\vee (\vee 结点集), V_\wedge (\wedge 结点集), V_- ($-$ 结点集)的不相交并集.(2) V_r 为叶结点.(3) \cdot, \cdot 结点只有一个子结点.(4) \vee, \wedge 结点有多个子结点.(5) $-$ 结点有两个子结点.(6) $\times, +$ 结点有一个或多个子结点.

定义 1.8. 类型 T 的域 $dom(T)$ 定义为:

(1) 如果 T 是原子类型,则 $dom(T)$ 为原子类型的值集合.

(2) 如果 T 的根结点 r 是 \times 结点, T_1, T_2, \dots, T_n 是 r 的子结点,则

$$dom(T) = \{[O_1, O_2, \dots, O_n] \mid O_i \in dom(T_i), 1 \leq i \leq n\}$$

(3) 如果 T 的根结点 r 是 $*$ 结点, T' 是 r 的子结点,则

$$dom(T) = \{\{O_1, O_2, \dots, O_n\} \mid O_i \in dom(T'), 1 \leq i \leq n\}$$

(4) 如果 T 的根结点 r 是 \cdot 结点, T' 是 r 的子结点,则

$$dom(T) = \{\langle O_1, O_2, \dots, O_n \rangle \mid O_i \in dom(T'), 1 \leq i \leq n\}$$

(5) 如果 T 的根结点 r 是 $+$ 结点, T_1, T_2, \dots, T_n 是 r 的子结点,则

$$dom(T) = \bigcup_{i=1}^n dom(T_i)$$

(6) 如果 T 的根结点 r 是 \vee 结点, T_1, T_2, \dots, T_n 是 r 的子结点,则

$$dom(T) \in \{dom(T_i) \mid 1 \leq i \leq n\}$$

(7) 如果 T 的根结点 r 是 \wedge 结点, T_1, T_2, \dots, T_n 是 r 的子结点,则

$$dom(T) = \bigcap_{i=1}^n dom(T_i)$$

(8) 如果 T 的根结点 r 是 $-$ 结点, T_1, T_2 是 r 的子结点,则

$$dom(T) = dom(T_1) - dom(T_2)$$

定义 1.9. 对象定义为三元组 $O=(Oid, AS, MS)$, 其中 Oid 为系统分配给该对象的全局唯一的对象标识符, AS 为属性集合, MS 为对象操作集合.若对象 O 满足对象静态约束条件,记为 $Constraints(O)=1$.

定义 1.10. 对象类型实例化过程是由对象类型说明经过初始建立及约束产生对象实例的过程^[6],其结果是该类型的值或对象.即

$$I \rightarrow Inst(T), I \in dom(T) \wedge Constraints(I) = 1$$

推理对象类型中的推理属性 AD 的实例化由推理过程完成,即

$$I = \text{Inference}(AD), I \in \text{dom}(TAD) \wedge \text{Constraints}(I) = 1$$

计算属性 AC 的评价由表达式 Expression 完成, 记为

$$I = \text{Expression}(AC), I \in \text{dom}(TAC) \wedge \text{Constraints}(I) = 1$$

一个具有约束的对象类型的实例, 必须满足类型定义的所有约束条件; 受约束的实例与演绎推理实例间的区别在于前者在条件判别时不涉及推理链语义, 而后者可能要涉及推理链中的多个结点.

定义 1.11. 对象层次结构是一有向树 $OT = (V, E)$, 且

- (1) V 是 V_1 (原子结点集), V_\times (\times 结点集), V_* ($*$ 结点集), V_\cdot (\cdot 结点集), V_+ ($+$ 结点集), V_\vee (\vee 结点集), V_\wedge (\wedge 结点集), V_- ($-$ 结点集) 的不相交并集.
- (2) V_1 为叶结点.
- (3) \vee 结点只有一个子结点.
- (4) $\times, *, \cdot, +, \wedge$ 结点有一个或多个子结点.
- (5) $-$ 结点有两个子结点.
- (6) $\text{Constraints}(V) = 1$.

2 ISDM 模型对接内容检索的图象数据库系统建模的支持

ISDM 模型作为图象数据库系统的数据模型必须支持对语义特征层、图象特征层建模, 并有效地支持用户对图象对象间空间关系的查询.

2.1 模型对语义特征层、图象特征层的建模支持

为支持按内容检索图象, 必须根据特定领域的知识, 抽取图象对象的若干相关特征, 进而根据一组约束和推理规则导出对象的语义特征. 为此, 在 ISDM 中, 我们从概念上将语义特征层的对象类型称为领域对象类型, 将图象特征层的对象类型称为图象对象类型. 在类层次中, 领域对象类型是图象对象类型的抽象. 图象中不能再分割的图象对象称为基本图象对象, 其对应的图象对象类型称为基本图象类型, 记为 M ; 与基本图象对象类型对应的领域对象类型称为基本领域对象类型, 记为 R . R 由 M 以及其它非图象特征类型 F 通过 \times 构造子构造, 即

$$R = [M_1, M_2, \dots, M_m, F_1, F_2, \dots, F_n],$$

其实例化结果为

$$O = [O_1, O_2, \dots, O_m, O_{m+1}, \dots, O_{m+n}], \text{Constraints}(O) = 1 \text{ AND } O_i.\text{region} = O_i.\text{region } i = 1, \dots, m$$

其中 $O_i.\text{region}$ 表示基本图象对象所表示的图象区域, $O.\text{region}$ 表示领域对象所表示的图象区域, $F_i (i = 1, \dots, n)$ 表示其他非图象特征类型, $O_j (j = m + 1, \dots, m + n)$ 表示其他非图象特征属性的实例化结果. 领域对象类型的实例化结果必须满足其所有的约束条件.

对语义特征层建模, 需根据特定的领域知识, 对给定的图象集合, 利用 ISDM 模型中给定的对象类型构造子描述其组成结构. 该层与传统数据库系统的概念模式层类似. 在这一层中的语义特征通常是无法从图象中计算出来的, 必须由设计者提供给系统. 为此, 在 ISDM 模型中, 我们提供了表达领域知识的推理集合和约束集合, 这样, 在对语义特征层建模时, 可以通过推理集合和约束集合将领域知识表达在模型中, 利用这些领域知识自动从图象特征导出语义特征.

图象特征层位于语义特征层之下, 主要涉及图象特征的提取和图象特征的表达. 对图象特征的提取, 我们可以利用已有的计算机视觉技术的研究成果, 并且可以利用语义特征层给出的约束和推理规则, 一方面限定图象搜索的区域来提高图象处理和分析的效率, 另一方面可以使得领域知识与图象处理和分析算法分离, 增加了图象处理和分析算法的重用性. 为支持图象特征的表达, 在 ISDM 模型中提供了丰富的数据类型和对象类型构造子.

2.2 模型对空间推理的支持

依据图象的空间关系来检索图象是图象数据库系统检索的有效方法. 由于图象对象间空间关系的组合特性, 较为实际的做法是将空间位置信息作为事实存储, 并给出一组推理规则来推导对象间的空间关系.^[2] 为此, 在 ISDM 中, 我们给出了一组表示图象对象空间特征的原属性. SIZE: 对象区域的像素数; POSITION: 对象区域的中心坐标; ORIENTATION: 水平轴与对象区域直径的夹角; LENGTH: 对象区域的直径; BOUNDINGBOX: 对象区域的限定矩形框, 它与该区域主轴平行. 以表达图象实体的空间位置信息, 在进行对象区域划分时可以计算出这些属性的值.

我们不可能给出图象对象间所有空间关系描述, 也不必将对象间的空间关系都存储在数据库中, 可以仅存储图象对象的空间位置事实. 在实际应用中, 根据两对象间的空间位置事实, 给出对象间的 Over (上)、Under (下)、Left (左)、Right (右)、Overlaps (覆盖)、Inside (内)、Outside (外) 等空间关系描述和推理规则, 在查询时由推理过程导出任意对象间的空间关系.

3 结束语

为支持用户按内容检索图象, 图象数据库模型必须能够方便地对图象的语义特征、图象特征以及空间关系建模.

我们提出的 ISDM 模型具有以下特点:(1) 融合了面向对象数据模型、语义模型和知识模型的特点,可以方便地对图象语义特征层、图象特征层建模,并有效地支持空间推理;(2) 通过附加推理规则和约束条件,可以有效地提高图象处理与分析的效率;(3) 图象理解算法可封装在简单对象类型中,便于图象理解算法的修改和扩充。

参考文献

- 1 Chang Shikuo. Image information systems: where do we go from here. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1992,4(5):431~442
- 2 张系国[美]著,吴健康译. 图象信息系统设计原理. 北京:科学出版社,1990. 226~242
(Chang S K(author), Wu Jian-kang(translator). Principles of pictorial information systems design. Beijing: Publishing House of Science, 1990. 226~242)
- 3 Bach Jeffrey R. A visual information management system for the interactive retrieval of faces. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1993,5(4):619~628
- 4 Potter W D et al. Hyper-semantic data modeling. Data and Knowledge Engineering, 1989,4:69~90
- 5 杨立. 面向对象的图象数据模型. 计算机学报,1993,16(6):437~441
(Yang Li. An object-oriented image data model. Chinese Journal of Computers, 1993,16(6):437~441)
- 6 冯玉琳,李京,黄涛. 对象语义理论和行为约束推理. 计算机学报,1993,16(11):823~828
(Feng Yu-lin, Li Jing, Huang Tao. Object semantics theory and constraints reasoning. Chinese Journal of Computers, 1993,16(11):823~828)

A Data Model for Image Database System with Content-based Retrieval

ZHOU Xue-hai LI Guang-ya ZHAO Zhen-xi

(Department of Computer Science University of Science and Technology of China Hefei 230027)

Abstract To design an image database system with content-based retrieval, the data model must be first addressed. In this paper, a new data model for image database systems with content-based retrieval is presented. It is designed on the base of hyper semantic data models. The model incorporates properties of object-oriented data model with semantic data models and some concepts of AI. For modeling image database with content-based retrieval more suitable, it introduces some image data types and type constructors to describe the prototype image structure.

Key words Data model, content-based retrieval, semantic feature, image feature, spatial reasoning.

Class number TP311.13