A 辑

智能图象数据库系统 ISDBS*

吴健康 陈 涛 杨 立 (中国科学技术大学图象处理实验室, 合肥 230026)

摘 要

本文叙述我们实验室研制的智能图象数据库系统 ISDBS, 其中提出并实现了系统的智能设计、知识化模式、新型物理数据库结构、用于规划决策专家系统设计的知识表示语言 IDL 等一系列新型的关键理论和技术。 该系统已成功地应用于黄土高原安塞地区的土地规划和东北松江河林场的森林资源管理。

关键词:图象处理,计算机视觉,信息系统,数据库

图象数据是二维、三维甚至更高维的空间相关、时间相关、主题相关的信息. 完整地(从物理上和语义上)描述、存储、处理、操纵这样复杂的数据,并支持基于这些数据的规划和决策,是图像数据库系统所面临的复杂任务.

图象数据库是一个具有深远意义的新兴研究领域。图象数据库是视觉数据,图是数据库系统的作用类似于人脑中的视觉信息记忆,是人类各种基于视觉的智能行为的基础。研究图象信息系统的理论和技术,研究基于图像信息系统的机器视觉,不仅是一个很有前途的重要研究方向,而且也是资源与环境管理、机器人等应用的基础和先行。

国际上图象数据库系统的研究起步较早,典型系统有:Herot 研究的 SDMS¹¹,巧妙地应用变焦技术将数据项显示在屏幕上,使用户可以"漫游"整个数据库,从而找到所需的数据项及相应描述。国际著名的傅京孙教授研究的 REDI 系统¹²¹,融数据库管理系统和图象理解系统于一体,同时设计了人机交互方便的表格形式的查询语言 QPE。另一位美国著名教授张系国研制的 DIMAP 系统¹³¹,提出了物理图象和逻辑图象的概念。Zobrist 及其同事从图象处理的角度研究了光栅型的地理信息系统 IBIS¹⁴¹。图象数据库的典型应用是地理信息系统,这类系统侧重物理的数据结构,而不是逻辑的数据模式和高级的查询语言。 其典型系统是美国环境系统研究所的 arc/info,这是一种资源管理和地图制图系统^{15,61}。

总的说来,国内外现有工作只研究了图象数据库的一般功能,并没有考虑到图象数据库系统在智能行为中的重要作用,没有研究解决下述三个关键问题:(1)没有从根本上解决系统设计思想,仅是面向应用;(2)数据模式是灵魂,至今尚不存在一个公认为成熟的模式;(3)物理数据结构是系统实用性的保障,现有数据结构存在很多缺点。针对这些问题,我们认真研

本文 1988 年 10 月 22 日收到, 1989 年 5 月 15 日收到修改稿.

^{*} 国家自然科学基金资助项目。

究了认知学中关于人类视觉信息存储和处理的基本原理,从根本上重新思考视觉信息系统结构和设计的合理性,从而提出了一个智能视觉信息系统的设计原则;提出了一个知识化的关系-框架-像(icon)模式;提出了以物体为中心的行程编码方案。 由此建立的智能图象数据库系统性能良好,成功地用于黄土高原的土地规划和东北林区的森林资源管理与采伐、种植规划。

计算视觉理论的创始人 Marr^[6] 认为,信息处理任务必须从计算理论、表示和算法、实现三个层次加以理解,前两个层次是先导和至关重要的. 然而,现有系统往往仅从应用出发,马上进入实现这一层次,因而产生不完整性. 为从根本上解决图象数据库系统的设计问题,我们将花较大的篇幅讨论图象数据库的计算理论(目的、策略逻辑)、表示和算法这样两个层次.

一、智能图象数据库系统 ISDBS 的基本构成

一个以 ISDBS 为核心的智能规划系统的系统构成如图 1. 其中虚线以上部分是 ISDBS 各部分的功能和结构简述如下:

系统的核心是图象数据库管理系统 ISDBS 及相应的关系、框架、几何数据库,各库中的相应实体用标识号联系.数据库管理系统主要提供最基本的数据定义语言(DDL)和数据操纵语言(DML)。使用数据定义语言定义完数据库之后,定义就存入字典之中,以备随时调用。所有的查询操作都是调用关系代数、图象代数、像运算程序库中的程序来完成的。

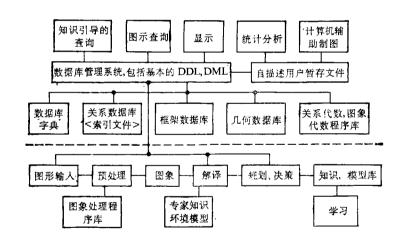


图 1 智能系统的系统组成方框图

查询结果以固定方式存入一自描述的用户暂存文件之中。暂存文件提供了一个很好的输出接口,与暂存文件相联接的是统计分析和计算机辅助制图模块。统计分析模块分析暂存文件中的数据,以表格的形式提供分析结果。而计算机辅助制图模块以显示屏幕为输出器件,进行图的结构、图例、色彩设计、加注,并把最后结果成图。

图形数据的输入是一个比较烦琐复杂的工作。实体一旦数字化,则立即赋予唯一标识号, 分项作预处理,转换成行程编码形式,存入几何数据库中,关系表中的属性输入也可同时进行, 也可分开进行。 辅助规则子系统实际上是一个专家系统。它与一般专家系统不一样的地方是:它的动作大部分必须调用数据库基本操作,因此直接与数据库管理系统相联。与框架库中的知识不同,知识、模型库中存储的是较高层次的知识。其表示方法采用产生式和框架。

以模型为基础的图象解译子系统解译图象,不仅使用图象数据本身,而且也使用诸如环境模型和专家知识。在模型的指导下,从图象数据库中选择、加工空间数据,产生能指导解译的"知识",从而提高解译精度和可信度。解译结果可用以更新图象数据库。

二、系统设计的认知学基础

世界认知学权威 Norman 在谈到认知学研究中的 12 大课题时认为^[7],在人类感知和思维系统中,记忆存储显然是中心。在他给出的现代人类信息处理系统方框图中,记忆存储处于中心地位。它一方面支持视觉,听觉等感觉信号的模式识别,支持行为控制的规划。 另一方面,它又是意识、情感、动机、意向、注意力等思维活动的基础。

然而,人类记忆存储的结构是什么样的呢,各种知识是如何组织的呢?各种存储处理,如检索、解释、回忆、存储组织等又是如何进行的呢?这些将对空间数据库系统的设计提供线索. Kosslyn 提出的视觉思维象(visnal mental imagery)^[8] 模型较好地回答了上述问题,Minsky也论述了存储的内部结构^[7]。在充分的研究认知学的有关理论之后,我们提出了下述系统设计原则:

- (1) 在外界物体的识别、动作规划、思维等一系列人类智能行为中,记忆存在处于中心地位.因此研究图象数据库系统,才具有研究智能图象理解,规划决策的基础,从而组成一个完整的智能系统;
- (2) 记忆存储中的短期存储是工作暂存,这类似于系统中的 Buffer 和图象或图形显示器中的刷新存储器,而长期存储就是数据库本身,它应存储组织严密的视觉信息,包括图象信息及其高层次描述;
- (3)长期存储中的信息组织是非常重要的,一方面,它确是以物体为中心的,另一方面,各信息单元之间必须建立有机联系;
- (4) 查询方式有两大类: 从概念到概念或图象的逻辑思维, 从图象到图象或概念的形象思维.

三、智能图象数据库系统 ISDBS 的模式设计

智能图象数据库应能清楚且系统地表示下述三个方面的内容: (1)空间景物的图形. 它是多层次多时相的序列图. 这些图中的实体可归结为点、线、区域三大类,单物体的形状千变万化; (2)名称或属性数据. 这些数据中有些项是由用户输入的,有些是由其他数据推导而得的,有些数据与其他数据项相关,某一数据的变更会引起与之相关数据的失效; (3)实体之间的关系描述. 这些关系既可以是空间关系,也可以是社会,生态等相互影响关系.

为了有效地、动态地存储和管理上述类型众多、复杂、无规的数据,提供良好的数据检索功能,支持智能化的规划和成图,图象数据库系统必须具有下述功能: (1) 它应具有通用数据库的管理字符型和标量型数据的能力; (2) 应能描述数据项之间的语义关系,从语义的高度描述和解释数据; (3) 应能从实体数据中产生出抽象描述,并具有自动更新描述的能力; (4) 由于

实体的图形数据是多层次的二维图形(二维图形序列或称高维图形数据). 但是,检索结果不一定是以原始实体为单位的,它可以是多个实体执行逻辑交而得到的更小单元。这就是说,数据模式应具有沿二维空间的两个轴向和沿图形序列方向的描述能力。

显然,现有的数据模式都不能满足上述要求,为此,我们采用了以实体为基元的描述方式,为了满足各种检索需要,研究了各种图象代数运算以获得更小的或不规则的查询结果,如前所述,以物体为中心便于进行高层次的语义描述,便于对物体空间关系进行描述,便于进行智能化设计.

我们同时提出了关系-框架-像模式. 关系模式具有简单、有完整的关系代数作为理论背景的优点,关系能较好地管理属性数据,框架能描述物体的层次关系和空间关系. 同时,由于框架中有填槽过程和触发推理功能,它能动态地抽取和刷新物体的属性. 像是物体的视觉表征,使用它是为了建立图象数据库的可视查询语言,以便研制友好的人机交互接口.

关系-框架-像模式可以简单地形式化地描述为

RELATION: = $\langle ATTRIBUTE \rangle \langle FRAME \rangle \langle ICON \rangle$

 $FRAME: = \langle SLOT \rangle$

 $SLOT: = \langle SLOT - name \rangle \langle default - value \rangle \langle if - needed procedure \rangle$

(if-added procedure)

default-value: = \langle integer \langle real \langle character string \rangle

⟨FRAME⟩⟨RELATION⟩

建立了这样的数据模式之后,支持数据查询的就不仅是关系代数,而且有图象代数,它执行图象物体的逻辑运算"与"、"或"、"非"和几何操作"膨胀"、"腐蚀"、"开"、"关",求形状因子的单目运算如求面积、周长、长轴、短轴等以及确定物体问相互空间位置关系的运算。框架操作大部分是由槽中的 if-needed 和 if-added 过程来完成的,各种槽值的比较运算,算术运算同关系代数。

采用上述数据模式之后,系统可以提供两种层次的查询语言和图示查询语言.这两种层次的查询语言中,一种是基本查询语言,它是一系列基本查询操作和修改、插入操作,以子程序方式提供使用,用户可以用它们来编写自己的查询过程,或者构造自己的专家系统.另一种是较高层次的查询语言,它以较为方便的人机对话方式定义查询,系统再将它翻译成关系代数、框架运算、图象代数、输入、输出等基本操作,经优化找到最佳排序方式,完成查询.

可视查询(或称图示查询)是另外一种新型的查询语言,其基本词汇是图形图象形成的像 (ICON). 各实体的像附在相应的关系之中,对实体的查询就可以用显示在屏幕上的像以及像的操作来定义,经过可视查询语言的空间分析器,定义好的查询就翻译成了基本操作,以获得查询结果.可视查询语言直观,对用户要求不高,这将是一个很有诱惑力的语言.

四、智能图象数据库系统 ISDBS 的物理数据结构

一个智能图象数据库系统对物理数据格式的要求不外乎下述几点: (1) 与系统的逻辑模式一致,支持各种高级描述; (2) 有效地支持各种图象代数运算,以提高查询速度; (3) 既能快速转换成光栅格式以支持光栅式的显示和成图,又能转换成矢量格式,以支持矢量形式的显示和成图.

矢量数据格式不能满足上述要求,它是一种基于线和边界的编码方法,表示区域性数据时,不十分有效,执行图象代数运算时会遇到较多的麻烦。另一种得到普遍重视的是四分树形式,从本质上说,线性四分树编码是一种区域编码方法,它试图打破以往数字图象中最小基元是象素的概念,代之以大小不等的方形"基元"。然而,这样的方形基元的尺寸可大可小,一致性不再存在,基元参数除了位置之外,又增加了尺寸,导致了计算复杂性的增加。其中最麻烦的事情是:由四分树表示的区域产生边界比较困难,移位和旋转会导致码的彻底变化,图象代数运算也比较复杂。

我们提出了一整套以物体为中心的行程编码方案.以往用于数据压缩的行程编码是以图象为中心的编码,特别是对灰度图象来说,它不具备任何明显的优点.当使用行程编码对物体区域编码时,一方面,它和矢量型数据形式一样,只编码边界.另一方面,它又和通常的光栅数据形式一样,以点集的形式编码了区域。因此,它既具有矢量型数据形式的优点,又具有光栅型数据形式的优点,支持并行图象代数运算.我们系统地研究并解决了行程编码的定义、图象代数算法、与其它数据形式的转换、快速并行实现、输入输出接口、数字平面上线的厚度等一系列问题,从而成功地应用在智能图象数据库系统 ISDBS 中,在查询、显示速度和灵活性等诺方面表现出很大的优越性.

五、实验结果

ISDBS 的全部研究工作于 1988 年 5 月完成,系统建立在 VAX 系列机上,大部分程序用 C语言写成,显示设备可以是 Model-75 或是图形终端. ISDBS 有自己独立的运行环境,它 在安装时一次建立.

应用 ISDBS 的系统软件,建立了黄土高原安塞试验区信息系统和松江河林业空间数据库系统。这两个地区的面积都约为 3000 km²。黄土高原信息系统中包括地理背景图(行政区、交通、水系、居民点等)、数字地型图(高程、坡度、坡向等)、专题图(土地利用、地貌、土地类型、土壤类型、土壤浸蚀、森林、草场等)。系统存储量约 40 MB。由于关系-框架-像模式中框架的很强的描述能力,很多复杂的查询,如在某一高度范围内的某种土壤的土地、沿某一河流的某种土地等,可以很快地完成。同时,由于模式中像的定义,非常直观的图示查询受到了用户的欢迎。

资源与环境方面的规划和决策种类多、要求迫切。我们研究了一个应用多知识表达方式的知识表示语言 IDL, IDL 有机地综合了框架和规则表示的特点,使用了以物体为中心的框架表示结构性强的图象实体和知识的层次性,用产生式规则表示规划决策知识。IDL 使用易懂的语言格式,它的控制策略支持大数据量推理和上下文的规则管理策略。IDL 还提供灵活的知识库维护和检测手段,以及和 KGIS 的查询接口。IDL 还解决了从视觉信息自动抽象出高层知识的问题。使用 IDL 方便地实现了两个应用规划决策系统: 林业采伐规划和土地利用规划,可以根据用户设定的指标,求出最佳经济效益数字和相应方案的实施地图,以便进一步研究或实施。

ISDBS 也正用于建立三维物体视觉信息系统,其中三维物体及其空间关系的分层描述和 灵活的查询,将为三维物体及场景的识别提供条件。

六、结 论

本文明确地提出了智能图象数据库系统的设计原则、知识化的关系-框架-像模式以及新型的物理数据结构,给出了以知识表示语言 IDL 实现的辅助规划的实验结果,

参. 考 文 献

- [1] Herot, C. F., Spatial Management of Data. ACM Trans, Datubase System, 1980.
- [2] Chang, N. S. & Fu, K. S., A Relational Database System for Images, Pictorial Information Systems. Springer-Verlag, 1980.
- [3] Chang. S. K., Liu, B. S. & Walser, R., A Generalized Zooming Technique for Pictorial Database System, Pictorial Information System, Springer-Verlag, 1980.
- [4] Zobrist, A. L. & Bryant, N. A. Designing an Image. Based Information System, Springer-Verlag, 1980.
- [5] Proceedings of Second International Symposium on Spatial Data Handling, Seattle, Washington, USA, July, 1986, 5---10.
- [6] Marr, D., Vision, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1982.
- [7] Perspectives on Cognitive Science (Ed. Norman, D. A.), Ablex Publishing Corporation, 1981.
- [8] Kosslyn, S. H. et al., Individual Diffirences in Mental Imagery Ability: A Computational Analysis, in Visual Cognition (Ed. Pinker, S.), The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1986.