

MODELO DE DADOS GEO-RELACIONAL : UMA VISÃO CONCEITUAL DE UM
SISTEMA GEOGRAFICO DE INFORMAÇÕES

Guaraci Erthal

Diógenes Salas Alves

Gilberto Câmara

Departamento de Processamento de Imagens
Instituto de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12.201 - São José dos Campos (SP)

SUMÁRIO

Este documento descreve o modelo de dados geo-relacional, arcabouço conceitual do Sistema Geográfico de Informações do INPE. O modelo permite tratar, de maneira unificada, a grande diversidade de informações cartográficas, através de abstrações e operadores (aplicações), e prevê ainda as ferramentas para incorporar um banco de dados relacional ao sistema.

1 DEFINIÇÃO DO MODELO

Este trabalho apresenta um modelo de dados geral para a construção de um Sistema Geográfico de Informações - SGI. O SGI é um banco de dados geográficos, que permite adquirir, armazenar, combinar, analisar, e recuperar informações codificadas espacialmente.

O desenvolvimento de um SGI no INPE evidenciou a necessidade de um modelo geral, que integre um banco de dados relacional e gere um ambiente único para os diferentes formatos de dados. Nas primeiras versões do SGI, entregues a partir do segundo semestre de 1987, o modelo foi formulado de maneira simplificada. A versão apresentada neste trabalho serve de base para a versão 2.1 do SGI, disponível no final do primeiro semestre de 1988, e para as seguintes.

2. FORMATOS BÁSICOS DE DADOS GEOGRÁFICOS

Numa visão geral, os dados geográficos possuem dois componentes: (a) o fenômeno geográfico, i.e., sua identificação e valor; (b) a localização espacial. Deste modo, um SGI lida tanto com dados gráficos (de localização), quanto com dados não-gráficos (atributos de entidades geográficas).

A representação de dados no SGI gráficos pode ser feita de diversas formatos, a saber: vetorial, "raster" (varredura), amostras 3D e grades. Os dados podem ser provenientes de várias fontes e os múltiplos métodos de manipulação dos dados podem requerer representações diferentes.

3. DERIVAÇÃO DO MODELO GEO-RELACIONAL

A derivação do modelo geo-relacional decorre de análises sobre utilizações típicas em ambientes como Cartografia Automatizada (produção de cartas com a ajuda do computador), Geologia (criação de modelos geológicos) e Planejamento Urbano. As abstrações básicas do modelo, apresentadas a seguir, são: projeto, plano de informação, categoria, relação, objeto, classe e documento cartográfico.

3.1 PROJETO

A unidade básica do sistema são os projetos. Cada projeto corresponde a análises sobre uma região, e utiliza o mesmo conjunto de dados. A cada projeto, corresponde um referencial geográfico distinto, que pode utilizar uma projeção cartográfica (UTM, p.ex.), localizações geodésicas (latitude e longitude) ou mesmo uma imagem de satélite que não está geo-codificada.

3.2 PLANO DE INFORMAÇÃO E CATEGORIA

Um projeto contém planos de informação (PI). Um PI é um conjunto de elementos de mesmas características (lotes, fazendas, redes viárias, rios, etc), que podem estar associados a dados não-gráficos. A altimetria, o uso do solo, a hidrografia e a rede elétrica são exemplos de PIs. Esta noção permite que todas as informações de um mesmo levantamento, independentemente do formato, sejam vistas externamente de uma maneira unificada.

Como exemplo, um PI correspondente à altimetria pode conter, entre outros, as representações: vetorial (isolinhas), amostras 3D (amostras esparsas), grade regular (resultado da interpolação) e raster (arquivo no formato de varredura).

Os PIs são agrupados em categorias, conforme a natureza da informação geográfica. Cada categoria engloba os grandes grupos de dados na Cartografia, e um projeto pode incluir PIs de uma ou mais categorias.

As categorias presentes no modelo são:

- . Areas ou polígonos: polígonos que delimitam regiões.
- . Modelos Numéricos de Terreno (MNT): distribuição espacial de uma grandeza física (altimetria, teor de minerais, etc.) (Felgueiras et alii, 1987).
- . Redes: permitem a representação de rodovias, rede elétrica e de água, etc.
- . Hidrografia: representação de corpos d'água de diversas naturezas (ríos, lagos, etc).
- . Pontos: entidades pontuais que podem denotar a ocorrência de um fenômeno num ponto do espaço. Um ponto pode ser representado graficamente através de um marcador ou de uma convenção cartográfica.
- . Imagens: dados no formato raster, obtidos por sensores espaciais ou aerotransportados.

Na definição das categorias presentes no SGI, foram utilizados dois critérios: topologia e formato. Os dados poligonais, as redes e a hidrografia tem topologias definidas e distintas. A definição de hidrografia como categoria distinta decorre da mistura das características de dados poligonais (lagos) e de rede (ríos). A necessidade de categorias adicionais decorre da existência de dados que são utilizados na forma "raster" (caso de imagens) e na forma de grade (caso de MNT).

A tabela 1 apresenta maiores detalhes. O termo entidade manipulável refere-se aos elementos geográficos que constituem PIs desta categoria, e representação refere-se aos diferentes formatos possíveis para o conteúdo de um PI.

TABELA 1
CATEGORIAS DO MODELO GEO-RELACIONAL

Categoria	Exemplos	Entidade Manipulável	Represent.
Dados Poligonais (POLIG)	Uso do Solo, Culturas, Lotes	Área	Vetorial, Varredura
Modelos Numéricos de Terreno (MNT)	Altimetria, Geofísica, Geoquímica	Elemento do Terreno	Amostras, Grade, Raster, Vetorial
Redes (REDE)	Rodovias, Água e Esgotos	Elementos da Rede	Vetorial, Varredura
Hidrografia (HIDRO)	Rios, Lagos, Regiões inundáveis	Corpo de Água	Vetorial, Varredura
Imagens Multiespectrais (IMAG)	Imagens de Satélite	Banda	Varredura
Pontos (PTOS)	Poços, Igrejas, Aeroportos	Entidade isolada	Vetorial

A categoria de Pontos envolve a existência de uma biblioteca de símbolos cartográficos. Na biblioteca, cada elemento geográfico está associada a um símbolo, que pode ser manipulado pelo sistema.

3.3 OBJETOS, CLASSES E RELACÕES

Os objetos geográficos são os elementos manipulados pelo banco de dados relacional, e correspondem a ocorrências geográficas do mundo real. Fazendas, lotes, troncos de rede elétrica e rios são exemplos de objetos.

Os objetos de um PI só são identificados pelo sistema quando existir a representação vetorial deste PI. A instanciação de cada objeto dentro de um PI só ocorre no momento em que se tornam disponíveis informações que o permitam diferenciar dos demais. Assim, um mapa temático no formato "raster" não terá indicação dos objetos presentes. Os objetos se tornam diferenciados após a realização de uma transformação "raster"-vetor.

Um objeto é caracterizado pelos seguintes dados:

- IDENTIFICADOR: é o cardinal atribuído a cada objeto e que serve como identificação inequívoca.
- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA: inclui a TOPOLOGIA, a GEOMETRIA e o ASPECTO do objeto. A topologia de um objeto descreve o relacionamento espacial entre este objeto e seus vizinhos. A geometria de um objeto é a sua localização espacial na base de dados geo-codificada (pode estar em coordenadas vetoriais, ou pontos de grade). O aspecto são as características utilizadas para apresentação gráfica do objeto, tais como transformação de coordenadas, cor, estilo de preenchimento, tabela de cores.
- CLASSE: atributo comum a objetos de um PI que apresentem características semelhantes, conforme critério pré-estabelecido. Pode ser resultante de aplicação de algoritmos de reconhecimento de padrões sobre uma imagem de satélite, da escolha de algum dos atributos relacionais do objeto, ou de atribuição no momento da entrada de cada objeto. Na representação "raster", cada pixel pertencente ao objeto tem apenas o valor de sua classe.
- ATRIBUTOS RELACIONAIS: são informações não-gráficas que caracterizam as propriedades de um objeto. Essas propriedades são expressas por uma relação, e manipuladas pelo banco de dados.

Cada PI possui uma TABELA DE CLASSES, indicando, para cada classe, a cor escolhida para visualização, e a cota associada, no caso de modelos numéricos de terreno.

A integração de um banco de dados ao sistema requer a definição de relações para cada PI. Cada objeto de um PI será uma tupla de uma relação definida para este PI. A definição das relações supõe que objetos que representam entidades geográficas de mesma natureza tem atributos relacionais semelhantes.

3.4 DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Um dos aspectos centrais de um SGI a possibilidade de geração de mapas contendo informações combinadas sobre a região de interesse. O modelo define um documento cartográfico como produto a ser gerado pelo sistema, a partir de um conjunto de PIs.

3.5 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DE DADOS NO MODELO

Num resumo da organização geral do modelo geo-relacional, a seguinte hierarquia interna é prevista:

- .Projeto
 - . Plano de Informação (de uma categoria)
 - .Objetos (tuplas de uma relação)

Um projeto terá vários Planos de Informação (PI), onde cada PI pertence a uma das categorias do SGI. Cada PI é composto de um conjunto de objetos, onde cada objeto tem identificação única. Para cada PI, pode-se definir um conjunto de relações. Objetos com mesmos atributos não-gráficos (relacionais) são instâncias (tuplas) da mesma relação.

Uma definição formal destes conceitos seria denotar um PI como uma ênupla (C, O, R^*, F, G) , onde:

- C: conjunto (c_1, \dots, c_n) de classes;
- O: conjunto (o_1, \dots, o_k) de objetos;
- R*: lista (R_1, \dots, R_m) de relações;
- F: função $O - C$ (define para cada objeto, sua classe);
- G: função $O - R^*$ (define para cada objeto, sua relação);

Cada objeto o pode ser visto com uma tupla pertencente à relação R, que é o resultado da função $G(o)$.

4. OPERADORES DO MODELO GEO-RELACIONAL

Os operadores do modelo geo-relacional representam as principais funções do sistema, e podem ser divididos em cinco classes:

- Definição: montagem do ambiente geo-relacional;
- Entrada: inserção de novos dados (e seus atributos) no sistema.
- Conversão: transformações de formato (raster(-)vetor, grade (-) vetor e grade (-) raster) e transformações geométricas;
- Manipulação: geração de novos PI a partir de operações de combinação entre um ou mais PIs;
- Consulta: acesso ao banco de dados relacional;
- Saída: geração de documentos cartográficos.

No que segue, para um número ilustrativo de operadores, é indicada suas consequências no modelo.

4.1 OPERADORES DE DEFINIÇÃO

Os operadores de definição permitem a montagem do ambiente do modelo geo-relacional.

- Definição de Projeto: inicializa as estruturas de um projeto.
- Definição de PI: inclui a descrição de um novo PI dentro de um projeto.
- Definição de Relação: define as relações presentes no PI e seus atributos (domínios)

4.2 - CONVERSÃO

- Transformação Vetor -> Raster: obtenção de uma imagem (formato raster) a partir de dados vetoriais;
- Refinamento de Grade Regular: transforma uma grade regular num arquivo de imagem (valores discretos), com maior densidade de pontos.
- Transformação Raster -> Vetor: obtenção de um arquivo vetorial, a partir de uma imagem. Inclui a instanciação dos objetos presentes no PI.
- Geração de contornos : Obtenção de mapas de isolinhas (vetoriais), a partir de grades regulares.

4.3 - MANIPULAÇÃO

Operadores que obtêm novas informações a partir do inter-relacionamento entre os dados espaciais disponíveis na base de dados. Geram sempre novos PIs a partir de PIs existentes. Incluem:

- área - cálculo de área para todas as classes de um dado PI.
- distância - geração de um mapa de distâncias a um conjunto de classes selecionadas de um dado PI.
- declividade - geração de um mapa de declividades (poligonal) a partir de um MNT.
- reclassificação - definição de um novo PI pela união de classes de um PI existente na base de dados. A categoria do PI de saída será a mesma da entrada, com a exceção do caso de um MNT, que terá como saída um dado Poligonal.
- sobreposição - operações lógicas entre dois PIs. Através desta operação, pode-se gerar um novo PI pela união (OU lógico) ou intersecção (E lógico) das classes de dois PIs.
- geração de perfis em MNEs - obtenção de cortes em MNEs.
- volume - cálculos volumétricos em MNEs.

4.4 OPERADORES DE CONSULTA

Os operadores de consulta permitem a realização de operações relacionais com os atributos não-gráficos do SGI. As operações usuais da álgebra relacional (seleção, projeção, junção e divisão) adicionam-se duas funções especiais, para apresentação dos resultados e para inserção dos resultados no ambiente SGI.

- Entrada de Atributos Relacionais: Permite a entrada de atributos relacionais para cada um dos objetos presentes no PI, conforme a definição de relação feita anteriormente
- Operadores Relacionais: Tratam-se das operações de álgebra relacional padrão.
- Mostra resultado : Permite a apresentação gráfica do resultado de operações relacionais sobre os atributos não-gráficos dos objetos de um PI.
- Cria PI resultado : Realiza a criação de novo Plano de Informação, com o resultado de operações relacionais.

4.5 OPERADORES DE SAÍDA

Os dois principais operadores de saída são a definição e a geração de documento cartográfico. A definição de um documento cartográfico inclui todos os parâmetros necessários para a geração do mesmo, como o conjunto de PIs envolvidos, a legenda, os textos e a transformação de saída (escala, coordenadas de projeção e do dispositivo). O documento pode ser gerado automaticamente, utilizando uma definição previamente realizada.

5. CONCLUSÕES

O modelo aqui apresentado está sendo utilizado no desenvolvimento do SGI do INPE e serve como arcabouço conceitual no tratamento de uma ampla gama de problemas relacionados com a informação geográfica.

Possíveis extensões do modelo seriam a criação de hierarquias de dados, uso de conceitos como agregação e generalização (Smith and Smith 1977), e que representam objeto de pesquisa atualmente.

6. BIBLIOGRAFIA

INPE (vários autores), Especificação do SGI versão 2.0. Instituto de Pesquisas Espaciais - Departamento de Processamento de Imagens, S. José dos Campos, Setembro de 1987.

Câmara Neto, G e Erthal, G., "Integração de modelos relacionais em sistemas geograficos de informação" II Simpósio Brasileiro de Banco de Dados, Porto Alegre, maio 1987, pg 39-48.

Felgueiras, CAF; Erthal, GJ; Dias, LAV; Paiva, JAC e Câmara Neto, G. "Um Sistema de Modelagem Digital de Terreno para Microcomputador", Anais X Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 21-25 de setembro de 1987, Gramado, pp 280-285.

Mendes, CL; Garrido, JCP; Câmara Neto, G; Souza, RCM "Evolução da família de sistemas de tratamento de Imagens do INPE" IV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Gramado, 1986.

Nagy, G and Wagle, S "Geographic data processing" ACM Computing Surveys, 11 (2), June 1979, 139-181.

Smith, JM and Smith, DCP "Database Abstractions: Aggregation and generalization" ACM Trans on Database Systems 2, 2, June 1977, 105-133.

Tomlinson, R and Boyle, R "The state of development of systems for handling natural resources inventory data" Cartografica, 18 (4), 1981, 65-95.