

2

Trabalhos anteriores

O presente capítulo descreve as principais metodologias e sistemas de interpretação de imagens baseada em conhecimento e as iniciativas, realizadas até o presente momento, para a aplicação de métodos baseados em conhecimento a fim de interpretar imagens de baixa resolução obtidas por satélite, incluindo alguns artigos publicados ao longo desta tese. Cabe aqui mencionar que o texto a seguir não pretende ser um extenso levantamento do estado da arte, explorando profundamente as diversas soluções e aplicações, porém, meramente apresentar de modo sucinto a evolução das soluções deste problema baseadas no emprego de conhecimento.

2.1.

Estado da arte da interpretação de imagens de sensores remotos com uso de conhecimento prévio

O problema da interpretação automática de imagens de sensores remotos vem sendo intensamente pesquisado. Analisando alguns dos sistemas de interpretação baseados em conhecimento existentes na literatura (McKeown, 1985; Matsuyama, 1990; Clément, 1993; Niemann, 1990; Liedtke, 1997; Bückner, 2001), podem ser identificados na maioria deles os seguintes componentes:

- a) os próprios sensores remotos que fornecem as imagens de entrada;
- b) os dados de SIG (Sistema de Informação Geográfico) da região enfocada;
- c) os algoritmos de processamento de imagem;
- d) o conhecimento prévio sobre a região em análise; e
- e) a lógica de controle do processo de interpretação.

Em geral, a lógica de controle gerencia a interação entre os demais componentes. Este dispositivo dispara os algoritmos de processamento de imagem numa ordem coerente com a semântica da cena. Neste processo, a semântica,

normalmente fornecida por especialistas na região analisada, possui papel decisivo, pois corresponde ao conhecimento específico sobre os objetos esperados na cena. Desta forma, se permite que a cena seja interpretada de forma semântica (Rares, 1999), associando regiões da cena às classes de objetos presentes na base de conhecimento.

Na literatura, várias abordagens para a interpretação de imagens e fusão de sensores vêm sendo apresentadas. Porém, em apenas algumas, os autores tentaram formalizar a representação do conhecimento prévio; (Sowa, 2000) apresenta diversas formas de representação de conhecimento. Em alguns casos, como SPAM (McKeown, 1985) e SIGMA (Matsuyama, 1990), que implementam um controle hierárquico e constroem os objetos incrementalmente, são considerados múltiplos níveis de detalhamento. Mais especificamente, SIGMA emprega *frames* (Minsky, 1974) para a formalização do conhecimento. Segundo o próprio Minsky: “Um *frame* é uma estrutura de dados para a representação uma situação estereotipada ... Conjuntos de *frames* inter-relacionados podem ser agrupados em sistemas de frames (*frame systems*)”. A idéia fundamental é bastante simples: *frames* são os objetos fundamentais do sistema que representam fenômenos e conceitos do mundo real (Lassila, 1990). MESSIE (Clément, 1993) emprega *frames* e regras de produção (*production rules*) para modelar os objetos explicitamente, distinguindo quatro pontos de vista: geometria, radiometria, contexto espacial, e funcionalidade. Neste modelo, as regras de produção descrevem um contexto ou situação particular e envolvem um fator de certeza correspondente à frequência da ocorrência de cada classe neste contexto. ERNEST (Niemann, 1990; Sagerer, 1997) aplica redes semânticas (Quillian, 1968; 1969; Brachman, 1991) – formalismo que segundo Grau e Tönjes (1994) foi empregado em diversos problemas de reconhecimento de sinais como em (Sagerer, 1996), por exemplo – para representar a estrutura dos objetos, servindo como base de conhecimento específica para o problema.

O crescente número de regiões representadas vetorialmente em sistemas de informação geográfica, SIG, inspirou o desenvolvimento de AIDA (Liedtke, 1997). A inovação principal deste sistema de interpretação baseada em conhecimento é a utilização de informações provenientes de SIG em conjunto com o conhecimento prévio, modelado sob a forma de redes semânticas. A rede semântica em AIDA possibilita ainda que múltiplos sensores remotos sejam

empregados simultaneamente (Tönjes, 1998). Dentre as vantagens oferecidas, pode ser destacado que a integração de informação proveniente de SIG reduz a incerteza e ajuda a guiar a interpretação. Este protótipo foi aplicado na interpretação de imagens de múltiplos sensores e multitemporais (Growe, 1999), numa resolução compatível com imagens aéreas, onde os componentes dos objetos relevantes como edifícios, casas, fábricas e florestas podem ser observados. As redes semânticas em AIDA são organizadas em diversos níveis. O nível superior modela a semântica dos objetos a serem reconhecidos na cena, enquanto o nível hierarquicamente inferior corresponde às primitivas observadas nas imagens. As diversas camadas da rede correspondem a diferentes graus de abstração, e promovem uma descrição estrutural da cena. O processo de interpretação explora a base de conhecimento a fim de produzir a descrição simbólica da cena (Kock, 1997).

Com uma nova forma de realizar a descrição genérica da cena, o sistema GEOAIDA, Geo Automatic Image Data Analyser, (Bückner, 2001, 2002a, 2002b; Liedtke, 2001) incorpora uma abordagem holística às principais vantagens de seu antecessor. Esta modelagem considera que um objeto deve ser considerado por inteiro, ou seja, de forma global, não devendo ser subdividido. Neste sistema, operadores holísticos podem ser facilmente incorporados aos nós da rede semântica. A rigor, trata-se de uma abordagem híbrida, pois no caso destes operadores estarem impossibilitados de atuar, a análise prossegue de forma estrutural. A principal vantagem promovida quando estes métodos têm sucesso é a redução do tempo gasto na interpretação do conhecimento, processo que envolve pesada carga computacional. Além disso, o sistema GEOAIDA (Bückner, 2002a) utiliza conhecimento prévio sobre a cena interpretada para controlar inteligentemente a execução os operadores.

Na presente seção, foram apresentados os principais sistemas de representação de conhecimento disponíveis na literatura. A seção a seguir descreve a aplicação de métodos baseados em conhecimento para a interpretação de imagens de satélite de baixa resolução.

2.2.

Aplicação de métodos baseados em conhecimento para a interpretação de imagens de baixa resolução obtidas por satélite

Até o presente momento, de uma forma geral, as escassas aplicações presentes na literatura que fazem uso de conhecimento prévio para a análise de imagens de baixa resolução obtidas por satélite têm como principais objetivos monitorar o desenvolvimento urbano e realizar a atualização de mapas.

Yun Zhang (1998) descreve uma metodologia que objetiva detectar as mudanças do uso da terra. A fim de demonstrar o potencial do método proposto são simultaneamente empregadas imagens dos satélites SPOT e LANDSAT TM para a atualização dos mapas urbanos da região de Shanghai na China. A abordagem proposta reconhece áreas verdes, água e edificações. Como resultado final os mapas temáticos de um SIG são atualizados dando destaque às novas edificações.

Outra abordagem que emprega conhecimento prévio para a análise de imagens de baixa resolução obtidas por satélite é descrita em (Kunz, 1997, 1999). Nestes artigos, Kunz e Kunz et al. empregam o sistema de interpretação auxiliada por conhecimento prévio ERNEST, que assim como o sistema GEOAIDA se baseia em redes semânticas, porém realiza uma análise puramente estrutural. A abordagem proposta distingue três domínios: cena, SIG e imagem. O domínio da cena corresponde ao mundo real, os domínios do SIG e da imagem compreendem representações do mundo real no SIG e na imagem. Basicamente, a metodologia proposta compara o conteúdo do domínio da imagem ao do SIG. O modelo digital do SIG fornece o conteúdo da cena que é empregado como conhecimento prévio, modelado por uma rede semântica, e serve para a estimação automática dos valores típicos dos parâmetros dos objetos de interesse. Dentre os parâmetros empregados estão a resposta espectral além de diversos parâmetros de textura baseados na dependência espacial.

Largouet e Cordier (2002) apresentam uma abordagem para a análise multi-temporal de uma sequência de imagens de baixa resolução de diferentes satélites. Para isso é aplicado um modelo temporal chamado *timed automata* na representação da evolução do cultivo, incluindo o ciclo e a rotação das diversas culturas.

No sistema especialista para a interpretação de imagens de satélite ICARE (Desachy, 1991), o conhecimento específico é armazenado na base de conhecimento como um conjunto de *regras de produção*. A base de fatos é composta pela imagem de entrada e informações provenientes de GIS. A base de conhecimento é preparada através de uma interface para um compilador de regras na linguagem PROLOG.

Uma outra abordagem para a análise de imagens baseada em conhecimento é descrita em (Suzuki, 2001). Neste artigo Suzuki et al integram conhecimento estrutural ao processo de classificação da imagem. O passo inicial é realizado por um classificador nebuloso (*fuzzy classifier*) que produz uma segmentação inicial da imagem. Em seguida, este resultado vai sendo melhorado à medida que se maximiza a adequação entre as regiões e o conhecimento estrutural.

Estas poucas incursões no tema do uso de conhecimento para a interpretação de imagens de satélite de baixa resolução não ultrapassaram ainda o estágio de pesquisa preliminar. Trata-se, portanto, de um tema com muitas questões ainda inexploradas.

Além destes aspectos, pode-se reconhecer o caráter inédito desta pesquisa ainda no conjunto de abordagens escolhido combinado às características particulares da aplicação. A este respeito ressaltem-se os seguintes aspectos desta tese:

- A definição de métodos para modelagem do conhecimento prévio permitindo a reprodução do raciocínio empregado pelo foto-intérprete durante a interpretação de imagens de satélite de baixa resolução.
- A avaliação da contribuição individual fornecida por cada uma das modalidades de conhecimento empregadas – espectral, contextual e multitemporal.
- Embora, os processos de acesso ao conhecimento sejam de aplicação universal parte do conhecimento a ser incorporado num sistema deste tipo é específica das áreas analisadas. O uso de conhecimento estará sendo investigado pela primeira vez na interpretação de imagens dos sítios alvo escolhidos nesta pesquisa.

- As áreas escolhidas para o estudo são dominadas por atividades agropecuárias ou mata nativa, enquanto a maioria dos trabalhos anteriores está voltada a áreas urbanas.

2.2.1.

Publicações produzidas ao longo desta tese

Ao longo desta tese foram publicados 3 artigos em congressos internacionais relatando os resultados preliminares.

Em (Müller, 2003), o sistema de interpretação baseada em conhecimento, GEOAIDA, foi aplicado à análise de uma imagem do satélite SPOT 3 XS. Os resultados obtidos demonstraram o potencial de abordagens baseadas em conhecimento para a interpretação de imagens de satélite de baixa resolução.

Em (Mota, 2003), o sistema GEOAIDA foi empregado para automatizar a pós-edição, uma das etapas da interpretação visual assistida por computador. Normalmente, nesta etapa, os foto-intérpretes utilizam sua experiência além de informações adicionais a fim de corrigir as inconsistências produzidas nas etapas precedentes da interpretação. Nos experimentos, foram empregadas imagens do satélite de baixa resolução LANDSAT TM. Os resultados produzidos indicaram que o conhecimento que os intérpretes empregam na pós-edição pode ser modelado e que tal tarefa pode ser realizada de forma automática.

Em (Pakzad, 2003), é apresentado um procedimento para a interpretação multitemporal de imagens LANDSAT TM de uma região coberta por diferentes categorias de cobertura vegetal. Basicamente, dado o estado anterior o procedimento modela as possíveis transições, considerando tanto restrições biológicas quanto legais.