2

Trabalhos anteriores

Este capítulo apresenta alguns dos principais trabalhos anteriores sobre análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto visando estimativas de áreas agrícolas, estudos sobre fenologia e algumas aplicações recentes dos Modelos de Markov Ocultos.

2.1.

Interpretação multitemporal de imagens de sensoriamento remoto

A tecnologia de sensoriamento remoto fornece meios para o monitoramento de áreas extensas em termos de florestas, recursos hídricos, ecossistemas, áreas produtivas e espaços urbanos, entre outros. Apesar do aumento no número de novos sensores orbitais nos últimos anos e dos recentes avanços na tecnologia de software de apoio ao tratamento de imagens de sensoriamento remoto, a interpretação das imagens é ainda realizada de forma predominantemente manual, o que requer grande esforço, experiência e perícia do foto intérprete. Este conhecimento fornecido pelo especialista sobre a região analisada é de extrema importância e influencia decisivamente o resultado da interpretação sobre os objetos esperados na cena.

A maior parte dos algoritmos de processamento de imagens convencionais, disponíveis em softwares comerciais, produz resultados fragmentados, incompletos e até mesmo contendo erros, tornando necessária a execução de uma etapa posterior de correção manual. Neste processo de pós-edição, o foto intérprete usualmente utiliza informações adicionais, além das imagens, disponíveis em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), assim como o seu conhecimento específico da região sob análise e a sua experiência. Devido à crescente necessidade de monitoramento via sensores remotos associada ao longo tempo gasto para a pós-edição visual, cresce a demanda por uma tecnologia capaz de aumentar o grau de automação da interpretação de imagens a fim de melhorar a produtividade e rapidez do processo.

Ultimamente, tem crescido em todo o mundo o interesse pelos chamados sistemas baseados em conhecimento. Estes são sistemas que procuram modelar em um ambiente computacional o conhecimento e o raciocínio do foto intérprete e emular sua capacidade de combinar dados de diferentes fontes e diferentes formatos na avaliação de imagens de sensores remotos, de modo a realizar automaticamente a tarefa do operador humano.

Os sistemas baseados em conhecimento podem utilizar inúmeras formas de conhecimento, entre elas está o multitemporal. Este tipo de conhecimento expressa o comportamento de uma classe de um objeto em instantes diferentes de tempo.

Em alguns trabalhos anteriores, os diagramas de transição de estado têm sido utilizados como ferramenta para modelar o conhecimento multitemporal. Em (Pakzad, 2001) e (Grove, 2001), as transições estão associadas a um valor que denota a probabilidade de cada transição ocorrer. Em (Campos et al., 2005) os diagramas de transição de estado são utilizados para expressar a relação entre a classe de um objeto em um dado momento e a classe do mesmo objeto em um instante anterior. Os valores de probabilidade de transição representados no diagrama são utilizados como parâmetros das funções discriminantes. Estes valores são estimados utilizando algoritmos genéticos a partir de dados de datas anteriores à da imagem analisada.

Em (Mota et al., 2007), uma abordagem possibilística é introduzida de forma a modelar transições de classes de cobertura do solo. Possibilidades de transição de classe são estimadas por meio de Algoritmos Genéticos, cuja função objetivo é a taxa de acerto médio baseada nas amostras de treinamento. A partir de uma classificação *crispy* anterior da região de interesse e os valores das possibilidades de transição de classe, uma classificação *fuzzy* é obtida e então combinada com a resposta de uma classificação *fuzzy* de uma imagem de uma data posterior.

Em (Pakzad et al, 2003), é descrito um procedimento para a interpretação multitemporal de áreas de vegetação no Brasil usando imagens landsat TM 5. Neste trabalho, o conhecimento multitemporal é introduzido no processo de classificação através de um diagrama de transição de estado que define as transições possíveis, de acordo com razões biológicas e limitações regidas por

leis. O conhecimento multitemporal reduz o espaço de busca e, conseqüentemente, os erros de classificação.

Em (Shao et al., 2002), dados multitemporais de RADARSAT, adquiridos entre 1996 e 1997, são utilizados para monitoramento e estimativa de produção de arroz na China através de métodos computacionais. Já em (Zhou et al., 2008), esse tipo de conhecimento é aplicado em uma classificação e pós-classificação (para detecção de mudanças) baseadas em objetos, utilizando imagens aéreas multitemporais de alta resolução espacial da região metropolitana de Baltimore de 1999 a 2004. Neste trabalho, é efetuada uma classificação baseada em regras para classificar objetos primitivos em uma de cinco classes de cobertura de solo.

2.2.

Estimativas agrícolas a partir de imagens de sensoriamento remoto

Com uma demanda crescente por informações exatas sobre o estado de diferentes culturas agrícolas, como foi mencionado no capítulo anterior, dados provenientes de sensores remotos têm sido cada vez mais empregados em atividades relacionadas a estimativas agrícolas.

Em (Gleriani, 2004), é investigada uma metodologia de classificação de cobertura agrícola baseada em redes neurais artificiais em dez imagens do sensor ETM+ do ano de 2002 da região de Miguelópolis (SP). As redes neurais utilizadas neste trabalho geram bons resultados de classificação, além de se mostrarem tolerantes a dados ausentes. Esses resultados são comparados com os de um algoritmo de máxima verossimilhança, o qual tem desempenho inferior.

Em (Sanches, 2004), é feita uma análise multitemporal do comportamento espectro-temporal de culturas agrícolas baseada em imagens Landsat, e a estimativa de área agrícola das principais culturas nos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, SP (mesma área de estudo desta dissertação), é obtida. São feitos dois tipos de classificação, um utilizando o classificador de máxima verossimilhança, e outro utilizando o classificador Isoseg. De acordo com a taxa de acerto global, os resultados das duas classificações automáticas não são satisfatórios, sendo o resultado obtido com o Isoseg pior do que o obtido pela classificação por máxima verossimilhança.

Já em (Epiphanyo, 2007), o objetivo principal do trabalho é avaliar a capacidade das imagens do sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*) na estimativa da área plantada com a cultura da soja no estado do Mato Grosso na safra 2005/2006. A metodologia empregada é a da classificação por Superfície de Resposta Espectro-Temporal (SRET), para quantificar a área com a cultura da soja. A classificação individual de cada um dos segmentos de referência apresenta uma taxa de acerto global superior a 95%.

2.3. Fenologia

Fenologia é o ramo da Ecologia que estuda os fenômenos periódicos dos seres vivos e suas relações com as condições do ambiente, tais como temperatura, luz, umidade, etc. (Fina & Ravelo, 1973). Este ramo estuda o ciclo biológico das plantas, que compreende o acompanhamento de fases como a floração, frutificação e mudança foliar.

O estudo de fenologia é uma disciplina antiga em diversos países. Recentemente, a pesquisa neste campo se intensificou devido ao fato da fenologia estar fortemente ligada ao clima, podendo ser um indicador sensível de mudanças climáticas locais ou mesmo globais (Cleland et al., 2007). De forma a não apenas considerar aspectos locais da fenologia, mas sim em uma escala global, estudos de fenologia baseados em sensoriamento remoto têm atraído interesse de diversos pesquisadores, exemplos disso são (Reed et al., 2005), (Ahla et al., 2006) e (Törmä et al., 2007).

Existem diversos estudos na área de classificação de cobertura de solo, porém são poucos os que utilizam modelos fenológicos para ajudar no processo de classificação, ainda que o desenvolvimento desses modelos seja extensivamente mencionados na literatura, como por exemplo, em (Zhang et al., 2001).

Em (Sakamoto et al., 2005), um método é desenvolvido para a classificação de estágios fenológicos de plantações de arroz através de dados de sensoriamento remoto (MODIS) e com auxílio de técnicas como transformadas de Fourier e Wavelet. Em (Viovy & Saint, 1994), é sugerido o uso de Modelos de Markov Ocultos de fenologia para a identificação dos estágios fenológicos de vegetações nas savanas africanas.

A técnica de HMM foi escolhida para ser utilizada neste trabalho, principalmente para a identificação de culturas agrícolas no estado de São Paulo, assim como para identificar os estágios fenológicos ao longo dos ciclos dessas culturas.

2.4. Aplicações de Modelos de Markov Ocultos

A teoria básica dos Modelos de Markov Ocultos foi publicada pela primeira vez na segunda metade da década de 1960 em (Baum & Petrie, 1966). Uma de suas primeiras aplicações foi em problemas de processamento de voz e vem sendo usada desde então como, por exemplo, em (Juang & Rabiner, 1998) e (Aarnio, 1999) para reconhecimento de voz, em (Maskey & Hirschberg, 2006) para resumo de texto falado sem qualquer tipo de registro escrito e em (Nogueiras et al. 2001) para reconhecimento de emoções através do discurso falado.

Na segunda metade dos anos 80, os HMMs começaram a ser usados na análise de seqüências biológicas, em particular o DNA e este uso se tornou cada vez mais freqüente com o passar do tempo (Birney, 2001). Alguns trabalhos merecem ser citados, como (Boys et al., 2000), onde HMMs foram aplicados na detecção de segmentos homogêneos em seqüências de DNA e (Conroy et al., 2001), onde HMMs foram usados na identificação de cromossomos.

Existem ainda outros tipos de aplicações dos Modelos de Markov Ocultos relacionados à área de processamento de imagens. Um exemplo é (Otsuka, 1997) onde é utilizado um método baseado em HMM para reconhecimento de expressões faciais de diversas pessoas e (Huang et al., 2008) onde o mesmo tipo de método é utilizado para a extração de caracteres de documentos.

Ainda na área de processamento de imagens, os HMM's vêm sendo empregados na classificação de tipos de vegetação. (Viovy & Saint, 1994) busca identificar estágios fenológicos de vegetação numa região africana. O princípio básico do método é construir um modelo do perfil temporal de radiometria baseado em um dado comportamento fenológico. Esta aplicação mostrou que com um modelo relativamente simples, informações importantes sobre a dinâmica da vegetação (início e duração do ciclo) em grande escala podem ser extraídas automaticamente.

Em (Aurdal et al., 2005), HMM's e modelos fenológicos são utilizados para a classificação de tipos de vegetação na Noruega. Assim como no trabalho descrito nesta dissertação, os autores utilizam técnicas mais comuns de classificação como máxima verossimilhança para fins de comparação. Em ambos os trabalhos estas técnicas geraram taxas de acerto menores do que as obtidas por métodos baseados em HMM.