

Simulação preditiva aplicada a uma seqüência de imagem de satélites a partir de análise espaço-temporal

TANIA MEZZADRI CENTENO¹

GILLES SELLERON²

¹CPGEI/DAINF – CEFET-PR

Av. Sete de Setembro 3165 - 80230-901 - Curitiba - PR, Brasil

mezzadri@cpgei.cefetpr.br

²Université Toulouse le Mirail – Maison de la Recherche

GEODE – 5, all. Antonio Machado 31058 Toulouse, França

max@decom.fee.unicamp.br

Abstract Spatial evolutions de anthropized ecosystems ang the progressive transformation of spaces in the course of time is a special interest issue in researches about the environment. This evolution gives rise a considerable problem in terms of prospective. We present a new method linking image analysis e "fuzzy logic" allowing to get a prediction of terrain lescape for an established date from a sequence of n maps representing the terrain conditions for distinct years. The test-site is located in a tropical rain country: the oriental piedmont of Andes Mountain in Venezuela. This large area - at the scale of a spot satellite imagem - is typical of tropical deforestation in a pioneer front. The experimental tests have showed promising results.

Keywords: spatio-temporal prediction, satellite.

1 Introdução

As evoluções espaciais de sistemas antropizados e a transformação de espaços ao longo do tempo surgem cada vez mais como assuntos de especial interesse em pesquisas relacionadas ao meio-ambiente. Esta evolução constitui uma das grandes preocupações no gerenciamento de espaços. A evolução da paisagem de uma região específica e a perspectiva de seu futuro estado surgem como um assunto particularmente importante. Qual será o estado desta região em 15, 30 ou 50 anos?

Na verdade, o tempo é constituído de eventos hierárquicos [Worboys, 1995] e pode produzir transformações sobre uma determinada entidade geográfica como por exemplo: o seu surgimento, seu desaparecimento ou mesmo a união de entidades espaciais. Estas transformações são chamadas de fenômenos temporais [Claramunt, 1994]. Nós descrevemos neste trabalho um método de análise e predição da paisagem de um terreno para uma data a partir de uma seqüência de n mapas geográficos que representam o estado de uma região em diferentes anos. Este método permite ao geógrafo interessado em problemas relacionados à perspectiva ambiental obter documentos cartográficos que mostrem as futuras condições da paisagem de uma região.

O método proposto é baseado na análise das zonas de progressão e de regressão da floresta. Assim, fatores importantes na evolução da região são considerados para propósitos de predição. O método proposto para a modelagem da evolução se apoia na análise da evolução dinâmica da paisagem do piemonte oriental da cordilheira dos Andes, na Venezuela. Um método de predição e modelagem da evolução de uma região para anos futuros é aplicado nesta área de teste que revela mudanças espaço-temporais. Para isto são usadas técnicas da lógica *fuzzy*.

2 Descrição do problema

Dada uma seqüência de n mapas caracterizando um fenômeno cartográfico temporal contínuo para n instantes t_1, \dots, t_n , de forma que $t_1 < \dots < t_n$, deseja-se modelar a evolução do fenômeno no instante t_{n+1} .

As diferentes técnicas usadas na análise de movimentos são baseadas na perseguição de pontos particulares de segmentos dos objetos estudados. Tais técnicas necessitam que os objetos estudados não mudem sua forma e este não é o caso dos exemplos deste trabalho.

Em [Centeno, 1994] o método de predição usa dados geográficos vetoriais e está fundamentado no estudo da posição e forma das entidades espacial em cada mapa. No entanto, este método assume uma variação uniforme das regiões e não leva em conta as diferentes características do terreno. Por exemplo características relevantes do terreno tais como vales, rios, inclinação, estradas, pequenas cidades ou mesmo regiões freqüentemente destruídas pelo fogo deveriam ser consideradas na análise da evolução da região. Desta forma, este método não representa uma evolução real pois é evidente que se estas características forem consideradas pode se constatar a existência de zonas com diferentes tipos de evolução dentro de uma mesma região.

Utilizando imagens tipo *raster*, um método que aplica morfologia matemática sobre as zonas de progressão e de regressão florestais é proposto em [Vidal, 1996]. No entanto, tal método apenas considera a forma das superfícies e a tarefa de predição é realizada sem considerar fatores importantes relacionados à evolução florestal.

O método proposto neste trabalho usa a idéia básica do trabalho mencionado nesta última abordagem, tendo em vista que as zonas de regressão e de progressão da floresta são usadas para determinar as direções favoráveis de evolução (aparecimento ou desaparecimento). No entanto, a predição é realizada usando a teoria da lógica *fuzzy* que permite integrar fatores primordiais na modelagem da evolução da região. Uma das principais vantagens é que a predição considera as zonas mais e menos favoráveis ao desenvolvimento e desta forma os resultados apresentam maior precisão do que os resultados das abordagens anteriores.

Para os propósitos de predição devem ser considerados os seguintes fatos:

- os eventos temporais estudados são contínuos.
- os dados geográficos estão no formato *raster*.

2 O método proposto

O primeiro passo da abordagem é a predição da superfície total da região de estudo. Esta etapa consiste na projeção do valor da superfície total aplicando os dados analíticos em um método de regressão linear adaptado ao problema. Este valor é projetado para o instante t_{n+1} .

Em seguida, a partir dos mapas geográficos dados para os instantes t_1, \dots, t_{n+1} obtém-se os mapas que representam as zonas de progressão e de regressão entre dois instantes de tempo, t_i e t_{i+1} , por meio de uma simples subtração. O princípio básico é que uma área mais próxima a uma zona de progressão terá uma maior tendência a aumentar do que uma área mais próxima a uma zona de regressão e vice versa. Assim, para n instantes de tempo haverá $n-1$ mapas de zonas de progressão e $n-1$ mapas de zonas de regressão. Desta forma, a distância entre qualquer ponto e uma zona de progressão ou de regressão é uma informação que deverá ser considerada a fim de determinar a propensão deste ponto ao crescimento ou à regressão. Para cada pixel da imagem é calculado um coeficiente de evolução.

Para calcular o coeficiente de evolução para cada pixel, todos os mapas de progressão e de regressão são necessários e os resultados devem ser mais fortemente influenciados pelos mapas mais recentes. Desta forma, o tempo é também uma informação importante. Mesmo a superfície das zonas de progressão e de regressão devem ser consideradas no cálculo do coeficiente pois é muito provável que um pixel equidistante de uma zona de progressão e de uma zona de regressão, sofrerá maior influência da zona com a maior superfície. Assim, para cada pixel, dois valores são determinados: o primeiro quantifica a tendência do pixel à progredir; e o segundo quantifica a tendência do pixel à regredir. Seja p , o número de zonas de progressão, n o número de mapas geográficos (para n instantes), D_k a distância entre o pixel i,j à zona k , S_k a superfície da zona k e T_t o intervalo temporal entre o mapa analisado e o instante de tempo para o qual será efetuada a predição. Define-se o coeficiente de progressão de cada pixel i,j por:

$$Coef_{Prog_{i,j}} = \sum_{t=1}^{n-1} \left(\frac{\sum_{k=1}^p \left(\frac{1}{D_k} S_k \right)}{T_t} \right)$$

De maneira análoga o coeficiente de regressão de cada pixel i,j é dado por:

$$Coef_{Reg_{i,j}} = \sum_{t=1}^{n-1} \left(\frac{\sum_{k=1}^r \left(\frac{1}{D_k} S_k \right)}{T_t} \right)$$

onde r , é o número de zonas de regressão.

O coeficiente de evolução resulta da subtração entre os coeficientes de progressão e de regressão:

$$Coef_{i,j} = Coef_{Progi,j} - Coef_{Regi,j}$$

O cálculo de um coeficiente de evolução para cada pixel da imagem resulta numa tabela bidimensional de coeficientes calculados em função da localização do pixel em relação às zonas de progressão e de regressão, da superfície destas zonas e também, em função do tempo de tomada das imagens. Esta tabela de coeficientes é normalizada de tal forma que cada pixel da imagem é representado por um valor que determina sua tendência a progressão. Assim, as regiões mais favoráveis a progredir são associadas aos maiores coeficientes e as regiões menos favoráveis têm coeficientes menores. Na verdade, a tabela resultante desta normalização representa um conjunto *fuzzy* onde cada ponto tem um valor de pertinência à função de evolução. Tal conjunto *fuzzy* pode ser transformado numa imagem chamada de mapa de evolução e que mostra visualmente como varia a tendência à progressão ou à regressão das diversas áreas da região total. Esta imagem *fuzzy* pode ser analisada para determinar as formas posições finais das diversas áreas da região total no mapa predito. O mapa predito é obtido à partir de sucessivas aplicações de níveis α [Klir, 1995], com variação gradual, sobre a tabela final de coeficientes de evolução até que a superfície alcance o valor predito (valor projetado para a superfície total). O resultado é um conjunto de nível (*crispy*) que contém todos os pixels cujos valores (graus de pertinência) são maiores ou iguais ao valor especificado pelo nível **a**.

2 Resultados experimentais

Este método foi aplicado no estudo de uma região localizada na floresta equatorial: o piemonte oriental da cordilheira dos Andes na Venezuela. Este método foi utilizado para descrever a evolução da paisagem dessa região para os anos 1994, 2001 e 2002.

Os mapas geográficos nas **Figuras 1, 2 e 3** são imagens de satélite que mostram a mudança do cenário da região com instantâneos tomados em três datas (instantes de tempo): 1975, 1987, 1989. Os anos 1975, 1987, 1989 e 1994 correspondem às imagens adquiridas. A primeira (1975) Landsat-MSS com resolução de 80m - e as outras três (1987, 1989 e 1994) são imagens Spot – com resolução de 20m. Primeiramente, as imagens adquiridas foram corrigidas geometricamente e em seguida a resolução final é de 80 m (512 x 512 pixels). As três primeiras imagens foram utilizadas e o ano de 1994 foi usado para validar os resultados. Os testes experimentais apresentaram resultados promissores.

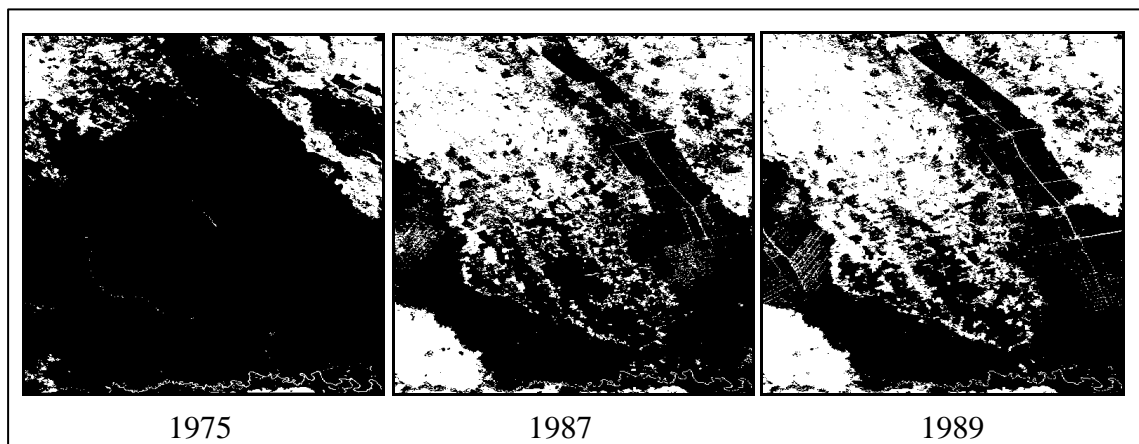


Figura 1 – Imagens adquiridas

Os mapas preditos para os anos (1994, 2001 e 2002) são mostrados na Figura 2.

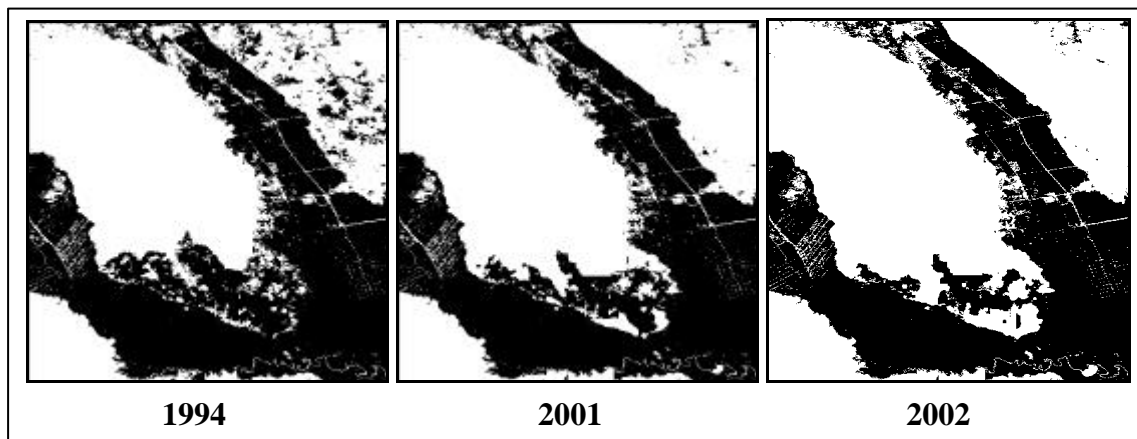


Figura 2 – Imagens resultados

4 Conclusão

Foi apresentado nesse trabalho o desenvolvimento de um método de modelagem e predição a partir da observação de uma seqüência de mapas geográficos tomados ao longo de áreas situadas em uma região. O método foi aplicado sobre a região localizada no piemonte oriental da cordilheira dos Andes na Venezuela para descrever a evolução de sua paisagem para os anos de 1994, 2001 e 2002 a partir de três imagens satélite (1975, 1987 et 1989). Estes modelos permitem uma geração rápida de um conjunto de informações em um GIS.

Esta abordagem de modelagem de evolução leva em consideração dados espaciais históricos da região considerando as zonas de progressão e de regressão entre cada instante de tempo. O método empregado permite a integração de diversas características importantes da paisagem da região. Tal método usa processamento de informações em formato *raster* e gerencia a imprecisão e incertezas inerentes às informações geográficas obtidas. A modelagem obtida da evolução da paisagem garante flexibilidade na interpretação dos resultados.

Os resultados a partir dos testes experimentais apresentados aqui encoraja trabalhos futuros com o objetivo de aprimorar o método de modelagem e de predição espaço-temporal descrito neste trabalho.

Referências

- Centeno, T.M.; Saint-Joan, D.; Desachy, J.; "Approach of the spatio-temporal prediction using vectorial geographic data." In *Proceedings of SPIE, Remote Sensing for Geography, Geology, Land Planning and Cultural Heritage*, volume 2960, pp. 96-103, Taormina, 1996.
- Claramunt, C.F.; Sede, M.H.; Prelaz-Droux, R.; Vidale, L.; "Sémantique et logique spatio-temporeles." In *Revue internationale de géomatique*, volume 4, pp. 165-180, 1994.
- Klir, J.; Yuan, B.; "Fuzzy sets and Fuzzy Logic". Prentice Hall, 1995.
- Vidal F., "Modèles d'évolution de surfaces forestières par analyse morpho-mathématique de photographies aériennes." In *Actes des Journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés* Paris, France, 1996.
- Worboys, "GIS: A Computing Perspective" Taylor et Francis, 1995.