

Extração Semi-Automática de Rodovias Combinando um Modelo de Trajetória com uma Estratégia de Correlação

TATIANA SUSSEL GONÇALVES MENDES¹

ALUIR PORFÍRIO DAL POZ¹

¹Unesp - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900 Presidente Prudente, SP, Brasil
{sussel, aluir }@prudente.unesp.br

Resumo. Este artigo apresenta um método semi-automático para extração para SIG (Sistema de Informações Geográficas) de rodovias em imagens digitais de média e alta resoluções. O método é uma combinação entre um método de extrapolação do eixo de rodovia e um delineador de rodovia baseado em técnicas de correlação. O primeiro método realiza uma extrapolação linear de um ponto do eixo da rodovia, resultando numa posição aproximada. Esta posição é corrigida pelo delineador de rodovia baseado na correlação entre perfis de tons de cinza extraídos transversalmente ao eixo da rodovia. Esta estratégia é então repetida até que todo o eixo da rodovia em consideração seja delineado. O processo de extração é interrompido se a porcentagem de falhas na correção das posições extrapoladas, num segmento predefinido de rodovia, for maior que um dado limiar. A fim de inicializar o processo de extração o operador necessita fornecer a posição, a direção e a largura da rodovia em um ponto inicial. Sempre que o método não poder proceder com o delineamento, o operador pode intervir para fornecer as informações necessárias para a reinicialização do processo. Os resultados experimentais obtidos a partir da aplicação do método aos dados reais são apresentados e discutidos neste artigo.

Abstract. This paper presents a semi-automatic road delineator for GIS (Geographic Information System) data capture from medium- and high-resolution images. The method is a combination between a road axis extrapolation method and a correlation-based road delineator. The extrapolation method carries out linear extrapolation of the road axis, allowing an approximate road axis point to be obtained. This approximate position is corrected by the correlation-based road delineator using 1D grey level profiles extracted perpendicularly to the road axis. This strategy is then repeated to allow the entire road axis to be extracted. The extraction process is stopped if the percentage of fails in correcting the extrapolated points in a pre-defined road segment is greater than a given threshold. In order to initialize the extraction process, the operator needs to supply a starting point plus direction and width. Whenever the method cannot proceed itself, the operator may re-enter the needed information to restart the road extraction process. Experimental results obtained from the application of the method to real image data are presented and discussed in this paper.

1 Introdução

A coleta de dados para SIG (Sistemas de Informação Geográfica) através de técnicas fotogramétricas tem sido tradicionalmente realizada através da extração manual de feições cartográficas em imagens cujas escalas variam entre 1:3.000 e 1:90.000 (Sowmya e Trinder, 2000). Embora esta estratégia de coleta de dados seja muito eficiente, geralmente demanda muito tempo e é bastante dispendiosa. Estes fatores certamente impõem restrições na escolha da densidade e da resolução das informações cartográficas a serem coletadas e, também, na definição do ciclo de revisão dessas informações. Os sistemas fotogramétricos digitais

possibilitam o desenvolvimento de novas tecnologias para a captura e a atualização de informações espaciais, possibilitando um decréscimo cada vez maior da dependência do operador humano, através de um aumento progressivo da automação dos processos envolvidos. Um progresso considerável foi obtido com os processos de caráter mais geométrico, como é o caso da medida automática de marcas fiduciais e da determinação automática da correspondência entre pontos homólogos (Baumgartner et al., 1999). Este último avanço trouxe ganhos práticos consideráveis aos processos de orientação relativa, de geração de MDT (Modelos Digitais do Terreno) e de aerotriangulação. As tarefas de cunho

semântico necessitam da determinação do significado de cada feição cartográfica, como por exemplo edifícios e rodovias, permanecendo, ainda, a cargo da habilidade interpretativa do operador humano. Neste sentido, os pesquisadores das áreas de Fotogrametria e de Visão Computacional vêm empregando esforços para resolver problemas específicos relacionados com o reconhecimento e a extração de feições cartográficas.

Neste trabalho, o interesse recai sobre o problema específico de extração da malha viária em imagens aéreas e de satélite. Em geral, rodovias em imagens de baixa resolução (i.e., IFOV > 2 m) se manifestam como linhas. Conseqüentemente, algoritmos especiais para detectar e seguir linhas devem ser usados. Por outro lado, a maioria das rodovias em imagens de média e alta resolução se manifesta como faixas estreitas e alongadas e, dessa forma, os algoritmos podem-se basear em análise de bordas e/ou de áreas. Embora a meta suprema seja pelos métodos totalmente automatizados, a intervenção humana é, como em todas as tarefas específicas de extração de informações espaciais, ainda necessária, caracterizando os denominados métodos semi-automáticos para a extração da malha viária. Nestes métodos, a velocidade e a acurácia de medida do algoritmo computacional são combinadas com a habilidade interpretativa do operador humano. Entretanto, um aspecto fundamental é a manutenção da interação humana num mínimo absolutamente necessário.

Os métodos semi-automáticos para a extração de rodovia podem ser subdivididos em duas grandes categorias. Numa primeira, geralmente o operador necessita fornecer a posição e a direção em um ponto inicial, possibilitando ao algoritmo o delineamento seqüencial do restante da rodovia. Um exemplo de algoritmo que opera dessa forma é o que se baseia na análise de perfis da superfície intensidade extraídos transversalmente à rodovia (Quam, 1978; Vosselman e De Knecht, 1995). Numa segunda categoria, primeiramente o operador necessita fornecer pontos sementes distribuídos esparsa e grosseiramente ao longo da rodovia e, posteriormente, um algoritmo de otimização simultânea é utilizado para extrair a rodovia. Um exemplo é o algoritmo baseado em redes neurais proposto em Doucette et al. (2001).

Os métodos automáticos tentam evitar totalmente a intervenção humana durante o processo de extração. Basicamente, estes métodos requerem a integração de informação contextual e de conhecimento a priori do objeto rodovia. Um exemplo sofisticado é encontrado em Baumgartner et al. (1999), em que contexto, técnicas de agrupamento perceptivo e diferentes resoluções são usados para extrair a malha viária em imagens de alta resolução.

Como a curto e médio prazo o operador humano é esperado para permanecer como parte integrante de sistema de extração de feições, as pesquisas orientadas para o desenvolvimento de novos métodos semi-automáticos para a extração da malha viária são ainda importantes. Seguindo esta tendência, este artigo apresenta um método semi-automático para a extração de segmentos de rodovia em imagens de média e alta resolução (Seção 2). Os resultados obtidos são apresentados e discutidos na Seção 3. Finalmente, a Seção 4 apresenta as principais conclusões e direções para trabalhos futuros.

2 Extração semi-automática de rodovias através da análise de consistência da superfície intensidade

O princípio do delineador de rodovias proposto por Quam (1978) é utilizado para o desenvolvimento de um sistema semi-automático para a extração de rodovias em imagens digitais de média e alta resolução. Baseia-se na correlação entre perfis de tons de cinza extraídos transversalmente ao eixo da rodovia. A grande motivação para a utilização do princípio de Quam (1978) é a possibilidade de aplicação na extração semi-automática de outras feições cartográficas, como, por exemplo, edificações. Pode ser inclusive usado na digitalização semi-automática de documentos cartográficos.

O método consiste basicamente das etapas de inicialização e de delineamento seqüencial da rodovia. A etapa de inicialização conta necessariamente com a participação de um operador, que deve fornecer dois pontos iniciais, também chamados de pontos sementes, sobre a rodovia. Já a etapa de delineamento é totalmente automática, isto é, é realizada totalmente pelo algoritmo computacional de delineamento.

2.1 Inicialização

A inicialização é efetuada pelo operador através do mouse, que indica dois pontos sementes (P_1 e P_2) em uma região aproximadamente reta da rodovia (Figura 1). O primeiro ponto indica o início da rodovia e o segundo a sua direção. Neste momento, é necessário também que o operador forneça visualmente a largura da rodovia (w).

Através do processo de inicialização, uma seqüência de pontos num pequeno segmento da rodovia é extraída e então, extrai-se a partir desses pontos o perfil modelo de tons de cinza na direção transversal ao segmento de rodovia usado na inicialização (Figura 1). Essa seqüência de pontos é extraída através de um processo de interpolação linear de um ponto. Nos pontos da seqüência obtida, são extraídos perfis de tons de cinza transversalmente ao eixo da rodovia. Já o perfil modelo é uma média dos perfis de tons de cinza previamente extraídos.

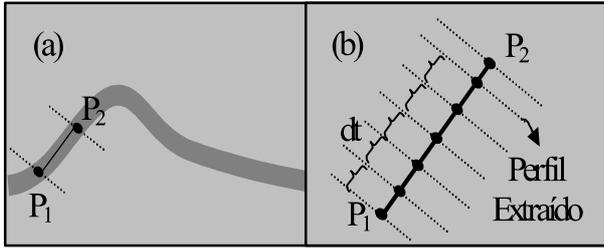


Figura 1 Inicialização do processo. (a) Segmento de reta formado pelos pontos iniciais P_1 e P_2 . (b) Sequência de pontos e extração do perfil modelo.

2.1.1 Interpolação de um ponto qualquer (Q_{i+1})

Sejam $P_1(L_{P1}, C_{P1})$ e $P_2(L_{P2}, C_{P2})$ os pontos sementes fornecidos pelo operador (Figura 2). O ponto a ser interpolado a uma distância dt a partir do ponto Q_i (L_{Q_i}, C_{Q_i}) é representado por Q_{i+1} ($L_{Q_{i+1}}, C_{Q_{i+1}}$).

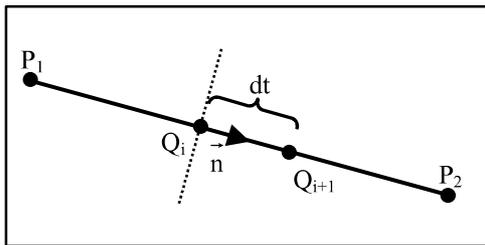


Figura 2 Processo de interpolação.

A equação para interpolar Q_{i+1} a partir de Q_i , é dada por:

$$\begin{bmatrix} L_{Q_{i+1}} \\ C_{Q_{i+1}} \end{bmatrix} = dt \cdot \vec{n} + \begin{bmatrix} L_{Q_i} \\ C_{Q_i} \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde, $\vec{n} = (a \ b)$ é um vetor unitário correspondente à direção definida pelos pontos P_1 e P_2 .

2.1.2 Extração de um perfil em Q_{i+1}

Na posição interpolada (Q_{i+1}), uma seção perpendicular à rodovia é tomada, e nesta é estabelecida uma janela 1D através da amostragem de tons de cinza de pontos

espaçados regularmente. As posições dos pontos na janela são calculadas através da seguinte equação:

$$\begin{bmatrix} L \\ C \end{bmatrix}_J = K \cdot r \cdot \begin{bmatrix} -b \\ a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{Q_{i+1}} \\ C_{Q_{i+1}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sendo que:

- $(L, C)_J$: são as coordenadas de pontos amostrados na janela;
- $(L_{Q_{i+1}}, C_{Q_{i+1}})$: coordenadas de um ponto interpolado do eixo da rodovia, sendo este o centro da janela (ou perfil);
- K : varia de $1, \dots, n_{mod}$ num lado do eixo da rodovia e de $-1, \dots, -n_{mod}$ noutro lado do eixo da rodovia;
- $\vec{n}_o = (-b \ a)$: é um vetor unitário perpendicular ao eixo da rodovia, sendo, portanto normal ao vetor $\vec{n} = (a \ b)$, já definido anteriormente na Equação 1;
- r : é a resolução da janela (ou perfil). A fim de possibilitar uma precisão *sub-pixel*, o valor de r deve ser menor que 1 *pixel*; e
- n_{mod} : é o número de pontos reamostrados em cada lado do eixo da rodovia, sendo calculado da seguinte forma:

$$n_{mod} = \text{int}(0,55 \cdot w / r) + 1 \quad (3)$$

Para definir o parâmetro n_{mod} (Equação 3), primeiramente é adotada a largura da janela de busca (em *pixel*) como sendo igual à largura da rodovia (w) com uma tolerância de 10%, ou seja, $1,1w$. Com essa tolerância, toma-se uma janela de busca um pouco maior que largura da rodovia, possibilitando, numa próxima etapa, realizar a correlação. Finalmente, calculam-se os tons de cinza para as posições da janela definida acima através de um processo de reamostragem ou interpolação de tons de cinza. Para tal, geralmente, são utilizados os métodos de interpolação bilinear, interpolação pelo vizinho mais próximo e convolução cúbica (Richards, 1986).

2.1.3 Obtenção do perfil modelo e de uma seqüência de pontos

Como mostra a Figura 1(b), uma lista de pontos é amostrada ao longo do segmento de inicialização. Esses pontos são obtidos através do emprego da Equação 1 a passo (dt) constante. Se d for a distância entre os pontos sementes P_1 e P_2 , então o número de pontos a serem amostrados é $l = \text{int}(d/dt)$. Como ambos os pontos sementes devem ser incluídos na lista de inicialização, então a lista final é $\{P_1, Q_1, \dots, Q_l, P_2\}$.

O perfil modelo, a ser usado para continuar a extração da rodovia na próxima etapa, é obtido através de uma média aritmética dos elementos (tons de cinza) correspondentes dos perfis de tons de cinza extraídos nos pontos da lista de inicialização.

2.2 Delineamento da rodovia

Esta etapa baseia-se no mesmo princípio usado na inicialização (etapa anterior), com algumas diferenças fundamentais.

Na inicialização, o segmento da rodovia selecionado era reto. Já nesta etapa, a rodovia apresenta forma desconhecida, podendo ser modelada apenas localmente por uma reta ou outro modelo de trajetória.

Uma outra diferença é em relação à posição extrapolada, que nesta etapa necessita ser refinada através do processo de correlação, que estabelece a melhor correspondência entre o perfil modelo previamente estabelecido e um perfil extraído num ponto extrapolado.

Já o modelo de trajetória é estabelecido através dos últimos pontos extraídos. No início do delineamento da rodovia, o modelo de trajetória baseia-se na própria seqüência de pontos determinada na inicialização.

A Subseção 2.2.1 apresenta os principais passos de um ciclo completo de extrapolação e extração. A Subseção 2.2.2 discute brevemente a generalização do processo.

2.2.1 Passos para extrapolar e extrair um ponto na rodovia

Para realizar a extrapolação e extração de um único ponto são necessários os seguintes passos: estabelecimento do modelo de trajetória, extração de um perfil medido, correlação entre o perfil medido e o perfil modelo, validação do novo ponto e atualização do perfil modelo. Todos os passos são descritos a seguir:

a) Estabelecimento do modelo de trajetória e extrapolação de um ponto um passo adiante

Nos últimos pontos extraídos (por exemplo, 10 a 15 pontos) realiza-se o ajuste pelo MMQ (Método dos Mínimos Quadrados) de uma reta, estabelecendo-se assim o modelo da trajetória local. A modelagem local do eixo de rodovia através de um pequeno segmento de reta é justificada pelo fato do objeto rodovia ser geralmente suave (Dal Poz, 2001). No início do delineamento da rodovia, utiliza-se como últimos pontos extraídos a lista de pontos extraída na inicialização. O modelo de trajetória é usado para extrapolar o último ponto extraído um passo adiante (por exemplo, dois ou três *pixels*).

b) Extração de um perfil medido

Procedimento análogo ao da Subseção 2.1.2, com uma diferença em relação à largura da janela de busca (n_{med}), que nesse caso, é adotada como sendo igual à largura da rodovia (w) com uma tolerância de 20%, ou seja, $n_{\text{med}} = \text{int}(0,6 \cdot w/r) + 1$. A tolerância é maior, para que o perfil medido seja maior que perfil modelo, possibilitando assim realizar a correlação, tendo como resultado a posição relativa de maior similaridade entre os perfis modelo e medido. O perfil medido é estabelecido no ponto previamente extrapolado pelo modelo de trajetória.

c) Correlação entre o perfil modelo e o perfil medido

É um procedimento de correlação unidimensional usando uma função de correlação. Neste trabalho utilizou-se a função erro quadrático, que tem como característica desejável o fornecimento da posição de melhor correlação com maior exatidão, sendo expressa matematicamente por (Yanniris, 1974):

$$S(j) = \frac{1}{2 \cdot n_{\text{mod}} + 1} \sum_{i=1}^{i=2 \cdot n_{\text{mod}} + 1} (A(i) - B(i + j))^2 \quad (4)$$

Onde:

- A é um vetor com $2 \cdot n_{\text{mod}} + 1$ elementos representando o perfil modelo;
- B é um vetor com $2 \cdot n_{\text{med}} + 1$ elementos representando o perfil medido;
- $0 \leq j \leq 2 \cdot (n_{\text{med}} - n_{\text{mod}})$: é um contador que permite a realização das $2 \cdot (n_{\text{med}} - n_{\text{mod}}) + 1$ possíveis comparações entre ambos os perfis.

A posição de melhor correlação entre ambos os perfis é encontrada quando o coeficiente de correlação $S(j)$ for

mínimo. O ponto corrigido do eixo da rodovia corresponde à posição do elemento do perfil medido relacionado com o ponto central do perfil modelo (Figura 3).

A Figura 3 mostra a posição de melhor correlação entre dois perfis ideais de rodovia representando os perfis modelo e extraído. Como uma rodovia em imagens de média e alta resolução é geralmente uma faixa alongada de alta intensidade de brilho, com grande contraste em relação às adjacências, as formas características de ambos os perfis se aproximam da forma ideal mostrada na Figura 3.

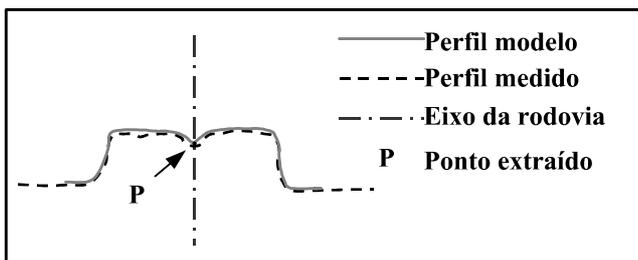


Figura 3 Melhor correlação entre os perfis modelo e medido.

d) Validação do ponto extraído

Se o coeficiente de correlação não for pobre, (ou seja, se for menor que um limiar pré-definido) o ponto é aceito se não provocar uma mudança abrupta de direção da rodovia. Caso seja aceito, a lista de coordenadas do eixo da rodovia e a lista dos últimos pontos extraídos são atualizadas, eliminando o ponto mais antigo desta última lista.

e) Atualização do perfil modelo

O perfil modelo é atualizado através de uma média ponderada entre o perfil modelo atual e o segmento correspondente do último perfil medido (Figura 3), adotando-se um peso maior para o perfil modelo, evitando assim uma mudança abrupta do perfil modelo. No presente trabalho, foi adotado peso 1 para o perfil medido e 4 para o perfil modelo.

2.2.2 Prosseguimento e parada do processo de extrapolação e extração

O processo de delineamento para apenas um ponto descrito na Subseção 2.2.1 é repetido seqüencialmente para possibilitar a extração de toda a rodovia. O ideal é que o processo prossiga até o final da rodovia, mas obstruções (por exemplo, árvores e sombras) e outras irregularidades podem provocar a parada do processo. Em ambos os casos,

o critério de parada é verificar se as falhas sucessivas excedem uma tolerância pré-definida. No caso de ocorrer a parada automática do processo de extração, o operador pode intervir para reiniciar o processo ou, até mesmo, finalizá-lo.

3 Resultados e análise

O método previamente descrito na Seção 2 foi implementado em linguagem C. As informações necessárias (por exemplo, os pontos sementes e a largura da rodovia) para a inicialização do processo de extração são coletadas através de um software comercial disponível.

Visando avaliar a potencialidade do método, experimentos foram realizados com 4 imagens reais de média resolução que apresentam rodovias com largura média de 5 a 7 *pixels*.



Figura 4 Resultados obtidos com a área teste 1.

A Figura 4 mostra os resultados obtidos com uma imagem real de média resolução e de dimensão 500x500 *pixels*. Nesta imagem observa-se duas rodovias principais, com largura regular e bordas bem definidas, enquanto que as rodovias secundárias apresentam-se mal definidas devido principalmente ao baixo contraste. Os pontos sementes referentes a cada rodovia e os vetores extraídos foram projetados sobre a imagem de entrada. Os pontos sementes foram escolhidos numa região da rodovia mais

próxima de uma reta. Analisando visualmente os resultados, observa-se que com esta imagem o método apresentou um ótimo desempenho, devido ao conteúdo da imagem ser bastante favorável. Mesmo quando os pontos sementes foram obtidos em uma área com bordas irregulares, como no caso da rodovia curva, o método demonstrou robustez, extraíndo o eixo da rodovia. Ainda é possível verificar que os eixos centrais obtidos por este método são bem próximos aos que seriam obtidos usando uma visão natural. No entanto, podem ser observadas algumas irregularidades, como por exemplo, no cruzamento de ambas as rodovias, onde é possível observar um desvio do eixo central da rodovia. Em relação à análise numérica, o eixo da rodovia curvilínea extraído pelo método apresentou um deslocamento médio de 0,61 *pixel* em relação ao eixo real extraído visualmente. Já o eixo extraído da outra rodovia apresentou um maior deslocamento médio de 1,38 *pixels*.

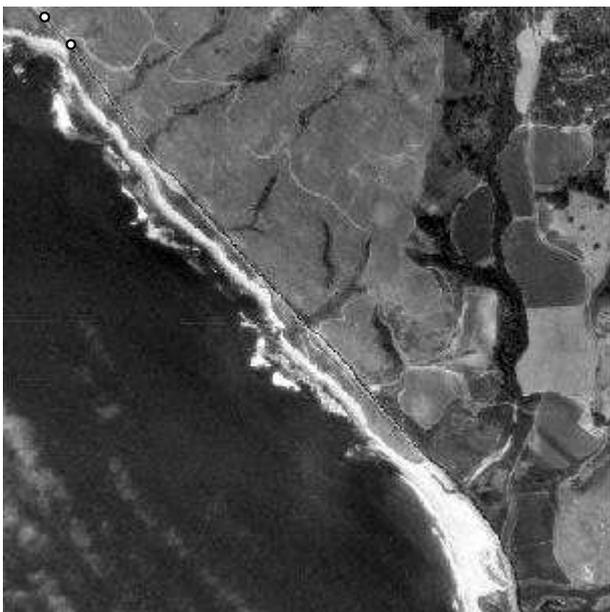


Figura 5 Resultados obtidos com a área teste 2.

A Figura 5 mostra os resultados obtidos com uma imagem real de dimensão 500x500 *pixels*, com uma resolução comparável a da imagem da área teste 1. Esta imagem apresenta uma rodovia aproximadamente reta, mas com uma largura mal definida devido à areia da praia que obstrui as bordas da rodovia. Os pontos sementes e o vetor extraído são também projetados sobre a imagem de entrada. Pelas razões já expostas, os pontos sementes foram obtidos

em uma porção reta da rodovia. A análise visual dos resultados revela que o método funcionou satisfatoriamente, verificando que as regiões bastante problemáticas são os segmentos de rodovia onde as bordas são obstruídas pela areia. Da análise numérica conclui-se que o eixo da rodovia extraído pelo método apresentou um deslocamento médio de 1,93 *pixels* quando comparado com o eixo real extraído visualmente.

A Figura 6 mostra os resultados obtidos com uma imagem real de média resolução e de dimensão 553x583 *pixels*. Nesta imagem observa-se uma rodovia principal com curvas suaves cuja largura apresenta-se um pouco irregular devido à presença de árvores obstruindo as bordas. Os vetores extraídos e os pontos sementes são identificados sobre a imagem de entrada. Esta imagem não apresenta um conteúdo muito favorável, pois apesar da rodovia apresentar curvatura relativamente suave e largura da rodovia uniforme, observam-se obstruções que recobrem parcialmente as bordas da rodovia, desfavorecendo o desempenho do método. No entanto, através da análise visual dos resultados, verifica-se que o método teve um ótimo desempenho e demonstrou robustez frente aos obstáculos presentes. Já em relação a análise numérica, tem-se que o eixo da rodovia extraído pelo método apresentou um deslocamento médio de 0,5 *pixel* quando comparado com o eixo extraído visualmente.



Figura 6 Resultados obtidos com a área teste 3.

A Figura 7 mostra os resultados obtidos com uma imagem real de média resolução e de dimensão 567x567 *pixels*. Esta imagem apresenta uma rodovia principal com bordas bem definidas e com curvatura suave, com exceção de uma curva acentuada na parte mais inferior da imagem. É possível observar na imagem outras rodovias, mas que se apresentam mal definidas. Como nos experimentos anteriores, os pontos sementes e o vetor extraído foram projetados sobre a imagem de entrada. Através da análise visual dos resultados, pode-se concluir que o método geralmente apresentou um bom desempenho, inclusive na região da rodovia de grande curvatura. Tal performance foi possível devido a flexibilidade do modelo de trajetória, que permite o uso de tamanhos variados de passos de extrapolação. Regiões de curvatura muito acentuadas são modeladas adequadamente através de passos de extrapolação pequenos, como, por exemplo de 1 ou 2 *pixels*. Ao analisar visualmente o eixo da rodovia extraído, verifica-se que o método, geralmente, não conseguiu extrair o eixo central da rodovia. Entretanto, o eixo extraído não é muito diferente em relação ao que seria obtido usando a visão natural. Na análise numérica, o eixo da rodovia extraído pelo método apresentou um deslocamento médio de 1,61 *pixels* quando comparado ao eixo real extraído visualmente.



Figura 7 Resultados obtidos com a área teste 4.

4 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste artigo foi apresentado um método semi-automático para a extração de segmentos de rodovias em imagens de média e alta resolução. O método tem o potencial para ser usado como um assistente de extração da malha viária para SIG. Neste esquema de captura de informações espaciais as decisões de alto nível (por exemplo, a identificação das rodovias) são deixadas a cargo de um operador humano, enquanto as operações de medida, que exigem precisão e são cansativas e morosas, são realizadas via algoritmos computacionais.

A avaliação experimental usando quatro imagens reais de média resolução mostrou que o método é bastante promissor. Todas estas imagens apresentaram irregularidades associadas às bordas (por exemplo, ausência ou definição ruim), à variação da largura e às obstruções provocadas principalmente por árvores. Mesmo nestas situações desfavoráveis, a estratégia de delineamento provou ser geralmente robusta e acurada o suficiente, permitindo concluir que o desempenho é comparável ao obtido através da visão natural.

Uma importante direção para trabalho futuro será o desenvolvimento de uma interface gráfica amigável que permita ao operador uma fácil interação com o sistema computacional de extração da malha viária. Neste contexto, o uso de pontos sementes demarcando segmentos de rodovia que, na interpretação do operador, podem ser extraídos satisfatoriamente pelo algoritmo computacional de delineamento, representa um conceito recente na captura de informações espaciais. Na verdade, trata-se de uma transição dos métodos totalmente manuais para os métodos totalmente automáticos. De um lado, têm-se os procedimentos totalmente manuais, caracterizados pela vetorização ponto-a-ponto das rodovias, auxiliada apenas pela visão natural. Na transição, têm-se os procedimentos semi-automáticos, como o que está sendo proposto neste trabalho, caracterizados pela extração segmento-a-segmento das rodovias. Neste caso, o operador reconhece e seleciona os segmentos viáveis para serem extraídos computacionalmente. Para o futuro, ter-se-ão os métodos de extração totalmente automatizados para extrair inteiramente a malha viária. Enfim, uma interface gráfica interativa será fundamental para uma avaliação realística do método apresentado como uma tecnologia de captura da malha viária, pois possibilitaria a comparação com a metodologia manual nas suas três principais dimensões, i.e., a acurácia, a confiabilidade e o tempo de captura.

5 Agradecimentos

Este trabalho conta com apoio da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) - Processo no.

2001/01168-5 (Auxílio à Pesquisa vigente) e do CNPq (Bolsa de Iniciação Científica em vigência do primeiro autor).

Referências

- [1] A. Baumgartner, C. Steger, H. Mayer, W. Eckstein, H. Ebner, “Automatic road extraction based on multi-scale, grouping, and context”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66 (7) (1999), 777--785.
- [2] A. J. Richards, “Remote Sensing Digital Image Analysis”, *Springer-Verlag, New York* (1986).
- [3] A. P. Dal Poz, “Semi-automatic road extraction methods by dynamic programming optimization and a cooperative road follower”, *The Photogrammetric Journal of Finland* 17 (2) (2001), 13--22.
- [4] A. Sowmya, J. Trinder, “Modelling and representation issues in automated feature extraction from aerial and satellite images”, *Photogrammetry and Remote Sensing*, v.55, n. 1 (2000), 34--47.
- [5] G. Vosselman, J. De Kenecht, “Road tracing by profile matching and Kalman filter”, In: *Gruen, A., Kuebler, O., Agouris, P. (Eds.) Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images. Birkhauser, Basel* (1995), 265--274.
- [6] H. L. Quam, “Road tracking and anomaly detection in aerial imagery”, *Proc. Image Understanding Workshop* (1978), 51--55.
- [7] P. Doucette, P. Agouris, A. Stefanidis, M. Musavi, “Self-organized clustering for road extraction in classified imagery” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 55 (2001), 347--358.
- [8] Y. Yanniris, “Improvements to the off-line epipolar correlation”, *Dissertação de mestrado, Universidade de New Brunswick* (1974), 104.