

A COMPUTAÇÃO DO FLUXO ÓPTICO EM IMAGENS OBTIDAS POR UM SISTEMA MÓVEL DE MAPEAMENTO TERRESTRE

Optical flow computation for land-based mobile mapping system images

Ricardo Luís Barbosa¹
Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis¹
João Fernando Custódio da Silva²
Messias Meneguette Júnior³

Universidade Estadual Paulista – Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia
19060-900 Presidente Prudente SP Brasil

¹Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas
ricardo.rodrigo@prudente.unesp.br

²Departamento de Cartografia
jfcsilva@prudente.unesp.br

³Departamento de Matemática, Estatística e Computação
messias@prudente.unesp.br

RESUMO

Em um sistema móvel de mapeamento terrestre (SMMT), o posicionamento é obtido por processamento do sinal GPS. Entretanto, pode ocorrer a perda do sinal por conta da obstrução causada por construções ou vegetação, por exemplo. Há sistemas de mapeamento móvel que possuem um sensor inercial também para orientar as imagens. Tanto o posicionamento quanto a orientação (atitude) podem resultar degradados devido à deriva do mecanismo inercial causada pelo acúmulo de erros durante o intervalo de tempo que perdurar a falta de recepção do sinal GPS. As imagens de um SMMT obtidas durante a ausência dos sinais GPS ficam então mal orientadas. Uma alternativa para orientar as imagens, quando não se têm o posicionamento e a orientação dados por sensores externos, é a utilização das informações sobre o movimento interno das imagens, através do fluxo óptico binocular. Este trabalho apresenta a computação do fluxo óptico pelo método diferencial no contexto de um SMMT, com vários testes combinando-se a quantidade de imagens de uma seqüência com a variável de regularização do fluxo óptico para determinar as configurações que devem ser utilizadas com este tipo de imagem. Em trabalhos futuros, espera-se que o fluxo óptico possa, combinado com técnicas fotogramétricas e de navegação, contribuir com a automação do caminhamento fotogramétrico, baseando-se apenas nas imagens.

Palavras-chave: caminhamento fotogramétrico, mapeamento móvel, fluxo óptico, seqüência de imagens.

ABSTRACT

The positioning of a land-based mobile mapping system (LBMMS) is obtained by the GPS signal processing. However, buildings and trees, for instance, can cause obstruction to the GPS signal reception, while the vehicle travels along a road. There are mobile systems that have inertial sensors integrated with GPS receivers to orient the road images. Such integration can not control the error propagation in the inertial mechanism so that the image orientation is not possible so that the images result misoriented during the lack of the GPS signal. An alternative to external sensors is the image motion analysis through the binocular optical flow. This article presents the optical flow computation by the differential method in the context of the road images acquired by the digital stereo video camera of a LBMMS. Many tests were performed combining the image quantity of a sequence and the optical flow regularization parameter in order to determine the parameters to be used in such situation. Maybe in the future the optical flow combined with photogrammetric and navigational techniques can contribute to the photogrammetric traverse and image navigation.

Keywords: photogrammetric traverse, mobile mapping, optical flow, image sequence.

1. INTRODUÇÃO

No Laboratório de Mapeamento Móvel da Faculdade de Ciências e Tecnologia/Unesp de Presidente Prudente existe um sistema móvel de mapeamento terrestre denominado UMMD - Unidade Móvel de Mapeamento Digital (SILVA et al., 1999; SILVA et al., 2000; SILVA et al., 2003) e é composto de um veículo, um par de câmaras de vídeo digital Sony DSR 200A, uma antena GPS Ashtech Reliance, um computador portátil e um conjunto de equipamentos a bordo para sincronizar o sinal do GPS com as imagens de vídeo.

Nessa unidade móvel, as posições das câmaras são amostradas a cada um segundo pelo GPS, ou seja, durante um segundo, dos trinta quadros que cada câmara captura para formar o vídeo, apenas um é parcialmente georreferenciado (posição), resultando em uma grande massa de informações (imagens) que praticamente não são utilizadas no mapeamento. Não está disponível um sensor inercial, o que implica em dificuldades para georreferenciar as imagens quando o sinal GPS é perdido, por conta da geometria dos satélites ou por obstrução de construções ou vegetação, por exemplo.

Teoricamente, com o fluxo óptico é possível estimar a velocidade do veículo e com isso fornecer uma aproximação inicial para os parâmetros de orientação exterior, que podem ser estimados por resseção. Essa metodologia não foi experimentada ainda nas ciências cartográficas e, portanto, pode ser uma contribuição à automação do caminamento fotogramétrico (SILVA, 1997), que conceitualmente consiste em responder a pergunta: "onde estou, de onde vim e para onde vou?".

De uma forma mais detalhada, o caminamento fotogramétrico é um modo especial de levantamento fotogramétrico baseado em sucessivos pares estereoscópicos de imagens terrestres tomadas ao longo da trajetória, obtidas de tal modo que a base estereoscópica (distância entre os centros perspectivos das câmaras) seja posicionada aproximadamente perpendicular ao eixo do levantamento ou que os eixos ópticos sejam aproximadamente paralelos ao referido eixo do levantamento.

A Fig. 1 ilustra o conceito, onde os segmentos E_iD_i representam as bases estereoscópicas no instante i e as posições em que são efetuadas as tomadas das imagens. Dessa forma, E_1 e D_1 representam os centros perspectivos das câmaras da esquerda e da direita da base estereoscópica no instante t_1 , e assim sucessivamente.

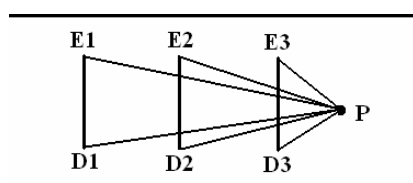


Fig. 1 - Representação conceitual do caminamento fotogramétrico.

Um ponto P do espaço objeto situado após a terceira base pode aparecer também nas imagens tomadas nas bases 1 e 2. Sua posição espacial (X,Y,Z) , com respeito a um referencial do espaço objeto, pode ser calculada por simples interseção usando os dados do terceiro par, ou dupla interseção com as fotos da segunda e terceira bases ou ainda por tripla interseção das seis imagens que o registram (1, 2 e 3). Generalizando este princípio, chega-se ao conceito de fototriangulação com a particularidade, neste caso, de que a escala varia acentuadamente entre os sucessivos pares de imagens. Tal fato se deve a que o afastamento (Y_p) do ponto objeto P à base varia desde poucos metros até dezenas de metros à sua frente, acarretando variações significativas na escala.

Com um par estéreo de fluxos computados com razoável adequação é possível estimar a distância de feições que aparecem na região de sobreposição e conseqüentemente estimar a distância destas feições ao centro óptico das câmaras, fornecendo uma aproximação inicial para a realização da resseção espacial do par e conseqüentemente orientar as imagens. Este trabalho tem como objetivo detalhar o algoritmo de computação do fluxo óptico, pelo método diferencial proposto por Horn & Schunck (1981), e sua aplicação com diversos testes em imagens reais advindas da UMMD, para se estabelecer aspectos computacionais e o parâmetro de regularização λ que apresentem os melhores resultados quando avaliados de uma forma qualitativa.

2. FLUXO ÓPTICO

Fluxo óptico é a distribuição 2D da velocidade aparente do movimento dos padrões de intensidade no plano da imagem (cf. HORN, 1986). Em outras palavras, o campo do fluxo óptico consiste de um campo denso de velocidade onde a cada pixel no plano da imagem está associado um único vetor de velocidade. Para fins de visualização, o campo é amostrado em uma malha e chamado de diagrama de agulhas (*needle map*).

Se for conhecido o intervalo de tempo entre duas imagens consecutivas, os vetores da velocidade podem ser convertidos em vetores de deslocamento e vice-versa (SHI & SUN, 2000).

A computação do fluxo óptico ou velocidade da imagem é um problema fundamental no processamento de seqüências de imagens (TEKALP, 1995) e pode auxiliar em várias tarefas, tais como interpretação de cena, navegação exploratória, acompanhamento de objetos, avaliação de tempo para colisão, segmentação de objetos, codificação de vídeo, visão de robôs etc. Em problemas como a simples detecção de movimento, usando apenas a diferença das intensidades (tons de cinza) entre duas imagens, é possível estabelecer se houve movimento ou não. Esse esquema, em geral, é usado em equipamentos de segurança, cuja configuração básica possui apenas uma câmara estática.

A detecção de objetos se movimentando na cena, ou a câmara se movimentando e os objetos parados ou ainda a câmara e os objetos se movendo, são problemas mais difíceis em comparação com a detecção do movimento. Outros problemas mais complexos incluem a detecção do objeto (se movendo em um ambiente com vários objetos), a detecção da trajetória desses objetos e a predição das trajetórias.

A análise do movimento é chamada de análise dinâmica de imagens e é baseada em um pequeno número de imagens em uma seqüência, algumas vezes duas ou três imagens. Esse caso é similar a uma análise estática de imagens e o movimento é atualizado através da correspondência entre pares de pontos de interesse ou feições/regiões nas imagens subsequentes.

Uma outra abordagem analisa o movimento a partir da computação do fluxo óptico onde uma pequena diferença de tempo entre as imagens é requerida e não devem ocorrer mudanças significativas entre duas imagens consecutivas. A computação do fluxo óptico resulta na direção e velocidade dos pontos na imagem. Um objetivo imediato da análise de imagens baseada em fluxo óptico é determinar o campo de movimento.

O fluxo óptico nem sempre corresponde ao verdadeiro campo de movimento por causa das mudanças de iluminação, mas representa uma aproximação dele.

2.1 Equação de restrição do fluxo óptico

Os métodos para a computação do fluxo óptico podem ser classificados em três grupos principais: técnicas diferenciais, técnicas de correlação e técnicas baseadas em frequência/energia. Em Beauchemin & Barron (1995) é possível encontrar uma extensa lista de referências sobre estes três grupos principais.

Nas técnicas diferenciais, a hipótese inicial para a computação do fluxo óptico é a de que a intensidade entre quadros diferentes em uma seqüência de imagens é aproximadamente constante em um intervalo de tempo pequeno, ou seja, em um pequeno intervalo de tempo o deslocamento será mínimo.

A velocidade da imagem é computada a partir das derivadas espaço-temporal da intensidade na imagem. Considerando uma imagem I ainda não amostrada (domínio contínuo) e em tons de cinza, pode-se usar a seguinte expressão (HORN & SCHUNCK, 1981):

$$I(\vec{x}; t) \approx I(\vec{x} + \delta\vec{x}, t + \delta t) \quad (1)$$

onde, $I(\vec{x}; t)$ é a função de intensidade da imagem, $\vec{x} = (x, y)$ é o vetor posição na imagem e $\delta\vec{x}$ é o deslocamento de uma região da imagem em $(\vec{x}; t)$ após o tempo δt .

Expandindo o lado direito da equação (1) por série de Taylor:

$$I(\vec{x} + \delta\vec{x}, t + \delta t) = I(\vec{x}; t) + \nabla I \delta\vec{x} + \delta t I_t + O^2 \quad (2)$$

onde, $\nabla I = (I_x, I_y)$ é o gradiente nas direções x e y ; I_t a derivada parcial de primeira ordem em relação ao tempo de $I(\vec{x}; t)$, e O^2 os termos de segunda ordem em diante, que podem ser desprezados. Subtraindo $I(\vec{x}; t)$ em ambos os lados e dividindo por δt , têm-se:

$$\nabla I \cdot \frac{\delta\vec{x}}{\delta t} + I_t = 0 \Rightarrow \nabla I \cdot \vec{v} + I_t = 0 \quad (3)$$

onde $\vec{v} = (u, v) = \left(\frac{\delta x}{\delta t}, \frac{\delta y}{\delta t} \right)$ é a velocidade na

imagem. A equação (3) é chamada de equação de restrição do fluxo óptico e define uma restrição local única sobre o movimento na imagem (HORN & SCHUNCK, 1981; BARRON et al., 1994).

Essa restrição não é suficiente para se determinar as componentes de \vec{v} , pois a equação (3) possui duas incógnitas e então esse problema tem infinitas soluções (mal posto). Esse problema é conhecido como problema da abertura (termo derivado da óptica, vide SHI & SUN, 2000).

A acurácia das técnicas diferenciais depende principalmente da estimação das derivadas parciais da função de intensidade. Apesar do método de diferenças finitas ser simples ele não consegue fazer a distinção entre dados verdadeiros e ruídos e para eliminar ou reduzir esses problemas é realizada uma pré-suavização da imagem com um filtro gaussiano, por exemplo.

Quando se utiliza um algoritmo iterativo o processo se encerra quando o fluxo computado na iteração atual não muda muito em relação ao cálculo da iteração anterior. Em geral, usa-se como critério de parada o erro médio quadrático quando abaixo de um limiar ou quando o número de iterações alcança um limite pré-determinado.

O processo de se determinar o movimento 2D é complexo, pois, além de envolver o movimento do sensor, pode haver a oclusão de feições de interesse devido à mudança de perspectiva e também devido ao aparecimento de novos objetos na cena (como por exemplo, um automóvel), dificultando a estimação do fluxo óptico. Outro aspecto importante em situações reais é a vibração da câmara, causada por ondulações e buracos na superfície de deslocamento do veículo. Também não deve ser desprezada a mudança de iluminação ambiente, onde sombras e nuvens modificam a intensidade das imagens.

O fluxo óptico pode ser exatamente extraído do movimento da imagem, se as seguintes condições estiverem satisfeitas: iluminação uniforme, reflectância Lambertiana (brilho igual em todas as direções) e

translação paralela ao plano da imagem (BARRON et al., 1994).

Apesar da computação do fluxo óptico ser uma área bastante explorada, a redução do erro na estimação do fluxo ainda permanece um problema difícil. Além disso, nas ciências cartográficas não é muito comum trabalhos integrando métodos de fluxo óptico e fotogrametria.

Neste trabalho, a computação do fluxo óptico é feita através do método de Horn e Schunck, aplicado em uma seqüência de imagens obtidas com a UMMD. Após o levantamento, as câmaras de vídeo são ligadas a uma estação de processamento de vídeo digital e os vídeos são transferidos para o disco rígido. Em seguida, o vídeo é processado e as imagens de interesse são recortadas e transformadas em imagens estáticas (*still images*) no formato BMP de 24 bits (RGB), para a computação do fluxo óptico.

2.2 Método de Horn e Schunck

Horn e Schunck usaram uma forma de regularização aplicada à equação (3), chamada de restrição de suavização, significando que o fluxo de vetores varia de uma imagem para outra de forma suave. Matematicamente, a restrição de suavização é dada pela minimização do quadrado da magnitude do gradiente dos vetores do fluxo óptico:

$$u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2 \quad (4)$$

A determinação do fluxo óptico pode ser convertida em um problema de minimização. Tomando o quadrado do lado esquerdo da equação (3) como um tipo de erro e a equação (4) como outro tipo de erro, o erro total a ser minimizado é:

$$E(x, y)^2 = (I_x u + I_y v + I_t)^2 + \lambda(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) \quad (5)$$

onde λ é um peso entre os dois tipos de erro. Usando técnicas do cálculo variacional (vide NIXON & AGUADO, 2002), o seguinte sistema de equações pode ser escrito (SONKA et al., 1999):

$$\begin{aligned} (\lambda^2 + I_x^2)u + I_x I_y v &= \lambda^2 \bar{u} - I_x I_t \\ I_x I_y u + (\lambda^2 + I_y^2)v &= \lambda^2 \bar{v} - I_y I_t \end{aligned} \quad (6)$$

onde \bar{u}, \bar{v} são os valores médios da velocidade nas direções x e y em alguma vizinhança de (x,y). A solução para essas equações é dada por:

$$\begin{aligned} u &= \bar{u} - I_x \frac{P}{D} \\ v &= \bar{v} - I_y \frac{P}{D} \end{aligned}$$

(7)

onde $P = I_x \bar{u} + I_y \bar{v}$ e $D = \lambda^2 + I_x^2 + I_y^2$.

A solução é obtida por diferenças finitas, devido a sua simplicidade e custo computacional baixo, mesmo não sendo possível distinguir o ruído e o sinal. A estimação das derivadas parciais é feita considerando uma vizinhança espaço-temporal. As derivadas parciais em x, y e t para o caso discreto são dadas por (HORN & SCHUNCK, 1981):

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{1}{4} \left\{ \begin{aligned} &[I(x+1, y, t) - I(x, y, t)] + \\ &[I(x+1, y, t+1) - I(x, y, t+1)] + \\ &[I(x+1, y+1, t) - I(x, y, t)] + \\ &[I(x+1, y+1, t+1) - I(x, y+1, t+1)] \end{aligned} \right\} \\ I_y &= \frac{1}{4} \left\{ \begin{aligned} &[I(x, y+1, t) - I(x, y, t)] + \\ &[I(x+1, y+1, t+1) - I(x+1, y, t)] + \\ &[I(x, y+1, t+1) - I(x, y, t+1)] + \\ &[I(x+1, y+1, t+1) - I(x+1, y, t+1)] \end{aligned} \right\} \\ I_t &= \frac{1}{4} \left\{ \begin{aligned} &[I(x, y, t+1) - I(x, y, t)] + \\ &[I(x+1, y, t+1) - I(x+1, y, t)] + \\ &[I(x, y+1, t+1) - I(x, y+1, t)] + \\ &[I(x+1, y+1, t+1) - I(x+1, y, t)] \end{aligned} \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

e as médias das componentes u e v como segue (HORN & SCHUNCK, 1981):

$$\begin{aligned} \bar{u} &= \frac{1}{6} [u(x, y+1) + u(x, y-1) + u(x+1, y) + u(x-1, y)] + \\ &\frac{1}{12} [u(x-1, y-1) + u(x-1, y+1) + u(x+1, y-1) + u(x+1, y+1)] \\ \bar{v} &= \frac{1}{6} [v(x, y+1) + v(x, y-1) + v(x+1, y) + v(x-1, y)] + \\ &\frac{1}{12} [v(x-1, y-1) + v(x-1, y+1) + v(x+1, y-1) + v(x+1, y+1)] \end{aligned} \quad (9)$$

As equações (7) resolvidas aplicando o método iterativo Gauss-Seidel em cada duas imagens consecutivas (t e t+1) fornecem o fluxo óptico no instante t. O número de iterações é um valor a ser investigado.

É possível pensar em outra forma de computar o fluxo óptico que será aqui chamado de algoritmo seqüencial, quando há disponibilidade de uma seqüência de imagens entre aqueles dois instantes t e t+1. O algoritmo de Gauss-Seidel é aplicado uma vez para cada duas imagens intermediárias, usando o fluxo computado na "interação" anterior como aproximação do fluxo para a próxima imagem, sucessivamente até atingir a imagem em t + 1. No caso

da UMMD esta disponibilidade existe e por isso foi investigado neste trabalho.

As imagens da seqüência são inicialmente convertidas de RGB para tons de cinza e suavizadas por um filtro gaussiano para atenuar ruídos. Foram realizados vários testes para determinar quais aspectos computacionais e qual o parâmetro de regularização λ que resultam em um fluxo óptico mais adequado de um ponto de vista qualitativo observando-se o comportamento dos vetores.

Os autores também investigam o comportamento do fluxo óptico em feições de interesse detectadas automaticamente pelo algoritmo de Canny (BARBOSA et al., 2004), para reduzir a quantidade de vetores e filtrar (eliminando) aqueles que não tenham comportamento radial esperado para esse tipo de imagem e usam as melhores configurações apresentadas a seguir.

3. RESULTADOS

Os testes foram realizados com uma seqüência da câmara da esquerda. A Fig. 2 mostra duas imagens com intervalo de tempo de um segundo entre elas.



a) imagem da esquerda no tempo $t = 0s$



b) imagem da esquerda no tempo $t = 1s$

Fig. 2: Seqüência de imagens da câmara da esquerda tomadas com 1 segundo de diferença.

A visualização do fluxo óptico é feita através do diagrama de agulhas, e que neste trabalho é apresentado em uma malha regular com espaçamento

de 5×5 pixels. A fig. 3 mostra o diagrama de agulhas para $\lambda = 25$ e uma iteração apenas.

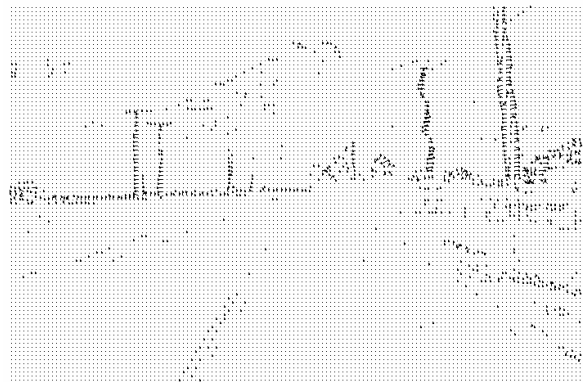
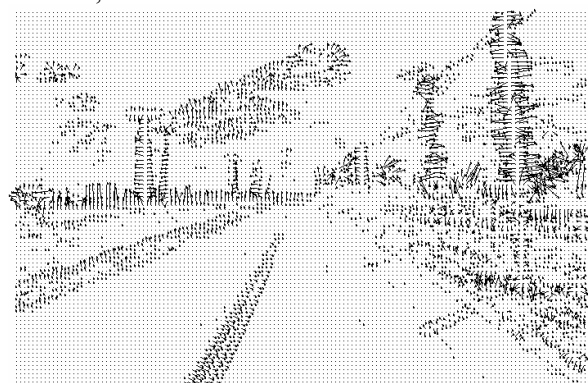


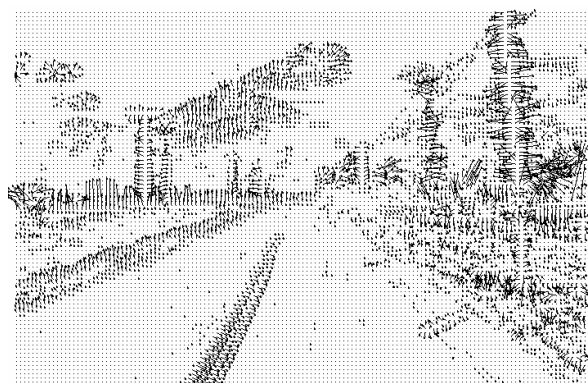
Fig. 3: Diagrama para $\lambda=25$ e uma iteração.

Com uma iteração, os vetores mostram o gradiente da imagem e o fluxo se destacando nas feições de interesse, como os postes dos dois lados da rodovia e a faixa central. Valores menores para λ implicaram em um fluxo com muito ruído e completamente aleatório (sem padrão visual perceptível).

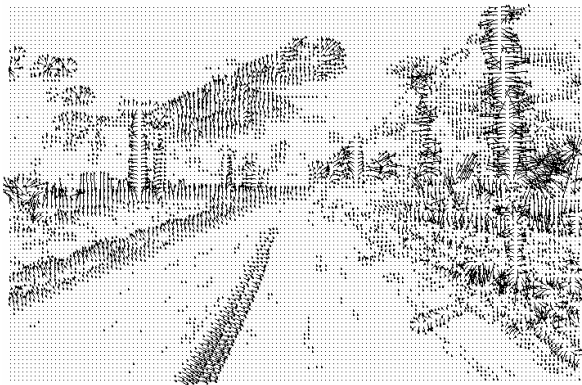
A Fig. 4 mostra os diagramas de agulhas com $\lambda = 25$ e variação no número de iterações, para ilustrar o que ocorre quando o número de iterações aumenta. Para λ fixo e na medida em que o número de iterações aumenta, o ruído também aumenta.



a) iteração = 10



b) iteração = 20

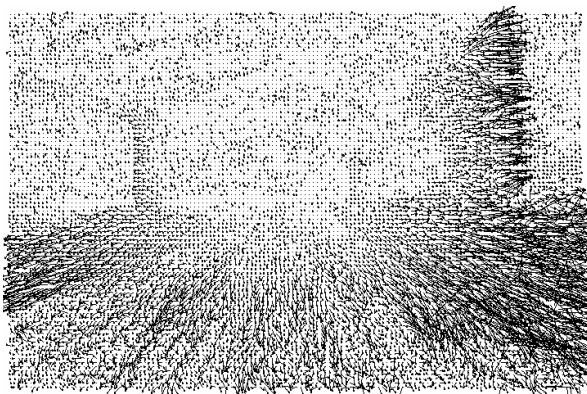


c) iteração = 30

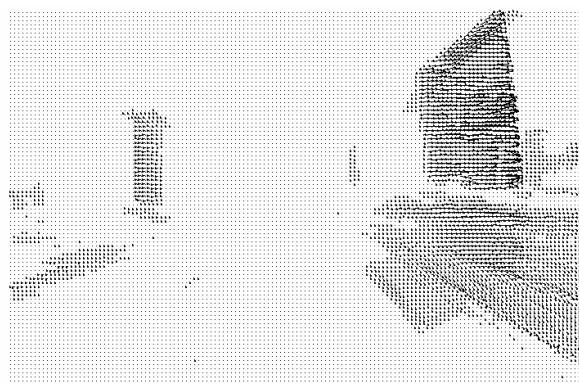
Fig. 4: Diagramas com variação do número de iterações.

Como a taxa de amostragem das câmaras é de 30 imagens por segundo, foram utilizadas, também, todas as trinta imagens para computar o fluxo óptico, com o algoritmo seqüencial.

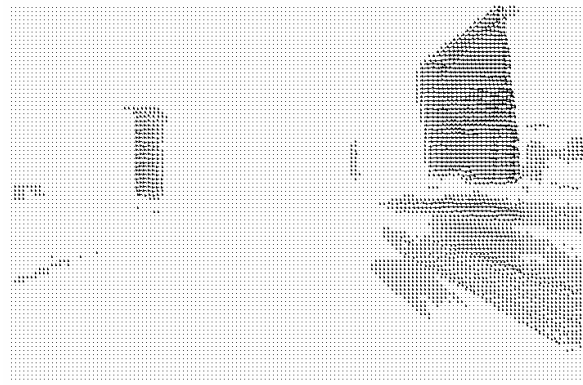
Os resultados podem ser observados na Fig. 5, com os respectivos valores de λ .



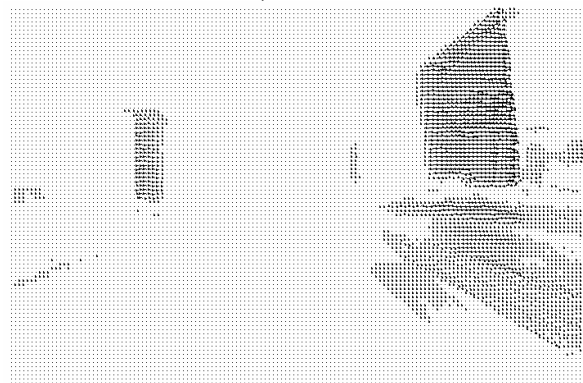
a) $\lambda = 1$



b) $\lambda = 20$



c) $\lambda = 30$



d) $\lambda = 100$

Fig. 5: Diagramas com variação do λ .

Com o uso de 30 imagens tomadas com intervalo de 1/30 de segundo entre cada uma e o fluxo computado seqüencialmente obtém-se um diagrama apontando na direção correta (movimento do veículo). Além disso, na medida em que λ cresce, o fluxo vai ficando mais limpo, pois de acordo com a equação (5), existe um reforço na restrição de suavização. Valores entre 20 e 30 aparentemente são os que apresentam melhores resultados. Valores menores implicam em um excesso de vetores e valores maiores reduzem a quantidade de vetores.

4. CONCLUSÕES

Apesar da vasta literatura existente sobre o fluxo óptico, são poucos os trabalhos em língua portuguesa e no âmbito das ciências cartográficas. Desta forma, este trabalho apresentou uma breve revisão sobre a computação do fluxo óptico diferencial, pelo algoritmo de Horn e Schunck, e os resultados obtidos em uma seqüência de imagens adquiridas com um estereopar de câmaras de vídeo digital da UMMD.

Os resultados mostraram que a computação do fluxo óptico para as imagens adquiridas com a UMMD deve ser feita através do algoritmo seqüencial (30 imagens por segundo), utilizando o parâmetro de regularização λ entre 20 e 30.

Outro ponto importante é que nas referências bibliográficas, em geral, as imagens são de ambiente

controlado e possuem alta resolução. No caso desta aplicação, além da baixa resolução, existe o problema do arrasto na imagem, que se acentua na medida em que a velocidade do veículo aumenta. Outro problema que ocorre é a vibração das câmaras, tornando a computação do fluxo muito difícil.

O fluxo óptico obtido com esta configuração ficou realçado nas feições de interesse (postes, guias etc.) ocorrendo o mesmo com as imagens da seqüência da direita. Isto possibilitará, em trabalhos futuros, usando o fluxo óptico binocular, calcular as distâncias entre as feições de interesse e as câmaras, bem como a estimação da velocidade do veículo. Estes são alguns dados extraídos mediante a análise das imagens, que contribuirão com a automação do caminhamento fotogramétrico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, pelo auxílio à pesquisa (processo Fapesp 03/00552-1).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, R. L.; GALLIS, R. B. A.; SILVA, J. F. C.; MENEGUETTE JR, M. M. **Automated photogrammetric bridging of a road image pair sequence**. In: XI SIMPOSIO LATINO AMERICANO DE PERCEPCION REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION ESPACIAL – SELPER, Santiago, 2004.
- BARRON, J. L.; FLEET, D. J.; BEAUCHEMIN, S. S. Performance on optical flow techniques. **International Journal of Computer Vision**, v.12, n.1, p.43-77, 1994.
- BEAUCHEMIN, S. S.; BARRON, J. L. The computation of optical flow. **ACM Computing Surveys**, v. 27, n. 3, p. 433-467, 1995.
- HORN, B. K. P. **Robot Vision**. London, MIT, 1986. 509p.
- HORN, B. K. P.; SCHUNCK, B. G. Determining optical flow. **Artificial Intelligence**, v. 17, p. 185-203, 1981.
- NIXON, M. S.; AGUADO, A. **Feature extraction and image processing**. Butterworth-Heineman, 2002. 362p.
- SHI, Y. Q.; SUN, H. **Image and video compression for multimedia engineering: fundamentals, algorithms and standards**. Boca Raton, CRC, 2000. 480p.
- SILVA, J. F. C. **Fototriangulação no caminhamento fotogramétrico**. Tese (Livre docência em fotogrametria) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 1997. 85p.
- SILVA, A. R.; BATISTA, J. C.; OLIVEIRA, R. A.; CAMARGO, P. de O.; SILVA, J. F. C. da Surveying and mapping of urban streets by photogrammetric traverse. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, Bangkok, 1999. **Proceedings ISPRS**. v.32, t.2W10, p. 5.A.5.1-4, 1999.
- SILVA, J. F. C.; CAMARGO, P. O.; OLIVEIRA, R. A.; GALLIS, R. B. A.; GUARDIA, M. C.; REISS, M. L. L.; SILVA, R. A. C. A street map built by a mobile mapping system. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ISPRS, Amsterdam, 2000. **Proceedings**. CD-ROM 1, Book 2 (Commission II), p. 506-13, 2000.
- SILVA, J. F. C.; CAMARGO, P. O.; GALLIS, R. B. A. Development of a low-cost mobile mapping system: a south american experience. **Photogrammetric Record**, v. 18, n. 101, p.5-26, 2003.
- SONKA, M.; HLAVAC, V.; BOYLE, R. **Image processing, analysis and machine vision**. Pacific Grove, PWS, 1999. 770p.
- TEKALP, A. M. **Digital video processing**, Upper Saddle River, Prentice Hall, 1995. 524p.

Recebido em novembro de 2004 – Aceito para publicação em 15 de maio de 2005.