

METODOLOGIA PARA DETECÇÃO RÁPIDA DO MOVIMENTO EM SEQUÊNCIAS DE IMAGENS

ISAURA N. S. OLIVEIRA¹, VALENTIN O. RODA²

¹*Instituto de Física de São Carlos,*

²*Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo*

Av. Trabalhador São-Carlense, 400, CEP13.560-250, São Carlos, SP, BRAZIL

E-mails: isombra@if.sc.usp.br, valentin@sel.eesc.sc.usp.br

Resumo— Algoritmos de detecção de movimento em seqüências de imagens devem satisfazer os requisitos de precisão, robustez e velocidade. A forma de combinar estes três itens depende do desenvolvimento do algoritmo e da devida aplicação, lembrando que os itens de robustez e precisão jamais devem ser sacrificados. Neste trabalho investigamos técnicas para detecção de movimento que satisfaçam os requisitos mencionados. A técnica escolhida para detecção de movimento foi a de Fluxo Ótico, devido ao seu desempenho em relação a precisão de seus resultados. Como esta técnica é computacionalmente pesada, propõe-se neste trabalho a redução de área de trabalho na imagem, e conseqüentemente do tempo de execução do programa; através de algumas técnicas de pre-processamento que selecionem a área da imagem com maior possibilidade de movimento, para só então aplicar as equações de Fluxo Ótico nas mesmas. Para avaliar os resultados compara-se os diagramas de agulhas resultantes de nossa proposta com o diagrama de agulha resultante da aplicação das EFO na imagem toda. Os algoritmos são testados em imagens reais obtidas no interior de um barco em movimento.

Abstract— Motion detection algorithms applied to image sequences must satisfy the following basic requirements: precision, robustness and speed. The way to combine the basic requirements for motion detection depends on the algorithm to be developed and on the application, the robustness and precision never should be sacrificed. In the present work we investigated motion detection techniques that satisfy the mentioned requirements. The optical flow technique for motion detection was chosen because it has a good performance and precision. The optical flow techniques have a heavy computational load. In order to reduce the computation time we proposed a technique where the optical flow will be applied to the areas of the image with higher motion possibilities. Reducing the area of the image where the optical flow will be applied the computational time will also be reduced. To evaluate the results of the proposed methodology we compared the computing time and the needle diagram resulting from our proposal with those using the OFE over all the image. The algorithms were tested using real image obtained from a moving boat.

Keywords— Motion Detection; Image Processing; Optical Flow

1 Introdução

A estimação do movimento, que se baseia na descrição de sua existência no plano-objeto ou no plano-imagem, tornou-se um dos principais problemas em processamento digital de imagens, e tem sido objeto de estudo de continuadas pesquisas.^{3,4,5,6,7,8}

As etapas de estimação do movimento de uma cena basicamente são: detecção da existência de movimento, sua localização na cena e por fim, sua quantificação, que está relacionada com a distância do objeto à câmera. Para que um algoritmo de reconhecimento de movimento de objetos em uma cena tenha êxito e seja prático do ponto de vista do ambiente do mundo real, é necessário que o mesmo seja robusto contra ruído, rápido, principalmente quando se deseja trabalhar em tempo real, e preciso⁹. Esta precisão está relacionada com o mínimo erro ou o aceitável acerto da detecção. Obviamente que um algoritmo de visão deve retornar medidas tão corretas quanto sejam apropriadas à uma dada tarefa, ou seja, seu resultado deve combinar os requisitos de robustez, velocidade e precisão dependendo muito da apli-

cação desejada. Um bom exemplo é quando se deseja movimentar um robô, cujo processo de visão deva necessariamente desviá-lo de obstáculos, e portanto fornecer resultado basicamente qualitativo.² Neste caso não importa o quão refinado é o desvio (quantidade de desvio), e sim unicamente que haja um desvio satisfatório do obstáculo a tempo de evitar a colisão, o que implica num sistema veloz e robusto a ruído, mas não necessariamente preciso. Apesar de ser ideal que um algoritmo forneça resultados altamente precisos, o que não acontece no exemplo citado, jamais devem-se sacrificar os requisitos de robustez e velocidade¹⁰. Apesar de colocarmos a precisão de um algoritmo num grau de exigência inferior aos da robustez e velocidade, escolhemos como ferramenta para análise de movimento um método cuja maior vantagem é a precisão de seus resultados: o fluxo ótico (conjunto de vetores de velocidade de cada pixel). Obviamente que, se a precisão não deve ser o item de maior prioridade, porque então basear-se em um método cuja vantagem é esta? A questão é: como detectar movimento da forma mais rápida e robusta, que não forneça resultados pouco precisos? Trabalhando numa etapa de pre-processamento, onde se reduz a área útil a ser aplicada o FO, reduzindo assim o tempo

de processamento. Desta forma busca-se a garantia dos itens de velocidade e precisão. Mas e a robustez? Esta vai depender dos algoritmos escolhidos nas associações de métodos. Deste modo, a associação destes pares de técnicas possibilitaria uma investigação comparativa e detalhada sobre os resultados obtidos, levando-nos a propor uma metodologia de redução do fator velocidade em projetos de detecção de movimento em tempo real baseado em Fluxo Ótico.

Por isso, a presente pesquisa dedica-se ao estudo de aumento de velocidade em metodologias de detecção de movimento, baseando principalmente nas pesquisas prévias Cabestaing¹¹, Horn and Schunck¹

Após o processo das seleções de área pelas técnicas mostradas nos próximos capítulos, analisaremos o desempenho das respectivas associações, utilizando o cálculo do Erro Médio Quadrático dos vetores de cada diagrama de agulhas gerado em relação ao diagrama de agulhas gerado sem a devida redução de área.

1.1 Fluxo Ótico

Quando temos imagens resultantes de um movimento do objeto diante da câmera, ou da câmera diante do objeto a ser filmado, ou ainda do movimento do objeto e movimento da câmera, existem mudanças na imagem que correspondem a estes movimentos reais.

Para entender a definição de Fluxo Ótico, a nível de equações, considere $S_c(x_1, x_2, t)$ a distribuição de intensidade contínua no domínio do espaço e do tempo. Se a intensidade se mantém constante ao longo da trajetória do movimento, tem-se que:

$$\frac{dS_c(x_1, x_2, t)}{dt} = 0 \quad (1)$$

onde x_1 e x_2 variam de acordo com a trajetória do movimento. A equação 1 é uma expressão de derivada total e denota a taxa de variação de intensidade ao longo da trajetória. Usando a regra de derivação da cadeia e representando as coordenadas x_1 e x_2 na forma de um vetor posição \mathbf{x} pode-se rescrever esta equação da seguinte maneira:

$$\frac{\partial S_c(\mathbf{x}, t)}{\partial x_1} v_1(x_1, t) + \frac{\partial S_c(\mathbf{x}, t)}{\partial x_2} v_2(x_2, t) + \frac{\partial S_c(\mathbf{x}, t)}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

onde $v_1 = \frac{dx_1}{dt}$ e $v_2 = \frac{dx_2}{dt}$ são as

componentes do vetor de velocidade \mathbf{v} em termos das coordenadas espaciais contínuas. A equação (2) é conhecida como sendo a equação do Fluxo Ótico (EFO).

1.1.1 Método de Horn e Schunck

A essência deste método é a suposição de que o campo de movimento satisfaz a EFO com a variação de intensidade pixel a pixel ao longo de toda a imagem constante. E a partir da equação (2), temos a equação (3) que denota o erro na equação do fluxo ótico.

$$\varepsilon_{FO}(\mathbf{v}(\mathbf{x}; t)) = \langle \nabla S_c(\mathbf{x}; t), \mathbf{v}(\mathbf{x}; t) \rangle + \frac{\partial S_c(\mathbf{x}; t)}{\partial t} \quad (3)$$

Quando a Equação (2) é satisfeita, o erro da equação (3) é igual a zero. Na ausência de situações de oclusão e de ruídos, podemos minimizar o quadrado do erro e assim formar um sistema de duas equações, visto que a EFO não é suficiente para a determinação do vetor velocidade.

A variação pixel a pixel dos vetores de velocidade pode ser quantificada pela soma dos quadrados das magnitudes dos gradientes espaciais das componentes da velocidade, como mostra a equação 4.

$$\varepsilon_{FO}^2(\mathbf{v}(\mathbf{x}; t)) = \|\nabla v_1(x, t)\|^2 + \|\nabla v_2(x, t)\|^2 \quad (4)$$

Que é a soma dos Laplacianos das componentes do vetor velocidade \mathbf{v} . E também pode ser reescrita como:

$$\varepsilon_{FO}^2(\mathbf{v}(\mathbf{x}; t)) = \left(\frac{\partial v_1(x, t)}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_1(x, t)}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_2(x, t)}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_2(x, t)}{\partial x_2} \right)^2 \quad (5)$$

cujas coordenadas espaciais e temporais são consideradas variáveis contínuas. A equação (5) quando minimizada, suaviza o vetor velocidade e portanto, é chamada de equação de suavização. Finalmente, Horn e Schunck propõem a seguinte solução iterativa para determinar os valores das componentes de \mathbf{v} , partindo de um ponto inicial suposto como sendo as equações (6) e (7) respectivamente citadas abaixo:

$$\hat{v}_1^{(n+1)}(x_1) = \hat{v}_1^{(n)}(x_1) - \frac{\frac{\partial S_c(x_1, t)}{\partial x_1} \hat{v}_1^{(n)}(x_1) + \frac{\partial S_c(x_1, t)}{\partial x_2} \hat{v}_2^{(n)}(x_2) + \frac{\partial S_c(x_1, t)}{\partial t}}{\alpha^2 + \left(\frac{\partial S_c(x_1, t)}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial S_c(x_1, t)}{\partial x_2} \right)^2}$$

$$\hat{v}_2^{(n+1)}(x_2) = \hat{v}_2^{(n)}(x_2) - \frac{\frac{\partial S_c(x_1, t)}{\partial x_1} \hat{v}_1^{(n)}(x_1) + \frac{\partial S_c(x_1, t)}{\partial x_2} \hat{v}_2^{(n)}(x_2) + \frac{\partial S_c(x_1, t)}{\partial t}}{\alpha^2 + \left(\frac{\partial S_c(x_1, t)}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial S_c(x_1, t)}{\partial x_2} \right)^2}$$

O parâmetro α é selecionado heurísticamente e controla a restrição de suavização da imagem. Ou seja, é a partir da escolha de α que a determinação das componentes de \mathbf{v} convergem mais ou menos. Os parâmetros $n+1$ e n são respectivamente a itera-

ção a ser calculada e a anterior. Os valores iniciais da velocidade média são frequentemente usados como zero, e a partir deste calcula-se a velocidade estimada, e assim por diante até que a mesma convirja. Os gradientes são todos estimados usando diferenças finitas.

1.1.2 Método de Cabestaing

Optou-se por fazer a redução usando a metodologia de detecção das bordas dos objetos da imagem. Francois Cabestaing¹¹ descreve o processador STREAM, dedicado a detecção de movimento utilizando o operador demonstrado na figura 1.1.

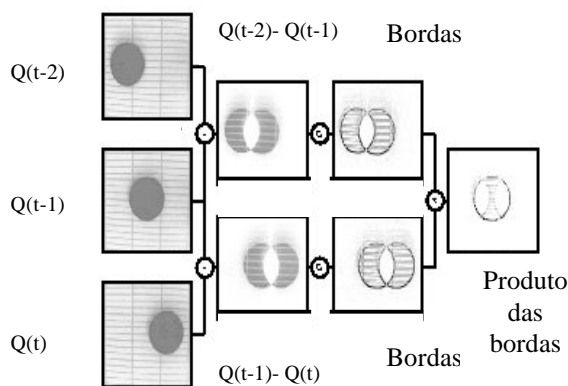


Figura 1.1 Detector de Bordas em Movimento

Este detector de bordas em movimento faz a subtração de um par de quadros $Q(t-2)$ e $Q(t-1)$ da seqüência de vídeo em análise e a seguir aplica um detector de borda dentre os conhecidos, multiplicando este resultado pelo resultado do mesmo procedimento aplicado aos quadros $Q(t-1)$ e $Q(t)$. A imagem resultante será nossa área útil da imagem onde calcularemos o Fluxo Ótico.

2. Metodologia

Foram obtidos resultados da detecção de movimento sem redução de área, para referência nas avaliações que serão feitas com o resultado fornecido pelo algoritmo deste projeto. Nesta seção mostrar-se-á um exemplo de aplicação

Implementou-se inicialmente o algoritmo de obtenção de movimento numa seqüência de três quadros consecutivos¹¹. A imagem resultante indica a região onde o movimento é obtido. Numa etapa posterior esta máscara é utilizada para selecionar a região dos quadros onde dever-se-á calcular o Fluxo Ótico. Além disto, pode-se optar caso, utiliza a metodologia de Horn e Schunck. A implementação tem estrutura visual mostrada na figura 2.1 pelo cálculo do Fluxo Ótico direto, que em nosso

No menu de opções de nosso programa temos num primeiro nível, as opções :

- ✓ Imagem;
- ✓ Pre-processamento;
- ✓ Fluxo Ótico;

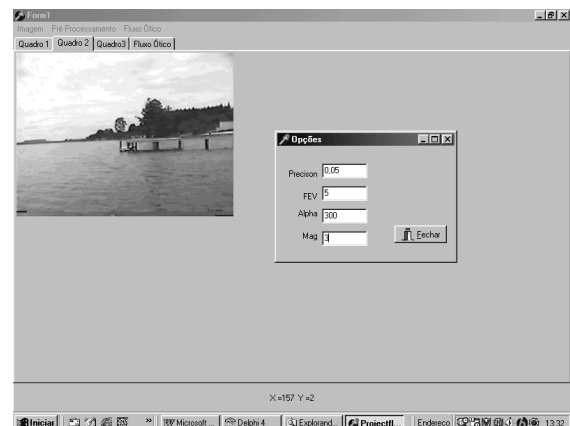


Figura 2.1. Tela de visualização do programa de detecção de movimento

Na opção Imagem, carrega-se individualmente os devidos 3 quadros da seqüência em análise, ou salva-se a imagem resultado das operações selecionadas. Na opção pre-processamento, temos implementadas a metodologia de Cabestaing com detecção de bordas de Sobel, a metodologia de diferença de quadros e a configuração das vetores usados na apresentação do Diagrama de Agulhas. Na opção Fluxo Ótico, temos a configuração dos 4 parâmetros utilizados, o cálculo do Fluxo direto e o cálculo do Fluxo usando a máscara obtida numa das opções de pre-processamento. Além disto, temos o cálculo do desvio do diagrama de agulhas com a redução de área em relação ao obtido sem a mesma, quantificando assim a perda de informação possivelmente ocorrida na metodologia proposta.

Os parâmetros a serem configurados para cálculo de FO, são:

- ✓ Precisão: parâmetro relacionado à convergência na estimação das componentes do vetor velocidade de Horn e Schunck.
- ✓ FEV: fator de expansão dos vetores de Fluxo Ótico, para melhor visualização nas situações em que os mesmos ficam sobrepostos.
- ✓ Alfa: fator de suavização das descontinuidades dos quadros.
- ✓ Magnificação: fator de ampliação do tamanho da imagem resultante.

Veja as figuras 2.2, 2.3 e 2.4 que são respectivamente um exemplo de três quadros consecutivos onde deseja-se calcular o movimento. Em uma etapa inicial obtém-se a imagem resultante que mostra a região de movimento dos quadros em questão¹¹. Estes quadros foram obtidos a partir de uma câmera CCD a bordo de um barco navegando numa represa da região.



Figura 2.2. Quadro 1 da seqüência



Figura 2.4. Quadro 3 da seqüência



Figura 2.3. Quadro 2 da seqüência



Figura 2.5. Resultado do movimento relativo de uma seqüência



Figura 2.6. Diagrama de agulhas obtido com máscara de Cabestaing

A figura 2.5 mostra os pixels de cujas bordas ocorreu movimento relativo na seqüência de três quadros. Aqueles onde ocorrem movimento assumem nível branco, e vice-versa nível preto

O fluxo ótico então é calculado nos pares de quadros após ser aplicada a máscara obtida na figura 2.5. O resultado é mostrado no diagrama de agulhas da figura 2.6, tendo sido calculado utilizando a máscara de Cabestaing nas imagens dos quadros 1 e 2, e com os seguintes valores de parâmetros :

- ✓ Precisão: 0,05
 - ✓ Fator de Expansão dos Vetores de Fluxo Ótico: 5
 - ✓ Alfa: 300
 - ✓ Magnificação da Imagem Resultante: fator 8
- Agora observe o Diagrama de Fluxo Ótico calculado com mesmos parâmetros que os considerados na obtenção da figura 2.6, mas sem o uso de máscara de redução de área útil para cálculo. Segue na figura 2.7.

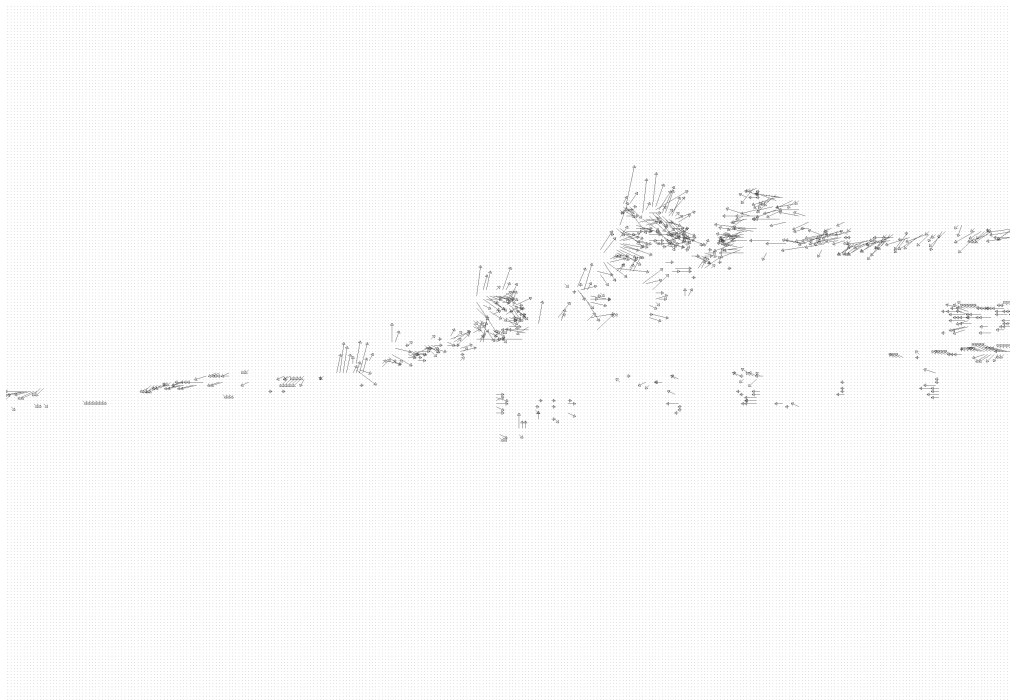


Figura 2.7. Diagrama de agulhas obtido com mesmos parâmetros, mas sem máscara.

3 Conclusão

O tempo de execução do algoritmo de obtenção de Fluxo Ótico baseado no método de Horn e Schunck é de 13,870 segundos, bem maior que o tempo de execução do algoritmo que combina a mesma técnica com a redução de área útil de cálculo de FO, através de pre-processamento, que ficou em 1,480 segundos. Uma redução de tempo da ordem de 9,37 vezes. Esta redução de tempo mostra a possibilidade de utilização de tal técnica no auto-guiamento de robôs, inclusive de barcos, diminuindo a probabilidade de contato com os obstáculos no ambiente em que os mesmos se locomovem.

A semelhança dos diagramas, se analisados visualmente é bastante perceptível. Para validar nossa metodologia calculamos o Erro Médio Quadrático entre o diagrama de agulhas original e aquele obtido com a máscara de Cabestaing. Este erro mede o desvio de nosso método em relação à metodologia de cálculo de fluxo ótico convencional. Em outras palavras, calculamos o desvio de

cada vetor de velocidade correspondente a cada pixel do diagrama obtido com nossa proposta em relação ao vetor do pixel de mesma posição do diagrama original.

Neste exemplo específico o Erro Médio Quadrático entre os diagramas obtidos foi de 0,08 - valor satisfatório, mas que ainda pode ser melhorado.

Desta forma, podemos verificar que nosso objetivo foi atingido, visto que mantivemos o requisito da precisão, enquanto buscávamos tornar mais rápida a detecção do movimento.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- [1] Horn, B.; Schunk, B; "Determining Optical Flow", *Artificial Intelligence* 17, 185-203, 1981

- [2] Nelson, R. & Aloimonos, J.; "Obstacle avoidance using flow field divergence", *IEEE PAMI-11*, 10:1102-1106.
- [3] Bülthoff, H.; Little, J.; Boggio, T. "A parallel algorithm for real-time computation of optical flow", *Nature*, vol. 337 / 9, p. 549-553, february 1989.
- [4] Anandan, P., "A computational Framework and an Algorithm for the Measurement of Visual Motion", *International Journal of Computer Vision*, 2, 283-310, 1989
- [5] Barron, J., L. ; Fleet, D. J.; Beauchemin, S. S.; "Systems and Experiment Performance of Optical Flow Techniques", *International Journal of Computer Vision*, 12:1, 43-77, 1994
- [6] Duchon, A . P.; Warren, W. H.; Kaelbling, L. P.; "Ecological Robotics: Controlling Behavior with Optical Flow", *Proceedings of the Seventeenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Pittsburgh, PA, July, 164-169, 1995.
- [7] Sabe, K.; Hashimoto, H.; Harashima, F.; "Analysis on Real Time Motion Estimation with Active Stereo Camera", *AMC'96- MIE. 1996 4th International Workshop on Advanced Motion Control Proceedings*, vol. 1, 365-371, 1996.
- [8] Chhabra, A . K. , "Real-time Computation of Optical Flow Along Contours of significant Intensity Change", *Real-time imaging* 3, 87-99, 1997
- [9] Camus. T.; "Real Time Optical Flow", *PhD Thesis*, Department of computer Science, Brown University, Providence, RI 02912, USA, September , 1994.
- [10] Camus. T.; "Real Time Quantized Optical Flow", *Real Time Imaging* 3, 71-86, 1997.
- [11] Cabestaing, F.; Postaire, J.G.; Bonnet, P. "Real Time Movement Detection : The STREAM Processor", (1991). *CAMP91, Computer Architecture for Machine Perception*, Paris , Decembre