

FUNDAMENTOS DA TÉCNICA DE FLUXO ÓPTICO E SUA APLICAÇÃO EM PUPILOMETRIA

Lucas Morai de Oliveira¹, Cláriton R. Bernadelli^{1,2}, Milena B. P. Carneiro¹, Antônio Cláudio P. Veiga¹

¹Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG

²Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Engenharia Elétrica, Uberaba – MG
lucasmorai@gmail.com, bernadelli@eletrica.uftm.edu.br, milena@eletrica.ufu.br, acpveiga@ufu.br

Resumo - Fluxo óptico (Optical Flow) é uma técnica usada para se medir a velocidade de deslocamento de objetos em um vídeo digital. Neste trabalho, é apresentada uma descrição da teoria do fluxo óptico, mostrando suas aplicações. Além disso, é feito um comparativo dos dois algoritmos mais utilizados: Horn & Schunck e Lucas & Kanade. Uma implementação do algoritmo de Lucas & Kanade foi aplicada a uma sequência de imagens provenientes de uma gravação do olho humano submetido a uma variação da intensidade de luz. O objetivo é rastrear a mudança no diâmetro da pupila.

Palavras-Chave – Fluxo Óptico, processamento digital de imagens, visão computacional, pupilometria.

FUNDAMENTALS OF OPTICAL FLOW TECHNIQUE AND ITS APPLICATION IN PUPILLOMETRY

Abstract - Optical flow (Optical Flow) is a technique used to measure the speed of movement of objects in a digital video. In this work, a description of the theory of optical flow is presented showing its applications. Furthermore, a comparative is made of the two most commonly used algorithms: Horn & Schunck and Lucas & Kanade. An implementation of the Lucas & Kanade algorithm was applied to a sequence of images from a human eye subject a change of light intensity. The objective is to track the change in pupil diameter.

Keywords – computer vision, digital image processing, Optical Flow, pupillometry

I. INTRODUÇÃO

Fluxo Óptico (Optical Flow) é a área que descreve os deslocamentos que ocorrem entre dois quadros consecutivos de uma sequência de vídeo [1]. Fluxo Óptico é a distribuição de velocidade aparente do movimento dos padrões de intensidade em uma imagem. Tais movimentos são determinados através da variação dos pixels. O Fluxo Óptico pode surgir de um movimento relativo de objetos e vistas e pode ser utilizado até mesmo para estimar as velocidades dos objetos [1].

A literatura da área de visão computacional demonstra que é possível determinar o movimento relativo entre um objeto em uma cena e a câmera utilizada para capturar uma sequência de quadros de imagem 2D da mesma, desde que a câmera permaneça estática e o local tenha as mesmas

condições ambientes o tempo todo, através do cálculo do fluxo óptico correspondente.

Deste modo, além de fornecer uma importante informação sobre o arranjo dos objetos vistos, o fluxo óptico fornece também a taxa de mudanças destes mesmos arranjos. Sendo assim, a descontinuidade do fluxo óptico pode ajudar em segmentação de imagens em regiões que correspondem a diferentes objetos [1].

O fluxo óptico é eficaz em diferentes aplicações no processamento e análise de imagens digitais. Entre as aplicações podem-se destacar algumas, tais como: interpretação de cena, navegação exploratória, acompanhamento de objetos, avaliação de tempo de um corpo contra o outro e segmentação de objetos. Além disso, também pode ser utilizado em diversos outros campos, entre eles, visão robótica e aplicações de vigilância [2].

No decorrer deste trabalho será apresentada a teoria sobre o Optical Flow e os dois métodos mais utilizados para a obtenção do fluxo óptico. Ambos os métodos se baseiam em diferenciação, mas enquanto a técnica apresentada por Lucas & Kanade se desenvolve por meio de matrizes, a técnica apresentada por de K.P. Horn & B.G. Shunck se utiliza de equações diferenciais. Os dois métodos obtêm os mesmos resultados e até por isso são os mais usados atualmente.

Além disso, serão apresentados os desenvolvimentos matemáticos dos dois métodos, suas respectivas características e as áreas em que cada método obtém melhores resultados. Além de demonstrar as duas técnicas, o trabalho se propõe a analisar os resultados obtidos através da implementação da técnica de Lucas & Kanade em imagens gravadas de um olho de uma pessoa submetido a diferença de intensidade de luz.

No final será feita uma análise da eficácia do método utilizado (Lucas & Kanade) e que informações podem ser coletadas das imagens resultantes do processamento do Fluxo Óptico.

II. FLUXO ÓPTICO

O fluxo óptico tem por objetivo encontrar, para cada pixel presente na imagem, um vetor $\vec{u} = (u, v)$. Este vetor é responsável por dizer a rapidez pelo qual o pixel se move pela imagem e em qual direção o mesmo está se movendo [2].

A Figura 1 mostra o esquema do fluxo óptico. Um ponto qualquer P na cena projeta um ponto p[x,y] no sistema de coordenadas da câmera [X,Y,Z], que é o eixo óptico apontando na direção de z. O movimento da câmera é descrito por sua rotação $[\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z]$ e translação $[T_x, T_y, T_z]$ [2].

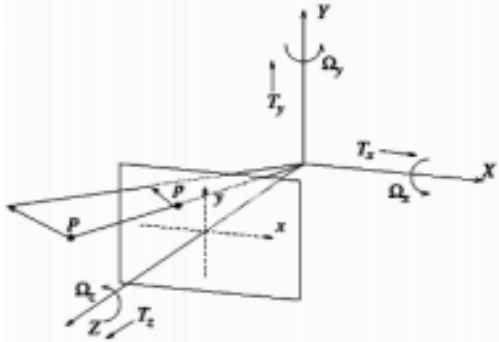


Fig. 1. Esquema de representação do fluxo óptico

Considere a Figura 1 que ilustra como a translação e rotação da câmera causa a localização projetada p de um ponto P na cena em movimento. Da mesma maneira, se o ponto P está se movendo independentemente, sua projeção no plano de imagem irá se alterar mesmo quando a câmera estiver estacionária. Deste modo, o vetor de campo $u(x,y) = [u(x,y), v(x,y)]$, descreve o movimento horizontal e vertical, para todos os pontos da cena [2].

As técnicas para a computação do Fluxo Óptico podem ser classificadas em três grandes grupos: Técnicas diferenciais, Técnicas de correlação e Técnicas baseadas em Frequência Energia. Ambos os métodos que serão estudados nesse trabalho, Lucas & Kanade e Horn & Schunck são técnicas diferenciais, ou seja, a hipótese inicial para a computação do fluxo óptico é a de que a intensidade entre quadros distintos em uma sequência de imagens é aproximadamente igual em um intervalo de tempo pequeno, portanto, em um pequeno intervalo de tempo o deslocamento será mínimo [1].

A partir dessa premissa, usando equações diferenciais, é possível calcular a equação de restrição do fluxo óptico. Entretanto, esse cálculo não é suficiente para determinar o fluxo óptico. Dessa forma, foi necessária a criação dos diferentes métodos que existem atualmente.

Lucas & Kanade propõem um método no qual, para obter o fluxo óptico, é necessário outro conjunto de equações. A solução dada por Lucas & Kanade é um método não iterativo que assume um fluxo óptico constante local. Já no método de Horn & Schunck, a velocidade da imagem é computada a partir das derivadas espaço-temporal das intensidades da imagem [2].

A determinação do Fluxo Óptico é bastante complexa, pois envolve inúmeras variáveis que nem sempre podem ser controladas, tais como: oclusões de pontos de interesse devido à mudança de perspectiva e devido ao aparecimento de novos objetos na cena, vibração da câmera que está sendo utilizada e mudança de iluminação do ambiente, onde sombras e nuvens podem modificar radicalmente a intensidade das imagens [1].

III. CÁLCULO DA EQUAÇÃO DE RESTRIÇÃO DO FLUXO ÓPTICO

Para o cálculo da equação de restrição do fluxo óptico, é necessário assumir primeiramente que o intervalo de tempo dt entre duas imagens é muito pequeno e a intensidade da imagem se mantém constante neste intervalo de tempo. Sendo assim, seja $I(x, y, t)$ a intensidade da imagem no pixel (x, y) no tempo t , então:

$$I(x, y, t) = I(x + dx, y + dy, t + dt) \quad (1)$$

Para melhor análise do sistema, a equação anterior pode ser expandida pela série de Taylor e reescrita como:

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) = I(x, y, t) + \frac{\delta I}{\delta x} dx + \frac{\delta I}{\delta y} dy + \frac{\delta I}{\delta t} dt + O^2 \quad (2)$$

Simplificando as duas equações e eliminando o termo O^2 , que representa os termos de alta ordem, obtém-se:

$$I(x, y, t) = I(x, y, t) + \frac{\delta I}{\delta x} dx + \frac{\delta I}{\delta y} dy + \frac{\delta I}{\delta t} dt \quad (3)$$

Eliminando o termo comum em ambos os lados, temos:

$$0 = \frac{\delta I}{\delta x} dx + \frac{\delta I}{\delta y} dy + \frac{\delta I}{\delta t} dt \quad (4)$$

Dividindo todos os termos por dt , temos:

$$\frac{\delta I}{\delta x} \frac{dx}{dt} + \frac{\delta I}{\delta y} \frac{dy}{dt} + \frac{\delta I}{\delta t} = 0 \quad (5)$$

Onde $\bar{v} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right)$ são os dois componentes do vetor velocidade (procurado) “ v ”. O gradiente da função imagem nas direções x e y , $\frac{\delta I}{\delta x}$ e $\frac{\delta I}{\delta y}$ são denominados como ∇I .

Desta forma a equação de restrição do Fluxo Óptico torna-se:

$$\nabla I \cdot \bar{v} + I_t = 0 \quad (6)$$

Entretanto, somente a equação de restrição anterior não é suficiente para estimar os componentes de v , já que existem mais variáveis do que equações para a solução e deste modo, não é possível encontrar o valor das variáveis apresentadas acima.

As técnicas de Lucas & Kanade e Horn & Schunck são desenvolvidas a partir deste ponto e, portanto, só diferem a partir daqui.

A precisão das inúmeras técnicas diferenciais existentes depende diretamente de uma boa estimativa das derivadas parciais da função intensidade. Ao se utilizar um algoritmo iterativo, como o caso de Horn & Schunck, o processo é finalizado quando a diferença entre o fluxo calculado na iteração corrente e o calculado na iteração anterior não for muito significativa. Por outro lado, ao se usar um método não iterativo, já se assume um fluxo óptico constante local [1].

IV. MÉTODO DE HORN & SCHUNCK

O primeiro método para o cálculo do campo bidimensional de vetores de velocidade a partir de uma sequência de imagens foi descrito e implementado por Horn

e Schunck (1981) [3]. O método Horn & Schunck para estimar o fluxo óptico propõe uma restrição de suavização global para resolver o problema de abertura, que é o fato de existir inúmeras soluções para uma mesma equação, mas não permite obter campos de deslocamento que apresentam descontinuidades.

Essa técnica considera que os pixels associados a objetos em uma sequência temporal de imagens podem mudar suas posições conforme o movimento do objeto. Entretanto, a intensidade de um pixel não pode variar de uma imagem na sequência para a próxima. No entanto, apenas essa restrição de luminosidade não determina um campo de vetores de velocidade único. A unicidade da solução do campo pode ser obtida através da incorporação de uma função custo.

Uma forma de expressar matematicamente a restrição é minimizando o quadrado da magnitude do gradiente da velocidade de fluxo óptico, assim como abaixo:

$$\left(\frac{\delta u}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta u}{\delta y}\right)^2 \text{ e } \left(\frac{\delta v}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta v}{\delta y}\right)^2 \quad (7)$$

Outra forma de representar a restrição é pela soma dos quadrados dos Laplacianos dos x e y-componentes do fluxo. Os Laplacianos de u e v são definidos como:

$$\nabla^2 u = \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \text{ e } \nabla^2 v = \frac{\delta^2 v}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 v}{\delta y^2} \quad (8)$$

Em situações simples, ambos os Laplacianos são zero. Se o observador se mover em paralelo com um objeto plano, rodar em torno de uma linha perpendicular à superfície ou se desloca perpendicularmente à superfície, então as segundas derivadas parciais de ambos u e v desaparecerão (assumindo projeção em perspectiva na formação da imagem).

O Laplaciano é estimado através da subtração do valor de cada ponto de uma média ponderada dos valores dos pontos vizinhos. A Figura 2 abaixo mostra quais são os valores adequados que devem ser multiplicados ao ponto [4].

$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$
$\frac{1}{6}$	-1	$\frac{1}{6}$
$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$

Fig. 2. Valor do peso de cada ponto vizinho ao ponto analisado

V. MÉTODO DE LUCAS & KANADE

Lucas & Kanade, também chamado de método das diferenças, é um método não iterativo que assume um fluxo óptico constante local, que se utiliza de uma restrição local como forma de solucionar o problema da abertura. O método

assume que pequenas regiões na imagem correspondem ao mesmo objeto e, portanto, possuem movimento semelhante. A região é dividida em janelas de tamanho $N \times N$, cada uma com $p = N^2$ pixels. A restrição local de movimento utilizada permite construir um sistema sobredeterminado com p equações e somente 2 incógnitas.

$$\begin{aligned} I_{x1}u + I_{y1}v + I_{t1} &= 0 \\ I_{x2}u + I_{y2}v + I_{t2} &= 0 \\ &\vdots \\ I_{xp}u + I_{yp}v + I_{tp} &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

O sistema de equações acima pode ser solucionado e, conseqüentemente, o fluxo óptico $v = (u, v)$ calculado, através do Método dos Mínimos Quadrados. O fluxo óptico estimado para uma determinada janela $N \times N$ corresponde ao vetor de fluxo de todos os elementos da referida janela, como mostra a Figura 3 abaixo [5].

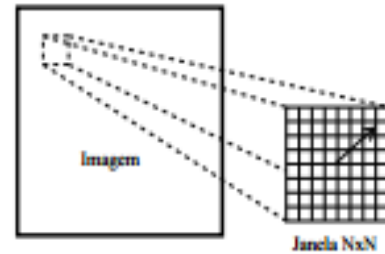


Fig. 3. O vetor do fluxo óptico estimado correspondente a todos os pixels da janela

O método de Lucas & Kanade obtém resultados razoavelmente robustos a ruído, porém a malha de pontos do campo de velocidade não é tão densa [1].

VI. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE LUCAS & KANADE EM IMAGENS DE PUPILAS

O Fluxo Óptico pode ser utilizado em diversas aplicações, como monitoramento do trânsito de uma via movimentada, navegação exploratória, entre outros. Um exemplo de aplicação do Fluxo Óptico é a realização do processamento das informações que podem ser coletadas de uma pupila a fim de diagnosticar possíveis doenças.

A pupila realiza movimentos de contração e dilatação em diversas situações como, por exemplo, durante o ajuste de foco, devido ao reflexo à luz, em situações de medo, mudança no nível de atenção, entre outros.

O comportamento da pupila a diferentes estímulos pode ser usado para detectar patologias do sistema visual e do sistema nervoso. Se a pupila se dilata, é porque o sistema nervoso simpático foi estimulado. No entanto, se a pupila se contrai, é porque o sistema nervoso parassimpático entrou em ação.

Ambos os sistemas são derivados do sistema nervoso autônomo, que por sua vez, tem a função de regular as atividades involuntárias do nosso organismo, entre elas, pressão, temperatura e batimentos cardíacos. O sistema simpático é utilizado quando o organismo requer respostas

rápidas, enquanto o sistema parassimpático é utilizado para respostas mais demoradas.

Sendo assim, o mecanismo de contração e dilatação da pupila é visto como um método não invasivo que pode ser útil para avaliar a atividade do sistema nervoso autônomo [6].

As imagens das Figuras 4, 5 e 6 mostram o comportamento da pupila enquanto a intensidade da luz é alterada.



Fig. 4. Imagem da pupila com a menor intensidade de luz presente



Fig. 5. Imagem da pupila com intensidade média de luz presente



Fig. 6. Imagem da pupila com a maior intensidade de luz presente

Como pode ser visto nas figuras acima, a pupila fica mais dilatada com a menor intensidade de luz e quanto mais a intensidade da luz vai aumentando, mais a pupila se contrai.

Deste modo, através da dinâmica da mudança de tamanho da pupila, pode-se determinar se a pessoa em questão tem algum tipo de doença associada ao sistema visual ou nervoso, ou em alguns casos, até mesmo se a mesma tem propensão a alguns tipos de doenças.

A seguir, o trabalho mostra como as imagens anteriores ficam ao passarem pela técnica de Lucas & Kanade. Para realizar a implementação, foram utilizadas imagens do olho

inteiro ao invés de só focar na pupila, pois assim seria mais fácil do software utilizado identificar onde a pupila está.

A saída do algoritmo de Lucas & Kanade mostra o diagrama com as velocidades estimadas de cada ponto que sofreu deslocamento entre o frame anterior e o atual.

Como resultado prático o Fluxo Óptico determina os vetores na direção do gradiente de brilho da imagem, possibilitando portanto, o cálculo da velocidade e da variação espacial de pontos específicos, como por exemplo, pontos da borda da íris ou da pupila. Sendo assim, as áreas que apresentam mais vetores são aquelas em torno da pupila e da íris, além das áreas que envolvem a pálpebra, como pode ser visto na Figura 7.

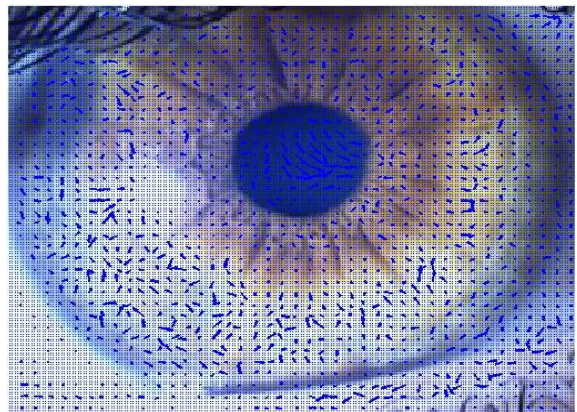


Fig. 7. Vetores ilustrando o resultado da aplicação do fluxo óptico.

VII. CONCLUSÕES

Este artigo mostra que o fluxo óptico é uma ferramenta muito útil e eficiente para determinar a direção e a velocidade em que os objetos se movem entre duas imagens em sequência. Depois de demonstrada a teoria a respeito dos métodos de Horn & Schunck e de Lucas & Kanade, pôde-se ver esta última técnica aplicada na prática em imagens de pupilas, com o objetivo de rastrear a variação do diâmetro destas pupilas quando submetidas a diferentes níveis de intensidade de iluminação.

REFERÊNCIAS

- [1] A. W. C. Faria, "Fluxo Óptico", ICEX-DCC – UFMG, 1992.
- [2] V. J. O. Neto, D. M. Gomes, "Comparação de Métodos Para Localização de Fluxo Óptico em Sequências de Imagens", PPGCC – UFOP, Ouro Preto.
- [3] M. A. Gutierrez, S. S. Furuie, L. Moura, J. C. Meneghetti, N. Alens, "Quantificação do Movimento 3D do Miocárdio em Imagens de Medicina Nuclear", RBE – Caderno de Engenharia Biomédica, 1996.
- [4] B. K. P. Horn, B. G. Schunck, "Determining Optical Flow", Artificial Intelligence Laboratory – MIT, Cambridge, 1980.
- [5] K. R. T. Aires, A. A. D. Medeiros, "Estimação do Fluxo Óptico com a Adição de Informação de Cor", DCA – UFRN, Natal.
- [6] C. R. Bernadelli, A. C. P. Veiga, "Rastreamento em vídeo das características da pupila", FEELT-UFU, Uberlândia, 2011.