

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/312041891>

AUTOMATIC PUPIL DETECTION USING ELLIPSE FITTING

Conference Paper · October 2016

CITATIONS

0

READS

151

5 authors, including:



Liset Vázquez Romaguera
Polytechnique Montréal

21 PUBLICATIONS 27 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Francisco Perdigón Romero
Polytechnique Montréal

27 PUBLICATIONS 33 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Carlos R. Vazquez Seisdedos
University of Oriente (Cuba)

64 PUBLICATIONS 275 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Cicero Ferreira Fernandes Costa Filho
Federal University of Amazonas

74 PUBLICATIONS 294 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Optimum Baseline Wander removal in ECG signals [View project](#)



IVADO project [View project](#)

DETECÇÃO AUTOMÁTICA DA PUPILA USANDO AJUSTE DE ELIPSE

L. V. Romaguera*, F.P. Romero*, C. R. V. Seisdodos**, C. F. F. Costa Filho*, M. G. F. Costa*

*Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil

** Universidade de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

e-mail: lisetvr90@gmail.com

Resumo: A detecção da pupila é uma etapa de grande importância em várias aplicações de visão computacional tais como as interfaces homem – máquina, estudos do comportamento humano, estimativa do olhar e outras. Nesse processo, atingir robustez e acurácia, especialmente em imagens não ideais, resulta um desafio. Neste artigo, é proposto um novo método para resolver esse problema. Inicialmente é feito um pré-processamento sobre a imagem de entrada (binarização, operações morfológicas, detecção de bordas). Em seguida, uma elipse é ajustada à pupila. A metodologia foi avaliada em 1200 imagens da base de dados CASIA V2. Os resultados obtidos mostram um bom desempenho para uma variedade de imagens não ideais.

Palavras-chave: Processamento de imagens, rastreamento ocular, detecção de pupila, ajuste de elipse.

Abstract: *Pupil detection is a very important step in many machine vision applications such as human – computer interface, study of human behavior, gaze estimation and others. Accurate and robust pupil detection especially in non-ideal eye image is a challenging task. In this paper, a new method to solve this problem is proposed. First a preprocessing is performed on the input image (binarization, morphologic operation, edge detection). Then an ellipse is fitted to pupil. This approach was evaluated on 1200 images from CASIA V2 database. The results show that it can perform well for a variety of non-ideal eyes images.*

Keywords: *Image processing, eye tracking, pupil detection, ellipse fitting.*

Introdução

O rastreamento ocular consiste na estimativa contínua do ponto observado pelo usuário numa superfície, por exemplo, a tela de um computador. Isto é utilizado em múltiplas aplicações tais como a interação homem-máquina, interfaces para usuários com deficiências, estudos do comportamento humano, avaliação de motoristas, estudos de usabilidade, pesquisas nas neurociências e outras [1]. Na última década, o desenvolvimento de tecnologias e ferramentas para o rastreamento ocular tem sido uma área em constante crescimento. Técnicas de visão computacional são usadas para o rastreamento ocular. Dentro desse processo uma etapa importante é a localização do centro da pupila para calcular a direção do olhar. Para as aplicações citadas é necessária uma detecção robusta e precisa.

Contudo, as variações de iluminação, o ruído e as oclusões constituem desafios para que bons desempenhos sejam alcançados.

No processo de captura das imagens oculares são utilizadas fontes de iluminação natural ou infravermelhas (IR, do inglês *Infrared*). Isso é um elemento que determina o tipo de processamento porque influencia as características da imagem. Os equipamentos requeridos pelos sistemas com luz visível são usualmente mais baratos. Geralmente, o processamento feito para a detecção da pupila nestas imagens aproveita o alto contraste entre as regiões da íris e da esclera. Por outro lado, a iluminação IR é usada pela maioria dos sistemas comerciais de *eye tracking* existentes [2][3][4] e na pesquisa [5][6][7][8]. Essa modalidade de imagem agrega vantagens em relação aos sistemas de luz visível: (a) melhora a qualidade da imagem porque fornece maior estabilidade, (b) não distrai nem incomoda o usuário, pois é invisível ao olho humano, (c) aumenta o contraste entre a íris e a pupila.

Vários métodos têm sido propostos para a segmentação da pupila em imagens de olhos. Em [5] é utilizada uma iluminação IR disposta coaxialmente em relação ao eixo óptico da câmara. As imagens adquiridas possuem duas características relevantes: a pupila apresenta-se mais brilhante do que o resto da imagem e a reflexão da luz na córnea provoca um lampejo (*glint*). Esse tipo de imagem, com pupila brilhante, tem duas desvantagens: (a) quando existe muita iluminação externa na cena, a pupila perde seu contraste em relação ao resto da imagem, e (b) múltiplos “*glints*” afetam sobremaneira o desempenho do algoritmo. Os trabalhos a seguir citados têm em comum o uso de fontes de iluminação IR. Em [6], a pupila é identificada pela aplicação de uma transformada baseada na simetria radial da pupila que utiliza a informação dos níveis de intensidade de cinza dos pixels. No método proposto em [7], os autores determinam uma região inicial usando um detector de características de tipo Haar. Em seguida aplicam o *k-means* no histograma para segmentar a pupila. Por fim, ajustam o contorno da pupila através do algoritmo *Random Sample Consensus* (RANSAC), o qual é um método iterativo utilizado para estimar parâmetros de um modelo matemático a partir de um conjunto de dados observados. Em [8], são combinados um filtro de Kalman com um detector de deslocamento médio que explora o efeito de “pupila brilhante” obtido com iluminação IR.

Os trabalhos [9] e [10] utilizaram uma base de imagens IR pública, a CASIA V2 [11] para avaliarem o desempenho dos métodos propostos.

O algoritmo de detecção da pupila proposto nesse trabalho baseia-se na obtenção do contorno da pupila e do centro da mesma, através do cálculo de uma elipse. Os resultados obtidos serão também comparados com os resultados dos trabalhos [9] e [10], os quais utilizam a mesma base de imagens IR.

Materiais

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes da base de dados de imagens oculares infravermelhas (IR) CASIA V2 [11] que contém 60 pastas (cada uma de um indivíduo diferente) totalizando 1200 imagens de 480x640 pixels de resolução, em formato *bmp*. Esta versão contém imagens não ideais de olhos que incorporam elementos como interferência dos cílios, oclusão dos olhos e variações abruptas de iluminação.

Métodos

A metodologia é composta de duas etapas. A primeira consiste no pré-processamento da imagem de entrada. A segunda consiste na aplicação de um método de ajuste de curva o qual produz unicamente soluções elípticas que, sob a normalização $4ac - b^2 = 1$, minimiza a soma das distâncias algébricas quadradas dos pontos da elipse. Esse método, proposto por [12], oferece o melhor compromisso entre velocidade e acurácia para o ajuste da elipse. Sua propriedade de singularidade lhe confere uma robustez extrema ao ruído e usabilidade em muitas aplicações, especialmente em visão computacional.

Na Figura 1 é mostrado o diagrama de blocos do algoritmo de detecção da pupila proposto.

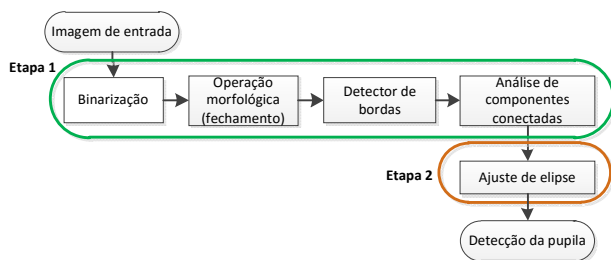


Figura 1. Diagrama de blocos do método proposto.

Etapa 1: Pré-processamento - Inicialmente o algoritmo assume como entrada uma imagem ocular em nível de cinza. Assim, em qualquer outro caso, será necessário a conversão para esse tipo de imagem. Sobre a imagem de entrada é feita uma transformação não linear para obter uma imagem binária. Para isso, um valor de limiar T , foi utilizado de modo que:

$$\begin{aligned} I_{saída}(x, y) &= 1 \text{ se } I_{entrada}(x, y) > T \\ I_{saída}(x, y) &= 0 \text{ se } I_{entrada}(x, y) \leq T \end{aligned} \quad (1)$$

Uma limitação dessa técnica é a dependência de T das condições de iluminação da imagem. No entanto, em imagens IR, como é o caso das imagens da base CASIA, a técnica de limiar pode ser aplicada com sucesso devido a estabilidade dessas imagens em relação a variações de iluminação. Assim, o valor de T , obtido experimentalmente, foi de 0,1 (normalizado).

A morfologia matemática, baseada na teoria de conjuntos, fornece uma gama de algoritmos extremamente úteis para diversas áreas do processamento de imagens incluído realce, filtragem, segmentação, esqueletização e outras. A operação morfológica de fechamento é o resultado de uma dilatação seguida por uma erosão. Ela tende a suavizar os contornos dos objetos, geralmente funde as descontinuidades estreitas e alonga os golfos finos, elimina pequenos buracos e preenche as lacunas [13]. Neste caso, a referida operação morfológica foi aplicada para reduzir os efeitos de ruído causados pelos cílios e os outros artefatos indesejáveis presentes na imagem binária obtida no passo anterior. A operação de fechamento foi implementada com elementos estruturantes (EE) em forma de disco, de raios 3, 5 e 7, respectivamente. Os melhores resultados na eliminação de artefatos foram alcançados com um EE de raio 5.

Para a detecção de bordas foi aplicado o algoritmo de Canny.

Para a união dos segmentos de bordas, obtidos através do método de Canny, foi implementada uma análise de componentes conectadas em uma vizinhança de 8. A Figura 2 ilustra o processamento resultante dos passos metodológicos até aqui descritos.

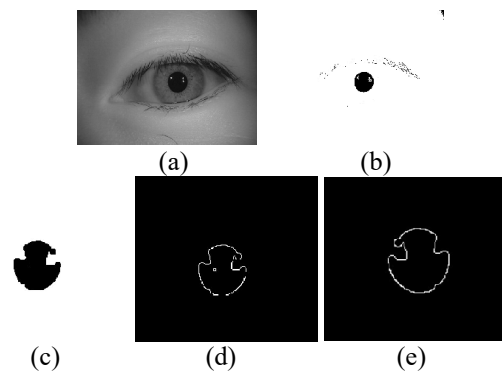


Figura 2. (a) Imagem original. Resultado após: (b) Operação de Limiar (c) Fechamento morfológico (d) Detecção de bordas de Canny (e) Análise de componentes conectadas.

Neste ponto, o conjunto de posições (x, y) dos pixels de contorno (pixels brancos) é armazenado em uma matriz bidimensional, a qual se constituirá nos parâmetros de entrada para a função de ajuste de elipse apresentada a seguir.

Etapa 2: Ajuste de elipse - Em alguns trabalhos a pupila é modelada como um círculo e a detecção é feita em conformidade com esse modelo [10][14]. No entanto, o modelo elíptico possui uma maior adaptabilidade, flexibilidade e robustez em imagens reais.

O algoritmo de ajuste de elipse apresentado aqui está baseado no trabalho do Fitzgibbon, Pilu e Fisher [12]. Originalmente foi proposto para dados dispersos de forma geral. Neste trabalho foi adaptado para nossa aplicação específica. Consiste em um método de ajuste de mínimos quadrados focado em elipses, o qual confere vantagens em termos de sensibilidade às oclusões e ao ruído.

Na Figura 3 é apresentado o diagrama de fluxo correspondente ao algoritmo de ajuste de elipse. No início, deve-se apresentar um vetor com as coordenadas x e y dos pontos resultantes do passo anterior. Em seguida esses dados são normalizados.

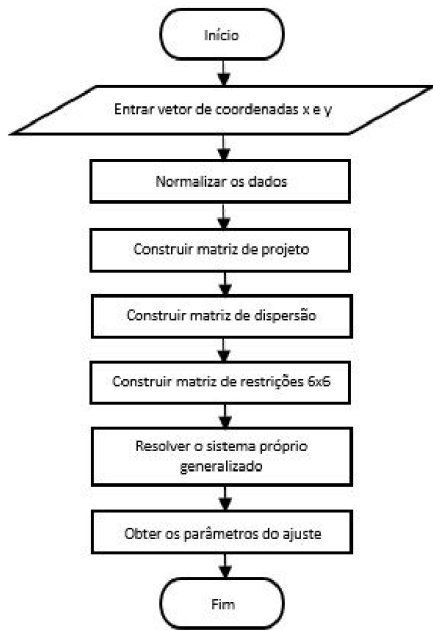


Figura 3. Diagrama de fluxo do algoritmo de ajuste de elipse.

É sabido que uma cônica, de forma geral, pode ser representada por um polinômio de segundo ordem:

$$F(\mathbf{a}, \mathbf{x}) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{x} = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0 \quad (2)$$

em que $\mathbf{a} = [a \ b \ c \ d \ e \ f]^T$ e $\mathbf{x} = [x^2 \ xy \ y^2 \ x \ y \ 1]^T$. $F(\mathbf{a}, \mathbf{x}_i)$ é chamada “distância algébrica” de um ponto (x, y) à cônica $F(\mathbf{a}, \mathbf{x}) = 0$.

O ajuste de uma cônica geral pode ser abordado minimizando a soma das distâncias algébricas quadradas da curva para os N pontos \mathbf{x}_i .

$$\mathcal{D}_A(\mathbf{a}) = \sum_{i=1}^N F(\mathbf{x}_i)^2 \quad (3)$$

Para evitar a solução trivial $\mathbf{a} = \mathbf{0}$, se aplicam restrições ao vetor \mathbf{a} . A minimização das distâncias pode ser resolvida considerando o sistema de valor próprio generalizado:

$$\mathbf{D}^T \mathbf{D} \mathbf{a} = \lambda \mathbf{C} \mathbf{a} \quad (4)$$

em que $\mathbf{D} = [\mathbf{x}_1 \ \mathbf{x}_2 \ \dots \ \mathbf{x}_N]^T$ é a matriz de projeto, $\mathbf{D}^T \mathbf{D}$ é a matriz de dispersão e \mathbf{C} é a matriz de restrições 6×6 .

No caso específico da elipse, a restrição é quadrática da forma $4ac - b^2 = 1$ e pode ser expresada na forma matricial $\mathbf{a}^T \mathbf{C} \mathbf{a} = 1$ como:

$$\mathbf{a}^T \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{a} = 1 \quad (5)$$

Com as equações e restrições anteriores é construído e resolvido um sistema próprio, o qual possui 6 pares de autovalores e autovetores. Para mais detalhes sobre a base matemática, consultar [12].

Por fim, a função de ajuste devolve os seguintes parâmetros: centro da elipse, raio e orientação. Com esses dados é possível traçar a elipse ajustada à pupila e determinar o centro dela.

Métrica de desempenho – Foi utilizada a figura de mérito da taxa de sucesso (*hit rate* - *HR*) para mensurar o desempenho do método. A métrica *HR* é definida na equação (6), como a percentagem de pupilas detectadas corretamente ($D_{corretas}$) em relação ao total de imagens avaliadas (D_{total}).

$$HR = \frac{D_{corretas}}{D_{total}} \cdot 100 \% \quad (6)$$

Implementação – A metodologia apresentada foi implementada no MATLAB® versão R2012b em um computador com processador Intel Core i3 3.30 GHz e 2 GB de memória RAM.

Resultados e Discussão

Como já mencionado, para a validação do método foi utilizada a segunda versão da base de dados CASIA V2, composta por 1200 imagens [11].

Considera-se que a detecção da pupila é bem-sucedida se o erro entre o centro estimado e o real é menor ou igual a 6 pixels [6]. Das 1200 imagens processadas, 1136 foram detectadas com sucesso, representando um *hit rate* de 94,66%. Tal valor de *HR* é um resultado aceitável, se levamos em consideração que as imagens apresentam fatores de ruído. Na Tabela 1 são apresentadas algumas taxas obtidas em trabalhos similares. O método proposto demonstrou ser competitivo com o estado da arte.

Tabela 1. Comparação de desempenho com trabalhos que utilizam a mesma base de Imagens, CASIA, V2

Trabalho	HR
Mohammed G <i>et al.</i> [9]	87 %
Yuan <i>et al.</i> [10]	95,2 %
Método proposto	94,66 %

Na Figura 4 são apresentadas algumas imagens influenciadas por ruído. Nelas pode-se observar a presença de cílios e oclusão parcial dos olhos, fatores que dificultam a detecção da pupila. Pode-se também observar que a localização da pupila teve sucesso, demonstrando a robustez do algoritmo.

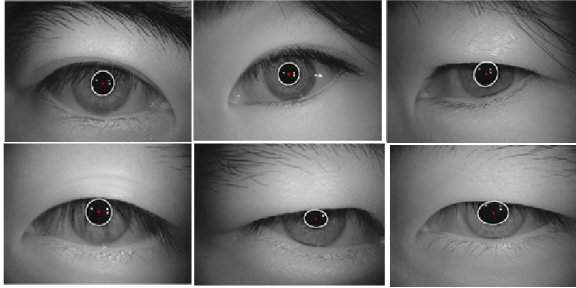


Figura 4. Exemplos de resultados da detecção da pupila em imagens influenciadas por artefatos.

O algoritmo apresentou alguns erros em imagens com variações extremas de iluminação que afetaram a limiarização, fato pelo qual em um trabalho futuro o limiar será determinado de forma adaptativa.

O tempo de execução medido com o programa MATLAB (linguagem interpretada) foi de 6,2 ms. Observa-se que o tempo obtido é levemente inferior aos apresentados em [14], que estão na faixa de 6,5 – 8 ms. Adicionalmente, se o método proposto for implementado em uma linguagem compilada, como C++, o tempo certamente será menor.

Conclusões

Neste artigo, foi proposto e avaliado através da métrica taxa de sucesso (HR) um método para a detecção automática da pupila. O método foi implementado em duas etapas principais: pré-processamento da imagem e o ajuste da elipse. Além de uma taxa de sucesso compatível com os valores da literatura, destacamos a contribuição dada na adaptação do método matemático de ajuste de curvas à nossa aplicação. A validação foi feita sobre a base de dados disponível publicamente, a CASIA V2, e mostrou um bom desempenho em imagens oculares não ideais com várias interferências. Em um trabalho futuro, deve-se trabalhar na proposição de uma técnica de limiarização adaptativa para aumentar a robustez do método ante as variações de iluminação frontal.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CAPES e à Samsung. Parte dos resultados apresentados neste trabalho foram obtidos através do Projeto de pesquisa e formação de RH, em nível de graduação e pós-graduação, nas áreas de automação industrial, softwares para dispositivos móveis e TV Digital, financiado pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., no âmbito da Lei no. 8.387 (art.2º) / 91.

Referências

- [1] Gwon S Y et al. Robust Eye and Pupil Detection Method for Gaze Tracking. In: International Journal of Advanced Robotic System. Int J Adv Robotic Sy, Vol. 10, 98:2013 DOI 10.5772/55520; 2013.
- [2] Tobii System. Disponível em: <http://www.tobii.com>
- [3] Eye Tribe Tracker. Disponível em: <https://theeyetribe.com/>
- [4] Polhemus System. Disponível em: <http://polhemus.com/eye-tracking/visiontrak/>
- [5] Goñi S, Echeto J, Villanueva A, Cabeza R. Robust Algorithm for Pupil-Glint Vector Detection in a Video-oculography Eyetracking System. In: Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition; 2004.
- [6] Yan B, Li J, Liu S, Yuan H. A Robust Algorithm for Pupil Center Detection. In: 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications; 2011.
- [7] Swirski L, Bulling A, Dodgson N. Robust real-time pupil tracking in highly off-axis images. Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, pp. 173-176, New York, USA; 2012.
- [8] Zhu Z, Ji Q, Fujimura K, Lee K. Combining Kalman Filtering and Mean Shift for Real Time Eye Tracking Under Active IR Illumination. In: IEEE 1051-4651/02; 2002.
- [9] Mohammed G, Hong BR, Jarjes A. Accurate Pupil Features Extraction Based on New Projection Function. Computing and Informatics, Vol. 29, pp. 663–680, 2010.
- [10] Yuan X, Shi P. A Robust Coarse-to-Fine Method for Pupil Localization in Non-ideal Eye Images. In: Conference on Machine Vision Applications; 2007.
- [11] CASIA V2 Database. Disponível em: <http://biometrics.idealtest.org/dbDetailForUser.do?id=2>
- [12] Fitzgibbon A, Pilu M, Fisher R. Direct Least Square Fitting of Ellipses. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 21, No. 5. DOI: 0162-8828/99; 1999.
- [13] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing. Third Edition, Pearson Prentice-Hall, New Jersey, US, pp. 550-556; 2008.
- [14] Soltany M, Zadeh S T, Pourreza H R. Fast and Accurate Pupil Positioning Algorithm using Circular Hough Transform and Gray Projection. In: International Conference on Computer Communication and Management; 2011.