

UTILIZAÇÃO DE PUPILOMETRIA DINÂMICA PARA IDENTIFICAÇÃO PESSOAL BASEADA EM REFLEXOS HUMANOS

Vitor A. N. Yano, Alessandro Zimmer, Giselle L. Ferrari

Universidade Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica
e-mails: vitoryano@ufpr.br, {zimmer, ferrari}@eletrica.ufpr.br
Rua Cel. Francisco H. dos Santos, 1000 - Centro Politécnico
CP 19011, CEP 81531-970, Curitiba, PR, Brasil

Resumo- Técnicas de identificação automática de indivíduos baseadas em características biométricas facilitam o controle de sistemas de segurança, além de reduzir o risco de falhas. Utilizando processamento de imagens capturadas à distância, métodos de reconhecimento facial ou por íris apresentam a vantagem de utilizar processos não invasivos. Ao mesmo tempo, os algoritmos mais usados nestas áreas baseiam-se apenas em características estáticas, o que facilita a ocorrência de fraudes. O uso de reflexos humanos para identificação impede a cópia de características, uma vez que são respostas dinâmicas involuntárias, além de garantir que a pessoa fisicamente presente apresenta sinal de vida. Este artigo mostra um estudo preliminar sobre a possibilidade de utilização de pupilometria dinâmica, isto é, da medição da variação do raio da pupila, para a identificação de indivíduos através do reflexo pupilar.

Palavras-chave- Biometria, pupilometria, processamento de imagens.

Abstract- Techniques for automatic personal identification based on biometric features enhance the control of security systems, and reduce failure risks. By processing images captured from a distance, facial and iris recognition methods have the advantage of using non-invasive procedures. Nevertheless, most of the algorithms applied in these areas are based only on static features, facilitating the occurrence of frauds. The use of human reflex for identification prevents features copy, since the dynamic responses are involuntary, ensuring at the same time that the person being tested is alive. This paper presents a preliminary study of the use of dynamic pupillometry, which means the measure of pupil radius variation, for biometric personal identification through the pupillary reflex.

Keywords- Biometrics, pupillometry, image processing.

1 Introdução

A identificação pessoal é hoje essencial para a garantia da segurança física e de informações. Geralmente, a confirmação da identidade é feita através de reconhecimento humano, verificação de documentos, senhas, chaves e códigos de acesso. Mais recentemente, diversas técnicas de reconhecimento automático baseadas em informações biométricas tem sido desenvolvidas com o objetivo de impedir fraudes, erros humanos, cópias, compartilhamentos, esquecimentos e perdas.

Estes métodos baseiam-se em características pessoais fisiológicas, relacionadas apenas com atributos físicos do corpo, ou comportamentais, analisando ações, movimentos ou outras informações dinâmicas da pessoa. Alguns exemplos de sistemas biométricos são: análise da impressão digital, assinaturas manuscritas, forma da mão, voz. No entanto, tais sistemas requerem a cooperação da pessoa através do contato físico ou pela execução de uma ação específica, abrindo espaço para falhas devido ao comportamento (Wildes, 1997).

Uma forma de se evitar este tipo de problema é através do processamento de imagens capturadas a distância. Para o reconhecimento facial, por exemplo, não é necessário o contato da pessoa com nenhum aparelho. Entretanto, há muitas dificuldades nesta técnica (Wildes, 1997; Daugman, 2004). Por ser um objeto tridimensional, variações no ângulo de visão e de iluminação podem causar distorções que impedem o reconhecimento. Além disso, as mudanças com o envelhecimento e expressões limitam a eficácia deste sistema.

2 Reconhecimento Através da Íris

A utilização da textura da íris como característica de identificação biométrica é interessante, pois, além se tratar de um órgão protegido, acessível à visão, e com poucas mudanças ao longo da vida (Daugman, 2004), possui geometria quase plana e enorme variação entre pessoas distintas, conforme demonstrado estatisticamente em (Daugman, 2006).

Assim como a face, a íris pode ser capturada sem contato com o indivíduo, embora a uma distância inferior. Um algoritmo muito utilizado para o reconhecimento através da íris é descrito por Daugman (2004). Baseia-se na extração e codificação de informações de fase de uma imagem estática de um olho através da utilização de *wavelets* e filtros Gabor 2D.

Um dos problemas de se utilizar uma imagem estática da íris é que ela pode ser substituída por uma cópia, uma fotografia, ou mesmo uma prótese e não garante que o olho representado pertence a uma pessoa com vida (Gonzaga e Costa, 2009).

As principais etapas de um sistema de identificação pela íris são: aquisição da imagem, localização da pupila e da íris, extração e codificação da informação da textura e a gravação ou comparação do código em um banco de dados. Como o objeto de estudo deste trabalho é a análise da variação do raio da pupila, as etapas após a localização da pupila não são apresentadas.

2.1 Localização da Pupila e da Íris

Uma das etapas mais importantes e que consome mais tempo no processo de reconhecimento por íris é a localização da pupila e da íris na imagem (Li Ma et al., 2004). Por apresentarem forma circular, a localização consiste basicamente na estimação de parâmetros de posição central e raio de circunferências. Para isso, vários algoritmos já foram desenvolvidos (Wildes, 1997; Daugman, 2004; Li Ma et al., 2004, Yuan, Xu e Lin, 2005; Jiali Cui et al., 2004; Chavez, Iano e Sablon, 2006).

Daugman (2004) utiliza uma função que busca entre o conjunto de parâmetros do centro e raio na imagem (r, x_0, y_0) , aquele que apresenta a máxima variação em um caminho circular ds através da imagem $I(x, y)$, ou seja, detecta bordas de círculos, através da Equação (1), onde $G_\sigma(r)$ é um operador de filtragem gaussiana, usada para redução de ruídos. Esta função é usada primeiramente para localização da pupila e, em seguida, da íris.

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

O método descrito por Wildes (1994) utiliza primeiramente um filtro gaussiano passa-baixa para diminuir o efeito do ruído de aquisição na imagem. Em seguida, reamostra a mesma, reduzindo suas dimensões. Isso é feito para diminuir o custo computacional já que, nesta etapa, os detalhes do interior da íris não são relevantes. A localização é feita em três etapas: borda externa da íris (esclera), borda interna (pupila) e pálpebras. Os contornos são identificados através de um detector de bordas baseado em gradiente e, em seguida, são parametrizados através da transformada de Hough (íris e pupila como círculos, pálpebras como parábolas) (Duda e Hart, 1971).

A transformada de Hough é uma técnica para detecção de curvas parametrizadas (retas, círculos, elipses, etc.) em imagens digitais. É baseada em acumuladores, ou seja, através da verificação de qual dos possíveis valores dos parâmetros é o mais adequado. Por exemplo, para parametrizar uma circunferência conhecendo-se a localização de alguns de seus pixels, calcula-se a tangente utilizando o método dos mínimos-quadrados em uma vizinhança pequena. A partir disso, encontra-se a reta normal e, onde houver maior coincidência de pontos é definido como o centro da circunferência. Em seguida, registra-se a distância de cada pixel até o centro e o valor com maior número de ocorrências é definido como o raio.

Li Ma et al. (2004) projeta inicialmente a imagem horizontal e verticalmente e, considerando a pupila como a região mais escura da imagem, determina seu centro nas coordenadas em que as projeções apresentam os valores mínimos (considera-se o preto sempre como o menor valor e o branco como o valor máximo). Em seguida, a imagem é binarizada para estimar mais precisamente o centro da pupila. Após isso, é usada a detecção de bordas descrita por Canny (1986) em conjunto com a transformada de Hough para extrair os parâmetros dos círculos (íris e pupila). A diferença para o método usado descrito por Wildes (1994) é que a posição da íris é aproximada antes da detecção de bordas e aplicação da transformada de Hough, o que reduz o custo computacional nestas etapas.

Outro método para localização da pupila e da íris na imagem é descrito por Yuan, Xu e Lin (2005). Baseia-se no princípio da geometria de que três pontos não coincidentes e não colineares podem definir uma única circunferência. Primeiramente, localiza-se um ponto no interior da pupila. Considerando a pupila como a parte mais escura da imagem, encontra-se a região em que a soma dos valores de intensidades de cinza é mínima, ou seja, a região mais escura da imagem, sendo esta uma janela

retangular de dimensões proporcionais ao tamanho da imagem. O ponto central desta janela, de coordenadas (x_o, y_o) , é assumido como pertencente ao interior da pupila. A partir deste ponto, varre-se a imagem horizontalmente, para a esquerda e para a direita, utilizando um detector de bordas. As bordas detectadas definem pontos de coordenadas (x_L, y_L) e (x_R, y_R) , respectivamente à esquerda e à direita do ponto inicial. Em seguida, varre-se a imagem com o detector de bordas verticalmente, para baixo, a partir do ponto $(x_L + 20, y_o)$, encontrando o ponto (x_D, y_D) . Isto agiliza o cálculo do centro da circunferência ao utilizar a simples relação $x_D = x_L + 20$. A Figura 1 mostra a localização dos pontos usados para determinação da circunferência.

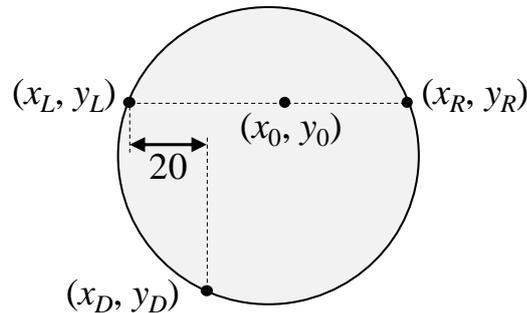


Figura 1: Localização dos pontos para determinação da circunferência da pupila.

Define-se o centro da pupila como o ponto (x_p, y_p) equidistante aos três pontos encontrados e o raio R_p como a distância do centro aos pontos da borda, através das Equações (2), (3) e (4).

$$x_p = \frac{x_L + x_R}{2} \quad (2)$$

$$y_p = \frac{20(x_R + x_L) - 400 + y_p^2 - y_D^2}{2(y_R - y_D)} \quad (3)$$

$$R_p = \sqrt{(x_p - x_D)^2 + (y_p - y_D)^2} \quad (4)$$

Para a localização da íris, é detectada a próxima borda a partir do contorno da pupila, realizando um processo similar.

3 Reconhecimento por Reflexos Humanos

Para evitar possíveis fraudes a que estão sujeitos os sistemas baseados em imagens estáticas, características comportamentais, como reflexos humanos, podem ser combinadas, desde que apresentem grandes variações entre diferentes pessoas e não possam ser facilmente simuladas.

Reflexos são respostas do corpo humano a estímulos externos que não podem ser controladas voluntariamente (Nishigaki e Arai, 2008). Ao aumentar a intensidade de luz sobre o olho, por exemplo, há uma contração inconsciente da pupila, cujas características são diferentes entre indivíduos (Yasukouchi, Hazama, e Kozaki, 2007).

Devido à resposta não ser consciente, um reflexo dificilmente poderá ser simulado e, mesmo que a informação seja descoberta, é impossível de ser copiada. Nishigaki e Arai (2008) propõem uma forma de autenticação baseada no ponto cego e movimentos sacádicos do olho, que não são controlados conscientemente.

Gonzaga e Costa (2009) desenvolveram um método que combina um conjunto de características estáticas e dinâmicas da íris para identificação pessoal.

A proposta deste artigo é avaliar características discriminantes do reflexo pupilar a fim de utilizá-las em um sistema biométrico multimodal de verificação de identidade.

4 Metodologia

Para a realização da avaliação proposta, foram utilizadas duas bases de vídeos: uma referente a olhos de 46 indivíduos saudáveis, sendo um por pessoa e a outra representando 6 indivíduos saudáveis, com 4 amostras de cada pessoa, totalizando 24 seqüências de vídeo. Os vídeos possuem taxa de 29,97 quadros por segundo, com duração média de 6 segundos, e dimensões de 320 pixels de largura por 240 de altura.

Para a medição dos raios da pupila, foi escolhido o método de localização descrito por Yuan, Xu e Lin (2005), devido à sua simplicidade e rápido processamento, atendendo à necessidade do estudo.

4.1 Aquisição dos vídeos

Para a aquisição dos vídeos foi utilizado um sistema de pupilometria, que estimula e registra o reflexo pupilar.

O sistema, representado na Figura 2, é composto por uma câmera de vídeo monocromática com lente de 25 mm, um cone de alumínio de 17 cm de altura, diâmetro maior de 14,5 cm e menor de 5,6 cm, pintado internamente de preto para evitar reflexos internos, um conjunto de quatro LEDs (Light Emitting Diodes) infravermelhos com diâmetros de 5 mm e outro composto por cinco LEDs brancos de alto brilho, com diâmetro de 8 mm. O registro das imagens pela câmera é independente do sistema de iluminação e estimulação.

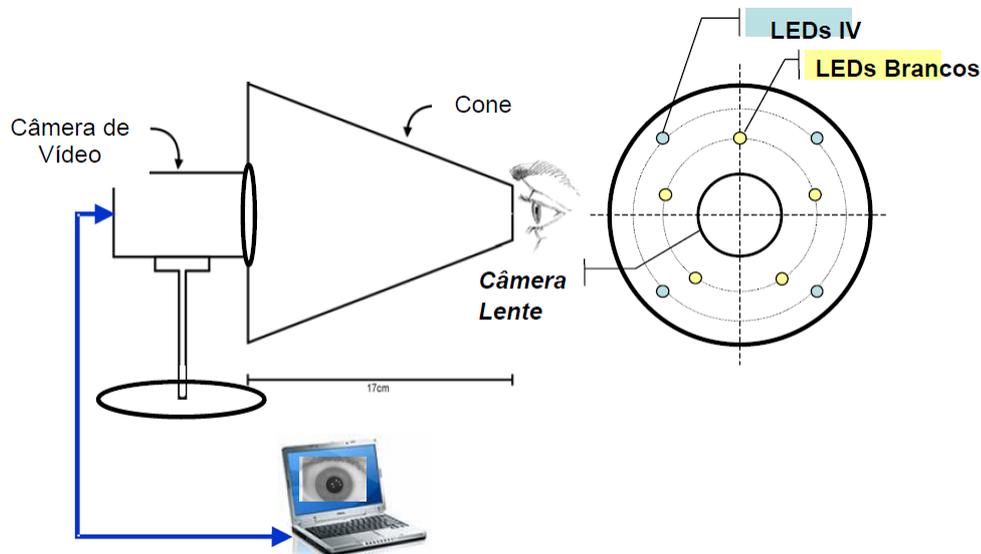


Figura 2: Sistema de pupilometria utilizado.

O seguinte procedimento foi adotado na captura dos vídeos: enquanto o voluntário mantinha um dos olhos encostado no cone para evitar interferências de iluminação externa, o outro olho era coberto com um pano escuro para que não houvesse efeito do reflexo consensual, isto é, para que a luz incidente no outro olho não causasse alteração na pupila registrada. A iluminação infravermelha, invisível ao olho humano, permitia a captura da imagem pela câmera sem estimulação da pupila.

Após dois minutos com o olho aberto em contato com o cone, ou seja, sem visualização de luz, esperava-se que a pupila tivesse atingido a abertura máxima. Neste momento, iniciava-se o registro de imagens da pupila e um *flash* de luz com duração de 10 ms era disparado através do conjunto de LEDs brancos. Esta duração não causa interferências significativas no processamento do vídeo, já que é menor que o período de captura de uma imagem, podendo afetar, no máximo, um quadro. Além disso, respeita normas de segurança para a radiação aplicada diretamente sobre o olho humano (Ferrari, 2008).

4.2 Pré-Processamento

Como foi usado um conjunto de LEDs para iluminação do olho durante a filmagem, reflexos dos focos de luz também foram registrados, o que interfere no processo de detecção de bordas e, conseqüentemente, na localização da pupila. Foi desenvolvido um algoritmo para remoção destes artefatos, descrito a seguir.

Para cada pixel da imagem, foi calculado o valor médio v_m de sua intensidade com a de seus vizinhos próximos (um ponto em cada direção: acima, abaixo, à esquerda e à direita) e a média v_b dos valores dos pontos localizados a uma distância r em cada direção. O valor r corresponde ao raio dos focos de luz que se deseja eliminar. Um raio muito grande poderia levar a detecções incorretas e alterações indesejadas na imagem, enquanto um raio muito pequeno poderia reduzir a eficácia do método, desconsiderando um ou mais artefatos. Após verificação do tamanho médio dos reflexos de luz nas imagens, foi escolhido $r = 6$ pixels.

Definiu-se que, caso a intensidade dos pontos próximos fosse maior do que uma vez e meia a dos pontos distantes ($v_m > 1,5v_b$), o ponto em questão (x, y) estaria próximo ao centro do artefato. Esta relação foi obtida experimentalmente pela análise dos

níveis de cinza dos artefatos e das regiões próximas nas imagens. Um valor menor pode levar à identificação incorreta de artefatos, enquanto um valor maior faz com que alguns reflexos localizados próximos à íris sejam ignorados, pois os níveis de intensidade de cinza nesta região são maiores, isto é, possuem tons de cinza mais claros que os da pupila.

Uma vez localizado o reflexo de um foco luminoso, os mesmos devem ser eliminados. Para tal, os pontos pertencentes aos segmentos de comprimento r e ângulos entre zero e 2π , com uma das extremidades em (x, y) , foram substituídos pelo valor da outra extremidade. Ou seja, os valores dos pontos da circunferência de centro (x, y) e raio r foram projetados até o centro.

A Figura 3 mostra como os artefatos aparecem na imagem original e o resultado do processo de eliminação.

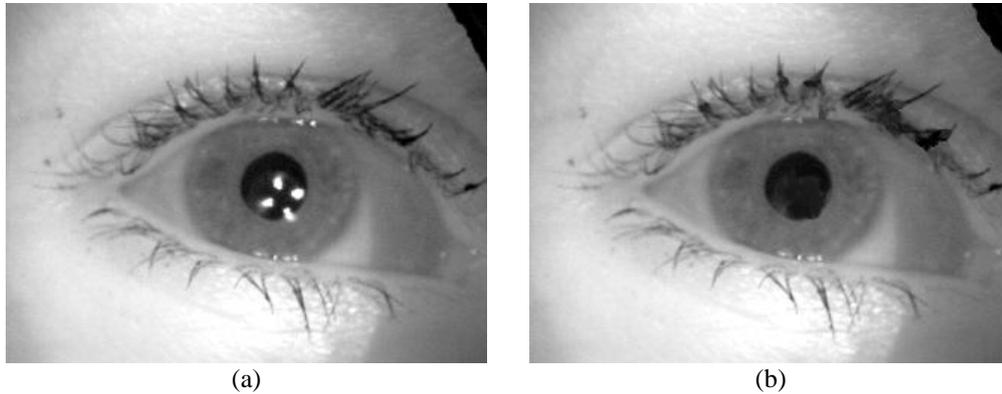


Figura 3: (a) Imagem original e (b) após remoção dos reflexos de luz.

Na etapa de pré-processamento, os vídeos também passaram por ajustes de contraste para reduzir erros na localização da pupila.

4.3 Determinação dos Raios da Pupila

Em cada quadro dos vídeos foi aplicado o algoritmo de Yuan, Xu e Lin (2005) para a localização da pupila, registrando o valor do raio ao longo do tempo. A Figura 4 ilustra alguns dos quadros de um dos vídeos processados. A determinação do raio apresentou falha em alguns quadros devido ao fechamento do olho e à variação do contraste da imagem durante e após o *flash*.

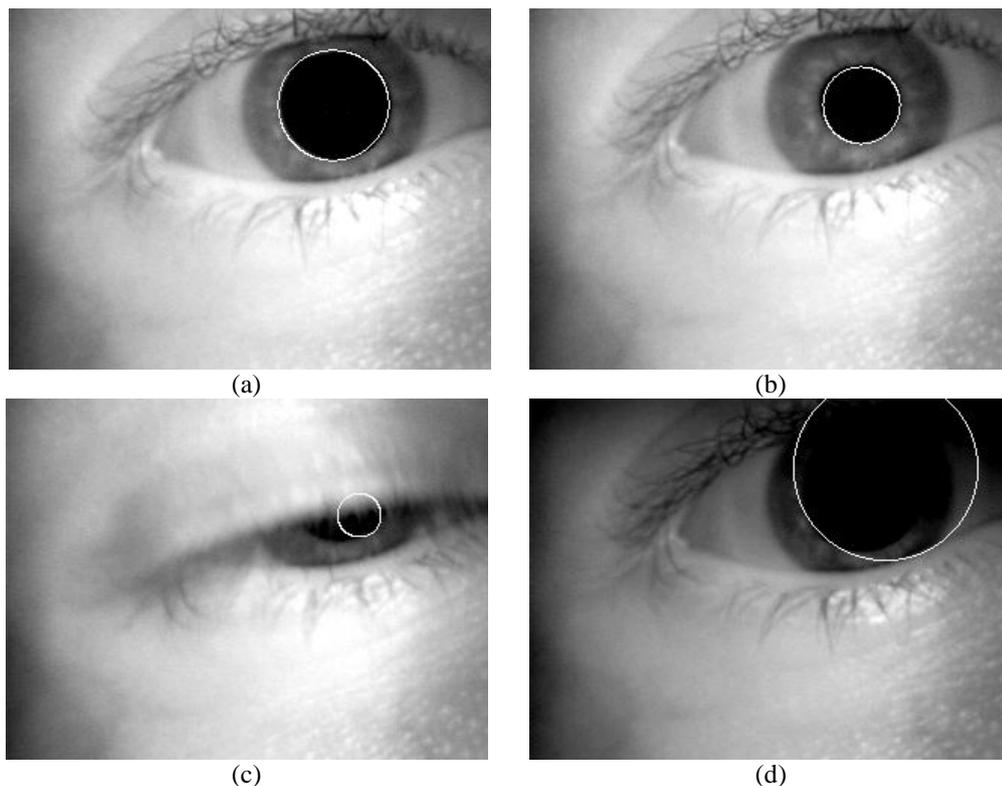


Figura 4: Exemplos de quadros com: (a) pupila dilatada, (b) máxima contração da pupila, (c) falha na localização da pupila devido ao fechamento do olho e (d) devido à variação do contraste após o *flash*.

Através de um gráfico do raio da pupila ao longo do tempo, ilustrado na Figura 5, é possível observar pontos em que houve falha na localização da pupila. Estes pontos foram corrigidos através do procedimento explicado a seguir.

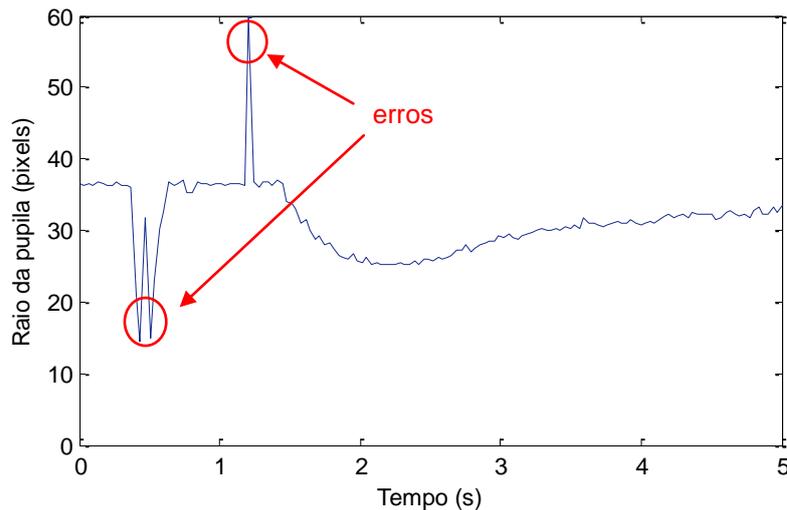


Figura 5: Gráfico raio da pupila x tempo.

Para cada valor R_n , que representa o raio calculado da pupila no quadro n , foram calculadas as médias de um conjunto de três valores anteriores (m_e) e três posteriores (m_d) a uma distância (δ), conforme as Equações (5) e (6).

$$m_e = \frac{R_{(n-\delta)-3} + R_{(n-\delta)-2} + R_{(n-\delta)-1}}{3} \quad (5)$$

$$m_d = \frac{R_{(n+\delta)+1} + R_{(n+\delta)+2} + R_{(n+\delta)+3}}{3} \quad (6)$$

Foi verificado, nos vídeos capturados, que a variação do raio relativa à contração e à dilatação da pupila entre quadros próximos foi sempre menor que dois pixels, e que a diferença entre um valor incorreto e um correto normalmente era maior que cinco pixels. Por isso, caso ambos os módulos das diferenças entre as médias e R_n fossem maiores que dois ($|m_e - R_n| > 2$ e $|m_d - R_n| > 2$), o raio do quadro n era considerado incorreto e substituído pela média de ambas ($(m_e + m_d) / 2$). A utilização de valores médios reduz a possibilidade de que um pequeno nível de ruído seja replicado através do sinal. A substituição pela média de ambos os lados torna o valor do raio coerente mesmo durante o período de contração ou dilatação.

Foram usadas comparações com os valores de raio anteriores e posteriores ao quadro n em análise a fim de não causar a introdução de um novo valor errado no sinal. Caso fosse calculada simplesmente uma média dos valores imediatamente anteriores e posteriores a R_n , realizando assim uma única comparação, não seria possível inferir se o dado incorreto estaria no raio R_n ou em um dos valores considerados no cálculo. Desta maneira, quando detectada uma grande diferença entre um valor e a média de um dos lados, é necessária a confirmação do outro lado para que seja identificado um erro.

Em algumas situações, como em piscadas do olho, há erros em quadros consecutivos. Na Figura 6, pode-se observar que a utilização de valores imediatamente próximos para comparação tornaria o algoritmo ineficaz nestes casos, já que consideraria outros dados incorretos nas médias.

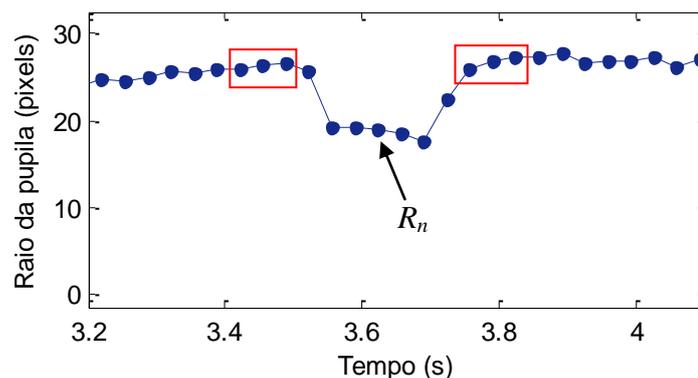


Figura 6: Valores consecutivos com erro.

O parâmetro δ deve ser ajustado de acordo com a metade do número máximo de quadros consecutivos com erro. No caso, foi utilizado inicialmente $\delta = 3$ e o algoritmo foi aplicado iterativamente três vezes, decrementando o valor de δ o parâmetro em cada passo, de forma que a cada iteração, erros consecutivos são reduzidos.

Após a correção dos pontos referentes a quadros com erros de localização, foi aplicado um filtro gaussiano com janela de sete elementos e resolução $\sigma = 5$, determinados heurísticamente, cujo kernel é dado pela Equação (7).

$$G(i) = \frac{1}{\sigma} e^{-\frac{i^2}{\sigma^2}} \quad (7)$$

A Figura 7 representa o gráfico do raio da pupila pelo tempo após a filtragem.

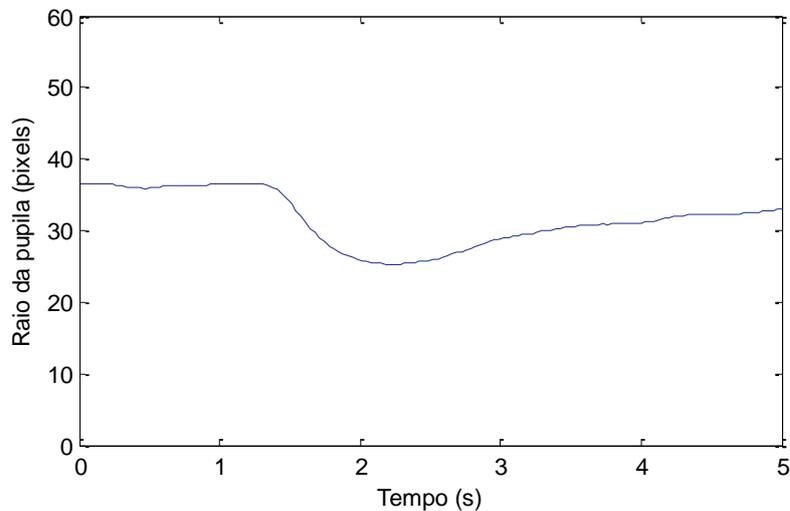


Figura 7: Gráfico raio da pupila versus tempo após filtragem.

Após a filtragem das curvas, foram selecionados apenas os períodos de tempo compreendidos entre o disparo do *flash* e a máxima contração da pupila ocorrida em resposta ao estímulo aplicado. A Figura 8 mostra alguns dos gráficos da variação do raio durante este período. As linhas tracejadas indicam o momento em que houve a máxima contração para o estímulo aplicado.

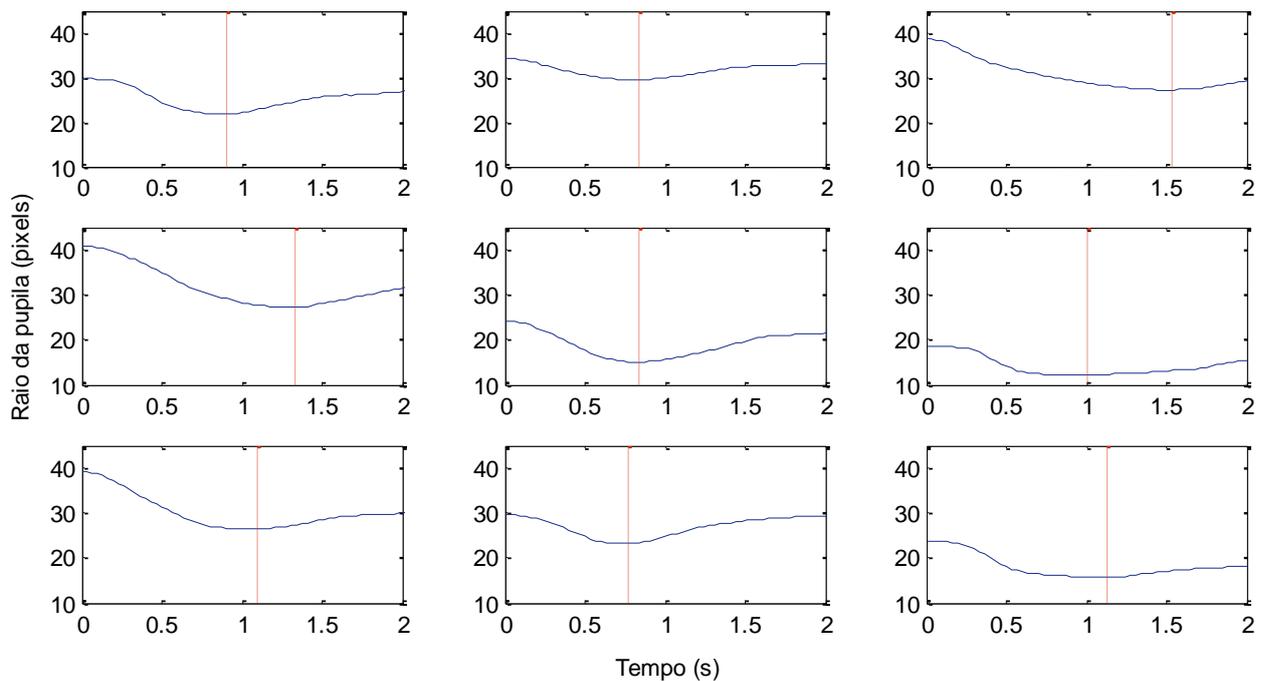


Figura 8: Gráficos da variação do raio da pupila durante o período de contração em diferentes indivíduos. As linhas tracejadas indicam o raio mínimo.

4.4 Extração dos Dados

A partir da observação das curvas, foram definidas três primitivas para classificação dos indivíduos: o raio máximo da pupila p_1 , o raio mínimo da pupila p_2 e o tempo total de contração p_3 .

O classificador escolhido utiliza a soma das distâncias euclidianas. A distância euclidiana da primitiva p_k ($k = 1,2,3$) de cada indivíduo i em relação à média do grupo \bar{p}_k é dada pela Equação (8).

$$d_{k,i} = \sqrt{(p_{k,i} - \bar{p}_k)^2} \quad (8)$$

$$S_i = \sum_{k=1}^3 d_{k,i} \quad (9)$$

O critério do classificador é a soma S_i das três primitivas, dada pela Equação (9), que deve ser menor que um limiar de decisão para ter sua identidade confirmada.

5 Resultados

Com os dados extraídos do primeiro grupo de vídeos, referentes a 46 indivíduos diferentes, foram calculadas as distâncias das primitivas de cada indivíduo em relação à média do grupo para visualização da variação interclasse, representada pelo gráfico de dispersão das somas na Figura 9.

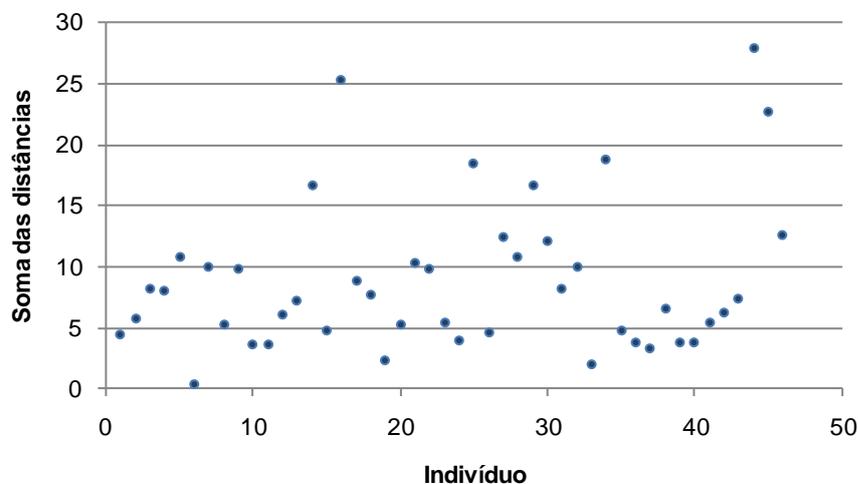


Figura 9: Dispersão da soma das distâncias euclidianas normalizadas do primeiro grupo.

Com o segundo grupo, que contém quatro amostras de seis indivíduos em 24 vídeos, o mesmo procedimento foi realizado para analisar a variação interclasse. Em seguida, foram calculadas as distâncias das primitivas de cada vídeo em relação à média da respectiva classe a fim de verificar a variação intraclasse.

Através destes dados, foram calculados os erros percentuais de falsa aceitação (EFA) e falsa rejeição (EFR). O EFA representa a quantidade de pessoas que teriam a identidade erroneamente confirmada pelo sistema. Já o EFR indica a quantidade de erros ao negar uma identidade verdadeira.

O critério do classificador é baseado em um limiar de decisão. Caso a soma das distâncias de um determinado indivíduo em relação a uma classe seja menor do que o valor do limiar, este é reconhecido como pertencente à classe; caso contrário, é rejeitado.

O gráfico da Figura 10 mostra as curvas de EFR e EFA em função do limiar. O ponto de cruzamento das duas indica uma taxa de erros iguais de 16,7% com um limiar de 3,45.

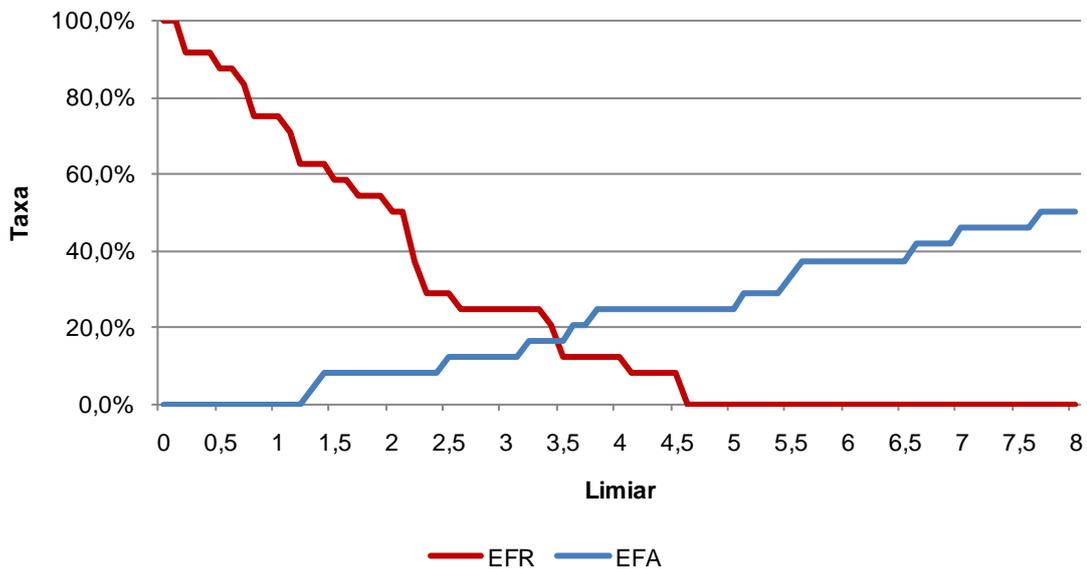


Figura 10: Gráfico EFR / EFA.

6 Conclusões

A dispersão apresentada pela soma das distâncias no primeiro grupo de indivíduos sugere que o grau de variação interclasse das características do reflexo pupilar pode ter aplicação na distinção entre pessoas. Os dados do segundo grupo de vídeos capturados mostram que a variação intraclasse é menor que a variação interclasse. Com isso é possível determinar um limiar de decisão para classificar os indivíduos. Em outro estudo (Yano, Zimmer e Ferrari, 2010), testes realizados com indivíduos diabéticos mostraram que a variabilidade existe também entre as primitivas das pessoas portadoras da doença.

Pelos valores de EFR, EFA e da taxa de erros iguais, observa-se que as características do reflexo pupilar isoladamente podem não apresentar uma grande eficácia na identificação de pessoas. No entanto, combinado com outra técnica de reconhecimento biométrico, como o reconhecimento da íris, em um sistema biométrico multimodal híbrido de verificação de identidade, a utilização de tais características pode reduzir significativamente a possibilidade de falhas e erros na identificação automática de pessoas.

Testes com mais voluntários e mais amostras serão realizados para confirmar os valores de taxas de erros obtidos, além de verificar a relevância das primitivas utilizadas. A seleção de outras primitivas e/ou outro classificador pode contribuir com a eficiência do método.

7 Referências

- Canny, J. (1986). A Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 8(6): 679-698.
- Chavez, R. F. L., Iano, Y. and Sablon, V. I. B. (2006). Processo de Reconhecimento de Íris Humana: Localização Rápida de Íris. *Revista Científica Periódica - Telecomunicações* 9(1): 1-7.
- Daugman, J. (2004). How Iris Recognition Works, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 14(1): 21-30.
- Daugman, J. (2006). Probing the Uniqueness and Randomness of IrisCodes: Results From 200 Billion Iris Pair Comparisons, *Proceedings of the IEEE* 94(11): 1927-1935.
- Duda, R. O. and Hart, P. E. (1971). Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures, *Communications of the ACM* 15(1): 11-15.

- Ferrari, G. L. (2008). Pupilometria Dinâmica: Aplicação na Detecção e Avaliação da Neuropatia Autonômica Diabética e Estudo da Correlação entre a Resposta Temporal da Pupila ao Estímulo Visual e a Glicemia, Tese de Doutorado, *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial*.
- Ferrari, G. L., Marques, J. L. B., Gandhi, R. A., Emery, C. J., Tesfaye, S., Heller, S., Schneider, F. K., Gamba, H. R. (2007), An Approach to the Assessment of Diabetic Neuropathy Based on Dynamic Pupillometry, *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*: 557-560.
- Ferrari, G. L., Marques, J. L. B., Gandhi, R. A., Heller, S., Schneider, F. K., Tesfaye, S., Gamba, H. R. (2010), Using dynamic pupillometry as a simple screening tool to detect autonomic neuropathy in patients with diabetes: a pilot study, *Biomedical Engineering Online* 9(1): 26-41.
- Gonzaga, A. and Costa, R. M. (2009). Extraction and selection of dynamic features of the human iris, *XXII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*: 202-208.
- Jiali Cui, Yunhong Wang, Tieniu Tan, Li Ma and Zhenan Sun. (2004). A Fast and Robust Iris Localization Method Based on Texture Segmentation, *Proceedings of the SPIE* 5404: 401-408.
- Li Ma, Tieniu Tan, Yunhong Wang and Dexin Zhang. (2004). Efficient Iris Recognition by Characterizing Key Local Variations, *IEEE Transactions on Image Processing* 13(6): 739-750.
- Nishigaki, M. and Arai, D. (2008). A User Authentication Based on Human Reflexes Using Blind Spot and Saccade Response, *International Journal of Biometrics* 1(2): 173-190.
- Wildes, R. P. (1997). Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology, *Proceedings of the IEEE* 85(9): 1348-1363.
- Yano, V., Zimmer, A. and Ferrari, G. L. (2010), Análise da Variação do Reflexo Pupilar entre Pacientes Diabéticos para Aplicação em Sistema Biométrico, *XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, aceito para publicação.
- Yasukouchi, A., Hazama, T. and Kozaki, T. (2007). Variations in the light-induced suppression of nocturnal melatonin with special reference to variations in the pupillary light reflex in humans, *Journal of Physiological Anthropology* 26: 113-121.
- Yuan Weiqi, Xu Lu and Lin Zhonghua. (2005). A Novel Iris Localization Algorithm Based on the Gray Distributions of Eye Images, *Proceedings of IEEE 27th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*: 6504-6507.