

Processo de Reconhecimento de Íris Humana: Localização rápida de íris

Roger Fredy Larico Chavez, Yuzo Iano & Vicente Idalberto B. Sablon

Abstract— In order to develop a fast algorithm for iris recognition, it is necessary an acquisition and appropriate segmentation of the image, with little loss of information. In this work, we present a detailed algorithm of fast segmentation of the iris texture. In order to achieve that, we use an algorithm iterative search of the centers and concentric rays as well as an application of Gaussian noise and medium filters to get a reliable answer. The results are compared with published algorithms and evaluated as well. The algorithm presents superior performance in processing speed and improvement in the precision of recognition.

Index Terms— Iris Recognition, biometric, algorithms, segmentation, detection of circles, processing of signs.

Resumo— Para o desenvolvimento de um algoritmo rápido visando o reconhecimento de íris necessita-se de uma aquisição e localização adequada da imagem, com pouca perda de informação. Neste trabalho, apresenta-se um algoritmo detalhado de localização rápida da textura da íris. Para isso, utiliza-se um esquema de busca iterativa dos centros e raios concêntricos bem como a aplicação de ruído gaussiano e filtros medianos para conseguir uma resposta confiável. Os resultados encontrados são comparados com algoritmos publicados e exaustivamente testados. O algoritmo proposto apresenta desempenho superior em relação à velocidade de processamento e um aumento na precisão do reconhecimento.

Palavras chave— Reconhecimento de íris, biometria, algoritmos, localização, detecção de círculos, processamento de sinais.

I. INTRODUÇÃO

A melhoria e o avanço tanto da tecnologia, quanto dos algoritmos de identificação pessoal, têm motivado muitas pesquisas voltadas para as técnicas de reconhecimento de íris. Um sistema de reconhecimento de íris, contém, em geral, um bloco de localização cujo objetivo é o fornecimento nítido da informação correspondente à íris [1], [2], [3], [4]. Um sistema de identificação pessoal deve ser executado em tempo real e, portanto é necessário que o tempo de processamento seja pequeno. Para a detecção da pupila e da íris utiliza-se um método algorítmico simples. Neste artigo, propõe-se um algoritmo rápido e que requer menor uso de memória. Os

resultados obtidos são comentados comparativamente com os demais métodos e algoritmos que, por inserirem mais robustez, tendem a apresentar maior tempo de processamento e alto consumo de memória. Como a localização é uma das primeiras etapas de processamento no reconhecimento de íris, a eficiência dessa etapa afeta muito o desempenho do processo como um todo. Os resultados obtidos mostram que o algoritmo proposto apresenta melhor precisão da identificação enfocando-se apenas a localização.

II. IDENTIFICAÇÃO: ÍRIS

A. A íris e a pupila.

A íris é um órgão interno protegido pela córnea do olho, que é colorido e cuja função é controlar os níveis de luz assim como faz o diafragma de uma câmera fotográfica. A pupila é a abertura para a entrada de luz e que é controlada pela íris [5].

A íris tem características que são próprias de cada pessoa [6]. Durante o processo de envelhecimento, a partir de certa idade, a íris não se altera biometricamente, sendo essa uma de suas características fisiológicas importantes. A íris é formada no início da gravidez durante os três primeiros meses de gestação, sendo que sua estrutura é completada aos oito meses. Depois tem algumas mudanças de textura, mas aos dois ou três anos de idade deixa de se alterar [7]. A formação da íris depende do meio no qual é formado o embrião e dessa forma, muitos de seus detalhes não tem correlação com a carga genética [8]. Cada pessoa tem uma íris diferente, mesmo que sejam gêmeos univitelinos. Além disso, a íris direita e a esquerda da mesma pessoa também são diferentes [2]. Os órgãos do olho, o humor aquoso e a córnea protegem a íris do ambiente como se pode observar na Fig. 1. Essa proteção impede ou dificulta a mudança das características da íris sem que hajam graves riscos de lesão. Essa singularidade torna o reconhecimento através da íris vantajosa, por exemplo, em relação ao digital.

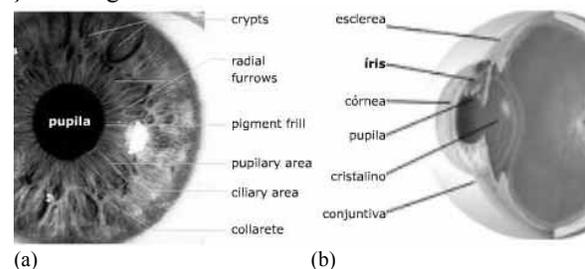


Fig. 1. Olho humano, (a) características circulares e angulares da íris, (b) anatomia do olho[5].

Manuscrito recebido em 7 de julho de 2006; revisado em 1 de outubro de 2006.

R. F. L. Chavez (rlarico@decom.fee.unicamp.br) e Y. Iano (yuso@decom.fee.unicamp.br) pertencem à Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Cidade Universitária Zeferino Vaz Distrito de Barão Geraldo, Campinas - SP Caixa Postal 6101 13083-852. V. I. B. Sablon pertence à Universidade Salesiana - UNISAL. Av. Almeida Garret, 267, Jd. Ns. Sra. Auxiliadora 13087 - 290 - Campinas - SP.

B. Reconhecimento de íris para a identificação.

O reconhecimento de íris não causa dano por ser uma técnica sem contato, dependendo somente da captura da imagem e do subsequente processamento de reconhecimento. Nos últimos anos, a íris humana tem sido utilizada da com o mesmo objetivo das impressões digitais, com a vantagem de a íris conter um padrão biométrico mais confiável com menor taxa de erro [9].

Os algoritmos de reconhecimento da íris são decompostos normalmente em blocos ou subseções. O algoritmo proposto por Daugman [6], tem os seguintes passos: localização de íris, correções matemáticas para robustez do modelo, codificação de íris e comparação dos códigos. Li Ma [10] propõe um algoritmo eficiente que tem semelhança com outros algoritmos: localização de íris, normalização, realce, extração de características e comparação.

Em geral, é importante a localização para se ter limites definidos de processamento. Isso está relacionado com a eficiência e a precisão. Segundo os relatos de Daugman, a localização da íris é um processo demorado em relação aos outros blocos de processamento [8], [11]. De acordo com o modelo, uma fase de extração de características e uma de comparação estão sempre presentes. Mas, para ter uma resposta aceitável, deve-se diminuir a quantidade de erros nas primeiras fases.

C. Análise da textura de íris.

A íris tem características radiais e angulares e está situada próximo da pupila. A pupila é mais semelhante à um círculo do que a íris. As características angulares são mais acentuadas perto da pupila enquanto que as radiais iniciam na pupila, dado que estas correspondem aos músculos responsáveis pelos movimentos de contração [12]. Isso é mostrado na Fig. 1. Além disso, na Fig. 2 observa-se que a captura de dados de textura concêntrica contém a informação mais relevante da íris, sendo que a maioria corresponde às características concêntricas, mesmo quando a íris não é concêntrica.

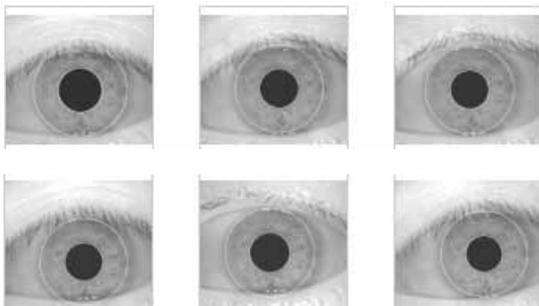


Fig. 2. Concentricidade da Textura de íris com a pupila

III. LOCALIZAÇÃO DE ÍRIS

A localização de íris em geral, se reduz a uma simples busca de circunferências sendo que a procura é delimitada por duas circunferências usualmente não concêntricas [1], [6]. Se a etapa de aquisição fosse adequada, o tempo gasto na

localização seria mínimo, mas, as obstruções (ex. cílios, pálpebras) e o ambiente físico (ex. luz, distância focal, movimentação do olho) dificultam essa etapa. Frequentemente utiliza-se um pré-processamento e encontra-se primeiro a pupila, e logo em seguida a íris. A pupila é quase preta e dessa forma a diferenciação é de processamento mais fácil. Para cada circunferência, é necessária a determinação de dois parâmetros: o centro e o raio da circunferência. Mesmo que as circunferências referentes à íris e a pupila não sejam concêntricas costuma-se aproximá-las por circunferências perfeitas e supõe-se concentricidade para diminuir o tempo de procura [1], [6]. Nos testes comprova-se que o erro é mínimo e que o maior erro encontra-se no limite mais externo, ou seja, em uma região do olho que contém pouca informação de textura.

Existem muitas propostas de localização de íris, sendo que as mais utilizadas estão baseadas na detecção de circunferências. Comentam-se, a seguir, as técnicas de localização usadas frequentemente como: a transformada de Hough, análise de intensidades e a integro - diferencial [13].

A. Transformada de Hough.

A transformada de Hough (TH) é um método padrão para detecção de “formas” que são facilmente parametrizadas, ou seja, de fórmulas conhecidas, tais como círculos em imagens digitalizadas. Essa transformada consiste em definir um mapeamento entre o espaço de imagem (x, y) e o espaço de parâmetros (c, d, r) .

$$(x - c)^2 + (y - d)^2 = r^2 \quad (1)$$

onde c e d é o centro do círculo e r o raio. Para isso, esse espaço dos parâmetros é discretizado e representado na forma de uma matriz de inteiros ou células, onde cada posição da matriz corresponde a um intervalo no espaço real dos parâmetros. Procuram-se todos os círculos (c, d, r) que passam pelo ponto fixo (x, y) . Mostra-se na Eq. (1) um cone no espaço (c, d, r) que é fixado pelos parâmetros (x, y) . Deve-se então acumular todos esses cones no espaço tridimensional e buscar um pico máximo da acumulação. Se o acúmulo na célula correspondente é alto, então a célula é escolhida [14]. Na Fig. 3 apresenta-se uma demonstração da transformada de Hough para detecção dos círculos de raio 20.

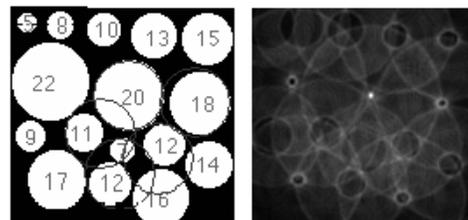


Fig. 3. Detecção de círculos de raio 20, utilizando T. Hough [14]

A transformada de Hough é uma especialização da transformada de Radon. Esse domínio é um espaço tridimensional das variáveis (c, d, r) , baseado em densidades e vizinhança. A determinação da imagem tridimensional de Radon tem complexidade de $O(ND^2)$ [15], onde N é o número total de pontos e D é a quantidade de células de acumulação.

Em conjunto com uma boa detecção de bordas, a transformada de Hough é utilizada para a detecção de íris [2], [4], [10].

B. Análise de intensidades: operador integro-diferencial.

Para o caso específico da íris, Daugman utiliza o operador integro-diferencial dado na Eq. (2). A vantagem dessa técnica é que a mesma estima separadamente os parâmetros da íris e da pupila. Consiste em:

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

onde $I(x, y)$ é uma imagem contendo um olho. Nesse operador procura-se sobre o domínio (x, y) da imagem pelo valor máximo da derivada parcial com relação ao raio r , da integral normalizada do contorno da imagem ao longo de um arco circular ds de raio r e coordenadas de centro

(x_0, y_0) . A gaussiana $G_\sigma = \sqrt{2\pi}^{-1} e^{-\frac{r^2}{2}}$ é utilizada para suavizar o ruído, com uma escala σ . O procedimento é realizado sobre três parâmetros espaciais (x_0, y_0, r) definindo-se um caminho através do contorno de integração [13].

C. Algoritmos de localização.

Um dos algoritmos mais rápidos e de baixo custo computacional é a proposta de se ajuntar uma detecção de bordas e detecção de circunferências, diminuindo assim, o domínio [10]. Segundo Li Ma, primeiro faz-se uma estimativa aproximada do centro, em seguida passa-se para a forma binária e diminui-se a região apropriadamente. Então, aplica-se o operador de bordas e uma detecção de círculos, para se achar o centro real. Os passos do algoritmo são:

- 1) Projetar a imagem nas direções vertical e horizontal a fim de se aproximar do centro (X_p, Y_p) da pupila.

Como a pupila é normalmente de baixa intensidade e sem ruído, as coordenadas correspondem à mínima intensidade das duas projeções. Considera-se o centro da pupila como sendo o ponto (X_p, Y_p) tal que [4]:

$$X_p = \arg \min_x \left(\sum_y I(x, y) \right) \quad (3)$$

$$Y_p = \arg \min_y \left(\sum_x I(x, y) \right) \quad (4)$$

onde $I(x, y)$ é a imagem projetada do olho.

- 2) Compor uma imagem binária de tamanho 120x120 centrada no ponto (X_p, Y_p) adaptando um limiar apropriado através do uso de um histograma dessa região. Nessa região, repete-se o passo anterior e essa é a nova estimativa da pupila que deve substituir a anterior.
- 3) Calcular os parâmetros exatos dos dois círculos aplicando-se o operador de Canny [16] para se obter as bordas e a transformada de Hough [15], [17] a fim de se detectar os círculos. Isso é feito na região determinada por (X_p, Y_p) .

D. Análise de segmentação de textura.

Na referência [18], apresenta-se uma aplicação de uma análise baseada na textura da íris e também apoiando-se na característica de que a pupila é preta, ou seja, de baixa frequência. Decompõe-se a imagem original com a transformada wavelet de Haar. A localização da pupila é facilitada usando-se a decomposição wavelet, e inicia-se então uma estratégia de busca fina a partir dessa informação. Depois são implementados outros passos para se encontrar a íris. Também, aplica-se uma modificação da transformada de Hough para se aumentar a velocidade de busca. Escolhendo-se aleatoriamente pontos do mapa de bordas, inicia-se uma busca iterativa de acordo com a Eq. (1). Os resultados experimentais obtidos mostram uma redução de custo computacional.

O limite externo da íris é localizado utilizando-se o operador integro-diferencial. O operador diferencial é definido como sendo:

$$f'(i) = f(i+1) + f(i+2) - f(i-1) - f(i-2) \quad (5)$$

Assim, pode-se melhorar o contraste do limite exterior da íris. Se a pupila é localizada (x_c, y_c, r) , a busca do limite exterior é limitado a:

$$(x_c - x_1, y_c, r + r_1) \approx (x_c + x_1, y_c, r + r_1)$$

O método tem muita rapidez e robustez. Isso ocorre porque se utiliza um esquema simples de localização, baseado em informação local e dessa forma, minimiza-se os efeitos de ruído. Na detecção da pupila não é utilizada a transformada de Hough e isso causa uma redução do custo computacional. A aplicação do operador integro-diferencial resulta em uma melhoria do contraste. Adicionalmente, reduzem-se as necessidades de espaço, pois se passa de 3D para 2D e a busca é realizada em um domínio menor [18].

IV. PROPOSTA PARA A LOCALIZAÇÃO DE ÍRIS

A presente proposta para a localização de íris é baseada no cálculo aproximado da pupila, através da intensidade mínima das projeções vertical e horizontal. Encontra-se o raio da pupila de forma iterativa utilizando-se as mudanças de

intensidades (0,1). Refina-se o centro e acha-se o raio da íris analisando somente uma região centrada (X_p, Y_p) . A detecção de bordas é substituída por um filtro que mostre uma variação binária simples nos dois eixos para se encontrar a pupila. A procura é feita na linha de menor intensidade para cada eixo. Usa-se uma detecção do raio da íris similar à anterior, porém em um só eixo. O algoritmo proposto tem a vantagem de ser rápido e de menor complexidade, mas é sensível a erros devido às obstruções que afetam a intensidade de outras regiões. Aplicando-se ruído gaussiano na localização ter-se-á a mesma resposta, isso porque se usa a média da intensidade em uma linha. Aplica-se assim nesses casos o ruído gaussiano, e assume-se a resposta como sendo válida.

A. Localização do centro aproximado da pupila.

A primeira localização do centro da pupila é conseguida através da característica que é mais uniforme e de menor intensidade na imagem do olho. Então, aplica-se o seguinte algoritmo:

-Passar um filtro mediano, que garanta uma suavização suficiente para diminuir o ruído e diferenciar as regiões de alta e baixa intensidade.

-Converter os dados da imagem para binário. Utiliza-se um limiar que garanta que a intensidade da pupila seja diferente da intensidade da íris. O algoritmo tem como limiar experimental 26% da máxima intensidade possível. Isso depende muito dos parâmetros de obtenção da imagem. Com o aumento do contraste, o limiar aumenta.

-Achar (X_p, Y_p) aplicando-se (3) e (4).

B. Raio da pupila.

Parte-se de (X_p, Y_p) aproximados. Então, deve-se percorrer *pixel a pixel*, desde o centro (X_p, Y_p) até se chegar a uma região de mudança de intensidade $I(x, y) = 0$, cor preta para uma $I(x, y) = 1$, cor branca. No sentido esquerdo e direito para o eixo x , acham-se respectivamente, x_l e x_r . E nos sentidos acima e abaixo para o eixo y , acham-se respectivamente, y_u e y_d .

Dados x_l , x_r , y_u e y_d , deve-se estimar o raio da pupila, aplicando-se as seguintes equações:

$$R_p^x = \frac{|X_p - x_l| + |X_p - x_r|}{2} \quad (6)$$

$$R_p^y = \frac{|Y_p - y_u| + |Y_p - y_d|}{2} \quad (7)$$

$$R_p = R_p^x \approx R_p^y \quad (8)$$

onde R_p , R_p^x e R_p^y são as aproximações do raio da pupila

nos dois eixos. R_p assume o valor de R_p^x dado que ele sofre menos obstruções dos cílios e das pálpebras.

C. Localizar o centro real da pupila.

Tendo-se os dados aproximados de (X_p, Y_p) e R_p , pode-se encontrar o centro real da pupila. Deve-se achar o erro $\varepsilon = |R_p^x - R_p^y|$. Se ele for maior do que o máximo erro permitido então, deve-se aplicar um ruído gaussiano à imagem original. A seguir, deve-se iniciar o algoritmo tendo-se uma nova imagem de entrada.

Uma imagem com ruído gaussiano ou sem ele, terá o mesmo resultado para imagens como na Fig. 4 (b). No entanto, para os casos com muitas obstruções verticais de baixa intensidade como se observa na figura, o algoritmo encontra a menor intensidade prejudicando a continuidade o que é indesejável.

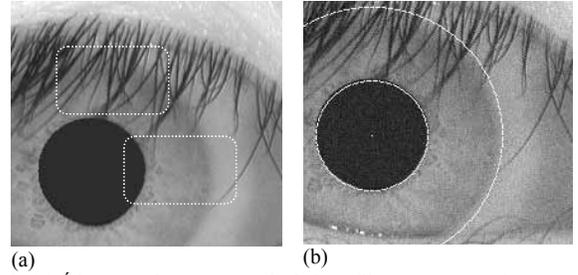


Fig. 4. (a) Íris com obstrução vertical dos cílios, e outra região com pouca incidência deles, (b) Localização de iris aplicando-se ruído gaussiano.

Reinicia-se o algoritmo, mas agora com a informação dos raios R_p^x e R_p^y . Os efeitos interferentes dos cílios normalmente ocorrem na vertical. Logo, o raio R_p^x é o raio da pupila R_p final válido. Nos testes, apenas uma das 108 classes da base de dados CASIA [19] precisou realmente do tratamento de ruído como na Fig. 4. Assim, esse passo insere robustez ao algoritmo.

Para se calcular as coordenadas do centro usa-se:

$$(X_p, Y_p) = \left(\frac{x_r + x_l}{2}, \frac{y_u + y_d}{2} \right) \quad (9)$$

Nesse algoritmo (X_p, Y_p) é considerado válido dessa etapa em diante.

D. Raio da íris.

O algoritmo processará somente a região da imagem que contém a menor quantidade de obstruções. No caso de uma imagem referente a um olho, essas regiões de menor obstrução são as regiões ao lado do centro da pupila. Essas regiões de interesse (ROI) podem ser utilizadas para o todo o processo. Na Fig. 4.a tem-se um exemplo onde se percebe com clareza que os cílios ou as pálpebras dificilmente chegam a cobrir a informação da íris.

Para se compor uma janela centrada em (X_p, Y_p) , de comprimento e largura, usa-se:

$$[M \times N] = [2(R_p + eRi_{\max}) \times \text{height}] \quad (10)$$

onde eRi_{\max} , é a variação máxima do raio da íris que ocorre em relação ao centro. Esse parâmetro depende de muitos fatores relacionados com a forma de aquisição da imagem, tais como a iluminação, distância da câmera, porcentagem do olho na imagem, etc. Nos testes realizados, usa-se a base de dados CASIA [19], na qual esses parâmetros tem valores constantes em todas as imagens. A variável *height* que corresponde à altura, tem valor que depende da base de dados. Um valor menor levará a um menor tempo de processamento, porém haverá maior probabilidade de que as obstruções inviabilizem o processo. O valor para essa variável é empírico, tendo o valor de 6 pontos o melhor comportamento. Aplicou-se o filtro mediano nessa janela para passar a informação relevante da textura para baixa intensidade a fim de suavizar as fronteiras de textura da íris e desprezar a região externa se for necessário.

O passo de busca consiste em se procurar um ponto x_l, x_r de baixa intensidade no eixo horizontal, indo para o lado esquerdo e para o direito desde um canto da janela até encontrar esse ponto. Esses são os limites aproximados da íris.

$$R_i = \frac{|X_p - x_l| + |X_p - x_r|}{2} \quad (11)$$

Para se obter o centro da íris (X_i, Y_i) , usa-se:

$$X_i = |x_r + x_l|/2 \quad (12)$$

Mesmo que a precisão seja menor, os dados perdidos não são tão relevantes para o cálculo final. Isso porque a maior quantidade de informação da íris está na região mais próxima da pupila. Note-se que o filtro mediano retira apenas a informação no limite exterior da íris que apresenta textura quase nula (ver Fig. 2).

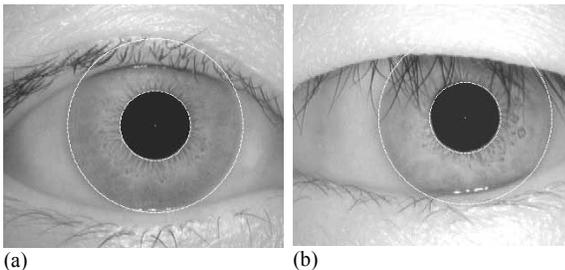


Fig. 5. Localização da íris proposta: centros e raios de pupila e íris.

A localização será feita somente depois que os resultados, em cada passada do algoritmo, forem iguais. Na Fig. 5 observa-se o resultado em uma iteração. No caso da figura (a)

quase sem obstruções e no caso (b) com obstruções da pálpebra e com cílios.

V. NORMALIZAÇÃO E MELHORIA DA IMAGEM

A aquisição de uma imagem real, no meio ambiente dificilmente é perfeita. Os erros inseridos são devidos às muitas variáveis envolvidas, tais como os diferentes tamanhos das íris, as variações de iluminação, bem como de outros fatores que afetam a imagem incluindo-se as reações naturais da pupila. Para se obter uma informação confiável da íris deve-se localizar a íris e uniformizar esses dados para que os algoritmos computacionais de reconhecimento possam realizar a análise.

O conteúdo circular em uma imagem padrão de íris pode ser representado em uma imagem retangular. Assim aplica-se uma transformação para se passar de uma faixa circular para um retângulo.

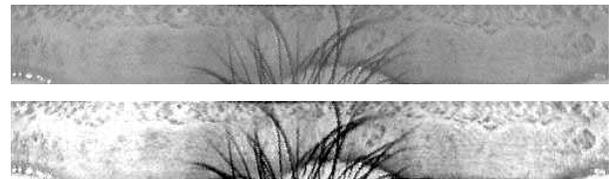


Fig. 6. (a) Íris em formato (64x512) normalizado em um retângulo. (b) Enriquecimento da imagem aplicando-se maior contraste.

Ao normalizar uma imagem deve-se ter parâmetros fixos a fim de simplificar os passos subseqüentes de processamento sem reduzir os dados relevantes nem causar distorções [1], [4]. Tem-se:

$$I_n(X, Y) = I_o(x, y) \quad (13)$$

$$x = x_p(\theta) + (x_i(\theta) - x_p(\theta)) \frac{Y}{M} \quad (14)$$

$$y = y_p(\theta) + (y_i(\theta) - y_p(\theta)) \frac{Y}{M} \quad (15)$$

$$\theta = 2\pi X / N \quad (16)$$

onde I_n é a nova imagem de $M \times N$ (64 x 512).

A imagem normalizada conserva as características principais da textura como observado na Fig. 6 (a), mas a íris é de baixo contraste e as informações relevantes são as mudanças de textura. Por essa razão, o tratamento da imagem na Fig. 6 (b) consiste em se realçar as regiões que contém os dados. Com localização precisa e normalização sem deformação, as informações de textura estão prontas para posteriores tarefas de reconhecimento, porém, reduzindo-se os dados.

VI. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Para se avaliar o desempenho do método proposto, foi utilizada a base de dados *CASIA Íris Database*, que contém

756 imagens (320x280 pixels) de íris de 108 olhos, que resulta em 108 classes. Para cada olho, sete imagens são capturadas em duas sessões. Três são coletadas na primeira e quatro na segunda sessão [19].

A Tabela I mostra a comparação apresentada por Jiali Cui [18]. Acrescentou-se o resultado do algoritmo proposto, levando-se em conta as mesmas características nos experimentos relatados nessa publicação. O algoritmo foi executado tendo-se como base o algoritmo de Daugman implementado em MatLab por Masek [20] e modificado no módulo de segmentação. O sistema tem a configuração de um limiar 0.36 tendo uma FAR=0% e um FRR=0.13%.

TABELA I
COMPARAÇÃO DE MÉTODOS

Método	Precisão	Tempo		
		Médio	Min.	Max.
Daugman	98.60%	6.56s	6.23s	6.99s
Wildes	99.90%	8.28s	6.34s	12.54s
Wildes	99.50%	1.98s	1.05s	2.36s
Jiali Cui	99.54%	0.2426s	0.1870s	0.3290s
Proposto	99.87%	0.0742s	0.0450s	0.7950s

O método de Daugman é robusto, sendo que os seus resultados são de difícil comparação, pois não são relatadas melhorias computacionais no seu método, mas os artigos mostram 100% de precisão. O esquema de reconhecimento de íris possui um bloco de localização, e ao longo do processo esse bloco permanece inalterado. Esse bloco está baseado no processo íntegro-diferencial e é possível se ter uma idéia do tempo de processamento desse bloco com respeito a todo um processamento de reconhecimento. Por exemplo, em [13] a localização representa 57.7% do total e em [6] representa 20.17% do total. Daugman utiliza o seu mesmo processo íntegro-diferencial com possíveis melhorias, mas esse fato não é relatado.

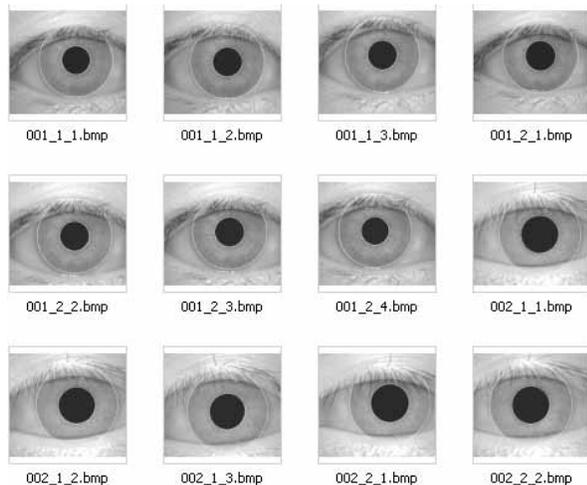


Fig. 7. Resposta ao algoritmo proposto, da base de dados.

O algoritmo proposto ao inserir ruído gaussiano continua

sendo rápido e confiável, isso porque nesse passo assegura-se borrar as obstruções, já que elas são causadoras de problemas na localização. No experimento apenas uma classe apresenta obstruções significativas (Ver Fig. 4). Dentro dessa classe existem sete amostras, das quais quatro contêm cílios que dão erro quando não se insere um ruído gaussiano.

No décimo passo encontra-se o centro da íris. Mesmo assim, não é utilizado. Isso porque a informação da textura da íris é mais concêntrica a da pupila, como se observa na amostra 51 (Ver Fig. 2) da base de dados. Nesse algoritmo só foi aceita a informação útil da íris a fim de se conservar a concentricidade e passar para uma normalização de menor custo computacional, que garanta uma informação homogênea de uma íris. Essa imagem apresenta muita irregularidade na concentricidade. Percebe-se que as escolhas dos limites para todas as amostras dessa classe são semelhantes. Para um reconhecimento da íris, a informação de entrada sempre será a correspondente, portanto se há perda de dados em uma íris, na outra sessão também haverá. A melhoria no resultado final do sistema deve-se à melhoria na entrada de dados, pois toma-se a informação de textura mais relevante.

VII. CONCLUSÃO

O processo de localização da íris encontra o centro, os limites da íris e também os limites da pupila satisfatoriamente, com velocidade superior às dos outros algoritmos apresentados. O algoritmo proposto tem boa precisão e aplicam ruído gaussiano para se obter melhores resultados. O método é baseado na obtenção da informação da textura da íris sendo que a captura correta da textura melhora os resultados finais em um processo de reconhecimento de íris. Normalmente, a informação é concêntrica à pupila, sendo que a perda de dados no limite exterior não é relevante. A textura relevante é separada utilizando-se filtros medianos com limiares apropriados.

VIII. COMENTÁRIOS

Agradecemos ao Dr. John Daugman (Cambridge University, UK), Dr. Richard Wildes (York University, Canada), Dr. Li Ma e Jiali Cui (Chinese Academy of Sciences) Dr. L. Masek pelas informações em seus artigos. Também somos gratos a aqueles que possibilitaram a versão pública da base de dados CASIA Iris Database. Agradecemos também as instituições de apoio CNPq, Capes, Fapesp e Faep/Unicamp.

IX. REFERÊNCIAS

- [1] J. Daugman, "High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence," *IEEE Trans. Pattern Analy Machine Intell.*, vol. 15, pp. 1148–1161, Nov. 1993.
- [2] R.P. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology," *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, no. 9, 1997, pp. 1348-1363.
- [3] W. Boles, "A security system based on human iris identification using wavelet transform," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Feb. 1998.

- [4] [4] L. Ma, Tieniu Tan, "Personal Identification Based on Iris Texture Analysis". *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, no. 12, December 2003.
- [5] [5] M. Erickson (1996). *Eye Anatomy*. [Online]. Available: <http://www.stlukeseye.com/Anatomy.asp>
- [6] [6] Daugman, J. "How Iris Recognition Works," *IEEE Transaction on Circuit and System for Video Technology*, vol. 14, no. 1, January 2004.
- [7] [7] P. Kronfeld, "Gross Anatomy and Embryology of the Eye", in *The Eye*, H. Davson, Ed. London, U.K.: Academic, 1962.
- [8] [8] John Daugman, "Recognizing Persons by Their Iris Patterns". The Computer Laboratory, University of Cambridge, United Kingdom, 2002.
- [9] [9] I. Maghiros, Y. Punie, S. Delaitre, E. Lignos, C. Rodriguez, M. Ulbrich, M. Cabrera, B. Clements, L. Beslay, R. Van Bavel, "Biometrics at the Frontiers: Assessing the Impact on Society," A Report to the European Parliament Committee on Citizens Freedoms and Rights, Justice and Home Affairs (LIBE), EUR 21585, Fev. 2005.
- [10] [10] L. Ma, "Efficient Iris Recognition by Characterizing Key Local Variations," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 13, no. 6, June 2004.
- [11] [11] J. Daugman, "Demodulation by Complex-Valued Wavelets for Stochastic Pattern Recognition," *Int'l J. Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, vol. 1, no. 1, pp. 1-17, 2003.
- [12] [12] A. Lefohm R. Caruso, E. Reinhard, B. Budge, "An Ocularist's Approach to Human Iris Synthesis", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 26, no. 11, pp. 70-75, Dec. 2003.
- [13] [13] J. Daugman, C. Downing, "Recognizing iris texture by phase demodulation" *IEEE Colloquium on Image Processing for Biometric Measurement*, vol. 2, pp. 1-8, April 1994.
- [14] [14] M. Schulze (2003, July 23). *Circular Hough Transform: A Java applet demonstration*, [Online]. Available: <http://markschulze.net/java/hough>
- [15] [15] K. Voss, H. Suesse and W. Ortmann, "Radon, Hough, Acumulación y el método SDR", CC/CIMAT Dep. Mathematic, Comunicación Técnica No I-04-05, 2004.
- [16] [16] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-8, pp. 679-698, Nov. 1986.
- [17] [17] D. Ballard, "Generalized Hough transform to detect arbitrary patterns," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-13, pp. 111-122, 1981.
- [18] [18] Jiali Cui, Yunhong, Tieniu, Li Ma, Zhenan Sun, "A Fast and Robust Iris Localization Method Based on Texture Segmentation", *Center for Biometric Authentication and Testing, National Laboratory of Pattern Recognition, Chinese Academy of Sciences*, Beijing, P.R.China, 2004.
- [19] [19] CASIA Iris Image Database, *Chinese Academy of Sciences (CASIA)*. Available: www.sinobiometrics.com/resources.htm
- [20] [20] L. Masek, "Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification," *M. Thesis 2003, The University of Western Australia* [Online], available: www.csse.uwa.edu.au/~pk/studentprojects/libor/LiborMasekThesis.pdf, Mar. 26, 2005.



Roger Fredy Larico Chavez é engenheiro de sistemas pela Universidade San Agustín de Arequipa. Perú (UNSA) em 2002. Fez mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), em 2006. Atualmente é doutorando em Engenharia Elétrica no Laboratório de Comunicações Visuais (LCV) do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – Decom/Fec/Unicamp. Atua principalmente nos seguintes temas: televisão digital (padrão ISDB e DVB), processamento digital de sinais (compressão de imagem e vídeo), reconhecimento de padrões, codificação de erros e modos de transmissão em satélite.



Yuzo Iano realizou a graduação, o mestrado e o doutorado em engenharia elétrica pela Unicamp. Atualmente é professor associado e responsável pelo Laboratório de Comunicações Visuais da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp. Tem atuado em projetos de processamento de sinais (som, imagem, áudio e vídeo). As áreas de interesse são processamento de imagens, reconhecimento de padrões, áudio, vídeo, televisão convencional, televisão de alta definição, comunicações visuais, codificação e transmissão de sinais digitais.



Vicente Idalberto Becerra Sablón formou-se engenheiro eletrônico pela Universidade Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba (UCLV) em 1985. É engenheiro em telecomunicações pelo Instituto Técnico Militar, Havana, Cuba (ITM). Foi professor assistente da Faculdade de Matemática - Física e Computação (1986-1996) na UCLV. Fez mestrado em processamento digital de sinais biomédicos, na UCLV. Fez mestrado em engenharia elétrica na área de eletrônica e comunicações pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp (1998) e doutorado em engenharia elétrica na área de telecomunicações e telemática —pela Universidade Estadual de Campinas (2002). Desde 2001 é professor do Centro Universitário Salesiano de São Paulo – Unisal e desde 2004 é pesquisador do grupo de estudos em matemática aplicada (GREMAP) do Centro Unisal-Unidade Campinas. Desde 1996 é membro do Laboratório de Comunicações Visuais (LCV) do Departamento de Comunicações da Fec/Unicamp. A partir de 2003 tem atuado como professor participante do curso de pós-graduação da Fec/Unicamp. Atua principalmente nos seguintes temas: processamento digital de sinais (áudio, imagem e vídeo), televisão e HDTV.