Reconhecimento de Íris

Adriano Saturno Muniz

MAC 5701

Tópicos em Ciência da Computação

Monografia

Orientador: **Prof. Dr. Carlos Hitoshi Morimoto**

São Paulo, 21 de junho de 2003

1 Resumo

O presente estudo tem, como objetivo, uma análise dos trabalhos feitos na área de reconhecimento de íris, bem como uma comparação dos mesmos, levando-se em conta sua eficiência e confiabilidade. Será apresentada uma visão geral dos principais problemas enfrentados pelos sistemas de reconhecimento de íris analisados, além de resultados de pesquisas sobre a confiabilidade na identificação de pessoas através dos padrões da íris.

Palavras-chaves: reconhecimento de íris, processamento de sinais, biometria, reconhecimento de padrões, visão computacional, reconhecimento de formas.

2 Introdução

2.1 Sistema Biométrico

Um sistema biométrico avalia a autenticidade de uma característica fisiológica [1] ou comportamental [2] de um indivíduo. Quando comparados com outros sistemas de identificação, os sistemas biométricos apresentam algumas vantagens:

Estão sempre disponíveis: Cada indivíduo carrega consigo suas próprias características fisiológicas e comportamentais;

São intransferíveis: Não é possível o empréstimo das características individuais para outras pessoas;

São únicos para cada indivíduo: Apesar de haver uma variabilidade nas características de um indivíduo, é possível garantir, para muitos tipos de medidas biométricas, a unicidade.

Um sistema biométrico compreende os seguintes componentes:

- Aquisição e pré-processamento de dados para análise;
- Extração de características desses dados e codificação de tais características;

[1] Impressão digital, características da face e das mãos, íris, retina, etc.
[2] Assinatura, voz, etc.

- Comparação dessas características de referência gravadas num banco de dados para validação/invalidação.

Os sistemas comparam características recém adquiridas com características gravadas em bancos de dados, de uma mesma pessoa ou de um grupo de pessoas.

Assim sendo, temos que decidir se o sistema será voltado para identificação (comparações de 1 para n) ou para verificação (comparações de 1 para 1). A maior demanda para sistemas biométricos é a identificação.

Uma medida biométrica não é uma medida exata; ela varia com fatores externos, durante a aquisição dos dados e com o passar do tempo, uma vez que os indivíduos mudam suas características fisiológicas e comportamentais ao longo de suas vidas.

Todo sistema biométrico deve, portanto, ser tolerante a essas variações de características.

A tarefa de um sistema biométrico tem relação com duas classes de problemas: aceitação e rejeição. O desempenho de um sistema pode, então, ser medido com duas taxas:

- Taxa de falsa rejeição (FRR — False Rejection Rate)
- Taxa de falsa aceitação (FAR — False Acceptation Rate)

Esse problema central em sistemas biométricos está diretamente relacionado com o problema-chave em reconhecimento de padrões: A relação entre variabilidade intra-classe e a variabilidade inter-classe.

A variabilidade intra-classe é a variabilidade entre instâncias diferentes de uma mesma classe, ou seja, a variabilidade presente em amostras de características fisiológicas ou comportamentais de um mesmo indivíduo. A variabilidade inter-classe, por sua vez, é a variabilidade entre instâncias de diferentes classes, ou seja, a variabilidade em amostras de características de indivíduos diferentes.

Dessa forma, uma medida biométrica ideal apresenta uma pequena variação intra-classe e uma grande variação inter-classe. Isso tornaria baixas as taxas de falsa rejeição e falsa aceitação, tornando o sistema biométrico muito confiável.

2.2 Vantagem no uso do padrão da íris em sistemas biométricos

Abordagens baseadas em características fisiológicas têm variabilidade intra-classe menor que abordagens baseadas em características comportamentais. Isso ocorre porque características fisiológicas são, geralmente, mais estáveis que características comportamentais.

Dentre as características fisiológicas, o padrão da íris é uma valiosa medida biométrica, pois apresenta uma grande variabilidade inter-classe, e uma variabilidade intra-classe relativamente pequena.

Além disso, podemos criar sistemas biométricos não invasivos baseados nos padrões da íris, uma vez que podemos captar sua imagem, com boa qualidade para identificação, em distâncias de até um metro.

Segundo dados oftalmológicos coletados ao longo de 25 anos, não há mudanças consideráveis, na íris, durante tal período, o que significa que se trata de uma medida estável no tempo.

O mais numeroso e denso *grau de liberdade* (variabilidade) entre indivíduos é encontrado no padrão da íris de cada olho. Esse órgão interno, protegido de fatores externos, pode fornecer imagens de padrões confiáveis a distâncias de até um metro e revela *graus de liberdade* independentes entre indivíduos [3, 4, 7]. Para melhor compreender o que isso significa, a chance de haver duas íris iguais em dois indivíduos diferentes é a mesma de se obter somente caras em 266 arremessos de uma moeda honesta.

Um outro fator importante na escolha da íris como medida biométrica, é o fato de ela ser uma característica de fenótipo, e não de genótipo.

O genótipo refere-se a características genéticas, enquanto o fenótipo diz respeito à interação entre o genótipo, o desenvolvimento do indivíduo e os fatores ambientais. Pessoas geneticamente idênticas compartilham o mesmo genótipo, mas o fenótipo está sujeito a mudanças causadas pela história de vida do indivíduo e pelo ambiente no qual se desenvolveu.

O fato de a íris ser uma característica fenotípica, que começa a ser desenvolvida na fase embrionária do indivíduo, de forma praticamente aleatória (no que diz respeito aos detalhes do padrão da íris, uma vez que sua coloração, bem como a estrura mais geral do padrão são características do genótipo), faz com que seja uma medida biométrica confiável, mesmo para comparações entre gêmeos idênticos, ou entre o par de íris de um mesmo indivíduo.

Alguns partes da íris, como o arranjo de vasos sangüíneos, são determinados até o nascimento, enquanto outros, como a musculatura, se desenvolvem até os dois anos de idade. O tamanho da pupila e coloração da íris mudam até a adolescência. Passada esta fase, uma íris saudável sofre poucas variações, durante o resto da vida.

Ao contrário da biometria baseada em reconhecimento de faces, o reconhecimento de íris não é sensível ao ângulo de visão do sistema (a íris é praticamente plana); o ângulo de visão causa apenas algumas transformações afins, fáceis de reverter. Até a deformação provocada pela contração/dilatação da pupila é reversível, embora não seja uma transformação afim.

3 Trabalhos Anteriores

O oftalmologista francês Alphonse Bertillon foi o primeiro a propor o uso do padrão da íris como forma de identificação.

Em 1981, após a leitura de diversos artigos científicos que descreviam a imensa variação do padrão da íris, L. Flom e o oftalmologista americano Aran Safir sugeriram o uso da íris também como uma base de medida biométrica. Em 1987, uniram-se ao cientista da computação John Daugman [3, 4, 5, 6, 7, 8], desenvolvendo o primeiro software de reconhecimento de íris, que apresentou os primeiros resultados promissores em 1992.

Pouco depois, surgiram os trabalhos de R. Wildes [13] e W. Boles [1], que apresentavam novas abordagens para a representação das características da íris. Desde então, têm surgido diversas abordagens diferentes sobre o assunto, algumas nem tão inovadoras; outras, adaptações dos sistemas existentes; outras, ainda, de análise dos trabalhos desenvolvidos, na tentativa de propor sistemas mais simples, sem abrir mão da confiabilidade.

Exemplos desses sistemas são os trabalhos de O. B. Shinyong Lim [12], T. T. Yong Zhu [14], Seung-In Noh [11], C. Tisse [2], dentre muitos outros.

Assim como qualquer sistema biométrico, os baseados em padrões de íris são compostos pela aquisição e pré-processamento de dados para análise (aquisição da imagem do olho e seleção da imagem da íris, já sem o limbus, pálpebras, pupila e demais ruídos indesejáveis); extração das características desses dados e codificação de tais características (processamento da imagem da íris com algum tipo de filtro que ponha em evidência as características únicas da textura e codificação desses dados em uma representação compacta); comparação dessas características com outras, de referência para validação/invalidação (método de comparação de códigos de dados das íris que torna possível responder se duas imagens de íris pertencem ou não a uma única pessoa).

4 Uma visão geral do funcionamento de alguns sistemas de reconhecimento de íris

John Daugman usa operações integro-diferenciais para detectar a borda interior e a exterior da íris; filtros de Gabor para extrair vetores binários que constituem o *Íris Code*; checagem de compatibilidade estatística, analisando a medida das distâncias de Hamming entre dois códigos de íris.

Richard P. Wildes usa a transformada de Hough para a localização da íris; pirâmide Laplaciana (decomposição multi-escala) para extrair e representar as características da íris; uma correlação normalizada modificada para o processo de checagem de compatibilidade dos padrões das íris.

W. W. Boles constrói uma relação unidimensional dos níveis de cinza da íris, seguida da obtenção das passagens por zero das transformações wavelet da representação; funções originais de dissimilaridade para selecionar informações relevantes para a checagem de compatibilidade.

C. Tisse usa operações íntegro-diferenciais e transformada de Hough de gradiente decomposto para localização da íris; um conceito de *imagem analítica* (transformada de Hilbert 2D) para extrair informações pertinentes da textura da íris; análise da média das distâncias de Hamming para checagem final de compatibilidade.

Shinyoung Lin usa detecção de bordas convencional, associada ao método da bissetriz para localizar a íris na imagem; a wavelet de Haar para extrair informações pertinentes da textura da íris; rede neural LVQ para checagem de compatibilidade.

Yong Zhu também usa detecção de bordas convencional para localizar a íris na imagem; filtro de Gabor multi-escala e transformada wavelet para extração de características; distância euclidiana ponderada para checagem de compatibilidade.

Seung-In Noh extrai as características da íris, representando o sinal, usando análise multi-escala de componentes independentes; A checagem de compatibilidade escolhida foi a taxa de discriminação de Fisher.

Em termos de taxas de reconhecimento (FAR, FRR), o sistema de J. Daugman é o melhor. Seu algoritmo é usado na solução patenteada com nome *IriScan Inc.* Essa plataforma faz o reconhecimento de íris através de uma unidade óptica específica que permite a aquisição de imagens da íris de forma não invasiva, juntamente com uma unidade de processamento de dados que roda o algoritmo de Daugman. O sistema de Daugman foi testado em bancos de dados com mais de 200.000 íris e não obteve nenhuma falsa aceitação.

A seguir, veremos alguns dos sistemas supracitados com um maior aprofundamento.

4.1 Abordagem de J. Daugman

Segundo os estudos de Daugman, a densidade de informações dos padrões da íris giram em torno de 3,4 bits por milímetro quadrado e um ambiente para reconhecimento de pessoas a partir dos padrões da íris tem um índice de "decidabilidade" de cerca de $d' = 11$ (veremos o que isso significa adiante). A medida biométrica que apresenta a maior variabilidade entre indivíduos, que é estável ao tempo e fácil de ser convertida em imagem, é a textura da íris.

4.1.1 Aquisição da imagem

A figura 1 mostra um diagrama esquemático do sistema de reconhecimento de íris desenvolvido por Daugman.

Os primeiros sistemas desenvolvidos usavam uma fonte de luz, e câmeras de vídeo comuns. A luz comum dificulta a extração da textura da íris em olhos escuros, e se fazia necessária uma equalização de histograma da imagem da íris. As abordagens mais recentes utilizam fontes de luz infra-vermelhas e câmeras que captam esse tipo de luz (em geral, basta retirar o filtro infra-vermelho das câmeras convencionais). A luz infra-vermelha oferece boas imagens de textura, independente da cor dos olhos, e é invisível aos olhos humanos, não incomodando o usuário.

O sistema de Daugman, assim como a maioria dos sistemas de reconhecimento de íris, despreza a informação de cor da textura. O reconhecimento é feito analisando-se a imagem em tons de cinza. Para que o usuário possa se posicionar corretamente em frente ao sistema, de modo que uma boa imagem possa ser captada, há um display de cristal líquido, que permite que o usuário veja a imagem atual da íris para, eventualmente, corrigir seu posicionamento.

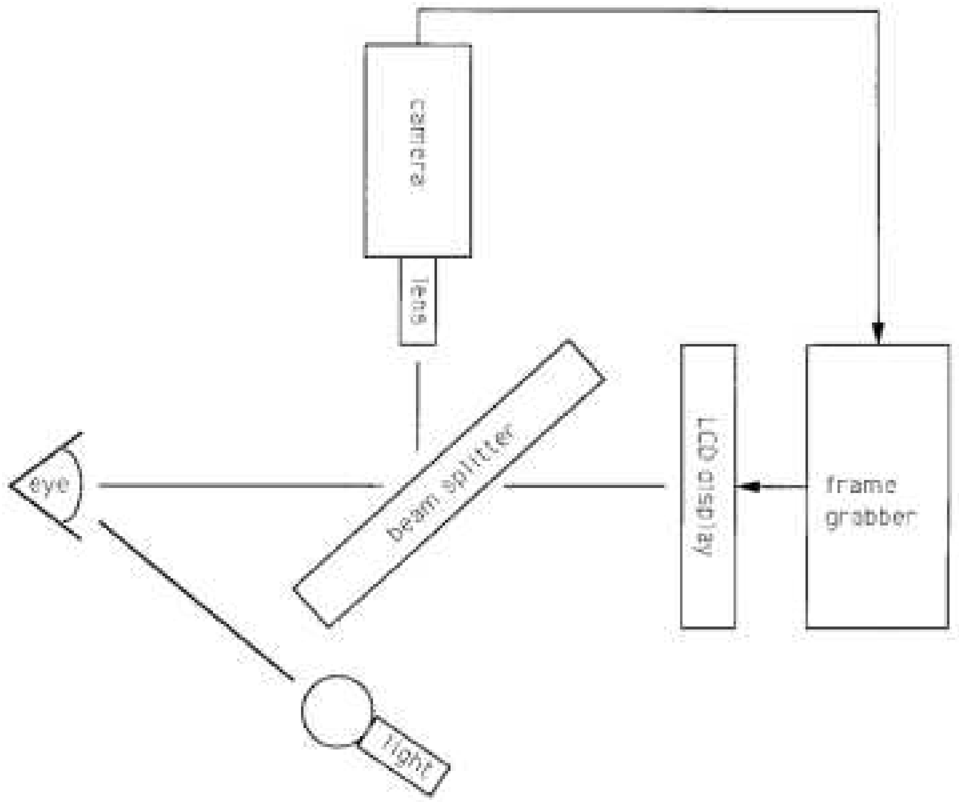

Figura 1: Diagrama esquemático do sistema de aquisição de imagem de Daugman

4.2 Localização da íris na imagem

Adquirida a imagem do olho, é preciso separar a parcela correspondente à íris, ou seja, é necessário localizar o limite interior (pupila) e o exterior (limbus) da íris, bem como as pálpebras. Essa operação de detecção é feita pelos operadores integro-diferenciais:

$$max(r, x_0, y_0) \mid G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_0,y_0} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \mid \tag{1}$$

Usa-se uma integral de linha parametizada com o tamanho e localização da íris pelas coordenadas r, x_0, y_0 numa escala de análise σ setada por $G_\sigma(r)$ sobre a imagem $I(x, y)$.

O operador varre o domínio (x, y) da imagem procurando o raio máximo r ao longo de um arco circular ds de raio r e centro (x_0, y_0). O símbolo $*$ denota a operação de convolução e $G_\sigma(r)$ é uma função de suavização como uma gaussiana de escala σ.

Essa parametrização encontra os limites circulares interior e exterior da pupila. Para encontrarmos os limites impostos pelas pálpebras, mudamos o caminho de integração de círculo para arco.

É interessante notar que os primeiros sistemas desenvolvidos por Daugman optavam por, simplesmente, desconsiderar partes do olho normalmente cobertos pelas pálpebras, independentemente da oclusão ocorrer realmente. Alguns sistemas, por outro lado, exigem que as pálpebras não encubram nenhuma parte da íris, resultando num sistema mais invasivo. O resultado da aplicação do operador pode ser visto na figura 2.

4.2.1 A codificação do padrão da íris

Separada a imagem da íris da imagem do olho, um novo sistema de coordenadas bidimensionais é definido. Esse sistema torna possível um mapeamento da íris de forma invariante às contrações e dilatações da pupila. Esse sistema de coordenadas é pseudo-polar, embora não assuma concentricidade entre a borda interior e a exterior da pupila. A pupila, normalmente, localiza-se na parte inferior e mais próxima do nariz. O novo sistema de coordenada, juntamente com a demodulação em fase que cria o *Iris Code* são mostrados na figura 3.

O padrão da íris é codificado em um *Iris Code* de 256 bytes, através de sua demodulação com Wavelets de Gabor 2D, as quais representam a

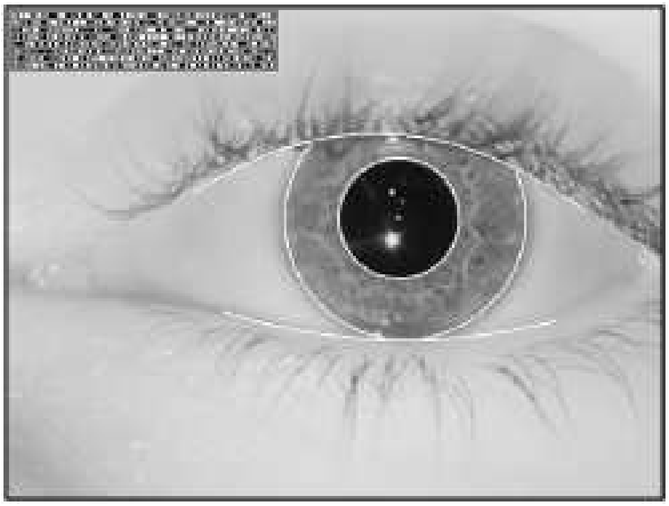

Figura 2: Exemplo de um padrão de íris monocromático adquirido a uma distância de cerca de 35 cm. As lihas brancas mostram o resultado da fase de localização da íris, pupila e pálbebras

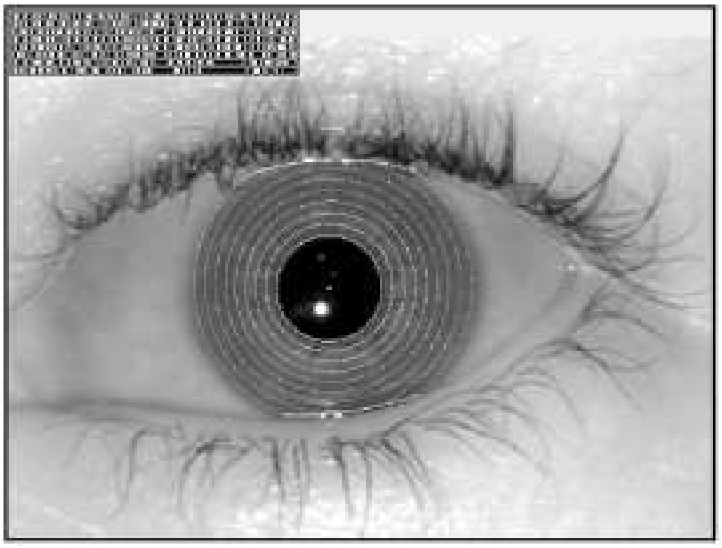

Figura 3: Isolamento de íris para codificação e seu *IrisCode* resultante (retângulo superior esquerdo)

textura pelos fasores no plano complexo. Cada ângulo fasor é quantizado no quadrante do plano complexo ao qual pertence, para cada elemento do padrão da íris:

$$h\{Re, Im\} = sgn_{\{Re,Im\}} \int_\rho \int_\phi I(\rho,\phi) e^{-iw(\theta_0-\phi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-(\theta_0-\phi)^2/\beta^2} \rho d\rho d\phi \tag{2}$$

onde $h\{Re, Im\}$ é um bit que representa um valor complexo, real ou imaginário, que está no conjunto $(0, 1, -1)$, dependendo do sinal da integral; $I(\rho, \theta)$ é a imagem no sistema de coordenadas pseudo-polar, α e β são parâmetros da wavelet 2D multi-escala e w é a freqüência da Wavelet.

Embora sejam computados 2048 bits de fase em cada íris, nas novas implementações do algoritmo de Daugman, um número igual, de bits de máscara é computado. Esses bits servem para identificar partes da íris coberta pelas pálpebras, cílios, reflexão especular, bordas de lentes de contato, ruídos, etc, para que essas regiões da íris sejam ignoradas na checagem de compatibilidade feita na fase de reconhecimento. No reconhecimento de íris só é usada informação de fase, uma vez que a informação de amplitude não é suficientemente discriminatória, e depende de fatores estranhos como contraste, iluminação, e ganho da câmera.

4.2.2 Reconhecimento da íris

A chave para o reconhecimento de íris é a falha num teste de independência estatística. Esse teste é implementado com operações booleanas XOR, aplicadas aos 2048 bits de fase, mascarados (usando operação binária AND) por seus correspondentes bits de máscara. O operador XOR detecta discordância entre os pares de bits, enquanto o operador AND retira do teste os bits corrompidos. Computamos, então, as distâncias de Hamming como medida de dissimilaridade entre duas íris, cujos códigos de fase são denotados por $codigoA, codigoB$, e os vetores de máscara por $mascaraA, mascaraB$.

$$HD = \frac{\|(codigoA \bigotimes codigoB) \bigcap mascaraA \bigcap mascaraB\|}{\|mascaraA \bigcap mascaraB\|} \tag{3}$$

Quanto menor o HD, maior a similaridade entre as duas íris. Do ponto de vista de desempenho, uma máquina comum, de 32 bits, pode fazer uma operação XOR entre inteiros, no intervalo de 0 a 4 bilhões, numa única instrução de máquina. A implementação do teste em CPU's de 300 MHz permite comparações a uma taxa de 100.000 íris/segundo, o que o torna ideal para buscas em grandes bancos de dados. Fazendo uma breve análise estatística: cada bit, no código de fase tem chance igual de ser 0 ou 1 e não há correlação entre códigos de fase de íris diferentes. O valor esperado do HD é, então, 0,5. O histograma, na figura 4, mostra a distribuição de HD's obtida de 2,3 milhões de comparações entre pares de íris diferentes.

A medida desta distribuição foi $p = 0,499$, com desvio padrão $\sigma = 0,032$. A distribuição corresponde a uma distribuição binomial com $N = \frac{p(1-P)}{\sigma^2} = 244$ *graus de liberdade*. Essa correspondência quase perfeita das distribuições vem do fato de que os códigos de fase de duas íris diferentes são provas de Bernoulli. Para sabermos se duas íris são diferentes, basta estabelecer um limiar para o HD. A tabela abaixo mostra um critério de escolha do HD, baseado no nível de confiabilidade desejado, levando em conta a característica binomial da distribuição dos HD's.

Critério HD	Chance de Falso Casamento
0,26	1 em 10^{13}
0,27	1 em 10^{12}
0,28	1 em 84 bilhões
0,29	1 em 8,6 bilhões
0,30	1 em 1 bilhão
0,31	1 em 127 milhões
0,32	1 em 18 milhões
0,33	1 em 2,9 milhões
0,34	1 em 527.000
0,35	1 em 105.000

Temos, nas figuras 5 e 6, testes do ambiente de decisão de Daugman, sob condições desfavoráveis e favoráveis, respectivamente.

O grau de decidabilidade d' tem a ver com o quão separadas estão as distribuições *same* e *different* das figuras 5 e 6. Definimos d' assim:

$$d' = \frac{\mid \mu_1 - \mu_2 \mid}{\sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)/2}} \tag{4}$$

Quanto maior o d', menores as FAR e FRR.

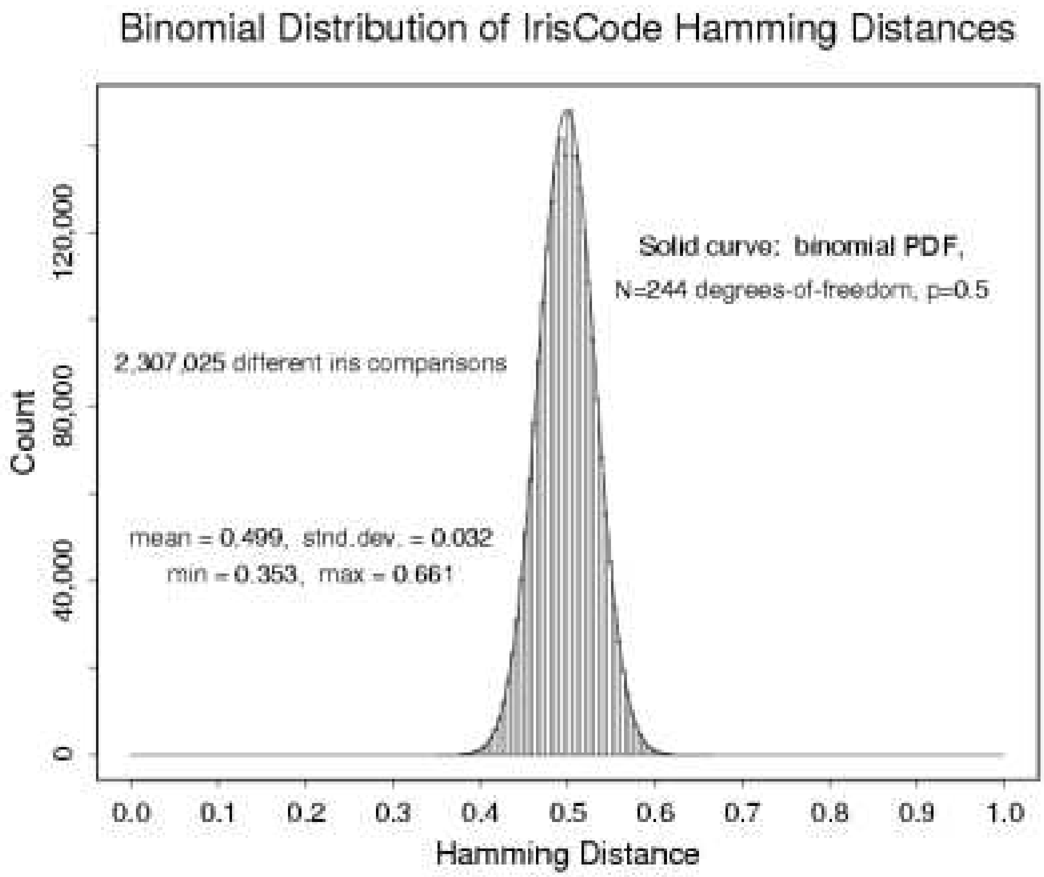

Figura 4: Sistema de Daugman. Distribuição das distâncias de Hamming para todas as 2.3 milhões de comparações possíveis entre diferentes pares de íris do banco de dados

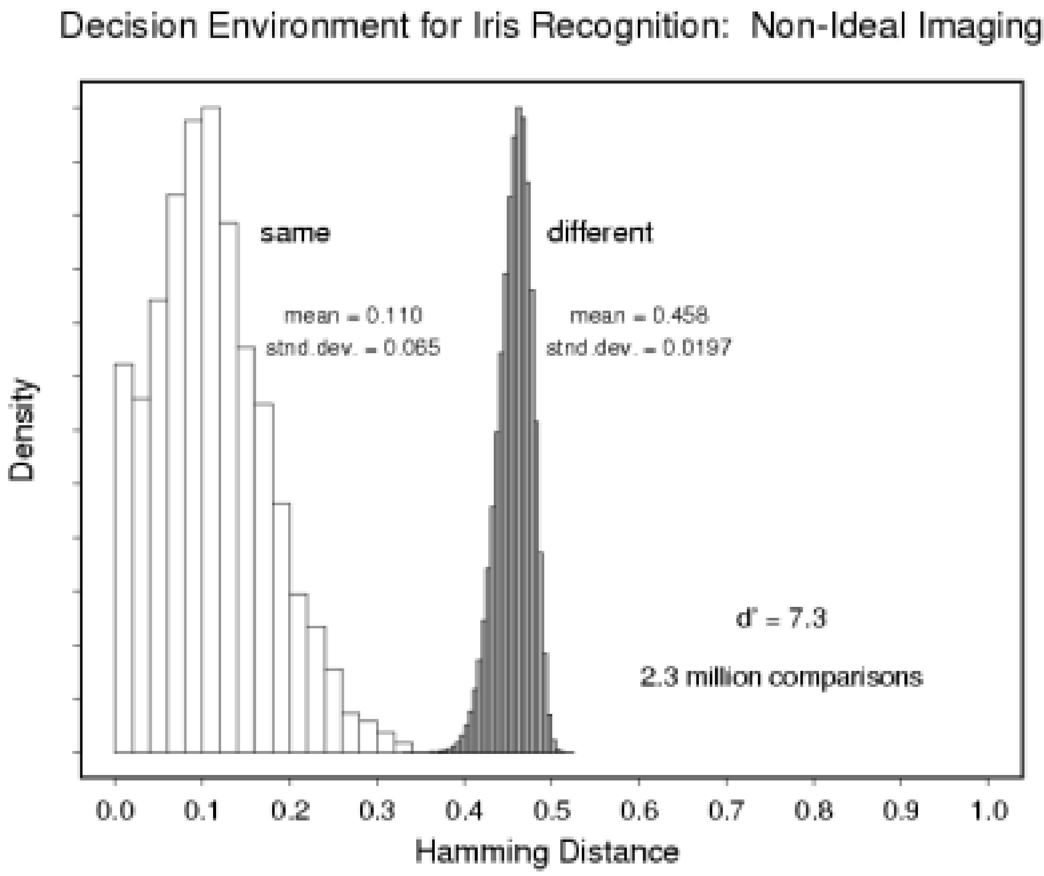

Figura 5: Sistema de Daugman. O ambiente de decisão para reconhecimento de íris sob condições relativamente desfavoráveis, usando imagens adquiridas em distâncias diferentes e por plataformas ópticas diferentes

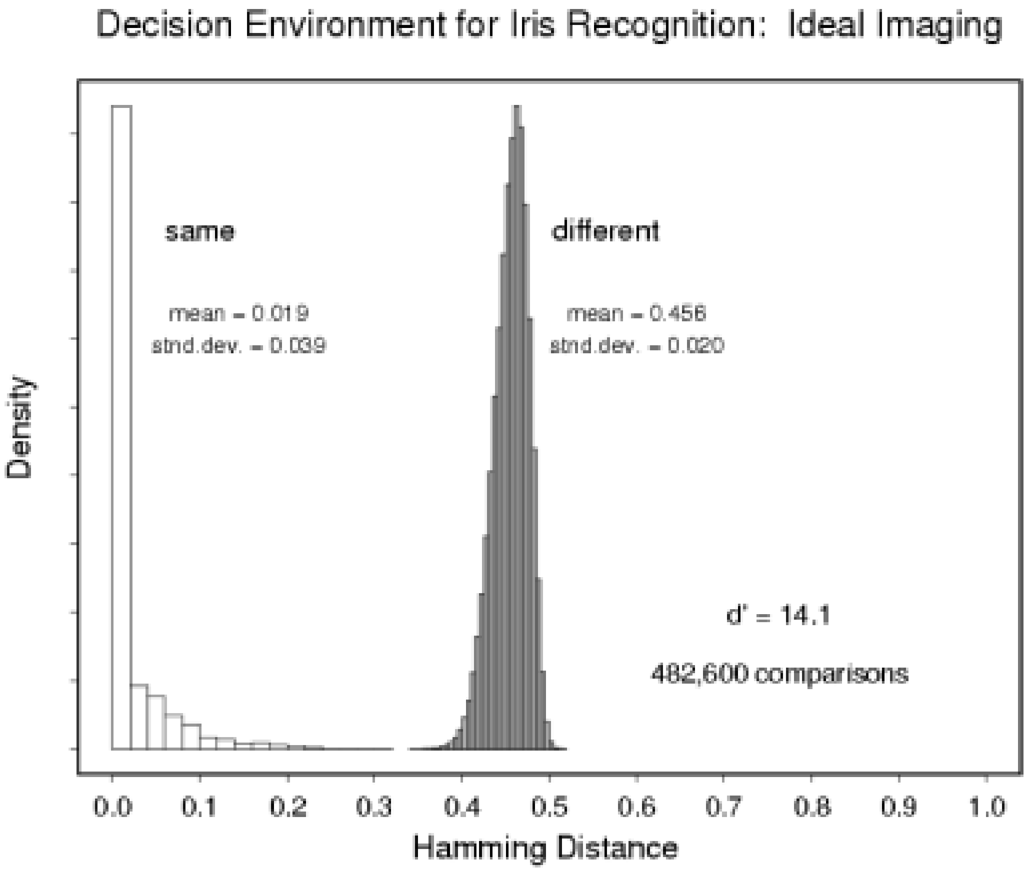

Figura 6: Sistema de Daugman. O ambiente de decisão para reconhecimento de íris sob condições muito favoráveis,usando sempre a mesma câmera, distância e iluminação

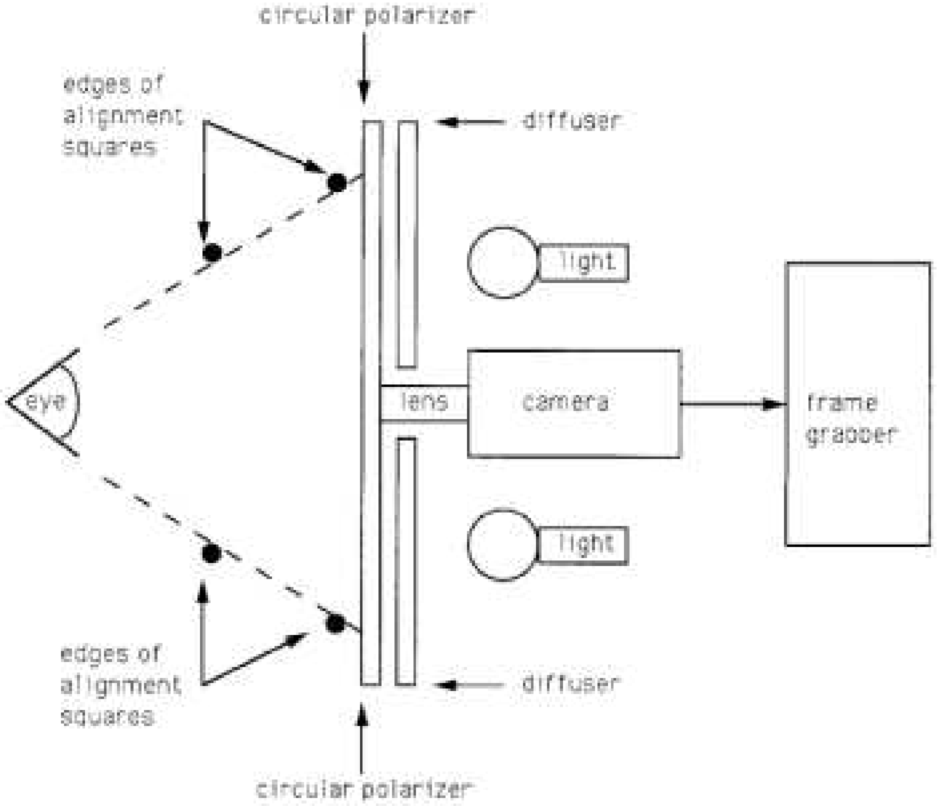

Figura 7: Diagrama esquemático do sistema de aquisição de imagem de Wildes *et al.*

4.3 A abordagem de Richard P. Wildes

4.3.1 Aquisição de imagem

A figura 7 mostra um diagrama esquemático do sistema de reconhecimento de íris desenvolvido por Wildes.

Wildes usa uma fonte de luz difusa e polarizada, em conjunto com uma câmara sensível à baixa intensidade de luz, visível a humanos. O projeto tem uma cobertura de iluminação mais complexa que o de Daugman, apresentando, porém, algumas vantagens. O uso da polarização elimina a reflexão especular da fonte de luz e, conseqüentemente, permite que mais detalhes da textura da íris sejam vistos; a combinação da luz difusa com a câmera sensível à baixa intensidade de luz não incomoda o usuário.

Wildes controla o posicionamento do usuário na frente da câmera, por meio de dois quadrados centralizados em volta da lente da câmera, em planos paralelos. Quando o usuário se posiciona no local correto, passa a ver apenas um quadrado, pois eles se sobrepõem.

4.3.2 Localização de íris na imagem

A detecção de contornos é feita em dois passos. Primeiro, as informações de intensidades da imagem são convertidas num mapa de bordas binário. Posteriormente, os pontos de borda "votam"para instanciar valores de parâmetros de contorno. O mapa de bordas é, então, recalculado com detecção de borda baseada em gradiente. Essa operação consiste em limiarizar a magnitude da intensidade do gradiente da imagem, ou seja, $\mid \nabla G(x,y) * I(x,y) \mid$, onde $\nabla \equiv (\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y})$ e

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\dfrac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}} \tag{5}$$

é uma glaussiana bidimensional com centro (x_0, y_0) e desvio padrão σ, que suavisa a imagem para selecionar a escala de bordas em questão.

O procedimento de "votação"é feito com a transformada de Hough em definições paramétricas dos limites da íris. Em particular, para as bordas circulares da pupila e do limbus, a transformada de Hough é definida:

$$H(x_c, y_c, r) = \sum_{j=1}^{n} h(x_j, y_j, x_c, y_c, r) \tag{6}$$

$$h(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = \begin{cases} 1 & \text{se } g(x_j, y_j, x_c, y_c, r) = 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

A maximização de $H(x_c, y_c, r)$ nos dá as bordas da pupila e do limbus. A figura 9 mostra os resultados da localização da íris da figura 8, usando essa abordagem.

4.3.3 A codificação do padrão da íris

Para compensar variações na escala da imagem da íris, bem como rotações, Wildes propõe uma técnica de *registro de imagem*. Essa abordagem faz um alinhamento da imagem recém-adquirida $I_a(x,y)$, com uma imagem selecionada no banco de dados $I_d(x,y)$, usando uma função de mapeamento

Figura 8: Imagem capturada pelo Sistema de Wildes *et al.*

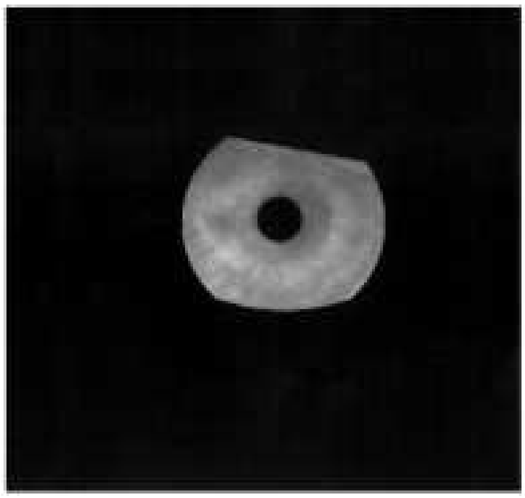

Figura 9: Resultado da localização da íris pelo sistema de Wildes *et al.*

$(u(x,y), v(x,y))$ tal que, para todos os pares (x,y), a intensidade da imagem em $(x,y) - (u(x,y), v(x,y))$ em I_a é fechada para aquela em (x,y) em I_d. A função (u,v) minimiza

$$\int_x \int_y (I_d(x,y) - I_a(x-u, y-v))^2 dxdy \tag{7}$$

enquanto captura uma transformação similar de coordenadas de imagem (x,y) para (x', y'):

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - sR(\phi) \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \tag{8}$$

onde s é o fator de escala e, $R(\phi)$, a matriz, representando a rotação por ϕ. Em suma, dado um par de imagens I_a e I_d , os parâmetros de apontamento s e ϕ são calculados, usando um procedimento de minimização interativo da integral dupla acima.

O padrão da íris é, então, codificado, usando uma decomposição isotrópica passa-faixa, derivada da aplicação do laplaciano de filtros gaussianos na imagem da íris. Esses filtros podem ser expressos assim:

$$-\frac{1}{\pi\sigma^4}(1 - \frac{\rho^2}{2\sigma^2})e^{-\rho^2/2\sigma^2} \tag{9}$$

onde σ é o desvio padrão da gaussiana e ρ a distância radial de um ponto ao centro do filtro.

A imagem filtrada ou codificada é constituída como uma pirâmide laplaciana, uma cascata de pequenos filtros do tipo gaussiano.

Essa codificação mantém mais informações da textura da íris que a usada por Daugman, mas não é tão compacta.

O tamanho da imagem codificada é derivado do tamanho da imagem original. Como retém mais informações da textura da íris, a codificação é capaz de diferenciar a íris levando em conta mais detalhes.

4.3.4 Reconhecimento da íris

Para quantificar o grau de compatibilidade da íris, Wildes baseia-se nas correlações normalizadas entre as mesmas.

A correlação normalizada pode ser definida da seguinte maneira: Sejam $p_1[i,j]$ e $p_2[i,j]$ duas cadeias de imagem de tamanho n x m. Sejam $\mu_1 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} p_1[i,j]$ e

$$\sigma_1 = \sqrt{(1/nm)\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(p_1[i,j] - \mu_1)^2} \tag{10}$$

a média e o desvio padrão dos valores de p_1 e μ_2, σ_2 similarmente definidos em relação à p_2

A correlação normalizada entre p_1 e p_2 é definida como

$$\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(p_1[i,j] - \mu_1)(p_2[i,j] - \mu_2)}{nm\sigma_1\sigma_2} \tag{11}$$

As correlações são calculadas para cada uma das quatro faixas de freqüência instanciadas na representação da pirâmide laplaciana. São, então, combinadas em um único valor, usando a média estatística.

Para decidir se duas íris são compatíveis, ou seja, pertencem à mesma pessoa, Wildes usa o discriminante linear de Fisher.

4.4 Abordagem de W. W. Boles

4.4.1 Aquisição da imagem

O sistema de Boles manipula ruídos, variações de iluminação e distância entre câmera e usuário, é invariante a tamanho e translação da imagem, tolerante a variações na iluminação e à reflexão especular. As imagens são representadas com níveis de cinza.

4.4.2 Localização da íris na imagem

O primeiro passo consiste em localizar a pupila, usando detecção de bordas convencional. O centróide dos pontos da borda da pupila torna-se um referencial para a extração das características da íris. Os níveis de cinza, nos contornos de círculos virtuais com centro no centróide da pupila, são armazenados em buffers circulares (é como se fatiássemos a pupila radialmente). A escolha do centróide como ponto de referência nos dá invariância à translação.

Os dados extraídos de uma mesma íris podem ser diferentes mesmo se os diâmetros dos círculos virtuais usados forem mantidos. Isso ocorre, devido à distância entre a câmera e o usuário, que provoca variações no tamanho da íris. Os dados extraídos de cada círculo virtual precisam ser processados.

Com a detecção de bordas, podemos estimar o tamanho da íris em qualquer imagem. Comparando t imagens, uma será considerada como uma imagem de referência. Calculamos um fator de correção do tamanho da íris para cada nova imagem adquirida e, baseados nesse fator, os círculos virtuais são criados com o mesmo diâmetro. Grosso modo, normalizamos o tamanho da íris.

A informação extraída de qualquer círculo virtual deve, também, ser normalizada para ter o mesmo número de pontos. Usamos um valor N de pontos para essa normalização, onde N é potência de 2, por causa da fase de codificação usando Wavelets pareadas. Quanto maior o N, maior o nível de detalhes da textura da íris.

4.4.3 A codificação do padrão da íris

O próximo passo é gerar uma representação do cruzamento em zero, a partir da assinatura da íris normalizada, usando a transformada de Wavelet pareada.

Uma vez que a assinatura normalizada representa um anel fechado, é periódica com período N, a representação do cruzamento em zero vai também ser periódica, desde que os coeficientes da Wavelet sejam periódicos.

A representação é independente do ponto inicial nos círculos virtuais. A transformada Wavelet pareada decompõe o sinal da íris num conjunto de sinais em diferentes níveis de resolução. Para minimizar o problema de ruídos nesses sinais, escolhemos apenas algumas das escalas mais baixas. Vale lembrar que a íris codificada usando-se esse algoritmo é uma assinatura unidimensional, ao passo que Wildes e Daugman usam assinaturas bidimensionais.

4.4.4 Reconhecimento da íris

O processo de reconhecimento consiste em duas fases: aprendizado e classificação.

Aprendizado: o sistema constrói um modelo representativo, baseado em imagens sem ruídos, da íris.

Classificação a representação de uma íris desconhecida é construída e vai checar a compatibilidade com o modelo representativo. O grau de similaridade entre as representações é calculado, usando funções de dissimilaridade.

5 Medidas contra fraudes

Apresentamos nessa seção algumas de medidas que podem ser usadas pra detectar fraudes em sistemas de reconhecimento de íris. Essas soluções foram apresentadas por Daugmann em [7, 5].

Há muitas formas de verificar se uma íris *ao vivo* está sendo filmada, e não uma fotografia, vídeo, falsa íris impressa em lente de contato, olho de vidro, ou outros artifícios.

Um método óbvio é medir a variação do tamanho da pupila, sob diferentes níveis de iluminação. A pupila dilata-se à medida que a luz ambiente enfraquece e contrai-se à medida que a luz ambiente aumenta.

Um outro fenômeno pode ser medido facilmente: o *hippus*, um movimento oscilatório dos olhos, que ocorre naturalmente numa freqüência de aproximadamente 0,5Hz.

Para descartar fotografias, podemos rastrear movimentos da pálpebra ou examinar reflexões de vários pontos de luz posicionados estrategicamente.

Outros testes envolvem o espectro da assinatura de tecidos vivos sob luz infravermelha. A hemoglobina do sangue absorve ondas infravermelhas, o que não ocorre em fotografias.

Falsas íris impressas em lentes de contato podem ser detectadas de várias formas: elas não ficam no mesmo plano da íris, flutuam sobre ele; não sofrem distorções quando a pupila muda seu tamanho. O espectro 2D de Fourier também consegue detectar as falsas íris, como podemos observar na figura 10.

6 Aplicações comerciais

Um dos maiores difusores da tecnologia de reconhecimento de íris é o *IriScan*, detendo patentes exclusivas em mais de 20 países, sobre os conceitos de reconhecimento de íris, originado por Leonard Flom e Aran Safir e usando o software de Daugmam. Atualmente, é utilizado em diversas empresas e departamentos. Ex: US House of Representatives, US Department of Treasury, Bank United (Texas), AK Bank (Turquia), British Telecommunication, Brussels Bank, KPN Telecom (Holanda), Hewlett Packard, Lake Contris Sheriff's Office, Olimpic Memorial Hospital, etc.

No intuito de embarcar sua tecnologia em sistemas maiores, o *IriScan* associou-se a outros vendedores, como *Sensar* e *LG*.

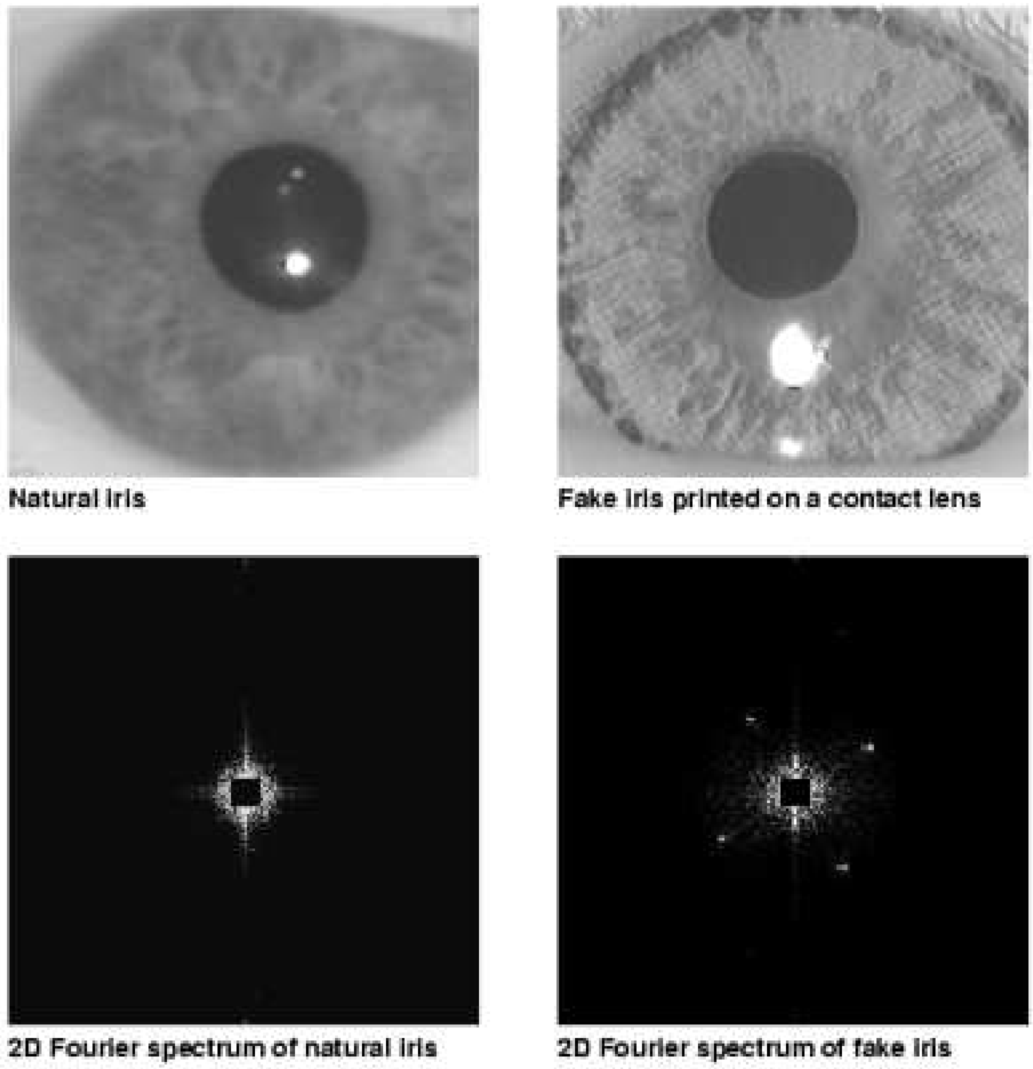

Figura 10: Ilustração de detecção de fraude: detectando uma íris impressa em lentes de contato usando o espectro de Fourier 2D

7 Conclusão

Foi feita uma análise de vários artigos sobre o reconhecimento de íris, e ficou demonstrado que as abordagens encontradas dividem o processo de reconhecimento de íris em três blocos: aquisição e pré-processamento dos dados; extração de características importantes; comparação das características para verificação de compatibilidade. Esses blocos são encontrados em todo sistema biométrico.

O sistema desenvolvido por Daugman demonstrou os melhores resultados com relação à FAR e FRR, além de serter sido o mais exaustivamente testado. Daugman vende o *IriScan*, uma solução de hasrware e software usada por muitas empresas. Foi um dos precursores na tecnologia de reconhecimento de íris e inspirou outros trabalhos na área.

A extração de características da íris, usando transformada Wavelet é a mais usada, bem como algoritmos de detecção de bordas convencionais para a separação da imagem da íris da imagem do olho. A maior diversidade de modelos foi encontrada na verificação de compatibilidade, embora todos os métodos sejam aplicações estatísticas.

O próximo passo de nossa pesquisa é o desenvolvimento de um sistema biométrico baseado em reconhecimento de íris. A presente monografia teve como objetivo dar-nos a visão geral do estado-da-arte dessa tecnologia. Uma prévia pode ser dada: Usaremos trabalhos anteriores sobre rastreamento de olhar, hardware e software, no intuito de acrescentar a essa área de pesquisa uma abordagem diferente. Inicialmente vamos nos preocupar com a aquisição da imagem da íris, e posteriormente será desenvolvida a codificação do sinal da íris bem como a verificação de compatibilidade.

Referências

[1] W. W. Boles and B. Boashash. A human identification technique using images of the iris and wavelet transform.

[2] Lionel Torres Christel-loïc Tisse, Lionel Martin and Michel Robert. Person identification technique using human iris recognition.

[3] John Daugman. Biometric decision landscapes.

[4] John Daugman. How iris recognition works.

[5] John Daugman. Wavelet demodulation codes, statistical independence, and pattern recognition.

[6] John Daugman. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence, 1993.

[7] John Daugman. Recognizing persons by their iris patterns, 1999.

[8] John Daugman and C. Downing. Epigenetic randomness, complexity, and singularity of human iris patterns, 2001.

[9] Katrin Franke Javier. Soft-biometrics: Soft-computing for biometric-applications.

[10] Miltiades Leonidou. Iris recognition: Closer than we think?

[11] Chulhan Lee Seung-In Noh, Kwanghuk Pae and Jaihie Kim. Multiresolution independent component analysis for iris identification.

[12] Okhwan Byeon Shinyong Lim, Kwanyong Lee and Taiyun Kim. Efficient iris recognition through improvement of feature vector and classifier.

[13] Richard P. Wildes. Automated iris recognition.

[14] Tieniu Tan Yong Zhu and Yunhong Wang. Biometric personal identification based on iris patterns.