

Sistema Dinâmico para Reconhecimento de Íris Utilizando Imagens de Vídeo

Jones Mendonça de Souza
Departamento de Computação - DC
Universidade Federal de São Carlos
São Carlos - Brasil
jones_souza@dc.ufscar.br

Marcio Merino Fernandes
Departamento de Computação - DC
Universidade Federal de São Carlos
São Carlos - Brasil
marcio@dc.ufscar.br

Resumo—Dynamic systems for biometric identification has been the subject of studies in the past few years, including iris recognition in non-cooperative environments. This paper proposes a pre-processing methodology to enable iris images classification taken in a non-cooperative setting, from users at a certain distance, or while moving. The methodology aims to select images from the visible band containing an acceptable level of noise, and as such being suitable to apply the classification algorithms. Experimental results have shown that images with up to 40 percent of noise can still be used, suggesting the methodology may be useful as an aid to implement iris recognition systems at distance or in motion. This possibility has been effectively demonstrated by implementing a prototype system using standard hardware and software tools, as shown in this paper. The resulting system constrasts with existing implementations of systems for dynamic iris recognition, which are mainly based on expensive and complex hardware settings.

Keywords-Biometrics; Iris recognition; Iris recognition at distance

I. INTRODUÇÃO

Em linhas gerais pode-se dizer que a *biometria* trata de métodos e técnicas para a identificação de seres humanos utilizando características intrínsecas do corpo humano. Os avanços da eletrônica e informática observados nas últimas décadas têm sido determinantes para que a *biometria* exerça um papel cada vez mais importante para a segurança da sociedade em diversas aplicações, como: controle de acesso a hospitais, aeroportos, agências bancárias, tribunais judiciários, etc. Desta forma, os benefícios trazidos pela biometria despertaram não somente o interesse da sociedade em sua aplicação, mas motivam a investigação de sistemas dinâmicos por parte dos pesquisadores da área [1].

Sistemas dinâmicos visam a investigação de métodos para aquisição e classificação de características do corpo humano, buscando analisar o comportamento dessas características em um ambiente não cooperativo simplificar o processo de identificação node cooperação por parte do usuário. Estes sistemas requer a utilização de sensores com maior qualidade, já que as características analisadas podem ser capturadas à distância e em diferentes ângulos. Sistemas dinâmicos abrem uma nova fronteira de identificação de seres humanos em ambientes *externos*, possivelmente contendo um maior fluxo

de pessoas. Na Figura 1 é exemplificado um modelo de um sistema de reconhecimento de íris dinâmico.

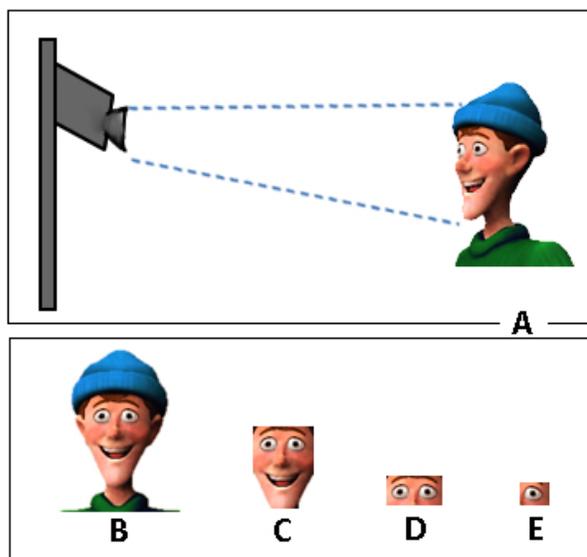


Figura 1. Modelo de um sistema de reconhecimento de íris dinâmico: (A) Captura do volume da face do usuário a uma certa distância, (B) Imagem do Rosto em 2D, (C) Localização da Face, (D) Localização dos olhos e (E) Localização da íris.

O trabalho descrito neste artigo apresenta uma nova abordagem para o reconhecimento de íris em ambiente não cooperativo baseado em imagens à distância e em movimento. Foi desenvolvido uma metodologia que realiza o pré-processamento da imagem visando o descarte de amostras com ruído ¹ acima de um limite preestabelecido. Além disso, foi desenvolvido um protótipo para aquisição de imagens na banda *visível* baseado em um dispositivo móvel, de modo a demonstrar a viabilidade de implementação de um sistema de baixo custo para o reconhecimento de íris em ambiente não cooperativo.

⁰¹ O termo *ruído* é empregado na área de reconhecimento de íris como forma de especificar as oclusões proporcionadas pelos cílios, pálpebras e reflexos dos LEDs infravermelhos, localizados na textura da íris.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

O reconhecimento de íris não cooperativo começou a ser investigado em meados de 2005. Uma abordagem inicial foi proposta por [2], em que foi desenvolvido um protótipo que realiza a aquisição das amostras a até 3 metros de distância. O protótipo é composto por um portal, contendo sensores que ativam a aquisição de uma imagem da face do usuário quando passa por ele. A partir da imagem da face é feita a localização da região de interesse (ROI), e posteriormente a extração e codificação dos padrões da íris.

Em [3] é proposto um sistema de reconhecimento de íris à distância. Diferente da proposta anterior, esta utiliza recursos reais para aquisição de amostras em ambientes *externos*. O protótipo é composto por três câmeras, que realizam funções distintas: (A) faz a captação de imagens com um campo de visão mais amplo, de forma que seja rastreado a localização do usuário; (B) focaliza o volume facial do usuário, permitindo o rastreamento da mesma; (C) a partir das coordenadas faciais da câmera (B) é focalizada uma região mais próxima da íris e coletado uma amostra. Todo esse dinamismo para rastreamento e focalização da imagem, só foi possível porque foram utilizadas câmeras do tipo PTU (*Pan-Tilt-Unit*), que permitem movimentações abruptas da câmera.

Em [4] é proposto um protótipo para aquisição de imagens de íris a uma distância de aproximadamente 3 metros, no qual são utilizadas duas câmeras: (A) realiza a localização espacial do rosto e (B) Detecção da face. Além disso, o sistema utiliza uma câmera do tipo PTZ (*Pan-Tilt-Zoom*) acrescido de uma iluminador infravermelho, na qual o ajuste de foco pode ser realizado de forma manual ou automática, dependendo da situação que for abordado.

Todos os sistemas descritos anteriormente utilizam sensores na banda infravermelha para aquisição das imagens, pois os mesmos conseguem minimizar o nível de reflexão ocular e realçar as características predominantes da íris. Entretanto, é importante ressaltar que altas iluminações da banda infravermelha podem ser desconfortáveis aos olhos do usuário, ou até mesmo induzir à sensação de que pode comprometer a sua saúde [5]. Analisando-se este cenário, alguns trabalhos propõem a utilização da banda visível para classificação dos padrões da íris, em que duas bases de dados cooperativas estão disponíveis para uso acadêmico: UPOL [6] e UBIRIS [7], e também uma versão não cooperativa UBIRIS V2 [8].

III. ALGORITMO DE DAUGMAN

O primeiro algoritmo para o reconhecimento de íris foi desenvolvido pelo cientista John Daugman em 1993 [9], sendo até hoje considerado um dos melhores algoritmos para esta finalidade. A localização e segmentação da região de interesse é realizada por um operador integro diferencial definido como

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

, onde o filtro Gaussiano $G_\sigma(r)$ faz a suavização da imagem $I(x, y)$ de forma que os ruídos intensivos sejam preliminarmente minimizados. A delimitação do contorno externo e interno da

íris (r, x_0, y_0) é obtida pela derivada na direção r , somadas pelas intensidades da imagem ao longo de um arco circular ∂s de raio r e coordenadas de centro (x_0, y_0) .

A fase de aquisição da imagem da íris é bastante sensível, uma vez que a posição do usuário e a rotatividade da face podem variar conforme cada sessão. Além disso, um fenômeno natural proporcionado pela dilatação da pupila pode alterar as condições de classificação das amostras. Por este motivo, é necessário uma metodologia que realize a compensação dessas variações. Diante deste problema, John Daugman propôs a transformação da região de interesse da imagem $I(x, y)$ representada em coordenadas cartesianas, por uma nova representação $I(r, \theta)$ em coordenadas polares, cuja origem se encontra no centro da pupila. Esta transformação geométrica é chamada de normalização, e consiste em transformar o anel correspondente à pupila num retângulo de dimensões fixas, definidas pelas Equações 1 a 3 [10].

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta) \quad (1)$$

$$x(r, \theta) = (1 - r)x_p(\theta) + rx_s(\theta) \quad (2)$$

$$y(r, \theta) = (1 - r)y_p(\theta) + ry_s(\theta) \quad (3)$$

A textura da íris é composta por diversas nuances de pigmentação, formadas pela concentração de feomelanina e eumelanina no *stroma* (fibras da íris). Entretanto, a similaridade entre duas íris é baseada na formação de sulcos, vales e fibras de colágeno, localizados em sua estrutura. Deste modo, para a extração dos atributos John Daugman propõe a demodulação e aplicação do Filtro de Gabor 2D (Equação 4), os quais serão representados pelos fasores no plano complexo.

$$H(r, \theta) = e^{-j\omega(\theta_0 - \theta)} e^{-(r_0 - r)/\alpha^2} e^{-(\theta_0 - \theta)/\beta^2} \quad (4)$$

Basicamente, é realizado a projeção do Filtro de Gabor em blocos de dimensões fixas para se obter um conjunto de filtros centralizados, na qual são utilizados como parâmetros α e β variando com o inverso da frequência ω . Após a decomposição da imagem é feito uma compactação dos dados, em que a amostra é representada por um conjunto de 2.048 bits. Desta forma, a classificação desses dados consiste unicamente na utilização dos componentes de fase, pois a informação de amplitude é insatisfatória devido aos fatores de iluminação, contraste e ganho da câmera.

Além da assinatura da íris, John Daugman propõe uma metodologia para *detecção de oclusões*, frequentemente geradas pela sobreposição parcial das pálpebras, denominada máscara de oclusões. A máscara de oclusões é utilizada na etapa de classificação dos padrões da íris, utilizado-se a Distância de Hamming para o cálculo de similaridade entre as assinaturas A e B . Desta forma, o cálculo é realizado utilizando-se operadores booleanos, na qual XOR faz a detecção de discordâncias entre os pares de bits e AND retira do teste os bits correspondentes a região de oclusões, conforme mostra a Equação 5.

$$HD = \frac{\sum[A \otimes B] \cap maskA \cap maskB}{\sum[maskA \cap maskB]} \quad (5)$$

O acesso ao sistema pelo usuário é dado pelo limiar de decisão, que é definido pela separação das distribuições intra e inter-classes. A distribuição intra-classe representa os pares casados (genuínos), e a distribuição inter-classe corresponde aos pares não casados (impostores). Dessa forma, o grau de separabilidade entre as duas classes é definida pelo critério de tolerância das taxas FAR e FRR, representadas pelo ambiente de decisão. A taxa FAR representa a probabilidade de um impostor ser aceito pelo sistema, já a taxa FRR mede a probabilidade de um usuário genuíno ser classificado com um impostor [11].

Normalmente os sistemas comerciais utilizam um limiar de decisão baseado no ZeroFAR, taxa de 0% de probabilidade de haver impostores. Outras aplicações apresentando requisitos mais flexíveis podem também utilizar o limiar baseado na TERR (taxa de erro igual).

Ao lado do modelo proposto por Daugman [9], algumas propostas foram publicadas posteriormente na literatura, como por exemplo: Richard. Wildes [12] em 1997, Wageeh Boles [13] em 1998 e Li Ma [14] em 2004. Outras propostas foram sendo publicadas, porém a maioria delas propuseram modificações nos modelos citados anteriormente. Dentre estas propostas destacam-se Sanchez-Avila e Sanchez-Reillo [15] que propuseram uma modificação no modelo de Wageeh Boles, e Christel- Loc Tisse [16] que propôs uma modificação no modelo de Daugman.

A. Avaliação do Algoritmo de Daugman para o ambiente não cooperativo

Sabe-se que o algoritmo proposto por Daugman possui um bom desempenho para classificação dos padrões da íris. Por este motivo, o algoritmo é utilizado em diversas aplicações comerciais possuindo um bom desempenho em ambiente cooperativo. Desta forma, o algoritmo foi utilizado para classificação das amostras de íris da base de dados cooperativa CASIA Iris V3 Interval [17]. A base de dados cooperativa foi desenvolvida a partir de um sensor que captura imagens na banda infravermelha. As imagens foram capturadas bem próximas ao sensor, possuindo uma resolução de 320 x 280 *pixels*. Para o processamento e reconhecimento das amostras de íris foi utilizado a linguagem de programação MATLAB versão 7.7, utilizando o algoritmo disponibilizado por [18]. Os resultados obtidos com este experimento (utilizando um subconjunto das imagens do banco de dados) confirmaram a robustez do algoritmo, na qual a precisão do sistema foi de 100%, conforme mostra a Tabela I.

Neste trabalho foi utilizado a base de dados desenvolvida pela Academia Chinesa de Ciências, CASIA *at distance*. A base de dados foi desenvolvida a partir de um sensor de alta resolução, que captura imagens à distância de 3 metros com resolução de 2352 x 1728 *pixels*, além disso as amostras foram capturadas na banda infravermelha e possuem um alto nível de ruído. Foi realizado o recorte da região de interesse

Tabela I

Resultados obtidos com o algoritmo de Daugman utilizando a base de dados CASIA Iris V3 Interval e CASIA *at distance*

	CASIA V3	CASIA <i>at distance</i>
Nº Classes:	30	30
Nº Amostras:	5	5
Intra-classe:	300	270
Inter-classes:	870	702
Erros de Segmentação:	4%	10%
Limiar de decisão:	0,41	0,35
Precisão do sistema:	100%	60,60%

através das imagens da base de dados, redimensionando-as à 320 x 280 *pixels*. Desta forma, foi aplicado o algoritmo de Daugman nas amostras de íris para avaliar o desempenho na classificação, o limiar de decisão foi escolhido baseado no ZeroFAR. Na Tabela I também estão ilustrados os resultados obtidos com este experimento. Deve ser notado que a base de dados utilizada é constituída por imagens capturadas na banda infravermelha, o que vai contra a proposta original deste trabalho. Essa decisão foi tomada para que se tivesse acesso a uma base de dados não cooperativa de grande porte, e assim guiar os primeiros passos do desenvolvimento do trabalho. De qualquer forma, a validação final da proposta foi feita utilizando-se um protótipo obtendo imagens na banda visível.

Analisando os resultados obtidos na Tabela I é possível identificar a perda de desempenho do algoritmo na classificação de amostras não cooperativas. Tal perda pode ser justificada pelo nível elevado de ruído nas amostras, pois as imagens foram capturadas em distâncias maiores. Tais experimentos sugerem que uma etapa de pré-processamento de imagens, para selecionar aquelas com nível de ruído aceitável, pode ser útil para a utilização do Algoritmo de Daugman em imagens obtidas em ambiente não-cooperativo. Esta é a motivação para o desenvolvimento da metodologia descrita na próxima seção.

IV. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

No início deste trabalho foram realizados alguns experimentos com amostras de íris capturadas por câmeras de vídeo à distância de até 1 metro. O objetivo principal destes experimentos foi investigar o ambiente não cooperativo utilizando-se câmeras convencionais de baixo custo. Resultados preliminares obtidos com as câmeras: Bosch LTC-0455, Samsung SDZ-300N e Sony HVR-1000N demonstraram baixo desempenho na classificação de amostras de íris com imagens à distância. Tais resultados podem ser justificado pela baixa qualidade das imagens, não permitindo extrair características suficientes da íris para uma boa classificação.

Embora os resultados obtidos com câmeras convencionais não tenham sido promissores para a modelagem desta proposta, foi realizado experimentos com um dispositivo que captura imagens em alta resolução na banda visível. A partir dos resultados obtidos com este dispositivo foi possível propor o desenvolvimento de um protótipo para aquisição de imagens à distância e em movimento. A seguir são descritas

as especificações deste protótipo e os resultados obtidos com a utilização dele.

A. Protótipo para aquisição da imagem

A utilização da banda visível nos sistemas de reconhecimento de íris vem sendo muito explorada nos últimos anos, uma vez que altas iluminações do infravermelho podem ser desconfortáveis ou até mesmo prejudiciais aos olhos dos usuários do sistema [5]. Partindo-se deste princípio, foi desenvolvido um protótipo para aquisição de imagens de íris à distância e em movimento. Além do protótipo realizar aquisições de imagens em alta resolução na banda visível, o mesmo se destaca pela sua portabilidade. O protótipo foi desenvolvido baseado em um dispositivo móvel do tipo *Smartphone*, e pode ser utilizado tanto em ambientes *internos* quanto *externos*. O objetivo principal do desenvolvimento desse protótipo foi verificar a viabilidade de um sistema de baixo custo em ambiente não cooperativo utilizando métodos convencionais para classificação. Os principais detalhes de especificação do protótipo podem ser vistos na Tabela II.

Tabela II
Especificações do protótipo

Fabricante:	Apple
Modelo:	Iphone 4
Megapixels:	5mp
Iluminação:	Flash LED
Resolução da câmera:	2592 x 1936 pixels
Resolução do vídeo:	1280 x 720 pixels

Para garantir maior conforto ao usuário e maior qualidade na aquisição das amostras de íris foi construído uma plataforma para fixação do dispositivo. Desta forma, os materiais utilizados para a construção do protótipo foi: A) base de vidro no formato quadrado medindo 10 x 10 cm e B) Suporte veicular com fixação em vidro para o encaixe do dispositivo, conforme ilustrado na Figura 2.

O protótipo foi desenvolvido para ser utilizado em uma superfície plana, mas nada impede de ser fixado em outra estrutura, desde que o material seja vidro. Tendo como base essa flexibilidade, o protótipo pode ser implantado como, por exemplo: em um guichê (caixa) de agências bancárias, aeroportos ou até mesmo clubes sociais. Além disso, é um dispositivo fisicamente menor em relação aos leitores de íris convencionais, podendo ser fixado em qualquer lugar sem ocupar muito espaço.

Outra vantagem deste protótipo é a questão da portabilidade, em que pode ser utilizado em ambientes variados sem a necessidade do usuário se dirigir à um local fixo. Baseado nesta analogia, este protótipo pode capturar uma amostra de íris e obter o resultado da similaridade na própria tela do dispositivo, sem a necessidade de embarcar um algoritmo para classificação dos padrões.

Para que este procedimento seja adotado é necessário que o dispositivo esteja conectado à uma rede Wi-Fi ou 3G para o envio de uma amostra da íris à um disco virtual, utilizando um serviço de compartilhamento de dados, exemplo: Dropbox.

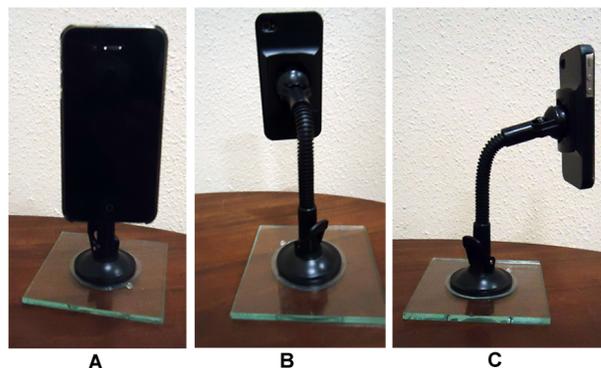


Figura 2. Ilustração do protótipo desenvolvido para aquisição de imagens não cooperativas da íris: A)Imagem frontal, B)Imagem traseira e C)Imagem lateral.

Além disso, é necessário que esteja instalado no dispositivo o aplicativo Matlab Mobile, que fará a comunicação com o software Matlab Works instalado no servidor para o processamento da amostra. Sendo assim, o servidor realiza o cálculo de similaridade e retorna o resultado da comparação na tela do dispositivo. A Figura 3 exemplifica algumas sequências de *frames* de vídeo, obtidos de imagens de 4 usuários distintos, em movimento.

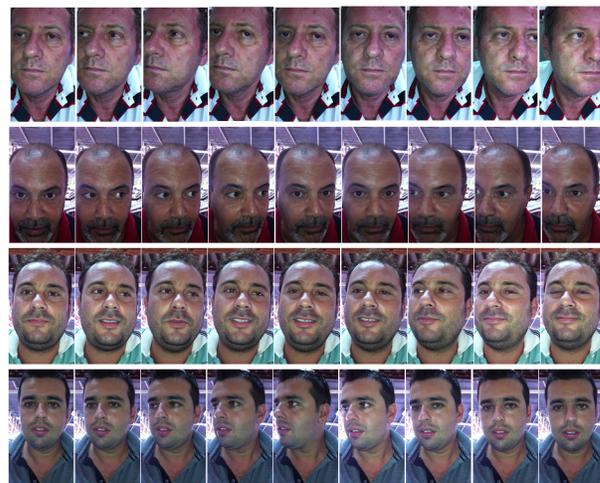


Figura 3. Exemplo de amostras capturadas pelo protótipo em movimento.

B. Método para Reconhecimento de Iris em Ambiente Não Cooperativo

Analisando-se os resultados obtidos na seção III-A com a base CASIA *at distance* foi possível notar que, grande parte das amostras pertencentes as taxas FAR e FRR possuem um grau elevado de ruído. O ruído a que é referido neste trabalho corresponde as regiões cobertas pelas pálpebras e cílios, e em alguns casos LEDs do infravermelho posicionados na textura da íris. Entretanto, é importante destacar que o algoritmo de Daugman realiza o cálculo de similaridade fazendo a discordância dos pares de bits corrompidos, que são detectados por um mapeamento de oclusões.

Tabela III

Resultados obtidos com a simulação de ruído das amostras da base de dados CASIA V3.

Ruído%	FAR%	FRR%	Precisão%
0%	0,00	0,00	100
10%	0,00	0,0266	97,33
20%	0,00	0,0266	97,33
30%	0,00	0,0233	97,66
40%	0,00	0,0333	96,66
50%	0,00	0,2900	71,00
60%	0,00	0,2600	74,00
70%	0,00	0,2833	71,66
80%	0,00	0,700	30,00

Para avaliar o quanto o ruído interfere no resultado da classificação dos padrões da íris, inicialmente foram realizados novos experimentos com a base de dados cooperativa CASIA Iris V3 Interval. Foi implementado uma rotina para adicionar diferentes níveis de ruído nas amostras de íris, *simulando* o ambiente não cooperativo. O objetivo principal deste experimento foi avaliar o comportamento do algoritmo e descobrir a percentagem máxima de ruído nas amostras para se obter uma classificação segura. Desta forma, foram realizadas as comparações intra-classe e inter-classes na escala de 0% até 80% de ruído, conforme ilustrado na Figura 4.

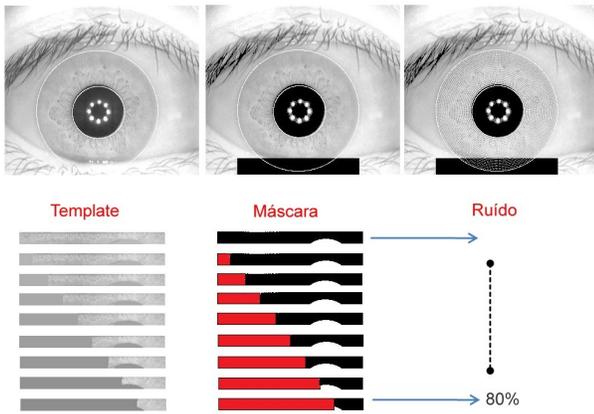


Figura 4. Simulação do ambiente não cooperativo nas amostras da base CASIA V3

Os resultados obtidos neste experimento confirmam a hipótese do ruído ser o ponto principal da perda de desempenho do algoritmo. Conforme mostra a Tabela III é possível notar que, à medida que a percentagem de ruído aumenta, a precisão do sistema é prejudicada. Além disso, nota-se que o desempenho do sistema se mantém com boa precisão com amostras contendo até 40% de ruído, caindo drasticamente a partir de 50%. Desta forma, pode-se dizer que o algoritmo possui potencial para ser aplicado em amostras não cooperativas desde que contenham um nível de ruído em até 40%. Maiores detalhes sobre estes experimentos e conclusões podem ser encontrados em [19].

Analisando-se o cenário não cooperativo, é correto afirmar que para a classificação da íris é necessário capturar diversas amostras em diferentes ângulos de posição. A aquisição pode

ser realizada por imagens ou por intermédio de uma sequência de vídeo, da qual são extraídos os *frames* e feito o processamento posteriormente. Baseado nesse cenário, foi proposto uma metodologia para classificação da íris em ambiente não cooperativo.

A proposta se baseia nos resultados obtidos com a simulação de ruído das amostras cooperativas, conforme apresentado anteriormente. Foi utilizado o mapeamento de ruído proposto por Daugman para implementação de uma rotina de cálculo das regiões ruidosas, estimando a percentagem delas. Esta estimativa pode ser realizada pela razão centesimal entre a média aritmética \bar{X} das regiões que contém ruído e a dimensão da matriz n , onde X_i corresponde o valor da intensidade naquele ponto, e podem variar entre 0 e 1 (binários). As equações 6 e 7 descrevem a quantificação do ruído para proposta do método.

$$Perc = \bar{X} * 100 \quad (6)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (7)$$

Sendo assim, a estimativa de ruído é um parâmetro inicial para a seleção de amostras de íris com perfil adequado para classificação. Através da aquisição de várias amostras de íris, é proposto um *módulo de pré-processamento* que realiza a função de descarte de amostras com ruído acima de 40%. Desta forma, amostras candidatas ao cálculo de similaridade terão que conter no mínimo 60% de características livre de ruído.

V. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para validação da proposta foi utilizada novamente a base de dados não cooperativa CASIA *at distance*, porém utilizando-se um número maior de classes para o ambiente de decisão. Primeiramente foram realizados experimentos com a base de dados sem a aplicação do método proposto, para se obter o desempenho com o modelo original do algoritmo. Os resultados obtidos nestes experimentos são desanimadores, a precisão do sistema foi de 22,52% tendo uma probabilidade de falsa rejeição de 77,48%.

Logo, foi aplicado o método proposto que realiza o descarte de amostras com ruído acima de 40%, com intuito de se obter melhores resultados. Aplicando-se esse critério, foram descartadas do ambiente de decisão 17,18% do total de amostras da base de dados. Com este conceito, a precisão do sistema subiu para 65,66% tendo uma probabilidade de falsa rejeição de 34,34%. Os resultados estão apresentados em mais detalhes na Tabela IV. Apesar dos resultados não serem comparáveis àqueles obtidos em ambiente cooperativo, o ganho de qualidade indica o potencial de se aplicar o método de pré-processamento em um sistema para uso em ambiente não cooperativo.

Tabela IV

Resultados obtidos com o algoritmo de Daugman utilizando a base de dados CASIA at distance

	Método	
	Original	Proposto
Nº Classes:	142	142
Nº Amostras:	5	5
Comparações intra-classe:	1.243	932
Comparações inter-classe:	19.881	18.340
Erros de Segmentação:	5,62%	5,62%
Límiar de decisão:	0,28	0,35
Precisão do sistema:	22,52%	65,66%

A. Protótipo: Validação do método

Foram realizados experimentos com o protótipo criando-se uma base de dados à distância e em movimento. Para a formação das bases foram utilizadas 25 classes, na qual foram coletadas 5 amostras em modo à distância e 10 amostras em movimento. Resultados experimentais apontaram uma boa precisão do sistema com imagens à distância de até 50cm em modo câmera. Em caso de uma sequência de vídeo a situação se torna completamente diferente, ficando restrito em até 20cm. Essa diferença se dá ao fato do sensor realizar a aquisição de vídeos em resoluções inferiores ao modo câmera.

A aquisição das amostras de íris foi realizada capturando-se o volume facial do usuário, a qual posteriormente foi feito o recorte manual da região de interesse. Embora possa se extrair uma gama muito grande de *frames* de uma sequência de vídeo, foram utilizados nos experimentos apenas 10 *frames*. Foram selecionados 4 *frames* com baixa amostragem de ruído, e 6 *frames* com níveis mais elevados. Desta forma, foi possível avaliar o desempenho do sistema aplicando-se ou não o método proposto de descarte de amostras ruidosas.

Durante os experimentos grande quantidade das amostras foram descartadas do ambiente de decisão, algumas por apresentarem erros de segmentação e outras pelo descarte de ruído. No total, foram descartadas 33 amostras do ambiente de decisão à distância(câmera), em que 10 apresentaram erros de segmentação e 23 amostras com ruído acima de 40%. Já em modo não cooperativo (vídeo) um caso mais complexo, 35% do total das amostras da base foram descartadas do ambiente de decisão, na qual 10% correspondem a falhas de segmentação e 25% com ruído acima de 40%.

Aplicando-se o algoritmo de Daugman nas amostra de íris à distância obteve-se uma precisão de 53,09% utilizando-se o limiar de decisão de 0,39, a qual foi obtido através do ambiente de decisão. No caso do ambiente não cooperativo os resultados foram inferiores, a qual obteve-se uma precisão de 32,06%. Com os resultados obtidos é possível confirmar-se não apenas o quanto é complexo trabalhar com imagens à distância e em movimento, mas também classificar padrões de íris utilizando-se a banda visível.

Com o objetivo de se obter melhores resultados com as bases de dados, foi aplicado a metodologia de descarte de amostras com ruído acima de 40%. Os resultados superaram as expectativas, uma vez que a exatidão praticamente dobrou

em ambas situações. A exatidão do ambiente não cooperativo que antes era 32,06% passou para 73,19%, e no ambiente à distância passou de 53,09% para 81,75%. Com estes resultados é possível afirmar que grande parte das amostras da base possuem ruído acima de 40%, o que ocasiona perda de desempenho no sistema, e confirma a validade da aplicação do método de pré-processamento proposto.

VI. CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento deste trabalho, concluiu-se que a presença de ruídos na imagem constitui-se em um fator crítico para o sistema de reconhecimento de íris em ambiente não cooperativo. Nesse contexto, o artigo propõem uma metodologia de pré-processamento baseada no descarte de amostras com ruído acima de 40%. Resultados experimentais com a base CASIA at distance, mostraram que a metodologia pode ser aplicada em amostras de íris com altos níveis de ruído, minimizando a probabilidade de erros no sistema. Foi desenvolvido um protótipo para aquisição de imagens de íris à distância e em movimento. Com os resultados obtidos é possível concluir que é possível realizar-se classificação de amostras de íris na banda visível com boa precisão, sejam elas provenientes de imagens isoladas, ou sucessivos frames de vídeo. Além disso, o dispositivo demonstrou capacidade para operar em distâncias maiores de aquisição em relação aos sistemas convencionais de reconhecimento de íris. Apesar dos resultados obtidos ainda não serem comparáveis aos de sistemas cooperativos, apresentam bom potencial para refinamentos sucessivos, e a consequente viabilização para uso em sistemas não cooperativos utilizando a banda visível ao invés de imagens no espectro infravermelho.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - pelo apoio financeiro fornecido a este projeto. Ao Instituto de Automação, Academia Chinesa de Ciências - Beijing (China) em permitir o acesso público e gratuito às imagens das bases CASIA Iris.

REFERÊNCIAS

- [1] L. R. Costa, R. R. Obelheiro, and J. S. Fraga, "Introdução à biometria," *VI Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais (SBSEG'2006)*, pp. 103–151, August 2006. [Online]. Available: <http://www.das.ufsc.br/~rro/pubs/sbseg06-biometria.pdf>
- [2] J. Matey, O. Naroditsky, K. Hanna, R. Kolczynski, D. LoIacono, S. Mangru, M. Tinker, T. Zappia, and W. Zhao, "Iris on the move: Acquisition of images for iris recognition in less constrained environments," *Proceedings of the IEEE*, vol. 94, no. 11, pp. 1936–1947, 2006.
- [3] F. Bashir, P. Casaverde, D. Usher, and M. Friedman, "Eagle-eyes: A system for iris recognition at a distance," in *Technologies for Homeland Security, 2008 IEEE Conference on*, May 2008, pp. 426–431.
- [4] W. Dong, Z. Sun, and T. Tan, "A design of iris recognition system at a distance," in *Pattern Recognition, 2009. CCPR 2009. Chinese Conference on*, Nov. 2009, pp. 1–5.
- [5] H. Proenca, "On the feasibility of the visible wavelength, at-a-distance and on-the-move iris recognition," in *Computational Intelligence in Biometrics: Theory, Algorithms, and Applications, 2009. CIB 2009. IEEE Workshop on*, Apr. 2009, pp. 9–15.
- [6] M. Dobes and L. Machala, "Iris database," 2004. [Online]. Available: <http://www.inf.upol.cz/iris/>

- [7] H. Proenca and L. Alexandre, "UBIRIS: A noisy iris image database," in *13th International Conference on Image Analysis and Processing - ICIAAP 2005*, vol. LNCS 3617, Cagliari, Italy, September 2005, pp. 970–977.
- [8] H. Proenca, S. Filipe, R. Santos, J. Oliveira, and L. Alexandre, "The UBIRIS.v2: A database of visible wavelength images captured on-the-move and at-a-distance," *IEEE Trans. PAMI*, vol. 32, no. 8, pp. 1529–1535, August 2010.
- [9] J. Daugman, "High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 15, no. 11, pp. 1148–1161, 1993.
- [10] —, "How iris recognition works," in *Image Processing. 2002. Proceedings. 2002 International Conference on*, vol. 1, 2002, pp. I–33 – I–36 vol.1.
- [11] M. B. P. Carneiro, "Reconhecimento de Íris utilizando algoritmos genéticos e amostragem não-uniforme," Master's thesis, Universidade Federal de Uberlândia, 2010.
- [12] R. Wildes, "Iris recognition: an emerging biometric technology," *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, no. 9, pp. 1348 –1363, sep 1997.
- [13] W. Boles and B. Boashash, "A human identification technique using images of the iris and wavelet transform," *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 46, no. 4, pp. 1185 –1188, apr 1998.
- [14] L. Ma, T. Tan, Y. Wang, and D. Zhang, "Efficient iris recognition by characterizing key local variations," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 13, no. 6, pp. 739 –750, june 2004.
- [15] C. Sanchez-Avila, R. Sanchez-Reillo, and D. de Martin-Roche, "Iris-based biometric recognition using dyadic wavelet transform," *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE*, vol. 17, no. 10, pp. 3 – 6, oct 2002.
- [16] C.-L. Tisse, L. Martin, L. Torres, and M. Robert, "Person identification technique using human iris recognition," in *Proc. of Vision Interface*, 2002, pp. 294–299.
- [17] Chinese Academy of Sciences, Institute of Automation, "Casia iris image database," 2012, <http://biometrics.idealtest.org>.
- [18] L. Masek and P. Kovesi, "Matlab source code for a biometric identification system based on iris patterns," The School of Computer Science and Software Engineering - The University of Western Australia, Tech. Rep., 2003.
- [19] J. M. de Souza and M. Fernandes, "Reconhecimento de íris em ambiente não cooperativo," in *WVC 2012 ()*, UFG - Goiânia - Go - Brasil, may 2012.