

# FACEID - Sistema de Reconhecimento de Faces

<sup>1</sup>R.Q. Feitosa, <sup>2</sup>C.V.Pereira,

<sup>1</sup>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Depto Eng. Elétrica

<sup>1,2</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Depto Eng. Sistemas e Computação

e-mail: [raul@ele.puc-rio.br](mailto:raul@ele.puc-rio.br) ; [carla@colortel.com.br](mailto:carla@colortel.com.br)

## Resumo

Este artigo descreve um Sistema Automático de Reconhecimento de Faces (FACEID) desenvolvido por alunos da PUC-Rio e da UERJ como uma plataforma para a pesquisa de métodos para o reconhecimento de faces. Em termos de hardware o protótipo utiliza, além de um computador pessoal, apenas uma câmera CCD convencional. O reconhecimento baseia-se no método das *autofaces*. Todos os módulos do software foram desenvolvidos especialmente para o protótipo utilizando algoritmos propostos na literatura e descritos neste artigo. Em particular, um novo método semi-automático para o problema de detecção do rosto é proposto e implementado no protótipo. Em experimentos realizados para avaliação de desempenho do protótipo na tarefa de identificação indicaram uma taxa de reconhecimento de 91,7%.

**Palavras Chave:** Biometria, Reconhecimento de Face, Autofaces, Segurança, Controle de Acesso, Visão Computacional, Automação.

## 1. Introdução

Biometria é a ciência que se ocupa em medir e comparar características físicas e comportamentais de seres humanos, que possam ser utilizadas para identificá-los. As aplicações de sistemas biométricos de identificação pessoal são inúmeras, indo desde a área criminal até o controle de acesso a redes de computadores. A expansão do comércio e do banco eletrônicos aumenta a demanda por sistemas de identificação pessoal mais seguros do que as tradicionais senhas, números ou cartões de identificação pessoal [1]. Assim sendo, nos últimos anos vem ocorrendo o aumento do número de sistemas comerciais de identificação pessoal baseados no reconhecimento da forma da mão, assinatura, impressões digitais, íris, retina, voz ou face.

Entre estes, os sistemas automáticos de reconhecimento de face (AFR – do inglês *Automatic Face Recognition*) [2] apresentam vantagens para certas aplicações: a) são rápidos e discretos, não requerendo a cooperação do indivíduo a ser identificado; b) câmeras de vídeo para a aquisição de imagens de face podem ser adquiridas a baixo custo; c) são não intrusivos, não requerendo o contato físico da pessoa a ser identificada com o sensor; d) uma face pode ser caracterizada por uma quantidade relativamente reduzida de dados (3-4 Kbytes).

O presente artigo descreve um protótipo do FACEID, um AFR construído na PUC-Rio e na UERJ, como plataforma para o desenvolvimento e teste de algoritmos voltados para o reconhecimento de face. O protótipo utiliza hardware convencional, essencialmente um computador e uma câmera CCD disponível comercialmente a preços reduzidos. Todos os programas foram desenvolvidos por alunos de graduação e pós-graduação e combinam algoritmos propostos por diferentes pesquisadores na literatura científica pertinente. O protótipo implementa em particular uma idéia nova para o problema de detecção de faces numa imagem com um fundo confuso.

A próxima seção focaliza muito mais a metodologia empregada do que a operação do protótipo. Devido às restrições de espaço alguns algoritmos são apresentados superficialmente e as referências contendo as correspondentes descrições detalhadas são indicadas.

A seção seguinte descreve os experimentos realizados para avaliar o protótipo do FACEID e discute os resultados de desempenho obtidos. O artigo termina apontando para as extensões do protótipo que estão presentemente em desenvolvimento.

## 2. Descrição do Sistema

Um sistema biométrico pode operar em dois modos principais: *identificação* ou *verificação*. Identificação corresponde à situação em que se têm os dados biométricos de uma pessoa desconhecida e deseja-se determinar a sua identidade; este modo é freqüentemente usado em criminalística, por exemplo.

Verificação, ao contrário corresponde às aplicações em que um indivíduo alega uma identidade que deve ser confirmada ou não pelo sistema. Nestes casos os dados biométricos do indivíduo são comparados com as informações relativas àquela identidade armazenadas em um cadastro do sistema. Controle de acesso a edifícios, caixas automáticos, redes de computadores são casos típicos de verificação.

O protótipo atual do FACEID opera no modo identificação. Extensões estão sendo desenvolvidas para incorporar ao sistema também o modo verificação.

Todo o protótipo foi desenvolvido utilizando MATLAB como ferramenta principal e o Access como banco de dados. Embora os tempos de processamento do protótipo estejam dentro dos limites aceitáveis para um usuário comum, versões futuras desenvolvidas em C++ deverão ter um tempo de resposta significativamente melhor.

O FACEID é composto por seis módulos mostrados na Figura 1 e descritos nas seções que se seguem.

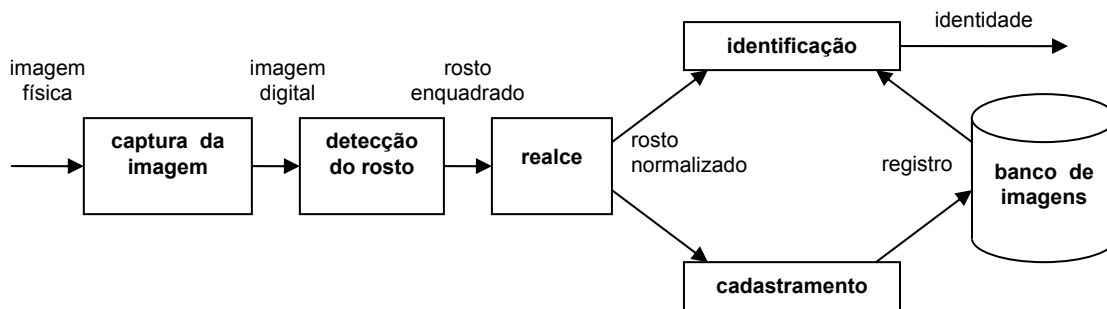


Figura 1: Módulos do SARID.

## 2.1 Captura da Imagem

Este módulo é responsável pela transformação de uma imagem física contendo a face de uma pessoa numa imagem digital. O protótipo atual utiliza uma *webcam* como a mostrada na Figura 2, embora qualquer câmera com conexão USB possa ser utilizada para este fim. Faz ainda parte deste módulo o algoritmo que transforma a imagem de entrada, normalmente em cores, para tons de cinza, que é o formato utilizado nos demais módulos do FACEID.



Figura 2: Webcam utilizada no protótipo do FACEID.

## 2.2 Detecção do Rosto

O papel deste módulo é normalizar geometricamente a imagem do rosto. Três tarefas são realizadas sequencialmente. A primeira tarefa consiste em determinar a região da imagem que contém o rosto do indivíduo. Existem inúmeros métodos para detecção automática de rostos propostos na literatura [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9]. O FACEID incorpora uma nova proposta para este problema. Trata-se de um método simples semi-automático que consiste em obter do usuário, tipicamente o indivíduo que está sendo identificado ou se cadastrando no sistema, a posição do centro dos dois olhos na imagem de entrada. O FACEID solicita através de sua interface gráfica que o usuário clique sobre os dois olhos. Com isso a posição, a dimensão e a orientação do rosto na imagem ficam completamente determinadas.

No passo seguinte o FACEID gira e redimensiona a imagem de modo que os centros dos olhos estejam alinhados na horizontal e distantes entre si de 50 pixels.



**Figura 3:** Exemplo de imagem capturada pela câmera em tons de cinza.

No terceiro e último passo recorta-se uma elipse em torno do rosto. O resultado final deste processo aplicado à imagem da Figura 3 é apresentado na Figura 4a. A saída deste módulo é uma imagem normalizada que será armazenada no cadastro de imagens do sistema ou que será submetida ao processo de verificação.



**Figura 4:** (a) Imagem após a normalização geométrica; (b) Imagem após a normalização de iluminação

### 2.3 Realce

O módulo de realce realiza a normalização da imagem do rosto quanto à iluminação. Frequentemente a iluminação que incide sobre o rosto no momento da captura da imagem não é uniforme, dependendo sobretudo da posição da fonte de luz. Um outro aspecto decorre de uma característica da maioria das *webcams* disponíveis comercialmente que é o ajuste automático de exposição. Como consequência o brilho da imagem de entrada na região do rosto vai depender do fundo. O rosto tende a ficar mais claro quando o fundo é escuro, e mais escuro quando o fundo é claro.

Para reduzir estes efeitos este módulo executa um algoritmo de realce da imagem que consiste inicialmente em estimar o padrão de iluminação, aplicando sobre a imagem de entrada ( $\mathbf{I}_{in}$ ) um filtro passa-baixa ( $F$ ). Subtrai-se em seguida da imagem de entrada uma fração do padrão de iluminação obtido, conforme a fórmula:

$$\mathbf{I}_{out} = \mathbf{I}_{in} - k F(\mathbf{I}_{in}), \quad (1)$$

onde  $k$  é um valor entre zero e um. Trata-se do algoritmo conhecido como *unsharp masking* [10].

Como último passo este módulo normaliza o contraste da imagem  $\mathbf{I}_{out}$  produzida no passo anterior, aplicando um algoritmo de equalização de histograma [10]. O resultado produzido pelo módulo de realce sobre a imagem da Figura 4a é mostrado na Figura 4b.

## 2.4 Cadastramento

Para ser identificado um indivíduo deverá ter sido cadastrado anteriormente no sistema. Além de registrar dados como o nome, número de matrícula, etc, o usuário deverá armazenar um certo número de amostras de imagens do seu rosto. Quanto maior o número de amostras por indivíduo melhor o desempenho do sistema. O procedimento de obtenção das amostras segue os mesmos passos de captura, detecção e realce descritos anteriormente. Para cada amostra o sistema apresenta na sua interface gráfica a imagem resultante e aguarda a confirmação do usuário antes de armazená-la no banco de imagens. Desta forma o usuário poderá controlar a qualidade das imagens cadastradas.

## 2.5 Verificação

O módulo de verificação realiza duas tarefas principais: a extração de atributos e a classificação. A extração de atributos consiste em representar a imagem de uma face através de um vetor cujos elementos são medidas de algumas características calculadas a partir da imagem de entrada.

O FACEID explora o conceito de *autofaces*, proposto originalmente em [11] e estendido em [12] e [13], que considera uma imagem de  $n = N \times M$  pixels como um ponto num espaço  $n$ -dimensional, chamado de espaço de imagens. Busca-se um subespaço que concentre a maior parte da variância dos dados. A técnica conhecida como Análise de Componentes Principais determina uma base ortonormal (chamada neste contexto de *autofaces*) para o subespaço procurado, segundo o seguinte procedimento.

Dada uma amostra com  $K$  imagens em tons de cinza contendo  $n = N \times M$  pixels pode-se formar um conjunto de vetores  $\{\mathbf{x}_i \mid 1 \leq i \leq K\}$  concatenando as linhas de cada imagem. A base para o subespaço procurado é dada pela solução do problema dos autovetores/autovalores:

$$\mathbf{\Lambda} = \mathbf{\Phi}^T \mathbf{\Sigma} \mathbf{\Phi}, \quad (2)$$

onde  $\mathbf{\Sigma}$  é a matriz de covariância amostral,  $\mathbf{\Phi}$  é a matriz de autovetores de  $\mathbf{\Sigma}$ , e  $\mathbf{\Lambda}$  é a correspondente matriz diagonal de autovalores. Para reduzir a dimensionalidade dos dados tomam-se apenas os autovetores associados aos  $p$  maiores autovalores. A representação  $\mathbf{y}$  neste subespaço de dimensão  $p$  de uma face  $\mathbf{x}$  é obtida por:

$$\mathbf{y} = (\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}}) \mathbf{\Phi}_M, \quad (3)$$

onde  $\mathbf{x}$  é o vetor resultante da concatenação das linhas da matriz que contém a imagem,  $\bar{\mathbf{x}}$  é a correspondente média amostral calculada a partir do conjunto de treinamento, e  $\mathbf{\Phi}_M$  é a matriz formada pelos  $p$  autovetores com maiores autovalores associados.

A segunda tarefa do módulo de verificação é a classificação. Os vetores obtidos, conforme a equação 3, são utilizados como entrada para um classificador. O FACEID, implementa 3 classificadores diferentes que podem ser selecionados através de sua interface gráfica: distância euclidiana, máxima probabilidade, e K-Vizinhos-Mais-Próximos. Uma descrição detalhada destes classificadores pode ser encontrada em [14].

## 3. Avaliação e Desempenho

Como o objetivo de estimar o desempenho do protótipo do FACEID, foi realizada uma bateria de experimentos, utilizando imagens de 10 pessoas, alunos e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Foram capturadas 6 imagens de cada usuário. Para garantir que as imagens de um mesmo indivíduo tivessem diferenças significativas, cada um foi solicitado a reproduzir em cada foto expressões faciais diferentes: neutro, alegria, raiva, surpresa, susto e nojo. Os processos de captura e normalização geométrica e quanto à iluminação foram feitos com cuidado de modo a registrar no banco de imagens apenas exemplares com bom enquadramento e boa qualidade da imagem. Todas as imagens foram obtidas nas mesmas condições de iluminação ambiente.

O classificador utilizado foi o de distância euclidiana, uma vez que, os demais classificadores implementados no protótipo teriam seu desempenho prejudicado pelo reduzido número de imagens por indivíduos disponíveis no cadastro para o treinamento.

Na primeira rodada de experimento tomaram-se as primeiras amostras de cada indivíduo para o teste, deixando no cadastro para treinamento as demais 5 imagens de cada um. Em seguida foram selecionadas as segundas amostras de cada indivíduo para teste e as demais para treinamento e assim sucessivamente. A taxa de reconhecimento foi contabilizada como a proporção das vezes em que a melhor resposta do classificador foi verdadeira. O valor médio obtido nos experimentos foi 91,7 %.

Uma análise dos eventos revelou que as classificações falsas ocorreram em parte devido a uma localização mal feita dos centros dos olhos. Outro fator que afetou o desempenho foram desvios na orientação da cabeça em profundidade.

Não se pode fazer uma comparação direta entre este valor e os valores de desempenho de sistemas similares descritos na literatura científica, uma vez que os dados utilizados e o procedimento de avaliação são distintos. Pode-se considerar, contudo, que os resultados de desempenho são compatíveis com os obtidos por sistemas que utilizam metodologia semelhante.

#### 4. Comentários Finais

Este trabalho descreveu a arquitetura do FACEID, um sistema automático para o reconhecimento de faces desenvolvido na PUC-Rio e na UERJ. O protótipo estará sendo utilizado como plataforma para testes de novas técnicas de reconhecimento de face dentro de uma pesquisa ora em andamento nestas instituições. O protótipo implementa algoritmos propostos em outros trabalhos de diversos autores e incorpora uma nova proposta semi-automática para o problema de detecção do rosto na imagem.

Uma avaliação do protótipo atual foi apresentada indicando que o sistema possui desempenho compatível com o que se tem obtido em outros sistemas de identificação de faces. Uma análise mais extensiva do desempenho do protótipo deverá ainda ser feita com o objetivo de avaliar seu comportamento diante de variações nas condições de iluminação, rotação da cabeça em profundidade, entre outros aspectos.

Apesar dos resultados terem sido encorajadores nos experimentos realizados, o método proposto para detecção do rosto torna o sistema dependente da habilidade do usuário. No prosseguimento da pesquisa métodos automáticos de detecção de rostos serão incorporados ao protótipo.

Estão sendo estudados ainda outros métodos para a etapa de verificação que utilizam atributos de versões binárias da imagem do rosto.

Embora se trate ainda de um protótipo acadêmico, os resultados obtidos constituem um promissor ponto de partida para o que poderá se tornar um produto comercial futuramente.

---

#### Referências Bibliográficas

- [1] Pankath S., Bolle R. M. e Jain A. K., "Biometrics: The Future of Identification," IEEE Computer, Fev., 2000, pág. 46-49.
- [2] Wechsler H. et. al. "Face Recognition: From Theory to Applications," Springer Verlag, Berlin, 1998.
- [3] Pentland, A., Moghaddam B. e Starner T., "View-Based and Modular Eigenspaces for Face Recognition," Computer Vision and Pattern Recognition, 1994, pág. 84-91.
- [4] Lin S.H., Kung S.Y. e Lin L.J., "Face Recognition/Detection by Probabilistic Decision-Based Neural Networks," IEEE Transactions on Neural Networks, Special Issue on Artificial Neural Networks and Patter Recognition, vol. 8, nº 1, Jan. 1997.
- [5] Osuna E., Freund R. e Girsoi F., "Training Support Vector Machines: An Application to Face Detection," Computer Vision and Pattern Recognition, 1997, pág. 130-136.
- [6] Turk, M. e Pentland, A., "Eigenfaces for Recognition", Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 3, No. 1, 1991.
- [7] H. A. Rowley, S. Baluja e T. Kanade, "Rotation Invariante Neural Network-Based Face Detection," Computer Vision and Pattern Recognition, 1998, pág. 38-44.
- [8] H. A. Rowley, S. Baluja e T. Kanade, "Neural Network-Based Face Detection," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 20, n. 1, Jan., 1998, pág. 23-38.
- [9] Mota, G.A., Feitosa, R.Q., Paciornik, S., "Detector de Faces combinando Autofaces, Rede Neural e Bootstrap," Anais do VI Simpósio Brasileiro de Redes Neurais, Vol 2 em CD-ROM.
- [10] Castelman, K.R., "Digital Image Processing," Prentice Hall, 1996.
- [11] Kirby M, e Sirovich L. "Application of the Karhunen-Loeve procedure for the characterization of human faces", IEEE Transactions on pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 12, n. 1, 1990, pág. 103-108.
- [12] Turk, M. e Pentland, A., "Eigenfaces for Recognition", Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 3, No. 1, 1991.
- [13] Moghaddam, B. e Pentland, A., "Probabilistic Visual Learning for Object Detection," Proceedings do 5º International Conference on Computer Vision, Cambridge, Mass., Junho, 1995, pag 786-793.
- [14] Duda, R.O., Hart, P.E., Stork, D.G., "Pattern Classification," Wiley-Interscience; 2ª Ed., Outubro 2000.