

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Fabíola Alvares Rodrigues de Souza Maffra**

## **Detecção de características faciais utilizando FERNS**

### **Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Marcelo Gattass

Rio de Janeiro  
Agosto de 2009



**Fabíola Alvares Rodrigues de Souza Maffra**

**Detecção de características faciais utilizando FERNS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Marcelo Gattass**

Orientador

Departamento de Informática - PUC-Rio

**Prof. Alberto Barbosa Raposo**

Departamento de Informática - PUC-Rio

**Dra. Cristina Nader Vasconcelos**

Departamento de Informática - PUC-Rio

**Prof. Raul Queiroz Feitosa**

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

**Prof. Waldemar Celes Filho**

Departamento de Informática - PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador(a) Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 20 de agosto de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

**Fabíola Alvares Rodrigues de Souza Maffra**

Graduou-se em Engenharia de Computação na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, onde deu continuidade a seus estudos no curso de mestrado do departamento de Informática.

Ficha Catalográfica

Maffra, Fabíola Alvares Rodrigues de Souza
Detecção de características faciais utilizando FERNS / Fabíola Alvares Rodrigues de Souza Maffra ; orientador: Marcelo Gattass. – 2009.
66 f.: il.; 30 cm
Dissertação (Mestrado em Informática)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
Inclui bibliografia
1. Informática – Teses. 2. Detecção de características faciais. 3. FERNS. 4. Treinamento. 5. Detecção e reconhecimento de pontos característicos. 6. Segmentação. 7. Rastreamento. 8. Clusterização. I. Gattass, Marcelo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. III. Título.

CDD: 004

Para os meus pais.

## Agradecimentos

Ao meu orientador, pelo apoio, pelos conselhos e pela confiança em mim depositada.

Ao CNPq e à PUC-Rio, pelo apoio financeiro, sem o qual este trabalho não seria possível.

Aos amigos, companheiros desde o começo da graduação. Os momentos de diversão e estudo jamais serão esquecidos.

Às amigas Fernanda Iacia, Luana Padilha e Paula Leite por estarem sempre comigo, prontas para me ouvir e ajudar.

Ao Lucas, pela compreensão, incentivo, ajuda e amor em todos os momentos.

Aos meus irmãos, Sérgio e Rebeca, por estarem sempre presentes, me ajudando em todos os momentos.

Aos meus pais, pelo carinho, amor e apoio incondicional em tudo.

## Resumo

Maffra, Fabíola Alvares Rodrigues de Souza; Gattass, Marcelo. **Deteção de características faciais utilizando FERNS**. Rio de Janeiro, 2009. 66p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nas últimas décadas, a área de detecção da face e suas características tem recebido bastante atenção da comunidade científica dada sua importância em diversas aplicações, tais como, reconhecimento de faces, interação humano-computador, reconhecimento de expressões faciais, segurança, etc. Esta dissertação propõe a utilização de um classificador baseado em FERNS no treinamento e reconhecimento de pontos característicos a fim de possibilitar a detecção das características da face. São revistas, brevemente, as principais abordagens utilizadas na detecção de características faciais e a teoria de reconhecimento de pontos característicos utilizando os FERNS. Também é apresentada uma implementação de um detector de características da face baseado nos FERNS e os resultados obtidos. O método proposto conta com uma fase de treinamento offline durante a qual diversas vistas dos pontos característicos extraídos de uma imagem de treinamento são sintetizadas e utilizadas no treinamento dos FERNS. A detecção das características da face é realizada nas imagens obtidas, em tempo real, de diversos pontos de vista e sob diferentes condições de iluminação.

## Palavras-chave

Deteção de características faciais; FERNS; treinamento; detecção e reconhecimento de pontos característicos; segmentação; rastreamento; clusterização;

## Abstract

Maffra, Fabíola Alvares Rodrigues de Souza; Gattass, Marcelo. **Facial features detection based on FERNS**. Rio de Janeiro, 2009. 66p. MSc. Dissertation - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Over the last decades, face detection and facial features detection have received a great deal of attention from the scientific community, since these tasks are essential for a number of important applications, such as face recognition, face tracking, human-computer interaction, face expression recognition, security, etc. This work proposes the use of a classifier based on FERNS to recognize interest points across images and then detect and track the facial features. We begin with a brief review of the most common approaches used in facial features detection and also the theory around the FERNS. In addition, an implementation of the facial features detection based on FERNS is present to provide results and conclusions. The method proposed here relies on an offline training phase during which multiple views of the keypoints to be matched are synthesized and used to train the FERNS. The facial features detection is performed on images acquired in real-time from many different viewpoints and under different lighting conditions.

## Keywords

Facial features detection; FERNS; training; keypoints detection and recognition; segmentation; tracking; clustering.

## Sumário

1 Introdução	13
2 Trabalhos relacionados	16
2.1. Detecção de características faciais	16
2.1.1. Método baseado na geometria das características	17
2.1.2. Métodos Baseados em Templates	18
2.1.3. Métodos baseados na segmentação por cor	19
2.1.4. Métodos baseados na aparência	19
3 FERNS	21
3.1. O problema de matching visto como um problema de classificação	22
3.2. Classificação Naïve Bayesian	23
3.3. Fase de Treinamento	25
3.4. Construindo o conjunto de vistas	26
3.5. Detecção de pontos característicos	27
3.6. Selecionando os keypoints	30
4 Método Proposto	32
4.1. Descrição geral do método	32
4.2. Fase de Treinamento	32
4.3. Segmentação da face	35
4.4. Reconhecimento de keypoints	39
4.5. Clusterização e detecção das regiões das características faciais	40
4.6. Rastreamento baseado nos clusters e reinicialização do sistema	41
4.7. Detecção das características faciais	42
4.7.1. Detecção das narinas	42
4.7.2. Detecção das pupilas	43



5 Análise Experimental	45
5.1. Base de dados para testes	45
5.2. Análise do FERNS original	46
5.2.1. Influência da textura na detecção pelo FERNS	46
5.2.2. Influência do tamanho da região de interesse na detecção pelo FERNS	49
5.2.3. Testando a planaridade para faces	52
5.3. Clusterização dos keypoints reconhecidos	54
5.4. Rastreamento	60
5.5. Testes com pessoas diferentes	62
5.6. Desempenho	65
6 Conclusão	66
7 Referências	68

## Lista de figuras

Figura 1: Matching de um objeto planar utilizando FERNS. Imagem retirada de Özuysal et al. [18].	21
Figura 2: (a) Problema de classificação de um retalho adquirido em tempo real. (b) Conjunto de possíveis aparências de uma classe.	22
Figura 3: (a) Princípio da detecção de keypoints: se $Im$ , $Im + dR$ , $Im - dR$ são semelhantes, $m$ não é um keypoint. (b) Como lidamos com imagens discretizadas, é necessário comparar os pixels opostos diametralmente e seus vizinhos para evitar respostas positivas próximas de arestas. Imagem retirada de Lepetit e Fua 2004 [16].	29
Figura 4: Linhas de cima: A imagem da esquerda corresponde a um keypoint extraído da imagem de treinamento. As próximas três imagens mostram o mesmo keypoint em diferentes vistas geradas com escalas diferentes e sob o efeito de blur. O mesmo para a linha de baixo. Imagem retirada de Lepetit e Fua [17].	31
Figura 5: Correspondência de imagens de faces usando FERNS. Apesar da não planaridade das faces, o FERNS continua apresentando bons resultados. Imagem retirada de Özuysal et al. [18].	33
Figura 6: (a) Imagem de treinamento. (b) Seleção das áreas de interesse. (c) Pontos característicos extraídos da imagem de treinamento.	35
Figura 7: (a) Imagem de treinamento. (b) imagem segmentada pela cor da pele. (c) Contornos detectados. (d) Extração do maior contorno e detecção da face.	37
Figura 8: Região do olho se une ao fundo e não pode ser detectada corretamente.	38
Figura 9: (a) Face segmentada pela cor de pele. (b) Fecho convexo da face segmentada. (c) Face segmentada usando o fecho convexo.	39
Figura 10: Processo de classificação de um keypoint.	40
Figura 11: Representação do olho mostrando que a maior quantidade de pixels por coluna passa pelo centro da pupila.	44

Figura 12: Ângulos de Tait-Bryan (Fonte: <a href="http://www.pittpatt.com">www.pittpatt.com</a> ).	46
Figura 13: (a) Imagem da face. (b) Imagem da face com adição de texturas.	47
Figura 14: Movimentos simulados nos vídeos sintéticos: (a) escala, (b) rotação em relação ao eixo longitudinal (roll), (c) rotação em relação ao eixo vertical (yaw) e (d) translação.	48
Figura 15: Imagem da face com textura sobre as características faciais.	48
Figura 16: Áreas de interesse do exemplo 1.	50
Figura 17: Áreas de interesse do exemplo 2.	51
Figura 18: Exemplo 1 - Imagem de treinamento e exemplos de quadros detectados: a primeira coluna representa os quadros detectados no vídeo da face projetada no plano e a segunda coluna representa quadros detectados no vídeo da face.	54
Figura 19: Imagem de treinamento utilizada no exemplo 2.	54
Figura 20: Imagem de treinamento dos vídeos: (a) escala, (b) translação, (c) rotação em torno do eixo vetical e (d) rotação em torno do eixo longitudinal.	55
Figura 21: Valores de erro encontrados. A imagem superior apresenta erros iguais a: ND = 1.0, ND = 2.0, OD = 4.2 e OE = 2.2. A imagem inferior apresenta erros iguais a: ND = 1.0, NE = 2.0, OD = 5.0 e OE = 5.0.	60
Figura 22: Gráfico de erro do olho direito com e sem rastreamento para o vídeo de escala.	61
Figura 23: Gráfico de erro do olho direito com e sem rastreamento para o vídeo de rotação sobre o eixo do pescoço.	62
Figura 24: Imagem de treinamento utilizada no exemplo 1.	63
Figura 25: Imagem de treinamento utilizada no exemplo 2.	64

## Lista de tabelas

Tabela 1: Taxas de detecções corretas	49
Tabela 2: Taxas de detecção obtidas para cada Roi.	50
Tabela 3: Taxas de detecção obtidas para cada ROI.	51
Tabela 4: Taxas de detecção corretas obtidas para cada vídeo, utilizando o FERNS original.	54
Tabela 5: Taxas de detecções corretas.	59
Tabela 6: Taxas de detecção com e sem rastreamento.	61
Tabela 7: Taxas de detecção com erro < 6 pixels.	63
Tabela 8: Erro médio em pixels	63
Tabela 9: Taxas de detecção com erro < 6 pixels.	64
Tabela 10: Erro médio em pixels para cada característica facial.	65
Tabela 11: Tempo médio necessário para o processamento de cada quadro.	65