

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Morphing Utilizando Representação de Imagens no Domínio da Frequência

Rogerson Reis Nazário

JUIZ DE FORA
AGOSTO, 2013

Morphing Utilizando Representação de Imagens no Domínio da Frequência

ROGERSON REIS NAZÁRIO

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Marcelo Caniato Renhe

JUIZ DE FORA
AGOSTO, 2013

MORPHING UTILIZANDO REPRESENTAÇÃO DE IMAGENS NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA

Rogerson Reis Nazário

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS
EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTE-
GRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Marcelo Caniato Renhe
M.Sc. em Engenharia de Sistemas e Computação

Marcelo Bernardes Vieira
D.Sc. em Ciência da Computação

Bernardo Martins Rocha
M.Sc. em Modelagem Computacional

JUIZ DE FORA
29 DE AGOSTO, 2013

Rogerson Reis Nazário

Morphing utilizando representação de imagens no domínio da frequência

Monografia apresentada na Universidade Federal de Juiz de Fora para a obtenção do título de bacharel em Ciência da Computação.

Agosto 2013

Resumo

O *morphing* de imagens é uma transformação que faz o mapeamento de uma imagem em outra, através de uma série de alterações nas intensidades de cor e formas. Esta transformação possui diversas aplicações em imagens médicas, mas é mais conhecida por seu papel de destaque na indústria de entretenimento e em publicidade. Neste trabalho, serão estudados e analisados alguns métodos de *morphing*, dando enfoque a uma técnica recente baseada na representação de imagens no domínio da frequência. Serão apresentadas todas as etapas do processo de transformação, verificando os diferentes tipos de algoritmos utilizados. Será discutida a implementação do referido método no domínio da frequência, que tem como fundamentos transformações clássicas da área de processamento de sinais aplicadas a imagens, como é o caso da Transformada Discreta do Cosseno (do inglês, *Discrete Cosine transform* ou DCT). Serão apresentados experimentos com diferentes tipos de imagens, fazendo apontamentos e análises relativas à eficiência e aos resultados obtidos.

Palavras-chave: imagens, metamorfose, domínio da frequência.

Abstract

Image morphing is a transformation that maps an image into another through a series of changes in the intensities of color and shapes. This transformation has several applications in medical images, but is best known for its role in the entertainment industry and advertising. This work intends to study and analyze some methods of morphing, focusing on a recent technique based on images represented in the frequency domain. All stages of the transformation process will be presented, comparing different examples of algorithms. The implementation of the frequency domain method will be discussed. This method is based on classical transformations of the signal processing area, such as the Discrete Cosine Transform (DCT). We will present some experiments with different kinds of images, discussing issues related to efficiency and quality of morphing.

keywords: images, *morphing*, frequency domain.

Sumário

Lista de Figuras	4
1 Introdução	5
1.1 Objetivos	7
1.2 Estrutura do trabalho	8
2 Fundamentação teórica	9
2.1 <i>Morphing</i>	9
2.1.1 Especificação das características	9
2.1.2 Alinhamento das imagens	11
2.1.3 Controle de transição	11
2.1.4 Métodos clássicos de <i>morphing</i>	12
2.1.5 Outras técnicas de <i>morphing</i>	14
2.2 Representação de imagens no domínio da frequência	16
2.2.1 Transformada de Fourier	16
2.2.2 Transformada do Cosseno	17
2.2.3 Filtragem	18
3 <i>Morphing</i> de imagens no domínio da frequência	21
3.1 Alinhamento das imagens	21
3.2 Controle de transição	23
3.3 Experimentos e resultados	26
4 Conclusão	32
Referências Bibliográficas	33

Lista de Figuras

2.1	Imagens originais e as respectivas malhas. Fonte: (WOLBERG, 1998) . . .	13
2.2	<i>Morphing</i> resultante da aplicação do algoritmo de <i>mesh warping</i> . Fonte: (WOLBERG, 1998)	13
2.3	Transição de imagens usando o <i>regenerative morphing</i> . Fonte: (SHECHTMAN et al, 2006)	15
2.4	Resultado da aplicação da Transformada de Fourier. A esquerda a imagem representada no domínio espacial e à direita, no domínio da frequência . .	18
2.5	Espectro resultante da aplicação da Transformada Discreta do Cosseno . .	19
2.6	Imagem original (à esquerda) e a mesma imagem após a aplicação de um filtro passa-baixa (à direita) Podemos ver a perda de nitidez da imagem, decorrente de uma suavização das bordas, que causa este efeito de borramento. Fonte:(BRITO, 2005)	20
2.7	Imagem original (à esquerda) e a mesma imagem após a aplicação de um filtro passa-alta (à direita). Podemos observar que os contornos foram realçados na imagem. Fonte:(BRITO, 2005)	20
3.1	Uma imagem após aplicação de um filtro gaussiano passa-baixa, variando a frequência de corte. Fonte (FARID;MAHMOOD, 2012)	25
3.2	Dois rostos masculinos utilizados no primeiro exemplo da aplicação do método no domínio da frequência. Fonte (FARID;MAHMOOD, 2012) . . .	27
3.3	Sequência de frames gerados para o par de imagens da Figura 3.2	27
3.4	Faces dos animais utilizados no segundo exemplo dos testes. Fonte (FARID;MAHMOOD, 2012)	28
3.5	Imagens geradas e originais (nas extremidades) para o exemplo da Figura 3.4.	28
3.6	Imagens originais, sem alinhamento. Fonte (FARID;MAHMOOD, 2012) . .	29
3.7	Frames intermediários das imagens originais mostradas na Figura 3.6. A ordem de geração é da esquerda para a direita e de cima para baixo.	29
3.8	Imagens da Figura 3.6 após o alinhamento.	29
3.9	Frames intermediários das imagens originais alinhadas, mostradas na Figura 3.8. A ordem de geração é da esquerda para a direita e de cima para baixo.	30
3.10	Exemplo envolvendo movimento: um cavaleiro em dois instantes diferentes de tempo.	31
3.11	Frames gerados pela transformação das imagens apresentadas na Figura 3.10	31

1 Introdução

A área de processamento de imagens lida com a transformação de imagens tomadas como entrada, gerando novas imagens como saída (PRATT, 2001). Dentre os diversos tópicos ligados a esta área, podemos citar o *morphing*, que é um exemplo de transformação completa, onde não apenas domínio do sinal das imagens é alterado (transformações de *warping*), mas também o contradomínio do sinal das imagem nestes pontos (SCHROEDER, 2007). A ideia é criar uma sequência de imagens intermediárias que, quando colocadas em conjunto com as imagens originais, representem a transição de uma imagem para a outra. Este processo, de maneira geral, consiste de três etapas: percepção e especificação de características correspondentes; alinhamento das imagens de origem e destino; e controle de transição.

No primeiro passo, os pontos de correspondência perceptualmente semelhantes são marcados nas imagens de origem e destino. Ambas as imagens podem ser muito diferentes. A detecção automática dos pontos, para tanto, é um processo difícil e, muitas vezes, a correspondência é feita de modo manual. Na abordagem de *morphing* de campos, conhecida como *field morphing* (KARAM et al, 2001), ao invés de correspondências por meio de pontos, temos pares de linhas definidas relativamente às imagens de origem e alvo, gerando um mapeamento pixel a pixel entre as imagens. Já no *morphing* de malhas (LEE et al, 1996), ou *mesh warping*, um outro método conhecido de *morphing*, correspondências são especificadas na forma de polígonos.

No segundo passo, um modelo de transformação geométrica é calculado usando as características correspondentes marcadas na primeira etapa. Este modelo é, então, usado para alinhar geometricamente as imagens de origem e destino a fim de minimizar efeitos indesejados. Se os objetos são significativamente diferentes em tamanho, uma sequência de modelos geométricos podem ser necessários para gerar um conjunto de quadros-alvo transformados. A informação de cada um desses quadros é adequadamente misturada com a imagem de origem para gerar uma representação intermediária.

Esta mistura de informação é controlada através de um processo conhecido como

”controle de transição”, que constitui a terceira etapa do processo descrito. Uma vez que as imagens de origem e destino estão geometricamente alinhadas, uma função de controle de transição adequada garante uma transformação visualmente suave entre as mesmas.

Técnicas de *morphing* são frequentemente utilizadas para fins educacionais ou de entretenimento e têm sido amplamente utilizadas na criação de efeitos especiais para comerciais de televisão, clipes musicais e filmes. O primeiro filme a empregar o *morphing* foi *Willow*, (WOLBERG, 1998) de 1988, que usou um software de deformação e metamorfose desenvolvido por Doug Smythe. Um outro exemplo foi o comercial da Esso produzido em 1991, no qual um carro se transformava em um tigre.

Um problema clássico é o casamento de um mosaico de fotografias. Várias técnicas têm sido propostas. Técnicas espaciais simples, como o *cross-dissolve*, que emprega transições básicas graduais entre imagens (YOUNG, 1995), sofrem com a falta de suavidade em seu processo de transformação, enquanto outras de melhor qualidade, como *mesh warping* ou *field warping*, mencionados anteriormente, têm complexidade computacional significativa.

No decorrer dos anos, uma série de técnicas foram propostas. Algumas destas técnicas serão discutidas no Capítulo 2. Mais recentemente, uma técnica de *morphing* baseada na representação no domínio da frequência das imagens de origem e destino foi proposta (FARID;MAHMOOD, 2012). Neste tipo de representação, as altas frequências capturam detalhes locais, enquanto as baixas frequências capturam a estrutura global da imagem. Para a geração de uma imagem intermediária, as imagens de origem e destino são submetidas a filtros passa-baixas e passa-altas, mesclando as imagens filtradas. Este método é significativamente mais simples que a maioria dos métodos espaciais, permitindo obter metamorfoses satisfatórias associadas a um baixo custo computacional. No Capítulo 3, trabalharemos este método em mais detalhes.

Técnicas de *morphing* são utilizadas nos mais variados campos. Sensoriamento remoto, visão computacional, entretenimento e imagens médicas são exemplos onde seu uso faz-se presente. Como citado anteriormente, um problema clássico é o casamento das imagens usadas no *morphing*. Em casos como este, uma série de rotações, translações e deformações são aplicadas às imagens a fim de que se chegue a um estado ideal de

casamento entre as mesmas. Estas deformações são conhecidas pelo nome de *warping*.

Warping é uma etapa importante de muitos métodos ligados ao *morphing* de imagens. Além disso, técnicas de *warping* encontram ampla aplicação, por exemplo, em sensoriamento remoto e imagens médicas. Imagens desalinhadas são comumente geradas em exames onde os pacientes se movimentam muito, ou, ainda, quando são feitas comparações entre exames. De maneira geral, pontos de referência conhecidos servem como indicadores para deformar a imagem de tal forma que as principais características casem aproximadamente, simplificando a interpretação dos resultados (SCHROEDER, 2007).

Atualmente, as técnicas de *morphing* são de quase totalidade implementadas no domínio espacial, o que abre espaço para abordagens como a encontrada em (FARID;MAHMOOD, 2012). FARID;MAHMOOD (2012) faz uma série de apontamentos com relação a algumas técnicas clássicas de *morphing*. A geração de imagens intermediárias no método *mesh warping* vem comumente acompanhada de um borramento em regiões de alta frequência nas imagens intermediárias. Isso se dá pelo fato de os pixels serem movidos em blocos, gerando uma visualização desagradável. Com relação ao método *field morphing*, Farid observa dois pontos importantes. Primeiramente, a transição é muito lenta, pois cada pixel em cada imagem intermediária é calculado em relação a todas as linhas que demarcam as características. Além disso, no que tange à qualidade da sequência de imagens geradas, distorções indesejadas podem surgir devido a erros de interpolação, uma vez que cada pixel é interpolado com respeito às linhas de característica.

Técnicas como a de FARID;MAHMOOD (2012) baseadas na frequência oferecem ganhos computacionais em relação às técnicas espaciais. Para transformações entre imagens que possuem determinado grau de semelhança, o método produz resultados satisfatórios em tempo real, com um tempo de processamento inferior aos métodos supracitados.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo o estudo de técnicas de *morphing* de imagens, com um foco mais específico na abordagem de representação no domínio da frequência, que constitui uma alternativa de baixo custo computacional aos métodos espaciais. De maneira

específica, este trabalho se propõe a apresentar os conceitos e fazer um levantamento dos principais métodos disponíveis na literatura ligados aos processos de *morphing* e *warping*, mostrando como estas técnicas são realizadas e suas peculiaridades. Além disso, pretende-se apresentar conceitos básicos associados à representação de imagens no domínio da frequência e implementar um algoritmo com base no método proposto por (FARID;MAHMOOD, 2012), buscando validar a sua eficácia através de uma série de experimentos, envolvendo conjuntos de imagens com diferentes características.

1.2 Estrutura do trabalho

Nos capítulos a seguir, iremos desenvolver o tema aqui apresentado. O Capítulo 2 define os conceitos de *morphing* e faz um apanhado de alguns dos principais métodos que podem ser encontrados atualmente na literatura. Esse capítulo também apresenta conceitos básicos da representação de imagens no domínio da frequência, explicando o uso de transformadas como a de Fourier e a do cosseno no âmbito de transformação de imagens. O Capítulo 3 discute o método proposto por FARID;MAHMOOD (2012) e apresenta os resultados obtidos com a implementação do método, através de uma série de experimentos realizados. O trabalho se encerra no Capítulo 4, com as devidas considerações e apontamentos finais.

2 Fundamentação teórica

2.1 *Morphing*

Morphing é uma transformação gradual entre duas imagens distintas na qual se utiliza de deformações e transformações nos traços e na tonalidade das mesmas. Em termos simples, uma imagem de origem vai gradualmente se transformando na imagem de destino (WOLBERG, 1998).

Embora um método de *morphing* possa ser tão simples quanto transformar uma imagem na outra através do controle da transparência aplicada às imagens, a maioria dos métodos segue uma sequência de três etapas. Inicialmente, temos de observar e marcar pares de pontos, linhas ou regiões de semelhança nas duas imagens. Esta etapa pode ser efetuada manualmente, onde os locais são escolhidos empiricamente ou baseados em simetrias, características e tonalidades comuns às figuras, pois define um inter-relacionamento geométrico entre as imagens, que é de grande utilidade na etapa posterior, denominada alinhamento das imagens. O terceiro passo é a geração de frames intermediários, ou ainda controle de transição, que consiste, exatamente, na geração de imagens intermediárias que mesclam características de ambas as figuras originais. A seguir, cada passo é explicado detalhadamente.

2.1.1 Especificação das características

A escolha das características e a marcação dos pontos são tarefas que podem ser cansativas. A escolha compreende em analisar as imagens e definir quais das partes comuns serão mais propícias a realizar a marcação dos pontos, deixando o alinhamento com maior precisão.

É importante que as escolhas sejam as mais adequadas possíveis para evitar problemas como o chamado efeito fantasma, em que uma das imagens iniciais (origem ou destino) se destaca durante a transição, prejudicando a suavidade do processo de transformação. Por exemplo, quando se trabalha com imagens de rostos, as regiões dos olhos,

nariz e boca são interessantes para se escolher. Feitas as escolhas das características, são realizadas as marcações. Estas podem ser interpretadas como pontos específicos nas regiões escolhidas. Os pontos marcados serão então utilizados pelos algoritmos de alinhamento, que visam reduzir efeitos indesejados, como o referido efeito-fantasma.

Há várias maneiras de se realizar a escolha das características, bem como a marcação dos pontos. A semelhança de formas, como os rostos de animais e seres humanos pode ser usada em consideração nesse processo, por exemplo. Entretanto, quando há divergências muito grandes nas imagens, a escolha das características não é uma tarefa tão trivial. Em alguns casos, as escolhas são feitas de maneira empírica ou através de algoritmos que buscam detectar similaridades entre diferentes regiões de cada imagem, na tentativa de realizar um alinhamento automático das características.

O esforço envolvido na fase de marcação das características pode ser reduzido, dependendo da forma como é implementada. Por exemplo, a marcação pelo usuário de linhas ao invés de pontos pode facilitar o trabalho em situações em que um volume muito grande de pontos precisa ser marcado. Uma outra alternativa é o uso do modelo de contorno ativo, ou *Snakes* (KASS; TERZOPOULOS, 1988). Trata-se de uma curva definida dentro do domínio de uma imagem, a qual pode mover-se sob a influência de energias internas e externas computadas a partir de dados da imagem. O objetivo é minimizar esta energia de modo que a curva se deforme e se aproxime da borda do objeto de interesse ou de outras características desejadas dentro de uma imagem. Desta forma, *snakes* podem ser usadas para obter uma aproximação do local exato de uma característica de interesse, sem muito esforço por parte do usuário.

Usar pontos para especificar as marcações é computacionalmente mais barato do que se usar outras técnicas como a mencionada acima, embora algumas limitações possam ser observadas. A qualidade do alinhamento está diretamente ligada ao número de pontos marcados. Para um resultado melhor, pode ser necessário marcar mais pontos, tornando a tarefa mais trabalhosa e propensa a erros, que podem acarretar em problemas, como o já mencionado efeito-fantasma.

2.1.2 Alinhamento das imagens

Quando duas imagens estão têm suas características comuns em um posicionamento parecido, a transição entre as imagens ocorre sem maiores problemas. Entretanto, frequentemente as imagens precisam passar por um processo de alinhamento antes de iniciar a transformação. Este alinhamento tem o propósito de reduzir os efeitos indesejados nas imagens intermediárias, através da aplicação de uma série de transformações nas imagens originais.

Uma vez marcadas as características, conforme explicado na seção anterior, pode-se computar um modelo espacial que estabelece uma relação entre as características marcadas nas imagens de origem e destino (FARID; MAHMOOD, 2012). Este modelo é então utilizado para deformar uma das imagens (origem ou destino), alinhando-a com relação à outra.

O algoritmo utilizado no alinhamento será dependente da forma de marcação utilizada na aplicação. O alinhamento por pontos, utilizado neste trabalho, será explicado em detalhes no Capítulo 3.

2.1.3 Controle de transição

Nesta etapa, um conjunto de quadros intermediários é gerado, nos quais informações de ambas as imagens estão presentes. São estes quadros que compõem, de fato, a visualização da transformação. Podemos gerar as imagens intermediárias de inúmeras maneiras. O que diferencia um método de *morphing* de outro é justamente a forma como estas imagens são geradas.

A forma mais simples de se realizar uma transformação de uma imagem em outra é através de uma técnica conhecida como dissolução cruzada (em inglês *cross-dissolve*). Esta técnica se baseia na pura e simples mistura gradativa das imagens originais. Em outras palavras, cada quadro intermediário é obtido fazendo com que a imagem de origem desapareça suavemente, enquanto a imagem de destino surge. Durante essa transição, as imagens são mescladas, exibindo características tanto da origem quanto do alvo. Pelo fato de não haver alinhamento, os resultados são bastante limitados, normalmente gerando fantasmas na animação de transição.

Mesh warping foi um algoritmo pioneiro, desenvolvido e utilizado pela indústria cinematográfica. Baseia-se em malhas sobre as imagens originais que vão se sobrepondo. Juntas, as malhas são usadas pra definir a transformação espacial que mapeia todos os pontos das imagens base. Os *frames* intermediários são gerados em quatro passos: linearização das malhas, deformação usando a malha de origem, deformação utilizando a malha de destino e a interpolação entre as imagens originais.

Outro método bastante conhecido é o *field morphing*. Este método se baseia na marcação de características por linhas. Uma desvantagem deste método é o tempo de processamento. Devido ao fato da distorção ser global, a deformação em cada pixel precisa ser calculada em relação a todos os segmentos de linha marcados na imagem. (RODRIGUES;CENTEIO;MONTEIRO, 2005)

Estes e outros métodos serão descritos em mais detalhes na seção a seguir.

2.1.4 Métodos clássicos de *morphing*

Nesta e na próxima seção, apresentaremos alguns métodos disponíveis na literatura voltados para a transformação de imagens. São várias as técnicas existentes, portanto focaremos nos dois métodos clássicos discutidos anteriormente e em alguns outros métodos mais recentes que podem ser destacados.

Mesh Warping

O primeiro método a utilizar o alinhamento entre as imagens para então fazer a transição foi o *mesh warping* (RODRIGUES;CENTEIO;MONTEIRO, 2005). Sua técnica baseia-se em um conjunto de passos, que serão descritos a seguir. As características das imagens originais são demarcadas por meio de malhas pelos usuários, representadas por polinômios de terceiro grau. Estas malhas representam as chamadas funções de mapeamento (LEE et al, 1996), que especificam quais partes de cada imagem sofrerão deformações para que o alinhamento seja alcançado e o processo de transição seja feito.

Durante a execução do algoritmo, as malhas vão se modificando de acordo com as características contempladas, ao mesmo tempo que se aplica uma transição baseada na ideia do *cross-dissolve*. A Figura 2.1 mostra as imagens de origem e destino e as

malhas definidas para cada uma destas imagens. Os frames intermediários do processo de transformação são exibidos na Figura 2.2.



Figura 2.1: Imagens originais e as respectivas malhas. Fonte: (WOLBERG, 1998)



Figura 2.2: *Morphing* resultante da aplicação do algoritmo de *mesh warping*. Fonte: (WOLBERG, 1998)

Contudo, há algumas restrições para que o método seja eficiente. Primeiramente, as dimensões das imagens têm de ser obrigatoriamente iguais. Caso esta restrição não seja atendida, o resultado não pode ser computado, devido ao alinhamento das malhas não poder ser calculado. Existem processos que rearranjam as imagens para prosseguir com o cálculo do método. Os deslocamentos dos pontos que compõem as malhas também têm de obedecer a um padrão. Se a curva sofrer somente um deslocamento na vertical, por exemplo, ela não pode em momento algum movimentar-se na horizontal. Além disso, as curvas têm de ser limitadas a fim de não se cruzarem, pois, caso contrário, o mapeamento será realizado de forma que, ao serem geradas as imagens intermediárias, uma sobreposição mal feita de características será produzida.

Field Morphing

Este método se utiliza de segmentos de reta para demarcar as características e fazer as deformações para o alinhamento, ao contrário do *mesh warping*. Com relação a este aspecto, é um método mais vantajoso, pois a definição de linhas constitui uma interface mais simples e intuitiva para o usuário. Entretanto, o método sofre de outros problemas relativos ao desempenho, como mencionado anteriormente.

De maneira geral, a deformação das imagens no *field morphing* pode ser feita de

duas formas: utilizando um mapeamento direto, em que a imagem de origem é varrida pixel a pixel, deslocando-o para o local apropriado correspondente na imagem de destino, ou através do mapeamento inverso, que utiliza a imagem de destino como base. Para que esta cópia seja feita, temos de realizar as transformações nos vetores que delimitam as características. São realizadas operações de rotação, com o propósito de atender ao novo mapeamento dos pixels. A complexidade das imagens é quem dita a quantidade de vetores usados para as características.

A maior vantagem dessa técnica é a liberdade que o usuário tem para posicionar os vetores e construir o resultado desejado até mesmo durante o processo. Como desvantagens, podemos citar problemas de performance computacional, visto que computações são necessárias para todos os pixels da imagem, que são deslocados durante o processo. Uma má escolha nos vetores de características também pode gerar imagens intermediárias com deformações ou sobreposições que não são naturais.

2.1.5 Outras técnicas de *morphing*

São muitas as técnicas de *morphing*, portanto esta seção se propõe a apresentar alguns outros trabalhos de destaque. Um método que aborda uma técnica diferente é o chamado *morphing* baseado em regiões. Segundo GONG;YANG (2001), basicamente, o método divide o trabalho do *morphing* em regiões, onde cada uma destas tem seu controle de características locais separado. Após escolhidas e bem definidas, as regiões são interpoladas de modo a serem criadas regiões intermediárias. As regiões interpoladas são então reunidas e, nos locais onde acontece interseção, um critério de prioridade é estabelecido para decidir qual região irá prevalecer no local. Após a separação das interseções, as camadas são então deformadas para que os frames intermediários sejam enfim gerados.

O método funciona bem para imagens onde o foco é o movimento, cuja ênfase não esteja em marcação de características em imagens totalmente distintas. Contudo, o momento da sobreposição de regiões muitas vezes é problemático, pois realiza ajustes na imagem de forma apenas local. Uma alternativa proposta por (GONG;YANG, 2001) é definir as regiões em camadas ao invés de definir diretamente na imagem.

Outra técnica mais recente, apresentada em (SHECHTMAN et al, 2006), cha-

mada de *regenerative morphing*, gera a sequência de imagens que compõe o *morphing* a partir de pequenos pedaços das imagens originais. Na maioria dos casos, os frames intermediários são geradas sem a necessidade de correspondências.

Este método visa obter maior eficiência em alguns pontos onde os métodos mais tradicionais costumam ter dificuldade. Um destes pontos é a preocupação com a coerência temporal no processo, que consiste justamente em evitar que uma das imagens originais obtenha maior destaque do que a outra durante a transição, o que produz o já discutido efeito-fantasma. Além disso, o método se propõe a gerar imagens intermediárias que sejam visualmente semelhantes a qualquer uma das imagens originais simultaneamente, em cada frame dentro da sequência de *morphing*. Outro ponto importante é que através deste método é possível obter transformações de qualidade entre imagens completamente diferentes.

Para atender a essas metas, o algoritmo funciona como uma montagem de uma espécie de colcha de retalhos, utilizando o conceito de similaridade local. Isto significa que cada frame intermediário tem, além de informações importantes de ambas as imagens originais, informações características de outros frames gerados anteriores a este, caso eles existam. A Figura 2.3 mostra um exemplo de transição obtida com este método.

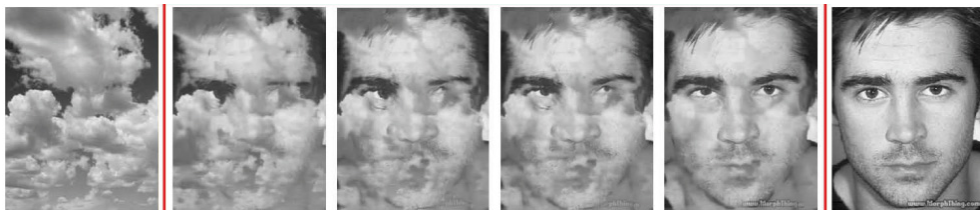


Figura 2.3: Transição de imagens usando o *regenerative morphing*. Fonte: (SHECHTMAN et al, 2006)

O método apresenta problemas com relação a imagens muito parecidas. Nestes casos, a coerência temporal deixa a desejar, ou seja, não conseguimos uma distinção nítida de características de ambas as imagens, ao passo que, imagens diferentes, embora consigam manter uma boa coerência temporal, apresentam pontos embaçados nas figuras intermediárias.

A grande maioria dos métodos existentes utiliza informações da imagem no domínio espacial. Por este motivo, FARID;MAHMOOD (2012) propõem o método descrito no

Capítulo 3 ao qual utiliza do domínio da frequência. Na seção seguinte, alguns conceitos básicos de representação de imagens no domínio da frequência serão apresentados, para que se possa compreender o método estudado.

2.2 Representação de imagens no domínio da frequência

Uma imagem pode ser vista como uma função de intensidade de luz bi-dimensional $f(x, y)$ onde x e y são coordenadas espaciais e o valor de f em um ponto qualquer (x, y) é proporcional ao brilho ou nível de cinza da imagem naquele ponto (BRITO, 2005). Entretanto, em variadas situações, pode ser útil representar uma função em um domínio diferente do espacial. No caso de imagens, comumente utilizamos o domínio da frequência. A representação de imagens no domínio da frequência é muito útil para vários problemas, como, por exemplo, nos processos de filtragem e compressão de imagens.

Algumas relações podem ser facilmente estabelecidas entre frequências e a representação espacial de imagens. Por exemplo, altas frequências estão associadas a elementos finos, detalhes e regiões de alto contraste na imagem, ao passo que baixas frequências representam regiões com pequena variação de tonalidades.

Para que possamos alternar entre uma ou outra representação quando conveniente, temos um conjunto de **transformadas** que fazem justamente a conversão das componentes espaciais de uma imagem para componentes de frequência, ou vice-versa. Existem vários tipos de transformadas, mas neste trabalho focaremos em duas em especial: a Transformada de Fourier e a Transformada do Cosseno.

2.2.1 Transformada de Fourier

A Transformada de Fourier, cujo nome remonta ao matemático francês Jean-Baptiste Joseph Fourier, expressa uma função qualquer, por mais complexa que esta seja, em termos de funções periódicas, no caso, senos e cossenos. A função é representada como a integral da soma de senos e cossenos, multiplicados por diferentes coeficientes, chamados de amplitudes (SODRE, 2003).

A fórmula da transformada é para o caso contínuo é dada por:

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-2j\pi ux} dx \quad (2.1)$$

Como a transformada está definida em um espaço contínuo, precisamos discretizá-la, para que possamos utilizar técnicas de processamento de imagens digitais. A Transformada Discreta de Fourier, também representada pela sigla em inglês DFT (*Discrete Cosine Transform*), é definida como se segue:

$$F(u) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(x)[\cos 2\pi ux/M - j \sin 2\pi ux/M] \quad (2.2)$$

para $u = 0, 1, 2, \dots, M$. Observando a fórmula resultante ??, notamos que cada termo $F(u)$ da transformada é composto pelo somatório de todos os valores da função $f(x)$.

Como uma imagem é uma função em duas variáveis $f(x, y)$, temos de definir a transformada discreta de Fourier em duas dimensões. A fórmula segue abaixo, para uma imagem $f(x, y)$ com tamanho $M \times N$:

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y)e^{-2j\pi u(x/M + vy/N)} \quad (2.3)$$

onde u e v são denominadas variáveis de frequência e x e y são as variáveis espaciais. Assim como no caso da versão unidimensional, cada termo de $F(u, v)$ contém todos os valores de $f(x, y)$ modificado pelos valores dos termos exponenciais. A Figura 2.4 ilustra uma imagem com o espectro resultante da aplicação da transformada de Fourier, após a aplicação de uma transformação logarítmica.

2.2.2 Transformada do Cosseno

Outra transformada bastante utilizada é a transformada do cosseno, que tem grande aplicação na área de compressão de dados, por exemplo, sendo usada no padrão de imagens JPEG. Trata-se de uma função linear e inversível, que expressa sinais como uma soma de funções cosseno. Diferentemente da Transformada de Fourier, que opera com valores

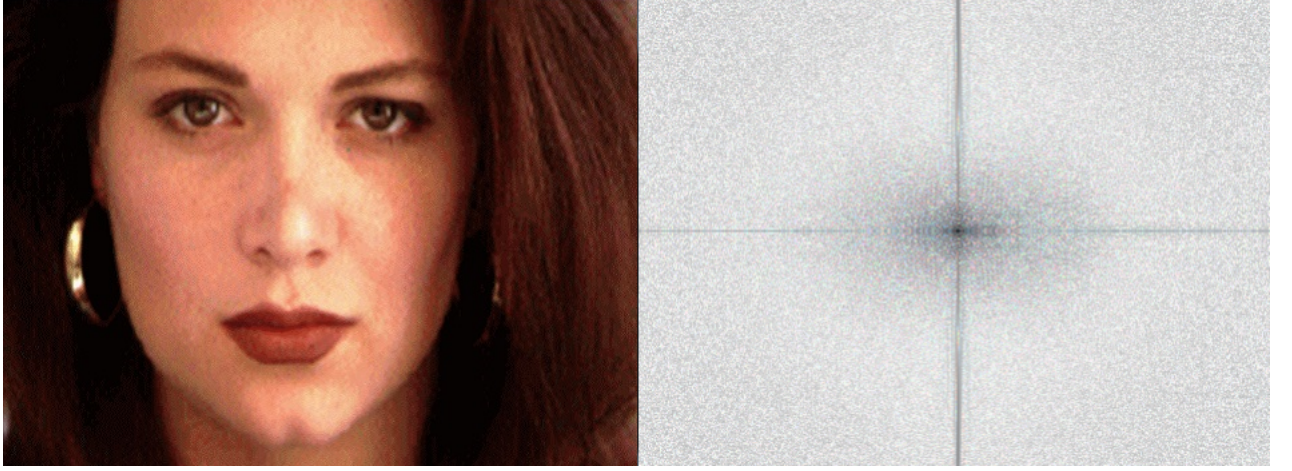


Figura 2.4: Resultado da aplicação da Transformada de Fourier. A esquerda a imagem representada no domínio espacial e à direita, no domínio da frequência

complexos, a transformada do cosseno trabalha apenas com valores reais.

Neste caso, também precisamos de uma versão discreta para a transformada, que é conhecida pela sigla DCT. Há diversas variações da transformada discreta do cosseno (RAO, 1990). A mais utilizada é a DCT-II, cuja definição é apresentada abaixo, para uma imagem $M \times N$:

$$F(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{M} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{N} \quad (2.4)$$

$$\alpha(u), \alpha(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} & u, v = 1 \\ \frac{2}{\sqrt{N}} & \text{demais casos} \end{cases} \quad (2.5)$$

A Figura 2.5 mostra a mesma imagem da Figura 2.4, acompanhada de sua representação no domínio da frequência obtida pela aplicação da DCT. Novamente, o espectro exibido foi obtido após a aplicação de uma transformação logarítmica.

2.2.3 Filtragem

A filtragem de imagens, seja ela no domínio espacial ou da frequência, consiste na aplicação de operadores ou máscaras que têm por objetivo corrigir, salientar ou omitir determinadas características das imagens (BRITO, 2005). Na filtragem espacial, por exemplo, a



Figura 2.5: Espectro resultante da aplicação da Transformada Discreta do Cosseno

imagem é tratada pixel a pixel utilizando uma máscara que delimita a vizinhança de um determinado pixel, que irá influenciar no novo valor computado para este pixel.

Um conceito muito importante para a aplicação de filtros é a convolução. A convolução é uma forma de combinar duas funções para formar uma terceira. Quando aplicamos um filtro a uma imagem, estamos fazendo a convolução da função que define o filtro com a função-imagem. O resultado é uma imagem alterada de acordo com a característica do filtro. Um filtro de suavização, por exemplo, irá produzir alterações nas bordas dos objetos representados nas imagens.

Outro ponto importante relacionado à filtragem é o teorema da convolução. Este teorema estabelece uma relação direta entre o domínio espacial e o domínio da frequência. O teorema diz que a convolução de duas funções no domínio espacial é equivalente à multiplicação das respectivas representações destas funções no domínio da frequência (GONZÁLEZ, 2008). O inverso também é verdadeiro, ou seja, uma convolução de duas funções no domínio da frequência corresponde a uma multiplicação destas mesmas funções no domínio espacial. Isto significa dizer que precisamos apenas multiplicar a função do filtro pela representação de uma imagem no domínio da frequência para obtermos essa mesma imagem modificada. Após a filtragem, basta aplicar a transformada inversa para reobtermos a imagem no domínio espacial. Isto é parte do que é feito no método apresentado por (FARID;MAHMOOD, 2012), que será discutido no próximo capítulo.

Dentre os diversos filtros que se tem conhecimento, os filtros chamados de passa-baixa e passa-alta são de particular importância para este trabalho. Filtros passa-baixa são aqueles que eliminam as componentes de alta frequência, deixando apenas as de baixa frequência. Por outro lado, os filtros passa-alta, como o nome já sugere, barram a passagem das componentes de baixa frequência. Em uma imagem, detalhes finos como, por

exemplo, bordas de objetos e transições bruscas de tonalidades correspondem a altas frequências. A utilização de um filtro passa-baixa, por exemplo, pode atenuar o contraste nestas regiões da imagem. O limiar utilizado pelo filtro para determinar se uma determinada componente de frequência deve ou não ser admitida é chamado de **frequência de corte**.

Encerramos esta seção com duas figuras ilustrativas da aplicação de filtros passa-baixa e passa-alta. No próximo capítulo, descreveremos o método de *morphing* de imagens no domínio da frequência, que utilizará os conceitos apresentados nesta seção.



Figura 2.6: Imagem original (à esquerda) e a mesma imagem após a aplicação de um filtro passa-baixa (à direita). Podemos ver a perda de nitidez da imagem, decorrente de uma suavização das bordas, que causa este efeito de borramento. Fonte:(BRITO, 2005)



Figura 2.7: Imagem original (à esquerda) e a mesma imagem após a aplicação de um filtro passa-alta (à direita). Podemos observar que os contornos foram realçados na imagem. Fonte:(BRITO, 2005)

3 *Morphing* de imagens no domínio da frequência

No capítulo anterior, foram apresentados diversos métodos associados ao *morphing* de imagens. Neste capítulo, iremos detalhar o método apresentado em (FARID;MAHMOOD, 2012), que utiliza as representações das imagens de origem e destino no domínio da frequência para obter a transformação desejada. Nas seções a seguir, discutiremos as duas etapas principais do algoritmo: o alinhamento das imagens, que deriva de outros métodos de *morphing*, e o controle de transição, que se utiliza dos conceitos de filtragem apresentados na Seção 2.2.3.

3.1 Alinhamento das imagens

O alinhamento das imagens, como visto anteriormente, visa minimizar efeitos de sobreposição indesejada das imagens originais, durante a transição entre elas. Para que seja atendido esse propósito, FARID;MAHMOOD (2012) apresenta duas opções de alinhamento entre as figuras: alinhamento de características por pontos e alinhamento por segmentos de reta. Neste trabalho, usamos o alinhamento por pontos. Neste tipo de alinhamento, o animador escolhe pontos associados com características presentes tanto na imagem de origem quanto de destino. Por exemplo, em imagens de faces humanas, um ponto marcado no canto esquerdo da boca da imagem de origem tem de ter um correspondente no mesmo local da imagem de destino.

O número mínimo de marcações varia em função do número de características que o usuário deseja marcar, mas o modelo geométrico adotado impõe restrições no número mínimo de marcações. Um modelo de transformação projetiva, como o adotado por (FARID;MAHMOOD, 2012), exige um mínimo de quatro correspondências. A partir da marcação dos pontos, a transformação pode ser computada.

Denotaremos a correspondência de características com um par de pontos $\{(x, y), (x', y')\}$

onde (x, y) é a marcação na imagem de origem e (x', y') na imagem de destino. Para uma correspondência, a transformação projetiva é dada pelo seguinte par de equações:

$$x' = \frac{a_1x + a_2y + b_1}{c_1x + c_2y + 1} \quad (3.1)$$

$$y' = \frac{a_3x + a_4y + b_2}{c_1x + c_2y + 1} \quad (3.2)$$

onde $a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, c_1$ e c_2 são parâmetros projetivos. Tais equações podem ser representadas na forma matricial, como segue abaixo:

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 & 0 & 0 & 0 & -xx' & -yx' \\ 0 & 0 & 0 & x & y & 1 & -xy' & -yy' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_1 \\ a_3 \\ a_4 \\ b_2 \\ c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Para que possamos resolver a equação e obter os coeficientes da transformação, precisamos de no mínimo 8 equações, motivo pelo qual são exigidas 4 correspondências para a transformação projetiva. A equação completa, envolvendo quatro correspondências, fica então da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1x'_1 & -y_1x'_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1y'_1 & -y_1y'_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2x'_2 & -y_2x'_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -x_2y'_2 & -y_2y'_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3x'_3 & -y_3x'_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -x_3y'_3 & -y_3y'_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4x'_4 & -y_4x'_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4y'_4 & -y_4y'_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_1 \\ a_3 \\ a_4 \\ b_2 \\ c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ x'_2 \\ y'_2 \\ x'_3 \\ y'_3 \\ x'_4 \\ y'_4 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Podemos reescrever a equação como a seguir, simplificando a notação:

$$XP = Y \quad (3.5)$$

tal que X é uma matriz 8×8 , P e Y são 8×1 . A matriz P é o modelo geométrico que define o relacionamento espacial entre as imagens iniciais. Podemos obter P facilmente, rearranjando a equação como $P = X^{-1}Y$, desde que os quatro pontos não sejam colineares.

Caso o número K de pontos marcados nas características seja maior que 4, X se torna uma matriz $2K \times 8$ e Y uma matriz $(2K \times 1)$. Como (X^{-1}) só existe para matrizes quadradas, o sistema pode ser resolvido usando um esquema de matriz pseudo-inversa:

$$P = (X^t X)^{-1} (X^t Y), \quad (3.6)$$

Após o cálculo da transformação P , esta é aplicada na imagem de origem de modo a alinhá-la com a imagem de destino. Os pixels da imagem original são transformados, respeitando o posicionamento das características marcadas. Ao se utilizar a técnica de marcação de pontos, temos um ganho em processamento que outras técnicas não apresentam. Porém, questões como precisão das marcações e tempo consumido pelo usuário são alguns pontos negativos deste tipo de alinhamento. Mesmo pequenas imprecisões no momento da marcação podem causar distorções indesejadas na imagem.

3.2 Controle de transição

Nesta etapa, o textitmorphing entre as imagens originais se dá através da geração de um conjunto de figuras intermediárias. Tal conjunto, quando visto sequencialmente, constitui uma animação de transformação de uma imagem na outra. Vamos considerando s e t como sendo as imagens de origem e destino, respectivamente, já alinhadas, ambas com dimensões $m \times n$. Para cada uma das imagens, iremos obter a sua representação no domínio da frequência, através da aplicação de uma das transformadas especificadas no capítulo anterior. Tanto a DFT quanto a DCT podem ser utilizadas neste caso. Neste trabalho, optamos pela utilização da DCT, por dois motivos que são apresentados em

(FARID;MAHMOOD, 2012): uma menor complexidade espacial da DCT e a possibilidade que a DCT nos dá de usar passos uniformes para a frequência de corte nas operações de filtragem que serão descritas nesta seção.

Vamos definir S e T como sendo as representações no domínio da frequência das imagens originais, decorrentes da aplicação da transformada do cosseno. Definiremos também (u, v) como sendo os índices do array que contém os elementos de frequência das duas imagens.

Como visto na Seção 2.2.3, podemos usar filtros passa-baixa ou passa-alta para extrair uma faixa particular de frequências. Quando queremos preservar as altas frequências de uma imagem, utilizamos filtros passa-alta. Ao contrário, quando o que queremos são as baixas frequências, recorremos aos filtros passa-baixa. Existem vários filtros que atendem a este propósito, podendo ser utilizados no método em questão. FARID;MAHMOOD (2012) recomenda, entretanto, o uso de filtros gaussianos, pois não produzem efeitos de *ringing*, que são oscilações que causam a aparição de artefatos nas regiões de bordas na imagem.

O filtro gaussiano é muito utilizado em processamento de imagens como filtro de suavização, porém pode ser usado tanto como um filtro passa-baixa ou um passa-alta, dependendo da forma como é definido (FARID;MAHMOOD, 2012).

Um filtro gaussiano passa-baixa pode ser definido como:

$$H_{lp}(u, v) = e^{-(D^2(u,v))/(2D_0^2)} \quad (3.7)$$

onde $D(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2}$ e D_0 é a frequência de corte. Para uma imagem de $m \times n$ pixels, o valor da frequência de corte D_0 pode ir de $D(0, 0)$ até $D(m - 1, n - 1)$. O número de frequências de corte que serão utilizadas vai depender do número de frames desejado para a transformação.

A Figura 3.1 exibe oito imagens geradas após a aplicação do filtro passa-baixa gaussiano com diferentes frequências de corte.

Um *frame* intermediário é gerado pela mistura de baixas frequências em S e altas frequências aplicadas em T . Com a aplicação do filtro gaussiano alterando aos poucos a frequência de corte, geramos a cada passagem, duas novas imagens, uma a partir de



Figura 3.1: Uma imagem após aplicação de um filtro gaussiano passa-baixa, variando a frequência de corte. Fonte (FARID;MAHMOOD, 2012)

S e outra partir de T . As frequências obtidas são mescladas para formar a imagem intermediária resultante.

Na função de controle de transição, D_0 varia uniformemente do valor máximo ao valor mínimo. Para um processo de transformação contendo N frames intermediários, os valores de D_0 são calculados de acordo com a equação a seguir, onde i representa o i -ésimo frame da transição:

$$D_0^i = \frac{i}{N} \sqrt{(m-1)^2 + (n-1)^2} \quad (3.8)$$

Para cada quadro, precisamos aplicar em S o filtro passa-baixa H_{lp}^i e em T o filtro passa-alta H_{hp}^i . O filtro passa-baixa pode ser definido como:

$$H_{lp}^i(u, v) = e^{-(D^2(u, v))/(2D_0^i)^2} \quad (3.9)$$

A representação no domínio da frequência do i -ésimo frame é então obtida por:

$$F_i(u, v) = S(u, v)H_{lp}^i(u, v) + T(u, v)H_{hp}^i \quad (3.10)$$

onde $H_{hp}^i = 1 - H_{lp}^i(u, v)$. Entretanto, levando esta relação na equação (??), obtemos uma versão da equação mais simples, onde temos apenas o fator H_{hp}^i . Isto nos proporciona um ganho computacional, visto que o termo $(S(u, v) - T(u, v))$ agora se mantém constante durante todo o processo. A equação fica então da seguinte forma:

$$F_i(u, v) = (S(u, v) - T(u, v))H_{lp}^i(u, v) + T(u, v) \quad (3.11)$$

Para finalizar, obtemos a representação espacial da imagem intermediária aplicando a transformada inversa, que converte a representação no domínio da frequência obtida acima de volta ao domínio espacial:

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u) \alpha(v) F(u, v) \cos\left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N}\right] \cos\left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N}\right] \quad (3.12)$$

Todo o processo de *morphing* no domínio da frequência está compreendido nestes passos, que estão delineados no trecho de código abaixo.

```

1 void morph(int nFrames)
2 {
3     sourceDCT->setImage(source);
4     sourceDCT->ForwardDCT();
5     targetDCT->setImage(target);
6     targetDCT->ForwardDCT();
7
8     double raiz = sqrt(D2(width - 1, height - 1));
9
10    for(int i = 1; i <= nFrames; i++)
11    {
12        double D0 = ((double)i/nFrames) raiz;
13
14        GaussianFilter(IframeDCT, sourceDCT, targetDCT, D0);
15        IframeDCT->InverseDCT();
16        IframeDCT->getImage(restored);
17
18        SaveFrame(restored);
19    }
20 }
```

3.3 Experimentos e resultados

Nesta seção, apresentaremos alguns dos experimentos realizados com o método descrito na seção anterior. O algoritmo foi implementado em C++ e testado em uma máquina configurada com um processador Celeron 1.5GHz e 2GB de RAM. Para observar o comportamento e medir a eficácia do algoritmo implementado, tomamos alguns pares de imagem já utilizados em outros trabalhos de *morphing* e algumas imagens originais.

O primeiro par é composto por dois rostos de homens com traços, cabelos e formato da face parecidos. As imagens têm dimensões de 109×115 pixels cada. A Figura 3.2 mostra as imagens iniciais.

Para este exemplo, geramos 8 imagens intermediárias. A Figura 3.3 mostra os frames gerados, juntamente com as imagens de origem, uma em cada extremidade:

É importante notar que na terceira imagem da sequência, há o ápice da mistura das características das imagens originais, fato que demonstra uma sobreposição confusa, na qual se enxerga a imagem de origem levemente borrada, ao passo que ainda não se



Figura 3.2: Dois rostos masculinos utilizados no primeiro exemplo da aplicação do método no domínio da frequência. Fonte (FARID;MAHMOOD, 2012)



Figura 3.3: Sequência de frames gerados para o par de imagens da Figura 3.2

identifica muito bem os traços da imagem de destino original. Na quarta imagem da sequência, já se percebe a imagem de destino com maior definição, porém com uma suavização, provocada ainda pela presença de características remanescentes da imagem de origem. Nos demais quadros já nota-se uma predominância da imagem de destino, com pouca interferência das características da de origem.

O tempo médio de geração para cada frame foi de 0,2 segundos. Como as imagens já apresentavam um alinhamento, não foi levado em conta o tempo e o processamento para este passo em nosso algoritmo. Mesmo nos casos em que o alinhamento se faz necessário, ele é aplicado em uma etapa de pré-processamento, afetando somente a geração do primeiro frame.

O segundo par de imagens testadas foi o correspondente à Figura 3.4, que contém as faces de um cachorro e de um gato. As imagens tem coloração semelhante e os animais

apresentam a mesma expressão facial. Para este exemplo, também utilizamos 8 frames intermediários. A Figura 3.5 demonstra a aplicação do algoritmo neste par de imagens.

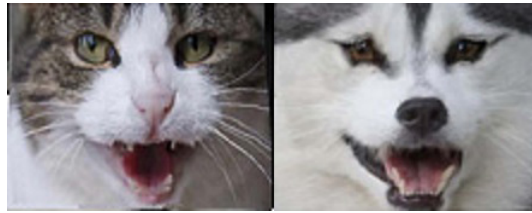


Figura 3.4: Faces dos animais utilizados no segundo exemplo dos testes. Fonte (FARID;MAHMOOD, 2012)



Figura 3.5: Imagens geradas e originais (nas extremidades) para o exemplo da Figura 3.4.

Nestas imagens, obtemos um melhor resultado. O efeito-fantasma só se mostra visível na região do focinho dos animais, onde há um pequeno desencontro das características. Na região dos olhos dos animais também é possível notar, porém de maneira mais discreta, uma sobreposição indesejada. Novamente, com um alinhamento bem definido, o tempo de geração dos frames, visto que as imagens tem dimensões similares às do exemplo anterior, se manteve em torno de 0,2 segundos.

No exemplo a seguir, vemos a necessidade do uso do alinhamento entre as imagens. A Figura 3.6 mostra um par de imagens origem-destino, cuja transformação desalinhada é apresentada na Figura 3.7.

Nota-se que, logo a partir do segundo frame, as imagens já se sobrepõem visivelmente, sem identificação de características, o que vai se intensificando à medida que o processo de transformação avança. Como já discutido, o ideal é que os frames intermediários apresentem características da origem e do destino, sem que as imagens originais sejam inteiramente percebidas durante a transição. As características devem estar visíveis, e não as imagens em si.

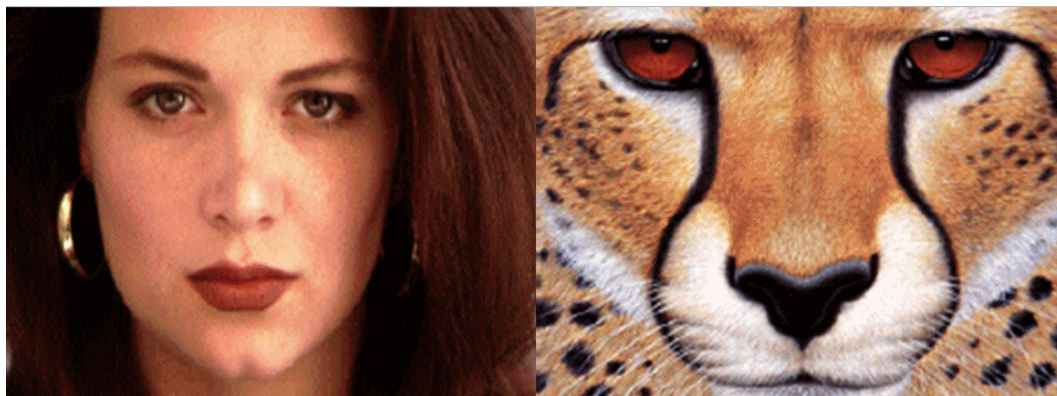


Figura 3.6: Imagens originais, sem alinhamento. Fonte (FARID;MAHMOOD, 2012)

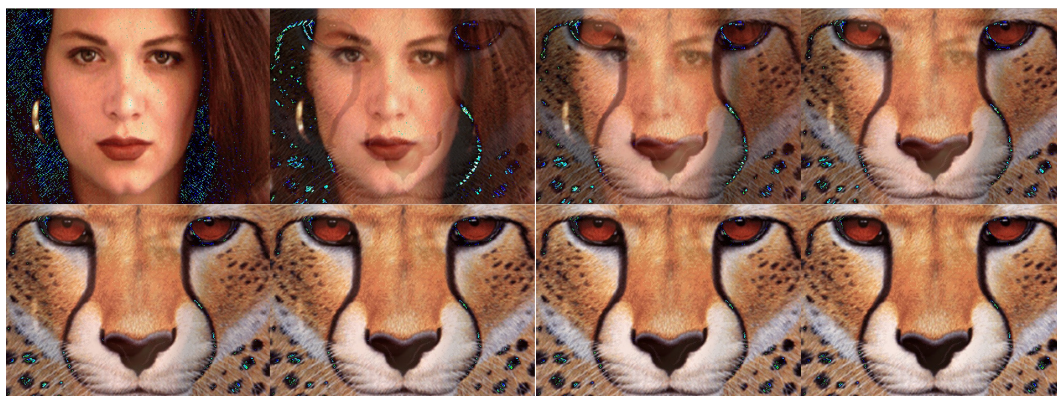


Figura 3.7: Frames intermediários das imagens originais mostradas na Figura 3.6. A ordem de geração é da esquerda para a direita e de cima para baixo.

Desta forma, recorreremos ao alinhamento, para estabelecer correspondências entre as duas imagens. A Figura 3.8 mostra agora o mesmo par de imagens, porém neste caso a imagem de origem está alinhada à de destino. Neste caso, foram marcados pontos sobre 6 características nas imagens para o alinhamento: um sobre cada olho, um em cada lateral do nariz e um em cada canto da boca. A Figura 3.9 mostra 16 frames da transformação com a imagem alinhada.

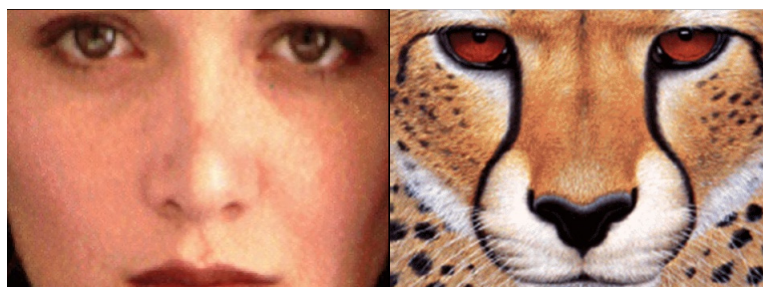


Figura 3.8: Imagens da Figura 3.6 após o alinhamento.

Pode-se perceber que, a partir do terceiro frame da Figura 3.9, a imagem do tigre

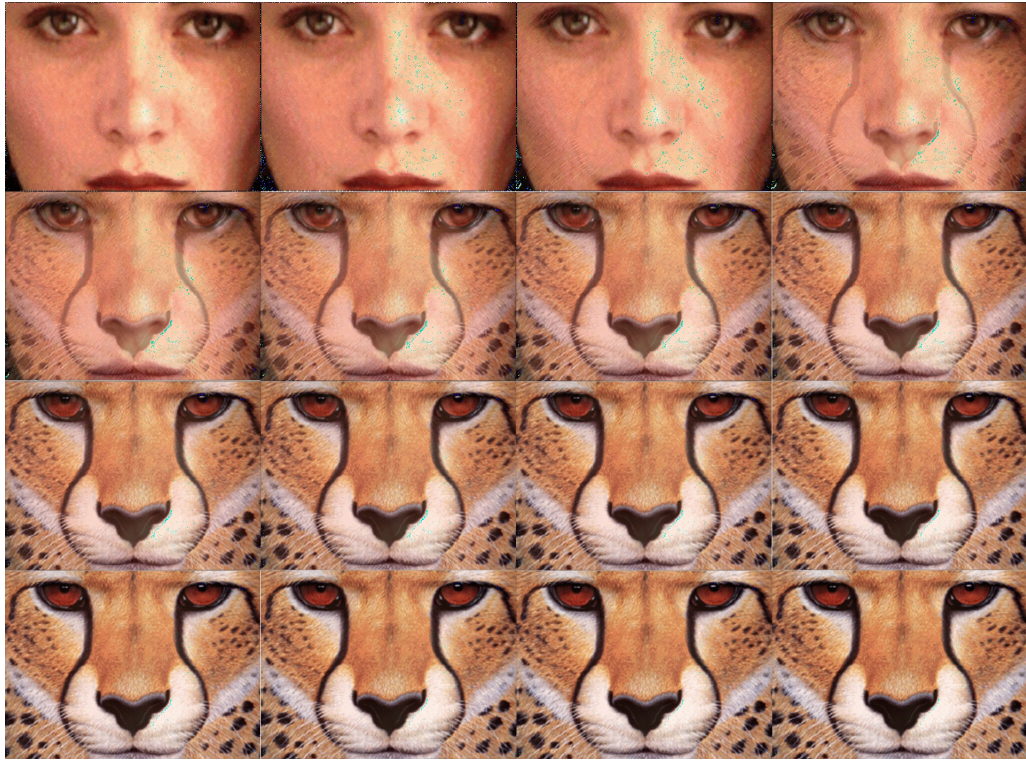


Figura 3.9: Frames intermediários das imagens originais alinhadas, mostradas na Figura 3.8. A ordem de geração é da esquerda para a direita e de cima para baixo.

começa a aparecer, casando perfeitamente os pontos de correspondência marcados com os pontos no rosto da mulher. O tempo médio para a geração de cada imagem foi de 0,7 segundos. O alinhamento da imagem foi executado em 0,127 segundos.

Finalmente, utilizamos o exemplo de um par de imagens representando movimento. A Figura 3.10 ilustra um cavaleiro montado em dois instantes diferentes de tempo. Neste caso, o alinhamento por pontos adotado não surtiria efeito. Como temos mudanças locais na imagem de origem (apenas as pernas do cavalo mudam de posição), torna-se mais complexo estabelecer correspondências pontuais que permitam um alinhamento adequado das duas imagens. Nesta transformação, o efeito-fantasma fica nítido, como poderá ser visto na Figura . Entretanto, ainda assim produz um efeito de movimento que pode ser interessante, dependendo do que se propõe. A sequência de frames obtidas pelo algoritmo pode ser vista na Figura 3.11. Pelo fato das imagens serem muito pequenas (94×64), o tempo de geração de cada frame foi de 0,0155 segundos.

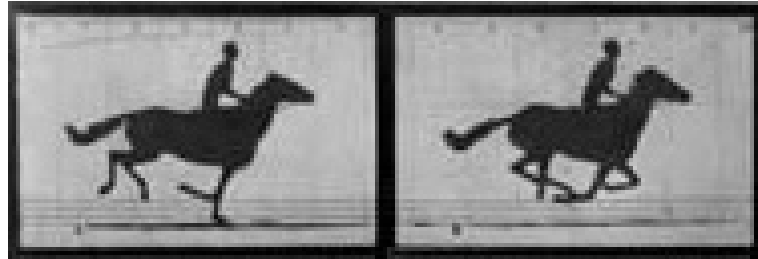


Figura 3.10: Exemplo envolvendo movimento: um cavaleiro em dois instantes diferentes de tempo.

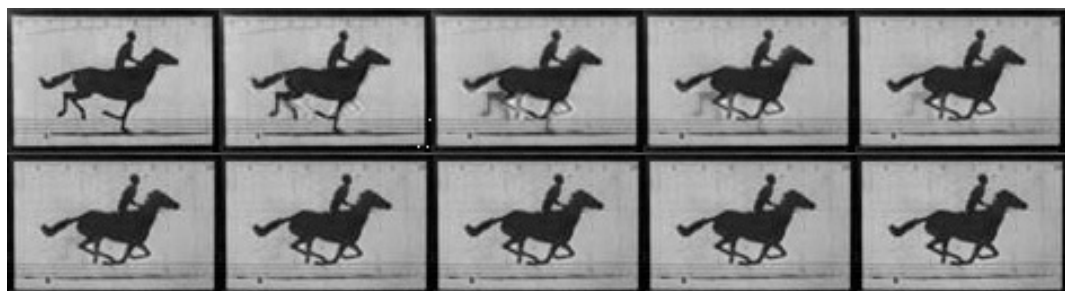


Figura 3.11: Frames gerados pela transformação das imagens apresentadas na Figura 3.10

4 Conclusão

Como visto no decorrer do trabalho, existe um grande número de técnicas de *morphing*, sendo que a maior parte delas ataca o problema utilizando a representação de imagens no domínio espacial. Alguns destes trabalhos foram apresentados e discutidos, como o *field morphing*, o *mesh warping*, e alguns outros métodos mais recentes. Em todos os métodos, observa-se alguns passos básicos, como a marcação de correspondências, o alinhamento de características e o controle de transição, que é o ponto central de qualquer algoritmo de *morphing*.

O método focado no trabalho, publicado por FARID;MAHMOOD (2012), foi discutido em detalhes no Capítulo 3. Para que isso fosse possível, também foram apresentados conceitos básicos concernentes ao domínio da frequência e as transformações de domínio que permitem modificar a forma de representação da imagem. Alguns conceitos básicos de filtragem, visando o entendimento do método, também foram elucidados.

Os resultados obtidos mostram que o algoritmo obtém seu melhor desempenho em determinados tipos de imagens, onde as características podem ser identificadas com maior facilidade. Rostos são exemplos de imagens em que o algoritmo apresenta transformações de boa qualidade. Embora de concepção simples, o método apresenta resultados bons com baixo custo computacional, podendo ser uma alternativa para imagens que se encaixem nas características ditas acima. Em contraposição, o método apresentou problemas em situações mais complexas, como imagens muito distintas (com relação à forma ou à disposição dos objetos) ou em movimento. O alinhamento por pontos, embora rápido e simples, é propenso a erros, pois exige que as marcações sejam realizadas com muita precisão. Em alguns casos testados, pequenas diferenças de posicionamento nas marcações geravam uma imagem deformada de maneira não muito adequada.

Referências Bibliográficas

- BRITO, A. **Processamento digital de imagens**. Departamento da Computação e Automação, UFRN, 2005.
- FARID, M. S.; MAHMOOD, A. **Image morphing in frequency domain**. In: Journal of Mathematical Imaging and Vision, p. 1–14, 2012.
- Gong, M.; Yang, Y. **Layer-based morphing. graph. models**63. p. 45–59. Univ., Hamilton, Ont., Canada, 2001.
- GONZÁLEZ, R.; WOODS, R. **Digital Image Processing**. Pearson/Prentice Hall, 2008.
- Karam, H.; Hassanien, A. ; Nakajima, M. **Feature-based image metamorphosis optimization algorithm**. In: Virtual Systems and Multimedia, 2001. Proceedings. Seventh International Conference on, p. 555–564. IEEE, 2001.
- KASS, M.; WITKIN, A. ; TERZOPOULOS, D. **Snakes: active contour models**. In: Int J Comput Vision, p. 321–331, 1988.
- Lee, S.; Wolberg, G.; Chwa, K.-Y. ; Shin, S. Y. Image metamorphosis with scattered feature constraints. **Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on**, v.2, n.4, p. 337–354, 1996.
- PRATT, W. **Digital Image Processing**, volume 1. 3. ed., John Wiley, 2001.
- RAO, K. R. **Discrete cosine transform - algorithms, advantages, applications**. Univ., Hamilton, Ont., Canada, 1990.
- RODRIGUES, J.; CENTEIO, N. ; MONTEIRO, V. **Processamento de imagem: Morphing**. p. 10–11. Universidade de Coimbra, 2005.
- SCHROEDER, G. N. **Morphing aplicado ao envelhecimento de imagens faciais**. In: Campinas, SP, p. 1–5, 2007.
- Shechtman, E.; Rav-Acha, A.; Irani, M. ; Seitz, S. **Regenerative morphing**. In: Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010 IEEE Conference on, p. 615–622. IEEE, 2010.
- U., S. **Transformadas de fourier**. 2003.
- WOLBERG, G. **Image morphing: A survey**. In: The visual computer, volume 14, p. 360–372. Department of Computer Science, City College of New York, 1998.
- YOUNG, I. T. **Fundamental image processing**, volume 1. 3. ed., Delft University of Technology, 1995.