

Geração de Prole Virtual por Reprodução Simulada Aplicada ao Problema de Pessoas Desaparecidas

Martha I. Cárdenas Esguerra, Roberto C. Vieira, Creto Augusto Vidal, Joaquim B. Cavalcante-Neto
Department of Computing, Federal University of Ceará - Fortaleza, CE, Brazil
micardenase@lia.ufc.br, roberto@lia.ufc.br, cvidal@lia.ufc.br, joaquimb@lia.ufc.br

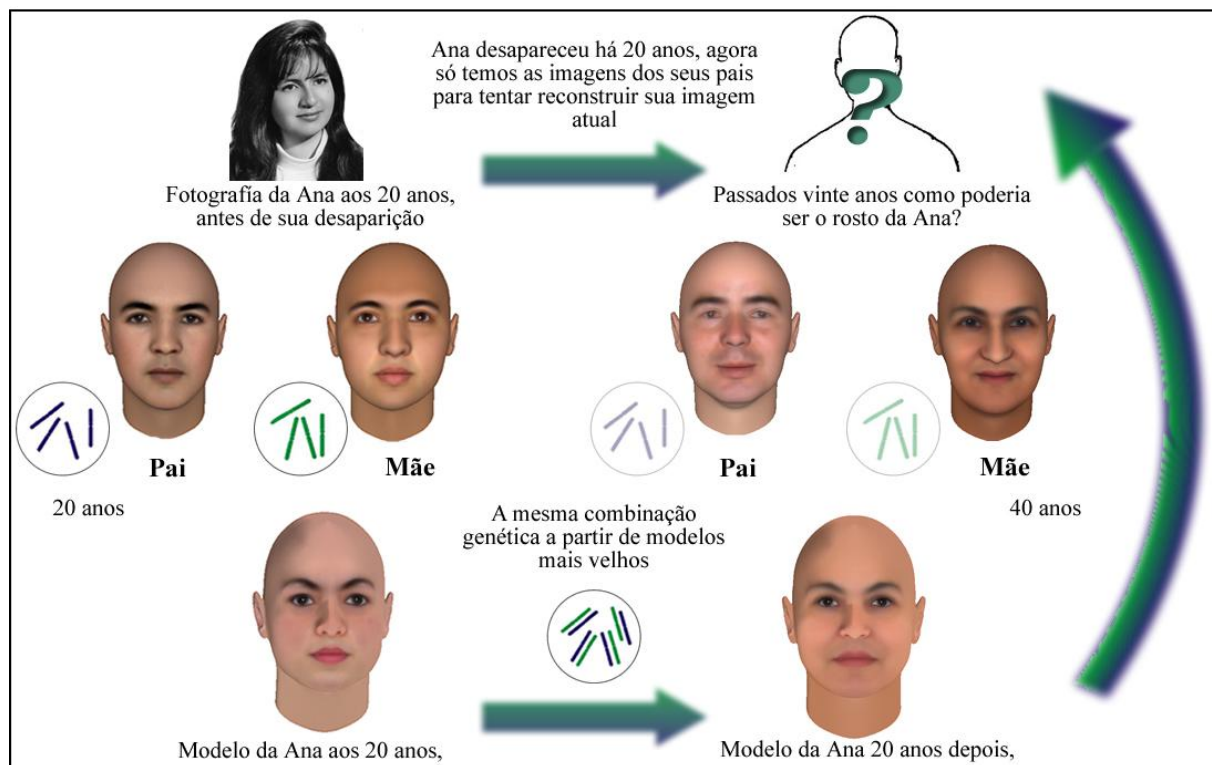


Figura 1. Modelo envelhecido a partir da combinação de características dos pais.

Abstract. A realidade virtual tem aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento e causa grandes impactos em engenharia, ciências e educação. Neste trabalho, a realidade virtual é usada para auxiliar a resolução do problema de pessoas desaparecidas. A técnica proposta se utiliza da geração de personagens virtuais por meio de fecundação simulada. Modelos do pai e da mãe do indivíduo desaparecido são construídos a partir de suas respectivas fotos com a mesma idade do indivíduo no momento do desaparecimento. Com base nesses modelos e em suas estruturas cromossômicas, a prole simulada é gerada. O

descendente que mais se parecer com a foto do indivíduo desaparecido é selecionado e sua estrutura cromossômica é mantida. Em seguida, os modelos paternos são ajustados a partir de fotografias do casal na idade da busca e a estrutura cromossômica do descendente previamente selecionado é utilizada para reconstruir seu modelo com a idade de busca. A partir desse modelo reconstruído, várias alternativas de acessórios podem ser utilizados como se faz com retratos falados. Neste trabalho, testes preliminares são apresentados e demonstram o potencial da técnica proposta.

1. Introdução

A realidade virtual tem aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento e causa grandes impactos em engenharia, ciências e educação. Neste trabalho, a realidade virtual é usada para auxiliar a resolução do problema de pessoas desaparecidas. A técnica proposta se utiliza da geração de personagens virtuais por meio de reprodução simulada (Figura 1).

Uma das maiores dificuldades em trabalhar com personagens virtuais é a simulação do crescimento e do envelhecimento. Esse inconveniente também é encontrado nas aplicações desenvolvidas para simular a progressão da idade a partir de imagens fotográficas, como as usadas atualmente para procurar pessoas desaparecidas, onde, a partir de imagens antigas da pessoa, se busca gerar uma imagem na idade atual, já que as características que mudam em ambos os processos – crescimento e envelhecimento – são influenciadas por múltiplos fatores (genéticos, ambientais etc.).

A técnica proposta neste trabalho consiste de nove passos: 1) Obtêm-se fotografias dos pais da pessoa desaparecida, tiradas numa época em que eles tinham a idade aproximada desse indivíduo no momento do desaparecimento; 2) A partir dessas fotografias, constroem-se modelos virtuais paternos; 3) As características desses modelos virtuais são usadas para definir estruturas genômicas do pai e da mãe 4) Usando-se as estruturas genômicas paterna e materna, geram-se bancos de espermatozóides e de óvulos por meio de repetidas simulações do processo de meiose – processo de divisão celular responsável pela geração de gametas –; 5) Todos os cruzamentos possíveis entre espermatozóides e óvulos dos dois bancos são simulados para geração das estruturas genômicas da prole; 6) A partir das estruturas genômicas geradas no passo 5, os modelos de toda a prole são gerados; 7) Comparando-se esses modelos virtuais com as fotografias do indivíduo desaparecido, seleciona-se o modelo virtual mais semelhante e guarda-se sua estrutura genômica; 8) No ano em que se deseja concentrar os esforços de busca, atualizam-se as informações contidas nas estruturas genômicas dos pais segundo o processo dos passos 1 e 2; 9) A partir das estruturas genômicas atualizadas dos pais, a estrutura genômica do indivíduo selecionado é atualizada e seu modelo virtual é reconstruído nessa nova idade. O modelo virtual obtido no passo 9 pode servir de entrada para software de pós-processamento para inclusão de acessórios (barba, bigode, cabelos, chapéus etc.). Os passos de 1 a 6 estão detalhados no trabalho de Vieira e colaboradores [1].

Este artigo contém mais cinco seções. Na Seção 2, são apresentados os principais trabalhos desenvolvidos para a geração de faces de personagens

virtuais e de progressão da idade. Na Seção 3, a técnica de geração de personagens virtuais simulando o processo reprodutivo é sumarizada. Na Seção 4, é descrita a solução proposta. Na Seção 5, são analisados dois estudos de caso. Na Seção 6, são apresentadas as conclusões.

2. Trabalhos relacionados

Para a geração de modelos faciais, Blanz e Vetter [3] propõem o “morphable model”, uma técnica em que é gerado um modelo base de faces 3D como resultado da combinação de vários modelos. A partir do modelo básico são geradas faces intermediárias entre as faces iniciais.

DeCarlo et al. [4] descrevem um processo onde são usadas técnicas variacionais para a geração automática de modelos geométricos de faces humanas, partindo de uma coleção de medidas sobre as quais aplicam-se perturbações aleatórias que não violam as estatísticas das medidas antropométricas faciais de uma população.

Vieira et al. [1] estudaram a transferência automática de características físicas de modelos para seus descendentes, através da simulação do processo reprodutivo de seres diplóides.

Para a progressão automática da idade, Lee et al. [5] propõem um método de clonagem e simulação do envelhecimento em uma família. Inicialmente são reconstruídos pai, mãe, filho e filha de uma mesma família, e suas formas e texturas são combinadas para obtenção de personagens virtuais com alguma variação. Para o envelhecimento, é feito um mapeamento automático da textura, seguido por um método de interpolação e morphing. Por último, são geradas rugas em determinados pontos da face.

Ramanathan e Chellapa [6] e [7] propõem um modelo de crescimento craniofacial que é caracterizado pelas variações relacionadas com a forma do crescimento observado em faces humanas durante os anos de formação. O modelo leva em conta evidências antropométricas coletadas no crescimento facial, por isso, concorda com os padrões de crescimento observados em faces humanas através dos anos. As proporções faciais do crescimento medidas pela antropometria foram traduzidas em restrições lineares e não-lineares dos parâmetros de crescimento facial em um problema de otimização para ajuste dos parâmetros de crescimento.

Scherbaum et al. [8] focam seu trabalho no processo de construção de trajetórias de envelhecimento com o objetivo de identificar crianças desaparecidas. Esse tipo de trabalho era, até então, realizado de forma totalmente manual por artistas forenses. Para simplificar o processo, propõem um novo algoritmo para calcular trajetórias individuais de

envelhecimento de determinadas faces, baseado em uma função não-linear que dá a um vetor a idade da face. Para o desenvolvimento do algoritmo, é aproveitada a técnica do “morphable model” desenvolvida por Blanz. O modelo proposto é um método de aprendizagem, a partir de um conjunto de dados de imagens 3D de faces de crianças em diferentes etapas de crescimento. Cada face é representada como um vetor facial dentro do morphable model. É dado um valor de idade para cada vetor facial e calculada a curva individual de envelhecimento para obter os vetores da nova face em uma idade determinada. O algoritmo é baseado em uma função não-linear da idade. As curvas de envelhecimento são calculadas seguindo o gradiente dessa função. As trajetórias do envelhecimento apresentam dependência não-linear tanto da idade quanto das faces individuais.

3. Geração de personagens virtuais por reprodução simulada

A reprodução simulada é um processo algorítmico que engloba alguns dos processos biológicos envolvidos na produção de gametas e na fecundação. Nesta seção, é feito um resumo dos processos biológicos, apresentados em mais detalhes em [1], necessários à produção de personagens virtuais.

3.1. Identificação das características genéticas

Cada característica genética de um indivíduo está codificada como uma seqüência molecular chamada gene. Um conjunto de genes é armazenado em uma estrutura mais complexa chamada cromossomo. Em seres diplóides, cada cromossomo é emparelhado com seu cromossomo homólogo (um cromossomo com o mesmo conjunto de genes). As células do corpo humano, por exemplo, possuem 23 pares de cromossomos. Genes correspondentes nos cromossomos homólogos (genes que ocupam a mesma posição no cromossomo) são chamados alelos.

O primeiro passo da geração de personagens virtuais por reprodução simulada é escolher as características genéticas que serão usadas na construção desses personagens. Cada um dessas características – comprimento de membros, medidas craniofaciais, tipo de olho, tipo de nariz, medidas da boca, das orelhas etc. – podem ser vistas como as informações responsáveis pela construção de partes do modelo e que são representadas como genes em seres diplóides (vide figuras 2 e 3).

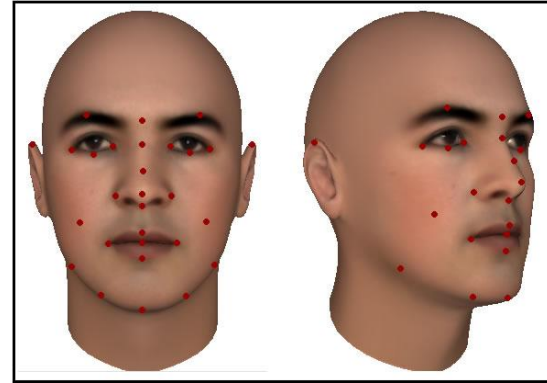


Figura 2. Landmarks faciais

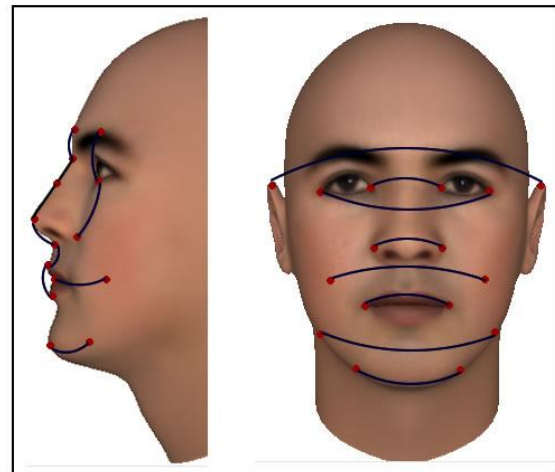


Figura 3. Medidas armazenadas como Genes

3.2. Armazenagem da informação genética

Uma vez definidos os n genes no passo 1, a próxima decisão é escolher o número, m , de pares de cromossomos, nos quais serão distribuídos os n pares de genes alelos.

Considere C o conjunto de pares, c_i , de cromossomos homólogos,

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}. \quad (1)$$

Cada par c_i é representado como

$$c_i = (c_i^M, c_i^F) \quad (2)$$

onde c_i^M é o cromossomo de origem paterna (masculina) e c_i^F , seu homólogo de origem materna (feminina). O número de genes por cromossomo não precisa ser idêntico em todos os cromossomos. Assim, se n_i representa o número de genes no cromossomo i , a estrutura de dados para os cromossomos homólogos em c_i são

$$\begin{aligned} c_i^M &= \{g_{i1}^M, g_{i2}^M, \dots, g_{in_i}^M\} \\ c_i^F &= \{g_{i1}^F, g_{i2}^F, \dots, g_{in_i}^F\} \end{aligned} \quad (3)$$

O número total de genes, n , é a soma dos números de genes em cada cromossomo

$$n = \sum_{i=1}^m n_i. \quad (4)$$

A escolha de m influencia a variabilidade dos descendentes gerados, já que afeta o número de possibilidades de combinações durante a meiose – processo biológico de divisão celular para geração de gametas.

3.3. Geração de gametas

Células especializadas chamadas células germinativas sofrem um processo de divisão celular chamada meiose que resulta em quatro gametas. Nos humanos, por exemplo, as células germinativas masculinas resultam em quatro espermatozóides, já as femininas, em quatro óvulos. Simulando-se a meiose várias vezes sobre as células germinativas masculinas e femininas constrói-se um banco de espermatozóides e um outro de óvulos.

Na simulação, não há necessidade de considerar todos os processos biológicos da meiose, mas apenas aqueles que afetam a estrutura cromossômica dos gametas gerados. O primeiro deles é a duplicação de cromossomos que antecede o processo aleatório de troca de segmentos, o crossover (Figura 4). Em seguida, os cromossomos duplicados, mas já com segmentos modificados pelo crossover, alinham-se aleatoriamente no plano equatorial da célula (Metáfase I) que é então dividida em duas células diplóides. O conjunto de m pares de cromossomos de uma das células é completamente diferente dos m pares da outra célula que, por sua vez, são diferentes dos m pares da célula germinativa original. O quarto processo, chamado de Metáfase II é semelhante ao processo da Metáfase I e ocorre simultaneamente nas duas células resultantes daquela fase. Nesse processo, os m pares de cromossomos dessas células alinham-se aleatoriamente em seus planos equatoriais e, as células dividem-se mais uma vez, resultando em quatro células com m cromossomos cada – os gametas. Esses gametas, por possuírem apenas metade dos cromossomos das células diplóides, são chamados de haplóides.

As estruturas de dados de cada um desses processos são ilustradas na Tabela 1. Note-se, no entanto, que a linha correspondente à Metáfase I apenas indica que, para um dado cromossomo, as cromátides duplicadas, modificadas durante o crossover, permanecem juntas a primeira divisão celular, isto é, as cromátides $({}_1c_i^M, {}_2c_i^M)$ ficam em uma célula e as cromátides $({}_1c_i^F, {}_2c_i^F)$ ficam na outra célula. As cromátides com sobrescrito M dos diversos cromossomos podem ficar em qualquer das

duas células. Assim, há a probabilidade de que, em quaisquer das duas células resultantes da primeira divisão celular, exista uma mistura de cromátides duplicadas com sobrescritos M e F . Similarmente, após as divisões celulares da Metáfase II, em cada uma das quatro células resultantes (gametas) é provável que exista uma mistura de cromátides com sobrescritos M e F .

Tabela 1. Estruturas de dados da meiose

Fase	Entrada	Saída
Duplicação	$c_i = (c_i^M, c_i^F)$	$c_i^d = (c_i^M c_i^M, c_i^F c_i^F)$
Crossover	$c_i^d = (c_i^M c_i^M, c_i^F c_i^F)$	$c_i^d = ({}_1c_i^M {}_2c_i^M, {}_1c_i^F {}_2c_i^F)$
Metáfase I	$c_i^d = ({}_1c_i^M {}_2c_i^M, {}_1c_i^F {}_2c_i^F)$	$c_i = ({}_1c_i^M, {}_2c_i^M)$ $c_i = ({}_1c_i^F, {}_2c_i^F)$
Metáfase II	$c_i = ({}_1c_i^M, {}_2c_i^M)$ $c_i = ({}_1c_i^F, {}_2c_i^F)$	${}_1c_i^M$ ${}_2c_i^M$ ${}_1c_i^F$ ${}_2c_i^F$

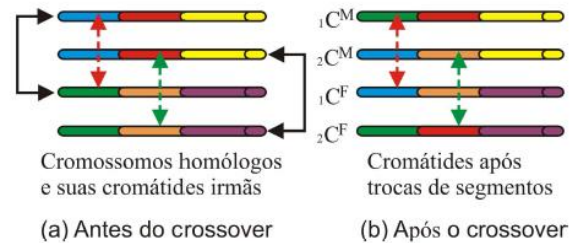


Figura 4. Processo de recombinação ou crossover entre cromossomos homólogos.

3.4. Fecundação

A fecundação é o processo biológico de fertilização de um óvulo por um espermatozóide, gerando uma célula diplóide que carrega informação genética oriunda tanto do pai quanto da mãe – em m pares de cromossomos homólogos. Se apenas uma simulação de meiose fosse feita na estrutura cromossômica de cada um dos pais, o banco de espermatozóides teria apenas quatro espermatozóides e o banco de óvulos, apenas quatro óvulos. A partir desses dois pequenos bancos de gametas, apenas dezesseis descendentes distintos poderiam ser gerados após a fecundação. No entanto, a simulação de meiose pode ser executada várias vezes para aumentar o tamanho de ambos os bancos de gametas e, assim, o número de possíveis descendentes distintos. As características genéticas de tais descendentes pertencem a um universo de probabilidades resultante dos processos aleatórios, que ocorrem no Crossover, na Metáfase I e na Metáfase II. Em seres humanos, isso corresponde a um universo de 10^{600} [9].

A Figura 5 ilustra, com apenas as faces de quatro descendentes de um casal, o resultado da geração de personagens virtuais por reprodução simulada.

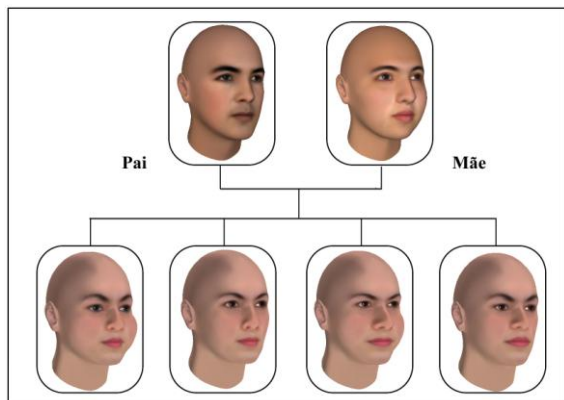


Figura 5. Quatro filhos partindo da combinação dos pais

4. Modelo corrente do desaparecido

No presente estágio, a técnica proposta pressupõe que os fatores genéticos são preponderantes sobre os fatores epigenéticos (dieta, estilo de vida, meio ambiente etc.). Assim, as características faciais plausíveis da pessoa desaparecida são determinadas unicamente a partir das estruturas cromossômicas do indivíduo e de seus pais como ilustra a Figura 6. Os fatores epigenéticos podem ser levados em conta, aplicando modificações (engordar, emagrecer, deformar, etc.) sobre o modelo plausível.



Figura 6. Mudanças faciais por crescimento e envelhecimento entre os 2 e 30 anos

O modelo corrente do indivíduo desaparecido é obtido nos nove passos descritos sucintamente na Seção 1 e detalhado a seguir.

Passo 1. Neste ponto, especifica-se a idade da pessoa no momento do desaparecimento e selecionam-se fotografias dos pais desse indivíduo da época em que eles tinham a mesma idade. A comparação é feita

com uma imagem frontal 2D pré-processada eliminando o fundo da imagem e o cabelo da pessoa já que o cabelo é uma característica que influi fortemente na percepção do modelo.

Passo 2. Construção dos modelos virtuais paternos a partir das fotografias selecionadas no Passo 1, como é possível observar na Figura 7.



Figura 7. Modelo materno construído a partir da imagem da mãe na idade de desaparecimento do filho

Passo 3. Definição das estruturas de dados genômicas dos pais, a partir das características e medidas antropométricas retiradas de seus modelos virtuais. Esse passo se utiliza das definições estabelecidas nas seções 3.1 e 3.2.

Passo 4. Geração dos bancos de gametas paterno e materno, usando múltiplas simulações do processo de meiose conforme descrito na Seção 3.3.

Passo 5. Geração das estruturas genômicas da prole, realizando todas as fecundações possíveis com os dois bancos de gametas – banco de espermatozoides e banco de óvulos – segundo a descrição da Seção 3.4.

Passo 6. Geração dos modelos virtuais da prole a partir das estruturas genômicas geradas no Passo 5 e descritas em detalhe em [1], ilustrados na Figura 8. a).

Passo 7. Seleção do modelo virtual do indivíduo da prole virtual que mais se pareça com a fotografia da pessoa desaparecida, na idade de desaparecimento. (Figura 8. b).

Passo 8. Atualização das estruturas genômicas dos pais, utilizando suas fotografias com a idade corrente do indivíduo desaparecido (semelhante aos passos 1, 2 e 3).

Passo 9. Reconstrução do modelo virtual plausível do indivíduo desaparecido, a partir das estruturas genômicas atualizadas dos pais que são usadas para atualizar a estrutura genômica do indivíduo selecionado no passo 7.

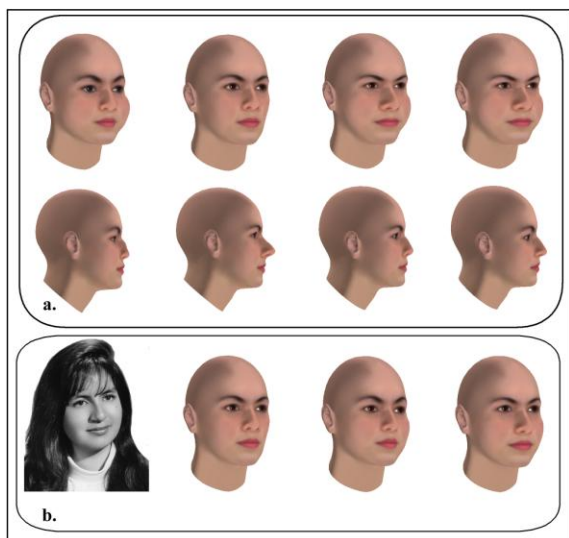


Figura 8. a) Modelos virtuais da prole. b) Modelos pré-selecionados por comparação com a fotografia do desaparecido.

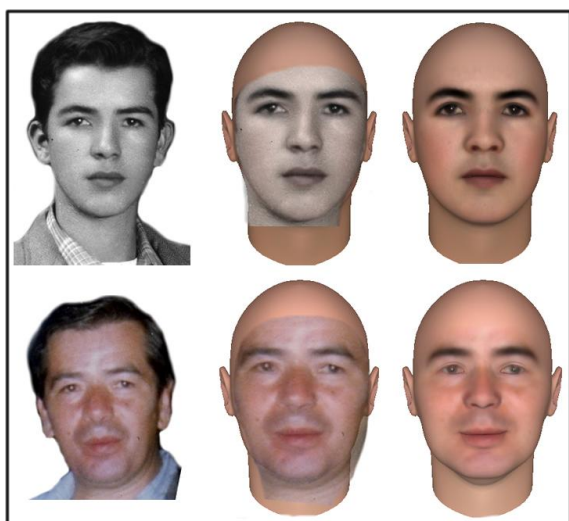


Figura 9. Modelos paternos em diferentes idades.

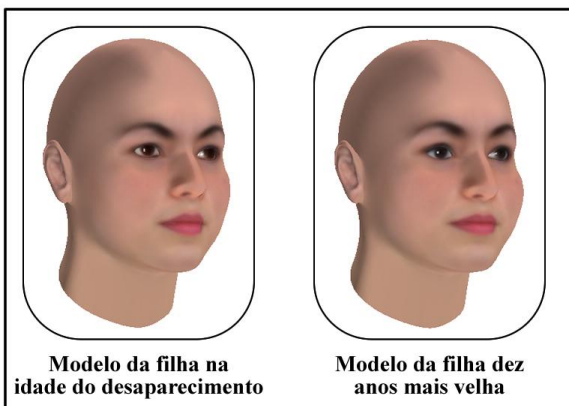


Figura 10. Comparação do modelo selecionado no passo 7 com o gerado no passo 9.

5. Testes e resultados preliminares

Para os testes iniciais, foram considerados dois grupos familiares (compostos de pai, mãe e filha) dos quais foi possível reunir as seqüências fotográficas necessárias.

Para o desenvolvimento do primeiro teste, os modelos dos pais foram gerados a partir de fotografias reais de 20 e 40 anos de idade e, para o segundo teste, os modelos dos pais foram gerados a partir de fotografias reais de 20 e 30 anos de idade, usando o software FaceGen Modeller 3.1 (<http://www.facegen.com>) o qual permite uma adaptação bastante aproximada dos modelos 3D a partir de imagens 2D e garante uma associação ponto-a-ponto entre os modelos. Essa associação é necessária, pois todos os modelos têm uma base topológica comum.

A malha de referência possui 6.215 vértices que são ajustados de acordo com as características genéticas dos pais.

Na Figura 11, pode-se observar os modelos gerados para os pais da primeira família, com a idade de 20 anos. Para esse caso particular, a textura foi ajustada manualmente, já que as imagens usadas na geração dos modelos são em preto e branco.

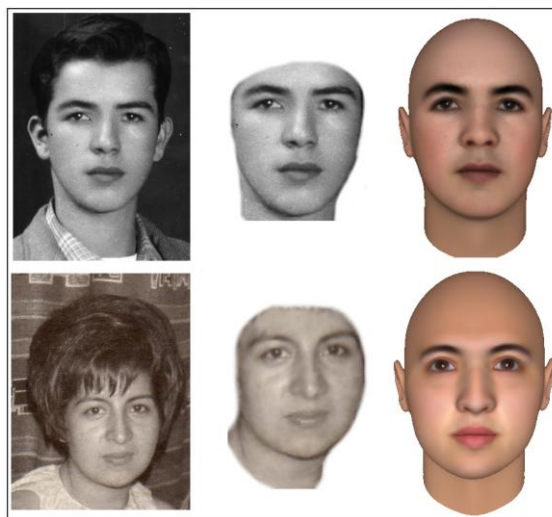


Figura 11. Modelos paternos na idade do desaparecimento.

No caso em estudo, o indivíduo desaparecido é do sexo feminino. Assim, apenas os membros da prole de sexo feminino são gerados. Na Figura 12, podem-se observar alguns dos modelos gerados usando a técnica de reprodução simulada. É importante ressaltar que as mudanças obtidas em cada um dos filhos correspondem à geometria do modelo e não à textura. Para o teste, foi aplicada a mesma textura em todos os filhos resultantes.

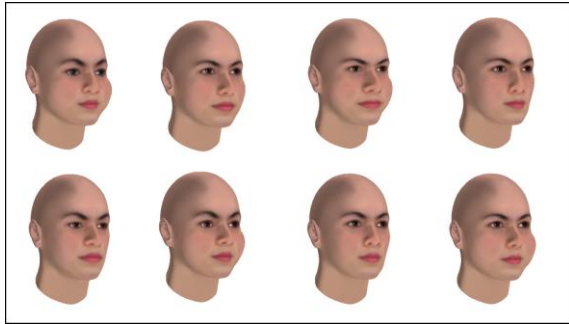


Figura 12. Modelos de filhas gerados a partir dos modelos paternos na idade inicial

No momento de gerar cada filho, o usuário pode salvar a combinação genética se considerar que o modelo parece com a imagem do filho desaparecido. Posteriormente, a partir dos modelos pré-selecionados, é feita a seleção do modelo final. Na Figura 13.a, podemos observar o modelo selecionado.

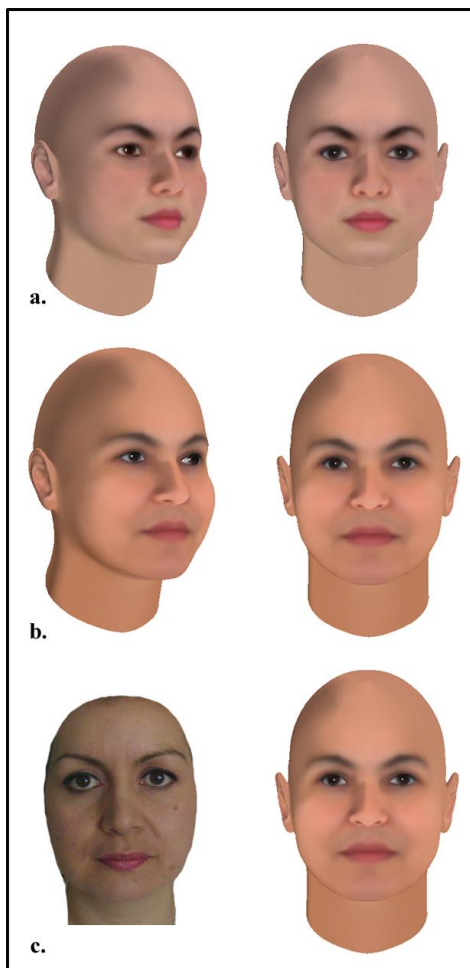


Figura 13. a) Modelo selecionado na idade da desaparecimento. b) Modelo resultante da mesma combinação genética 20 anos mais velha. c) Modelo comparado com a imagem frontal na idade resultante

Por último, depois da seleção, é aplicada a comparação a partir dos modelos paternos na faixa de idade seguinte, no primeiro caso, 40 anos – processo ilustrado na Figura 13.b. Na geração do modelo com idade de busca de 40 anos, foi usada uma combinação das texturas dos modelos dos pais com essa idade.

O processo realizado para o segundo grupo familiar pode ser observado em sua totalidade na Figura 14.

6. Conclusões e considerações

Neste trabalho, foi apresentada uma metodologia para auxiliar a busca de indivíduos desaparecidos. A metodologia proposta foi apresentada em nove passos e se utiliza da técnica de geração de personagens virtuais por reprodução simulada para construir um modelo atualizado do indivíduo desaparecido. A qualidade do modelo resultante depende diretamente da qualidade dos modelos faciais dos pais nas diferentes faixas de idade. Já a variabilidade da prole está limitada pela quantidade de medidas reconhecidas como características genéticas e armazenadas na estrutura cromossômica dos modelos.

No estágio atual de desenvolvimento da pesquisa, os modelos paternos são construídos, a partir de fotografias, com o software FaceGen. Esse processo só funciona adequadamente se as fotografias forem o mais perfeitamente frontais. Isso é uma restrição bastante indesejável para a seleção de fotografias adequadas. Técnicas de processamento de imagens para correção de pequenas angulações necessitam ser implementadas para a flexibilização dessa restrição.

Sabe-se que os processos de crescimento e envelhecimento são influenciados não só por fatores genéticos. Assim, algumas modificações em torno de um modelo plausível podem ser executadas em uma fase de pós-processamento que não foi abordada neste trabalho.

Apesar das restrições supracitadas, os resultados obtidos com a técnica proposta foram bastante promissores. No momento, são objetos de estudo: a inclusão de mais características faciais dentro da estrutura cromossômica do modelo; o uso de processamento de imagens para corrigir a angulação das fotografias paternas; melhoria do processo de combinação das texturas a serem aplicadas sobre a prole e o processo de pós-processamento de imagens para inclusão de acessórios.

7. Referências

- [1] Vieira, R. C. C., Vidal, C. A., Cavalcante Neto, Joaquim Bento. “Simulation of Genetic Inheritance in the Generation of Virtual Characters”, Virtual Reality Proceedings IEEE, 2010.

- [2] Vieira, R. C. C. ; Vidal, C. A. ; Cavalcante Neto, Joaquim Bento. "A Biologically Inspired Generation of Virtual Characters". Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on Applied Computing. New York : ACM, 2008. v. 2. p. 1218-1224.
- [3] Blanz V., Vetter T., "A Morphable Model For The Synthesis Of 3D Faces". Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. 1.999
- [4] DeCarlo, D.; Metaxas D.; Stone M., "An Anthropometric Face Model using Variational Techniques". Proceedings SIGGRAPH '98, 1.998 pp. 67-74.
- [5] Lee W.; Wu Y.; Magnenat-Thalmann N.; "Cloning and Aging in a VR Family". Proceedings Virtual Reality, IEEE, 1999.
- [6] Ramanathan N.; Chellappa R., "Modeling Age Progression in Young Faces". Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Computer Society Conference. 2.006
- [7] Ramanathan N., Chellappa R., Biswas S., "Age progression in Human Faces: A Survey". Journal of Visual Languages and Computing (Special Issue on Advances in Multimodal Biometric Systems). 2.009
- [8] Scherbaum K., Sunkel M., Seidel H.-P., Blanz V., "Prediction of Individual Non-Linear Aging Trajectories of Faces" . Volume 26 (2007), Number 3. EUROGRAPHICS 2007
- [9] Starr, C. And Taggart, R. "Biology: The unity and diversity of life", 7th ed., Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, USA, 1995.

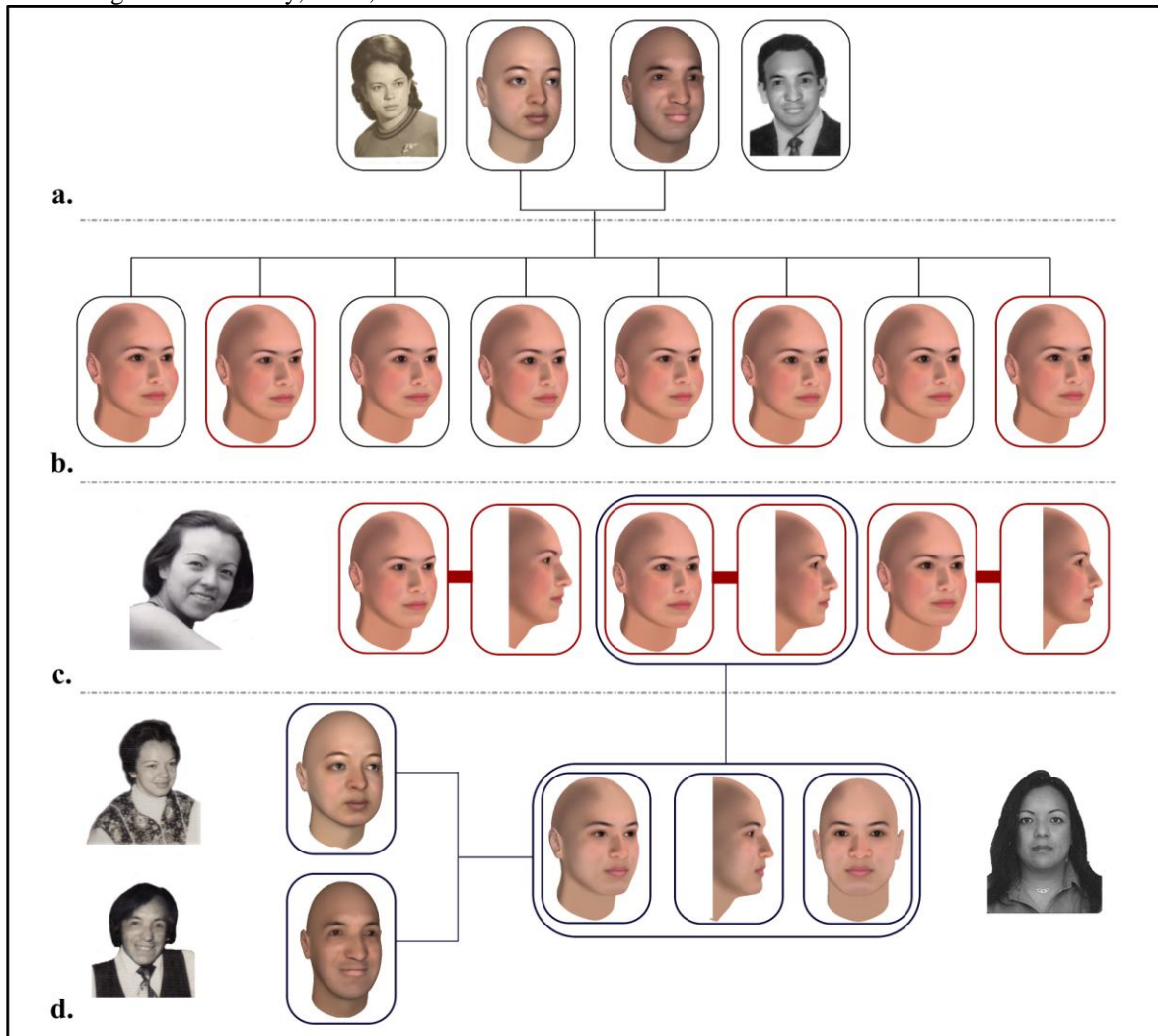


Figura 14. a) Modelos paternos gerados a partir das imagens 2D dos pais. b) Modelos das filhas resultantes no processo de reprodução simulada. c) Modelos mais próximos com a imagem da filha real. d) Modelo, 10 anos depois, gerado a partir das características herdadas dos pais