SISTEMA DE ANIMAÇÃO FACIAL BIOMECÂNICA

Renata Corrêa <rcorrea@dca.fee.unicamp.br>
Léo Pini Magalhães <leopini@dca.fee.unicamp.br>
José Mario De Martino <martino@dca.fee.unicamp.br>

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – Depto. de Engenharia de Computação e Automação Industrial – CP 6101 – CEP 13083-970 – Campinas – SP

RESUMO

Este artigo descreve um sistema computacional para geração de animações faciais, baseado na modelagem biomecânica. São apresentados conceitos e detalhes relevantes à implementação do sistema de simulação proposto. Além disso, demonstrou-se os resultados obtidos a partir do sistema desenvolvido, através do estudo comparativo de expressões faciais, denominadas "expressão de nojo e tristeza" com expressões reais de um modelo humano.

Palavras-chaves: Animação Facial; Biomecânica; Expressão Facial.

ABSTRACT

Title: *"Biomechanics facial animation system"*

This paper describes a computing system for the generation of a facial animation based in biomechanics modeling. It is shown relevant concepts and details of the system. Besides that we present results obtained with the system development, through the comparative study of a facial expression, called "disgust expression and sadness expression", with a real human expression.

Key-words: *Facial Animation; Biomechanics; Facial Expression.*

1 INTRODUÇÃO

A contínua expansão de aplicações envolvendo personagens virtuais, como apresentadores, tutores e vendedores, etc., faz com que o aprimoramento de técnicas para realização da animação facial torne-se uma área promissora de pesquisa, já que o público tem-se tornado cada vez mais crítico com o grau de realismo facial dos personagens.

As estratégias adotadas para animação facial podem ser classificadas em quatro grandes categorias. São elas: interpolação de poses-chave, parametrização geométrica, parametrização *data-driven* e simulação biomecânica (DE MARTINO, 2005).

A interpolação de poses-chave, como o nome sugere, baseia-se na especificação de um conjunto de modelos geométricos apresentados em diferentes poses faciais. As poses intermediárias são calculadas através da interpolação das posições dos vértices que compõem as poses-chave.

Na parametrização geométrica, oferece-se um conjunto de mecanismos geométricos para realização da animação facial. Uma série de transformações geométricas como rotação, translação e mudança de escala são empregadas para produção do movimento facial. Os trabalhos de (PARKE, 1974) e (KALRA et al., 1992), estão classificados nesta estratégia.

Já a parametrização *data-driven*, utiliza como parâmetros dados obtidos com equipamentos especiais de mensuração de ações humanas. Encontra-se freqüentemente na literatura a parametrização *data-driven* combinada a outras estratégias como, por exemplo, com a parametrização geométrica (DE MARTINO e MAGALHÃES, 2004) e (DE MARTINO, MAGALHÃES e VIOLARO, 2006), ou com a simulação biomecânica (ESSA et al., 1996).

Com o objetivo de produzir animações realistas, a estratégia de simulação biomecânica tem como princípio básico a representação de propriedades físicas da face. Nesta estratégia, modela-se os músculos faciais como parâmetros de manipulação, aptos a desencadear a movimentação da face virtual. O tecido facial é usualmente representado por uma malha de sistemas massa-mola, que procura simular as propriedades elásticas da pele humana (LEE, TERZOPOULOS e WATERS, 1995) e (LUCERO e MUNHALL, 1999).

A Seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica de alguns dos principais trabalhos sobre animação facial que empregam a estratégia de simulação biomecânica. A seguir, a Seção 3 descreve o sistema computacional desenvolvido aplicando-se conceitos da estratégia de animação baseada em biomecânica e a Seção 4 apresenta os resultados obtidos com o sistema desenvolvido. Por fim, são apresentadas as conclusões.

2 TRABALHOS ANTERIORES

Utiliza-se o termo biomecânica para denominar a estratégia que concilia aspectos fisiológicos, como elasticidade da pele e comportamento muscular, com aspectos mecânicos, ou seja, equilíbrio das forças que regem a dinâmica do sistema, que neste caso trata-se do modelo de face.

Encontra-se por volta dos anos 80 as primeiras iniciativas em se empregar a estratégia biomecânica para realização da animação facial. No trabalho de Platt e Badler (1981), simulou-se fibras musculares localizadas na representação facial, quando uma força é aplicada o vértice relacionado ao músculo sofre um deslocamento que se propaga na região do arco adjacente a esse vértice. Já no trabalho de Waters (1987) define-se uma região radial de influência onde a força muscular propaga-se.

Motivados pela compreensão das propriedades físicas da pele facial, Terzopoulos e Waters (1990) propôs um modelo multi-camadas baseado na anatomia humana, com três camadas providas de propriedades massa-mola, correspondentes às camadas de pele, gordura e músculos. Para simular a elasticidade não linear, as molas que representam a camada de gordura são bifásicas, ou seja, altera-se seu coeficiente de mola de acordo com a deformação ocorrida. Além disso, para simular numericamente o tecido facial empregou-se um equacionamento diferencial de segunda ordem.

Uma simplificação proposta por Lee, Terzopoulos e Walters (1995) emprega apenas duas camadas (gordura e músculos). Os músculos são inseridos na pele e conectados por vértices que distribuem as forças aplicadas. Propriedades físicas como a elasticidade da pele são simuladas com a equação diferencial proposta por Terzopoulos e Waters (1990) que sofre alguns acréscimos como a adição da força que preserva o volume facial, a que evita que os ossos sejam penetrados e a que busca restaurar o vértice à sua posição de repouso.

Utilizando o mesmo modelo matemático de Lee, Terzopoulos e Walters (1995), para descrever a malha facial, Lucero e Munhall (1999) ajustou parâmetros do modelo com dados obtidos de medidas experimentais. Para ativar e dirigir o modelo muscular realizou-se gravações de eletromiografia intramuscular (EMG) que consistem em medida da contração do músculo ao se produzir um determinado movimento facial.

O sistema apresentado neste artigo realiza animações faciais com o propósito de simular expressões da face.

3 SISTEMA DE ANIMAÇÃO BASEADO EM BIOMECÂNICA

A face virtual é representada por um modelo geométrico tridimensional formado por polígonos triangulares. Trata-se de uma versão modificada do modelo poligonal Miraface desenvolvido no laboratório MiraLab (DE MARTINO, 2005).

Ao protótipo computacional desenvolvido, que emprega a estratégia biomecânica para realização da animação facial deu-se o nome de SABiom (Sistema de Animação Biomecânica) (CORRÊA, 2006). O sistema utiliza linguagem C e a biblioteca gráfica OpenGL para realização do movimento facial.

O modelo geométrico empregado possui três superfícies e duas camadas, cada uma delas representando uma característica da fisiologia humana, Figura 1. A superfície externa representa a pele, a interna os ossos e a intermediária representa a fáscia. Onde a fáscia é um tecido conectivo que envolve e separa todas as estruturas do corpo humano (SPENCE, 1991). Cada vértice liga-se com todos os outros vizinhos estejam eles na mesma superfície ou não, da junção dos vértices das superfícies da pele e fáscia cria-se a camada de gordura e da junção da fáscia e dos ossos a camada de músculos.

Inspirando-se na fisiologia humana simulou-se um sistema massa-mola para representação facial. O equacionamento da dinâmica de cada vértice (i) do modelo que representa a face realiza-se de acordo com a equação 1, (LEE, TERZOPOULOS e WATERS, 1995).

$$m_i \cdot \frac{d^2 p_i}{dt^2} + \gamma_i \cdot \frac{dp_i}{dt} + g_i + q_i + s_i + h_i = f_i \qquad (1)$$

Onde, p_i e m_i são a posição tridimensional e massa do vértice, respectivamente, γ_i é o coeficiente de amortecimento da malha, g_i o somatório das forças mola do vértice, q_i é a força de preservação de volume, s_i a força oposta a penetração do crânio, h_i é a força de restauração e f_i a força exercida pelo músculo.

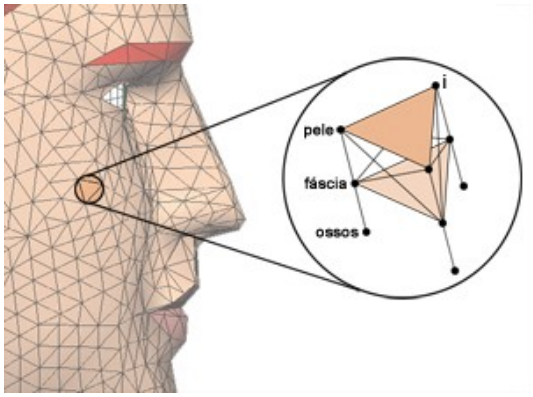

Figura 1 – Detalhes da malha facial

A massa (m_i) e o coeficiente de amortecimento (γ_i) do vértice são pesos que estão diretamente relacionados à aceleração e velocidade respectivamente. A malha de polígonos foi considerada uma superfície homogênea, desta forma, os pesos em todos os vértices são iguais, não existindo assim uma região mais sensível ao deslocamento do vértice.

Cada ligação entre vértices comporta-se como uma mola, assim um vértice possui várias molas ligadas a ele, a componente g_i é o somatório da atuação das forças mola ligadas ao vértice (i) simulando a elasticidade da pele humana. As características de uma mola dependem basicamente de seu coeficiente de flexibilidade que indica o quanto a mola será sensível a um deslocamento aplicado, e de seu comprimento que é a distância de um vértice ao outro.

A força de preservação de volume (q_i) é o somatório da força exercida na tentativa de manter o volume original dos prismas triangulares, aos quais o vértice (i) pertence, da camada de gordura (junção da superfície da pele com a fáscia) após a movimentação dos vértices. Para cada prisma a força de preservação de volume será calculada de acordo com a equação 2.

$$q = k_1(V_n - V_{n0}) \cdot n_i + k_2(p_c - p_{c0}) \qquad (2)$$

Onde, k_1 e k_2 são constantes de força, V_n e V_{n0} os volumes do prisma final e inicial, n_i a normal ao vértice, e p_c e p_{c0} são as distâncias do vértice ao centro de massa do prisma final e inicial.

A força oposta à penetração do crânio (s_i) é uma força de restrição que se opõem à força aplicada ao vértice na direção dos ossos. Essa restrição busca impedir que ocorram deformações que não correspondem à realidade, por exemplo, um determinado vértice ser deslocado ultrapassando a camada que representa os ossos. Desta forma, essa força de restrição só existirá se houver uma força na direção perpendicular da superfície de ossos, nessas condições a força de restrição é obtida conforme a equação 3.

$$s_i = -(f \cdot n_i) \cdot n_i \qquad (3)$$

Onde, n_i é a normal e f é a força que está sendo aplicada ao vértice.

A última restrição é a força de restauração dos vértices (h_i), essa componente tenta restaurar o vértice à sua posição inicial de repouso de acordo com a equação 4.

$$h_i = k_h(p_i - p_{i0}) \qquad (4)$$

Onde, k_h é um fator de escala constante e p_i e p_{i0} são as coordenadas tridimensionais do vértice após o deslocamento e no repouso.

Por fim a componente f_i é a força muscular aplicada ao vértice que desencadeia o movimento e que sofre um aumento gradativo; é atribuída pelo usuário através de uma interface especialmente desenvolvida.

Há três grandes regiões da face cujas características influenciam fortemente a expressão facial, são elas: sobrancelhas, olhos e boca (KENDALL e CREARY, 1995). Embora a estratégia biomecânica empregada possa ser utilizada em toda face, o presente trabalho concentra-se na região da boca por ser uma região da face bastante expressiva e por ter uma alta mobilidade.

Os músculos faciais modelados no SABiom são músculos cutâneos, ou seja, inseridos na superfície da pele, e atuam na região dos lábios. É possível discernir três tipos de músculos na face, lineares, esfíncter e planos (WATERS, 1987). Na região dos lábios encontra-se dois tipos de músculos e por esse motivo foram modelados, os lineares que contraem na direção do vértice fixo do músculo e o esfíncter que contrai na direção a um centro imaginário. A força muscular aplicada aos músculos lineares é máxima no vértice móvel que

pertence aos lábios e zero no vértice fixo localizado na pele. Já o músculo esfíncter não possui vértices fixos, todos os vértices que o compõem são móveis e contraem na direção de seu centro, então atribui-se a todos os vértices do músculo a força máxima. Além disso, os vértices vizinhos ao longo dos músculos, esfíncter e lineares, sofrem uma força de influência derivada da força muscular máxima.

Os músculos modelados, ilustrados na Figura 2, foram: o orbicular da boca, do tipo esfíncter e os lineares, zigomático maior e menor, levantador do lábio superior, levantador da asa do nariz, levantador do ângulo da boca, risório, depressor do ângulo da boca, depressor do lábio inferior e mento.

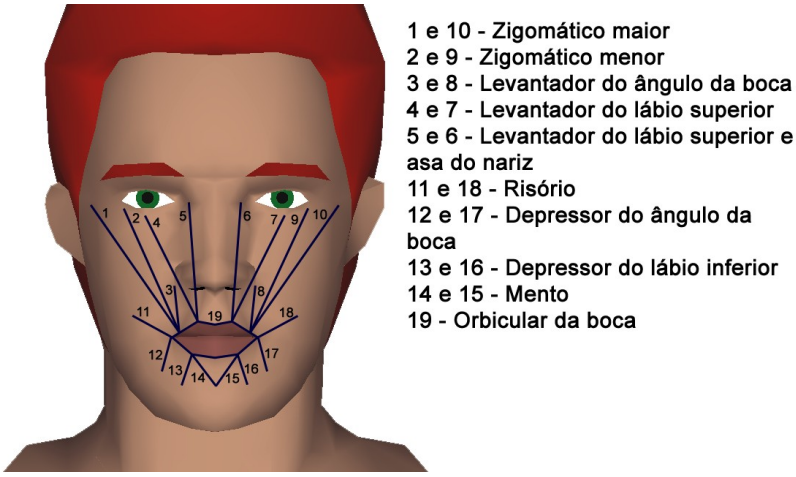

Figura 2 – Músculos faciais modelados

4 Resultados

Com o propósito de validar o sistema desenvolvido (SABiom) escolheu-se alguns movimentos faciais para testar o sistema. A escolha dos movimentos inspirou-se no trabalho de Kendall e Creary (1995) que propõe movimentos faciais que testam a atuação dos músculos faciais com o propósito de identificar paralisia facial em pacientes. Os movimentos simulados foram: alegria (sorriso simples e meio sorriso), tristeza, beijo e nojo (CORRÊA, 2006).

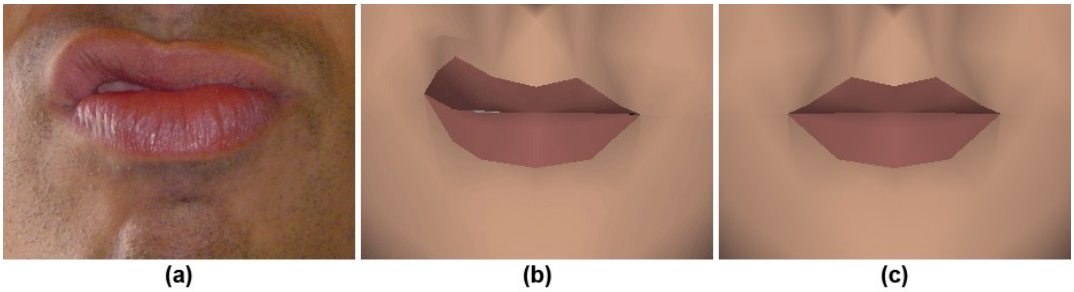

Figura 3 – (a) Nojo humano, (b) Nojo virtual e (c) Virtual inicial.

O procedimento para realização das simulações de teste inicia-se com a definição das expressões faciais de teste e uma seção fotográfica de um modelo humano produzindo a expressão facial em questão. Em seqüência, observando-se o movimento realizado pelo modelo humano ajustou-se *ad hoc* no SABiom, o módulo das forças musculares para os músculos modelados e então o sistema desenvolvido encarregou-se de produzir o movimento facial no modelo virtual.

Para ilustração da atuação do SABiom apresentam-se em seguida os casos de teste das expressões de nojo e tristeza. Na expressão classificada como nojo a boca realiza um movimento assimétrico, levantando e curvando o lábio superior em um dos lados (OSTERMANN, 2002). Para atingir o movimento desejado solicitou-se ao modelo humano que tracionasse o ângulo da boca diretamente para cima como se fosse mostrar apenas o dente canino em um único lado da face (KENDALL e CREARY, 1995). A Figura 3 ilustra o resultado obtido dos modelos humano e virtual.

Observando-se o formato dos lábios notou-se a semelhança nos dois modelos, a leve abertura da boca e a elevação do lábio superior provocada pela movimentação dos músculos envolvidos.

Os músculos ativos na expressão do nojo são o zigomático menor que no lado esquerdo é o

responsável por tracionar os lábios de maneira a elevar e ocasionar uma abertura da boca e no lado direito gera um leve arredondamento do lábio superior, o músculo levantador do lábio superior ativo apenas no lado esquerdo faz com que o lábio superior seja aumentado, já o músculo levantador do lábio superior e asa do nariz tem atuação semelhante nos dois lados da face e permite que o lábio superior seja tracionado para cima em direção ao nariz, por fim o depressor do lábio inferior presente apenas no lado esquerdo da face faz com que o lábio inferior seja levemente arredondado na região deformada (KENDALL e CREARY, 1995).

Um segundo exemplo desenvolvido foi a simulação da expressão da tristeza, visualizada na Figura 4, para este caso de teste objetivou-se que os lábios formassem um arco com os cantos curvados para baixo, então para atingir esse propósito embora as atuações mais significativas sejam dos músculos que movimentam o lábio inferior (depressores e mento), foi de fundamental importância a atuação dos músculos levantador do ângulo da boca e do levantador do lábio superior e asa do nariz para que se atingisse o formato curvilíneo do lábio superior nesse movimento.

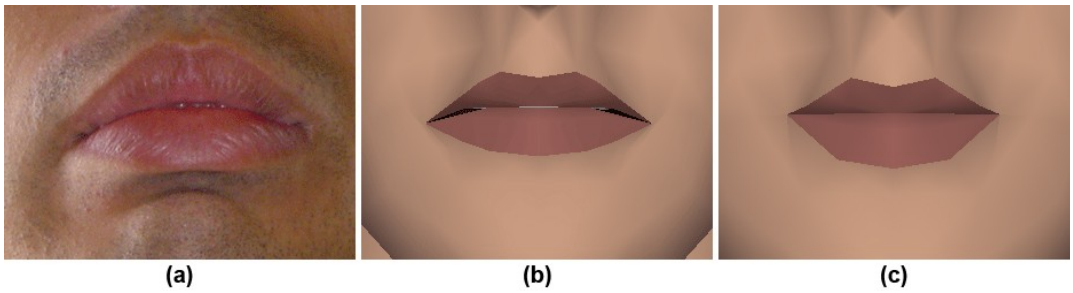

Figura 4 – (a) Tristeza humano, (b) Tristeza virtual e (c) Virtual inicial.

Os músculos envolvidos nesta simulação são o depressor do ângulo da boca e mento responsáveis por tracionar o lábio inferior para baixo, o músculo risório que esticar os lábios sendo complementado pelo depressor do ângulo da boca que curva os cantos para baixo, por fim, o levantador do ângulo da boca e o levantador do lábio superior e asa do nariz são responsáveis pela curvatura do lábio superior neste movimento (KENDALL e CREARY, 1995).

O movimento almejado para o caso de teste da expressão de tristeza não é um movimento simples para modelos humanos adultos, pois a flexibilidade no grau de contração do músculo depressor do ângulo da boca usualmente é maior em crianças embora alguns adultos mantenham essa flexibilidade, como é o caso do modelo humano no presente trabalho. Para realização desse teste, solicitou-se ao modelo que tracionasse o ângulo da boca formando um arco invertido, ou seja, que se tracionasse os cantos da boca para baixo (KENDALL e CREARY, 1995).

Nota-se que o músculo de atuação mais significativa nesse movimento é o depressor do ângulo da boca, pois é o responsável por tracionar os cantos dos lábios para baixo. Pode-se observar na Figura 4 que a curvatura dos lábios bem como a suave abertura dos lábios provocada pela tração muscular nos mesmos são semelhante.

5 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um sistema computacional para animação facial baseada em biomecânica (SABiom) e os resultados obtidos de simulações realizadas com este sistema. Analisou-se o caso de teste para expressão facial de nojo e tristeza, embora não tenham sido demonstrados neste artigo outros casos de teste com as expressões faciais da alegria (sorriso simples e meio sorriso) e beijo foram realizadas.

O sistema poderá ser aprimorado com a inserção de um número maior de detalhes da fisionomia humana. Um resultado importante a ser observado é a semelhança no formato dos lábios do modelo humano e virtual obtido com o SABiom.

A característica exploratória deste trabalho levou naturalmente à abertura de possibilidades de pesquisa e trabalhos futuros, como a integração da estratégia data-driven para automatização do sistema desenvolvido, a implementação de músculos distribuídos por toda face, o estudo da atuação muscular na produção da fala, entre outros. Observa-se que ainda há um extenso caminho à pesquisa nesta área, principalmente com o propósito em se aumentar o grau de realismo das animações faciais produzidas.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, Renata. **Animação facial por computador baseada em modelagem biomecânica**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, Campinas, 2006 (em preparação).

DE MARTINO, José Mario. **Animação Facial Sincronizada com a Fala: Visemas Dependentes do Contexto Fonético para o Português do Brasil**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, Campinas, 2005.

DE MARTINO, José Mario; MAGALHÃES, Léo Pini. **Um conjunto de visemas para uma cabeça falante do português do Brasil**. III Congresso Ibero Americano IBERDISCAP 2004 – Tecnología de apoyo a la discapacidad, 2004.

DE MARTINO, José Mario; MAGALHÃES, Léo Pini; VIOLARO, Fábio. **Facial Animation Based on Context-Dependent Visemes**. Computers & Graphics, v.30, n.6, 2006 (Aceito).

ESSA, Irfan; BASU, Sumit; DARRELL, Trevor; PENTLAND, Alex. **Modeling, tracking and interactive animation of faces and heads using input from video**. CA'96 Proceedings of the Computer Animation. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, p.68-79, 1996.

KALRA, Prem; MANGILI, Angelo; THALMANN, Nadia M.; THALMANN, Daniel. **Simulation of facial muscle action based on rational free form deformations**. Computer Graphics Forum (EUROGRAPHICS'92 Proceedings), v. 11, n.3, p.59-69, 1992.

KENDALL, Florence P.; CREARY, Elizabeth K.. **Músculos, provas e funções**. Editora Manole, 1995.

LEE, Yuencheng; TERZOPOULOS, Demetri; WATERS, Keith. **Realistic modeling for facial animation**. SIGGRAPH'95 Proceedings of the 22nd annual conference on computer graphics and interactive techniques, 1995, p.55-62.

OSTERMANN, Jörn. **Facial animation in mpeg-4**. Eds: PANDZIC, I. S.; FORCHHEIMER, R.. MPEG-4 Facial Animation - The Standard, Implementation and Applications. John Wiley & Sons, 2002, p. 17–40.

LUCERO, Jorge C.; MUNHALL, Kevin G.. **A model of facial biomechanics for speech production**. The Journal of the Acoustical Society of America, v.106, n.5, p.2834-2842, Novembro, 1999.

PARKE, Frederic. **A Parametric Model for Human Faces**. Tese (Doutorado) – Universidade de Utah, Salt Lake City, 1974.

PLATT, Stephen M.; BADLER, Norman. **Animating facial expressions**. In: SIGGRAPH'81 Proceedings of the 8th annual conference on computer graphics and interactive techniques, New York, NY, USA: ACM Press, 1981, p.245-252.

SPENCE, Alexander P.. **Anatomia humana básica**. Tradução: Edson Aparecido Liberti, ed. Manole, 1991.

TERZOPOULOS, Demetri; WATERS, Keith. **Physically-based facial modeling, analysis, and animation**. The Journal of Visualization and Computer Animation, v.1, n.2, p.73-80, Março, 1990.

WATERS, Keith. **A muscle model for animation three-dimensional facial expression**. SIGGRAPH'87 Proceedings of the 14th annual conference on computer graphics and interactive techniques, ACM Press, 1987, p.17-24.