

SISTEMA DE ANIMAÇÃO FACIAL BIOMECÂNICA

Renata Corrêa PIMENTEL ¹; Léo Pini MAGALHÃES ²; José Mario DE MARTINO ²

¹Faculdade de Tecnologia de Indaiatuba – FATECID

²Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

RESUMO

Este artigo descreve um sistema computacional para geração de animações faciais, baseado na modelagem biomecânica. São apresentados conceitos e detalhes relevantes ao sistema de simulação proposto. Além disso, demonstraram-se os resultados obtidos e realizou-se um estudo comparativo de expressões faciais simuladas com expressões reais de um modelo humano.

Animação Facial; Biomecânica; Expressões Faciais.

Introdução

A simulação de movimentos faciais humanos é um alvo perseguido por pesquisadores a mais de trinta anos. A contínua expansão de aplicações envolvendo personagens virtuais, como apresentadores, tutores, vendedores, entre outros, 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.

Embora a face represente uma pequena parte do corpo humano, ela é uma importante ferramenta para comunicação não verbal entre pessoas, pois a informação visual implícita em seus movimentos auxilia ou complementa a compreensão da mensagem que se deseja transmitir.

Um dos principais movimentos faciais é o emocional, produzido através da contração isolada ou combinada de músculos faciais. Expressões emocionais como alegria, tristeza, entre outras, geradas a partir de contrações musculares, utilizam algumas das partes da face consideradas expressivas, entre elas está a boca.

A boca é classificada como o elemento mais expressivo da face, devido ao grande número de músculos a ela relacionados, possibilitando que a mesma assuma uma grande variedade de formas.

Segundo De Martino (2005), podem-se classificar as estratégias adotadas para animação facial em interpolação de poses-chave, parametrização geométrica, parametrização *data-driven* e simulação biomecânica.

Quando se utiliza a estratégia interpolação de poses-chave considera-se um conjunto de modelos geométricos apresentados em diferentes poses faciais. E então a partir destes modelos são calculadas poses intermediárias através da interpolação das posições dos vértices que compõem as poses-chave.

Uma dificuldade encontrada na estratégia de interpolação de poses-chave é a necessidade de uma completa especificação do modelo geométrico em todas as poses-chave, para que se possa combiná-las na criação das poses intermediárias.

Na parametrização geométrica, oferece-se um conjunto de mecanismos geométricos baseado em transformações como rotação, translação e mudança de escala, para realização da animação facial. Para simular o movimento facial é aplicada uma seqüência de transformações no modelo geométrico (EKMAN, FRIESEN E HAGER, 2003), (PARKE, 1974) e (KALRA et al., 1992).

Um desafio encontrado na estratégia de parametrização geométrica é a dificuldade em se estabelecer um conjunto adequado de parâmetros de controle e implementar um modelo de animação que utilize estes parâmetros e gere uma ampla variedade de movimentos faciais.

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, MAGALHÃES e VIOLARO, 2006), ou com a simulação biomecânica (ESSA et al., 1996).

Na estratégia de parametrização *data-driven* a grande dificuldade é a impossibilidade de gerar movimentos que não foram previamente mensurados.

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).

Este artigo está organizado da seguinte maneira, em Trabalhos Relacionados será apresentada uma revisão bibliográfica de alguns dos principais trabalhos sobre animação facial que empregam a estratégia de simulação biomecânica. Em Animação Baseada em Biomecânica descreve-se o sistema computacional desenvolvido. A seguir apresentam-se os resultados obtidos com o sistema desenvolvido. Por fim, são apresentadas as conclusões.

Trabalhos Relacionados

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 se propaga. Neste trabalho foi desenvolvido um modelo facial no qual os músculos comportam-se como operadores de deformações e são representados por vetores que possuem uma região de influência. Na contração muscular os vértices que se encontram na região de influência são atraídos em direção à origem do músculo.

Uz, Güdükbay e Özgüç (1998), basearam-se em Waters (1987), e propuseram um sistema para realização de animações da face representando a articulação da fala, no qual foram modelados trinta e quatro músculos associados a regiões de influência radial,

Motivados pela compreensão das propriedades físicas da pele facial, Terzopoulos e Waters (1990) propuseram 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 sofreu alguns acréscimos como a adição da força que preserva o volume facial, da força que evita que os ossos sejam penetrados e da que busca restaurar o vértice à sua posição de repouso.

Utilizando o modelo matemático de Lee, Terzopoulos e Walters (1995), para descrever a malha facial, Lucero e Munhall (1999) ajustaram parâmetros do modelo com dados obtidos de medidas experimentais. Para acionar e controlar o modelo muscular realizou-se, através de eletromiografia intramuscular (EMG), medidas das contrações dos músculos durante a produção de determinados movimentos faciais.

Outro trabalho classificado na estratégia biomecânica é o de Kähler (2003), onde os músculos são fibras formadas por segmentos lineares, sendo que em cada um desses segmentos ajustam-se elipses com largura e altura que correspondem à extensão do músculo, respectivamente na direção paralela e ortogonal à superfície da pele.

A animação é alcançada através de um sistema massa-mola que conecta as camadas e dessa maneira os vértices da superfície da face sofrem influência da contração muscular (KÄHLER, 2003) e (KÄHLER; HABER; SEIDEL, 2001).

O sistema apresentado neste artigo realiza animações faciais com o propósito de simular expressões da face. O modelo de animação empregado baseia-se em Lee, Terzopoulos e Walters (1995) e o modelo muscular baseia-se em Lucero e Munhall (1999).

Animação Baseada em Biomecânica

No presente trabalho a face virtual utilizada 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).

O modelo geométrico empregado possui três superfícies e duas camadas, cada uma delas representando uma característica da fisiologia humana (veja Figura 1). A superfície externa representa a pele, a mais interna os ossos e a intermediária representa a fáscia. Onde a fáscia é o tecido conectivo que envolve e separa todas as estruturas do corpo humano (SPENCE, 1991). Cada vértice liga-se com todos os seus 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.

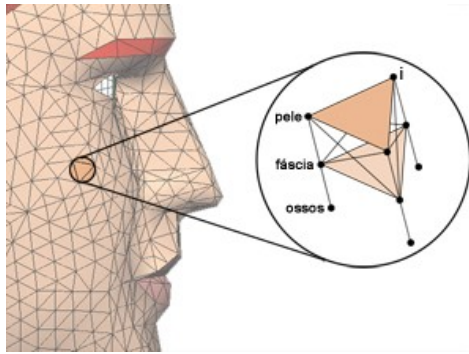


Figura 1 – Detalhes da malha facial

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 em sua implementação a linguagem C e a biblioteca gráfica OpenGL para realização da movimentação facial.

Baseado 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).

$$m_i \cdot \frac{d^2 \mathbf{p}_i}{dt^2} + \gamma_i \cdot \frac{d\mathbf{p}_i}{dt} + \mathbf{g}_i + \mathbf{q}_i + \mathbf{s}_i + \mathbf{h}_i = \mathbf{f}_i \quad (1)$$

Onde, \mathbf{p}_i e m_i são a posição tridimensional e massa do vértice, respectivamente, γ_i é o coeficiente de amortecimento da malha, \mathbf{g}_i o somatório das forças mola do vértice, \mathbf{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.

O acionamento do modelo ocorre quando ativada uma contração muscular (f_i), esta força provoca um deslocamento dos vértices que circundam a região do músculo em questão e conseqüentemente forças-mola (g_i) de compressão e relaxamento são geradas propagando-se pela malha, juntamente com as forças de restrição (q_i, s_i, h_i) impostas a fim de manter a coerência com a anatomia humana.

Cada ligação entre vértices comporta-se como uma mola conforme ilustrado na figura 2, assim um vértice possui várias molas ligadas a ele.

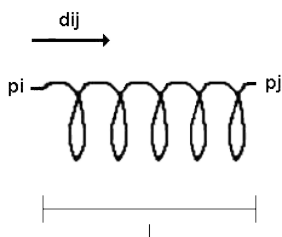


Figura 2 – Conexão entre vértices (mola)

A força mola do vértice “i” é ocasionada pelo seu deslocamento, com relação aos vértices vizinhos j, com os quais i estabelece uma ligação, e é obtida de acordo com a equação 2.

$$\mathbf{g}_{ij} = c_{ij} (l - l_0) \cdot \mathbf{d}_{ij} \quad (2)$$

Onde c_{ij} é o coeficiente de flexibilidade que indica o quanto a mola é sensível a um deslocamento, l e l_0 é o comprimento da mola após o deslocamento e no repouso respectivamente e \mathbf{d}_{ij} é o vetor que indica qual a direção do deslocamento.

A componente g_i é o somatório da atuação das forças mola ligadas ao vértice “i”, simulando a elasticidade da pele humana.

A força de preservação de volume, q_i , é o somatório da força exercida na tentativa de manter o volume original dos prismas triangulares da camada de gordura (junção da superfície da pele com a fásia) após a movimentação dos vértices. Para cada prisma a força de preservação de volume é calculada de acordo com a equação 3.

$$\mathbf{q} = k_1 (V_n - V_{n0}) \cdot \mathbf{n}_i + k_2 (\mathbf{p}_c - \mathbf{p}_{c0}) \quad (3)$$

Onde, k_1 e k_2 são constantes de força, V_n e V_{n0} os volumes do prisma após o deslocamento e no repouso, \mathbf{n}_i a normal ao vértice, e \mathbf{p}_e e \mathbf{p}_{e0} são as distâncias do vértice ao centro de massa do prisma após o deslocamento e no repouso.

A força oposta à penetração do crânio, \mathbf{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 4.

$$\mathbf{s}_i = -(\mathbf{f} \cdot \mathbf{n}_i) \cdot \mathbf{n}_i \quad (4)$$

Onde, \mathbf{n}_i é a normal e \mathbf{f} é a força que está sendo aplicada ao vértice.

A última restrição é a força de restauração dos vértices, \mathbf{h}_i , essa componente tenta restaurar o vértice à sua posição inicial de repouso de acordo com a equação 5.

$$\mathbf{h}_i = k_h (\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_{i0}) \quad (5)$$

Onde, k_h é um fator de escala constante e \mathbf{p}_i e \mathbf{p}_{i0} são as coordenadas tridimensionais do vértice após o deslocamento e no repouso.

Por fim a componente \mathbf{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: sobranceiras, 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. De acordo com Waters (1987), na região dos lábios encontram-se apenas dois tipos de músculos: os lineares que contraem na direção do vértice fixo do músculo e o esfíncter que contrai na direção a um centro imaginário. Os músculos modelados são ilustrados na figura 3.

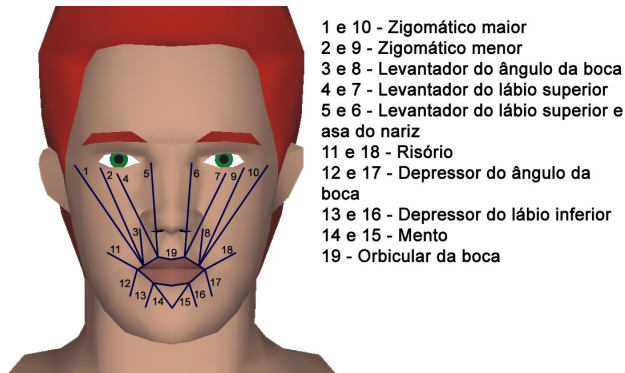


Figura 3 – Músculos faciais modelados

A força muscular aplicada aos músculos lineares é máxima no vértice móvel que pertence aos lábios e zero no vértice fixo localizado no osso. Já o músculo esfíncter não possui vértices fixos, todos os vértices que o compõem são móveis e contraem na direção de seu centro, sendo atribuído a todos os vértices do músculo a força máxima.

Para simular sua espessura, os músculos foram simulados como volumes cilíndricos, onde o eixo destes cilindros é definido por uma reta determinada por dois vértices onde em músculos lineares um destes vértices é fixo e o outro móvel, já nos músculos esfíncter os dois vértices são móveis. Uma força f_i é aplicada ao vértice móvel e é baseada na formulação de Lucero e Munhall (1999), a equação 6 é utilizada para calcular o valor do módulo da força (f_i) de um determinado músculo a cada instante de tempo a partir do valor de força definido pelo usuário (f).

$$\tau^2 \frac{d^2 f_i}{dt^2} + 2\tau \frac{df_i}{dt} + f_i = f \quad (6)$$

Onde, τ é um coeficiente de variação da força, f_i é a força muscular no vértice e f é a força muscular de entrada configurada pelo usuário do sistema.

Metodologia

A expressão facial tem relevância significativa na tradução dos sentimentos e na comunicação entre pessoas. Os movimentos que geram as

expressões podem ser classificados como voluntários ou instintivos (FLEMING e DOBBS, 1999). Os movimentos instintivos são produzidos inconscientemente e os voluntários são aqueles empregados conscientemente na tentativa de demonstrar um sentimento ao produzirem uma expressão facial. Precocemente as crianças descobrem o valor das expressões faciais para comunicação e passam a empregá-las a seu favor. Ao longo da vida o homem aperfeiçoa sua habilidade em interpretar as variações sutis da face, embora as experiências sociais o instigue algumas vezes a reter suas expressões faciais com o propósito de ocultar seus sentimentos. Todos os movimentos, voluntários ou instintivos, são resultados da contração de um conjunto de músculos da face, conhecidos como músculos da expressão facial.

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 em seu livro demonstram através de movimentos expressivos do rosto (expressões faciais), como identificar se um paciente tem paralisia facial e, além disso, como descobrir qual é o músculo paralisado. A escolha de expressões faciais para os casos de teste realizados tem como intuito validar o modelo matemático utilizado além de demonstrar a ação dos músculos modelados. Os movimentos simulados foram alegria, tristeza, beijo e nojo (CORRÊA, 2006).

O desuso de músculos faz com que esses diminuam sua flexibilidade e conseqüentemente seu movimento, usualmente pessoas adultas tem dificuldade em movimentar alguns músculos faciais. Desta forma, solicitou-se que várias pessoas adultas realizassem os movimentos selecionados e então se escolheu dentre os adultos analisados o modelo humano com maior flexibilidade nos músculos faciais.

Para complementar os resultados obtidos solicitou-se ao modelo humano que executasse os movimentos faciais simulados e então realizou-se uma sessão fotográfica para que houvesse um parâmetro de comparação com o movimento simulado. Desta forma, observando estas posições ajustou-se *ad hoc* no sistema desenvolvido as forças atuantes dos músculos ativos e então obteve-se a imagem final do movimento no modelo sintético.

As expressões faciais humanas são compostas por detalhes sutis que englobam toda a face e assim produzir uma expressão facial movimentando apenas uma região torna-se uma difícil tarefa para modelos humanos. Conseqüentemente como o propósito deste trabalho está centrado no estudo da movimentação na região do lábio, para realização das avaliações recortou-se as imagens, fotográfica e do modelo sintético, de maneira que

apenas a região da boca ficasse em evidência a fim de evitar que outros movimentos e que características da própria fisionomia influenciassem as comparações.

Resultados Obtidos

As expressões faciais simuladas, discutidas neste trabalho são: alegria, tristeza, nojo e beijo.

Embora a expressão de alegria seja composta por uma combinação de músculos atuantes no lábio superior, o músculo de atuação mais significativa nessa expressão é o zigomático maior, também conhecido como músculo do sorriso, pois é o responsável por elevar o canto dos lábios formando a expressão de alegria (FLEMING e DOBBS, 1999).

É possível observar o resultado na figura 4, que simula um sorriso discreto onde os lábios arredondam-se para trás, um pouco para cima, mas mantêm-se unidos, não deixando aparecer os dentes.

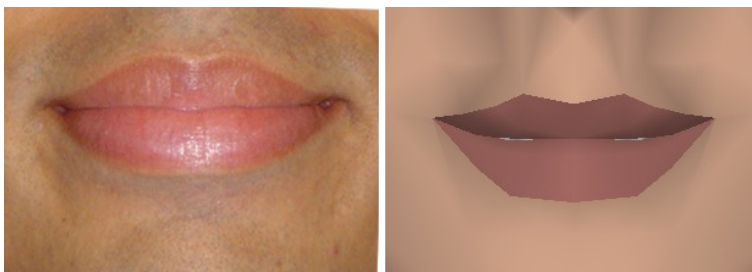


Figura 4 – Sorriso discreto humano e virtual

Podendo assumir variações dependendo de sua intensidade, esse caso de teste, teve como propósito que os lábios formassem um arco com os cantos curvados para baixo e embora a atuação mais significativa seja dos músculos que movimentam o lábio inferior (depressores e mento), foi de fundamental importância a atuação do músculo levantador do ângulo da boca para que se atingisse o formato curvilíneo do lábio superior nesse movimento. A figura 5 ilustra o resultado obtido.



Figura 5 – Tristeza humana e virtual

O movimento do caso de teste da expressão de tristeza não é um movimento simples para modelos humanos adultos, pois tende-se a ter uma maior flexibilidade no músculo depressor do ângulo da boca, principal atuante neste movimento, quando se é criança (KENDALL; CREARY, 1995).

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 6 ilustra o resultado obtido dos modelos humano e virtual.

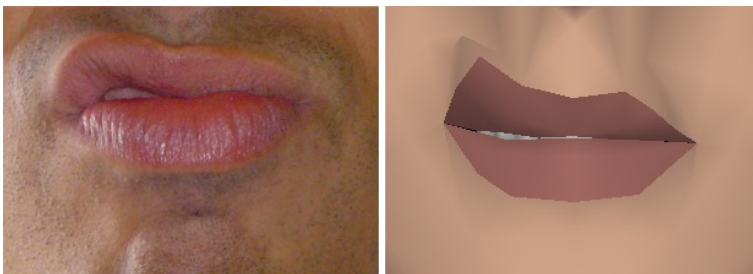


Figura 6 – Nojo humano e virtual

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 aumenta o lábio superior, já o músculo levantador do lábio superior e asa do nariz têm 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).

O caso de teste executado para validar o músculo orbicular da boca, que é um músculo da boca extremamente móvel, realizou-se o movimento dos lábios no beijo. Para testar a atuação do músculo orbicular da boca solicitou-se ao modelo humano que fechasse os lábios fazendo uma protrusão para frente como ao beijar ou assobiar. As figuras 7 e 8 mostram os resultados obtidos com o sistema desenvolvido em uma visão frontal e lateral respectivamente, para que se possa observar a protrusão dos lábios.

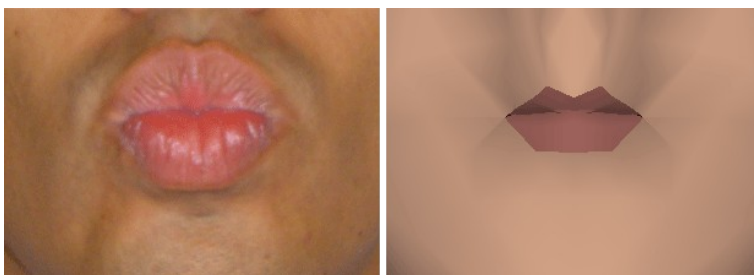


Figura 7 – Beijo humano e virtual (visão frontal)



Figura 8 – Beijo humano e virtual (visão lateral)

Analisando os casos de teste realizados, observa-se que o formato dos lábios nos dois modelos é bastante semelhante. Como o objetivo do trabalho foi produzir o movimento do lábio ao tracionar os músculos modelados desconsidera-se a diferença entre o volume dos lábios nos modelos humano e virtual, a textura da pele e em alguns casos o formação de rugas no modelo humano que não ocorre no modelo virtual.

Considerações Finais

Diversos detalhes compõem uma simulação realista da face humana, como por exemplo, a expressão facial que usualmente relata um comportamento humano, o movimento articulatorio produzido no movimento da fala, o movimento da cabeça limitado pelo pescoço, entre outros. O presente trabalho concentrou-se na simulação dos movimentos dos lábios durante a expressão facial. Com este intuito, explorou-se uma estratégia de animação classificada como biomecânica, que tem se mostrado promissora, por se tratar de modelos de animação que representam características anatômicas e dinâmicas da face.

Este artigo apresentou um sistema computacional desenvolvido para animação facial baseada em biomecânica (SABiom) e os resultados obtidos de simulações realizadas com este sistema.

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 Bibliográficas

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; VIOLARO, Fábio.

Facial Animation Based on Context-Dependent Visemes. Computers & Graphics, v.30, n.6, 2006.

EKMAN, P.; FRIESEN, W. V.; HAGER, J. C. *DataFace Homepage*. [S.l.], 2003. <http://www.face-and-emotion.com/>.

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.

FLEMING, B.; DOBBS, D. *Animating facial features and expressions*. Rockland, MA, USA: Charles River Media, Inc., 1999.

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.

KÄHLER, K. *A head model with anatomical structure for facial modeling and animation*. Tese (Doutorado)— Universität des Saarlandes, Saarbrücken, Alemanha, Maio 2003.

KÄHLER, K.; HABER, J.; SEIDEL, H.-P. *Geometry-based muscle modeling for facial animation*. In: GRIN'01: No description on Graphics interface 2001. Toronto, Ont., Canada, Canada: Canadian Information Processing Society, 2001. p. 37–46.

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.

UZ, B.; GÜDÜKBAY, U.; ÖZGÜÇ, B. *Realistic speech animation of synthetic faces*. In: CA '98: Proceedings of the Computer Animation. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1998. p. 111. ISBN 0-8186-8541-7.

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.