

# 얼굴 메쉬와 이미지의 동적 매칭을 이용한 개인 아바타의 3차원 얼굴 합성

강 명 진   김 장 현  
고려대학교 컴퓨터학과

## Individual 3D facial avatar synthesis using elastic matching of facial mesh and image

Myung Jin Kang   Chang-Hun Kim  
Department of Computer Science and Engineering, Korea University

### 요 약

본 논문은 정면과 측면 얼굴 이미지의 특성을 살린 3차원 개인 아바타 합성에 관한 연구이다. 표준 얼굴 메쉬를 얼굴 이미지의 특징점에 맞추려는 힘을 특징점 이외의 점들까지의 거리에 대한 가우스 분포를 따라 부드럽게 전달시켜 메쉬를 탄성있게 변형하는 힘으로 작용시켜 메쉬를 얼굴 이미지의 윤곽선을 중심으로 매칭시키고, 매칭된 메쉬가 매칭 이전의 메쉬의 기하학적 특성을 유지할 수 있도록 메쉬에 동적 피부 모델을 적용한다. 이렇게 생성한 3차원 메쉬에 이미지를 텍스처 매핑하여 개인 특성을 살린 3차원 개인 아바타를 생성한다.

## 1. 서 론

얼굴의 모델링과 애니메이션에 관한 많은 연구가 있었다. 그러나 특정 개인의 얼굴 생성에 관한 연구는 거의 이뤄지지 않았다[2]. 정확한 3차원 복원을 위해 레이저 스캔에 기반한 모델링 방법을 사용하는 방법이 많이 사용되고 있으나 이 방법을 사용할 경우 개개인의 특성에 맞는 얼굴 모델을 사용하기 위해서는 사용하고자 하는 모든 모델에 대한 스캐닝 작업이 필요하므로 막대한 시간과 경비가 소요되고, 쉽게 애니메이션 할 수 없는 단점이 있다. 여러 장의 개인 얼굴 이미지를 모핑하여 모델을 만드는 방법 또한 최근 많이 연구되는 얼굴 모델링 방법이다[5].

본 논문은 특정 인물과 유사한 아바타를 만들기 위해, 정면과 측면의 얼굴 이미지를 이용하였다. 표준 3차원 얼굴 메쉬를 얼굴 이미지의 특징에 맞게 정합하고, 이

정합한 메쉬에 개인 이미지를 텍스처 맵핑하여 특정 개인과 유사한 뉘앙스를 가지는 3차원 아바타 얼굴 모델을 만든다. 메쉬의 정합 과정을 거쳐 만들어진 모델은 얼굴 메쉬 자체의 기하학적인 정보를 잃기 쉽다. 따라서 얼굴 메쉬의 특성을 살려 주어야 한다. 얼굴 메쉬는 해부학적인 얼굴 피부를 의미하므로, 해부학적으로 안정적인 동적 피부 모델을 적용함으로써 문제점을 보완한다. 이와 같은 과정으로 생성한 모델을 비디오폰이나 화상 회의 시스템의 기본 모델로 활용할 수 있으며, 얼굴 표정 변화를 추적한 결과를 적용하면 3차원 아바타의 표정 제어가 가능하다.

## 2. 메쉬의 정합

### 2.1 메쉬의 전체 변형

표준 메쉬를 개인 이미지 위치와 크기에 맞추기 위해

변형하는 것이다. 어파인 변형(affine transformation)을 이용하여 3 차원 매쉬의 전체에 대해 이동 (translation), 회전(rotation), 크기조정(scaling)을 한다. 정면 이미지의 가로폭과 세로폭의 비율은 x,y 축으로의 크기조절 요소가 되고, 측면 이미지의 가로폭은 z 축으로의 크기 조절 요소가 된다.

### 2.2 매쉬의 국부 변형

전체 변형된 얼굴 매쉬의 특징점들을 얼굴 이미지의 특징점(얼굴 외곽선, 눈, 눈썹, 코, 입)에 맞추어 정합한다. 특징점을 정합하는 힘을 특징점에서부터 특징점 이외의 점들까지의 거리의 가우스 분포를 따라 부드럽게 전달시켜 얼굴 매쉬의 토폴로지를 유지시키는 범위 내에서 얼굴의 세부 이미지에 맞춰 모델을 변형하는 방법을 사용하여 얼굴 이미지와 유사한 모델을 생성한다.

국부 변형은 얼굴 매쉬상의 특징점들에 해당되는 얼굴 이미지 상의 점을 찾고, 대응되는 점들 간의 거리를 최소화할 수 있도록 얼굴 모델을 변형하는 단계를 거쳐 완성된다. Burr의 'Elastic matching of line drawing' [1,6]의 방법을 사용하여 동시에 해결하였다.

### 유사도를 이용한 윤곽선 간의 이동벡터 구하기

이미지의 특징점에 해당되는 매쉬상의 특징점은 특징점을 연결한 각 라인 세그먼트 간의 근접한 정도와 방향의 유사도를 측정하여 구한다. 즉,

$$\text{유사도} = \text{방향유사도} + \text{거리유사도}$$

가 된다.

특징점 간의 이동벡터는 하나의 윤곽선 라인이 다른 라인에 근접하려는 힘을 의미하는 이동벡터를 구한다. 이동벡터의 모양은 그림 1 과 같다.

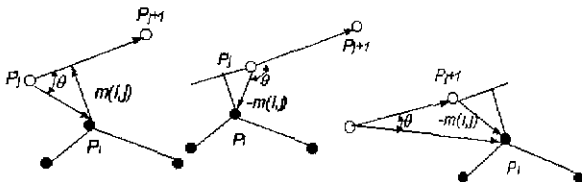


그림 1 윤곽선 간의 이동벡터

### 입의의 점에서의 이동 벡터 구하기

입의의 한 점 (x,y)에서의 이동벡터는 이전 단계에서 구한 특징점 간의 이동벡터로부터의 거리의 가우스 분포의 평균으로 구한다. 가우스 함수는 거리가 가까운 곳의 영향력이 먼 곳보다 크게 하는데 유용한 함수이다. 그림 2와 같이 시작선에서 목표선으로의 이동벡터는 미는 힘으로, 목표선에서 시작선에 대한 이동벡터를 당기는 힘으로 작용한다.

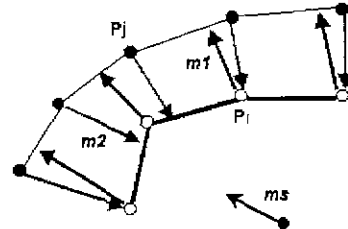


그림 2 입의의 점 (x,y) 에서의 이동벡터

$$ms(x, y) = \gamma^{-1} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^{N1} g1 m1(i, j)}{\sum_{j=1}^{N1} g1} - \frac{\sum_{j=1}^{N2} g2 m2(j, i)}{\sum_{j=1}^{N2} g2} \right\}$$

$$g1 = \exp \left\{ \frac{-(x-x1)^2 - (y-y1)^2}{\sigma^2} \right\}$$

$$g2 = \exp \left\{ \frac{-(x-x2, -m2_x(j,i))^2 - (y-y2, -m2_y(j,i))^2}{\sigma^2} \right\}$$

이 때,  $\sigma$ 는 영향 범위를 결정한다. 영향을 미치는 범위가 커지면, 각 특징점들에서 미치는 힘의 크기가 비슷하게 되어, rigid deformation 과 같은 역할을 하고, 힘의 미치는 범위가 작아지면 좀 더 탄성있는 매칭이 가능하다.

### 3. 동적 피부 모델

얼굴 매쉬는 해부학적인 얼굴 피부를 의미하므로, 해부학적으로 일정한 힘을 가하는 간단한 피부 모델을 사용한다[3] 그림 3은 얼굴 피부를 동적 구조화한 그림이다.

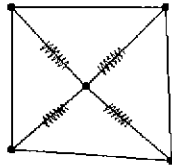


그림 3 얼굴 피부의 스프링 구조

길이가  $l_k$ 이고, 강도가  $c_k$ 인 스프링  $k$ 에 가해지는 힘은, 스프링 변위가  $e_k = \|r_k\| - l_k$  이고, 방향이

$r_k = x_j - x_i$ , 일 때,  $s_k = \frac{c_k e_k}{\|r_k\|} r_k$  로 정의된다. 따라서  $N_i$  개의 다른 노드들로 연결되는 스프링들로 연결된 노드  $i$ 에 가해지는 전체 힘은 각 스프링의 힘의 합이 된다.

$$g_i(t) = \sum_{j \in N_i} s_k$$

질량이  $m_i$ 이고, 위치가  $x_i(t) = [x_i(t), y_i(t), z_i(t)]$ 인 노드의 동적인 스프링 이동 방정식은, 속도  $v_i = dx_i/dt$ , 가속도  $a_i = d^2x_i/dt^2$ , 진동 계수  $\gamma_i$ , 스프링의 힘  $g_i$  일 때, 노드에 가해지는 힘으로 다음과 같이 정의 된다.

$$m_i \frac{d^2x_i}{dt^2} + \gamma_i \frac{dx_i}{dt} + g_i = f_i$$

변형되는 메쉬를 실험하기 위해서는 초기 위치에서의 속도를 0으로 하고, 점차 그 변형 정도를 더함으로써 얻어진다. 이 방법은 정합의 결과 생성된 메쉬의 변형을 보완하는 방법이다.

#### 4. 실험 결과

그림 4는 정면과 측면 이미지의 특징에 따라 메쉬를 정합한 뒤, 메쉬에 스프링의 힘을 적용하여 Parke의 메쉬[4]를 변형한 결과를 보여준다. C와 OpenGL을 이용하여 Silicon Graphics의 Indy를 이용하여 실험하였다.

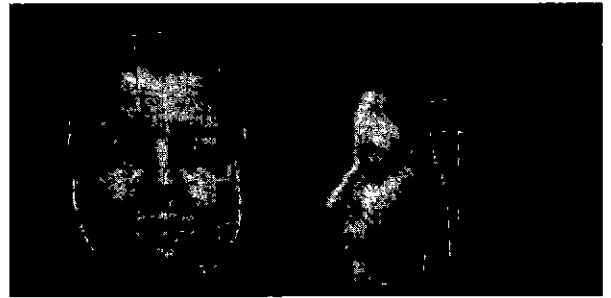


그림 4 얼굴 정면 측면 이미지에 맞춰 변형된 메쉬

#### 5. 결론 및 향후 연구

메쉬를 정면과 측면 이미지에 맞춰 정합하는 방법과 메쉬의 노드간 동적 구조를 적용한 메쉬의 생성 방법과, 생성된 메쉬에 이미지를 텍스처 매핑함으로써 3차원 개인 아바타 얼굴 생성에 관한 연구를 보였다. 연속된 이미지에서 얼굴 표정 추출 결과를 생성된 개인 얼굴 아바타 모델에 적용한 얼굴 애니메이션 구현을 연구 중에 있다.

#### 참고문헌

- [1] D. J. Burr, "Elastic Matching of Line Drawings", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 3, No.6, pages 708-713, 1981.
- [2] Marc Escher, N. M. Thalmann, "Automatic 3D Cloning and Real-Time Animation of a Human Face", Proc. Computer Animation, pages 58-66, 1997.
- [3] Y. Lee, D. Terzopoulos, Keith Waters, "Realistic Modeling for Facial Animation", Proc. ACM SIGGRAPH, pages 55-62, 1995.
- [4] F. Parke, "Parameterized Models for Facial Animation", IEEE Computer graphics and applications, 2(9):61-68, November 1982.
- [5] P. Pighin, J. Hecker, D. Lischinski, R. Szeliski, D. Salesin, "Synthesizing Realistic Facial Expression from Photographs", Proc. ACM SIGGRAPH, 1998.
- [6] M.J.T Reinders, B. Sankur, J.C.A van der Lubbe, "Transformation of a General 3D Facial Model to an Actual Scene Face", IAPR 1992.