

사실적인 3D 얼굴 모델링 시스템

김상훈*

Realistic individual 3D face modeling

Sang-Hoon Kim*

요 약

본 논문은 사실적인 3D 얼굴 모델링과 얼굴 표정 생성 시스템을 제안한다. 사실적인 3D 얼굴 모델링 기법에서 개별적인 3D 얼굴 모양과 텍스처 맵을 만들기 위해 Generic Model Fitting 기법을 적용하였다. Generic Model Fitting에서 Deformation Function을 계산하기 위해 개별적인 얼굴과 Generic Model 사이의 대응점을 결정하였다. 그 후, Calibrated Stereo Camera로부터 캡처된 영상들로부터 특징점을 3D로 복원하였다. 텍스처 매핑을 위해 Fitted된 Generic Model을 영상으로 Projection하였고 사전에 정의된 Triangle Mesh에서 텍스처를 Generic Model에 매핑 하였다. 잘못된 텍스처 매핑을 방지하기 위해, Modified Interpolation Function을 사용한 간단한 방법을 제안하였다. 3D 얼굴 표정을 생성하기 위해 Vector Muscle기반 알고리즘을 사용하고, 보다 사실적인 표정 생성을 위해 Deformation 과 vector muscle 기반의 턱 rotation을 적용하였다.

ABSTRACT

In this paper, we present realistic 3D head modeling and facial expression systems. For 3D head modeling, we perform generic model fitting to make individual head shape and texture mapping. To calculate the deformation function in the generic model fitting, we determine correspondence between individual heads and the generic model. Then, we reconstruct the feature points to 3D with simultaneously captured images from calibrated stereo camera. For texture mapping, we project the fitted generic model to image and map the texture in the predefined triangle mesh to generic model. To prevent extracting the wrong texture, we propose a simple method using a modified interpolation function. For generating 3D facial expression, we use the vector muscle based algorithm. For more realistic facial expression, we add the deformation of the skin according to the jaw rotation to basic vector muscle model and apply mass spring model. Finally, several 3D facial expression results are shown at the end of the paper.

키워드

Facial Modeling, Alibrated 3D Reconstruction, Facial Expression Generation, Vector Muscle Algorithm
얼굴 모델링, 3D 복원, 얼굴 표정 생성, 벡터 근육 알고리즘

1. 서론

영상으로부터 3D 정보 획득 및 사실적인 3D 얼굴 모델을 생성하는 것은 컴퓨터 그래픽과 비전 분야에서 도전적인 분야이다[1,2,3,4,5,6]. 3D 얼굴 모델링 기술은 영화 컴퓨터 게임 화상 회의 등과 같은 분야에

서 사용되고 있다. 70년대부터 3D 얼굴 모델링에 많은 시도가 있었다. Lee[7]는 레이저 스캐너로부터 스캔된 데이터를 이용하여 얼굴 모델링 생성하고 Anatomical Muscle-based Model을 더하여 얼굴 표정을 만들었다. 레이저 스캐너를 이용한 3D 얼굴 복원 방법은 매우 사실적으로 얼굴 모양과 텍스처를 제

* 교신저자(corresponding author) : 제주한라대학교 방송영상과(shkim0207@chu.ac.kr)
접수일자 : 2013. 06. 24

심사(수정)일자 : 2013. 07. 23

게재확정일자 : 2013. 08. 23

공한다. 그러나 실제 사용면에서 레이저 스캐너 장비는 매우 고가이고 불편하다. 그러므로 본 논문에서는 레이저 스캐너와 같은 추가 장비 없이 디지털 카메라를 이용한 사실적인 얼굴 모델을 생성하는 것을 목표로 한다. W. S. Lee[8]는 두 개의 Orthogonal view 영상으로부터 3D 얼굴 모델을 빠르고 간단하게 복원하는 방법을 제안하였다. 그리고 이러한 방법은 각 방향에서 얼굴의 정면과 측면이 획득되어야 한다는 단점을 가지고 있다. Pighin[9]은 사전에 생성된 Generic 모델을 하나의 카메라로부터 획득된 몇 장의 영상으로부터 복원된 3D 특징점으로 Fitting하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 매우 사실적인 얼굴 모델을 복원할 수 있었으나, 특징점을 매뉴얼하게 찾아야 하고 일반적인 특징점으로는 복원이 불가 하였다. 또한, 사용자가 움직이면 특징점을 부정확하게 추출 되기 때문에 움직임에 단점이 있다. 특징점에 따라 전역 얼굴 모양이 변형 될 수 있기 때문에 Generic Model을 이용한 3D 얼굴 모델을 위해 특징점을 복원하는 것은 매우 중요한 부분이다.

본 논문에서는 3개의 고정된 카메라로부터 한 번에 획득된 영상들을 이용하여 3D 얼굴 모델을 생성하는 방법을 제안한다. 기존 연구들과 달리 영상을 순차적으로 영상을 획득 하지 않기 때문에 정확한 대응점을 추출할 수 있었다. 또한 사용자의 위치를 고정한다거나 정확하게 카메라 방향으로 응시해야 한다는 제약 조건이 없다.

2장에서는 개인별 3D 얼굴 모델을 생성하는 방법을 보인다. 사실적인 3D 얼굴 모델을 생성하기 위해 개별 텍스처 매핑 방식에 맞게 Generic 모델을 사용하였다. 영상에서 정확한 텍스처를 추출하기 위해 3D 보간 함수를 2D로 수정하였다. 이후 3D 얼굴에 대한 텍스처 맵을 추출 할 수 있었다. 3장에서는 비현실적인 요소를 조정하는 효과적인 벡터 근육 기반의 3D 얼굴 표정 생성 기법을 소개 한다. 마지막으로 결론과 추후 연구에 대해 토의 한다.

II. Individual 3D head modeling

Generic 모델을 사용하여 3D 얼굴 모델을 생성하기 위해서 대응하는 2D 특징점으로부터 3D 점들을

복원해야 하고 복원된 3D 특징점에 Generic 모델을 맞추어야 한다. Deformation 함수에 전체 모양에 관한 정보를 제공하기 위해 Generic 모델에 맞추어지게 될 충분한 특징점이 복원되어야 한다. 실험에서 귀 영역 뿐만 아니라 눈, 코, 입술 특징점들은 개별 얼굴 모양을 나타내기 위해 복원된다. 이 장에서 제안된 방법의 효과를 테스트 하기 위해 특징점을 매뉴얼하게 추출한다. Generic 모델 피팅 이후 영상들로부터 조정된 3D 얼굴 모델에 개별적으로 텍스처를 매핑한다.

2.1 3D calibrated reconstruction

스테레오 카메라로부터 3D 포인트를 복원하기 위해, 두 카메라를 보정해야 하여 두 영상에서 대응점을 측정해야 한다. 카메라의 Intrinsic과 Extrinsic 파라미터는 Camera Calibration에 의해 계산된다. Intrinsic 파라미터는 카메라의 내부 정보이며 World 좌표와 영상 좌표의 2D 포인트와 3D 포인트 사이의 관계에 의해 계산되는 Camera Projection Matrix를 분해 함으로써 추출할 수 있다. Extrinsic 파라미터는 회전과 이동과 같은 두 카메라간의 외부 정보를 나타낸다. 이는 Epipolar Geometry에 두 카메라간의 Fundamental Matrix를 사용하여 계산 될 수 있다. Fundamental Matrix를 계산하기 위해 Normalized 8-point 알고리즘을 사용하였다[10]. 그림 1.은 Intrinsic과 Extrinsic 파라미터 추출 절차를 보이고 있다.

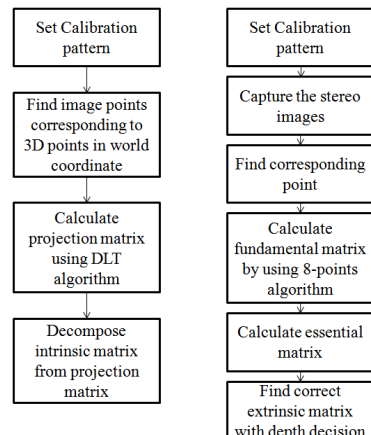


그림 1. 외부/내부 파라미터 추출의 절차
Fig. 1 Process for acquiring Extrinsic & Intrinsic parameters

오프라인으로 Calibration 이후 3D 특징점을 복원하기 위해 두 카메라 사이의 대응점을 측정한다. 대응점을 쉽게 찾기 위해 라인 레이저, 프로젝터 등의 Active 장치를 사용할 수 있지만 본 논문에서는 Active 장치 없이 3D 얼굴 모델을 생성하는 것이 목적이기 때문에 대응점은 피동적으로 찾았다. 본 논문에서는 대응점을 매뉴얼하게 선택했지만 추후 연구에서 Active Shape Model(ASM)과 Active Appearance Model(AAM)과 같은 잘 알려진 특징 추출 기법을 이용하여 자동 특징 추출 알고리즘을 사용할 예정이다 [11, 12]. 그림 2에서 왼쪽 카메라 영상에서 대응점과 3D 특징점 복원 결과를 보이고 있다.

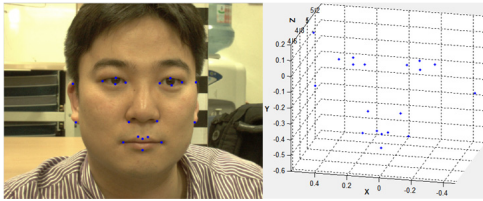


그림 2. 대응점에 따른 3D 복원 결과
Fig. 2 3D reconstructio results according to correspondences

2.2 Generic 모델 피팅

Generic 모델에서 3D 포인트와 Vertex사이의 대응점을 결정하는 것과 3D 포인트를 복원 후에 Generic 모델에서 복원된 3D 포인트와 대응하는 Vertex 사이의 Deformation 함수를 유추 할 수 있다. 그 후 Deformation 함수를 사용하여 Generic 모델에서 다른 포인트를 변형한다. 이로한 절차를 Generic 모델 피팅이라 하고 Deformation Function은 분산 데이터 보간 함수가 될 수 있다. 다양한 보간 기법 중에 본 논문에서는 Radial Basis 함수[10]를 사용하였다. 만약 p' 포인트가 함수에 의한 변형된 포인트 P 와 같으면, 그것을 $p' = f(p)$ 으로 유도 할 수 있다. 보간 점 함수로 Radial Basis 함수를 설명하면 함수는 다음과 같이 식으로 정의된다.

$$f(p) = \sum_i c_i \phi(\|p - p_i\|) \tag{1}$$

여기에서 $\phi(r)$ 는 방사형 Symmetric Basis Function이다.

이러한 보간 함수의 일반적인 형태는 Affine 변형을 모델하기 위해 Low-order Polynomial Terms을 추가하는 것으로 추출할 수 있다. 이러한 표현은 아래 식과 같다.

$$f(p) = \sum_i c_i \phi(\|p - p_i\|) + Mp + t \tag{2}$$

미지의 coefficient c_i Affine 파라미터 M 과 t 를 결정하기 위해, 식 (2)를 변환하여 Linear Matrix Form $AX = B$ 로 만든 후 일반적인 Linear 식 해석 방법으로 해를 결정하였다.

A, X, B 는 아래와 같은 matrix 형태로 표현된다.

$$A = \begin{bmatrix} \phi(\|p_1 - p_1\|) \cdots \phi(\|p_1 - p_n\|) p_{1x} p_{1y} p_{1z} 1 \\ \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \vdots \\ \phi(\|p_n - p_1\|) \cdots \phi(\|p_n - p_n\|) p_{nx} p_{ny} p_{nz} 1 \\ 1 \quad \cdots \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \\ p_{1x} \quad \cdots \quad p_{2x} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \\ p_{1y} \quad \cdots \quad p_{2y} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \\ p_{1z} \quad \cdots \quad p_{2z} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(n+4) \times (n+4)} \tag{3}$$

$$X = [c_1 \cdots c_n M t]^T \in \mathbb{R}^{(n+4) \times 3} \tag{4}$$

$$B = [q_1 \cdots q_n 0 0 0 0]^T \in \mathbb{R}^{(n+4) \times 3} \tag{5}$$

여기에서 n 은 대응 특징점의 수이고, $p_i = (p_{ix}, p_{iy}, p_{iz})$, $p'_i = (p'_{ix}, p'_{iy}, p'_{iz})$. 다음 으로 의 사역행렬을 이용하여 선형식의 해를 결정하였다. 그림 3 은 3명의 얼굴에 대해 Generic 모델을 정합한 결과이다.

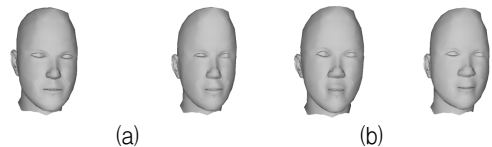


그림 3. 개인별 Generic 모델, (a) Generic 모델, (b) 피팅결과
Fig. 3 Individual Generic Model, (a) Generic model (b) fitting results

2.3 Texture Mapping

보다 사실적인 3D 얼굴 모델을 만들기 위해 취득된 영상으로부터 텍스처를 추출하고 매핑하는 기술이 필요하다. 취득 영상으로부터 텍스처를 추출하기 위해, 우선 취득된 2D 영상으로부터 모델링 과정에서 생성한 변형된 Generic 모델로 재 투영한 후 해당 텍스처를 매핑하는 관계를 계산하였다. 이 과정에서 모든 2D 좌표에 대해 계산하려면 상당한 시간이 소요되기 때문에, 삼각 메쉬 형태로 만들어 재 투영한 후 내부 텍스처를 동시에 추출하는 방법을 사용하였다. 문제는 재 투영시 가려진 부분에 의해 중복된 텍스처가 추출 된다는 것이다. 이를 해결하기 위하여 후면 제거와 은면 제거 방법을 적용하였다.

단순히 카메라의 중심에서 3D 머리 모델과 얼굴의 법선 벡터의 정점 벡터 사이의 각도를 결정하여 후면 제거를 구현하였다. 카메라 중심에서 정점과 다시 얼굴 없는 경우는 90도 이상 포함하는 면의 법선 벡터에 벡터 사이의 각도이다. 쉽게 다시 얼굴을 결정하기 위해, 단지 두 벡터 사이의 내적을 계산한다. 이때 Inner product가 positive이면 후면이다.

$$\text{Backface} = (\mathbf{N} \cdot \mathbf{V} > 0) = (|\mathbf{N}| |\mathbf{V}| \cos \theta > 0) \quad (6)$$

투영된 정점이 정확히 머리의 외형을 따라 피팅되지 않으면 또 다른 문제를 야기한다. 영상에서 얼굴 영역의 투사 정점이 배경으로 잘못 매핑될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 머리의 외형에 투영 정점을 조정하는 간단한 방법을 제안한다. 머리의 외형을 추출하는 다양한 알고리즘이 있기 때문에 머리의 외부 형태는 안다고 가정한다. 그 후 예상 정점의 Convex Hull을 결정할 수 있고 랜덤하게 Convex Hull에 정점을 선택한다. 이러한 정점을 소스 포인트로 간주한다. 얼굴의 외부 모형을 알고 있기 때문에 랜퍼런스 포인트와 Convex Hull에 선택된 정점들로부터 얼굴 외형에 가장 가까운 점을 계산 할 수 있다. 다음으로 2장에서 설명한 보간 함수를 수정 한다. 끝으로, 잘못된 텍스처를 가진 머리의 외형에 투영 정점을 조정 할 수 있다. 그림 4.는 제안된 방법을 적용한 결과와 적용 전을 보이고 있다. 그림 5.는 세 사람에게 대한 3D 얼굴 모델링 결과를 보이고 있다. 그림으로부터 제안된 방법의 결과를 확인 할 수 있다.

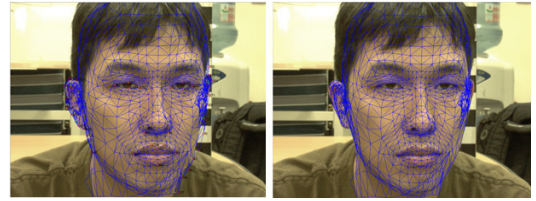


그림 4. 제안된 방법의 결과
Fig. 4 Result of proposed method

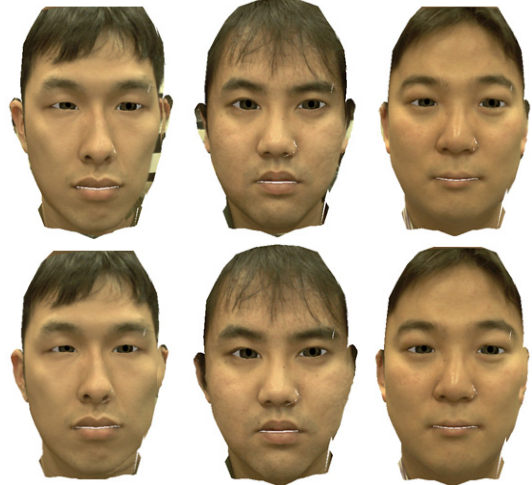


그림 5. 제안된 방법의 적용 전(상), 후(하)
Fig. 5 Apply to proposed method before & after

III. 3D 얼굴 표정

Parke[13] 이후로 얼굴의 표정을 생성하려는 많은 시도가 있었다. 이 장에서는 K. Waters[14]의 벡터 근육 알고리즘을 사용하여 이전 장에서 생성한 3D 얼굴 모델을 사용 하여 얼굴 표정을 생성한다. 보다 사실적인 얼굴 표정 생성을 위해, 원래 표정 결과에 간단한 방법을 추가한다.

3.1 벡터 근육 알고리즘

벡터 근육 알고리즘은 K. Waters에 의해 제안되었다. 알고리즘은 오래전에 제안되었지만 복잡도에 비해 다른 방법들에 비해 장점을 가지고 있기 때문에 여전히 널리 사용되고 있다. 벡터 근육 알고리즘에는 Linear, Sphincter, Sheet의 3가지 형태의 근육이 있다. Linear 근육은 2D에서 팬 모양과 3D에서 콘 모양

을 갖고 있다. 실제 인간의 근육 모델은 점탄성 특성의 세 가지 제어 매개 변수가 있고 각 변위 요인과의 근육 스프링 상수가 있다. 그림 6은 Linear 근육의 원리를 보이고 있다. 초기정점 P' 로부터 P 로 변위는 Linear 근육에 의해 다음 식을 유도한다.

$$\mathbf{P}' = \mathbf{P} + K \cdot A \cdot R \cdot (\mathbf{V}_1 - \mathbf{P}) \quad (7)$$

여기서 K 는 근육 스프링 상수이고, A 는 각도 변위 요소이며, R 은 Radial 변위 요소이다.

각도변위 요인은 A 은 각도 $\angle PV_1V_2$ 에 대한 근육의 영향을 나타내고 다음 식을 유도한다.

$$A = \cos\left(\frac{\mu}{\Omega/2} \times \frac{\pi}{2}\right) \quad (8)$$

여기에서 μ 는 $\overline{\mathbf{V}_2\mathbf{V}_1}$ 과 $\overline{\mathbf{P}\mathbf{V}_1}$ 사이의 각도 이다.

Radial 변위 요소 R 은 V_1 로부터 거리에 따른 근육의 영향을 나타낸다. R 은 Fall-off 시작 거리까지 증가하고 Fall-off 최종거리까지 줄어든다. 다음 식은 초기 정점의 위치에 따른 비누이 요인의 반경 특성을 나타낸다.

$$R = \cos\left(\left(1 - \frac{D}{R_s}\right) \cdot \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{for } \mathbf{P} \text{ inside } \mathbf{V}_1\mathbf{P}_n\mathbf{P}_m \quad (9)$$

$$R = \cos\left(\frac{D - R_s}{R_f - R_s} \cdot \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{for } \mathbf{P} \text{ inside } \mathbf{P}_n\mathbf{P}_r\mathbf{P}_s\mathbf{P}_m \quad (10)$$

근육 스프링 상수 K 는 근육 탄성 특성을 나타낸다. 큰 스프링 상수는 정점이 피부에 이동할수 있는 변위이다.

Sphincter 근육의 경우 2D에서 타원체이고 3D에서 에그 모양이다. 이것은 단지 타원체 중심과 근육의 정점 사이에 거리와 관계된 매개변수에 의해 영향을 받는다. Sphincter 근육에 의한 변위는 변위 타원 방정식을 재정리하여 아래와 같은 식으로 유도 가능하다.

$$\mathbf{P}' = \mathbf{P} + K \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{l_M^2 \cdot p_m^2 + l_m^2 \cdot p_M^2}}{l_M \cdot l_m}\right) \cdot (\mathbf{P} - \mathbf{C}) \quad (11)$$

여기서 K 는 근육 스프링 상수이고 l_M 과 l_m 은 타원의 장축과 단축의 거리이며, p_M 와 p_m 는 정점의 X축과 Y축 좌표이다.

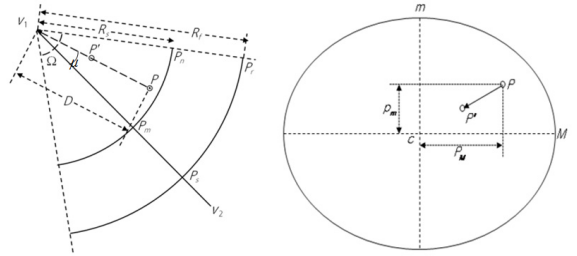


그림. 6 Linear 근육과 Sphincter 근육
Fig. 6 Linear muscle & Sphincter 근육

3.2 Opening mouth and adjusting triangle mesh

실제 사람의 얼굴에서 하악에 부착된 피부는 입이 열릴 때 하악의 이동 경로에 따라 변형 될 수 있다. 하악과 상악 사이에 축에 따라 회전할 때 대부분의 경우 입열기가 발생한다. 따라서 이동하는 턱에 따른 피부 변형을 표현하기 위해 모델을 설정해야 한다. 본 논문에서는 피부 변형을 통해 피부영역을 턱과 동일하게 돌린다. 그림 7.과 같이 Generic 모델에서 턱 영역과 회전축이 매뉴얼하게 선택되어진다. 단지 아래 입술이 회전하기 때문에 그 사이에 다른 방향으로 입술의 코너가 연장 되는 문제가 발생 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Generic 모델에서 삼각형의 모서리에 매스 스프링 개념을 적용할 수 있다. 다이내믹 스프링 시스템을 위한 모션의 이산 라그랑지 수식은 Coupled second-ordinary 미분 방정식의 시스템이다.

$$m_i \frac{d^2 \vec{x}_i}{dt^2} + \gamma_i \frac{d \vec{x}_i}{dt} + \vec{g}_i = \vec{f}_i, \quad i=1, \dots, N \quad (12)$$

여기에서

$$\bar{g}_i(t) = \sum_{j \in N_i} \bar{s}_j, \bar{s}_j = \frac{c_j (\|\bar{r}_j\| - l_k)}{\|\bar{r}_j\|} \bar{r}_j, \bar{r}_j = \bar{x}_i - \bar{x}_{i+1}$$

l_k : natural length, c_k : spring stiffness (13)

식 (13)은 node i 의 총 힘이다. \mathcal{V} 은 마찰을 통해 변형 격자의 운동 에너지를 방출하기 위한 속도 의존 감쇠 계수이다[15]. 식(13)을 풀기 위해 Explicit Euler Method를 시간 단계 스텝 후에 사용한다[16]. 그림 8. 은 매스 스프링 방정식을 적용 전 후 턱 회전 결과를 보이고 있다.

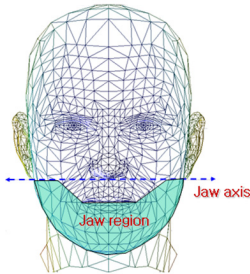


그림 7. 턱 축 및 턱 영역
Fig. 7 Jaw reason and jaw axis



그림 8. 턱 회전 결과
Fig. 8 Result of the jaw rotation

V. 결론

본 논문에서 사실적인 3D 얼굴 모델링 및 애니메이션 시스템을 제안했다. 순차적인 영상을 이용한 3D 포인트 재구성 기법은 사용자가 움직이면 안되기 때문에 제약조건이 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 한번에 영상을 획득 하기 때문에 제한이 없으며 신속히 3D 특징점을 복원할 수 있다. 개별 3D 얼굴 모양을

생성하기 위해 Generic 모델을 복원 특징점에 피팅하였다. 텍스처 매핑에서 카메라에 따라 머리를 조정한 후 개별적으로 정의되어 있는 Generic 모델에 정의된 삼각형에 텍스처를 투영하였다.

3D 얼굴 표정 애니메이션을 위해 간단하지만 효과적인 벡터 근육 모델 알고리즘을 적용하였다. 벡터 근육 알고리즘을 추가하여 턱의 회전에 따라 피부 변형을 결정하고 입술 끝에서 급격한 위아래에 의해 발생된 일부 비현실적인 결과를 보완하기 위해 매스 스프링 모델을 적용하여 사실적인 3D 얼굴 표정을 생성하였다. 이러한 과정을 통해 획득한 3D 얼굴 표정 데이터는 애니메이션 및 영화의 특수 효과 등에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

본 논문에서는 대응점을 매뉴얼하게 선택했지만 추후 연구에서 Active Shape Model(ASM)과 Active Appearance Model(AAM)과 같은 잘 알려진 특징 추출 기법을 이용하여 자동 특징 추출 알고리즘을 사용할 예정이다

참고 문헌

- [1] D.Terzopoulos and K.Waters, "Physically-based facial modeling, analysis, and animation", The Journal of Visualization and Computer Animation, Vol. 1, No. 4, pp. 73-80, 1990.
- [2] V.Blanz, T.Vetter, "A morphable model for the synthesis of 3D faces", in SIGGRAPH 99 Conference Proceedings, ACM SIGGRAPH, pp. 187-194. 1999.
- [3] N.Ersotelos, F.Dong, "Building highly realistic facial modeling and animation: A survey", Visual Computer, Vol. 24, issue 1, pp. 13-30. 2008.
- [4] Tae-eun Kim, You-Shin Park, "Facial Animation Generation by Korean Text Input", The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 4, No. 2, pp. 116-122, 2009.
- [5] Sang-Hoon Kim, Tae-eun Kim, "A study on underwater 3D contents production", The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 3, pp. 529-536, 2012.
- [6] Seung-II Cho, Jong-Chan Kim, Kyeong-Jin Ban,

저자 소개

김상훈(Sang-Hoon Kim)



1999년 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2002년 중앙대학교 첨단영상대학원 대학원 영상공학과 졸업(공학석사)

2008년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 졸업(공학박사)

2009년 연세대학교 연구교수

2011년~현재 제주영상위원회 이사

2010년~현재 제주한라대학교 방송영상과 교수

※ 관심분야 : 3D입체영상, 증강현실, 컴퓨터비전

- Eung-Kon Kim, "A Study on 3D Panoramic Generation using Depth-map", The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 6, pp. 831-838, 2011.
- [7] Y.Lee, D.Terzopoulos, and K.Waters, "Realistic modeling for facial animation," SIGGRAPH conference proceedings, pp. 55-62, ACM SIGGRAPH, August 1995.
- [8] W.S.Lee, N.M.Thalmann, "Generating a population of animated faces from pictures," IEEE International workshop on model people, pp. 62-69. 1999.
- [9] F.I.Parke, "Computer generated animation of faces," Proceedings of ACM conference, Vol. 1, pp. 451-457, 1972.
- [10] R.Hartley and A.Zisserman, "Multiple view geometry in computer vision," Cambridge university press, 2000.
- [11] T.F.Cootes,G.Edwards and C.Taylor, "Active appearance models," IEEE Trans. Pattern Anal.Mach.Inell. Vol. 23, No. 6, pp. 681-685, 2001.
- [12] T.Cootes, D.Cooper, C.Taylor, and J. Graham, "Active shape models- their training and application," Computer Vision and Image Understanding, Vol. 61, No.1, pp. 38-59, 1995.
- [13] F.I.Parke, K.Waters, "Computer facial animation," 2ndedition,AKPeters,Ltd., 1996.
- [14] K.Waters, "A muscle model for animating three-dimensional facial expression", IGGRAPH 87 Conference proceedings, Vol. 21, pp. 17-24, ACM SIGGRAPH, 1987.
- [15] F.Pighin, J.Hecker, D.Lischinski, P.Szeliski, D.H.Salesin", nthesizing realistic facial expressions from photographs," Proceedings of ACM Computer Graphics (SIGGRAPH '98), pp. 55-66, 1998.
- [16] W.Press, B.Flanney, S.Teukolsky, and W.Vetterling. "Numerical Recipes: The Art of scientific computing", ambridge university press, 1986.

