

논문 2005-42CI-3-7

# 효과적인 얼굴 가상성형 모델을 위한 얼굴 변형 기법

## ( Face Deformation Technique for Efficient Virtual Aesthetic Surgery Models )

박 현\*, 문 영 식\*\*

( Hyun Park and Young Shik Moon )

### 요 약

본 논문에서는 가상성형 시스템에 적합한 Radial Basis Function(RBF) 기반의 변형 기법과 변형된 얼굴 구성 요소를 얼굴 영상에 혼합하는 기법을 제시한다. 가상성형을 위한 변형 기법은 유동적인 얼굴 구성 요소들을 변형함에 있어 부드러움과 정확성을 가져야 하고 변형 부위 이외의 다른 얼굴 구성 요소에는 왜곡을 주지 않는 지역성도 가져야 한다. 이를 위해 제안된 가상성형 시스템은 자유형태 변형 모델을 기반으로 RBF에 의해 격자들의 변형 정도를 계산한다. 성형의 정확성을 위해 변형 오차는 기준곡선 정점들의 목표 위치와 실제 변형된 위치 사이의 오차제곱합을 이용하여 Singular Value Decomposition(SVD)에 의해 반복적으로 RBF 매핑 함수의 계수들을 계산하여 보정한다. 변형된 얼굴 구성 요소는 Euclidean Distance Transform(EDT)에 의해 계산된 혼합 비율을 사용하여 원본 얼굴 영상과 합성된다. 제안된 변형 기법과 합성 기법은 가상성형 결과의 정확도와 왜곡 측면에서 우수한 성능을 보인다는 것을 실험적으로 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we propose a deformation technique based on Radial Basis Function (RBF) and a blending technique combining the deformed facial component with the original face for a Virtual Aesthetic Surgery (VAS) system. The deformation technique needs the smoothness and the accuracy to deform the fluid facial components and also needs the locality not to affect or distort the rest of the facial components besides the deformation region. To satisfy these deformation characteristics, The VAS System computes the degree of deformation of lattice cells using RBF based on a Free-Form Deformation (FFD) model. The deformation error is compensated by the coefficients of mapping function, which is recursively solved by the Singular Value Decomposition (SVD) technique using SSE (Sum of Squared Error) between the deformed control points and target control points on base curves. The deformed facial component is blended with an original face using a blending ratio that is computed by the Euclidean distance transform. An experimental result shows that the proposed deformation and blending techniques are very efficient in terms of accuracy and distortion.

**Keywords :** Virtual Aesthetic Surgery, Deformation, Radial Basis Function, Blending

### I. 서 론

최근 영상매체가 발달하면서 사람들의 외모에 대한 관심은 증대되었고, 의료 기술의 발달로 성형 수술을 통하여 개개인의 외모에 대한 욕구를 충족시킬 수 있게

되었다. 얼굴은 조금만 변하더라도 전체적인 인상에 많은 영향을 주기 때문에, 사람들은 성형 수술을 받기 전에 성형후의 자신의 모습을 사실적이고, 정확하게 예측할 수 있는 가상성형 시스템을 필요로 하게 되었다<sup>[1]</sup>.

가상성형 시스템은 이러한 사람들의 요구에 맞도록 영상 변형 기법과 다양한 필터를 사용하여 얼굴 구성 요소에 다양한 성형 효과를 줄 수 있도록 구성된다.

컴퓨터를 이용한 가상성형 시스템의 기반기술인 2D 및 3D 얼굴 변형 모델은 크게 물리법칙 기반 모델 (Physically-based model)과 비 물리법칙인 Terminal

\* 정회원, \*\* 정회원-교신저자, 한양대학교 컴퓨터공학과 (Dept.of Computer Science and Engineering, Hanyang University)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2005년2월16일, 수정완료일: 2005년5월4일

analogue 모델로 나눌 수 있다<sup>[2]</sup>. 물리법칙 기반 모델은 mass spring 및 finite element 모델 등을 이용하여 얼굴 연조직(soft tissues) 과 근육(muscles) 사이의 구조 및 기능들을 물리적으로 모델링한다<sup>[1][2]</sup>. mass spring 모델은 얼굴 메쉬의 정점들을 스프링(spring)으로 대응시켜 피부에 주어지는 힘에 대한 정점의 위치를 물리법칙에 기반하여 변화시켜 줌으로서 사실감을 부여한다<sup>[3][4]</sup>. finite element 모델은 예측 후 계산 정확도가 절실하게 요구되는 의학 분야에 강점이 있는 방법이다<sup>[5]</sup>. 물리법칙 기반 모델들은 높은 정확도 때문에 얼굴 기형을 보정하는 외과적 수술 시스템등에 사용되고 있지만 변형에 대한 모델 정의가 어렵고 계산량이 많다는 단점이 있다. 또한 다양한 얼굴 구성 요소들을 표현하지 못하고 일반적으로 얼굴 텍스처에 대한 고려가 없기 때문에 미용 가상성형처럼 얼굴 텍스처를 중요시 여기고 실시간으로 다양한 얼굴 변형 결과를 알고자 하는 분야에는 적합하지 않다.

얼굴 표정 변환 및 얼굴 변형을 위한 비 물리법칙 기반 모델들은 일반적 애니메이션 기법인 모핑(morphing)과 공간 변형(spatial deformations)들이 사용된다. Lee 등은 Multilevel Free-Form Deformation(MFFD)을 사용하여 변형에 있어서 중요한 1대1 대응(one-to-one mappings) 문제인 메쉬 중복 문제(foldover)를 해결한 모핑기법을 제시한다<sup>[6][7]</sup>. MFFD 모델은 격자상에 위치 제약 조건을 적용하여 특징점들을 조정함으로써 얼굴 변형을 수행한다. 전역적 변형 특성만을 이용하기 때문에 얼굴 구성 요소들간의 왜곡이 발생하게 되며 얼굴 텍스처에 대한 고려가 없다. Beier 와 Neely등은 좌표계 매핑을 정의하기 위해서 입력영상과 출력영상에 제어선들을 사용하는 범위 기반 와핑(field based warping)을 제시한다<sup>[7][8]</sup>. 변형을 나타내는 제어선은 제어가 쉽지만 유선형인 얼굴의 구성요소를 정확히 표현하기엔 부적합점이 있어 가상성형엔 적합하지 않다.

Lin 과 Huang 은 얼굴 표정 변환 및 애니메이션을 위하여 Radial Basis Functions(RBFs)과 특징점들의 이동량을 이용한다<sup>[9]</sup>. 표현이 쉽고 빠른 장점에 비해 얼굴 표정 변환에 초점을 맞춰 변형에 대한 정확성과 다른 구성요소에 대한 왜곡을 고려하지 않는 단점을 가진다. Noh 와 Fidaleo 은 3D 얼굴 표정 변환을 위하여 얼굴 메쉬 상의 변형이 가능한 정점들을 정의하고 제어점들에 의해서 그 정점들의 위치 변이 정도를 RBFs를 이용하여 계산한다<sup>[10]</sup>. 지역적 변형 특성을 갖도록 정의한 반면 변형에 대한 정확성과 텍스처 왜곡 현상에 대해선

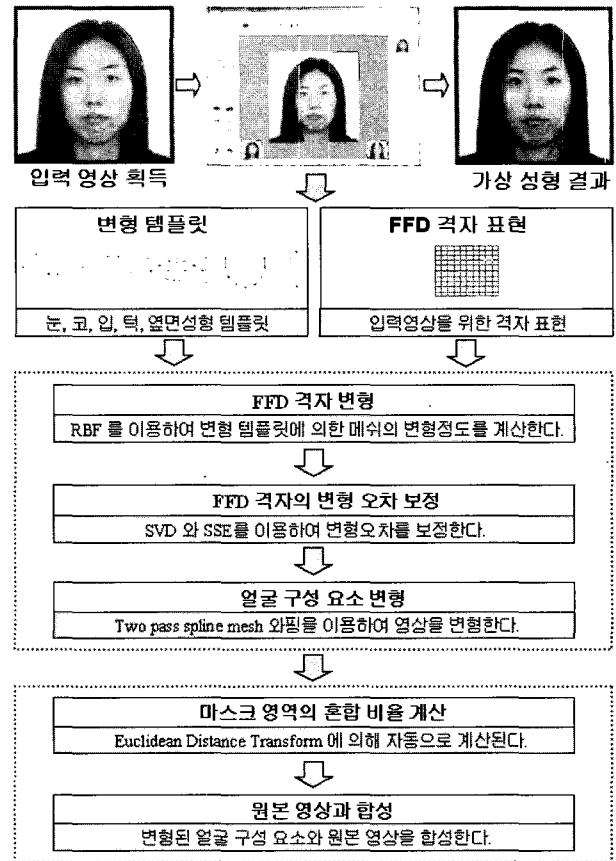


그림 1. 가상성형 시스템  
Fig. 1. Virtual Aesthetic Surgery.

고려하지 않는다.

얼굴 가상성형 시스템은 얼굴 특징들을 부드럽게 변형하면서도 정확성을 유지해야 하며 변형 부위 이외의 얼굴 특징 요소(눈, 코, 입, 턱 등등)들에 대해서는 서로 왜곡을 주지 않는 지역적 변형 특성을 가져야 한다. 또한 가상성형에서 중요한 칼라 기반의 얼굴 텍스처에 최대한 왜곡이 발생하지 않도록 해야 한다.

본 논문에서 제안한 가상성형 시스템은 위의 특징들을 갖도록 하기 위해 크게 얼굴 변형 기법과 합성 기법으로 구성된다. 얼굴 변형 기법은 얼굴 구성 요소의 부드러운 변형 결과를 얻기 위해 자유형태 변형(FFD)을 사용하여 얼굴 영상을 표현하고 가상성형을 위해 제안된 RBF를 사용하여 FFD 격자들을 변형한다. RBF는 적은 계산량으로 각 정점들이 받을 변형 정도를 효과적으로 계산할 수 있기 때문에 실시간 가상성형 시스템등에서 좋은 결과를 얻을 수 있다. 마지막으로 가상성형의 정확성을 위해 오차제곱합(SSE)을 이용하여 SVD에 의해 FFD 격자의 변형 오차를 보정한다. 본 논문에서 사용한 얼굴 변형 기법은 Pixar Animation Studios와

Princeton University에서 제안한 확장이 용이한 변형 구조를 이용하여 구성된다<sup>[11]</sup>.

얼굴 합성 기법은 가상성형에서 중요한 요소인 칼라 얼굴 텍스처에 얼굴 변형시 왜곡이 발생하지 않도록 하기 위한 방법이다. 먼저 혼합될 마스크 영역에 대해 Euclidean Distance Transform(EDT)를 이용하여 혼합 비율을 자동으로 계산한 후 변형된 얼굴 구성 요소와 원본 영상을 합성함으로써 최종 성형 결과를 얻는다.

그림 1은 제안된 가상성형 모델의 전체 시스템을 나타낸다.

## II. 가상성형 모델을 위해 제안된 변형 기법

실제 FFD 격자들의 변형정도를 계산하는 RBF 보간법의 특징을 분석하고 가상성형 시스템을 위한 3가지 조건을 제시하여 그 조건을 만족하는 RBF 매핑 함수를 제안한다. 마지막으로 변형의 정확성을 위해 FFD의 변형 오차를 보정하는 방법에 대해서 기술한다.

### 1. RBF의 보간법(Interpolation)

RBF는 서로 다른 한점을 중심으로 원형적으로 대칭인 기저 함수들의 선형 결합으로써 적어도  $C^1$  연속성( $C^1$  Continuity)을 제공하는 보간 함수를 정의한다<sup>[7]</sup>. RBF는 부드러운 변형을 하면서 지역적 변형 성분과 전역적 변형 성분을 동시에 가질 수 있고 2차원 모델에서 3차원 모델로 바로 적용 가능한 특징 때문에 얼굴 표정 변형 및 영상 정합에 많이 사용되고 있다<sup>[7][10]</sup>.

RBF 매핑 함수(Mapping Function)는 차원이  $k$  일 때 기본적으로 식(1)과 같이 표현한다<sup>[12]</sup>.

$$T(\vec{x}) = [f_1(\vec{x}), \dots, f_d(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})] \quad (1)$$

$x$  : 2차원 정점(x,y)

$T(x, y)$ 는 식(2)처럼 전역 성분과 지역 성분으로 분해 될 수 있다. 두개의 성분은 비록 별개이지만 단일 변환을 일으키므로 거의 동시에 계산된다.

$$f_k(\vec{x}_j) = P_{mk}(\vec{x}_j) + \sum_{i=1}^n A_{ik}g(r_i), r_i = |\vec{x}_j - \vec{x}_i| \quad (2)$$

$k$ : 차원,  $m$ : 다항식의 차수,  $n$ : 정점의 개수,

$A_{ik}$ : 계수,  $r_i$ : 두 정점간의 거리,

$(i, j = 1, \dots, n)$ ,  $\vec{x}_i, \vec{x}_j$ : 2차원 정점(x,y)

$P_{mk}(\vec{x})$ 는 전역적 변형 성분으로써  $m=1$  인 다항식은 전역 성분을 식(3)과 같이 Affine 변환으로 만든다. RBF를 얼굴 변형에 사용하는 경우 전역 성분을 무시하기도 한다.  $g(r_i)$ 는 RBF로써 Gaussian 형태와 Multiquadric(MQ)가 일반적으로 선택되어 사용되고 있고 전역적 변형 특성을 가지는 Thin-Plate Spline(TPS) RBF는 영상 Registration 등에서 많이 사용되고 있다.

$$P_{1k}(\vec{x}) = a_{0k} + a_{1k}x + a_{2k}y, \quad [m = 1] \quad (3)$$

$a_{0k}, a_{1k}, a_{2k}$  : 계수

### 2. 가상성형을 위한 Radial Basis Function

본 논문에서는 제안된 얼굴 가상성형 시스템을 위해 변형 기법이 가져야할 3가지 특성을 조건으로 제시한다.

- (1) 기준 곡선들의 정점(Control Point)의 수에 상관 없이 균일한 변형을 수행해야함.
- (2) 부드러운 변형 특성(Smooth)과 기준 곡선에 맞게 변형되는 정확성을 유지해야함.
- (3) 다른 부위의 변형이 생기지 않도록 지역적 변형 특성을 가져야 함.

그림 2은 다양한 RBF 중에서 Inverse Multiquadric RBF가 지역적 특성을 가장 잘 표현하는 Gaussian RBF와 비슷한 특성을 가지며 Gaussian RBF보다 좀 더 부드러운 지역적 특성을 갖도록 변형할 수 있다는 것을 보인다. 따라서 변형 기법은 Inverse Multiquadric RBF를 사용하여 제시한 3가지 조건을 만족하도록 정의

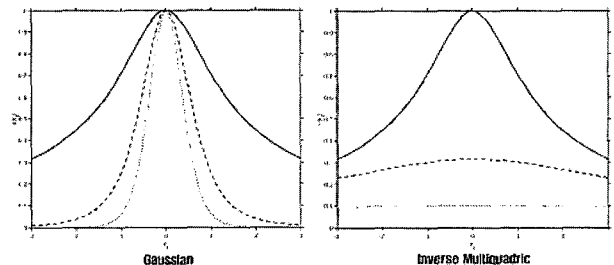


그림 2. Gaussian RBF 와 inverse multiquadric RBF의 비교 (a) Gaussian RBF, (b) inverse multiquadric RBF

Fig. 2. Comparison of Gaussian with inverse multiquadric RBF (a) Gaussian RBF, (b) inverse multiquadric RBF.

한다.

Inverse Multiquadric RBF는 식(4)와 같이 정점들에서의 지역적 변형 특성 또는 전역적 변형 특성을 제어하는 Stiffness  $s_i$  상수를 갖는 형태로 표현된다<sup>[10][13]</sup>.

$$g(r_i) = (r_i^2 + s_i^2)^{-\mu}, (i = 1, \dots, n), \quad (4)$$

$\mu$ : 상수

본 논문에서는 기존의 Stiffness 상수 값과는 반대로 정점들이 촘촘히 밀집해 있으면 각 정점에 의한 변형 정도를 약하게 하고 널리 퍼져 있으면 변형 정도를 강하게 갖도록 Inverse Stiffness 를 정의한다. Ruprecht 와 Müller가 제안한 적응적 방법에 따라 식(5)와 같이 Inverse Stiffness를 정의한다<sup>[14]</sup>.

$$inverse \ s_i = \max_{i \neq j} \left( \frac{|\vec{x}_j^{source} - \vec{x}_i^{source}|}{constant} \right) \quad (5)$$

$(i, j = 1, \dots, n), \ x_j^{source}$ : source 곡선상의 정점,

constant: 정점의 수

그림 3은 제안된 Inverse Stiffness 속성을 갖는



그림 3. 정점의 수에 따른 변형의 예 (a) 적은 수의 정점을 이용한 변형, (b) 많은 수의 정점들을 이용한 변형

Fig. 3. Deformation according to the number of control points (a) deformation by a few control points, (b) deformation by many control points.

Inverse Multiquadric RBF를 이용하여 변형 정도를 표현하는 정점의 수에 상관없이 동일한 변형 결과를 얻을 수 있는지를 실험으로 나타낸다. 그림 3(a)는 11개의 정점을 이용한 결과이며 그림 3(b)는 27개의 정점을 이용한 결과이다. 그림 3(a) 와 (b)의 오른쪽 영상에서 보듯이 정점의 수에 상관없이 부드러우면서 동일한 변형의 결과를 얻는다는 것을 볼 수 있다.

### 3. FFD 격자들의 변형 오차 보정

근사화 기법인 FFD는 물체의 표현 방식에 상관없이 다양한 변형을 생성할 수 있으며 얼굴특징과 같은 유동적인 물체변형에서 좋은 결과를 얻을 수 있다. 반면 특정 부분을 원하는 형태로 정확하게 변형하기가 어렵다는 단점도 가지고 있다. 본 논문에서 얼굴 변형은 총  $2(n+3)$ 개의 RBF 매핑 함수 계수(Coefficient)들을 SVD에 의해 계산하고 그 계산된 계수들과 RBF 매핑 함수를 이용하여 FFD 격자들을 변형한다.

FFD 특성에 의해 발생할 수 있는 얼굴 변형의 오차를 최소화 하기 위해 기준곡선 정점들의 목표 위치와 실제 변형된 위치 사이의 차이를 이용하여 식(6)과 같이 오차제곱합을 정의하고 그 값이 문턱값(Threshold) 이하로 내려갈 때까지 반복적으로 SVD를 사용하여 계수에 대한 해를 구함으로써 FFD 격자들의 변형 결과를 보정한다.

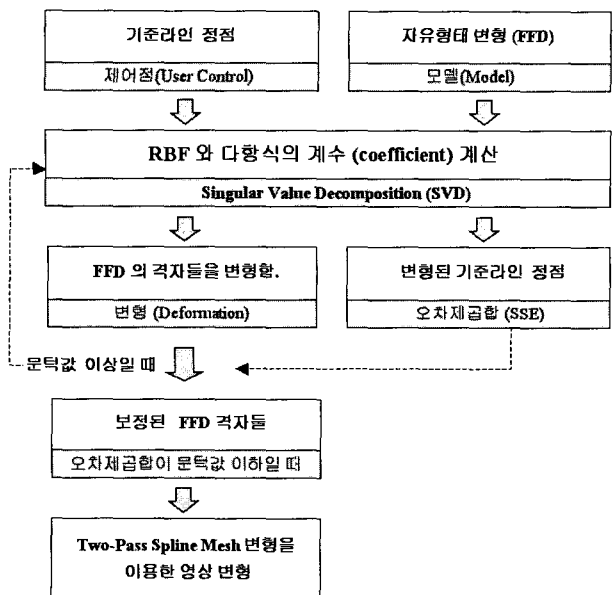


그림 4. 오차제곱합과 SVD를 이용한 오차 보정 과정  
Fig. 4. Error compensation process using SSE and SVD.

$$S = \sum_{i=1}^n \epsilon^2 = \sum_{i=1}^m (\vec{x}_i^{deformed} - \vec{x}_i^{target})^2 \quad (6)$$

$x_j^{target}$  : 대상 곡선상의 정점의 위치

$x_j^{deformed}$ : 실제 정점이 이동된 위치

최종적으로 보정된 FFD의 격자들을 이용하는 Two Pass Spline Mesh 와핑(Warping)을 얼굴 영상에 적용하여 얼굴 특징들을 변형한다. 그림 4는 변형 오차를 줄이기 위해 오차제곱합과 SVD를 사용하는 과정을 보여준다.

그림 5는 반복적으로 SSE 와 SVD를 사용하여 변형

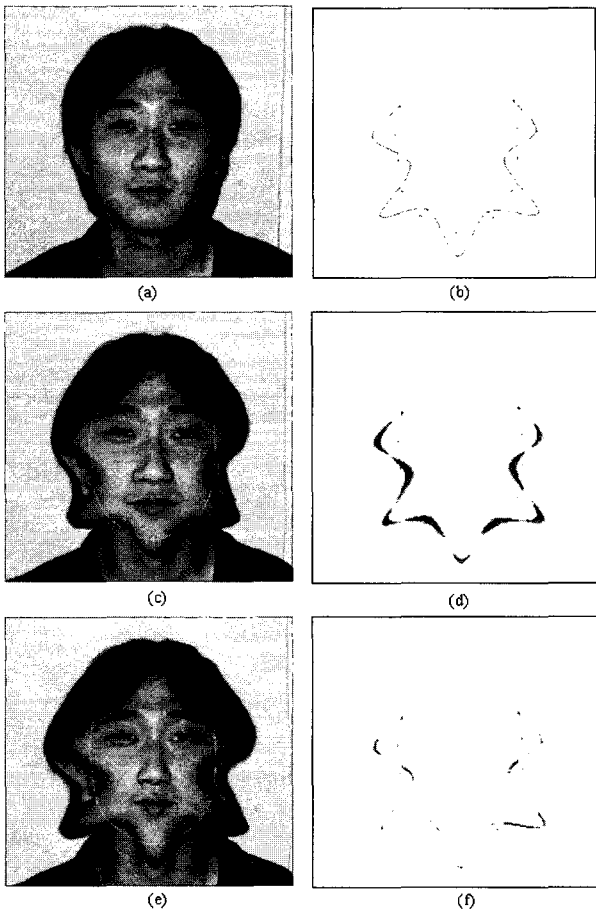


그림 5. 오차 보정 비교 (a) 원본 영상, (b) 변형 템플릿, (c) 오차를 보정하지 않은 변형, (d) (c)의 변형 오차, (e) 오차를 보정한 변형, (f) (e)의 변형 오차

Fig. 5. Comparison of error compensation (a) original image, (b) deformation template, (c) deformation without compensated lattice cells, (d) deformation error in (c), (e) deformation with compensated lattice cells, (f) deformation error in (e).

오차를 보정했을 때가 더 정확한 변형 결과를 얻을 수 있음을 보여준다.

### III. 가상성형 모델을 위해 제안된 합성 기법

얼굴 구성 요소마다 완벽한 지역적 변형 특성을 정의하기 어렵기 때문에 일반적으로는 주변의 가까운 다른 얼굴 요소에 왜곡이 발생하게 된다. 이러한 왜곡을 줄이면서 얼굴 변형시 칼라 얼굴 텍스처에 발생하는 왜곡을 최대한 줄이는 얼굴 합성 방법과 혼합 비율을 자동 계산하는 방법에 대해서 기술한다.

#### 1. Euclidean Distance Transform을 이용한

##### 혼합비율(Blending Ratio)의 계산

얼굴 가상성형 시스템은 특정 얼굴 요소의 변형이 다른 얼굴 요소의 고유한 특징에 왜곡을 발생시키지 않도록 지역적 변형 특성을 가져야 한다. 하지만 모든 얼굴 구성 요소의 변형에 적합한 지역적 변형 특성을 가진 RBF를 정의하기 어렵기 때문에 일반적으로는 주변의 가까운 다른 얼굴 요소에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 논문에서는 전역적 변형(global deformation)의 장점인 부드러움과 지역적 변형(local deformation)의 장점인 변형의 지역성을 갖도록 혼합 비율의 자동 계산에 의한 합성 기법을 제시한다.

먼저 혼합될 마스크 영역(Mask Region)을 계산한 후 내부 마스크 영역에서 가장 가까운 배경까지의 거리를 구하는 EDT를 이용하여 혼합 비율을 계산한다<sup>[15]</sup>. 변형된 얼굴 구성 요소와 원본 얼굴은 혼합 비율을 사용하여 합성함으로써 최종 성형결과를 만든다. 혼합 비율은 식(7)과 같이 EDT를 사용하여 계산한다.

$$D_{Euclid} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (7)$$

$$B_{ratio} = Scaling\ Factor * D_{Euclid}$$

$$I_{result} = (255 - B_{ratio}) * I_{original} + B_{ratio} * I_{deformed}$$

$D_{Euclid}$ : 가장 가까운 배경까지의 거리,

$B_{ratio}$ : 마스크영역에 대한 혼합비율,

$I_{result}$ : 결과영상,  $I_{original}$ : 원본영상,

$I_{deformed}$ : 변형된 영상

$Scaling\ Factor$ : 혼합비율이 [0, 255] 값을 갖도록 하는 비율값

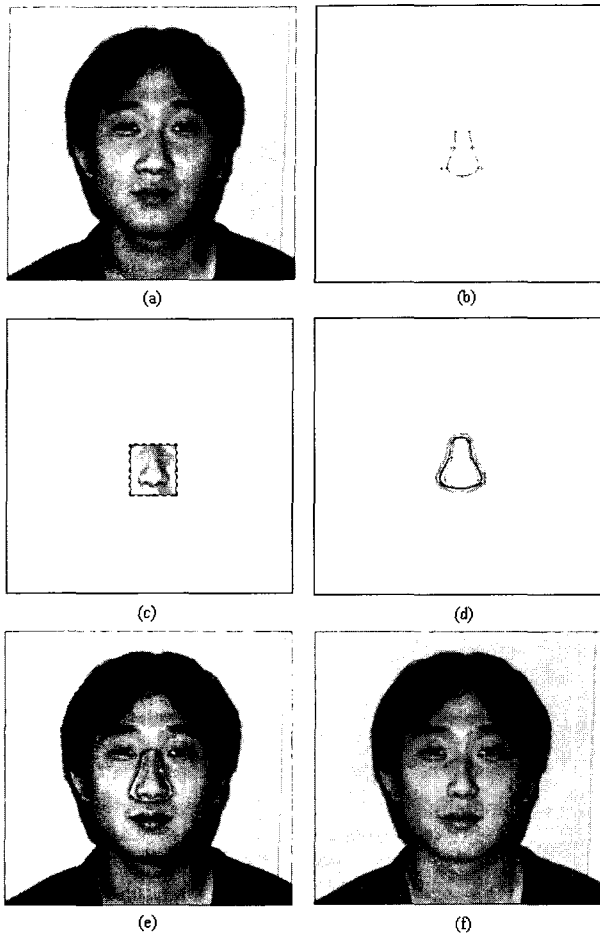


그림 6. 혼합 방법을 이용한 변형 (a) 원본 영상, (b) 코 변형 템플릿, (c) 얼굴 구성 요소의 변형, (d) 혼합 비율을 가진 마스크, (e) 혼합 비율에 따른 합성과정, (f) 최종 변형 결과

Fig. 6. Deformation using the blending technique (a) original image, (b) deformation template on nose, (c) deformation of facial component, (d) mask with blending ratio, (e) blending of the deformed facial component and the original face, (f) final result.

그림 6은 혼합 비율을 이용한 변형된 얼굴 구성 요소와 원본 영상을 합성하는 과정을 보인다. 그림 6(f)은 다른 얼굴 요소들에 왜곡을 발생시키지 않으면서 전체적으로 부드러운 결과를 얻는다는 것을 보여준다.

그림 7은 얼굴 변형 시 칼라 얼굴 텍스처에서의 왜곡 정도를 나타낸다. 그림 7(b) 영상의 변형된 코 주위 텍스처는 여드름 상처에 의해 조그맣게 패턴이 옆으로 길게 퍼지는 왜곡이 많이 발생하고 그림 7(c) 영상의 코 주위 텍스처는 원본영상과 비슷한 부드러운 결과 영상을 얻게 됨을 볼 수 있다.

여러 실험을 통해 영상의 해상도가 낮거나 얼굴에 텍

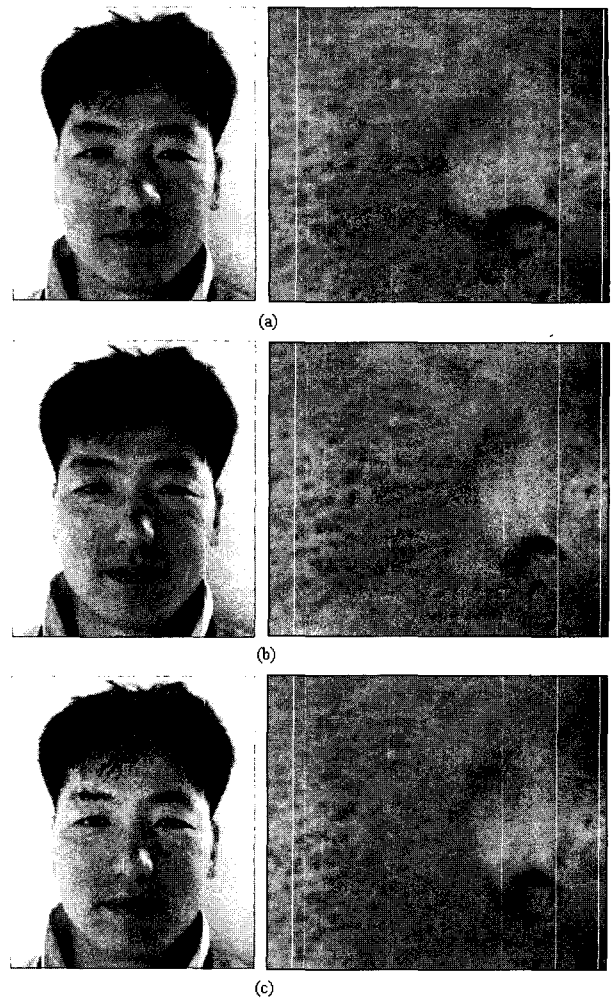


그림 7. 지역적 변형과 혼합 방법을 이용한 변형의 비교 (a) 원본 영상, (b) 지역적 변형, (c) 혼합 방법을 이용한 변형

Fig. 7. Comparison of local deformation technique and deformation using the blending technique. (a) original image, (b) local deformation, (c) deformation using the blending technique.

스처가 많은 경우 지역적 변형 방법보다 제안된 합성 방법을 이용했을 때가 칼라 얼굴 텍스처에 왜곡을 최소화하고 좀 더 부드러운 결과를 얻게 됨을 알 수 있었다.

#### IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 RBF 기반의 얼굴 변형 기법은 유동적인 얼굴 구성 요소를 부드럽게 변형하면서 실시간으로 성형 결과를 볼 수 있는 장점을 가진다. 또한 일반적으로 RBF 기반 변형 기법들은 적은 계산량으로 효과적인 변형 정도를 계산할 수 있기 때문에 공간 변형, 영상 정합 등에서 많이 사용되고 있다.

일반적으로 가우시안 형태와 Multiquadric(MQ) RBF가 선택되어 사용되고 있고 전역적 변형 특성을 가지는 Thin-Plate Spline(TPS) RBF은 뇌영상 정합에 많이 사용되고 있다. MQ와 TPS는 가상성형 조건을 만족시키기 어렵기 때문에 본 논문에서는 RBF 중에서 Gaussian Elastic Body Splines (GEBS)의 가우시안 RBF 식(8)과 일반적 가우시안 RBF 식(9)을 사용하여 얻은 변형 결과와 제안된 RBF의 변형 결과를 비교한다<sup>[16]</sup>.

일반적으로 가우시안 RBF는 분산값을 주의 깊게 선택하지 않으면 적절치 않은 기능을 수행하게 된다. 또한 최적의 분산값을 선택하는 것도 매우 어려운 일이다<sup>[12]</sup>. 가우시안 형태의 RBF들이 가상성형을 위해 제시된 3가지 조건을 만족하도록 분산값을 Ruprecht와 Müller가 제안한 적응적 방법을 이용하여 식(10)와 같이 정의하여 사용한다<sup>[12][14]</sup>.

$$g(r) = c \frac{1}{(\sqrt{2\pi}\sigma)^3} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

$$g(r) = e^{-\frac{r^2}{\sigma^2}} \quad (9)$$

$$\sigma_i = \min_{i \neq j} \left( \frac{\|\vec{x}_j^{source} - \vec{x}_i^{source}\|}{constant} \right) \quad (10)$$

( $j = 1, \dots, n$ ),  $\vec{x}_j^{source}$ : source 곡선상의 정점,  
constant: 상수 (정점의 수를 이용함)

본 논문에서는 가우시안 RBF들과 제안된 RBF의 최종 변형 결과를 이용하여 정확도(accuracy)에 대해서 성능 평가를 수행한다. 정확도는 식(11)과 같이 정의한다<sup>[17]</sup>.

$$CDR(\text{Correct Deformation Ratio}) = 1 - DR \quad (11)$$

$$DR(\text{Distortion Ratio}) = \frac{\text{Distortion Area}}{\text{Target Template Area}}$$

그림 8은 가우시안 타입 RBF와 제안된 RBF의 변형 결과의 정확도를 비교한 실험이다. 그림 8(c)와 (e)의 변형 결과는 특히 턱 부분과 기타 다른 부분에서 정확성이 떨어짐을 볼 수 있다. 제안된 RBF를 이용한 그림 8(g)는 (c), (e)보다 정확한 얼굴 변형 결과를 보여주고 있으며, 얼굴 구성 요소들의 왜곡도 다른 결과들보다 좋음을 볼 수 있다.

표 1은 가우시안 RBF들과 제안된 RBF의 정확도를 측정된 결과를 나타낸다. 제안된 RBF가 가우시안 RBF들보다 정확도가 높음을 알 수 있다.

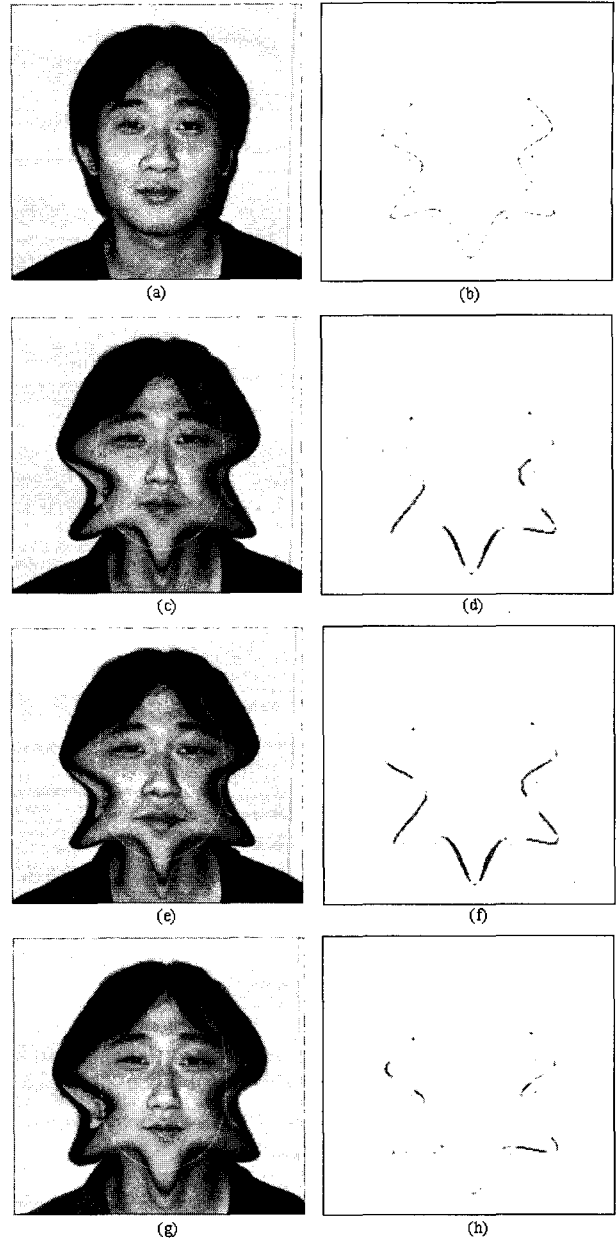


그림 8. 얼굴 영상에 대한 가우시안 RBF와 제안된 RBF의 변형 결과 비교 (a) 원본 영상, (b) 변형 템플릿, (c) GEBS에서 사용한 가우시안 RBF의 변형 결과, (d) (c)의 최종 변형 오차, (e) 일반적인 가우시안 RBF의 변형 결과, (f) (e)의 최종 변형 오차, (g) 제안된 RBF의 변형 결과, (h) (g)의 최종 변형 오차

Fig. 8. Comparison of various deformations on a face image. (a) original face image, (b) deformation template, (c) result that uses the Gaussian RBF of GEBS, (d) deformation error in (c), (e) result that uses general Gaussian RBF, (f) deformation error in (e), (g) result that uses the proposed RBF, (h) deformation error in (g).

표 1. 변형 오차 비율 비교

Table 1. Comparison of deformation error ratio.

RBF 타입	CDR
GEBS 가우시안 RBF	0.9619
일반적 가우시안 RBF	0.9608
제안된 RBF	0.9923



그림 9. 제안된 변형 기법을 사용한 결과들 (a) 원본 영상 (b) 코 교정 결과 (c) 코 확대 결과 (d) 코와 턱 교정 결과

Fig. 9. Results of the proposed deformation technique. (a) original image. (b) result that corrects the nose. (c) result that scales up the nose. (d) result that corrects the jaw and the nose.

그림 9 에서 보듯이 제안된 Inverse Stiffness 속성을 갖는 RBF 변형기법과 EDT를 이용한 합성 기법은 만족할만한 성형 결과를 만든다는 것을 볼 수 있다.

그림 10은 일반 영상에 대한 가우시안 RBF들과 제안된 RBF의 변형 결과를 보여준다. 그림 10(b)와 그림 10(c)는 과도한 지역적 변형 특성 때문에 피사의 사탑을 왼쪽으로 기울이는 변형에 있어 영상이 울퉁불퉁해지고 좌우 대칭에 있어서도 왜곡이 발생하게 된다. 이는 가우시안 함수의 분산값을 선택하는 것이 쉽지 않음을 보여주는 것이다. 그림 10(d)의 결과로써 제안된 RBF 변형 기법은 일반적인 변형에도 좋은 결과를 보임을 알 수 있다.

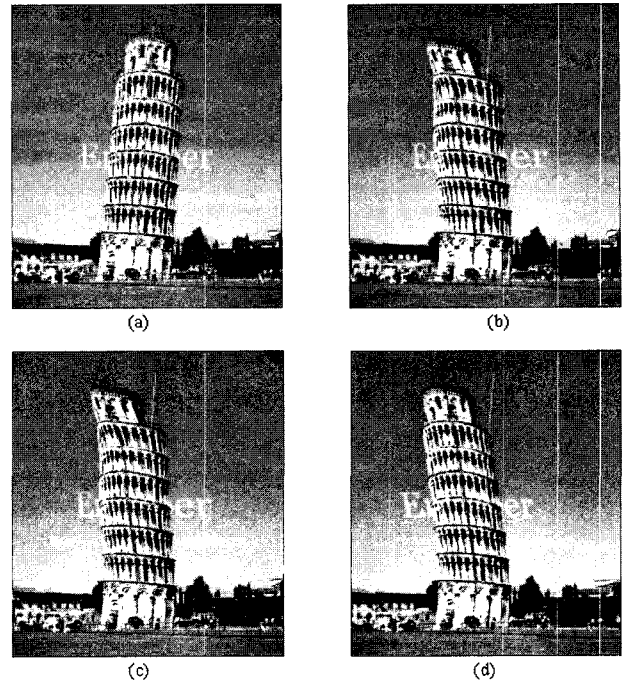


그림 10. 일반 영상에 대한 다양한 RBF의 변형 결과 비교 (a) 원본 영상, (b) GEBS에서 사용한 가우시안 RBF의 변형 결과, (c) 일반적인 가우시안 RBF의 변형 결과, (d) 제안된 RBF의 변형 결과

Fig. 10. Comparison of various deformations on a natural image. (a) original image, (b) result that uses the Gaussian RBF of GEBS, (c) result that uses the general Gaussian RBF, (d) result that uses the proposed RBF.

### V. 결 론

본 논문에서 얼굴 가상성형을 위한 변형 기법 및 변형된 얼굴 요소와 원본 얼굴 영상을 혼합하는 방법을 제안하였다.

변형 기법은 본 논문에서 제시한 가상성형을 위한 기본적인 제한조건 3가지를 만족시킬 수 있도록 Inverse Stiffness를 가진 Inverse Multiquadric RBF와 변형 오차 보정 방법을 제안하였다.

혼합 방법은 얼굴 텍스처의 왜곡을 최소화 시키면서 변형의 부드러움과 지역성을 갖도록 혼합될 마스크 영역에 대해 Euclidean Distance Transform을 이용하여 혼합 비율을 계산하고 그 비율을 이용하여 최종 성형 결과를 만드는 방법을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 얼굴 변형 기법과 얼굴 합성 기법은 시각적으로 좋은 변형 결과를 보였고, 다른 RBF에 비해서 정확도 측면에서 우수한 성능을 확인할 수 있다. 하지만 실제 성형외과 의사들과 일반 사용자들이



본 시스템을 사용하여 가상성형을 해본 결과 2D기반의 가상성형 결과만으로는 다양한 각도에서 정확한 성형결과를 예측하기 어렵다는 문제점이 지적되었다. 또한 가상성형에 있어 실측데이터를 사용하지 않았기 때문에 실제 성형과 다른 결과를 보일 수 있다는 점이 지적되었다. 따라서 향후과제로는 제안된 기술을 확장하여 3D기반의 가상성형과 실측 데이터를 이용한 정형외과적 기능을 보강한 시스템을 계획하고 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김영인, "해부학적 연조직 변형모델에 기반한 얼굴 기형 수술의 3차원 가시화," 고려대학교 학위논문, 2001.
- [2] D. Massaro, *Perceiving Talking Faces: From Speech Perception to a Behavioral Principle*, MIT Press, 1998.
- [3] E. Keeve, S. Girod, R. Kininis, and B. Girod, "Deformable Modeling of Facial Tissue for Craniofacial Surgery Simulation," *Computer Aided Surgery*, Vol. 3, pp.228-238, March 1999.
- [4] Y. Wu, P. Beylot and N. M. Thalmann, "Skin Aging Estimation by Facial Simulation," *Computer Animation 1999*, pp.210-219, May 1999.
- [5] R. M. Koch, M. H. Gross and E. R. Crals, "Simulating Facial Surgery Using Finite Element Models," *SIGGRAPH 96 Conference Proceeding*, pp.421-428, August 1996.
- [6] S. Y. Lee, G. Wolberg, K. Y. Chwa and S. Y. Shin, "Image Metamorphosis with Scattered Feature Constraints," *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 2, No. 4, December 1996.
- [7] J. Gomes, L. Darsa, B. Costa and L. Velho, *Warping and Morphing of Graphical Objects*, Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
- [8] T. Beier and S. Neely, "Feature-Based Image Metamorphosis," *19th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, Vol. 26, pp.35-42, 1992.
- [9] D. T. Lin and H. Huang, "Facial Expression Morphing and Animation with Local Warping Methods," *ICIAP*, 1999.
- [10] J. Y. Noh, D. Fidaleo and U. Neumann, "Animated Deformations With Radial Basis Functions," *Virtual Reality Software and Technology, VRST 2000*.
- [11] T. Milliron, R. J. Jensen, and R. Barzel, "A Framework for Geometric Warps and Deformations," *ACM Transaction on Graphics*, Vol. 21, No. 1, pp.20-51, January 2002.
- [12] A. W. Toga, *Brain Warping*, Academic Press, 1999.
- [13] M. Eck, "Interpolation Methods for Reconstruction of 3D Surfaces from Sequences of Planar Slices," *CAD und Computergraphic*, Vol. 13, No. 5, pp.109-120, Feb. 1991.
- [14] D. Ruprecht and H. Müller, "Image Warping with Scattered Data Interpolation," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 15, No.2, pp.37-43, 1995.
- [15] H. Brey, J. Gil, D. Kirkpatrick and M. Weman, "Linear Time Euclidean Distance Transform Algorithm," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 17, No. 5, pp.529-533, May 1995.
- [16] K. Rohr, "Spline-Based Elastic Image Registration," In *Annual Scientific Conf. GAMM'2003*, pp.22-23, March 2003.
- [17] T. Schoepflin, V. Chalana, D. R. Haynor and Y. M. Kim, "Video Object Tracking With a Sequential Hierarchy of Template Deformations," *IEEE Transaction on Circuits and System for Video Technology*, Vol. 11, No. 11, pp.1171-1182, 2001.

## — 저 자 소 개 —



박 현(정회원)  
 1998년 원광대학교  
 전기공학과 졸업(학사)  
 2000년 한양대학교  
 전자계산학과 졸업(석사)  
 2001년 한양대학교  
 컴퓨터공학과 (박사과정)

2000년~2001년 (주)두루넷 기술연구소  
 소프트웨어팀

<주관심분야: 영상변형, 영상복원, 패턴인식 등>



문 영 식(정회원)  
 1980년 서울대학교 공과대학  
 전자공학과 졸업 (학사)  
 1982년 한국과학기술원 전기 및  
 전자공학과 졸업 (석사)  
 1990년 University of California  
 at Irvine Dept. of  
 Electrical and Computer  
 Engineering. (박사)

1982년~1985년 한국전자통신연구소 연구원

1989년~1990년 Inno Vision Medical 선임연구원

1990년~1992년 생산기술연구원 선임연구원

1992년~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 정교수

<주관심분야: 영상보안, 영상검색, 패턴인식>