

가변 워핑 마스크와 스머지 필터를 이용한 2D 실사 기반 가상 성형 시스템

*곽노윤

**안은영

*백석대학교 정보통신학부,
*nykwak@bu.ac.kr

**한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부
**aey@hanbat.ac.kr

2D Image-based Virtual Plastic Surgery System Using Variable Warping Mask and Smudge Filter

*Noyoon Kwak

**Eunyoung Ahn

*Division of Information and Communication Engineering, Baekseok University

**Division of Information Communication and Computer Engineering, Hanbat University

요 약

가상 성형 시스템은 실제 성형 수술을 시행하지 않은 상태에서 성형 후의 형상을 가상적으로 시뮬레이션해 봄으로써 고객의 의사 결정과 성형의 수술 계획 및 상담을 효과적으로 지원할 수 있는 그래픽 시스템이다. 본 논문은 가변 워핑 마스크와 스머지 필터를 이용한 2D 가상 성형 시스템의 반자동 필드 워핑을 제안함으로써 가상 성형의 편의성과 실용성을 제고함에 그 목적이 있다. 제안된 2D 가상 성형 시스템은 마우스로 스머지 필터를 조작하여 얼굴 구성 요소의 윤곽 형상을 원하는 형태로 변형할 수 있는 직관적인 사용자 인터페이스를 제공한다. 얼굴 구성 요소의 스머징 전후의 윤곽선을 대상으로 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어선 매핑을 통해 획득한 제어선 쌍들을 이용하여 반자동 필드 워핑을 수행함으로써 소스 제어선으로부터 목표 제어선까지 점진적으로 변해가는 다수의 중간 프레임들을 생성한다. 또한 이 반자동 필드 워핑을 수행할 시, 성형 부위의 변형을 따라 단계적으로 모양이 변하는 가변 워핑 마스크를 사용함으로써 변형 부위 이외의 얼굴 구성 요소들에 대해서는 왜곡을 최소화하는 지역적 변형 특성을 제고한 것이 특징이다. 제안된 2D 가상 성형 시스템은 직관적이고 편리한 사용자 인터페이스를 제공할 수 있기 때문에 시간이 적게 소요되고 작업 피로도가 낮아 실용성이 높다. 따라서 비숙련자도 간단한 사용자 입력만으로 만족스러운 가상 성형 결과를 얻을 수 있다. 특히 짧은 시간 내에 성형의와 고객이 만족하는 직관적인 상담을 가능케 하는 것이 장점이다.

1. 서론

컴퓨터 시뮬레이션을 통한 자연스러운 가상 성형은 컴퓨터 그래픽 분야의 오랜 숙원 중의 하나이다. 가상 성형 시스템(virtual plastic surgery system)은 성형의(plastic surgeon) 혹은 고객이 실제 성형 수술을 시행하지 않은 상태에서 성형 후의 형상을 미리 예측할 수 있고, 성형 부위가 전체 외관에 미치는 영향을 시뮬레이션해 봄으로써 고객의 의사 결정과 성형의 수술 계획 및 상담을 효과적으로 지원할 수 있는 그래픽 시스템을 말한다. 얼굴 가상 성형 시스템은 얼굴 특징들을 부드럽게 변형하면서도 정확성을 유지해야 하고 변형 부위 이외의 얼굴 구성 요소(눈, 코, 입, 턱 등등)들에 대해서는 왜곡을 주지 않는 지역적 변형 특성을 가져야 하는 것이 특징이다. 또한 얼굴 피부 질감의 왜곡 발생이 최소화되도록 조치해야 한다[1][2].

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 성형 후의 자신의 모습을 사실적이고 정확하게 예측할 수 있는 가상 성형 시스템을 필요로 하게 되었다[1]. 가상 성형 시스템은 이러한 사람들의 요구에 맞도록 영상 변형 기법과 다양한 필터를 사용하여 얼굴 구성 요소에 다양한 성형 효과를 줄 수 있도록 구성된다. 컴퓨터를 이용한 가상 성형 시스템의 기반 기술인 2D 및 3D 얼굴 변형 모델은 크게 물리 법칙 기반 모델(physically-based model)과 비물리 법칙 모델로 나눌 수 있다[3]. 물리 법칙 기반 모델은 매스 스프링(mass spring)과 유한 요소(finite element) 모델 등을 이용하여 얼굴 연조직(soft tissues)과 근육(muscles) 사이의 구조 및 기능들을 물리적으로 모델

링한다[1][3]. 매스 스프링 모델은 얼굴 매쉬의 정점들을 스프링으로 대응시켜 피부에 주어지는 힘에 대한 정점의 위치를 물리 법칙에 기반하여 변화시켜 줌으로써 사실감을 부여한다[4][5]. 유한 요소 모델은 예측 후 계산 정확도가 절실히 요구되는 의학 분야에 강점이 있는 방법이다[6]. 물리 법칙 기반 모델들은 높은 정확도 때문에 얼굴 기형을 보정하는 외과적 수술 시스템 등에 사용되고 있지만, 변형에 대한 모델 정의가 어렵고 연산량이 많다는 단점이 있다. 또한 다양한 얼굴 구성 요소 등을 표현하지 못하고 일반적으로 얼굴 피부 질감에 대한 고려가 없기 때문에 미용 가상 성형처럼 피부 질감을 중시하고 실시간으로 다양한 얼굴 변형 결과를 알고자 하는 분야에는 적합하지 않다. 한편 얼굴 표정 변환 및 얼굴 변형을 위한 비 물리 법칙 기반 모델들은 매쉬 워핑[7], 필드 워핑[8], FFD(Free-Form Deformation) 모델[9], MFFD(Multilevel Free-Form Deformation) 모델[10] 등이 대표적이고, 최근에는 적은 연산량으로 각 정점들이 받을 변형 정도를 효과적으로 계산할 수 있는 RBF(Radial Basis Functions)를 이용한 기법들 [2][11][12]이 다수 제안되고 있다.

비 물리 법칙 기반 모델들은 모델 정의가 단순하고 연산량이 적기 때문에 실시간 처리가 가능한 것이 장점이다. 또한 실사 2D 영상을 사용하기 때문에 재질감의 표현이 뛰어나고 편리한 사용자 인터페이스를 제공할 수 있는 것이 특징이다. 사용자 인터페이스 측면에서 볼 때, 비 물리 법칙 기반 모델이 물리 법칙 기반 모델에 비해 상대적으로 직관적이고 편리한 것은 사실이지만, 유선형인 얼굴의 구성 요소를 표현하는 제어선 쌍이나 특징점 쌍의 지정을 수작업 매핑에 의존하고 있기 때문에 작업자의 수련을 요할 뿐만 아니라 다소 지루하고 시간이 많이 소요되는 문제가 있다. 이러한 불편과 과도한 시간 소요는 의료 현장에

서 가상 성형 시스템을 이용할 성형의로 하여금 가상 성형의 시도 자체를 회피하게 만드는 주요 원인이 되고 있다. 또한 얼굴 구성 요소는 조금만 변형되더라도 인상에 큰 변화를 초래하기 때문에 개략적인 성형 결과를 확인하면서 제어선이나 특징점을 직관적으로 미세 조정할 수 있어야 함에도 불구하고 기존의 방법들에서는 이에 대한 고려가 부족하여 실용성이 떨어지는 편이다.

본 논문은 이러한 문제점에서 착안한 것으로, 가변 워핑 마스크와 스머지 필터를 이용한 2D 가상 성형 시스템의 반자동 필드 워핑을 제안함으로써 가상 성형의 편의성과 실용성을 제고함에 그 목적이 있다. 제안된 2D 가상 성형 시스템은 마우스로 스머지 필터를 조작하여 얼굴 구성 요소의 윤곽 형상을 원하는 형태로 변형할 수 있는 직관적인 사용자 인터페이스를 제공한다. 얼굴 구성 요소의 스머징 전후의 윤곽선을 대상으로 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어선 매핑을 통해 획득한 제어선 쌍들을 이용하여 반자동 필드 워핑을 수행함으로써 소스 제어선으로부터 목표 제어선까지 점진적으로 변해가는 다수의 중간 프레임들을 생성한다. 또한 이 반자동 필드 워핑을 수행할 시, 성형 부위의 변형을 따라 단계적으로 모양이 변하는 가변 워핑 마스크를 사용함으로써 변형 부위 이외의 얼굴 구성 요소들에 대해서는 왜곡을 최소화하는 지역적 변형 특성을 제고한 것이 특징이다.

2. 제안된 2D 가상 성형 시스템

그림 1은 제안된 2D 가상 성형 시스템을 이용한 가상 용비술을 적용한 사례를 나타낸 것이다.

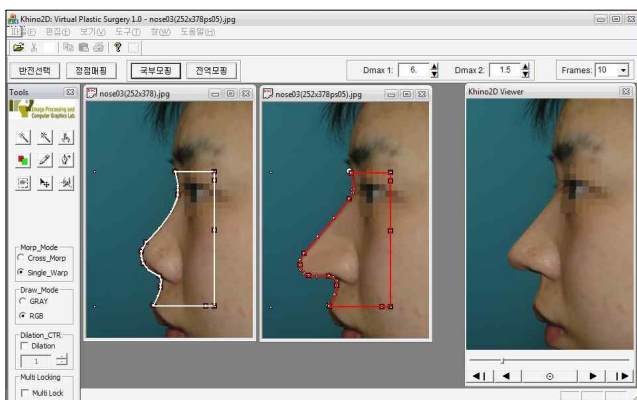


그림 1. 제안된 2D 가상 성형 시스템의 용비 성형 사례

제안된 2D 가상 성형 시스템은 우선, 성형 이전의 코 측면 모습이 담긴 소스 영상을 입력받는다. 이어서 그래픽 사용자 인터페이스 상에서 스머지 필터를 조작하여 성형 부위의 윤곽 형상을 원하는 형태로 변형함을 통해 목표 영상을 생성한다. 이후, 소스 영상과 목표 영상에서 원하는 성형 후보 영역을 직사각형 형태로 한정된 후, 영역 성장 기반 컬러 영상 분할을 통해 소스 영상과 목표 영상의 성형 후보 영역 내에서 각각 스머징 전후의 성형 부위의 윤곽선을 추출한다. 다음으로, 이렇게 추출된 윤곽선들에 대한 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어선 매핑을 통해 획득한 제어선 쌍들을 이용하여 소스 제어선으로부터 목표 제어선까지 점진적으로 변해가는 다수의 중간 프레임들을 생성하는 반자동 필드 워핑을 수행한다. 반자동 필드 워핑을 수행할 시, 성형 부위의 변형을 따라 단계적으로 모양이 변하는 가변 워핑 마스크를 사용함으로써 변형 부위 이외의 얼굴 구성 요소들에 대해서는 왜곡을 최소화하는 지역적 변형 특성을 갖는다. 마지막으로, 원본 영상과 각 프레임의 변형된 얼굴 구성 요소를 합성함으로써 성형 전 형상으로부터 성형 후 형상 간에 존재할 수 있는 다수의 가상 성형 결과들을 생성한다.

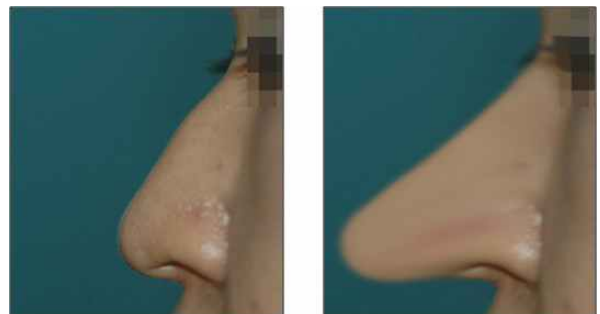
2.1 스머지 필터(smudge filter)

스머지 필터는 손가락으로 문지른 듯한 얼룩 효과를 발생시키는 그래픽 필터로, Adobe사의 Photoshop 에 채택되어 있는 매우 대중적인 필터이다. 그림 2는 Adobe Photoshop CS2에서 두께 5화소의 선분에 원모양의 마스터 직경(master diameter)이 20 화소, 하드니스(hardness)가 100%인 상태에서 밑에서 위쪽으로 문지른 거리를 증가시키면서 단계적으로 스머지 필터링을 행한 결과이다. 그림 2를 통해 알 수 있듯이 스머지 필터는 마스터의 이동 궤적으로 따라 마스터의 직경 내에 포함된 현 화소값들을 복사한 후, 다음 화소 위치에서 마스터에 포함된 화소들과 대응 위치의 화소들 간에 블렌딩을 수행하여 마스터 밑에 놓인 모든 화소값들을 블렌딩된 화소값들로 업데이트한다. 이후, 마스터의 내용도 이 블렌딩된 화소값으로 업데이트한 후, 한 화소의 이동 간격 단위로 이러한 블렌딩 과정을 반복하는 필터이다.



그림 2. 선분의 스머지 필터링 결과

이러한 스머지 필터를 이용하면 개략적인 성형 결과를 확인하면서 제어선이나 특징점을 지정할 성형 부위의 윤곽선의 형태를 직관적으로 미세 조정할 수 있다. 그림 3(b)는 그림 3(a)의 코 측면 영상에서 마우스를 이용하여 코 주위에 스머지 필터의 마스터를 문지르는 형태로 조작하여 코의 윤곽 형상을 변형한 것이다.



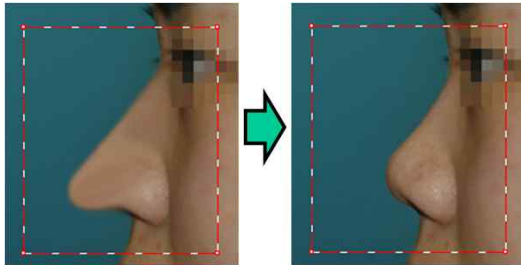
(a) 원본 영상 (b) 스머지 필터링

그림 3. 코 부위의 스머지 필터링 결과

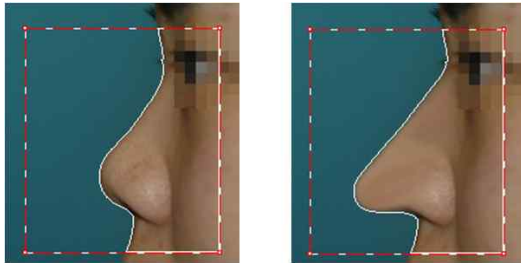
그림 3(b)는 다소 과장된 형태로 변형한 것으로, 코의 형상 윤곽은 이와 같이 과장된 형태로도 심하게 변형시킬 수 있으나 코 부위의 피부 질감이 뭉개질 뿐만 아니라 코 부위의 기하학적 균형감이 왜곡됨을 확인할 수 있다. 이로 인해 개략적인 성형 모습을 짐작하기 위한 용도는 사용할 수 있으나 이를 그대로 최종 성형 결과로 사용하기 어렵다. 따라서 피부 질감을 자연스럽게 재현하면서도 적절한 기하학적 균형을 제공하기 위한 추가적인 조치가 필요함을 알 수 있다.

2.2 컬러 영상 분할

스머지 필터링으로 생성한 목표 영상에서 사용자 입력을 통해 그림 4(a)와 같이 변형할 성형 후보 영역을 직사각형 형태로 지정된 후에 이를 소스 영상의 동일 위치에 복사한다. 이어서 소스 영상과 목표 영상의 성형 후보 영역 내에서 영역 성장 기반 컬러 영상 분할[13]을 수행하여 그림 4(b)와 같이 각각 스머징 전후의 성형 부위의 윤곽선을 추출한다. 이때 얼굴 구성 요소의 윤곽 형상을 직접 추출할 수도 있지만 배경 영역을 분할한 후에 반전 선택을 통해 워핑 대상체의 윤곽선을 추출할 수도 있다.



(a) 성형 영역 지정



(b) 코 윤곽 형상 추출

그림 4. 성형 영역 지정 및 코 윤곽 형상 추출 예시

2.3 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어선 매핑

제안된 방법은 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어점 매핑을 통해 필드 워핑의 반자동화를 실현함으로써 편리한 사용자 인터페이스를 제공하고 있다. 우선, 코의 소스 윤곽선과 목표 윤곽선상에 사용자 입력을 통해 소수의 외부 제어점 쌍만을 지정한다. 이후, 외부 제어점들에 의해 구분되는 부분 윤곽선 쌍 단위로 기설정된 최대 허용 왜곡 (D_{max1})을 기준삼아 다각형 근사 기반 정점 탐색[14]을 수행하여 근사 정점들을 각각 탐색한다. 그림 5는 소스 윤곽선과 목표 윤곽선의 부분 윤곽선 상에서 다각형 근사 기반 정점 탐색을 수행하는 과정을 예시한 것이다. 여기서 빗금 친 사각형은 사용자 입력을 통해 제공된 외부 제어점이고 흑색 사각형은 새롭게 선정된 근사 정점이며 회색 사각형은 지주점을 나타낸 것이다. 그리고 c_i 는 부분 윤곽선 상의 화소를 가리키는 인덱스이고, $d(c_i, c_j)$ 는 c_i 와 c_j 가 형성하는 다각형의 한 변과 해당 윤곽 세그먼트 사이의 최대 왜곡 거리이다.

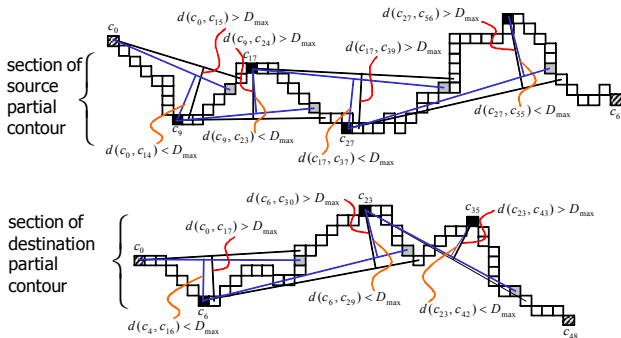


그림 5. 다각형 근사 기반 정점 탐색 과정

다음으로 각각의 부분 윤곽선 쌍에서 근사 정점의 개수가 많은 쪽을 기준 부분 윤곽선으로 선택하고 다른 한쪽을 대응 부분 윤곽선으로 정한다. 이후 대응 부분 윤곽선의 평균 왜곡 거리에 따라 다각형 근사 매핑[14]과 비례 길이 매핑[14]을 적용적으로 선택하여 기준 부분 윤곽선의 근사 정점을 대응 부분 윤곽선에 매핑시킴으로써 새로운 제어점 쌍들을 추출한다. 그림 6은 다각형 근사화에 기반한 제어점 매핑을 통해 대응 제어점들을 찾는 과정을 예시한 것이다. 그림 6의 대응 부분

윤곽선에서 빗금 친 사각형은 사용자 입력을 통해 제공된 외부 제어점이고 흑색 사각형은 대응 제어점이며 회색 사각형은 지주점을 나타낸 것이다.

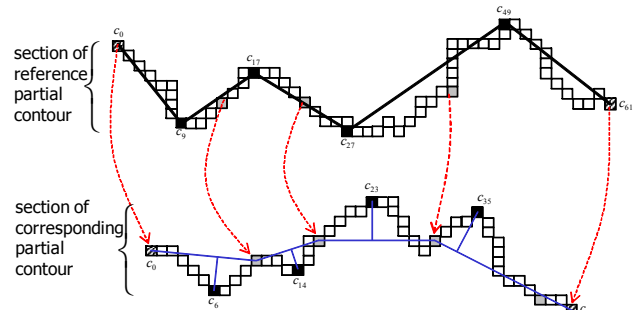


그림 6. 기준 제어점과 대응 제어점의 매핑 과정

소스 윤곽선과 목표 윤곽선에서 이상의 과정을 통해 일차 제어점 쌍들의 추출이 완료되면, 좀 더 세부적으로 제어점을 찍기 위해 직전의 최대 허용 왜곡보다 상대적으로 작은 새로운 최대 허용 왜곡 (D_{max2})를 설정하여 각 소스 윤곽선과 목표 윤곽선별로 일차 제어점들 사이의 윤곽선 구간에서 다각형 근사 기반 정점 탐색을 수행한다. 이후, 다각형 근사 매핑과 비례 길이 매핑을 수행하여 새로운 이차 제어점 쌍들을 추출하고 직전의 일차 제어점 쌍들 사이에 계층적으로 삽입하는 과정을 최대 허용 왜곡을 단계적으로 줄여가면서 기설정된 다각형 근사 오차 이하가 될 때까지 각 하위 단계로 내려가면서 반복적으로 수행함으로써 점진적인 계층 구조로 제어선 쌍들을 추출한다. 그림 7은 계층적 제어점 매핑 과정을 나타낸 것이다. 그림 8은 시험 영상 'MAN'의 소스 영상과 목표 영상을 대상으로 각각 코의 윤곽선을 추출한 후, 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어선 매핑을 통해 획득한 제어선 쌍들을 예시한 것이다.

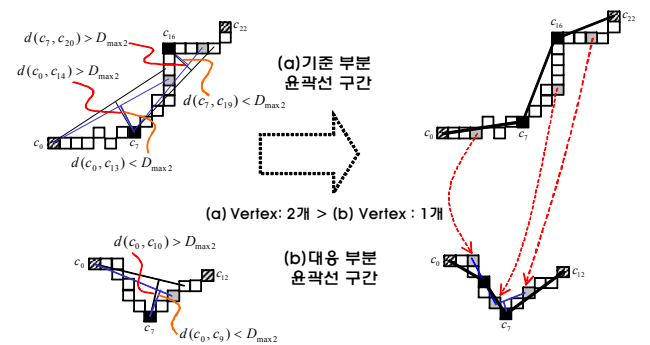
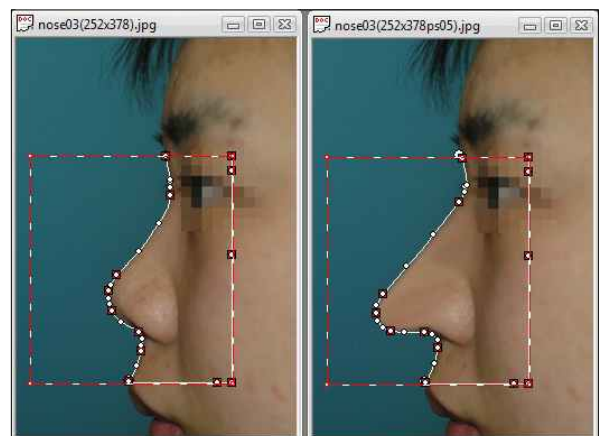


그림 7. 계층적 제어점 매핑 과정



(a) 소스 영상 (b) 목표 영상
그림 8. 제안된 방법을 이용한 제어선 매핑 결과

2.4 가변 워핑 마스크의 생성

모핑 마스크는 성형 부위 이외의 얼굴 구성 요소들에 대해서는 왜곡을 주지 않기 위한 것으로, 우선 각각 스머지 필터링을 시술하기 전후의 두 성형 부위 윤곽선들의 합집합 영역을 구한다. 이 영역에 형태학적 팽창 연산을 취하여 영역의 크기를 소폭 팽창시키고 이 팽창된 영역을 워핑 마스크(warping mask)로 삼아 이 영역 내에서만 반자동 필드 워핑이 수행되도록 제한한다. 워핑 마스크를 사용함으로써 성형 부위를 제외한 부분은 그대로 유지하면서 성형 전 형상으로부터 성형 후 형상 간에 존재할 수 있는 다수의 가상 성형 결과들을 자동으로 생성한다. 그러나 워핑 마스크의 형태가 초기에 고정되면 워핑이 진행되면서 중간 프레임들에서는 불필요한 왜곡과 이중 노출(dual exposure) 현상이 집중할 수 있다. 따라서, 고정된 워핑 마스크를 사용하는 것이 아니라 워핑 마스크의 형상이 제어선들로 구성된 형상을 단계적으로 따라가면서 변형되는 가변 워핑 마스크(variable morphing mask)를 사용함으로써 이러한 문제를 완화시킬 수 있다. 이렇게 성형 부위의 변형을 따라 단계적으로 모양이 변하는 가변 워핑 마스크를 사용함으로써 변형 부위 이외의 얼굴 구성 요소들에 대해서는 왜곡을 최소화하는 지역적 변형 특성을 제고할 수 있다.

2.5 필드 워핑 및 영상 합성

이상의 과정을 통해 추출한 최종 제어선 쌍들을 이용하여 가변 모핑 마스크 내에서만 소스 제어선으로부터 목표 제어선까지 점진적으로 변해가는 다수의 중간 프레임들을 생성하는 필드 워핑[8]을 수행한다. 필드 워핑(field warping)은 하나의 영상을 입력받아 소스 제어선과 목표 제어선 쌍을 설정한 후, 제어선 길이의 비율과 각 개별 화소로부터 각 제어선까지의 이격 거리에 따라 새로운 영상으로 변형시키는 일종의 단항 연산(unary operation)형 변형(metamorphosis) 알고리즘이다. 마지막으로, 각 프레임별로 변형된 성형 부위와 원본 영상을 합성함으로써 성형 전 형상으로부터 성형 후 형상 간에 존재하는 다수의 가상 성형 결과들을 얻을 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

제안된 2D 가상 성형 시스템의 타당성과 보편성을 평가하기 위해, Intel Core 2 Duo 2.16GHz(2GB RAM) 랩탑에서 Microsoft Visual C++.NET 2003을 사용하여 'MAN'과 'WOMAN' 영상을 대상으로 제안된 방법에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 2D 가상 성형 시스템의 프로그램 명칭은 'Rhinochchio 2D(라이노키오 2D)'로서 '코'를 의미하는 'Rhino'와 코가 늘어나는 상징적인 캐릭터인 '피노키오(Pinocchio)'의 합성어로, 코 성형술을 의미하는 'Rhinoplasmy'에 기원한 것이다. 그림 9는 제안된 Rhinochchio 2D의 시작 화면을 캡처한 것이다.

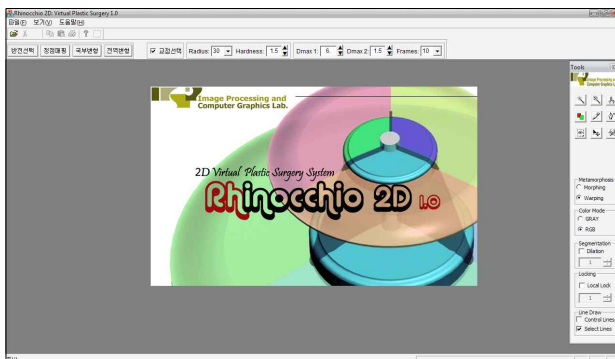


그림 9. 제안된 Rhinochchio 2D의 시작 화면

그림 10과 그림 11 및 그림 12와 같이 생성한 다수의 가상 성형

결과들 열람한 후에 이들 중에서 원하는 것을 택할 수 있는 사용자 선택권을 부여함으로써 최종적으로 사용자 만족도가 높은 가상 성형 결과를 생성할 수 있다. 이는 고객의 의사 결정과 성형의 수술 계획 및 상담을 행할 시에 매우 유용한 도구가 될 수 있을 것이다. 영상 변형(image metamorphosis)은 그 특성상 공인된 정량적 평가 방법이 부재한 바, 불가피하게 주관적 평가에 의존하는 것이 일반적이다.

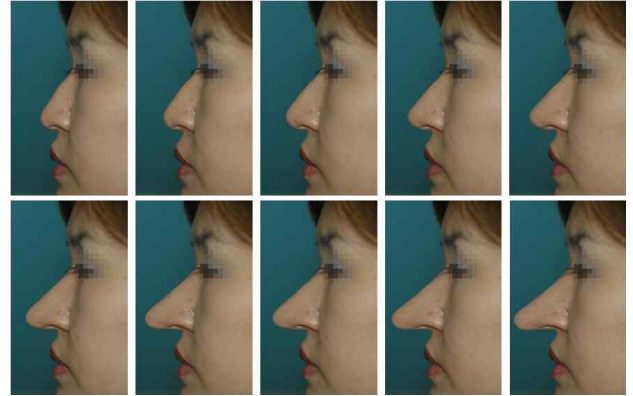


그림 10. 제안된 방법을 적용한 'WOMAN'의 성형 결과 영상



그림 11. 제안된 방법을 적용한 'MAN'의 성형 결과 영상

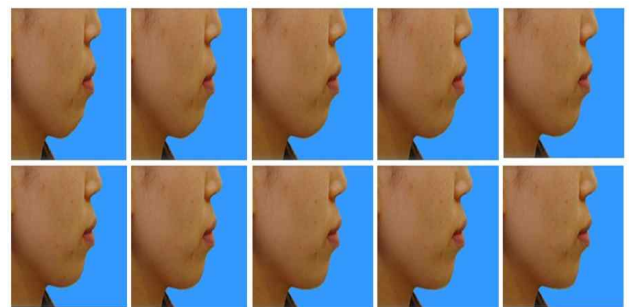


그림 12. 제안된 방법을 적용한 'MAN'의 성형 결과 영상

시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이, 제안된 가상 용비술은 코 부위를 전체적으로 부드럽게 변형하면서도 정확성을 유지하고 있으며 변형 부위 이외의 눈, 눈썹, 입, 턱 등에 왜곡을 최소화하는 지역적 변형 특성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 얼굴 피부 질감의 왜곡 발생이 매우 미약함을 알 수 있었다. 특히, 그림 13에서 볼 수 있듯이 제안된 2D 가상 성형 시스템은 스머지 필터링 과정에서 몽개진 피부 질감을 잘 재현하고 있을 뿐만 아니라 코 부위의 기하학적 균형감도 잘 복원하고 있음을 알 수 있다.

실용적인 측면에서 볼 때, 가상 성형의 난제들 중 하나는 컴퓨터를 이용한 그림 그리기에 익숙하지 않은 비전문가가 원하는 성형 실루엣 형태를 표현하기가 용이하지 않다는 점이다. 다시 말해서, 디지털 카툰

니스트이나 그래픽 디자이너가 아닌 성형의나 일반 고객이 마우스나 스타일러스로 조작하여 만족스런 성형 실루엣을 그리기 위해서는 많은 수고와 노력이 필요하다. 그런데 제안된 방법과 같이 스머지 필터를 이용할 경우, 숙련자가 아니더라도 실루엣의 변형 결과를 관찰하면서 조금씩 원하는 모양으로 변형할 수 있기 때문에 실제 의료 현장에 채택될 가능성이 높을 것으로 예측된다. 특히 제안된 2D 가상 성형 시스템은 비숙련자도 사용법을 익히기가 쉽고 수작업이 최소화되어 있으며 짧은 작업 시간 내에 원하는 결과를 용이하게 획득할 수 있는 것이 특징이다. 또한 고사양의 컴퓨터 시스템을 요구하지 않기 때문에 보급 비용이 저렴하고 인터넷 환경이나 모바일 환경에서도 용이하게 구현할 수 있는 장점이 있다.



(a) 가상 성형 전 (b) 가상 성형 후
그림 13. 'MAN'의 가상 성형 전후의 영상

4. 결론

본 논문에서는 2D 가상 착의 시스템에 있어서, 스머지 필터와 컬러 영상 분할 및 계층적 다각형 근사화에 기반한 반자동 필드 워핑을 이용한 2D 가상 성형 시스템을 제안하였다. 제안된 방법은 실시간 처리가 가능하고 자연스럽게 사실적인 다수의 가상 성형 결과들을 제공할 뿐만 아니라 사용자의 수작업을 최소화 한 반자동화 처리가 가능하기 때문에 높은 실용성과 편리한 사용자 인터페이스를 제공할 수 있다.

제안된 2D 가상 성형 시스템을 이용할 경우, 성형 전 형상으로부터 성형 후 형상 간에 존재할 수 있는 다수의 가상 성형 결과들을 얻을 수 있다. 이것은 성형의 혹은 고객이 실제 성형 수술을 시행하지 않은 상태에서도 성형 후의 형상을 미리 예측할 수 있고, 성형 부위가 전체 외관에 미치는 영향을 시뮬레이션할 수 있음에 따라 고객의 의사 결정과 성형의의 수술 계획 및 상담을 효과적으로 지원할 수 있다. 특히 짧은 시간 내에 성형의와 고객이 만족하는 직관적인 상담을 가능케 하는 것이 장점이다. 본 논문에서는 제안된 2D 가상 성형 시스템을 가상 용비술(virtual rhinoplasty)에 국한하여 설명하였으나 턱, 이마, 입, 광대뼈 등의 얼굴 성형에 용이하게 적용할 수 있으며 기타 신체 부위 중에서 외관의 전체적인 변형을 요하는 성형 수술의 경우에 효과적으로 응용할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 제안된 방법은 소수의 제어점이라도 사용자가 직접 입력해 주어야 하는 단점이 있고 만족스러운 영상 분할 결과를 얻을 수 없을 경우에는 사용자의 수작업을 통해 제어선 쌍을 입력해야 하는 한계도 있다. 앞으로 이러한 문제를 단계적으로 해결하기 위한 연구가 추가적으로 진행될 필요가 있다. 향후 제안된 방법에 대한 성능 개선이 있을 경우, 가상 성형 시스템, 디지털 특수효과, 가상 헤어스타일러, 가상 착의 시스템, 얼굴 표정 애니메이션, 사이버 캐릭터 생성, 2D/3D 애니메이션의 저작, 사용자 친화형 아이콘 제작 분야 등의 기존 기술을 보완하는 도구가 될 수 있을 것이다.

【참고문헌】

- [1] 김영인, "해부학적 연조직 변형모델에 기반한 얼굴 기형 수술의 3차원 가시화," 고려대학교 학위논문, 2001.
- [2] 박현, 문영식, "효과적인 얼굴 가상 성형 모델을 위한 얼굴 변형 기법," 전자공학회논문지(CI), 제42권, 제3호, pp. 63-72, 2005. 5.
- [3] D. Massaro, *Perceiving Talking Faces: From Speech Perception to a Behavioral Principle*, MIT Press, 1998.
- [4] 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, Mar. 1999.
- [5] Y. Wu, P. Beylot, and N. M. Thalmann, "Skin Aging Estimation by Facial Simulation," *Computer Animation 1999*, pp. 210-219, May 1999.
- [6] R. M. Koch, M. H. Gross, and E. R. Crals, "Simulating Facial Surgery Using Finite Element Models," *SIGGRAPH 96 Conference Proceeding*, pp. 421-428, Aug. 1996.
- [7] G. Wolberg, *Digital Image Warping*, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1990.
- [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] T. W. Sederberg and S. R. Parry, "Free-Form Deformation of Solid Geometric Models," *Computer Graphics(Proc. SIGGRAPH '86)*, vol. 20, no. 4, pp. 151-160, 1986.
- [10] 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, Dec. 1996.
- [11] D. T. Lin and H. Huang, "Facial Expression Morphing and Animation with Local Warping Methods," *ICIAF 1999*, pp. 594-599, Sep. 1999.
- [12] J. Y. Noh, D. Fidaleo, and U. Neumann, "Animated Deformations With Radial Basis Functions," *Virtual Reality Software and Technology(VRST 2000)*, 2000.
- [13] 이은환, 박노윤, "2D 가상 착의 시스템 : 컬러 영상 분할과 직물 텍스처 매핑," 2007 한국컴퓨터종합학술대회(KCC 2007) 논문집, 제34권, 제1호, pp. 216-217, 2007. 6.
- [14] 이형진, 박노윤, "반자동 필드 모핑: 계층적 다각 근사화에 기반한 제어선 정합," 제17회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵(IPIU 2005) 발표 논문집, pp. 203-208, 2005. 1.