

반자동 필드 모핑에 기반한 2D 가상 컬러 헤어스타일러의 모발 블렌딩 방법

Hair-Blending Method for 2D Virtual Color Hairstyler Based on Semi-automatic Field Morphing

곽노윤

백석대학교 정보통신학부

Noyoon Kwak

Division of Information and Communication
Engineering, Baekseok University

요약

본 논문은 반자동 필드 모핑에 기반한 2D 가상 컬러 헤어스타일러의 모발 블렌딩에 관한 것이다. 제안된 2D 가상 컬러 헤어스타일러는 반자동 필드 모핑을 수행할 시에 고정형 모핑 마스크 대신에 가변형 모핑 마스크를 사용하여 가상 헤어스타일을 생성하고 이렇게 생성된 헤어스타일을 가변 모핑 마스크의 경계 영역에서 시그모이드 함수를 이용한 모발 블렌딩을 수행하는 것이 특징이다. 제안된 방법은 반자동 필드 모핑에 기반한 편리한 사용자 인터페이스를 이용하여 가상 헤어스타일을 생성할 수 있다. 제안된 방법에 따르면, 작업 시간을 단축할 수 있고 비숙련자도 간단한 외부 사용자 입력을 통해 자연스러운 헤어스타일을 생성할 수 있다.

Abstract

This paper is related to hair-blending for 2D virtual color hairstyler based on the semi-automatic field morphing. The proposed 2D virtual color hair-styler is characterized as generating virtual hairstyles using the variable morphing mask instead of the fixed one for the semi-automatic morphing, and then hair-blending the generated virtual hairstyles using sigmoid function around the boundary region of the variable morphing mask. The proposed method is able to generate the virtual hairstyles with an easy-to-use interface based on semi-automatic field morphing. According to the proposed method, a user can shorten the working time and even an unskilled user can obtain natural hairstyles as he or she designates a small number of external user inputs.

I. 서론

헤어스타일이 얼굴 이미지에 미치는 영향은 대부분 헤어스타일 전문가의 감각과 경험에 의해 제시되고 있는 것이 일반적이다. 최근 들어 복식 의장학 분야에서 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 의장 변화의 시도는 실제로 의장 변화를 실시하지 않고도 쉽고 빠르게 결과를 볼 수 있으므로 시간과 경비를 줄이는 보편적인 대안이 되고 있다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통한 자연스러운 헤어스타일 생성은 컴퓨터 그래픽스와 애니메이션 분야의 오랜 연구 주제가 되고 있는데, 인간의 헤어스타일과 매우 흡사한 외형과 특성을 제공하는 우수한 연구 결과들[1-7]이 다수 제안되어 있다. 특히 '디지털 캐릭터(digital character)'를 넘어 '디지털 액터(digital actor)'로의 전환을 지향하는 최근의 3D 컴퓨터 애니메이션 분야의 발전 추세를 감안할 때, 인간 모발의 정적·동적 특성을 반영하는 디지털 헤어스타일의 생성 작업은 비교적 난이도가 높은 분야임에도 불구하고 가까운 시일 내에 매우

높은 수준의 완성도를 달성할 것으로 기대된다.

그러나 현재 이러한 디지털 헤어스타일의 생성은 그 과정의 대부분을 난해한 수작업에 의존하기 때문에 작업 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 고가의 컴퓨터 그래픽스 플랫폼과 응용 소프트웨어가 필요하고 또한 고도로 숙련된 작업자에 절대적으로 의존하는 난제가 있다.

한편, 최근 들어 가발 업계와 미용 업계를 중심으로 PC나 웹 기반 환경에서 2D 인물사진과 미리 준비된 2D 그래픽 헤어스타일을 합성하여 상대적으로 간편하게 예상 헤어스타일을 생성하는 가상 헤어스타일 생성 서비스가 속속 도입되고 있다. 가발 업계로 유명한 (주)하이모의 가상 헤어스타일 생성 서비스인 'Hi-MO Virtual Hair System'[8]의 경우, 인터넷을 통해 자신의 사진을 전송한 후, 별도의 통보 시스템을 통해 최종 결과 헤어스타일을 제공하는 서비스 방식을 채택하고 있다. 미국 Demkin Technologies의 'Salon Style Pro'[9], 브라질 Visual Music Software의 'Hair Pro 2008'[10]은 오프라인 상에서, 그리고 한국 (주)뷰티비지의 '헤어코디 4.0'[11]

은 온라인 상에서 GUI 환경에서 2D 인물사진을 불러오기한 후, 미리 준비된 복수의 2D 그래픽 헤어스타일들 중에서 원하는 헤어스타일을 선택한 다음에 이를 인물사진에 어울리도록 사용자 입력을 통해 정렬시켜 그 결과를 확인할 수 있는 방식을 사용하고 있다. Salon Style Pro, Hair Pro 2008, (주)뷰티비지의 헤어코디 2.0 등은 비교적 편리한 사용자 인터페이스를 제공하는 반면에 가상적으로 생성할 수 있는 헤어스타일의 유형이 사전에 준비된 그래픽 헤어스타일로 국한되는 단점이 있다.

제안된 2D 가상 컬러 헤어스타일러는 2D 실사 영상에서 컬러 영상 분할을 통해 추출한 헤어스타일을 원하는 인물 영상의 두상에 정렬하고 조정할 수 있는 상태에서 모핑 마스크를 이용하여 원래의 헤어스타일에서 변형 후 헤어스타일로, 또는 변형 후 헤어스타일에서 원래의 헤어스타일로 변해가는 반자동 필드 모핑[12]을 수행함으로써 여러 유형의 헤어스타일을 자동으로 생성함에 그 목적이 있다. 이때, 고정형 모핑 마스크 대신에 가변형 모핑 마스크를 사용하여 가상 컬러 헤어스타일을 생성하고, 이렇게 생성된 헤어스타일을 가변 모핑 마스크의 경계 영역에서 시그모이드 함수(sigmoid function)에 기반한 모발 블렌딩을 수행함으로써 이중 노출 현상이 제거됨과 동시에 자연스러운 착용감을 제공하는 여러 유형의 헤어스타일을 생성할 수 있다.

그리고 제안된 방법은 컬러 영상 분할과 반자동 필드 모핑에 기반한 편리한 사용자 인터페이스를 제공할 수 있기 때문에 작업자의 피로도를 경감시킴과 동시에 작업 시간을 단축할 수 있고 비숙련자도 간단한 사용자 입력을 통해 자연스러운 가상 헤어스타일을 생성할 수 있는 것이 특징이다.

II. 제안된 2D 가상 컬러 헤어스타일러

1. 개요

제안된 방법은 우선, 헤어스타일을 변형하고 싶은 특징인 혹은 특정 캐릭터가 담긴 원본 영상을 선택한다. 이후, 원하는 헤어스타일을 갖고 있는 또 다른 영상을 입력받아 영역 성장에 기반한 컬러 영상 분할을 통해 모발 형상을 추출한다. 혹은 사전에 준비된 그래픽 객체 형태의 헤어스타일들 중에서 원하는 모발 형상을 선택한다. 다음으로, 이렇게 추출하거나 선택한 모발 형상을 사용자 입력을 통해 원본 영상 내의 특징인 또는 특정 캐릭터의 두상에 어울리도록 정렬하고 조정함으로써 헤어스타일을 변형한다. 제안된 방법에서는 시뮬레이션의 편의상 헤어스타일 변형 후 영상을 '소스 영상(source image)'으로 삼고 헤어스타일 변형 전의 원본 영상을 '목표 영상(destination image)'으로 삼았다. 하지만 각 영상의 역할을

역으로 설정하여도 그 결과는 동일하다.

이어서, 영역 성장 기반 컬러 영상 분할을 통해 목표 영상과 소스 영상에서 각각 헤어스타일 변형 전후의 모발 윤곽선을 추출한다. 다음으로, 이렇게 추출된 모발 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 모핑을 수행한다. 제안된 방법은 반자동 필드 모핑을 수행할 시, 모발의 변형을 따라 단계적으로 모양이 변하는 가변 모핑 마스크를 사용함으로써 변형 부위 이외의 영역들에 대해서는 왜곡을 최소화하는 지역적 변형 특성을 갖는다. 마지막으로, 원본 영상과 각 프레임의 변형된 모발 부위 간에 가변 모핑 마스크를 기준삼아 시그모이드 블렌딩(sigmoid blending)을 수행함으로써 자연스러운 착용감을 제공하는 다수의 가상 헤어스타일들을 자동으로 생성한다.

결과적으로, 제안된 방법은 헤어스타일 변형 전부터 변형 후 사이에 존재할 수 있는 다수의 헤어스타일들을 열람한 후에 이들 중에서 원하는 것을 택할 수 있는 선택권을 부여할 수 있기 때문에 사용자 만족도를 효과적으로 제고시킬 수 있다. 그림 1은 제안된 2D 가상 컬러 헤어스타일러의 적용 사례를 나타낸 것이다.



▶▶ 그림 1. 제안된 2D 가상 헤어스타일러의 적용 사례

2. 모발 형상 분할

컬러 영상 분할을 이용한 모발 형상 분할 과정은 크게 4 단계로 구성되어 있다.

- **영역 지정 단계:** 사용자 입력을 통해 소스 영상 혹은 목표 영상 내 모발 영역 상에 위치한 임의의 표본 영역을 직사각형 형태로 지정한다.
- **영상 단순화 단계:** 윤곽선 정보를 유지하면서 각 컬러 영상의 화소값 분포를 단순화시키기 위해 소스 영상 혹은 목표 영상의 R, G, B 성분을 대상으로 수리 형태학 연산

(mathematical morphological operation)의 일종인 복원 기반 개방-폐쇄 연산(open-close by reconstruction)[13]을 적용한다.

- **영역 성장 단계:** 표본 영역의 각 컬러 성분별 표준편차를 계산한 후, 각 컬러 성분의 표준편차에 비례하는 범위로 결정된 바운딩 박스(bounding box)를 이용하여 컬러 성분값이 유사한 인접 화소를 병합하는 영역 성장(region growing) 과정에 의해 컬러 영상 분할을 수행한다[14].
- **추가 병합 단계:** 영상 분할 영역에 인접한 모발 포함 영역이나 비인접 모발 포함 영역을 같은 영역으로 병합시키고 싶을 경우가 종종 발생한다. 이 경우에는 추가 병합 의도를 알리는 특정한 조합 입력을 제공한 상태에서 원하는 모발 포함 영역을 대표할 수 있는 다른 샘플 영역을 지정한다. 그 다음에 영역 성장을 통해 새로운 영역을 분할한 후, 이전의 분할 영역과 합집합을 취하여 추가적으로 병합된 분할 결과를 제공하는 과정을 원하는 횟수만큼 반복적으로 수행하여 반자동적으로 모발 형상 영역을 분할한다.

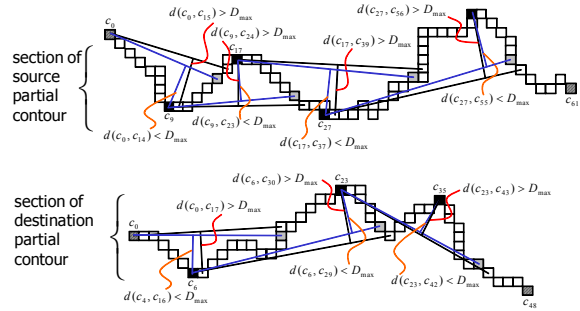


▶▶ 그림 2. 컬러 영상 분할에 의한 모발 형상 분할

3. 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어선 매핑

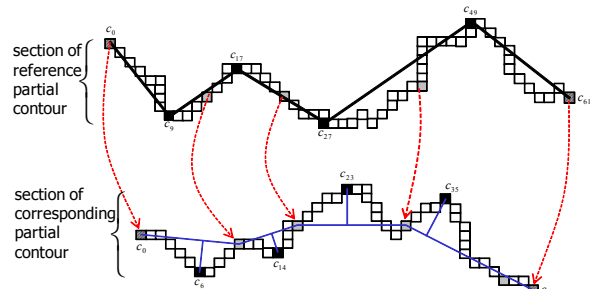
제안된 방법은 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어점 매핑을 통해 필드 모핑의 반자동화를 실현함으로써 편리한 사용자 인터페이스를 제공하고 있다. 우선, 모발의 소스 윤곽선과 목표 윤곽선상에 사용자 입력을 통해 소수의 외부 제어점 쌍만을 지정한다. 이후, 외부 제어점들에 의해 구분되는 부분 윤곽선 쌍 단위로 기설정된 최대 허용 왜곡(D_{max1})을 기준삼아 다각형 근사 기반 정점 탐색[15]을 수행하여 근사 정점들을 각각 탐색한다. 그림 3은 소스 윤곽선과 목표 윤곽선의 부분 윤곽선 상에서 다각형 근사 기반 정점 탐색을 수행하는 과정을 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 사

이의 최대 왜곡 거리이다.



▶▶ 그림 3. 다각형 근사 기반 정점 탐색 과정

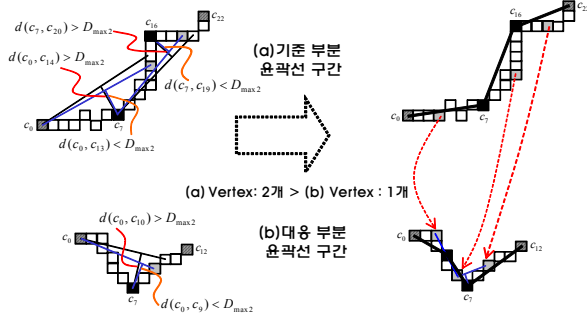
다음으로 각각의 부분 윤곽선 쌍에서 근사 정점의 개수가 많은 쪽을 기준 부분 윤곽선으로 선택하고 다른 한쪽을 대응 부분 윤곽선으로 정한다. 이후 대응 부분 윤곽선의 평균 왜곡 거리에 따라 다각형 근사 매핑[15]과 비례 길이 매핑[15]을 적용적으로 선택하여 기준 부분 윤곽선의 근사 정점을 대응 부분 윤곽선에 매핑시킴으로써 새로운 제어점 쌍들을 추출한다. 그림 4는 다각형 근사화에 기반한 제어점 매핑을 통해 대응 제어점들을 찾는 과정을 예시한 것이다. 그림 4의 대응 부분 윤곽선에서 빗금 친 사각형은 사용자 입력을 통해 제공된 외부 제어점이고 흑색 사각형은 대응 제어점이며 회색 사각형은 지주점을 나타낸 것이다.



▶▶ 그림 4. 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})을 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 5는 계층적 제어점 매핑 과정을 나타낸 것이다.



▶▶ 그림 5. 계층적 제어점 매핑 과정

그림 6은 'WOMAN 측면' 영상의 소스 영상과 목표 영상을 대상으로 각각 모발 형상의 윤곽선을 추출한 후, 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어선 매핑을 통해 획득한 제어선 쌍들을 예시한 것이다.



(a) 소스 영상 (b) 목표 영상

▶▶ 그림 6. 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어선 매핑을 'WOMAN 측면' 영상에 적용한 결과

4. 가변 모핑 마스크의 생성

모핑 마스크는 변형 부위 이외의 영역들에 대해서는 왜곡을 주지 않기 위한 것으로, 우선 각각 헤어스타일 변형 전후의 두 모발 형상의 윤곽선들의 합집합 영역을 구한다. 이 영역에 형태학적 팽창 연산을 취하여 영역의 크기를 소폭 팽창시키고 이 팽창된 영역을 모핑 마스크(warping mask)로 삼아 이 영역 내에서만 반자동 필드 모핑이 수행되도록 제한한다. 모핑 마스크를 사용함으로써 변형 부위를 제외한 부분은 그대로 유지하면서 변형 전 형상으로부터 변형 후 형상 간에 존재할 수 있는 다수의 가상 헤어스타일들을 자동으로 생성한다. 그러나 모핑 마스크의 형태가 초기에 고정되면 모핑이 진행되면서 중간 프레임들에서는 불필요한 왜곡과 이중 노출(dual exposure) 현상이 점증할 수 있다. 따라서, 고정된 모핑 마스크를 사용하는 것이 아니라 모핑 마스크의 형상이 제어선들로

구성된 형상을 단계적으로 따라가면서 변형되는 가변 모핑 마스크(variable morphing mask)를 사용함으로써 이러한 문제를 완화시킬 수 있다. 이렇게 변형 부위의 형상을 따라 단계적으로 모양이 변하는 가변 모핑 마스크를 사용함으로써 변형 부위 이외의 영역들에 대해서는 왜곡을 최소화하는 지역적 변형 특성을 제고할 수 있다.

5. 반자동 필드 모핑에 의한 중간 프레임 생성

이상의 과정을 통해 추출한 최종 제어선 쌍들을 이용하여 가변 모핑 마스크 내에서만 소스 제어선으로부터 목표 제어선까지 점진적으로 변해가는 다수의 중간 프레임들을 생성하는 필드 모핑[16]을 수행한다. 필드 모핑(field morphing)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 이항 연산형 변형 알고리즘(metamorphosis algorithm)이다.

2.6 모발 블렌딩

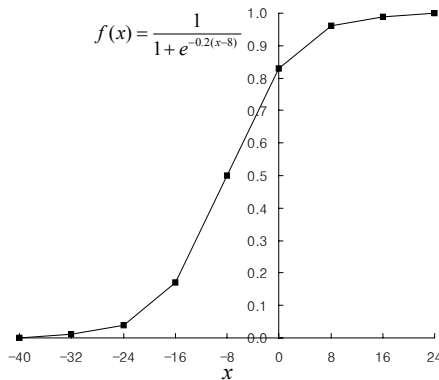
각 프레임별로 변형된 모발 부위와 원본 영상 간에 가변 모핑 마스크를 기준삼아 시그모이드 블렌딩을 수행함으로써 자연스러운 착용감을 제공하는 다수의 가상 헤어스타일들을 얻을 수 있다.

가변 모핑 마스크를 사용하면 이중노출 현상은 현저히 줄지만 가상 헤어스타일과 얼굴이 만나는 경계 부분의 불연속성으로 인해 부자연스러운 느낌을 야기한다. 이런 단점을 완화하기 위해 식(1)에 나타낸 시그모이드 함수(sigmoid function)를 이용하여 모발 블렌딩을 수행한다. 가변 모핑 마스크의 경계선의 수직 방향으로 식(1)과 같은 시그모이드 함수에 의해 산출된 가중치에 따라 가상 헤어스타일과 그 이외의 부분을 블렌딩함으로써 좀 더 자연스러운 착용감을 제공할 수 있다.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}} \quad (1)$$

여기서 a 는 시그모이드 함수의 기울기를 결정하는 계수이다. a 의 값이 커지면, 함수의 기울기가 커져서 역치 함수와 유사한 형태가 되고, 반대로 a 의 값이 작아지면, 선형함수와 유사한 형태가 된다. 그리고 b 의 값은 시그모이드 함수를 좌우 이동을 결정하는 상수이다. b 의 값이 0보다 크다면 시그모이드 함수는 오른쪽으로 움직이고, 0보다 작다면 왼쪽으로 이동하게 된다. 그림 6은 제안된 방법에서 사용한 시그모이드 함수의 그래프를 나타낸 것으로, $a = 0.2$, $b = 8$ 이고 8의 샘플링 간격을 이용하여 생성한 것이다. 이 시그모이드 함수를 모발

블렌딩에 적용하기 위해서 그림 7과 같이 가변 모핑 마스크 영역에 단일 화소 폭의 형태학적 팽창 연산을 단계적으로 취하여 외곽 수직 방향으로 가변 모핑 마스크 영역의 경계선을 시작 윤곽선으로 삼아 각각의 윤곽선에 0.83, 0.50, 0.17, 0.04, 0.01, 0.0의 가중치를 순차적으로 부여한다. 또한 가변 모핑 마스크 영역에 단일 화소 폭의 형태학적 침식 연산을 단계적으로 취하여 내부 수직 방향으로 각각의 윤곽선에 0.96, 0.99, 1.00의 가중치를 순차적으로 부여한다.



▶▶ 그림 7. 제안된 방법에 적용된 시그모이드 함수의 그래프

III. 실험 결과 및 고찰

제안된 가상 변형 시스템의 타당성과 보편성을 평가하기 위해, Intel Core 2 Duo 2.16GHz(2GB RAM) 랩탑에서 Microsoft Visual C++.NET 2003을 사용하여 'WOMAN 정면' 영상과 'WOMAN 측면' 영상을 대상으로 제안된 방법에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 8은 'WOMAN 정면' 영상의 소스 영상과 목표 영상을 나타낸 것이고, 그림 9는 'WOMAN 측면' 영상의 소스 영상과 목표 영상을 나타낸 것이다.



(a) 소스 영상 (b) 목표 영상

▶▶ 그림 8. 'WOMAN 측면' 영상



(a) 소스 영상 (b) 목표 영상

▶▶ 그림 9. 'WOMAN 측면' 영상



▶▶ 그림 10. 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어선 매핑을 'WOMAN 정면' 영상에 적용한 결과

그림 10은 다각형 근사화에 기반한 계층적 제어선 매핑을 WOMAN 정면 영상에 적용한 결과를 나타낸 것으로, $D_{max1} = 6$ 과 $D_{max2} = 1.5$ 를 이용하여 소스 영상과 목표 영상 간의 제어선 쌍을 생성한 것이다. 그림 6은 동일한 조건으로 WOMAN 측면 영상에 계층적 제어선 매핑을 적용한 결과를 나타낸 것이다.

그림 6과 그림 10에서 큰 사각형은 D_{max1} 를 이용한 계층적 제어선 매핑을 통해 자동으로 생성한 제어점 쌍이고, 작은 흰색 점은 D_{max2} 를 이용한 계층적 제어선 매핑을 통해 자동으로 생성한 제어점 쌍을 나타낸 것이다. 전체적으로 모발 형상의 특징을 잘 반영하면서 계층적으로 제어선 쌍을 매핑하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 11과 그림 12는 각각 'WOMAN 정면' 영상과 'WOMAN 측면' 영상에 제안된 2D 가상 컬러 헤어스타일러를 적용한 결과 영상들이다.

그림 11과 그림 12의 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있듯이 제안된 방법은 가변 모핑 마스크와 모발 블렌딩을 적용함으로써 모발 형상을 제외한 부분은 그대로 유지하면서 이중 노출 현상이 제거되고 동시에 자연스러운 착용감을 제공하는 여러 단계의 헤어스타일들을 자동적으로 생성할 수 있다.



▶▶ 그림 11. 'WOMAN 정면' 영상에 제안된 2D 가상 헤어스타일러를 적용한 결과 영상들



▶▶ 그림 12. 'WOMAN 측면' 영상에 제안된 2D 가상 컬러 헤어스타일러를 적용한 결과 영상들

IV. 결 론

본 논문에서는 반자동 필드 모핑에 기반한 2D 가상 컬러 헤어스타일러에서 가변 모핑 마스크를 기준삼아 시그모이드 함수를 이용하여 모발 블렌딩을 수행한 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 사전에 준비된 그래픽 객체 외에도 실제 영상에서 직접 추출한 헤어스타일을 사용할 수 있고, 추출한 헤어스타일 외에도 다양한 유형의 헤어스타일을 자동으로 생성할 수 있는 이점이 있다. 또한, 반자동 필드 모핑에 기반한 편리한 사용자 인터페이스를 제공할 수 있기 때문에 작업자의 피로도를 경감 시킴과 동시에 작업 시간을 단축할 수 있고 비숙련자도 간단한 사용자 입력을 통해 자연스러운 가상 헤어스타일을 생성할

수 있는 것이 특징이다.

제안된 가상 헤어스타일 생성 방법은 가발 업계뿐만 아니라 컴퓨터 애니메이션, 게임 캐릭터 및 게임 응용, 인터넷 아바타, 미용실 및 이용실의 가상 헤어스타일 생성 서비스 등의 분야에서 광범위한 활용 분야를 찾을 수 있다. 제안된 가상 헤어스타일 생성 방법을 관련 분야에 적용할 경우, 필드 모핑의 반자동화에 힘입어 응용 콘텐츠 창출의 저비용화와 고품질화를 기대할 수 있고 관련분야에 대한 다양한 기술적 과점효과를 유발시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 당 분야 응용 소프트웨어에 대한 사용자 만족도를 향상시킬 수 있고, 개발된 기존의 제품군에 적용하여 조기에 상품화를 실현할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나, 제안된 방법은 소수의 제어점이라도 사용자가 직접 설정해주어야 하는 단점이 있고 처리할 수 있는 영상에 다양한 제약 조건이 존재한다. 향후 이러한 문제를 단계적으로 해결하기 위한 연구가 추가적으로 진행될 필요가 있다.

향후 제안된 방법에 대한 성능 개선이 있을 경우, 디지털 특수효과, 2D/3D 가상 헤어스타일 시뮬레이션 기술, 2D/3D 가상 사이버 패션 기술, 사이버 캐릭터 생성, 2D/3D 애니메이션의 저작, DTV 콘텐츠 저작, 사용자 친화형 아이콘 제작 분야의 기존 기술을 점진적으로 대체할 수 있을 것으로 예측된다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] 김진수, 이두원, 고흥석, "자연스러운 머리카락 모델링 및 애니메이션", 컴퓨터그래픽스학회논문지, 제5권, 제1호, pp. 35-46, 1999.
- [2] 최병원, 고흥석, "파라미터 기반 머리카락 모델링 기법", 2004년 컴퓨터그래픽스학회 춘계학술대회논문집, pp. 123-129, 2004.
- [3] B. Choe, *Statistical Approaches for Synthesizing Realistic Face and Hair*, Ph. D. thesis, Seoul National University, Feb. 2004.
- [4] S. Hadap and N. Magnenat-Thalmann, "Interactive Hairstyler Based on Fluid Flow", *In Computer Animation and Simulation 2000*, pp. 87-99, Aug. 2000.
- [5] T. Kim and U. Neumann, "A Thin Shell Volume for Modeling Human Hair", *In Computer Animation 2000*, pp. 104-111, May 2000.
- [6] K. Ward and M. C. Lin, "Adaptive Grouping and Subdivision for Simulating Hair Dynamics", *In Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, 2003.
- [7] Y. Watanabe and Y. Suenaga, "A Trigonal Prism-based Method for Hair Image Generation", *IEEE Computer Graphics and Applications*, 12(1):47-53, Jan. 1992.
- [8] (주)하이모, <http://www.himo.co.kr>, Hi-MO Virtual Hair System, 2004.
- [9] (주)뷰티비지, <http://www.haircody.co.kr>, 헤어코디 4.0, 2007.
- [10] Demkin Technologies, <http://www.salonstyler.com>, Salon Styler Pro, 2007.

- [11] Visual Music Software, <http://www.visualmusic.com>, Hair Pro 2008, 2007.
- [12] 이형진, 광노윤, "반자동 필드 모핑: 계층적 다각 근사화에 기반한 재귀적 제어선 정합", 제17회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵(IPIU 2005) 발표 논문집, pp. 203-208, 2005. 1.
- [13] P. Salemier and M. Pardas, "Hierarchical Morphological Segmentation for Image Sequence Coding," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 3, No. 5, pp. 629-651, Sep. 1994.
- [14] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Wood, *Digital Image Processing 2nd Edition*, Prentice Hall, pp. 320-335, 2002.
- [15] 이형진, 광노윤, "반자동 필드 모핑: 계층적 다각 근사화에 기반한 재귀적 제어선 정합", 제17회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵(IPIU 2005) 발표 논문집, pp. 203-208, 2005. 1.
- [16] T. Beier and S. Neely, "Feature-Based Image Metamorphosis," *19th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, vol. 26, pp. 35-42, 1992.