

반자동 필드 기반 영상 워핑 및 모핑에 관한 연구

이형진^o, 김형민, 곽노윤
천안대학교 정보통신학부

A Study on Semiautomatic Field-based Image Warping and Morphing

Hyoung-Jin Lee^o, Hyoung-Min Kim, No-Yoon Kwak
Division of Information and Communication Engineering, Cheonan University

요 약

영상 워핑 및 모핑은 영상 안에서 각 화소들 사이의 공간적인 관계를 재구성하는 영상처리와 컴퓨터 그래픽스 기술이 결합된 분야로서 메쉬 방식과 필드 방식 등이 대표적이다. 이 중에서 필드 방식은 상대적으로 많은 연산량을 요구하는 것에 반해 제어선 설정이 용이하며 설정된 제어선의 위치나 길이의 변화에 대해 비교적 덜 민감하다는 장점이 있다. 필드 방식은 사용자가 제어선을 지정하는 과정의 대부분을 수작업에 의존하기 때문에 작업 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 양질의 결과를 얻기 위해서는 숙련을 요하는 불편함이 있다. 본 논문은 소스 영상과 목표 영상에서 워핑 대상체 쌍의 형상 정보를 획득한 상태에서 사용자가 수동으로 최소한의 특징점 쌍만을 지정하면 이렇게 지정된 특징점 쌍을 기준 삼아 다각형 기반 점점 탐색에 의해 소스 영상과 목표 영상에 상호 대응되는 제어선들을 자동적으로 설정한 후, 제어선 길이의 비율과 제어선으로부터의 이격 거리를 이용하여 영상 워핑과 모핑을 수행함으로써 영상 워핑 및 모핑의 반자동화를 실현할 수 있는 방법을 제안한다. 제안된 방법에 따르면, 사용자가 제어선을 설정하는 시간을 단축할 수 있고 비숙련자도 최소의 제어선만을 지정하여 자연스러운 워핑 및 모핑의 결과를 획득할 수 있는 이점이 있다.

1. 서 론

Wolberg는 영상 워핑(image warping)은 주어진 영상의 기하학적 변형을 다루는 분야라고 정의하고 있다. 한 영상의 기하학적 변형은 그 영상 안에서 각 화소들 사이의 공간적인 관계를 재구성하는 작업이다. 두 영상 사이에서 순차적인 변형 과정을 만들어 내는 작업을 영상 모핑(image morphing)이라고 한다. 워핑이 영상이 변하는 중간 과정이 없다는 점을 제외하면 워핑과 모핑은 거의 같은 작업이라 할 수 있다[1][2].

Beier과 Neely는 소스 영상(source image)과 변형된 후의 영상인 목표 영상(destination image)에서 그 특징을 잘 나타내주는 복수의 제어선들을 정의하고, 각각의 제어선들의 쌍이 어떻게 변화되어 매핑되는가를 수학적으로 계산하여 주변의 화소들을 이동시키고 보간함으로써 영상 모핑을 구현하고 있다[3].

초창기 워핑 기술은 NASA에서 인공위성과 우주선으로부터 수신된 영상들이 어안 렌즈(fisheye lens)를 통해 획득된 것처럼 왜곡되게 보여서 이를 보정하기

위해 고안되었다. 영상처리와 컴퓨터 그래픽스 기술이 결합된 기술로서 주로 컴퓨터 그래픽을 이용한 영화나 광고에 많이 사용되고 있다. 일그러진 행성 사진을 수정하거나 미아의 성인 사진 생성과 같은 실제적으로 다양한 분야에서 이용되고 있는 기술이다. 현재에는 비디오 게임, TV 프로그램, 뮤직 비디오 등의 특수효과 분야에서 이 기술을 사용하고 있다.

영상 워핑 알고리즘으로는 변경될 부분의 형태를 지정하는 방법에 따라 구분될 수 있는데 필드 기반 워핑(field-based warping), 메쉬 워핑(mesh warping)이 대표적이다. 메쉬 워핑은 소스 영상과 목표 영상을 서로 대응되는 다수의 다각형으로 분할한 후, 메쉬 단위로 기하학적 워핑을 수행하게 된다. 필드 기반 워핑은 메쉬 워핑에 비해 제어선 설정이 용이하며 설정된 제어선의 위치나 길이의 변화에 대해 비교적 덜 민감한 장점이 있다[4].

이 중 필드 기반 워핑은 사용자가 지정한 제어선에 따라 다양한 워핑 결과를 얻을 수 있으며 양질의 결

과영상을 얻기 위해서는 정확한 제어선들을 지정해야 한다. 이러한 제어선은 사용자가 수작업으로 입력해야 하기 때문에 작업 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 고품질의 결과를 얻기 위해서는 고도의 숙련을 요하는 불편함이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 부분적으로 해소하기 위해 영상 분할 기술을 이용하여 필드 기반 영상 워핑 및 모핑의 반자동화를 실현할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

2. 필드 기반 워핑

필드 기반 워핑[3]은 각 화소 단위의 역방향 매핑(reverse mapping)을 통해 소스 영상으로부터 목적 영상에 대응시킬 화소의 표본을 취한다. 소스 영상에서 어떤 화소를 목적 영상의 해당 위치에 대응시킬지 여부는 소스 영상과 목적 영상 간에 짝을 이루는 하나 이상의 제어선 쌍들의 가중치 합에 의해 계산된다.

필드 기반 워핑 알고리즘은 다른 워핑 알고리즘과 달리 다각형의 형태가 아니라 선의 형태로 제어를 수행한다. 그림 2와 같이 소스 영상(source image)과 목적 영상(destination image)에 상호 대응되는 제어선들을 설정한 후 제어선 길이의 비율과 제어선으로부터의 이격 거리를 이용하여 변형을 수행하는 알고리즘이다.

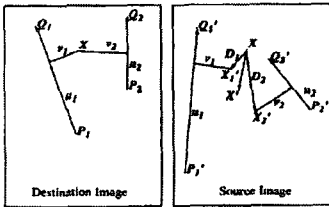


그림 1. 필드 기반 워핑을 위한 두 개의 제어선 쌍

각 제어선은 영상 내의 모든 화소에 약간씩 영향을 주고 복수의 제어선이 사용될 때, 화소마다 각 제어선에 대한 가중치가 할당된다. 가중치는 제어선의 길이에 비례하며 제어선과 떨어진 거리에 반비례한다. 따라서 제어선이 그려지면 제어선과의 거리가 멀어질수록 해당 화소에 적은 영향을 미치게 된다.

$$\text{가중치} = \left[\frac{\text{제어선의길이} \cdot p}{(a + \text{거리})} \right]^b \quad (1)$$

식(1)은 가중치의 계산 방법을 나타내고 있다. p 값은 선의 길이가 가중치에 영향을 주는 정도를 결정하

고, a 는 0으로 나누는 에러를 방지하기 위한 것이고, b 는 거리가 증가함에 따라 상대적인 가중치가 얼마나 감소하는가를 결정하는 변수이다.

필드 기반 워핑은 메쉬 워핑에 비해 제어선 설정이 용이하며 설정된 제어선의 위치나 길이의 변화에 대해 비교적 덜 민감하다는 장점이 있다. 모든 화소가 제어선에 따라 워핑되므로 제어선이 어떻게 주어졌는가에 따라 상이한 결과가 제공된다. 그러나, 필드 기반 워핑은 영상 내의 모든 화소들이 모든 제어선에 대해 계산되기 때문에 상대적으로 큰 복잡도로 인해 속도가 느리다는 단점이 있다. 워핑 결과 영상을 생성하는 데 걸리는 시간은 그 프레임내의 화소의 수와 제어선의 수에 정비례한다[4].

3. 반자동 필드 기반 영상 워핑 및 모핑

제안된 방법은 형태학 기반 영상 분할 방법[5]을 이용하여 소스 영상과 목표 영상에서 워핑 대상체 쌍의 형상 정보를 추출한다. 이후, 워핑 대상체 쌍의 형상 정보 상에 사용자가 수동으로 최소한의 특징점 쌍만을 지정한다. 이렇게 지정된 특징점 쌍을 기준 삼아 다각형 기반 정점 탐색에 의해 소스 영상과 목표 영상에 상호 대응되는 제어선들을 자동적으로 설정한 후, 제어선 길이의 비율과 제어선으로부터의 이격 거리를 이용하여 영상 워핑과 모핑을 수행한다.

3.1 영상 분할

본 논문은 다중척도 임계 기술기 영상을 기준 삼아 분리한 평탄 영역과 질감 영역에서 각각 독립적으로 마커를 추출함으로써 객체의 형상 정보를 효과적으로 보존하는 형태학적 영상 분할 기법[5]을 사용하고 있다.

제안된 반자동 필드 기반 영상 워핑 및 모핑 알고리즘에서 영상 분할 특성은 영상 워핑 또는 모핑 결과에 결정적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 자동화 알고리즘의 근간이 된다. 지금까지 다수의 영상 분할 알고리즘이 제안되어 있으나 2차원 영상의 특징상, 배경의 복잡도나 대비도에 상관없이 원하는 객체를 완벽하게 추출할 수 있는 영상 분할 기술은 존재하지 않는다. 따라서, 제안된 방법은 이미 워핑 대상체의 형상 정보를 사전에 알고 있거나 또는 블루스크린과 같은 매우 단순한 배경 위에 전경이 존재하는 영상에 한해 제한적으로 적용할 수밖에 없는 단점이 있다. 물론 영상 분할 과정에 사용자 입력을 사용하는 경우이거나 그 응용 분야의 특성 상 완벽한 형상 정보를 사용하지

않아도 될 경우에는 좀 더 복잡한 배경을 갖고 있는 영상도 적용할 수 있을 것이다.

3.2 대응 특징점 지정

소스 영상과 목적 영상의 형상 정보가 추출되어 제공되면 사용자는 외부 입력을 통해 소스 영상의 윤곽 정보 상에 워핑 대상체의 전역적 형상을 가장 잘 표현할 수 있는 적어도 하나 이상의 특징점을 입력한다. 이후, 목적 영상의 윤곽 정보 상에 소스 특징점에 각각 대응하는 동일한 개수의 특징점을 입력한다. 이와 같이 사용자가 외부 입력을 통해 특징점을 지정한다는 의미에서 '반자동화(semiautomation)'라는 용어를 사용한 것이며, 사용자의 외부 입력을 배제한 완전 자동화(full automation)를 위해서는 제한된 시간 내에 소스 특징점과 그에 대응하는 목표 특징점을 자동으로 추출하고 각각의 대응 특징점 쌍을 정합(mapping)시킬 수 있는 좀 더 지능화 된 알고리즘의 개발이 필요하다.

3.3 다각형 기반 정점 탐색에 의한 반자동 제어선 설정

반자동 제어선 설정 과정은 크게 소스 제어선 설정 과정과 목표 제어선 설정 과정으로 구성된다.

3.2.1 소스 제어선 설정

소스 제어선 설정 과정에서는 사용자가 외부입력을 통해 제공한 소스 형상 정보 상의 특징점 구간에서 다각형 기반 정점 탐색에 의해 객체의 형상을 효과적으로 묘사하는 소스 제어선을 자동적으로 추출한다.

다각형 기반 정점 탐색의 기본 원리는 다각형에 의해 주어진 윤곽 정보를 근사화시킬 수 있는 다각형의 정점을 탐색하는 것이다[6]. 물체의 모양을 묘사할 때, 물체의 모양이 가지는 특징을 잘 추출하여 적은 정보량으로 표현하는 것이 중요하다. 잘 알려진 바와 같이 다각형 기반 정점 탐색 방법은 근사 에러를 줄이기 위해 최대 허용 왜곡(D_{max})을 작게 할 경우에, 정점수가 급격히 늘어나게 되고 D_{max}를 크게 할 경우에는 근사 에러가 커지는 상보관계가 있다.

제안된 방법의 소스 제어선 설정 과정은 소스 영상으로부터 획득한 형상 정보로부터 다음과 같은 과정을 거쳐서 소스 영상의 제어선을 결정하기 위한 제어점을 추출한다.

우선, 적어도 하나 이상의 소스 특징점들 중 첫 번째 소스 특징점인 시작 소스 특징점을 제어점으로 선정한다.

이 시작 소스 특징점과 그 다음 특징점 간의 윤곽 세그먼트 구간에서 화소 단위로 예비 정점을 단계적으로 선택한다. 직전에 결정된 제어점과 예비 정점에 의해 형성된 다각형 변과 윤곽 세그먼트 구간의 최대 왜곡을 식(2) 및 식(3)을 통해 구한다.

식(2)에서 $d(p_{k-1}, p_k, t)$ 는 p_{k-1} 와 p_k 간의 직선과 임의의 점 t 사이의 가장 짧은 거리이고 x 와 y 는 각 점의 x 와 y 좌표들을 의미한다.

$$d(p_{k-1}, p_k, t) = \frac{|(t_x - p_{k-1,x})(p_{k,y} - p_{k-1,y}) - (t_y - p_{k-1,y})(p_{k,x} - p_{k-1,x})|}{\sqrt{(p_{k,x} - p_{k-1,x})^2 + (p_{k,y} - p_{k-1,y})^2}} \quad (2)$$

(p_{k-1}, p_k) 이 형성하는 다각형의 한 변과 윤곽 세그먼트의 일부분인 $\{b_j = p_{k-1}, b_{j+1}, \dots, b_{j+i} = p_k\}$ 사이의 최대 왜곡 거리는 식(3)과 같이 주어진다.

$$d(p_{k-1}, p_k) = \max_{t \in \{b_j = p_{k-1}, b_{j+1}, \dots, b_{j+i} = p_k\}} d(p_{k-1}, p_k, t) \quad (3)$$

이렇게 구한 최대 왜곡 거리 $d(p_{k-1}, p_k)$ 와 기 설정된 허용 최대 왜곡(D_{max})과 비교한 결과, 최대 왜곡이 허용 최대 왜곡(D_{max})보다 크면, 바로 직전 예비 정점 구간에서 최대 왜곡 거리를 갖는 화소의 위치를 제어점으로 선택하고 그렇지 않으면 다음 화소를 예비 정점으로 삼는 과정을 다음 특징점까지 반복한다.

예컨대, 그림 2에서 직전의 제어점 위치가 3번 위치 일 때, 9번 위치를 예비 정점의 위치로 하여 계산한 최대 왜곡이 허용 최대 왜곡보다 작다고 가정할 때, 10번 위치를 현 예비 정점의 위치라 하자. 이때, 마지막 정점의 위치인 3번과 예비 정점 위치인 10번 사이의 직선과 3번과 10번 사이의 윤곽 세그먼트 사이의 절대 거리를 구해 가장 큰 값을 최대 왜곡으로 정한 후 최대 허용 왜곡(D_{max})과 비교하여 최대 허용 왜곡(D_{max})보다 크다면, 가장 큰 최대 왜곡 값을 갖는 5번을 제어점으로 선택하고, 작을 경우 11번 위치를 예비 정점의 위치로 하여 최대 허용 왜곡 비교 과정을 반복한다.

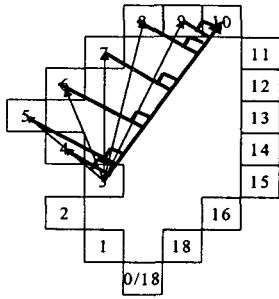


그림 2. 소스 영상의 제어점 탐색

모든 소스 특징점들 구간에서 이러한 과정을 수행함으로써 적어도 하나 이상의 소스 제어점들을 추출하고 각 제어점들을 연결하여 소스 영상의 모든 제어선들을 구할 수 있다.

3.2.2 목표 제어선 설정

제안된 방법의 목표 제어선 설정 과정은 목표 영상으로부터 획득한 형상 정보로부터 다음과 같은 과정을 거쳐서 목표 영상의 제어선을 결정하기 위한 제어점을 추출한다.

우선, 모든 소스 특징점과 목표 특징점들 구간에서 목표 영상의 형상 길이과 소스 영상의 형상의 길이 비를 구한다. 이후, 적어도 하나 이상의 목표 특징점들 중 첫 번째 목표 특징점인 시작 목표 특징점을 제어점으로 선정한다. 이 시작 목표 특징점과 그 다음 특징점 간의 윤곽 세그먼트 구간에서 해당 특징점 구간의 길이 비와 대응하는 소스 예비 정점의 윤곽 세그먼트 길이를 곱한 거리만큼 윤곽선 세그먼트를 따라 이동한 정점을 구한다. 이 정점과 직전에 결정된 제어점에 의해 형성된 다각형 변과 윤곽 세그먼트 구간의 최대 왜곡 거리를 갖는 화소의 위치를 제어점으로 선택하는 과정을 다음 특징점까지 반복한다

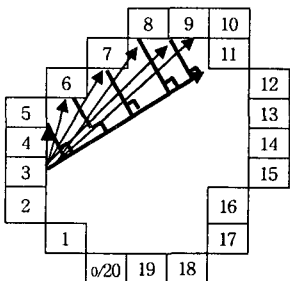


그림 3. 소스 영상의 제어점 탐색

예컨대, 그림 3에서 직전의 제어점 위치가 3이고 비례적으로 계산된 위치인 11을 정점의 위치로 삼아 계산한 최대 왜곡 거리하고 그 위치점이 8일 경우 이 위치를 다음 제어점으로 선택한다.

모든 소스 특징점들 구간에서 이러한 과정을 수행함으로써 적어도 하나 이상의 목표 제어점들을 추출하고 각 제어점들을 연결하여 목표 영상의 모든 제어선들을 구할 수 있다. 그림 4는 소스 영상과 목표 영상을 대상으로 다각형 기반 정점 탐색에 의해 반자동으로 제어선을 설정한 결과를 나타낸 것이다.



(a) 소스 영상, FABIO(middle) (b) 목표 영상, FABIO(young)

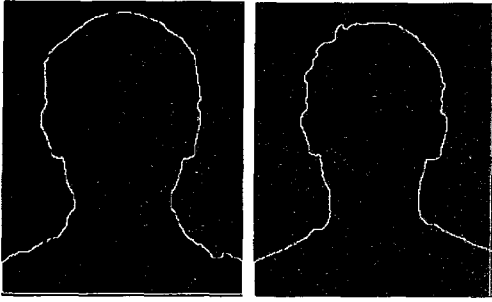
그림 4. 다각형 기반 정점 탐색에 의한 반자동 제어선 설정

그림 4에서 흰색 원이 임의로 주어진 특징점이고 검은색 원이 특징점 사이의 제어점을 자동으로 추출한 것이다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

제안된 방법의 성능을 평가하기 위해 소스 영상은 FABIO의 중년 상반신 사진인 FABIO(middle) 영상을, 목표 영상은 FABIO의 청년 상반신 사진인 FABIO(young) 영상을 시험 영상으로 삼아 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 영상 워핑 또는 모핑을 수행하기 위한 역방향 매핑(reverse mapping) 과정에서 소스 영상과 목표 영상의 화소가 정수 화소 단위로 대응되지 않을 경우, 새로운 화소값을 생성하기 위해 적합한 영상 보간 기술이 필요하다. 제시한 시뮬레이션 결과는 최인접 화소 보간법(Nearest Neighbor Interpolation)을 사용한 것이다.

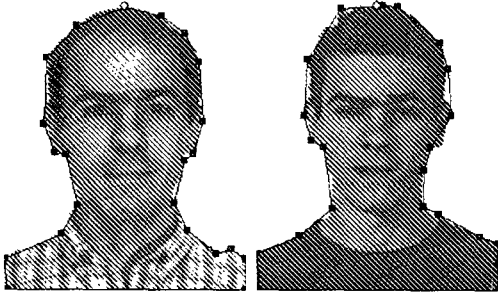
그림 5는 소스 영상과 목표 영상의 형상 정보를 각각 나타낸 것이다. 그림 6은 사용자의 외부 입력을 통해 1개의 특징점을 제공받은 경우이고, 그림 7은 4개의 특징점을 입력받은 경우의 시뮬레이션 결과이다. 그림 6과 그림 7의 비교를 통해 알 수 있듯이 상대적으로 많은 특징점을 외부로부터 입력받을 경우, 좀 더 자연스러운 모핑 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.



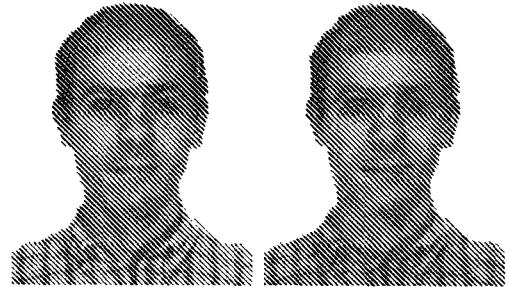
(a) 소스 영상, FABIO(middle) (b) 목표 영상, FABIO(young)
그림 5. 제어점 탐색을 위한 객체의 형상 정보



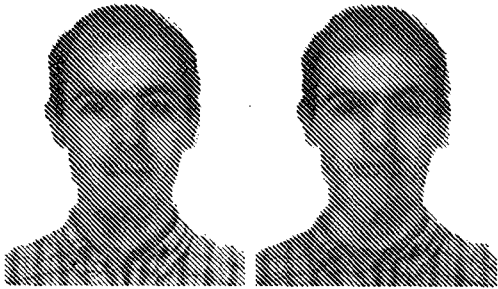
(a) 4개의 특징점을 사용한 소스 영상과 목표 영상의 제어선들



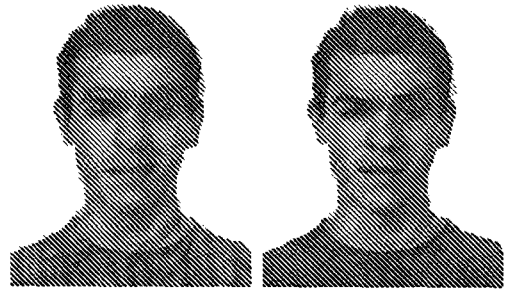
(a) 1개의 특징점을 사용한 소스 영상과 목표 영상의 제어선들



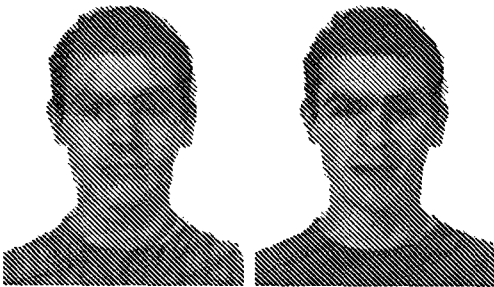
(b) 20% 모핑된 영상 (c) 40% 모핑된 영상



(b) 20% 모핑된 영상 (c) 40% 모핑된 영상



(d) 60% 모핑된 영상 (e) 80% 모핑된 영상
그림 7. 4개의 특징점을 이용한 모핑 영상



(d) 60% 모핑된 영상 (e) 80% 모핑된 영상

그림 6. 1개의 특징점을 이용한 모핑 영상



(a) 소스 영상과 목표 영상에 대한 제어선

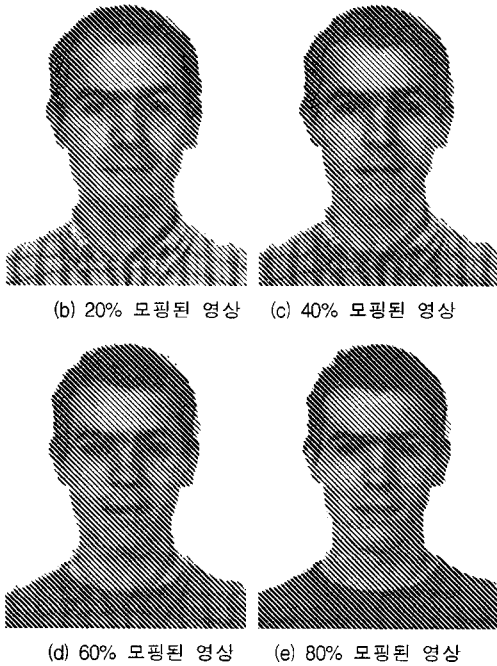


그림 8. 4개의 특징점과 추가 제어선을 이용한 워핑 영상

그림 8은 4개의 특징점 외에 얼굴의 특징부위와 머리카락의 윤곽 부분에 추가적인 제어선을 제공함으로써 좀 더 자연스럽게 중년의 FABIO에서 청년 FABIO로 모핑되고 있는 시물레이션 결과를 제시한 것이다.

시물레이션 결과를 통해 확인할 수 있듯이 소스 영상과 목표 영상간에 완벽한 제어선 쌍의 정합을 얻을 수는 없으나 반자동임에도 불구하고 매우 자연스러운 필드 기반 모핑 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 필드 기반 워핑 과정 중 제어선을 설정함에 있어서 영상 분할을 사용하여 형상 정보를 생성한 후 다각형 기반 정점 탐색을 통하여 객체의 형상을 효과적으로 묘사하는 제어선을 반자동으로 설정함으로써 사용자는 소수의 특징점만을 입력하더라도 양질의 워핑 또는 모핑 결과를 제공할 수 있는 반자동 필드 기반 영상 워핑 및 모핑 기법을 제안하였다.

제안된 방법을 관련 분야에 적용할 경우, 영상 워핑 및 모핑의 자동화에 힘입어 응용 콘텐츠 창출의 저비

용화와 고품질화를 기대할 수 있고 관련분야에 대한 다양한 기술적 파급효과를 유발시킬 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 시물레이션 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.

또한, MPEG-4의 main profile이 영상 분할에 기초하고 있고 제안된 방법 또한 영상 분할에 기반하고 있기 때문에 MPEG-4의 새로운 응용 분야를 개척할 수 있는 주요한 도구들 중의 하나로 부상할 가능성이 있다.

【참고문헌】

- [1] George Wolberg, *Digital Image Warping*, IEEE Computer Society Press, 1990.
- [2] J. Gomes, L. Darsa, B. Costa and Luiz Darsa, *Warping and Morphing of Graphical Objects*, Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
- [3] T. Beier, and S. Neely, "Feature-Based Image Metamorphosis", *Proceedings of SIGGRAPH'92 on Computer Graphics*, vol. 26(2), pp. 35-42, Jul. 1992.
- [4] Randy Crane, *A Simplified Approach to Image Processing*, Prentice Hall, pp. 245-292, 1997.
- [5] 이형진, 서정구, 광노운, "형태학적 영상 분할을 위한 저대조 형상 정보 보존 기법", 2003년도 한국산학기술학회 추계학술발표논문집, 제4권, 제2호, pp. 284-287, 2003. 11.
- [6] 서정구, 광노운, 서범석, 황병원, "왜곡 패턴 유형에 의한 다각형 기반 형상 부호화의 근사 정점 탐색", 디지털컨텐츠학회논문지, 제3권, 제2호, pp. 197-209, 2002, 12.