

영상 모핑

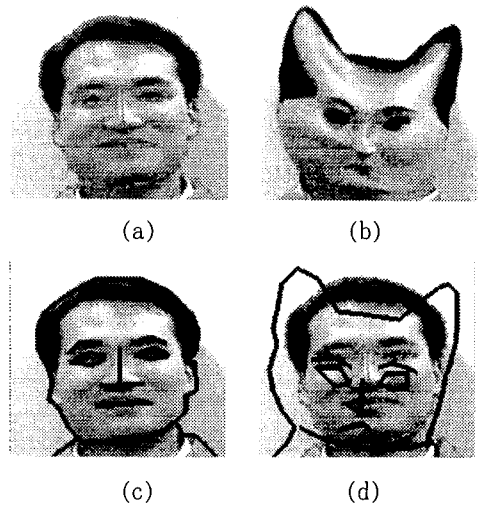
申成勇, 金皓卿, 李承勇
 韓國科學技術院 電算學科

I. 서론

영상 모핑(image morphing) 기법이 최근 들어 다양한 분야에서 응용되고 있다. 대표적인 예가 고도의 특수 시각 효과를 필요로 하는 영화와 광고 분야이다. 모핑 기법을 이용함으로써, 기존의 카메라를 사용한 특수 촬영과 영상의 편집으로는 불가능한 환상적인 영상을 얻을 수 있다. 마이클 잭슨의 뮤직 비디오 “Black or White”와 영화 “Willow”, “Indiana Jones and the Last Crusade” 그리고 “구미호” 등에서 사용된 모핑 애니메이션은 관객을 새로운 영상의 세계로 빨아들인다.

본 논문에서는 최근에 제안된 여러 모핑 기법과 이들의 장, 단점을 비교하고, 앞으로 모핑 기법의 연구가 나아갈 길을 제시하고자 한다. 먼저 서론에서 모핑과 영상 와핑(warping)의 기본 개념과 이에 관련된 기본 용어들을 정리하고자 한다.

영상 와핑은 주어진 한 영상을 다른 영상으로 변형시키는 기법이다. 그림 1(a)와 같은 영상이 주어졌을 때, 와핑 기법을 이용하여, 얼굴의 윤곽을 늘려서 그림 1의 (b)와 같은 영상을 생성할 수 있다. 한 영상을 변형하고자 할 때, 사용자가 관심을 가지고 변형시키고자 하는 부분, “특징”을 결정한다.



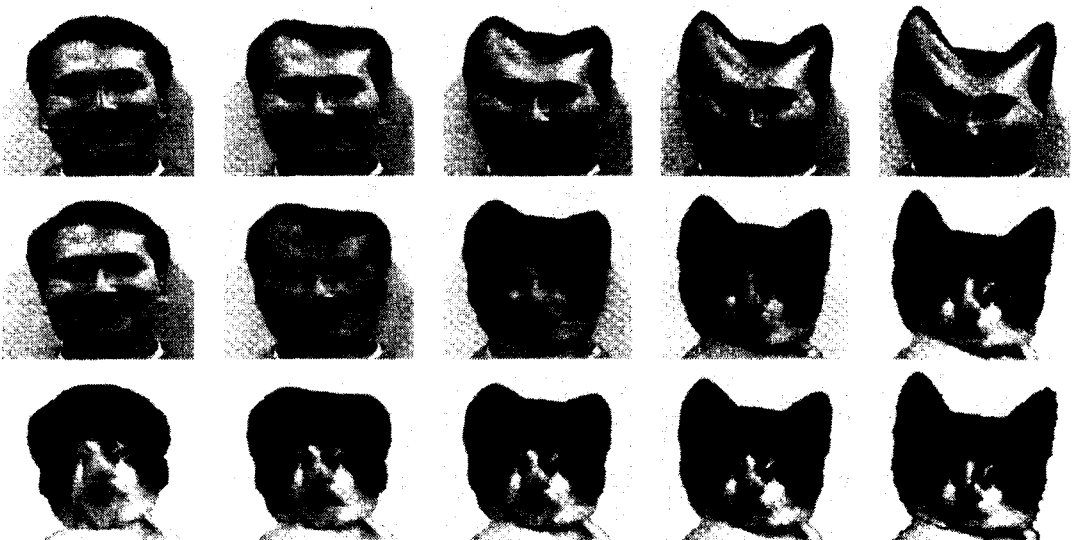
〈그림 1〉 영상 와핑의 예

다. 그림 1의 예에서는 얼굴의 윤곽선, 눈, 코, 입이 특징이며, 변형이 중점적으로 이루어지는 부분이다. 영상의 특징은 주어진 영상과 사용자의 의도에 의해서 결정된다. 예를 들어, 웃는 얼굴의 영상을 우울한 표정의 영상으로 변형하고자 한다면, 얼굴 표정을 결정하는 중요한 요소인 눈과 입이 특징이 된다.

사용자는 주어진 영상에 특징을 “특징 요소”로 표시한다. 특징 요소는 점, 선분, 곡선 등이 될 수 있다. 사용자가 영상 위에 특징 요소인 선분과 곡선을 이용하여 특징을 지정한 예가 그림 1의 (c)이며, 검은선이 특징 부분을 나타낸다. 특징 요소로 특징을 표시한 후, 이들을 어떻게 변형할 것인가를 지정하여야 한다. 그림 1의 (d)는 눈, 코, 입 그리고 얼굴 윤곽선 각각에 대응되는 새로운 위치를 표시한 예이다. 특징들의 새로운 위치는 지정되었지만, 특징 이외의 부분, 예를 들어 뺨이나 이마 부분은 어디로 움직여야 하는지를 결정하지 않았다. 와핑 함수는 영상의 모든 점의 새로운 위치를 결정하는 함수로, 특징의 대응 관계에 의해서 계산된다. 그림 1의 (c)와 (d)에서 지정한 특징의 대응 관계를 이용하여, 와핑 함수를 계산한 후, (a)

의 영상에 와핑 함수를 적용하면, (b)와 같은 결과를 얻을 수 있다. 변형된 영상 (b)의 특징 부분이, (d)에서 지정한 위치로 이동했음을 알 수 있다.

와핑이란, 영상 I 가 주어지고, 사용자가 특징 요소 $F=\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ 과 그들의 새로운 위치 $F'=\{f'_1, f'_2, \dots, f'_n\}$ 를 지정하면, $f=W(f_i), 1 \leq i \leq n$ 을 만족하는 와핑 함수 W 를 구하고, W 를 영상 I 에 적용하여 새로운 영상 I' 를 생성하는 연산이다. 와핑 함수 W 를 이용하여, 시간 변수 $t, 0 \leq t \leq 1$ 에 따라 I 에서 점차 I' 로 변하는 영상들을 연속적으로 생성할 수 있다. 시간 t 때 생성되는 중간 영상을 $I_t(t)$ 라 하자. $I_t(0)=I$ 이고, $I_t(1)=I'$ 이다. 시간 t 에 의한 와핑 함수 $W_t(t)$ 를 $(1-t)R+tW$ 로 정의하면, $I_t(t)$ 는 $W_t(t) \cdot I$ 이다. 단, R 은 identity 함수이고, $W_t(t) \cdot I$ 는 와핑 함수 $W_t(t)$ 를 영상 I 에 적용함으로써, 생성된 새로운 영상을 의미한다. 그림 2의 첫 행은 왼쪽 영상에서 오른쪽 영상으로 점차 변하는 영상을 와핑 기법으로 생성한 예이다. 와핑으로 연속적인 영상을 생성하는 과정을 정리하면 다음과 같다.



〈그림 2〉 균등한 속도의 모핑 애니메이션

<표 1> 와핑 기법을 이용한 연속적인 영상의 생성과정

Input : image I
 feature primitive sets F and F' on I
 Output : new image sequence $I_i(t)$ transforming
 from I to I'
 Algorithm : find warping function W s.t.
 $f'_i = W(f_i), 1 \leq i \leq n$
 while $0 \leq t \leq 1$
 $W_i(t) \leftarrow (1-t)R + tW$
 $I_i(t) \leftarrow W_i(t) \cdot I$

와핑이 하나의 영상에 대한 unary 연산이라면, 모핑은 두 개의 영상에 대한 binary 연산이다. 모핑은 주어진 두 영상을 닮은 중간 영상을 생성한다. 주어진 두 영상의 중간 영상을 생성하는 간단한 방법으로 색상 혼합법(color blending)이 있다. 또한, 한 영상을 점차 fade-out 하고, 동시에 다른

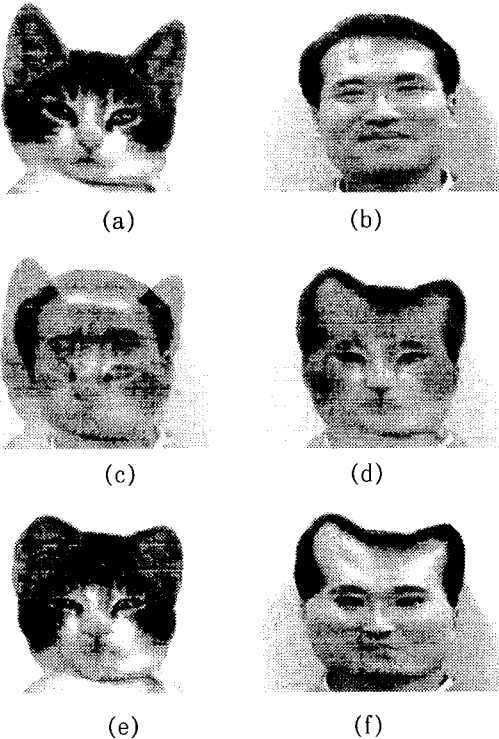
영상을 fade-in 하면서 두 영상을 혼합함으로써 한 영상에서 점차 다른 영상으로 변하는 애니메이션을 생성할 수 있다. 그림 3의 (c)는 주어진 두 영상, (a)와 (b)를 색상 혼합함으로써 얻어진 중간 영상이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 색상 혼합법만을 사용할 경우, 주어진 두 개의 영상이 흐릿하게 겹쳐진 중간 영상이 생성되며, 이러한 특징은 영상 간의 자연스러운 변환을 저해한다.

영상 모핑은 주어진 두 영상의 특징이 동일한 위치에 놓이도록 와핑한 후, 두 영상을 혼합함으로써, 단순한 색상 혼합 방법의 단점을 극복한다. 그림 3의 (a)와 (b) 영상이 주어졌을 때, 이들의 특징을 지정하고, 두 영상을 각각 (e)와 (f)로 와핑한 후, 색상 혼합한 결과가 (d)이다. 그림에서도 볼 수 있듯이, 중간 영상의 특징인 눈, 코, 입 등이 동일한 위치에 있으며, 깨끗한 중간 영상이 생성되었다.

영상 I_0 와 I_1 이 주어지면, 사용자는 영상 I_0 과 I_1 각각의 특징, $F_0 = \{f_1^0, f_2^0, \dots, f_n^0\}$ 와 $F_1 = \{f_1^1, f_2^1, \dots, f_n^1\}$ 을 지정한다. 특징의 대응관계를 이용하여, I_0 의 각 특징 f_i^0 을 f_i^1 의 위치로 움직이는 와핑 함수 W_0 과 I_1 의 각 특징 f_i^1 을 f_i^0 의 위치로 움직이는 와핑 함수 W_1 를 구한다. 와핑 함수 W_0 과 W_1 을 이용하여, 영상 I_0 에서 점차 I_1 으로 변하는 중간 영상 $I_i(t)$ 를 연속적으로 생성할 수 있다. 시간 변수 $t, 0 \leq t \leq 1$ 에 따른 와핑 함수 $W_{0i}(t)$ 와 $W_{1i}(t)$ 를 구한 후, 두 개의 중간 영상 $I'_0 = W_{0i}(t) \cdot I_0$ 과 $I'_1 = W_{1i}(t) \cdot I_1$ 를 생성한다. I'_0 와 I'_1 의 색상을 $1-t$ 와 t 의 비율로 혼합함으로써, 영상 $I_i(t)$ 를 생성한다. 이를 정리하면 표2와 같다.

그림 1의 두 번째 행은 왼쪽 영상과 오른쪽 영상이 주어졌을 때, 왼쪽에서 오른쪽의 영상으로 점차 변하는 애니메이션을 모핑 기법으로 생성한 예이다.

I_0 에서 I_1 으로 변하는 중간 영상 $I_i(t)$ 를 생성할 때, 영상 I_0 와 I_1 상의 점들이 서로 다른 속도로 와핑된다면, 보다 흥미로운 애니메이션을 생성할 수 있다. 시간 변수 t 를 다르게 적용하기 위하여, 변환



<그림 3> 영상 모핑과 색상 혼합법의 비교

〈표 2〉 모핑 기법을 이용한 연속적인 영상의 생성 과정

Input : image I_0 and I_1

feature primitive sets F_0 on I_0 and F_1 on I_1

Output : new image sequence $I_i(t)$ transforming from I_0 to I_1

Algorithm : find warping function W_0 , s.t.

$$f_i^0 = W_0(f_i^1), 1 \leq i \leq n$$

find warping function W_1 , s.t.

$$f_i^0 = W_1(f_i^1), 1 \leq i \leq n$$

while $0 \leq t \leq 1$

$$W_{0t}(t) \leftarrow (1-t)R + tW_0$$

$$W_{1t}(t) \leftarrow tR + (1-t)W_1$$

$$I_0'(t) \leftarrow W_{0t}(t) \cdot I_0$$

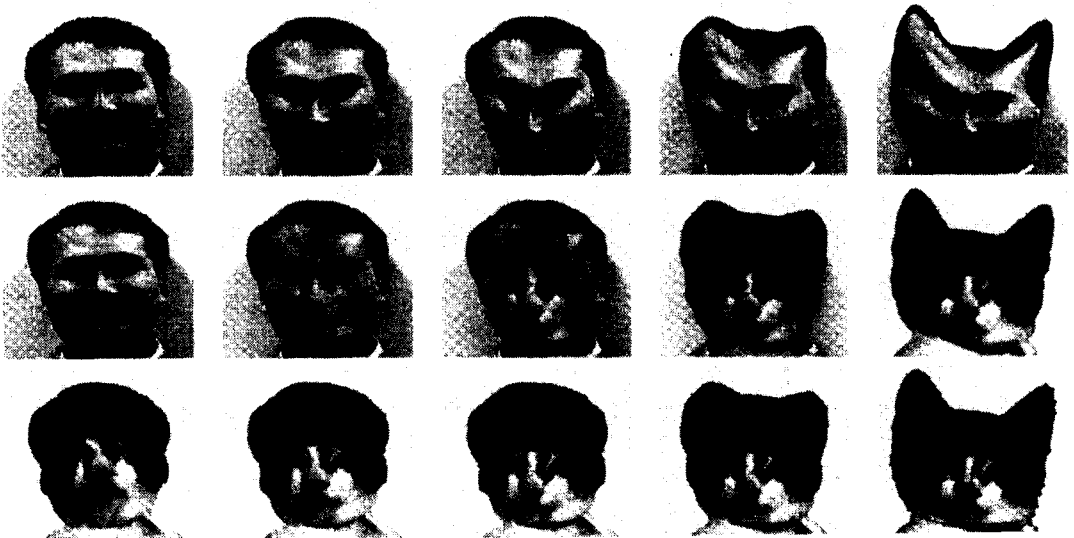
$$I_1'(t) \leftarrow W_{1t}(t) \cdot I_1$$

blend $I_0'(t)$ and $I_1'(t)$ at the rate of $1-t$ and t

속도 함수 T 를 사용한다. T_0 는 I_0 상의 각 점이, 대응하는 $W_0 \cdot I_0$ 상의 점으로 얼마나 빠르게 변할 것인지를 나타내며, T_1 는 I_1 상의 각 점이, 대응하는 $W_1 \cdot I_1$ 상의 점으로 얼마나 빠르게 변할 것인지를 나타낸다. 그림 4의 두 번째 행은, $I_i(t)$ 생성시 시간 변수 t 를 영상의 각 부분에 다르게 지정함으로써 얻어진 영상의 예이다. 변환 속도를 다르게 지정함으로써 사람의 눈, 코, 입 부분이 얼굴의 윤곽선보다 먼저 고양이의 형태로 변하는 애니메이션을 생성하였다.

앞에서 설명한 내용을 정리하여 보면, 영상 모핑을 하기 위해서는 다음 세가지 문제를 해결하여야 한다.

- 특징 집합 F_0 과 F_1 을 어떻게 지정할 것인가?
- 와핑 함수 W_0 과 W_1 를 어떻게 유도할 것인가?
- 변환 함수 T_0 과 T_1 을 어떻게 계산할 것인가?



〈그림 4〉 비균등한 속도의 모핑 애니메이션

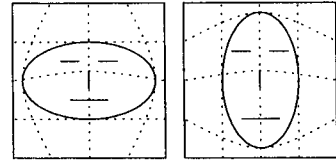
본 논문에서는 위의 세가지 문제를 해결하기 위한 최근의 연구들을 살펴본다. 메쉬 와핑(mesh warping)^[7], 장 모핑(field morphing)^[1], 얇은 막 생성을 이용한 모핑^[3], 에너지 최소화 기법^[4], 그리고 다단계 자유 변형 기법^[5]들을 정리하고, 이들간의 장단점을 비교하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 특징 지정 방법에 대해서 살펴보고, 3장에서는 와핑 함수의 생성 방법을, 4장에서는 변환 속도 함수에 대해서 정리하고자 한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 특징 및 특징 대응 지정

두 개의 영상 I_0 과 I_1 이 주어지면, 사용자는 영상 상에 특징 $F_0 = \{f_1^0, f_2^0, \dots, f_n^0\}$ 와 $F_1 = \{f_1^1, f_2^1, \dots, f_n^1\}$ 을 지정한다. 특징 f_1^1 은 특징 f_1^0 에 대응되며, 특징들간의 대응 관계를 이용하여, 와핑 함수를 유도한다. 사용자는 영상 상에 수작업으로 특징을 지정하며, 특징 대응에 따라 모핑 결과가 다르게 생성되므로, 사용자는 원하는 모핑 애니메이션을 생성하기 위하여, 특징 지정 단계에 많은 시간을 투자한다. 따라서, 사용자가 특징 지정을 효율적이고, 정확하게 할 수 있는 특징 지정 방법을 모핑 시스템이 제공하여야 한다. 특징 지정 기법과 와핑 함수 유도 과정은 상당히 밀접한 관계에 있으며, 모핑 기법에 따라 특징 지정 방법이다르다. 본 절에서는 여러 모핑 알고리즘이 제공하는 특징 지정 방법, 즉, 특징 요소에 대해서 알아 본다.

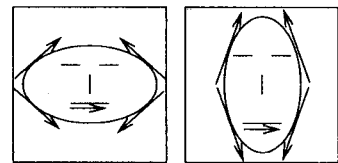
격자 와핑은, 두 영상 상에 동일한 위상(topology)의 격자를 이용하여 특징의 대응관계를 지정한다^[7]. 그림 5은 격자를 이용하여 특징을 설정한 예를 보인다. 격자점을 움직임으로써 격자의 형태를 바꿀 수 있다. 영화 "Willow"의 모핑 애니메이션은 격자 와핑 기법을 이용하여 제작한 것이다. 격자 와핑 기법은 자연스러운 중간 영상을 생성하지



(그림 5) 격자 와핑의 특징 지정

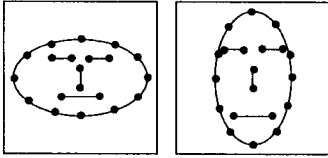
만, 격자를 이용한 특징 지정 방법은 사용하기가 불편하다. 격자가 영상 전체를 덮고 있으므로, 특징이 없는 부분에 대해서도 격자점을 조절하여야 하며, 임의의 형태의 특징을 격자로 표현하기는 어렵다.

특징 지정시, 보다 사용하기 편한 사용자 인터페이스를 제공하기 위하여, Beier와 Needy는 이차원 벡터를 이용하여 특징들간의 대응관계를 지정하는 모핑 기법인 장 모핑(field morphing) 기법을 제안하였다^[1]. 그림 6는 벡터를 이용하여 특징을 지정한 예이며, 마이클 잭슨의 뮤직 비디오, "Black or White"에서 사람들의 얼굴이 연속적으로 변하는 애니메이션은 장 모핑 기법에 의해서 제작된 것이다. 특징 부분에만 벡터를 표시함으로써, 격자를 이용한 방법 보다 빠르고, 쉽게 특징을 지정할 수 있으나, 곡선 형태의 특징을 정확하게 지정하기 위해서는 많은 수의 벡터가 필요하다.



(그림 6) 장 모핑의 특징 지정

점, 선분 그리고 곡선을 모두 사용함으로써, 임의의 형태의 특징을 손쉽게 지정할 수 있다. 이 승용등은 점을 이용하여 특징을 지정하는 모핑 기법을 제안하고, 이를 모핑 시스템으로 구현하였다^[3,4,5]. 사용자는 점 이외에 선분과 곡선을 이용하여, 특징을 지정할 수 있으며, 시스템 내부에서는 선분과 곡선 상의 점들을 추출하여, 선분과 곡선으로 지정된 특징들을 점들의 집합으로 전환한다. 그림 7은



(그림 7) 점을 이용한 특징 지정

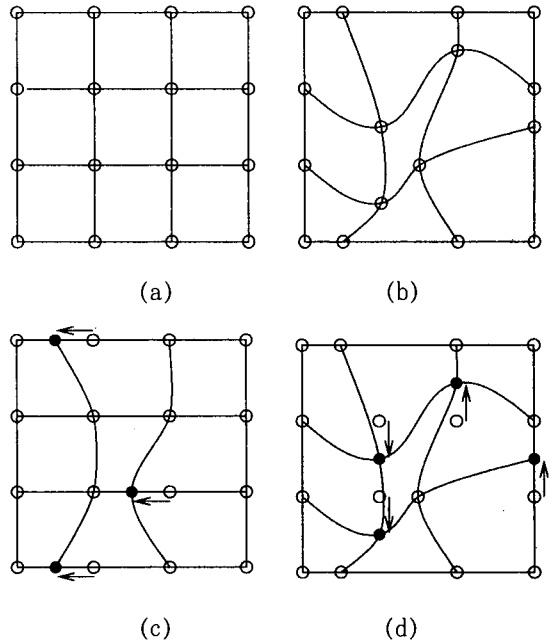
점을 이용하여 특징을 지정한 예이다. 사용자는 특징의 정확한 위치를 특징 요소로 표시하기 위하여, 특징 요소를 조금씩 움직이는 작업을 반복하여야 한다. 대부분의 특징이 얼굴의 윤곽선과 같이 색상이 갑자기 변하는 곳에 위치하는 점을 감안하여, 이 승용등은 스네이크(snake) 기법을 도입하여 사용자의 부담을 덜고, 특징 지정을 보다 빠르고 정확하게 할 수 있도록 하였다^[4,5] 스네이크란 영상 상에서 정의되는 에너지 양을 최소화하는 스플라인이며^[2], 사용자가 특징 부근에 선분, 곡선 또는 점들을 지정하여 스네이크의 초기 위치를 결정하면, 스네이크는 색상이 급격하게 변하는, 특징의 정확한 위치로 움직인다.

III. 외핑 함수의 생성

사용자가 두 영상의 특징 대응 관계를 지정하면, 특징이 지정되지 않은 부분에 대한 대응 관계를 결정하는 외핑 함수를 생성한다. 외핑 함수는 영상 상의 각 점의 새로운 위치를 결정한다. 외핑 함수는 사용자가 특징 대응 관계로 지정한 위치 제약을 만족하여야 하며, 사용자가 모핑 결과를 쉽게 예측할 수 있도록, 연속적이고, 일대일 대응 관계를 만족하는 것이 좋다. 본 절에서는 I_0 영상과 I_1 영상 각각의 특징 집합 $F_0 = \{f_1^0, f_2^0, \dots, f_n^0\}$ 과 $F_1 = \{f_1^1, f_2^1, \dots, f_n^1\}$ 이 주어졌을 때, $f_i^1 = W_0(f_i^0)$, $1 \leq i \leq n$ 을 만족하는 외핑 함수 W_0 의 생성 방법에 대해서 알아 본다. W_0 함수를 I_0 에 적용함으로써, 각 특징 f_i^0 이 f_i^1 의 위치에 놓이도록 I_0 이 변형된다. W_0 함수의 생성 방법과 동일한 방법으로 외

핑 함수 W_1 을 생성할 수 있다.

격자를 이용하여 특징을 지정한 격자 외핑은 수평 재추출(horizontal re-sampling)과 수직 재추출(vertical re-sampling) 단계를 거쳐서 영상을 외핑한다^[7]. 그림 8의 (a)는 I_0 영상 상에서 정의된 격자이고, (b)는 I_1 영상 상에서 정의된 격자이다. I_0 상에 정의된 각 격자점의 위치 (u_i, v_i) 가 I_1 상의 격자점 (x_i, y_i) , $1 \leq i \leq n$ 에 대응된다고 하자. 수평 재추출 단계에서는 격자점 (u_i, v_i) 가 (x_i, v_i) 위치로 오도록, I_0 영상의 각 행에 대해서 영상 재추출(image re-sampling)을 하여 중간 영상 I 를 생성한다(그림 8(c)). 중간 영상 I 는 I_0 의 영상을 수평 방향으로만 변형한 결과이다. 두 번째 수직 재추출 단계에서는 (x_i, v_i) 격자점이 (x_i, y_i) 에 오도록 중간 영상 I 의 각 열에 대해서 재추출하여 최종 영상을 생성한다(그림 8(d)). 격자 외핑 방법은 효율적이며, 외핑 함수가 특징의 위치 제약과 연속성, 일대일 대응 관계를 만족하지만, 격자를 이용하여 대응 관계를 지정하여야 하는 단점이 있다.



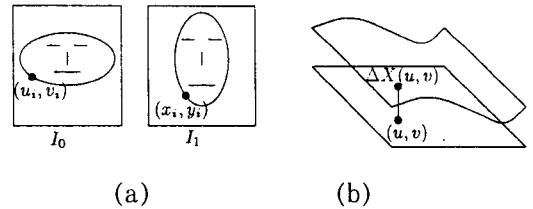
(그림 8) 격자 외핑

특징 지정의 사용자 인터페이스를 개선하기 위하여 이차원 벡터로 특징을 지정하는 장 모핑 기법이 개발되었다^[1]. 장 모핑 기법은 영상 상에 정의된 각 벡터 주위에 벡터의 영향장(influence field)을 생성한다. 각 벡터의 영향장은 그림 9의 (a)에서와 같이 정의된다. v_i 는 특징 벡터 f_i 와 영상의 한 점 P 와의 거리이고, u_i 는 벡터상에서 표준화된 길이이다. f_1^0 벡터가 f_1^1 벡터와 대응될 때, u_1 와 v_1 값을 이용하여, P 의 새로운 위치 P' 를 구한다. 대응되는 각 벡터 쌍에 의해서 영상의 모든 점의 새로운 위치를 결정할 수 있으며, 벡터 쌍이 여러 개 있을 경우에는 각 쌍에 의해서 결정된 위치의 가중 평균으로 새로운 위치를 결정한다. 그림 9(b)의 벡터 f_1^1 와 f_2^1 가 각각 (a)의 f_1^0 와 f_2^0 에 대응될 때, f_1^0 과 f_1^1 벡터 쌍과, f_2^0 과 f_2^1 쌍으로 P 의 새로운 위치, P'_1 와 P'_2 를 계산할 수 있으며, 최종적인 P 의 위치는 P'_1 와 P'_2 위치의 가중 평균이다. 각 벡터 쌍의 가중치는 점 P 와의 거리인 v_i 에 반비례한다. 장 모핑 기법은 영상 상의 각 점의 대응점을 찾기 위하여 특징 벡터들을 모두 고려하여야 하므로, 수행 속도가 느리며, 사용자가 예기치 못한 왜곡 결과가 생성되기도 한다. 또한, 장 기법에 의해서 생성된 왜곡 함수는 일대일 대응을 만족하지 않는다.

영상 위의 특징에 점을 찍어줌으로써 사용자는 편리하게 특징 대응을 지정할 수 있다. 특징 지정이 점으로 이루어진 경우, 점들을 보간하는 곡면을 생성함으로써 왜곡 함수를 계산할 수 있으며, 얇은

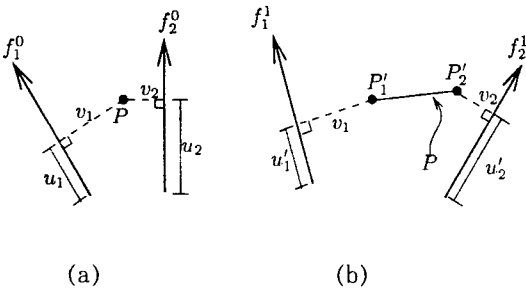
막 생성^[3], 에너지 최소화^[4], 다단계 자유 변형 기법^[5] 등이 주어진 점을 보간하여 왜곡 함수를 생성하는 모핑 기법들이다.

그림 10의 (a)에서와 같이, I_0 영상과 I_1 영상 각각에 n 개의 특징점(u_i, v_i)와 특징점(x_i, y_i)들이 지정되어있다고 하자. I_0 영상의 임의의 점(u, v)의 대응하는 새로운 위치를 결정하는 왜곡 함수 $W(u, v)$ 를 $(u + \Delta X(u, v), v + \Delta Y(u, v))$ 와 같이 정의할 수 있다. $\Delta X(u, v)$ 와 $\Delta Y(u, v)$ 각각에 대한 곡면을 생성하여 W 를 구한다. $\Delta X(u, v)$ 는 $\Delta X(u, v_i) = x_i - u_i, 1 \leq i \leq n$ 을 지나는 곡면이고, $\Delta Y(u, v)$ 는 $\Delta Y(u, v_i) = y_i - v_i, 1 \leq i \leq n$ 을 지나는 곡면이다(그림 10(b)). 주어진 점을 지나는 부드러운 곡면을 생성하는 기법에 대한 연구들이 활발하게 진행되었으며, 이 응용등은 얇은 막 생성 기법을 이용하여 곡면을 생성하고, 왜곡 함수를 구하였다^[3]. 그러나, 이 방법에 의해서 구해진 왜곡 함수는 일대일 대응을 만족하지 않는다.

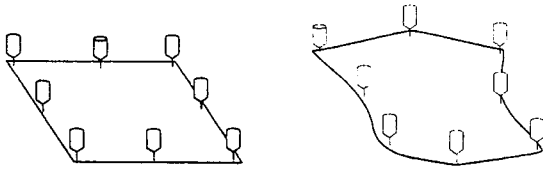


(그림 10) 얇은 막 생성 기법

에너지 최소화 기법은 일대일 대응을 만족하는 기법이며, 점들을 이용하여 특징을 지정한다. 에너지 최소화 기법은 네모난 고무막을 시뮬레이트하여 왜곡 함수를 구한다. 네모난 고무막에는 압정이 달려 있어서, 고무막의 형태를 바꿀 수 있다고 하자(그림 11). 고무막의 압정을 움직이면, 고무막이 변형된다. 특징점의 위치와 대응 관계는 압정 역할을 한다. 에너지 최소화 기법은 고무막의 성질, 즉, 압정의 위치 제약을 준수하고, 연속적이며, 일대일 대응을 만족하는 성질을 각각 에너지 항으로 표현하고, 이들의 합을 최소화하여, 왜곡 함수를 계산한다^[4]. 에너지 최소화 기법은 물리적으로 의



(그림 9) 장 왜곡



〈그림 11〉 영상 모핑과 고무막의 변형

미있는 에너지 항을 계산하므로, 변형이 자연스럽게, C' 연속하며, 일대일 대응인 와핑 함수를 생성한다. 그러나, 와핑 함수를 계산할 때, 많은 시간이 소요된다.

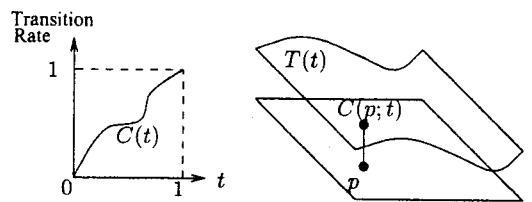
Sederberg와 Pary가 제안한 자유 변형 기법(FFD: Free-Form Deformation) 기법은 삼차원 그래픽 물체(3D graphical object)를 쉽게 변형할 수 있는 도구이다^[6]. 변형하고자 하는 물체를 평형 육면체 형태의 조정 격자로 둘러싼 후, 격자점들을 움직여서 삼차원 물체의 형태를 변형한다. 이차원 FFD는 이차원 평면상의 판(plate)을 덮는 조정 격자의 격자점을 움직임으로써, 판을 변형한다. 이승용등이 제안한 다단계 자유 변형 기법(MFFD: Multiple Free-Form Deformation)은 FFD 개념을 확장한 모핑 기법으로, 점으로 특징을 지정한다^[5]. 사용자가 지정한 특징점 p 가 대응하는 점 q 로 움직이기 위해서 p 주위의 격자점들이 어떻게 움직여야 하는가를 계산하고, 조정 격자점을 움직임으로써 판, 즉 영상을 변형한다. 와핑 함수가 일대일 대응을 만족하기 위한 충분 조건을 제시하고, 특징점의 위치 제약을 만족하도록 계층적인 조정 격자들을 사용한다. 계층적인 조정 격자 각각에 대해서 판을 여러 단계에 걸쳐 변형한다. 이 방법은 에너지 최소화 기법 보다 계산 속도가 빠르며, C^2 연속하고, 일대일 대응을 만족하는 와핑 함수를 계산한다. 그림 1은 첫 행의 왼쪽 영상과 세 번째 행의 오른쪽 영상이 주어졌을 때, MFFD 기법을 이용하여, 모핑한 결과이다. 주어진 두 영상상의 특징을 지정하고, 와핑 함수를 MFFD 기법으로 계산한다. 첫 행과 마지막 행은 와핑 함수에 의해서 연속적으로 영상을 생성한 결과이고, 두 행의 영상을 색상 혼합함으로써 두 번째 행의 최종 영상을 생성한다.

IV. 변환 속도 조절

와핑 함수는 한 영상의 각 점에 대응하는 새로운 점의 위치를 결정한다. 변환 속도는 영상의 각 점이 대응되는 점으로 얼마나 빨리 이동할 것인가를 결정한다. 또한, 와핑된 두 영상을 혼합할 때, 색상의 기여도를 결정한다. 한 영상에서 다른 영상으로 변할 때, 변환 속도를 다르게 지정함으로써, 흥미로운 애니메이션을 제작할 수 있다.

격자 와핑에서는 각 격자점에 변환 속도 곡선을 지정함으로써, 변환 속도를 조정한다^[7]. 만약 격자점의 갯수가 많은 경우, 각각의 격자점에 곡선을 지정하는 것은 지루한 작업이다. 또한, 변환 속도 곡선을 격자점에만 지정할 수 있으므로, 특징 지정과 변환 속도 조절이 연관되어 있다. 에너지 최소화 기법^[4]과 MFFD 기법^[5]에서는 특징점의 위치와 무관하게 임의의 점에 변환 속도 곡선을 지정할 수 있으므로, 특징 지정과 변환 속도 조절이 독립되어 있다.

영상 I 상에서 속도 곡선이 지정된 점의 집합을 P 라 하자. 집합 P 의 각 점 p 에 대해서 속도 곡선 $C(p)$ 를 정의한다(그림 12(a)). 영상 I 에 대해서 정의된 변환 속도 함수를 T 라 하자. 주어진 시간이 t 일 때, 집합 P 의 각 점 p 의 T 값은 $C(p; t)$ 와 동일하여야 한다. 영상이 xy 평면상에 있고, 주어진 시간의 각 점의 변환 속도 함수의 값을, z 방향으로의 높이라고 가정하면, $T(t)$ 를 구하는 문제는 삼차원 공간상에 주어진 점들을 보간하는 곡면을 생성하는 문제로 전환된다(그림 12(b)). 에너지 최소화



〈그림 12〉 변환 속도 함수의 생성

방법과 MFFD 방법을 이용하여, 주어진 점들을 보간하는 곡면을 생성할 수 있으며, 구해진 변환 속도 함수는 각각 C^1 , C^2 연속한 함수이다. 그림 4는 변환 속도를 영상의 각 점에 대해서 다르게 지정함으로써 얻어진 결과이다.

V. 결 론

본 논문에서는 최근에 제안된 격자 와핑, 장 모핑, 얇은 막 생성 기법, 에너지 최소화 기법 그리고 다단계 자유 변형의 모핑 기법을 정리하였다. 모핑을 하기 위해서는 주어진 영상의 특징과 특징들간의 대응 관계 지정, 와핑 함수의 생성, 변환 속도 조절을 할 수 있는 기법이 제공되어야 한다.

격자 와핑은 격자를 이용하여 특징을 지정하며, 영상을 자연스럽게 변형하지만, 임의의 특징을 격자로 지정하는 것이 어렵다. 사용자 인터페이스를 개선한 장 모핑은 벡터를 이용하여 특징을 지정한다. 특징 지정이 간결하지만, 영상의 변형이 자연스럽지 않다. 최근에 개발된 얇은 막 생성, 에너지 최소화, 다단계 자유 변형 기법은 점을 이용하여 특징을 지정한다. 이 방법들은 주어진 점을 보간하는 곡면을 생성함으로써 와핑 함수를 생성한다. 얇은 막 생성 기법은 점을 이용한 특징 지정점이 간편한 반면, 와핑 함수가 일대일이 아니다. 에너지 최소화 기법은 일대일 대응을 만족하는 와핑 함수를 생성하지만, 많은 계산 시간이 소요된다. 다단계 자유 변형 기법은 계산 시간이 적게 들며, C^2 연속하고 일대일인 와핑 함수를 계산한다. 변환 속도를 조절함으로써 보다 흥미로운 모핑 애니메이션을 생성할 수 있으며, 에너지 최소화 기법과 다단계 자유 변형 기법은 각각 C^1 , C^2 연속한 곡면을 생성함으로써, 변환 속도 조절을 용이하게 한다.

앞으로 연구해야 할 모핑의 연구 주제로는, 첫째, 여러 개의 영상이 주어졌을 때, 이들의 특징을 공유하는 중간 영상들을 생성하는 모핑 기법의 개발이다. 현 모핑 기법들은 두 영상의 중간 영상을 생성하고, 두 영상을 보간하는 애니메이션을 생성

할 수 있다. 그러나, 여러 개의 영상이 주어졌을 때, 이들을 보간하는 애니메이션을 만들 수 있는 모핑 기법에 대한 연구는 미비하였다. 이러한 모핑 기법을 이용하여, 더욱 다양하고 재미있는 모핑 애니메이션을 제작할 수 있을 것이다. 두번째 주제는 특징 지정 방법의 개선이다. 스네이크를 이용하여 특징 지정을 개선할 수 있으나, 여전히 특징 지정을 사용자의 수작업에 의존하고 있다. 주어진 영상을 얼굴 등의 영상에만 제한하여, 영상의 공통의 특징, 예를 들어 윤곽선, 눈, 코 입등의 특징을 비전(vision) 기술을 이용하여 자동적으로 찾아 줌으로써, 특징 지정 과정을 보다 간결하게 할 수 있다.

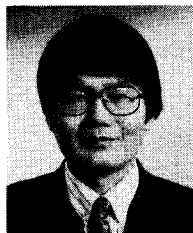
참 고 문 헌

- [1] Thaddeus Beier and Shawn Neely, Feature-Based Image Metamorphosis. Computer Graphics, 26권, 2호, p.35-42, 1992
- [2] Michael Kass, Andrew Witkin, and Demetri Terzopoulos. Snakes: Active Contour Models. International Journal of Computer Vision, p.321-331, 1988
- [3] Seung-Yong Lee, Kyung-Yong Chwa, James Hahn, and Sung Yong Shin. Image Morphing Using Deformable Surfaces. Proceedings of Computer Animation '94, p.31-39, 1994
- [4] Seung-Yong Lee, Kyung-Yong Chwa, James Hahn, and Sung Yong Shin. Image Morphing Using Deformation Techniques. The Journal of Visualization and Computer Animation, 7권, p. 3-23, 1996
- [5] Seung-Yong Lee and Kyung-Yong Chwa and Sung Yong Shin and George Wolberg. Image Metamorphosis Using Snakes and Free-Form Deformation. Computer Graphics Proceedings, p.439-448, 1995
- [6] Thomas W. Sederberg and Scott R. Parry.

Free-Form Deformation of Solid Geometric Models. Computer Graphics, 20권, 4호, p.151-160, 1986

[7] George Wolberg. Digital Image Warping. IEEE Computer Society Press, 1990

저 자 소 개



申 成 勇

1947年 9月 1日生

1966~1970年 한양대학교 산업공학 학사

1981~1983 Michigan대학원 산업공학 석사

1983~1986 Michigan대학원 산업공학 박사

1985년~1986년 9월 Michigan 대학 연구조원
 1986년 9월~1987년 3월 Michigan대학 Post. Doc.
 1987년 4월~1987년 9월 삼성데이터시스템 고문
 1987년 9월~1989년 2월 한국과학 기술대학 전자전산학부 조교수
 1989년 3월~1991년 2월 한국과학기술원 전산학과 조교수
 1991년 3월~현재 한국과학기술원 전산학과 부교수
 1993년 11월~현재 한국컴퓨터 그래픽스 학회 부회장
 1994년 7월~현재 첨단영상정보연구조합 이사

주관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 계산 기하학



金 皓 卿

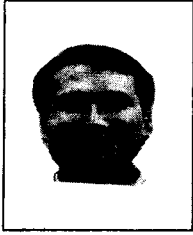
1969年 9月 16日生

1988~1992年 이화여자대학교 자연과학대학 전산학과 학사

1992~1994 한국과학기술원 전산학과 석사

1992년 3월~1994년 8월 한국과학기술원 전산학과 교육 및 연구 조교
 1994년 8월~현재 한국과학기술원 전산학과 박사과정

주관심분야 : 컴퓨터 그래픽스



李 承 勇

1967年 3月 28日生

1984~1988年 서울대학교 자연과학대학 계산통계학과 학사

1988~1990 한국과학기술원 전산학과 석사

1990~1995 한국과학기술원 전산학과 박사

1990年 3月~1995年 2月 한국과학기술원 전산학과 교육 및 연구조교

1993年 9月~1994年 8月 충남대학교 컴퓨터공학과 시간 강사

1995年 3月~현재 미국 City College of New York 연구원

주관심분야 : 컴퓨터 그래픽스