
퍼지논리의 에지검출에 의한 정합을 이용한 3차원 얼굴모델 생성

이혜정* · 김주리** · 정석태***

A Study on Creation of 3D Facial Model Using Fitting by Edge Detection
based on Fuzzy Logic

Hye-jung Lee* · Ju-ri Kim** · Suck-tae Joung***

이 논문은 2010년도 원광대학교 연구비를 지원받았음

요 약

본 논문에서는 3차원 스캐너나 카메라, 고가의 소프트웨어를 이용하지 않고 비용과 노력을 크게 절감하면서 자연스러운 얼굴모델링을 효율적으로 수행하는 3차원 얼굴 모델링 시스템을 제안한다. 임의의 정면 얼굴 모습의 2차원 이미지에서 퍼지논리를 이용한 에지검출 방법을 이용하여 각 얼굴 구성 요소의 에지를 검출하고 검출한 에지를 이용하여 3차원 표준 얼굴모델과의 정합 위치를 좀 더 정확히 맵핑시킨다. 또한 이 시스템은 3차원 표준 얼굴모델 메쉬상의 특징점과 2D 얼굴 이미지에서 검출된 에지에 맞게 특징점을 연결하여 정합한 다음 유동적이고 탄력적으로 조정하며 텍스처 맵핑함으로써 사실적이고 간편하게 3차원 얼굴 모델을 생성한다.

ABSTRACT

This paper proposes 3D facial modeling system without using 3D scanner and camera or expensive software. This system enables efficient 3D facial modeling to cost reduction and effort saving for natural facial modeling. It detects edges of component of face using edge detection based on fuzzy logic from any 2D image of front face. It was mapped fitting position with 3D standard face model by detected edge more correctly. Also this system generates 3D face model more easily through floating and flexible control and texture mapping after fitting that connection of control point on detected edge from 2D image and mesh of 3D standard face model.

키워드

퍼지논리, 에지검출, 3차원 얼굴모델, 정합

Keyword

Fuzzy logic, Edge detection, 3D facial model, Fitting

* 원광대학교 컴퓨터공학과
** 원광대학교 컴퓨터공학과
*** 원광대학교 컴퓨터공학과 (교신저자, stjoung@wku.ac.kr)

접수일자 : 2010. 06. 17
심사완료일자 : 2010. 07. 26

I. 서 론

다양하게 발전하는 기술들 중에 3차원 모델을 이용하는 여러 가지 시스템은 우리 주위에서 쉽게 찾아볼 수 있다. 다양한 사물에 관한 3차원 모델 중에서 3차원 얼굴 모델링과 애니메이션에 대한 기술은 컴퓨터 그래픽스 분야에서 오랫동안 연구되어 오고 있는 분야 중 하나이다. 인간의 얼굴에 대한 정확한 모델 생성을 목적으로 하는 여러 가지 방법들이 제시되었으며 그 중에 가장 정확한 3차원 모델을 생성할 수 있는 방법은 스캐너, 카메라, MRI, CT 등의 3차원 데이터를 직접 받아들일 수 있는 장비를 통해 대상으로부터 모델을 바로 생성하는 것이다. 이는 정밀한 3차원 모델을 빠른 시간 내에 생성할 수 있다는 장점이 있으나 상당한 고가의 장비를 필요로 한다. 또한 3차원 얼굴모델링은 3차원 공간상 복잡하게 이루어진 물체에 대한 부분 변형 등 까다로운 부분이 많고 미세한 부분까지 신경써야하는 등의 기술적인 난이도가 높으며, 실제로 사용되고 있는 3차원 얼굴 모델들은 주로 애니메이터에 의해 여러 가지 모델링 및 렌더링 툴을 이용하여 전체적 혹은 부분적인 수작업으로 작업을 진행하므로 많은 노력과 시간을 필요로 한다. 이외에도 2차원 영상으로부터 간접적으로 정보를 추출해 내는 이론들이 많은 곳에서 제시되고 있다[1][2][3][4][16].

본 논문의 목적은 3차원 스캐너나 카메라 고가의 소프트웨어를 이용하지 않고 비용과 노력을 크게 절감하면서 자연스러운 3차원 얼굴 모델링을 효율적으로 수행하기 위하여 얼굴의 정면 이미지만을 이용하여 크기와 형태의 복잡성에 상관없이 얼굴의 각 특징부위에 와이어 메쉬상의 특징점을 사용하여 정합시킴으로써 빠르고 간편하게 3차원 얼굴모델을 생성하는 시스템을 개발하는데 있다.

따라서 본 논문은 임의의 정면 얼굴 모습의 2차원 이미지에서 퍼지논리를 이용한 에지검출 방법을 이용하여 각 얼굴 구성 요소인 에지를 검출하고 검출한 에지를 이용하여 3차원 얼굴 모델과의 정합 위치를 좀 더 정확히 맵핑시켜 3차원 얼굴 모델을 생성하였다. 이 시스템은 한국인 표준 얼굴 모델을 이용하여 메쉬상의 특징점과 2D 정면 얼굴이미지의 위치 및 각도를 보다 정확하게 일치시키기 위하여 2D 얼굴 이미지에서 검출된 에지에 맞게 특징점을 연결하여 정합한 다음 유동적이고 탄력적으로 조정하여 텍스처 맵핑함으로써 사실적이고 간

편하게 3차원 얼굴 모델을 생성한다. 또한 생성된 3차원 얼굴모델을 이동, 확대, 축소, 회전시켜 가며 실시간으로 확인 및 수정할 수 있도록 한다.

II. 3차원 얼굴모델링 시스템 설계

제안 시스템은 그림 1과 같이 구성되어 있다. 크게 표준 얼굴 모델 정합 모듈과 얼굴 합성 모듈로 나누어진다. 표준 얼굴 모델 정합 모듈에서는 퍼지를 이용하여 2D 얼굴 이미지의 잡음제거와 에지를 검출하여 3차원 표준 얼굴 모델의 특징점과 정합이 이루어지며, 사용자에 의해 부위별 미세조정에 의한 정합도 가능하도록 설계하였다. 얼굴 합성 모듈에서는 정합이 이루어진 2D 얼굴 이미지를 3차원 표준 얼굴 모델에 텍스처 맵핑이 이루어진다.

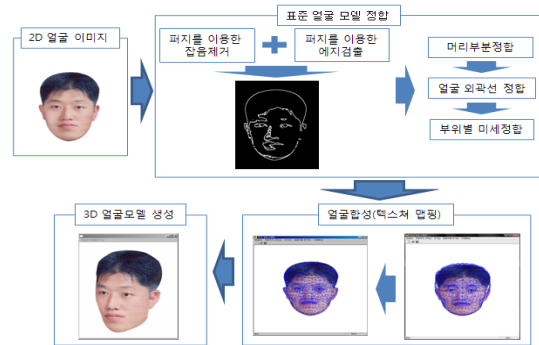


그림 1. 시스템 구성
Fig. 1 System Structure

2.1 표준 얼굴모델

표준 얼굴모델은 한국인의 표준 얼굴에 관한 연구결과와 한국인의 표준 외형적 치수[5] 및 각종 보고서[1][4]를 토대로 3Ds Max를 이용하여 그림 2와 같이 왜곡되지 않는 범위에서 간략화하여 759개의 포인트와 1242개의 폴리곤으로 구성된 표준 얼굴모델을 제작하였다.

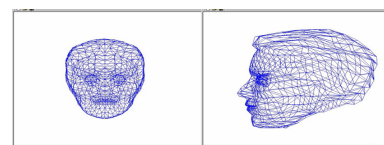


그림 2. 표준 얼굴모델
Fig. 2 Standard Facial Model

본 연구에서는 얼굴 이미지의 특정 부위별로 맞도록 조정하는 와이어 메쉬상의 점을 특징점(control point)이라 정의하고 사용했다.

머리, 얼굴의 형태는 복잡하고 세밀하기 때문에 특징점은 얼굴의 형태, 크기 및 특징 요소들 간의 관계를 고려하여 각 얼굴 부분별 특징을 정합할 수 있도록 표 1과 같이 선정하였다. 특징점은 머리, 얼굴 외곽선, 눈썹, 눈, 코, 입, 헤어, 기타 부분 등 8개의 세부 그룹으로 구분하고 특징점을 이용해서 얼굴모델을 정합한다. 그리고 서로 다른 그룹의 특징점은 서로 영향을 미치지 않도록 독립성을 유지하도록 하였고, 메쉬상의 몇 개의 특징점으로 사용자의 요구사항에 맞게 정확히 조정 가능하도록 하여 보다 간편하게 얼굴 정합이 가능할 수 있게 하였다.

표 1. 얼굴 부분별 특징 요소 및 특징점 현황
Table. 1 an Characteristic Elements Classified by Facial Portion and the Present Condition of Control Point

부분명칭	특 징 요 소	특징점
계		75
머리	머리의 크기, 형태	4
얼굴 외곽선	외곽선의 모양	28
눈썹	전체적인 위치, 가로·세로 크기	8(좌, 우 각 4개)
눈	눈의 위치, 형태, 가로·세로 크기	10(좌, 우 각 5개)
코	코등의 위치, 높이, 가로 크기	4
입	가로·세로 크기, 입술의 모양 및 두께	6
헤어	헤어의 형태	15
기타	메쉬의 모든 정점	

2.2 퍼지를 이용한 에지 검출방법

본 논문에서 에지 검출 과정은 2차원 얼굴 이미지가 들어오면 퍼지를 이용하여 잡음을 제거하고 에지 검출을 수행한다.

퍼지는 애매함을 정량적으로 나타내기 위한 것으로서, 불명확함으로 인한 정보 손실의 감소를 제공한다. 따라서 영상에서 잡음도와 정확한 에지 영역 또한 경계가 매우 모호하므로 퍼지를 사용함으로 영상에서 불명확한 경계로 인한 정보의 손실을 감소시키고 보다 상세하고 정확한 에지 검출을 할 수 있다.

2.2.1 에지검출을 위한 잡음 제거

잡음도는 각 화소에서의 충격 잡음(impulse noise)을 측정하는 척도이다. 충격잡음은 짧은 순간에 일정 평균 잡음수준 이상으로 발생하는 잡음으로써 일반적으로 주위의 명암값과 현저한 차이를 보이는 명암값으로 표현되며 에지 검출기에 민감한 반응을 보인다. 따라서 이러한 잡음을 제거하기 위하여 3×3 마스크를 적용하여 잡음도를 측정한다. 입력 영상에 대한 위치 $[i, j]$ 의 픽셀 밝기를 $x_{i,j}$ 라하고 3×3 마스크에서 $x_{i,j}$ 를 중심으로 이웃하는 픽셀들을 그룹으로 간주하며, $x_{i,j}$ 의 값이 $L_{min}(0)$ 에서 $L_{max}(255)$ 까지의 $L(256)$ 그레이 레벨을 가지는 디지털된 영상을 다룬다고 가정한다. 정의된 마스크를 이용, 잡음이 있는 영상에서 잡음을 찾아 이를 제거하기 위한 것으로 다음과 같이 입력 영상의 현재 픽셀 값이 주위의 그룹픽셀 값과 현저한 차이를 보일 경우 잡음이라 간주하고 잡음 제거를 수행한다.

입력 영상에, 앞에서 설명한 $x_{i,j}$ 를 중심으로 한 3×3 마스크를 가지고 퍼지의 MIN-MAX 연산을 이용한 평균 값을 구한다. 이는 그림 3와 같이 픽셀 $x_{i,j}$ 를 중심으로 이웃하는 픽셀들과의 평균을 구하는 것으로 식(2-1), 식(2-2)와 같이 나타낸다.

$x_{i-1,j-1}$	$x_{i-1,j}$	$x_{i-1,j+1}$	$x_{i,j-1}$	$x_{i,j}$	$x_{i,j+1}$	$x_{i+1,j-1}$	$x_{i+1,j}$	$x_{i+1,j+1}$
$x_{i,j-1}$	$x_{i,j}$	$x_{i,j+1}$	$x_{i,j-1}$	$x_{i,j}$	$x_{i,j+1}$	$x_{i,j-1}$	$x_{i,j}$	$x_{i,j+1}$
$x_{i+1,j-1}$	$x_{i+1,j}$	$x_{i+1,j+1}$	$x_{i+1,j-1}$	$x_{i+1,j}$	$x_{i+1,j+1}$	$x_{i+1,j-1}$	$x_{i+1,j}$	$x_{i+1,j+1}$

그림 3 수평, 수직 대각의 3방향으로 단순화
Fig. 3 Simplification for 3 directions of horizontality, verticality and opposite angle

$$p_1 = \text{MAX} \begin{cases} \text{MIN}(X_{i,j-1}, X_{i,j+1}) \\ \text{MIN}(X_{i-1,j}, X_{i+1,j}) \\ \text{MIN}(X_{i-1,j+1}, X_{i+1,j-1}) \end{cases} \quad (2-1)$$

$$p_2 = \text{MIN} \begin{cases} \text{MAX}(X_{i,j-1}, X_{i,j+1}) \\ \text{MAX}(X_{i-1,j}, X_{i+1,j}) \\ \text{MAX}(X_{i-1,j+1}, X_{i+1,j-1}) \end{cases} \quad (2-2)$$

$$P = \{(p_1 + p_2) / 2\}$$

기존 마스크의 연산방법은 영상안의 픽셀들을 마스크의 동일 위치에 해당하는 픽셀들과 곱하고 모든 픽셀을 더한 결과 값을 입력영상의 중심 픽셀과 같은 위치의 출력 영상 안에 값을 할당하는 방식이다.

본 논문에서는 퍼지의 MIN-MAX연산을 이용하기 위해 방향을 단순화시켰다. 수직, 수평, 대각의 3방향으로 에지 방향을 단순화하고, 현재 픽셀이 잡음인지 에지인지를 확인하기 위하여 일정한 크기의 창 중심(3×3마스크의 중심)을 현재의 픽셀에 위치시킨다. 퍼지의 MIN-MAX연산을 이용하여 단순화한 3방향에서 MIN값 중에 MAX값과 MAX값 중에 MIN값을 구한 다음 이들을 평균값을 구하여 잡음 폭을 측정한다. 잡음 폭을 $\Delta y_{i,j}$ 라 하고 잡음폭의 측정은 다음 식(2-3)에 의해 구한다.

$$\Delta y_{i,j} = m(L - 1) \tag{2-3}$$

여기에서, $\Delta y_{i,j}$ 는 m 값에 의해 정의되는데, m 값은 식(2-4)에 의해 결정된다.

$$m = \begin{cases} m_A(P - X_{i,j}) & P > X_{i,j} \\ m_A(X_{i,j} - P) & P \leq X_{i,j} \end{cases} \tag{2-4}$$

평균값 P 와 현재 픽셀 $X_{i,j}$ 값을 비교하여 $X_{i,j}$ 보다 큰 값을 가질 때는 $(P - X_{i,j})$ 와 멤버쉽 함수를 대응시키고, 작은 값을 가질 때는 $(X_{i,j} - P)$ 와 대응된 멤버쉽 함수를 계산한다. 식(2-4) 멤버쉽 함수 m_A 는 그림 4와 같이 나타낸다.

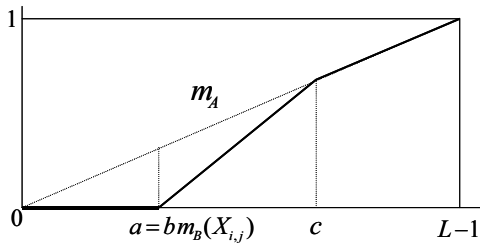


그림 4 퍼지집합의 멤버쉽함수 m_A
Fig. 4 Membership function of fuzzy set m_A

즉, 이 퍼지집합의 형태는 동적으로 변화되는데, 입력 픽셀의 명도 값이 a 이하이면 0의 값을 가지고, c 이상이면 함수식에 대응되는 멤버쉽 함수 값을 가지게 되며 a 와 c 사이의 값을 가질 경우에는 다음 그림 5의 m_B 퍼지 집합의 영향을 받는다.

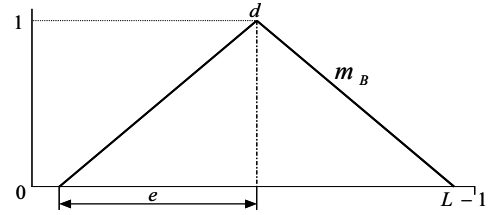


그림 5 퍼지집합의 멤버쉽함수 m_B
Fig. 5 Membership function of fuzzy set m_B

식(2-4)에 의해 정의된 작업은 잡음 펄스의 폭을 최소화했을 때 필터링 작업으로 잡음이 감소되는 것을 노렸으며, 결과는 중간 픽셀 명도에 대하여 증가한다. 만약 $m_B(x_{i,j}) = 1$ 이면 $a = b(b \leq c)$ 를 가지며, $m_B(x_{i,j})$ 값의 변화에 따라 m_A 의 a 값이 가변적으로 움직인다. 그러므로 필터된 출력 $y_{i,j}$ 는 다음 관계와 같은 방법에 의해 얻어진다.

$$y_{i,j} = x_{i,j} + \Delta y_{i,j} \tag{2-5}$$

출력값 $y_{i,j}$ 는 현재 픽셀 $x_{i,j}$ 와 식(2-3)에서 계산된 잡음 폭 $\Delta y_{i,j}$ 의 합에 의해 정의되며, 위의 과정들을 정리해 보면 그림 6과 같이 나타낸다.



그림 6 반복적인 잡음제거 과정
Fig. 6 Recursive noise elimination process

퍼지 MIN-MAX연산을 이용하여 평균값을 구하고, 이를 이용하여 잡음 폭을 수정한 후 수정된 잡음 폭과 현재의 픽셀을 더하여 출력값을 구한다. 이러한 작업이 반복적으로 수행되어지며, 반복 수행으로 계산된 새로운 값 $y_{i,j}$ 는 입력 영상의 픽셀 명도 $X_{i,j}$ 에 할당된다. 즉, 새로운 결과 값으로 이전의 값들이 치환되면서 필터링 작업의 결과를 나타낸다.

2.2.2 에지검출

대부분의 에지 검출 기법들은 기본적으로 마스크의 국부적 미분연산자를 이용하여 불연속적인 두 영역간의 명암차를 구한다. 기존의 미분연산자에 의한 에지 검출 과정을 보면 평활화 연산을 수행하여 잡음을 감소시키고 에지 검출자를 사용하여 에지의 존재 가능성이 높

은 화소를 검출한 후, 임계기법을 통해 파편화된 에지를 검출한 다음 마지막으로 에지 연결과 같은 기법으로 에지를 그룹화하는 과정을 수행하여 에지 검출 영상을 획득한다. 본 논문에서는 퍼지 연산을 이용하여 잡음을 제거한 다음, 같은 구조내에서 퍼지 연산을 이용하여 에지를 검출하였다. 에지를 구하기 위해서는 먼저, 수평적인 픽셀값의 차를 구하는 식(2-7)과 수직적인 픽셀 값의 차를 구하는 식(2-8)값에 m_c 멤버쉽 함수 그래프에 대응되는 퍼지 값을 각각 적용하고, 논리합 연산자인 MAX 연산자를 사용하여 이 두 값 중에 큰 값을 구한다. 이 큰 값에 (L-1)을 연산해 주면 멤버쉽 함수 그래프에 대응된 값이 퍼지 집합의 [0,1]사이 값으로 표현되므로 이 값들을 다시 원래의 값으로 환원한다. 따라서 퍼지를 이용한 에지 검출의 최종적인 출력은 식(2-6)에 의해 산출된다.

$$Z_{ij} = (L - 1) \text{MAX} \{m_c(\Delta y_1), m_c(\Delta y_2)\} \quad (2-6)$$

$$\Delta y_1 = |x_{i-1,j} - x_{i,j}| \quad (2-7)$$

$$\Delta y_2 = |x_{i,j-1} - x_{i,j}| \quad (2-8)$$

m_c 는 사냥 함수 그래프를 이용하여 다음 그림 7과 같이 나타낸다.

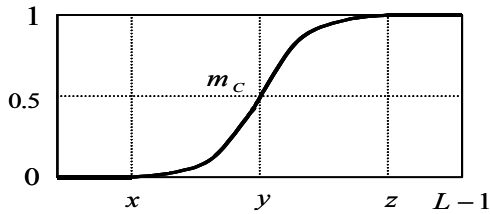


그림 7 퍼지집합의 멤버쉽함수 m_c
Fig. 7 Membership function of fuzzy set m_c

위의 그림 7에서 간격 $|x, z|$ 가 퍼지 영역에 해당하며, 교차점 y 는 $(x + z)/2$ 이고 퍼지 영역 폭은 $2\Delta y = z - x$ 이다. 퍼지 영역 폭을 $|x, z|$ 에 의해서 멤버쉽 함수가 퍼지 영역 $|x, z|$ 에 할당된 그레이 레벨 값에 대해 탄성적 제약조건으로 작용함으로써, 멤버쉽 함수는 퍼지 영역의 퍼지 제약으로서의 가능성 분포를 이룬다. 영상 X 의 $|0, z|$ 와 $|z, L - 1|$ 영역은 비퍼지 영역이다.

2.3 얼굴 합성을 위한 텍스처 매핑

본 연구에서는 그래픽 엔진이나 전용 하드웨어 없이 텍스처 매핑을 하였다. 표준 얼굴모델이 삼각형으로 구

성되어있기 때문에 삼각형단위로 매핑을 한다. 매핑은 삼각형의 주사변환(Scan Conversion), 삼각형내 픽셀 대응위치의 좌표 계산, 은면(Hidden Surface)제거, 픽셀 보간(Pixel Interpolation)의 과정으로 이루어진다.

2.3.1. 삼각형의 주사변환

래스터 그래픽스 환경에서는 완벽한 직선을 만들어 낼 수 없다. 따라서 삼각형을 구성하는 직선을 근사화하는 점들의 집합으로 직선을 표현한다.

기울기 m 은 $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ (2-9)

기울기가 -1~1사이의 값이라면, $|\Delta x| \geq |\Delta y|$ 이다. 이때 $\Delta y = 1$ 로 정하고 Δx 만큼씩 x 좌표를 변화시키면 $\Delta x > 1$ 이므로 연속적인 선이 그려지지 않는다. 따라서 $\Delta x = 1$ 로 정하고, Δy 만큼씩 y 좌표를 변화시킨다.

직선의 식 y 는 $y = mx + B$ (2-10)

x 를 시작점(좌측)의 x 좌표로부터 시작하여 1씩 증가시키고, 기울기가 1 또는 -1이 아닌 경우 계산된 y 값은 정수가 아니다. 이때 직선을 그리는 픽셀좌표를 구해야 하므로 정수 값으로 근사화해야 한다.

(x_i, y_i) 위치 계산 후 Δx 만큼 이동한 위치의 좌표 (x_{i+1}, y_{i+1}) 를 계산하면,

$$\begin{aligned} y_{i+1} &= mx_{i+1} + B = m(x_i + \Delta x) + B \\ &= mx_i + m\Delta x + B \\ &= y_i + m\Delta x \end{aligned} \quad (2-11)$$

여기서 $\Delta x = 1$ 로 정하면

$$y_{i+1} = y_i + m \quad (2-12)$$

표준 얼굴모델 삼각형의 세 점을 A, B, C라 한다면, 변형된 삼각형의 세 점은 A', B', C'라 할 수 있다. A', B', C'는 픽셀좌표를 구해야 하므로 정수 값으로 근사화해야 한다. 삼각형의 주사변환은 y 축을 따라 점A에서 점B까지 픽셀단위로 값을 증가시키면서 직선 $\overline{A'B'}$, $\overline{A'C'}$ 상의 시점과 종점의 x 좌표를 구한다. 최초의 위치 (X_0, Y_0) 에서 직선 $\overline{A'B'}$ 의 i 번째 스캔라인의 점 (X_i, Y_i) 이라 하면,

$$X_{i+1} = X_i + \frac{1}{m_{AB}}, Y_{i+1} = Y_i + 1 \quad (2-13)$$

이고, m_{AB} 는 직선 \overline{AB} 의 기울기이다.

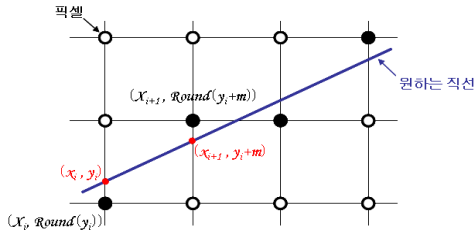


그림 8 직선의 주사변환
Fig. 8 Scan Conversion of Straight Line

2.3.2. 픽셀 대응위치의 좌표 계산

삼각형ABC는 변형된 삼각형A'B'C'와 위치가 다르기 때문에 그 내부에 정수 픽셀의 위치와 수는 일치하지 않는다. 따라서 삼각형ABC의 정수 픽셀 위치에 대한 삼각형A'B'C'내에 있는 정수 픽셀의 정보를 모두 구하지 않으면 모델의 정확성이 떨어지게 된다.

삼각형ABC와 삼각형A'B'C'에 대한 두 변의 벡터를 u, v 와 u', v' 라 정의하면 다음과 같다.

$$u = A - C, v = B - C, p = P - C \quad (2-14)$$

$$u' = A' - C', v' = B' - C', p' = P' - C' \quad (2-15)$$

$A = \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix}$ 이고, $u = \begin{pmatrix} x_u \\ y_u \\ z_u \end{pmatrix}$ 이며, 그 외는 유사하게 정의된다. X 는 절대좌표이고, x 는 X_A 에 대한 상대좌표이다. 삼각형ABC를 삼각형A'B'C'에 매핑하는 식은

$$\begin{pmatrix} s \\ t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_x' & v_x' \\ u_y' & v_y' \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x_p' \\ y_p' \end{pmatrix} \quad (2-16)$$

이고, 이 식을 정리하면 다음과 같다.

$$p' = su' + tv' \quad (2-17) \quad p = su + tv \quad (2-18)$$

삼각형A'B'C'내의 픽셀을 매핑하기 위하여, x 축을 따라 스캔하며 역매핑을 하였다. 즉, 식(2-17)에서 s 와 t 를 구한 후 식(2-18)을 이용하여 p' 의 대응점 p 를 계산하는 것이다. 단, 삼각형A'B'C'내에 있는 픽셀은 다음 조건을 만족해야 한다.

$$0 \leq s, t \leq 1, \text{ and } 0 \leq s + t \leq 1$$

변형된 삼각형A'B'C'내의 정수 픽셀에 대한 삼각형

ABC내의 대응위치를 계산하기 위해, P' 의 상대좌표 $\begin{pmatrix} x_p' \\ y_p' \end{pmatrix}$ 가 주어지면, P 의 상대좌표 $\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix}$ 를 구할 수 있다. 식(2-16)를 식(2-18)에 대입하면,

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_x & v_x \\ u_y & v_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_x' & v_x' \\ u_y' & v_y' \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x_p' \\ y_p' \end{pmatrix} \quad (2-19)$$

여기서, $\begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_x & v_x \\ u_y & v_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_x' & v_x' \\ u_y' & v_y' \end{pmatrix}^{-1}$ 라 하면 식

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_p' \\ y_p' \end{pmatrix} \quad (2-20)$$

와 같이 할 수 있다. 식(2-20)을 정리하면 최초 위치 (x_0, y_0) 를 상대좌표 (x'_0, y'_0) 를 대입하여 얻을 수 있다. 차후 스캔하는 점의 상대좌표를 구하는 식은 다음과 같다. 먼저 x 좌표는

$$x_{p+1} = \alpha_{11} x'_{p+1} + \alpha_{12} y'_{p+1} + x_p \quad (2-21)$$

여기서, x 축을 따라 스캔하므로 $x'_{p+1} = x'_p + 1$ 이 되고, $y'_{p+1} = y'_p$ 이다. 따라서 식(2-21)을 정리하면

$$\begin{aligned} x_{p+1} &= \alpha_{11} (x'_{p+1} - x'_p) + \alpha_{12} (y'_{p+1} - y'_p) + x_p \\ &= x_p + \alpha_{11} \end{aligned} \quad (2-22)$$

y 상대좌표를 구하는 식은

$$\begin{aligned} y_{p+1} &= \alpha_{21} x'_{p+1} + \alpha_{22} y'_{p+1} + y_p \\ &= \alpha_{21} (x'_{p+1} - x'_p) + \alpha_{22} (y'_{p+1} - y'_p) + y_p \\ &= y_p + \alpha_{21} \end{aligned} \quad (2-23)$$

이다. 식(2-22)와 식(2-23)을 이용하여 변형 전 삼각형의 대응 픽셀의 위치(좌표)를 구할 수 있다.

2.3.3. 은면(Hidden Surface) 제거

본 연구에서는 Z값을 비교하여 제거할 부분을 정의했다. Z-버퍼는 프레임 버퍼와 같이 출력해야 하는 픽셀과 대응하는 요소를 갖는 배열로 Z의 좌표 값을 저장한다. 그러므로 출력되는 면들의 Z위치를 가지고 삼각형을 정렬할 수 있다. 모든 삼각형의 면에 대하여 이 작업이 끝나면 Z-버퍼는 모든 보이는 평면에 대한 Z값을 가지며, 프레임 버퍼는 각 픽셀의 색상 정보를 가지게 된다. 삼각형의 y 축에서 x 축 시점과 종점의 좌표가 구해지면 각 픽셀에서 Z값을 구한다. 이것은 식(2-17)에서 s

와 t 를 구한 후 z'_p 를 구하면 된다. 계산식은 다음과 같다.

$$z'_p = (z'_u, z'_v) \begin{pmatrix} x'_u & x'_v \\ y'_u & y'_v \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x'_p \\ y'_p \end{pmatrix} \quad (2-24)$$

여기서, $(\beta_1, \beta_2) = (z'_u, z'_v) \begin{pmatrix} x'_u & x'_v \\ y'_u & y'_v \end{pmatrix}^{-1}$ 라 하면
 식 (2-24)은

$$z'_p = \beta_1 x'_p + \beta_2 y'_p \quad (2-25)$$

이라 할 수 있다. 따라서 Z값은

$$z'_{p+1} = \beta_1 x'_{p+1} + \beta_2 y'_{p+1} + z'_p \quad (2-26)$$

여기서, X축을 따라 스캔하므로 $x'_{p+1} = x'_p + 1$ 이 되고, $y'_{p+1} = y'_p$ 이다. 따라서 식(2-26)을 정리하면

$$z_{p+1} = \beta_1(x'_{p+1} - x'_p) + \beta_2(y'_{p+1} - y'_p) + z'_p \\ = z'_p + \beta_1 \quad (2-27)$$

이다. 식(3-27)을 이용하여 절대좌표 Z값을 구할 수 있다. 따라서 절대좌표 Z값을 비교하여 Z값이 가장 큰 경우에만 픽셀을 그리게 된다.

2.3.4. 픽셀 보간(Pixel Interpolation)

변형된 삼각형에서 정수 픽셀을 구한 후 자연스러움을 더 하기 위해서는 픽셀을 보간해야 하며, 픽셀 P의 위치가 정수이면, P의 픽셀정보가 P의 픽셀정보로 부여된다. 하지만 P가 정수 픽셀이 아닌 경우가 대부분이므로 픽셀 P는 주변 4개의 픽셀로부터 보간했고, 그림 9와 같이 양선형 보간법(Bilinear Interpolation)을 사용하였다.

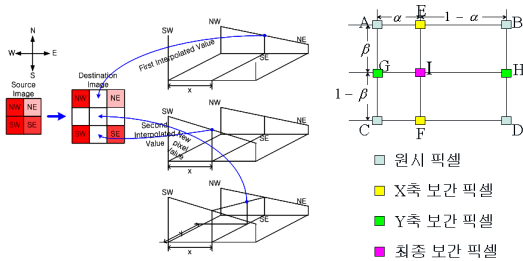


그림 9 양선형 보간법
 Fig. 9 Bilinear Interpolation

2.4 얼굴모델의 3차원 변환

3차원 얼굴 모델을 얻은 후, 이 모델이 회전, 확대/축소, 이동(병진운동)을 할 수 있도록 해야 한다.

본 연구에서는 얼굴모델의 회전, 확대/축소, 이동을 하더라도 얼굴의 형태가 변형되지 않기 때문에 얼굴모델의 3차원 변환을 강체(rigid body)운동으로 정의 했다. 따라서 표준 얼굴모델 내부의 중앙을 중심축으로 하고 어파인 변환[13]을 이용해서 표준 얼굴모델의 3차원 변환을 나타낼 수 있다. 하지만, 얼굴모델을 표현하는데 절대좌표계가 사용된다. 3차원 변환 후에는 모델의 크기나 중심축이 변하여 z값을 알 수 없으므로 z값 r_{31}, r_{32}, r_{33} 을 구해야 한다.

$$\frac{r_{12}}{r_{11}} = -\frac{\sin \theta_z}{\cos \theta_z} = -\tan \theta_z \quad (2-28)$$

따라서

$$\cos \theta_z = \frac{r_{11}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}}, \quad \sin \theta_z = \frac{-r_{12}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}} \quad (2-29)$$

이다.

$$\frac{r_{13}}{r_{11}} = \frac{\sin \theta_y}{\cos \theta_y} \cdot \frac{1}{\cos \theta_z}, \quad \tan \theta_y = \frac{r_{13}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}} \quad (2-30)$$

따라서

$$\cos \theta_y = \frac{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2 + r_{13}^2}}, \quad \sin \theta_y = \frac{r_{13}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2 + r_{13}^2}} \quad (2-31)$$

여기서 s를 계산하면,

$$s = \frac{r_{11}}{\cos \theta_y \cdot \cos \theta_z} = \sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2 + r_{13}^2} \quad (2-32)$$

$$\sin \theta_x = \frac{r_{23}}{s \cos \theta_y} = -\frac{r_{23}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}} \quad (2-33)$$

따라서

$$\cos \theta_x = \sqrt{\frac{r_{11}^2 + r_{12}^2 - r_{23}^2}{r_{11}^2 + r_{12}^2}} \quad (2-34)$$

이며, 식(2-28)~식(2-34)를 이용하면 z값을 구할 수 있다. 이를 이용하여 3차원 변환된 점을 구할 수 있으며 3차원 변환된 일반모델을 얻을 수 있다.

III. 3차원 얼굴모델 시스템 구현

본 연구는 정면의 이미지에 퍼지를 이용한 에지검출을 수행하여 표준 얼굴모델과의 위치를 좀 더 정확히 일치시키고 메쉬상의 75개의 특징점을 통해 정합함으로써 간편하게 3차원 얼굴모델을 생성할 수 있었다.

3.1 얼굴 이미지 불러오기 및 정합

메인메뉴의 파일메뉴에서 새 파일을 이용하여 모델링 할 이미지를 불러온다. 사용되는 이미지는 비트맵 형식의 630×630크기의 이미지이며, 불러온 이미지는 얼굴 모델 편집 창에 시스템의 표준 얼굴모델과 함께 나타나게 된다. 퍼지논리를 이용한 잡음제거와 에지검출을 수행하여 검출된 얼굴 구성요소인 에지의 특징점을 이용하여 표준 얼굴모델과의 위치를 일치시키도록 구현하였다. (그림 10 참조)

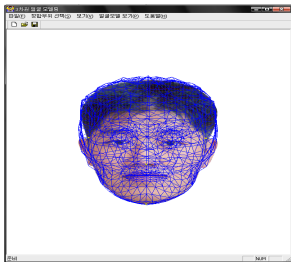


그림 10. 얼굴 이미지 불러오기
Fig. 10 A Facial Image Loading

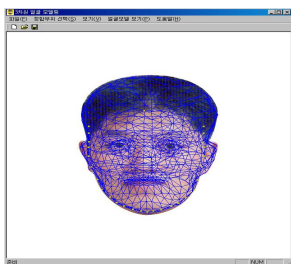


그림 11. 얼굴모델 정합
Fig. 11 A Facial Model Fitting

본 시스템은 사용자의 부위별 미세조정이 가능하며, 수행방법은 메인메뉴의 정합부위 선택메뉴를 선택하여 표준 얼굴모델과 정합한다. 정합은 표 1의 얼굴 부분별 특징 및 세부 특징점과 어파인 변환에 의해 이루어진다.

그림 11은 표준 얼굴모델 와이어 메쉬상의 특징점과 2D 얼굴 이미지에서 검출된 특징점을 연결하여 정합한 이미지를 보여주는 화면이다.

3.2 3차원 얼굴모델 생성/변환

정합이 완료된 후 텍스처 맵핑이 수행되어 얼굴모델 보기메뉴를 선택하면 3차원 얼굴모델 생성 결과를 확인할 수 있다. 그림 12는 3차원 얼굴모델 생성/변환을 나타낸다. 생성된 3차원 얼굴모델을 회전, 이동, 확대, 축소시켜 가면서 완성도를 확인할 수 있으며, 수정을 원하면 얼굴모델 편집창에서 다시 정합부위를 선택하여 수정할 수 있으며, 사용자가 얼굴모델 편집창에서 수정하면 실시간으로 얼굴모델 생성창에서 수정 결과를 확인할 수 있다.

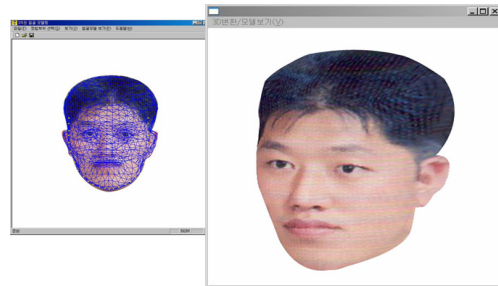


그림 12 3차원 얼굴모델 생성/변환
Fig. 12 A 3D Facial Model Creation and Transformation

IV. 실험결과

퍼지논리를 이용한 에지검출 기법의 타당성 및 효율성을 검토하기 위하여 영상의 크기가 256×256이고 한 화소가 표현할 수 있는 명암도는 256등급을 가지는 실험 영상으로, 임의로 만든 단순 영상과 실제 영상인 LENA 영상에 대한 처리 결과를 Sobel기법을 이용한 방법과 비교, 검토하여 실행하였다.[10] 첫 번째는 그림 13에서와 같이 잡음이 첨가되지 않은 영상인 경우인데, 실제 이미지로부터의 에지 검출을 보인 결과 Sobel 기법보다 더 얇은 에지를 검출하였다. 두 번째는 잡음이 있는 영상에서 잡음 제거와 에지 검출을 수행한 결과를 보인다. 그림 14는 잡음 30%를 첨가하고 제안한 방법과 Sobel 기법을 비교, 검토한 것으로 그 결과 잡음에도 강하게 반응함을 나타내고 있다.

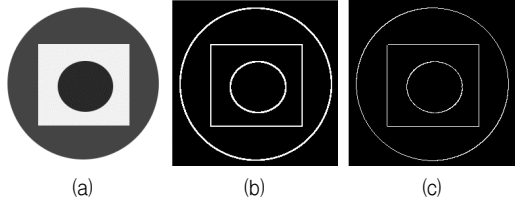


그림 13 잡음이 첨가되지 않은 영상
 (a) 원 영상 (b) Sobel 기법 (c) 제안된 기법
 Fig. 13 Image which noise is not added
 (a) Original image (b) Sobel image (c) Proposed image

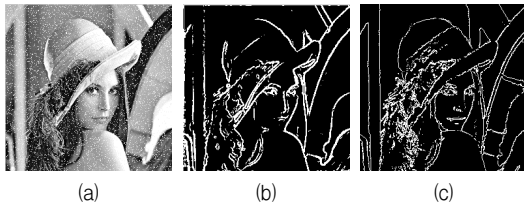


그림 14 잡음이 첨가된 영상
 (a) 원 영상 (b) Sobel 기법 (c) 제안된 기법
 Fig. 14 Image which noise is added
 (a) Original image (b) Sobel image (c) Proposed image

V. 관련연구

에지검출 방법의 대표적인 기법이 소벨과 라플라시안, Marr & Hildreth 연산자 기법이다.[12] 그중 Marr & Hildreth 연산자는 가우시안 필터를 사용하여 필터링 작업을 수행한 후, 라플라시안 연산자를 이용하여 필터된 영상에서 에지의 위치를 찾아낸다. 그러나 한 영상 안에서의 명암 변화는 넓은 지역에 걸쳐 발생하고, 다양한 크기와 형태를 갖는 여러 유형의 물체들이 영상에 포함될 수 있다.[13] 따라서 영상의 전 구역에 동일한 표준 편차를 갖는 가우시안 필터를 적용하는 것은 바람직하지 못하며, 이러한 방법들은 디지털 영상의 에지 검출에 있어 정보의 손실을 가져올 수 있다. 반면에 퍼지는 애매함을 정량적으로 나타내기 위한 것으로서, 불명확함으로 인한 정보 손실의 감소를 제공한다. 영상에서 잡음도와 정확한 에지 영역 또한 경계가 매우 모호하므로 퍼지를 사용함으로써 영상에서 불명확한 경계로 인한 정보의 손실을 감소시키고 보다 상세하고 정확한 에지 검출을 할 수 있다.[14][15] 본 논문에서는 3차원 표준 얼굴모델과 2D 얼굴 이미지의 효율적인 정합을 위해 퍼지를 이용하여

잡음제거와 에지검출을 수행하여 2D 얼굴 이미지의 위치 및 각도를 보다 정확히 일치시킬 수 있도록 하였다.

기준에 얼굴 이미지를 이용한 얼굴모델링 시스템과 본 연구에서 개발한 시스템과의 비교는 표 2와 같다.

표 2. 기존 연구와 비교
 Table. 2 Comparison with Existing Research

	본 연구 시스템	참고 문헌 [4][8]	참고 문헌 [9]	참고 문헌 [7]	참고 문헌 [10][11]
사용 이미지	정면	정면	정면 측면	정면 측면	정면 측면
표준얼굴 모델	사용	사용	사용	사용	사용
정합을 위한 에지검출	퍼지논리를 이용한 에지검출	사용 안함	사용 안함	Sobel 기법	사용 안함
정합	어파인 변환	어파인 변환	어파인 변환	선형 스프라인	어파인 변환
3D 변환	이동 확대 축소 회전	지원 안함	지원 안함	지원 안함	지원 안함

VI. 결 론

본 연구에서는 사용자가 보다 쉽고 빠르게 3차원 얼굴 모델링을 할 수 있는 시스템을 설계 및 구현하였다. 한국인 표준 얼굴에 관한 연구결과를 토대로 표준 얼굴모델을 제작했고, 퍼지 논리를 이용하여 2D 정면 얼굴 이미지의 잡음제거와 에지를 검출하고, 검출된 값을 입력으로 표준 얼굴모델의 특징점과 정합위치를 좀 더 정확히 설정하여 정합을 수행함으로써 빠르고 쉽게 3차원 얼굴모델을 생성할 수 있도록 하였다. 얼굴 이미지와 표준 얼굴모델의 정합으로 생성된 3차원 얼굴모델은 이동, 확대, 축소, 회전이 가능하도록 하였으며 이를 이용한 얼굴모델 3차원 변환의 실시간 확인 및 편집 기능을 제공한다.

참고문헌

[1] 최창석 외, “한국인 얼굴의 기본형 분류와 지방별 얼굴 생성”, 대한전자공학회, Vol. 15, No. 2, 1997.
 [2] D. DeCarlo, D. Metaxas and Matthew Stone, “An

Antropometric Face Model using Variational Techniques", Computer Graphics (SIGGRAPH 98 Proceedings), pp.67~74, 1998.

[3] 김지성, "한글에 부합한 실시간 얼굴 애니메이션", 명지대학교 대학원 정보통신공학과 석사학위논문, 1999.

[4] 김재익, 고희석, "얼굴 애니메이션을 위한 직관적인 유사 고유 얼굴모델", 컴퓨터그래픽스학회, pp. 185-191, 2006.

[5] 윤관현, "한국인 얼굴의 해부학적 분석에 관한 연구", 홍익대학교 미술대학원 회화전공 석사학위논문, 2002.

[6] 한승호, 박대균, "한국인 얼굴복원 (Facial Reconstruction)에 관한 연구, 한국인 얼굴두께", 제 48 회 대한해부학회 학술대회, 1998.

[7] 이현철, "2D 얼굴 이미지를 이용한 3D 얼굴모델 및 얼굴 표정 생성", 동신대학교 박사학위논문, 2003.

[8] 심연숙, 김선옥 외, "자연스런 표정 합성을 위한 3차원 얼굴모델링 및 합성 시스템", 한국인지과학회논문지, Vol. 11, No. 2, 2000.

[9] 김형균, 오무송, "얼굴 애니메이션을 위한 동적인 근육 모델에 기반한 3차원 얼굴모델링에 관한 연구", 한국해양정보통신학회논문지, Vol. 7, No. 2, pp. 322-327, 2003.

[10] Chang Seok Choi, Kiyoharu Aizawa, Hiroshi Harashima and Tsuyoshi Takebe, "Analysis and Synthesis of Facial Image Sequences in Model-Based Image Coding", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY, VOL. 4, NO. 3, pp 257 ~ 275, JUNE 1994.

[11] T. Akimoto, Y. Suenaga, "3D Facial Model Creation Using Generic Model and Front and Side Views of Face", In IEICE TRANS, Vol. E75-D, No. 2, March 1992.

[12] X. Shen et al., "Segmentation of 2D and 3D images through a hierarchical clustering based on region modelling", Pattern Recognition, vol.31, no.9, pp.1295-1309, 1998

[13] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller-part1", IEEE Trans. Syst. Man Cybern., vol. SMC-20, pp.404-418, Mar/Apr, 1990

[14] 김태용, 한준희, "번진 영상에서 경계선의 퍼지 표현", 정보과학회논문지, 제 24권, 제 11호, pp.1257-1266, 1997

[15] 오성준, 김형수, "잡음추측을 이용한 자동적인 에지 검출 문턱값 선택과 그 응용", 한국통신학회논문지, vol.21, no.3, pp.553-563, 1996

[16] 한영환, "얼굴인식시스템을 위한 얼굴의 특징검출", 한국정보기술학회논문지, 제5권 제2호, 2007

[17] 윤호석, 전준철, "단일 얼굴 영상기반의 3차원 얼굴 모델링", 한국인터넷정보학회학술발표대회, 제8권 제1호, 2007

저자소개

이혜정(Hye-Jung Lee)



1997년 호원대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2000년 원광대학교 컴퓨터공학과 (석사)

2002년~현재 원광대학교 컴퓨터공학과 박사과정수료
※관심분야: 영상처리, 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터 애니메이션

김주리(Ju-Ri Kim)



1998년 원광대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2002년 원광대학교 정보·컴퓨터교육 전공 (교육학석사)

2009년 원광대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
※관심분야: XML, 영상처리, 컴퓨터그래픽스

정석태(Suck-Tae Joung)



1989년 전남대학교 전산학과졸업
1996년 스쿠바대학 이공학연구과 석사학위취득
2000년 스쿠바대학 공학연구과 박사학위 취득

2001년~현재 원광대학교 컴퓨터공학과 교수
※관심분야: 공간 파서 생성기, 비주얼 시스템, 오감 정보통신