

論文2003-40CI-1-7

인터넷 가상공간에서 지적 아바타 통신을 위한 코믹한 얼굴 표정의 생성법

(A Comic Facial Expression Method for Intelligent Avatar Communications in the Internet Cyberspace)

李 容 厚 * , 金 商 雲 * , 青 木 由 直 **

(Yong Who Lee, Sang-Woon Kim, and Yoshinao Aoki)

요 약

인터넷 가상공간에서 서로 다른 언어 사이의 언어 장벽을 극복하기 위한 한 방법으로 CG 애니메이션 기술을 이용한 수화 통신 시스템이 연구되고 있다. 지금까지 연구에서는 비언어 통신 수단으로서 팔과 손의 제스처만을 고려하였으나, 얼굴 표정이 의사전달에 중요한 요소가 된다. 특히 사실적인 감정표현보다는 얼굴 요소가 과장된 코믹한 표현이 보다 효과적이고, 또 눈썹, 눈, 입 등의 AU(Action Units)만이 아니라 뺨과 턱의 움직임도 중요한 역할을 하게 됨을 알게 되었다. 따라서 3D 표정 생성 에디터에서 AU를 추출하고, 보다 효율적인 표정 생성을 위해 FACS(Facial Action Coding System)의 AU(Action Unit)를 CAU(Common Action Unit)와 PAU(Principal Action Unit)으로 분류한다. 또 기존에 표정 에디터에 비해서 제한된 표정 에디터는 PAU에 대한 강도를 강하게 줌으로써, 6가지 표정을 분리할 수 있음을 보인다. 또한 얼굴 표정 생성에서 "뺨을 올림"과 "턱을 내림"에 대한 움직임을 자동화하기 위해서 포물형 편미분식(Parabolic Partial Differential Equations)과 Runge Kutta법을 이용하여 보다 자연스러운 표정을 생성하였다. 또한 이를 이용하여 구조가 서로 다른 아바타 모델에 감정을 재생하는 방법을 제안하였다. 본 방법을 윈도우 플랫폼에서 Visual C++와 Open Inventor 라이브러리를 이용하여 구현하였으며, 실험 결과 언어의 장벽을 넘을 수 있는 비언어 통신수단으로 이용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

Abstract

As a means of overcoming the linguistic barrier between different languages in the Internet, a new sign language communication system with CG animation techniques has been developed and proposed. In the system, the joint angles of the arms and the hands corresponding to the gesture as a non verbal communication tool have been considered. The emotional expression, however, could as play also an important role in communicating each other. Especially, a comic expression is more efficient than real facial expression, and the movements of the cheeks and the jaws are more important AU's than those of the eyebrow, eye, mouth etc. Therefore, in this paper, we designed a 3D emotion editor using 2D model, and we extract AU's (called as PAU, here) which play a principal function in expressing emotions. We also proposed a method of generating the universal emotional expression with Avatar models which have different vertex structures. Here, we employed a method of dynamically adjusting the AU movements according to emotional intensities. The proposed system is implemented with Visual C++ and Open Inventor on windows platforms. Experimental results show a possibility that the system could be used as a non verbal communication means to overcome the linguistic barrier.

Keywords : sign language, intelligent avatar communication, comic emotional expression

* 正會員, 明知大學校 컴퓨터工學科

(Div. of Computer Science and Engineering, Myongji University, Korea)

** 正會員, 北海道大學

(Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Japan)

接受日字:2001年10月9日, 수정완료일:2002年12月27日

1. 서론

최근 인터넷 가상공간에서 서로 다른 언어를 구사하는 아바타들 사이에서 언어 장벽을 극복하기 위하여 지금까지 청각 장애자의 언어로만 인식되어온 수화를 이용하는 방법에 대한 연구가 진행되었다^[1-2]. 또한, 수화 제스처를 효율적으로 생성하기 위한 방법으로 역운동학 기법을 이용하여 팔과 손의 관절 각을 자동으로 추출할 수 있는 통합된 키 프레임 에디터에 대한 연구와 지적 통신방식과 3D 애니메이션 기술을 이용하여 수화 제스처를 실시간으로 전송 및 재생하기 위한 연구 등이 수행되었다^[3]. 그리고, 얼굴 표정을 가진 수화 영상은 단지 팔과 손의 움직임만을 보여주는 영상에 비해 의사 전달기능이 뛰어나다는 점과 제한된 수의 폴리곤으로는 사실적인 감정 표현보다는 만화 애니메이션에서와 같이 코믹한 표현이 더 효과적이라는 점에 주목한 연구가 있다^[4].

본 논문에서는 먼저, 각각의 표정에 중대한 영향을 미치는 FACS(Facial Action Coding System)의 AU를 PAU(Principal Action Unit)^[4]로 정의하고, 비교적 감정 생성이 용이한 2차원 코믹 모델을 이용하여 추출한 다음, 모양과 구조가 서로 다른 아바타 모델에 각각의 코믹한 표정을 재생하는 방법에 대한 연구결과를 보고한다. 주어진 얼굴 모델에서 PAU 영역을 찾기 위하여 폴리곤 정보나 색상 정보, 위치 정보 또는 이 세 가지 정보를 모두 이용하였다. 그리고 보다 자연스러운 표정을 생성하기 위하여 지금까지의 연구에서는 고려하지 않았던 뺨과 턱의 움직임을 구현하였다. 즉 수치해석 기법인 포물형 편미분식(Parabolic Partial Differential Equations)과 Runge-Kutta^[4]법을 이용하여 AU 6번인 “뺨을 울림”, 26번인 “턱을 내림”에 대한 움직임을 자동화하였다.

이하, 제 2장에서는 기존의 표정생성관련 연구를 개괄한 후, 인터넷 가상공간상에서 구현한 이언어간 지적 아바타 수화 통신 시스템의 개요를 설명한다. 제 3장에서는 얼굴 모델과 제안된 2D, 3D, PAU에 대해 기술하고, 제 4장에서는 AU를 추출하는 과정과 표정의 생성 방법을 제안한다. 그리고 제 5장에서는 실험 결과를 고찰한 후, 제 6장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 이전 연구

이절에서는 표정 생성과 관련된 기존의 연구를 개괄한다^[5-8].

(1) Ekman과 Friesen^[5]

문헌 [5]에서는 눈으로 식별 가능한 모든 얼굴의 변화를 표현할 수 있는 시스템을 만들었다. FACS(Facial Action Coding System)라고 하는 이 시스템은 얼굴 표정의 변화를 일으키는 기본적인 action unit(AU)들의 나열로 얼굴 표정을 기술한다. 특정 근육의 움직임은 하나 이상의 action unit을 변화시키게 되므로, action unit과 개개의 근육과의 상관관계는 절대적이라고 할 수 없다.

FACS에는 얼굴의 표정을 기술하는 46개의 action unit들과 head orientation과 gaze를 표현하는 12개의 AU들을 합쳐서 총 58개의 AU들이 정의되어 있다. FACS는 단지 표정을 기술하는 시스템으로 감정의 기술과는 관련이 없지만, Ekman과 Friesen은 FACS action unit의 특정 조합으로 감정의 전형적인 표정을 나타낼 수 있다고 제안했고 많은 연구들이 이 가정을 따르고 있다.

(2) Essa와 Pentland^[6]

기존의 FACS가 사람의 판단에 기반하는 heuristic한 점을 지향하고자 얼굴의 근육구조와 피부의 물리학적 특성을 반영한 3차원 모델을 이용하여 muscle actuation을 직접 계산해 내고 이 값을 사용하는 새로운 표정 기술 시스템인 FACS+를 개발하고 이를 이용해 표정을 분석하고 인식하였다.

우선 3차원 face model을 생성하며, 이 모델은 얼굴의 근육과 피부 구조를 고려한 물리학적 모델이다. 데이터 베이스는 노발 상태에서 감정이 표현되는 과정을 담은 연속된 이미지들을 담고 있다. 첫 이미지에서 특징점을 추출하여 transform과 normalization과정을 거쳐 3차원 모델과 일치시키는 작업을 한다. 이후로 연속된 이미지 프레임에서 optical flow 계산하고, 이를 이용해 3차원 모델의 vertice들의 속도를 계산한다. 마지막으로 얼굴 근육과 피부의 물리적 특성을 반영한 얼굴 모델에서 계산을 통해 각 근육의 동작(muscle actuation)을 계산해 낸다.

(3) Tian^[7]

문헌 [7]에서는 얼굴의 방향을 Left, left-front, right-front, right, down-front, front, up front로 나누고 각 경우에 얼굴의 어떤 부분의 특징을 사용할 것인지를 결정한다. 각 부분에 대해서도 얼굴의 방향에 따라서 경우를 나누고 각 경우에 따라 특징을 추출하는 방법을 달리하도록 하는 “multi-state model for face and facial components”를 사용하였다. 여기서는 permanent (mouth, eye, brow)와 transient(furrows, wrinkles) 콤포넌트를 모두 사용한다.

추출된 각 콤포넌트의 특징들을 중간 단계의 특징으로 보고 이 값들을 upper face에 관한 성분들과 lower face에 관한 성분들로 나누고, 각각에 대하여 신경망으로 하여 학습시켰으며 lower face action unit에 대하여 96.71%, upper face action unit에 대하여 95%의 높은 인식률을 얻었다.

(4) Shigco Morishima^[8]

문헌 [8]에서는 17개의 FACS AU를 선택하고, 각 AU마다 5단계로 강도를 표현하여 17차원 입력 3차원-17차원 출력 구조를 가지는 identity 신경망을 학습시켜 “Surprise”, “Fear”, “Disgust”, “Anger”, “Happiness”, “Sadness”인 6가지 감정을 3차원 공간상에 투영하였다. 3차원 감정 공간상에서 각각의 대표적 감정들은 잘 구분되고 있음을 보여주고, 학습된 network은 이용하여 3차원 감정 공간상의 원하는 표정에 대한 17개의 AU를 얻어내어 이를 생성할 수 있는 연구를 한다.

2. 지적 통신 방식에 대한 수화 제스처 통신

인터넷 가상공간에서의 지적 통신 방식에 의한 수화 제스처 통신 시스템이란 가상공간에서 활동하는 서로 다른 언어권의 아바타들 사이의 언어 벽을 극복하기 위하여 수화 제스처를 통신 수단으로 이용하는 시스템으로서 중앙 집중적인 클라이언트-서버 구조를 가진다^[11].

예를 들어 한글과 일본어를 구사하는 한 일 수화 통신 시스템의 구조는 다음과 같다. 클라이언트 'A'는 한글 수화(Korean Sign Language: KSL)를 구사하는 사이트이고, 클라이언트 'B'는 일본 수화(Japanese Sign Language: JSL)를 쓰는 사이트이다. 여기서 실시간 통신을 위하여 실제의 수화 영상을 전송하는 대신에 수화 애니메이션을 생성하기 위한 수화 제스처 및 얼굴 표정 파라미터를 추출하여 전송하는 지적 통신 방식을 이용한다. 즉 클라이언트 'A'와 'B'에 각각 아바타 모델

을 준비하여 놓고, 송신 측에서는 수화 및 표정 파라미터를 추출하여 보내면 수신 측에서 이들 파라미터를 받아서 해당하는 수화 및 표정 영상을 재생하는 통신 방식이다.

따라서 서버와 클라이언트에는 수화 제스처와 얼굴 표정으로부터 파라미터를 추출하고 해당하는 애니메이션을 재생하는 “영상 그래픽 모듈”과 이를 담당하는 언어권의 파라미터로 변환시킬 수 있는 “수화 단어 사전” 등이 필요하고, 또한 “통신 모듈”이 있어야 한다^[2]. 본 논문은 “영상 그래픽 모듈”의 처리와 관련된 연구로서, 팔과 손의 제스처만을 고려한 지금까지와는 달리 감정 표현을 위한 파라미터의 추출 및 재생 방법에 대하여 검토한다. 특히 사실적인 감정표현보다는 얼굴요소가 과장된 코믹한 표현이 보다 효과적이라고 하는 점과 감정 표현에는 뺨과 턱의 움직임이 중요하다는 점에 주목한다.

III. 얼굴 모델 및 코믹한 감정 표현

1. 얼굴 모델

얼굴 영상을 실시간으로 디스플레이하기 위해서는 가능한 적은 수의 제어 점으로 구성되는 모델 영상이 필요하다. 여기서 코믹한 얼굴 모델이란 과장된 표정을 합성하기 위해 감정 표현에 꼭 필요한 눈썹, 눈, 눈동자, 입의 제어 점만을 사용한 모델이다. 즉 기존 방식에서는 사진과 같은 사실적인 감정 표현을 위해 AU6(뺨을 올린다)과 같이 얼굴 근육의 미세한 움직임을 표현하기 때문에 많은 AU의 조합이 필요하였다. 그러나 코믹 모델에서는 얼굴 근육의 필요한 부분만을 강조하여 과장된 표현을 하기 때문에 보다 적은 수의 AU만으로도 효과적인 감정 표현이 가능하게 된다. 반면에 보다 사실적인 얼굴 표정을 재현하기 위해서는 충분한 수의 폴리곤 모델이 필요하다. 폴리곤은 삼각형 모양을 가진 모델을 사용한다. 따라서 본 연구에서는 적은 수의 폴리곤으로 감정을 효율적으로 표현할 수 있는 코믹모델을 이용한다. <그림 1>은 감정표현을 위한 2차원 코믹 모델과 벡터스 수가 각각 3800, 1900, 296, 450인 3차원 얼굴 모델이다.

2. 2D와 3D 에디터

본 연구에서의 2차원 코믹 모델에서는 감정 표현을 위해 전체 60개의 제어 점 중 28개를 사용하였고, 3차원 모델에서는 전체 296개의 제어 점 중 75개의 제어

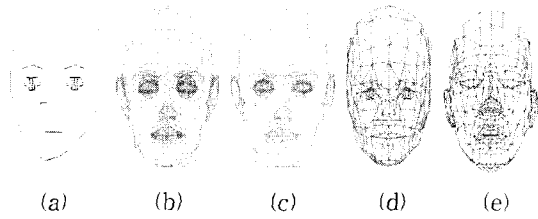


그림 1. 감정 표현을 위한 2차원 및 3차원 얼굴 모델. (a) 2차원 코믹 여성모델, (b) 3차원 여성모델 (3800 버텍스), (c) 1900, (d) 296, (e) 3차원 남성모델(450)

Fig. 1. 2D and 3D face model for emotional expression (a) 2D comic female model, (b) 3D female model(3800 vertex) (c) 1900, (d) 296, (e) 3D male model(450 vertex).

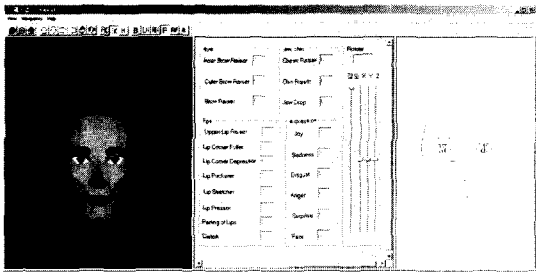


그림 2. 표정 에디터. 좌우 측은 표정 창이고, 중간은 AU값과 표정선택 및 강도 조정을 위한 제어 패널

Fig. 2. An emotional editor, where the left and right windows are for facial expression, the middle is control panel for AU values, facial selection, and intensity scrolling.

접만을 사용하였다. <그림 2>는 2차원과 3차원에서 동일한 AU를 사용하여 감정의 종류와 강도를 편집하는 에디터 화면이다¹¹⁾. 2D 코믹모델은 3D 코믹모델 보다 만들기가 쉽고, 또한 3D 모델에서 표현하기 힘든 표정을 생성할 수 있기 때문에 2D와 3D 에디터를 같이 사용하였다.

<그림 2>에서 우측 창의 2차원 코믹모델을 관측하면서 선택한 표정 및 강도를 조정한 후 제어 패널에 나타난 AU를 이용하여 우측 창에 3차원 표정을 생성한다. FACS의 AU를 이용하여 2D와 3D 모델에 표정을 생성할 수 있게 한다. 이를 위해서 2D와 3D는 같은 AU를 사용한다. 만약 2D에서 AU(1, 2, 6, 12)를 사용하여 “Joy”를 표현하였다면, 3D에서도 AU(1, 2, 6, 12)를 사용한다. 3차원에서 바로 강도를 지정하는 경우에는 표현의 차이가 명확하지 않기 때문에 2D를 동시에

적용함으로써 표정 편집을 명확히 할 수 있다¹¹⁾.

2D에디터는 3D에디터에서 쓴 동일한 AU를 사용하여 표정을 생성한다. 즉, 제어 패널에서 AU를 선정하면 2D와 3D 모델에 AU 파라미터를 전달하고 표정을 생성한다.

3. CAU와 PAU의 정의

이전 연구에서 Ekman과 Friesen은 FACS 시스템을 제안하였고, AU들의 나열로 얼굴 표정을 기술하였다. 54개의 AU들로 표정을 생성하기 위해서는, 사전에 얼굴에서 AU에 맞는 얼굴 영역을 추출해야 한다. 그렇지만 다양한 3차원 모델에서 AU에 대응하는 부분을 찾기 어렵다.

Essa와 Pentland는 얼굴의 근육 구조와 피부의 물리학적 특성을 반영한 3차원 모델을 이용하여 muscle actuation을 직접 계산해 내고 이 값을 사용하는 새로운 표정 기술 시스템인 FACS+를 개발하였다. 그렇지만 다양한 모델에 표정을 생성하기가 어렵고, 기존 FACS처럼 6가지 표정을 분리하기 어렵다.

표정을 나타낼 때 사용할 수 있는 6가지 표정은 내적 상태 기술단어의 차원 값 분포¹³⁾에서 도표로 제시할 수 있다. 이 도표에 의하면 화남과 혐오(역겨움)는 분포가 비슷하며, 두려움(무서움)과 슬픔(울적함)도 비슷한 위치에 있다. 예를 들어, “Anger”과 “Disgust”는 비슷한 표정을 짓기 때문에 구분하기 어렵다. 또한 “Fear”과 “Sadness”도 구분하기 어렵다. 이렇게 비슷한 표정이 생성되는 원인은 표정 생성시에 동일한 AU를 사용하고 있기 때문이다. 예를 들어, “Surprise”에서 사용되는 AU(1, 2, 5, 26)이며, “Joy”에서 사용되는 AU(1, 2, 5, 26)이 된다. 이 중에서 AU(1, 2)는 “Joy”과 “Surprise”에서 같이 사용되는 것을 알 수 있다. 이는, AU(1, 2)는 기쁨과 놀람을 구분하기 어렵게하는 원인이 된다. 그러므로 표정을 나타낼 때 동일한 AU를 사용하는 것과 다른 AU를 사용하는 것을 분류하여 다른 AU를 과장되게 표현함으로써 6가지 표정들을 분리시킬 수 있다. <표 1>은 6가지 표정에서 나타낼 수 있는 표정의 종류를 나열하고 가장 잘 어울리는 표정을 밑줄로 처리하였다. 예를 들어, “Joy” 표정을 나타내기 위해서는 여러개 AU의 조합으로 가능하다. 즉 AU(1, 2, 6), AU(1, 2, 12), AU(1, 2, 25), AU(6, 25), AU(6, 25), AU(1, 2, 12, 25), 그리고 AU(1, 2, 6, 12, 25)인 7가지를 표현할 수 있다. 그렇지만 이 중에서 “Joy”를 잘 표현하는 것이 AU(1, 2, 6, 12)는 실험을 거쳐 설정하였

표 1. 6가지 표정을 나타낼 때 사용할 수 있는 AU

Table 1. The AU's for generating the six facial expression.

Expressions	Combination Sets of Activation Units	
	Common AU(CAU)	Principal AU(PAU)
Joy	1+2	6, 12, 25, 6+12, 6+25, 12+25, 6+12+25
Surprise	1+2	5, 26, 5+26
Sadness	1+4	7, 15, 7+15
Fear	1+4	20, 25, 26, 20+25, 20+26, 25+26, 20+25+26
Anger	2+4	5, 15, 20, 5+15, 5+20, 15+20, 5+15+20
Disgust	2+4	10, 18, 48, 10+18, 10+48, 18+48, 10+18+48

다. 여기서 AU(2, 4)란 "Anger"과 "Disgust"에서 공통적으로 사용하는 AU이고, AU(1, 4)는 "Fear"과 "Sadness"에서 같이 사용하는 AU이다. 또한 AU(1, 2)는 "Joy"과 "Sadness"에서 같이 사용하는 AU를 의미한다. 따라서 6가지 표정에서 AU(1, 2, 4)는 공통으로 사용하게 된다.

AU 중에서 6가지 표정에 공통적으로 사용되는 AU를 CAU(Common Action Unit)라고 정의하고, 각각의 표정에서 특별히 사용되는 AU를 PAU(Principal Action Unit)라고 정의한다. 즉, <표 1>에서 AU(1, 2, 4)는 CAU에 해당하며, 이를 제외한 AU는 PAU를 의미한다. 이와 같이 AU를 CAU와 PAU로 나누어 정의함으로써 각 표정에 대한 AU를 모두 전송해야 하는 기존의 지적 통신 시스템과는 달리 제안된 시스템은 PAU만을 전송함으로써 표정 전송을 위한 AU의 수를 줄일 수 있다. 예를 들어, "Joy" 표정을 생성하기 위해 AU(1, 2, 6, 12)를 전송했지만, 제안된 방식은 AU(6, 12)만을 전송한다. 역으로 수신측에서 AU(6, 12)를 보고 "Joy"라고 하는 표정을 알고 AU(1, 2)과 결합하게 된다.

<그림 3>은 과장된 표정을 생성하기 이전에 표정 생성이며, <표 1>의 CAU와 PAU를 찾기 위해서 <표 2>에서 폴리곤과 색상을 이용하여 그룹핑한 내용에 기초하여 6가지 표정에 필요한 AU들의 강도 값을 표현한 예이다. <그림 4>는 <그림 3>에서 과장된 표정을 표현했을 때의 AU들의 강도값을 표현한 예이다.

여기서 방사선 방향의 축은 AU번호에 해당하며, 축의 눈금은 강도에 해당한다.

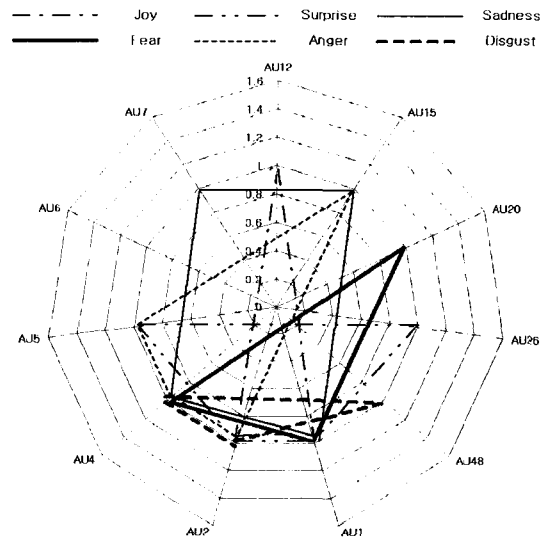


그림 3. 6가지 일반 표정에 대한 AU 강도 표현
Fig. 3. AU intensities for six general expression.

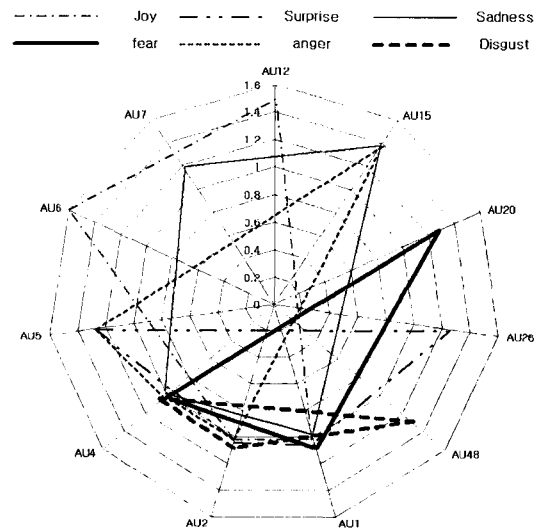


그림 4. 6가지 코믹한 표정에 대한 AU 강도 표현
Fig. 4. AU intensities for six comic expression.

<표 2>에서는 일반 표정과 코믹한 표정을 분리하는 것으로, 강도에 따라서 분류할 수 있음을 보인다.

앞에서 정의한 CAU와 PAU를 분리하는 이유는 <그림 3, 4>처럼 PAU의 강도를 기존 강도 보다 훨씬 많이 사용해서 표정을 분리할 수 있다.

예를 들어, "Joy"에 CAU인 AU(1)과 AU(2)는 강도가 1.0(100%)이다. PAU인 AU(6)에는 1.6(160%) 강도를 사용하고, AU(12)에서는 강도를 1.5(150%)로 주었을 때 코믹한 표정이 생성되는 것을 보인다.

표 2. 일반 표정과 코믹 표정의 강도 차이
Table 2. Intensity difference between general and comic expression.

강도 범위	표정의 종류
0 ~ 1.0(100%)	일반 표정
0 ~ 1.6(160%)	코믹 표정

예에서 처럼, 코믹표정을 생성하기 위해서 PAU의 강도를 1.0을 넘도록 지정하였으며, 이는 각각의 6가지 표정을 구별하기 위함과 동시에 명확한 표정을 생성할 수 있게 한다.

여기서 100%의 의미는 사실적인 표정 생성을 위한 AU 강도의 한계이다.

IV. 코믹한 얼굴 표정의 생성

얼굴 영상을 실시간으로 디스플레이하기 위해서는 가능한 적은 수의 제어 점으로 구성되는 모델 영상이 필요하다. 기존의 표정 생성 방법에서는 사진과 같은 사실적인 감정 표현을 위해 PAU6(뺨을 올린다)과 같이 얼굴 근육의 미세한 움직임을 표현하기 위해 많은 AU (PAU+CAU)의 조합이 필요하였다. 그러므로, AU추출과 표정생성을 위한 절차를 나타낸다.

<그림 5>는 3차원 모델에 포함되어 있는 폴리곤 정보와 색상 정보를 이용하여 AU(PAU+CAU)와 AU (PAU+CAU)주변을 추출하고, 6가지 표정을 생성하는 절차를 나타낸 것이다. 여기서 3D Model에는 주변 영역을 추출하는데 필요한 정보들이 포함되어 있다. 즉, 폴리곤, 벡터 및 색상 정보를 가지고 있다. 단계 ①에서는 벡터, 폴리곤, 색상 정보를 참조하며, 단계 ②, ③에서는 AU를 찾을 수 있도록 위치적 정보를 제공한다. 그리고 단계 ④에서는 폴리곤과 색상정보를 같이

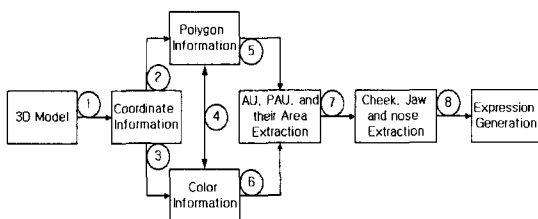


그림 5. 얼굴 표정 생성을 위한 AU 추출 절차
Fig. 5. AU extraction procedure for generating the facial expression.

사용하여 상호 보완적으로 참조하여 그룹핑을 수행한다. 또한 단계 ⑤, ⑥은 폴리곤 정보와 색상정보를 이용하여 그룹핑하며, 단계 ⑦, ⑧은 AU추출과 AU주변 추출을 한다.

먼저, “3D Model”은 점과 선, 그리고 폴리곤 정보로 구성되어 있다. 각각의 점들이 연결되면 선이되고, 또한 인접한 선들이 연결되면 폴리곤이 된다. 여기서 “Coordinate Information”은 “3D Model”에서 점에 대한 정보를 이용하여 위치적 정보를 파악할 수 있으며, “Color Information”은 폴리곤이 갖고 있는 색상 정보를 이용한다. 또한 “Polygon Information”은 특정한 어떤 폴리곤에서 인접한 폴리곤의 연관성이 있는지를 파악한다. 지금 까지 거친 “Coordinate”, “Color”, and “Polygon Information”을 거쳐서 특정 영역을 찾아낼 수 있다. 그렇지만, 찾아낸 영역들이 눈썹, 눈꺼풀, 그리고 입술 영역인지를 알 수 없다. “AU, PAU, and their Area Extraction”에서는 지금 까지 추출된 영역들을 그룹핑한다. 그룹핑은 눈썹과 눈꺼풀, 입술 영역을 구별하는데 필요한 과정이다. 또한 찾아낸 AU 영역과 관련된 주변 영역을 추출해야 한다. “Check, Jaw, and Nose Extraction”에서는 턱과, 볼, 그리고 볼 영역을 추출한다. 마지막으로, “Expression Generation”에서 지금까지 찾아낸 영역을 가지고 턱과 볼에 대한 움직임에 대한 공식을 이용하여 표정을 생성할 수 있게 한다.

1. 얼굴 영역 추출

(1) 그룹핑 - AU (CAU+PAU) 영역추출

<표 3>은 AU를 찾아내기 위한 세 가지 방법이며, <그림 5>의 “3D Model”에서 제공되는 정보들 중에서 어떠한 부분을 참조하는가에 따라서 세 가지로 나눌 수 있다. 즉, 폴리곤 정보를 이용하여 AU를 찾지 못하면, 색상 정보를 이용하여 AU를 찾는다. 만약 색상 정보를 이용하여 AU를 찾지 못하면, 폴리곤 정보와 색상 정보를 같이 이용하여 AU를 찾는다.

표 3. AU를 찾아내기 위한 세 가지 방법
Table 3. Three methods for AU extraction.

AU를 찾는 방법	AU찾는 순서
폴리곤을 이용하는 방법	① ② ⑤ ⑦ ⑧
색상 정보를 이용하는 방법	① ③ ⑥ ⑦ ⑧
폴리곤과 색상 정보를 모두 이용하는 방법	① ② ③ ④ ⑥ ⑦ ⑧

표 4. 296 버텍스 모델에서 폴리곤과 색상을 이용하여 그룹핑한 예

Table 4. A grouping on 296 vertex model by using the polygon and the color.

그룹번호	방법		
	폴리곤과 색상정보를 이용한 그룹핑 방법		
	폴리곤	색상	좌표
1	hair	hair	hair
2	face	face	face
3			jaw
4			cheek
5			nose
6		left eyebrow	left eyebrow
7		right eyebrow	right eyebrow
8	left eye	left eyelid	left eyelid
9		left iris	left iris
10		left eyeball	left eyeball
11	right eye	right eyelid	right eyelid
12		right iris	right iris
13		right eyeball	right eyeball
14	upper lip	upper lip	upper lip
15	lower lip	lower lip	lower lip
group detect	6	6	3
합 계	6	12	15

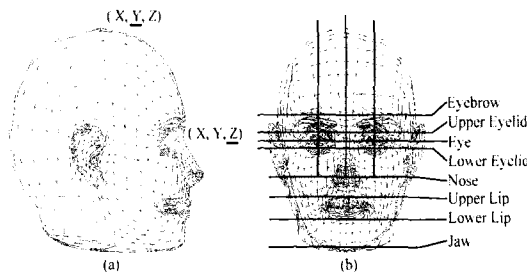


그림 6. 얼굴 구성요소의 추출. (a) 코의 꼭지점 추출, (b) 코의 꼭지점 기준과 그룹들의 위치 비교

Fig. 6. Extraction of facial components. (a) Extraction of angular point of the nose, (b) comparison between the group position and the angular point of the nose.

여기서 그룹핑이란 폴리곤들 간에 혹은 색상들 간에 떨어져 있으면 다른 그룹으로 분류하는 것이며, AU (PAU+CAU) 주변(외각부분)이란 AU가 움직임으로써 영향을 미칠 수 있는 주변이 되는 영역을 의미한다.

<표 4>는 296 버텍스 모델에서 폴리곤과 색상을 이

용하여 그룹핑한 예이다. 296 버텍스 모델의 경우 폴리곤과 색상을 각각 따로 이용한 경우에 AU를 찾아낼 수 없으며, 폴리곤과 색상 정보를 함께 참조하여 AU (CAU+PAU)를 찾아낸다. 첫 번째 단계에서는 폴리곤을 이용하여 그룹핑 시켜서 6개의 그룹으로 분류한 후, 두 번째 단계에서 색상으로 다시 그룹핑하여 12개의 그룹을 생성한다.

<그림 6>은 코의 꼭지점과 그룹핑된 그룹들 사이에 있는 상관정보를 이용하여 중요한 얼굴 구성요소를 찾는 과정을 나타낸다.

<그림 6(a)>처럼 “3D Model”에서 가장 앞에 나온것이 “Nose”라는 것을 알 수 있다. <그림 6(b)>는 <그림 6(a)>에서 찾아낸 코의 꼭지점을 기준으로 지금 까지 찾아낸 그룹들과 비교할 수 있다. 예를 들어, “Lip”은 “Nose” 보다는 밑에 있는 그룹이다. 또한 “Lip”은 “Upper Lip”과 “Lower Lip”으로 되어 있다. 그 중에서 코와 근접한 것이 “Upper Lip”이 된다. 그 밖에 “Nose” 보다 위에 있으면서도 왼쪽에 있는 요소들은 “Left Eyebrow”, “Left Upper Eyelid”, “Left Eye”, 그리고 “Left Lower Eyelid”를 찾을 수 있다.

(2) 눈썹과 눈꺼풀, 그리고 입술의 주변 영역 추출

지금까지는 AU 영역을 추출하였으며, AU 움직임에 영향을 받는 AU 주변 영역을 추출하여야 한다.

<그림 7>은 AU주변을 추출하기 위해서 <그림 5>의 단계 ⑤, ⑥에서 찾아낸 AU(PAU+CAU)의 위치를 기준으로 사각형의 크기를 생성하는 방법을 나타낸다. 여기서 사각형은 폴리곤을 포함하는 범위를 의미하며, 사각형은 큰 사각형과 작은 사각형으로 분리한다. 큰 사각형에 포함되는 폴리곤들은 AU와 많이 떨어져 있는 폴리곤을 의미하며, 작은 사각형에 포함되어 있는 폴리곤들은 AU와 근접해 있는 폴리곤을 의미한다. 그러므로 AU 움직임이 100%인 경우, 작은 사각형은 66% 움직이며, 큰 사각형은 33% 움직인다. 예를 들어 입술 양끝을 위로 올리는 경우, 입술에 해당하는 AU가 위로 9cm이동하였다면, 작은 사각형에 포함된 폴리곤들은 6cm, 큰 사각형에 포함된 폴리곤은 3cm가 위로 이동하게 된다.

눈썹 주변 영역을 추출하는 경우에 예를 들면, 눈썹 영역과 눈썹 주변 영역들은 폴리곤으로 이루어지며, 폴리곤은 점으로 이루어진다. 눈썹이 가지는 점들을 기준으로 사각형의 넓이와 높이에 포함되면, 눈썹 주변 영역이 추출된다. 물론, 눈썹 주변 영역은 큰 사각형과 작

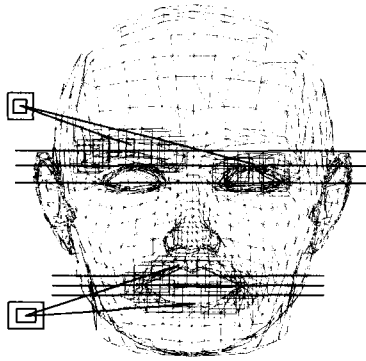


그림 7. AU 주변을 추출하는 사각형
Fig. 7. Rectangles for extracting AU external area.

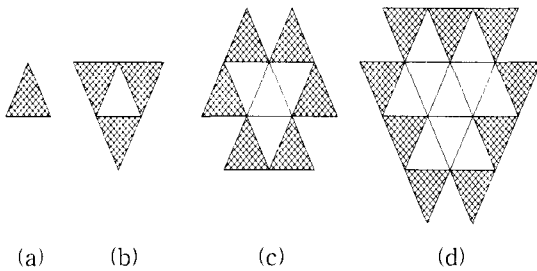


그림 8. 레벨 (a) 레벨0, (b) 레벨1, (c) 레벨2, (d) 레벨3
Fig. 8. Level (a) Level 0, (b) Level 1, (c) Level 2, (d) Level 3.

은 사각형의 범위에서 포함정도에 따라서 분류된다.

눈썹과 눈꺼풀에 쓰이는 큰 사각형의 높이는 눈썹의 평균 위치 정보와 눈꺼풀의 평균 위치 차이이며, 큰 사각형의 넓이는 큰 사각형 높이와 같다. 여기서 평균위치란 눈썹을 구성하는 점들의 집합이며, 이러한 점들에 대한 위치적 평균값을 의미한다. 입술 부분에 쓰이는 큰 사각형의 높이는 윗 입술의 평균 위치와 아랫 입술의 평균 위치의 차이이며, 입술에서 큰 사각형의 넓이는 큰 사각형의 높이에 1.5배가 된다. 눈썹과 눈꺼풀, 입술에 쓰이는 작은 사각형 높이와 넓이는 큰 사각형의 절반이 된다.

AU 주변을 추출하기 위해서는 AU의 위치를 기준으로 한다. AU주변이란 AU영역의 주변에 위치하고 있는 영역이다. 즉, AU주변 영역은 AU영역의 움직임에 따라서 움직인다. 예를 들어, 사람의 입술을 벌리는 경우, 입술 주변에 있는 근육들이 움직여서 AU영역에 해당하는 입술이 이동하게 된다. 그러므로 AU주변의 움직임이 중요한 역할을 수행하는 것을 볼 수 있다.

(3) 턱, 코, 그리고 볼의 영역 추출

턱, 코, 볼 영역을 추출하는 방식은 인접한 폴리곤을 찾아 레벨을 지정하고 법선벡터(normal vector) 계산을 사용한다.

이전에 입술에 대한 AU 영역을 추출하였다. 턱의 영역을 찾기 위해서 입술 주변 영역의 폴리곤을 먼저 찾아야 한다. 턱의 기준이 되는 레벨0 폴리곤은 입술 주변 영역의 바로 밑이어야 하며, X축으로 가장 중앙에 있는 폴리곤을 찾아낸다.

<그림 8>처럼, 레벨0인 폴리곤에 바로 이웃하는 폴리곤을 레벨1이라 하며, 레벨1에서는 레벨0을 제외한 이웃한 폴리곤을 레벨 2라 한다. 즉, 레벨0 폴리곤에 멀어질수록 레벨이 증가한다. 레벨0을 기준으로 법선벡터를 사용하여 비교한다. 즉, 레벨0과 레벨1을 법선벡터(NV)를 비교하며, 레벨1과 레벨2, 다음으로 레벨2와 레벨3을 비교하는 순서로 하고 한 폴리곤에 있는 3개의 벡터(V)를 각각 $V_1=(X_1, Y_1, Z_1)$, $V_2=(X_2, Y_2, Z_2)$, $V_3=(X_3, Y_3, Z_3)$ 라고 할 때, 이 벡터들 사이에 외적을 취하면

$$NV=(V_2-V_1)\times(V_3-V_1)=(NV_x, NV_y, NV_z)$$

이 된다. 여기서 X, Y, Z중에서 Z축만을 기준으로 턱을 추출하기 때문이다. 여기서

$$0<|NV_z|<0.005$$

를 만족할 경우 이 벡터는 턱을 구성하는 벡터로 판정한다. 이 때 범위는 모델에 따라서 다를 수 있으며, 실험적으로 구한 값이다.

Z축만을 기준으로 사용하였는 것을 볼 수 있다. 이는 정면에서 보았을 때 X축은 얼굴의 왼쪽에서 오른쪽으로 가는 방향이며, Y축은 얼굴의 밑에서 위로가는 방향이다. 그리고 Z축의 방향은 얼굴의 앞에서 뒤로 가는 방향이다. 즉, 코에서 뒤통수로 가는 방향이다. X와 Y축은 코와 볼의 영역을 추출하는데 중요한 역할을 하지 않았다.

296개의 벡터를 가지고 있는 모델에서 폴리곤과 색상을 각각 따로 이용한 경우에 AU를 찾아낼 수 없었으며, “폴리곤, 색상, 좌표 정보를 참조”하여 AU를 찾아낸다. 첫 번째 단계에서는 폴리곤을 이용하여 그룹핑시켜서 6개의 그룹으로 분류한 후, 두 번째 단계에서 색상으로 다시 그룹핑하여 12개의 그룹을 생성한다. 세

번째 단계에서 좌표정보와 법선벡터를 이용하여 턱, 코, 볼의 위치를 추출하여 총 15개의 그룹을 생성한다.

먼저 코 영역을 추출하는 방법은 얼굴 정면에서 가장 나온 부분을 기준으로 법선벡터의 z축 값을 가지는 NVz의 임계치를 결정한다.($0 < |NVz| < 0.00005$)

다음으로 볼 영역을 추출하는 두 가지 절차가 있다. 첫 번째는 윗입술과 아랫입술 사이의 평균값과 그리고 위 눈꺼풀과 아래 눈꺼풀 사이의 평균값 경계를 벗어 나지 못한다. 두 번째는 코와 입술 주변(윗입술 주변, 아랫입술 주변, 턱 부분)을 제외한 부분에서 코를 기준으로 NVz의 임계치를 결정한다.($0.00005 < |NVz| < 0.005$)

마지막으로 턱 영역을 추출하는 두 가지 절차가 있다. 첫 번째는 윗입술과 아랫입술 사이의 경계를 기준으로 위의 영역을 포함하지 않는다. 두 번째는 외각 아랫입술 영역에 바로 밑에 있는 버텍스를 기준으로 NVz의 임계치를 결정한다.($0 < |NVz| < 0.005$)

2. 볼에 대한 움직임 처리

AI영역과 AI수변영역을 찾아낸 이후에, 3차원 모델에서 찾아낸 볼 영역의 움직임을 위해서 포물형 편미분식을 사용하였다. 이 수치해석 기법을 이용하여 볼의 움직임이 가능함을 보인다.

포물형 편미분식은 다음과 같다.

$$u_i^{(j+1)} = u_i^{(j)} + \alpha \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (u_{i-1}^{(j)} - 2u_i^{(j)} + u_{i+1}^{(j)}) \quad (1)$$

여기서 $\alpha, i, j, \Delta x, \Delta t$ 는 입력으로 제시되는 값으로, α 는 불룩한 정도를 나타내며 값이 작을 수록 불룩한 정도가 날카로운 모양을 나타내고, α 의 범위는 0.1에서 10까지 실험하였으며, 실험치로 1을 지정하였다. i 는 거리 x 에 대한 정점 번호를 나타내고, j 는 시간 t 에 대한 반복횟수번호를 의미한다. 또한 Δx 는 거리구간이며, Δt 는 시간구간이다. 여기서 Δx 과 Δt 식은 각각

$$\begin{aligned} \Delta t &< \Delta x^2 / 2\alpha \\ \Delta x &= length / (n - 1) \end{aligned} \quad (2)$$

으로, $length$ 는 볼의 반지름이며 n 은 길이의 분할 횟수를 나타낸다.

다음으로 시간 $t=0$ ($j=1$)에서의 $(u_i^0, u_{i-1}^0, u_{i+1}^0)$ 값으로부터 u_i^0 는 분할된 영역의 정점이고, u_{i-1}^0 는 이전의 정점이며, u_{i+1}^0 는 다음의 정점이다. 마지막으로 시

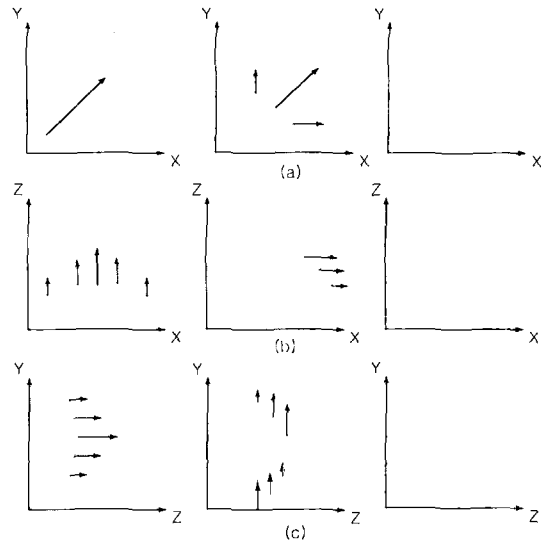


그림 9. 볼의 이동을 보기 위한 XY, XZ, YZ축에서 본 결과
Fig. 9. Views of XY, XZ, and YZ sides for the checks movements.

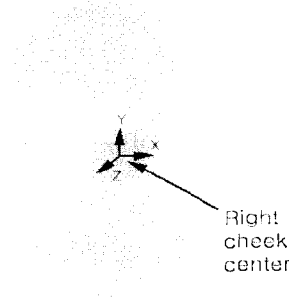


그림 10. 볼의 영역을 포물형 편미분식을 사용하여 3차원으로 표시한 예
Fig. 10. 3D view of the cheek area using the parabolic partial differential equations.

간 $(t+\Delta t)$ 에서 $u_i^{(j+1)}$ 값을 계산한다. ($i=2 \dots n$).

그러나 볼의 움직임을 나타내는 동작은 4가지 있으며, a)움직임은 "입술 주변 이동", b)움직임은 "볼의 중심에서부터 불룩하게 이동", c)움직임은 "볼의 중심에서부터 x와 y축으로 이동", 마지막으로 d)움직임은 "입술 주변에서부터 x와 y축으로 이동"이다. 이들 움직임 중에서 b)와 c)는 포물형 편미분식에서 생성된 정보를 참조한다. <그림 9>는 4가지 동작들을 볼의 움직임에 영향을 끼쳐 변화하는 모습을 나타낸다.

<그림 9(a)>는 'a'와 'd'의 움직임을 얼굴의 X축과 Y축을 기준으로 표시한 예이고 <그림 9(b)>는 'b'와 'c'

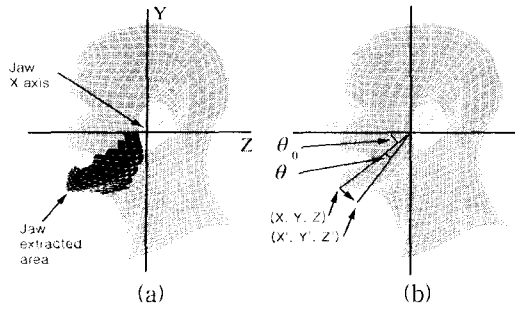


그림 11. 턱의 좌표이동. (a) 턱의 추출된 영역과 기준축, (b) Runge-Kutta법
 Fig. 11. The movement of the jaws' coordinate. (a) Extracted area and standard axis of the jaws (b) Runge-Kutta method.

의 움직임을 얼굴의 X축과 Z축을 기준으로 표시한 것이며, <그림 9(c)>는 ㉠와 ㉡ 그리고 ㉢ 움직임을 얼굴의 Y축과 Z축을 기준으로 표시한 결과이다. <그림 10>은 <그림 9>에서 나타난 2차원으로 표현한 볼의 영역을 3차원으로 표현한 것이다.

3. 턱에 대한 움직임 처리

PAU가 움직이는 범위와 각도가 고정되어 있으므로, 다양한 모델에 PAU의 움직임 범위를 제한하기 위해 입술의 한계 값은 <그림 11(a)>에서 정한다. 턱의 한계 값은 코와 턱의 기준축을 0°으로 하고 <그림 11(b)>에서 턱의 기준축으로 Runge-Kutta법을 사용하며, 실험치로 75°을 초과하지 못하게 하였다.

<그림 11(a)>턱의 기준축 (X, Y, Z)에서 X와 Y는 코를 중심으로 하고, Z는 얼굴의 앞면과 뒷면의 중앙을 기준으로 선정하였다.

턱의 움직임은 기준축을 기준으로 움직이게 하고, 자연스러운 움직임을 지정할 수 있도록 턱의 움직임 사이에 보간을 할 수 있는 Runge-Kutta법을 사용하였다. 즉, 턱의 새로운 위치 좌표 (X', Y', Z')는

$$\begin{aligned} X' &= X \\ Y' &= d_n \times \cos(t_n) \\ Z' &= d_n \times \sin(t_n) \times \sin(p_n) \end{aligned} \quad (3)$$

로 계산한다. 여기서, 초기각도 (θ_0)를 라디안 각도로 변환한 t_n 과 턱과 기준축 사이의 거리 값인 d_n 을 사용하며, 방위각 (P_n)은 턱의 움직이는 방향이다. 턱이 옆으로 이동하는 것을 고려하지 않기 때문에 X'는 기존의 좌표와 동일하다. 또한 t_{n+1} 을 생성하기 위해서

$$t_{n+1} = t_n + \frac{k_1}{6} + \frac{k_2}{3} + \frac{k_3}{3} + \frac{k_4}{6} \quad (4)$$

를 이용한다. 여기서, k_1, k_2, k_3, k_4 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} k_1 &= h \times f(d_n, t_n) \\ k_2 &= h \times f(d_n + k_1/2, t_n + h/2) \\ k_3 &= h \times f(d_n + k_2/2, t_n + h/2) \\ k_4 &= h \times f(d_n + k_3, t_n + h) \end{aligned} \quad (5)$$

<그림 6>에서 θ 의 라디안 값을 h 라 한다. 여기서는 h 를 0.2로 선정하였다. 마지막으로 턱을 움직이기 위해서는 <그림 6>처럼 턱의 초기 각도 (θ_0)를 알아내야 하며, 또한 초기 각도는 기준축과 거리를 알아야 계산할 수 있다. 먼저 턱의 기준축과 턱의 벡터스 Y'의 거리인 cy 알 알아내고, 턱의 기준축과 턱의 벡터스 Z'의 거리인 cz 을 계산한다. 또한 이를 이용하여 턱과 기준축 사이의 거리 $d_n = \sqrt{cy^2 + cz^2}$ 를 알아낸다. 결과는 실험에서 고찰한다.

V. 실험

먼저 제안한 에디터를 이용하여 2D 코믹 모델과 3D 모델에서 감정을 표현하기 위하여 필요한 AU (PAU-CAU)번호를 조사하였으며, 6가지 기본 감정에 대한 AU번호는 <표 5>와 같다. 즉 두 모델에서 기본적인 감정을 표현하기 위해 필요한 AU는 거의 같음을 알 수 있다.

또한, 제안한 에디터를 이용하여 다양한 종류의 감정과 강도를 편집하는 실험을 하였다.

본 논문의 에디터를 이용하여 도출한 감정 표현 파라미터(PAU번호 및 강도 값)를 서로 다른 얼굴 모델에 적용하여 비교하는 실험을 하였고 또 같은 얼굴 모델에서 벡터스 수를 달리 하면서 감정을 표현하는 실험을 하였다.

<그림 12>는 3차원 코믹모델과 2차원 모델에 놀람 표정을 다섯 가지 강도로 생성한 예이다. 또한 <그림 12>의 표정을 생성하기 위한 AU의 종류는 <표 1>에 제시하고, PAU강도 값은 1.0(100%)을 지정하였다.

<그림 12(a)>는 감정을 생성하기 위한 AU 파라미터 벡터스 수가 452개인 모델에 놀람 표정일 경우의 예이다. 또 <그림 12(b)>와 <그림 12(c)>는 3차원 모델의 벡터스 제어점 수를 225개와 151개로 줄여 <표 6>의

표 5. 2D 및 3D 코믹 모델에서 6가지 기본 감정을 표현하기 위하여 필요한 AU의 비교

Table 5. AU's comparison for six kinds of universal expression in 2D and 3D comic models.

Emotions	2D Comic Model	3D Model
Joy	1,2,6,12	1,2,6,12
Sadness	1,4,7,15	1,4,7,15
Disgust	1,4,48	1,4,48
Anger	2,4,5,15	2,4,5,15
Surprise	1,2,5,26	1,2,5,26
Fear	1,4,20	1,4,20

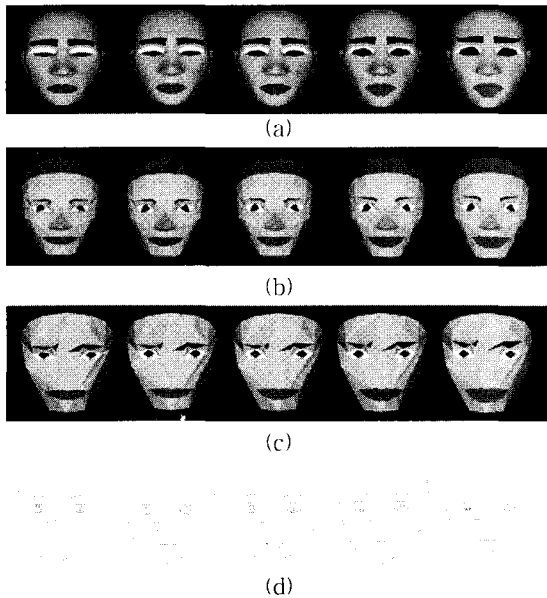


그림 12. 놀람 표정의 생성 예. (a) 452, (b) 225, (c) 151 버텍스 모델 (d) 2차원 모델의 표정으로, 표정 강도는 좌측으로부터 각각 0%, 25%, 50%, 75%, 100%이다

Fig. 12. Examples of "Surprise" expression. (a) 452, (b) 225, (c) 151 vertex models, (d) 2D comic model, wheretheir intensities are 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%, from left to right, respectively.

AU 값을 그대로 적용하였을 경우이다. 그리고 <그림 12(d)>는 2차원 모델을 사용할 때 3차원 모델과 같은 AU 값을 사용하였을 때 생성된 표정이다.

본 연구의 에디터를 이용하여 생성한 표정의 통신 가능성을 측정하기 위하여 일반 학생들에게 편지한 열

표 6. 3차원 일반 얼굴 표정에 대한 인식률(%)
Table 6. Recongition rate(%) of 3D facial expression.

표정강도 표정종류	25%	50%	75%	100%
Joy	100	100	100	100
Sadness	25	75	50	50
Disgust	50	50	25	25
Anger	75	75	100	100
Surprise	50	75	100	75
Fear	0	0	25	0

표 7. 3차원 코믹 얼굴 표정에 대한 인식률(%)
Table 7. Recognition rate(%) of 2D comic facial expression.

표정강도 표정종류	25%	50%	75%	100%
Joy	50	100	100	100
Sadness	100	75	100	75
Disgust	100	100	100	100
Anger	50	50	25	50
Surprise	100	100	100	100
Fear	75	50	25	75

굴 표정을 제시하고 그 느낌을 확인하는 실험을 하였다. 이 때, PAU강도는 일반 표정 강도로 하였고, 2차원 모델을 제외한 3차원 모델만을 사용하였다. 학부생 네 명을 대상으로 한 실험의 결과는 <표 6>과 같다.

<표 6>에서 보다 <표 7>에서 "Sadness", "Surprise", "Fear", 그리고 "Disgust"가 더욱 잘 표현됨을 알 수 있다. <표 7>에서 "Anger"는 예외적으로 인식률이 낮았다. 이는 "Anger"는 AU(2, 4, 5, 15)를 사용하며, "Disgust"은 AU(2, 4, 48)을 사용되었고, "Anger"는 코믹한 표정으로 표현하면 "Disgust"로 오인 되는 경우가 많아졌다. 즉 "Anger"는 코믹한 표정을 지었을때 고통스러운 표정이 생성되는 것으로 보인다. 그러므로 "Anger"는 코믹한 표정을 사용하지 않는 것이 오히려 좋을 것이다.

<그림 13>은 <표 2>와 <표 3>에서 찾아낸 AU (PAU+CAU)와 AU주변을 사용하여 3800, 1900, 그리고 296개의 버텍스로 구성된 3차원 와이어 프레임(wireframe) 모델과 비교한 것이다. 좌측부터 눈썹, 눈꺼풀, 입술, 턱을 추출하는 화면이다.

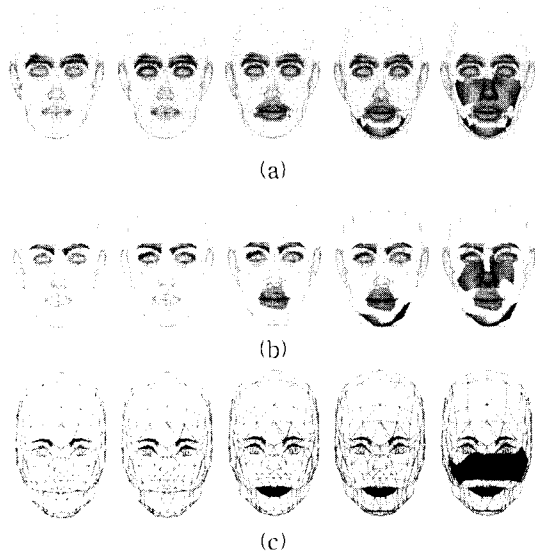


그림 13. AU 영역과 AU 주변 영역을 찾아내는 과정. (a) 3800, (b) 1900, (c) 296 버텍스를 가진 모델
 Fig. 13. Procedure of detecting AU area and AU external area. (a) 3800, (b) 1900, (c) 296 vertex models.

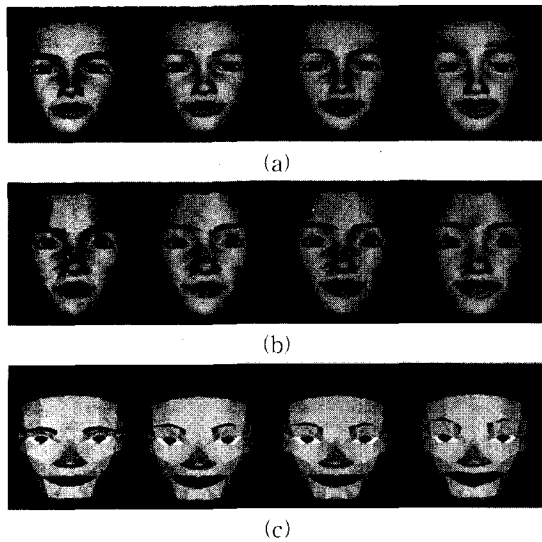


그림 14. 기존 연구의 “Joy” 표정 생성 예. 각각 3800, 1900, 296 버텍스 모델이며, 왼쪽부터 강도 0%, 30%, 60% 그리고 100%
 Fig. 14. The “Joy” expression generated in the previous study with 3800, 1900, 269 vertex models, where their intensities are 0%, 30%, 60%, and 100%, from left to right, respectively.

표 8. AU6인 “뺨 올림”을 제거한 “Joy” 표정에서 AU 강도 값. 각각 3800, 1900, 296 버텍스 모델이며, 왼쪽부터 강도 0%, 30%, 60% 그리고 100%

Table 8. Recognition rate(%) of 3D comic facial expression, where their intensities are 0%, 30%, 60%, and 100%, from left to right, respectively.

표정	AU번호(강도 값)
Joy-0	AU-1(0%), 2(0%), 12(0%)
Joy-1	AU-1(25%), 2(25%), 12(39%)
Joy-2	AU-1(50%), 2(50%), 12(78%)
Joy-3	AU-1(75%), 2(75%), 12(117%)
Joy-4	AU-1(100%), 2(100%), 12(156%)

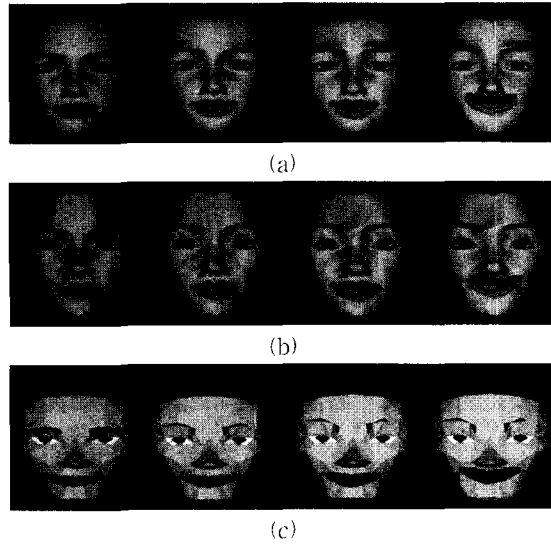


그림 15. 코믹한 표정에서 볼의 움직임을 제거한 “Joy” 표정 생성 예. 각각 3800, 1900, 296 버텍스 모델이며, 왼쪽부터 강도 0%, 30%, 60% 그리고 100%

Fig. 15. The “Joy” expression generated in comic expression eliminated cheek movements with 3800, 1900, 269 vertex models, where their intensities are 0%, 30%, 60%, and 100%, from left to right, respectively.

<그림 14>는 <그림 5>의 8번 과정을 각각 3800, 1900, 296 버텍스 모델에서 코믹한 표정이 아닌 일반 표정을 생성한 예이다. 입술 양끝의 움직임이 작았으므로, 볼에 대한 움직임인 AU6을 사용할 필요가 없었다.

<표 8>은 코믹 표현 “Joy”를 생성하기 위한 AU별

표 9. "Joy" 표정을 생성하기 위한 AU 강도 값
Table 9. AU intensity values of generating "Joy" expression.

표정	AU번호(강도 값)
Joy-0	AU 1(0%), 2(0%), 6(0), 12(0%)
Joy 1	AU 1(25%), 2(25%), 6(40), 12(39%)
Joy 2	AU 1(50%), 2(50%), 6(80), 12(78%)
Joy-3	AU 1(75%), 2(75%), 6(120), 12(117%)
Joy 4	AU 1(100%), 2(100%), 6(160), 12(153%)

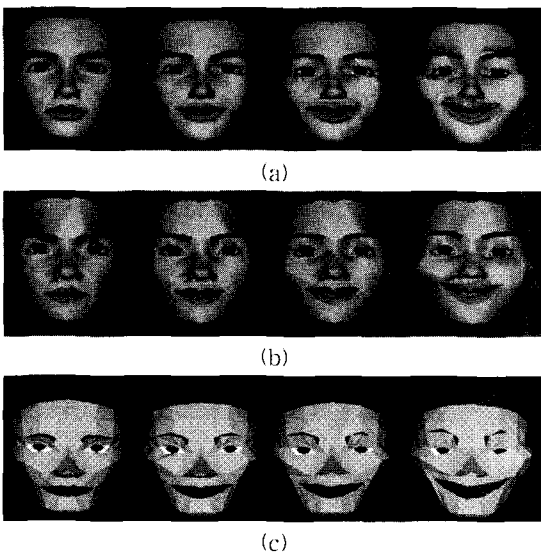


그림 16. 포물형 미분 방정식을 이용하여 과장된 "Joy" 표정을 생성한 예. 각각 3800, 1900, 296 버텍스 모델이며, 왼쪽부터 강도 0%, 30%, 60% 그리고 100%
Fig. 16. "Joy" comic expression generated by using the parabolic partial differential equations.

강도 값을 나타낸 것으로, AU1과 AU2는 일반 표정의 강도와 동일하며, AU12만 강도를 강하게 된 것임을 보이고 있다.

<그림 15>는 <표 8>의 AU와 강도 값을 가지고 표정을 생성한 예이다. "Joy" 표정이 명확하게 생성되기 어렵다. 이는 기존 표정생성법의 문제점으로, 볼에 대한 처리를 하지 못함으로 입술의 움직임이 볼의 영역을 초과하지 못한다.

<그림 15>는 <표 8>의 AU와 강도 값을 가지고 표정을 생성한 예이다. <그림 15>에서 볼의 움직임을 사용하지 않은 코믹한 얼굴 표정이며, 입술의 움직임이 많아지면, 볼의 영역을 침범하는 것을 볼 수 있다.

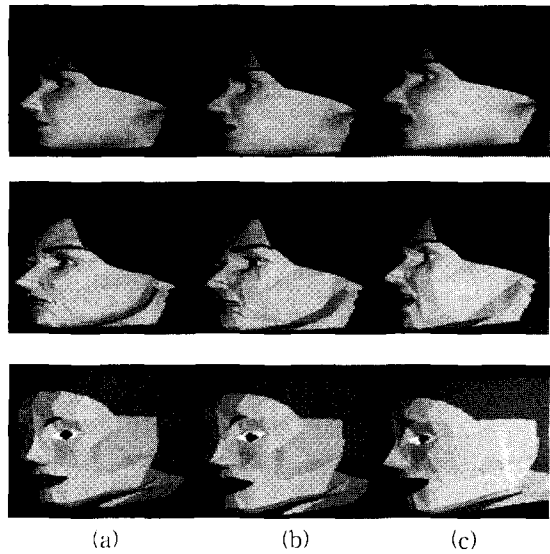


그림 17. 3800 버텍스 모델에서 턱의 움직임을 수행한 예. (a) 3차원 원본 모델, (b) 수작업에 의한 예, (c) Runge-Kutta법을 사용한 예
Fig. 17. The jaws movements generated with 3800 vertex model. (a) 3D model, (b) Manual movements, (c) Automatic movements by using Runge-Kutta method.

<표 9>는 코믹 표현 "Joy"를 생성하기 위한 AU별 강도 값을 나타낸 것으로, AU1과 AU2는 일반 표정의 강도와 동일하며, AU6과 AU12 강도를 모두 사용함을 보이고 있다.

<그림 16>은 <표 9>의 AU와 강도 값을 가지고 표정을 생성한 예이다. <그림 15>에서 볼의 움직임을 사용한 코믹한 얼굴 표정이며, 입술 양끝을 위로 올리면 상대적으로 볼의 영역이 위로 올라감을 보인다.

<그림 17>은 3800 버텍스 모델에서 턱의 움직임을 수행한 예로서, <그림 17(b)>는 기존의 방법대로 수작업에 의한 예이고 오른쪽은 제안 방법을 이용한 예이다. 기존의 수작업에 의한 턱의 움직임 생성은 턱 기준 축을 중심으로 하지 않고, 턱을 내렸기 때문에 턱 전체가 내려오는 현상이 발생하였다. 그러나 <그림 17(c)>처럼, 본 논문의 Runge-Kutta법을 이용하면 턱의 움직임은 수작업으로 생성할 때 보다 자연스러운 움직임을 생성할 수 있었다. 또한 턱 기준 축으로 움직임이 생성되기 때문에 턱 기준 축에 근접한 부분은 움직임이 적고 반면에 턱 기준 축에 멀어질수록 움직임이 많아지는 것을 볼 수 있다.

VI. 결 론

이 논문에서는 얼굴표정을 효과적으로 편집 생성할 수 있도록 하는 방법을 제안하였다. 또한, 다양한 아바타 모델에서 지정된 표정을 생성하기 위해서 PAU를 찾아내는 방법과 표정 생성하는 방법을 제안하였다. 특히 6가지 표정 중에 화남과 혐오 그리고 두려움과 슬픔에서 표정들 간에 다른 AU를 사용하는 부분을 과장되게 표현함으로써 6가지 표정을 분리시켰다. 마지막으로, 감정표현에서 중요한 역할을 하는 뺨과 턱의 움직임 자동화하기 위하여 수치해석 기법인 포물형 편미분식과 Runge-Kutta법을 이용하여 더욱 과장된 표현이 가능하게 하였다. 포물형 편미분에서 α 값을 조정하여 볼 모양과 턱의 움직임을 자연스럽게 하였다.

본 논문에서 제안한 방법의 가능성을 확인하기 위하여, 기존 방식과 제안 방식으로 표정을 생성하여 비교 실험을 했으며, 또한 포물형 편미분식과 Runge-Kutta법을 사용하여 다양한 모델에 적용할 수 있음을 실험하였다. 실험 결과, 서로 다른 모델과 해상도가 떨어지는 모델에서도 원하는 얼굴 표정을 재생할 수 있었다. 또한 코믹한 감정표현으로 6가지 기본 표정을 잘 분리하여 전달할 수 있었다. 그러나, 본 논문의 방법은 특별한 구조를 가지고 있는 모델에는 적용하기 어렵다. 또한 현재 제시되고 있는 아바타 모델은 Texture를 지원하지 않으므로 실제 사진과 같은 표정을 나타내기 어렵다.

참 고 문 헌

- [1] 金商雲, 吳芝英, 青木山直, "인터넷상에 3차원 모델을 이용한 한-일 실시간 수화 통신 시스템의 구축을 위한 기초적인 검토", 대한전자공학회논문지-S, vol. 36, no. 7, pp. 811~820, 1999.
- [2] S.-W. Kim, J.-Y. Oh, S. Tanahashi, and Y. Aoki, "Preliminary study on a sign-language chatting system between Korea and Japan for avatar communication on Internet." IEICE Trans., vol. E83-A, no. 2, pp. 386~389, 2000.
- [3] 金商雲, 李種雨, 青木山直, "3D 수화 애니메이션을 위한 팔과 손의 통합된 키 프레임 에디터," 대한전자공학회논문지-SP, vol. 37, no. 9, pp. 371~380, 2000.
- [4] S.-W. Kim, Y.-W. Lee, Y. Aoki, and Y. Arakawa, "A comic expression method of universal emotions for intelligent avatar communications using principal action units" Proc. of ITC-CSCC, Tokushima, Japan, pp. 240~243, 2001.
- [5] P. Ekman and W.V. Friesen, Unmasking the Face, New Jersey: Prentice Hall, 1975
- [6] I. Essa and A. Pentland, "Coding, Analysis Interpretation, Recognition of Facial Expressions," IEEE Trans, Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol, 19, no.7, pp. 757~763, 1997.
- [7] Y. Tian, T. Kanade, and J. Cohn "Recognizing action units for facial expression analysis" IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.23, No.2, pp. 97~115, 2001.
- [8] S. Morishima, F. Kawakami, H. Yamada, and H. Harashima, "A Modelling of Facial Expression and Emotion for Recognition and Synthesis," Symbiosis of Human and Artifact, Y. Anzai, K. Ogawa and H.Mori, eds., pp. 251~256, Amsterdam: Elsevier Science BV, 1995.
- [9] 표정/제스처 DB기반 감정인식 및 표현 시스템 개발 http://psylab.yonsei.ac.kr/~vision/cschung/표정_국문/index.htm

저 자 소 개

李 容 厚(學生會員)

1996년 2월~2000년 2월 : 울산대학교 컴퓨터공학과 졸(공학사). 2000년 3월~2002년 2월 : 명지대학교 컴퓨터공학과 대학원 졸(공학석사). 2002년 3월~현재 : 명지대학교 컴퓨터공학과 대학원 재학(공학박사 과정). <주 관심분야 : 패턴인식, HCI>

金 商 雲(正會員) 第37卷 SP編 第9號 參照
현재 : 明知大學校 Computer工學科 教授

青木 由直(日本 電子情報通信學會 正會員)

1964年 : 北海道大學 工學部 電子工學科卒. 1966年 : 同大學 大學院 修士課程卒. 1969年~1971年 : Canada Laval 大學 留學. 1966年~現在 : 北海道大學 講師, 助教授, 教授(情報Media工學 講座). 中國 瀋陽大學 및 黑龍江大學 客員教授. 主關心研究分野는 信號畫像處理, Computer Graphics, 衛星通信. 工學博士. 主著書는 「波動信號處理」(北森出版), 「オペレータ法デジタル信號處理」(コロナ社), 「コンピュータグラフィックス講義」(コロナ社).