

# 감정 확률을 이용한 동적 얼굴표정의 퍼지 모델링

## Dynamic Facial Expression of Fuzzy Modeling Using Probability of Emotion

강효석 · 백재호 · 김은태 · 박민용

Hyo-Seok Kang, Jaeho Baek, Euntai Kim and Mignon Park

연세대학교 전기전자공학과

### 요 약

본 논문은 거울 투영을 이용하여 2D의 감정인식 데이터베이스를 3D에 적용 가능하다는 것을 증명한다. 또한, 감정 확률을 이용하여 퍼지 모델링 기반의 얼굴표정을 생성하고, 표정을 움직이는 3가지 기본 움직임에 대한 퍼지이론을 적용하여 얼굴 표현함수를 제안한다. 제안된 방법은 거울 투영을 통한 다중 이미지를 이용하여 2D에서 사용되는 감정인식에 대한 특징벡터를 3D에 적용한다. 이로 인해, 2D의 모델링 대상이 되는 실제 모델의 기본감정에 대한 비선형적인 얼굴표정을 퍼지를 기반으로 모델링한다. 그리고 얼굴표정을 표현하는데 기본 감정 6가지인 행복, 슬픔, 혐오, 화남, 놀람, 무서움으로 표현되며 기본 감정의 확률에 대해서 각 감정의 평균값을 사용하고, 6가지 감정 확률을 이용하여 동적 얼굴표정을 생성한다. 제안된 방법을 3D 인간형 아바타에 적용하여 실제 모델의 표정 벡터와 비교 분석한다.

키워드 : 얼굴 표정, 거울 투영의 의한 다중 이미지, 얼굴의 특징점, 3차원 모델링, 특징 벡터

### Abstract

This paper suggests to apply mirror-reflected method based 2D emotion recognition database to 3D application. Also, it makes facial expression of fuzzy modeling using probability of emotion. Suggested facial expression function applies fuzzy theory to 3 basic movement for facial expressions. This method applies 3D application to feature vector for emotion recognition from 2D application using mirror-reflected multi-image. Thus, we can have model based on fuzzy nonlinear facial expression of a 2D model for a real model. We use average values about probability of 6 basic expressions such as happy, sad, disgust, angry, surprise and fear. Furthermore, dynamic facial expressions are made via fuzzy modelling. This paper compares and analyzes feature vectors of real model with 3D human-like avatar.

Key Words : facial expression, mirror-reflected multi-image, facial feature point, 3D modeling, feature vector

## 1. 서 론

사람이 감정을 표현하는데 음성, 제스처, 표정 등이 있으나 얼굴표정이 가장 효과적이고 세밀하게 표현된다. 사람의 감정을 인식하는 데는 많은 연구가 이뤄졌고 많은 데이터베이스가 구축되어있다. 그래서 2차원 이미지에 대한 감정 인식에 따른 데이터베이스가 많이 구축되어져 있다[1]. 이에 반해, 2차원 기반의 인식은 많은 위치들의 변화를 다루기에는 적합하지 않다. 3차원 모델에 대한 감정 인식 데이터베이스가 부족하지만 2차원보다 정교한 표현과 제어가 가능하다. 따라서 동적 얼굴 감정을 표현하는데 3차원 모델이 적합하다[2].

심리학적으로 사람의 얼굴표정은 기본 6가지 감정표현으로 나타낸다. 일반적으로 사람은 다양한 얼굴표정으로 감정을 표현하는데 6가지 감정 확률을 가지고 정의가 된다[3]. 사람의 감정을 인식하는 부분에서 많은 규칙은 연구되었다. 그러나 그와 반대로 상호의사소통을 할 수 있는 인간형 3D 아바타로 구현하는 것은 많은 연구가 되어 있지 않다.

본 논문에서는 거울 투영 이미지로 2차원 모델을 3차원 모델로 변환할 수 있는 특성을 사용하여 2차원에서의 장점인 다양한 표정에 대한 데이터베이스를 3차원에 적용함으로써 데이터베이스를 구축하고 각 감정 확률을 이용하여 자연스러운 표정을 3차원 아바타로 구현하였다.

## 2. 3D 모델링 추출

2D의 이미지를 사용하여 3D 좌표를 얻기 위해 두 개의 거울을 얼굴의 옆에 두고 하나의 카메라로 얻은 이미지를 이용하여 3D 좌표를 얻는다. 각 카메라의 동기화를 마칠 필요 없이 하나의 이미지로 가능하다는 장점을 가지고 있다.[4] 그림 1과 같이 가상 카메라 다이어그램을 표시하였다.

각 감정을 모델링하기 위해서 MPEG-4가 정의한 얼굴의 특징점은 총 84개소의 얼굴 요소 중에 19개를 선정하여 표정을 나타낼 수 있는 눈썹, 눈과 입의 위치를 선정하였다 [10].

19개의 특징점은 얼굴의 감정을 표현하는데 필요한 눈, 눈썹, 입의 크기를 알아낼 수 있다. 다음은 기본 감정을 표 1과 같이 정의한다. 또한, 각 표정의 특징벡터는 표 2와 같이 구분하여 사용한다[12].

접수일자 : 2007년 4월 4일

완료일자 : 2008년 9월 5일

본 연구는 프론티어사업에 의해 일부 지원 받았습니다.

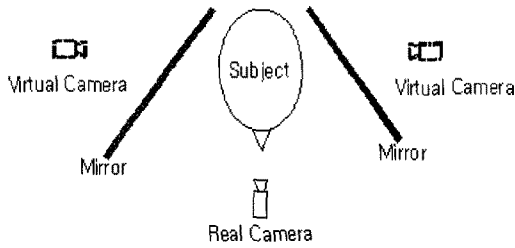


그림 1. 가상 카메라 다이어그램 원리  
Fig. 1. Diagram about virtual camera

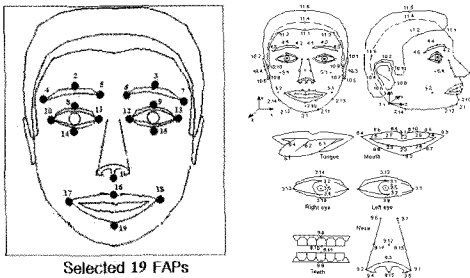


그림 2. MPEG-4가 지정한 특징점의 위치[10]와 감정 추출을 위한 특징점의 위치  
Fig. 2. Position of feature point referenced in MPEG-4 and position of feature for emotion detection

표 1. 각 감정 표현의 움직임  
Table 1 Movement about each emotion expression

행복	눈썹이 내려오고 찡그리며, 눈은 넓어지고 입술은 팽팽해진다.
혐오	눈은 작아지고, 입은 벌려지고 입술의 양끝은 안쪽 아래로 내려간다.
부서움	눈썹은 올라가고 찡그리며, 눈은 작아지고, 입은 벌려진다.
슬픔	눈썹은 안쪽 끝이 올라가고 눈이 작아진다.
행복	눈은 거의 감고, 입은 넓어지고 입술 끝이 바깥쪽으로 올라간다.
놀람	눈썹은 올라가고 눈은 커지며, 입은 벌어진다.

표정의 특징벡터는 얼굴표정을 구분하는 기준이 되고 그것을 이용하여 각 사람들의 특징점 좌표가 아닌 눈, 눈썹, 입의 비율을 감정 생성 데이터로 사용하였다.

### 3. 퍼지 모델링

#### 3.1 퍼지시스템

퍼지 시스템은 퍼지화(Fuzzification), 비퍼지화(Defuzzification), 퍼지 제어 규칙(Fuzzy control rule) 및 퍼지 함의(Fuzzy implication)법칙을 바탕으로한 퍼지 추론(Fuzzy inference)의 세 부분으로 크게 나눌 수 있다. 다음은 퍼지룰의 IF-THEN은 식 (1)과 같다.

$$R_i: \text{If } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{i2} \text{ Then } y \text{ is } B_i \quad (1)$$

퍼지추론은 입력 퍼지집합  $A_i$ 를 출력 퍼지집합  $B^i$ 에 대

응하는 것이다. 퍼지 추론은 다음 식 (2)와 같이 나타낸다

$$\mu_{B_i}(y) = \max \left[ \sup_{x \in U} \left( \mu_{A_i}(x) \prod_i \mu_{A_i}(x_i) \mu_{B_i}(y) \right) \right] \quad (2)$$

표 2. 각 감정의 형태들에 대한 특징 벡터  
Table 2 Feature vector about emotion

1	왼쪽 눈썹의 안쪽 끝의 수직거리
2	왼쪽 눈썹의 중앙쪽 끝의 수직거리
3	오른쪽 눈썹의 안쪽 끝의 수직거리
4	오른쪽 눈썹의 중앙쪽 끝의 수직거리
5	왼쪽눈썹과 오른쪽 눈썹과의 거리
6	왼쪽눈의 높이
7	왼쪽 눈의 중앙 위쪽의 수직거리
8	왼쪽 눈의 중앙 아래쪽의 수직거리
9	오른쪽 눈의 높이
10	오른쪽 눈의 중앙 위쪽의 수직거리
11	오른쪽 눈의 중앙 아래쪽의 수직거리
12	입의 넓이
13	입의 높이
14	왼쪽 입 끝의 수직거리
15	오른쪽 입 끝의 수직거리
16	입술 중앙 위쪽의 수직거리
17	입술 아래 위쪽의 수직거리
18	입술 왼쪽 끝의 수직거리
19	입술 오른쪽 끝의 수직거리

싱글톤 퍼지화와 평균 중심 비퍼지화를 식 (3)과 같이 나타낸다. 본 논문에서는 퍼지 시스템을 이용하여 비선형적인 사람의 표정을 모델링 할 수 있다.

$$\mu_{A_i}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x = x^* \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad y^* = \frac{\sum_{i=1}^M y^i w_i}{\sum_{i=1}^M w_i} \quad (3)$$

#### 3.2 테이블 룩업 방법을 이용한 퍼지 디자인

테이블 룩업 방법을 사용하기 위해서는 실험에 따른 입력과 출력간의 관계를 알아야 합니다. 다음은  $N$  개의 입력력 관계를 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} (x_0^p, y_0^p), p = 1, 2, \dots, N \\ x_0^p \in U = [\alpha_1, \beta_1] \times \dots \times C \subset R^n \\ y_0^p \in V = [\alpha_y, \beta_y] \subset R \end{aligned} \quad (4)$$

$N_i$  번째의 입출력 관계로부터 입출력 전체를 포함할 수 있는 퍼지집합  $A^j (j=1, 2, \dots, N)$  을 구할 수 있다. 식 (5)와 같이 IF-THEN 룰을 나타낸다.

$$\text{IF } x_1 \text{ is } A_i^* \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_n^* \text{ THEN } y \text{ is } B^k \quad (5)$$

이때 얻은 룰들은 동일한 IF 부분을 갖더라도 일치하지 않는 THEN 부분을 가질 수 있으므로 이러한 경우에 발생

하는 충돌을 제거하기 위해서 다음의 방법으로 각 룰마다 degree를 식 (6)과 같이 부여한다.

$$D(rule) = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^p}(x_{0i}^p) \mu_{B_i^p}(y_0^p) \quad (6)$$

퍼지룰을 기반으로 얼굴감정의 비선형성을 퍼지시스템으로 모델링하였다.

#### 4. 실험 및 고찰

##### 4.1 거울 투영을 이용한 3D 좌표추출

그림 3과 같이 거울 투영을 이용하여 각 감정에 대한 3D 좌표를 추출하였다.

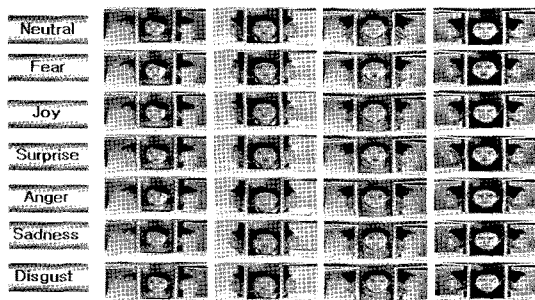


그림 3. 각 감정에 대한 특징점 추출

Fig. 3. Detection of feature point about each emotion

사람의 6가지 기본감정들에 대하여 모델링하였고 많은 사람들을 통해서 각 감정에 대한 눈, 눈썹, 입의 크기의 좌표점을 추출하였다. 여기서 각 사람마다 눈, 눈썹, 입의 크기는 다르지만 무표정을 기준으로 했을 때의 비율은 같다. 그래서 2D의 좌표를 3D의 좌표로 변환하여 각각의 특징점을 비교 및 모델링할 수 있다.

##### 4.2 비선형적인 얼굴의 모델링

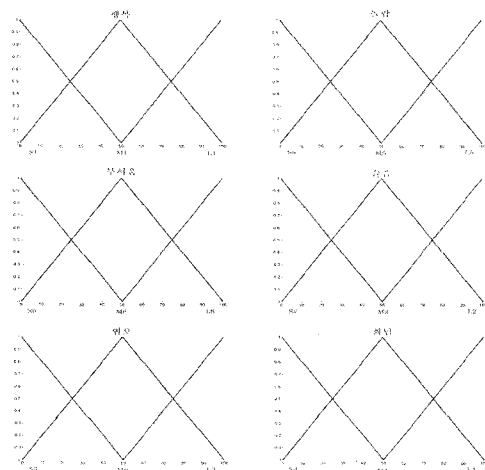


그림 4. 퍼지시스템 입력 소속함수

Fig. 4. Input membership function

입력은 각 감정 확률이고 각 감정(행복, 무서움, 화남, 혐오, 슬픔, 놀람)에 대한 소속함수는 그림 4와 같이 정의한다. 그림 5와 같이 출력은 눈, 눈썹, 입의 크기의 비율을 이용

한 소속함수이다. 3D 모델링을 통하여 얻은 데이터로 테이블 룰업의 degree를 결정한다.

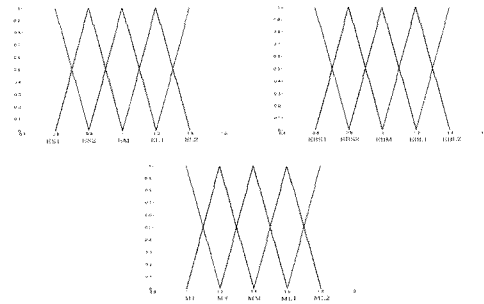


그림 5. 퍼지시스템 출력 소속함수

Fig. 5. Output membership function

퍼지화에는 싱글톤 방법을 사용하였고 비퍼지화에는 평균중심 방법을 사용하였다. 6개의 입력과 3개의 출력으로 구성된 퍼지 모델링하였다. 이로 인해, 비선형적인 사람의 얼굴을 모델링하였다.

그림 6과 같이 무표정의 눈, 눈썹, 입의 크기를 1로 기준하여 크기의 변화율을 나타내며 행복과 슬픔, 행복과 놀람, 무서움과 혐오, 무서움과 놀람, 화남과 혐오, 화남과 슬픔, 화남과 놀람, 혐오와 슬픔, 혐오와 놀람, 슬픔과 놀람 순으로 동적인 감정을 구성하여 보았다.

기존의 시스템(대시선)처럼 각 감정 확률을 표현했을 때보다 감정의 비선형적인 것을 고려하여 퍼지로 모델링(점선)한 것이 실제 표정(실선)과 비교한 오차가 적게 나타난다.

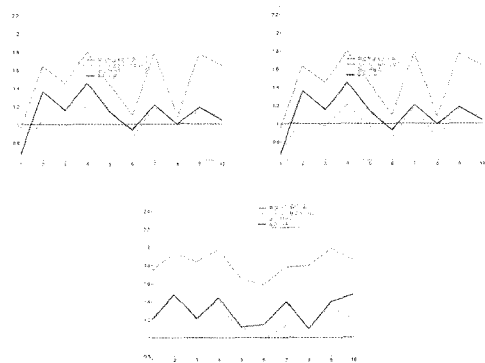


그림 6. 동적 얼굴감정표현의 기존 시스템과 퍼지 시스템의 비교

Fig. 6. Comparison between former system and fuzzy system about dynamic facial expression

퍼지로 모델링한 감정표현을 그림 7과 같이 3D 아바타에 적용하여 보았다.

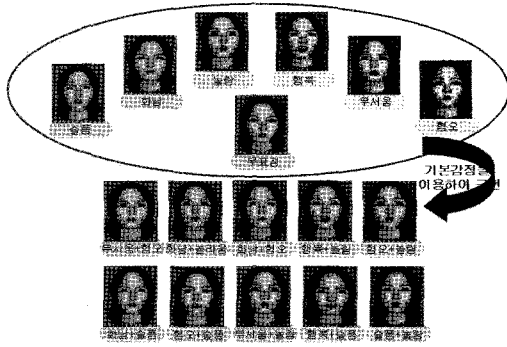


그림 7. 3D 아바타의 다양한 얼굴표정  
Fig. 7. 3D Avatar about dynamic facial expression

### 5. 결 론

본 논문은 거울 투영 방식을 통하여 2D 이미지를 3D로 변환하고 감정의 특징벡터들이 2D 뿐만 아니라 3D에서 적용이 가능하다는 것을 보였다. 2D의 감정 인식 데이터베이스를 이용하여 각 감정의 타당성을 비교하는 기준이 되었다.

기본 6가지 감정(행복, 무서움, 화남, 혐오, 슬픔, 놀람)을 이용하여 감정 형태에 대한 특징벡터를 구하고 무표정의 눈, 눈썹, 입의 크기를 1로 기준으로 하였을 때 기본 감정의 특징벡터들의 비율을 구하고 이 데이터를 이용하여 비선형적인 인간의 감정표현을 퍼지 이론을 기반으로 한 모델링을 하였다. 그로 인해, 각 감정의 산술 평균을 한 기존 시스템보다 오차율이 적고 동적표정을 생성할 때는 사람이 인식할 수 있는 수준으로 자연스럽게 표현되었다.

사람의 다양한 감정을 기본 감정 6가지의 감정 확률을 이용하여 많은 모델링이 필요 없이 동적 얼굴 표정을 구현할 수 있다.

### 참 고 문 헌

[1] T. Kanade, J.Cohn, and Y. Tian. "Comprehensive database for facial expression analysis". *FGR '00, France*, 2000.

[2] Lijun Yin; Xiaozhou Wei; Yi Sun; Jun Wang; Rosato, M.J.; "A 3D facial expression database for facial behavior research", *Automatic Face and Gesture Recognition, 2006. FGR 2006. 7th International Conference*, pp. 211 - 216, 10-12 April 2006

[3] J. Wang, L. Yin, et al, "3D facial expression recognition based on primitive surface feature distribution". *Tech. Report, Binghamton U*, 2006

[4] I-Chen Lin, Jeng-Sheng Yeh, Ming Ouhyoung, "Realistic 3D facial animation parameters from mirror-reflectd multi-view video", *Computer Animation, 2001. The Fourteenth Conference on Computer Animation*. pp. 2-250, 7-8 Nov. 2001

[5] Sy-sen Tang, "Lip-Sync in Human face Animation Based on Video Analysis and Spline

models", *International Multimedia Modeling Conference*, pp. 102-108, 2004.

[6] Kyu-min Kyung, "Automatic 3D Facial Movement detection from Mirror-reflectd Multi-Image for Facial Expression Modeling", *Conference in Information and Control Systems*, pp. 113-115, 2005.

[7] J. Noh, "A survey of Facial modeling and Animation Techniques", *USC Technical Report*, pp. 99-105, 1998

[8] Li-Xin Wang, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice Hall, 1997.

[9] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Second Edition. Prentice Hall, 2002.

[10] David A. Forsyth and Jean Ponce, *Computer Vision A modern approach*, Prentice Hall, 2003

[11] Sato, W.; Yoshikawa, S.; "Emotional elicitation by dynamic facial expressions", *Development and Learning, 2005. Proceedings The 4nd International Conference* pp.170-174, 19-21 July, 2005

[12] Yuwen Wu; Hong Liu; Hongbin Zha; "Modeling facial expression space for recognition", *Intelligent Robots and Systems, 2005. (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference* pp. 1968-1973, 2-6 Aug. 2005

### 저 자 소 개



강호석(HyoSeok Kang)  
2005년 : 선문대학교 전자공학과 졸업  
(공학사)  
2005년~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석박사과정

관심분야 : 지능제어, 퍼지이론, 인지공학  
Phone : +82-2-2123-2868  
E-mail : khs3538@yonsei.ac.kr



백재호(Jaeho Baek)  
2004년 : 대구대학교 정보통신공학부  
( 제어계측공학전공 ) 공학사  
2006년 : 연세대학교 전기전자공학과 공학 석사  
2006년~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

관심분야 : 지능제어, 로봇시스템, HVAC 시스템, 카오스시스템  
Phone : +82-16-640-9856  
E-mail : jhbaek97@yeics.yonsei.ac.kr



김은태(Euntai Kim)  
 1992년: 연세대학교 전자공학과 졸업  
 (공학사, 전체수석)  
 1994년: 연세대학교 전자공학과 석사과정  
 졸업(공학석사)  
 1999년: 연세대학교 전자공학과 박사과정  
 졸업(공학박사)

1999년 3월~2002년 2월: 국립한경대학교 제어계측 공학과  
 조교수  
 2002년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학부 부교수  
 2003년: University of Alberta, visiting researcher  
 1998년~현재: IEEE TFS, IEEE SMC, IEEE CAS,  
 FSS 등에서 심의위원 활동 중  
 2003년: 대한 전자공학회 해동상 수상

관심분야: Computational intelligence, 지능형 로봇  
 Phone : +82-2-2123-2863  
 E-mail : etkim@yonsei.ac.kr



박민용(Mignon Park)  
 1973년: 연세대학교 전자공학과 졸업  
 (공학사)  
 1977년: 연세대학교 전자공학과 석사과정  
 졸업(공학석사)  
 1982년: 일본 동경대학교 전자공학과  
 박사과정 졸업(공학박사)

1977년~1982년: 일본 동경대학교 의용전자 연구실  
 1982년: 미국 MIT & BERKELEY 연구소  
 1982년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 정교수

관심분야: 퍼지제어, 로봇틱스, 의용전자  
 Phone : +82-2-2123-2868  
 E-mail : E-mail : mignonpark@yonsei.ac.kr