
FCM 클러스터링을 이용한 표정공간의 단계적 가시화

Phased Visualization of Facial Expressions Space using FCM Clustering

김성호
상지대학교 컴퓨터정보공학부

Sung-Ho Kim(kimsh1204@sangji.ac.kr)

요약

본 논문은 사용자 하여금 표정공간으로부터 일련의 표정들을 선택하게 함으로써 3차원 아바타의 표정을 제어할 수 있는 표정공간의 단계적 가시화 기법을 기술한다. 본 기법에 의한 시스템은 무표정 상태를 포함하여 11개의 서로 다른 모션들로 구성된 2400여개의 표정 프레임으로 2차원 표정공간을 구성하였으며, 3차원 아바타의 표정 제어는 사용자가 표정공간을 항해함으로써 수행되어진다. 그러나 표정공간에서는 과격한 표정 변화에서부터 세밀한 표정 변화까지 다양한 표정 제어를 수행할 수 있어야하기 때문에 단계적 가시화 기법이 필요하다. 표정공간을 단계적으로 가시화하기 위해서는 퍼지 클러스터링을 이용한다. 초기 단계에서는 11개의 클러스터 센터를 가지도록 클러스터링하고, 단계가 증가될 때 마다 클러스터 센터의 수를 두 배씩 증가시켜 표정들을 클러스터링한다. 이때 클러스터 센터와 표정공간에 분포된 표정들의 위치는 서로 다른 경우가 많기 때문에, 클러스터 센터에서 가장 가까운 표정상태를 찾아 클러스터 센터로 간주한다. 본 논문은 본 시스템이 어떤 효과가 있는지를 알기 위해 사용자들로 하여금 본 시스템을 사용하여 3차원 아바타의 단계적 표정 제어를 수행하게 하였으며, 그 결과를 평가한다.

■ 중심어 : |얼굴 모션 캡처 | 표정 공간 | 퍼지 클러스터링 | 단계적 가시화 | 표정 제어 |

Abstract

This paper presents a phased visualization method of facial expression space that enables the user to control facial expression of 3D avatars by select a sequence of facial frames from the facial expression space. Our system based on this method creates the 2D facial expression space from approximately 2400 facial expression frames, which is the set of neutral expression and 11 motions. The facial expression control of 3D avatars is carried out in realtime when users navigate through facial expression space. But because facial expression space can phased expression control from radical expressions to detail expressions. So this system need phased visualization method. To phased visualization the facial expression space, this paper use fuzzy clustering. In the beginning, the system creates 11 clusters from the space of 2400 facial expressions. Every time the level of phase increases, the system doubles the number of clusters. At this time, the positions of cluster center and expression of the expression space were not equal. So, we fix the shortest expression from cluster center for cluster center. We let users use the system to control phased facial expression of 3D avatar, and evaluate the system based on the results.

■ keyword : | Facial Motion Capture | Facial Expression Space | Fuzzy Clustering | Phased Visualization | Facial Expression Control |

* 본 논문은 2006년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것입니다.

접수번호 : #071121-004
접수일자 : 2007년 11월 21일

심사완료일 : 2007년 12월 13일
교신저자 : 김성호, e-mail : kimsh1204@sangji.ac.kr

I. 서론

3차원 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용한 3차원 아바타의 얼굴 표정 애니메이션 및 얼굴 표정 제어와 관련된 연구들[1-8]은 지금까지 매우 다양한 방법으로 접근하여 진행되어져 오고 있다. 특히 인터넷과 PC 사양의 고성능화로 인하여 각종 애니메이션 및 컴퓨터 게임 등의 가상공간 속에서 질적으로 우수한 면들을 많이 보여주고 있는 것이 사실이다. 이러한 가상공간 속에서 3차원 아바타를 통해 자신의 의지를 표현할 때 가장 관심을 가지는 것은 무엇보다도 얼굴 표정이다. 그래서 가상공간 속에서는 3차원 아바타의 표정을 사용자가 직접 제어할 수 있는 다양한 기법들이 필요하다. 3차원 아바타의 얼굴표정 제어 방법으로는 많은 표정 데이터를 이용하여 생성한 표정공간을 사용자가 향해하는 방법이 주로 사용되는데, 이 방법은 [14][15]에서 사용하였다. 그러나 다량의 얼굴표정 데이터들로 구성된 표정공간을 사용자가 향해하면서 적당한 표정을 바로바로 선택하여 3차원 아바타에게 적용하기란 매우 어렵기 때문에, 이 표정공간을 단계적으로 가시화할 필요가 있다. 본 논문에서는 이와 같이 표정공간을 단계적으로 가시화하기 위한 방법을 기술한다. 본 논문의 주제인 단계적 가시화와 관련하여 모션 캡처 데이터를 사용한 연구는 아직 제시된 바가 없다. 그러므로 본 논문에서는 다량의 얼굴 모션 캡처 데이터를 수 개의 단계를 두어 2차원 평면에 단계적으로 분포시킨다. 그리고 사용자가 적당한 단계의 공간을 선택하고 향해하면서 원하는 얼굴 표정들을 선택하여 3차원 아바타의 얼굴 표정을 제어할 수 있도록 하여 단계적 가시화의 효과를 검증한다. 얼굴 표정 데이터의 단계적 가시화를 위해서 본 논문에서는 다음과 같은 작업이 선행되어졌다. 먼저 광학식 모션 캡처 시스템을 초당 60프레임의 캡처 비율로 설정하고 얼굴 표정을 전문적으로 연출하는 배우의 도움을 받아 다양한 얼굴 표정을 캡처한다. 왜냐하면, 모션 캡처에 사용되는 마커의 크기가 작은 쿨알 크기정도이기 때문에 배우의 얼굴 주 근육 부위에 다량 부착하였을 때 얼굴 근육의 움직임이 커져 제대로 된 표정의 변화를 보여줄 수 있기 때문이다. 만약 일반인을 대상으로

캡처한 데이터를 사용할 경우에는 표정의 제어는 가능하지만 제대로 된 다양한 표정의 변화를 보여주기에는 많이 미흡한 결과를 초래하게 될 것이다. 그러므로 본 논문에서는 작은 반사 마커 100개를 얼굴 표정을 전문적으로 연출하는 배우의 얼굴 주 근육 부분에 부착하고, 실험에 사용하기 위해 서로 다른 10개의 얼굴 모션을 연출하게 한다. 모든 모션은 무표정 상태를 시작으로 특정 표정으로 진행하고, 다시 무표정 상태로 되돌아오는 방법으로 수행한다. 그리고 배우의 정면 및 측면 사진을 이용하여 3차원 얼굴을 모델링하였다. 이때 표정 애니메이션이 가능하도록 하기 위하여 모션 캡처할 때 배우의 얼굴에 부착한 마커의 위치와 동일하게 3차원 아바타의 얼굴 각 지점에 표정 데이터가 연결될 수 있도록 제어 점(Control point)을 연결시켰다. 240여개의 얼굴 표정 데이터들을 가시화하기 위해서는 임의의 두 표정간의 최단경로[9]를 결정하여 표정공간을 생성[14][15]하고, 이 공간을 다차원 스케일링(Multidimensional Scaling, MDS)[12][13]로 2차원 평면에 투영시킨다. 그리고 수 개의 단계를 두어 퍼지 클러스터링(Fuzzy C-Mean Clustering, FCM)[16-18]으로 각 단계마다 클러스터 센터에 해당하는 표정 데이터들을 찾아 표정공간에 단계적으로 가시화한다. 마지막으로 본 논문을 위해 개발한 사용자 인터페이스에 3차원 아바타와 표정공간을 단계적으로 가시화시키고 사용자로 하여금 3차원 아바타의 표정을 단계적으로 제어해보도록 함으로써 본 시스템을 평가한다.

II. 표정공간의 생성과 MDS

얼굴 표정 데이터들로 구성된 얼굴 표정공간을 생성하기 위해서는 실험에 사용된 각각의 얼굴 표정상태를 수치적으로 표현해야 하고, 표정상태는 배우의 얼굴에 부착된 마커들 사이의 거리에 의해 결정된다. 표정상태의 표현은 표정들 간의 상대적인 거리 관계를 잘 표현하는 것으로서, 임의의 두 마커 간의 상호거리를 표현하는 거리행렬[14][15]을 이용하여 표정상태를 표현한다. 표정공간은 구면과 같은 다양체(Manifold) 공간이

고, 이 공간상에서 두 점간의 거리는 이 공간을 벗어나지 않으면서 한 점에서 인접표정을 대신하는 점들을 거쳐 다른 최종 목표 점까지 도달하는 최단경로의 길이로 정의한다. 또한 두 표정 사이에 인접한 표정들을 통해서만 이동할 수 있다고 가정한다. 그러나 인접표정을 결정하기 위한 임계값을 미리 결정하기는 난해하기 때문에 수많은 실험을 통해서 좋은 결과를 내는 한계 값을 정해야하며, 이를 위해서는 최단거리를 구하는 플로이드 알고리즘[9]과 검증을 위해 피어슨의 상관계수 r [10]을 이용한다. 이렇게 임의의 두 표정간의 최단거리가 구해지면 다양체 공간이 결정된 것이다. 본 논문에서는 모두 2400여개의 얼굴표정으로부터 4950차원의 다양체 공간을 형성하였으나 이 공간을 사용자가 행해하면서 원하는 표정을 선택하기란 불가능하다는 것을 알았다. 그러므로 원래 표정공간의 구조를 근사적으로 표현하는 2차원 또는 3차원으로 축소된 표정공간을 구하여 이 표정공간을 항해하는 방법을 사용한다. 이를 위해서는 고차원 공간을 저차원 공간으로 축소하여 저차원 공간에 투영하는 방법이 필요하며, 본 논문에서는 표정들 사이의 최단거리를 보존하면서 저차원 공간에 투영하기 위해 MDS[12][13]를 사용한다. 그러나 2차원 표정공간에 분포된 표정들의 수가 너무 많아 사용자가 항해하기에는 너무 복잡하고 난해하다. 그러므로 본 논문에서는 2400여개의 얼굴 표정들을 FCM을 사용하여 단계적으로 가시화한다.

III. 표정공간의 단계적 가시화

본 논문에서 사용하고자 하는 얼굴표정 공간은 3차원 데이터들로 구성된 표정들 간의 상호거리(최단거리)를 구하고, 표정들 상호간의 거리를 유지하면서 그대로 2차원 평면에 투영한 2차원 표정공간이다. 그러나 2차원 표정공간에 분포된 얼굴 표정들의 수가 너무 많아 사용자가 항해하기에는 너무 복잡하고 난해하다. 그러므로 본 논문에서는 대량의 얼굴 표정들을 2차원 평면에 투영함에 있어서 단계적으로 가시화한다. 즉, 2차원 표정공간에 단계적으로 가시화함으로써 사용자는 특정 단

계를 자유롭게 선택할 수 있다. 예를 들어 선택된 단계가 낮을수록 3차원 아바타에게 적용되는 얼굴 표정의 변화도는 급격하게 변할 것이고, 그 반대의 경우에는 부드럽고 자연스러울 것이다.

1. 표정공간에 분포된 대표적인 표정들

2차원 표정공간에서 얼굴 표정을 대신하는 작은 점들의 분포는 [그림 1]의 3번과 같은 무표정 상태인 한 점을 중심으로 방사형 분포를 이루고 있다. 이것은 10개의 서로 다른 모션 데이터들이 무표정(중립표정) 상태에서 출발하여 특정 표정으로 진행해갈수록 표정들 사이의 거리가 멀어지기 때문이다. 특히 얼굴 근육을 매우 많이 사용하는 표정일수록 무표정으로부터 거리는 매우 멀어지게 된다. [그림 1]의 표정 11개는 본 논문에서 실험에 사용한 10개의 표정과 무표정(중립표정) 상태를 포함한 대표적인 표정들로서 표정공간의 단계적 가시화는 [그림 1]의 대표적인 표정들을 기준으로 하여 시작된다. [그림 1]에서 보여주고 있는 대표적인 표정들은 본 논문의 실험에 사용한 2400여개의 얼굴표정 데이터에 FCM 클러스터링 기법을 적용하여 11개의 클러스터 센터를 추출한 것이다.

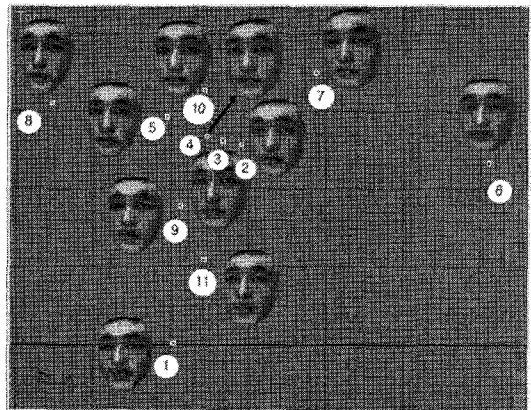


그림 1. 표정공간에 분포된 대표적인 표정 10개 및 무표정(중립표정) 상태 1개 : 총 11개

또한 이들 대표적인 표정들은 표정공간에 분포된 전체 표정분포도를 대표하는 표정들과도 거의 차이가 없

어서 단계적 가시화의 초기 단계로 사용한다. 표정공간에서 단계적 가시화의 0단계에 해당하는 대표적인 표정들이 결정되어졌기 때문에, 이들 표정들을 기준으로 FCM 클러스터링 기법을 적용하여 단계적 가시화를 위한 단계를 높여가도록 한다.

2. FCM 클러스터링

클러스터링하기 위한 얼굴 표정들의 집합을 $X = \{x_i\}, i=1, \dots, n$ 이라고 하자. X 의 퍼지 부분 집합인 클러스터는 'Membership Function'이라고 부르는 매핑 함수 $U: X \rightarrow [0, 1]$ 로 표현된다. 여기서 $U_j(x_i)$ 는 얼굴 표정 x_i 의 클러스터 j 에 대한 Membership 계수를 나타낸다. 즉, $U_j(x_i) = 1$ 은 표정 x_i 가 클러스터 j 의 센터를 기준으로 완전한 Membership을 가지고 있다는 것이다. $U_j(x_i) = 0$ 는 표정 x_i 가 클러스터 j 의 센터를 기준으로 Membership이 없다는 것이다. 그리고 $U_j(x_i) = 0.8$ 은 표정 x_i 가 클러스터 j 의 센터를 기준으로 불완전하거나 부분적이지만 높은 Membership이 있다는 것을 가리킨다. 비록 하나의 얼굴 표정이라도 하나의 클러스터에 유일하게 속하지 않고, 다른 클러스터와의 임의의 위치 혹은 중앙 부근에 놓여 질 수도 있다. 즉, 모든 표정들은 지정된 수만큼의 각 클러스터 센터로부터 측정된 서로 다른 Membership 계수를 가진다. 최적화 문제로 귀결되는 FCM의 목적은 목적 함수를 최소화하는 Membership 함수의 집합 U 를 결정하는 것이다. U 는 다음 식 (1)을 만족하는 $U = \{U_1, \dots, U_c\}$ 으로 표현된다.

$$\sum_{j=1}^c U_j(x_i) = 1 \quad (1)$$

Membership 함수 U_j 는 $U_j(x_i) = u_{ij}$ 로 표시하고, 여기서 u_{ij} 는 클러스터 j 에서의 표정 x_i 의 Membership 계수를 나타낸다. 그리고 c 는 $2 \leq c \leq n$ 의 범위를 가지는 클러스터 센터의 수를 의미한다. 식 (1)은 하나의 표정 x_i 에 대한 모든 클러스터

의 Membership 계수의 합이 1이라는 것을 말한다. 이것은 퍼지 클러스터 안에 있는 각 표정의 Membership이 모든 클러스터에 적절히 분리되어 할당되어진다는 것을 말한다. 예를 들어, $U_1(x_i) = 0.8$ 은 클러스터 1에 표정 x_i 의 Membership 계수 0.8이 할당되어져 있고, 계수 0.2는 다른 클러스터에 할당되어져 있다는 것이다. FCM의 최적화 함수는 표정 x_i 로부터 클러스터 센터 c_j 까지 거리를 구하고, 이를 퍼지 Membership 함수와의 곱으로 정의하며, 다음 식 (2)와 같이 표현된다.

$$J_m(U) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c [U_j(x_i)]^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (2)$$

여기서 m 은 $1 < m < \infty$ 의 범위를 가지는 임의의 실수로서 일반적으로 1.25나 2의 값을 가지는데, 본 논문에서는 $m=2$ 를 사용하였다. 그리고 c_j 는 클러스터 센터로서 다음 식 (3)과 같이 정의된다.

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n (u_{ij})^m x_i}{\sum_{i=1}^n (u_{ij})^m}, j = 1, \dots, c \quad (3)$$

이와 같은 최적화 문제는 퍼지 Membership 행렬 U 의 초기값을 필요로 한다. 행렬 U 의 초기값은 임의로 정하며 $u_{ij} \in [0, 1]$ 및 $\sum_{j=1}^c u_{ij} = 1$ 와 같은 조건을 만족하는 $(n \times c)$ 크기이어야 한다. 행렬 U 의 초기값을 입력으로 사용한 최적화는 최적화 함수가 최소가 될 때까지 클러스터 센터와 표정들 사이의 거리 $d_{ij} = \|x_i - c_j\|^2$ 에 따라서 퍼지 Membership 행렬 U 를 반복적으로 갱신한다. 만약 $d_{ij} > 0$ 이면, u_{ij} 는 다음 식 (4)과 같고,

$$u_{ij} = \left(\sum_{k=1}^c \left(\frac{d_{ij}}{d_{ik}} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right)^{-1} \quad (4)$$

만약 $d_{ij} = 0$ 이면, 얼굴 표정 x_i 는 클러스터 센터 c_j 와 일치하고, 완전한 Membership이 $u_{ij} = 1$ 로 설정되어질 수 있다. 행렬 U 의 변화가 주어진 허용오차 ϵ 보다 작을 때까지 반복한다. 여기서 ϵ 은 0과 1 사이의 값을 가지는 알고리즘의 반복 종료 판정기준으로서, 일반적으로 0.01에서 0.001 사이의 값을 가지는데, 본 논문에서는 정밀도를 높이기 위하여 0.00001을 사용한다.

본 논문에서는 Matlab V7.0의 fcm 함수에 2차원 얼굴 표정 공간과 각 계층별 임의로 설정한 클러스터 센터의 수 c 를 입력으로 사용하고, 이로부터 Membership 함수의 집합 U 와 클러스터 센터 c_j 의 집합으로 구성된 행렬 C 를 구하였다.

3. FCM 클러스터링을 이용한 단계적 가시화

단계적 가시화를 위해서는 초기 1 단계를 기준으로 매 단계마다 클러스터의 수를 두 배로 하고 클러스터링하며, 그 결과 모든 표정들이 가시화되기까지의 최대 단계는 자동적으로 결정된다. 그러므로 본 논문에서 사용한 2400여개의 표정을 위한 단계적 가시화의 단계는 최소한 8단계($11 \times 2^8 = 2816$)가 필요하며 전체적으로는 [표 1]과 같이 초기 단계를 포함하여 9단계(0~8단계)가 된다. 본 논문에서는 이와 같이 초기 단계를 포함하여 전체 9개 단계를 두어 사용자로 하여금 적당한 단계의 표정공간을 선택할 수 있도록 하였다.

표 1. 각 단계별 표정(Cluster Center)들의 수

단 계	표정들의 수 (클러스터 센터의 수)	단 계	표정들의 수 (클러스터 센터의 수)
0	11	5	352
1	22	6	704
2	44	7	1408
3	88	8	2816
4	176		

단계적 가시화의 초기 0 단계는 10개의 모션으로 구성된 2400여개의 표정을 FCM을 사용하여 무표정 상태를 포함한 11개의 클러스터 센터를 가지도록 클러스터

링하였다. 단계적 가시화의 1단계부터는 초기 0단계를 기준으로 2배씩 증가된 클러스터 센터를 구함으로써 가시화를 할 수 있다. 그러나 단순히 2배씩 증가시킨 표정들의 개수만큼 클러스터 센터를 구하는 방법은 본 논문의 목적에 적합하지 않다. 왜냐하면 초기 0단계에서 구한 11개의 대표적인 표정들은 모든 단계마다 공통적으로 존재하여야 하기 때문이다.

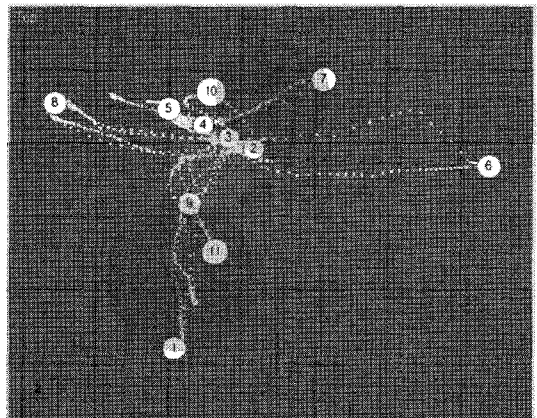


그림 2. FCM 클러스터링을 적용하기 위한 대표적인 표정들 사이의 영역 설정 방법 : 대표적인 표정 7번과 3번, 3번과 9번, 9번과 1번을 각각 지나는 가상의 원을 형성하고 원의 영역 내에서 FCM 클러스터링 기법을 각각 적용하여 원하는 만큼의 클러스터 센터 검색

그러므로 초기 0단계의 대표적인 표정들 사이마다 특정 영역을 설정하고 그 영역 내에서 클러스터 센터를 추출해야만 본 논문에 적합한 단계적 가시화가 성립된다. 본 논문에서는 [그림 2]와 같이 대표적인 표정들 사이에 가상의 원을 형성하고 가상의 원 내에 존재하는 표정들을 대상으로 단계별로 지정된 개수의 FCM 클러스터 센터를 추출한다. 각 단계별로 클러스터 센터를 구하기 위해서는 실험에 사용한 약 2400개의 표정 데이터를 모두 사용한다. 즉, [그림 2]와 같이 2차원 표정공간에 분포된 2400여개의 표정들로부터 각 단계마다 지정된 개수만큼 FCM 클러스터 센터들을 구하고 이를 단계별로 가시화하는 것이다. 먼저 모든 단계마다 인접한 대표적인 얼굴 표정들을 기준으로 가상의 원을 형성하여 FCM 클러스터링을 적용하기 위한 영역을 설정한

다. 또한 FCM 클러스터링을 적용하기 위해서는 [그림 2] 및 [그림 3]과 같은 인접한 대표적인 얼굴 표정들로 구성된 가상의 원 내에 존재하는 표정들을 찾아야한다. 이를 위해서는 먼저 형성된 가상원의 중심점을 찾는다.

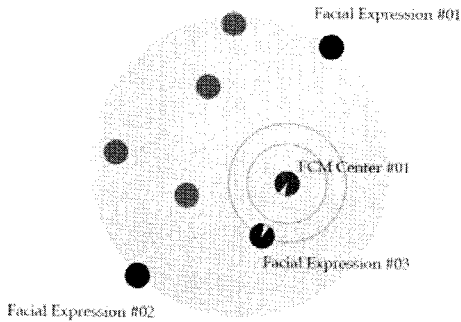


그림 3. 두 개의 얼굴 표정(#01, #02)을 지나는 가상의 원을 형성하고 FCM 클러스터링 기법으로 구한 클러스터 센터에 대응하는 얼굴 표정 설정 방법 : 클러스터 센터로부터 가장 가까운 거리에 있는 얼굴 표정(#03)을 클러스터 센터에 대응하는 표정으로 설정

여기서 원의 반지름 길이를 알 수 있기에 원의 중심점으로부터 반지름보다 작거나 같은 거리를 가지는 얼굴 표정들을 모두 찾는다. FCM 클러스터링을 하기 위한 영역과 영역 내에 존재하는 표정들을 모두 추출하였으므로 단계에 맞는 클러스터 센터를 찾는다. 이때 FCM 클러스터 센터의 위치가 표정공간에 분포된 표정을 대신하는 점과 동일한 위치에 있을 확률이 높지 않다. 그러므로 본 논문에서는 다음과 같은 방법으로 이러한 문제를 해결하였다. 즉, [그림 3]과 같이 가상의 원 내부에 존재하는 표정들 중 FCM 클러스터 센터로부터 가장 가까운 거리에 있는 얼굴 표정을 클러스터 센터에 대응하는 표정으로 설정하는 것이다.

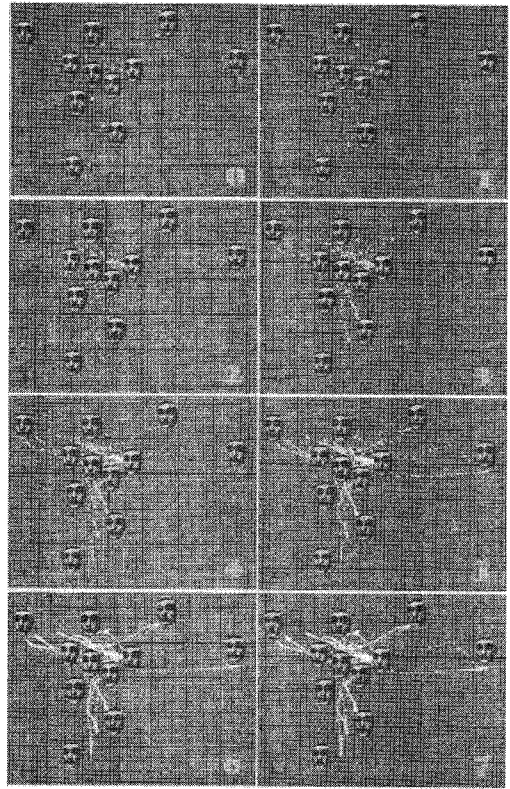


그림 4. 표정공간에서의 각 단계별 표정 분포도 및 대표적인 표정들 (각 숫자들은 가시화 단계를 표시함)

[그림 4]는 이와 같은 방법으로 초기 0단계에서부터 7단계까지 [표 1]과 같은 매 단계별 표정들의 수 만큼에 해당하는 클러스터 센터를 구하고 표정공간에 가시화시킨 결과들을 보여주고 있다.

IV. 단계적 가시화를 사용자 인터페이스

표정공간에 분포된 표정상태들을 단계적으로 가시화하기 위한 사용자 인터페이스는 [그림 5]와 같으며, 3D Studio MAX R5.1의 맥스 스크립트(MAX Script)로 구현하였다. 또한 [그림 5]의 좌상과 같이 실제 표정의 변화를 보여줄 3차원 아바타의 얼굴 모델은 모션 캡처할 때의 배우 얼굴 정면 사진과 측면 사진을 사용하여 564개의 정점을 가지도록 3차원 정면 얼굴을 모델링하였

으며, 마찬가지로 동일 배우의 정면과 측면 사진을 그대로 3차원 얼굴 모델에 매핑(Texture Mapping) 하였다.

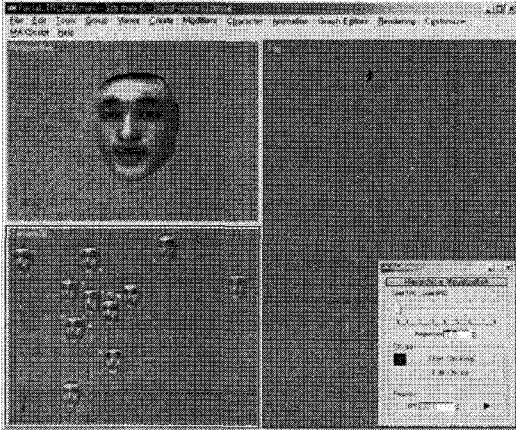


그림 5. 사용자 인터페이스 (좌상: 3차원 아바타의 얼굴 모델, 좌하: 각 단계별 표정공간에 분포된 대표적인 표정 분포도, 우: 표정공간과 스크립트 메뉴

[그림 5]의 좌하는 각 단계별로 표정공간에 분포된 표정들의 분포도와 대표적인 표정들을 보여주고 있다. [그림 5]의 오른쪽은 각 단계별로 얼굴 표정 데이터를 대신하는 작은 점들이 분포된 2차원 표정공간과 사용자 인터페이스를 제어하기 위한 맥스 스크립트 메뉴가 있다. 맥스 스크립트 메뉴에는 사용자가 단계를 선택할 수 있도록 하는 선택 바가 있으며, 사용자가 원하는 단계를 선택하면 얼굴 표정 모션 데이터(*.trc)와 2차원 표정공간에 분포된 작은 점들 데이터(*.bnd)를 불러와서 표정공간에 가시화한다. 물론 표정공간에 분포된 작은 점들은 실제 얼굴 표정 모션 데이터(*.trc)와 연결되어 있으며 사용자가 표정공간에 분포된 작은 점을 마우스로 선택할 경우 실시간으로 좌상에 있는 3차원 아바타의 얼굴 모델에 표정 데이터가 적용되어 표정의 변화를 확인할 수 있다. 이때 표정공간에 분포된 점들이 어떤 표정들인지 사용자는 알기 어려운데, 이를 위해서는 좌하의 이미지화된 표정분포도와 대표적인 표정들을 참고하면 되며, 이것은 매 단계마다 다르게 표시된다. 스크립트 메뉴의 RegionSize는 표정공간에 분포된 작은 점의 크기를 사용자가 직접 설정할 수 있도록 한

것으로서 기본 크기는 2.0으로 설정 하였다. 스크립트 메뉴의 Stroker는 표정공간에 분포된 작은 점들을 사용자가 마우스로 클릭한 상태에서 한 개씩 선택하게 되면 원하는 색상으로 순서대로 라인으로 연결시켜주며, 선택이 끝난 후에는 선택된 모든 표정들을 연속적으로 재생시켜줄 수 있는 Replay 메뉴가 있다. Replay 메뉴에서는 FPS(Frame Per Second) 값을 사용자가 직접 설정하여 원하는 속도로 반복 재생할 수 있도록 배려하였다.

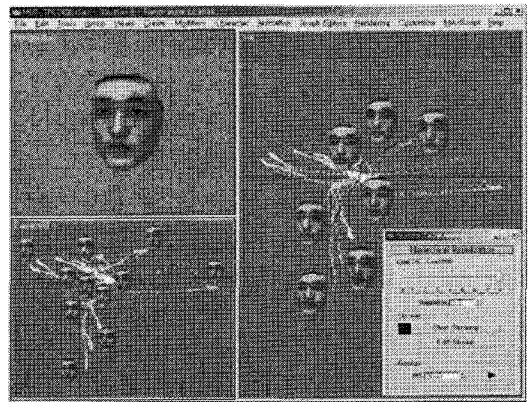


그림 6. 사용자 인터페이스를 사용한 단계적 가시화의 마지막 단계 및 실험

[그림 6]은 단계적 가시화의 마지막 단계로서 2400여 개의 표정들이 모두 분포되어져 있다. 즉, 실험에 사용한 2400여개의 표정들이 모두 표정공간에 분포되어져 있기 때문에 대표적인 표정들 사이에 분포되어져 있는 수많은 인접표정들을 충분히 사용할 수가 있다. 이는 표정의 변화가 급격하지 않고 완만하면서 특정 표정에서 다른 특정 표정으로 변화하는 과정이 자연스럽게 나타날 필요가 있는 3차원 아바타의 얼굴 표정 제어에 매우 적합하다. 물론 단계적 가시화의 단계가 낮을수록 특정 표정에서 다른 특정 표정으로의 변화는 매우 급격하게 나타날 것이므로 그에 적합한 용도로 사용하면 좋을 것으로 본다. 본 논문은 본 시스템이 어떤 효과가 있는지를 알기 위해 애니메이션 및 게임 제작 관련 업계에 재직 중인 수십여 명의 애니메이터들로 하여금 약 수십 분 동안 수 회 이상씩 본 시스템을 사용하여 각 단

계별 3차원 아바타의 표정 제어를 수행하게 하였다. 그 결과 실험에 참여한 애니메이터들의 95% 정도는 얼굴 표정의 변화가 빠르고 급격한 표정들의 제어뿐만 아니라 인접표정들을 거쳐서 다른 표정으로의 정밀한 표정 변화를 제어할 수 있는 효과를 단계별로 구분하여 적용 가능하다고 판단하였다. 그러나 5% 정도는 다양한 얼굴 표정 데이터를 보유하고 있지 않아서 아쉽다고 하였다. 본 논문에서는 향후 모션 캡처 데이터를 대량으로 더 확보하여 이러한 문제점들을 보완할 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 다량의 얼굴 모션 데이터를 2차원 얼굴 표정공간에 분포시키고 표정공간을 향해하면서 3차원 아바타의 얼굴 표정을 단계적으로 직접 제어할 수 있도록 하는 단계적 가시화 기법에 대하여 기술하였다. 단계적 가시화를 위한 초기 단계는 11개의 표정을 시작으로 마지막 단계인 2400여개의 표정으로 구분된 향해 공간을 구성하였으며, 이를 위해서 FCM을 사용하였다. 단계적 가시화와 3차원 아바타의 얼굴 표정 제어를 수행하기 위해서 개발한 사용자 인터페이스는 단계적으로 사용자에게 의해 생성된 향해 결과를 확인하는데 유용하게 사용되었다.

본 논문의 연구 결과는 기존의 관련 연구와 비교할 때, 모션 데이터의 단계적 가시화 기법 및 각 단계별 3차원 아바타의 얼굴 표정 제어가 가능하다는 것이 가장 큰 특징이다. 특히 사용자가 선택한 가시화 단계가 낮을수록 2차원 얼굴 표정공간에 분포된 연속된 표정의 수가 작아 급격한 표정의 변화를 보여줄 수 있으며, 가시화 단계가 높을수록 자연스럽게 연속된 표정의 변화를 보여줄 수 있다는 장점이 있다.

참고 문헌

- [1] D. Terzopoulos, B. Mones-Hattal, B. Hofer, F. Parke, D. Sweetland, and K. Waters, Facial animation : Past, present and future, Panel, SIGGRAPH 97, 1997.
- [2] F. I. Parke and K. Waters, Computer facial animation, A. K. Peters, 1996.
- [3] F. Douglas, N. Ulrich, "Analysis of co-articulation regions for performance-driven facial animation," Journal of Visualization and Computer Animation, Vol.15, pp.15-26, 2004.
- [4] B. Guenter, C. Grimm, D. Wood, H. Malvar, and F. Pighin, "Making Faces," ACM SIGGRAPH 98 Conf., pp.55-66, 1998.
- [5] D. Zhigang, P. Y. Chiang, F. Pamela, and N. Ulrich, "Animating blendshape faces by cross-mapping motion capture data," Proceedings of the 2006 symposium on Interactive 3D graphics and games, 2006, pp.43-48, 2006.
- [6] C. Kouadio, P. Poulin, and P. Lachapelle, "Real-time facial animation based upon a bank of 3D facial expressions," Proc. Computer Animation 98, 1998.
- [7] D. Vlastic, M. Brand, H. Pfister, and J. Popovic, "Face Transfer with Multilinear Models," ACM Transactions on Graphics(TOG), Vol.24, pp.426-433, 2005.
- [8] J. Lee, J. Chai, P. S. A. Reitsma, J. K. Hodgins, and N. S. Pollard, "Interactive Control of Avatars Animated with Human Motion Data," ACM Transactions on Graphics(SIGGRAPH 2002), Vol.21, No.3, pp.491-500, 2002.
- [9] R. W. Floyd, "Algorithm 97 : Shortest Path," CACM, Vol.5, p.345, 1962.
- [10] S. Uprendra, "Social information filtering for music recommendation," Master's thesis, MIT, 1994.
- [11] W. S. Torgerson, "Multidimensional Scaling: I. theory and method," Psychometrica., Vol.17, pp.401-419, 1952.

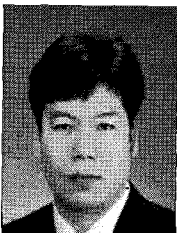
[1] D. Terzopoulos, B. Mones-Hattal, B. Hofer, F. Parke, D. Sweetland, and K. Waters, Facial

- [12] T. Cox and M. Cox, Multidimensional Scaling, Chapman & Hall, London, 1994.
- [13] H. J. Shin and J. H. Lee, "Motion Synthesis and Editing in Low-Dimensional Spaces," Computer Animation and Virtual Worlds(Special Issue: CASA 2006), John Wiley & Sons, Vol.17, pp.219-227, 2006.
- [14] 김성호, "모션 데이터에 Isomap을 사용한 3차원 아바타의 실시간 표정제어", 한국콘텐츠학회논문지, 제7권, 제3호, pp.9-16, 2007.
- [15] 김성호, "LLE 알고리즘을 사용한 얼굴 모션 데이터의 투영 및 실시간 표정제어", 한국콘텐츠학회논문지, 제7권, 제2호, pp.117-124, 2007.
- [16] J. C. Bezdek, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, New York, 1981.
- [17] R. O. Duda and P. E. Hart, "Pattern Classification and Scene Analysis," Wiley, New York, 1973.
- [18] J. C. Dunn, "A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters," Journal of Cybernetics, Vol.3, pp.32-57, 1973.

저자 소개

김 성 호(Sung-Ho Kim)

정회원



- 1998년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터학과(공학석사)
- 2005년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과(공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수

<관심분야> : 컴퓨터 그래픽스, 컴퓨터 애니메이션, 모션 캡처 애니메이션, 가상현실, Web3D, 멀티미디어