

얼굴 표정공간에서 최적의 표정전이경로 자동 설정 방법

김 성 호[†]

요 약

본 논문은 애니메이터로 하여금 표정공간으로부터 임의의 표정상태 수 개를 선택하도록 하면, 최적의 표정전이경로를 자동적으로 설정하도록 해줌으로써, 얼굴 표정 애니메이션을 실시간적으로 생성하거나 표정 제어가 가능하도록 하기 위한 기법을 기술한다. 표정공간은 약 2500개의 얼굴 표정상태 간의 거리를 구하고, 다차원 스케일링 기법을 사용하여 2차원 평면에 분포시킴으로서 형성된다. 표정공간에서 최적의 표정전이경로를 설정하기 위해서는 임의의 얼굴 표정상태를 기준으로 사분면처럼 4개의 영역으로 나눈다. 그리고 각 영역별로 최단거리에 존재하는 얼굴 표정상태를 결정하고, 그 중에서 가장 가까운 얼굴 표정상태를 선택하여 전이시키고, 전이가 끊어진 얼굴 표정상태에서는 두 번째, 세 번째 혹은 네 번째로 가까운 얼굴 표정상태를 선택하여 순서대로 전이시킴으로써 완전한 표정전이경로가 설정된다. 그리고 애니메이터가 표정공간에서 대표적인 수 개의 얼굴 표정상태만을 선택해주면 시스템은 자동적으로 최적의 표정전이경로를 설정하여 준다. 본 논문은 애니메이터들로 하여금 본 시스템을 사용하여 얼굴 애니메이션을 생성하거나 표정 제어를 수행하도록 하였으며, 그 결과를 평가한다.

키워드 : 다차원 스케일링, 표정 공간, 표정 애니메이션, 표정 제어, 표정전이경로

Auto Setup Method of Best Expression Transfer Path at the Space of Facial Expressions

Sung-Ho Kim[†]

ABSTRACT

This paper presents a facial animation and expression control method that enables the animator to select any facial frames from the facial expression space, whose expression transfer paths the system can setup automatically. Our system creates the facial expression space from approximately 2500 captured facial frames. To create the facial expression space, we get distance between pairs of feature points on the face and visualize the space of expressions in 2D space by using the Multidimensional scaling(MDS). To setup most suitable expression transfer paths, we classify the facial expression space into four field on the basis of any facial expression state. And the system determine the states of expression in the shortest distance from every field, then the system transfer from the state of any expression to the nearest state of expression among that. To complete setup, our system continue transfer by find second, third, or fourth near state of expression until finish. If the animator selects any key frames from facial expression space, our system setup expression transfer paths automatically. We let animators use the system to create example animations or to control facial expression, and evaluate the system based on the results.

Key Words : Multidimensional Scaling, Expression Space, Expression Animation, Expression Control, Expression Transfer Path

1. 서 론

컴퓨터그래픽스 및 컴퓨터애니메이션 기법을 기반으로 하고 있는 각종 산업분야 중에서, 특히 인간의 자연스러운 얼굴 표정 애니메이션을 생성하기 위한 작업은 실제적인 얼굴 모델 제작과 같이 매우 많은 수작업을 비롯하여 시간적으로나 경제적으로 많은 투자를 해야 하는 어려움이 존재하고

있다. 게다가 수십 년 전부터 최근까지 컴퓨터애니메이션 분야를 연구하는 전문가들의 수많은 연구 결과[3~6, 8, 9, 11, 12]에도 불구하고 아직까지 부족한 부분이 많아 다양한 연구들이 진행되고 있다. 그만큼 인간의 얼굴을 표현하고 실제 인간처럼 자연스러운 표정을 나타낸다는 것이 어렵다는 것이다. 최근에는 얼굴 모션 캡처 기법을 사용하여 인간의 얼굴 표정 애니메이션을 실감 있게 표현하기 위한 연구 [5, 7, 10]들이 있어왔으며, 캐릭터 애니메이션 분야에도 매우 많이 적용되고 있다. 그러나 기존의 모션 캡처 기법을 사용한 얼굴 애니메이션 생성과 관련된 연구는 배우의 얼굴

[†] 정 회 원 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수
논문접수 : 2006년 10월 31일, 심사완료 : 2007년 2월 1일

표정 데이터를 새로운 모델에 적용하는 모션 리타겟팅 기법과 관련된 것[7, 10]이 대부분이고, 최근에는 배우의 다양한 표정을 캡처하여 표정들 상호간의 거리를 구하고 이를 2차원 평면에 분포시켜 애니메이터가 임의로 선택하게 함으로써 3차원 아바타의 표정 애니메이션을 생성하거나 표정을 실시간으로 제어[1, 2]하는 연구가 진행되어왔다. 그러나 [1, 2]에서는 2차원 평면에 분포된 수많은 얼굴 표정상태들 중에서 애니메이터가 일일이 특정 얼굴 표정상태들을 선택해야 하는 불편함이 있기 때문에 매우 비효율적이라는 단점을 가지고 있다. 그러므로 본 논문에서는 2차원 평면에 적절하게 잘 분포된 다량의 얼굴 표정상태들 중 애니메이터가 특정 얼굴 표정상태 수 개만 선택하면 자동적으로 최적의 표정전이경로를 설정하여 실시간적으로 3차원 아바타의 표정 애니메이션 제작 및 표정 제어가 가능하게 하기 위한 방법을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 모션 캡처 데이터로부터 얼굴 표정공간을 생성하기 위한 방법과 2차원 평면에 다량의 얼굴 표정상태들을 표정공간의 특성을 그대로 유지하면서 분포시키기 위한 방법을 제안하고, 3장에서는 표정공간에서 표정상호간의 표정전이경로를 설정하기 위한 방법을 제안한다. 그리고 4장에서는 애니메이터가 선택한 수 개의 얼굴 표정상태들 상호간의 최적의 자동 표정전이경로를 설정하고, 5장에서는 본 논문에서 개발한 사용자 인터페이스를 기반으로 실험한 실험결과를 기술하고, 6장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

2. 표정공간의 생성 및 MDS

표정공간을 생성하기 위해서는 각각의 얼굴 표정상태를 수치적으로 표현해야 하는데, 본 논문에서는 [1, 2]에서 사용한 임의의 두 마커 간의 상호거리를 표현하는 거리행렬 방식의 표정상태 표현법을 그대로 사용한다. 표정상태를 거리행렬로 표현하면 표정간의 직선거리는 두 거리행렬간의 직선거리로 표현된다. 거리행렬로 표현된 표정상태들의 공간은 임의의 두 거리행렬간의 거리를 결정함으로써 결정되는데, 표정공간은 구면과 같은 다양체(Manifold) 공간이다. 다양체 공간상에서의 거리는 두 점간의 거리를 한 점에서 이 공간을 벗어나지 않으면서 다른 점까지 도달하는 최단경로의 길이로 정의한다. 이를 위해, [1, 2]와 같이 플로이드 알고리즘(다이나믹 프로그래밍 기법)을 이용한다. 이렇게 임의의 두 표정간의 최단거리가 구해지면 해당 다양체 공간이 결정되어 표정공간이 생성되는 것이다. 본 논문에서는 놀란 표정 및 쩡그린 표정들로 구성된 2500여개의 얼굴표정을 사용하여 다양체 공간을 형성하였다. 본 논문에서 사용한 얼굴표정의 다양체 공간은 4950차원 공간이다. 따라서 이 공간을 애니메이터가 향해하면서 원하는 표정을 선택하는 것은 거의 불가능하다. 그러므로 원래 표정공간의 구조를 근사적으로 표현하는 2차원 또는 3차원으로 공간을 구하여 이 공간을 향해하는 방법을 사용해야 하는데, 본 논문에서는 [1, 2]와 같이 MDS 방법을 사용한다.

본 논문은 [1, 2]의 방법으로 얼굴 표정공간을 생성하고,

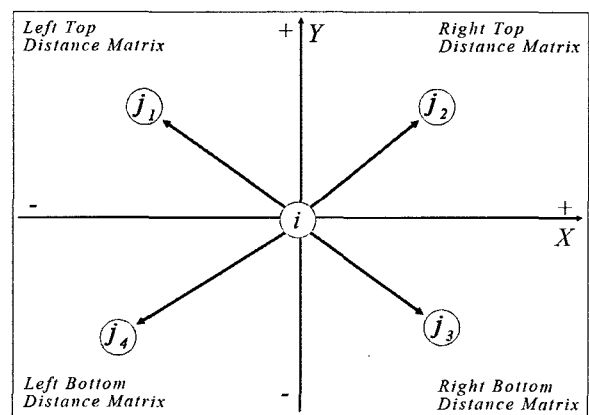
생성된 표정공간에서 최적의 표정전이경로를 설정하는 것이 목적이기 때문에 표정공간의 생성 방법에 대해서는 자세히 언급하지 않는다.

3. 표정공간에서의 표정전이경로 설정 방법

본 절에서는 얼굴 표정상태 상호간에 최적의 경로를 자동적으로 설정하기 위한 얼굴 표정상태들의 표정전이경로 설정 방법에 대하여 기술한다. 최적 경로 설정을 위한 얼굴 표정상태들의 표정전이경로 설정 방법으로는 모든 얼굴 표정상태 상호간의 거리를 구한 다음, 각 얼굴 표정상태를 기준으로 4개의 사분면으로 영역을 분할한다. 그리고 4개의 각 사분면 영역에서 가장 가까운 거리에 있는 얼굴 표정상태들(최소 1개에서 최대 4개)을 찾고, 이들 중 가장 짧은 거리를 가지는 얼굴 표정상태와 전이를 시킨다. 또한 매우 인접한 얼굴 표정상태임에도 불구하고 얼굴 표정상태 상호간의 전이가 되지 않은 얼굴 표정상태들을 모두 찾아 전이를 시켜줌으로써 사용자가 선택한 임의의 얼굴 표정상태 상호간의 최적의 경로를 구하는 방법이다.

사분면 영역 분할에 의한 표정전이경로 설정 방법은 사용자가 선택한 임의의 얼굴 표정상태 i 로부터 임의의 얼굴 표정상태 j 까지 경로를 설정할 때, 임의의 얼굴 표정상태 i 로부터 가장 가까운 위치에 분포된 얼굴 표정상태 k 를 거쳐 임의의 얼굴 표정상태 j 까지 도착해야만 가장 자연스러운 표정의 변화를 표현할 수 있다는 전제 하에서 얼굴 표정상태 전이 그래프를 생성하기 위한 방안이다. 모션 데이터는 원래 프레임 순서대로 디스플레이 하는 것이 가장 자연스럽다. 왜냐하면 하나의 모션 데이터에서 특정 프레임(표정상태)과 가장 가까운 표정상태는 바로 앞 프레임(표정상태)이나 바로 뒤프레임(표정상태)임에는 틀림이 없을 것이기 때문이다.

(그림 1)과 같이 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 4개의 각 사분면 영역마다 가장 가까운 임의의 얼굴 표정상태



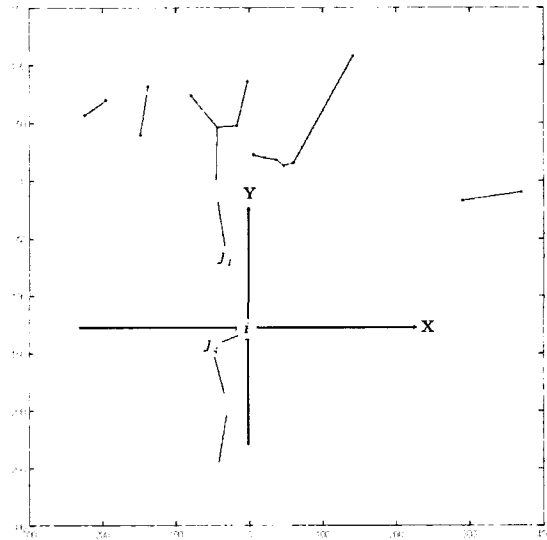
(그림 1) 얼굴 표정상태들의 표정전이경로 설정을 위한 4개의 사분면 영역 분할 및 각 사분면별 최소거리 검색 : 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 4개의 사분면 영역으로 분할, 각 사분면마다 최소 거리를 가지는 얼굴 표정상태 j_1, j_2, j_3, j_4 들을 검색

j_1, j_2, j_3, j_4 는 임의의 얼굴 표정상태 i 의 위치와 주변에 분포된 임의의 얼굴 표정상태 j 에 따라 최소 1개에서 최대 4개까지 찾아질 수 있다. 즉, (그림 1)과 같이 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 4개의 사분면 각 영역 안에는 수 개에서 수천 개 이상의 임의의 얼굴 표정상태 j 들이 있을 수 있는데, 임의의 얼굴 표정상태 i 가 2차원 평면에 분포된 얼굴 표정상태들 중 제일 왼쪽에 위치하고 있다면, 임의의 얼굴 표정상태 i 보다 왼쪽에 위치한 두 개의 사분면 영역 내의 얼굴 표정상태 j_1, j_4 는 존재하지 않으며, 경우에 따라서는 임의의 얼굴 표정상태 i 보다 오른쪽에 위치한 두 개의 사분면 영역 내의 얼굴 표정상태 j_2 혹은 j_3 중 하나가 존재하지 않을 수 있다. 그러나 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 4개의 사분면 각 영역으로 수많은 임의의 얼굴 표정상태 j 들이 존재한다면, 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 4개의 각 사분면 영역별로 가장 가까운 4개의 얼굴 표정상태 j_1, j_2, j_3, j_4 가 존재할 수 있다. (그림 1)에서는 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 4개 각 사분면으로부터 찾은 가장 가까운 임의의 얼굴 표정상태 j_1, j_2, j_3, j_4 중에서 가장 거리가 짧은 임의의 얼굴 표정상태 j 를 찾아 전이를 시켜 얼굴 표정상태들의 표정전이경로를 설정한다. 그리고 다이내믹 프로그래밍 과정을 거쳐 얼굴 표정상태 상호간의 연속된 표정전이경로에 대한 정보를 저장해둔다.

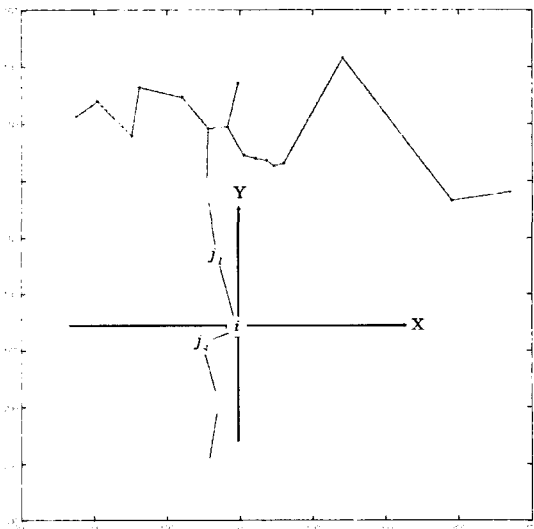
(그림 2)는 (그림 1)의 과정으로 생성된 얼굴 표정상태들의 표정전이경로를 설정하기 위한 초기 단계로서, 설명의 편의를 위해 임의의 22개 얼굴 표정상태를 사용하여 실험한 예시이다. 즉, 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 가장 가까운 얼굴 표정상태가 j_1 이기 때문에 임의의 얼굴 표정상태 i 에서 임의의 얼굴 표정상태 j_1 로의 전이가 이루어진 것이다. 그러나 임의의 얼굴 표정상태 j_1 은 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 가장 가까운 얼굴 표정상태가 아니기 때문에 전이가 이루어지지 않는다. 마찬가지로 임의의 얼굴 표정상태 j_1 을 기준으로 하였을 경우에도 임의의 얼굴 표정상태 i 가 가장 가까운 얼굴 표정상태가 아니기 때문에 전이가 이루어지지 않는다. 이와 같은 방법으로 모든 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 가장 가까운 임의의 얼굴 표정상태 j 를 찾아 전이를 시킴으로서 초기 얼굴 표정상태들의 표정전이경로를 설정한다.

(그림 3)에서는 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 각 사분면 영역마다 가장 가까운 임의의 얼굴 표정상태 j_1, j_2, j_3, j_4 중에서 가장 거리가 짧은 하나의 얼굴 표정상태 j_1 와 전이를 시켰으나 또 다른 임의의 얼굴 표정상태들과의 연속적인 전이가 일어나지 않을 때, 전이가 끊어진 임의의 얼굴 표정상태 i 를 찾고 이때의 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 각 사분면 영역마다 가장 가까운 임의의 얼굴 표정상태 j_1, j_2, j_3, j_4 중에서 두 번째로 거리가 짧은 임의의 얼굴 표정상태 j_1 을 찾아 전이를 시켜준다. 이와 같은 과정을 세 번째와 네 번째로 거리가 가까운 임의의 얼굴 표정상태들을 찾아 순서대로 전이시켜준다. 그리고 마지막에는 다이내믹

프로그래밍 과정을 통하여 연속적으로 전이가 이루어진 얼굴 표정상태들의 최단경로 정보를 행렬 $pred(i,j)$ 에 저장해둔다. 왜냐하면 임의의 얼굴 표정상태 i 로부터 가장 가까운 임의의 얼굴 표정상태 k 들을 거쳐서 임의의 얼굴 표정상태 j 까지 도달하기 위한 최단경로 즉, 최적의 표정전이경로를 미리 설정하기 위해서이다.



(그림 2) 얼굴 표정상태들의 표정전이경로 설정을 위한 전이 초기 단계 : 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 각 사분면 영역마다 가장 가까운 얼굴 표정상태들 중에서 가장 거리가 짧은 얼굴 표정상태 j_1 을 찾아 연결



(그림 3) 얼굴 표정상태들의 표정전이경로 설정을 위한 얼굴 표정상태 전이 2단계 : 임의의 얼굴 표정상태 상호간의 전이가 끊어졌을 경우, 전이가 끊어진 시점의 임의의 얼굴 표정상태 i 를 기준으로 각 사분면 영역마다 두 번째로 가까운 얼굴 표정상태 j_1 을 찾아 연결

4. 최적의 표정전이경로 자동 설정

본 논문의 앞장에서는 표정전이경로 설정 방법을 사용하여 임의의 얼굴 표정상태 i 에서 j 까지 최적의 경로를 구할 때, 거쳐 지나간 임의의 얼굴 표정상태 k 들의 집합을 행렬 $pred(i,j)$ 에 저장하였다. 그러므로 임의의 얼굴 표정상태 i 에서 j 까지 최적의 경로를 설정하기 위해, (그림 4)와 같이 행렬 $pred(i,j)$ 로부터 두 얼굴 표정상태 상호간의 최적의 경로를 추출해야 한다.

```

Path(i,j) {
    if (pred[i,j] = nil)      Single Edge
        output(i,j);
    else {                   Compute the
                            two parts
                            of the path
        Path(i, pred[i,j]);
        Path(pred[i,j],j);
    }
}
    
```

(그림 4) 임의의 얼굴 표정상태 i 와 j 사이의 표정전이경로 추출 알고리즘 : $output(i,j)$ 는 임의의 얼굴 표정상태 i 와 j 사이에 k 가 전혀 없는 경우로서 직접 전이를 시켜 경로 설정.

만약 행렬 $pred(i,j)=0$ 이면, 두 얼굴 표정상태 사이에 거쳐 가는 임의의 얼굴 표정상태 경로가 존재하지 않는다는 의미로서 임의의 얼굴 표정상태 i 와 임의의 얼굴 표정상태 j 는 직선 경로가 설정된다. 그러나 $pred(i,j) \neq 0$ 이면, 임의의 얼굴 표정상태 i 에서 $pred(i,j)$ 까지 경로를 추출하고 $pred(i,j)$ 에서 임의의 얼굴 표정상태 j 까지 경로를 추출하는 과정을 (그림 4)의 알고리즘과 같이 반복적으로 수행한다. 이 알고리즘에서 $output(i,j)$ 는 임의의 얼굴 표정상태 i 와 임의의 얼굴 표정상태 j 사이에 임의의 얼굴 표정상태 k 가 존재하지 않는 경우($k=0$), 임의의 얼굴 표정상태 i 와 임의의 얼굴 표정상태 j 를 직선으로 연결하여 경로를 생성한다는 의미이다. 예를 들어 이 알고리즘을 이용하여 임의의 얼굴 표정상태 2에서 3까지 경로를 추출하기 위해서는 (그림 5)와 같은 반복 과정을 거친다.

$Path(2, 3)$ 은 얼굴 표정상태 2에서 3까지의 경로를 추출하고자 하는 함수로서, 얼굴 표정상태 2에서 출발하여 얼굴 표정상태 3에 도착하기 위한 경로의 정보를 가지고 있는 $pred[2, 3]$ 의 값을 살펴보면, 얼굴 표정상태 2와 3 사이에 얼굴 표정상태 4가 존재하고 있다는 것을 알 수 있다.

그러므로 얼굴 표정상태 2와 3사이의 경로를 추출하기 위해서는 먼저 $Path(2, 4)$ 와 같이 얼굴 표정상태 2와 4 사이의 경로를 추출해야 한다. 그러나 얼굴 표정상태 2와 4 사이에 또 다른 얼굴 표정상태 5가 있다는 것을 $pred[2, 4]$ 을 보면 알 수 있다. 그러므로 얼굴 표정상태 2와 5 사이의 경로를 먼저 추출하여야 하며, 이를 위해서 $pred[2, 5]$ 을 살펴보면 $pred[2, 5]=nil$ 이라는 것을 알 수 있는데, 이것은 얼굴

```

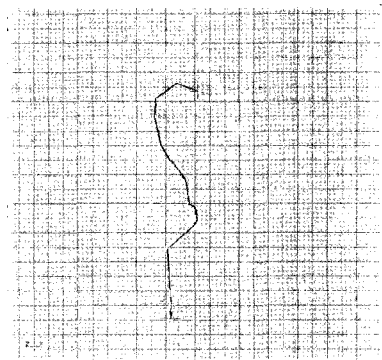
2...3      Path(2,3)  pred[2,3] = 4
2..4..3    Path(2,4)  pred[2,4] = 5
2..5..4..3 Path(2,5)  pred[2,5] = nil Output(2,5)
25..4..3   Path(5,4)  pred[5,4] = nil Output(5,4)
254..3     Path(4,3)  pred[4,3] = 6
254..6..3  Path(4,6)  pred[4,6] = nil Output(4,6)
2546..3    Path(6,3)  pred[6,3] = nil Output(6,3)
25463
    
```

(그림 5) 임의의 두 얼굴 표정상태 사이의 표정전이 경로 추출 과정 : (그림 4)를 이용하여 얼굴 표정상태 2에서 3까지 경로상의 얼굴 표정상태 k 들(2-5-4-6-3)을 구하는 과정

표정상태 2와 5사이에는 새로운 얼굴 표정상태 k 가 전혀 없기 때문에 직선으로 연결되어 경로가 설정된다는 것이다. (그림 5)에서는 이와 같은 과정을 거쳐서 얼굴 표정상태 2와 3사이의 최적의 경로상의 얼굴 표정상태 k 들(2-5-4-6-3)을 추출하였다.

5. 실험 결과

본 논문의 3장에서는 2500여개의 얼굴 표정상태들을 2차원 평면에 분포시키고, 4장에서는 2차원 평면에 분포된 얼굴 표정상태들 상호간의 최적의 전이 경로를 설정하기 위한 표정 공간 설정 방법에 대하여 제안하였다. 표정 공간 설정 방법은 3차원 아바타의 효율적인 실시간 표정 제어를 위한 최적의 얼굴 표정 전이 경로를 구하는 것이다. 그리고 3차원 아바타의 실시간 얼굴 표정 제어는 애니메이션이 2차원 평면에 분포된 얼굴 표정상태들을 일일이 선택하면 실시간으로 3차원 아바타의 얼굴 모델에 적용하여 디스플레이 해주는 것을 의미한다. 그러나 2차원 평면에 분포된 얼굴 표정상태들의 수가 너무 많아 애니메이션이 일일이 얼굴 표정상태들을 선택하는 과정이 비경제적이고 비효율적이기 때문에, 애니메이션이 대표적인 특정 얼굴 표정상태 수 개를 선택하면 자동적으로 최적의 얼굴 표정 전이 경로를 설정해 주어 3차원 아바타의 표정 제어가 실시간적으로 수행되는 시스템이 필요하게 되었다.



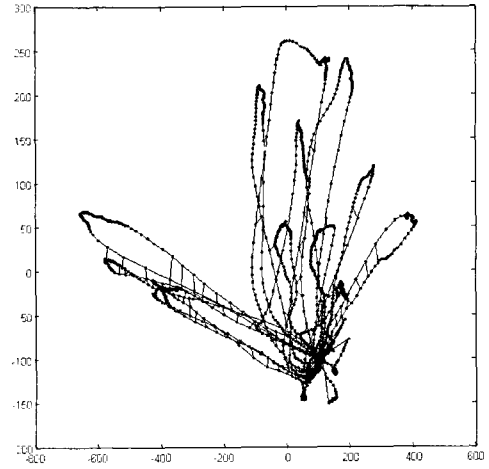
(그림 6) 시분면 영역 분할에 의한 표정전이경로 실험 결과 : 자동적으로 최적의 표정전이 경로 설정. 양쪽 끝 적색 십자는 애니메이션이 선택한 얼굴 표정상태임.

4장에서 제안한 방법은 사용자가 임의의 얼굴표정상태 i 와 임의의 얼굴 표정상태 j 를 (그림 6)과 같이 선택(두 개의 적십자)하였을 경우, 임의의 얼굴 표정상태 i 로부터 가장 가까운 임의의 얼굴 표정상태 k 로 전이가 이루어지고, 임의의 얼굴 표정상태 k 로부터 가장 가까운 임의의 얼굴 표정상태 k 로의 전이가 연속적으로 이루어져서 임의의 얼굴 표정상태 j 까지 전이가 이루어지도록 하는 방법이다. 4개의 사분면으로 영역을 분할하여 생성한 얼굴 표정상태들의 표정 공간 설정 방법에 의한 최적 경로 설정은 실험결과 2차원 평면에 분포된 2500여개의 얼굴 표정상태 상호간의 최적의 경로를 자동적으로 생성시켜주는데 매우 높은 성능을 가지고 있다는 것을 확인하였으며, 그 결과로 3차원 아바타의 실시간 표정 제어에 매우 효율적이라는 것을 알 수 있었다. 그러나 임의의 얼굴 표정상태 i 에서 임의의 얼굴 표정상태 j 까지 최단경로를 확인해보면, 어느 정도 인접해있다고 생각이 되는 임의의 얼굴 표정상태 a 로 전이가 일어나지 않고 더 가까운 임의의 얼굴 표정상태 k 들로 전이가 이루어짐으로 인해서 한참 동안 주변으로의 전이가 이루어지다가 임의의 얼굴 표정상태 a 로 전이가 이루어지는 경우가 발생하였다. 이런 경우는 모션의 성격을 잃어버린 상태에서 다수의 얼굴 표정상태들을 사용한 얼굴 표정상태들의 공간을 설정함으로써 발생하는 문제로서 모션의 성격을 그대로 유지시켜주면 된다. 여기서 임의의 얼굴 표정상태 a 는 임의의 모션 데이터에서 임의의 프레임 i 가 있을 경우 바로 다음 프레임인 프레임 $i+1$ 을 의미한다. 본 논문에서 실험에 사용한 모션 데이터는 초당 60프레임으로 모션 캡처하였기 때문에 임의의 얼굴 표정상태 i 와 임의의 얼굴 표정상태 a 는 매우 가까운 거리를 가진 관계임에는 틀림이 없지만, 다량의 얼굴 표정상태들을 실험에 사용하다보니 임의의 얼굴표정상태 i 를 기준으로 볼 때 임의의 얼굴 표정상태 a 보다 더 가까운 임의의 얼굴 표정상태 k 들이 존재함으로써 발생하는 문제이다. 그러므로 본 논문에서는 세 번째 방법을 사용하여 표정 공간 설정 방법으로 사용하였으며, 이 결과를 이용하여 최적 경로를 설정하였다.

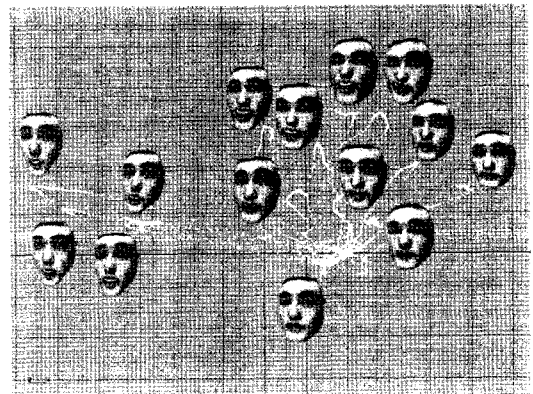
(그림 7)은 2500여개의 얼굴 표정상태들로 구성된 표정 공간 및 표정전이 경로를 나타낸 그래프이다. 모션의 성격이 그대로 유지가 되기 때문에 사용자가 임의로 선택한 수 개의 얼굴 표정상태가 어느 지점이든지 간에 최적의 경로가 자동적으로 설정되게 된다.

이는 경우에 따라 실험에 사용한 모션 데이터의 원래 경로를 찾아서 매우 자연스러운 표정의 변화를 보여줄 수 있는 장점이 있다.

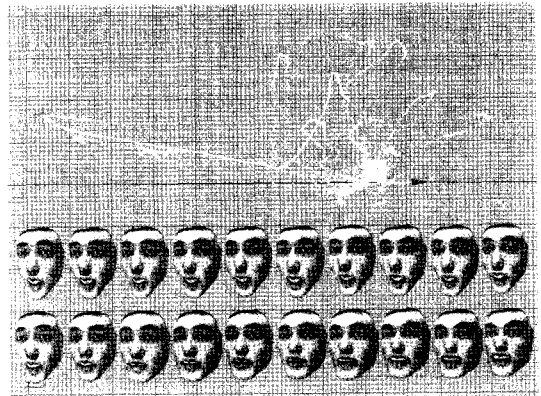
(그림 8)은 놀란 표정 및 찡그린 표정들로 구성된 2500여개 얼굴 표정상태들의 공간에 분포된 대표적인 얼굴 표정상태들을 설명의 편이를 위해서 나타낸 것이다. 왼쪽 방향으로 길게 뻗은 얼굴 표정상태들은 놀란 표정들이고, 오른쪽에 모여 있는 얼굴 표정상태들은 찡그린 표정들이다. 그러므로 사용자는 실시간 표정 제어의 목적에 따라 다양하게 최적의 경로를 설정할 수 있도록 수 개의 대표적인 얼굴 표정상태들을 선택해주면 된다.



(그림 7) 놀란 표정들과 찡그린 표정들로 구성된 2500여개 얼굴 표정상태들의 표정 공간 및 표정전이 경로



(그림 8) 2500여개 얼굴 표정상태들의 표정공간에 분포된 대표적인 얼굴 표정상태들



(그림 9) 표정 공간에서 애니메이터가 임의로 선택한 두개 얼굴 표정상태들 사이에 자동적으로 생성된 최적의 표정전이 경로

(그림 9)는 애니메이터가 가장 크게 놀란 표정의 얼굴 표정상태 하나(왼쪽 십자)와 인상을 매우 많이 찡그린 표정의 얼굴 표정상태 하나(오른쪽 십자)를 선택하였을 때, 자동적으로 생성된 최적의 경로와 얼굴 표정상태들의 표정 변화를 연속적으로 보여주고 있다.

본 논문에서는 본 시스템이 어떤 효과가 있는지를 알기 위해 애니메이션 업계에서 재직 중인 약 30명의 사용자들로 하여금 약 30분 동안 20회 이상씩 본 시스템을 사용하여 3차원 아바타의 표정 제어를 수행하게 하였다. 그 결과 실험에 참여한 사용자들의 90% 정도는 사용자가 임의로 선택한 수 개의 얼굴 표정상태들 사이에 시스템이 최단 전이 경로를 자동적으로 설정하여 주기 때문에 실시간 표정 제어에 매우 효과가 있다고 판단하였다. 그러나 10% 정도는 충분히 많은 표정 데이터를 가지고 있지 않아서 다양한 표정 제어를 하기에는 어렵다고 하였으며, 이는 향후 컴퓨터 시스템의 성능 향상과 아울러 연구 개발하여야 할 것이다.

6. 결론

본 논문에서는 다량의 얼굴 모션 데이터를 상호간의 거리를 구하여 2차원 평면에 적절히 분포시키고, 애니메이터가 이 공간을 향해하면서 원하는 얼굴 표정 수 개를 임의로 선택하면 자동적으로 최적의 표정전이경로를 설정하여주기 위한 방법을 기술하였다. 2차원 평면에 분포된 약 2500개의 얼굴 표정상태들로부터 표정전이경로를 구하기 위해 본 논문에서 사용한 방법은 사분면 영역 분할 방식에 의해 임의의 얼굴 표정상태를 기준으로 가장 인접한 얼굴 표정상태들을 선택하여 전이시키는 방법을 사용하였다. 또한 애니메이터가 임의로 표정 수 개를 선택하면 자동적으로 최적의 표정전이경로를 설정하도록 하여 실시간적으로 3차원 아바타의 표정 애니메이션 생성 및 표정 제어가 가능하도록 하였다. 이는 기존의 방법[1, 2]보다 매우 효율적이고 경제적으로서 3차원 아바타의 실시간 얼굴 애니메이션 생성뿐만 아니라 실시간 표정 제어를 필요로 하는 분야에서 매우 유용하게 사용될 것으로 본다. 또한 실무에 종사하고 있는 애니메이터로 하여금 본 논문의 결과물을 실험하게 해 본 결과에서도 대부분이 매우 빠르고 다양한 표정 생성 및 표정 제어가 가능하다는 평가를 받았다.

참고 문헌

[1] 김성호, 정문렬, "얼굴 표정공간의 계층적 가시화", 한국정보처리학회논문지, 제31권 제12호, pp.726-734, 2004.
 [2] 김성호, 정문렬, "모션 데이터를 이용한 3차원 아바타 얼굴 표정 제어", 한국정보처리학회논문지, 제11-A권, 제5호, pp. 383-390, 2004.
 [3] Frederic I. Parke, Keith Waters. "Computer facial animation," A K Peters, 1996.

[4] Vlastic, D., Brand, M., Pfister, H., Popovic, J., "Face Transfer with Multilinear Models", ACM Transactions on Graphics (TOG), Vol.24, pp.426-433, 2005.
 [5] Zhigang Deng, Pei-Ying Chiang, Pamela Fox, Ulrich Neumann, "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] Douglas Fidaleo, Ulrich Neumann, "Analysis of co-articulation regions for performance-driven facial animation", Journal of Visualization and Computer Animation, Vol.15, pp.15-26, 2004.
 [7] Lee, J., 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.
 [8] Jun-Yong Noh and Ulrich Neumann, "Expression cloning", In Proceedings of SIGGRAPH 2001, pp.21-28, 2001.
 [9] J. B. Tenenbaum, V. de Silva, and J. C. Langford, "A global geometric framework for nonlinear dimensionality reduction", Science, Vol.290, No.5500, pp.2319-2323, 2000.
 [10] Cyriaque Kouadio, Pierre Poulin, and Pierre Lachapelle, "Real-time facial animation based upon a bank of 3D facial expressions," Proc. Computer Animation 98, June 1998.
 [11] M. Polito and P.Perona, "Grouping and dimensionality reduction by locally linear embedding", In NIPS, 2001.
 [12] S. Roweis and L. Saul, "Nonlinear dimensionality reduction by locally linear embedding". Science, Vol.290, No.5500, pp.2323-2326, 2000.



김 성 호

e-mail : kimsh1204@sangji.ac.kr
 1999년 상지대학교 전산학과(학사)
 1998년 숭실대학교 대학원
 컴퓨터학과(공학석사)
 2005년 숭실대학교 대학원
 컴퓨터학과(공학박사)

1999년~2000년 숭실대학교 컴퓨터학부 시간강사
 2002년~2005년 숭의여대 멀티미디어콘텐츠전공 겸임교수
 2005년~2006년 부천대학 정보통신과 겸임교수
 2005년~2006년 호서대학교 게임공학과 시간강사
 2005년~2006년 상지대학교 컴퓨터정보공학부 시간강사
 2006년~현 재 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수
 관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 컴퓨터 애니메이션, 모션 캡처
 애니메이션, 가상현실, Web3D, 멀티미디어 등