
간소화된 주성분 벡터를 이용한 벡터 그래픽 캐릭터의 얼굴 표정 생성

박 태 희*

The facial expression generation of vector graphic character
using the simplified principle component vector

Tae-hee Park*

요 약

본 논문은 간소화된 주성분 벡터를 이용한 벡터 그래픽 캐릭터의 다양한 얼굴 표정 생성 방법을 제안한다. 먼저 Russell의 내적 정서 상태에 기반하여 재정의된 벡터 그래픽 캐릭터들의 9가지 표정에 대해 주성분 분석을 수행한다. 이를 통해 캐릭터의 얼굴 특성과 표정에 주된 영향을 미치는 주성분 벡터를 찾아내고, 간소화된 주성분 벡터로부터 얼굴 표정을 생성한다. 또한 캐릭터의 특성과 표정의 가중치 값을 보간함으로써 자연스러운 중간 캐릭터 및 표정을 생성한다. 이는 얼굴 애니메이션에서 종래의 키프레임 저장 공간을 상당히 줄일 수 있으며, 적은 계산량으로 중간 표정을 생성할 수 있다. 이에 실시간 제어를 요구하는 웹/모바일 서비스, 게임 등에서 캐릭터 생성 시스템의 성능을 상당히 개선할 수 있다.

ABSTRACT

This paper presents a method that generates various facial expressions of vector graphic character by using the simplified principle component vector. First, we analyze principle components to the nine facial expression(astonished, delighted, etc.) redefined based on Russell's internal emotion state. From this, we find principle component vector having the biggest effect on the character's facial feature and expression and generate the facial expression by using that. Also we create natural intermediate characters and expressions by interpolating weighting values to character's feature and expression. We can save memory space considerably, and create intermediate expressions with a small computation. Hence the performance of character generation system can be considerably improved in web, mobile service and game that real time control is required.

키워드

face animation, vector graphic, principle component vector, interpolation, real-time control

I. 서론

얼굴 표정은 상대방과의 의사 소통에서 감정과 정보 전달의 중요한 수단[1]이 된다. 사람은 말 보다는 얼굴

표정을 통해 자신의 감정을 더 잘 표현하며, 상대방의 얼굴 표정을 통해 현재 감정 상태를 가장 빠르게 파악한다. 따라서 자연스러운 얼굴 애니메이션은 캐릭터 애니메이션 분야에서 가장 활발하게 연구되고 있는 분야 중 하

나이다.

특히 컴퓨터 게임이나 애니메이션 영화와 같은 다양한 애니메이션 응용 분야에서는 자연스럽게 사실적인 애니메이션을 필요[2]로 하기 때문에 주로 다양한 모션 데이터를 직접 캡처하거나 애니메이터가 수작업을 통해 원하는 모션을 만들어 내는 방식[3]을 사용한다.

그러나 모션 캡처를 통해 캐릭터의 움직임을 얻는 것은 많은 시간과 비용이 소모될 뿐만 아니라 새로운 동작이 필요할 때마다 다시 모션 캡처를 해야 하므로 기존 데이터의 재사용이 어렵다. 특히 애니메이션에서 캐릭터의 얼굴은 실제 사람의 감정보다 과장된 움직임[4]으로 표현되는 경우가 많으므로 모션 캡처 뿐만 아니라 애니메이터의 수작업 과정이 필수적이다.

반면 애니메이터가 처음부터 수작업으로 애니메이션을 만드는 경우는 키프레임이 되는 캐릭터를 직접 모델링하고 그 프레임들 사이를 보간해서 전체 프레임을 완성하게 된다. 이러한 키프레임 보간법을 이용한 애니메이션은 자연스럽게 사실적인 애니메이션 생성을 위해 현재 캐릭터의 특성을 가장 잘 표현하는 키프레임 캐릭터를 만들어야 하며, 그러한 키프레임들의 특성을 파악하면서 변환 시점을 잘 제어해야 한다. 또한 중간 키프레임을 생성하기 위해서는 키프레임들을 미리 저장하고 있어야 하므로 전체 애니메이션 시간 동안의 키프레임의 수에 비례하여 저장 용량이 증가하게 된다. 이는 실시간 제어를 요구하는 웹 및 모바일 서비스, 게임 등에서 캐릭터 생성 시스템의 성능을 상당히 제한하게 된다. 또한 중간 키프레임 생성시 타이밍의 변화에 따라 보이던 외각선이 나타나지 않거나, 보이지 않던 외각선이 보이는 것과 같이 오브젝트 내부 라인의 속성의 변화를 표현하는데 있어 키프레임의 증가를 가져오는 문제점이 있다.

본 논문에서는 간소화된 주성분 분석(PCA, Principle Component Analysis)에 기반하여 2차원 벡터 그래픽 캐릭터의 다양한 얼굴 표정을 실시간으로 생성하는 방법을 제안한다. 먼저 Russell의 내적 정서 상태[5]에 기반하여 재정의된 벡터 그래픽 캐릭터들의 9가지 얼굴 표정(경악, 놀람, 기쁨, 화남, 중립, 만족, 슬픔, 졸림, 편안) 데이터로부터 표정 데이터베이스를 만든 후 각 표정에 주된 영향을 미치는 주성분을 분석한다. 이때 주성분 분석은 각 캐릭터의 표정에 따른 얼굴형, 눈썹(좌, 우), 눈(좌, 우), 코, 입의 7가지 오브젝트로 분류되어 각각의 오브젝

트에 대해 수행된다. 분석된 주성분 벡터는 캐릭터의 주된 9가지 얼굴 표정을 생성하는데 사용되며, 주성분 벡터의 가중치는 다양한 중간 캐릭터 및 중간 표정을 생성하는데 사용된다. 또한 중간 표정 재생시 캐릭터의 특성이나 표정의 변화에 따른 오브젝트 내부 라인의 속성의 변화를 해결하기 위해 본 논문은 속성의 변환 시점을 지정하여 이전 재생 시간에 속하는 중간 표정들은 시작 키프레임의 해당 속성이 적용되고 변환 시점 이후의 중간 표정들은 끝 키프레임의 해당 속성이 적용되도록 한다. 이는 사용자로 하여금 속성이 변경되는 시점에 새로운 중간 표정을 수동으로 생성하지 않도록 함으로써 애니메이션에 필요한 총 키프레임의 수를 줄일 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 논문에서 사용한 주성분 분석법에 대하여 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 벡터 그래픽 캐릭터의 얼굴 표정 분석에 대하여 기술하며, 4장에서 실험 결과를 설명하고 마지막 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대하여 논의한다.

II. 주성분 분석

주성분 분석[6][7]은 다차원 특징 벡터로 이루어진 데이터에 대하여 높은 차원에서의 정보를 그대로 유지하면서 낮은 차원으로 차원을 축소시키는 다변량 데이터 처리 기법 중의 하나이다. 주성분 분석을 벡터 그래픽 캐릭터의 얼굴 표정에 적용하는 방법은 다음과 같다. 그림 1과 같이 n 개의 2차원 벡터 그래픽 캐릭터의 얼굴 오브젝트 $x_i, i=1, 2, \dots, n$ 가 있다고 하자.

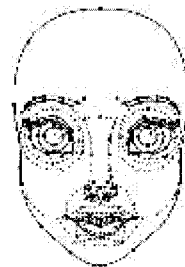


그림 1. 2차원 벡터 그래픽 캐릭터의 제어점
Fig. 1 Control points of 2-dimensional vector graphic character

이때 각각의 얼굴 오브젝트 x_i 에 대한 2차원 제어점 (control point) 좌표들로부터 집합 $\{x_i\}$ 를 구성한다. 만일 하나의 입력 오브젝트 x_i 가 크기 $p \times 1$ 의 열벡터라 가정하면, n 개의 입력 오브젝트에 대한 집합 $\{x_i\}$ 는 크기 $p \times n$ 의 행렬로 구성된다. 이러한 다차원 공간 상의 점들의 집합 $\{x_i\}$ 에 주성분 분석을 적용하면 집합 $\{x_i\}$ 가 저차원 평면 상에 투영되면서 집합 $\{x_i\}$ 와 가장 근사한 분포를 갖는 평면 상의 점들의 집합 $\{y_i\}$ 를 구할 수 있다. 이때 집합 $\{x_i\}$ 와 집합 $\{y_i\}$ 사이의 거리의 자승오차의 합(sum squared error)은 식 (1)과 같이 주어지며, 이를 최소화하는 벡터 V 를 찾게 된다.

$$PCA(V) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n |x_i - \mu|^2 \quad (1)$$

여기서 $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 로서 입력 집합 $\{x_i\}$ 에 대한 평균 벡터를 의미한다. 식 (1)을 최소화하기 위한 벡터 V 를 구하는 방법[7, 8]은 먼저 집합 $\{x_i\}$ 을 이용하여 공분산(Covariance)을 구하고, 공분산으로부터 고유값(Eigenvalue)과 고유벡터(Eigenvector)를 찾은 후 이로부터 집합 $\{y_i\}$ 를 찾는 것이다.

집합 $\{x_i\}$ 에 대한 공분산 행렬 C 는 식 (2)와 같이 계산되며, 크기 $p \times p$ 인 정방행렬(square matrix)로 구성된다.

$$C = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)(x_i - \mu)^T \quad (2)$$

그리고 식 (3)과 같이 공분산 행렬 C 의 고유분석(eigen-analysis)을 통해 p 개의 고유값과 고유벡터를 구한다.

$$Cv_i = \lambda_i Iv_i, \quad i=1, 2, \dots, p \quad (3)$$

여기서 I 는 항등행렬(identity matrix), λ_i 는 고유값, v_i 는 고유벡터이다. 공분산 행렬의 고유값은 평균값에 대한 분산의 정도를 의미하므로 가장 큰 고유값에 대응하는 고유벡터로 이루어진 오브젝트가 가장 비슷한 오

브젝트가 되며, 고유값이 작을수록 오브젝트 특성이 작아진다.

이제 구해진 n 개의 고유값으로부터 k 개의 가장 큰 고유값 $\lambda_1, \dots, \lambda_k$ 를 선택한다. 또한 선택된 k 개의 고유값에 대응하는 고유벡터를 모아서 행렬 $V^* = [v_1 | v_2 | \dots | v_k]$ 를 구성한다. 마지막으로 식 (4)와 같이 고유벡터 행렬 V^* 에 집합 $\{x_i\}$ 를 투영시켜 가중치 W 를 구한다. 가중치는 입력되는 입력 오브젝트에 대한 각 고유벡터의 성분값을 의미한다.

$$W = V^{*T} X \quad (4)$$

이때 식 (5)와 같이 고유벡터와 가중치를 이용하면 원래의 입력 오브젝트를 표현할 수 있다.

$$x_i = w_1 v_1 + w_2 v_2 + \dots + w_k v_k \quad (5)$$

III. 제안된 벡터 그래픽 캐릭터의 표정 분석

벡터 그래픽 캐릭터의 얼굴 표정을 분석하기 위해 본 논문에서 사용한 데이터는 디즈니 영화 “미녀와 야수”의 등장 인물인 벨과 피버스, 게스톤의 표정 데이터로서 Russell의 내적 정서 상태의 차원 모형을 근거로 한 9개의 얼굴 표정을 캐릭터의 과장된 표정을 함께 가지도록 재정의하였다.

그림 2는 이와 같이 재정의된 3명의 벡터 그래픽 캐릭터의 9가지 표정(경악, 놀람, 기쁨, 화남, 중립, 만족, 슬픔, 졸림, 편안)을 보인 것이다.

본 논문은 이러한 9개의 얼굴 표정 데이터로부터 표정 데이터베이스를 만들고, 각 표정에 주된 영향을 미치는 주성분을 분석한다. 주성분 분석에 사용된 얼굴 표정은 그림 1과 같이 제어점 좌표를 포함하여 2880차원의 데이터로 표현된다. 그러나 이는 데이터의 크기가 커지거나 다양한 캐릭터의 표정을 분석하고자 할 때 공분산 행렬에 대한 계산량이 증가될 뿐만 아니라, 각 오브젝트의 서로 다른 특징을 명확히 분석할 수 없다는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 3명의 캐릭터의 얼굴을 9가지 표정에 따라 각각 얼굴형과 눈썹(좌, 우), 눈(좌, 우), 코,

입의 7가지 오브젝트로 분리하고, 각각의 오브젝트에 대해 주성분을 분석한다. 이때 본 논문에서 사용된 캐릭터는 표정이 변화할 때 눈의 크기나 형태만 변할 뿐 눈동자의 크기나 형태, 그리고 조명에 의한 반사점은 달라지지 않는다. 따라서 눈의 통계적인 특성과 선택된 주성분의 수에 따라 눈동자가 변하는 것을 막기 위해 눈동자는 주성분 분석에서 제외하였다.

표정	벨	피버스	게스톤
경악			
놀람			
기쁨			
화남			
중립			
만족			
슬픔			
졸림			
편안			

그림 2. 3명의 벡터 그래픽 캐릭터의 얼굴 표정
Fig 2 The facial expressions of three vector graphic characters

그림 3은 3명의 캐릭터의 중립 표정으로부터 7개의 오브젝트를 추출한 것이다.

표정	벨	피버스	게스톤
얼굴형			
좌눈썹			
우눈썹			
좌눈			
우눈			
코			
입			

그림 3. 중립 표정에 대한 얼굴의 7개 오브젝트
Fig. 3 Seven objects of face to the neutral expression

이때 얼굴형과 눈썹, 눈, 코, 그리고 입 오브젝트는 각각 238, 130, 482, 518 그리고 520개의 차원으로 표현된다. 즉 캐릭터의 얼굴을 구성하는 각 오브젝트는 서로 다른 차원의 데이터로 표현되므로, 주성분 분석시 각 오브젝트의 특성에 따라 주성분의 수를 다르게 선택할 수 있다.

IV. 실험 결과

그림 3과 같이 3명의 벡터 그래픽 캐릭터의 9가지 표정에 따라 분리된 얼굴의 각 오브젝트는 2장에서 기술된 주성분 분석을 통해 캐릭터의 얼굴 특성과 표정에 가장 근사한 분포를 갖는 고유값과 고유벡터로 분석된다.

분석 결과 각 오브젝트는 평균적으로 약 360개의 고유값과 고유벡터를 가지며, 본 논문에서는 이 중 얼굴형과 코, 입은 각각 40개, 눈썹은 20개, 눈은 30개의 주 고유벡터를 선택하였다. 이때 적은 수의 고유벡터를 이용하더라도 원래의 캐릭터의 과장된 표정을 잘 표현할 수 있도록 하기 위해 주 고유벡터의 수를 달리하여 재생된 오브젝트를 원래의 캐릭터의 오브젝트와 직접 눈으로 비

교하면서 실험적으로 유사성을 측정하였다.

이와 같이 각 오브젝트에 대해 선택된 주 고유벡터는 식 (4)에 의해 구해진 가중치와 함께 식 (5)의 연산을 통해 원래에 가까운 오브젝트를 재생하는데 사용되며, 재생된 오브젝트는 다시 원래의 각 위치에 배치되어 하나의 얼굴로 완성된다.

그림 4는 각 오브젝트에 대해 선택된 간소화된 주성분 벡터를 사용하여 생성된 3명의 캐릭터의 얼굴을 보인 것이다. 실험 결과를 비교해 볼 때 적은 수의 주성분 벡터만으로도 원래의 입력 캐릭터에 거의 근사한 캐릭터가 생성됨을 확인할 수 있다.

표정	벨	피버스	게스톤
경악			
놀람			
기쁨			
화남			
중립			
만족			
슬픔			
졸림			
편안			

그림 4. 간소화된 주성분 벡터로 생성된 캐릭터
Fig 4 The characters generated by using principle component vectors

또한 캐릭터의 얼굴 특성과 표정에 따른 각 오브젝트에 대해 선택된 주성분 벡터의 가중치는 중간 캐릭터와 표정을 생성하기 위해 사용된다. 중간 캐릭터와 표정을 생성하기 위한 가중치 w' 의 생성식은 식 (6)과 같다.

$$w' = sw_1 + (1-s)w_2 \quad (6)$$

여기서 w_1 과 w_2 는 중간 표정을 생성하기 위해 사용된 시작과 끝 입력 오브젝트의 가중치를 나타내며, s 는 스케일링(scaling)으로서 0과 1 사이의 실수이다.

그림 5는 벨과 게스톤의 두 캐릭터에 대해 서로 다른 표정을 가지는 우눈의 중간 표정이 가중치 값에 따라 어떻게 변화하고 있는가를 보여주고 있다.

이때 쌍꺼풀이 있는 캐릭터에서 없는 캐릭터로 변화하거나 입술선이 굵었다가 얇아지는 경우와 같이 캐릭터의 특성이나 표정 변화에 따른 오브젝트 내부 라인의 속성의 변화를 해결하기 위해 본 논문에서는 속성의 변환 시점을 지정하여 이전 재생 시간에 속하는 중간 표정들은 시작 오브젝트의 속성이 적용되고 변환 시점 이후의 중간 표정들은 끝 오브젝트의 속성이 적용되도록 하였다. 이는 속성이 변경되는 시점에 새로운 중간 표정을 수동으로 생성하지 않으므로 애니메이션에 필요한 총 키프레임의 수를 줄일 수 있다.

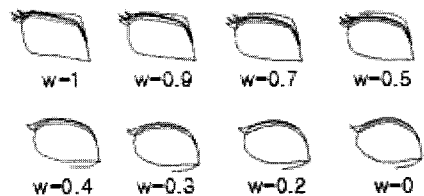


그림 5. 가중치에 따른 우눈의 표정 변화
Fig. 5 The variation of left eye according to weighting value

그림 6은 세 명의 동일 캐릭터에 대해 가중치의 변화에 따른 중간 표정의 변화를 보인 것이다.

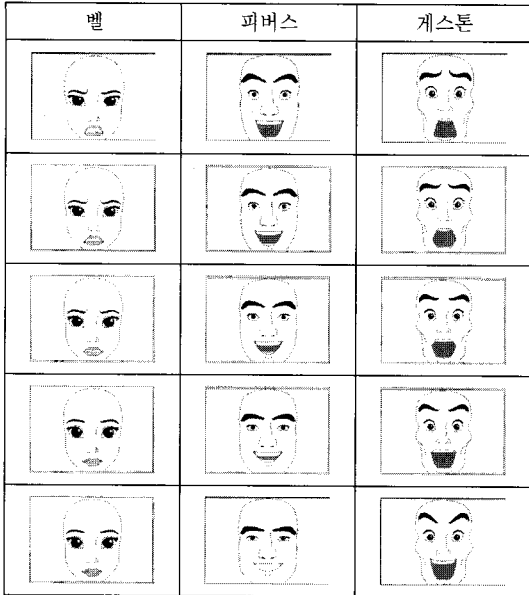


그림 6. 가중치에 따른 세 캐릭터의 중간 표정 변화
Fig. 6 The intermediate facial variation according to weighting value

벨의 경우 화난 표정에서 중립 표정으로 변화하면서 귀찮아하는 중간 표정이 자연스럽게 생성되고 있으며, 피버스는 기쁜 표정에서 서서히 만족스러운 표정으로 변화함을 알 수 있다. 또한 게스톤의 경우 놀란 표정에서 기쁜 표정으로 변화하면서 흥분된 표정이 생성됨을 알 수 있다.

또한 그림 7은 서로 다른 캐릭터의 서로 다른 두 표정에 대해 생성되는 중간 캐릭터와 중간 표정을 보인 것이다. 벨의 중립 표정에서 피버스의 중립 표정으로 변화할 때 서서히 캐릭터의 변화가 발생함을 볼 수 있으며, 벨의 화난 표정에서 피버스의 만족스러운 표정으로 변화하거나 게스톤의 놀란 표정에서 피버스의 졸린 표정으로 변화하면서 캐릭터 및 표정의 변화가 자연스럽게 발생함을 알 수 있다.

이와같이 간소화된 적은 수의 주성분 벡터와 가중치를 이용하여 한 캐릭터의 자연스러운 중간 표정 뿐만 아니라 다양한 캐릭터의 풍부한 표정을 손쉽게 생성할 수 있음을 알 수 있다.

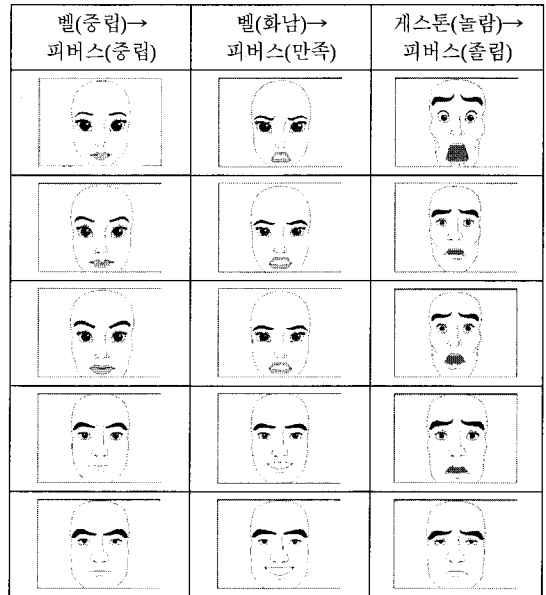


그림 7. 가중치에 따른 중간 캐릭터와 중간 표정의 변화

Fig. 7 The variation of intermediate character and facial expression according to weighting value

V. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 간소화된 주성분 벡터를 이용하여 벡터 그래픽 캐릭터의 얼굴 표정을 재생하고 다양한 중간 표정을 생성하였다. 이러한 방법은 종래의 키프레임을 저장하기 위한 저장 공간을 상당히 줄일 수 있으며, 가중치 보간으로 인해 적은 계산량으로 자연스럽게 풍부한 중간 표정의 캐릭터를 생성할 수 있다. 이에 실시간 제어를 요구하는 웹 및 모바일 서비스, 게임 등에서 캐릭터 생성 시스템의 성능을 상당히 개선할 수 있다. 향후 연구 과제로는 보다 다양한 캐릭터 및 여러 방향의 각도를 지니는 캐릭터의 표정을 분석하고 이를 사용자가 실시간으로 제어할 수 있도록 하는 사용자 인터페이스의 구현이 필요하다. 사용자 인터페이스는 화면의 적절한 위치에 주된 얼굴 표정을 배치함으로써 사용자는 자유로운 마우스의 이동을 통해 자연스럽게 풍부한 중간 캐릭터와 표정을 다양한 각도에서 실시간으로 제어할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Demetri Terzopoulos, Barbara Mones-Hattal Beth Hofer, Frederic Parke, Doug Sweetland, Keith Waters, "Facial animation : Past, present and future", Panel, SIGGRAPH, 1997.
- [2] B.Guenter, C.Grimm, D.Wood, H.Malvar, and F.Pighin, "Making Faces", Proceedings of SIGGRAPH'98, pp. 55-66, 1998.
- [3] Frederic, Parke, Keith Waters, "Computer facial animation", A K Peters, 1996.
- [4] Wonseok Chae, Yejin Kim, Sung Yong Shin, "An Example-based Approach to Text-driven Speech Animation with Emotional Expressions", EUROGRAPHICS 2003, Vol. 22, Num. 3, 2003
- [5] Russell, J. A. and J. M. Fernandez-Dols, "The Psychology of Facial Expression", Cambridge University Press, 1997
- [6] Jun-Pil Park, Chil-Woo Lee, "주성분 분석법(PCA)를 이용한 Motion Signal Blending", 2004년도 제17회 신호처리 합동학술대회 논문집, 제17권, 1호, pp. 264, 2004. 10
- [7] M.E. Tipping and C.M.Bishop, "Probabilistic principle component analysis", Journal of the Royal Statistical Society, Series B 61(3), pp 611-622, 1999

저자소개



박태희(Tae-Hee Park)

1994년 부경대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)

1996년 부경대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1999년 부산대학교 전자공학과 박사 수료.

현재 동명대학교 메카트로닉스공학과 전임강사

※관심분야: 영상압축, 얼굴 애니메이션, RFID