

Radial Basis Function 을 이용한 특징점 기반 3 차원 얼굴 모델의 변형

권오륜*, 민경필*, 전준철*

*경기대학교 전자계산학과

e-mail : kor5663@kyonggi.ac.kr, ccabi@kyonggi.ac.kr

jcchun@kyonggi.ac.kr

Feature-Based Deformation of 3D Facial Model Using Radial Basis Function

Oh-Ryun Kwon*, Kyongpil Min*, Jun-Chul Chun*

*Dept. of Information Science, Kyonggi University

요 약

아바타를 이용한 얼굴 애니메이션은 가상 현실이나 엔터테인먼트와 같은 분야에서 많이 적용된다. 얼굴 애니메이션을 생성하는 방법에는 크게 3 차원 모델을 직접 변형시키는 기하학적인 변형 방법과 2 차원 이미지의 워핑이나 모핑방법을 이용한 이미지 변형 방법이 있다. 기하학적인 변형 방법 중 3 차원 모델을 변형시키기 위한 방법으로 RBF(Radial Basis Function)을 이용하는 방법이 있다. RBF 함수를 이용하여 모델의 부드러운 변형을 만들 수 있다. 이 방법은 모델의 임의의 한 점을 이동하게 되면 영향을 받는 정점들을 좀 더 자연스럽게 이동시킴으로써 자연스러운 애니메이션을 생성할 수 있다.

본 연구에서는 RBF 를 이용하여 3 차원 얼굴 메쉬 모델의 기하학적 변형을 통해 모델의 얼굴 표정을 생성하는 방법에 대해 제안하고자 한다. 얼굴 모델 변형을 위해 얼굴의 특징인 눈, 입, 턱 부분에 특징점을 정하고 각 특징점에 따라 영향을 받는 영역을 정하기 위해 얼굴 모델을 지역적으로 클러스터링한다. 각 특징점에 따라 영향을 받는 영역에 대해 클러스터링을 적용하고 RBF 를 이용하여 자연스러운 얼굴 표정을 생성하는 방법을 제안한다.

1. 서론

최근에 3 차원 얼굴모델을 이용하여 컴퓨터 기반의 3 차원 얼굴 애니메이션 생성에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 게임 산업, 가상현실, 원격 회의와 같은 분야에서 3 차원 얼굴 모델을 이용하여 애니메이션을 생성함으로써 직접 얼굴을 보는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다.

얼굴 애니메이션은 인터랙션을 좀 더 효과적으로 하기 위해 실제적인 얼굴의 표정을 생성해야만 한다

[1]. 사람의 얼굴은 신체의 다른 부분과 달리 복잡하고 얼굴 모습의 자연적인 감성으로 인해 감정이나 표정을 제대로 표현하기가 힘들다. 따라서 이러한 얼굴 모델을 이용하여 얼굴 애니메이션을 하기 위한 목표는 다음과 같다. 첫째, 실제와 같은 애니메이션이 되어야 한다. 둘째, 실시간 처리를 할 수 있어야 하고 가능한 사람에 의해 수작업이 아닌 컴퓨터에 의해 자동으로 처리할 수 있어야 한다. 마지막으로 개개인의 얼굴에 쉽게 적용할 수 있어야 한다. 이와 같은 목표를 바탕으로 얼굴 애니메이션을 하기 위한 방법으로는 파라미터 보간을 이용한 방법[2][3], 얼굴의 근육 모델을 이용한 방법[4][5], 워핑이나 모핑을 이용한 방법[6][7], FACS(Facial Action Coding System)을 이용한 방법[8] 등 여러 가지 방법이 있다.

본 연구는 21 세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스컴퓨팅 및 네트워크 원천기반기술개발사업의 지원에 의한 것임

먼저 파라미터 보간을 이용한 방법은 두 개의 키 프레임 사이에 보간을 이용함으로써 중간 프레임을 생성하는 방법으로 몇 개의 키 프레임으로부터 적은 양의 애니메이션을 만들기 위한 좋은 방법이다. 이 방법은 기본적인 얼굴 애니메이션을 쉽게 만들 수 있고 처리 시간이 빠르다는 장점을 가지고 있다. 하지만 다양한 얼굴의 표정을 나타내기 위해 얼굴 모델의 키 프레임인 여러 가지 얼굴의 표정을 먼저 정의해야만 한다. 또한 어떠한 보간법을 쓰느냐에 따라 애니메이션 성능이 달려있다고 볼 수 있다.

얼굴의 근육 모델을 이용한 방법은 실제 사람의 얼굴 근육을 얼굴 모델에 적용한 방법으로서 벡터기반 근육 모델 방법이 가장 많이 이용되고 있다. 벡터기반 근육 모델 방법은 근육에 영향을 받는 지역에 모션 필드를 사용하여 얼굴 모델을 변형시키는 방법으로서 얼굴 모델의 메쉬 구조에 독립적이고 각 근육에 따른 좋은 표현을 할 수 있기 때문에 많이 사용하고 있다. 하지만 얼굴 모델에서 근육을 제대로 위치시키는 것이 힘들고 올바르게 놓은 근육의 위치는 부자연스럽고 예상하지 못한 얼굴 애니메이션을 생성할 수 있다는 단점을 가지고 있다.

워핑이나 모핑을 이용한 애니메이션 방법은 보간 방법과 유사한 것으로 두 개의 중요한 모델간의 메타물포시스 효과를 이용한 방법이다. 이 방법은 2 차원 모핑 방법을 확장한 것으로 기하학적 모델의 3 차원 변환을 2 차원 모핑의 결합에 의해 애니메이션을 생성할 수 있다. 모핑을 이용한 방법은 실제적인 얼굴 표정을 만들 수 있지만 보간 방법과 같은 유사한 제약 조건을 가지고 있다. 또한 목표로 하는 모델에서 연관된 특징의 선택은 아주 수동적이고 사람의 관점에 의존하며 다른 얼굴에는 적용하기 어렵다.

FACS 는 얼굴 근육과 얼굴 조직의 분석으로부터 유도된 얼굴에서 움직이는 부분은 AU(Action Unit)로 구성되어 있다. 이것은 총 44 개의 기본적인 AU 로 구성되어 있으며 얼굴 근육들의 긴장과 이완의 조합 결과로 나타나는 얼굴 표정과 감정상태를 나타내는 표정과 어떠한 관계를 가지고 있으며 AU 의 조합으로 그러한 얼굴의 표정을 생성하는 방법이다.

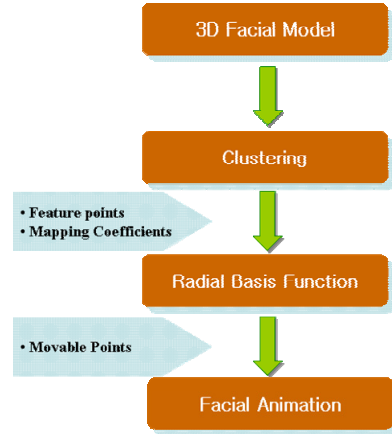
본 연구에서는 보간법의 한 부분으로서 RBF 를 이용한다[9]. RBF 를 이용한 방법은 최소한의 정점으로 부터 부드러운 기하학적인 변형을 할 수 있다. 또한 얼굴 애니메이션을 위한 변형을 쉽고 빠르게 할 수 있다. 따라서, RBF 를 이용하여 얼굴의 특징점의 움직임으로 얼굴 애니메이션을 생성하는 방법에 대해 제안한다.

본론에서는 RBF 에 대해 논의하고 이것을 이용한 3 차원 얼굴 모델의 변형 방법에 대해 설명한다. 마지막으로 실험 결과와 향후 연구 방안에 대해 논의하도록 한다.

2. 본론

본 연구에서 제안하는 시스템은 특징점 기반의 RBF 를 이용한 얼굴 애니메이션 시스템이다. 얼굴 모델에서 특징점은 눈, 눈썹, 입, 턱 부분에 총 13 개를

이용한다. 또한 각 특징점 주위에 정점들을 클러스터링하여 영향을 받는 영역을 구성하게 된다. 이렇게 13 개의 영역으로 구성되며 RBF 를 이용하여 특징점을 제외한 나머지 정점들의 움직임을 정의하고 3 차원 얼굴 모델의 변형을 통한 얼굴 애니메이션 시스템을 제안한다. 제안한 시스템 구성도는 다음과 같다.



(그림 1) 시스템 구성도

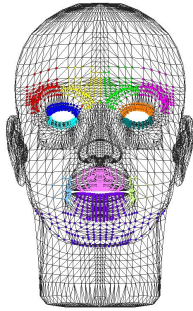
2.1 모델의 지역적 클러스터링

본 연구에서 3 차원 기하학적 모델을 지역적인 변형에 의해 애니메이션을 수행한다. 따라서 사용되는 3 차원 얼굴 모델을 애니메이션 하기 위해 전처리 과정으로 각 특징점에 따른 클러스터링을 수행한다. 특징점은 눈, 눈썹, 입, 턱 주위의 총 13 개의 정점을 사용하고 있으며 <표 1>과 같다.

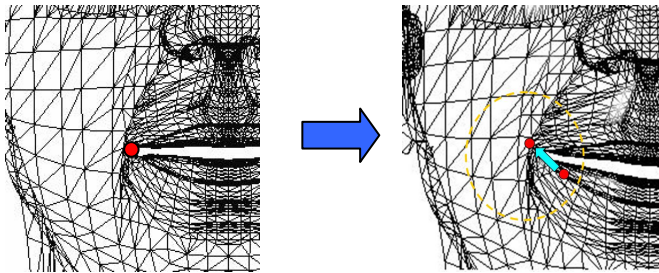
<표 1> 얼굴 모델의 특징점

구분	특징점
눈썹	왼쪽 눈썹의 왼쪽
	왼쪽 눈썹의 오른쪽
	오른쪽 눈썹의 왼쪽
	오른쪽 눈썹의 오른쪽
눈	왼쪽 눈의 위
	왼쪽 눈의 아래
	오른쪽 눈의 위
	오른쪽 눈의 아래
입	입 위
	입 아래
	입 왼쪽
	입 오른쪽
턱	턱 아래

클러스터링은 각 특징점에 따라 지역적인 클러스터링을 함으로 모델 전체에는 적용하지 않고 지역적으로 적용한다(그림 2,3). 클러스터링은 특징점의 영향을 받는 영역으로 제한하였다.



(그림 2) 얼굴 모델과 얼굴 특징점에 따른 군집 형성



(그림 3) 지역적인 변형

2.2 모델의 변형

3 차원 얼굴 모델을 특징점에 따라 클러스터링을 한 후 모든 특징점의 이동 벡터에 따라 각 특징점에 영향을 받는 모든 영역의 정점에 대해 RBF 을 적용한다. RBF 는 3 차원 기하학적 모델을 자연스럽게 변형할 수 있는 특징을 가지고 있기 때문에 적은 수의 특징점에 의해서도 자연스러운 애니메이션을 만들 수 있다.

2.2.1 Radial Basis Function

RBF 함수는 각 특징점이 대응되는 특징점으로 이동하고 영향을 받는 영역 안에 있는 나머지 정점들을 중간적 위치로 사상하도록 하는 보간을 제공한다. RBF 함수의 일반적인 형태의 변형은 다음과 같다. 변형하고자 하는 특징점들을 $f(\vec{x})$ 라고 한다면 RBF 에 의한 보간 함수는 $F(\vec{x}, \vec{c})$ 으로 정의할 수 있다. \vec{x} 는 특징점을 나타내는 벡터($\vec{x} = x_1, x_2, \dots, x_n$)이고 \vec{c} 는 각 특징점에 대해 영향을 받는 가중치($\vec{c} = c_1, c_2, \dots, c_n$)를 나타낸다. RBF 함수를 수학적으로 표현하면 다음과 같다(식 1).

$$F(\vec{x}) = \sum_{i=1}^N c_i h(r) \quad (\text{식 1})$$

N 은 특징점의 개수를 나타낸다. 또한 $h(r)$ 는 RBF 의 기저함수를 나타내고 매개변수인 r 은 유클리디언 거리를 나타낸다. RBF 의 기저함수에는 아래의 표와 같이 정의된다<표 2>.

<표 2> RBF 기저함수의 정의

기저함수	$h(r)$
선형 거리	r_i
다중 이차	$\sqrt{r^2 + c^2}$
TPS(Thin Plate Splines)	$r^2 \log r$
가우지언	$e^{-r^2/c}$

2.2.2 RBF 를 이용한 얼굴 애니메이션

본 연구에서는 RBF 를 이용하여 얼굴 모델을 변형시켜 얼굴 애니메이션을 만든다. 얼굴 모델에서 사용할 특징점의 위치는 2.1 에서 정의한 것과 같이 13 개의 특징점을 사용하고 각 특징점에 따라 영향을 받는 영역으로 클러스터링을 한다.

RBF 함수의 기저함수는 다중 이차($\sqrt{r^2 + c^2}$)를 사용한다. 초기 특징점의 위치와 움직인 특징점의 위치 사이의 매핑관계는 $\vec{x} = x_1, x_2, \dots, x_{13}$ 으로 정의된다. 따라서 RBF 를 다음과 같이 정의할 수 있다(식 2).

$$F(\vec{x}) = \sum_{i=1}^N c_i \sqrt{\|\vec{x}_i^{source} - \vec{x}_i\|^2 + s_i^2} \quad (\text{식 2})$$

이와 같은 RBF 함수의 해를 구하기 위해서는 특징점 (x_i, y_i, z_i) 의 설정과 가중치 c_i , 그리고 매개변수 s_i 의 값을 구해야 한다. 가중치의 값은 특징점의 변위를 이용해서 계산할 수 있다. 특징점의 위의 2.1 에서 미리 설정되어 있으므로 가중치와 매개변수의 값을 계산하여야 한다. 얼굴 모델 변형에서의 $F(\vec{x})$ 는 초기의 얼굴 모델에 설정되어 있는 정점들이 RBF 에 의해 새로운 정점들의 위치로 매핑이 될 수 있도록 변형이 이루어질 때의 변위를 의미한다. 기존의 13 개의 특징점의 위치는 초기의 위치와 새로운 위치를 모두 알고 있으므로 다음과 같이 가중치를 계산할 수 있다(식 3).

$$\vec{c} = h^{-1} \vec{x}^{target} \quad (\text{식 3})$$

하지만 정점의 데이터가 노이즈를 가질 수 있기 때문에 행렬 h 를 수정하여 노이즈를 줄일 수 있다. 수정된 식은 다음과 같다(식 4).

$$\bar{c} = (h + \lambda I)^{-1} \bar{x}^{target}$$

$$h = \begin{bmatrix} h(0) + \lambda I & h(\|x_2 - x_1\|) & \cdots & h(\|x_{13} - x_1\|) \\ h(\|x_1 - x_2\|) & h(0) + \lambda I & \cdots & h(\|x_{13} - x_2\|) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h(\|x_1 - x_{12}\|) & h(\|x_2 - x_{12}\|) & \cdots & h(\|x_{13} - x_{12}\|) \\ h(\|x_1 - x_{13}\|) & h(\|x_2 - x_{13}\|) & \cdots & h(0) + \lambda I \end{bmatrix} \quad (\text{식 4})$$

$$\bar{c} = (c_1, c_2, \dots, c_{13})$$

여기서 사용되는 λ 는 작은 영향을 주기 위한 실험치에 의한 값으로 0.01 을 사용한다. 0 을 사용한다면 식 3 과 같다.

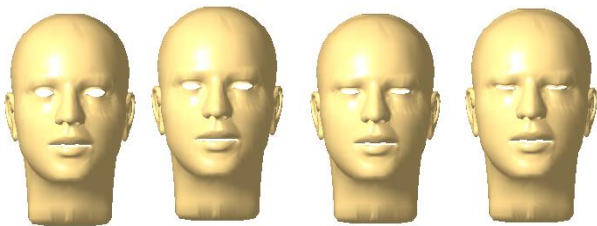
RBF 와 같이 지역적으로 국한된 영역에 한해서만 변형의 영향을 미칠 때에는 각 기저 함수의 영향이 미치는 범위를 정할 수 있어야 한다. 기저 함수의 영향이 미치는 범위는 매개변수 s 을 조정함으로써 정할 수 있다. 본 연구에서 사용되는 매개변수 s 의 값은 모든 정점들 중 각 특징점에서 가장 짧은 유클리디언 거리를 이용한다(식 5).

$$s_i = \min_{i \neq j} \|\bar{x}_i^{source} - \bar{x}_j\| \quad (\text{식 5})$$

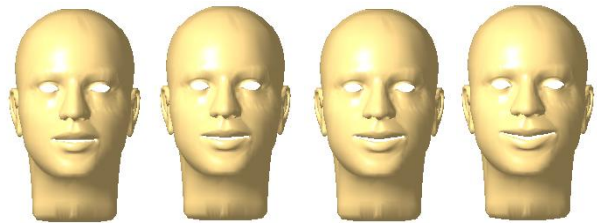
2.3 실험 결과

RBF 함수를 이용하여 얼굴 모델의 변형함으로써 얼굴의 표정을 생성할 수 있다. 얼굴의 표정을 몇 개의 특징점의 조합으로 생성된다. 예를 들면, 입 주위의 특징점을 제어함으로써 웃는 표정을 만들 수 있다. 이와 같은 방법으로 특징점의 다양한 조합으로 여러 가지의 표정을 생성할 수 있다.

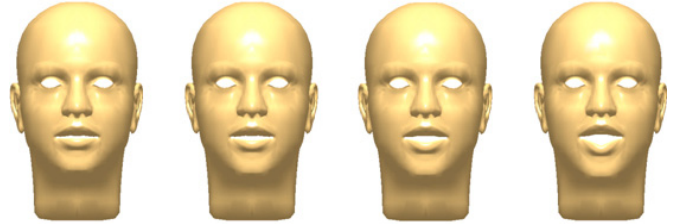
다음은 RBF 함수를 이용하여 얼굴의 표정(눈 감는 모습, 웃는 모습)을 생성한 결과를 순차적으로 나타낸 것이다(그림 4).



(a) 눈 감는 모습



(b) 웃는 모습



(c) 입을 벌리는 모습

(그림 4) 실험 결과

3. 결론

본 연구에서는 RBF 함수를 이용하여 얼굴 모델을 변형함으로써 다양한 얼굴 표정을 생성하는 방법을 제안하였다. 기하학적 모델을 좀 더 자연스럽게 변형하기 위해 RBF 함수를 이용하여 얼굴 모델을 변형하였다. RBF 함수를 적용하기 위해 얼굴 모델에서 13 개의 특징점을 선택하고 각 특징점마다 영향을 받는 영역으로 클러스터링하였다. 클러스터링은 얼굴 표정 생성을 위해 얼굴 모델의 부분적으로 적용하였고 RBF의 기저함수는 다중 이차 함수를 적용하였다.

향후 연구 과제로는 3D 얼굴 모델에 좀 더 사실감을 주기 위해 텍스처 매핑이 이루어져야 한다. 또한 동영상에서의 얼굴 표정을 얼굴 모델에 실시간으로 매핑하는 방법에 대해 연구가 필요하고 최종적으로 동영상으로부터의 얼굴 표정과 얼굴 모션에 대해 실시간 얼굴 표정과 모션이 매핑되는 방법에 대한 방안이 마련되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] F. I. Parke, K. Waters, "Computer Facial Animation, 1996, ISBN 1-56881-014-8.
- [2] F. Pighin, J. Hecker, D. Lischinski, R. Szeliski, D.H. Salesin, "Synthesizing Realistic Facial Expressions from Photographs", Siggraph proceedings, pp. 75-84, 1998.
- [3] F. I. Parke, "Control parameterization for facial animation", Springer-Verlag, pp.3-14, 1991.
- [4] K. Waters, "A muscle model for animating three-dimensional facial expression", Computer Graphics, vol 21, pp. 17-24, 1987.
- [5] K. Kahler, J. Haber, H. Seidel, "Geometry-based muscle modeling for facial animation", Proceedings Graphics Interface, pp. 37-46, 2001
- [6] T. Beier, S. Neely, "Feature-based image metamorphosis", Computer Graphics, vol. 26, pp.35-42, 1992.
- [7] L. Farkas, "Anthropometry of the Head and Face", Raven Press, 1994.
- [8] A. Wojdel, L. J. M. Rothkrantz, "Parametric Generation of Facial Expressions Based on FACS", Computer Graphic forum, vol. 24, pp. 743-757, 2005.
- [9] J.Y. Noh and U. Neumann, "Expression Cloning", Computer Graphics, Proceedings of ACM SIGGRAPH, pp. 277-288, 2001.