

# 분신을 위한 실시간 관절 변형 구현

김상원, 성만규, 박찬중

시스템공학연구소 감성공학연구부 가상현실연구실

대전광역시 유성구 어은동 1번지

e-mail : {ghyme, mksung, cjpark}@seri.re.kr

## The Realtime Deformation of the Avatar's Joint

SangWon Ghyme, ManKyu Sung, ChanJong Park

VR Lab., Sensitivity Engineering Department, SERI

1 Ueun-dong Yusong-gu Taejon Korea 305-333

### Abstract

기하학적 모델에 변형을 주는 것은 매우 시간을 소모한다. 따라서, 분신이 동작 할 때 신체의 각부위에 대한 자연스러운 모델 변형을 실시간으로 수행한다는 것은 어려운 일이다. 따라서, 분신에 대한 일반적인 모델변형은 어렵지만, 모델 변형이 관절에서만 일어나는 것으로 제한한다면 일어나는 모델 변형은 매우 단순해진다. 즉, 하나의 축을 중심으로 휘기만 하는 단순한 방법으로도 척추를 포함한 모든 관절의 모델변형을 충분히 만족시키는데, 이러한 단순한 모델 변형은 매우 간단한 연산을 제공하여 실시간으로 모든 관절의 모델변형을 수행하는 것을 가능하게 한다. 이러한 모델변형은 사이버 클러브와 같은 가상현실용 인터페이스를 실험할 때 가상의 손모델에 적용되어 보다 사실감을 높일 수 있다.

### 1. 서론

인터넷에서 분신을 지원하는 가상 공간들을 돌아다녀 보면 매우 다양한 형태의 분신들을 만나볼 수 있다. 어떤 분신들은 고정된 모델을 갖고 단순히 앞뒤나 상하로 흔드는 동작만을 보여주는가 하면, 어떤 분신들은 관절 구조를 갖고 매우 자연스러운 동작을 보여주기기도 한다. 그러나, 관절구조를 갖는 분신들조차 컴퓨터 애니메이션에서 등장하는 캐릭터들에 비하면 매우 조잡한 모습을 갖고 있다. 게임에서 이용되는 분신의 모습을 보아도 화려한 텍스처를 이용하여 겉모양은 실감나지만 실제로 동작을 수행할 때는 각 관절에서 모델의 변형을 지원하지 않아서 매우 어색한 모습을 보여주고 있다.

본 논문에서는 분신의 모델에서 관절을 중심으로 모델변형을 실시간으로 그리고 사실적으로 얻어낼 수 있는 방법을 찾아본다.

## 2. 모델의 표현과 변형

### 2.1 다각형 표현방법

모델의 변형은 어떠한 모델 표현 방법을 사용하였느냐에 의존한다. 여러 가지 모델 표현방법 중에서 모델 변형에 자주 이용되는 두개의 표현 방법이 있는데, 다각형 표현방법(Polygonal Representation)과 매개변수 표현방법(Parametric Representation) 이 있다[1]. 이 중에서 일반적으로 가장 많이 사용되고 실시간 모델 변형에 적합한 다각형 모델에 대해서 살펴본다.

다각형 모델에 대한 변형(Deformation)은 몇 가지의 문제점들을 갖는다. 다각형 모델을 이루는 각 점들은 서로간에 연결성(connectivity)을 갖는데, 이러한 연결성은 모델에 변형이 가해진 이후로도 계속해서 유지되어 모델에 대한 변형을 구속하는 역할을 한다. 그런데, 모델에 국지적인 변형이 가해져서 점들을 잇는 변(Edge)들이 서로 교차하는 경우가 생기는 문제가 발생한다. 따라서, 다각형 모델에 대한 제한없이 뒤틀림 변형을 마구 가할 수 없다는 단점을 갖는다.

다각형 모델에 축척(Scaling)등 매우 복잡한 변형들이 가해지면, 처음엔 평면의 다각형을 이루던 점들이 서로간에 멀리 떨어지면서 더 이상을 평면을 유지하지 못하고 다각형의 조밀도(Resolution)을 떨어뜨리면서 다각형을 이루는 평면들의 특성이 변하는 현상을 일으킨다. 이런 문제들은 다각형 분할 등을 통해 해결될 수 있다.

### 2.2 모델의 변형

여러 가지의 모델 변형 방법이 개발되었는데, 그 중에서 매우 유용한 두 가지 방법이 있다. 두 변형방법 모두 모델의 표현방법에 관계없이 적용될 수 있는데, 첫째는 모델에

비선형 전역적 변형(Non-linear global Deformation)을 가하는 방법이다[2]. 둘째는, 대상 모델의 공간 자체를 변형하는 방법이다[3]. 첫번째 방법이 제한적으로 이용될 수 있는 반면 두번째 방법은 일반적인 모델변형 방법을 제시하고 있다. 그러나, 두번째 방법은 실시간 모델 변형에 적합하지 않으므로, 첫번째 방법에 대해서만 살펴본다.

모델에 변환행렬(Transformation Matrix)을 가하면 축척, 이동, 회전 등의 일으킬 수 있다. 일반적으로 이러한 변환행렬은 그 값자체가 그대로 유지하는데, Barr 는 모델이 갖는 각 점등의 위치에 따라 행렬 값을 다르게 적용하여 좀 더 다양한 모델의 변형을 얻어낼 수 있었다[2]. Barr 는 세가지의 변환행렬을 이용하였는데, 각각 가늘게 하기와 뒤틀리기와 구부리기에 관한 변환행렬들이다[2].

가늘게 하기의 변환행렬에 대한 식은

$$(X, Y, Z) = (f(z)x, f(z)y, z) \quad (\text{식 A})$$

이고, Z 축에 적용되어, XY 면에 대해서  $f(z)$ 를 적용하여 원래보다 가늘거나 두껍게 만든다.

뒤틀리기는 위의 가늘게 하기의 변환행렬과 유사한데, XY 면의 각 위치에 다른 축척을 적용하는 대신 다른 회전을 적용한 것이다. 이 변환행렬에 관한 식은 다음과 같다.

$$(X, Y, Z) = (x \cos \theta - y \sin \theta, x \sin \theta + y \cos \theta, z) \quad (\text{식 B})$$

마지막으로 구부리기는 구부리고자 하는 영역과 그 밖의 영역에 대해서 다르게 처리한다. 즉, Y 축에 대해서 구부리기를 수행한다면, Y 축으로 다음과 같이 영역을 설정한다.

$$y_{\min} \leq y \leq y_{\max}$$

구부리기에 대한 곡률의 반지름을  $k^{-1}$  이라고 한다면, 구부리기의 중심은  $y=y_0$ 가 된다. 이때, 구부리는 각도는 다음과 같다.

$$\theta = k(y' - y_0) \quad (\text{식 C})$$

$$y' = \begin{cases} y_{\min} & \text{if } y \leq y_{\min} \\ y & \text{if } y_{\min} < y < y_{\max} \\ y_{\max} & \text{if } y \geq y_{\max} \end{cases}$$

이때 구부리기의 변환행렬에 대한 식은 다음과 같다.

$$X = x \quad (\text{식 D})$$

$$Y = \begin{cases} -\sin \theta(z - k^{-1}) + y_0 & ; y_{\min} \leq y \leq y_{\max} \\ -\sin \theta(z - k^{-1}) + y_0 + \cos \theta(y - y_{\min}) & ; y < y_{\min} \\ -\sin \theta(z - k^{-1}) + y_0 + \cos \theta(y - y_{\max}) & ; y > y_{\max} \end{cases}$$

$$Z = \begin{cases} \cos \theta(z - k^{-1}) + k^{-1} & ; y_{\min} \leq y \leq y_{\max} \\ \cos \theta(z - k^{-1}) + k^{-1} + \sin \theta(y - y_{\min}) & ; y < y_{\min} \\ \cos \theta(z - k^{-1}) + k^{-1} + \sin \theta(y - y_{\max}) & ; y > y_{\max} \end{cases}$$

### 3. 분신을 위한 실시간 변형

분신 모델을 표현할 때는 2.1에서 언급한 바와 같이 실시간 모델 표현에 적합한 폴리곤 모델을 이용한다. 이러한 분신이 동작을 시작하면 신체의 각 부분에서 다양한 모델의 변형이 일어난다. 이러한 다양한 모델의 변형을 처리하기 위해서는 FFD(Free-Form Deformation)[3][4]를 이용하지만 이러한 방법은 분신의 실시간 표현을 보장하지 못하므로 적합치 않다고 할 수 있다. 따라서, 분신의 모델 변형을 분석하고, 이러한 변형을 실시간으로 가능하게 해주는 방법들을 찾는다.

#### 3.1 분신의 모델변형 유형

분신이 인체모델을 기반으로 하였을 때 모

델변형이 일어날 수 있는 부분은 신체의 전 부분에서 일어날 수 있다. 즉, 신체를 감싸는 모든 피부의 변형이 계속적으로 일어날 수 있기 때문이다. 이외에도 머리카락 등의 털들에 대해서도 변형이 일어날 수 있다. 그러나, 이러한 변형들은 매우 국부적으로 나타나고 이들의 변형을 일반적으로 표현할 수 있는 수단도 찾기 힘들며, 더구나 실시간으로 표현하기는 거의 불가능하다. 분신 신체의 일반적인 모델변형을 표현하려는 접근 방법은 어렵지만 분신이 동작할 때 신체에서 일어나는 급격하면서도 특수한 변형에 대해서는 제한된 범위 내에서 실시간으로 표현이 가능할 것이다.

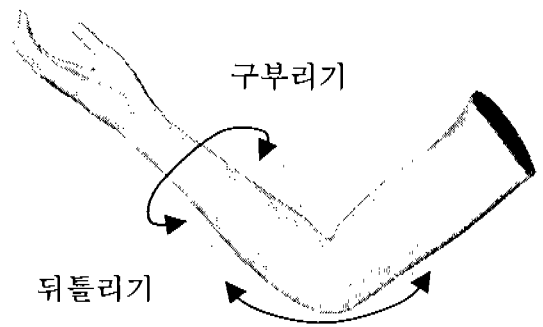


그림 1 팔에서 일어나는 변형

분신이 동작할 때 신체에서 발생할 수 있는 급격하면서도 완전한 변형을 찾아보면 다음과 같다.

- a. 관절부위 : 구부리기 변형
- b. 분절부위 : 뒤틀리기 변형

분신 신체의 모든 관절에서 구부리기의 변형이 일어나는데, 관절들은 여러 종류가 있고 각 관절들에서 여러 형태의 구부리기 변형이 일어날 수 있다. 즉, 팔꿈치 관절이 1 자유도(DOF)를 갖는 반면, 어깨 관절은 3 자유도를 갖는다. 이러한 자유도의 차이 외에

일반관절과 달리 척추는 좀 더 복잡하게 여러 개의 관절들로 구성되어 있지만 보통 하나의 분절로서 취급된다. 이러한 관절들의 다양성에도 불구하고, 관절들에서 일어나는 구부리기를 분석하면 하나의 축을 중심으로 한 전역적 모델 변형으로 표현가능하다.

뒤틀리기의 경우도 다양한 종류의 모든 분절에서 발생하지만 하나의 축을 중심으로 한 전역적 모델 변형으로 표현 가능하다.

### 3.2 실시간 모델 변형

신체에서 발생하는 변형에 대한 분석을 통해 구부리기와 뒤틀리기의 변형이 완연하게 일어나는데, 이러한 변형들은 2.2 절에서 언급된 Barr의 비선형 전역적 변형에 속한다.

뒤틀리기의 경우 Barr가 제시한 (식 B)를 사용하면 효과적인 모델변형을 실시간으로 수행 할 수 있다[2].

구부리기의 변형에 대한 Barr가 제시한 (식 C)와 (식 D)는 사용하기에 있어 약간의 비직관성을 갖는다. 구부리기의 대상 축을 중심으로 중심점  $y_0$ 가 고정되어 있다. 그러나 실험에 의하면 중심점이 변하는 것이 관찰된다. 그리고, 구부리는 정도를 계산하는데 있어 곡률을 이용하였는데, 관절의 구부리기에 있어서는 일반적으로 곡률보다는 관절 각도를 주로 이용한다[2].

관절의 변형에 있어 두가지 방법을 생각해 볼 수 있다. 첫번째 방법은 중심점을 중심으로 관절 부근을 블록하게 튀어나오게 변형을 가하는 방법(그림 2-(a))이고, 두번째는 관절의 중심점은 그대로 유지되지만 변형의 중심점이 이동하면서 관절에서 변형에 수직인 방향과 관절과 분절의 연결 부위에서의 방향이 평행이 되도록 유지하는 방법(그림 2-(b))이다.

Barr가 제시했던 방법은 (a)와 관련되는데, 그림에서 나타나듯이 관절 중심에서 변형에

대한 왜곡이 심하게 나타난다. 이에 비해 (b) 방법은 (a)보다 변형에 따른 왜곡이 완만하게 나타나 심하게 부자연스럽지 않다.

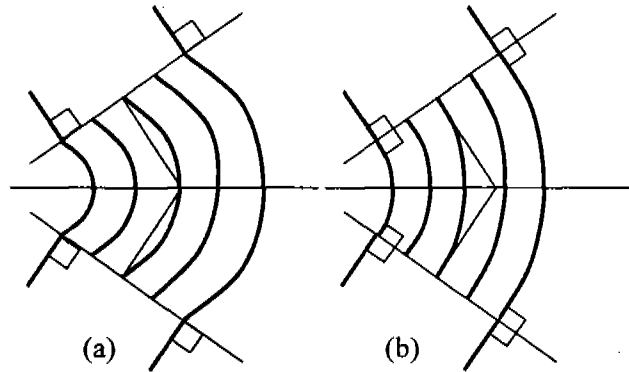


그림 2. 관절 변형의 두 가지 방법

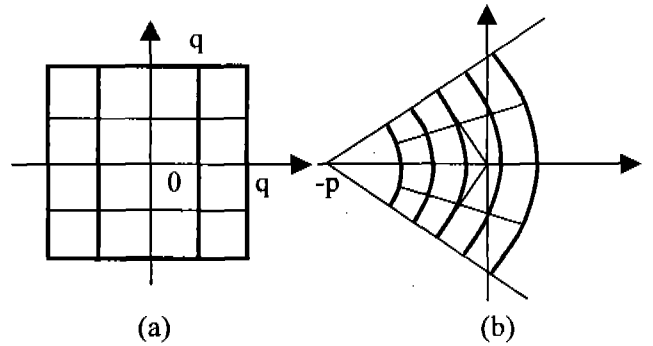


그림 3. 변형에 따른 모델의 변화

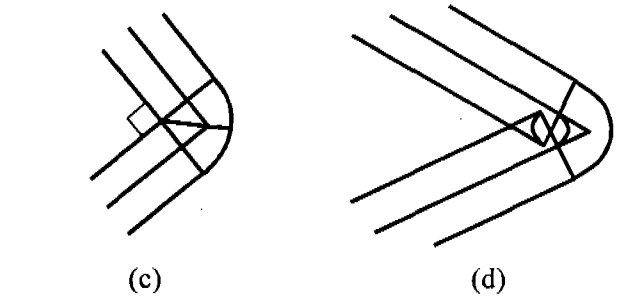


그림 3. 변형에 따른 모델의 변화

그림 3-(a)에서 완전히 편 상태에서 출발하여, (b)는  $\theta$  만큼 구부렸을 때의 상태이다. (c)는  $90^\circ$ 만큼 구부렸을 때의 상태이고, (d)는  $90^\circ$ 이상 구부렸을 때의 상태이다. (d)와 같이  $90^\circ$ 를 넘어가면 바깥쪽은 계속 구부러짐을 수행하지만 안쪽은 반대로 구부러짐을 수행

한다. 그러나, 안쪽의 이러한 역전은 외부의 관절과 분절의 모델에 가려서 안보이므로 큰 문제가 되지 않는다.

그림 3에서 보인 변형에 관한 식은 그림 2-(a)에 관련된 Barr가 제시한 구부러짐에 관한 식과 유사하지만 약간 다른 형태를 갖는데 다음과 같다.

$$(X, Y, Z) = ((x+r) \cdot \cos(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{y}{q} \cdot \frac{2\pi-2\theta}{\pi}) - p, (x+r) \cdot \sin(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{y}{q} \cdot \frac{2\pi-2\theta}{\pi}) - p, z) \quad (\text{E})$$

$$p = \frac{q}{\cos \frac{\theta}{2}}, \quad r = q \tan \frac{\theta}{2}$$

위식에서  $q$ 는 변형될 공간의 범위를 나타내고,  $p$ 는 변형에 따른 변형 중심의 이동에 관계한다. 그리고,  $\theta$ 는 구부러짐을 위한 관절각도를 나타낸다. 표현할 수 있는  $\theta$ 의 범위는 다음과 같다.

$$-\pi < \theta < 0, \quad 0 < \theta < \pi$$

$\theta$ 가 0이 되는 경우  $p$ 의 값이 무한대가 되어 정의 될 수 없다.

그림 4는 이러한 구부러짐 변형을 팔과 다리에 적용한 예이다.



(a) 팔 구부러짐



(b) 다리 구부러짐

그림 4. 팔과 다리에 대한 구부러짐 변형

#### 4. 결론 및 향후 과제

공간을 구부러지게 하는 간단한 식을 사용하여 각 관절을 실시간으로 변형함에도 불구하고 매우 사실적으로 모델의 변형을 얻을 수 있었다.

신체를 이루는 뼈와 근육들을 정확히 고려치 않는 변형이기 때문에 약간의 어색한 형태를 갖는다. 즉, 관절의 바깥부분은 그림 4처럼 매우 완만하지 않고, 관절의 뼈 부분이 돌출되어 약간 불룩하게 튀어나온다. 이러한 약간의 어색함들은 변형을 가하는 영역을 수정하는 것으로 교정이 가능할 것으로 예상된다.

그림 4의 결과를 얻는 과정에서, 관절을 변형할 때 관절부분의 폴리곤에서 2.1절에서 언급한 폴리곤의 조밀도 부분에 대한 문제의 조짐을 보였다. 적은 폴리곤으로 이루어진 분신의 관절에서 일어날 수 있는 이러한 조밀도 문제 또한 앞으로 해결되어야 과제로 남아있다.

참고문헌

- [1] Alan, W., Mark W., "Advanced Animation and Rendering Techniques," Addison-Wesley, 1993
- [2] Barr, A.H., "Global and Local Deformation of Solid Primitives," Computer Graphics, 18(3), 21-30, 1984
- [3] Sederburg, T.W., "Free Form Deformation of Solid Geometric Models," Computer Graphics, 20(4), 189-96, 1987
- [4] Chadwick, J.E., Hauemann, D.R. and Parent, R.E., "Layered Construction for Deformable Animated Characters," Computer Graphics, 23(3), 243-52, 1989
- [5] Forsey, D.R., and Bartels, R.H., "Hierarchical B-spline Refinement," Computer Graphics, 22(4), 205-12, 1988
- [6] Reeves, W.T., "Simple Complex Facial Animation, State of the Art in Facial Animation," SIGGRAPH Course Notes 26, 1990
- [7] Coquillart, S., "Extended Free-Form Deformation: A Sculpturing Tool for 3D Geometric Modelling," Computer Graphics, 25(4), 23-7, 1991