

다관절체의 실시간 대화형 동작생성*

배희정¹, 백낙훈², 이종원³, 유관우⁴

¹경북대학교 컴퓨터공학과

²경북대학교 전자전기공학부

³KOG 소프트

Real Time Interactive Animation for Articulated Bodies

Heejung Bae¹, Nakhoon Baek², Won Lee³, Kyan Woo Ryu⁴

¹Department of Computer Engineering, Kyungpook National University

²Dept. of School of Electronic and Electrical Engineering, KNU

³KOG soft

요 약

게임이나 가상 현실에서의 대화형 처리에서는 다관절체의 동작 생성을 실시간에 비교적 사실적으로 처리되어야 할 필요성이 커지고 있다. 본 논문에서는 복잡한 계산이나 선형 시스템의 풀이 과정이 불필요한, 다관절체의 동작을 비교적 사실적으로 간단하고 빠르게 생성하는 방법을 제안한다. 이 방법은 다관절체의 동역학적 움직임과 기하학적 제약 조건들을 이용하여, 실제와 유사한 동작을 빠르게 생성할 수 있음을 보인다. 특히, 대화형 시스템에서는 사용자의 요구에 실시간으로 응답을 줄 수 있고, 환경을 설정하는 물리량들과 가상 공간의 환경 요인들을 다양하게 변화시키더라도 적용적으로 반응하는 안정적인 동작을 생성할 수 있다.

1. 서 론

가상 현실이나 게임 제작 분야에서는 대화형으로 동작을 생성해야 하는 경우가 빈번하다. 특히, 인체를 비롯한 다관절체의 동작 생성에 있어서는 사용자의 의도에 일치하는 동작을, 되도록 실시간으로 자동 생성할 필요성이 증가하고 있다.

동작의 생성 시에는 실제계의 물리 법칙을 적용하고, 이를 수치 해석 방법으로 해석함으로써 사실적인 동작을 생성하는 역학적 시뮬레이션 방법들이 주로 사용되고 있다[1][2]. 이러한 역학적 방법들은 사실적인 동작을 생성하지만, 내부적으로는 복잡한 선형 시스템의 풀이 과정이 필요하므로, 사용자와의 대화형 처리나 실시간 동작 생성에는 부적합하다는 단점을 가진다.

동작 생성에서의 효율성을 높이기 위하여 최근에는 절차적 방법(procedural approach)들이 연구되고 있다. 이 방법에서는 다관절체를 비롯한 여러 물체의 움직임을 실제 동작과 유사하게 보이면서도 빠르게 생성하기 위해서, 비교적 간단한 형태의 수식을 사용하여 계산량을 줄인다. 따라서, 대화형 시스템에서 실시간 동작 생성을 위한 현실적인 대안으로 여겨지며, 최근에는 이러한 방법들을 이용하여 로프나 스프링, 또는 다관절체의 동작 생성에 사용한 예들이 제시되고 있다[3][4].

본 논문에서는 사용자의 의도에 따른 인체의 동작을 빠르게 생성하는 절차적 방법을 다룬다. 먼저, 간략화된 인체 모형을 다관절체 형태로 모델링하고, 사용자의 작용에 따른 동작 생성을 실시간으로 처리하는 방법을 제시한다. 특히, 대화형 시스템에서 인체의 원하는 부분을 끌거나(drag) 특정한 부위를 흔들거나 할 때, 빠르고 안정적인 동작을 생성할 수 있다.

2. 절차적 방법

절차적 방법은 컴퓨터의 성능이 상대적으로 떨어졌던, 컴퓨터 그래픽스의 초기에는 중요한 페러다임들 중의 하나로 사용되었다. 절차적 방법에서는 간단한 수식이나 복잡한 형태의 산을 만들거나[5], 바다의 물결이나 파도를 생성하는[6] 것들이 가능함을 보였다. Perlin은 절차적 방법으로 다양한 3차원 텍스처를 만들 수 있음을 보였다[7].

최근에는 실시간 처리가 요구되는 대화형 시스템에서 다관절체의 동작을 생성하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 동작을 사실적으로 생성하기 위해서는 첫째, 세그먼트들의 기본 동작이 물리 법칙에 따라 생성되어야 하며, 둘째로 이들을 연결시키는 조인트들에서 운동학적 제약 조건을 만족시켜야 한다. 일반적으로 이러한 과정을 동시에 만족하는 해를 구하는 방법은 선형 시스템의 풀이나 최적화 과정을 필요로 한다. 반면에, 절차적인 방법에서는 위 두 조건을 단계적으로 나누어 각 조건을 별도로 처리하는 과정을 수행한다[4]. 즉, 물체의 기본적인 동작을 동역학에 의해 생성하는 update 단계와, 주어진 조인트 제약조건을 만족시키기 위하여 update 후 생성된 상태 값을 보정시켜 주는 adjust 단계로 구성된다. 본 논문에서는 이러한 절차적인 방법을 기본으로 사용자의 작용에 따른 인체의 동작생성을 다루고자 한다.

3. 인체 모형에의 적용

가상현실이나 게임 분야에서 대화형 동작 시스템은 인체의 동작을 사실적이면서도 실시간으로 처리해야 한다. 가상공간에 존재하는 인체 모형을 사실감 있게 보이기 위해 가장 중요한 요소는 실제 인체 모형과 유사한 행동 특성을 가지게 하는 것이다. 즉, 가상공간에서의 인체 모형은 사용자의 즉흥적이고 돌발적인 대화형 요구에 실제 인체 모

* 본 연구는 2000년도 두뇌한국21사업에 의하여 일부 지원되었습니다.

형과 유사하게 대처해야 한다.

본 연구에서는 대화형 시스템에서 사용할 수 있는 빠르고 현실적인 동작 생성 방법을 제안한다. 인체 모형은 물리적 속성을 가지는 다관절체로 모델링하고, 절차적 방법을 기본으로 동작을 생성한다. 절차적 방법의 적용에 있어서는 먼저, 세그먼트에 적용되는 외부 입력이나 환경에 따른 움직임을 생성하기 위한 update단계와 조인트에 가해지는 제약조건을 해결하여 현실적인 동작으로 생성하는 adjust 단계로 이루어진다.

특히, 제시하는 방법은 세그먼트의 제약조건을 속도나 가속도와 같은 물리적 요소에 의한 해법이 아니라, update 과정 후 나타난 관절의 위치와 방향(orientation) 정보를 이용하여 기하학적인 기법으로 해결한다.

3.1 모델

인체 모형은 강체로 근사된 세그먼트들이 서로 연결된 다관절체로 모델링 할 수 있으며, 세그먼트들을 연결하는 조인트에서는 관절의 자유도와 같은 운동학적 제약조건이 부여될 수 있다. 본 논문의 실험에서는 그림 1에 제시되어 있는, 간략화된 인체 모형을 사용하였다.

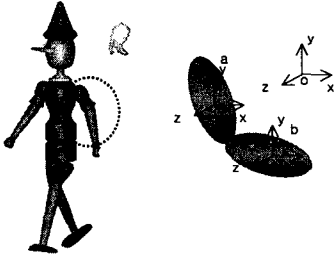


그림 1. 모델

이 모델은 다양한 자유도를 가지는 14개의 세그먼트로 구성되고, 각 세그먼트는 질량(mass)과 inertia tensor 등의 물리량과, 위치와 방향 등의 기하 정보를 가지게 한다.

3.2 동작

인체 모형을 이루는 각 세그먼트는 외부로부터의 힘에 의해 동역학적인 움직임을 보인다. 세그먼트들에 작용할 수 있는 힘들로는 사용자의 입력, 중력, 공기 저항, 충돌에 의한 반발력 등이 있다.

update 단계에서는 세그먼트들의 물리량을 이용하여 새로운 위치와 방향을 구한다. 이 때, 각 세그먼트들을 연결하는 조인트에 의한 제약 조건들은 고려하지 않으므로, 각각은 공간 상에 흩어지게 된다.

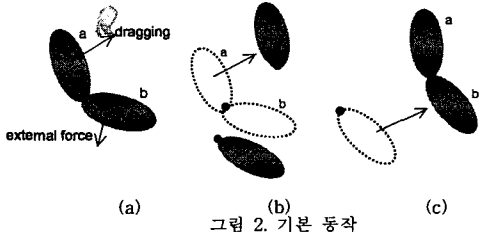


그림 2. 기본 동작

그림 2(a)의 세그먼트들은 update 단계에서 조인트에 의한 제약 조건을 고려하지 않기 때문에, 그림 2(b)에서와 같이, 제약 조건을 만족시키지

못하는 $x^{update}(t+\Delta t)$ 위치로 이동한다. 그림 2(c)에서와 같이, 조인트에 의한 제약 조건을 만족시키는 상태는 $x(t+\Delta t) = x^{update}(t+\Delta t) + \delta x$ 로 표현할 수 있다. 이 때, δx 는 update 과정의 수행 후에 발생하는 위치의 오류 값이다. 각 세그먼트들은 방향에 대해서도 같은 방식으로 $\delta \omega$ 의 오류 값을 가진다. adjust 단계에서는 이 오류 값들을 보정하여, 조인트의 제약 조건들을 만족시키는 위치와 방향을 계산한다.

3.3 제약 조건

현실감 있는 동작을 생성하기 위하여, update 단계 후에 조인트에서의 제약 조건을 처리해 주어야 한다. 본 논문에서는 각 세그먼트의 위치와 방향이 조인트들에서의 제약 조건을 만족시키도록 하기 위해, update 단계에서 독립적으로 동역학 법칙을 적용시켜 계산한, 각 세그먼트의 위치와 방향에 강제적인 평행 이동과 회전을 적용시킨다.

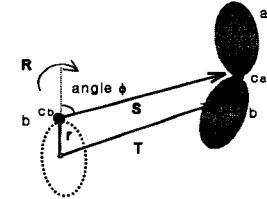


그림 3. 제약조건

그림 3에서와 같이, 세그먼트 a와 b가 조인트 c에 의해 연결되어 있고, 세그먼트 a의 위치는 고정되어 있다고 가정하자. update 단계를 수행한 후에는 세그먼트 a와 b가 서로 분리되어 있을 수 있고, 이 때, 각 세그먼트 상에서의 조인트 c의 위치를 각각 c_a, c_b 라 하자. 세그먼트 a는 고정되어 있다고 가정했으므로, 세그먼트 b에 강제 이동 및 강제 회전을 적용시켜 c_a 와 c_b 의 좌표가 일치하도록 함으로써, 조인트 c에 의한 제약 조건을 만족시킬 수 있다. update 단계 이후의 세그먼트 b의 중심점 위치를 x^{update} 라 하면, x^{update} 에서 c_b 까지의 벡터는 $r = c_b - x^{update}$ 로 표현할 수 있다. 또, c_a 와 c_b 간의 거리는 $s = c_a - c_b$ 로 계산된다. c_a 와 c_b 의 기하학적 관계로부터 강제 이동과 강제 회전의 결과는 다음의 관계식을 만족시켜야 한다.

$$r + s = R_{ab} \cdot r + T_{ab} \quad (1)$$

여기서, R_{ab} 와 T_{ab} 는 각각 세그먼트 b에 적용되어야 할 강제 회전 행렬과 강제 회전 벡터를 나타낸다.

강제 이동과 강제 회전은 update 단계에서 물리 법칙을 이용하여 계산된 각 세그먼트의 위치에 최소한의 변화만을 가져오는 것이 자연스럽다. 우선, 강제 회전 행렬은 s 와 r 로부터 회전축 A 와 회전각 θ 를 계산할 수 있다. 회전각을 최소화하기 위해, 회전축은 $A = \frac{r \times s}{|r \times s|}$ 로 설정하고, 회전각 θ 는 세그먼트 b의 각 운동량을 최소화함으로써 구할 수 있다. 강제이동을 유발시키는 가상의 힘 f 는 $f = m_b \cdot a = \frac{2m_b}{(\Delta t)^2} s$ 로 근사시킬 수 있고, 이 때, 각 운동량 r 와 $r = r \times f$ 의 관계를 가진다. 세그먼트 b의 moment of inertia, 각 가속도를 각각 I_b, a 라 하면, $r = I_b \cdot a$ 로 계산되어야 하고, 최

종적으로 각 가속도 α 는 다음과 같이 근사할 수 있다.

$$a = \frac{2m_b}{I_b(\Delta t)^2} r \cdot s \cdot \sin \phi \quad (2)$$

여기서, ϕ 는 r 과 s 가 이루는 각이다. 강제 회전에서 사용되는 회전각 θ 는 이제 각 가속도 α 로부터 설정되는데, θ 의 범위는 0에서 ϕ 사이이고, 그 변화는 다음의 조정 함수를 사용한다.

$$\theta = \phi \cdot e^{-\frac{h}{r}} \quad (3)$$

여기서, h 는 $\frac{2m_b}{I_b(\Delta t)^2}$ 이다. 식 (3)은 회전량을 부드럽게 변화시키며,

급격한 변화를 막아주는 역할을 하게 된다. 회전각 θ 는 r , s 의 크기가 증가함에 따라 ϕ 에 가까워지게 되며, r , s 가 아주 작은 값일 경우에는 0에 가까워진다. 또한, 세그먼트의 물리적인 속성을 나타내는 h 의 변화에 따라 회전의 변화 폭을 조정할 수 있다. 따라서, 강제회전 R_{ab} 는 기준축과 조정된 각으로부터 구해진다.

만일, 조인트에 연결되어 있는 세그먼트의 회전에 대한 제약방향이 나 제약각도가 있다면, update후 발생한 $\delta\omega$ 에 대한 다음의 처리과정이 더 필요하다. 제약이 가해진 회전방향 n , 각 제약 방향에 대한 허용 범위각 β 가 주어진다고 가정하자. 이 때, 강제회전에 다음의 제약 조건식들을 추가하여 처리해 주어야 한다.

$$\delta R_{ab}(A_k, \theta_k) = \delta\omega \cdot r_k \quad (1 \leq k \leq n) \quad (4)$$

$\delta\omega \cdot r_k$ 는 제약이 가해진 회전방향 r_k 에 적용된 회전량을 나타내므로, $R_{ab}(A_k, \theta_k)$ 로 나타낼 수 있다. 그리고, 제한각 β 가 $\beta = [\theta_{min}, \theta_{max}]$ 의 범위를 가진다면, $\theta_{min} \leq \theta_k \leq \theta_{max}$ 의 범위를 만족하지 않은 회전각도는 제거하도록 한다. 따라서, 회전에 대한 제약조건을 보정시켜 주는 $\delta R_{ab}(A_k, \theta_k)$ 를 강제회전 R_{ab} 에 추가하여 고려해 주어야 한다.

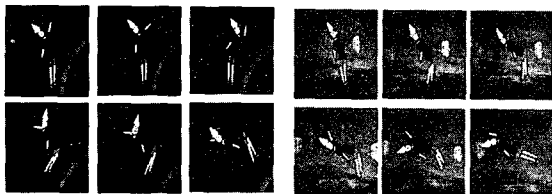
이제, 구해진 강제회전 R_{ab} 의 값을 이용하면, 이동하여야 하는 강제이동 T_{ab} 의 값은 다음 수식에서와 같이 구할 수 있다.

$$T_{ab} = (I - R_{ab}) \cdot r + s \quad (5)$$

여기서, I 는 3x3 단위 행렬을 나타낸다. 최종적으로는 구해진 강제이동과 강제회전의 값으로 조인트를 만족시키는 세그먼트 b의 위치와 방향을 보정할 수 있다.

3.4 실험 결과

본 연구의 실험을 위하여 인체 모형을 간략화시킨 피노키오 인형을 사용하였다. 피노키오의 동작은 사용자의 요구에 대한 수동적 반응과 능동적 반응으로 나타날 수 있다. 또한 가상공간의 환경설정에 따라 적응적으로 동작한다.



(a)수동적 동작의 예 (b)자발적 의지에 의한 반응
그림 4.예제

그림 4의 (a)와 (b)는 피노키오의 원하는 부분을 끌어당길 때 생성되는 애니메이션이다. 그림 4(a)는 피노키오에 설정된 물리량과 가상공간상

의 환경요인에 의해 생성된 수동적 반응을 나타낸 것이다. 환경요인은 가상공간에 설정된 중력, 공기저항, 수압 등의 값이다. 그림 4(b)는 설정된 환경요인에 의한 수동적 반응 뿐아니라, 사용자가 적용하는 외부 힘에 대한 자발적 의지를 반영한 능동적 반응을 나타낸 것이다.

특히, (b)에 적용된 자발적 동작은 당기는 힘과 방향에 대하여 반작용하는 움직임 특징으로 모델링할 수 있다. 본 실험에서는 이러한 저항하는 움직임 특징을 떨림동작으로 해석하여 아래와 같이 noise function을[8] 이용하여 동작을 생성하였다

$$center + noise(amplitude) * noise(frequency(time))$$

즉, 떨림 동작은 update 단계에서, 계산된 각 세그먼트의 위치 center에, 반작용하는 동작요소로 noise term을 더함으로써, 원래의 위치가 random하게 달라지도록 하여 물체가 마치 저항하는 듯한 느낌을 주도 록 한다. 동작의 요소는 불규칙적인 동작크기(amplitude)와 주기(frequency)를 가지는 일련의 동작으로, 동작의 크기는

$\sin \gamma \cdot e^{-x \cdot h}$ 의 계산 함수를, 반복 동작의 주기는 $\cos(\gamma \cdot t)$ 를 이용하여 생성한다. x 는 외부 작용힘이고, γ 는 외부 작용힘과 세그먼트의 변화속도의 곱으로 나타낸다. 떨림동작과 같은 불규칙적인 움직임을 생성하기 위하여 동작하고자 하는 세그먼트에 직관적으로 반영할 수 있어 간단한 제어를 할 수 있다.

4. 결론 및 토의

본 논문에서는 대화형 환경에서 사용하기 위한 빠르고 안정적인 동작 생성 알고리즘을 제시하였다. 제시하는 방법은 기존의 다관절체 시뮬레이션을 위한 속도기반의 복잡한 계산이나 선형 시스템의 풀이가 없이, 위치와 방향기반의 간단한 해법으로 빠르고 사실적인 동작을 자동 생성한다.

대화형 시스템에서 사용자의 요구에 따른 능동적 동작을 생성하게 하고, 가상환경의 물리적 요소에 적응적으로 동작하는 생성 방법을 제시하였다. 특히, 대화형 시스템에서 인체의 원하는 부분을 끌거나 특정한 부위를 흔들거나 할 때, 인체 동작의 자동생성에 유용하게 사용될 수 있음을 보인다.

제시된 방법은 사용자가 직접 조작할 수 있는 인형극 시스템이나, 동작 속의 인물을 가상공간에서 직접 동작시킬 수 있는 교육용 프로그램 등에서 직접적으로 사용될 수 있을 것이다. 앞으로는 음악과 같은 외부 입력에 반응하여 동작을 생성하도록 함으로써, 춤추는 동작 등의 자동 생성에도 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

[참고문헌]

- [1] D. Baraff and A. Witkin, *Physically Based Modeling*, SIGGRAPH'99 Course Note, 1999.
- [2] J. K. Hodgins, et al., "Animating human athletics", *SIGGRAPH'95*, pp.71-78, 1995.
- [3] R. Barzel, "Faking dynamics of ropes and springs", *IEEE CG&A*, 17(3):31-39, 1997.
- [4] J. W. Lee, et al., "A procedural approach to solving constraints of articulated bodies", *EuroGraphics 2000*, short presentations, pp.55-64, 2000.
- [5] R. L. Cook, "Stochastic sampling in computer graphics", *ACM TOG*, 5(1):51-72, 1986.
- [6] D. R. Peachey, "Modeling waves and surf", *SIGGRAPH'86*, 20:65-74, 1986.
- [7] K. Perlin, "An Image Synthesizer", *SIGGRAPH'85*, pp.287-296, 1985.
- [8] D. S. Ebert, et al., *Texturing and Modeling a Procedural Approach*, Academic Press, 1994.