

실시간 애니메이션을 위한 인체 동역학 모델

오병주*, 윤필현*, 김창희

*한남대학교 전자공학과, 한국원자력연구소 광/기전기술개발팀

Human Dynamic Model for Real-time Animation

Oh, Byung Joo, Kim, Chang Hoi

Dept. of Electronics Eng, Hannam University, (bjoh@eve.hannam.ac.kr)

Dept. of Optic/Mechatronics, Korea Atomic Energy Research Institute

요 약

컴퓨터 그래픽스 기술의 발전과 더불어 인체의 움직임을 사실적으로 구현하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 인체의 동역학적 특성을 고려한 실시간 애니메이션이 가능하도록 인체를 모델링하였다. 인체의 동역학적 특성을 해석하기 위하여 인체를 16 자유도를 갖는 강체(rigid body)로 가정하였으며 Branch 형태의 복잡한 기구학적 형상을 가진 인체를 5 개의 단순한 형태의 기구학적 연결체로 분할하여 모델링을 수행하였다. 이러한 동역학 모델은 단순히 기구학만을 이용하는 경우보다 사실적이면서도 실시간으로 애니메이션이 가능하다. 이와 같이 동역학적 모델을 사용하여 애니메이션을 수행할 경우 부가적인 장비를 사용하지 않고도 다양한 형태의 인간 움직임을 사실적으로 모사할 수 있다.

1. 서 론

인간은 인체의 움직임을 매우 예민하게 인식할 수 있다. 즉 멀리 떨어진 사람도 걸음의 형태만으로 누구 인지를 식별해 낼 수 있다. 이와 같이 민감한 인체의 움직임을 구현하기 위하여 실제 인간으로부터 동작 정보를 획득하고 이 정보를 토대로 애니메이션 시키는 방법이 상업적으로 많이 이용되고 있다. 이러한 동작 획득에 의한 방법은 복잡한 제어 알고리즘이 없이도 정교한 인체의 움직임을 용이하게 구현할 수 있다.

인간의 움직임을 구현하기 위한 다른 방법은 정교한 인체 모델을 이용하는 것이다. 실제인체를 기반으로 한 모델을 통하여 인간의 움직임을 애니메이션하기 위해서는 여러 요소들을 필요로 한다. 즉 기구학 및

동역학적으로 실제와 부합되어야 하고 또한 움직임이 자연스럽도록 제어되어야 한다. 이러한 모델 기반 애니메이션의 경우에는 동작획득 방법에 의하여 구현하기 어려운 여러 장점을 가지고 있다. 즉 적절한 제어 알고리즘을 적용할 경우 현실감을 가지면서도 실제 인간이 구현하기 어려운 여러 다른 동작을 구현할 수 있다. 또한 가상환경 내에서 주변환경과의 상호작용을 구현 시에 자연스런 동작을 사실적으로 구현할 수 있다.

인간의 움직임에 대한 연구는 로봇공학, 생체공학, 컴퓨터 공학 등 많은 분야에서 다양하게 연구가 수행되어 왔다.

Raibert는 1개의 신축형 다리를 가지는 평면형 장치로부터 2 또는 4 개의 다리를 가지는 3차원 장치에 이르기 까지 다양한 Dynamic Running Machines을 개발하였다[1,2]. Gregor 는 사이클 선수의 생체역학에 관한 연구를 수행하였고 Takei는 여자 체조 선수들의 경기에서 채점에 관련된 구르기와 같은 동작에 관한 연구를 수행하였다[3,4]. Bruderlin and Calvert는 인간의 걸음 동작을 생성하기 위하여 단순화된 동역학 모델과 제어 알고리즘을 제안하였다. 다리 모델은 정지 상태와 걸음 때의 2 자유도의 신축형 다리를 포함하고 있다. 발과 상체 및 팔의 동작은 인간의 동작과 유사하게 움직이도록 기구학적으로 구현하였다.

Pai는 인간의 상체와 다리에 대한 동역학 모델을 "걸을 때 지면과의 간격을 유지하라", "발을 들고 놓아라", "상체를 수직으로 유지하라" 등과 같은 고 수준의 언어로 프로그래밍하였다.

인체와 같이 복잡한 메카니즘의 움직임은 매우 복잡한 동역학을 포함하고 있어 고차 미분방정식으로 표현된다. 따라서 많은 미분방정식을 계산과정에서 실수

할 가능성이 많고 또한 해석적 방식으로 풀기가 현실적으로 불가능하다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위하여 대부분의 경우 메카니즘을 단순화시킨다. 인체의 다리를 역진추로 해석하고 몸통을 추의 기반으로 해석하는 경우이다. 그러나 이와 같은 단순화는 전체 시스템의 중요한 특성을 무시될 수 있어 매우 세심한 주의할 요구한다.

본 논문에서는 복잡한 인체 구조를 주요 동작 특성을 고려하여 인체구조를 단순화하여 이에 대한 동역학을 해석적 방법으로 모델링하였다.

2. 인체의 모델링

2.1. 인체 구조의 특징

인체의 움직임은 기계구조 측면에서 보면 시스템을 구성하고 있는 힘의 평형 상태의 변화의 결과로 해석할 수 있다. 즉 근육체의 장력의 재분배는 이전의 평형을 이루었던 힘과 자세의 평형을 변화시키고 이에 따른 순간적인 움직임이 이루어진다. 인간의 경우는 극히 복잡한 기구학 및 동력학적 체계를 갖고 있다. 인간의 거동을 구현하기 위해서는 약 350 개 이상의 근육체를 필요로 한다. 이러한 인체의 움직임을 효율적으로 해석하기 위해서는 전체 시스템을 적절하게 단순화하여야 한다. 또한 인체의 각 링크를 토크 발생기를 가진 강체로 해석하여야 한다. 기계 구조적 견지에서 인체 구조의 특징은 기구학적 복잡성이다. 즉 일반적인 매니플레이터와 같은 경우는 여러 개의 링크가 직렬로 연결되어 1 개의 기구학적 연결 고리를 갖고 있다. 이와 같은 매니플레이터의 동역학을 해석하는 방법은 여러 가지 방법이 제안되었다. 인체 구조는 여러 개의 기구학적 연결 사슬이 복합적으로 구성되어 있다. 이러한 구조의 동역학을 해석하기 위한 정형화된 방법은 제공되지 않고 있다.

2.2. 복합 기구학 구조물의 동역학 해석

여러 개의 기구학 사슬을 갖고 있는 구조물의 동역학을 해석하기 위해서는 일반적인 동역학 해석 방법이 아닌 각 가지가 상호 작용하는 힘과 모멘트에 대한 고려가 필요하다. 그림 1은 3 개의 링크로 구성된 평면 매니플레이터를 보여준다.

이와 같은 구조의 매니플레이터는 일반적인 직렬형태로 동역학을 해석할 수도 있고 복합 기구학 구조로 해석할 수 있다. 즉 $(i-1)$ 번째 링크에 i 번째 링크가 연결되고 i 번째 링크에 $(i+1)$ 번째 링크가 연결된 형태로 기구학을 해석할 수도 있으며, 또 다른 방법으로는 $(i-1)$ 번째 링크에 i 번째 링크가 연결되고 $(i-1)$ 번째

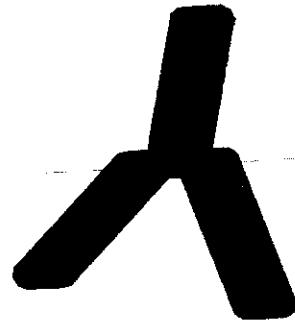


그림 1. 3 개의 링크로 구성된 평면 매니플레이터

Fig. 1 Planar manipulator with 3 links

링크에 $(i+1)$ 번째 링크가 연결된 형태로도 해석할 수 있다. 후자와 같은 경우는 복합기구학 사슬을 갖고 있다. 각 링크가 받는 힘과 모멘트는 다음 식과 같다.

1) $i+1$ 링크

$$F_{i,i+1} = F_{(i+1),(i+2)} + F_0^{i+1} \quad (1)$$

$$M_{i,(i+1)} = M_{(i+1),(i+2)} + P_{i+1}^* \times F_{(i+1),(i+2)} + (P_{(i+1)}^* + P_{(i+1)G}^*) \times F_0^{i+1} + M_0^{i+1} \quad (2)$$

2) i 링크

$$F_{(i-1),i} = F_{i,(i+1)} + F_0^i \quad (3)$$

$$M_{(i-1),i} = M_{i,(i+1)} + P_i^* \times F_{i,(i+1)} + (P_i^* + P_{iG}^*) \times F_0^i + M_0^i \quad (4)$$

3) $i-1$ 링크

$$F_{(i-2),(i-1)} = F_{(i-1),i} + F_0^{(i-1)} \quad (5)$$

$$M_{(i-2),(i-1)} = M_{(i-1),i} + P_{(i-1)}^* \times F_{(i-1),i} + (P_{(i-1)}^* + P_{(i-1)G}^*) \times F_0^{(i-1)} + M_0^{(i-1)} \quad (6)$$

식 (1)과 (3)를 식 (5)에 대입하면

$$\begin{aligned} F_{(i-2),(i-1)} &= F_{(i-1),i} + F_0^{(i-1)} \\ &= F_{i,(i+1)} + F_0^i + F_0^{(i-1)} \\ &= F_{(i+1),(i+2)} + F_0^{i+1} + F_0^i + F_0^{(i-1)} \end{aligned} \quad (7)$$

이다. 여기에서

$$\begin{aligned} F_{(i+1)}' &\equiv F_{(i+1),(i+2)} + F_0^{i+1} \\ F_i' &\equiv F_0^i \end{aligned} \quad (8)$$

으로 정의하면

$$F_{(i-2),(i-1)} = F_{(i+1)'} + F_i' \quad (9)$$

이다.

식(2)에 식(4)와 식(6)을 대입하면

$$\begin{aligned} M_{(i-2),(i-1)} &= P_{(i-1)'} \times F_{(i-1),i} + (P_{(i-1)'} + P_{(i-1)G}') \times F_0^{(i-1)'} \\ &\quad + M_0^{(i-1)'} + M_{(i-1),i} \\ &= P_{(i-1)'} \times F_{(i-1),i} + (P_{(i-1)'} + P_{(i-1)G}') \times F_0^{(i-1)'} + M_0^{(i-1)'} \\ &\quad + P_i' \times F_{i,(i+1)} + (P_i' + P_{iG}') \times F_0' + M_0' + M_{i,(i+1)} \end{aligned}$$

이다.

여기에서

$$M_i' \equiv P_i' \times F_{i,(i+1)} + (P_i' + P_{iG}') \times F_0' + M_0' \quad (10)$$

$$M_{i+1}' \equiv M_{i,(i+1)}$$

로 정의하면

$$M_{(i-2),(i-1)} = M_{i+1}' + M_i' \quad (11)$$

이다.

식(9)과 (11)에서 보여 주는 것처럼 (i-1) 번째 링크에서 받는 힘과 모멘트는 각 분지된 링크로부터 전달되어 오는 힘과 모멘트의 합으로 표현됨을 알 수 있다.

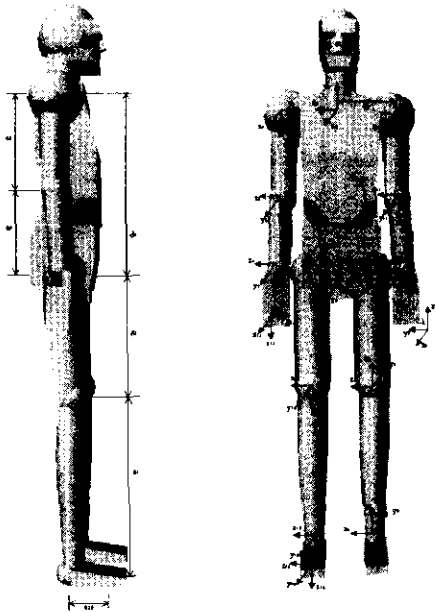


그림 2. 인체의 모델링
Fig. 2 Human body modelling

2.3 인체의 모델링

약 350 개의 근육체에 의하여 움직이는 인체를 모델

링하기 위해서는 인간 거동 구현에 영향을 미치는 주요한 요소만을 고려하여 모델링하여야 한다. 본 논문에서는 다리 부분을 4 개의 관절을 갖도록 모델링하였으며 2 자유도의 몸체 3 자유도의 팔로 구분하여 인체를 총 16 자유도를 갖는 강체로 간주하고 모델링을 수행하였다. 그림 3은 모델링된 인체의 좌표계 할당을 보여 주며 표 1은 할당된 좌표계에 대한 기구학 파라미터를 나타낸다.

표 1. 인체 모델 기구학 제원

Table 1. Human Model Kinematic Parameter

	d_i	$\theta_i(^{\circ})$	a_i	$\alpha_i(^{\circ})$	m_i
1. Right ankle pitch	0	0	a_1	0	m_1
2. Right knee pitch	0	0	a_2	90	m_2
3. Right hip yaw	0	0	0	-90	0
4. Right hip pitch	d_4	-90	0	0	0
5. Waist pitch	0	0	0	-90	0
6. Waist roll	d_6	0	0	90	m_6
7. Shoulder pitch	d_7	-90	0	-90	0
8. Shoulder yaw	0	0	a_8	90	m_8
9. Left elbow pitch	0	0	a_9	0	m_9
10. Shoulder pitch	$-d_7$	-90	0	-90	0
11. Shoulder yaw	0	0	a_8	90	m_8
12. Elbow pitch	0	0	a_9	0	m_9
13. Left hip pitch	d_4	-90	0	-90	0
14. Left hip yaw	0	0	a_2	90	m_2
15. Left knee pitch	0	0	a_3	0	m_1
16. Left ankle pitch	0	0	a_{16}	0	m_{16}

그림 3은 그림 2와 같이 설정된 좌표계에서 분지된 각 관절에서의 힘, 모멘트, 각속도, 가속도의 전달 관계를 블록도로 보여준다.

3. 시뮬레이션

16 개의 관절을 가지는 인체 모델의 동역학 모델의 타당성을 평가하는 것은 방대한 수식으로 인하여 불가능하다. 이러한 모델의 타당성을 입증하기 위해서는 인가된 토크에 의한 인체의 움직임을 시각화하여 실제 상황과 유사함을 입증하여야 한다. 인체 동역학 모델의 타당성을 확인하기 위하여 그림 4와 같이 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 인체 동역학 시뮬레이션에 필요한 각 관절의 위치, 속도, 가속도를 입력하여 입력된 데이터에 의한 인체 동작의 변화를 정면과 측면에서 관측할 수 있다.

그림 3. 링크 동역학의 전달

Fig. 3 Propagation of link dynamics

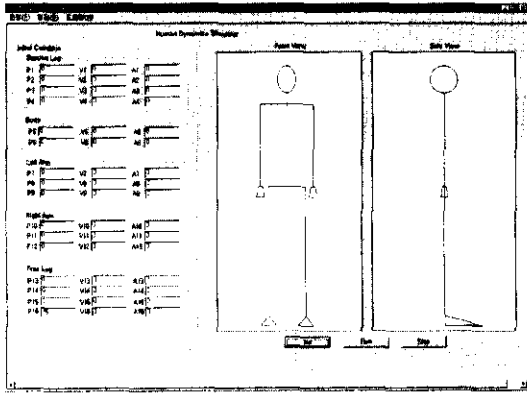
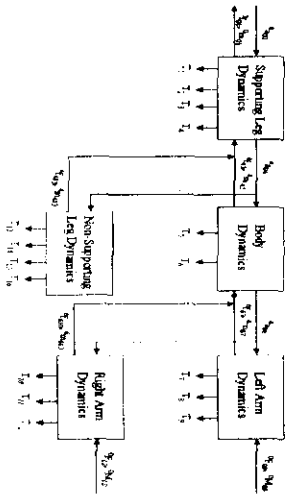


그림 4. 시뮬레이션 프로그램의 메뉴구성
Fig. 4. Menu configuration of simulation program

그림4와 같은 자세를 유지하기 위하여 디딤발의 hip-yaw 관절에 98.55 kgm의 토오르크를 받는 반면 자유상태 발의 hip-yaw 관절이 받는 토오르크는 0 이다. 이러한 결과는 중력과 수직방향으로 인간이 서있기 때문에 모든 관절은 0의 토오르크를 받으며 hip-yaw 관절의 경우는 몸체 중심과 다리와의 offset에 의한 영향에 의하여 토오르크를 받게 된다. 정지상태에서 팔을 앞으로 90도 회전하였을 경우에는 팔의 움직임에 기인하여 각 관절의 토오르크 값은 표 2와 같이 변화하게 된다.

표 2. 관절 토오르크

Table 2. Joint Torque

Joint No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
토오르크(Kgm)	-9.9	-9.9	98.5	9.9	-9.6	0	-9.6	0	-1.8

4. 결론

본 논문에서는 인체의 동력학적 특성을 고려한 실시간 애니메이션이 가능하도록 인체의 동력학을 모델링하였다. 복잡한 근육운동에 기인한 인체의 동력학적 특성을 효과적으로 해석하기 위하여 인체를 16 자유도를 갖는 강체로 가정하였다. 또한 기구학적으로 Branch 형태의 인체를 팔, 다리 몸통으로 5 개의 단순한 형태의 기구학적 연결체로 분할하여 모델링을 수행하였다. 실시간 애니메이션이 가능하기 위하여 collios 항은 무시하였으며 closed form 형태로 동력학을 해석하였다.

이와 같이 동력학적 모델을 사용하여 애니메이션을 수행할 경우 부가적인 장비를 사용하지 않고도 다양한 형태의 인간 움직임을 사실적으로 모사할 수 있다.

본 연구의 일부는 정보통신연구관리단의 대학기초연구 지원사업으로 이루어졌음

참고문헌

- [1] Hodgins, J. K. 1991, "Biped Gait Transitions," *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2092-2097.
- [2] Raivert, M. H., Hodgins, J. K. 1991, "Animation of Dynamic Legged Locomotion," *Proceedings of SIGGRAPH*, 349-356
- [3] Gregor, R. J., Broker, J. P., Ryan, M. M. 1991, "Biomechanics of Cycling," *Exercise and Sport Science Reviews*, Williams & Wilkins, Philadelphia, John Holloszy(ed), 19:127-169
- [4] Takei, Y., 1990. "Techniques Used by Elite Women Gymnasts Performing the Handspring Vault at the 1987 Pan American Games," *International Journals of Sports Biomechanics* 6:29-55