

# Minimal Sensors 를 이용한 관절체의 움직임 생성

이란희\*, 이칠우\*\*, 이인호\*

\*한국전자통신연구원 가상현실센터 모션정보팀

\*\*전남대학교 컴퓨터공학과

e-mail : [lrh62918@erti.re.kr](mailto:lrh62918@erti.re.kr)

## Motion Generation of Articulated Figure Using Minimal Sensors

Ran-Hee Lee\*, In-Ho Lee\*\*, Chil-Woo Lee\*

\*Motion Information Research Team Virtual Reality Center, ETRI

\*\*Dept. of Computer Engineering, Chonnam National University

### 요 약

본 논문에서는 7 개의 마그네틱 센서를 이용하여 가상 캐릭터의 자연스런 동작을 재현하는 애니메이션 알고리즘에 대해 기술한다. 이 방법의 특징은 인체 특징점의 위치와 방향정보를 Inverse Kinematics 이론에 적용하고, 이 특징점이 갖는 3 차원 벡터의 법선벡터를 이용하여 관절 방향을 표현하므로써 최소한의 센서로 진 인체의 동작을 재현할 수 있다는 점이다. 이 방법은 퍼스널 컴퓨터를 플랫폼으로 하는 단순한 모션 캡처 환경에서도 구현할 수 있으므로 애니메이션을 활용하는 각종 영상 응용 시스템 제작에 유용하게 쓰일 수 있다.

### 1. 서론

캐릭터 애니메이션 연구의 가장 중요한 목표는 애니메이션 대상에게 사실적이고 생명감이 넘치는 움직임을 부여하는 것이다. 그러나 사람이나 동물과 같이 다관절의 복잡한 구조를 지니고 다양한 동작 표현을 갖는 캐릭터에게 자연스러운 움직임을 재생한다는 것은 매우 어려운 일이다.

자연스러운 동작을 표현하기 위해 종래에 많이 쓰이던 방법으로는 키프레임(Key-frame) 방식이 있다. Key frame 방법은 그 원리가 매우 간단하여 간단한 그래픽 툴을 가지고도 애니메이션 제작이 가능하나 대부분의 과정이 수작업에 의해 이루어지기 때문에 제작시간이 많이 걸리고 작업자의 능력에 따라 표현 능력이 달라질 뿐만 아니라 미묘한 움직임의 경우 사실성(reality)이 떨어진다는 단점을 지니고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 들어 모션 캡처(motion capture) 기술이 개발되어 애니메이션 작업에 도입되었으며 상업용 광고와 영화를 비롯한 첨단 영상 작품의 제작에 있어서 가장 중요한 기술로 자리잡아가고 있다. 이 기술은 인체 또는 동물체의 몸에 센서를 직접 부착하여 모션 정보를 취득하기 때문에

거의 사실적인 움직임을 영상 속에 재현할 수 있으며, 한 번 얻어진 모션 데이터는 파일 형태로 저장이 가능하기 때문에 또 다른 응용에서 다양하게 재사용할 수 있다. 그러나 일반적으로 모션 캡처에 사용되는 장비는 매우 고가이어서 특정한 움직임에 대한 데이터를 개별적으로 얻기에는 경제적인 부담이 따르며, 고도의 기술이 필요하게 된다. 이러한 문제를 극복하기 위해 단편적인 모션 정보, 즉 motion segment를 결합하여 다이나믹한 환경 변화에도 적용이 가능한 모션 편집(motion editing) 방법이 개발되었다.

모션 조각(motion segment)을 사용자의 목표에 맞추어 가공하는 기술, 즉 모션 에디팅 기술은 크게 나누어 수치적 방법과 해석적 방법으로 나누어진다. 수치적 방법은 motion segment의 데이터를 입력으로 하여 동적방정식(dynamic equation)의 해를 구하는 것이기 때문에 매우 정확한 결과를 얻을 수는 있으나 계산량이 많고 복잡하며 경계치 문제를 해결하기 어렵다는 단점이 있다. 해석적인 방법은 사실모사를 위한 복잡한 계산을 하기보다는 캐릭터가 지니고 있는 기하학적 구조 특성 및 움직임 특성을 면밀히 관찰하여 주어진 모션데이터를 해석적으로 변형하여 최적의 모션을 재생하기 때문에 고자유도를 지닌 캐릭터의

실시간 애니메이션에 적합하다.

motion editing 의 구체적인 예로서 motion warping 을 이용하는 법[7], multi-target 보간을 이용하는 법[8], Fourier 변환을 이용하는 법, 선형보간을 이용하는 법[9] 등을 들 수 있다. 이러한 방법들은 캐릭터의 중요 부위 여러 곳에 부착한 센서로부터 취득한 모션 데이터, 즉 충분한 동작표현이 가능한 모션 데이터를 목적에 맞게 가공하는 것이다. 그러나 간단한 애니메이션 환경에서는 동작 표현에 필요한 충분한 데이터를 얻을 수 없으므로 최소한의 센서 데이터를 이용하여 보다 사실적인 모션 재현이 가능한 연구가 필요하다. 이와 관련하여 Badler 와 Hollick, Granieri 는 인체를 대상으로 머리와 양쪽 손, 허리에 부착한 4 개의 센서로 취득한 데이터만을 이용하여 애니메이션이 가능한 Jack 이라는 시스템을 제작하였다[1]. 이 시스템에서는 인체 상체를 4 개의 중요 포인트와 이들을 연결하는 관절로 모델링하고 이들 사이 각 관절의 움직임은 Inverse Kinematics 알고리즘을 사용하여 추정하였다. 이 방법은 상체만을 표현 대상으로 하였고 선형의 inverse kinematics 이론을 그대로 적용하였기 때문에 자연스런 애니메이션에는 부족한 점이 있으나 소수의 센서 데이터를 이용하여 복잡한 관절체의 움직임을 재현하였다는 점에서 매우 의미가 깊다. 이 방법을 개선한 연구로 Zhao 와 Badler 는 동작의 유연성을 표현하기 위해 nonlinear inverse kinematics 방법을 제안하였다[3]

본 논문에서는 최소한의 센서를 사용하여 사용자에 게 경제적, 기술적 부담을 줄이면서 인체 모든 부위의 사실적 동작 표현이 가능한 애니메이션 방법에 대해 기술한다. 인체 각 관절의 움직임을 캡처하기 위해 7 개의 센서를 사용하였고, 캡처된 모션 데이터와 인체 계층 구조간의 제약조건과 Inverse Kinematics 알고리즘을 이용하여 모션을 재생하였다. 이 방법은 장래에 모션캡처 기술이 PC 를 기반으로 하여 일반화될 경우를 상정하여 최소의 모션 데이터로 리얼리스틱한 움직임을 재현하는 것을 목표로 하고 있다.

본 논문의 2 절에서는 모션 데이터의 생성과 계층적 모델 표현 과정에 대해 기술하고, 3 절에서는 관절체의 애니메이션 생성 알고리즘, 그리고 4 절에서는 실험결과를 보인다. 마지막으로 5 절에서는 결론과 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

## 2. 모델 구조 및 모션데이터

본 논문에서 사용된 가상 캐릭터를 그림 1 에 보인다. 아울러 그림 속에는 인체 모션 데이터를 얻기 위해 사용된 센서의 위치를 표시하였다. 이 모델은 인체 애니메이션을 위해 널리 사용되는 계층 구조를 채택하여 어떤 관절이 움직였을 때 그 관절의 하위에 있는 모든 자식 관절들이 연동하여 움직이게 된다. 전체 모델의 움직임은 계층 구조를 갖는 관절의 위치와 회전각으로 표현되며 어떤 관절의 값이 변동되었을 때 그 자식이 되는 모든 관절의 위치와 회전각은 연속적인 매트릭스 계산에 의해 구해진다. 본 논문에서 사용되는 모션 데이터는 그림 1 에서 보는 바와

같이 hip, chest, head, left/right hand, left/right foot 에 부착된 7 개의 마그네틱 센서를 통하여 얻어진다. 이 데이터는 각 관절의 기준 점에 대한 3 차원 위치(x,y,z) 및 기준축에 대한 관절체의 회전각을 포함하고 있으며 초당 30 프레임 이상의 데이터의 취득이 가능하기 때문에 이를 캐릭터에 적용할 경우 충분한 동작 표현이 가능하다.

모션을 캡처 할 때에는 송신기의 마그네틱 필드가 철 등의 물체에 의해 영향을 받아 신호가 왜곡될 수 있으므로 실험실 주위 환경에 세심한 주의를 기울여야 한다. 또한 캡처된 데이터에는 센서 noise 가 포함되어 있어 원하지 않는 동작이 만들어 질 수 있기 때문에 필터링 과정을 거쳐야 하고, 왜곡되거나 유실되어 있는 데이터를 보정하여야 하며, 시스템에서 사용되는 가상 캐릭터와 실제 동작을 하는 액터 사이의 차이를 맞춰주는 보정 과정이 필요하다. 데이터의 원활한 취득을 위해 가상 캐릭터는 그림 1 에서 보여주듯이 차트자세를 기준자세로 하며, 센서 1 번에서 7 번까지의 데이터를 연속적으로 취득하여 하나의 파일로 작성한다.

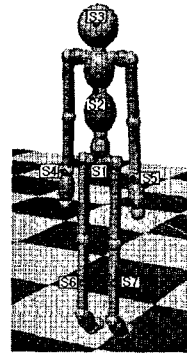


그림 1. 가상 캐릭터의 기준 자세 및 센서위치

## 3. Inverse Kinematics 에 의한 모션 생성

어떤 관절체의 동작 또는 자세는 그 관절체를 구성하는 각 관절의 위치와 관절의 회전각에 의해 결정된다. 각 관절은 앞에서 언급하였듯이 계층적으로 서로 연결되어야 하며 각 관절각은 신체 구조와 운동에 적합한 해부학적 각도를 제약조건으로 갖는다. 본 논문에서는 관절의 위치는 3 차원 벡터(three dimensional vector)를 이용하여 표현하고, 관절의 회전은 quaternion 을 이용하여 표현한다. 이하에 본 논문에서 제안하는 애니메이션 알고리즘과 제작된 시스템의 내용에 대해 순서에 따라 기술한다.

### 3.1 Calibration Process.

가상 세계에서 동작을 재현하는 캐릭터와 센서를 부착하여 모션 데이터를 제공하는 액터(actor) 사이에는 물리적인 크기와 구조에서 많은 상이점을 지니고 있다. 따라서 취득된 데이터를 그대로 캐릭터에 맵핑할 경우 부자연스런 애니메이션을 얻을 수 밖에 없다. 보다 정확한 움직임을 캐릭터에 재생하기 위해서는 두 오브젝트간의 차이를 줄이기 위한 보정 작업

이 반드시 필요하다.

가장 우선적으로 모션 데이터를 취득하기 위해 사용된 모션 캡처 장비가 가지고 있는 좌표계와 가상 공간상의 좌표계의 일치가 필요하다. 이를 위해 취득된 데이터를 가상공간의 원점을 기점으로 하는 데이터로 변환한다. 다음으로 액터와 가상 캐릭터의 각 관절들의 길이 차이에 대한 보정을 가한다.

3.2 캐릭터 애니메이션

1) 이동운동(translation)

위 과정을 통하여 얻어진 데이터를 캐릭터에게 직접 가하면 원하는 애니메이션을 구할 수 있다. 애니메이션은 캐릭터의 이동운동과 각 관절의 회전운동으로 나누어진다. 캐릭터의 이동운동은 전체 구조의 기준(root)이 되는 Hip의 위치 값을 변형 시킴에 의해 간단히 수행할 수 있다. 캐릭터는 계층적인 구조로 구성되어 있으므로 root가 이동되면 하위 계층에 있는 모든 관절들은 root를 따라 위치가 변하게 된다.

2) Calculation of Joint Angle

3차원 공간에서 캐릭터의 자세는 캐릭터 구조를 결정하는 관절의 회전각에 의해 결정된다. 캐릭터 전체의 위치가 translation에 의해 결정된 다음은 각 관절의 회전각을 계산하여 정해진 시간 내에 일정량을 선형적으로 변화시킴에 의해 다양한 움직임을 표현할 수 있다.

본 논문에서는 joint angle을 계산하기 위해 inverse kinematics 이론을 적용하였다. 이 방법은 공학적으로 manipulator의 기준 좌표계에 대한 End-effector의 위치와 자세가 주어질 경우 중간 관절의 회전각을 구하는데 주로 사용되었다. motion capture 장비로부터 얻어진 데이터는 기준점에 대한 손, 머리, 발의 위치와 방향 정보를 포함하고 있으므로 이 데이터를 이용하면 inverse kinematics에 의해 joint angle을 구할 수 있다. 그림 2와 같이 어떤 object가 상위 관절과 하위 관절로 이루어졌고 두 관절은 중간의 joint에 의해 결합되어 있다고 하자. 인간의 사지는 이러한 구조로 모델링이 가능하며 하위 관절의 끝 부분의 위치와 방향을 이용함으로써 중간 joint angle을 구할 수 있게 된다. 물론 joint의 자유도에 따라 계산이 복잡해질 수 있다. 본 논문에서는 End-effector, 즉 손, 발, 머리의 위치를 시간별로 입력하고, 이 End-effector의 축과 활동반경을 따라서 센서가 부착되지 않은 관절의 움직임을 구한다.

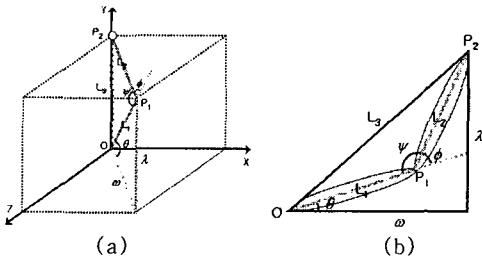


그림 2. 3차원 공간 내에서 하나의 joint와 두개의 segment로 구성되어 있는 관절의 모델링

그림 2에서 보는 바와 같이 상위 관절의 길이를  $L_1$ , 하위 관절의 길이를  $L_2$ , 상위관절의 기준점에서 하위관절의 끝점(end-effector)까지의 거리를  $L_3$ 라고 하자. 만약,  $L_3$ 이 상위 관절과 하위 관절의 길이를 합한  $L_1 + L_2$ 보다 크다면 중간 joint는 가능한 한도 내에서 반듯이 펴고 있는 상태가 된다. 이와 반대로,  $L_3$ 이 너무 작다면 중간 joint는 허용되는 범위 내에서 최대한 구부리고 있는 상태가 된다.

두 관절간의 joint angle  $\psi$ 는 식(1)로부터 구해 질 수 있다.

$$\psi = \arccos \left( \frac{L_1^2 + L_2^2 - L_3^2}{2 * L_1 * L_2} \right) \quad (1)$$

아울러 상위 관절의 기준축과의 사이각  $\theta$ 는 식(2)와 같이 구해진다.

$$\theta = \arctan \left( \frac{\lambda(L_2 * \cos \phi + L_1) - \omega(L_2 * \sin \phi)}{\omega(L_2 * \cos \phi + L_1) + \lambda(L_2 * \sin \phi)} \right) \quad (2)$$

또 상위관절과 하위관절 사이의 각은 식(3)과 같이 해부학적으로 허용이 가능한 범위 내에서 그 크기가 결정된다.

$$\phi = \psi \pm \text{anatomic angle} \quad (3)$$

예를 들어 팔의 경우를 고려해 보면 어깨의 위치(O)는 고정되어 있다고 가정하고 손목의 위치( $P_2$ )를 모션 데이터로부터 얻을 수 있다면 위의 식들에 의해 팔꿈치의 joint angle을 구할 수 있다. 이때  $P_2$ 는 액터의 동작에 의해 시시각각 변하게 되므로 각 시간별로 관절각  $\psi, \theta, \phi$ 를 구해서 가상공간의 캐릭터에게 매핑을 하면 팔의 움직임을 구할 수 있다. 모든 관절에 관절의 제약조건을 고려하면서 동일한 방법을 적용하면 전체 몸의 동작 표현이 가능하게 된다.

3) 오브젝트의 법선벡터 계산

위에서 설명한 방법을 사용하면 자유도가 1인 관절체의 joint angle을 쉽게 구할 수 있다. 그러나 팔꿈치와 같은 관절은 자유도가 1이지만, 상위 조인트의 구조 때문에 joint angle은 같으나 팔꿈치의 위치가 전혀 다른 경우가 발생한다. 위치 정보만을 이용할 경우 이런 문제를 해결할 수 없으나 센서가 부착된 부위의 방향 정보를 알면 이를 해결할 수 있다.

본 논문에서는 각 관절의 방향정보를 구하기 위해 벡터의 내적과 쿼터니언 표현을 이용한다. 주어진 두 개의 벡터 모두에 수직인 새로운 벡터를 생성하는 벡터의 내적성질을 이용하여 평면의 법선벡터를 구한다.

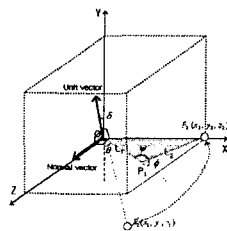


그림 3. Normal Vector 계산

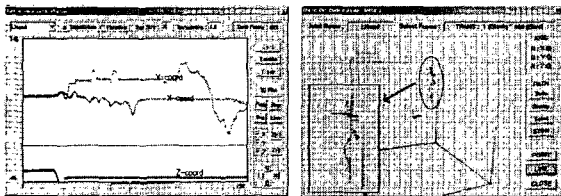
그림 3에서 보여지는 End-effector  $P_2$ 의 위치이동 즉,  $(x_1, y_1, z_1)$ 에서  $(x_2, y_2, z_2)$ 로 이동에 따른 joint angle  $\psi, \theta, \phi$ 가 구해졌을 때, 관절체의 기준벡터와 Y 축이 이루는 각도  $\delta$ 는 법선벡터와 Y 축과의 내적을 이용하여 벡터를 생성한다.

새로이 생성된 벡터에 의해 joint angle 을 적용하면 회전된 형태의 중간 관절의 방향과 위치를 구할 수 있으므로 위의 문제를 해결할 수 있게 된다.

4. 실험 및 결과

이상에서 기술한 내용을 기본으로 하는 시스템은 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 구현하였다. 퍼스널 컴퓨터의 성능은 CPU 클럭이 1Gbyte, operating system 은 Microsoft 사의 Window-2000 을, langue tool 은 MS Visual C++ 6.0 과 OpenGL 을 사용하였다. 그리고 PC 의 그래픽 성능을 향상 시키기 위해 그래픽 가속기 FireGL2 를 사용하였다. 또, 모션 데이터 취득 장비로 Ascension technology 사의 Motion Star Wired™ 를 사용하였고, 각 센서의 위치 데이터는 초당 30 프레임을 얻을 수 있다.

그림 4는 모션데이터의 position 좌표값인 X, Y, Z 각각에 대한 경로(a)와, 3 차원 공간상에서의 경로(b)를 나타내고 있다. 그림 5는 관절의 위치와 방향 정보를 나타내는 모션데이터를 Inverse Kinematics 이론에 적용하고, 이 특징점이 갖는 3 차원 벡터의 법선 벡터를 이용하여 관절 방향을 표현하므로써 생성된 a 모델의 움직임을 보여주고 있다.



(a)X,Y,Z translation (b)3D에서의 움직임 경로  
그림 4. 모션 데이터의 경로

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 최소한의 센서를 이용하여 자연스런 인간의 동작을 생성하는 알고리즘과 시스템에 대해 기술하였다. 이 방법은 최소한의 경비로 퍼스널 컴퓨터 환경에서도 쉽게 사용이 가능한 모션 캡처 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있으며 제안한 방법에 의해 7 개의 센서를 사용하면 인체 전체의 움직임을 표현할 수 있다. 아직은 자연스런 동작 표현에 있어서 약간의 개선할 점이 있으나 근본적인 알고리즘의 타당성은 확인하였다. 앞으로 이 알고리즘을 더욱 발전시켜 보다 단순한 환경에서도 인체의 보다 사실적인 애니메이션이 가능한 시스템을 제작할 예정이다.

앞으로의 연구 방향은 가상공간 내의 캐릭터 환경의 물리적 변화에 대한 각종 제약을 고려하고, 이 제약이 inverse kinematics 의 계산 과정에 미치는 영향

을 모델링하여 적응적이면서 보다 현실적이고 사실적인 동작 표현을 위한 애니메이션 알고리즘을 개발하는 것이다.

참고문헌

[1] N. Badler, M. Hollick, and J. Granieri. "Real-time control of a virtual human using minimal sensors.", Presence, 2(1): 82-86, 1993.  
 [2] D.Tolani and N.I.Badler. "Real-time inverse kinematics of the human arm", Presence, 5(4) : 393-401, 1996  
 [3] J. Zhao and N. Badler, "Inverse Kinematics positioning using nonlinear programming for highly articulated figures", ACM Transactions on Graphics, 13(4),313-316,1994  
 [4] Jehee Lee and Sung Yong Shin, "A Hierarchical Approach to Interactive Motion Editing for Human-like Figures", Proceedings of SIGGRAPH '99  
 [5] Vladimir M.Zatsiorsky, "Kinematics of Human Motion", 1998  
 [6] Donald Hearn, M.Pauline Baker, "Computer Graphics" Second Edition, 1997  
 [7] A.Witkin and Z.Popovic,"Motion warping",Computer Graphics(Proceedings of SOGGRAPH 95),29:105-108, August 1995  
 [8] C.Rose, M.F.Cohen and B.Bodenheimer, Verbs and Adverbs : Multidimensional motion interpolation, IEEE CG&A, 18(5):32-40 October 1998  
 [9] D.J.Wiley and K.Hahn."Interpolation synthesis for articulated figure motion". In Proceedings of IEEE Computer Society Press, 1997

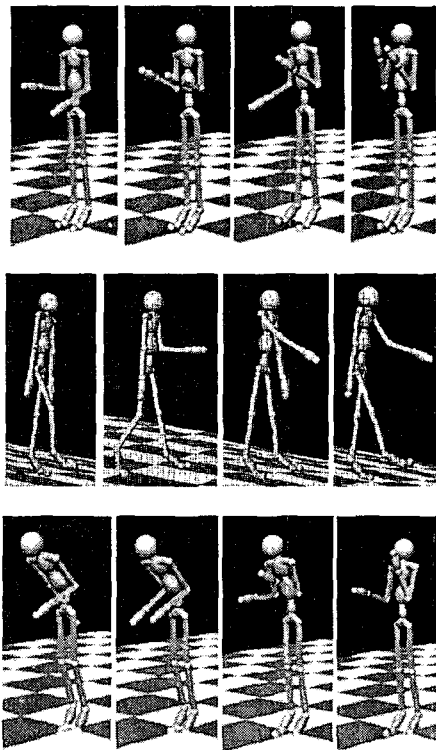


그림 5. 시스템 실행결과