

캐릭터 애니메이션을 위한 모션 데이터 보정

송경민, 이철우
전남대학교 컴퓨터공학과

Motion Curve Fitting for Character Animation

Kyung-Min Song, Chil-Woo Lee
Dept. of Computer engineering, Chonnam National University
E-mail : {kmsong, leecw}@image.chonnam.ac.kr

요 약

본 논문에서는 실세계에서의 사용자 동작을 가상 공간의 캐릭터를 통해 나타낼 수 있는 제어 방법에 대해 논한다. 사용자의 캐릭터는 스테레오 카메라 영상으로부터 얻어지는 5개의 3차원 좌표값을 이용하여 표현된다. 영상에서 구하는 3차원 좌표값은 노이즈를 포함하는 불안정한 데이터이므로 자연스럽게 부드럽게 변형할 수 있도록 프레임 내에서 보정 작업이 필요하다. 보정 후 안정된 위치 데이터는 신체 제약조건을 만족하는 범위에서 동역학(inverse kinematic)을 이용하여 관절각 데이터로 변형한다. 하지만 이 방법은 수학적 계산을 통해 나온 결과이기 때문에 때때로 사용자가 원하지 않는 동작을 만들어 내는 단점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위해 관절각 제약조건을 만족하는 데이터만으로 보간 작업을 한다.

1. 서론

컴퓨터 그래픽스(CG: Computer Graphics)에서 인간은 고전적인 주제중의 하나이다. 컴퓨터 그래픽스를 이용하여 인간을 표현하고, 움직이게 하기 위한 많은 시도가 있었다. 또한 인간의 컴퓨터 그래픽스 이전에 생물학이나 로보틱스(robotics) 등의 분야에서도 많은 연구가 진행되어 왔다. 하지만 인간의 구조적 복잡성으로 인해 자연스러운 결과를 얻기가 쉽지 않았다.

최근에는 가상 인물의 사실적인 애니메이션을 만들기 위해 동작 포착(motion capture) 기법이 널리 사용되고 있다. 동작 포착이란 사람의 몸에 센서(sensor)를 달아 동작 데이터(motion data)를 추출하는 기술로써 실제 사람의 움직임을 포착하므로 다양하고 사실적인 동작을 쉽게 얻어낼 수 있다. 이 방법을 사용하면 필요로 하는 움직임 또는 동작 데이터를 실시간으로 쉽게 얻을 수 있고 일단 취득된 데이터는 데이터베이스화하여 나중에 재사용할 수 있다.

모션 캡처 시스템의 종류로는 자기 센서를 이용한 자기식 모션 캡처 시스템(magnetic motion capture system)과 카메라와 반사 물질을 입힌 작은 구 모양

의 마커(marker)를 이용하여 캡처한 데이터에 후처리 과정이 필요한 광학식 모션 캡처 시스템(optical motion capture system)이 있다. 광학식 모션 캡처 시스템은 자기를 이용한 시스템보다 가격이 비싸고 모션 데이터를 생성하는데 많은 시간이 필요하다. 자기 모션 캡처 시스템은 외부적인 영향에 민감하다는 단점으로, 모션 캡처 작업시 데이터의 불균형을 일으키고 떨림 현상을 일으켜서 모션 캡처 데이터를 편집 수정(motion editing)해야 한다.

본 논문에서 이용한 모션 캡처 시스템은 교정(calibration)된 스테레오 카메라(stereo camera)의 영상에서 3차원 정보를 얻어내기 때문에 외부적인 영향에 민감하지 않고 가격이 저렴하면서 데이터 생성이 간단하다. 카메라를 이용하여 모션 데이터를 얻어내는 방법은 광학식 방식과 유사하나 마커를 이용하지 않는다는 점에서 기타적인 장비가 필요하지 않는 장점을 가지고 있다.

최근에는 편의성과 효율성을 높이기 위해 센서의 수를 줄이고 동시에 사용자의 동작을 정확히 표현하고자 하는 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 사용

자의 모습이나 동작을 표현하는데 필요한 최소한의 센서 개수에 대해 고려했을 때 5개의 센서로 표현할 수 있는 방법을 연구하였다. 여기서 5개의 센서는 머리, 왼손, 오른손, 왼발, 오른발에 해당하는 신체의 말단부(end-effector)에 해당한다. 머리는 이동(translation)에 대한 정보로 이용하고 손과 발의 정보는 신체의 특정 포즈를 취하는데 이용하였다. 물론 5개의 센서 정보로는 캐릭터가 사용자의 동작을 완전하게 표현해 내는데 턱없이 부족하기 때문에 복잡한 동작들로 구성된 모션을 필요로 하는 곳에는 이용할 수 없다. 하지만 간단하고 단순한 동작으로 사용자의 뜻을 전달하는 곳에는 이용이 가능할 것이다.

본 논문에서는 저렴한 모션 캡처 시스템을 도입하여 최소 개수의 3차원 정보로 구성된 모션 데이터를 이용하여 실제 사용자 동작을 가상 공간의 캐릭터를 통해 효과적으로 나타낼 수 있는 제어 방법에 대해 논한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 이용한 모델과 모션 데이터를 정의하고 3장에서는 스테레오 카메라에서 얻어진 영상으로부터 캡처한 입력 데이터를 보정하는 방법을 설명한다. 4장에서는 동역학(Inverse Kinematics)을 이용하여 위치 모션 데이터를 관절각 모션 데이터로 변형하는 방법을 기술하고, 5장에서는 실험 결과를 보인다.

2. 모델 및 모션 데이터 정의

2.1 인체 모델(Model) 정의

본 연구에서 쓰이는 인체 모델은 그림 1에서 보이는 바와 같이 회전을 고려하지 않고 x, y, z축 이동의 3자유도(DOF)를 갖는 root(머리)와 3자유도의 팔과 다리로 구성되어 있다. 전체적으로 보면 이 모델은 15자유도를 지닌 8개의 관절로 이루어진다.

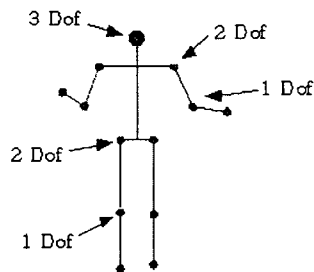


그림 1. 기본 인체 모델 구조

2.2 모션 데이터(Motion Data) 정의

사람의 모션(Motion)은 시간에 따른 곡선의 집합으로 표현할 수 있다. 사람의 신체를 다룰 때, 이러한 곡선들은 위치나 관절각에 해당한다. 모션 캡처 시스템은 일정한 시간 간격으로 위치나 관절각을 샘플링하여 이산적인 시간축 신호(temporal-time signal)로 바꾸는 것이다. 본 연구에서는 위치 모션 데이터를 입력으로 받아 관절각 모션 데이터로 변형한 후 모델에 매핑한다. 위치 모션 데이터와 관절각 모션 데이터의 정의는 다음과 같이 한다.

1) 위치(Position) 모션 데이터

교정(calibration)된 스테레오 카메라(stereo camera)[6]에서 얻어진 영상으로부터 캡처되는 데이터는 그림 2에서와 같이 신체의 말단부(end-effector)에 해당하는 부분으로 머리, 왼손, 오른손, 왼발, 오른발의 3차원 좌표값이다. 이들에 대한 구체적인 데이터를 열거하면 아래와 같다.

- HeadX, HeadY, HeadZ
- LeftHandX, LeftHandY, LeftHandZ
- RightHandX, RightHandY, RightHandZ
- LeftFootX, LeftFootY, LeftFootZ
- RightFootX, RightFootY, RightFootZ

2) 관절각(Joint Angle) 모션 데이터

머리를 제외한 손과 발의 좌표는 동역학(inverse kinematic)에 의해 그림 3에서 보이는 바와 같이 관절각(joint angle)으로 변형된다. 계산된 관절각 모션 데이터는 골격(skeleton) 기반 모델에 매핑된다. 이들에 대한 구체적인 데이터를 열거하면 아래와 같다.

- HeadX, HeadY, HeadZ
- L_Shoulder_Angle1, L_Shoulder_Angle2, L_Elbow_Angle
- R_Shoulder_Angle1, R_Shoulder_Angle2, R_Elbow_Angle
- L_Hip_Angle1, L_Hip_Angle2, L_Knee_Angle
- R_Hip_Angle1, R_Hip_Angle2, R_Knee_Angle

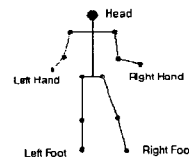


그림 2. 위치 모션 데이터

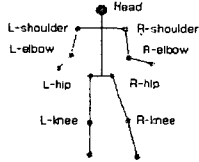


그림 3. 관절각 모션 데이터

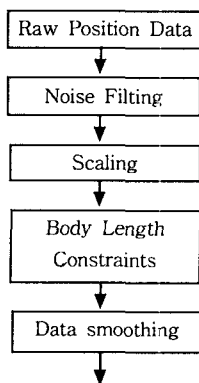


그림 4. 입력 데이터 보정 작업

3. 입력 데이터 보정(compensation) 작업

모션캡처 데이터가 실시간 동작에 사용될 때를 제외하고는 컴퓨터 애니메이션 시스템 내에서 수정, 보완되어야 한다. 여기서 입력 모션 데이터인 일련의 말단부 3차원 좌표값은 영상으로부터 얻어지기 때문에 불안정하고 노이즈를 많이 포함하고 있다. 이를 부드럽고 안정된 데이터로 만들기 위해 여러 보정 작업이 필요하다.

먼저 전체 궤도에서 거리 상 멀리 떨어진 점을 노이즈로 판단하고 이를 제거한다. 그리고 곡선 보정(curve fitting)을 위해 리샘플링(resampling)한 후 비스플라인(b-spline)을 적용하여 안정된 3차원 위치 모션 데이터를 얻어낸다.

3.1 노이즈 필터링(Noise filtering)

필터링(Filtering) 작업은 부드러운 결과를 얻기 위해 모션 커브(motion curve)에서 노이즈를 제거하는 것이다. 본 논문에서 이용하는 모션 캡처 데이터는 영상으로부터 얻어지기 때문에, 아무리 정확하게 캡처한다고 해도 미소한 data의 흔들림은 계속 일어나게 된다. 미소한 흔들림은 키프레임(keyframe)에서의 데이터만을 가지고 비스플라인(b-spline)처리하면 어느 정도

보정이 보장되지만 무시할 수 없을 만큼 큰 흔들림은 제거해야 한다.

3.2 스케일링(Scaling)

액터(actor)의 모션을 가상공간의 캐릭터(character)에 매칭하기 전, 액터와 캐릭터 사이의 신체 사이즈를 고려해야 한다. 한 액터의 모션이 다양한 캐릭터에 매칭될 수도 있고, 여러 액터의 모션이 한 캐릭터에 매칭될 수도 있기 때문이다.

액터의 모션을 캐릭터 신체에 맞게 조정하기 위해 액터의 모션 중 가장 변화가 적은 Head 좌표 중 Y값을 기준으로 스케일 상수를 구한다. Head의 Y값은 액터의 키에 해당하는 값이고, 액터가 목과 허리를 굽히지 않는다는 제약사항을 두어 Head의 Y값 변화는 거의 없게 한다. 스케일 상수는 액터의 Head Y값과 캐릭터의 Head Y값의 비율값이다. 액터의 5개의 3차원 좌표값은 스케일 상수를 곱하여 캐릭터에 맞는 모션을 얻어낼 수 있다.

3.3 신체 길이 제약조건(Body length constraints)

캐릭터의 손과 발이 놓일 수 있는 신체 길이 제약조건에서 벗어난 모션 데이터는 무시되어야 한다. 하지만 5개의 말단부(end-effortor)를 가지고는 이 제약조건에서 벗어나는 값을 판단할 수 없다. 따라서 Head 좌표로부터 각 팔과 다리에 대한 원점인 어깨(Shoulder)와 엉덩이(Hip)의 좌표값을 추측하고 어깨(Shoulder)에서 손(Hand)까지, 엉덩이(Hip)에서 발(Foot)까지의 거리값으로 제약조건을 만족하는지 판단한다. 신체 제약조건을 식으로 표현하면 식(1)과 같다. $L_1 + L_2 > L$ 이면 신체제약조건을 벗어난 경우로 판단한다. L 은 어깨에서 손목까지의 거리이고, L_1 은 어깨에서 팔꿈치까지의 길이, L_2 는 팔꿈치에서 손목까지의 길이이다. 그림 5에서는 신체 길이 제약조건에 대한 예를 보여주고 있다. 그림 5-(a)는 L 이 $L_1 + L_2$ 보다 작아서 신체 길이 제약조건을 만족하는 경우이고, 그림 5-(b)는 L 이 $L_1 + L_2$ 보다 커서 제약조건을 만족하지 못하는 경우이다.

$$L_1 + L_2 \leq L \quad (1)$$

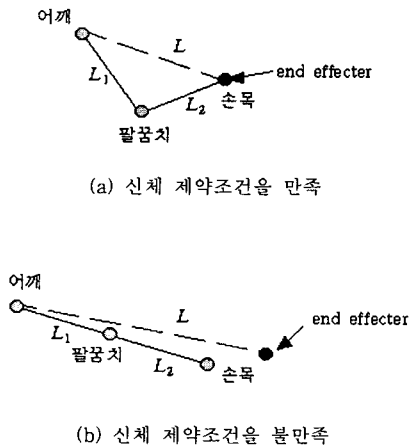


그림 5. 신체 제약조건에 대한 예

4. Inverse Kinematics를 이용한 관절각 계산

3장에서는 위치 모션 데이터의 보정 작업에 대해 논하였다. 보정 작업에 의해 얻어낸 부드러운 위치 모션 데이터는 캐릭터 생성에 필요한 관절각 모션 데이터로 변환을 해야한다. 위치 데이터만으로는 신체의 특정 포즈를 나타낼 수 없으므로 동역학(inverse kinematic)을 이용하여 관절각으로 바꾸고 그 정보를 이용하여 캐릭터를 생성하게 된다. 예를 들어, 팔의 경우 손목의 3차원 좌표가 주어졌을 때 동역학을 이용하여 팔의 각도와 팔꿈치의 각도를 알아낼 수가 있게 된다. 하지만 동역학 이론은 수학적 방법에 의해 구해지는 값에 불과하여 원하지 않는 결과가 나오기도 한다. 관절각 계산에서 에러가 난 부분을 제거하기 위해서 제약조건에 맞지 않는 데이터를 무시해버린다거나 궤적에서 떨어진 데이터를 무시한 뒤 일정 간격으로 평균값 보간을 하기도 한다. 이런 방법을 이용하면 에러가 난 데이터는 제거할 수 있지만 모션의 사실적인 요소가 상실되기도 한다. 관절각을 계산하는데 제약조건에 맞지 않는 부분은 무시되기 때문에 그 사이를 채워주기 위해 비스플라인(b-spline) 보간법을 이용한다.

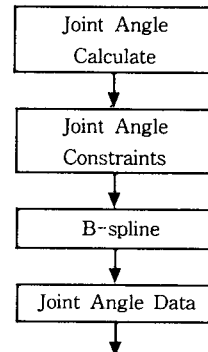


그림 6. 관절각 데이터를 만드는 과정

4.1 관절각 계산

여기서는 동역학 이론을 이용하여 위치 모션 데이터를 관절각 모션 데이터로 변환하는 방법에 대해 언급한다. 먼저 팔의 경우 위치 데이터를 가지고 관절각 데이터를 계산해 내는 방법에 대해서 알아보도록 하자. 그림 7은 캐릭터의 팔을 움직이는 관절각의 구성을 보여준다. 어깨의 관절각은 2자유도로 y축 회전(θ_1), z축 회전(θ_2)을 할 수 있고, 팔꿈치는 1자유도로 z축 회전(θ_3)을 한다. θ_1 , θ_2 , θ_3 구하는 수식은 아래의 식 (2), (3), (4)와 같다.

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (2)$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{\beta}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}\right) - \eta \quad (3)$$

$$\theta_3 = \pm \gamma \quad (4)$$

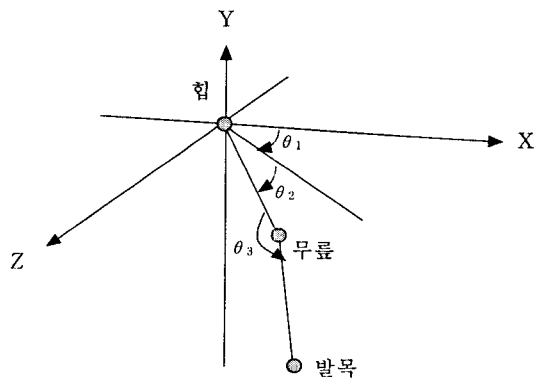


그림 7. 관절각으로 구성된 팔 구조

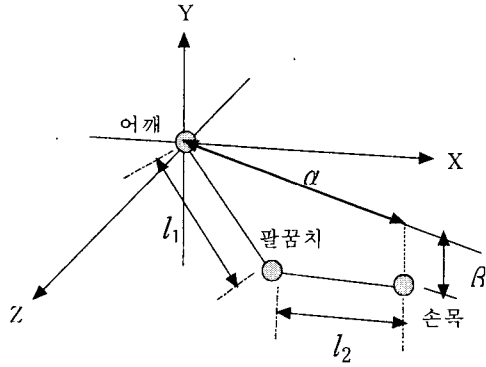


그림 8. 관절각 계산에 필요한 값들

식(3)과 (4)에서 α 는 xy 평면에 투영한 손목점과 어깨점 사이의 거리이고, β 는 손목점과 xy 평면 사이의 거리이다. 그리고 식(5), (6), (7)에서 l_1 은 어깨에서 팔꿈치까지의 길이이고, l_2 는 팔꿈치에서 손목까지의 길이이다. 그림 8에서 보는 바와 같이 α , β , l_1 , l_2 의 위치를 쉽게 알 수 있다.

$$\alpha = \frac{x}{\cos(\tan^{-1} \frac{y}{x})} \quad (5)$$

$$\beta = z - l_1 \quad (6)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{\alpha^2 + \beta^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \right) \quad (7)$$

$$\eta = \tan^{-1} \left(\frac{l_3 \sin \gamma}{l_2 + l_3 \cos \gamma} \right) \quad (8)$$

4.2 관절각 제약조건

신체의 구조에서 관절의 제약조건은 쉽게 구할 수 있다. 표 1에서 왼팔과 오른팔에 대한 어깨 관절각과 팔꿈치 관절각 제약조건을 정리하였다.

표 1. 관절각 제약조건

Left Arm	Right Arm
$-135 \leq \theta_1 \leq 45$	$-180 \leq \theta_1 \leq -45, 135 \leq \theta_1 \leq 180$
$-90 \leq \theta_2 \leq 90$	$-90 \leq \theta_2 \leq 90$
$0 \leq \theta_3 \leq 180$	$0 \leq \theta_3 \leq 180$

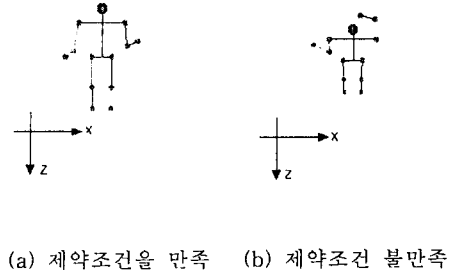
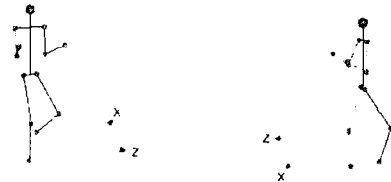


그림 9. 팔 관절각 제약조건



(a) 제약조건 만족 (b) 제약조건 불만족

그림 10. 다리 관절각 제약조건

그림 9는 팔 관절각 제약조건에 대한 예이다. 그림 9-(a)는 신체의 제약 조건을 적절히 만족한 결과로 왼쪽 팔과 오른쪽 팔의 포즈가 자연스러움을 볼 수 있다. 하지만 그림 9-(b)는 왼쪽팔의 θ_1 이 제약조건을 벗어난 것을 볼 수 있다.

다리에 대한 제약조건은 팔에 대한 제약조건과 거의 비슷하다. 단지 팔의 팔꿈치 관절은 안쪽으로 구부러지는 반면 다리의 무릎 관절은 바깥쪽으로 구부러지는 신체 구조로 θ_3 의 제약조건이 다르다. 그림 10-(a)는 다리에 대한 관절각 제약조건을 만족하는 포즈인 반면 그림 10-(b)는 θ_1 이 제약조건을 벗어난 포즈로 부자연스러움을 볼 수 있다.

4.3 관절각 데이터 보정 작업

시간에 따른 일련의 위치 모션 데이터를 관절각 모션 데이터로 변환하는데 이용하는 동역학 이론은 수학적 방법으로 원하지 않은 결과를 초래할 수도 있다. 이런 원하지 않는 결과는 캐릭터를 움직이는데 자연스러운 결과를 기대할 수가 없다.

먼저 계산된 일련의 관절각에서 제약조건을 만족하지 못하는 값은 제거한 후 일련의 관절각은 일정 간

격별로 평균을 낸 후 비스플라인(B-Spline)을 이용하여 부드럽게 연결한다.

5. 실험 결과

그림 11은 실세계 공간에서 사용자의 걷기 동작을 캡처하여 가상 공간의 캐릭터에 적용한 결과이다. 교정(calibration)된 스테레오 카메라 영상에서 캡처한 신체 말단부의 3차원 좌표값에 미소한 흔들림이 주류를 이루고 있지만 때때로 큰 흔들림이 일어났다. 큰 흔들림은 노이즈 제거 단계에서 없애고, 미소한 흔들림은 비스플라인(b-spline)을 적용하여 부드럽게 연결하였다.

신체 길이 제약조건을 만족하는 위치 데이터는 동역학(inverse kinematics)을 이용하여 관절각 데이터로 변형하였다. 하지만 계산된 관절각에서 제약조건에 맞지 않는 값을 제거하기 위해 일정간격별로 평균값을 구한 후 비스플라인 처리하였다.

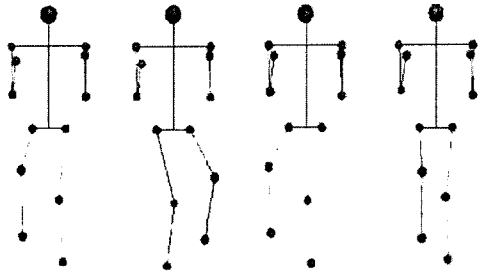


그림 11. 걷기(walking) 동작

[참고문헌]

- [1] Silva, F., Velho, L., Cavalcanti, P. and Gomes, J., "An Architecture for Motion Capture Based Animation". In *Processing of SIBGRAP'97, X Brazilian Symposium of Computer Graphics and Image Processing*, pp. 49-56, October 1997.
- [2] Sandra Sudarsky and Donald House, "Motion Capture Data Manipulation and Reuse via B-spline". In *Proceeding of CAPTECH'98*, 1998.
- [3] J. H. Lee and S. Y. Shin, "A hierarchical approach to interactive motion editing for human-like figures." *Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 99)*, to appear.
- [4] Gleicher, M., "Motion editing with space-time constraints", In Michael Cohen and David Zeltzer,

editors, *Proceedings 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics*, Apr. 1997, pp. 139-148.

[5] K. J. Choi and H. S. Ko, "On-line motion retargeting", *Proceedings of the International Pacific Graphics '99*, Seoul Korea, October, 5-7, 1999.

[6] 오재용, 이철우, "3차원 시각정보를 이용한 VR 인터페이스 구현", 한국통신학회 신호처리합동학술대회, 제 14권, 1호, pp.165-168, 2001.