

# End-Effector를 이용한 캐릭터 애니메이션

송경민<sup>o</sup> 이철우  
전남대학교 컴퓨터공학과  
{kmsong, leecw}@image.chonnam.ac.kr

## Character Animation using End-Effector

Kyung-Min Song<sup>o</sup> Chil-Woo Lee  
Dept. of Computer Engineering, Chonnam National University

### 요 약

본 논문에서는 실세계에서의 사용자 동작을 가상 공간의 캐릭터를 통해 나타낼 수 있는 제어 방법에 대해 논한다. 사용자의 캐릭터는 스테레오 카메라 영상으로부터 얻어지는 3차원 좌표값 5개를 이용하여 표현된다. 영상에서 구하는 3차원 좌표값은 노이즈가 들어있고 불안정하므로 자연스럽게 부드럽게 변형할 수 있도록 프레임 내에서 보간 작업이 필요하다. 안정된 데이터는 신체 제약조건을 만족하는 범위에서 inverse kinematic을 이용하여 joint angle을 계산한다. 하지만 이 방법은 수학적 계산을 통해 나온 결과이기 때문에 가끔 사용자가 원하지 않는 동작을 만들어 내는 단점을 극복해야 한다.

### 1. 서론

모션 캡처 시스템은 일정 시간 간격으로 position이나 joint angle을 샘플링한 discrete-time signal로 바꾸는 것이다. 본 논문에서는 이 샘플링된 data를 continuous-time curve로 재구성하기 위해 B-spline에 기반한 curve fitting 기술을 이용한다. 이 기술은 일련의 모션을 완벽하게 표현할 수 있을 뿐 아니라 모션을 편집하는데 이용되는 operator을 가능하게 해준다.

### 2. 정의

#### 2.1 모델 정의

본 연구에서 쓰이는 기본 모델의 root는 이동으로 3 자유도를 가지고, 한쪽 팔 또는 다리에 3 자유도로 이루어진다. 8개의 관절과 15 자유도를 가지는 우리의 모델은 그림 1과 같다.

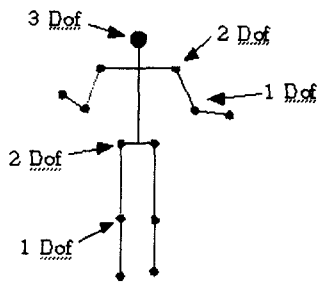


그림 1. Basic Model

#### 2.2 모션 정의

• Position  
칼리브레이션된 스테레오 카메라에서 얻어진 영상으로부터 캡처되는 정보는 사람의 말단부인 end-effector에 해당하는 부분으로 머리, 왼손, 오른손, 왼발, 오른발의 3차원 좌표값이다.

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

• Joint Angle

머리를 제외한 손과 발의 좌표는 Inverse Kinematic에 의해 joint angle이 계산된다. Joint Angle으로 이루어진 모션 데이터가 스펙레톤 기반 모델에 매핑된다.

- HeadX, HeadY, HeadZ
- Left\_Shoulder\_Angle1, Left\_Shoulder\_Angle2, Left\_Elbow\_Angle
- Right\_Shoulder\_Angle1, Right\_Shoulder\_Angle2, Right\_Elbow\_Angle
- Left\_Hip\_Angle1, Left\_Hip\_Angle2, Left\_Knee\_Angle
- Right\_Hip\_Angle1, Right\_Hip\_Angle2, Right\_Knee\_Angle

#### 3. 입력 데이터의 수정

입력 모션 데이터인 일련의 end-effector 3차원 좌표값들은 영상으로부터 얻어지기 때문에 불안정하고 노이즈가 매우 많다. 이를 부드럽고 안정된 상태로 만들기 위해 여러 작업이 필요하다.

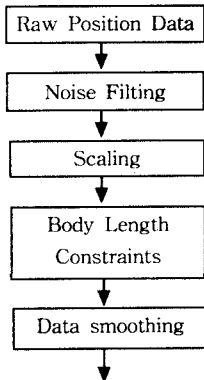
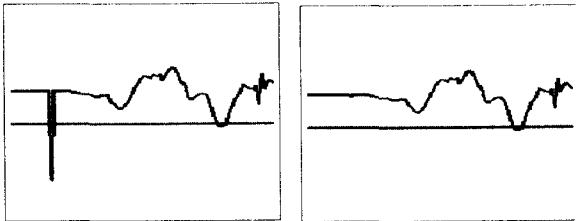


그림 2. 입력 데이터 수정 flowchart

• Noise Filtering

모션 캡처 데이터가 영상으로부터 얻어지기 때문에, 아무리 정확하게 캡처한다고 해도 미소한 data의 흔들림은 계속 일어나게 된다. 미소한 흔들림은 Keyframe에서의 data만을 가지고



(a) 모션 캡처 데이터 (b) Noise 제거 후 B-spline 처리

그림 3. Noise 제거 실험 결과

B-spline처리하면 어느정도 보정은 보장 되지만 무시할 수 없을 만큼 큰 흔들림은 제거하고 B-spline 처리한다. end-effector 들의 position error를 최소화시키는 것이 모든 joint에 대한 error를 최소화 하는 것보다 더 효과적이다.

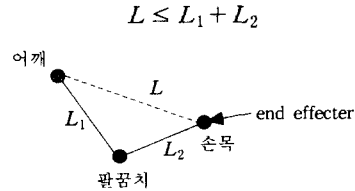
• Scaling

액터의 모션을 가상공간의 캐릭터에 매칭할 때, 액터와 캐릭터 사이의 신체 사이즈가 고려 되어야 한다. 한 액터의 모션이 다양한 캐릭터에 매칭될 수도 있고, 여러 액터의 모션이 한 캐릭터에 매칭될 수도 있기 때문이다.

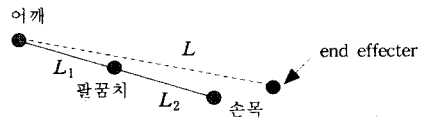
액터의 모션을 캐릭터의 몸에 맞게 조정하기 위해 액터의 모션 중 가장 변화가 적은 Head 좌표중 Y값을 기준으로 한다. Head의 Y값은 액터의 키에 해당하는 값이고, 액터가 목과 허리를 굽히지 않는다는 전제하에 Head의 Y값 변화는 거의 없어야 한다. 스케일 상수는 액터의 Head Y값을 캐릭터의 Head Y값이다. 우리는 5개의 3차원 좌표값을 스케일 상수로 나누어 캐릭터에 맞는 모션을 얻는다.

• Body length constraints

캐릭터의 손과 발이 놓일 수 있는 거리 제약조건에서 벗어난 모션 데이터는 무시되어야 한다. 하지만 5개의 end-efforters를 가지고는 이 제약조건에서 벗어나는 값을 판단할 수 없다. 여기서는 Head 좌표로부터 Left Shoulder, Right Shoulder, Left Hip, Right Hip 좌표값을 추측하고 Shoulder에서 Hand까지, Hip에서 Foot까지의 거리값을 가지고 판단하게 된다.



(a) 데이터가 제약조건을 만족하는 경우



(b) 데이터가 제약조건을 만족하지 못하는 경우

그림 4. Body length constraints 예

• Data smoothing

Body length constraints을 만족하지 못하는 data는 제거하고 B-spline을 이용하여 완전한 모션을 만들어낸다.

4. Joint Angle 계산

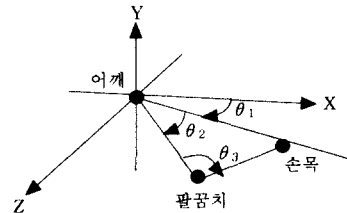


그림 5. Left Arm 구조

• Inverse Kinematic 계산량

우리는 전체 프레임에 대해서기 보다는 keyframe 에서만 inverse kinematic을 적용하여 joint angle을 계산한다.

• Joint angle constraints

사람의 신체적 조건으로 관절의 제약조건은 쉽게 구할 수 있다. 표1에서는 팔에 대한 joint angle의 제약조건을 보였지만 다리에 대한 제약조건도 똑같다.  $\theta_1$ 와  $\theta_2$ 는 각각 어깨의 y축

회전의 joint angle, z축 회전의 joint angle,  $\theta_3$ 는 팔꿈치 joint angle이다.

표 1. 관찰각 제약조건

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

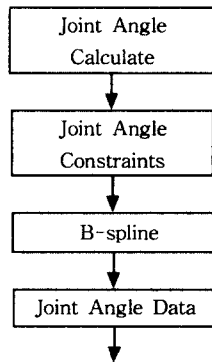


그림 6. Joint Angle 계산 flowchart

5. Curve Fitting and Noise reduction

시간  $t_i$  때 data값 을  $x_i$  쌍으로 하는 특정 자유도로 이루어진 point data의 집합을  $\{(x_0, t_0), \dots, (x_r, t_r)\}$ 이라고 하자.

우리는 spline curve  $Q(t) = \sum_{i=1}^n c_i B_{i,k,\tau}(t)$  을 보정하기 위해 최소 자승법을 이용한다.  $B_{i,k,\tau}$  는 knot  $\tau_i, \dots, \tau_{i+k}$ 을 가지고 차수  $k$  인  $i$  번째 B-spline basis function이고,  $c_i$  는 weight 상수이다. Curve fitting process 중에, weight factor  $\frac{1}{w_j+1}$  에 의해 약간의 모션 캡처 데이터 노이즈를 없앨 수 있다.

$$E = \sum_{j=0}^r \left( \frac{1}{w_j+1} (Q(t_j) - x_j) \right)^2$$

weight  $w_j$ 는  $t_j$  주변에서  $x_j$ 과 평균값사이에 차이값을 나타낸다. 이 차이값이 크면 클수록, 그 값이 fitting process에 미칠 영향력은 작아진다.

$$w_j = [x_{j-2}, x_{j+1}] - [x_{j-w}, x_{j+w-1}]$$

$[x_{j-a}, x_{j+b}] = \frac{\sum_{k=j-a}^{j+b} |x_{k+1} - x_k|}{1+b-a}$  이고,  $2*w_j$ 가  $t_j$ 을 기준으로 하는 window 너비이다.

6. 결 과

칼리브레이션 된 스테레오 카메라 영상에서 사람의 말단부인 end effector의 3차원 좌표값을 시간  $t$  에 대한 1차원으로 보았다. 미소한 흔들림이 주류를 이루고 있고 큰 오차는 드물게 나옴을 볼 수 있었다. 큰 error는 제거하고 미소한 흔들림은 b-spline을 적용시켜 부드럽게 연결시켰다. Position data은 Body Length 제약조건에 맞는 것만을 가지고 inverse kinematic에 의해 joint을 계산하였다. 하지만 joint angle이 제약조건에 맞지 않는 경우가 많아서 이를 극복하기 위해 curve fitting이 다시 한번 필요했다.

7. 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.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. Kwang-jin Choi and Hyeong-seok Ko, On-line motion retargeting, *Proceedings of the International Pacific Graphics '99*, Seoul Korea, October, 5-7, 1999.
6. Alan Watt, Mark Watt, "Advanced Animation and Rendering Techniques Theory and Practice", 1992.