

실시간 마커프리 모션캡처를 이용한 인체 동작 생성

이란희*, 김성은, 박창준, 이인호
ETRI 가상현실연구부

Motion Generation of Human Body using Real-time Marker-Free Motion Capture

Ran-Hee Lee, Sung-En Kim, Chang-Jun Park, In-Ho Lee
Virtual Reality Center, ETRI

요 약

본 논문에서는 실시간 마커프리 모션캡처 시스템으로 캡처된 동작자의 Root와 End-effector 위치 데이터를 이용하여 가상 캐릭터의 동작을 생성하는 방법에 대해 기술한다. 동작자의 신체 중심이 되는 Root와 머리, 손, 발과 같은 End-effector의 위치 데이터는 동작자의 전방 좌, 우에 위치한 동기화된 2대의 컬러 CCD 카메라를 이용하여 3차원 위치를 캡처한다. 영상으로부터 추출되지 않은 중간관절의 위치를 생성하기 위해 Root와 End-effector의 3차원 위치값들을 IK(Inverse Kinematics) 알고리즘에 적용하고, 생성된 위치값들에 다양한 신체의 제약조건을 고려하여 정밀하게 계산한다. 이러한 과정을 거치므로써 20개 관절의 위치값을 생성할 수 있으며, 생성된 관절의 위치값을 가상 캐릭터에 적용하므로써 캐릭터의 움직임을 실시간으로 생성할 수 있다.

1. 서론

멀티미디어 콘텐츠 분야에서는 사람의 행동을 보다 사실적이며 편리하게 표현하기 위한 많은 방법이 연구되고 있으며, 현재 가장 많이 이용되고 있는 방법으로 사람의 몸에 직접 마커나 센서를 부착하여 움직임을 기록하는 기술인 모션캡처(Motion Capture)가 있다. 그러나 이러한 모션캡처 방식은 신체에 부착된 마커나 센서로 인해 움직임에 많은 제약을 받는다. 그리고 캡처된 데이터를 캐릭터에 적용하기 위해서는 유실된 마커 정보나 노이즈에 대한 편집 과정과 같은 후처리 작업이 필요하다.

이러한 단점의 해소 방안으로 동작자 신체에

특별한 장치의 부착 없이 자유롭게 동작을 하면서 모션 데이터를 생성할 수 있는 방법으로 마커프리 모션캡처(Marker-free Motion Capture)가 있다. 이는 비전 시스템을 기반으로 동작자의 신체 특정부분의 움직임 정보를 추출해 내는 방법으로 상대적으로 정밀도가 떨어짐에도 불구하고, 동작자에게 장치 부착의 불편함과 행동에 제약을 주지 않는다는 이유에서 꾸준히 연구되고 있다.[3,4]

그러나 이러한 비전 시스템은 인체의 모든 관절에 대한 정보를 추출해 내는 데 한계를 가지고 있어 영상에서 추출된 정보를 이용하여 추출되지 않는 관절의 정보를 생성해 내기 위한 연구가 병행되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 연구의 일환으로 마커프리 모션캡처 시스템 “MIMIC(Motion Interface & Motion Information Capture System)” 내에서 사용된 영상에서 추출되지 않는 관절의 위치 추정과 추정된 위치정보를 이용하여 캐릭터 애니메이션을 생성하는 알고리즘에 대해 소개한다. [1,2] 2 절에서는 주위 환경의 영향으로 혹시 포함될 지 모르는 노이즈 제거 및 부드러운 동작을 생성하기 위한 필터링 과정을 기술한다. 3 절에서는 IK 이론과 관절의 제약조건을 적용하여 영상에서 추출되지 않는 관절의 위치를 추정하는 알고리즘에 대해 소개한다. 그리고 4 절에서는 20 개의 관절로 복원되어진 모션데이터를 가상 캐릭터에 적용한 결과를 보이고, 마지막으로 5 절에서는 결론과 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

2. NURB를 이용한 Filtering

본 논문에서 사용한 MIMIC 시스템은 동작자의 전방 좌,우에 위치한 2 대의 컬러 CCD 카메라를 이용하여 동작자의 동작을 캡처한다. 캡처된 스테레오 영상으로부터 2 차원 신체 부위(Root 와 왼쪽 손목, 오른쪽 손목, 왼쪽 발목, 오른쪽 발목, 머리와 같은 End-effector)를 검출하고 각 신체 부위의 3 차원 위치를 복원한다. 이렇게 생성된 Root 와 End-effector 의 3 차원 위치는 주위 환경에 의해 노이즈가 포함될 가능성을 내포하고 있다. 만약, 노이즈가 포함되어 있는 정보를 캐릭터에 적용하게 되면, 캐릭터는 거친 동작(jerky motion)을 생성하게 된다. 따라서, 노이즈 제거 및 부드러운 동작 생성을 위해 본 논문에서는 NURB 를 이용한 Filtering 처리를 한다. 매 프레임별 스테레오 영상으로부터 취득 되어진 Root 와 5 개 End-effector 각각의 3 차원 위치 $P_i(x, y, z)$ 를 제어점으로 하여 NURB 곡선 알고리즘에 적용한다. NURB 곡선상의 점 (x, y, z) 는 식(1)과 같이 계산된다.

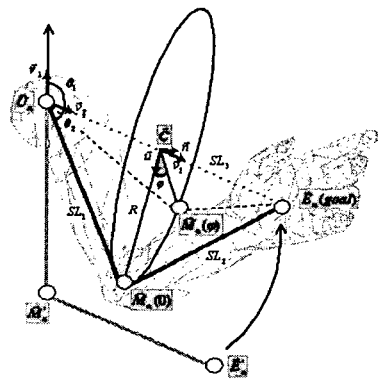
$$P(u) = \frac{\sum_{i=0}^n h_i P_i B_{i,k}(u)}{\sum_{i=0}^n h_i B_{i,k}(u)} \quad (0 \leq u \leq n - k + 2) \quad (1)$$

3. 중간관절의 3 차원 위치 추정

동작자의 동작을 캐릭터로 표현하기 위해서는 영상으로부터 복원되지 않는 중간 관절들의 3차원 위치를 생성해야 하며, 본 논문에서는 중간관절의 위치를 생성하기 위해 IK이론과 다양한 관절의 제약조건을 적용한다.

3.1 IK 기반의 위치 추정

동작자의 동작과 가장 유사한 동작을 생성하는 중간관절의 위치 생성을 위해, 영상으로부터 복원된 Root (\vec{K}) 과 End-effector ($\vec{E}_n, n=1\wedge 5$) 의 3 차원 위치정보와 각 관절을 연결하는 세그먼트 길이 정보 (SL_n) 를 이용하여 End-effector 의 축과 활동반경을 따라 중간 관절의 위치를 계산한다.



[그림 1] 중간관절의 위치 생성

그림 1에 보이는 것처럼, 두 관절 \vec{U}_n 과 \vec{E}_n 이 중간 관절 \vec{M}_n 에 의해 연결되어 있을 경우, 관절 \vec{U}_n 에서 \vec{M}_n 까지의 길이를 SL_1 , \vec{M}_n 에서 \vec{E}_n 까지의 길이를 SL_2 , \vec{U}_n 에서 \vec{E}_n 까지의 길이를 SL_3 으로 정의한다. 정의되어진 정보를 이용하여 중간관절의 3차원 위치를 추정하기 위해서는 다음과 같은 과정을 거치게 된다.

첫번째로, 중간 관절의 위치 데이터를 생성하기 위해 Y축과 벡터 \vec{v}_2 가 이루는 회전각 θ_1 과 관절 $\vec{U}_n, \vec{M}_n, \vec{E}_n$ 가 이루는 삼각형에서 관절 \vec{U}_n, \vec{M}_n 과 \vec{U}_n, \vec{E}_n 가 이루는 회전각 θ_2 를 계산한다.

회전각 θ_1 은 벡터의 내적을 이용하여 계산할 수 있으며, 회전각 θ_2 는 세그먼트 길이와 영상으로부터 계산된 End-effector E_n 의 위치를 이용하여 식(2)와 같이 구해진다.

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{SL_1^2 + SL_3^2 - SL_2^2}{2 * SL_1 * SL_3} \right) \quad (2)$$

두번째로, 계산된 회전각도와 평면의 법선벡터를 이용하여 중간관절의 3차원 위치를 추정한다.

예를 들어 팔의 움직임에서 손목의 위치가 고정되어 있다고 가정하면, 팔꿈치는 그림 1에 보이는 것처럼 팔꿈치가 그리는 원형의 호위에 위치 가능한 경우의 수가 무수히 많이 존재한다. 그러므로 가장 적합한 팔꿈치의 위치를 결정하기 위한 작업을 수행해야 한다.

Tolani는 Korein에 의해 체계화 된 관절 한계와 정확한 팔꿈치 움직임 호(arc)의 모든 집합의 교차점을 가지고 관절의 한계로서 야기된 팔꿈치 움직임의 제한을 유도하므로써 체계화된 방법을 바탕으로 보다 순수하게 대수학적인 방법으로 관절의 회전각도를 생성했다.[6,7] 본 논문에서 제안하는 방법도 Tolani에 의해 제안된 방식에 기반을 두고 수행된다. 그림 1에서 회전각 ϕ 는 팔꿈치의 평면상에 놓여진 원형의 호를 따라 움직인다. 먼저, 어깨 U_n 에서 손목 E_n 까지의 축에 평행한 원의 법선벡터 V_2 를 계산한다. 계산된 벡터 V_2 를 이용하여 원의 중심 C 와 이것의 반지름 R은 단순한 삼각법에 의해서 계산할 수 있다.

$$C = SL_1 \cos(\theta_2) V_2$$

$$Radius = SL_1 \sin(\theta_2) \quad (3)$$

더하여, 두개의 단위벡터 h 과 k 가 필요하다. 벡터 h 은 관절 U_n, M_n, E_n 가 이루는 삼각형에 수직인 벡터이고, 벡터 k 는 벡터 h 과 V_2 에 수직인 벡터이다. 두 벡터 h 과 k 는 벡터의 외적을 이용하여 계산되어진다. 생성된 단위 벡터들을 이용하여 팔꿈치 위치는 아래 식(4)에 의해 계산되어지며, 팔꿈치 관절의 한계가 되는 ϕ 의 값을 변화시킴으로써 팔꿈치가 위치 가능한 경우의 수를 한정 시킬 수 있다.

$$M_n(\phi) = U_n + C + Radius \times (\cos(\phi)h + \sin(\phi)k) \quad (4)$$

3.2 관절의 제약조건

한정된 경우의 수 중에서 가장 정밀한 위치를 선택하기 위해서 신체에 대한 제약조건을 적용한다. 첫번째는 인체의 해부학적인 관절의 회전 제한을 적용하고, 다음으로 자기 신체에 대한 충돌 체크를 하여 충돌이 되지 않는 위치들을 선택한다.

평면화 된 중간관절의 위치가 평면화 된 신체의 경계선 내에 위치하는지의 여부를 판단하므로써 자기 신체에 대한 충돌을 확인할 수 있다. 신체 경계선과 중간관절의 위치들에서 Z 좌표를 제외시켜 XY평면에 투영했다고 가정한 상태에서 신체 경계선으로 구성된 사각형의 내부가 어떤 방향인지 확인하는 하나의 기준으로 이용하기 위해 각 꼭짓점들의 중점을 계산한다.

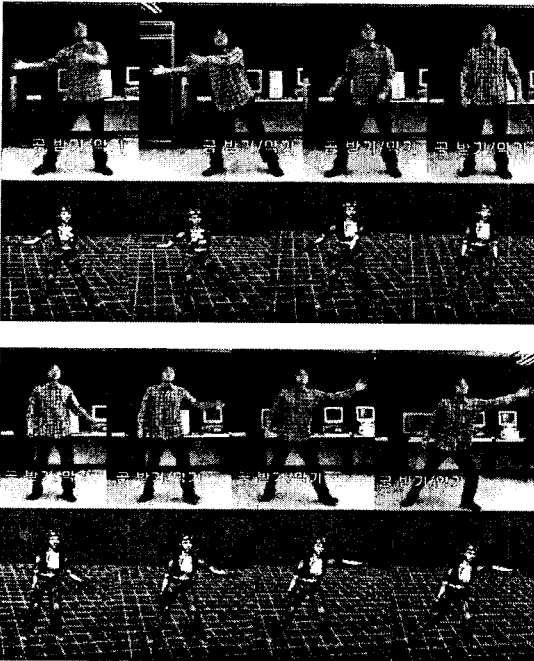
평면화 된 신체 경계 사각형의 두 꼭짓점에 대해서, 그 두 점을 지나는 각각의 직선의 방정식을 구한다. 계산된 직선 방정식과 중점을 이용하여 한 변의 어느 쪽이 사각형의 내부인지를 파악하고, 계산된 중간관절의 위치에 대해서도 위와 동일한 테스트를 하면, 중간관절 위치가 한 변에 대해서 사각형의 내부에 있는지 외부에 있는지를 알 수 있다. 이를 다른 변들에 대해서도 반복하면 결과적으로, 계산된 중간관절의 위치가 사각형의 내부에 포함되어 자기 신체에 대해 충돌이 일어나는지 그렇지 않은지를 확인할 수 있다.

이러한 제약조건을 만족하는 계산된 몇 개의 위치와 각 관절의 이전 프레임과의 상관관계를 고려하여 중간관절의 위치를 결정한다. 이와 같이 복원된 관절들의 위치를 가상 캐릭터에 적용하므로써 동작자의 동작과 유사한 동작을 표현할 수 있다.

4. 구현 및 고찰

본 시스템은 Pentium IV-2GHz 성능을 가지며 서로 네트워크로 연결되어 있는 하나의 서버와 두개의 클라이언트 부분으로 구성되어 있다. 시스템은 초당 평균 30 프레임의 처리 시간을 가지며, 이 속도는 서버와 2 대의 클라이언트가 모두 동기화 되어

동작할 때의 측정 결과이다. 동작을 캡처하기 위해 동일한 배경 하에서 동작자는 자신의 피부색과 구별되는 옷을 입어야 한다. 이러한 조건을 만족하는 복잡한 배경 하에서 신체 조건이 다른 여러 동작자에 대해 실험한 결과, 실시간으로 동작자의 동작과 유사한 가상 캐릭터의 동작을 생성할 수 있었다. 그림 2 는 동작자의 캡처된 데이터를 실시간으로 가상 캐릭터에 적용시켜 움직임을 생성한 결과를 보여주고 있다.



[그림 2] 캡처된 데이터의 동작 생성 결과

5. 결론

본 논문은 실시간 마커프리 모션캡처를 이용하여 인체 동작을 생성하는 방법을 제안하였다. 신체 조건이 다른 여러 동작자의 다양한 움직임에 대해 실험한 결과 배경의 복잡도에 관계없이 동작자의 Root 와 End-effector 를 검출하여 3 차원 위치 정보를 추출할 수 있다. 그리고 IK 를 기반으로 한 중간 관절의 위치 추정이 가능하므로 실시간에 동작자의 움직임을 가상 캐릭터에 적용하여 표현할 수 있으며, 또한 동작자의 움직임에 대한 20 개 관절의 모션 데이터를 생성할 수 있었다. 이 방법은

동작자가 마커나 센서의 부착으로 인한 동작에 제한을 받지 않고 동작을 정밀하게 캡처하여 캐릭터 애니메이션을 쉽게 생성 할 수 있는 모션캡처 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 현재 본 시스템은 동작자의 정확한 동작을 캡처하기 위해 개선해야 하는 사항이 있으나, 현재의 기술로서도 단순한 휴먼 인터페이스로 이용할 수 있으며, 실시간 모션 캡처가 가능한 것을 확인하였다.

또한 앞으로 이 기술을 발전시키면 휴먼 인터페이스를 위한 새로운 동작 인식기로도 사용가능하며, 또한 게임이나 애니메이션 분야와 같은 다양한 멀티미디어 분야에서도 이용 가능할 것으로 예상된다.

[참고문헌]

- [1] 김성은,이란희,박창준,이인호, “마커프리 모션캡처 시스템에 관한 연구 동향 및 미믹(MIMIC)구현”, Graphics Live 4 월호, pp.216-220
- [2] 이란희,박창준,김성은,이인호, “스테레오 영상을 이용한 가상 캐릭터의 실시간 동작 생성” 2002 정보처리추계학술발표 논문집, 9 권 2 호, 31-34, 2002.11 월
- [3] Pattie Maes, Bruce Blumberg, Trevor Darrell, and Alex Pentland, “The Alive System: Wireless, Full-body Interaction with Autonomous Agents”, ACM Multimedia Systems, 5:105-112, 1997
- [4] Christopher Wren, Ali Azarbayejani, Trevor Darrell, Alex Pentland, “Pfinder: Real-Time Tracking of the Human Body”, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No. 7, pp. 780-785, July 1997
- [5] N.Badler, M.Hollick and J.Granieri, “Real-time control of a virtual human using minimal sensors.”, Presence, 2(1):82-86, 1993
- [6] D.Tolani and N.I.Badler, “Real-time inverse kinematics of the human arm”, Presence, 5(4): 393-401, 1996
- [7] D.Tolani, Ambarish Goswami and N.I.Badler, “Real-time Kinematics techniques for anthropomorphic limbs”, Graphical Models, 62(5):353-388,2000