

스테레오 영상을 이용한 가상 캐릭터의 실시간 동작 생성

이란희, 김성은, 박창준, 이인호
*ETRI 가상현실연구부
e-mail : lrh62918@etri.re.kr

Real-time Motion Generation of Virtual Character using the Stereo Images

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

요 약

본 논문에서는 2 대의 카메라로부터 입력된 스테레오 영상을 이용하여 가상캐릭터의 동작을 실시간으로 생성하는 방법에 대해 기술한다. 이 시스템은 동작자의 움직임을 캡처하기 위해 동작자의 좌, 우 전방에 동기화된 2 대의 컬러 CCD 카메라를 위치시킨다. 카메라로부터 입력된 스테레오 영상을 분석하여 신체의 중심이 되는 루트와 머리, 손, 발과 같은 end-effector 의 2 차원 특징점을 추출하고, 추출된 특징점들은 카메라의 사영행렬과 추적 알고리즘을 통해 3 차원 위치를 생성한다.

생성된 루트와 end-effector 의 3 차원 위치정보는 노이즈 제거를 위한 필터링을 거친 후 역운동학 알고리즘에 적용하고, 인체 관절의 해부학적인 제약조건과 관절간의 상호 연관성 및 전 후 프레임간의 부드러운 연결 동작 생성을 고려하여 중간관절의 위치를 정밀하게 계산한다. 중간관절의 위치를 생성하므로써 임의 동작자의 움직임에 대한 모든 관절의 정보를 획득할 수 있으며, 획득된 동작 데이터를 가상 캐릭터에 적용하므로써 캐릭터의 움직임을 실시간으로 생성할 수 있다.

1. 서론

캐릭터 애니메이션 분야에서는 사람의 행동을 보다 사실적으로 표현하기 위한 많은 연구가 진행되어 오고 있다. 이러한 연구의 결과로서, 사람의 몸에 직접 마커나 센서를 부착하여 공간상의 움직임을 기록하는 기술인 모션캡처(Motion Capture)가 등장하였다.

모션캡처는 동작자 신체의 각 관절 위치에 마커나 센서를 부착하여 3 차원 공간상의 동작자의 움직임 정보를 취득하므로써 사람의 수작업으로 이루어지던 키프레임 작업 보다 사실적인 움직임을 재현할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

그러나 동작자는 신체에 부착된 센서나 마커로 인해 움직임에 많은 제약을 받게 된다. 그리고 캡처된 데이터를 캐릭터에 적용하기 위해서는 유실된 마커 정보나 노이즈에 대한 편집 과정이 필요하다.

이러한 단점의 해소 방안으로 동작자가 센서나 마커로부터 자유로워지면서 동작자의 동작에 대한 모

션 데이터를 생성할 수 있는 마커프리(Marker-free) 모션캡처 방법이 있다. 이는 비전 시스템을 이용해 동작자의 특정 부분의 움직임 정보를 추출해 내는 방법으로 상대적으로 정밀도가 떨어짐에도 불구하고, 동작자에게 장비 부착의 불편함과 행동에 제약을 주지 않는다는 이유에서 꾸준히 연구되고 있다.[5,6]

그러나 이러한 비전 시스템은 인체의 모든 관절에 대한 정보를 추출해 내는 데 한계를 가지고 있다. 그러므로 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.[1,2,3,4]

2 절에서는 영상으로부터 취득 되어진 3 차원 위치 정보의 노이즈 제거를 위해 NURB 를 이용한 필터링 과정을 기술한다. 3 절에서는 루트와 end-effector 의 3 차원 위치 데이터를 역운동학 이론에 적용하여 영상에서 추출되지 않는 관절의 위치를 추정하는 알고리즘에 대해 소개한다. 그리고 4 절에서는 생성된 루트와 end-effector 의 위치정보와 역운동학 이론에 의해 추정된 중간 관절의 위치정보를 캐릭터에 적용하므로써 생성되는 움직임 결과를 보이고, 마지막으로 5 절에서는 결론과 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

2. NURB 를 이용한 Filtering

MIMIC 은 그림 1 에 보이는 바와 같이 동작자의 전방 좌,우에 위치한 2 대의 컬러 CCD 카메라와 각 카메라와 연결되어 있는 2 대의 클라이언트 PC, 움직임 정보를 캐릭터에 적용하여 보여주기 위한 1 대의 서버 PC 로 구성되어 있다.

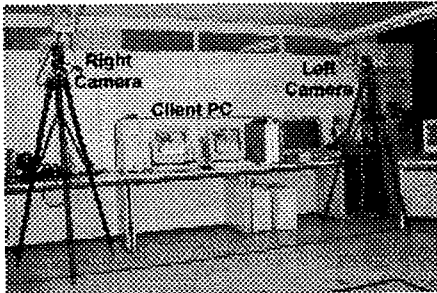


그림 1 "MIMIC" System

클라이언트에서는 입력된 영상을 분석하여 신체의 중심이 되는 중심점과 머리, 손, 발과 같은 신체의 특징점을 추출하여 서버에 전송한다. 서버에서는 입력된 2 차원 특징 정보를 이용하여 루트와 end-effector 의 3 차원 위치정보를 생성한다.

이렇게 생성된 3 차원 위치정보(x, y, z) 는 주위 환경에 의해 노이즈가 포함될 수 있다. 노이즈가 포함되어 있는 위치정보를 캐릭터에 적용하게 되면, 캐릭터는 거친 동작(jerky)을 생성하게 된다. 따라서, 이러한 노이즈를 제거하여 전 후 프레임간의 부드러운 동작을 생성하기 위한 Filtering 과정을 거쳐야 한다. 본 논문에서는 Filtering 처리를 위하여 NURB(Non-Uniform Rational B-spline)곡선을 이용한다. NURB 곡선식은 일반적인 B-spline 곡선식을 포함하는 더 일반적인 형태이다. B-spline 곡선에서는 곡선의 모양을 변화시키기 위해서 각각의 control point 의 좌표를 조절하지만, NURB 곡선에서는 호모지니어스 좌표값까지 포함하여 네 개의 자유도를 가지고 있다. 또한 B-spline 곡선은 원, 타원, 포물선, 쌍곡선등 원추 곡선을 근사하게 밖에 나타내지 못하지만, NURB 곡선은 이들 곡선을 정확하게 나타낼 수 있다. 따라서 NURB 곡선을 이용하므로써 작업량을 줄여 준다.

본 논문에서는 스테레오 영상으로부터 취득되어진 end-effector 6 개(Root, Head, Left hand, Right hand, Left

foot, Right foot)의 3 차원 위치정보 (x, y, z) 를 제어점으로 하여 NURB 곡선 알고리즘에 적용한다.

NURB 곡선상의 점 (x·h, y·h, z·h, h) 라 하면

$$x \cdot h = \sum_{i=0}^n (h_i \cdot x_i) B_{i,k}(u) \quad (1)$$

$$y \cdot h = \sum_{i=0}^n (h_i \cdot y_i) B_{i,k}(u) \quad (2)$$

$$z \cdot h = \sum_{i=0}^n (h_i \cdot z_i) B_{i,k}(u) \quad (3)$$

$$h = \sum_{i=0}^n h_i B_{i,k}(u) \quad (4)$$

NURB 곡선상의 점 (x, y, z) 좌표는 식(1),(2),(3)을 식(4)로 나누어 주면 되므로 NURB 곡선의 방정식은 다음과 같이 정의 된다.

$$P(u) = \frac{\sum_{i=0}^n h_i P_i B_{i,k}(u)}{\sum_{i=0}^n h_i B_{i,k}(u)} \quad (0 \leq u \leq n-k+2) \quad (5)$$

그림 2 는 영상으로부터 취득된 3 차원 위치정보와 Filtering 처리 후 3 차원 위치정보의 경로 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보여지듯이 노이즈가 포함되어진 부분이 부드러운 곡선으로 변화하는 것을 확인할 수 있다.

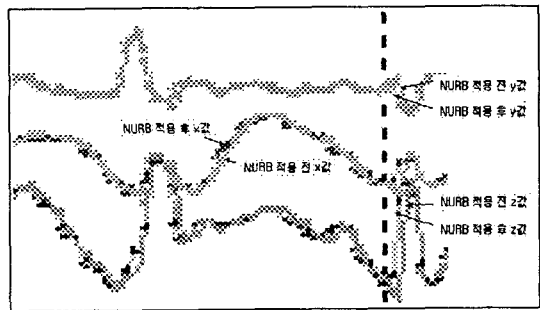


그림 2 NURB 곡선 적용에 따른 위치정보의 변화

3. 추출되지 않은 중간관절의 3 차원 위치 추정

추출되지 않은 팔꿈치, 무릎, 목과 같은 중간관절의 3 차원 위치를 추정하기 위해서 역운동학(Inverse Kinematics)이론을 기반으로 삼는다. 역운동학은 end-effector 의 위치를 입력으로 하여 각 관절의 회전값을 구하는데 주로 사용되었다.

중간관절의 위치를 추정하기 위해, 제공되어지는 정보는 영상으로부터 추정된 3 차원 위치정보와 각 관절을 연결하는 세그먼트 길이 정보이다.

본 논문에서는 영상으로부터 추출된 end-effector 의 3 차원 위치정보와 세그먼트 길이 정보를 입력으로 하여 end-effector 의 축과 활동반경을 따라 중간 관절의

위치를 계산한다.

본 시스템은 실시간으로 구현하기 위하여 다소 복잡한 동역학적 방법 대신 수학적 해를 통하여 쉽고 빠른 방법으로 구현한다.[7,8,9,10,11]

사람의 신체구조는 관절과 관절을 세그먼트들로 서로 연결되어 있다. 그리고 각 관절은 계층적 트리 구조를 이루는 상대 좌표계로 표현하는데, 이는 각 관절의 자세를 상위 부모 관절의 좌표계에 대한 상대적인 값으로 표시하는 것이다.

이와 같이 인체 구조가 계층적 트리 구조로 되어 있을 경우, 상위 관절의 회전 각도와 세그먼트의 길이를 안다면 하위 관절의 위치를 추정할 수 있다.

그림 3 에 보이는 것처럼, 어떤 object 가 상위 세그먼트와 하위 세그먼트로 이루어져있고 두 관절 J_0 과 J_2 는 중간 관절 J_1 에 의해 연결되어 있을 경우, L_1 은 상위 세그먼트의 길이를, L_2 는 하위 세그먼트의 길이를, L_3 은 상위관절의 기준점에서 하위관절의 끝점(end-effector)까지의 거리를 정의한다.

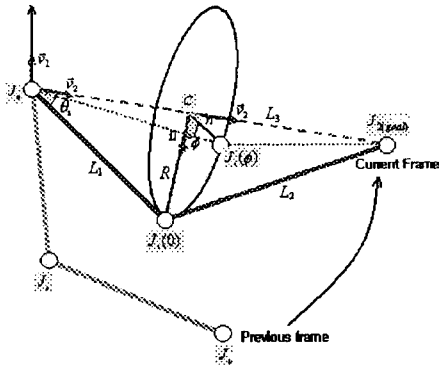


그림 3 2-link 역운동학

중간관절의 3 차원 위치를 추정하기 위해서는 3 단계 과정을 거치게 된다.

첫번째로, 원점(0,0,0)을 J_0 의 위치와 일치시키고, 중간 관절의 위치 데이터를 생성하기 위해 Y 축과 벡터 \vec{v}_2 가 이루는 회전각 θ_1 과 관절 J_0, J_1, J_2 가 이루는 삼각형에서 관절 $\overline{J_0 J_1}$ 과 $\overline{J_0 J_2}$ 가 이루는 회전각 θ_2 를 계산한다.

회전각 θ_1 은 벡터의 내적을 이용하여 계산할 수 있으며, 회전각 θ_2 는 세그먼트 길이와 영상으로 부터 계산된 end-effector J_2 의 위치정보를 제 2 코사인 법칙에 적용하므로 식(6)과 같이 구해진다.

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - L_3^2}{2 * L_1 * L_2} \right) \quad (6)$$

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

만약, 손목(wrist)이 고정되어 있다고 가정하면, 팔

꿈치(elbow)는 그림 3 에 보여지는 것처럼 원형의 호 위에 위치 가능한 경우의 수가 무수히 많이 존재한다. 그러므로 가장 적합한 팔꿈치의 위치를 결정하기 위한 작업을 수행해야 한다.

Tolani 는 Korein 에 의해 체계화 된 관절 한계와 정확한 팔꿈치 움직임 호(arc)의 모든 집합의 교차점을 가지고 관절의 한계로서 야기된 팔꿈치 움직임의 제한을 유도하므로 체계화된 방법을 바탕으로 보다 순수하게 대수학적인 방법으로 관절의 회전각도를 생성했다.[6,7]

본 논문에서 제안하는 방법도 Tolani 에 의해 제안된 방식에 기반을 두고 수행된다.

그림 3 에서 각도 ϕ 는 팔꿈치의 평면상에 놓여진 원형의 호를 따라 움직인다.

먼저, 어깨(J_0)에서 손목(J_2)까지의 축에 평행한 원의 법선벡터(normal vector) \vec{v}_2 를 식(7)과 같이 정의한다.

$$\vec{v}_2 = \frac{J_2 - J_0}{\|J_2 - J_0\|} \quad (7)$$

원의 중심 C 와 이것의 반지름 R 은 단순한 삼각법에 의해서 계산할 수 있다.

$$C = L_1 \cos(\theta_2) \vec{v}_2$$

$$Radius = L_1 \sin(\theta_2) \quad (8)$$

더하여, 평면상에 존재하는 두개의 단위벡터 \vec{n} 과 \vec{u} 를 구하여야 한다. \vec{n} 과 \vec{u} 는 원을 포함하는 평면을 위한 지역 좌표계(local coordinate system)의 형태이다.

벡터 \vec{n} 은 관절 J_0, J_1, J_2 가 이루는 삼각형에 수직인 벡터로서, 벡터 \vec{v}_1 과 \vec{v}_2 의 외적을 이용하여 계산하며, 벡터 \vec{u} 는 벡터 \vec{n} 과 \vec{v}_2 에 수직인 벡터로서, 벡터 \vec{n} 과 \vec{v}_2 의 외적을 이용하여 계산한다.

생성된 단위 벡터들을 이용하여 팔꿈치 위치는 아래 식(9)에 의해 계산되어진다.

팔꿈치 관절의 한계가 되는 ϕ 의 값을 변화시킴으로서 팔꿈치가 위치 가능한 경우의 수를 한정 시킬 수 있다.

$$J_1(\phi) = J_0 + C + Radius \times (\cos(\phi)\vec{u} + \sin(\phi)\vec{n}) \quad (9)$$

마지막으로, 관절 자체가 가지는 해부학적인 제약 조건과 각 관절들 간의 상호 연관성, 그리고 프레임과 프레임 사이에 부드러운 연결을 이루어야 하는 점을 고려하여 중간관절의 위치를 결정하여야 한다.

결과적으로, 영상으로부터 획득된 기준정보를 이용하여 구하여진 회전각도를 연속적인 매트릭스 연산을 하므로서 중간관절 J_1 의 위치를 추정할 수 있으며, 추정된 위치정보를 이용하여 관절의 움직임을 표현할 수 있다.

이때 end-effector 가 되는 관절 J_2 는 동작자의 동작에 의해 그 위치가 시시각각 변하게 되므로 관절의 제약조건을 고려하면서 각 시간에 따른 관절의 회전

각을 구하면 동작자의 움직임과 유사한 가상 캐릭터의 움직임을 표현할 수 있을 뿐만 아니라 동작자의 움직임에 대한 모션 데이터 생성이 가능하게 된다.

4. 실험결과

본 시스템은 Pentium IV-2GHz 성능을 가지는 하나의 서버와 두개의 클라이언트 부분으로 구성되어 있으며, operating system 은 Microsoft 사의 Windows2000 을, language tool 은 MS Visual C++ 6.0 과 OpenGL 을 사용하였다. 서버와 클라이언트는 네트워크로 서로 연결되어 있다. 그 결과, 시스템은 초당 평균 30 프레임의 처리 시간을 가지며, 이 속도는 서버와 2 대의 클라이언트가 모두 동기화 되어 동작할 때의 측정 결과이다.

동작자의 움직임을 캡처하기 위해서는 처음 시작할 때의 배경과 동작자가 동작을 하는 동안의 배경은 변화하지 않으며, 동작자는 자신의 피부색과 구별되는 옷을 입어야 한다. 이러한 조건 하에 우리는 복잡한 배경 하에서 신체 조건이 다른 여러 동작자에 대해 실험한 결과, 실시간으로 동작자의 신체 특징을 검출할 수 있으며, 또한 신체 특징점에 대한 3 차원 위치 정보를 생성하므로 서 동작자의 동작과 유사한 가상 캐릭터의 동작을 생성할 수 있었다.

그림 4 는 생성된 모션 데이터를 가상 캐릭터에 적용시켜 움직임을 생성한 결과로서 걷기동작과 공간을 이동하는 예를 보여주고 있다.

5. 결 론

본 논문은 스테레오 영상으로부터 추출된 정보와 역운동학 알고리즘을 이용하여 중간관절의 위치를 생성하기 위한 방법을 보여주었다.

실험결과에서 보여주듯이 신체 조건이 다른 여러 동작자에 대해 다양한 움직임에 대해 실험해 본 결과 배경의 복잡함에 관계없이 실시간으로 동작자의 루트와 end-effector 를 검출하여 3 차원 위치 정보를 추출할 수 있으며, 역운동학을 기반으로 한 중간 관절의 위치 추정이 가능하므로 실시간에 동작자의 움직임을 가상 캐릭터에 적용하여 표현할 수 있으며 또한 동작자의 움직임에 대한 모든 관절의 모션 데이터를 생성할 수 있었다.

이 방법은 일반 모션 캡처 방법의 단점을 해소하고, 최소한의 경비로서 사람의 움직임을 캡처 할 수 있으며, 가상캐릭터에 적용하여 움직임을 쉽게 생성 할 수 있는 모션 캡처 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 현재는 동작자의 정확한 동작 데이터 생성에 있어서 약간의 개선할 점이 있으나, 실시간으로 애니메이션을 생성하기에는 효율적임을 확인하였다.

앞으로 이 알고리즘을 더욱 발전시켜 단순한 환경에서도 사람의 움직임을 보다 정밀하게 추정할 수 있는 시스템으로 발전 시켜 나갈 예정이다.

또한 앞으로 이 기술을 발전시키면 기존 접촉식 모션캡처 인터페이스 장치의 단점을 해소 할 수 있으며, 휴먼 인터페이스를 위한 새로운 동작 인식기로도 사용가능하며, 또한 게임이나 애니메이션 분야와 같은

다양한 멀티미디어 분야에서도 이용 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] 이란희, 김성은, 박창준, 이인호, "영상 특징점을 이용한 IK 기반의 관절체 움직임 생성", 제 14 회 영상 처리 및 이해에 관한 워크샵, pp.255-258, 2002.1 월
- [2] 이란희, 김성은, 박창준, 이인호, "IK 기반 실시간 마커프리 모션캡처 시스템", 제 11 회 HCI2002 학술대회, 2002.2 월
- [3] 김성은, 이란희, 박창준, 이인호, "마커프리 모션캡처 시스템에 관한 연구 동향 및 미믹(MIMIC)구현", Graphics Live 4 월호, pp.216-220
- [4] 이란희, 박창준, 김성은, 이인호, "End-effector 의 위치정보를 이용한 중간관절의 실시간 위치생성" 2002 멀티미디어 추계학술발표 논문집, 5 권 1 호, 24-25, 2002.5 월
- [5] 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
- [6] 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
- [7] N.Badler, M.Hollick and J.Granieri, "Real-time control of a virtual human using minimal sensors.", *Presence*, 2(1):82-86, 1993
- [8] D.Tolani and N.I.Badler, "Real-time inverse kinematics of the human arm", *Presence*, 5(4): 393-401, 1996
- [9] D.Tolani, Ambarish Goswami and N.I.Badler, "Real-time Kinematics techniques for anthropomorphic limbs", *Graphical Models*, 62(5):353-388,2000
- [10] J. Zhao and N. Badler, "Inverse Kinematics positioning using nonlinear programming for highly articulated figures", *ACM Transactions on Graphics*, 13(4),313-316,1994
- [11] Vladimir M.Zatsiorsky, "Kinematics of Human Motion", 1998

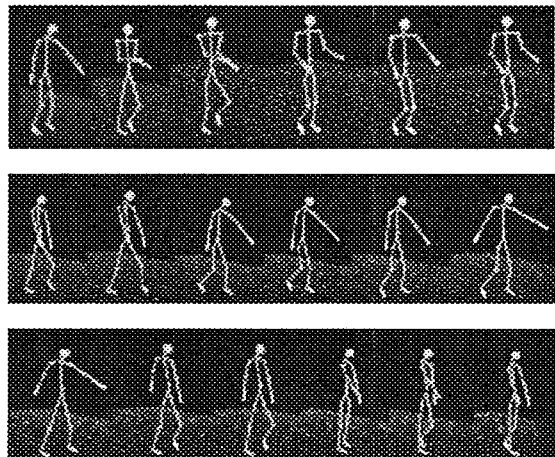


그림 4 캐릭터에 적용시킨 결과