

움직임 특성을 이용한 모션 캡처 데이터의 간략화 알고리즘

이광수, 황보택근
경원대학교 소프트웨어대학

Algorithm for Simplification of Motion Capture Data using Motion Property

Kwang-su Lee, Taeg-keun Whangbo
College of software, Kyungwon Univ

요 약

최근 유·무선 환경을 기반으로 하는 온라인 게임 및 메신저 서비스 등에서 아바타를 활용한 서비스가 증가하고 있으며 3D 아바타의 움직임을 표현하기 위한 3D 애니메이션에서는 사실적인 움직임을 표현하기 위해서 모션 캡처 데이터를 많이 사용하고 있다. 본 연구에서는 모션 캡처 데이터의 크기를 줄이기 위한 기법으로 모션 캡처 데이터를 움직임 특성에 대하여 분석하여 추출된 특징점을 이용하여 간략화하는 기법과 간략화된 모션 데이터를 본래의 데이터로 복원하는 기법을 제안한다.

1. 서론

최근 인터넷의 활성화에 따라 가상공간에서 실세계의 자신을 대신하는 아바타가 사람들에게 화제가 되고 있으며 아바타를 이용한 애니메이션은 인터넷의 속도 향상과 하드웨어의 발달로 인해 2D 애니메이션에서 3D 애니메이션으로 바뀌고 있는 추세이다.

컴퓨터 애니메이션 분야에서 인체와 관련된 연구로서 캐릭터 애니메이션에서부터 게임제작까지 자연스런 움직임을 표현하기 위하여 모션 캡처 기법을 사용하는 사례가 많이 있다. 컴퓨터 그래픽 애니메이션 기술은 제작 기술 방식에 따라 키 프레임(key frame) 애니메이션, 물리법칙과 일련의 규칙들을 기반으로 하는 시뮬레이션, 모션 캡처(motion capture) 애니메이션으로 분류할 수 있다. 이 중에서 모션 캡처 기술은 실세계의 캐릭터의 움직임을 포착하여 가상공간 상의 가상 캐릭터에 적용하는 동작 생성 기법중 하나로써, 다른 동작 생성 기법과는 다르게 실세계의 인체의 동작을 자연스럽게 재현할 수 있다는 장점을 가지고 있으며 대부분의 캡처된 모션 데이터는 각 동작별로 파일 형태로 저장되어 제공되어지고 있다.

모션 캡처 데이터에 대한 연구들을 살펴보면 특정 사람의 특정 동작을 모션 캡처한 데이터를 다양한 아

바타에 적용하였을 때 신체비율이 달라 생기는 동작의 차이를 해결하기 위한 동작 변환(motion retargetting)[1,4] 및 동작 변형(motion warping)[2,3]에 관한 연구가 많이 발표되고 있다.

최근 3D 아바타를 이용한 다양한 콘텐츠가 제작되어 유·무선 인터넷 환경에서 서비스가 되고 있으며 사용자가 서비스를 이용하기 위해서는 서버에서 PC 및 모바일 단말기 등으로 데이터를 전송받아야 한다. 현재까지는 대부분 적은 용량의 모션 데이터가 사용되고 있으나 대용량 모션 캡처 데이터를 유·무선 인터넷 환경에서 사용하기 위해서는 모션 캡처 데이터를 간략화하여 전송할 필요가 있으며, 또한 모션 캡처 데이터를 메모리가 한정되어 있는 모바일 단말기 등에 저장하여 실행하기 위해서도 모션 캡처 데이터의 간략화가 필요할 것이다. 또한 모션 캡처 데이터를 라이브러리화하여 서비스할 때 많은 데이터의 저장 공간의 문제를 해결하기 위해서도 간략화는 필요하다.

따라서 본 연구에서는 모션 캡처 데이터를 간략화하기 위한 알고리즘과 간략화된 데이터의 복원 알고리즘을 제안하고자 한다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 관련연구로 운동학 및 역 운동학 알고리즘에 대해서 기술하며, 제 3장에서는 제안하는 모

션 캡처 데이터의 압축 및 복원 알고리즘에 대해서 설명한다. 제 4장에서는 실험을 통하여 알고리즘의 유효성을 보이고 끝으로 5장에서 결론을 기술한다.

2. 관련 연구

본 장에서는 다관절체의 자세를 정의하는데 널리 이용되고 있는 운동학 및 역 운동학에 대하여 간단히 알아본다.

2.1 운동학(forward kinematics)

다관절체에서 사용하는 운동학은 일반적으로 다관절체를 구성하고 있는 각각의 관절의 자세각이 주어졌을 때, 다관절체의 끝점인 end-effector의 위치를 계산하는데 사용된다. 그림 1과 같이 2개의 링크를 가진 관절체의 자세각이 주어졌을 때 end-effector의 위치 좌표는 식 (1)과 (2)를 이용하여 구할 수 있다.

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin (\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

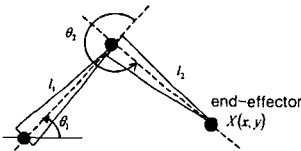


그림 1. 2 관절체의 예

운동학의 알고리즘 중에서 일반적으로 DH (Denavit-Hatemberg) Notation이 많이 사용되고 있는데 이는 단지 회전(rotation)과 이동(translation)만으로 end-effector의 위치를 계산할 수 있다는 장점을 가지고 있다.[7,11]

2.2 역 운동학(inverse kinematics)

역 운동학은 운동학의 반대 개념으로써 다관절체의 end-effector의 위치가 주어지면 다관절체를 구성하고 있는 각각의 관절의 자세각을 계산하는데 사용된다. 그림 2와 같이 2개의 링크를 가진 관절체의 end-effector의 위치 좌표가 주어졌을 때 각 관절의 자세각은 식 (3)과 (4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{(x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2)}{2l_1 l_2} \quad (3)$$

$$\theta_1 = \frac{-(l_2 \sin \theta_2)x + (l_1 + l_2 \cos \theta_2)y}{(l_2 \sin \theta_2)y + (l_1 + l_2 \cos \theta_2)x} \quad (4)$$

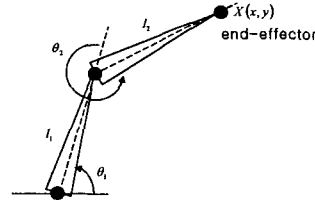


그림 2. 2 관절체의 예

다관절체의 역 운동학에서는 자코비안(Jacobian) 행렬을 이용하는 방법과 CCD(Cyclic Coordinate Descent) 알고리즘 등이 주로 사용되고 있다. [1,4,5, 6,7,8,9,11]

3. 제안 알고리즘

모션 데이터의 간략화와 복원 알고리즘은 각각 2단계의 과정으로 구성되어 있다. 모션 데이터의 간략화는 그림 3의 시스템 구성도와 같이 모션 캡처 데이터에서 운동학 알고리즘을 이용하여 end-effector의 이동 궤적을 추출하는 과정을 거쳐 end-effector의 움직임 특성을 이용하여 중간 동작을 생략하여 모션 캡처 데이터를 간략화하는 것을 말한다.

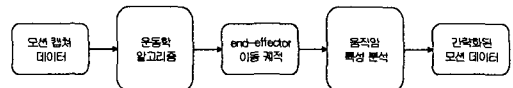


그림 3. 간략화 시스템의 구성도

모션 데이터의 복원은 간략화 알고리즘의 역순으로 진행된다. 간략화된 데이터를 보간법을 이용하여 생략된 end-effector의 이동 궤적을 복원하고 역 운동학 알고리즘을 이용하여 end-effector와 Root 사이에 생략되어있던 중간 관절의 자세각을 만들어냄으로써 본래의 모션 캡처 데이터로 복원한다.

3.1 모션 캡처 데이터의 분석

모션 캡처 데이터는 데이터의 처리 방법에 따라서 크게 트래커 형식(Tracker Format)과 스펀레톤 형식(Skeleton Format)으로 나눌 수 있다. 전자는 3차원 위치 값만을 가지고 있으며 후자는 스펀레톤 정보까지 가지고 있는 데이터 형식이다.

본 연구에서는 스펀레톤 형식의 모션 캡처 데이터

중에 BVH 형식을 사용한다. BVH 형식은 Biovision 에서 개발하였으며, 두개의 SECTION으로 구분되어 있다. HIERARCHY SECTION에는 스킴레톤의 계층 정보를 저장하고 MOTION SECTION에는 모션 캡처 한 데이터를 저장하고 있다. BVH 형식의 스킴레톤의 구조는 총 18개의 관절(joint)로 이루어져 있으며 Root(Hips)를 기준으로 좌·우 하체와 상체로 구분된다. 모션 캡처 데이터는 매 프레임마다 Root의 위치 좌표와 자세각 그리고 각 관절의 x, y, z의 자세각을 오일러 각으로 저장하고 있다.[10]

3.2 모션 캡처 데이터의 간략화

3.2.1 end-effector의 이동 궤적 추출

모션 캡처 데이터의 간략화의 1단계는 운동학(forward kinematics)을 이용하여 각 링크의 end-effector의 위치를 구하여 중간관절들의 자세각 데이터를 생략하는 단계로서 총 18개의 관절의 자세각을 이용하면 머리(1), 손(2), 발(2)의 총5개의 end-effector의 위치좌표를 구할 수 있다.

end-effector의 위치좌표를 구하기 위한 변환행렬은 기준이 되는 Root(Hips)에서부터 연결된 각각의 관절에 대해서 순차적으로 Z, X, Y축 순으로 회전과 이동을 하여 구할 수 있다. 하나의 관절에 대한 변환행렬식이 식 (7)과 같을 때 전체 관절의 변환행렬은 식은 (8)과 같이 구할 수 있다.

$${}^{i-1}T_i = \text{Tran}(x_i, y_i, z_i) \text{Rot}(Z, \theta_i) \text{Rot}(X, \phi_i) \text{Rot}(Y, \psi_i) \quad (7)$$

$${}^0T_i = {}^0T_1 {}^1T_2 \dots {}^{i-2}T_{i-1} {}^{i-1}T_i \quad (8)$$

위와 같이 5개의 end-effector의 위치 좌표와 방위각을 구하여 Root의 위치 좌표와 자세각과 함께 저장한다. 간략화된 데이터를 모션 캡처 데이터와 비교해보면 본래의 모션 캡처 데이터는 [관절의 개수(18) * 관절 자세각의 개수(3) + Root의 위치좌표(3) = 57] 한 프레임에 57개의 자세 데이터가 발생하지만 제안하는 간략화 과정을 수행하면 [end-effector의 개수와 Root(6) * 위치좌표와 자세각의 개수(6) = 36] 한 프레임에 36개의 자세 데이터가 발생하므로 21개의 자세 데이터를 줄일 수 있게 된다.

1차적인 간략화의 결과물은 각각의 end-effector가 이동한 이동궤적을 나타내며 다음 단계의 간략화를 하기 위한 중요한 데이터로 사용된다.

3.2.2 end-effector의 움직임 특성을 이용한 간략화

end-effector의 움직임의 특성이라는 것은 그림 4와 같이 end-effector가 이전 프레임과 현재 프레임의 사이에서 가지는 움직임 벡터의 방향성을 말한다. 움직임 벡터의 변화량의 증감에 대해서 임계 값을 정하여 그 값을 상회하는 변화량이 발생한 경우에만 저장한다.

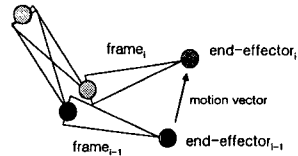


그림 4. end-effector의 움직임

구분 좌표계를 이용하여 벡터의 극각(θ)과 방위각(ϕ)을 구하여 벡터의 변화량을 조사한다. 극각과 방위각은 식 (9)을 이용하여 계산할 수 있다. 벡터의 변화량이 임계 값을 초과하였을 때 움직임 벡터의 방향이 바뀐 것으로 인식하고 현재 end-effector는 삭제해서 안 되는 특징점으로 설정한다.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{y}{r}, \phi = \tan^{-1} \frac{x}{z} \quad (9)$$

위와 같은 방법으로 5개의 end-effector에 대해서 움직임 벡터의 방향성을 조사하여 하나의 end-effector라도 특징점 조건에 해당한다면 그 프레임의 모든 end-effector의 데이터와 root의 데이터를 저장함으로써 모션 캡처 데이터의 간략화는 완료된다.

3.3 간략화된 모션 데이터의 복원

3.2장에서 기술한 모션 캡처 데이터의 간략화 알고리즘은 원본 데이터의 약간의 손상을 가해서 간략화하는 기법으로 복원하여도 본래의 데이터와 약간의 차이가 발생할 수 있다. 그러므로 원본과의 어느 정도의 오차를 허용하면서 에러율을 최대한 줄여 원본과 비슷한 데이터로 복원하는 것이 중요하다.

간략화된 데이터의 복원은 간략화 과정의 역순으로 생략된 프레임의 end-effector의 궤적을 복원한 후에 end-effector의 정보를 이용하여 생략되어졌던 중간관절의 데이터를 복원하는 기법이다.

3.3.1 생략된 end-effector의 이동 궤적 복원

간략화된 모션 데이터의 복원은 생략된 프레임의

생성하는 것에서부터 시작된다. 생략된 프레임의 복원은 저장되어있는 특징점과 특징점의 사이를 보간법(interpolation)을 이용하여 end-effector의 이동 궤적을 생성한다. 본 연구에서는 연산 시간을 최대한 줄이기 위하여 1차식을 이용하여 특징점과 특징점 사이를 직선으로 보간하였으며 보간에 사용한 식은 식 (10)과 같다.

$$y = y_i + \frac{(y_{i+1} - y_i)}{(x_{i+1} - x_i)}(x - x_i) \quad (10)$$

위와 같은 방법으로 특징점들의 사이를 복원해 나가면 생략되어졌던 end-effector의 이동 궤적을 생성할 수 있다.

3.3.2 생략된 자세각의 복원

간략화된 모션 데이터의 2단계 복원에서는 1단계 복원에서 보간법으로 복원된 end-effector의 위치 데이터를 이용하여 생략되었던 중간 관절들의 자세각을 복원하여 최종적으로 간략화하기 전의 본래 데이터와 비슷한 모션 데이터로 복원하는 단계이다.

end-effector의 위치 데이터를 이용하여 자세각을 구하기 위해서는 역 운동학(inverse kinematics) 알고리즘을 사용한다. 역 운동학을 이용하여 자세각을 구하는 방법을 간단히 알아보면 다음과 같다. 다관절체에 대한 변환행렬이 식 (11)과 같다면 각각의 자세각은 식 (12), (13), (14)으로 구할 수 있다.

$$T = Tran(u, v, w)Rot(\theta)Rot(\phi)Rot(\psi) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\theta = atan2(r_{22}, -r_{12}) \quad (12)$$

$$\phi = atan2(r_{32}, -r_{12} \sin \theta + r_{22} \cos \theta) \quad (13)$$

$$\psi = atan2\left(\frac{\sin \phi (-r_{11} \sin \theta + r_{21} \cos \theta) - r_{31} \cos \phi}{r_{11} \cos \theta + r_{21} \sin \theta}\right) \quad (14)$$

위와 같이 간략화된 모션 캡처 데이터는 1~2 단계를 거쳐서 복원되며 간략화 알고리즘에서 손실 압축 기법을 사용하였으므로 본래 모션 캡처 데이터와 근사값을 가지는 모션 캡처 데이터가 만들어지게 된다.

4. 실험 및 고찰

본 연구에서 제안하는 모션 캡처 데이터의 간략화 및 복원 알고리즘은 Visual C++ 6.0을 이용하여 구현하였으며 사용된 시스템의 사양은 다음과 같다.

- ◆ CPU : 펜티엄 4 1.6GHz
- ◆ Memory : 256 Mb
- ◆ OS : Windows 2003

제안하는 간략화 및 복원 알고리즘의 성능 평가를 위해 인체의 동작을 초당 30프레임으로 캡처하여 BVH 형식으로 저장된 총 31개의 모션 캡처 데이터를 사용하여 실험하였으며 적절한 벡터 방향성의 임계 값을 찾기 위하여 임계 값을 10° ~ 90° 까지 변화시키며 평가하였다.

4.1 간략화

그림 5는 31개의 데이터에 대해서 벡터 방향성의 임계 값을 각각 10, 30, 45, 60, 90도로 하였을 때의 간략화 결과 그래프로써 원본 데이터와 간략화된 데이터의 프레임 수를 비교한 것이다.

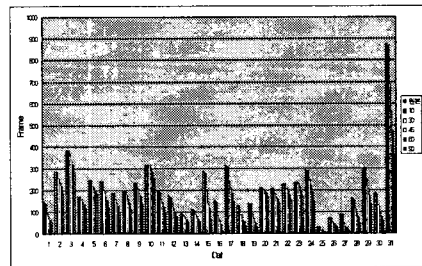


그림 5. 데이터별 간략화

31개의 실험 데이터의 임계 값에 대한 간략화율의 평균을 표 1에 나타내었다. 간략화율은 원본 데이터와 비교하여 생략되어진 프레임 수의 비율로 계산하였다.

표 1. 전체 데이터에 대한 평균 간략화율

10°	30°	45°	60°	90°
1.7 %	19.6 %	30.6 %	39 %	50.8 %

간략화 결과를 분석해보면 간략화는 벡터 방향성의 임계 값이 10° 에서 90° 로 커질수록 간략화로 생략되어지는 프레임은 1.7%에서 50.8%로 많아진다는 것

을 알 수 있다.

4.2 복원

간략화 알고리즘으로 간략화된 데이터를 복원하여 원본 데이터와 복원 데이터 간의 오차에 의한 에러율을 구하여 복원 알고리즘을 평가하였다.

그림 6은 벡터 방향성의 임계 값에 따라서 간략화된 실험 데이터 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25에 대한 복원된 데이터의 에러율을 나타낸 것이다. 그림 6에서 알 수 있듯이 벡터 방향성의 임계 값이 커질수록 대체로 복원 데이터의 에러율도 커진다는 것을 알 수 있다.

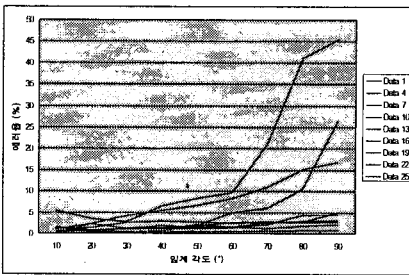


그림 6. 임계 값에 따른 에러율

전체 실험 데이터에 대한 에러율을 표 2에 나타내었다. 그림 6의 Data 25의 경우에는 임계 값이 10° 일 때 5.35% 이었던 에러율이 90° 일 때는 45.39%로 증가 하였으나 전체 실험 데이터에 대한 평균 에러율은 0.78%에서 9.02%로 나타나 몇 몇 특별한 데이터를 제외하고는 에러율이 크지 않음을 알 수 있다.

표 2. 전체 데이터에 대한 평균 에러율

임계 값	에러율	임계 값	에러율
10°	0.78 %	60°	4.28 %
20°	1.64 %	70°	5.31 %
30°	1.98 %	80°	6.97 %
40°	3.13 %	90°	9.02 %
50°	3.88 %		

5. 결론

본 연구에서는 모션 캡처 데이터의 크기를 줄이기 위한 간략화 알고리즘과 간략화된 데이터를 복원하는 알고리즘을 제안하였다.

각 알고리즘의 성능 평가를 해본 결과 간략화 알고리즘은 움직임 특성 분석에 의해 최소 1.7%에서 최대 50.8%의 간략화율을 보였고 복원 알고리즘은 간략화

된 데이터를 복원하였을 때 최소 0.78%에서 최대 9.02%의 에러율을 가지며 복원 되었다.

이러한 실험 결과로 볼 때 간략화만을 고려한다면 움직임 특성의 임계 값은 90° 으로 해야 하지만 복원시의 에러율까지 고려한다면 최적의 임계 값은 30° 에서 40° 사이로 설정하는 것이 좋다는 결론을 내렸다.

향후 연구 방안으로는 end-effector 이동 궤적의 보간법을 직선에 의한 보간법이 아닌 곡선에 의한 보간법을 적용하여 보간에 의한 에러율을 줄이는 방법에 대해서 연구 할 예정이다.

[참고문헌]

- [1] 최광진, 고희석, "실시간 동작 변환", 컴퓨터 그래픽스 학회 논문지, Vol.5, No.2, pp.25~32, 1999
- [2] 탁세운, 고희석, 송오영, "동적 균형을 위한 동작 변환", 컴퓨터 그래픽스 학회 논문지, Vol.5, No.2, pp.33~41, 1999
- [3] A. Witkin and Z. Popovic. "Motion Warping", SIGGRAPH 95 Proceedings, Annual Conference Series, pp.105~108, 1995.
- [4] 박지훈, 박소현, "동작의 이식을 고려한 애니메이션", 과학기술연구논문집, Vol.10, No.1, pp.269~277, 1999.
- [5] 이범로, 정진현, "자연스러운 자세 제어를 위한 귀납적 역운동학 알고리즘", 정보과학회 논문지, Vol.8, No.4, pp.367~375, 2002.
- [6] 이란희, 박창준, 김성은, 이인호, "영상 특징점을 이용한 IK 기반의 관절체 움직임 생성", 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, Vol.14, 2002.
- [7] D. Tolani, A. Goswami, and N. Badler. "Real-time inverse kinematics techniques for anthropomorphic limbs", GMIP, pp.353~388, 1999.
- [8] 이란희, 이철우, "3차원 위치 및 방향정보의 보간에 의한 관절체 애니메이션", 전자통신기술 논문지, Vol.2, No.1, pp.39~46, 1999.
- [9] T. Dwyer, P. Eades, "Skeletal Animation for the Exploration of graphs", university of Sydney, 2002.
- [10] J. Lander, "Working with motion capture file formats", game developer, pp.30~37, January 1999.
- [11] A. Watt, M. Watt, "Advanced Animation and Rendering Techniques", addison-wesley, 1992.