

모션 캡처를 이용한 휴머노이드 로봇의 인간 동작 모방

송진석^{1,2}, 김창환¹, 양현석²
¹한국 과학 기술 연구원 지능 로봇 연구 센터, ²연세대학교 기계공학과

humanoid' s imitation of human motion by using motion capture

Jinsuk Song^{1,2}, ChangWhan Kim¹, Hyunsuk Yang²

¹Intelligent Robotics Research Center - Korea Institute of Science and Technology, ²Mechanics - Yonsei University

Abstract - 휴머노이드 로봇의 동작 생성에 있어 최대 관심사 중 하나는 '얼마나 인간처럼 행동하는가?' 이다. 이를 위해 동작 획득 장비를 사용하여 얻은 인간 동작을 로봇으로 전이함으로써 인간과 유사한 움직임을 구현하는 것이 일반적인 방법이다. 인간의 동작 전환 과정에서 동작을 구분하고 그 구분된 동작을 재결합하는 과정이 빈번히 발생한다. 지금까지 동작을 구분하고 재결합하는 것은 많은 부분 수동적으로 처리되었다. 그러한 방법들이 실질적인 성과를 얻었지만 보다 더 효과적이고 체계적으로 인간다운 동작을 구현 할 수 있는 시스템이 필요하다. 본 연구에서는, 기구학에 근거하여 인간의 상체 동작을 구분하고 가중 함수를 이용하여 구분한 동작을 재결합함으로써 새로운 연속 동작을 생성한다. 생성된 연속 동작을 휴머노이드 로봇에 구현하여 제한한 동작모방시스템의 실효성을 검증한다.

1. 서 론

휴머노이드 로봇의 최대 관심사는 인간과의 유사성이다. 휴머노이드 로봇의 지능과 행동, 감각기관 등을 인간의 그것과 비슷하게 모방하기 위해 다양한 분야에서 많은 노력이 있었다.

그 중 인간 행동의 모방은 지금까지 보행에 집중되어 왔다. 그리고 다양한 측면에서 많은 결과들이 얻었다. 보행뿐만 아니라 상체동작을 포함한 전신 동작이 모방 또한 인간과의 상호교류 측면에서 그 관심이 커지고 있다 [1].

인간의 동작은 복잡하여 수식으로 정의하기에는 어려운 점이 많다. 모션 캡처 장치의 사용은 인간 동작 모방에 가장 기본적인 방법이며 유용한 방법일 것이다. 실제로 모션 캡처 장치는 컴퓨터 그래픽, 애니메이션, 컴퓨터 게임 등 다양한 분야에서 사용된다. Nakaoka[2]는 이 장치를 사용하여 휴머노이드 로봇의 일본 전통 춤 복원에 적용된바 있다.

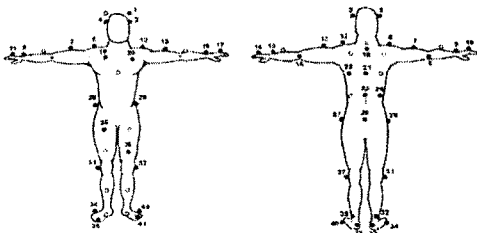
본 연구는 모션 캡처 장치(Motion Capture Device)를 사용하여 인간의 동작에 가깝게 모방할 수 있는 체계적인 과정을 정리하고 과정에서 필수적인 동작 구분과 재결합에 대해 논의할 것이다. 이에 필요한 전반적인 과정을 다음과 같이 정리한다.

1. 인간 동작 데이터 획득.
2. 동작의 정의와 변형, 구분, 재결합.
3. 자세제어와 휴머노이드 로봇에 실제 구현.

2. 본 론

2.1 인간 동작 추출

일반적으로, 인간 동작을 휴머노이드 로봇과 같은 다른 대상에 적용하기 위해서는 기하 형상의 차이를 고려하여 대상에 맞는 동작으로 변환시켜 적용한다. 그러나 휴머노이드 로봇에서의 인간 동작 구현은 이 외에도 좀 더 엄격 규정이 있다. 우선 휴머노이드 로봇의 각 지(양팔, 양다리)는 하나의 매뉴플레이터(manipulator)로 생각할 수 있고 이 매뉴플레이터는 실제 인간보다 낮은 자유도(Degree of freedom)를 가진다. 또, 매뉴플레이터의 구동 장치는 인간의 관절보다 움직임의 정도, 속도 등에 있어 낮은 성능을 가지고 있다. 따라서 이러한 사항을 고려하여 인간의 동작을 휴머노이드 로봇에 맞는 적절한 동작으로 변환시켜줄 필요가 있다.



<그림 1> 배우에게 감광 표식을 부착 예, 41개의 표식을 부착하여 인간의 동작을 획득한다.

2.1.1 인간 동작 획득

인간의 동작을 습득하기 위하여 Motion Analysis Co의 광학식 모션 캡처 장치인 Hawk Digital Sys.을 사용했다. 여덟 대의 적외선 카메라를 사용하고 이 적외선 카메라는 감광 물질로 된 표식인 마커를 감지한다. 피 실험자의 몸 표면에 41개의 마커를 부착했다. 120Hz의 속도로 정해진 기준 직교좌표계의 바라본 마커의 위치(좌표값)를 실시간으로 얻었다. 마커의 상대적 위치로 배우의 동작을 알 수 있다.

2.1.2 동작 데이터 변환

모션 캡처 장치로부터 얻은 동작 데이터는 로봇에 적용할 수 있도록 변환할 필요가 있다. 인간과 비교하여 휴머노이드 로봇의 기하학적 형상의 차이, 낮은 자유도, 모터의 성능 한계도 함께 고려한다. '최적화를 이용한 역기구학'[3]을 이용하여 이 차이를 극복하고 휴머노이드 로봇의 조인트의 각도 제어를 얻을 수 있다.

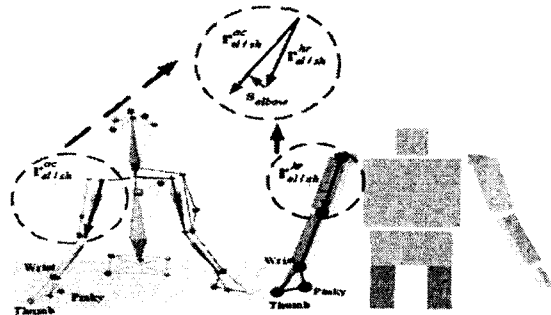
각 변위 량을 최적화 변수로 선정하여 다음 식 (1)과 같이 최적화 문제로 표현하여 역기구학 문제를 푼다.

$$\min_{\Delta\theta_i} f(\Delta\theta_i) = E_{hand}(\Delta\theta_i)^T WE_{hand}(\Delta\theta_i) + W_{10} \|s_{elbow}(\Delta\theta_i)\|^2 \quad (1)$$

여기서, $E_{hand}(\Delta\theta_i)$ 은 손의 실제위치와 $\Delta\theta_i$ 에 의한 위치의 차이이고

W 는 가중 행렬, s_{elbow} 는 팔꿈치 위치의 차를 나타내는 벡터이다.

식 (1)에 얻어진 각 변위 량으로 매 시간마다 조인트의 각도를 갱신한다.



<그림 2> 배우와 휴머노이드의 손 표식 위치와, 벡터 s_{elbow}

2.2 동작의 정의와 변형, 구분, 재결합

앞 절에서 획득한 각 조인트의 각도 궤적은 로봇에 바로 적용하여 인간 동작을 모방할 수 있다. 그러나 획득된 동작 중 자가충돌의 경우(자신의 몸끼리 부딪히는 경우)나 균형을 유지하기 힘든 구간 등이 있다. 이를 해결하기 위하여 다시 배우에게서 동작을 획득하기란 매우 번거로우며 시간과 비용이 많이 소요되는 일이다. 따라서 캡처링 받은 피 실험인의 동작을 편집하기 쉽도록 정의하고 이에 따라 구분하고 재결합 한다. 동작의 정의에 따라 동작 편집의 세 가지 중요 요소, 동작의 변형, 구분 그리고 재결합을 구현하는 방법이 상이하다. 따라서, 위 세 가지 요소를 효과적으로 구현하기 위하여 적절한 동작의 정의가 필요하다.

Nakazawa[4]은 동작을 팔의 끝점(End effect point)을 이용하여 서술한다. 팔의 끝점의 속도가 0에 가까운 부분에서 동작을 구분하고 구분되어진 동작의 시작과 끝나는 위치를 동작의 기저(Motion Base)라고 하고 그 기저를 제외한 끝점의 궤적을 동작의 형태(Motion Style)라고 정의한다. 여기서 동작의 기저를 원하는 위치로 바꿔 비슷한 형태이지만 그 크기가 다른 동작을 만드는 방식으로 변형을 행한다.

위 이론에서 사용한 인체 모델은 낮은 차원 수로 실제 인간의 동작을 표현하기에 부족한 점이 있다. 또, 끝점을 이용하여 인간의 팔 동작을 나타내는 것은, 인간보다는 매뉴플레이터에 초점이 맞춰진 것으로 인간다운 동작을 재현한다는 초지에서 벗어난다.

따라서, 좀 더 인간다운 동작을 구현하기 위해 다음과 같은 방법을 제안한다.

2.2.1 획득된 동작의 정의

휴머노이드 로봇이 인간다운 동작을 하기위해 다음과 동작의 정의를 한다.

$$UnitedHumanMotion = UnitMotion1 + UnitMotion2 + \dots$$

앞에서 얻은 각 조인트의 각도 제어를 전체동작(United Human Motion)이라 하면 전체동작은 여러 개의 단위동작(Unit Motion)으로 나누어진다. 또, 단위동작은 뿌리(Motion Root)와 줄기(Motion Trunk)로 구성된다.

$$UnitMotion = MotionRoot \odot MotionTrunk$$

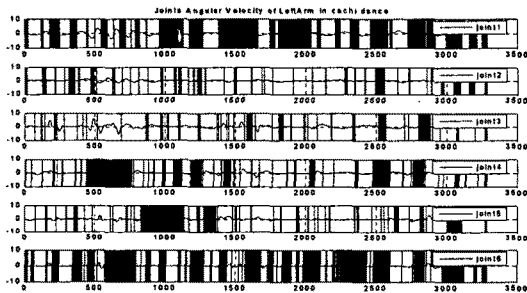
여기서 동작뿌리는 동작이 구분된 앞 끝부분 즉, 단위동작 제척에서의 시작과 끝 구간이고 동작줄기는 뿌리를 제외한 제척으로 단위동작의 형태를 나타낸다. 보다 자세한 내용은 동작구분과 밀접하므로 다음절에서 다루기로 하자.

2.2.2 동작 구분

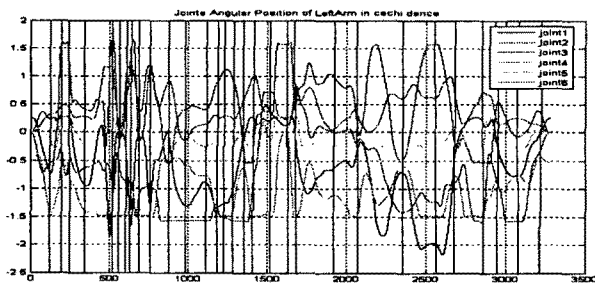
인간에게서 받은 동작은 여러 개의 단위동작으로 구성된다. 따라서 전체동작을 단위동작으로 나누는 방법이 필요하다. 이를 *Motion Segmentation*이라 하며 대상과 목적에 따라 다양하다. 컴퓨터 비전 분야에서는 대상물이 어떤 동작을 관찰하기 위하여 사용하였는데, Bradscki[5]처럼 2차원 영상물을 동작구분하거나 Barbic[6]과 같이 3차원에서 동작구분 방법이다. Bradscki와 같은 2차원 동작구분 방법은 3차원 영상을 적용할 수 없고 Barbic의 이론은 3차원 동작구분 가능하지만 인간전신에 관점을 두기 때문에 우리가 얻고 싶은 각지의 동작 구분이 어렵다.

휴머노이드 로봇 분야에서 동작구분을 한 Nakazawa는 앞서 말한 듯이 각 팔 끝점의 속도가 0에 근접할 때 동작을 구분한다. 이 방법은 어느 정도 절제된 동작에서는 훌륭한 결과를 얻지만, 춤과 같은 동작에서는 속도가 0에 근접하는 정도가 일정치 않아 적용이 힘들다.

그러므로 여기서 계층적 분류(classified segmentation)를 이용한다. 계층적 분류란 인간의 어깨부분을 담당하는 조인트와 팔꿈치에 해당하는 조인트, 손목을 담당하는 조인트로 나누고 위 순서대로 조인트에 가중치를 두어 큰 동작에서 작은 동작으로 순차적으로 자르는 방법이다. 짝지어진 조인트의 각속도가 0이 되는 구간(그림 4와 같이 짝 조인트 각속도가 한 점에서 0이되기 힘들다.)이 구분되는 곳이며 단위동작의 뿌리가 된다. 이 뿌리는 나누어진 두 단위동작에 각각 앞 뿌리이자 뒤 뿌리가 된다. 뿌리는 한 단위동작에서 다른 단위동작으로 전이 되는 구간이다.



〈그림 3〉 각 조인트 각속도가 0인 점을 파란색 막대로 표시하고 있음



〈그림 4〉 계층적 구분에 의해 나누어진 전체 동작

2.2.3 동작 변형

앞서 우린 단위동작을 뿌리와 줄기로 나누었다. 여기서 뿌리의 시작점이나 끝점을 원하는 값으로 변경하면 크기가 다른 유사한 동작을 만들 수 있다. 우린 다음 식(2)[7]을 이용하여 이를 구현한다.

$m(t)$ 과 $m'(t)$ 는 기존 동작과 새로운 동작을 말하고 T 는 동작의 전체 주기, r_d 는 동작뿌리 끝점의 상수 값이다. 생성된 $m'(t)$ 의 가속도의

$$m'(t) = \omega \left(\frac{t}{T} \right) \cdot m(t) + (1 - \omega \left(\frac{t}{T} \right)) \cdot r_d$$

$$\omega(x) = -6x^5 + 15x^4 - x^3 + 1 \quad (2)$$

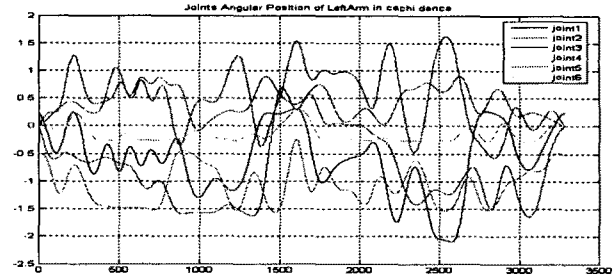
연속성을 위한 가중함수 $\omega(x)$ 의 예이다.

2.2.4 동작 재결합

단위 동작의 결합도 동작의 형태를 유지하기 위해 뿌리가 이용된다.

$$r'(t) = \omega \left(\frac{t}{T} \right) \cdot r_1(t) + (1 - \omega \left(\frac{t}{T} \right)) \cdot r_2(t) \quad (3)$$

식 (3) 통해 두 개의 다른 단위동작의 공통된 뿌리가 생성된다. 공통된 뿌



〈그림 5〉 동작의 변형과 재결합으로 재 생성된 전체동작

리를 가지는 단위동작은 또 다른 단위동작으로 자연스럽게 연결된다.

2.3 자세제어와 휴머노이드 로봇에 실제 구현

상체의 무리한 동작은 로봇의 균형 유지에 큰 영향을 미친다. 휴머노이드 로봇의 동작 모방 위해서 실제 휴머노이드 로봇 구현에 앞서 안정성 검사가 필요하다. 자세제어는 CoM(Center of Mass)-ZMP(Zero Moment Point)의 관계에 근거하여 WBC(Whole Body Coordination)[8]를 통해 이루어진다. WBC를 통해 상체 동작에 따른 로봇의 균형 유지를 위한 하체 동작을 얻을 수 있다. 로봇이 균형을 잡지 못할 경우 동작 변형을 통해 로봇의 균형을 확보한다. 이렇게 검증이 끝난 동작을 로봇에 구현한다.

3. 결 론

모션 캡처 장비를 이용하여 인간의 동작을 로봇에 맞게 재생성하는 방법을 제안하였다. 일련의 방법을 통해 그전보다 로봇에게 울동적인 동작을 가능하게 하였다. 물론 하체동작 모방에 대하여 고려는 안하였지만 하체 동작은 동작의 모방 보다는 로봇의 균형에 중점이 맞춰지기 때문에 이는 차후에 연구가 있을 것이다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] Yoshihiro Kuroki et al. "Motion Creating for A Small Biped Entertainment Robot," IROS, 2003
- [2] Shinichiro Nakaoka et al , "Generating Whole Body Motions for a Biped Humanoid Robot from Captured Human Dances," ICRA, 2003
- [3] ChangHwan Kim et al, "Solving An Inverse Kinematics Problem for A Humanoid Robot's Imitation of Human Motions Using Optimization," ICINCO, 2006
- [4] Atsushi Nakazawa et. al. , "Analysis and Synthesis of Human Dance Motion," MFI, 2003
- [5] Gary R. Bradscki et. al. , "Motion segmentation and pose recognition with motion history gradients," WACA, 2000
- [6] Jernej Barbic et. al. "Segmenting Motion Capture Data into Distinct Behaviors", ACM International Conference Proceeding series VOL62.
- [7] A. Witkin et. al. "Motion warping," SIGGRAPH 88, 1988
- [8] T. Sugihara and Y. Nakamura, " Whole-body cooperative balancing of humanoid robot using COG jacobian," IROS, 2002, pp.2575-2580