

모션캡처 DB를 이용한 휴머노이드 로봇의 상체 동작 재생성

김승수\*, 김창현†, 박종현†, 유범재\*

\*† 한양대학교, 기계공학과

\*# 한국과학기술연구원, 지능로봇연구센터

Regeneration of Upper-body Motion of Humanoid Robot Using Human Motion Capture Data

Seungsu Kim\*, ChangHwan Kim†, Jong Hyeon Park† and Bumjae You\*

\*† School of Mechanical Engineering, Hanyang University

\*# Intelligent Robot Research Center, Korea Institute of Science and Technology

**Abstract** - 인간과 의사소통 및 상호작용함에 있어 휴머노이드 로봇은 그 외형이 인간에게 친숙해야 할 뿐만 아니라 그 행동역시 인간과 유사해야 한다. 인간의 상체 동작과 유사한 동작은 인간과의 의사소통에 있어 매우 중요하다. 인간의 동작과 유사한 동작을 수학적인 식을 통하여 생성해 내기는 매우 힘들다. 수학적 모델을 개발하려는 노력과는 달리 최근에는 모션캡처 장비로부터 동작데이터를 획득하고, 그 데이터를 휴머노이드 로봇에 입력하는 연구가 진행되어왔다. 하지만, 로봇과 인간이 의사소통함에 있어서 필요한 모든 데이터를 모션캡처 장비로 획득하여 저장해 놓기는 불가능하다. 또한, 동작을 통하여 의미를 전달하는 의사소통의 경우에 상대방과 분위기에 따라 동작의 방향이나 크기를 달리할 필요가 있다.

이 논문에서는 의미가 있는 동작을 모션캡처 장비로부터 획득하고, 휴머노이드 로봇에 맞게 변환한 다음, 그 데이터를 상황에 맞게 실시간으로 변형하는 방법을 제안한다. 제안한 방법을 몇가지 동작에 적용하여 그 실효성을 검증하였다.

1. 서 론

유용한 서비스의 제공을 목적으로 하는 인간형 로봇이 최근 개발되어 공개되는 사례가 늘고 있다. 인간에게 서비스를 제공하기 위해서는 인간과 로봇, 특히 인간형 로봇간의 의사소통이 원활하여야 한다. 의사소통은 대부분 행동이나 목소리를 통해서 이루어진다. 이런 이유로 로봇의 움직임 혹은 동작으로 구성된 행동들이 사람처럼 보아야 하는 것은 당연하다. 그렇지 않으면 로봇 동작의 의미 전달 및 이해에 혼란이 생겨 전혀 예상치 못한 행동을 인간이 혹은 로봇이 할 수도 있다. 따라서 인간형 로봇의 행동은 사람이 보기에 자신들처럼 자연스럽고 예측 가능해야 하는 것이다.

사람의 행동을 모방함으로써 인간형 로봇을 동작시키는 연구들은 꾸준히 진행되었다. 사람의 동작을 모션캡처 시스템을 사용하여 측정하고, 측정된 데이터를 인간형 로봇이나 컴퓨터 애니메이션의 캐릭터에 알맞게 조정하여 적용하였다. 이러한 연구에는 광학식 모션캡처 시스템을 많이 사용한다. 광학식 모션캡처 시스템은 몸의 움직임을 잘 보여주는 부위-특히, 관절-에 마커(marker)를 부착하게 하고 그 마커의 시간에 따른 궤적을 저장하여 사람의 동작을 측정한다. 이러한 접근 방법은 여러 연구자들에 의해 시도되었다. 김창현<sup>[1]</sup>은 인간의 팔에 부착된 마커 데이터를 최적화 기법을 이용하여 인간형 로봇의 팔에 적용할 수 있는 동작으로 변환시키는 방법을 제안하였다. 연구에서는 인간형 로봇이 인간의 손의 위치와 방향 그리고 위팔의 방향을 모방함으로써 인간 팔 전체 동작을 모방하였다. 제한된 방법은 인간형 로봇의 팔 관절 모터의 작동 범위 및 속도 한계를 고려하였다. 그러나 이 방법은 임의의 인간다운 동작을 새롭게 생성시킬 수는 없었다. Pollard<sup>[2]</sup>는 캡처된 사람의 동작을 상체 위주로 구성된 인간형 로봇에 적용할 수 있게 하는 방법을 개발하였다. 캡처된 사람의 상체 동작과 이를 모방하려는 인간형 로봇 동작 사이의 차를 최소화함으로써 인간의 동작을 로봇이 모방하도록 했다. Nakaoka<sup>[3]</sup>는 모션캡처 시스템으로 일본 전통 춤을 캡처하고 이를 인간형 로봇 (모델 HRP-1S)이 모방할 수 있도록 하는 체계적인 절차와 모방 알고리즘을 제안하였다. 캡처된 전통 춤에서 주요한 동작들을 끄집어내어 몇 가지의 대표 동작을 구성하였다. 전체 춤 동작을 이러한 대표 동작들의 연속으로 표현하였다. 제안된 방법의 검정을 위해 OpenHRP 시뮬레이터와 실제 인간형 로봇 HRP-1S를 이용하여 일본 전통 춤을 모방하였다. 지금까지의 참고 문헌 연구 결과는 주어진 인간 동작에 대한 직접적인 모방 방법에 대한 것이었다.

Asfour와 Dillmann<sup>[4]</sup>은 인간다운 팔 동작을 생성하기 위한 다른 접근 방법을 시도하였다. 그들은 Soechting와 Flanders<sup>[5][6]</sup>이 제안한 인간 팔 동작의 특징을 수식화한 모델을 사용하였다. Soechting와 Flanders의 팔 동작 수학적 모델은 인간의 어깨에 정의된 좌표계에서 본 손 좌표의 향으로 구성된 4개의 파라미터에 의해 구성되었다. 이 모델을 이용한 Asfour와 Dillmann의 방법은 주어진 목표 팔 동작에 대해 근사화된 동작을 제공하였다. 따라서 로봇 손이 목표한 위치와 위상에 많은 오차를 생성하며 도달하였다. 또한, 정의된

4개의 파라미터들도 특별한 물리적인 의미를 갖지 않으므로 인간 동작을 이해하는 데는 큰 도움을 주지 못했다. 김승수<sup>[6]</sup>는 인간의 팔동작의 특징을 표현하기 위하여 직관적인 수식을 제안하였다. 여러번의 모션 캡처 실험을 통하여 획득한 인간 동작의 데이터베이스로부터 인간 팔의 움직임을 특징지을 수 있는 방안을 제시하였다. 이러한 팔 움직임의 특징화는 손목 혹은 손의 지정된 점의 위치와 손바닥의 방향으로 결정되는 "팔꿈치 들림각(Elbow Elevation Angle)"을 정의 하였다. 이 식을 이용하여 휴머노이드 로봇이 인간다운 자세를 취할 수 있는 각 정보를 실시간으로 생성하였다.

앞서 언급된 연구들은 단지 하나의 인간 동작을 모방하는 것뿐이거나, 동작을 나타내기 위하여 손의 궤적과 같은 다른 궤적을 생성해 주어야 하는 문제점이 있다. 인간으로부터 배운 하나의 동작을 상대방의 위치에 따라 방향을 변환하고, 분위기나 감정에 따라 동작의 크기를 변환할 수 있다면 인간과 로봇이 의사소통함에 있어서 로봇은 손쉽게 동작을 생성할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 의미를 가지는 기본적인 팔 동작만을 모션장비로 획득하고, 그 팔 동작을 상황에 맞게 변환하여 휴머노이드 로봇의 팔 동작을 재생성하는 방법을 제안한다. 제안된 방법을 통하여 생성된 몇가지 동작을 KIST 휴머노이드 마무에 적용하여 실효성 검증을 한다.

2. 의미를 가지는 인간다운 동작의 획득 및 분석

의미를 가지는 휴머노이드의 기본 동작을 생성하기 위하여, 사람의 상체에 부착된 마커의 시간에 따르는 궤적을 획득할 수 있는 모션캡처 시스템을 이용하였다. Motion Analysis 사의 Hawk 라는 광학식 장비를 사용하였다. 총 8개의 카메라가 사용되었고, 피 실험자에는 총 41개의 마커가 부착되어 120HZ로 마커들의 위치 데이터를 획득하였다.

인간과 휴머노이드 로봇의 기구학적 차이로 획득된 데이터는 곧바로 휴머노이드 로봇에 적용할 수 없다. 이 논문에서는 Pollard<sup>[2]</sup>와 김창현<sup>[1]</sup>이 사용한 팔의 길이를 이용한 크기 변환 방법을 이용하였다. 어깨중심 좌표계

에서 본 팔에 부착된 마커의 위치에 크기 변환 상수( $\rho = \frac{L_{\text{robot}}}{L_{\text{human}}}$ )를 곱하여 휴머노이드 로봇에서의 위치를 획득할 수 있다. 여기서  $L_{\text{robot}}$  은 휴머노이드 로봇의 위팔과 아래팔의 합이고  $L_{\text{human}}$  은 피 실험자의 같은 크기이다.

팔의 자세를 결정짓는 데이터는 손목의 위치, 손바닥의 방향, 손목굽힘각, 팔꿈치 들림각 이다. 다음 절에서는 손목의 위치와 팔꿈치 들림각에 대한 분석을 하도록 한다.

2.1 모션 평면 과 모션중심

어깨 중심 좌표계에서 본 손목이 그리는 궤적과 가장 가까운 평면을 "모션평면(Motion Plane)"이라 정의한다. 모션평면을 찾는 방법은 Craig<sup>[4]</sup>가 제안한 SVD 를 이용한 least-squares fitting 알고리즘을 사용하였다. 식 (1)에서 A 행렬의 가장 작은 고유값(eigen value)에 상응하는 고유벡터(eigen vector)가 평면의 법선벡터 n 이 된다.

$$A = P^T P - P_m^T P_m \quad (1)$$

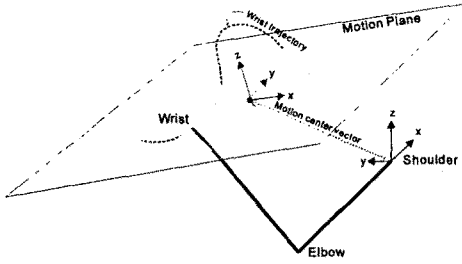
$$d = n \cdot p_m^T \quad (2)$$

$$n \cdot [x \ y \ z]^T = d \quad (3)$$

여기서 P는 손목의 궤적 행렬이고 P<sub>m</sub>은 궤적 중심의 위치를 나타내는 "모션중심벡터(Motion Center Vector)"이고 손목 궤적의 평균값으로 구한다. 식 (3)은 구하고자 하는 "모션평면"의 방정식이다. 모션평면위의 모션중심점에 모션중심좌표계를 설정한다. 모션중심좌표계와 어깨중심좌표계의 관계는  ${}^T$  이고, 모션중심에서 z 방향이 n과 같게 하게 하는 행렬로 구할 수 있다.

$${}^c w_i = {}^T \cdot {}^a w_i \quad (4)$$

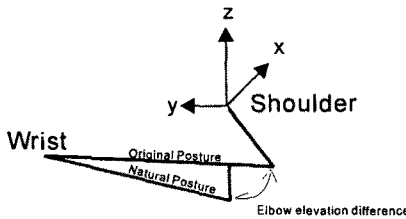
여기서  ${}^c w_i$  와  ${}^a w_i$ 는 각각 모션중심 좌표계 와 어깨 중심 좌표계에서 본 i번째 손목의 위치이다.



〈그림 1〉 모션평면 모션센터

2.2 팔꿈치 들림각 차이

김승수<sup>[6]</sup>가 제안한 팔꿈치 들림각식을 이용하면 손목 혹은 손의 지정된 점의 위치와 손바닥의 방향에 의해 결정되는 가장 인간스러운 자세를 얻을 수 있다. 이 자세는 인간이 어깨와 팔꿈치에 힘을 빼고 자연스럽게 있을때의 자세를 나타낸다.



〈그림 2〉 팔꿈치 들림각 차이

위 그림에서 Original Posture 는 모션캡처를 통해 획득된 휴머노이드 로봇의 자세이고, 이때의 손목의 위치와 손바닥의 방향에 따른 팔꿈치 들림각식에 의해 생성된 자세가 Natural Posture 이다. 이 둘 사이의 차이를 팔꿈치 들림각 차이(Elbow elevation difference)  $\gamma_{diff}$ 라 한다.

2.3 동작 데이터의 저장

대부분의 휴머노이드 로봇이 동작을 생성하거나 표현하기 위한 원시 데이터는 일련의 각과절값데이터 이거나, end effector의 위치와 방향 데이터이다. 본 논문에서는 동작데이터 포맷을 기존의 방법이 아닌, 모션평면, 모션중심, 모션중심에서본 손목의 위치 궤적, 손바닥 방향각, 손목 굽힘각 궤적, 팔꿈치 들림각 궤적으로 이루어진 동작 포맷을 제안한다. 이는 다음절에서 설명하는 동작의 방향변환과 크기변환을 매우 간결하게 할 수 있다.

3. 동작의 재생성

앞의 절에서 모션캡처 시스템으로 획득한 동작 데이터를 휴머노이드 로봇의 크기에 맞게 변환하고, 모션평면, 모션중심벡터, 모션중심 좌표계에서 본 손목의 궤적, 팔꿈치 들림각 차이 궤적, 손바닥 방향각 궤적 그리고 손목 굽힘각 궤적을 획득하였다. 이 절에서는 이렇게 획득한 궤적을 변환하는 방법에 관하여 기술한다.

3.1 방향 변환

모션캡처 시스템으로 획득된 의미를 가지는 기본 동작은 앞 방향의 사람과의 상호작용을 위한 동작을 기본으로 했기 때문에 의사소통하는 상대방의 방향이 바꿈에 따라 행동하는 동작도 변하여야 한다. 방향의 변화는 식(5)에서 보는 바와 같이 변형된 동작인 어깨 중심 좌표계에서 본 손목의 위치를 회전행렬을 곱하여 방향을 전환할 수 있다.

$${}^i w_{ci} = R_z(\alpha) R_y(\beta) {}^i T^c w_i \quad (5)$$

여기에서  ${}^i w_{ci}$  는 변경된 i번째 손목의 위치이고,  ${}^i T^c w_i$  는 알려진 어깨중심좌표계에서 본 원 동작의 손목의 위치이다.

3.2 크기 변환

동작의 분위기가 감정에 따라 크기를 변화할 필요가 있다. 관절값들만을 크기 변환하면 원치 않은 동작이 생성될 수 있다. 그래서 겉으로 보여지는 굽 측, 손목의 위치, 팔꿈치의 들림각을 크기 변환 함으로 인해 원 동작의 의미를 잃지않고 크기 변환을 할 수 있다. 손 궤적의 크기는 모션평면 중심에서 본 손목의 궤적에 손목궤적크기변환인수  $m_w$  를 곱하여 얻을 수 있다. 그리고 팔꿈치 들림각 크기변환은 팔꿈치 들림각 차이에 팔꿈치들림각 크기변환인수  $m_\gamma$  를 곱하여 얻을 수 있다. 아래는 크기변환 수식을 나타내고 있다.

$${}^c w_{ci} = m_w \cdot {}^i w_{ci} \quad (6)$$

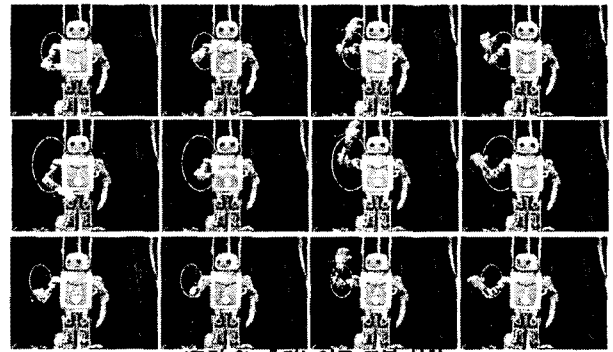
$$\gamma_{c\_diff} = m_\gamma \cdot \gamma_{diff} \quad (7)$$

3.3 역기구학

위와 같이 변환된 자료는 실제 휴머노이드 로봇에 적용시키기 위하여 역기구학을 풀어 각관절값으로 변환하여야 한다. 어깨 중심에서 본 손목의 궤적, 손바닥 방향각, 팔꿈치 들림각 차이를 이용하여 김승수<sup>[6]</sup>가 사용한 것처럼 간단한 역기구학 문제를 풀 수 있다.

4. 예 제

지금까지 의미있는 인간 동작을 표현할 수 있는 특징인 모션평면, 모션중심 그리고 팔꿈치 들림각 차이를 찾아내었고, 그 특징들을 수정하여 동작을 재 생성하였다. 재 생성된 모션을 인간형 로봇 "마루"에 적용시켜 보았고, 인간형 로봇 마루의 동작이 인가다운지 확인할 수 있었다. 실험은 사람의 앞에 있는 상대방에게 오른손으로 "O" 표시를 하는 동작을 모션캡처 시스템으로 획득하였고, 그 동작을 휴머노이드 로봇이 표현을 하는 실험이다. 획득된 동작은 휴머노이드 로봇에 맞게 변환되고, 분석되어 휴머노이드 로봇의 제어 PC로 전송된다. 전송된 원 모션은 제안한 방법에 의하여 회전하거나, 축소 확대 하는 실험을 하였다. 그림 5의 맨 위 그림은 획득된 모션을 휴머노이드 로봇에 맞게 변형한 원 동작이다. 가운데 그림은 원 동작을 1.5배로 확대한 동작이고 맨 아래 그림은 오른쪽으로 20도 회전하여 표현한 동작이다.



〈그림 3〉 휴머노이드 로봇 실험

5. 결 론

인간의 동작을 상대방과 분위기 같은 상황에 따라 휴머노이드 로봇에 맞게 다시 재생성하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 매우 간단하고 직관적이어서 어떠한 동작도 실시간으로 재생성 할 수 있었다. 그리고 한국과학기술연구원 인간형 로봇 "마루"를 통하여 검증해 보았다. 제안한 방법을 이용하여 표현하고자 하는 동작을 상대방의 위치에 따라 동작의 방향을 수정하고, 분위기나 감정에 따라 동작의 크기를 달리 하는 동작을 재 생성할 수 있을 것으로 기대한다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] ChangHwan Kim, Doik Kim, and Yonghwan Oh, "Solving an inverse kinematics problem for a humanoid robots imitation of human motions using optimization", *International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, pp. 85-92, 2005.
- [2] Nancy S. Pollard, Jessica K. Hodgins, Marcia J. Riley, and Christopher G. Atkeson, "Adapting human motion for the control of a humanoid robot," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 1390-1397, 2002.
- [3] Shinichiro Nakaoka, Atsushi Nakazawa, Kazuhito Yokoi, Hirohisa Hirukawa, and Katsushi Ikeuchi, "Generating whole body motions for a biped humanoid robot from captured human dances," *International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3905-3910, 2003.
- [4] T. Asfour and R. Dillmann, "Human-like motion of a humanoid robot arm based on a closed-form solution of the inverse kinematics problem," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pp. 1407-1412, 2003.
- [5] Craig M. Shakarji, "Least-Squares Fitting Algorithms of the NIST Algorithm Testing System", *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, vol. 103, pp. 633-641, 1998.
- [6] Seungsu Kim, ChangHwan Kim, Jong Hyeon Park, "Human-like Arm Motion Generation for Humanoid Robots Using Motion Capture Database", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2006.