

마리오네트 타입 인간 동작 변환 기법을 이용한 휴머노이드 로봇 제어

유정민^{***}, 나성권^{**}, 김은태^{*}, 김창환^{**}
 연세대학교^{*}, 한국과학기술연구원 인지로봇연구단^{**}

Humanoid Robot Control Using Marionette-type Motion Conversion

Jung-Min Yoo^{***}, Sung-Kwon Ra^{**}, Eun-Tae Kim^{*}, Chang-Hwan Kim^{**}
 Yonsei University^{*}, Korea Institute of Science and Technology^{**}

Abstract - 마리오네트는 끝단에 연결된 줄을 이용하여 사용자가 제어 할 수 있는 인형이다. 본 연구는 마리오네트 원리를 적용하여 인간의 동작을 통해 로봇을 직접 제어할 수 있는 방법을 제안한다. 이를 위해 인간 손과 로봇 손의 사이에 가상의 줄(Virtual Elastic strip)이 연결되어 있는 모델을 사용한다. 실시간으로 측정되는 인간의 동작에 따라 가상 줄의 길이가 변하게 되고 가상 힘이 발생된다. 이 가상 힘을 고려하여 로봇 팔의 정동역학(Forward dynamics) 해를 구한 후, 제어를 위한 로봇의 각 관절값을 얻게 된다. 제안한 방법을 이용하여 인간 동작을 실시간으로 가상 로봇의 동작으로 변환하고 제어하는 실험을 수행하였다.

1. 서 론

휴머노이드(Humanoid) 로봇은 외형뿐만 아니라 동작 또한 인간과 비슷하여야 한다. 그러므로 인간의 동작을 로봇이 가장 비슷하게 할 수 있도록 하는 방법 중에 하나는 인간의 동작을 그대로 로봇에게 적용하는 것이다. 이러한 이유로 인간의 동작을 변환하여 로봇에게 적용할 수 있는 방법들이 연구되어 왔었다.[1][2] 그 중에 한 가지는 최적화 이론을 이용한 방법이 있다.[1] 이 방법은 인간 모델을 이용하여, 인간 팔에 붙인 마커와 인간 모델 팔위에 있는 가상의 마커 사이의 거리를 목적 함수로 두고, 이를 최소화 하는 관절 값을 구하는 것이다. 하지만 이 방법은 팔의 길이 등과 같이 로봇과 인간과의 구조적인 차이점을 보정해주어야 한다. 또한, 이 방법은 특이성(Singular) 문제를 피하기 어렵고[3], 최적화 문제를 풀어야 하기 때문에 계산상의 부하가 큰 편이다.[4][5] 이를 해결하기 위해 마리오네트 타입의 인간 동작 변환 방법을 제안한다. 마리오네트란, 그림1과 같이 수동 관절(Passive Joints)이 줄에 의해 제어되는 인형을 뜻하며, 인형의 끝단에 연결된 줄을 통해 움직임을 제어 할 수 있다. 이를 인간 동작 변환 방법에 적용하기 위해 그림2와 같이 인간 손과 로봇 손 사이를 가상의 줄로 연결되어 있다고 가정한다. 인간 동작 변환 과정은 인간의 동작에 따라 두 끝단 사이의 가상의 줄의 길이가 변화하며, 변화 량 만큼을 힘으로 변환한다. 이 힘을 로봇의 팔 끝단에 작용하는 외력으로 생각하여, 로봇 팔의 정동역학(Forward dynamics)의 해를 구한 후, 이를 이용하여 로봇의 각 관절을 제어한다.



〈그림 1〉 일반적인 마리오네트

2. 본 론

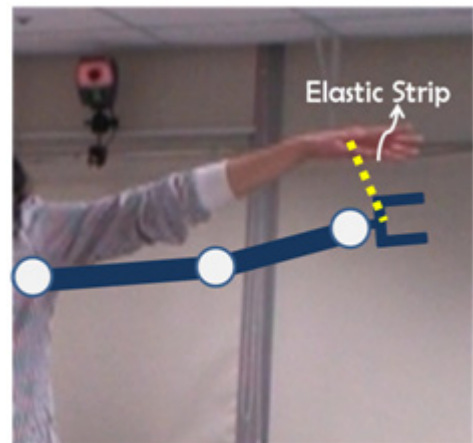
2.1 전체 시스템(Overall System)

로봇 팔의 움직임은 다음과 같은 정동역학 식에 의해 구할 수 있다.

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + G(q) + J^T F_{elastic_strip} = \tau$$

$$\tau = 0$$

여기서 q 는 관절 각도 벡터이며, $M(q)$ 는 로봇 팔의 질량 행렬(Mass matrix)이며, $V(q, \dot{q})$ 는 코리올리(Coriolis)와 원심력(Centrifugal) 벡터이다. 또, G 는 중력에 관한 항이다. 또한, 로봇의 모든 관절을 수동 관절(Passive Joint)로 하였기 때문에 $\tau=0$ 이 된다. J 는 자코비안(Jacobian)이며, $F_{elastic_strip}$ 는 가상의 줄의 의한 가상 힘이며, 로봇의 손의 끝단에서 외력으로 작용한다.



〈그림 2〉 인간 손과 로봇 손 사이의 가상의 줄

2.1.1 가상의 줄(Virtual Elastic Strip)

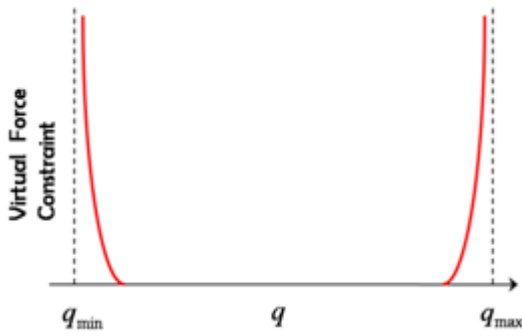
가상의 줄(Virtual Elastic strip)은 스프링과 감쇠기로 구성되어 있다. $F_{elastic_strip}$ 는 다음과 같다.

$$F_{elastic_strip} = k_p(x_{human} - x_{robot}) + k_d(\dot{x}_{human} - \dot{x}_{robot})$$

여기서 $x_{human}, \dot{x}_{human}, x_{robot}, \dot{x}_{robot}$ 는 인간의 손 끝단의 위치와 속도, 로봇의 손 끝단의 위치와 속도이다. x 는 $x \in R^6$ 로써 위치와 회전 정보를 나타낸다. 또, k_p 는 스프링 상수이고 k_d 는 감쇠 계수이다. 이 두 상수의 계인을 적절히 조절하여 원하는 성능을 얻을 수 있다.

2.1.2 관절 각도 제한(Joint Angle Limitation)

로봇 팔의 동역학 식으로부터 구한 로봇의 관절 값들이 허용된 범위보다 크거나 작을 경우 이로 인해 로봇이 손상될 수 있다. 그러므로 정동역학 식으로부터 구한 관절 각도들을 일정한 범위 내에서 제어하여야 한다. 이를 위해 가상의 반발력을 이용한다. 식으로부터 구한 관절의 각도가 제한된 범위에 다다를수록 가상의 반발력이 커지게 되고, 이는 관절의 토크를 상쇄시킴으로써 관절 각도를 제한할 수 있다.



<그림 3> 가상의 힘(Virtual Force)을 이용한 관절 각도 제한

2.2 시뮬레이션(Simulation)

제안된 마리오네트 타입의 인간 동작 변환 방법을 이용하여 시뮬레이션 상의 휴머노이드 로봇에 적용하였다. 그림4에서 보는 것과 같이 첫 번째는 모션 캡처 시스템을 이용하여 인간의 손 끝단의 정보를 얻는 그림이다. 두 번째 그림은 모션 캡처 시스템에서 얻은 인간 동작의 마커 데이터이며, 세 번째는 제안한 방법을 통하여 인간 동작을 가상 로봇에 적용한 그림이다. 그림을 통해서 이 다양한 인간 동작을 따라 할 수 있음을 보여주는 그림이다.



<그림 4> 인간 동작을 가상의 로봇에 적용

3. 결 론

본 논문에서는 휴머노이드 로봇 제어를 위한 마리오네트 타입의 인간 동작 변환에 대해 기술하였다. 또한, 제안된 방법을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 그림4에서 보는 것과 같이 제안된 방법을 이용하여 인간의 동작으로 휴머노이드 로봇을 제어 할 수 있었다. 앞으로 시뮬레이션 상의 가상의 로봇이 아닌 실제 휴머노이드 로봇을 이용한 실험을 통해 제안된 방법을 보완 및 수정하려고 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] ChangHwan Kim, et al, "Adaptation of Motion Capture Data of Human Arms to a Humanoid Robot Using Optimization", ICCAS, 2005
- [2] Nirut Naksuk, et al, "Wholed-Body Human-to-Humanoid Motion Transfer", Proc. IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2005
- [3] M.Meredith, S.Maddock, "Adapting motion capture data using weighted real-time inverse kinematics", Computers in Entertainment, vol3, issue 1, 2005
- [4] A.Ude, C.G, et al,"Programming full-body movements for humanoid robots by observation", Robotics and Autonomous Systems, v1o.47, pp.93-108, 2004
- [5] C.H.Kim, D.Kim and Y.Oh, "Solving an inverse kinematics problem