

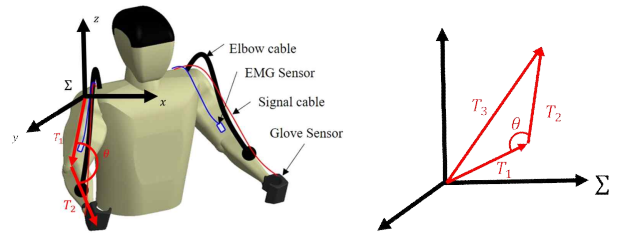
착용로봇 사용자의 팔 포즈(Pose) 추정 기법

이재경*, 김형우*, 이혁진*, 이창혁*, 홍지태*, 김홍주*
한국전기연구원 정밀제어연구센터*

Arm Pose Estimation for Wearable Robot User

Jae-Gyeong Lee*, Hyoung-Woo Kim*, Hyuk-Jin Lee*, Chang-Hyuk Lee*, Ji-Tae Hong*, Hong-Ju Kim*
Korea Electrotechnology Research Institute Precision Control Research Center*

Abstract - 본 논문은 착용로봇 사용자의 의도 파악을 위한 팔 포즈(Pose)를 추정하는 기법을 제시한다. 일반적으로 유연 구동 구조를 가진 착용로봇의 경우 운용성과 편의성을 중요시하기 때문에 현재 상태에 대한 데이터를 얻기 힘들다. 하여, 본 논문에서는 최소한의 관성측정장치와 구동부 모터의 엔코더 데이터만을 사용하여 유연 구동 착용로봇 사용자의 팔 포즈를 추정하는 방법을 제시하였다.



〈그림 2〉 사용자 팔 포즈(Pose) 추정

1. 서 론

산업종사자들의 근골격계 질환 감소 및 완화를 위한 착용형 유연구동 로봇에 관한 관심이 꾸준히 증가하고 있다 [1]-[3]. 이러한 유연구동 착용로봇의 경우 사용자가 받는 부하(Load)를 다른 곳으로 분산하는 것을 목적으로 하며, 이를 위해 사용자의 의도를 빠르게 파악하여 로봇 구동계의 동작 여부를 결정하는 것은 중요한 요소 중의 하나이다. 하지만, 유연구조를 가진 착용로봇은 사용자의 편의 및 운용 자유도를 높이기 위한 구조로 설계되어있기 때문에 대부분 센서를 부착하기 어려운 형태를 이루고 있다 [1]-[3]. 하여, 우리는 제한적인 센서의 활용만으로 사용자의 의도파악을 위한 핵심 데이터인 사용자의 팔 포즈(Pose) 추정하는 방법을 제시하고자 한다. 본 논문에서는 이전 연구 [1]의 착용형 로봇 구조에 기초하여 상박에 부착된 관성측정장치와 구동부의 엔코더 데이터만을 이용하여 사용자의 팔 포즈(Pose)를 추정하는 방법을 제시한다.

어깨를 원점으로 x, y, z 축을 가지는 좌표계 Σ 를 고려해보자. 여기서 팔의 포즈(Pose) T 는 상박의 포즈(Pose) T_1 와 하박의 포즈(Pose) T_2 의 집합이라고 정의할 수 있으며 이는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \{T_1, T_2\} \quad (1)$$

각각의 포즈는 아래와 같이 정의될 수 있으며

$$T_i = \begin{pmatrix} R_i & p_i \\ 0_3^T & 1 \end{pmatrix} \in SE(3), i \in [1, 2] \quad (2)$$

여기서 각 기호는 회전행렬 $R_i \in SO(3)$, 벡터 $p_i \in R^3$, 그리고 영벡터 $0_3 \in R^3$ 를 나타낸다. 위에 정의한 식 (1)에서 상박의 포즈 T_1 은 상박에 부착된 관성측정장치(IMU)에서 얻은 자세 (Attitude) 정보로부터 아래와 같이 계산될 수 있다.

$$T_1 = \begin{pmatrix} R_1 & 0_3 \\ 0_3^T & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_3 & v_1 \\ 0_3^T & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 & p_1 \\ 0_3^T & 1 \end{pmatrix} \in SE(3) \quad (3)$$

여기서 $I_3 \in R^{3 \times 3}$ 는 단위행렬을 의미한다. 식 (3)에서 회전행렬 R_1 은 관성측정장치로부터 얻을 수 있으며, 이미 알고 있는 상박의 길이 상수 l_U 를 정의함으로써 벡터 $v_1 = [l_U \ 0 \ 0]^T$ 을 구할 수 있다. 상박과 하박을 연결하는 팔꿈치는 2 자유도를 가지며 굴곡/신전과 회전운동을 할 수 있다. 하지만, [1]의 설계 구조에서 하박의 회전운동은 손등에 장착된 글러브를 통해 추정할 수 있으므로 제안하는 팔 포즈 추정 기법에서는 아래와 같이 팔꿈치를 1 자유도의 굴곡 및 신전 운동만으로 가정한다.

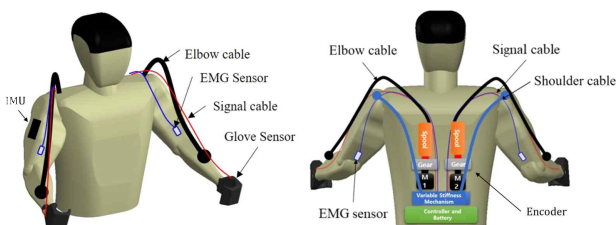
가정 1: 팔 상박과 하박을 연결하는 팔꿈치는 1 자유도의 굴곡 및 신전 운동만을 한다.

위와 같은 가정에서 상박과 하박 사이에 관여하는 단일 변수는 상박과 하박 사이의 굴곡각 θ 를 의미한다. 사용자의 상박 길이 l_U 와 하박 길이 l_L 는 고정된 상수이고, 어깨와 손목을 연결하는 케이블 길이 $\|p_3\|$ 은 구동부 엔코더의 측정값을 통해 얻을 수 있다. 즉, <그림 2>에서 포즈 T_1, T_2, T_3 의 요소 벡터의 크기

2. 본 론

2.1 유연구동 착용로봇 구조

본 논문은 이전 연구 [1]에서 설계한 유연구동 착용 로봇의 구조를 따르며, 구체적인 로봇의 구조는 <그림 1>에 나타나 있다. 하기 그림에서 착용로봇의 구동부는 사용자 등에 위치하며 사용자 손목에서 어깨로 고정된 케이블을 감거나 풀어 보조 토크를 생성하는 것을 특징으로 한다. 본 설계 구조에서 사용자의 팔 포즈(Pose) 추정을 위한 측정 장치는 사용자의 상박에 부착된 관성측정장치(Inertial Measurement Unit)와 사용자 등 부위 구동계 서보모터에 부착된 엔코더(Encoder) 장치이다.



〈그림 1〉 유연구동 착용로봇의 구조([1])

2.2 착용로봇 사용자의 팔 포스(Pose) 추정 기법

이전 연구 [1]의 착용형 로봇 구조에서는 팔 포즈(Pose)를 추정하는 문제를 <그림 2>와 같이 나타낼 수 있다. 그림과 같이

인 $\|p_1\| = l_U, \|p_2\| = l_L, \|p_3\|$ 를 알 수 있으므로 굴곡각은 다음과 같이 구해질 수 있다.

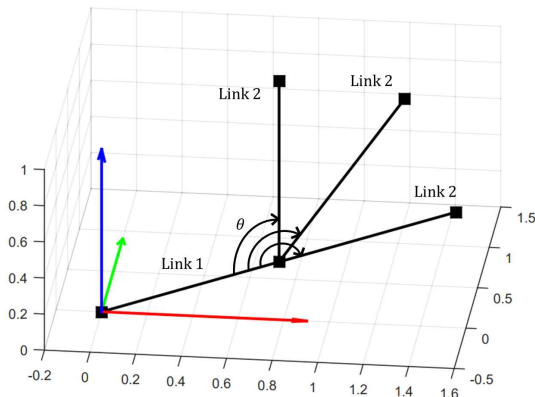
$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\|p_1\|^2 + \|p_2\|^2 - \|p_3\|^2}{2 \cdot \|p_1\| \cdot \|p_2\|} \right) \quad (4)$$

최종적으로 하박의 포즈는 식 (3)과 식(4)를 통해 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_2 = \begin{pmatrix} R_\theta & 0_3 \\ 0_3^\top & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_1 & 0_3 \\ 0_3^\top & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_3 & v_2 \\ 0_3^\top & 1 \end{pmatrix} \in SE(3) \quad (5)$$

여기서 회전행렬 $R_\theta \in SO(3)$ 은 굴곡에 의한 회전을 의미하며, 벡터 $v_2 = [l_L \ 0 \ 0]^\top$ 이며, 여기서 l_U 는 하박의 길이를 의미하는 상수이다.

2.3 시뮬레이션

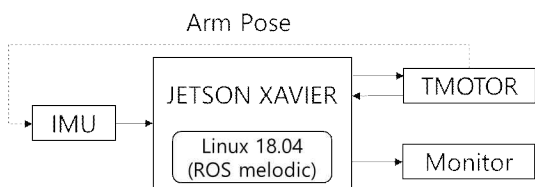


<그림 3> 굴곡각에 따른 하박 포즈(Pose) 시뮬레이션

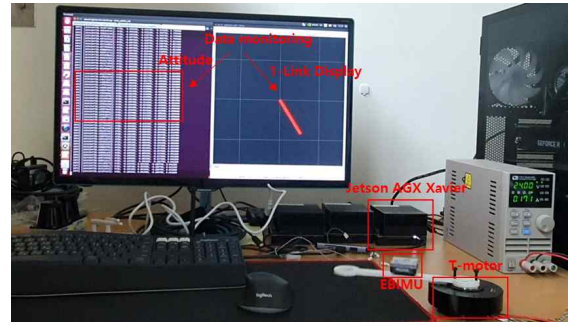
본 논문에서 제안된 사용자 팔 포즈(Pose) 추정 방법에 대한 시뮬레이션은 <그림 3>과 같다. 시뮬레이션에서는 상박과 하박으로 구성된 사용자의 팔을 2링크 매뉴플레이터의 구조로 단순화하여 표현하였다. 여기서 우리는 엔코더 값과 식 (4)를 사용하여 계산된 굴곡각 θ 에 의해서 하박(Link 2)의 포즈를 추정할 수 있음을 볼 수 있다.

2.4 시스템 구현

개발된 사용자 팔 포즈(Pose) 추정 알고리즘을 적용하기 위해 우리는 <그림 4>와 같은 시스템을 설계하였다. 본 시스템은 사용자의 의도 파악 기술을 고려하여 고성능 이미지 처리 모듈인 Jetson AGX Xavier 모델을 사용하고 있으며 Robot Operating System(ROS)을 활용할 수 있도록 설계되었다. 개발 시스템은 사용자의 착용성 및 편의성을 고려하여 무선통신 기반 관성측정장치인 EBMotion V4 모델을 사용하고 있으며, 1링크 구조의 매뉴플레이터를 통해 데이터 수집 및 포즈 데이터 추정 작업 검증되었다. 또한, 본 개발 시스템은 ROS Rviz 패키지를 활용하여 실시간으로 변하는 링크의 자세 정보를 모니터링할 수 있도록 구현되었다. 개발된 시스템은 <그림 5>에서 확인할 수 있다.



<그림 4> 시스템 구조도



<그림 5> ROS 기반 데이터 수집 및 포즈 추정 시스템

3. 결론

본 논문에서는 유연구동 착용로봇의 사용자를 위한 팔 포즈(Pose)를 추정하는 방법을 제시하고 이를 위한 시스템을 개발하였다. 사용자의 착용성 및 편의성을 중시하는 유연한 구조를 가지는 착용형 로봇의 경우 일반적으로 센서를 통해 얻을 수 있는 정보가 제한된다. 하여, 본 논문에서는 상박과 하박의 집합인 팔의 포즈를 추정하기 위해 관성측정장치(IMU)와 구동부 엔코더로부터 계산된 보조 토크 생성 케이블의 길이만을 사용하였다. 다시 말해, 관성측정장치에서 측정되는 자세 정보와 사용자 상박의 길이를 기반으로 상박의 포즈 정보를 얻은 후, 구동부 모터에 감겨있는 케이블의 길이를 역산함으로써 어깨와 손목 사이 연결된 케이블 길이를 계산하고 이를 활용하여 팔꿈치 굴곡각을 추정함으로써 최종적으로 사용자 하박의 포즈를 추정하였다. 추후 우리는 본 논문의 결과를 활용하여 착용로봇 사용자 팔의 포즈에 따른 사용자의 의도를 파악하는 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회의 지원을 받아 수행된 한국전기연구원 기본사업(No. 22A01024)에 의한 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참고 문헌]

[1] H.-J. Lee, C.-H. Lee, Y.-H. Song, H.-W Kim, J.-G. Lee, "Variable Stiffness Mechanism of Elbow/Shoulder Assist Torque for Soft Wearable Robot", The 18th International Conference on Ubiquitous Robots (UR), 2021
 [2] O'Neill, Ciarán T., et al., "A soft wearable robot for the shoulder: Design, characterization, and preliminary testing", International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), p. 1672-1678, 2017
 [3] H.-K. In, et al., "Exo-glove: A wearable robot for the hand with a soft tendon routing system", IEEE Robotics & Automation Magazine, 22.1, p. 97-105, 2015