

인체 동작 측정을 위한 근팽창측정센서 개발

Development of muscle volume sensor for the measuring human behavior

*서아람¹, #한창수², 장혜연³, 이희문³, 김원수³, 유승남³, 한경수⁴

*A. R. Seo¹, #C. S. Han(cshan@hanyang.ac.kr)², H. Y. Jang³, H. D. Lee³, W. S. Kim³, S. N. Yu³, J. S. Han⁴

¹한양대학교 메카트로닉스공학과, ²한양대학교 기계·정보경영공학부, ³한양대학교 기계공학과, ⁴한성대학교 기계시스템공학과

Key words : Muscle Volume Sensor(MVS), Regression analysis, Extension, Flexion, Human behavior

1. 서론

최근 생체역학과 의공학 기술의 발전에 따라, 재활 장치나 외골격 장치 등의 인간-기계 인터페이스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 인간-기계 인터페이스가 보조장치로 역할을 하기 위해서는 인간의 동작의도를 파악할 수 있어야 하며,¹ 이러한 점에서 인간의 동작의도 추출은 기계와 상호작용에 중요한 이슈로 생각되고 있다.² 생체신호 중 관련연구에 가장 널리 이용되는 것은 근전도(EMG, Electromyogram data)이다. 이 방식은 근육의 수축 정도에 따라 다르게 발생하는 근전도 신호를 검출하는 방식으로 진행된다. 그러나 이러한 근전위센서는 각종 노이즈에 매우 민감하므로 노이즈에 의한 오류가 발생하기 쉬운 문제점이 있다.³ 한편, 이러한 근전위센서에 의한 근육활성도 측정의 문제점을 보완하기 위해 최근에는 근육의 경도를 측정하는 근경도 센서(MSS, Muscle stiffness sensor)가 개발되었지만⁴ 일반적으로 사용되는 근경도 측정센서는 신체부위에 부착하기 적합하지 못하다. 특히, 근육의 경도를 측정하는 센서이므로 돌출부가 존재해 신체에 부착 시 피부의 통증을 유발한다.

본 연구의 목표는 기존 센서들의 문제점을 보완하고 보다 정확하고 간편하게 근육활성도를 측정할 수 있는 새로운 개념의 근팽창측정센서(MVS, Muscle volume sensor)를 개발하여 로봇의 동기신호 알고리즘의 개발을 목적으로 한다.



Fig. 1 Left: Rehabilitation and wearable Robot (SUBAR, SARCOS, HAL). Right : Sensor (EMG, MSS)

2. 근팽창측정센서(Muscle volume sensor) Design

본 연구에서 개발한 근팽창측정센서(MVS)는 사람의 관절이 움직일 때 변화되는 근육의 수축 팽창 현상을 측정하여 동기신호를 획득하기 위한 센서이다. 센서 제작을 위해 착용의 편의성이 좋고 노이즈에 강한 FSR(Force Sensing Resistors) 센서를 이용하여 제작하였다. FSR 센서가 nonlinear 한 특성을 가지고 있기 때문에 Push-pull gauge를 이용해 실제 측정된 값으로 회귀분석을 하였다.

$$\hat{\beta} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 \times (y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta}\bar{x}$$

$$\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}x$$

$$= -0.061 + 0.003x \tag{1}$$

실제 측정값과 FSR 센서 출력값을 회귀분석하여 회귀식을 구하였으며, 신뢰도를 검증하기 위해 다음식과 같이 R^2 값을 도출하였다.

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y} - y_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} = 0.973 \tag{2}$$

일반적으로 R^2 값이 80% 이상일 때 신뢰성이 있다고 판단하며 본 연구에서 도출된 R^2 값으로 FSR 센서의 사용 타당성을 검증하였다. 센서 제작 시 사람의 피부의 stiffness를 고려하여 센서 바닥패드 부분은 flexible한 압축탄성체로 제작하고 FSR 센서의 특성을 고려하여 센서 위에 반구의 돌출부를 만들어 간단하게 제작하였다. 본 연구에서 제작된 근팽창측정센서(MVS)는 옷 위에 착용해도 신뢰할 수 있는 센서 값 획득이 가능하고, 가격이 저가이고, 제작이 간단하며 착용성이 뛰어나다는 장점이 있다.

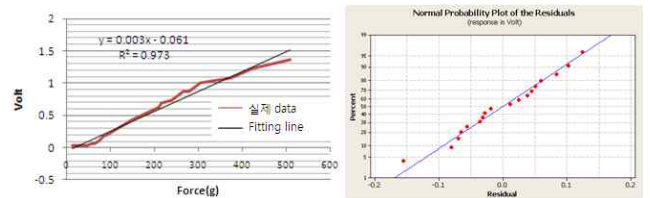


Fig. 2 Left :Regression plot of FSR. Right :normal plot of residuals



Fig. 3 MVS (Muscle volume sensor) design

2. 알고리즘 개발

본 논문은 근팽창측정센서를 이용하여 사람 관절의 동작 각도를 파악하여 로봇을 제어하는데 그 목적이 있다. 먼저 로봇의 모터에서 나오는 출력 값과 근팽창측정센서의 출력 값을 mapping하여 각도를 추정한다. 이렇게 mapping이 되어 진 값으로 동작의도 신호를 만든다.

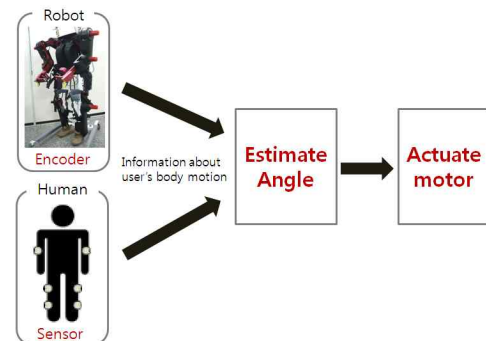


Fig. 4 Estimate angle of MVS

본 연구과정에서 개발된 센서를 통해 측정된 근육 팽창정도를 이용해 동작을 구분할 수 있다는 것을 발견하였는데, 그 방법은 도함수를 사용하는 것이다. 조금 더 자세히 설명하자면, 도함수를 사용하여 출력 값을 +, - 값으로 분리하여 동작을 구별하게 된다. 이러한 알고리즘을 사용하면 복잡한 근 골격 구조를 기구학/동력학적으로 풀어내지 않아도 입력되며, 근팽창도와 Extension과

Flexion 동작 간의 관계를 모델링할 수 있다는 장점이 있다. 사람의 동작을 Extension과 Flexion으로 분리하여 보다 더 정확한 각도 추정을 시도하였다. 동작을 구별하지 않을 때와 동작을 구별 했을 때와의 각도 추정 정확도 비교는 아래 실험에서 자세히 설명한다. 동작을 Extension과 Flexion으로 분리하는 식은 다음과 같다.

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t)$$

$$y_i = \frac{1}{dt} (x_{i+1} - x_i) \quad (3)$$

근팽창측정센서에서의 각도 추정은 아래와 같은 식으로 polynomial curve fitting의 단계를 거쳐 이뤄진다.

$$f_i = \sum_{j=0}^m a_j x_i^j \quad (4)$$

다음과 같은 방법을 통해 동기신호를 획득하였고, LabVIEW®를 사용하여 알고리즘을 구현하였다. 본 논문에서는 위와 같은 알고리즘을 사용하여 보다 정확한 각도추정 실험을 시행하였다.

3. 실험

본 논문은 근팽창측정센서를 사람의 관절 움직임에 가장 크게 관여하는 큰 근육에 부착하여 신호를 획득함으로써 실험을 수행하였다. 실험은 몸무게 80Kg, 키 178cm의 건장한 성인남성을 대상으로 실험하였으며, 무릎관절의 각도추정을 목표로 삼았다. 센서는 하지의 내측광근에 부착하여 실험하였고, 초기에 엔코더 출력 값과 근팽창측정센서 출력값을 mapping 시켜 각도값을 추정하고 난 뒤, 실제 동작에서의 실제 각도 값과 추정된 각도 값을 비교하는 방식으로 실험을 진행하였다. 처음 실험에서는 동작을 Extension과 Flexion을 구별하지 않고 각도 추정을 하였다. 아래의 그림 5에서 볼 수 있듯이 실제 각도와 추정된 각도 사이에 오차가 존재하는 것을 알 수 있다. 이때의 실제 각도와 추정된 각도 값 사이의 오차는 5.14°로 측정되었다.

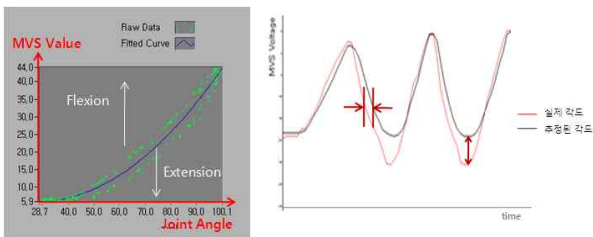


Fig. 5 Estimate angle of without distinction of extension and flexion

다음은 처음 실험과는 다르게 동작을 Extension과 Flexion으로 구별하여 실험하였다. 위의 그림 5와 비교 했을 때 실제 각도와 추정된 각도 차이의 오차는 현격히 줄어든 것을 확인할 수 있다. 이때 Extension 동작에서의 에러는 0.45° 이었으며, Flexion 동작에서의 오차는 1.53°로 측정되었다.

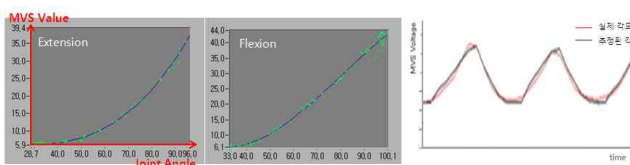


Fig. 6 Estimate angle of distinction of extension and flexion

이러한 결과는 앞에서 설명되어진 동작에 따른 근육의 부피팽창도에 따라서 다른 결과를 나타냄을 보이며, 그림 5에서 보이는

것처럼 Extension과 Flexion의 동작이 명확히 구별되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 생체공학적 적용과 동기신호 획득을 위하여 사람의 움직임을 예측하기 위한 방법으로 근육의 부피팽창도를 측정하는 센서를 개발하였으며, 기존의 개발된 센서들의 특징과 장단점에 대하여 간략히 소개하였다. 본 연구에서 개발된 근팽창 측정센서는 압력센서를 이용한 새로운 개념의 센서이며, 이 센서를 이용한 보다 정확한 동기신호 획득에도 성공하였다.

본 논문은 개발된 근팽창측정센서를 이용한 각도 추정 실험에서 Extension과 Flexion 동작을 분리하여 실험을 하였을 때가 그렇지 않았을 때 보다 오차가 약 62% 감소하는 결과를 확인하였다.

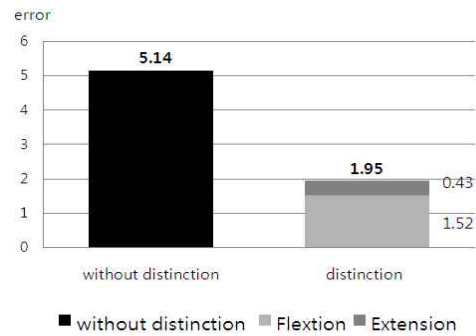


Fig. 7 Compare error of without distinction with error of distinction

앞으로 본 연구에서 개발된 근팽창측정센서를 이용하여 토크 추정에 대한 연구도 가능할 것으로 보인다. 하지만 압력센서를 이용함으로써 nonlinear한 성향과 인체의 근육이 동작과 함께 힘이 발생한다면, 각도에 따라 부피가 팽창하는 값과 힘이 작용하여 근육의 부피가 팽창하는 값을 분리하기 어렵다는 문제점이 남아 있다. 하지만 이러한 문제점을 해결한다면 별도의 많은 센서들이 없이 재활로봇이나 착용형 로봇의 구동할 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 한양대학교 고기능 로봇 매니플레이션 연구센터를 통한 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력 양성사업의 지원으로 수행된 연구입니다.

참고문헌

- Sato, T., Nishida, Y., Ichikawa, J., Hatamura, Y. and Mizoguchi, H., "Active understanding of human intention by a robot through monitoring of human behavior," Proc. of the IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 1, pp. 05-414, 1994.
- Bien, Z. Z., Park, K.-H., Jung, J.-W. and Do, J.-H., "Intention reading is essential in human-friendly interfaces for the elderly and the handicapped," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 52, No. 6, pp. 1500-1505, 2005.
- De Luca, C. J., "The Use of Surface Electromyography in Biomechanics," Journal of Applied Biomechanics, Vol. 13, No. 2, pp. 135-163, 1997.
- Kong, K. C., Jeon, D. Y., "Design and control of an exoskeleton for the elderly and patients," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 11, No. 4, pp. 428-432, 2006.