

로봇 매니플레이터용 하모닉드라이브 수명예지 알고리즘 적용 및 실험 장치 개발

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

Development of Harmonic Drive Life Prediction Algorithm and Experimental Device for Robot Manipulator

Hyuk Jin Lee*, Hyoung Woo Kim*, Ji-Tae Hong*, Chang-Hyuk Lee*, Hong Ju Kim*
Korea Electrotechnology Research Institute*

Abstract - 본 논문은 스마트공장용 보급형 협동 로봇 활용도를 높이기 위한 목적으로 협동 로봇의 고장진단을 감지하기 위한 시스템 설계 및 AI 알고리즘을 활용한 고장진단 수명 예지에 관한 것이다. 본 연구의 기술적 구성은 데이터 취득을 위한 실험장치 개발과 수명예지 알고리즘 적용이다. 실험장치는 모터, 진동센서 및 진동 프레임 일체를 포함하는 가진 시스템이다. 그리고 이번 논문에서는 협동 로봇의 하모닉드라이브 수명을 예지하기 위해서 10개의 고장 단계를 나눠 고장에 따른 진동 데이터를 취득 후 진동 데이터를 CWT(Continuous Wavelet Transform) 이미지 데이터로 취득한다. 그리고 이 데이터를 활용하여 CNN(Convolution Neural Network) 알고리즘을 적용하여 고장의 정도에 따른 수명예지하는 방법을 적용하였다. 이 논문에서는 데이터 수집 및 알고리즘 검증에 위한 실험 장치를 활용하여 CNN 알고리즘을 적용한 수명예지의 정확도를 평가하였다.

1. 서 론

로봇은 복합적인 기계/전자 장치들의 집합체이기 때문에 로봇 전체에 대한 고장진단은 어느 핵심 부품을 교체해야 하는지 판단하는 것이 어렵다. 그래서 고장 진단 및 수명 예지는 핵심 부품에 대해 이루어져야 정확한 진단과 수명 예측을 할 수 있다. 하모닉드라이브는 로봇의 핵심 부품이며, 토크 및 속도의 증대를 위한 감속기의 일종이며 하모닉드라이브는 세 가지의 기본 부품(Wave Generator, Flexspline, Circular Spline)으로 구성된다. 하모닉드라이브의 고장진단에 대한 논문은 여러 연구가 진행되어 왔다[1][2]. 일반적으로 RUL(Remaining Useful Life) 추정 모델을 활용하여 수명을 예측하는 방법을 많이 사용하고 있다 [3].

이 방법은 연속시간으로 동작시키지 않으면 추정치가 크게 떨어진다. 그러나 일반적으로 하모닉드라이브를 정상 상태에서 고장 상태로 만들기 위해서는 수 만시간이 소요되기 때문에 불가능하다. 이런 이유로 기존의 방식에서 탈피하여 고장의 단계를 여러 단계로 나눠서 고장의 데이터를 취득한 후 데이터 후 처리를 통해서 이미지 파일로 고장의 정도를 분류하여, CNN 알고리즘을 활용할 수 있다. 이 방법을 활용하면 복잡한 수명 데이터 모델을 사용하지 않고도 수명을 보다 정확하게 예측 할 수 있다. 다음장에서 실험장치 및 수명예지 알고리즘에 대해 자세히 설명 할 것이다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 데이터 취득 방법

실험장치의 구성은 모터 및 모터 드라이브, 하모닉드라이브, 회전링크, 무게 추, 진동센서 1, 진동센서 2로 총 4 파트(구동부, 센싱부, 하중부, 수명예지 파트)로 구성하였다. 하모닉드라이브의 정상 상태에서 고장까지 가기 위해서는 1만 시간을 구동시켜야 하므로 본 실험 장치에서는 무게 추와 회전링크를 이용하여 한 쪽 방향으로 편심 회전을 시켜 하모닉드라이브에 불평형 토크를 인가하는 방식으로 고장까지 소요되는 시간을 줄였다.

하모닉드라이브의 고장이 발생하는 조건은 장시간 가동으로 인한 열의 발생하고 하모닉드라이브 내부의 구리스가 기화 또는

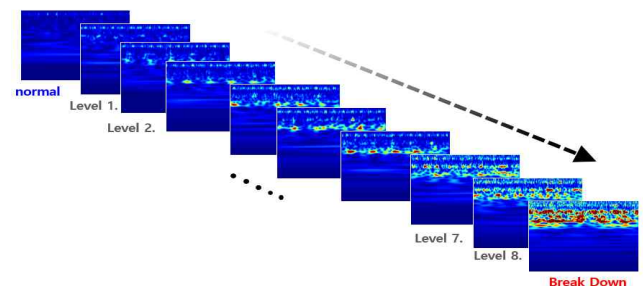
액화되어 외부로 빠져나가 마찰 진동 마모의 증가로 베어링이나 기어부에서 파단이 발생한다. 고장 발생을 빠르게 진행시키기 위해 하모닉드라이브 내부에 있는 구리스를 제거하고 실험을 진행하였다.

하모닉드라이브의 고장의 정도는 진동의 크기에 따라 나뉘지며, 일반적으로 수명의 정도가 줄어들수록 진동의 크기가 증가하고 고장의 부위에 따라 진동의 주파수가 달라진다. 고장은 일반적으로 베어링과 기어부에서 발생하며 회전체의 불이나 기어의 이가 고장나면 그 곳에서 강한 진동이 발생하는 것이 특징이다. 하모닉드라이브의 데이터를 취득하기 위해서 진동 센서를 부착하였다. 진동 센서는 하모닉드라이브의 내부 베어링과 가까운 직접 연결하는 파트에 부착함, 진동센서1은 하모닉드라이브의 진동 데이터를 직접 수집하는 용도로 사용되며, 진동센서2는 모터로부터 발생하는 진동 데이터를 수집했다. 외란으로 작용하는 진동센서2로부터 발생하는 진동 데이터는 제거하여 정확도를 높였다.

2.2 CWT 및 CNN 알고리즘 적용

획득된 데이터는 진동 데이터 이기 때문에 RNN과 같은 실시간 데이터를 다루는 AI 알고리즘에는 특화되어 있지만, 분류 및 수명예측에 특화되어 있는 CNN 알고리즘에는 진동 데이터를 이미지로 변환하여 사용하는 것이 더 효율적이다. 특히 고장 진동 데이터는 고장 부위에 따라 진동 주파수의 영역이 다르며 이는 Time domain보다는 Frequency domain에서 고장의 정도를 진단하는 것이 고장의 정도뿐만 아니라 고장의 종류 분류에 있어도 더 효율적이기 때문에 진동 데이터를 이미지 데이터로 변환하기 위해 CWT 방법을 활용하였다.

이래의 그림1.은 CWT 방법을 활용하여 수명예측을 하기 위해 고장 데이터를 10개의 단계로 분류한 사진이다.



<그림 1. 수명 예측을 위한 고장 정도에 따른 이미지 분류>

2.3 하모닉드라이브 수명예지를 위한 학습 및 평가

하모닉드라이브 고장예지 기술적용을 위한 데이터 기반 진단 알고리즘 실증 및 검증을 수행하였다. 하모닉드라이브의 고장은 주로 내부의 Wave generator 베어링 부에서 발생하며 고장 주파는 주로 고주파수 영역에서 발생한다.

CNN 적용을 위한 네트워크 설계 및 Overfitting 회피를 위한 데이터 증량 (150% 상향) 및 드롭 아웃, 데이터 정규화 등을 사

용하였다.

CNN을 이용한 고장 예지 알고리즘 적용 결과 87% 정확도 고장 정도를 예측하였으며, 그 결과는 그림2.에서 확인 할 수 있다. 이미지의 정규화 및 Overfitting을 회피하는 방법을 활용하면 정확도는 더욱 향상 될 것으로 예상된다.

오차행렬을 사용하여 Class 별로 어디서 Prediction과 실제 value를 분류하기 어려운지를 판단하였으며, 특정 Class에서 분류가 어려운 이유는 특정 구간에서 고장의 정도가 정체하는 현상이 발생하기 때문이며, 그 외의 구간에서는 고장의 정도 예측을 비교적 정확하게 예측하였다.



<그림 2. CNN 모델 및 Test-set 예측 정확도 결과>

3. 결 론

이번 논문에서는 협동 로봇의 하모닉드라이브 수명을 예지하기 위해서 데이터 취득 실험장비 개발 및 CWT와 CNN방법을 활용한 수명예지 진단 방법을 적용하여 그 정확도를 평가하였다. 총 10개의 고장 단계를 나눠 고장에 따른 진동 데이터를 취득 후 진동 데이터를 CWT 이미지 데이터로 취득하고 이 데이터를 활용하여 CNN 알고리즘을 적용하여 고장의 정도에 따른 수명 예지하는 방법을 적용하였다. 그 정확도는 87%이며 더 많은 데이터를 취득한다면 더 높은 정확도로 수명 단계를 예측할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회의 지원을 받아 수행된 한국전기연구원 기본사업임(No. 22A01053)

[참 고 문 헌]

- [1] 윤병동, et al., “풍력발전기 유성기어박스 고장 진단을 위한 신뢰성 기술”, Journal of the KSME, 54, 51-55, 2014
- [2] 김진세, et al. “협력 로봇 TCP 위치 데이터 가반 작업 처리 성능 평가 및 부하로 인한 건전성 저하 분석 연구”, 한국정보과학회 학술발표, 1575-1577, 2020
- [3] 신주성, et al. “고장 진단 및 예지가 가능한 로봇용 감속기 내구성능 평가 장치 개발”, 드라이브 컨트롤, 16, 33-41, 2019