

오토-엔코더 알고리즘 기반 협동 로봇 실시간 고장 진단 시스템 개발

송영훈*, 박영식*, 김홍주*, 홍지태*
한국전기연구원*

Development of Real-time Co-op. Robot Fault Detection System based on Auto-encoder Algorithm

Younghun Song*, Yeoung Sik Park*, Hong Ju Kim*
Korea Electrotechnology Research Institute*

Abstract - 본 논문에서는 오토-엔코더 알고리즘[1-3]을 기반으로 하는 협동 로봇의 실시간 고장진단 프로그램을 소개한다. 협동 로봇은 산업 제조 현장에서 널리 사용되는 자동화 시스템 중 하나이다. 일반적인 자동화 장비와 달리 협동 로봇은 작업자와 같은 공간에서 동작하므로 고장이 발생했을 때 생산성 저하뿐만 아니라 작업자의 상해 위험이 있으므로 고장을 빨리 진단할 필요가 있다. 오토-엔코더 알고리즘은 라벨이 없는 데이터의 효율적인 코딩을 학습하는데 사용되는 인공지능망의 한 유형으로, 고장의 징후가 없는 일상적인 상태에서 수집되는 데이터셋을 이용하여 고장 발생 여부를 판단하기 위해 사용한다. 본 논문에서 소개하는 시스템은 협동로봇의 고장 여부를 인식하기 위하여 협동 로봇의 말단부에 진동 센서를 부착하고, 진동 센서로부터 수집되는 진동 데이터를 Continuous wavelet transform을 적용하여 전처리한 이후, 오토-엔코더를 적용하여 고장 여부를 판단하였다. 매 1초 동안 기록된 진동 정보와 고장 여부를 외부 모니터링 시스템으로 전송하고, 모니터링 시스템에서는 현재 로봇 상태와 고장 유무를 실시간으로 표시할 수 있도록 하였다. 오토-엔코더 알고리즘의 학습을 위해서는 정상상태의 데이터 입력이 필요한데, 협동 로봇의 pick-and-place 동작을 모사하여 반복 동작을 수행하고, 이를 학습에 사용하였다[4]. 마지막으로 소형 폼프 모듈을 제작하는 자동화 조립라인의 협동로봇에 적용하여 현장 적용 가능성을 평가하였다.



〈그림 1〉 고장진단 및 진동모사를 위한 시스템 구성

DAQ 장치를 이용하여 데이터를 수집하고, 고장진단 시스템과 TCP/IP를 통해 데이터를 전송하였다. DAQ 장치의 I/O 모듈과 로봇제어기의 긴급정지 입력 터미널을 연결하여 고장 발생시 로봇의 긴급 정지를 수행할 수 있도록 하였다. 동일한 네트워크에 Windows가 설치된 PC를 연결하여 모니터링 시스템을 구성하였다. 모니터링 시스템과 고장진단 시스템 역시 TCP/IP를 통해 로봇 상태와 고장유무를 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다.

로봇에 설치된 가속도 센서를 통해 수집된 진동 데이터는 매 0.1초 동안의 진동 신호를 Continuous Wavelet Transform(CWT)를 사용하여 이미지화 하고, 이를 Auto-encoder의 입력 신호로 하였다. Auto-encoder는 로봇의 정상상태 데이터를 학습시켰으며, 입력 신호와 Auto-encoder의 출력 신호를 비교하여 픽셀의 값 차이의 평균값을 loss로 정하였다. loss값이 특정 기준치를 초과하면 고장이 발생했다고 판단하였다. 〈그림 2.〉와 같이, 측정되는 로봇 진동 데이터와 loss값을 실시간으로 모니터링 프로그램으로 전송하여 표시하고, 고장 이력을 관리할 수 있도록 하였다.

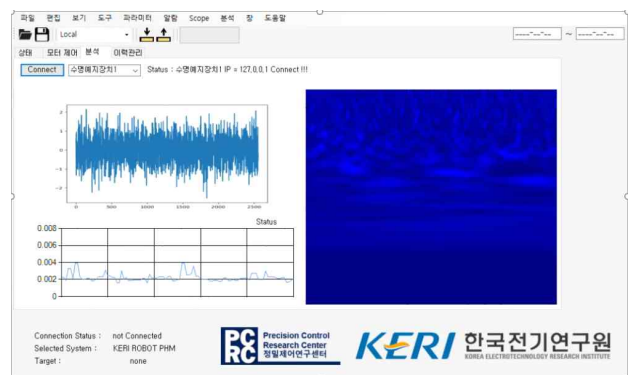
1. 서 론

산업용 조립, 이송 자동화의 핵심 구성품으로 보급이 확산되고 있는 협동 로봇은 작업자와 같은 공간에서 운용할 수 있다는 장점이 있지만, 로봇의 고장 발생 시 함께 작업하는 작업자에도 치명적인 영향을 미칠 수 있다는 큰 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 로봇 제조사에서는 외부 충격 감지를 통한 긴급정지 등의 안전 기능을 개발하고 있다. 하지만, 로봇이 물체를 잡거나 이송할 때 발생하는 충격이나, 로봇 엔드이펙트의 동작으로 인해 발생하는 충격과 실제 외부 충돌에 의해 발생하는 충격을 구분하기가 어렵고, 순간적으로 발생하는 충격 외에 부품의 마모 등에서 발생하는 고장을 대응하기가 어렵다는 문제가 있다. 본 논문에서는 로봇 제어 시스템과 독립적으로 동작하는 실시간 고장진단 프로그램을 개발하였다. 또한, 실시간 고장진단을 위해 로봇의 말단부에 진동 센서를 부착하여 수집된 진동 데이터를 기반으로 Auto-encoder 알고리즘을 이용하는 고장진단 방법[4]을 적용하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성 및 고장진단 방법

협동 로봇 실시간 고장 진단 시스템은 협동로봇, 고장진단 시스템, 모니터링 시스템으로 구성되어 있다. 〈그림 1.〉과 같이, 협동로봇은 두산로보틱스사의 협동로봇을 대상으로 하였다. 로봇의 말단부에 위치한 그리퍼 연결 구조물에 가속도 센서를 설치하였으며, 모의 고장 신호를 생성하기 위해 무게추 및 소형 서보모터를 적용하였다. 가속도 센서는 National Instrument사의



〈그림 2〉 고장 모니터링 프로그램

2.2 Auto-encoder 구성

Auto-encoder를 이용하기 위해서는 정상상태의 데이터셋이 필요하다. 정해진 pick-and-place를 반복하여 동작하는 로봇을 대상으로 하였으며, pick-and-place 동작이라고 하더라도 작업에 따라 다양한 세부 동작으로 구성되어 있으므로 이를 표준화 하기 위하여 그리퍼를 X, Y, Z, X-Y, X-Z 및 Y-Z 방향으로 동작하는 모션을 생성하고, 각 모션을 100회 반복하면서 정상상태의 데이터를 획득하였다. 획득한 진동 데이터를 전처리 하기 위해 CWT 알고리즘을 적용하여 약 240개의 진동 이미지를 획득하였으며, 획득한 데이터를 8:2로 나누어 각각 training과 validation set으로 구성하여 학습하였으며, 그림3과 같이 최종 loss가 1% 미만인 되도록 학습을 완료하였고, 이 결과를 적용했을 때 이상상태가 감지될 수 있도록 threshold를 적절한 값으로 설정하였다.



〈그림 3〉 Test & Validation 결과

3. 결과 및 토의

그림 4와 같이 최종 성능 검증은 실제 plant에서 실제 데모 동작을 수행하며 실시간으로 수행하였다. 매 샘플링 주기마다 진동 데이터를 수집하여 CWT 동작을 수행하고 학습된 모델에 입력하였으며, 이 때의 입력 이미지와 출력 이미지의 픽셀당 수치 차이의 평균을 오차로 보고 오차가 기준값을 넘을 때를 고장상태로 판단하였다. 실시간 동작 검증은 진동추를 이용하여 강제 fault를 발생시켜서 1초 이내에 이상을 감지하는지 여부를 확인하였으며, 제안된 시스템에서 20회 측정된 결과 모든 경우에 이상상태를 감지하였다.



〈그림 4〉 고장 감지 실험

3. 결과 및 토의

본 논문에서는 협동 로봇의 실시간 고장진단을 위하여 로봇과 독립적으로 구성된 고장진단 시스템을 제안하였다. 제안한 고장진단 시스템은 로봇의 외부에 진동센서를 부착하고, 진동 센서에서 계측된 진동 데이터를 CWT와 Auto-encoder 방식을 이용하여 고장 여부를 실시간으로 진단할 수 있도록 하였다. 또한, 제안한 고장진단시스템을 실제 조립 작업을 수행하는 데모 라인에 적용하여 실제 작업 현장에서의 실증 여부를 판단하였다. 제안한 시스템은 pick-and-place 동작을 수행하는 로봇의 고장 발생시 1초 이내에 고장 여부를 판단할 수 있다는 실험 결과를 확인하였으며, 이는 고장상태의 데이터를 얻기 어려운 생산자동화 환경 등에 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회의 지원을 받아 수행된 한국전기연구원 기본사업(No. 22A01056)

[참 고 문 헌]

- [1] Jicong Fan, Wei Wang and Haijun Jhang, "AutoEncoder based high-dimensional data fault detection system", 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics, pp. 1001-1006, 2017
- [2] 서명교, 윤원영, "오토인코더를 이용한 열간 조압연설비 상태 모니터링과 진단", Journal of Korean Society for Quality Management, Vol. 47, No. 1, pp. 75-86, 2019
- [3] Pangun Park, Piergiuseppe Di Marco, Hyejeon Shin, and Junseong Bang, "Fault Detection and Diagnosis Using Combined Autoencoder and Long Short-Term Memory Network", Sensors by MDPI Vol. 19, No. 21, 2019
- [4] 송영훈, 김홍주, 이혁진, 이재경, 박영식, "Auto-encoder 기반 로봇 고장 진단 방법", 2021년도 한국산업융합학회 춘계학술대회 논문집, P-IV-B-3, 2021