

TADGAN 알고리즘을 이용한 6 축 다관절 로봇의 충돌판단

권우경, 조성현, 강동엽, 동지연, 남승우
한국전자통신연구원 대경권연구센터 스마트이동체 연구실

wkwon@etri.re.kr, seonghyeonjo@etri.re.kr, kang@etri.re.kr, jydong@etri.re.kr,
swnam@etri.re.kr

Collision Detection Method for 6 DOF Robot Manipulators using TADGAN Algorithm

Wookyong Kwon, Seonghyeon Jo, Dongyeop Kang, Jeyoun Dong, Nam Seung Woo*
ETRI, Daegu-Gyeongbuk Research Center. Smart Vehicle Laboratory

요 약

본 논문에서는 TADGAN 알고리즘을 이용한 6 자유도 (DOF) 로봇 매니퓰레이터의 충돌 판단 방법을 제시한다. 충돌 감지는 협업 로봇의 필수 기능이므로 공유 작업 공간에서 인간의 안전을 위해 매우 중요하다. 데이터 기반 충돌 감지 방법을 개발하기 위해 6 자유도 로봇에서 여러 데이터 세트를 수집하여, TADGAN 알고리즘을 통해 충돌을 감지하고 테스트 데이터 세트를 통해 방법을 검증하였다. 제안된 알고리즘은 데이터 기반 접근 방식의 가장 큰 어려움 인 작은 크기의 충돌 데이터를 사용해도 학습이 가능하다는 장점이 있음을 알 수 있다.

I. 서 론

다관절 로봇은 공정의 자동화에 있어 큰 역할을 수행하고 있다. 반복적이고 정밀한 작업이 요구되는 작업에 서 다관절 로봇을 활용해 조립, 물체 이동, 등을 수행함으로써 효율성을 향상시키고, 제품 생산의 비용을 절감할 수 있다. 다품종 소량생산 공정의 확대에 따라 더 다양화된 공정에 대한 로봇수요가 증가하고 있으며, 이에 따라 기존 산업용 로봇을 활용한 시장의 수요가 점차 협업 로봇으로 확대되고 있다. [1]

협업 로봇은 산업용 로봇과 달리 사람과의 협업을 통해 작업을 수행할 수 있다. 가반 하중이 로봇에 보다 작은 편이나, 10kg 급 이하의 가반 하중으로도 충분히 수행할 수 있는 작업들이 많고, 크기가 작아 이미 자동화된 공장에서도 레이아웃의 변경을 최소화하며 자동화 시설과의 연동할 수 있어 활용성이 증대되고 있다. 이러한 협동 로봇의 핵심 기능은 충돌감지와 직접교시 기능이며, 특히 충돌감지 기능은 공동작업을 수행하는 사용자의 안전을 보장하기 위한 필수 기능이다.

충돌 감지 알고리즘은 로봇의 외력을 센서 또는 센서리스 방식을 통해 추정하는 외력추정 알고리즘과 추정된 외력으로부터 충돌여부를 판단하는 충돌 판단알고리즘으로 크게 나눌 수 있다. 충돌 판단을 위한 가장 쉬운 방법은 정해진 값을 기준으로 충돌여부를 결정하는것이다. 그러나 해당 방법의 성능은 한계가 있어, 이를 개선하기 위해 적응형 문턱값을 사용하거나 머신러닝 기법들을 이용한 충돌판단 알고리즘들이 연구되었다.

본 논문에서는 로봇의 충돌을 판단하기 위해, 데이터기반의 알고리즘 중 시계열 데이터의 이상감지에 사용되는 TADGAN 알고리즘[2]을 적용하였다. 6 축 로봇의 실제 충돌 데이터를 통해 해당 알고리즘을

검증하였으며, 이를 통해 상대적으로 적은 데이터로 로봇의 충돌을 판단할 수 있음을 확인하였다.

II. TADGAN 을 이용한 로봇의 충돌감지 방법

다관절 로봇에서 충돌을 감지하기 위해서는 모터가 로봇을 구동하기 위한 토크와 외력으로 인한 토크를 구분해야 하며 이를 위해서는 로봇 모델을 기반으로 로봇 구동에 대한 모터 토크를 분리함으로써, 외력에 의한 토크만을 추출해야 한다. 외력 추출을 위한 다관절 로봇의 동역학 방정식 모델은 아래와 같이 링크를 움직이기 위한 이너샤 토크, 코리올리/원심력 토크, 중력 토크로 구성된다.

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + G(q) + F(q) = \tau$$

조인트토크 센서가 장착된 로봇에서는 구동부의 마찰력을 고려할 필요가 없어 외력추정의 성능이 더 높은편이며, 조인트토크 센서가 없는 로봇에서는 이를 보완하기 위해 외란추정관측기를 사용하기도 한다. 본 논문에서는 6 축 다관절 로봇을 대상으로 실험하였으며 데이터를 획득한 로봇의 기구학 정보는 다음과 같다.

표 1 : 6 축 다관절 로봇의 DH 파라미터

i	d_i	a_{i-1}	α_{i-1}
1	135.5 mm	-106.5 mm	90 °
2	16 mm	600 mm	0 °
3	-171 mm	500 mm	0 °
4	-74.5 mm	106 mm	90 °
5	-74.5 mm	-74.5 mm	-90 °
6	-50 mm	0 mm	0 °



그림 1. 실험에 사용한 6축 다관절 로봇

본 논문에서는 추정된 외력 데이터에 대해서, 본 논문에서는 시계열 데이터의 이상감지 알고리즘 중 Generative Adversarial Network 구조를 활용하여 이상감지를 수행하는 TADGAN(Time Series Anomaly Detection Generative Adversarial Network) 알고리즘을 사용해, 충돌 판별을 수행하는 것을 제안하였다. TADGAN 알고리즘은 시계열 데이터의 이상감지를 위한 Generative Adversarial Network를 효율적으로 구성하여 이상탐지를 효과적으로 수행하는 것으로 알려져 있는 알고리즘이다. TADGAN의 구조는 아래와 같다. 두 개의 판별기와 생성기로 구성되어 랜덤 데이터로부터 실제 데이터와 유사한 과형을 재생산하여 만들어진 데이터와 비교된 데이터가 얼마나 차이가 나는지에 대한 역치값 설정을 통해 데이터의 이상여부를 판단한다

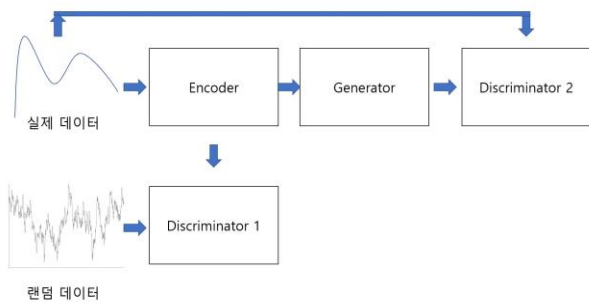


그림 2. TADGAN 알고리즘의 구조

실험을 위해 그림 1.에 나타난 6축 로봇에 대해 충돌을 직접 가해 데이터를 수집하였다. 1축부터 6축까지 순서대로 각 축에 한 번씩 충돌을 가해 얻은 데이터를 하나의 데이터셋으로 하여 10개의 데이터셋(총 60번의 충돌데이터)을 얻었다. 얻은 각 Raw 데이터셋에 대해서 적응적인 문턱값을 이용해 일정 값이 넘어가는 값을 충돌로 여겨 데이터의 충돌여부를 분류하였다. 측정된 데이터는 각 조인트의 엔코더 각도, 조인트토크 센서값, 모터전류 값이며 조인트의 속도와 가속도는 엔코더 각도로부터 구할 수 있다. 충돌이 포함된 데이터는 아래의 그림 3과 같다. 이 때, 실제로는 충분한 충돌을 가해 데이터를 얻기 힘들므로, 학습을 위해서는 일부의 데이터셋만을 활용해 알고리즘을 학습시키고, 학습에 활용한 데이터셋의 개수를 달리하며 실험하였다.

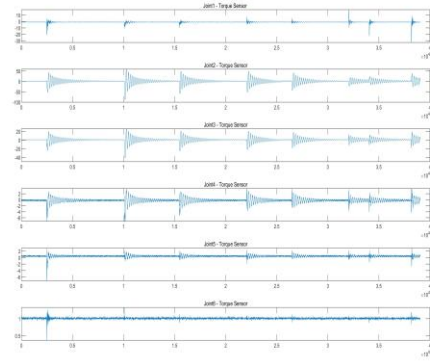


그림 3. 충돌로 인한 조인트 토크센서 신호 데이터

학습된 TADGAN 네트워크를 통해 실제 데이터의 충돌이 가능한지 확인해본 결과, 소량의 데이터를 이용해서 학습했음에도 불구하고, 학습하지 않은 데이터들에 대해서 충돌을 탐지함을 확인할 수 있었다.

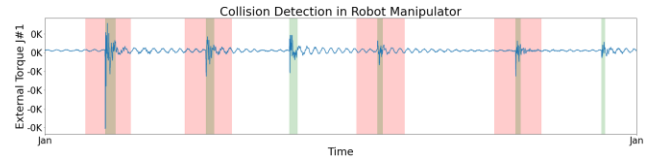


그림 4. 학습된 데이터를 통한 충돌 감지 결과

해당 그림에서 빨간 부분이 이상을 탐지한 부분이고 초록색부분이 실제 충돌 발생한 영역이다.

III. 결론

본 논문에서는 TADGAN 알고리즘을 이용한 다관절로봇의 충돌판단에 대하여 연구하였다. 시계열 데이터에 특화된 이상감지 알고리즘을 활용하여, 상대적으로 소량의 데이터를 이용하여 학습하였음에도 충돌판단을 수행할 수 있음을 확인할 수 있었다. 해당 논문에서는 단일 시계열 데이터들을 따로 나누어 학습하고 해당 시계열로부터 충돌여부를 후처리하도록 하는 알고리즘을 구성하였으나 추후 연구에서는 다중 시계열 데이터를 한번에 처리하도록 알고리즘을 구성하도록 하여 충돌탐지 성능을 향상시키고, AutoML 기법들을 적용하는 연구들을 추가로 진행해 볼 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) grant funded by the Korean government. (21ZD1130, Development of ICT Convergence Technology for Daegu-Gyeongbuk Regional Industry.)

참고 문헌

- [1] Wang, Tian-Miao, Yong Tao, and Hui Liu. "Current researches and future development trend of intelligent robot: A review." *International Journal of Automation and Computing* 15.5 (2018): 525-546.
- [2] Geiger, Alexander, et al. "TadGAN: Time Series Anomaly Detection Using Generative Adversarial Networks." *arXiv preprint arXiv:2009.07769* (2020).