

# 이상탐지 기반의 공작기계 상태진단 시스템

이문영, 윤성재, 전승협

한국전자통신연구원

{munyounglee, sj.yoon, shjeon00}@etri.re.kr

## Anomaly Detection based Status Diagnosis System of Machine Tools

Munyoung Lee, Sungjae Yoon, Seunghyub Jeon

Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요약

인공지능 기술의 발전은 첨단 기술의 도입이 느리다고 알려진 전통적인 생산·제조 분야에도 많은 변화를 가져오고 있다. 기업들은 인공지능 기술 도입을 통해 제품의 품질을 관리하거나 생산성을 높이는 노력을 하고 있다. 생산·제조 산업에서 주로 활용되는 데이터는 변화를 추적하고 관리하기가 쉽지 않은 시계열 데이터이고, 수집되는 정보 대부분이 정상 상태의 데이터이기 때문에 데이터 불균형 문제가 존재하는 한계가 있다. 이에 본 논문에서는 생산·제조 분야에서 널리 쓰이는 공작기계의 상태를 진단하기 위해 인공지능 이상탐지 기술을 활용하는 상태진단 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 정상 상태의 데이터만을 이상탐지 모델 학습에 활용하기 때문에 데이터 불균형 문제를 해결할 수 있다. 인위적인 절삭 가공을 통해 공작기계 스핀들의 피로도를 높이면서 수집한 데이터로 검증을 해본 결과 개발된 모델은 공작기계 스핀들의 이상여부를 탐지하는 것을 보였다.

### I. 서론

인공지능 기술의 발전은 첨단 기술의 도입이 느리다고 알려진 전통적인 생산·제조 분야에도 많은 변화를 가져오고 있다. 기업들은 인공지능 기술 도입을 통해 재고 관리, 프로세스 최적화, 결함 탐지, 예측적 유지보수 등 제품의 품질을 관리하거나 생산성을 높이는 노력을 하고 있다.

생산·제조 산업에서 주로 활용되는 데이터는 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) System, PLC(Programmable Logic Controllers)나 설비 및 기계에 센서를 부착하여 수집한 공정 데이터가 있다. 이러한 데이터는 일정 시간 동안 수집된 순차적인 시계열 데이터라 변화를 추적하고 관리하기가 쉽지 않다. 또한, 수집된 정보에 데이터의 편향이 존재하기 때문에 수집된 설비 상태 데이터의 대부분이 정상 상태의 데이터고, 비정상 상태의 데이터는 부족하다는 특징이 있다.

공작기계는 생산·제조 현장에서 널리 쓰이는 장비로 소재를 가공하여 여러 가지 형상을 만드는 기계를 뜻한다. 이러한 공작기계는 컴퓨터 기반의 수치제어를 수행하는 CNC(Computer Numerical Control), 공구나 공작물을 부착 후, 회전하면서 소재를 가공하는 회전계 부품(스핀들), 작업 부품을 원하는 위치로 이동시키는 이송계 부품 등으로 구성되어 있다. 공작기계의 부품에 문제가 생길 경우, 공장 내 가공 작업을 장시간 동안 중단해야 하는 다운 시간(down time)이 발생하기 때문에 공작기계의 상태를 진단하여 결함이 발생하기 전에 적절한 대처를 하는 것이 중요하다.

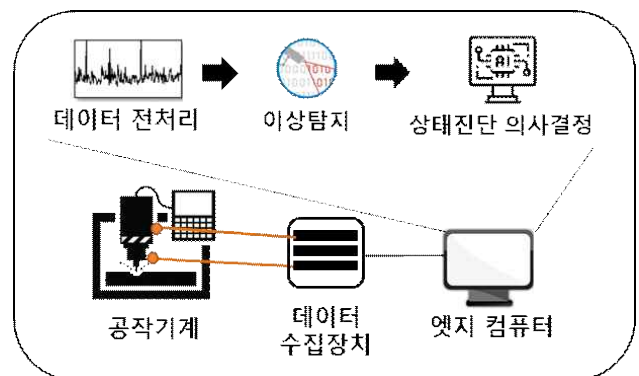
본 연구에서는 생산·제조 분야에서 널리 쓰이는 공작기계의 상태를 진단하기 위해 인공지능 이상탐지 기술을 활용하는 상태진단 시스템을 제안한다. 본 시스템을 통해 장비의 가동률 증대 및 생산비용 절감 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

### II. 본론

#### 1. 이상탐지 기반 상태진단 시스템

그림1은 이상탐지 기반의 공작기계 상태진단 시스템의 개념도를 나타낸다. 공작기계와 같은 설비에 센서를 부착 후, 데이터 수집장치(Data Acquisition, DAQ)를 통해 설비의 상태에 대한 데이터를 수집한다. 본 연구에서는 공작기계 스핀들의 상태 진단을 수행하기 위해 공작기계의

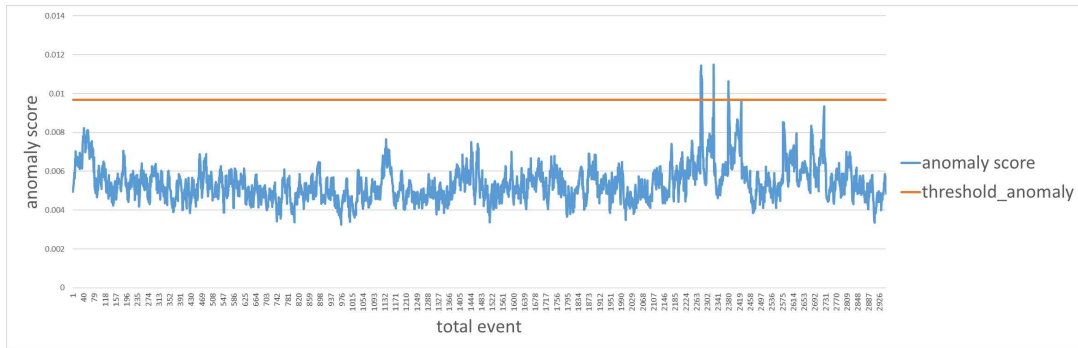
스핀들 상단과 하단에 가속도 센서를 부착하여 데이터를 수집하였다. 이와 같이 수집된 데이터는 엡지 컴퓨터로 전달이 되고, 엡지 컴퓨터에서는 데이터 전처리를 거쳐서 이상탐지 모듈의 입력값으로 변환을 한다. 이상탐지 모듈에서는 입력된 정보를 분석하여 이상 이벤트(anomaly event)를 계산하게 되고, 상태진단 의사결정 모듈에서는 계산된 이상 이벤트와 주어진 이상 임계값(threshold<sub>anomaly</sub>)을 토대로 설비의 이상 여부를 판단하게 된다. 만약 설비에 이상이 있다고 판단되는 경우, 관리자는 설비를 살피고 부품 교체 등의 작업을 수행하게 된다.



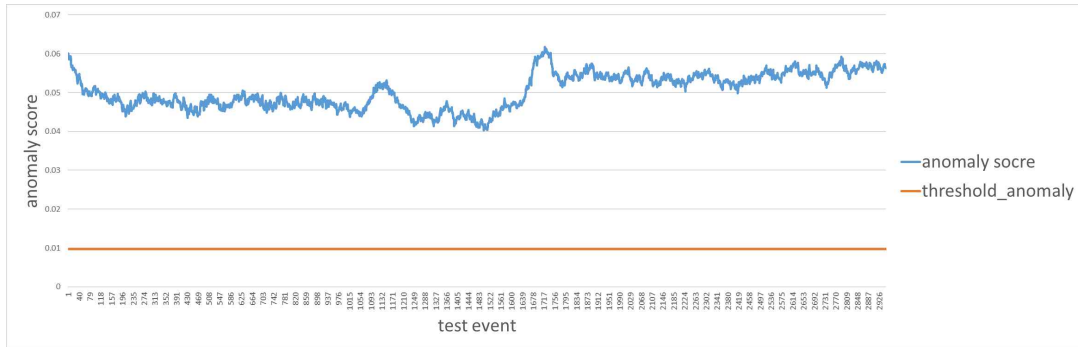
[그림1] 이상탐지 기반의 공작기계 상태진단 시스템 개념도

#### 2. 이상탐지 및 상태진단 의사결정 추론

본 연구에서는 공작기계의 이상 상태 데이터 생성을 위해 공작기계의 스핀들을 3,000 RPM으로 회전시키면서 피삭재를 반복적으로 절삭 가공하여 스핀들의 피로도를 높였다. 이렇게 장시간 동안 수집된 데이터는 정상 데이터에 비해 이상 데이터의 비율이 낮은 불균형 데이터라는 특징이 있다. 이러한 특징을 고려하여 일반적(normal)인 패턴과 다른 이상한(anomaly) 값을 탐지하는 기법인 이상탐지 기술[1]을 적용하였다. 이상탐지 기술은 정상 데이터만 가지고 모델을 학습을 시킬 수 있는 장점이 있어서 데이터 불균형 문제를 해소할 수 있다. 또한, 수집된 데이터는 일정 시간 동안 순차적으로 수집된 시계열 데이터라는 점을 고려하여 시계열 처리에 적합한 Long Short Term Memory(LSTM)[2] 모델을 활용하였다.



[그림2] 정상 상태의 anomaly score 및 이상 임계값



[그림3] 이상 상태의 anomaly score 및 이상 임계값

제안하는 시스템은 정상 데이터에 대한 학습을 통해 입력 데이터  $X_1 \sim X_t$ 에 대한  $X_{t+1}$  값을 추론하는 LSTM 기반의 모델을 생성하여 활용하고, 이상탐지 및 상태진단 의사결정 과정은 Algorithm 1과 같다. 먼저 데이터 수집 장치를 통해 엡지 컴퓨터로 입력된 데이터를 전처리하여  $X_1 \sim X_{t+1}$ 의 데이터를 추출한 후,  $X_1 \sim X_t$ 의 입력 데이터에 대한  $X_{t+1}$ 의 예측값을 추론한다. 실제값과 예측값의 평균 오차인 anomaly score를 계산 후, 이상 임계값을 초과하는지를 비교하여 입력 이벤트에 대한 이상 여부를 판단한다. 그 후, 전체 테스트 이벤트 중 이상 이벤트의 비율이 정지 임계값을 넘어가면 설비에 이상이 있다고 판단하여 설비의 동작을 중지하고, 적절한 조치를 수행하게 된다.

#### Algorithm 1. 이상탐지 및 상태진단 의사결정

- 1: [데이터 전처리] 데이터 전처리를 통해  $X_1 \sim X_{t+1}$ 의 데이터 추출
- 2: [예측값 추론]  $X_1 \sim X_t$ 의 입력 데이터에 대한  $X_{t+1}$ 의 값 추론  

$$\text{예측값 } \hat{X}_{t+1} = f(X_1 \sim X_t)$$
- 4: [anomaly score 계산] 실제값  $X_{t+1}$ 과 예측값  $\hat{X}_{t+1}$ 의 평균 오차를 토대로 anomaly score 계산  

$$\text{anomaly score} = |X_{t+1} - \hat{X}_{t+1}|$$
- 4: [이상 이벤트 추론] anomaly score와 이상 임계값( $\text{threshold}_{\text{anomaly}}$ )을 비교하여 입력 이벤트에 대한 이상 여부를 판단  

$$\text{if } \text{anomaly score} > \text{threshold}_{\text{anomaly}}$$

입력 이벤트( $X_1 \sim X_t$ )는 이상 이벤트
- 5: [상태진단 의사결정] 전체 테스트 이벤트 중에서 이상 이벤트의 비율이 정지 임계값( $\text{threshold}_{\text{stop}}$ )를 넘어가면 설비에 이상이 있다고 판단  

$$\text{if } \frac{N_{\text{anomaly\_event}}}{N_{\text{total\_event}}} > \text{threshold}_{\text{stop}}$$

설비에 이상이 있다고 판단하여 동작 중지

### 3. 실제 데이터 검증 결과

인위적으로 반복적인 절삭 가공을 수행하여 공작기계의 스핀들의 피로도를 높이면서 수집한 실제 데이터로 검증을 수행한 결과 그림2-3과 같은 결과를 확인할 수 있다. 본 실험에서는 정상 값 분포의 10% 범위 안에 들어가는 기준 값을 일부 보정한 결과인 0.00968을 이상 임계값으로 사용하였다. 공작기계 스핀들이 정상인 경우에는 그림2와 같이 약 0.3%의 test event에서

anomaly score 값이 이상 임계값보다 높게 분포되지만 공작기계 스핀들에 문제가 생긴 경우에는 그림3과 같이 모든 값이 임계값을 초과한 분포를 보이기 때문에 공작기계의 상태진단을 수행할 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 생산·제조 분야에서 널리 쓰이는 공작기계의 상태를 진단하기 위해 LSTM 기반의 이상탐지 기술을 활용하는 상태진단 시스템을 제안하였다. 제안하는 시스템은 생산·제조 분야에서 수집되는 데이터의 특징인 불균형 데이터 문제를 해결하기 위해 이상탐지 기술을 적용하였고, 순차적인 시계열 데이터 처리에 적합한 LSTM 모델을 사용하였다. 반복적인 절삭 가공을 통해 공작기계 스핀들의 피로도를 높이면서 수집한 실제 데이터로 검증해 본 결과, 제안하는 기법은 공작기계 스핀들에 발생한 이상 여부를 탐지하는 것을 확인할 수 있었고, 본 시스템을 산업 현장에 적용시 장비의 가동률 증대 및 생산비용 절감 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 본 시스템을 산업 현장에 설치하여 운용하여 성능을 개선하는 실증 연구를 진행할 계획이다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(No. 20007891, 엡지 컴퓨팅 기반 공작기계 핵심요소 상태 진단 및 보안 기술 개발)

### 참 고 문 헌

- [1] Pang, G., Shen, C., Cao, L., and Hengel, A. V. D. "Deep Learning for Anomaly Detection: A Review," ACM Computing Surveys, Vol. 54, No. 2, pp. 1-38, 2022.
- [2] Hochreiter, S. and Schmidhuber, J. "Long Short-term Memory," Neural Computation, Vol. 9, No. 8, pp. 1735-1780, 1997.