

이기종 공작기계 상태진단을 위한 제조 및 센서 데이터 통합 관리에 관한 연구

이정환, 이문영, 윤성재, 나중찬, 이성희

한국전자통신연구원

{jeonghwan.lee, munyounglee, sj.yoon, njc, slee0003}@etri.re.kr

A Study on Integrated Management of Manufacturing and Sensor Data for Heterogeneous Machine Tool Status Diagnosis

Jeong-Hwan Lee, Munyoung Lee, Sungjae Yoon, Jungchan Na and Seong-hee Lee

Electronic and Telecommunications Research Institute

요 약

현재 공작기계 상태진단 기술은 제조사에서 제공하는 제조 데이터로만 공정/장비의 이상을 진단하고 있으며, 제조 데이터는 제조사 자체 프로토콜을 사용하는 비개방형 구조로 되어 있다. 이에, 본 논문에서는 인공지능을 활용하여 이기종 공작기계 핵심부품 상태진단을 수행하기 위하여, 공작기계 제조사에서 제공하는 제조 데이터와 공작기계의 환경과 고장 데이터를 수집하기 위한 목적으로 설치된 센서에서 제공하는 센서 데이터를 수집하기 위한 OPC-UA 개방형 네트워크 구조와 데이터 수집 방법과 통합 데이터 구조에 대해 제안하고자 한다.

I. 서 론

정보통신기술(Information & Communications Technology, ICT)의 발달과 함께 제조 분야의 스마트화는 가속화되고 있다. 장비에 연결된 각종 센서와 통신장비를 통해 실시간으로 현장 데이터를 수집하여 장비 상태 및 공정 과정을 모니터링할 뿐만 아니라, 인공지능 기술을 접목하여 장비 상태 진단과 예지 보전도 수행하고 있으며 이러한 체계적인 분석과 관리를 통해 생산성을 높이고 있다. CNC(Computerized Numerical Control) 공작기계의 핵심 기술인 CNC 컨트롤러 또한 사물인터넷과 인공지능 기술 등이 결합된 첨단기술 복합체로 성장하고 있다. CNC 컨트롤러 시장의 대부분을 화낙, 미쓰비시, 지멘스 등과 같은 외산 업체가 선점하고 있으며, 이들 업체들은 자신들만의 특정 CNC 컨트롤러를 사용함으로써 자신들만의 시장을 만들어가고 있다. 이러한 상황에서 공작기계는 제조사에서 제공하는 인터페이스와 자체 프로토콜을 채용하여 사용하고 있어, 상태 진단을 위한 데이터 수집도 제조사의 도움없이 쉽지 않다. OPC-UA(OPC Unified Architecture)는 산업용 자동화 애플리케이션을 위한 통신 프로토콜로, 유연하고 완벽하게 독립적으로 동작한다. 인터스트리얼 4.0의 구현을 위한 이상적인 통신 프로토콜로 간주되고 있다.

본 논문에서는 공작기계 화낙과 미쓰비시 공작기계 장비에서 제공하는 제조 데이터를 OPC-UA 개방형 산업 제어 프로토콜을 이용하여 수집하고, 공작기계의 환경과 고장 데이터를 수집하기 위한 목적으로 추가적으

로 설치된 센서에서 제공하는 센서 데이터를 수집하기 위해 데이터 수집 장치(Data Acquisition, 이하 DAQ)와의 연동 방법과 통합 데이터 구조에 대해 제안하고자 한다.

II. 제조 및 센서 데이터 수집

본 논문에서는 화낙 F0i-MD 와 미쓰비시 FCA70P-2AVU 컨트롤러가 내장된 CNC 공작기계를 테스트벤치로 구축하였다. 공작기계 상태진단을 목적으로 사용하기 위한 공작기계에서 제공하는 제조 데이터와 스핀들, 이송계와 같은 공작기계 핵심부품의 상태를 진단하기 위해 사용되는 센서들에 대해서 살펴보고자 한다.

가. 제조데이터

화낙 F0i-MD 컨트롤러에서 수집하는 제조 데이터 개수는 34개이며, 미쓰비시 FCA70P-2AVU 컨트롤러에서 수집하는 개수는 340개이다. [그림 1]과 같이 원격 단말 장치(Remote Terminal Unit, 이하 RTU)는 각 컨트롤러 인터페이스로부터 수신되는 제조 데이터를 수집하여 이를 OPC-UA 개방형 산업 제어 프로토콜로 변환하는 역할을 수행한다. 또한, RTU에서 수집된 제조데이터를 통합 관리하기 위한 엣지 컴퓨팅 서버는 50ms마다(1초에 20번) RTU에게 OPC-UA 프로토콜을 이용하여 [표 1]과 같이 상태진단에 사용될 제조 데이터를 요청한다.

표 1. 상태 진단용 화낙 컨트롤러 제조데이터 예시

Idx	Data Type	Display Name	Description
0	Int32	actualdata_3-0-0_load	부하 (실제 사용전류 / 정격전류 * 100)
1	Int32	actualdata_3-1-0_speed	회전속도
2	Int32	actualdata_current_x	부하 전류값
3	Int32	actualdata_spindle_x	스핀들 속도 (사용 전류 / 정격전류)
4	Int32	diagnose_closed_loop_err_x	Closed loop error
5	Int32	diagnose_cumul_feedback_x	피드백 적산(SV)
6	Int32	diagnose_cumul_nc_pulse_x	지령 펄스 적산(NC)
7	Int32	diagnose_cumul_ov_pulse_x	피드백 적산(SV)
8	Int16	diagnose_eff_current_x	유효 전류값
9	Int16	diagnose_eff_pos_error_x	Effective current value
10	Float	diagnose_pos_error_x	서보 모터 위치 편차
11	Int16	diagnose_spindle_speed_x	스핀들 속도
12	Int16	diagnose_r_phase_curr_x	리퍼런스 토크
13	Int32	diagnose_ref_count_x	리퍼런스 카운트
14	Int16	diagnose_servo_torque_x	서보 모터 토크
15	Int16	diagnose_term	주축 온도
16	Int16	diagnose_volt_infl_x	서보 모터 전압
17	Int32	dynamic2_feed_x	이송 속도
18	Int32	loopgain_x	위치 루프 게인

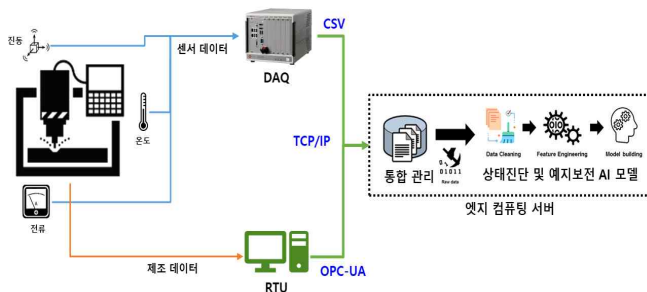


그림 1. 공작기계 개방형 데이터 수집 네트워크 개념도

공작 기계의 위치정보, 고장이력 등도 HMI(Human Machine Interface)에 연결되어 상태를 분석할 수 있다.[1]

나. 센서 데이터

스마트 공장 시스템에서는 기계, 장비, 설비, 부품에 센서를 설치하여 제어하기 위한 유연한 통신 환경이 구축되어야 한다.[2] 이에, 공작기계 스�핀들, 이송계 등의 핵심 부품 상태 진단을 위해 추가적으로 진동, 전류, 온도, 소음 센서들을 부착하였다. 진동 센서는 스�핀들의 주축 및 베어링 헤드와 이송계의 X,Y,Z 축에 5개를 부착하여 진동 특성을 측정하였으며, 온도 센서는 스�핀들과 공작기계 내부 및 외부에 스�핀들, 이송계, 구조물의 열변위 측정을 목적으로 3개를 설치하였다. 소음 센서는 공작기계 내부에 1개만 설치하여 가공시 발생하는 소음을 감지하기 위한 목적으로 측정하였고, 전류 센서는 스�핀들과 이송계의 모터 소비 전류 측정을 통해 가공 부하를 확인하기 위한 목적으로 6개를 설치하였다.



그림 2. 핵심 부품 상태 진단을 위한 센서 부착 예시

데이터 수집 장치(DAQ)와 센서들과는 BNC 케이블로 상호 연결되어 있으며, DAQ와 엡지 컴퓨팅 서버는 이더넷으로 연결되어 있다. DAQ는 초당 20KHz 단위로 진동, 소음, 전류 데이터를 수집하고, 온도 데이터는 1Hz 단위로 데이터를 수집한다. DAQ는 수집된 센서 데이터를 내부 스토리지에 저장하고 이를 엡지 컴퓨팅 서버로 전송한다. 엡지 컴퓨팅 서버로 전송하는 방법은 센서 데이터가 수집되는대로 TCP/IP 기반 스트림으로 전송 방식과 수집된 센서 데이터를 1초 단위로 CSV(comma-separated values) 형식 파일로 전송하는 방식으로 설계가 가능하다. 본 연구에서는 DAQ가 윈도우 기반의 운영 체제로 되어있기 때문에 TCP/IP 기반의 데이터 스트림으로 센서 데이터를 전송하기에 다소 성능에 무리가 있어, CSV 형식의 파일 형태로 전송하는 방식을 채용하였다.

다. 통합데이터구조

공작기계에서 전송하는 제조 데이터와 추가적으로 부착된 센서에서 전송하는 센서 데이터는 RTU와 DAQ를 통해 엡지 컴퓨팅 서버로 전달된다. 엡지 컴퓨팅 서버내 데이터 수집 모듈은 수집된 제조 데이터와 센서 데이터를 1초 단위로 In-memory 방식의 통합 데이터 형태로 생성 및 관리한다. 수집된 센서 데이터와 제조 데이터는 공작기계 상태진단 인공지능 모델의 원시 데이터로 사용된다.

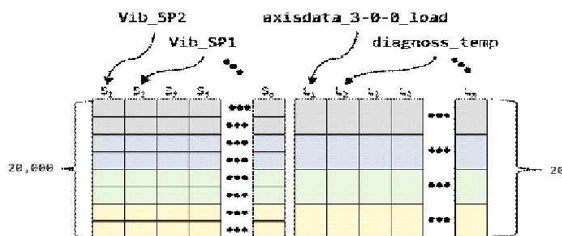


그림 3. 인메모리 통합데이터 구조

[그림 3]의 통합데이터 구조를 살펴보면, 센서의 개수는 $S_1, S_2, \dots, S_n$ 의 n 개를 가지므로 본 연구에서는 6개의 센서가 부착되어 n 값은 6이 된다. 샘플링 레이트가 가장 큰 수집 센서를 기준으로 하여 초당 수집되는 데이터의 개수가 결정된다. 본 논문에서는 센서 데이터 수집의 최대 샘플링은

20KHz 이므로 센서 데이터의 초당 수집 개수는 20000개이다. 상태 진단을 위해 사용하는 화낙 컨트롤러의 제조 데이터의 개수는 $L_1, L_2, \dots, L_n$ 의 m 개를 가지므로 [표 1]과 같이 m 값은 19개이며, 제조 데이터의 샘플링 레이트는 20Hz이므로 제조 데이터의 초당 데이터 수집 개수는 20개이다. 공작기계의 상태 진단 및 예지 보전을 마이크로 세컨드(us), 밀리 세컨드(ms) 내에 실시간으로 처리해야 하는 사항이 아니므로, 제조 데이터와 센서 데이터간의 데이터 동기화는 1초 단위로 생성된 데이터를 기반 동기화하였다. 이렇게 생성된 통합 데이터는 상태 진단 인공지능 모델이 사용하기 위하여 데이터 전처리 모듈로 전달된다. 데이터 전처리 과정은 인공지능 모델 성능에 중요한 역할을 담당한다. 다양한 종류의 센서에서 수집한 원시 데이터에서 불필요한 부분을 제거하거나 인공지능 모델에 적합한 형태로 데이터의 형태를 변환하는 등의 과정을 의미한다.[3] 센서 데이터 1개(50us 분량)에 동일한 로그 데이터 1000개로 변환하여 단일 데이터셋으로 구성한다.

III. 결론

본 논문에서는 화낙, 미쯔비시와 같은 이기종의 외산 공작기계 컨트롤러에서 제공하는 제조 데이터를 OPC-UA 프로토콜을 이용하여 수집하는 방법과 공작기계 핵심부품의 상태 정보와 환경을 모니터링하기 위해 부착된 다양한 종류의 센서 데이터를 TCP/IP 기반 CSV 파일 전송 방식으로 데이터를 수집하는 방안을 제안하였다. 또한, 수집된 제조 데이터와 센서 데이터를 상태 진단 인공지능 모델의 원시 데이터로 사용하기 위한 통합 데이터 구조에 대해서도 살펴보았다.

차년도 연구에서는 본 연구를 통해 개발된 연구 결과물을 개방형 임베디드 하드웨어 플랫폼에 적용하여, 이기종 CNC 공작기계를 운영하는 현장 환경에서 제조 데이터와 센서 데이터를 수집하고 통합 데이터를 생성 및 관리하는 기능 안정화를 실증할 계획이다. 또한, 공작기계 상태 진단 인공지능 모델과 연동하여 성능 개선 관련 연구도 추가 병행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(No. 20007891).

참고 문헌

- [1] D.B. Choi, S.H. Kim, S.I. Jeong, "System Configuration of the Machine Tools Monitoring and Data Processing," The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, pp. 95, May. 2018.
- [2] Young-woon Lee, Young-ju Choi, ong-Hyeok Lee, Byung-Gyu Kim, Seung-Woo Lee, Jong-Kweon Park, "Development of Distributed Smart Data Monitoring System for Heterogeneous Manufacturing Machines Operation," Journal of Digital Contents Society, pp. 1175-1182, Oct. 2017.
- [3] Sungjae Yoon, Munyoung Lee, Jeonghwan Lee, Seong-hee Lee and Jungchan Na, "Fault Diagnosis Using Artificial Intelligence for the Spindle of Machine Tools," The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 401-408, February 2021.