

전자전 무기체계의 PHM 적용을 위한 가상데이터 생성 방안 연구

이동규, 이해원, 현도경, 황재원, 문병진
LIG넥스원(주)
e-mail:dongkyu.lee2@lignex1.com

Virtual Data Generation for Applying PHM Technology to Electronic Weapon System

Dong-Kyu Lee, Hye-Won Lee, Do-Kyung Hyun, Jae-Won Hwang, Byung-Jin Moon
LIG Nex1 Inc.

요약

본 연구는 전자전 무기체계의 주요 구성품인 RF 모듈에 PHM 기술을 적용하기 위한 가상데이터 생성 방안을 제안한다. 데이터는 RF모듈에서 수집되는 전류 신호로 선정하였으며, 전자전 무기체계 개발 전문가의 집단 지식을 통해 전류 신호에서 나타날 수 있는 3가지 대표 결함 유형을 식별하였다. 결함 유형은 1) 초기 지연 시간 증가, 2) 신호 변동성 증가, 3) 지속적 성능저하로 식별되었으며, 결함 유형에 착안하여 신호를 가상으로 생성하였다. 본 연구에서 식별된 전류신호 결함유형과 데이터 생성 방안은 다양한 전자장비에 적용될 수 있을 뿐만 아니라, 무기체계 개발 기간 내 고장 분석과 초기 고장 예지모델 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

Industry 4.0시대(4차 산업혁명시대)의 미래형 제조 기술은 각종 장비의 운용과 유지보수의 측면에서도 한 단계 진보된 기술을 발전시킴으로써 확보 될 수 있다. 이러한 진보된 기술 중 고장예지 및 건전성관리 기술(Prognostics & Health Management, PHM)은 대표적인 진보 기술이라 할 수 있다[1].

현대의 무기체계도 복잡도가 증가함에 따라 고장 시 정비에 필요한 시간과 비용이 증가하고 있으며, 특히 RF신호에 대한 수집 및 분석 기술을 기반으로 하는 전자전 무기체계의 경우 장비의 집적화와 요구 성능의 향상으로 인해 빠르게 고도화 되고 있다. 이에 따라 국방전력발전업무훈령('21.4.6., 개정), 총수명주기관리업무훈령('21.2.8. 제정), 획득단계 수명주기관리규정('21.7.7 제정)에서는 무기체계 개발 시 상태기반정비(CBM+)를 적용하도록 명시하고 있다.

무기체계 유지보수를 위한 상태기반 정비기술은 크게 실시간 상태 모니터링, 빅데이터 처리, 정비시기 및 범위 결정의 단계로 나눌 수 있으며, 상태를 실시간으로 모니터링 하고 신호처리, 기계학습, 통계분석 등의 빅데이터 처리 기법을 통해 적절한 건전성 지표를 추출한 뒤 고장예지기법을 활용해 잔여수명을 예측하고 최적의 정비 주기와 범위를 결정 할 수 있다. 이러한 관리는 운용자로 하여금 전반적인 건전성 관리를 할 수 있도록 해준다[2]. 또한 PHM 기술 및 상태기반정비의

장점 중 하나로서 무기체계 운용가용도 상승 뿐만 아니라 장비의 수명을 최대한 사용함으로써 비용 절감의 효과를 얻을 수 있다[3].

PHM 기술을 전자전 무기체계에 적용 데에는 크게 2가지 제한사항이 있다. 우선 PHM 기술은 주로 기계 장비의 상태 진단을 통해 고장을 예측하는 기술로 발전해 오고 있으나, 전자 부품에 대한 상태 진단 고장 예측 기술은 다소 부진한 상황이며[4], 또한 신뢰성 있는 PHM 기술 적용을 위해서는 많은 양의 고장 관련 상태정보데이터 획득이 필요하지만 무기체계 특성 상 개발 기간 내 고장 상황이 포함된 상태정보데이터 획득이 제한적이다.

본 논문에서는 전자전 무기체계의 주요 구성품인 RF 모듈에 PHM 기술을 적용하기 위한 상태정보데이터 생성 방안을 제안한다. 본론에서는 신뢰성 있는 데이터 생성을 위해 해당 분야 전문가들의 인터뷰를 바탕으로 RF 모듈의 결함 현상을 3가지 유형으로 분류한 데이터 생성 방법을 제시하며, 결론에서는 생성된 상태정보데이터 분석 및 활용 방안을 소개한다.

2. 본론

2.1 RF 모듈의 고장 메커니즘

2.1.1 전류 신호

RF 모듈의 건전성을 대변할 수 있는 데이터로 전류 신호가 선정되었다. 아날로그 RF 부에서는 무선 통신으로 인해 생기는 잡음과 간섭현상을 극복하기 위하여 증폭, 필터링 등의 수많은 변조 방법들을 거치게 된다. 전류 신호는 이를 구성하는 전기회로의 건전성을 대변할 수 있을 뿐만 아니라 시스템 간 통신하는 RF 신호의 세기와 상관관계가 높기 때문에 시스템의 건전성을 잘 나타낼 수 있다. 또한 일반적으로 정상 모듈의 경우, 전류신호가 일정 수준에 도달했을 때 해당 값에서 크게 벗어나지 않은 양상을 보이기에 이상 감지 (Anomaly-detection)에 대해 민감성이 뛰어나다고 볼 수 있다.

2.1.2 결함 유형 정의

RF 모듈 설계 전문가들의 집단 지식을 통해 송수신 모듈의 고장 메커니즘을 유형별로 분석하였다. 본 연구에서 분석한 무기체계의 RF 모듈은 작동함과 동시에 초기 값(27A)에서 목표 값(30A)까지 전류가 증가하는 양상을 보이며, 그 외의 구간에서는 일정 범위(0.5A) 안에서 유지되는 특성을 보인다. 하지만 습도와 같은 외부 조건으로 인해 시스템에 지속적으로 피로가 노출될 경우, 건전성에 일부 영향을 주게 되며 전류신호가 목표값(30A)까지 도달하는 시간이 평소보다 길어지게 된다. 이는 [유형 A]로 정의되었다.

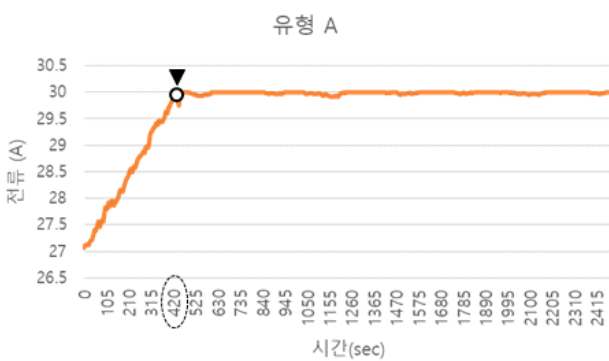


그림 1. 목표 성능값까지 도달시간이 지연되는 유형 A

또한 특정 칩의 소자가 고장남으로 인해 시스템에 이상이 생기는 경우에는 목표값(30A)에 도달하였을 때, 전류 신호에 변동성이 더해지게 되는데, 이를 [유형 B]으로 정의하였다.

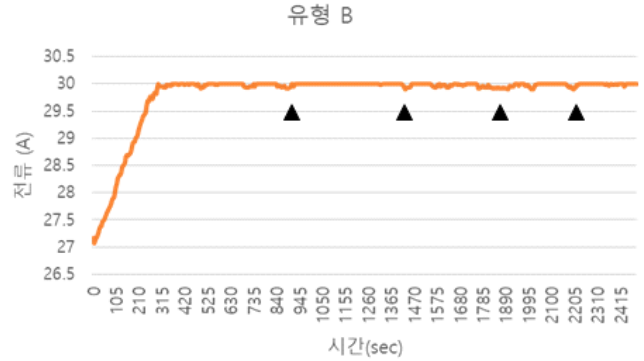


그림 2. 정상상태에서 신호의 변동성이 증가하는 유형 B

마지막으로 RF 모듈의 시간에 따른 열화과정으로 전류 신호의 세기가 점점 감소하는 경우가 있는데, 이 때는 정상 수준의 전류(30A)에 도달하지 못하고 지속적인 성능저하가 발생하게 된다. 이를 [유형 C]으로 정의하였다. 그 외에 자연재해 등의 외부 충격으로 인해 급격하게 성능이 저하하고 고장 (Failure)이 발생하는 경우는 사전에 고장 예지가 가능한 경우가 아니었기 때문에 본 연구에서는 제외하였다.

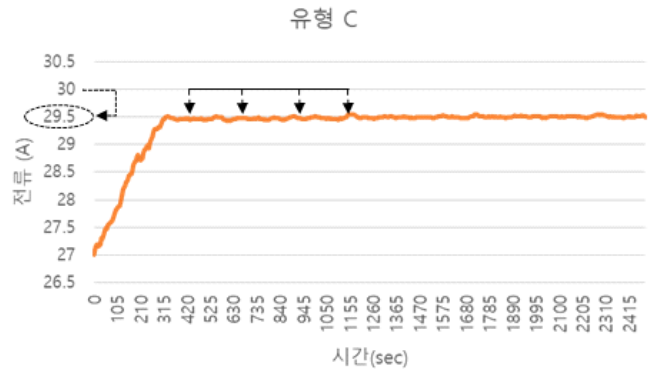


그림 3. 피로 누적에 따른 지속적인 성능저하 유형 C

2.2 가상 데이터 생성 방안

본 연구에서 분석한 RF 모듈은 초기 작동 시에 전류신호는 27A에서 30A으로 점차 증가하게 되며 일반적으로 5분 안에 목표값(30A)에 도달하게 된다. 또한 0.5A 미만의 변동성을 보이며 30A을 상한으로 신호가 유지된다. 초기 작동시간(5분)에 나타나는 신호 변화를 나타내기 위하여 샘플링 간격은 5초로 설정하였으며, 본 연구에서는 24시간을 1주기로 데이터를 생성하였다. 또한 결함 유형별로 다른 생성 확률을 부여하

여 결합 케이스를 생성하였으며, 앞서 정의한 결합 유형에 부합하는 신호의 양상을 설정하여 가상 데이터를 생성하였다.

2.2.1 결합 유형 A

유형 A은 날씨 등 외부 영향으로 인해 발생하기 때문에 3가지 유형 중 상대적으로 높은 확률로 생성하였고 초기 시간지연을 5분에서 최소 7분으로 늘렸다. 또한 실제 신호의 무작위성을 부여하기 위하여 평균을 7분, 표준편차를 1분으로 하는 잘린 정규분포(truncated normal distribution)에서 초기 지연 시간을 추출하였다.

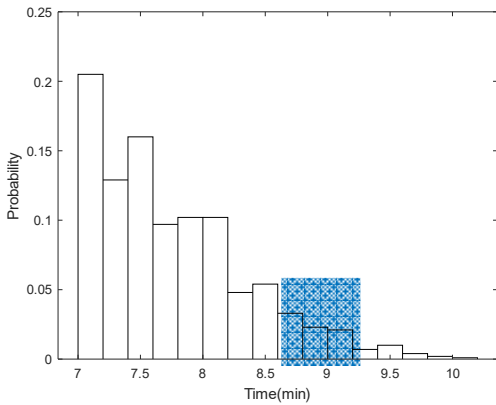


그림 4. 초기 지연 시간값의 샘플링 분포

또한 평균 30A, 표준편차 0.15의 잘린 정규분포에서 전류값을 추출한 결과, 다음 그림 5와 같이 초기 시간지연을 반영하여 실제 신호와 유사한 전류신호를 얻을 수 있었다.

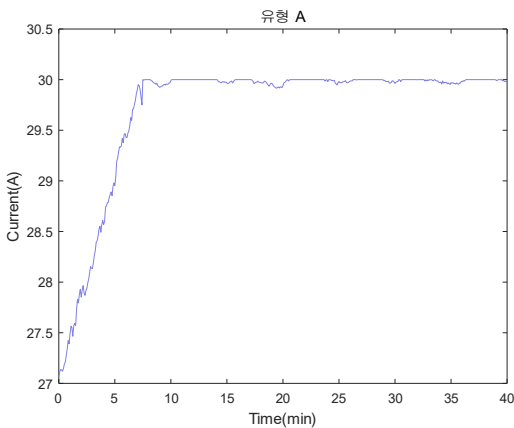


그림 5. 결합 유형 A의 가상 데이터 생성

2.2.2 결합 유형 B

유형 B의 소자 자체의 결합이 일어나는 것은 드물기 때문에 유형 A에 비해 낮은 확률로 신호를 생성하였고, 소자의 결합으로 발생하는 결합 신호를 전류값에 추가하였다. RF모듈의 초기 작동 시간을 t_1 이라 하고 마지막 작동 시간을 t_2 이라 할

때, $[t_1, t_2]$ 의 구간에서 n 개의 구간을 무작위 추출하여 노이즈를 중첩하였다.

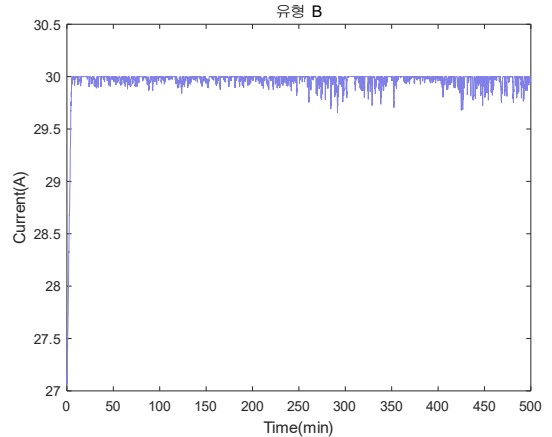


그림 6. 결합 유형 B의 가상 데이터 생성

2.2.3 결합 유형 C

시스템의 피로도가 누적되는 경우에 전체적으로 성능감소가 신호에 반영되어 30A에 도달하지 못하게 된다. 따라서 해당 신호 양상을 가상으로 생성하기 위해 특정 구간의 음수 3개의 점 및 스플라인 기법으로 곡선을 만들어 정상 신호에 중첩하였다.

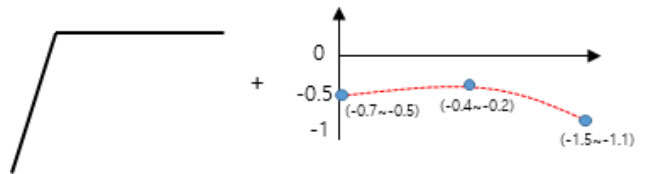


그림 7. 스플라인 기법 적용을 통한 가상 신호 중첩

그림 7과 같이 설정된 구간 내에서 임의의 3개의 점을 선택하여 신호의 형태에 변동성을 부여할 수 있었다[그림 8].

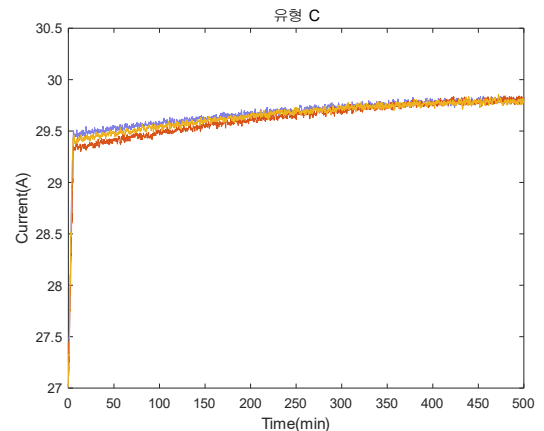


그림 8. 결합 유형 C의 가상 데이터 생성

본 연구는 전자전 무기체계의 PHM 기술 적용을 위한 기초 연구로서, 향후 고장예지 기술 적용을 위한 가상데이터를 생성하였다. 가상데이터는 RF모듈에서 수집되는 전류 신호이며, 전자전 무기체계 개발 전문가의 인터뷰를 통해 전류 신호에서 나타날 수 있는 3가지 대표 결함 유형을 식별하였다. 결함 유형 3가지는 목표 전류값까지 도달하는 시간이 지연되는 유형 A, 전류신호의 변동성이 커지는 유형 B, 목표 전류값에 도달하지 못한 채 신호가 유지되는 유형 C로 식별되었다.

본 연구에서 식별된 RF모듈의 결함 전류신호 양상과 랜덤 데이터 생성 방안은 향후 다양한 전자장비 고장예지 기술 적용에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 무기체계 개발 기간 내 다량의 고장데이터 획득이 제한되는 점, 무기체계 배치 후 보안 등의 사유로 운용 중 데이터 획득이 제한되는 점을 고려할 때, 본 연구의 가상데이터 생성 기법은 무기체계의 개발 기간 중 고장분석과 초기 고장예지모델 개발에 활용될 수 있다는 데 의미가 있다.

본 연구의 전자전 무기체계 PHM 기술 적용을 위한 가상데이터는 추가적인 보완이 필요하다. 본 연구에서는 RF모듈에서 수집가능한 데이터 중 전류신호를 대표로 가상데이터를 생성하였으나, 추후 더 정교한 고장분석 및 고장예지모델 개발을 위해서는 RF신호, 진압 등의 추가적인 데이터 생성이 고려되어야 한다. 또한, 환경조건(온도, 습도 등)에 따른 신호 변화 양상이 검토될 필요가 있다.

추후 연구로는 본 연구에서 생성된 가상 데이터의 특징인자(Feature)를 추출하여 정상신호와 고장신호 간 차이를 식별하고, 열화(Degradation) 경향성을 분석함으로써 잔여수명을 예측하는 모델의 개발이 있다.

참고문헌

- [1] J. Lee, M. Ghaffari, and S. Elmeligy, "Selfmaintenance and engineering immune systems: Towards smarter machines and manufacturing systems," *Annu. Rev. in Control*, vol. 35, no. 1, pp. 111-122, Apr. 2011.
- [2] R&D Information Center, *AI & 4.0 Industry Main Sensor New Technology Market Prospect Analysis*, Seoul, Republic of Korea: Knowledge Industry Information Institute, 2017, pp. 274-275.
- [3] S. W. Butcher, "Assessment of condition-based maintenance in the department of defense," *Logistics Management Institute*, 2000, pp. 1-70.
- [4] S. H. Kim, Y. M. Chung, and H. J. Koh, "A cse study on the effect of maintenance cost reduction in weapon-systems with CBM," *Korea Assoc. of Defense*