

## Technical Article

# 에지 AI 지원 MCU를 사용해 실시간 제어 시스템의 시스템 고장 감지 기능 최적화



Michael Wang 및 Zhen Yu

인공지능(AI) 및 신경망에 대한 현재 논의가 주로 생성 애플리케이션(이미지, 텍스트 및 비디오 생성)에 집중되면서 AI가 산업 및 인프라 애플리케이션에서 전자 제품을 혁신하는 실용적인 사례를 간과하기 쉽습니다.

그러나 **모터 드라이브**를 위한 실시간 제어 시스템의 AI에 따라 **태양 에너지**([그림 1](#) 참고) 및 **배터리 관리** 애플리케이션의 새로운 대형 언어 모델과 동일한 수의 헤드라인을 장식하지 않지만, 오류 감지를 위한 에지 AI를 사용하면 시스템 효율, 안전 및 생산성에 큰 영향을 미칠 수 있습니다.



그림 1. 태양광 패널 어레이

이 문서에서는 통합 마이크로컨트롤러(MCU)가 고전압 실시간 제어 시스템의 오류 감지를 개선하는 방법에 대해 설명합니다. 이러한 MCU는 통합 NPU(신경망 처리 장치)를 사용함으로써 CNN(Convolutional Neural Network) 모델을 실행하여 시스템 고장을 모니터링할 때 지연 시간과 전력 사용량을 줄이는 데 도움이 됩니다. 실시간 제어를 관리하는 동일한 MCU에 **에지 AI** 기능을 통합하면 시스템 설계를 최적화하는 동시에 전체 성능을 향상시킬 수 있습니다.

## 모터 베어링 및 태양열 아크 오류

모터 드라이브 및 태양광 시스템을 안정적으로 작동하려면 잘못된 경고를 줄이면서 모터 베어링 이상 징후 및 실제 오류를 모니터링하기 위해 빠르고 예측 가능한 시스템 오류를 감지해야 합니다. 에지 AI 기반 MCU가 모니터링할 수 있는 두 가지 유형의 오류는 다음과 같습니다.

- 모터 베어링 오류는 전기 모터의 베어링에 비정상적인 상태 또는 열화가 있을 때 발생합니다. 이러한 오류를 감지하는 것은 예기치 않은 고장을 방지하고, 가동 중지 시간을 줄이고, 유지 관리 비용을 줄이는 데 필수적입니다.
- 태양열 아크 오류는 전기가 공기와 같은 의도하지 않은 경로를 통해 흐를 때 발생하는 아크 방전 오류입니다. 태양열 아크 오류는 절연 고장, 느슨한 연결 또는 태양광 시스템의 기타 오류로 인해 발생하는 경우가 많습니다. 방전으로 인해 강한 열이 발생하여 화재 또는 전기 시스템이 손상될 수 있습니다. 태양열 아크 오류를 모니터링하고 감지하면 위험한 상황을 방지하고 태양광 시스템의 안전과 안정성을 보장하는 데 도움이 될 수 있습니다.

반응형 모니터링 기능이 없으면 시스템이 실제 고장 또는 잘못된 알람으로 인해 예상치 못한 가동 중지 시간 또는 시스템 오류가 발생하여 작동 효율과 운전자 안전에 영향을 미칠 수 있습니다. 예를 들어, 태양광 인버터의 잘못된 경보로 인해 시스템 가동 중지 시간이 발생하여 검사가 필요하여 생산성에 영향을 미칠 수 있습니다. 실시간으로 아크를 감지하지 못하면 화재 또는 시스템 손상의 위험이 높아질 수 있습니다.

일부 모터 베어링 오류를 모니터링하는 방법에 실시간 제어, 진동 분석을 통한 모니터링, 온도 모니터링 및 음향 측정을 위한 MCU 외에 여러 장치를 사용합니다. 이와 같은 개별적 기반 접근 방식은 데이터를 기반으로 하는 규칙 기반 감지를 사용하여 잠재적 고장을 모니터링합니다. 이 경우 수동으로 해석해야 하며 초기 단계 오류를 놓치거나 오류 유형을 정확하게 감지하지 못할 수 있습니다.

마찬가지로 아크 오류를 감지하는 일반적인 방법은 주파수 영역의 전류 신호를 분석한 후 임계값 기반 규칙을 적용하여 아크 오류 신호를 감지하는 것입니다. 그러나 두 방법 모두 시스템에 대한 전문성이 높아야 하며 적응력과 감도가 제한되어 감지 정확도가 제한됩니다. 또한 모터 제어를 위한 전용 실시간 제어 MCU 외에 오류 모니터링을 위해 개별 장치를 시스템에 추가하면 시스템 복잡성이 높아질 수 있습니다.

TMS320F28P550SJ와 같은 실시간 MCU에서 CNN 모델을 로컬로 실행하는 통합 에지 AI 기반 오류 감지 기능은 오류 감지 속도를 개선하여 오경보를 방지하는 동시에 더 나은 예측형 유지 관리를 제공하는 데 도움이 될 수 있습니다. 에지 AI를 통해 이러한 시스템은 환경에 학습하고 적응하여 실시간 제어를 최적화하고, 전반적인 시스템 안정성, 안전 및 효율성을 높이는 동시에 가동 중지 시간을 줄입니다. [그림 2](#)에서 확인하시기 바랍니다.

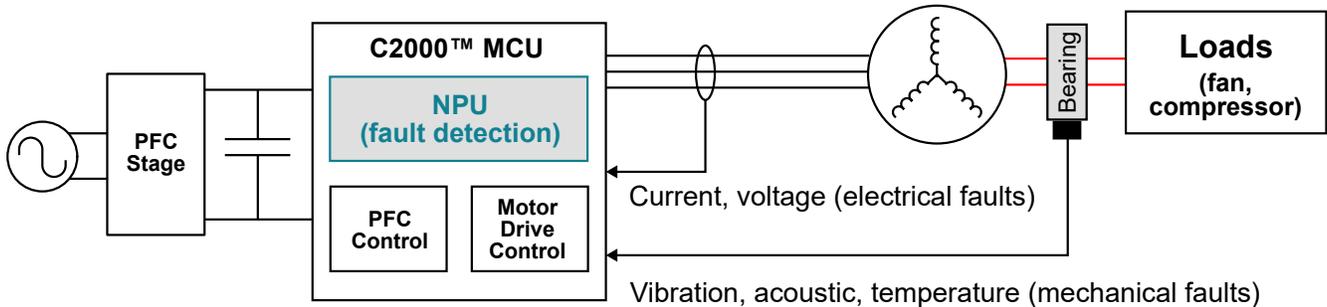


그림 2. 실시간 제어 시스템의 에지 AI 기반 오류 모니터링 솔루션

## CNN 모델이 실시간 제어 시스템의 오류 모니터링 및 감지를 개선하는 방법

모터 베어링 및 아크 오류 감지를 위한 CNN 모델은 진동 신호와 같은 원시 센서 데이터로부터 복잡한 패턴을 학습한 다음 베어링 오류를 나타내는 미세한 변화를 감지할 수 있습니다.

CNN 모델은 모터 진동 신호, 태양광 DC 전류 또는 배터리 전압 및 전류와 같은 원시 또는 사전 처리된 센서 데이터를 통해 자율적으로 학습할 수 있기 때문에 오류 감지 및 예측형 유지 보수를 위한 센서 데이터 분석에서 탁월한 성능을 발휘합니다. 수동 개입 없이 유의미한 기능을 직접 추출하면 강력하고 정확하게 감지할 수 있습니다. 한 감지가 가능합니다. 한편, 가변 작동 조건 및 다양한 하드웨어 변화를 나타내는 센서 데이터, FFT(Fast Fourier Transform)와 같은 다양한 전처리 알고리즘을 활용하여 모델의 적응성, 노이즈 내성 및 신뢰성을 높이고 총 감지 또는 추론 지연을 줄일 수 있습니다.

CNN은 대량의 데이터를 효율적으로 처리하고 다양한 작동 조건에서 잘 작동할 수 있기 때문에 산업 환경에서 실시간 모니터링 및 예측 유지보수에 유용합니다. 이러한 환경에서 CNN 모델을 활용하면 모터 베어링 오류를 조기에 보다 효과적으로 감지할 수 있어 장비 신뢰성과 운영 효율성을 높일 수 있습니다.

모터 드라이브의 경우, CNN은 진동 또는 전류 신호로 인한 베어링 마모 또는 로터 불균형 등의 고장 패턴을 식별할 수 있습니다. 태양광 에너지 시스템에서 CNN은 아크 오류 감지를 위해 DC 전류 파형의 이상 징후를 감지할 수 있습니다. 배터리 관리 애플리케이션에서 CNN 모델은 배터리 충전 프로파일 수명, 배터리 상태 모니터링 및 배터리 충전 상태 예측을 분석할 수 있습니다. 적응성은 동적 조건에서 정확한 오류 감지를 보장하며 실시간 처리는 효율성을 최적화합니다.

### 결론

모터 드라이브 및 태양광 시스템 같은 애플리케이션에서 실시간 고장 감지는 작동 안전과 장기적인 안정성을 보장합니다. 고장을 사전에 정확하게 식별하거나 고장을 예측할 수 있는 능력을 통해 시스템의 안정성을 크게 향상시키고 비용이 많이 드는 가동 중지 시간을 방지하고 전반적인 성능을 향상시킵니다. 에지 AI는 데이터를 로컬에서 실시간으로 처리하여 오류 감지 정밀도를 크게 향상시키고 지연 시간을 줄이고 응답성을 높이는 혁신적인 접근 방식을 제공합니다.

### 상표

모든 상표는 각 소유권자의 자산입니다.

## 중요 알림 및 고지 사항

TI는 기술 및 신뢰성 데이터(데이터시트 포함), 디자인 리소스(레퍼런스 디자인 포함), 애플리케이션 또는 기타 디자인 조언, 웹 도구, 안전 정보 및 기타 리소스를 "있는 그대로" 제공하며 상업성, 특정 목적 적합성 또는 제3자 지적 재산권 침해에 대한 묵시적 보증을 포함하여(그러나 이에 국한되지 않음) 모든 명시적 또는 묵시적으로 모든 보증을 부인합니다.

이러한 리소스는 TI 제품을 사용하는 숙련된 개발자에게 적합합니다. (1) 애플리케이션에 대해 적절한 TI 제품을 선택하고, (2) 애플리케이션을 설계, 검증, 테스트하고, (3) 애플리케이션이 해당 표준 및 기타 안전, 보안, 규정 또는 기타 요구 사항을 충족하도록 보장하는 것은 전적으로 귀하의 책임입니다.

이러한 리소스는 예고 없이 변경될 수 있습니다. TI는 리소스에 설명된 TI 제품을 사용하는 애플리케이션의 개발에만 이러한 리소스를 사용할 수 있는 권한을 부여합니다. 이러한 리소스의 기타 복제 및 표시는 금지됩니다. 다른 모든 TI 지적 재산권 또는 타사 지적 재산권에 대한 라이선스가 부여되지 않습니다. TI는 이러한 리소스의 사용으로 인해 발생하는 모든 청구, 손해, 비용, 손실 및 책임에 대해 책임을 지지 않으며 귀하는 TI와 그 대리인을 완전히 면책해야 합니다.

TI의 제품은 [ti.com](https://ti.com)에서 확인하거나 이러한 TI 제품과 함께 제공되는 [TI의 판매 약관](#) 또는 기타 해당 약관의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다.

TI는 사용자가 제안했을 수 있는 추가 또는 기타 조건을 반대하거나 거부합니다.

주소: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated