학위논문요약서		
성명	**학과**	**해당 학위**
김준호	**기계공학과**	**석사**
학위개요	○ 논문제목 • 국문제목: 진동데이터와 병렬 1차원 합성곱 신경망을 이용한 인텔리전트 타이어의 상태진단 기법 연구 • 영문제목: Condition Monitoring of Intelligent Tires Utilizing Parallel 1D CNN and Vibration Measurement • 논문심사합격일: 2024.12.14 • 지도교수: 박용화 교수	

주요 내용 요약

Ⅰ. 연구목적

최근 차량의 안전성과 주행 성능을 높이기 위해 인텔리전트 타이어 시스템이 주목받고 있습니다. 내장 센서를 통해 타이어 거동을 실시간 모니터링하고, 이를 차량 제어 및 유지보수에 활용할 수 있습니다. 특히 가속도 센서 기반의 시계열 데이터 분석은 다양한 운행 조건에서 타이어 상태 진단에 유용합니다.

타이어 고장은 크랙과 분리로 구분되며, 내부에서 발생하는 분리 고장은 조기 탐지가 어려워 심각한 사고로 이어질 수 있습니다. 기존에는 자기회귀 모델이나 전력 스펙트럼 밀도 분석 등 신호 처리 기법이 사용되었지만, 실제 데이터의 불확실성과 미세한 고장 차이를 구분하는 데 한계가 있었습니다.

최근 딥러닝이 활발히 적용되고 있으며, 1차원 합성곱 신경망(1D CNN)은 시계열 데이터 분석에 적합하지만, 전체 신호를 단일 공간에서 처리하는 방식으로 국부적 결함 검출에는 한계가 있습니다.

본 연구는 병렬 1D CNN을 이용해 타이어 회전 데이터를 여러 윈도우로 분할하고 중첩을 적용해 경계 정보 손실을 최소화하며, 각 구간의 특징에 가변 가중치를 부여해 결함 부위를 강조하고 진단 성능을 향상시키는 새로운 방법을 제안합니다.

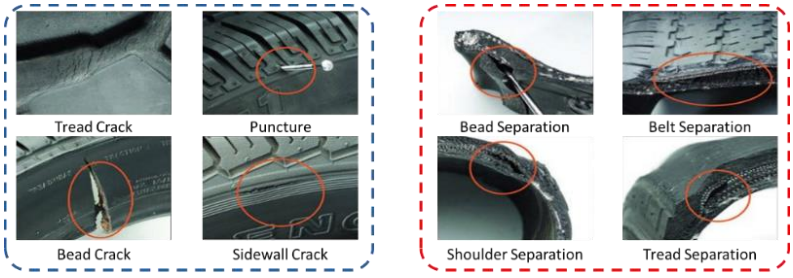

Figure 1. 타이어의 고장 유형

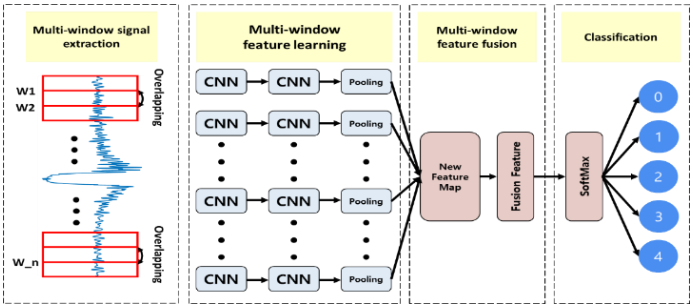

Figure 2. Parallel 1D Convolutional Neural Network

Ⅱ. 연구내용

본 연구는 인텔리전트 타이어 시스템을 활용해 타이어 분리 고장을 진단하는 방법을 제안하였습니다. 이를 위해 회전 중 타이어의 가속도 데이터를 수집하고, 병렬 1차원 합성곱 신경망(Parallel 1D CNN)을 적용하여 자동 분류 모델을 개발하였습니다. 기존 신호 처리 기법이 해석 모델에 기반해 일정 성능을 보였으나, 실제 실험 데이터에서 고장 유무와 심각도 판단에는 한계가 있었습니다. 이에 데이터 전처리부터 특징 추출, 융합, 분류까지 체계적으로 설계하여 진단 정확성을 높였습니다.

실험에는 한국타이어 245/45R18 모델과 3축 가속도 센서를 사용해 속도, 하중, 공기압 조건을 달리하며 다양한 주행 데이터를 확보했습니다. 총 5개의 타이어를 이용해 정상과 벨트·비드 분리 고장을 모사하였으며, 수집된 가속도 신호는 1,950회의 회전 데이터를 포함하였습니다. 데이터는 학습·테스트 세트로 분할하고, 일반화 성능 검증을 위해 일부 속도 조건 데이터를 별도 테스트용으로 활용했습니다.

전처리 과정에서는 선형 보간으로 데이터 길이를 통일하고 L2 정규화를 수행해 속도에 따른 진폭 차이를 보정했습니다. 이후 신호를 여러 윈도우로 나누고 중첩 기법을 적용해 국소적 결함 특성을 강조하며 정보 손실을 줄였습니다. 병렬 1D CNN은 각 윈도우에서 독립적으로 특징을 추출해 통합하는 방식으로 기존 단일 CNN보다 결함 탐지에 유리하도록 설계되었습니다. 합성곱 계층, 배치 정규화, ReLU, 맥스 풀링을 결합하고, 가변 가중치를 적용해 중요한 특징을 강조했습니다.

모델은 100에포크 학습 후 다양한 조건에서 검증되었으며, 학습에 포함되지 않은 속도 조건에서도 정확하게 분리 고장을 탐지했습니다. 윈도우 개수와 중첩 정도가 성능에 미치는 영향을 분석해 최적 구성을 도출하였고, 기존 1D CNN 대비 병렬 1D CNN의 우수성을 확인했습니다. 본 연구는 타이어 결함 진단의 정밀도와 신뢰성을 개선해 인텔리전트 타이어 시스템의 실용적 활용에 기여할 것으로 기대됩니다.

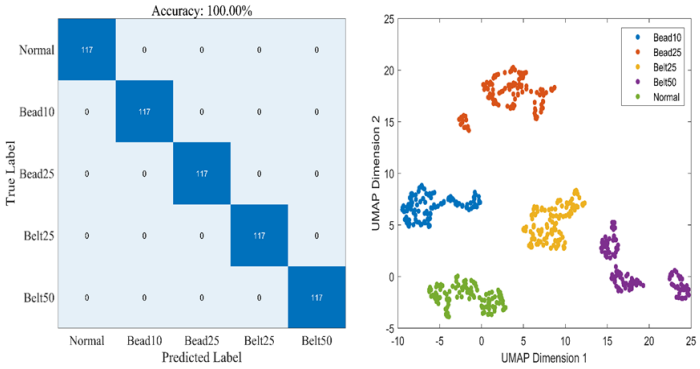

Figure 3. 첫 번째 데이터 세트에서의 고장 진단 결과

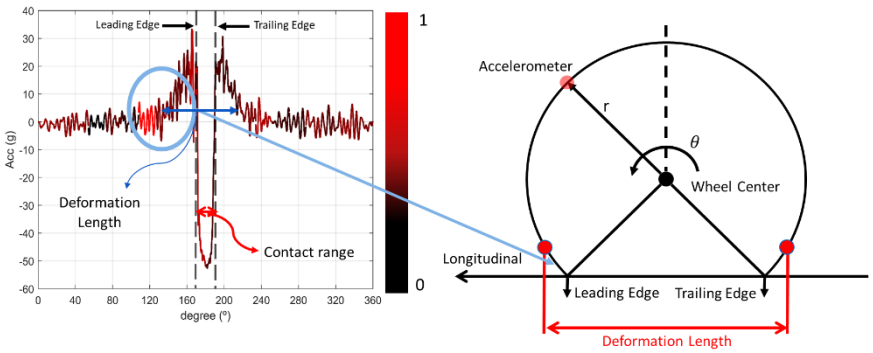

Figure 4. 타이어 분리 고장 특성이 나타나는 주요 구간