

소 파행 행동의 정밀 분석 및 조기 탐지 향상을 위한 포즈 시계열 기반 이상 탐지 시스템 설계에 관한 연구

송제호*, 김은찬**

*전북대학교 융합기술공학부(IT응용시스템공학)

**전북대학교 IT응용시스템공학과

e-mail:songjh@jbnu.ac.kr

A Study on the Design of pose-Based Time-series Anomaly Detection System for Precise Analysis and Early Detection of Cattle Lameness Behavior

Je-Ho Song*, Eun-Chan kim**

*Dept. of Convergence Technology Engineering(IT Applied System Engineering), Jeonbuk National University

**Dept. of IT Applied System Engineering, Jhonbuk National University

요약

본 논문에서는 소의 파행 행동을 정밀하게 분석하고 조기에 탐지하기 위한 포즈 시계열 기반 이상 탐지 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 영상 기반 객체 탐지, 객체 추적, 포즈 추정, 시계열 특징 추출, 이상 탐지 모델, 엣지 추론 환경으로 구성되며, 개체의 보행 패턴을 시간적으로 연속 추적하고 비정상적인 움직임을 자동으로 판별할 수 있도록 설계하였다. 특히 척추 축 각도 변화, 보행 속도, 보폭 거리, 좌우 대칭성 등 포즈 기반 시계열 특징을 활용하여 파행에서 나타나는 비정상 패턴을 정량적으로 분석한다. 또한 경량화된 딥러닝 모델을 적용하여 엣지 디바이스 환경에서도 실시간 추론이 가능하도록 설계하였으며, 이를 통해 다양한 환경 조건에서도 안정적인 성능을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 소의 건강 상태를 조기에 진단하여 생산성 향상에 기여할 수 있을 뿐만 아니라, 스마트 축산 환경에서의 자동화된 이상 행동 모니터링 시스템으로 확장될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

최근 정밀 축산(Precision Livestock Farming)의 확산과 함께 가축의 건강 상태를 자동으로 모니터링하고 조기에 이상을 감지하려는 기술적 요구가 증가하고 있다. [1] 특히 소의 파행(lameness)은 생산성 저하와 직결되는 주요 질병 중 하나로, 조기 발견 및 관리가 매우 중요하다. [2] 그러나 기존의 파행 판별은 축산 종사자나 수의사의 육안 관찰에 의존하는 방식으로 이루어지고 있어 주관적 판단이 개입되며, 지속적인 관찰이 어렵고 조기 진단에 한계가 존재한다.

이러한 한계를 극복하기 위해 영상 기반 분석 기술과 인공지능을 활용한 자동화된 행동 분석 방법이 대안으로 제시되고 있다. 특히 객체 탐지와 포즈 추정 기술을 활용하면 소의 신체 움직임을 정량적으로 추출할 수 있으며, 이를 통해 보행 패턴을 분석하는 것이 가능하다. 그러나 기존 연구의 대부분은 단일 프레임 기반의 정적 분석에 집중되어 있어, 시간 흐름에 따른 연속적인 행동 변화를 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 또한 다중 개체 환경, 조명 변화, 촬영 시점 차이 등 실제 농장 환경에서 발생하는 다양한 조건에 대해 안정적인 분석 성능을 확보하는 데에도 어려움이 존재한다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 포즈 기반 시계열 분석을 할

용한 접근이 효과적인 대안으로 제시될 수 있다. 이를 통해 개체의 보행 패턴을 시간적으로 연속 추적하고, 척추 축 변화, 보폭, 속도, 좌우 대칭성 등의 특징을 정량적으로 분석하여 파행에서 나타나는 비정상적인 움직임을 보다 정확하게 탐지할 수 있다. 또한 경량화된 딥러닝 모델과 엣지 디바이스를 결합함으로써 실시간 분석이 가능하며, 현장 적용성을 높일 수 있다.

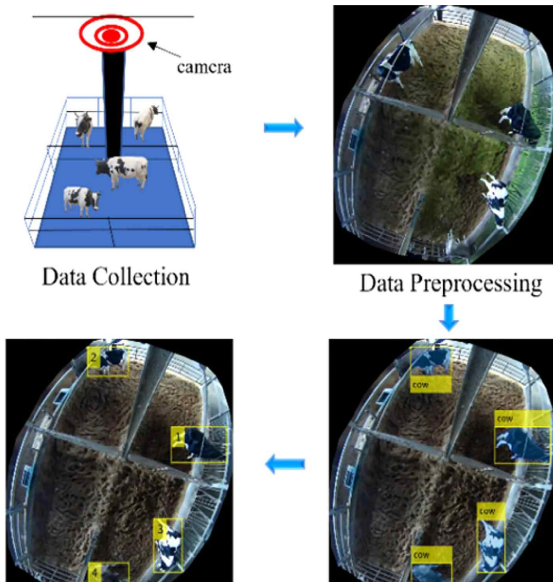
본 논문에서는 기존의 단일 프레임 기반 분석 방식의 한계를 보완하고, 포즈 시계열 특징을 활용하여 소의 파행 행동을 정밀하게 분석하고 조기에 탐지할 수 있는 이상 탐지 시스템을 제안한다. 이를 통해 가축의 건강 상태를 자동으로 모니터링하고, 조기 질병 진단 및 관리 효율 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 본론

소 파행 행동 분석을 위한 포즈 시계열 기반 이상 탐지 시스템은 기존의 육안 관찰 중심 진단 방식에서 발생하는 주관성과 실시간 모니터링의 한계를 극복하고, 가축의 보행 상태를 자동으로 분석하여 이상 징후를 조기에 탐지할 수 있도록 설계되었다. 제안된 시스템은 YOLOv8 기반 객체 탐지 모델, ByteTrack 기반 객체 추적 알고리즘, DeepLabCut 기반 포즈 추정 모델, 시계열

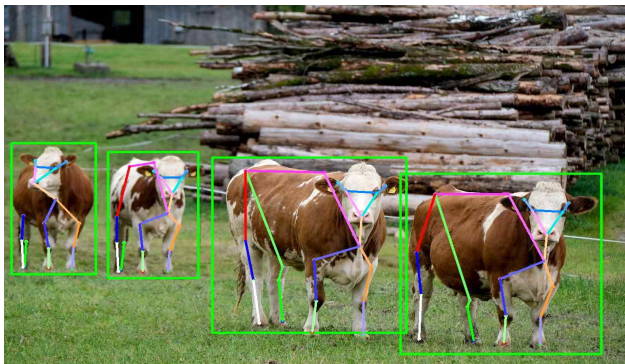
특징 추출 모듈, 1D-CNN 기반 이상 탐지 모델, 엣지 추론 환경, 및 관제 인터페이스로 구성되며, 각 기능 요소는 상호 연계되어 개체의 보행 상태를 연속적으로 분석하고 이상 행동에 즉각적으로 대응할 수 있도록 한다.

영상 입력 단계에서는 YOLOv8 기반 객체 탐지 기법을 적용하여 소의 위치를 검출하고, 다중 개체 환경에서도 안정적인 분석을 수행하기 위해 객체 추적 알고리즘을 적용하여 개체별 ID를 지속적으로 유지한다. [3] 이를 통해 동일 개체의 움직임을 시간적으로 일관되게 추적할 수 있으며, 프레임 간 정보 단절 문제를 최소화할 수 있다. 그림 1은 객체 탐지 및 추적 예시를 나타낸다.



[그림 1] 객체 탐지 및 추적 예시

이후 검출된 개체 영역을 기반으로 관심 영역을 설정하고, DeepLabCut 을 활용하여 소의 주요 관절 좌표를 추출한다. [4] 추출된 포즈 정보는 신뢰도 기반 필터링을 통해 노이즈를 제거하며, 일정 시간 구간 단위로 누적하여 시계열 데이터로 구성된다. 이를 통해 개체의 보행 패턴을 연속적으로 분석할 수 있는 기반을 마련한다. 그림 2는 포즈 추정 결과 예시를 나타내었다.



[그림 2] 포즈 추정 결과 예시

시계열 특징 추출 단계에서는 척추 축의 기울기 변화, 보행 속

도 및 가속도, 보폭 거리, 좌우 보행 대칭성, 보행 주기성 등의 특징을 계산하여 파행 상태에서 나타나는 비정상적인 움직임을 정량적으로 표현한다. 이러한 특징들은 정상 개체와 파행 개체 간의 차이를 명확하게 구분할 수 있는 핵심 지표로 활용된다.

이상 탐지 단계에서는 추출된 시계열 특징을 입력으로 하는 경량화된 1D-CNN 기반 모델을 활용하여 정상 보행 패턴의 시간적 특성을 모델링하고, 정상 패턴으로부터의 편차를 기반으로 파행 여부를 판단한다. [5] 특히 경량화된 모델 구조를 적용하여 연산량을 최소화하고, 엣지 디바이스 환경에서도 실시간 추론이 가능하도록 설계하였다. 향후 다양한 보행 패턴 데이터를 활용한 실험을 통해 모델의 분류 성능을 정량적으로 평가하고, 비정상 패턴에 대한 조기 탐지 가능성을 검증하고자 한다.

또한 시스템은 현장 적용성을 고려하여 실시간 모니터링 기능을 제공하며, 분석 결과는 관제 인터페이스를 통해 시각적으로 확인할 수 있도록 구성하였다. 관리자 인터페이스에서는 개체별 상태, 이상 탐지 여부, 시계열 변화 추이를 직관적으로 확인할 수 있으며, 이상 상황 발생 시 경고 알림을 통해 즉각적인 대응이 가능하도록 설계하였다.

결과적으로, 제안된 시스템은 소의 파행 행동을 자동으로 분석하고 조기에 탐지할 수 있는 통합 분석 솔루션으로 활용될 수 있으며, 수집된 데이터는 향후 인공지능 기반 예측 진단 및 스마트 축산 관리 시스템과 연계되어 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

3. 결론

본 논문에서는 소의 파행 행동을 정밀하게 분석하고 조기에 탐지하기 위한 포즈 시계열 기반 이상 탐지 시스템을 제안하였다. 기존의 육안 관찰 중심 진단 방식이 갖는 주관성과 실시간 모니터링의 한계를 개선하기 위해, 객체 탐지, 객체 추적, 포즈 추정, 시계열 특징 추출, 딥러닝 기반 이상 탐지 기법을 통합한 분석 구조를 설계하였다. 이를 통해 개체의 보행 패턴을 시간적으로 연속 분석하고, 파행에서 나타나는 비정상적인 움직임을 정량적으로 판단할 수 있는 환경을 마련하였다. 또한 경량화된 모델 구조를 적용하여 엣지 디바이스 환경에서도 실시간 분석이 가능하도록 함으로써 실제 농장 환경에서의 적용 가능성을 높였다.

향후 연구에서는 다양한 환경 조건에서 수집된 데이터를 활용하여 모델의 성능을 정량적으로 검증하고, 개체 간 차이를 반영하여 보다 정교한 이상 탐지 기법을 개발하고자 한다. 또한 인공지능 기반의 예측 진단 기능을 추가하고, 장기적인 행동 데이터를 활용한 건강 상태 변화 분석을 통해 조기 질병 예측 시스템으로 확장하는 것이 요구된다. 나아가 클라우드 및 빅데이터 기술과 연계하여 대규모 데이터 관리 및 분석 체계를 구축한다면, 보다 높은 수준의 정밀 축산 관리가 가능할 것으로 판단된다.

이와 같은 확장 가능성을 바탕으로, 본 연구에서 제안한 포즈

시계열 기반 이상 탐지 시스템은 소의 파행 행동 분석에 국한되지 않고 다양한 가축의 이상 행동 탐지 및 건강 상태 모니터링으로 적용 범위를 넓힐 수 있으며, 축산 환경에서의 자동화된 관리 시스템 구축에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] D. Berckmans, "Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems", *Revue Scientifique et Technique (OIE)*, Vol.33, No.1, pp.189-196, 2014. DOI: <https://doi.org/10.20506/rst.33.1.227>
- [2] J. N. Huxley, "Impact of lameness and claw lesions in cows on health and production", *Livestock Science*, Vol.156, No.1-3, pp.64-70, 2013
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.06.012>
- [3] Ultralytics, "Ultralytics YOLOv8" [Internet]. Ultralytics, 2023, Available From: <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (accessed Apr. 21, 2026)
- [4] A. Mathis, P. Mamidanna, K. M. Cury, T. Abe, V. N. Murthy, M. W. Mathis, M. Bethge, "DeepLabCut: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning", *Nature Neuroscience*, Vol.21, No.9, pp.1281-1289, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0209-y>
- [5] Z. Wang, W. Yan, T. Oates, "Time series classification from scratch with deep neural networks: A strong baseline", *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, IEEE, Anchorage, USA, pp.1578-1585, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2017.7966039>