

야생 동물 침입 방지를 위한 실시간 모니터링 플랫폼 설계 및 구현

김 다 혜*, 유 상 호*, 박 성 화*, 김 동 성*, 이 재 민^o

Design and Implementation of Real-Time Monitoring Platform for Preventing Wild Animals

Da-Hye Kim*, Sang-Ho Yoo*, Sung-Hwa Park*, Dong-Seong Kim*, Jae-Min Lee^o

요 약

본 논문은 야생 동물에 의한 피해 감소를 위한 실시간 침입 방지 모니터링 플랫폼을 설계 및 구현하고자 한다. 제안하는 플랫폼은 동물의 실시간 모니터링 및 위치 파악을 위해 single shot detection(SSD)와 MobileNets을 결합한 실시간 객체 탐지 기법을 사용한다. 또한 실시간으로 야생 동물을 모니터링하고 객체 감지 시, light-emitting diode(LED)와 알람을 이용하여 야생 동물 침입을 예방하고자 한다. 더 나아가 데이터베이스를 통한 정보 관리를 통해 야생 동물들의 출몰 시간대와 위치를 확인 가능하게 한다. 모의 환경에서 객체 감지 기법의 성능 평가 결과, you only look once(YOLO), faster regions with convolution neural networks features(Faster R-CNN) 기법에 비해 SSD와 MobileNets를 결합한 객체 감지 기법의 성능이 우수함을 확인하였다.

Key Words : Smart farm, Real-time monitoring system, Object detection technique, IoT, Wild animal

ABSTRACT

This paper designs and implements the real-time monitoring platform for preventing wild animals to reduce the damage from the wild animals. Therefore real-time platform is proposed to monitor and detect wild animals with real-time detection technique that combines single shot detection(SSD) and MobileNets. Through the proposed platform, it detects wild animals in real-time and prevents wild animals by using light-emitting diode(LED) lights and alarms when the object is detected. In addition, it is possible to check the time zone and location of wild animals through information management using the database. As a result of performance evaluation in a simulation, it was confirmed that the performance of SSD with MobileNets object detection technique is superior to that of you only look once(YOLO) and faster regions with convolution neural networks features(Faster R-CNN) techniques.

※ 이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(2018104148)

• First Author : Kumoh National Institute of Technology, Department of IT Convergence Engineering, dahem91@kumoh.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Kumoh National Institute of Technology, Department of IT Convergence Engineering, ljmpaul@kumoh.ac.kr, 종신회원

* Kumoh National Institute of Technology, Department of IT Convergence Engineering, 20186116@kumoh.ac.kr; wbsl0319@kumoh.ac.kr; dskim@kumoh.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 202007-165-C-RN, Received July 15, 2020; Revised February 28, 2021; Accepted April 7, 2021

I. 서 론

세계 인구 증가, 인구 고령화 진행 등의 사회적인 이유로 인하여 농업에 정보통신기술(information and communication technologies: ICT), 사물인터넷(internet of things: IoT), 클라우드 컴퓨팅, 인공지능(artificial intelligence: AI) 등의 신기술을 접목한 ‘스마트 팜’에 대한 연구가 부상하고 있다. 스마트팜이란 ICT를 온실, 축사, 과수원 등에 접목하여 원격 및 자동으로 작물 또는 가축의 생육환경을 제어할 수 있는 농장을 말한다. 특히 PC와 스마트폰 등 다양한 장치들을 통해서 원격으로 관리가 가능하기에 생산의 효율성 및 편의성을 증가시킬 수 있다^{1,2}. 하지만 스마트팜 연구는 생산성과 품질 개선에 집중되어 있어 야생 동물 침입으로 인한 피해 예방에 관련된 연구는 상대적으로 미비하다³⁻⁶.

야생 동물로 인한 피해를 예방하기 위한 방법으로는 사냥이나 포획, 순찰과 같은 사람이 직접 해야 하는 방법과 천적의 소리, 고압 전류 울타리 등과 같은 기구를 사용한 방법이 있다. 하지만 사람이 직접 예방하는 방법은 위험을 동반하며 고압 전류 울타리와 같은 기구를 사용한 방법은 초기 비용 및 유지보수 비용이 높다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 야생 동물의 침입 예방을 위한 실시간 모니터링 시스템을 설계 및 구현한다. 또한 실시간 객체 감지를 위한 기법의 성능 평가를 진행한다.

II. 관련 연구 및 문제점 분석

스마트팜의 연구가 활발히 진행됨에 따라 에너지, 원격관리, 작물의 효율적인 관리, 성장 관리를 위한 모니터링 시스템 등 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있다. 그중에는 농장에 설치된 센서, 액추에이터의 데이터를 관리 및 모니터링 하는 연구와 빠른 데이터 처리 및 전송에 대한 연구가 있다. 그리고 동식물의 성장을 효율적으로 관리하기 위하여 식물의 성장을 시뮬레이션해보고 예측하여 효율성을 높이는 시스템⁷, 돼지의 크기를 기반으로 성장이 더딘 개체를 판단 관리하는 시스템⁸에 대한 연구가 있다.

하지만 표 1에서와 같이 증가하고 있는 야생 동물에 의한 피해 수치⁹에 비해 이를 예방하고 이를 통해 농작물의 피해를 감소시키고자 하는 연구는 미비하다. 피해실태를 살펴보면 2014년 108억 8,300만원에서 2015년 106억 7,200만원으로 전년대비 1.9% 감소했으나, 2016년 109억 1,100만원으로 전년대비 2.2%

표 1. 동물별 농작물 피해

Table 1. Damage to crops by wild animal.

(Unit: ₩ 1,000,000)

Year Object	2014	2015	2016	2017	2018
Boar	4,202	4,701	5,648	7,850	6,509
Elk	2,309	2,055	2,460	2,269	2,593
Pheasant	458	300	259	259	404
Magpie	1,710	1,588	1,263	1276	1,021
Squirrel	94	138	79	62	59
Duck	475	353	276	260	394
Others	1,635	1,537	926	700	787
Total	10,883	10,672	10,911	12,676	11,767

증가, 2017년에는 126억 7,600만원으로 전년대비 16.2% 증가했다. 유해동물별로 특히 멧돼지에 대한 피해가 가장 크게 나타났으며, 피해액은 2014년 42억 200만원에서 2018년 65억 900만원으로 5년간 54.9%가 증가했다. 하지만 이러한 피해를 방지하기 위한 보통의 방법으로는 전기 울타리, 사람의 순찰과 같은 방법만 존재하고 있다.

야생 동물과 고추 탄저병을 탐지하기 위한 시스템도 제안되었다. 제안하는 시스템은 you only look once(YOLO) 기법을 사용하여 멧돼지와 고라니, 고추 탄저병을 감지하는 시스템으로써 로봇을 사용하여 객체를 탐지, 유해동물을 퇴치한다. 하지만 제안하는 시스템은 리소스를 고려하지 않았으며 야생동물의 감지에 대한 부분에 대한 연구가 적음을 알 수 있다⁸.

따라서 본 논문에서는 증가하고 있는 야생 동물로 인한 피해를 줄이기 위하여 실시간 야생 동물 침입 예방 플랫폼을 제안한다. 또한 제안하는 플랫폼을 위해 적은 리소스 환경에서도 높은 정확도와 실시간성을 갖춘 객체 탐지 기법에 대해 다룬다.

III. 야생 동물 침입 예방 플랫폼 설계

3.1 야생 동물 침입 예방 플랫폼의 구조

그림 1은 제안하는 야생 동물 침입 예방 플랫폼의 구조를 보여준다. 제안하는 플랫폼은 감지부, 처리부, 구동부, 사용자로 구분되어 있다. 감지부의 적외선 카메라와 초음파 센서와 제안하는 MobileNet과 single shot detection(SSD)를 결합한 검출방식을 이용하여 야생 동물을 감지한다. 구동부에는 알람과 light-emitting diode(LED)가 존재하며 이를 통해 야생 동물 감지 시 자동으로 작동하여 침입을 예방 할 수 있다. 감지부를 통해 수집된 정보는 데이터베이스로 전송되어 관리되며 사용자는 안드로이드 기반의 어플리케이션과 웹

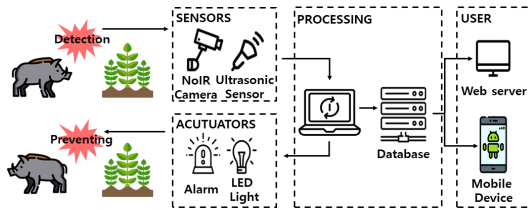


그림 1. 제안하는 플랫폼의 구조
Fig. 1. Structure of proposed platform.

서버를 통해 야생 동물의 침입을 실시간으로 모니터링 할 수 있다.

3.2 야생 동물 침입 예방 플랫폼의 설계

그림 2은 야생 동물 침입 예방을 위한 플랫폼의 데이터 처리 과정을 보여준다. 제안하는 플랫폼은 감지부에서 수집한 데이터를 이용하여 객체를 감지, 분석하며 센서들의 상태를 모니터링한다. 야생 동물이 감지되었을 경우에는 감지된 날짜, 시간을 데이터베이스에 기록한다. 또한 야생 동물이 아닌 물체의 감지 시에도 데이터베이스에 기록되어 다른 물체의 감지 여부도 확인 할 수 있다. 야생 동물이 감지되었을 경우에는 구동부로 신호를 전달하여 LED와 알람을 동작하여 야생 동물의 침입을 방지한다. 사용자는 웹 서버와 모바일 기기를 통해 데이터 관리가 가능하고 실시간 모니터링이 가능하다.

3.2.1 객체 탐지 기법

객체 탐지 기법으로는 faster regions with convolution neural networks features(Faster R-CNN), YOLO, SSD 등이 있다.

Faster R-CNN은 기존 region with convolution neural networks features(R-CNN), Fast R-CNN의 단점인 높은 처리 시간을 극복하기 위하여 region proposal networks(RPN)을 사용하여 기존 기법보다 빠른 처리 속도를 가진다. 하지만 여전히 실시간 시스템에서 사용하기에는 적합하지 않다.

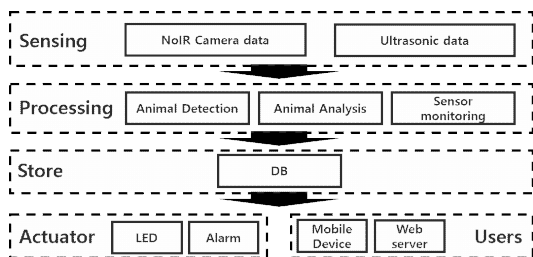


그림 2. 제안하는 플랫폼의 데이터 처리 과정
Fig. 2. Data processing flow of proposed platform.

YOLO는 높은 정확도보다는 실시간 객체 탐지를 위해 제안되었다. 특히 다른 기법과는 이미지에서 객체의 영역을 판단하는 대신 이미지 전체에서의 객체를 판단하기 때문에 속도가 빠르다. 하지만 일반적인 비율을 가진 객체만 탐지 할 수 있으며 작은 물체에 대한 검출 정확도가 낮다는 단점이 있다.

SSD의 구조는 그림 3에서 볼 수 있다. SSD는 38×38, 19×19, 10×10, 5×5, 3×3, 1×1 총 6개의 특성 맵(feature map)을 사용하여 다양한 크기의 객체를 검출 할 수 있다. 각 특성 맵에서 검출된 객체는 마지막 단계에서 가장 정확도가 높은 결과만을 사용하여 YOLO에 비해 정확도가 높다. 기존의 대부분의 SSD 기법은 visual geometry group(VGG)를 기본 네트워크 모델로 사용한다. VGG 모델은 기존의 객체 탐지 기법에 비해 작은 크기인 3x3 필터를 사용함으로써 보다 깊은 학습이 가능하고 큰 크기의 필터를 사용했을 때보다 가중치가 낮기 때문에 처리 속도 또한 향상되었다. 하지만 VGG는 많은 리소스를 요구하기 때문에 IoT 디바이스와 같이 적은 리소스를 보유한 기기에는 적합하지 않다. 그로 인해 제안하는 플랫폼에서는 MobileNets을 기본 네트워크 모델로 사용하는 SSD를 이용한다.

MobileNets은 스마트폰 및 임베디드 기반 비전 어플리케이션과 같이 리소스가 한정적인 장치를 위해 고안된 효율적이고 경량의 심층 신경망이다. 그림 4에서는 일반 콘볼루션과 depth-wise separable 콘볼루션의 차이를 보여준다. 일반적인 콘볼루션과는 다르게 depth-wise separable 콘볼루션은 채널별로 따로 depth-wise 콘볼루션을 진행하고 이후 1×1 point-wise 콘볼루션을 진행하여 전체적인 파라미터를 감소시키고 이를 통해 학습시간을 줄인다. MobileNets의 성능 평가에서 MobileNets이 VGG16에 비해 파라미터의 수도 적으면서 정확도는 비슷함을 보여준다[9].

본 논문에서 제안하는 플랫폼에서는 MobileNets과

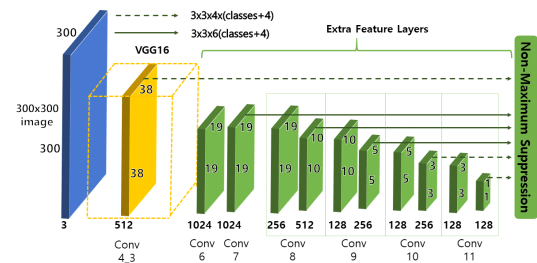


그림 3. SSD의 구조
Fig. 3. Architecture of SSD.

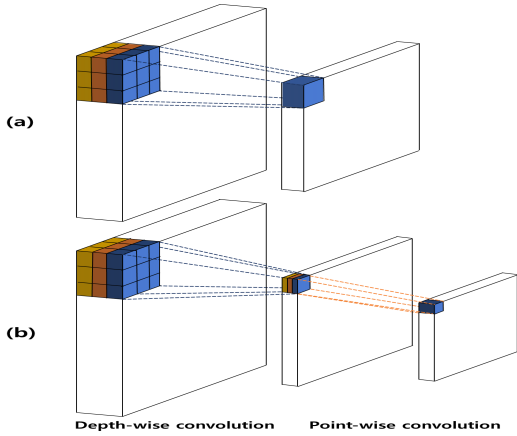


그림 4. 콘볼루션 비교 (a)일반 콘볼루션, (b)depth-wise separable 콘볼루션
Fig. 4. Comparison of convolution (a)normal convolution, (b) depth-wise separable convolution.

SSD를 사용하여 객체를 탐지한다. 제한하는 객체 탐지 기법은 그림 5에서 볼 수 있다. 노란색으로 표시된 콘볼루션은 MobileNets에서 사용하는 depth-wise 콘볼루션이다. MobileNets을 통해 실시간 탐지를 지원하고 MobileNets을 통해 생성된 특성맵 외에 추가적인 특성맵을 이용하여 객체 탐지 정확도를 높이고자 한다.

3.2.2 데이터 관리

감지부에서 수집된 데이터는 데이터 처리 후 ‘감지’와 ‘비감지’로 분류된다. 적외선 카메라인 no infrared(NoIR) 카메라와 초음파 센서에 동시에 감지된 객체를 ‘감지’로 관리하며 이를 통해 야생 동물 탐지 플랫폼의 탐지 정확도를 높이고자 한다. 감지된 객체의 종과 날짜, 시간에 따라 분류하여 각 테이블에 저장한다. ‘비감지’는 감지부의 2 가지의 기기 중 하나에서만 감지되었을 경우이다. ‘비감지’ 데이터는 야생동물이 아닌 객체가 인식되는 경우를 확인하기 위해서 존재한다. 저장된 데이터를 통해 감지되는 야생

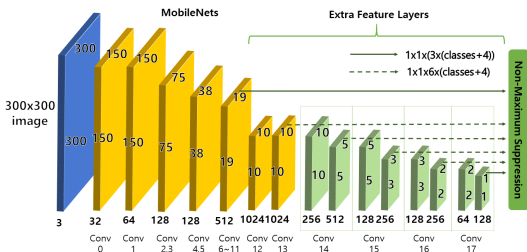


그림 5. SSD와 MobileNets을 결합한 객체 탐지 기법
Fig. 5. SSD object detection technique with MobileNets.

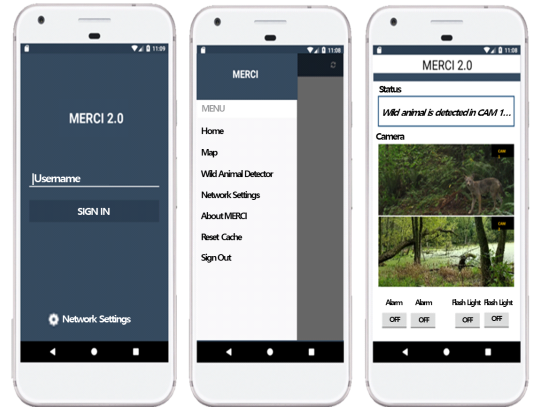


그림 6. 야생 동물 침입 예방 플랫폼을 위한 안드로이드 기반 어플리케이션 구상도
Fig. 6. Concept of Android based application for real-time monitoring platform for preventing wild animals.

동물의 종, 시간대 등을 파악할 수 있으며 이는 효율적인 침입 대비가 가능하도록 한다.

야생 동물 감지 데이터 외에 감지부와 구동부에 존재하는 기기들의 상태를 모니터링하기 위하여 기기들의 상태도 저장, 관리한다. 이를 통해 원격으로 신속한 기기 관리를 할 수 있다.

3.2.3 모니터링 도구

사용자들의 편의를 위한 모니터링 도구로는 웹서버와 안드로이드 기반의 어플리케이션을 설계하였다. 그림 6은 안드로이드 기반의 어플리케이션의 구상도이다. 모니터링 도구를 통하여 사용자에게 실시간으로 농장의 모습을 보여주며 기기, 데이터 관리를 용이하게 한다. 야생 동물이 감지되었을 때에는 알람을 통해 사용자에게 안내하며 사용자는 실시간으로 감지된 동영상 확인 할 수 있을 뿐만 아니라 수동으로 알람 및 LED를 구동 할 수 있다.

IV. 야생 동물 침입 예방 플랫폼 구현 및 성능 평가

4.1 야생 동물 침입 예방 플랫폼의 구현

그림 7은 3장에서 설계한 야생 동물 침입 예방 플랫폼의 구현도이다. 노트 1에 NoIR 카메라, 초음파센서, 알람, LED가 연결되어 있으며 객체 감지와 데이터 처리를 위하여 라즈베리파이를 사용하였다. NoIR 카메라로 수집한 이미지데이터를 이용하여 객체를 감지한 후 초음파센서를 이용하여 객체 감지 여부를 판단한다. 객체 감지를 위해 common objects in

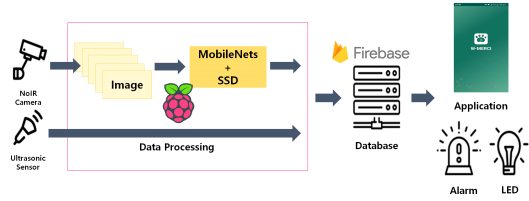


그림 7. 야생 동물 침입 예방 플랫폼 구현도
Fig. 7. Implementation of real-time monitoring platform for preventing wild animals.

context(CoCo)를 사용하여 이미지 데이터를 학습하고 PASCAL visual object classes(VOC)를 사용하여 정밀도를 조정하였다. 데이터 셋은 사람, 새, 고양이, 소, 개, 말, 양 총 7종류로 구성된다. 초음파센서를 이용한 객체 탐지 거리는 2m로 제한하였다. 판단된 데이터는 파이어베이스를 이용하여 저장하며 개발한 안드로이드 기반 어플리케이션을 통해 본 모니터링 및 관리한다.

그림 8은 파이어베이스를 기반으로 구현한 데이터베이스를 보여준다. 하위 메뉴를 누르면 구동부의 알람과 LED의 작동 상태 및 객체 탐지 여부와 시간을 확인 할 수 있음을 보인다.

그림 9는 구현한 안드로이드 기반의 어플리케이션이다. 어플리케이션을 통해 실시간 카메라 영상을 확인할 수 있고 카메라와 연결된 노드의 알람, LED 작동 상태를 확인 할 수 있음을 보여준다. 그림에서는

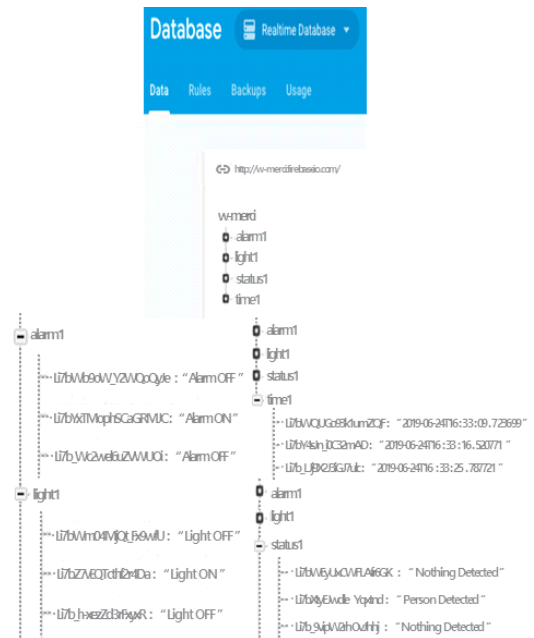


그림 8. 파이어베이스 기반 데이터베이스 구현
Fig. 8. Implementation of Firebase based database.

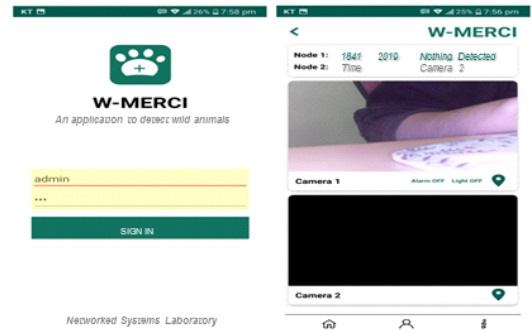


그림 9. 안드로이드 기반 어플리케이션 구현
Fig. 9. Implementation of Android based application.

노드를 하나만 사용하여 카메라 1의 상태만 확인 할 수 있다. 실시간으로 감지된 객체 및 시간을 확인할 수 있으며 노드 1에 연결된 구동부의 기기 상태도 확인할 수 있도록 구현하였다.

4.2 야생 동물 침입 예방 플랫폼의 성능평가

구현한 플랫폼은 NoIR 카메라 데이터를 이용한 객체 탐지 기법의 성능에 따라 플랫폼의 성능 차이가 발생한다. 따라서 플랫폼의 성능평가를 위하여 객체 탐지 기법의 성능을 비교하였다.

성능 비교를 위하여 Window10, RAM 8GB, Intel core i5-7400의 PC환경에서 다음의 객체 탐지 기법을 비교하였다. CoCo에서 제공하는 동일한 데이터 셋을 이용하여 성능 비교를 진행하였으며 비교 기법으로는 Faster R-CNN, SSD 300, YOLO v2이 있다. 그림 10은 각 기법별 정확도 비교이다. 본 플랫폼에서 사용한 SSD+MobileNets이 90% 이상의 가장 높은 정확도를 가지고 있으며 그 외의 다른 기법들은 평균

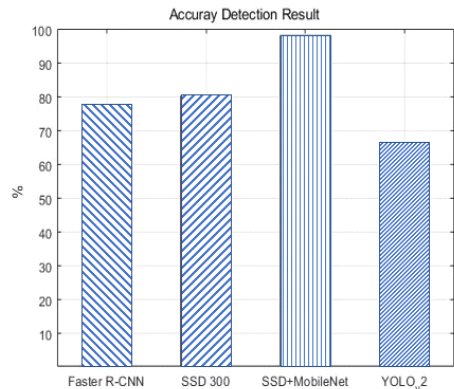


그림 10. 객체 탐지 기법의 정확도 비교
Fig. 10. Accuracy comparison of object detection schemes.

표 2. 탐지된 객체별 mAP
Table 2. mAP of detected objections.

Method	Person	Birds	Cats	Cows	Dogs	Horses	Sheep
YOLOv2	63.5	57.7	81.4	60.8	77.2	72.3	52.2
Faster R-CNN	72.0	70.8	89.3	73.0	87.5	80.5	68.3
SSD300	79.4	70.5	89.2	77.0	87.0	83.1	75.9
SSD+ MobileNets	99.2	98.7	99.7	97.7	95.7	99.6	98.4

75%의 정확도를 나타냄을 알 수 있다.

표 2는 CoCo 데이터 세트로 학습하였을 때 사람, 조류, 고양이, 소, 개, 말, 양과 같은 객체의 감지 정확도를 감지 기법별로 비교한 결과를 보여준다. 여러 개의 객체에 대한 감지 성능을 비교하기 위하여 mean average precision(mAP)를 측정하여 비교하였다. 측정결과, MobileNets을 이용한 SSD의 정확도가 가장 높은 것을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 야생 동물에 의한 침입 예방을 위해 MobileNets을 이용한 SSD 객체 감지 기법을 이용하여 리소스가 적은 환경에서도 신속하고 정확한 객체 탐지를 지원하고 실시간으로 이를 모니터링 할 수 있는 플랫폼을 설계 및 구현하였다. 구현한 플랫폼이 야생 동물의 실시간 감지 및 모니터링이 가능하며 예방을 위한 구동 기기가 작동함을 확인하였다. 또한 플랫폼의 성능에 영향을 미치는 MobileNets을 이용한 SSD 기법의 성능을 확인하기 위하여 기존에 다른 논문에서 사용하고 있는 감지 기법들과의 비교를 통해 본 논문에서 사용한 MobileNets+SSD의 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 이후 연구로는 실제 야생 동물 데이터 세트를 기반으로 성능 평가를 진행 할 예정이며 적은 리소스 환경에서의 학습 및 감지 시간을 줄이기 위한 연구를 진행할 예정이다.

References

[1] M. S. Farooq, S. Riza, A. Abid, K. Abid, and M. A. Naeem, "A survey on the role of iot in agriculture for the implementation of smart farming," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 156237-156271, 2019.

[2] T. Ojha, S. Misra, and N. S. Raghuvanshi,

"Sensing-cloud: Leveraging the benefits for agricultural applications," *Comput. and Electr. in Agriculture*, vol. 135, no. 1, pp. 96-107, 2017.

[3] M. S. Choi, "A study on the efficient implementation method of cloud-based smart farm control system," *J. Digital Convergence*, vol. 18, no. 3, pp. 171-177, 2020.

[4] M. R. Ramli, P. T. Daely, D.-S. Kim, and J. M. Lee, "IoT-based adaptive network mechanism for reliable smart farm system," *Comput. and Electr. Agriculture*, vol. 170, 2020.

[5] Z. Jiayu, X. Shiwei, L. Zheming, C. Wei, and W. Dongjie, "Application of intelligence information fusion technology in agriculture monitoring and early-warning research," *2015 Int. Conf. Control, Automat. and Robotics*, pp. 1-4, Singapore, May 2015.

[6] S. Lee, H. Ahn, J. Seo, Y. Chung, D. Park, and S. Pan, "Practical monitoring of undergrown pigs for iot-based large-scale smart farm," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 173796-173810, 2019.

[7] *Report of damage from wild animals by year ('14~'18)*, Ministry of Environment Korea, http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10261&seq=7009.

[8] J. Y. Kim, S. Y. Lee, S. H. Jo, and C. Y. Shin, "IoT and cloud based harmful wildlife and red pepper anthracnose detection system," *J. KICS*, vol. 44, no. 7, pp. 1391-1401, 2019.

[9] A. G. Howard, M. Zhu, B. Chen, D. Kalenichenko, W. Wang, T. Weyand, M. Andreetto, and H. Adam, "MobileNet: Efficient convolutional neural networks for mobile vision application," in *CVPR*, Apr. 2017.

김 다 혜 (Da-Hye Kim)



2015년 2월 : 금오공과대학교 전
자공학부 학사졸업
2018년 2월 : 금오공과대학교 전
자공학과 석사졸업
2018년 3월~현재 : 금오공과대학
교 IT융복합공학과 박사과정

<관심분야> 실시간 시스템, 무선 산업용 네트워크, 항
공기 네트워크

[ORCID:0000-0002-2459-4072]

유 상 호 (Sang-Ho Yoo)



2018년 8월 : 금오공과대학교 전
자공학부 졸업
2020년 8월 : 금오공과대학교 IT
융복합공학과 석사졸업
<관심분야> 실시간 시스템, 합정
엔진용 센서 네트워크

[ORCID:0000-0003-3651-7186]

박 성 화 (Sung-Hwa Park)



2018년 8월 : 금오공과대학교 전
자공학부 졸업
2020년 2월 : 금오공과대학교 IT
융복합공학과 석사졸업
2020년 3월~현재 : 현대로템 신
호시스템 팀 연구원

<관심분야> 실시간 시스템, 무선네트워크

[ORCID:0000-0002-4084-4318]

김 동 성 (Dong-Seong Kim)



1992년 2월 : 한양대학교 전자공
학과 졸업
2003년 3월 : 서울대학교 전기
및 컴퓨터공학부 박사졸업
2004년 : Cornell 대학교 ECE 박
사 후 연구원
2004년 3월~현재 : 금오공대 전
자공학부 정교수

2015년~2018년 : 금오공과대학교 융합기술원 원장
2014년 6월~현재 : ICT 융합특성화연구센터 센터장(과
기정통부 ITRC 및 연구재단 중점연구소)

2019년~현재 : 금오공과대학교 산학협력단장

2014년 9월~현재 : IEEE/ACM Senior 회원

<관심분야> 실시간 통신망 및 IoT 시스템, 네트워크
기반 분산 제어 시스템, 실시간 S/W

[ORCID:0000-0002-2977-5964]

이 재 민 (Jae-Min Lee)



1997년 2월 : 경북대학교 전자공
학과 학사졸업
1999년 2월 : 경북대학교 전자공
학과 석사졸업
2005년 3월 : 서울대학교 전기
및 컴퓨터공학부 박사졸업
2004년~2016년 : 삼성전자 수석
연구원

2016년~2017년 : 금오공과대학교 ICT융합특성화 연구
센터 산학협력중점교수

2017년~현재 : 금오공과대학교 전자공학부 조교수

<관심분야> 산업용 통신망, 네트워크 기반 임베디드 시
스템 설계 및 성능분석

[ORCID:0000-0001-6885-5185]