음향 데이터를 활용한 딥러닝 기반 긴급차량 우선 신호 시스템

[1] 이소연, [2] 장재원, [3*] 김대영

Emergency vehicle priority signal system based on deep learning using acoustic data

[1]SoYeon Lee, [2]Jae Won Jang, [3*]Dae-Young Kim

요 약

일반적으로 골든 타임은 인명 구조나 화재 진압 등의 사고 초기대응에 있어서 가장 중요한 시간을 의미한다. 골든 타임은 재난 상황별로 다르지만 화재나 구급에 있어서는 5분을 목표로 하고 있다. 하지만 실제 현장의 경우 구급차의 평균 출동 시간은 9분, 평균 이송 시간은 17.6분으로 골든 타임과 비교하여 상당히 큰 지연시간이 존재한다. 이러한 지연시간에는 다양한 원인이 존재하지만 가장 큰 원인은 교통체증이다. 해당 문제를 해결하기 위해 정부에서는 긴급 자동차 양보의무법 제정, 사고 발생률이 가장 높은 장소에 구급차 우선 배치 등을 골든 타임을 확보하고 있지만, 교통량이 빠른 속도로 증가하는 출퇴근 상황에서는 해결책이 되지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 신호등에 사운드 센서를 설치하여 수집된 소리 데이터를 활용한 딥러닝 기반 긴급차량 우선 신호 시스템을 제안하고 긴급차량의 주파수 대역을 추출하고 거리에 따라 다르게 나타나는 진폭 신호를 분류하는 실험을 진행하였다.

Abstract

In general, golden time refers to the most important time in the initial response to accidents such as saving lives or extinguishing fires. The golden time varies from disaster to disaster, but is aimed at five minutes in terms of fire and first aid. However, for the actual site, the average dispatch time for ambulances is 9 minutes and the average transfer time is 17.6 minutes, which is quite large compared to the golden time. There are various causes for this delay, but the main cause is traffic jams. In order to solve the problem, the government has established emergency car concession obligations and secured golden time to prioritize ambulances in places with the highest accident rate, but it is not a solution in rush hour when traffic is increasing rapidly. Therefore, this paper proposed a deep learning-based emergency vehicle priority signal system using collected sound data by installing sound sensors on traffic lights and conducted an experiment to classify frequency signals that differ depending on the distance of the emergency vehicle.

Keywords: *Deep learning, traffic control system, sound-based learning, emergency vehicle, intelligent traffic system*

[1] *순천향대학교 일반대학원 소프트웨어융합학과 석사과정 (lsy5918647@naver.com)*
[2] *대구가톨릭대학교 모바일소프트웨어전공 학사과정 (fndl48@naver.com)*
[3*] *교신저자 순천향대학교 컴퓨터소프트웨어공학과교수 (dyoung.kim@sch.ac.kr)*
Received: Sept. 09, 2021, Revised: Sept. 27, 2021, Accepted: Sept. 27, 2021

I. 서론

화재, 구조, 구급 등 응급상황에서 신속한 인명구조를 위한 초기 집중대응 시간인 골든 타임(Golden Time)의 확보가 중요하다. 골든 타임은 긴급차량의 차고지 출동부터 현장도착까지의 시간으로 정의하는데, 응급상황에서 생존율을 높이고 피해를 최소화하기 위해 초기대응 목표시간을 통상적으로 5 분으로 설정한다. 실제로, 소방차량이 화재 골든 타임 5 분을 넘겨 현장에 도착하면 사망자는 2 배, 사고피해액은 3 배 이상 늘어나는 것으로 분석되었다[1].

하지만 우리나라 119 구급대의 출동시간은 평균 9 분, 이송시간은 평균 17.6 분으로 정의된 골든 타임과 실제 출동시간과 비교하여 상당한 지연시간이 발생된다[2]. 구급차가 골든 타임 내에 현장에 도착하지 못하는 이유는 주로 교통체증에 의한 시간 지연 및 불법주차로 인한 진입의 어려움이 원인이 된다[3].

해당 문제점을 해결하기 위해 정부에서는 긴급 자동차 양보 의무법을 제정하고, 사고 발생률이 가장 높은 장소에 구급차 우선 배치 및 순찰 활동 강화, 긴급차량 우선 신호 제어시스템 등을 통해 골든 타임을 확보하고 있으며 또한 긴급차량 우선 신호 시스템의 연구도 활발하게 진행되고 있다. 하지만 빠른 속도로 교통량이 증가하는 출퇴근 시간에는 해결책이 되지 못하고 있고 현재 운영되는 긴급차량 우선 신호 시스템의 경우 현장제어식과 중앙관제식 기반이며, 이는 손실 시간이 크게 발생하여 능동적인 대처가 어려운 단점이 존재한다[4].

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 신호등에 사운드 센서를 설치하여 현재 도로 상황의 소리 데이터를 수집하고 측정된 데이터를 활용한 딥러닝 기반 긴급차량 우선 신호 시스템을 제안한다. 또한 제안된 시스템을 검증하기 위해 긴급차량의 거리에 따라 다르게 나타나는 진폭 신호를 분류하는 실험을 진행하였다. 측정된 현재 도로 상황 사운드 데이터에 Fast Fourier Transform(FFT) 알고리즘을 적용하여 주파수 그래프로 시각화한 뒤, 해당 데이터를 사전에 학습된 CNN 모델에 적용하여 경고음을 분석하였다. 이를 통해 동일한 주파수 대역에서 거리에 따라 달라지는 진폭의 차이를 인지하여 차량의 이동 방향을 감지하고 긴급차량의 주행 방향에 따라 신호체계를 변경함으로써 교통의 흐름을 조절한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 기존연구와 더불어 백그라운드를 살펴보고, III 절에서는 본 논문에서 제안하는 시스템의 구성을 살펴본다. IV 절에서는 제안하는 시스템의 검증을 위한 실험 및 고찰에 대한 내용을, 마지막으로 V 절에서는 결론과 기대효과를 제시한다.

II. 관련연구

2.1 기존 시스템

2.1.1 긴급차량 우선 신호 시스템

긴급차량 우선 신호 시스템은 골든 타임 확보를 위해 긴급차량이 교차로에 정지하지 않고 우선적으로 녹색 신호를 받아 빠른 시간 내에 현장에 출동할 수 있도록 신호를 제어하는 시스템이다. 긴급차량 우선 신호 시스템은 운영방식에 따라 긴급 차량 차내 통신장치가 도로변기지국장치를 통해 교통신호제어기와 직접 통신하여 긴급차량 우선 신호제어를 수행하는 현장제어식과 긴급차량이 출동지와 목적지를 신호제어센터에 전송하면 신호제어센터에서 긴급차량 이동경로상에 있는 교차로에 우선신호제어를 수행하는 중앙관제식 등으로 구분된다[5].

하지만 이는 그림 1 과 같이 출동지까지의 이동경로에 대한 제어를 스마트폰 앱을 통해 신호제어센터에 직접 요청하는 방식이며, GPS 오차 발생 시 정확한 위치 파악이 불가하고

응급구조자와 지속적인 소통이 필요하여 도로 상황에 따라 능동적인 대처가 어렵다는 단점이 존재한다.

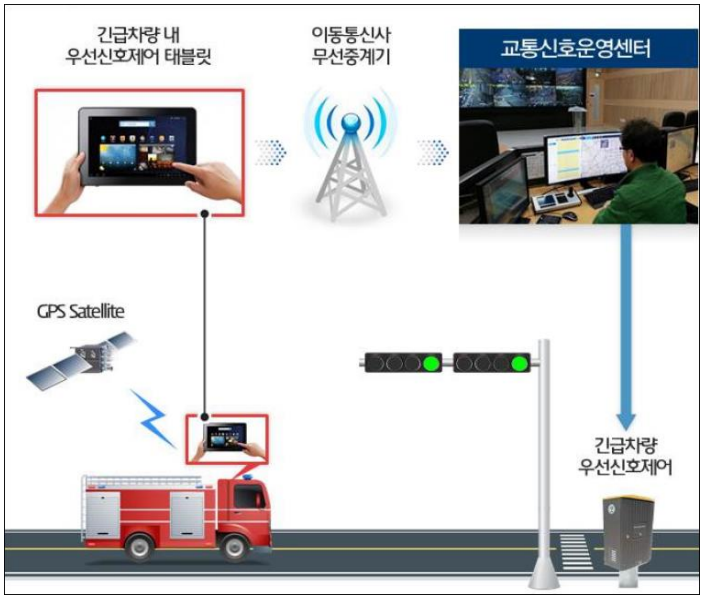

Figure 1. Current emergency vehicle priority signal system[5]
그림 1. 현재 긴급차량 우선신호 시스템[5]

2.2 백그라운드

2.2.1 디지털 신호 변환

오디오 데이터는 여러 주파수가 섞여서 발생한다. 이미지 처리를 목적으로 개발된 합성곱 신경망을 오디오에 적용하기 위해서는 1 차원 데이터인 오디오를 합성곱 신경망 학습에 적합한 입력으로 만드는 전처리 과정이 필요하다. 전처리 과정에서 시간-주파수 도메인의 오디오 특징 데이터를 추출하여 이를 하나의 이미지로 간주하고 합성곱신경망을 훈련하는데, 이러한 방식이 효과적으로 오디오에 적용될 수 있음이 여러 연구를 통해 알려져 있다[6]. 본 연구에서는 디지털 신호로 변환하는 방법 중 주파수 도메인의 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT) 기법을 활용하였다.

고속 푸리에 변환은 이산신호를 푸리에 변환을 통해 시간도메인의 데이터를 주파수 도메인으로 바꾸어주는 알고리즘이다[7]. 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 빠르게 수행하는 기법이며, 푸리에 변환의 근사화를 통해 연산속도를 증가시킨다. 본 연구에서는 사운드 센서로 시간에 대해 측정된 소리를 FFT 변환 후 긴급차량의 주파수 영역대를 추출하고, 거리에 따라 다른 주파수 영역대의 변화를 분석하고자 한다.

2.2.2 합성곱 신경망(Convolution Neural Network, CNN)

현재 합성곱 신경망은 LeCun 에 의해 개발된 것으로 이미지, 사운드, 텍스트, 비디오 등을 분류하는 머신 러닝(Machine learning)의 한 종류이며, 딥 러닝(Deep Learning)에 많이 사용되는 알고리즘이다[8]. 합성곱 신경망 모델은 이미지 객체를 인식하여 패턴을 찾는 과정에 유용하며, CNN 의 구조는 이미지의 특징을 추출하는 부분과 이미지를 분류하는 부분으로 구성된다. 특징 추출 영역은 필터를 사용하여 공유 파라미터 수를 최소화하면서 이미지의 특징을 찾는 컨볼루션 층과 특징을 강화하고 모으는 풀링 층을 여러 겹 쌓는 형태로 구성된다. 이미지 분류 영역은 완전 연결 층으로 네트워크의 마지막 부분에 추가된다. 컨볼루션 층에는 이미지 특징 추출을 위하여 입력을 필터가 순회하며 컨볼루션을 계산하고, 그 계산 결과를 이용하여 특징 맵을 생성한다. 생성된 특징 맵은 분류 층에서 클래스별로 분류되고 층의 끝에서는 활성화 함수를 통해 값을

다음 층으로 변환하여 전달하거나 답을 출력한다. CNN 에 관한 연구는 꾸준히 진행되고 있으며, 구조를 변형한 여러가지 네트워크들이 제시되었다[9]. 본 연구에서는 CNN 의 개념을 최초로 개발한 Yann LeCun 등에 의해 고안된 LeNet-5 를 사용하여 거리에 따라 달라지는 긴급차량 소리의 주파수를 분류하였다.

III. 제안하는 시스템

3.1 시스템 구조

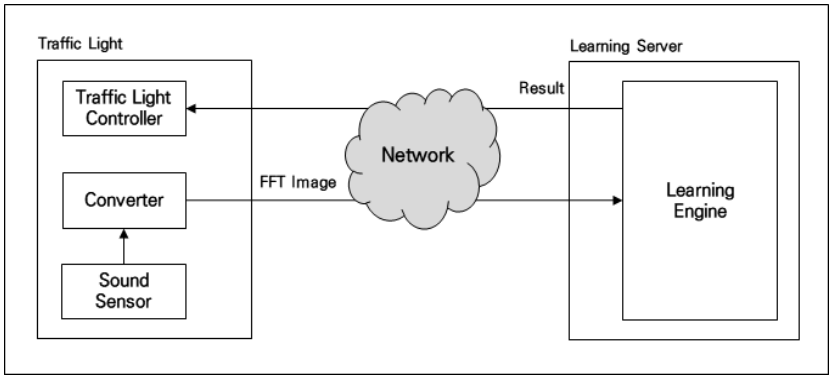

Figure 2. System architecture
그림 2. 시스템 구조

본 논문에서는 그림 2 와 같은 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 신호등(Traffic Light)과 학습 서버(Learning Server)로 구성된다. 신호등에 부착된 사운드 센서는 구급차 소리를 수집하고 수집된 구급차 소리를 변환기(Converter)로 전달한다. 변환기는 전달받은 음향 데이터에 FFT 알고리즘을 적용한 뒤, 해당 결과를 그래프 이미지로 출력한다. 출력된 FFT 이미지는 네트워크를 통해 학습 서버에 전달되고 학습 서버는 미리 훈련된 이미지와 변한기를 통해 전달받은 이미지를 LeNet-5 기반의 CNN 모델을 통해 비교하여 탐지한다. 이후, 탐지된 결과 파라미터를 네트워크를 통해 신호 제어기로 전달하고 구급차의 주행 방향에 따라 신호 체계를 변경하여 교통 흐름을 조절한다.

3.2 시스템 동작 절차

그림 3 은 본 논문에서 제안하는 시스템의 동작 절차를 나타낸 시퀀스 다이어그램이다. 먼저, 신호등에 부착된 Sound Sensor 는 주기적으로 도로 교통 상황 소리 데이터를 센싱하여(sensing()) 센싱된 값을 Converter 로 전달한다(putData()). Converter 는 전달받은 도로 교통 상황 소리 데이터에서 긴급 차량 소리만을 추출하고, 주파수 영역대를 분석하기 위해 해당 데이터에 FFT 알고리즘을 적용한다(processingFFT()). FFT 알고리즘 적용한 그래프 이미지 데이터는 Learning Server 로 전달되고 Learning Server 는 전달받은 이미지와 사전 학습된 이미지를 LeNet-5 기반의 CNN 모델을 통해 비교하고 탐지한다(learning()). 학습 결과 데이터는 Traffic Light Controller 로 전달되고(putResult()), 학습 결과를 전달받은 Traffic Light Controller 는 거리에 따라 다른 긴급차량 소리의 주파수 대역을 통해 긴급차량의 이동방향을 인지하고 도로 신호체계를 변경한다(changeLight()).

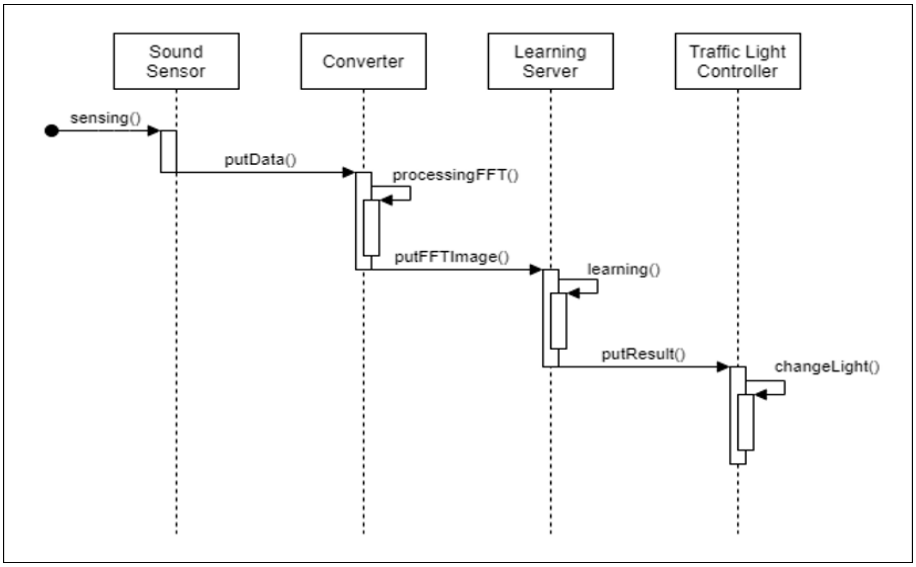

Figure 3. System sequence diagram
그림 3. 시스템 시퀀스 다이어그램

IV. 실험 및 고찰

4.1 실험 구조

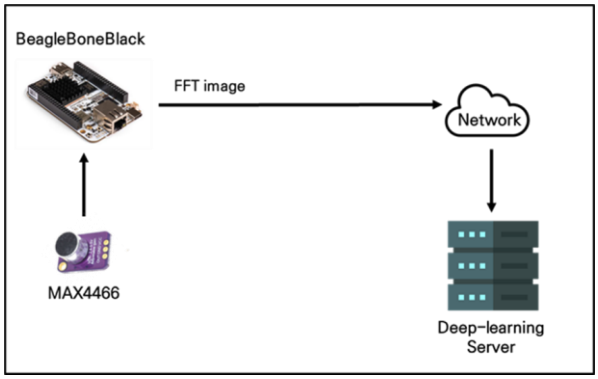

Figure 4. Experimental architecture
그림 4. 실험 구조

먼저 거리에 따라 다르게 나타나는 주파수 신호를 검증하기 위해 실험 구조를 다음과 같이 설계하고 실험을 진행하였다. 사운드 센서 MAX4466 를 BeagleBone Black SoC 에 연결하여 1m, 7m 거리에서의 구급차 소리를 측정하였다. 구급차 소리는 iPad Air4 기기 내 Horn & Siren Sound APP 을 활용하여 측정하였다. 측정된 시계열 신호 데이터에 FFT 알고리즘을 적용하여 주파수 영역으로 변환하였으며, 모든 그래프는 동일한 스케일을 적용하여 설정한 주파수(Hz)대역(0~7,500Hz)에 따른 진폭(amplitude)의 변화를 나타내고, 거리에 따른 주파수 신호 데이터는 그림 5 와 같다.

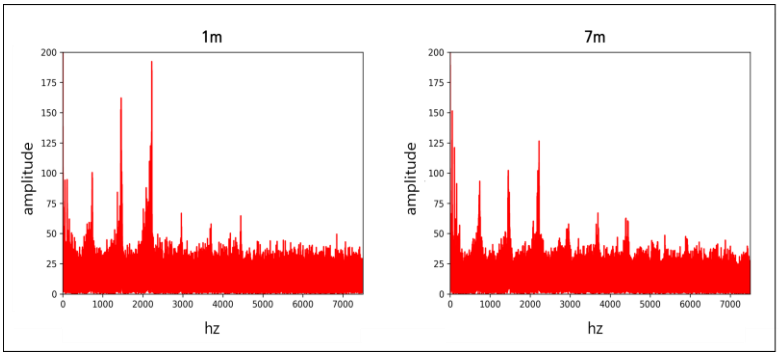

Figure 5. Different frequency signals depending on distance
그림 5. 거리에 따라 다른 주파수 신호

다양한 거리에서 긴급차량의 소리를 측정하여도 고정된 주파수대역에서 진폭만이 변화됨을 그림 5 를 통해 관찰할 수 있다. 각 m 당 이미지 데이터의 개수는 900 장으로 총 1,800 장이며, 이를 네트워크를 통해 Learning Server 로 전송하고 주행 방향을 탐지하기 위한 CNN 모델 기반 이진 분류 학습을 진행하였다.

4.2 실험 결과

출력은 1m, 7m 두 클래스로 분류하였으며, 총 1,800 개의 이미지 데이터를 학습용으로 80%, 테스트용으로 20% 비율로 랜덤하게 구분하여 배치(batch) 128, epoch 100 으로 CNN 모델에 입력하여 학습을 시행하였다. 학습 결과는 Figure 6 와 같다.

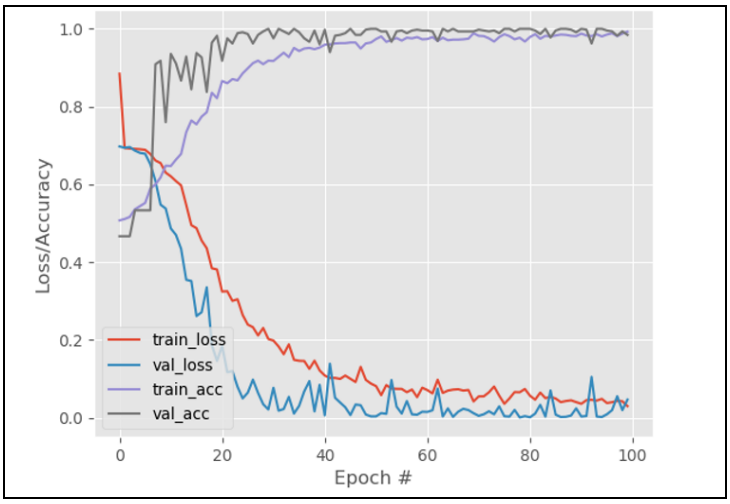

Figure 6. Training/Validation Accuracy graph
그림 6. Training/Validation 정확도 그래프

학습 모델이 얼마나 정확하게 예측했는지를 평가하는 기준으로서 일반적으로 정확한 예측 수를 총 예측 수로 나눈 정확도(Accuarcy)가 사용된다[9]. Figure 6 에서의 학습 정확도는 학습용 데이터를 이용하여 학습 후에 각 범주별 음원의 예측 정확도를 나타내고, 테스트 정확도는 학습된 모델에 테스트 데이터를 적용했을 때의 예측 정확도를 의미한다. Figure 6 에 나타난 바와 같이 전체적으로 학습 결과와 이 학습 모델을 사용한 테스트 결과값의 정확도가 95%를 넘고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 사운드 센서와 딥러닝 모델을 이용하여 교통체증이 발생한 도로에서 긴급차량의 유무와 이동방향을 감지하고 신호체계를 변경하는 시스템을 제안하였으며, 긴급차량의 이동방향을 감지하기 위해 긴급차량 거리 분류 실험을 진행하였다. 사운드 센서를 통해 긴급차량의 소리를 수집하고, 해당 데이터에 FFT 알고리즘을 적용한 뒤 출력되는 주파수 그래프 이미지를 입력 데이터 셋으로 구축하였으며, 해당 이미지 데이터를 심층 신경망 기법인 CNN 모델에 적용하여 이진 분류 학습을 진행하였다. 학습 결과, 95% 이상의 정확도를 가지는 분류 결과를 보여주었다. 따라서 본 연구에서는 긴급차량의 거리에 따라 달라지는 고정된 주파수에서의 진폭에 대한 차이를 분류하였으며, 향후 본 연구 방법과 결과를 반영하여 실제 교통 상황 음원 데이터를 획득하고 활용하여 보다 발전된 연구를 진행할 계획이다. 이와 같은 음원 데이터를 이용하여 본 연구에서 제시된 CNN 모델로 학습을 진행한다면, 훨씬 높은 정확도를 가지는 시스템을 쉽게 구현할 수 있고 실제 상용화도 충분히 가능할 것으로 기대된다.

VI. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 혁신조달 연계형 신기술 사업화 사업으로 수행된 연구결과입니다(No. P0014176). 또한, 본 연구는 한국연구재단 4 단계 두뇌한국 21 사업(4 단계 BK21 사업)의 지원을 받아 작성되었습니다(No. 5199990914048).

VII. 참 고 문 헌

[1] Eunjeong Ko, Junhan Cho, LEE. Jooyoung. " Study on Improving Operational Criteria of Preemption/Priority Signal Control for Emergency Vehicles." Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 39, No. 3, pp. 299-311, 2021

[2] Kyung-Hee Kang, Jin-Ok Han. "Analysis of response time for patient non-transport by 119 ambulance services." The Korean Journal of Emergency Medical Services, Vol. 22, No. 3, pp. 177-187, 2018

[3] Juyoung Hwang, Nayoung Kim, Jinil Ha. "A Case Study of the Optimization of Ambulance Deployment and Relocation to Improve the Arrival Rate of Ambulances within Emergency Patients' Golden Time." Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society, Vol. 37, No. 3, pp. 63-76, 2020

[4] DongHyeop Kim, JinTae Kim. "A Study of Current Status and Development Direction of Emergency Vehicle Preemption." Proc. of the KOR-KST Conference, Vol. 81, pp. 345-346, 2019

[5] Seungchun Han, Yonghyun Lee, Wongil Kim, Jeungshik Kangh, Gwanho Park, Taewoo Hwang. " A study on the effect evaluation of the centrally controlled emergency vehicle priority signal control system to secure the golden time," Proc. of the KOR-KST Conference, pp. 341-346, 2018.

[6] Son Ho Jun(2021). "Inspection system for arc welding defects by using audio data based on deep learning." Unpublished master's thesis, Pusan National University, Pusan.

[7] Sang Hoon Kang(2019). "A study on Deep-Learning based Hazardous Sound Detection System using Modified MFCC Robust to Noise and Background Sounds", Unpublished master's thesis, Hongik University, Seoul.

[8] SungHyun Park, Byeongyeon Lim, Hoekyung Jung, "CNN-Based Toxic Plant Identification System.", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 24, No. 8, pp. 993-998, 2020

[9] Lee Jae-hyung, Sung-Tae Jeon, Eun-Young Choi, Min-YoungChoi, Seo-hyunJo, Se-woon Choe, "A Study on Cell Image Classification Algorithm with CNN", The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 228-230, 2020

저자 소개

이소연*(SoYeon Lee)*

2021 년 2 월 대구가톨릭대학교 모바일소프트웨어전공 학사
2021 년 3 월~현재 순천향대학교 일반대학원 소프트웨어융합학과 석사

관심분야 : 딥러닝, 네트워크 시스템

장재원*(Jae Won Jang)*

2017 년~현재 대구가톨릭대학교 모바일소프트웨어전공 학사과정

관심분야 : 모바일 어플리케이션, 딥러

김대영*(Dae-Young Kim)*

2015 년~2017 년 8 월 창신대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 조교수
2017 년 9 월~2021 년 2 월 대구가톨릭대학교 컴퓨터소프트웨어학부 조교수
2021 년 3 월~현재 순천향대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수

관심분야 : 모바일 네트워킹 및 컴퓨팅, 머신러닝, 네트워크 시스템