

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제29권 제6호, 2024년 11월 (JBE Vol.29, No.6, November 2024)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2024.29.6.1026>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

차량 발생음을 이용한 지능형 가로등 조도제어장치 설계

백정훈^{a)†}, 김남호^{b)}, 김상균^{c)}

Design of Intelligent Streetlight Illuminance Control Device using Vehicle Noise

Junghoon Paik^{a)†}, Namho Kim^{b)}, and Sanggyun Gim^{c)}

요약

본 논문에서는 차도에서 발생하는 차량 발생음을 이용하여 차량 흐름 정도에 따라 가로등의 조도를 자동 조절하는 지능형 가로등 조도제어장치의 회로를 설계하고 동작방안을 제시한다. 제안된 가로등 조도제어장치는 차량의 발생음을 수신하여, 차량 간격을 계산하고, 이를 인접 가로등에 송신한다. 인접 가로등으로부터 수신된 차량 간격 정보와 현재 가로등에서 계산된 차량 간격 정보는 비교되어 두 가로등 사이를 지나가는 차량 간격 시간이 도출되고 도출된 차량 간격 시간에 반비례하도록 가로등의 조도가 제어된다. 제안된 방식은 차량 흐름 정도에 따라 가로등 조도를 지능적으로 제어함으로써, 불필요한 전력 소비를 줄일 수 있으며, 구성 회로 및 디지털 신호 처리의 단순화가 가능함으로서 상용성 제고를 기대할 수 있다.

Abstract

In this paper, we design the hardware of an intelligent streetlight illuminance control device that automatically adjusts the illuminance of streetlights according to the level of vehicle flow using vehicle noise generated on the roadway and derive an operation plan. The proposed streetlight illuminance control device receives the sound generated by the vehicle, calculates the vehicle spacing, and transmits it to the adjacent streetlight. It compares the vehicle spacing information received from the adjacent streetlight with the vehicle spacing information calculated from the current streetlight to compare the vehicle spacing information between the two streetlights. The interval time between vehicles passing between the vehicles is derived, and the illuminance of the street lights is controlled to be inversely proportional to the derived vehicle interval time. The proposed method can reduce unnecessary power consumption by intelligently controlling the streetlight illuminance according to the degree of vehicle flow, and is expected to improve market competitiveness by enabling simplification of digital signal processing and configuration circuits.

Keyword : Vehicle, Noise, Intelligent, Streetlight, Illuminance

a) 동아방송예술대학교 방송기술과(Department of Broadcasting Technology, Dong-Ah Institute of Media and Arts)

b) 위위즈노바(Wiznova)

c) 에이컴에너지(주)(ACOM ENERGY)

† Corresponding Author : 백정훈(Junghoon Paik)

E-mail: jhpaik@dima.ac.kr

Tel: +82-31-670-6734

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2022-1487>

· Manuscript September 11, 2024; Revised October 12, 2024; Accepted October 14, 2024.

Copyright © 2024 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

1. 서론

도로에 설치되어 가로등의 조도를 제어하는 가로등 제어기는 다수의 가로등을 블록 단위로 구성하여 정해진 시간에 따라 각 블록의 가로등을 제어한다. 최근에는 전력 소비가 적고 수명이 긴 LED(Light Emitting Diode) 가로등이 널리 보급되고 있으며, 도로상의 차량 정보를 활용하여 가로등의 조도를 제어하는 방안이 제시되고 있다^{[1][2]}. 즉, 자동차의 진행 방향 속도를 측정하고, 인접 가로등으로부터 전송된 이동체의 이전 속도 또는 진행 방향 속도에 기초하여 가로등으로부터 이동체까지의 이격거리를 추정하고, 추정된 이격거리에 따라 가로등의 조도를 단계적으로 제어하는 방식이다. 자동차 속도를 활용하는 방식은 자동차 속도를 측정하는 기능을 구현하는 데에 회로의 복잡성이 제고되고 고비용이 발생하는 문제점을 갖는다.

자동차 속도 기반의 방식 이외에 라디오 또는 초음파를 발생하고, 반사되어 수신되는 신호의 주파수 변이로부터 움직이는 물체의 속도를 측정하는 레이더 측정 방식^[3], 카메라를 이용하여 연속 촬영된 사진에서 움직이는 물체를 식별하고, 그 물체가 움직인 거리와 사진 촬영 시간 간격으로부터 속도를 계산하는 방식^[4], 자동차로부터 발생하는 소리를 수신하여 자동차의 움직임으로 인한 소리 주파수의 변화로부터 속도를 계산하는 방식^{[5][6]}, 간격을 알고 있는 다수개의 마이크를 이용하여 지나가는 자동차의 소리를 수신하고 소리의 크기가 두 임계값을 지나는 시간 간격으로부터 속도를 계산하는 방식^[7] 등이 있다. 이러한 방식 중 레이더나 카메라를 사용하여 속도를 측정하는 방식은 제작 비

용이 상승하는 단점이 있으며, 자동차의 소리 정보를 수신하여 사용하는 방식은 레이더나 카메라를 사용하는 방식에 비해 제작 비용은 낮출 수는 있지만 신호처리 과정이 복잡해지는 문제점이 있다.

본 논문에서는 차량 속도를 기반으로 하는 방식이 갖는 제작 비용 상승 문제와 레이더나 카메라 기반의 방식이 갖는 신호처리의 복잡성 문제를 개선하여 시장 경쟁력을 제고시킬 수 있는 방식을 제안하고 이를 구현하기 위한 회로를 설계한다. 제안하는 방식은 차량에서 발생하는 차량음을 활용하는 것을 특징으로 한다. 차량음을 감지하고 측정하여 차량 흐름을 유추하고 차량 흐름 정도에 따라 가로등의 조도를 지능적으로 제어한다. 제안된 방식을 구현하기 위한 회로 및 신호처리 방안이 제시되며 이 방안은 단순화를 특징으로 한다. 이를 통해 제안된 방식은 기존의 방식에 비해 전력 소비가 절감되고 신호처리의 단순화가 이루어져 시장 경쟁력이 제고될 수 있다.

본 논문의 구성은 I장에서 서론을 기술하고, II장에서 조도제어장치의 구조 및 동작을 기술한 후 III장에서 결론을 도출한다.

II. 가로등 조도제어장치 구조 및 동작

1. 구조

그림 1은 가로등 조도제어장치의 구조를 나타낸다. 조도제어장치는 차량 발생음을 검출하는 차량 발생음 검출부

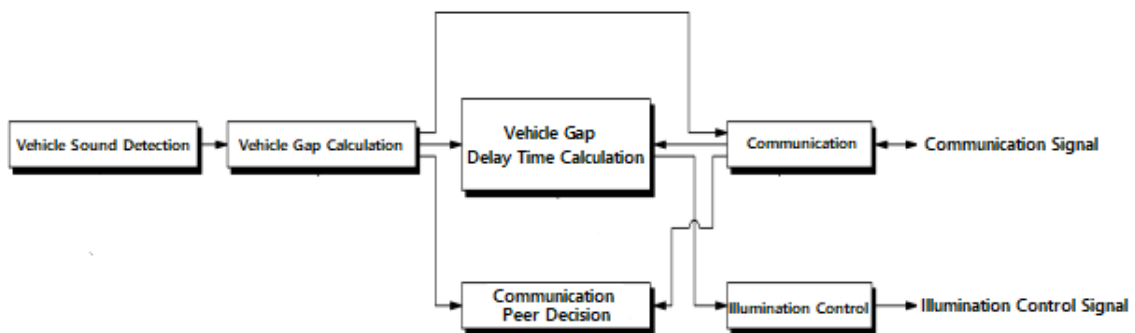


그림 1. 조도제어장치 구조
 Fig. 1. Illuminance Control Device Structure

(Vehicle Sound Detection Part), 검출되는 차량 발생음으로부터 차량 간격을 계산하는 차량 간격 계산부(Vehicle Gap Calculation Part), 계산된 차량 간격 정보를 인접 가로등으로 송신하고 인접 가로등에서 계산된 이전 차량 간격 정보를 수신하는 통신부(Communication Part), 상기 계산된 차량 간격 정보와 이전 차량 간격 정보로부터 두 가로등 사이를 지나는 차량 간격의 지연시간을 계산하는 차량 간격 지연시간 계산부(Vehicle Gap Delay Time Calculation Part), 계산된 차량 간격 지연시간에 따라 가로등의 조도를 제어하는 조도 제어부(Illumination Control Part), 인접 가로등으로부터의 수신신호 크기를 측정하여 차량 간격 정보를 송수신하기 위한 통신 상대를 결정하는 통신 상대 결정부(Communication Peer Decision Part)로 구성된다.

가로등 간 차량 간격의 지연시간을 계산하는 차량 간격 계산부는 차량 간격 계산부의 출력과 통신부를 통해 수신된 인접 가로등에서 측정된 차량 간격 정보가 일치하는 시점을 찾아 지연시간을 계산한다. 이는 차량 흐름이 두 개의 인접한 가로등 사이에서 큰 차이가 없는 것을 가정한 것이다. 차량 흐름이 차량 간격 정보가 송신된 인접 가로등으로부터 현재 가로등으로 이동하는 경우 지연시간 D 는 식 (1) 및 (2)로 표현된다.

$$K = \arg \min_k \sum_{m=1}^M |t_1[m] - t_2[k - m + 1]| \quad (1)$$

$$D = c[K] - c[0] \quad (2)$$

식 (1) 및 (2)에서 M 은 인접 가로등으로부터 수신된 차량 간격의 개수, $t_1[k]$ 는 인접 가로등으로부터 수신된 차량 간격, $t_2[k]$ 는 현재 가로등에서 측정된 차량 간격, k 는 현재 가로등에서 계산된 가장 최근의 차량 간격의 인덱스이고, K 는 차량 간격 계산부의 출력과 통신부에서 수신된 인접 가로등에서 측정된 이전 차량 간격 정보가 일치하는 시점에서의 $t_2[k]$ 의 인덱스이고, $c[k]$ 는 $t_2[k]$ 가 계산되어 출력되

는 시점의 클록 계수기의 값이며, $c[0]$ 는 인접 가로등으로부터 차량 간격 정보가 수신된 시점의 클록 계수기의 값이다. 인접 가로등에서 송신되는 마지막 차량 간격 정보가 계산되는 시점부터 통신부의 송신 지연시간, 통신 신호 전달 지연시간, 통신부의 수신기 지연시간 등은 정확한 차량 간격(차량 흐름) 지연시간을 계산하기 위하여 지연시간 D 에 더해져야 하지만 이러한 통신부 관련 지연시간이 D 에 비하여 매우 작은 경우에는 이를 무시할 수 있다. 통신부에서 전송되는 차량 간격 정보는 상기 식 (1)에서 가정한 것과 같이 차량 흐름과 같은 방향으로 전송되어야 차량 간격 정보의 저장에 위한 메모리를 줄일 수 있다. 즉 차량이 이미 지나온 가로등으로부터 전송된 차량 간격 정보를 현재 가로등에서 측정된 차량 간격 정보와 비교하는 것이 구현 복잡도를 낮출 수 있다. 이를 위해 통신 상대 결정부는 통신부의 송수신 상대를 초기에 결정한다. 통신 상대 결정 과정에서는 수신신호의 크기를 측정하여 수신신호의 크기가 가장 큰, 즉 가장 가까이 위치한 가로등 두 개를 선정한다. 이렇게 선정된 두 개의 가로등으로부터 전송된 차량 간격 정보를 식 (1)을 이용하여 현재 가로등에서 계산된 차량 간격 정보와 비교하여 유사한 차량 간격 정보를 전달한 가로등으로부터 차량 간격 정보를 수신하는 것으로 결정한다. 또 하나의 다른 가로등은 현재 가로등의 정보를 수신할 가로등으로 결정한다.

그림 2는 그림 1의 차량 발생음 검출부의 구조이다. 차량 발생음 검출부는 마이크를 통해 입력되는 주변 발생음을 증폭하기 위한 증폭기(Amplifier), 증폭된 주변 발생음에서 차량 발생음만을 검출하기 위한 필터(Analog Filter), 필터링 된 차량 발생음을 디지털 신호로 변환하기 위한 AD 변환기(AD Converter)로 구성된다. AD 변환기를 통해 디지털 신호로 변환된 차량 발생음은 그림 1에 도시된 차량 간격 계산부로 전달된다.

차량 발생음 검출부의 또 다른 구조는 그림 3과 같이 마이크를 통해 입력되는 주변 발생음을 단순히 증폭하기 위

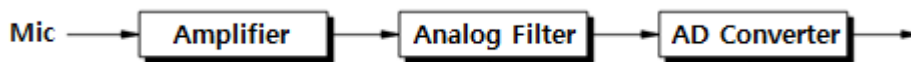


그림 2. 차량 발생음 검출부 구조 I
Fig. 2. Structure I for Vehicle Sound Detector

한 증폭기(Amplifier)로 구성되며 상이한 차량 발생음 검출부 구조에 따라 차량 간격 계산부의 구조도 달라진다.

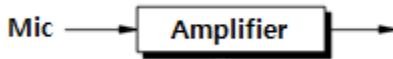


그림 3. 차량 발생음 검출부 구조 II
 Fig. 3. Structure II for Vehicle Sound Detector

그림 4와 5는 차량 발생음 검출부의 구조가 그림 2와 3인 경우의 차량 간격 계산부 세부구조 및 생성신호를 나타낸다.

그림 4의 디지털 신호 크기 계산부(Digital Signal Magnitude Calculation)는 차량 발생음 검출부의 AD 컨버터에서 출력되는 디지털 신호로 변환된 차량 발생음의 크기를 계산한다. 차량 발생음의 크기 $m[k]$ 는 식 (3)과 같이 이동 평균(moving average)으로 계산한다.

$$m[k] = \sum_{n=-N}^N |r[k+n]|^2 \quad (3)$$

식 (3)에서 $2N+1$ 은 평균할 표본의 수이고 $r[k]$ 는 차량 발생음을 나타낸다. 차량 발생음의 크기는 IIR(Infinite

Impulse Response) 필터를 이용한 평균 계산으로 구할 수 있으며 이 경우 식 (4)와 같이 표현된다.

$$m[k] = \alpha m[k-1] + (1-\alpha) |r[k]|^2, 0 < \alpha < 1 \quad (4)$$

식 (3)과 (4)에서 $r[k]$ 의 절댓값 자승 대신에 절댓값을 평균에 사용할 수도 있다. 차량 간격 계산부는 $m[k]$ 에서 각 침두치의 위치를 검출하기 위한 침두치 검출부(Peak Detection)를 포함하며, 검출된 침두치의 간격을 계산하여 차량 간격 정보로 출력하기 위한 침두치 간격 계산부(Peak Gap Calculation)도 포함한다. 그림 4에서 t_1, t_2 는 계산된 침두치의 시간 간격, 즉 침두치 간격을 나타내며, 이러한 침두치 간격은 해당 가로등을 지나는 차량의 간격을 나타낸다. 차량 간격 정보는 그림 1에서 언급한 바와 같이 차량 간격 지연시간 계산부에 입력되어 차량 간격의 지연시간을 계산하는 데 이용된다.

차량 발생음 검출부의 구조가 그림 3인 경우의 차량 간격 계산부의 구조인 그림 5에서 아날로그 신호 크기 계산부(Analog Signal Magnitude Calculation)는 증폭기에서 증폭된 주변 소음의 크기를 계산한다. 이러한 아날로그 신호 크기 계산부는 입력된 주변 소음 크기의 평균값을 아날로그

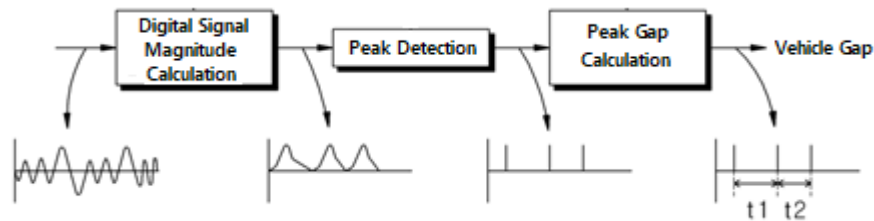


그림 4. 차량 간격 계산부 구조 I
 Fig. 4. Structure I for Vehicle Space Calculator

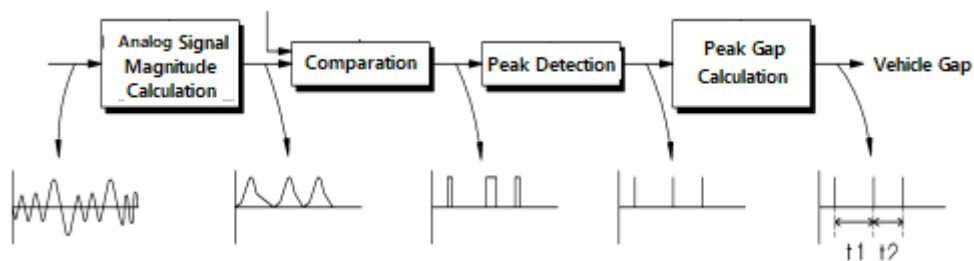


그림 5. 차량 간격 계산부 구조 II
 Fig. 5. Structure II for Vehicle Space Calculator

회로로 구현한 것으로, 전파 정류기와 저역통과필터로 구현될 수 있다. 차량 간격 계산부를 구성하는 아날로그 신호 크기 계산부의 후단에는 비교기(Comparison)가 위치한다. 비교기는 아날로그 신호 크기 계산부에서 계산된 주변 차량 음의 크기를 임계값과 비교하여 차량 발생음 펄스(1과 0의 레벨 값을 갖는 펄스 신호)를 생성한다. 비교기 후단에 위치하는 첨두치 검출부(Peak Detection) 역시 차량 간격 계산부의 구성요소로서, 구형파인 상기 차량 발생음 펄스의 중간위치를 첨두치의 위치로 검출하여 출력하며, 첨두치 간격 계산부(Peak Gap Calculation)는 첨두치 검출부에서 검출된 첨두치의 간격을 계산하여 차량 간격 정보로서 차량 간격 지연시간 계산부로 출력한다.

2. 동작

그림 6은 가로등 조도제어장치의 조도 제어 동작을 나타낸다.

조도 제어 동작은 통신 상대를 결정하는 것으로 시작한다. 이를 위하여 인접 가로등으로부터의 수신신호 크기를 측정하고, 측정된 수신신호 크기에 따라 차량 간격 정보를 송수신하기 위한 통신 상대를 결정한다. 통신 상대 결정 과정은 앞서 설명한 바와 같이 수신신호의 크기를 측정하여 수신신호의 크기가 가장 큰, 즉 가장 가까이 위치한 가로등 두 개를 선정한다. 통신 상대를 결정하는 또 다른 방법으로는 기기를 설치할 때 차량 흐름에 맞는 인접 가로등의 식별 정보를 관리자가 직접 입력하고, 통신 상대로 지정된 식별 정보를 가지는 차량 간격 정보만을 추출하여 차량 간격 지연시간의 계산이 이루어지도록 장치를 하드웨어적 및 소프트웨어적으로 구성할 수도 있다. 통신 상대가 결정되면, 조도제어장치는 주변 발생음으로부터 차량 발생음만을 검출하고, 검출된 차량 발생음으로부터 차량 간격을 계산한다. 차량 발생음 검출과 차량 간격 계산은 식 (3) 혹은 (4)를 이용한다. 차량 간격의 계산이 이루어지면 이후 차량의 흐름 방향을 기준으로 다음에 위치하는 인접 가로등에 설치된 조도제어장치 측으로 차량 간격 정보를 송신하고, 이전에 위치하는 인접 가로등에 설치된 조도제어장치로부터 이전 차량 간격 정보를 수신한다. 이어서 차량 발생음으로

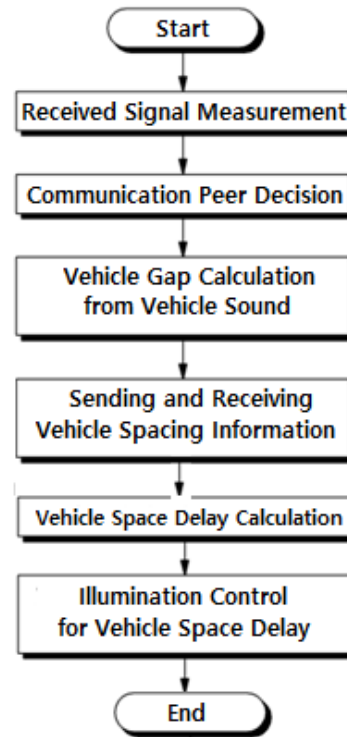


그림 6. 조도 제어 동작 흐름도
Fig. 6. Flow Diagram for Illuminance Control Operation

부터 차량 간격을 계산하는 과정을 통해 얻은 차량 간격 정보와 수신된 이전 차량 간격 정보로부터 두 가로등 사이를 지나는 차량 간격의 지연시간을 식 (1)에 따라 계산하고, 계산된 차량 흐름 지연시간을 조도 제어부로 전달한다. 차량 간격 정보는 디지털 신호로 변환된 차량 발생음 크기의 평균값을 계산하고, 계산된 평균값들에서 첨두치의 위치를 검출하며, 검출된 첨두치의 간격을 계산하여 설정할 수 있다. 또 다른 방법은 마이크를 통해 입력되는 주변 발생음을 증폭하여 증폭된 주변 발생음의 크기를 계산하고, 계산된 주변 발생음의 크기를 임계값과 비교하여 차량 발생음 펄스를 생성하고 차량 발생음 펄스의 중간위치를 첨두치의 위치로 검출한 후 검출된 첨두치의 간격을 계산하여 설정할 수도 있다. 최종적으로 조도 제어부는 계산된 차량 흐름 지연시간에 따라 가로등의 조도를 제어한다. 즉, 차량 흐름 지연시간이 짧을수록 차량 흐름이 증가하는 것을 의미하므로 가로등의 조도를 높이고, 반대의 상황에서는 가로등의

조도를 낮춤으로써 차량 흐름 정도에 따라 지능적인 가로등 조도 제어가 실행된다.

III. 결 론

본 논문에서는 차도에서 발생하는 차량 발생음을 이용하여 차량 흐름 정도에 따라 가로등의 조도를 자동 조절하는 지능형 가로등 조도제어장치의 하드웨어를 설계하고 동작 방식을 제시한다. 제안된 가로등 조도제어장치는 차량의 발생음을 수신하여, 차량 간격을 계산하고, 이를 인접 가로등에 송신하며, 인접 가로등으로부터 수신된 차량 간격 정보와 현재 가로등에서 계산된 차량 간격 정보를 비교하여 두 가로등 사이를 지나는 차량 간격 시간을 도출하고 도출한 차량 간격 시간에 반비례하도록 가로등의 조도를 제어한다.

제안된 조도 제어 방식을 단순하고 전력소비가 낮은 형태로 구현하기 위한 회로 설계와 신호처리 연산 방식을 도출함으로써 제안된 방식은 기존 방식에 비해 시장 경쟁력 제고를 기대할 수 있다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] Pandey M. And Pandey S., "Intelligent Street Lighting System using Automatic Solar led Lamps," *International Journal of Science and Technology*, Vol. 2, Issue 4, pp 269-272, Oct. 2015
- [2] Electronics and Telecommunications Research Institute, *Device and method for illumination control based on the speed of moving vehicle*, 1020120050697, Korea, 2012.
- [3] Kusum Tara, Md Hasibul Islam, Mst. Mousumi Khatun, "Ultrasonic Sensor based Efficient and Energy Saving Street Lighting System", *2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, Nov. 2020. doi:10.1109/TENSYP50017.2020.9230919
- [4] Rezwan us Saleheen, Abu Salman Shaikat, Saiful Islam, Md. Rezwanur Rahman, "Motion based Automatic Streetlight System with Vehicle Speed Surveillance," *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, Vol. 6, Issue 3, pp.1-5, 2021. doi: 10.33564/IJEAST.2021.v06i03.001
- [5] S. Barnwal, R. Barnwal, R. Hegde, R. Singh, and B. Raj, "Doppler-based speed estimation of vehicles using passive sensor," *2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops*, pp.1 - 4, 2013. doi: 10.1109/ICMEW.2013.6618278
- [6] S. Djukanovic, J. Matas, T. Virtanen, "Acoustic vehicle speed estimation from single sensor measurements," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 21, No. 20, pp. 23317 - 23324, 2021. doi: 10.1109/JSEN.2021.3110009
- [7] Barbara Barbagli, Gianfranco Manes, Rodolfo Facchini, "Acoustic Sensor Network for Vehicle Traffic Monitoring," *The First International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications*, pp.1-6, 2012.

저 자 소 개



백 정 훈

- 2002년 9월 ~ 현재 : 동아방송예술대학교 방송기술과 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-2022-1487>
- 주관심분야 : 방송네트워크 기능 고도화 및 성능분석

저 자 소 개



김 남 호

- 2010년 7월 ~ 현재 : ㈜위즈노바 책임연구원
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-0727-5969>
- 주관심분야 : 하드웨어 설계, RF 빔포밍



김 상 군

- 1998년 4월 ~ 현재 : 에이컴에너지(주) 본부장
- ORCID : <https://orcid.org/0009-0008-3363-3695>
- 주관심분야 : 조도 제어 시스템