

무선 센서네트워크 기반 차량검지 시스템을 위한 저전력 TDMA MAC 프로토콜

권영진* · 최진규** · 김태홍***

Low-power TDMA MAC protocol for WSN based Vehicle Detection System

Young-Jin Kwon* · Jin-Kyu Choi** · Tae-Hong Kim***

요약

지자기 센서 기반의 차량검지 시스템에서 지자기 센서 노드는 복잡한 케이블 연결 없이 쉽게 도로에 매설할 수 있도록 무선 통신을 이용하는 방식으로 설계되며, 시스템의 유지보수 비용을 줄이기 위해서는 도로에 매설된 지자기 센서 노드의 배터리 수명을 늘리는 것이 중요하다. 본 논문에서는 차량검지 시스템에서의 차량검지 정보의 실시간성을 보장하면서 지자기 센서 노드의 에너지 소모를 줄일 수 있는 저전력 TDMA 프로토콜을 제안한다. 성능분석에서는 실제 지자기 센서 기반 차량검지 시스템에서의 지자기 센서 노드의 전력 소모를 측정하였으며, 시스템의 시간동기를 유지하면서도 배터리 효율을 62% 향상함으로써 약 5년간 배터리 교체 없이 사용할 수 있음을 검증하였다.

ABSTRACT

The geomagnetic sensor nodes are usually designed with wireless communication and battery for easy installation on the road without cable connection and wiring. To minimize operation cost of a system, it is important to prolong the battery lifetime of the geomagnetic sensors installed on the road. In this paper, we propose a low-power TDMA MAC protocol that reduces energy consumption while guaranteeing the real-time vehicle detection information in the vehicle detection system. The performance evaluations are conducted through a real testbed of a vehicle detection system, and it proves that the proposed low-power protocols provides 5 year lifetime by improving energy efficiency up to about 62%.

키워드

Wireless Sensor Network, Low-Power MAC Protocol, Vehicle Detection, Intelligent Transport System
무선 센서 네트워크, 저전력 MAC 프로토콜, 차량 검지, 지능형 교통시스템

* 충북대학교 정보통신공학부, 한국전자통신연구원
(youngjin.kwon@etri.re.kr)

** 한국전자통신연구원 (jkchoi@etri.re.kr)

*** 교신저자 : 충북대학교 정보통신공학부

• 접수일 : 2018. 08. 31
• 수정완료일 : 2018. 09. 22
• 게재확정일 : 2018. 10. 15

• Received : Aug. 31, 2018, Revised : Sep. 22, 2018, Accepted : Oct. 15, 2018

• Corresponding Author : Tae-Hong Kim

School of Information and Communication Engineering,
Chungbuk National University,
Email : taehongkim@cbnu.ac.kr

I. 서론

차량의 급속한 증가로 도로를 이용하는 차량들이 늘어나게 되면서 교통상황을 모니터링 하는 시스템은 다양한 기술을 적용하여 발전하고 있다. 차량검지 시스템(VDS : Vehicle Detection System)은 루프 검지기(Inductive Loop Detector), 레이더 검지기(Radar Detector) 그리고 영상 검지기(Vision Detector)등으로 개발 및 사용되고 있으며, 지능형 교통시스템(ITS : Intelligent Transport Systems)에 교통량(Traffic Volume), 속도(Speed), 점유율(Occupancy) 정보를 제공하여 교통체계의 효율을 높이는데 이용되고 있다[1-8]. 그러나 유선 기반 VDS의 내구성 문제와 영상 기반 VDS의 날씨 환경에 따른 검지 성능 저하 문제가 지적되고 있으며, 이러한 문제를 극복할 수 있는 새로운 방식의 VDS에 대한 요구가 늘어나고 있다[3-4]. 이에 따라 시스템의 설치 및 유지보수가 용이하면서도 지속적인 검지 성능을 제공할 수 있는 배터리 기반의 무선 센서네트워크(WSN : Wireless Sensor Networks)를 이용한 VDS 기술에 대한 연구 및 적용사례가 늘어나는 추세이다[5-8].

배터리 기반의 무선 VDS는 반도체 기술의 발전에 힘입어 작고 강력한 저전력 마이크로 컨트롤러(MCU : Micro Controller Unit)와 MEMS(Micro Electro Mechanical System)기반의 센서 기술 그리고 무선 통신 기술이 융합된 WSN을 이용한 수많은 IoT(Internet Of Things)응용서비스 중 하나이다.

대부분의 WSN은 무선 통신의 장점을 활용하기 위해 배터리를 전원으로 사용하고 있으며, 수년간 동작하기 위해 저전력 기술을 필수로 적용하고 있다. 더욱이 WSN기반 VDS는 도로에 매설되어 운영되기 때문에 유지보수를 위한 접근성이 매우 나빠서 도로에 매립한 후 수년간 동작할 수 있도록 설계해야 한다. 즉 설계할 때 고려해야할 가장 중요한 목표 중 하나는 제한된 배터리를 이용하는데 있어서 동작에 필요한 에너지를 절약하여 전력 효율을 높이는 것이다[9-11].

본 논문에서는 차량 검지와 데이터 수집 기능을 위해 필요로 하는 차량검지 정보의 실시간성을 보장하면서 저전력으로 운영이 가능한 TDMA(Time Division Multiple Access)기반의 MAC(Media Access Control)프로토콜을 설계하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 지자기 센서 기반의 차량 검지 시스템의 구성과 동작을 소개하고, III 장에서는 차량 검지 시스템을 위한 저전력 MAC 프로토콜 설계 내용을 설명한다. IV 장에서는 구현된 차량검지 시스템의 전력 소모량을 측정하여 이를 토대로 배터리 수명을 예측한 결과를 설명하고, 끝으로 V 장에서 결론을 맺는다.

II. 지자기 센서 기반의 VDS 구성과 동작

2.1 VDS의 시스템 구성

지자기 센서 기반의 무선 VDS는 그림 1과 같이 센서 노드, 마스터 노드, 베이스 스테이션으로 구성된다. 센서 노드는 배터리를 이용하여 수년간 도로에 매설되어 운영할 수 있어야 하고, 센서 노드를 통과하는 차량을 검지하여 그 정보를 상위 제어기인 마스터 노드에 전송하는 기능을 갖는다. 마스터 노드는 센서 노드로부터 수신한 검지 정보를 베이스 스테이션으로 전송하는 기능을 담당하며, 베이스 스테이션은 이 차량 검지 정보를 이용해 교통정보를 산출하여 ITS망을 통해 교통정보를 센터에 제공한다.

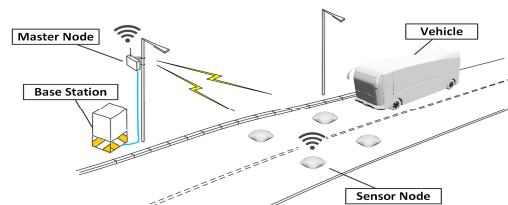


그림 1. WSN 기반의 VDS 구성도
Fig. 1 WSN-based VDS system architecture

2.2 VDS의 차량 검지 동작

지자기 센서 기반의 무선 VDS는 그림 2와 같이 일정한 거리를 둔 두 개의 센서 노드를 일렬로 도로에 매설하고 차량이 센서 노드 위를 지나가면 두 개의 센서 노드는 각각 차량이 지나간 시간을 검지하여 차량이 지나간 방향에 따라 진입과 진출을 판단하고 차량의 속도를 계산한다.

센서 노드에서 발생하는 검지 이벤트의 시각 정보는 전체 시스템의 절대 시각을 기준으로 하고 마스터 노드와 공유된다.

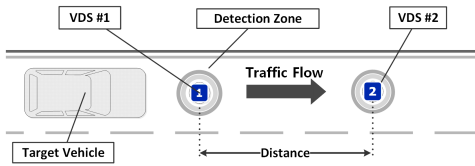


그림 2. VDS의 차량 검지 과정
Fig. 2 Vehicle detection process in VDS

센서 노드에서 마스터 노드로 전송하는 데이터 패킷에는 진입과 진출 시 타임스탬프가 포함되어 있어서 그림 3과 같이 패어로 구성된 센서 노드와의 ‘진입-진출’ 시간차를 계산하여 교통량, 차량 속도, 점유 시간 등의 교통 정보를 추출한다.

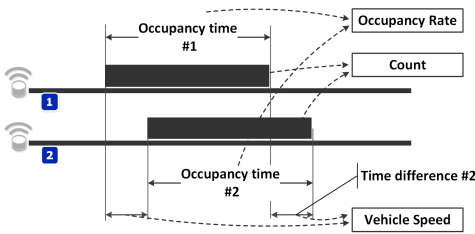


그림 3. VDS의 교통 정보 추출
Fig. 3 Extraction of traffic information in VDS

III. 저전력 MAC 프로토콜 설계

3.1 MAC 프로토콜의 구조

WSN 기반 VDS는 차량의 불특정한 통행을 측정하여 검지 이벤트를 생성하기 때문에 무선 채널을 선점하여 사용할 경우 교통환경에 따라 재전송을 유발하게 된다. 배터리를 기반으로 운영되는 시스템에서 재전송이 발생하면 전력 손실이 발생한다. 채널을 선점하여 사용하는 경우에는 LW-MAC(Light Weight-MAC)기반의 PES(Portable vehicle detector Evaluation System)시스템에서 보여주는 것과 같이 차선별로 채널을 할당하여 교통혼잡 상황에서의 무선충돌을 의도적으로 회피하도록 설계한다[9]. 이러한 구조는 하나의 채널이 한 개의 차선에 대응하기 때문에 차선이 여러 개인 도로에 적용하기에는 가용한 무선 환경의 제약으로 인해 시스템 확장성에 제한을 가져온다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는

VDS에 TDMA 슈퍼프레임 구조를 적용하고자 한다. 슈퍼프레임 구조는 그림 4와 같이 200 ms의 BI(Beacon Interval)를 가지며, 슬롯당 5 ms를 할당하여 40 개의 슬롯으로 나누어 구성한다. 그 중 beacon은 2 개의 슬롯을 사용하고, CAP(Contention Access Period)은 3개의 슬롯을 할당하여 제어 명령을 송수신할 수 있도록 구성한다.

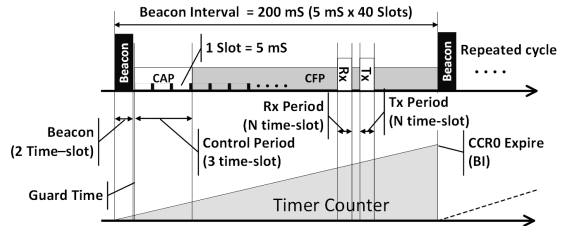


그림 4. TDMA 슈퍼프레임 구조
Fig. 4 TDMA superframe structure

CAP구간은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)로 동작하며, 주로 상위 제어기에서 VDS의 검지 조건을 수정하거나 시스템을 재시작하는 등 센서 노드를 제어하기 위한 용도로 사용된다. CFP(Contention Free Period)는 하나의 슬롯당 센서 노드를 하나씩 할당하여 센서 노드가 검지한 차량 검지 정보를 다른 센서 노드의 간섭 없이 송신할 수 있도록 한다. 200 ms의 BI를 갖는 슈퍼프레임 구조에서 CFP 35개 슬롯에 센서 노드를 할당하였고, 필요에 따라서는 BI를 늘려 센서 노드 연동 수량을 변경할 수 있다.

마스터 노드는 그림 5와 같이 BI마다 beacon을 공유 채널에 브로드캐스팅하고 하위 센서 노드들은 이 beacon을 수신하기 위해 RF 송수신기의 수신부를 미리 wakeup하여 제시간에 beacon을 수신한다. 이와 같이 정확한 시간에 beacon을 수신하고 할당받은 슬롯에서 차량검지 이벤트를 송신하기 위해서는 정밀한 시각정보가 센서네트워크 내에서 공유되어야 한다.

이를 위해 beacon에 기준 시각정보를 포함한다. 또한 센서 노드는 시각정보를 업데이트하기 위해 매 BI마다 RF수신기를 두 슬롯동안 활성화하여 시각동기화를 한다.

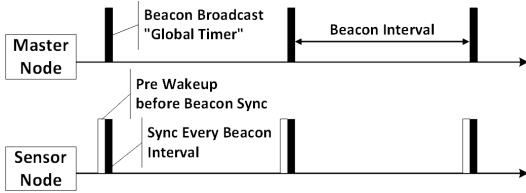


그림 5. TDMA MAC에서 beacon 시간 간격
Fig. 5 Beacon time interval of TDMA MAC

시각정보를 갱신하는 작업은 네트워크의 안정성을 위해 필요한 작업이지만 과도한 동작은 불필요한 오버헤더링으로 정의되며, 이로 인해 전력 효율이 낮아지게 된다. 본 논문에서는 최소한의 beacon을 수신할 수 있도록 수정함으로써 불필요한 오버헤더링으로 인한 에너지 소모문제를 해결한다.

3.2 제안하는 TDMA 기반의 MAC 프로토콜

WSN기반 VDS는 센서 노드가 감지한 이벤트를 상위 시스템으로 전달할 때 대부분의 통신 트래픽이 발생한다. 상위 시스템으로부터 제어 패킷을 받는 상황은 극히 드물며, VDS의 차량검지 파라미터를 수정하거나 시스템의 오동작에 의한 상태를 복구하기 위해 제어 패킷을 전송하는 상황이 전부이다.

이러한 동작 환경의 특수성을 적극적으로 활용하기 위해, BI마다 시각 동기화 했던 구조에서 그림 6과 같이 beacon의 payload에 기준 시각정보 이외에 beacon skip counter 정보를 추가하였다. 이 정보를 이용하여 센서 노드가 특정 주기에만 시각 동기화를 할 수 있도록 한다. 마스터 노드는 기존 TDMA MAC의 동작을 수행하는 데 있어서 beacon payload에 기준 시각정보와 beacon skip counter 정보를 추가하여, 역 카운트를 통해 해당 값이 0이 되어서 센서 노드가 beacon을 수신하도록 하도록 한다.

또한 센서 노드는 beacon을 수신하지 않더라도, BI마다 자신이 할당받은 슬롯을 통해 이벤트 정보를 송신할 수 있도록 한다.

즉, 200 ms BI를 갖도록 설계된 MAC에 beacon skip 동작을 5번 하도록 설정하면 센서 노드는 200 ms x 5회 skip 동작으로 매 1 초마다 beacon을 수신하게 된다.

이때 센서 노드에서 발생한 이벤트 정보는 beacon skip 동작과 상관없이 BI 주기로 송신할 수 있다.

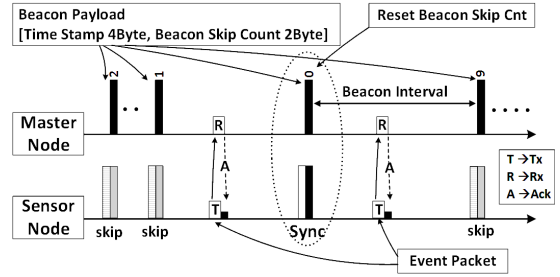


그림 6. 제안하는 저전력 MAC의 시간 동기화
Fig. 6 Time synchronization of the proposed low-power MAC

그림 7은 제안하는 저전력 MAC 프로토콜에서 센서 노드가 네트워크에 association하는 과정을 도식화한 것이다. 마스터 노드는 주기적으로 beacon을 송출하며, 이와 상관없이 센서 노드가 랜덤한 시간에 켜지게 되면 beacon을 수신할 수 있도록 RF 수신기를 활성화한다. 이후 beacon을 수신하면 센서 노드는 payload에 실려 있는 마스터 노드의 절대 시각정보를 이용하여 전체 시스템과 동기화된다.

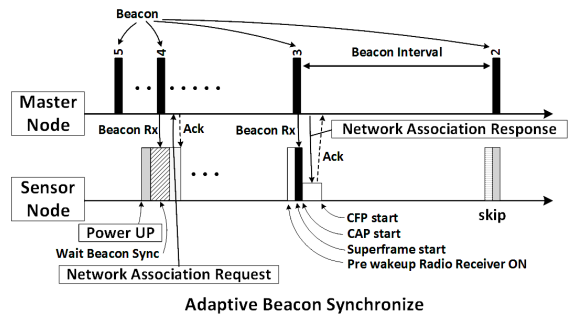


그림 7. 제안하는 저전력 MAC의 association 과정
Fig. 7 Association process of the proposed low-power MAC

최초 동기화가 이뤄지면 네트워크에 등록하기 위해 association request를 송신하며 다음 BI를 기다리고 마스터 노드로부터 association response를 수신한다. 네트워크에 등록된 이후 패킷의 송수신 동작은 그림 8과 같이 이루어진다.

그림 8의 1번은 상위 시스템으로부터 센서 노드 1번에게 보내는 제어 메시지가 전송되면 마스터 노드는 센서 노드가 시각 동기화되는 그림 8의 2번 시점까지 전송을 미루었다가 beacon 패킷에 센서 노드 1

RS422 인터페이스를 이용하여 베이스 스테이션에 연결된다.

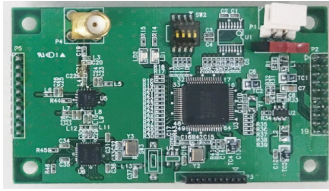


그림 10. 구현된 VDS 마스터 노드
Fig. 10 Implemented VDS master node

4.2 실험 환경

수정된 MAC의 소비전력을 측정하기 위해 Keysight의 DC 전력분석기인 N6705B를 이용하여 측정하였다. N6705B에 사용된 전원 모듈은 N6761A-2UA이며, 옵션으로 저전력 측정 가능한 사양을 가졌다. 또한 제어 및 분석 소프트웨어인 14585A를 이용하여 그림 11과 같이 PC 환경에서 정밀한 측정환경을 구축하였다. 공급 전원은 배터리와 동일하게 3.6 V의 전압과 100 mA의 조건으로 차량검지 센서 노드를 구동하였다.

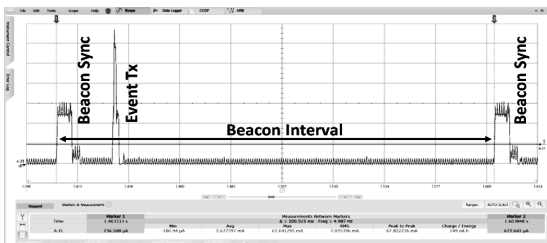


그림 11. DC 전력 분석기에 의한 전력 소모량 측정
Fig. 11 Power consumption measurement via DC power analyzer

실제 도로에 센서 노드를 매설할 때 사용되는 배터리는 Li/SOC12 1차 전지를 이용하며, 총 용량은 76 Ah를 기준으로 하였다. 배터리 기반의 시스템은 자연 방전율과 국내 기후 특성을 고려하여 80% 용량을 기준으로 계산하여 총 60.8 Ah를 실험조건으로 하였다.

4.3 성능 측정

제안하는 저전력 MAC 프로토콜을 적용하여 구현된 센서 노드와 마스터 노드에 대한 배터리 운영 시

간을 예측한 결과는 그림 12, 13, 14와 같고 시각 동기화 오차를 측정할 결과는 그림 15와 같다.

그림 12는 송신 이벤트에 따른 전력 소비를 제외하고 단순히 BI 주기를 증가시킴에 따라 측정된 전력 소모량을 바탕으로 배터리 운용시간을 예측한 결과이다. PA/LNA가 적용된 센서 노드와 적용되지 않은 센서 노드를 비교하였으며, BI를 200 ms에서 1,000 ms로 증가시키면 PA/LNA 적용 센서 노드는 3.2년에서 5.2년 동작이 가능한 것을 예측할 수 있고, PA/LNA 비적용 센서 노드는 3.6년에서 5.6년으로 운영 시간이 증가함을 예측할 수 있다.

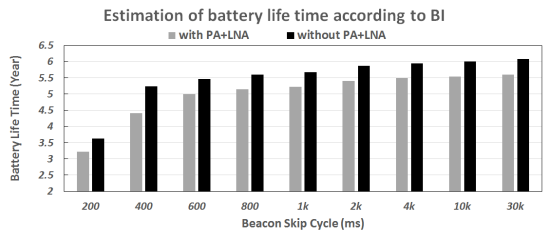


그림 12. BI 주기에 따른 배터리 수명 예측
Fig. 12 Estimation of battery life time according to BI

그림 13은 PA/LNA 적용 센서 노드와 비적용센서 노드 간 주요 동작에 따른 전류 소비 차이를 분석한 그래프이다.

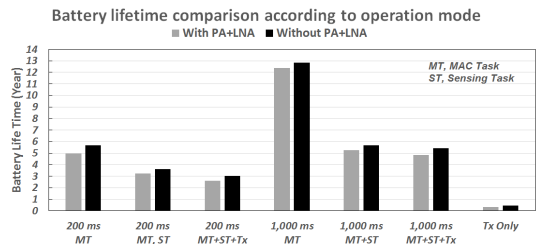


그림 13. 동작모드에 따른 배터리 수명 비교
Fig. 13 Battery lifetime comparison according to operation mode

네트워크 링크를 유지만 하는 “MAC Task”, 차량검지 알고리즘까지 동작하는 “MAC Task + Sensing Task”, 그리고 매 사이클 차량검지 이벤트를 전송하는 조건인 “MAC Task + Sensing Task + Tx”로 비교하였다. 그림 14에서 차량 검지 동작을 하지 않는

경우에 비하여 차량 검지 동작을 활성화하게 되면 약 35% 배터리 소모가 추가로 발생하는 것을 확인하였다.

2017년 서울특별시 교통량조사자료[12]에 따르면 올림픽대로가 일일 양방 통행 기준 2016년 261,351대, 2017년 258,518대의 통행량을 기록하였다. 올림픽대로는 유입 방향 5차로, 유출 방향 4차로이며 이는 차선당 약 30,000대 수준의 교통량을 말한다. 또한 강변북로의 경우 2016년 257,720대, 2017년 251,982대의 통행량을 기록했으며, 유입 방향 4차로, 유출 방향 4차로로써, 차선당 약 33,000대 수준의 교통량으로 단일 차선으로는 가장 많은 교통량을 기록하였다.

그림 14는 일일 교통량에 따른 배터리의 운용시간을 그래프로 표현한 것으로서 X축인 일일 송신 패킷량은 재전송 과정이 없다면 교통량에 비례한다고 가정하여 산출하였다. 그림 15에서 일일 교통량 30,000대 기준으로 배터리 수명은 BI가 200 ms 주기일 때 약 3년으로 예측할 수 있으며, BI를 1,000 ms로 설정한 경우 약 5년인 것으로 예측할 수 있다.

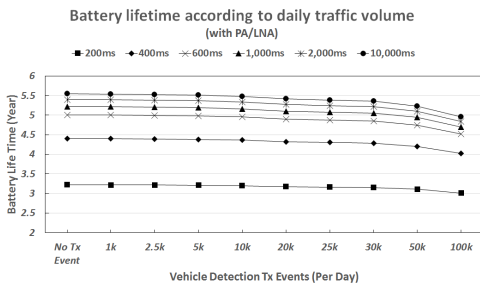


그림 14. 일일 교통량에 따른 배터리 운용시간
Fig. 14 Battery lifetime according to daily traffic volume

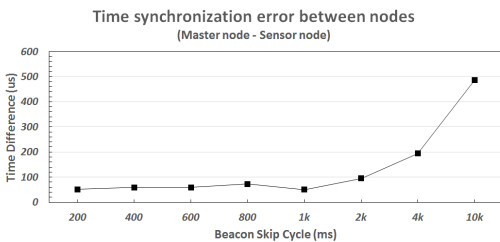


그림 15. 마스터 노드-센서 노드간 시각동기화 오차
Fig. 15 Time synchronization error between master node and sensor node

그림 15는 BI 주기에 따른 마스터 노드와 센서 노드간 시각 동기 오차를 측정된 그래프이다.

그림 15에서 보는 것과 같이 1,000 ms 이후 두 노드간 시각 동기화 오차가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 WSN 기반의 차량 검지 시스템을 위한 TDMA MAC 프로토콜을 수정하여 검지 시스템의 응답성을 저해하지 않으면서 저전력 운영이 가능하도록 설계하였고 구현된 센서 노드와 마스터 노드의 전력 소모량을 측정하여 배터리 운용 시간을 예측하였다. 제안한 MAC 프로토콜을 적용한 센서 노드의 성능을 측정된 결과 시간 동기 성능에 영향을 주지 않으면서 PA/LNA가 적용된 센서 노드 기준으로 62% 배터리 운용시간이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 일일 교통량 이벤트 30,000건을 처리하며 약 5년간 배터리 교체 없이 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2016R1D1A1B03933007) 및 2016학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 지원으로 수행되었음.

References

- [1] J. Gajda, R. Sroka, M. Stencel, A. Wajda, and T. Zeglen, "A Vehicle Classification Based on Inductive Loop Detectors," In *Proc. IEEE Int. Conf. on Instrumentation and Measurement Technology(IMTC)*, Budapest, Hungary, June 2001, pp. 21-23.
- [2] Y. Xuan, H. Meng, X. Wang, and H. Zhang, "A high-range-resolution microwave radar system for traffic flow rate measurement," In *Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems(ITSC)*, Vienna, Austria,

Sept. 2005, pp. 880-885.

[3] Y. Iwasaki, "A method of robust moving vehicle detection for bad weather using an infrared thermography camera," In *Proc. IEEE Int. Conf. Of International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition(ICWAPR)*, Hong Kong, China, Aug. 2008, pp. 86-90.

[4] K. Choi, D. Kim, K. Kim, J. Kwon, S. Lee, K. Chen, and J. Park, "State Machine and Downhill Simplex Approach for Vision-Based Nighttime Vehicle Detection," *Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI) J.*, vol. 36, no. 3, June 2014, pp. 439-449.

[5] D. Kim, K. Choi, K. Kim, and K. Li, "A Feasibility Study on Crash Avoidance at Four-Way Stop-Sign-Controlled Intersections Using Wireless Sensor Networks," *Letter of The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Trans. Information and Systems*, vol. E92-D, no. 5, May 2009, pp. 1190-1193.

[6] M. Karpiriski, A. Senart, and V. Cahill, "Sensor networks for smart roads," In *Proc. IEEE Int. Conf. on Pervasive Computing and Communications Workshops(PERCOMW)*, Pisa, Italy, Mar. 2006, pp. 1-5.

[7] W. Chen, L. Chen, Z. Chen, and S. Tu, "WITS: A Wireless Sensor Network for Intelligent Transportation System," In *Proc. IEEE Int. Multi-Symp. on Computer and Computational Sciences(IMSCCS)*, Hangzhou, China, June 2006, pp. 635-641.

[8] S. Yoo, "A Wireless Sensor Network-Based Portable Vehicle Detector Evaluation System," *Sensors J.*, vol. 13, no. 1, Jan. 2013, pp. 1160-1182.

[9] J. NAI-Karaki and A. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey", *J. Mag. IEEE Wireless Communications*, vol. 11, no. 6, Dec. 2004, pp. 6-28.

[10] M. Son and Y. Kim, "A Study on Hierarchical Communication Method for Energy Efficiency in Sensor Network Environment," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 8, Aug. 2014, pp. 889-898.

[11] K. Lee, H. Lee, and Y. Kim, "Design and Implementation of a Systolic Architecture for

Low Power Wireless Sensor Network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 6, June 2015, pp. 749-755.

[12] Seoul Metropolitan Government Traffic Information Section, "2017 Seoul Metropolitan Traffic Volume Survey," *Technical report*, Mar. 2018.

저자 소개

권영진(Young-Jin Kwon)



2005년 우송대학교 컴퓨터과학과 졸업(공학사)
2016년~현재 충북대학교 정보통신공학부 석사과정

2007년 ~2012년 (주)에스엔알 선임연구원
2014년 ~현재 한국전자통신연구원 선임기술원
※ 관심분야 : 저전력 무선 센서네트워크, ITS, 바이오메트릭스.

최진규(Jin-Kyu Choi)



1999년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2001년 한양대학교 전자통신전공학과 졸업(공학석사)

2018년 충북대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
2001년 ~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
※ 관심분야 : IoT, ITS, 자율주행자동차, 딥러닝.

김태홍(Tae-Hong Kim)



2005년 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 졸업(공학사)
2007년 KAIST 정보통신공학 졸업(공학석사)

2012년 KAIST 전산학과 졸업(공학박사)
2012년 ~2014년 삼성전자 책임연구원
2014년 ~2016년 한국전자통신연구원 선임연구원
2016년 ~현재 충북대학교 정보통신공학부 조교수
※ 관심분야 : 무선 센서네트워크, IoT, SDN/NFV