

Vehicle control system base on the low power long distance communication technology(NB-IoT)

Sam-Taek Kim*

*Professor, School of Information Technology Convergence, Woosong University, Daejeon, Korea

[Abstract]

In this paper, we developed a vehicle control terminal using IoT and low-power long-distance communication (NB-IoT) technology. This system collects information on the location and status of a parked vehicle, and transmits the vehicle status to the vehicle owner's terminal in real time with low power to prevent vehicle theft, and in the case of a vehicle in motion, When primary information about the vehicle, such as an impact, is collected and transmitted to the server, the server analyzes the relevant data to generate secondary information on traffic congestion, road damage, and safety accidents. By sending it, you can know the exact arrival time of the vehicle at its destination. This terminal device is an IoT gateway for a vehicle and can be connected to various wired and wireless sensors inside the vehicle. In addition, the data collected from vehicle maintenance, efficient operation, and vehicles can be usefully used in the private or public sector.

▶ **Key words:** Vehicle Control, NB-IoT, Connected Car, IoT Gateway, OBD-II, Control System

[요 약]

본 논문에서는 IoT와 저 전력 장거리 통신(NB-IoT)기술을 적용한 차량관제용 단말기를 개발했다. 본 시스템은 주차중인 차량의 위치, 상태에 대한 정보를 수집하고, 저 전력 실시간으로 차량 소유자의 단말로 차량 상태를 전송하여 차량의 도난을 방지하고, 주행 중인 차량의 경우, 주행 속도, 급제동, 미끄러짐, 충격 등 차량의 1차 정보를 수집하여 서버로 전송하면 서버에서 관련 데이터를 분석하여 교통 정체, 도로 파손 안전사고 발생 등에 대한 2차 정보를 생성할 수 있으며, 주기적 알람 형태로 목적지의 예상 도착 시간을 전송하여 목적지에 차량의 정확한 도착 시간을 알 수 있다. 본 단말 장치는 차량용 IoT 게이트웨이로 차량 내부의 다양한 유무선 센서와 연결될 수 있다. 또한 자동차의 유지관리, 효율적인 운행과 차량들에게서 수집된 데이터를 민간 또는 공공 부분에서 유용하게 활용할 수 있다.

▶ **주제어:** 차량 관제, 협대역 사물인터넷, 커넥티드 카, 사물인터넷 게이트웨이, 온보드 진단기, 제어 시스템

-
- First Author: Sam-Taek Kim, Corresponding Author: Sam-Taek Kim
 - *Sam-Taek Kim (stkim@wsu.ac.kr), School of Information Technology Convergence, Woosong University
 - Received: 2022. 04. 26, Revised: 2022. 05. 27, Accepted: 2022. 05. 29.

I. Introduction

사물인터넷은 유선통신과 모바일 인터넷 보다 진화되어 사물간에 스스로 통신이 가능한 사물통신(M2M)인데, 사물을 감지하고 데이터를 수집하여 정보를 생성하며, 제어 데이터를 서로 교환함으로써 실시간 처리가 가능한 능동적이고 지능적 관계가 형성되어 인터넷 서비스 형태로 변환되었다.

노키아에서 예측한 IoT 접속기기는 2025년까지 약 300억 개까지 증가하고, 그중 NB-IoT 접속기기는 약 70억 개 정도 이다. 한편, 사물인터넷 기술의 발전과 더불어 자율자동차 기술은 점점 지능화되고 모바일 장치의 보급에 따라 차량에서도 IoT 기술을 응용한 커넥티드 카 기술의 수요가 점점 커지고 있다[1].

‘안전 서비스’는 커넥티드 카에 관련된 핵심적인 기능 중 하나로 대부분의 사용자들이 모바일 디바이스에서 쉽게 사용할 수 있도록 앱으로 서비스하기를 원하고 있다[1]. 그러나 차량운행과 차량정비와 관련하여 발생할 수 있는 잦은 고장이나 결함은, 차량을 운전하는 운전자가 차량의 계기판에 출력된 정보를 본 후에 대처 할 수 있다. 그러므로 커넥티드 카에서는 차량의 실시간 운행 정보를 보다 경제적인 방법으로 관리할 수 있는 방안이 고려되고 있다.

이러한 차량에서의 요구를 기술적으로 해결하기 위하여 본 논문에서는 Fig. 1에서 보는 바와 같은 IoT의 기술 중 새롭게 주목 받고 있는 저 전력 장거리 통신(NB : Narrow band) 기술[2]을 이용한 차량 관제용 NB-IoT 시스템을 설계하고 구현하였다.

본 시스템은 주차중인 차량의 위치, 상태에 대한 정보를 수집하고, 저 전력 실시간으로 차량 소유자의 단말로 차량 상태를 전송하여 차량의 도난을 방지하고, 주행 중인 차량의 경우 주행 속도, 급제동, 미끄러짐, 충격 등 차량의 1차 정보를 수집하여 서버로 전송하면 서버에서 관련 데이터를 분석하여 교통 정체, 도로 파손 안전사고 발생 등에 대한 2차 정보를 생성할 수 있으며, 주기적 알람 형태로 목적지의 예상 도착 시간을 전송하여 목적지에 차량의 정확한 도착 시간을 알 수 있다.

본 단말 장치는 차량용 IoT 게이트웨이로 차량 내부의 다양한 유무선 센서와 연결될 수 있다. 또한 자동차의 유지관리, 효율적인 운행과 차량들에게서 수집된 데이터를 민간 또는 공공 부분에서 유용하게 활용할 수 있다.

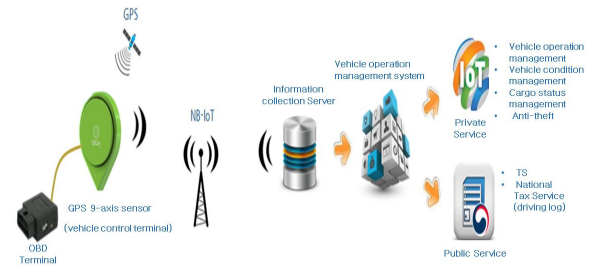


Fig. 1. NB-IoT system overview for vehicle control

II. Preliminaries

1. OBD-II (ON BOARD DIAGNOSTICS II)

본 연구에서 개발한 차량 관제용 NB-IoT 시스템과 직접 연결되는 차량의 OBD-II는 오작동 표시등 (MIL:Malfunction Indicator Lamp)을 통해서 차량의 운전자나 정비사에게 발생한 차량의 문제를 알려 주는 기능을 수행 한다. MIL을 통해 운전자는 차량에 문제가 있다는 것을 인식하게 되고, 시스템 내부에 이상에 대해 스스로 진단한 결과를 저장해 두어서 그 정보를 이용해 정비사가 차량의 이상을 해결 할 수 있도록 한다.

운전자가 차량을 운행할 때, OBD-II 장치는 배기장치나, 엔진 점화 계통 등에서 발생하는 문제 등을 지속적으로 감시하여 이상이 감지되면, 문제를 표시하는 MIL 램프를 켜서 차량의 정비를 할 수 있게 한다[3].

현재 OBD-II를 지원하는 모든 자동차는 3가지 표준 신호 방식을 사용하는데, 그것은 VPW-PWM (SAE-J1850), CAN 통신 (ISO 15765, SAE-J2234), ISO 방식 (ISO 1941-2, ISO 14230-4) 이다[4]. 신호 방식은 각 차량 제조사마다, 심지어는 차량의 모델별로 신호방식이 서로 다르다.

ISO 통신 방식은 유럽과 현대/기아 자동차등 아시아에서 생산, 판매되는 차량에서 사용하고, 미국의 포드자동차는 PWM 방식을, GM사는 VPW 방식을 사용한다[5]. 그러나 미국에서는 2008년 차량 모델부터는 CAN 통신만을 사용하도록 규정하고 있어 조만간에 차량 통신 신호 방식도 하나로 통일될 예정이다.

현재는 3가지 통신방식이 모두 사용되고 있기 때문에 OBD-II 인터페이스로 차량을 진단해 주는 장치인 OBD-II 스캐너는 3가지 신호를 모두 지원 하지만 3가지 신호 방식과는 달리 DLC(Diagnostic Link Connector)는 Fig. 2와 같이 통일되어 사용된다[6]. 이 커넥터는 총 16개의 핀 중에, 실제로 9개의 핀이 사용된다. 나머지 7개의 핀은 앞으로 활용을 위해서 만들었다.

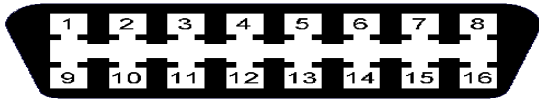


Fig. 2. DLC(Diagnostic Link Connector)

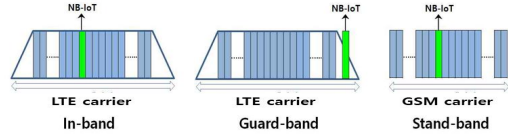


Fig. 4. NB-IoT operation mode

2. NB-IoT

본 연구에서 활용한 NB-IoT 기술은 기존의 이동통신(LTE) 주파수를 활용한 저 전력·광역 IoT 기술로 스마트 홈, 스마트 미러링, 알람 서비스 등을 제공하기 위해, 주로 건물 또는 지하에서 운용될 수 있게 지원한다[7-8]. 즉, 주파수 성능이 떨어지는 건물 또는 지하에서도 안정적이고, 신뢰성 있게 데이터를 송수신 할 수 있게 NB-IoT 장비 배치와 무관하게 낮은 전력 소모로 다수의 NB-IoT 장비들과의 연결을 유지할 수 있다[9]. NB-IoT는 180kHz의 대역폭으로 IoT 디바이스와 통신을 하는데, LTE에서 자원 할당의 최소 단위인 한 개의 RB(Resource Block)에 해당하는 적은 대역폭을 이용하여 많은 단말을 효율적으로 수용할 수 있게 한 것이다[10]. 또한, NB-IoT의 주파수는 LTE 통신망과 똑같은 주파수 내에서 단순하게 만들어진 프로토콜을 쓰기 때문에 보안성을 유지 할 수 있다. 따라서 NB-IoT는 디지털 치료를 위한 의료 및 건강 등 보안성이 중요한 서비스에 사용하기 유리하다. Fig. 3은 NB-IoT 핵심 기능이다[11].

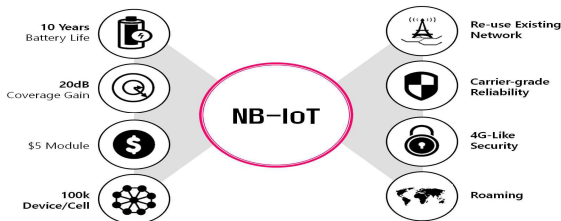


Fig. 3. NB-IoT Core Function

NB-IoT는 180kHz의 대역폭을 사용하여 상향링크와 하향링크를 쓰는데 동작하는 주파수 영역에 따라서 Fig. 4와 같이 3가지 동작 모드로 나누어지며, 동일한 요구사항이 적용된다.

NB-IoT의 대역 내(In-band) 운용모드는 LTE 주파수 대역 내 자원 중 일부를 NB-IoT에 할당하여 운용한다. 보호 주파수대(Guard band) 모드는 LTE의 그 대역을 활용하며, 인접한 한두 LTE 캐리어 사이에 사용하지 않는 자원 블록을 사용한다. 캐리어는 LTE의 가장자리 부반송파에 되도록 가깝게 배치된다. 단독(Stand-alone) 모드는 NB-IoT를 위해 향후 재 할당 될 GSM 캐리어 (850/900MHz) 주파수 대역을 별도로 할당하여 운용한다[12].

III. NB-IoT system design for vehicle control

1. NB-IoT system service for vehicle control

본 연구에서 개발한 차량 관제용 NB-IoT 시스템의 주된 서비스는, 저전력/장거리 정보전송이 가능한 NB-IoT 기술을 적용하여 차량에 대한 연결성을 확보한 것이며, 운행 중 차량 상태뿐만 아니라 주차 중인 차량의 위치, 상태(밀림, 충격, 추락 등)에 대한 실시간 정보수집도 가능할 수 있도록 하는 것이다. 그리고 저전력/장거리 정보전송 기술을 사용함으로써 소비자들이 통신 요금에 대한 부담 없는 서비스로 이용할 수 있는 것이다. 또한 차량의 운행 속도, 급제동, 미끄럼, 충격 등 운행차량의 1차 정보를 이용하여 교통체증, 도로파손, 안전사고 발생 등의 2차 정보 수집이 가능하다. Fig. 5에서와 같이 본 연구에서 개발한 NB-IoT 장치를 IoT 게이트웨이로 활용하면 차량 내부의 다양한 유/무선센서 연동이 가능하며 차량의 각종 센서 정보와 차량의 위치, 운행, 상태정보 등을 빅 데이터로 활용하여 물류 서비스를 비롯한 민간 서비스와 도로공사, 교통 안전공사 등의 공공부분 서비스로 활용할 수 있다[13].

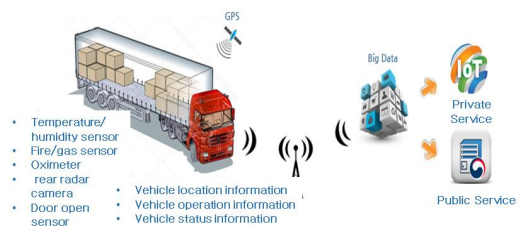


Fig. 5. NB-IoT system service concept diagram for vehicle control

2. NB-IoT system algorithm design for vehicle control

본 논문에서 개발한 차량 관제용 시스템 단말기의 알고리즘은 Fig. 6과 같다. 먼저, 본 단말기가 탑재된 차량을 운행하기 직전에 단말기에 차량운행 목적지를 설정한다. 차량의 OBD-II 단자에 연결한 본 시스템은 일정 시간마다 주기적으로 차량의 상태정보(냉각수 온도, 연료 상태,

속도, 누적 거리, 배터리 전압 등)와 GPS 정보, 그리고 목적지까지의 남은 거리에 대한 데이터를 저전력 통신(NB-IoT)을 통해서 관제 서버로 송신한다. 관제 서버는 관제용 시스템 단말기를 부착한 차량들로부터 데이터를 받은 후 2차 가공을 한 후에 차량 소유자에게는 차량운행 상태와 운행위치정보를 실시간으로 전달하고, 해당 차량의 목적지에는 목적지에 남은 거리 정보를 실시간으로 알려 줄 수 있도록 설계하였다[14]. 이로써 차량의 소유자는 자신의 차량에 대한 상태정보와 주행상태 정보를 실시간으로 알 수 있으므로 차량의 상태와 유지 보수에 대한 대처가 가능하고, 목적지에서는 도착 차량의 도착 예정 정보를 예측할 수 있다. 그리고 주차 중일 때는 9축 센서(자이로, 지자기, 가속도)를 통해서 차량의 밀림, 충격, 기울기 데이터를 저전력 통신을 이용하여 관제 서버로 전송하여 주차 중 차량의 이상 유무도 실시간으로 모니터링이 가능하도록 설계 하였다[15].

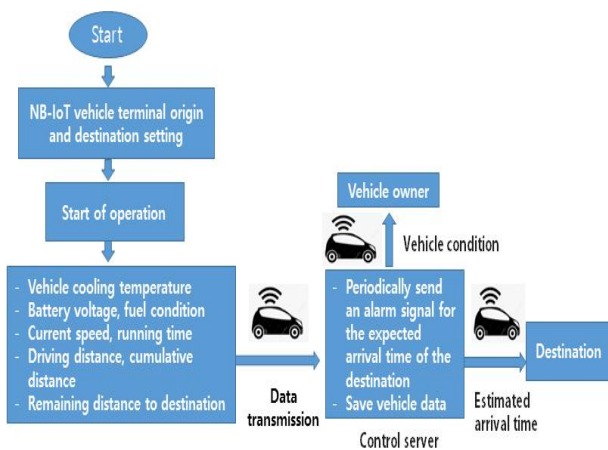


Fig. 6. Algorithm for vehicle control

3. NB-IoT system hardware configuration and design for vehicle control

본 논문에서 개발한 차량관제용 단말기는 Fig. 7과 같이 자동차의 안전 및 보안을 위해 9축센서(모델: BMX-050) 모듈과 GPS, OBD-II 인터페이스, NB-IoT, 중앙처리 장치 모듈을 설계에 반영하였다. 또한, 차량의 현재 운행 위치에 대한 정보를 실시간으로 제공하는 기능으로 GPS(모델: Ublox M8Q) 모듈과 차량의 내부 상태정보를 이용하는 기능을 가질 수 있도록 OBD-II 모듈과 서로 인터페이스를 할 수 있도록 구성하였다. 그리고 본 시스템을 통해서 얻어지는 정보는 경제적 통신 방법 중하나인 NB-IoT 통신을 통해서 실시간 또는 정해진 시간에 따라 차량운행 정보를 수집하여 서버로 보낼 수 있도록 하였다. 이와 같

이 설계된 시스템을 통하여 얻을 수 있는 정보로는 Table 1에서 보는 바와 같다. 차량에서 얻을 수 있는 정보는 주행정보, 상태정보, 유고정보, 센서정보 등이다. 즉, 주유량 연료잔량 등과 같은 상태정보와 에어백과 엔진오일 상태 등과 같은 유고 정보는 OBD-II에서 가져오며, 차량의 위치를 포함하여 주행속도 등의 주행 정보는 GPS 데이터를 이용하여 정보를 만든다. 또한 온·습도 화재/불꽃 등과 같은 센서 정보는 사용자의 선택으로 사용할 수 있도록 설계에 하였다. Fig. 8은 본 논문에서 개발한 차량 관제용 단말 시스템의 하드웨어 모습이다. 제안한 시스템은 차량의 OBD-II 단자에 연결되어 주기적으로 차량의 내부 정보와 GPS와 9축 센서 정보를 읽어내어 저 전력 통신 모듈을 통하여 차량 정보수집 서버로 송신한다.

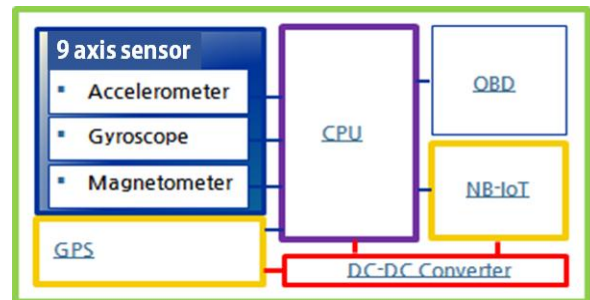


Fig. 7. Terminal block diagram for vehicle control

Table 1. Information that can be obtained through the vehicle control terminal

No	Division	Detail	parked	after startup	driving	after driving
1	driving information	vehicle location	GPS vehicle location information			
2		running speed	current driving speed			
3		top speed	Top speed in 5 minutes while driving			
4		distance driven	Mileage from starting the vehicle to the end of the engine		○	○
5		total mileage	Total vehicle mileage		○	○
6		driving time	start time + end time + running time		○	○
7	status information	fuel volume	Increased amount of fuel after refueling (remaining fuel)		○	○
8		fuel level	amount of fuel remaining		○	○
9		condition of the car parked	open door	○		○
10	Road Event Information	battery status	Voltage	○		
11		engine temperature	Coolant temperature, engine oil temperature			○
12		brake condition	parking brake status	○		○
13		state of the car parked	Push/Shock/Fall/Tow	○		
14	Road Event Information	condition of driving vehicle	Sudden acceleration/sudden braking/overturn/shock/slip/start off			○
15		airbag condition	Whether the airbag is deployed			○
16		engine oil condition	Engine oil shortage alarm			○
17	Sensor Information (option)	temperature/humidity	Read the sensor value and transmit it	○		○
18		fire/flame	Read the sensor value and transmit it	○		○
19		oxygen concentration	Read the sensor value and transmit it	○		○
20		storage box door open	Read the sensor value and transmit it	○		○
21		carrying capacity	Read the sensor value and transmit it	○		○



Fig. 8. Vehicle control terminal system H/W

NBIOT List >

수신시간	USIM-NUMBER	운행상태	장비위치	장비시간	위도	경도	냉각수온도		배터리전압		연료잔량	현재속도	운행시간	운행거리	누적거리	목적지거리
							[도]	[도]	[V]	[V]						
14:25:47	450091225545915	운행시작	2019-07-18	14:25:36	0000.000000-0	00000.00000-0	13.0	29.0	5	0.0	77919.2	0.0				
14:37:06	450091225545915	운행중	2019-07-18	14:36:19	3719.29374-N	12707.45346-E	12.0	29.0	142	0.0	77919.2	18.9				
14:48:30	450091225545915	운행시작	2019-07-18	14:39:00	3719.29374-N	12707.44744-E	13.0	29.0	5	0.0	77919.2	18.9				
15:00:01	450091225545915	운행중	2019-07-18	14:49:12	3719.31115-N	12706.31919-E	87	13.0	28.0	0.00	815	2564.9		1964.9		
15:00:17	450091225545915	운행중	2019-07-18	14:58:11	3719.30272-N	12706.54802-E	13.0	28.0			1149	4469.7		77933.9		1974.1
15:22:49	450091225545915	운행시작	2019-07-18	15:21:48	3719.07918-N	12705.56173-E	13.0	28.0	7	0.0	77933.9	2823.7				
15:34:09	450091225545915	도착일정	2019-07-18	15:28:54	3719.44532-N	12706.79638-E	86	14.0	28.0	40.00	432	2328.9		979.7		
15:34:28	450091225545915	운행중	2019-07-18	15:31:57	3719.47801-N	12707.48845-E	87	13.0	27.0	21.00	818	3453.3		323.7		
15:45:35	450091225545915	운행중	2019-07-18	15:35:21	3719.30536-N	12707.45192-E	13.0	27.0			820	3973.9		77933.0		18.9
17:22:25	450091225545915	운행시작	2019-07-18	17:20:58	3719.35435-N	12707.44038-E	13.0	27.0	8	0.0	77933.0	17.8				
17:33:40	450091225545915	운행중	2019-07-18	17:31:10	3719.31957-N	12706.59638-E	86	13.0	27.0	15.00	819	2513.7		1597.2		
17:49:11	450091225545915	운행중	2019-07-18	17:39:44	3719.08969-N	12705.59972-E	12.0	27.0			1152	4408.9		77932.7		2802.9

Fig. 10. Data table received from vehicle control terminal

IV. Vehicle control terminal test evaluation

본 연구에서 개발한 차량관제용 단말기의 평가 시험을 하기 위해 Fig. 9와 같이 시험용 아반떼 승용차의 OBD-II의 인터페이스에 시리얼 포트를 이용하여 본 연구에서 개발한 NB-IoT 차량 관제용 시스템을 연결하였다. 그리고 노트북 컴퓨터를 이용하여 실시간 데이터를 모니터링 할 수 있도록 설치하였다. 본 시스템의 시험평가는 자동차의 상태정보와 차량의 위치 및 속도, 목적지까지 남은 거리 등이 정확하게 서버에 전달하는가에 대하여 중점으로 시험하였다. 그리고 차량의 도착지에 도착 거리를 매 10Km 마다 알려주며, 도착 20Km 지점부터는 5Km 단위로 알람과 함께 도착 예상시간과 거리를 알려주는 시험평가도 하였다. 본 차량 관제용 단말기의 기능과 성능을 시험하기 위하여 출발지인 천안에서 목적지인 용인까지 차량 관제용 단말기를 탑재 한 아반떼 승용차로 운행을 하였다. 단말기를 탑재한 차량이 운행하면서 보내지는 데이터를 클라우드 서버에서 Fig. 10과 같은 형태로 데이터 받았다. 운행 중인 차량의 운행상태와 위치가 경도/위도로 표시되며, 차량의 냉각수, 배터리, 연료, 속도 등의 차량의 상태가 실시간으로 나타남을 알 수 있었다. 그리고 출발지에서 운행거리와 누적거리, 또한 목적지까지의 거리가 화면에 기록되어 목적지에서 차량의 위치와 도착시간 등을 알 수 있어 당초 본 시스템의 개발 의도를 달성할 수 있었다.



Fig. 9. Connection of development system OBD-II to passenger car

V. Conclusions

본 논문을 통해서 개발된 차량관제용 단말기는 운행 중 차량 상태 뿐 아니라 주차 중인 차량의 위치, 상태(밀림, 충격, 추락 등)에 대한 실시간 정보를 수집하여 차량의 상태를 알 수 있고, 저 전력/장거리 정보전송이 가능한 NB-IoT기술을 적용하여 차량에 대한 연결성 확보, 운행속도, 급제동, 미끄러짐, 충격 등 운행차량의 1차 정보를 이용하여 교통정체, 도로파손, 안전사고 발생 등의 2차 정보를 만들 수 있다.

본 논문에서 개발한 NB-IoT 장치를 IoT 게이트웨이로 활용하면 차량 내부의 다양한 유/무선센서 연동이 가능하며 차량의 각종 센서 정보와 차량의 위치, 운행, 상태정보 등을 빅 데이터로 활용하여 물류 서비스를 비롯한 민간 서비스와 도로공사, 교통안전공사 등의 공공부분 서비스로 활용할 수 있다. 또한, IoT 게이트웨이로 활용하여 차량내부의 다양한 유/무선센서 연동이 가능하다는 것을 입증하였다.

향후 많은 차량들이 본 시스템을 탑재 한다면 자동차의 유지관리, 또는 효율적인 운행이 가능할 것이며 이러한 차량들에게서 수집된 데이터는 민간 또는 공공 부분에서 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research is based support of 2022 Woosong University Academic Research Funding.

REFERENCES

- [1] Dong, Ga Ram, Lee Eun Jong., "A Study on the Development of the Information Property Convergence Framework for the Control Phase of Remote Control Mobile Apps, Focusing on the Connected Car, Smart Home Mobile Apps," The Korean Society of Science & Art , Vol. 38, No. 2, pp. 123-133, 2020. DOI : 10.17548/ksaf.2020.03.30.123
- [2] Y. Miao, W. Li, D. Tian, M. S. Hossain, and M. F. Alhamid, "Narrowband Internet of Things: Simulation and Modeling," IEEE Internet of Things Journal, vol. 5, no. 4. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), pp. 2304-2314, Aug. 2018. DOI:10.1109/jiot.2017.2739181.
- [3] Rodríguez Rodríguez, Armando, José Raúl Vento Álvarez, and Ricardo Inouye Rodríguez. "Implementation of an OBD-II Diagnostics Tool over CAN-BUS with Arduino." *Sistemas y Telemática*. Universidad Icesi, April 1, 2018. DOI:10.18046/syt.v16i45.2747.
- [4] Yoo, C. and Ko, Y., "Development of the Vehicle Diagnosis Program Using OBD-II," *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 23, No. 3, pp. 271-278, 2015. DOI:10.7467/KSAE.2015.23.3.271.
- [5] T.-W. Kang and S. Lee, "Multiple UART Communications Using CAN Bus," *Journal of IKEEE*, vol. 24, no. 4, pp. 1184-1187, Dec. 2020. DOI:10.7471/IKEEE.2020.24.4.1184.
- [6] Sung-hyun Baek, Jongwook Jang, "Integrated vehicle OBD-II connector for reading vehicle information," *Proceedings of the Korean Institute of Information and Communication Sciences Conference*, pp. 307-310, 2013. DOI : 10.6109/jkiice.2013.17.6.1306
- [7] Xingqin Lin, Ansuman Adhikary, Y.P. Eric Wang. "Random Access Preamble Design and Detection for 3GPP Narrowband IoT Systems," Submitted to *IEEE Wireless Communication Letters*, May. 2016.
- [8] 3GPP TS 36.211 v13.7.1, "Physical channels and modulation," Sep. 2017.
- [9] Prabu, Hamonangan Kinantan, et al., "Evaluating Steady-state Performance in Narrowband Internet of Things (NB-IoT)," 2019 IEEE R10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC) (47129), IEEE, 2019.
- [10] Rastogi, Eshita, et al., "Narrowband Internet of Things: A comprehensive study," *Computer networks* 173,(2020): 107209.
- [11] Zayas, Almudena Diaz, and Pedro Merino, "The 3GPP NB-IoT system architecture for the Internet of Things," 2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops), IEEE, 2017.
- [12] Migabo, Emmanuel, Karim Djouani, and Anish Kurien, "A modelling approach for the narrowband IoT (NB-IoT) physical (PHY) layer performance," *IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, IEEE, 2018.
- [13] Yoo, Seung-Sun, and Sam-Taek Kim. "Development of Intelligent Gateway for IoT office service in small size," *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol.8, No. 11, pp. 37-42, 2017. DOI: 10.15207/JKCS.2017.8.11.037
- [14] Yu, H. S., "System design and implementation with improved FCWS detection speed," *Journal of KIIT*, Vol. 16, No. 1, pp. 53-60, 2018. DOI : 10.14801/jkiit.2018.16.1.53
- [15] Yu Hwan-Shin, "Design and Implementation of Vehicle Control Network Using WiFi Network System," *Journal of KAIS*, Vol. 20, No. 3, pp. 632-637, 2019. DOI:10.5762/KAIS.2019.20.3.632

Authors



Sam-Taek Kim received his master's and doctoral degrees from Chung-Ang University in 1987 and 2005 from the Department of Computer Science and Engineering at Chung-Ang University.

Dr. Kim joined the faculty of the School of Information Technology Convergence at Woosong University, Daejeon, Korea, in 1995. He is currently a Professor in School of Information Technology Convergence at Woosong University. He is interested in mobile computing, IoT, Big Data and cloud computing.