

BSM framework using Event-Sourcing and CQRS pattern in V2X environment

Sangkon Han*, EunHee Goo**, Jung-In Choi***

*Ph.D. Student, Dept. of Computer Science Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

**Professor, Dept. of Dasan University College, Ajou University, Suwon, Korea

***Lecturer, Dept. of Applied Artificial Intelligence, Ajou University, Suwon, Korea

[Abstract]

With the continuous development of technologies related to 5G, artificial intelligence, and autonomous vehicle systems, standards and services for V2X and C-ITS environments are being studied a lot. BSM (basic safety message) was adopted as a standard for exchanging data between vehicles based on data collected and generated by vehicle systems in a V2V environment. In this paper, we propose a framework that can safely store BSM messages and effectively check the stored messages using Event-Sourcing and CQRS patterns. The proposed framework can securely store and manage BSM messages using hash functions. And it has the advantage of being able to check the stored BSM data in real time based on the time series and to reproduce the state.

▶ **Key words:** Event-sourcing, CQRS, V2X

[요 약]

5G와 인공지능, 자율 주행 차량 시스템에 관한 기술의 지속적인 발전에 힘입어 V2X를 비롯한 C-ITS 환경에 대한 표준과 서비스가 연구되고 있다. V2V 환경에서 차량 시스템에서 수집 및 생성되는 데이터를 기반 차량간 데이터를 교환하기 위한 표준으로 BSM(basic safety message) 이 채택되었다. 본 논문에서는 BSM 메시지를 안전하게 저장하고, Event-Sourcing과 CQRS 패턴을 사용해서 저장된 메시지를 효과적으로 확인할 수 있는 프레임워크를 제안한다. 제안된 프레임워크는 해시 함수를 사용해서 BSM 메시지를 안전하게 저장 및 관리할 수 있으며, 시계열을 기반으로 저장된 BSM 데이터를 실시간으로 확인할 수 있으며 상태 재현이 가능한 장점이 있다.

▶ **주제어:** Event-sourcing, CQRS, V2X

-
- First Author: Sangkon Han, Corresponding Author: Jung-In Choi
 - *Sangkon Han (sangkon@pusan.ac.kr), Dept. of Computer Science Engineering, Pusan National University
 - **EunHee Goo (ehgoo@ajou.ac.kr), Dept. of Dasan University College, Ajou University
 - ***Jung-In Choi (jungindb@ajou.ac.kr), Dept. of Applied Artificial Intelligence, Ajou University
 - Received: 2022. 01. 19, Revised: 2022. 07. 18, Accepted: 2022. 08. 16.

I. Introduction

5G와 인공지능(AI), 자율 주행 차량 시스템(autonomous vehicle system)에 관한 기술의 지속적인 발전에 따라 사회·경제적 관심과 논의가 높아지고 있다[1, 2]. 자율 주행 차량 시스템을 통해서 얻어질 많은 혜택과 동시에 다양하게 발생할 문제점도 동시에 논의되고 있다[3]. 미국 자동차 공학회(SAE, Society of Automotive Engineers)에서 정의한 기준에 따라 현재 자율주행은 0~5 단계로 구분되고 있다. 이 중 최종 단계인 자율 주행 5단계는 완전 자율 주행 시스템으로 운전자의 개입이 전혀 없으며 운전자 없이 자율 주행 시스템의 판단으로만 진행된다. 이러한 완전 자율 주행 시스템은 운전자의 개입이 없는 상황에서 사고가 발생하였을 때 문제 상황이 발생한다. 발생하는 문제 상황은 대표적으로 일어날 법정 쟁점에 대한 논의, 인공지능의 성능을 향상시키기 위해서 차량 데이터 수집에 대한 합의, 그리고 차량 시스템의 보안에 관한 논의 등이다[4].

2021~2022년에 적용 가능할 것으로 예상되는 자율 주행 차량 시스템은 미국 자동차 공학회 기준으로 2.5~3 단계이다. SAE기준 2.5~3 단계는 운전자가 있으며, 자율주행차량은 운전자의 보조적인 역할을 하는 정도이다[5]. 운전자의 개입이 거의 없거나 완전 자율 주행 시스템으로 구분되는 것은 SAE 기준으로 4~5수준이다. 이를 위해서 기존의 차량 데이터를 수집하고 학습하는 과정이 필수적이다. 자율주행에 사용되는 딥러닝 알고리즘의 경우 학습 과정이 오류 역전파(back propagation)를 기반으로 하고 있기 때문에 중간 연산 과정의 추론 과정을 손쉽게 알 수 없다는 단점이 있다[6]. 이런 단점을 보완하기 위해서 설명 가능한 인공지능 기술 등을 도입하고 있다. 그리고 다양한 데이터를 수집 및 제공하기 위해서 차량뿐만 아니라 주변 교통 상황에 대한 정보를 수집 및 제공하기 위해서 V2X 기반의 C-ITS도 다양한 연구가 진행되고 있다[7].

본 논문은 차량 데이터 및 주변 교통 상황의 정보를 수집에 있어 효율적인 Event-Sourcing 기법과 CQRS 패턴을 활용하여, V2V 기반에서 BSM(basic safety message)을 처리하는 과정에서 발생할 수 있는 보안 문제를 예방하고, BSM을 효율적으로 관리할 수 있는 BSM 관리 프레임워크를 제안한다.

II. Research

1. Vehicle log system

지능형 운전자 보조 시스템(ADAS, advanced driver assistance systems)이나 자율 주행 시스템은 다양한 데이터를 수집하고 있다[8]. ADAS 성능을 높이기 위해서 수집된 데이터를 가공하여 학습에 활용한다. 차량에서 수집되는 데이터는 외부 데이터와 내부 데이터로 구분할 수 있다. 차량에 부착된 센서에 의해서 수집되는 정보와 V2X 환경에선 주변 교통 상황과 같이 외부에서 전달된 데이터를 외부 데이터라 한다. ECU를 비롯한 차량 내부의 전자 부품 및 기계부품에 의해서 발생하는 데이터를 내부 데이터라 한다. 이러한 데이터는 차량 내부의 로그 시스템, V2X나 C-ITS환경에선 중앙 서버와 엣지 서버(edge server)에 저장될 것으로 예상된다[9, 10].

데이터를 수집하고 기록하기 위해서 다양한 기술이나 솔루션을 활용한다. 예를 들어, 차량에 부착된 ECU 및 통신 데이터를 기록(logging)하기 위해서 자동차 호환 RAID 저장 장치, 자동 전원 관리, 차량 위치 인식, 차량용 네트워크 관련 컨트롤러 등이 복합적으로 활용된다. V2X 환경에서는 외부에서 전송되는 데이터를 수집하기 위한 MQTT 등과 같은 별도의 프로토콜을 활용하기도 한다[11]. 하지만 차량에 부착된 수천 개의 부품을 단일 제조사에서 만드는 것이 아니기 때문에 필요한 모든 정보를 수집하고 데이터를 저장할 수 있는 규격화된 형식과 보편적인 방식이 정해져 있지 않다. 그래서 다양한 자동차 제조사에선 차량 외부와 내부에서 수집하고 기록하는 별도의 방식을 채택하고 있으며, V2X의 경우 미국이나 유럽은 별도의 표준을 제안하고 있다[12].

2. C-V2X standard

차세대 지능형 교통시스템(C-ITS, cooperative intelligent transport system)이란, 차량이 도로의 인프라, 보행자 및 다른 차량과 상호 협력하기 위한 시스템이다. 현재의 교통정보시스템(ITS)는 대형 전광판을 통해 주요 교통정보를 제공하거나, ETCS(electronic toll collection system)을 사용해서 요금을 지불하는 등 안전과 교통에 관련된 정보와 서비스를 제공하고 있다[13].

기존의 ITS에 비해서 C-ITS는 차량의 센서, 도로에 부착된 각종 카메라, 다른 차량에서 제공하는 정보를 실시간으로 처리해서 교통정보와 자율주행에 필요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대한다. C-ITS에 쓰일 차량사물간 통신(V2X, Vehicle to Everything) 표준을 두고 다양한

논의가 있었지만, 미국의 연방통신위원회(FCC, Federal Communications Commission)에서 2020년 11월에 C-V2X(Cellular-V2X)를 차량사물간 통신 기술의 단일 표준으로 채택하였다. C-V2X와 경쟁하던 다른 통신 방식 중 하나인 WAVE는 와이파이(Wi-Fi)기반이고, C-V2X는 LTE(Long-Term Evolution)와 5G이동통신과 같은 셀룰러(Cellular)를 기반으로 진행된다[14].

3. V2V and BSM

V2V는 차량 간에 정보를 주고받는 기술을 말하는 것으로, 차량이 이동 중이거나 정차 중인 차량 간의 신호 또는 데이터를 송수신한다. V2V 통신은 일정 범위 내에 있는 차량간 통신을 통해서 각자의 위치나 속도 등과 같은 차량 내부의 정보 뿐만 아니라 주변 교통 상황 등을 공유한다. V2V에서 공유되는 정보는 교통 흐름을 확인 및 유지할 수 있고 사고를 예방하는 시스템에 사용할 수 있다. V2V의 가장 큰 특징은 도로를 달리는 차들이 정보를 주고받는다는 것이다. V2V에서 사용되는 데이터는 주로 사고를 예방하기 위하여 사용된다. 예를 들어, 운전하면서 발생할 수 있는 돌발 상황을 뒤따라오는 차에 전달함으로써 연쇄 충돌 등과 같은 사고를 미연에 방지할 수 있다. 더 나아가 자율주행에 해당 데이터를 적용하면 주행 중 운전자가 볼 수 없는 사각 지역을 미리 탐지할 수 있다[15].

BSM은 V2V 환경에서 차량간 정보를 전달하기 위해서 사용하는 메시지 표준이다. BSM은 SAE J2735를 기반으로 한 통신 메시지다. BSM은 Part 1과 Part 2로 구성되어 있다. Part 1은 차량의 크기, 위치, 속도, 가속도, 브레이크 상태 등 차량의 안전과 관련된 데이터로 구성되어 있다. Part 2는 응용 소프트웨어나 애플리케이션에 필요한 보조 데이터로 구성되어 있다. 예를 들어, 차량간 이동 중에 발생하는 이상 유무나 노면에 등과 같은 운행 환경에 대한 민감한 정보는 Part 1로 구성된다. 교통 흐름 등과 관련해서 차량 안전에 덜 민감한 정보는 Part 2로 구성한다[16].

4. Event Sourcing and CQRS Pattern

이벤트 소싱(event-sourcing)에 관한 마틴 파울러의 정의는 응용 프로그램의 상태 변경에 대한 모든 사항을 일련의 이벤트로 저장하는 것이다[17]. 이벤트 소싱에서 이벤트는 데이터에 영향을 주는 모든 동작이나 행위를 의미한다. 이벤트 소싱의 핵심 아이디어는 상태가 변경될 때마다 해당 값이 아닌 이벤트를 기록하는 것이다. 이벤트 소싱은 상태 변경이 일으키는 모든 이벤트를 저장하기 때문

에, 초기값에 이벤트 목록을 적용하면 당시 상태를 재구성할 수 있다. 이벤트 소싱을 통해서 얻을 수 있는 이점은 두 가지다. 첫째, 이벤트 소싱을 사용하면 신뢰할 수 있는 기록을 확보할 수 있다. 시스템이나 애플리케이션의 모든 상태를 이벤트로 처리하기 때문에 모든 변경 내용이 저장된다. 따라서 특정 시점까지의 저장된 이벤트를 재생하면 해당 시점의 상태를 복원할 수 있다. 둘째, 이벤트 소싱의 경우 수정과 삭제 연산을 제공하지 않는다. 모든 데이터 변경 사항을 기록하는 것을 원칙으로 하고 있으므로 수정과 삭제 연산으로 인한 데이터 불일치 문제가 발생하지 않는다. V2X를 비롯한 대부분의 로그 시스템은 입력된 기록을 수정하거나 삭제하지 않기 때문에 이벤트 소싱 기법을 적용하기에 적합하다.

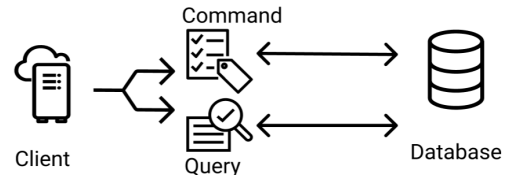


Fig. 1. CQRS

이벤트 소싱을 효율적으로 사용하기 위한 방법 중 하나인 CQRS 패턴은 명령과 조회를 분리한 것이다[18]. 명령(command)은 이벤트를 생성하고, 조회(query)는 이벤트 출력한다. 그림 1은 CQRS의 구조를 간략하게 설명하고 있다. 명령과 관련된 저장소는 변경 사항을 확인하는데 사용하고, 조회와 관련된 저장소는 기록된 메시지를 화면에 출력하거나 데이터를 검색하는 데 사용된다. 명령과 조회와 관련된 연산은 비동기로 작동하기 때문에 성능에 영향을 미치지 않는다. 이러한 비동기성은 Vogels가 “객체에 대한 업데이트가 없을 때 객체는 결국 마지막으로 업데이트된 값을 갖게 될 것”으로 정의한 일관성을 가진다[19].

5. Cryptographic hash function

해시 함수는 임의 길이의 메시지를 고정 길이의 해시(hash) 값으로 변환시켜주는 단방향성 함수 또는 알고리즘을 말한다. 이 중에서 보안 응용에 필요한 해시 함수를 암호학적 해시 함수(cryptographic hash function)라 한다. 암호학적 해시 함수는 해시 값이 주어졌을 때, 그 해시 값을 출력하는 입력값을 찾는 것이 계산상 어려워야 하고(preimage resistance), 해시 값의 변경없이 입력값을 변경하는 것이 계산상 어려워야 한다(second preimage resistance). 마지막으로 동일한 해시 값을 생성하는 두 개의 입력값을 찾는 계산 과정이 어려워야 한다. 대표적인

암호학적 해시함수로 SHA-3가 있다. SHA-3는 미국 국립 표준기술연구소(NIST)가 2015년 8월 5일에 발표한 암호화 해시함수이며, 스피지 구조를 사용하는 것이 특징이다. 현재 국내 표준인 해시는 SHA-2이며, SHA-3는 SHA-2에 비해서 다양한 플랫폼을 지원하고 평균적으로 SHA-3가 SHA-2에 비해서 속도가 빠른 것으로 알려져 있다[20].

III. Designing a message framework using BSM and Event-Sourcing

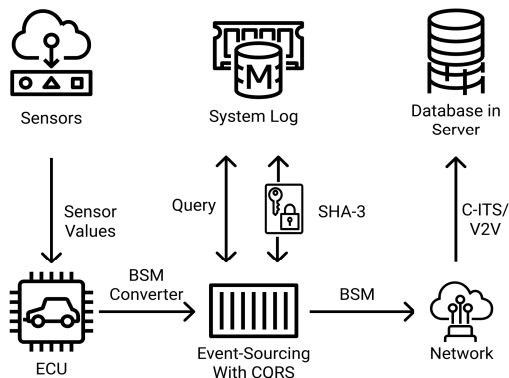


Fig. 2. Message Security Framework with BSM and Event-Sourcing Framework

프레임워크의 전체적인 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째, 차량 외부 센서에서 수집한 정보와 내부에서 발생하는 정보를 수집하여 해당 정보를 BSM으로 변경하는 과정이 필요하다. 차량 외부와 내부에서 생성되는 데이터의 규격이 일정하지 않다. 차량 제조사에 따라서 ECU에서 발생하는 데이터에 차이가 있을 수 있고, 센서에서 수집되는 데이터의 경우 지역별로 수집되는 데이터의 규격이 다를 수 있다. 예를 들어서, 북미에서 사용되는 온도 단위와 한국에서 사용되는 온도 단위에 차이가 있을 수 있고 길이 및 무게 등과 같은 단위에 대한 내용이 다를 수 있다. 그리고 ECU를 생산하는 제조사에 따라 ECU의 메시지 형태와 내용이 다를 수 있다. 차량에서 사용되는 데이터의 규격이나 형태가 표준화가 진행되기 전에는 BSM으로 변환하는 과정이 필수적이라 할 수 있다. 변환된 데이터를 Event-Sourcing 저장소에 저장하는 것이다.

둘째, Event-Sourcing 저장소에 저장된 이벤트는 CQRS 패턴을 적용해서 System Log에 저장한다. 이때, System Log에 저장되는 명령(command)는 SHA-3를 적용해서 저장하고, 조회(query)는 System Log에 저장된

BSM 메시지를 검색한다. BSM 메시지를 이벤트-소싱 저장소에서 차량에 부착된 시스템 로그에 (system log)에 저장하기 위해서 SHA-3 기반의 해시 함수를 적용한다. BSM 메시지의 경우 차량의 이상 유무뿐만 아니라 차량 운행과 관련된 정보가 저장된다. 차량 이상이나 사고시 데이터를 복원해서 검증에 사용하기 위해서 모든 데이터는 시스템 로그에 저장한다. 차량의 세부적인 정보를 보관할 뿐만 아니라 V2V를 활용해서 차량간 데이터를 교환하는 과정에서 메시지가 외부 침입으로 오염되지 않도록 암호화를 진행한다. BSM 메시지에 해시 함수를 적용해서 데이터베이스에 저장한다.

마지막으로 BSM 처리 과정에서 발생하는 데이터를 네트워크를 사용해서 외부 서버나 다른 차량에 전송하는 것이다.

1. BSM Converter

BSM과 Event-Sourcing을 사용한 메시지 보안 프레임워크의 주요 구성요소는 BSM Converter와 BSM 메시지를 암호화 하여 저장하고, 조회하는 CQRS 패턴이 적용된 이벤트-소싱과 해시 함수다.

BSM Converter의 핵심은 BSM 메시지에 내부와 외부 정보를 결합하는 것이다. 별도의 BSM Converter가 필요한 중요한 이유는 BSM Part 1과 센서 데이터를 동기화와 BSM Part2에 센서 데이터를 추가해야 하는데, 차량에 부착된 센서 종류와 규격이 다양하기 때문이다.

BSM 메시지의 Part 1에 기록되는 데이터의 경우 무엇보다 센서에서 수집되는 데이터의 시각을 동기화해야 한다. 외부 센서에서 수집되는 데이터의 경우 센서 데이터의 수집 시간과 ECU에 전송되는데 전송 시간이나 데이터 지연, 센서에서 사용하는 데이터 규격을 고려해야 한다. 차량 제조사 별로 차이가 있는 ECU 메시지도 BSM으로 변경하기 위해선 별도의 변환 장치가 필요하다. BSM 메시지에 포함된 정보가 정확한 시간을 기준으로 동기화되지 않는다면, BSM 메시지를 기반으로 한 정보의 가치가 현격하게 떨어진다.

BSM 메시지는 Part 1과 Part 2로 구성되며, Part 1의 경우 핵심 정보로 구성된다. Part 1은 차량의 위치 정보, 브레이크 시스템, 조향 시스템의 상태 등이 포함된다. Part 2는 V2V 애플리케이션에 필요한 정보를 담고 있다. 차량의 경로 정보를 주로 저장하며, 필요하다면 센서 정보를 포함할 수 있다. 이러한 정보를 BSM 으로 규격화하기 위해선 별도의 데이터 구조를 사용해야 한다. 표 1은 외부 및 내부 데이터를 BSM으로 변경시 데이터 변환에 적용할

수 있는 C언어의 구조체 예제이다. 표 1에서 확인할 수 있듯이 차량의 외부 혹은 내부에서 발생하는 센서 데이터는 Part 2에 별도의 데이터 구조를 사용해서 포함해야 한다. 차량에 부착된 센서의 종류, 제작사가 일정하지 않기 때문에 센서에 대한 정보는 필요한 만큼 구성할 수 있도록 별도의 데이터 구조를 지녀야 한다.

Table 1. BSM data structure using C language

Part 1 Structure
<pre> struct Part1{ // Message ID and Times uint8_t msgID; // uint8_t msgCnt; uint32_t id; uint16_t dsecond; // Position uint32_t latitude; uint32_t longitude; uint16_t elevation; uint32_t accuracy; // Motion uint16_t speed; uint16_t heading; uint8_t steeringAngle; // Acceleration uint16_t accelLon; uint16_t accelLat; uint8_t accelVert; uint8_t accelYaw; // Control uint16_t brakes; // Vehicle Size unit16_t vehLen; unit16_t vehWidth; }; </pre>
Part 2 Structure
<pre> Struct Part2{ // Optional VehicleEventFlags_t *events PathHistory_t *pathHistory PathPrediction_t *pathPrediction ExteriorLights_t *lights // Sensors CustomSensor_t *sensors } </pre>

2. Event-Sourcing and Hash with CQRS pattern applied

CQRS패턴이 적용된 이벤트-소싱을 사용해서 시스템 로그에 메시지를 저장한다. BSM 메시지를 이벤트 형태로 변경해서 메시지를 저장한다. BSM 메시지를 CQRS 패턴

을 활용하여 이벤트-소싱 기반으로 운영한다. CQRS 패턴을 적용하는 이유는 BSM 메시지를 차량 로그에 효율적으로 저장하기 위해서다. BSM의 경우 V2V를 사용해서 다른 차량 및 C-ITS 환경에서 다양한 정보를 처리하고, 가공된 정보를 활용할 수 있다. 반면, 차량 로그의 경우 차량 이상이나 사고시 해당 로그를 사용해서 사고시 상태를 최대한 복원하고, 이상 유무를 사전에 검증하는데 사용된다. BSM 메시지의 경우 Part 1에 포함된 사고 및 차량 이상과 관련된 상황을 파악하는데 중요하게 활용될 수 있다.

차량에 저장된 BSM의 보안을 높이기 위해서 SHA-3를 적용한다. 다른 암호 함수가 아닌 해시 기반의 SHA-3를 적용한 이유는 크게 2가지다. 첫째, 해시 함수는 복잡하지 않은 알고리즘으로 구현되기 때문에, 상대적으로 CPU나 메모리 같은 시스템 자원을 다른 암호 알고리즘과 비교해서 덜 소모하는 특성이 있다. 둘째, 같은 입력값에 대해서는 같은 출력값이 보장되며, 이 출력값은 가능한 한 고른 범위에 균일하게 분포하는 특성이 있다. 해시는 원래 메시지로 쉽게 복호화할 수 없다는 점과 그리고 원문과 해시값 사이에 선형적 관계가 없다는 특성이 있다. 해시값만 가지고는 원문을 복원해내기는 쉽지 않다. 또한 SHA-1, SHA-2와 같은 해시 함수는 해시 충돌 문제가 확인된 상태인데, 충돌 문제에 안전한 SHA-3가 2014년에 발표되었기 때문에 시스템 로그에 저장되는 형태로 SHA-3를 활용할 수 있다[21, 22].

IV. Implementation and performance

본 연구에서 제안하는 프레임워크에서는 V2V 환경에서 발생하는 모든 이벤트를 기록하여 이 데이터를 활용하면 특정 시점에서의 재현이 가능하다. 이에 CQRS 패턴이 적용된 방식을 사용하면 데이터의 신뢰성이 높아지며 데이터 저장(Write)과 읽기(Read) 연산 외 수정, 삭제 연산이 불필요해진다. 하지만 모든 이벤트를 기록함에 있어 기존의 저장 방식보다 성능이 저하될 가능성이 있다. 제안된 방식을 활용하기 위해서는 기존에 사용되는 방식과 CQRS 패턴이 적용된 방식이 유사한 성능을 보이는지 확인하기 위하여 간단한 성능 테스트를 진행하였다.

테스트 환경은 Intel i7-12700H 2.3Ghz CPU, 16GB RAM을 사용하였고, Python 64bit 3.10.5 버전을 활용하였다. 테스트에 사용된 데이터는 Wyoming CV Pilot Basic Safety Message One Day Sample[23]을 사용하였다. 이 데이터는 69개의 열과 1억 8백만 개의 행으로 구

성되어 있다. Wyoming CV Pilot Basic Safety Message One Day Sample의 파일 형식은 CSV으로 변환하여 사용하였으며 데이터 크기는 92GB이다. 데이터를 저장하기 위해 임베디드 시스템에 주로 활용되는 SQLite[24]를 활용하여 기존 저장 방식과 CQRS 패턴이 적용된 방식을 비교하였다.

Table 2. CRUD vs CQRS

	CRUD	CQRS
Write(All)	1117.67(초)	1141.69(초)
Write(100 pieces)	0.012(초)	0.013(초)
Read	0.0001(초)	0.0001(초)

CQRS는 SHA3-512 해시 함수를 적용하였으며, CQRS를 적용한 실험을 위해 기존의 데이터에 몇 가지 이벤트(register, created, updated)를 임의로 추가하였다.

Table 2의 비교 결과에서 확인할 수 있듯이 92GB 데이터를 SHA3-512와 Event-Sourcing을 적용한 CQRS 방식은 기존의 CRUD에 비해서 Write 연산에서 2.1% 느린 속도를 보이며 Read 연산에서는 유의미한 차이가 없다. V2V 환경에서는 실시간으로 이벤트가 발생한다는 점을 고려하여 92GB 메시지 데이터를 100개 묶음으로 매초 입력되는 방식으로 처리하였을 때 CRUD, CQRS 두 방식 모두 유사한 속도를 보인다.

V2V 환경은 대량의 데이터가 실시간으로 저장된다. 92GB 데이터로 실험하였을 때, 기존의 방식에 비해 쓰기 연산(Write)에서 2.1% 느린 속도를 보였지만 V2V 환경에서의 데이터는 대용량일 뿐만 아니라 이벤트가 자주 발생하기에 수정과 삭제 연산이 빈번하게 진행된다는 것을 고려할 필요가 있다. 기존의 방식과는 다르게 수정, 삭제 연산이 불필요한 점을 생각한다면 제안된 프레임워크를 사용하는 것이 기존의 시스템에 비하여 성능 저하가 발생한다고 보기 어렵다.

CQRS는 CQRS의 경우 읽기와 쓰기 명령어를 분리할 수 있기 때문에 읽기와 쓰기 저장소를 분리하여 물리적인 사고 또는 차량의 데이터를 안정적으로 보관할 수 있으며, 이러한 형태의 저장소와 관련된 연구도 진행되고 있다[25].

CQRS를 적용하였을 때 신뢰성, 데이터 재현 등의 장점만 존재하는 것은 아니다. 기존의 CRUD에 비해 CQRS를 사용하고자 할 때 코드량이 상대적으로 많고, 구조가 복잡한 단점이 있다.

V. Conclusions

본 논문은 차량에서 수집되는 외부 정보와 내부 정보를 안전하게 저장하는 방법을 제공하는 프레임워크를 제안하였다. 논문에서 제안한 프레임워크를 사용하면 차량에서 발생한 다양한 정보를 수집하고, 해당 정보를 표준 메시지인 BSM으로 변환하여 시스템 로그에 안전하게 보관할 수 있다.

수집된 데이터를 차량에 부착된 하드웨어에 데이터를 안전하게 저장할 수 있으며, 분산 시스템에 적합한 CQRS 기법을 활용하여 향후 V2X와 관련된 기술에 대응할 수 있을 것으로 기대한다. 향후 연구로 BSM 메시지를 기반으로 차량의 상태를 실시간으로 모니터링할 수 있는 방법과 ECU등과 같은 저전력, 저성능 기반에 적용 가능한 머신러닝과 딥러닝을 활용하는 방법을 계속해서 연구할 예정이다. 또한 V2V 환경에서 대용량의 실시간 이벤트를 효율적으로 저장하고 처리하는 것뿐만 아니라 통신의 효율성과 안전성을 고려한 메시지 교환 방식을 포함하기 위한 프레임워크를 구성할 예정이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2018R1D1A1B07042967).

REFERENCES

- [1] Y.J. Choe, "5G-based cooperative connected autonomous driving technology development in Europe," *Broadcasting and Media Magazine*, 24(1), 41-48, 2019.
- [2] J.H. Lee, "Legal Framework for Autonomous Vehicle and Driving in South Korea, *Journal of Law & Economic Regulation*," 12(2), 257-267, 2019.
- [3] J.S.Kim, et al., "Smart Mobility Services: Issue and Policy Implications," *Gyeonggi Research Institute Policy Research*, 1-184, 2020.
- [4] G.G. Lee, H.G. Woo. "A Study on Safety Guideline of Level 4 Automated Driving Vehicles." *Journal of Auto-vehicle Safety Association* 13(3) 86-94, 2021, doi:10.22680/KASA2021.13.3.086..
- [5] D.H. You, K.P. Kang, "Autonomous Driving Technology Trend

- Classification of technology level (SAE, NHTSA, VDA, BASI)," Monthly KOTI Magazine on Transport, 2016.4, 54-59, 2016.
- [6] Jaesik Choi, "Recent Advances in Explainable Artificial Intelligence," *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 37(7), 8-14, 2019.
- [7] D.H. Lee, H.M. Ko, K.C. Kim "Trends of the V2X Communication infrastructure for Expand C-ITS," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, 262-263, 2020.11.
- [8] H.S. Choi, C.J. Kang, S.H. Park, J.J. Ko, "A Study on the ECU Monitoring System," *Proceedings of The Institute of Electronics and Information Engineers*, 1622-1623, 2013.7.
- [9] W.G. Lee, J.H. Back, J. Ahn, J.K. Choi, "Design and Implementation of Vehicle Real-Time Tracking/Management System," *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, 9(8), 41-51, 2011.8.
- [10] J.W. Park, J.W. Baek, S.W. Lee, W.C. Seo, D.W. Seo, "Edge Camera based C-ITS Pedestrian Collision Avoidance Warning System," *Journal of Korea Inst. Intelligent Transportation System*, 18(6), 176-190, 2019, doi:10.12815/kits.2019.18.6.176.
- [11] I.H. Jung, "A Real Time Location Based IoT Messaging System using MQTT," *The journal of the institute of internet, broadcasting and communication*, 18(4), 27-36, 2018, doi:10.7236/JIIBC.2018.18.4.27.
- [12] H.G. Jung, K.T. Lim, D.K. Shin, S.H. Yoon, S.H. Jang, S.K. Jin, "Trend of V2X Communication Technology Standard in Major Countries," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, 1331-1332, 2019.6.
- [13] J.Y. LEE, S.J. KIM, E.J. KO, K.T. JANG, "A Study on Development Direction of ITS in the Age of Autonomous Driving using C-ITS," *Korean Society of Transportation*, 22-28, 2018.12.
- [14] Y.H. Kang, "Standardization and Spectrum Policy for the Introduction of Autonomous V2X," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 32(2), 110-118, 2021, doi:10.5515/KJKIEES.2021.32.2.110.
- [15] Y.I. Shim, T.H. Chang, "Collision Avoidance System by The Vehicle to Vehicle(V2V) Communication System," *Proceedings of The Korean Society of Marine Engineering*, 267-267, 2012.10.
- [16] R. Sumner, B. Eisenhart, J. Baker. "SAE J2735 standard: applying the systems engineering process. (No. FHWA-JPO-13-046)," United States. Department of Transportation. *Intelligent Transportation Systems Joint Program Office*, 2013.
- [17] Martin Fowler. Event sourcing. <http://martinfowler.com/eaDev/EventSourcing.html>, 2005.
- [18] Martin Fowler. CQRS. <http://martinfowler.com/bliki/CQRS.html>, 2011.
- [19] W. Vogels, "Eventually consistent." *Communications of the ACM* 52(1) 40-44, 2009, doi:10.1145/1435417.1435432.
- [20] H.W. Lee, D.W. Hong, H.I. Kim, C.H. Seo, K.S. Park, "An Implementation of an SHA-3 Hash Function Validation Program and Hash Algorithm on 16bit-UICC," *Journal of KIISE*, 41(11), 885-891, 2014, doi:10.5626/JOK.2014.41.11.885.
- [21] R. Zhang, Z. Chen, Y. Yang, Z. Li, "An efficient scheme for log integrity check in security monitoring system." 246-250, 2013, doi:10.1049/cp.2013.2026.
- [22] Rao, Vidya, and K. V. Prema. "Comparative Study of Lightweight Hashing Functions for Resource Constrained Devices of IoT." 2019 4th International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solution (CSITSS). Vol. 4. IEEE, 2019, doi: 10.1109/CSITSS47250.2019.9031038.
- [23] Wyoming Department of Transportation. (2019, Updated daily). Wyoming CV Pilot Basic Safety Message One Day Sample. [Dataset]. Provided by ITS DataHub through [Data.transportation.gov](https://data.transportation.gov/). Accessed 2022-07-11 from <https://data.transportation.gov/Automobiles/Wyoming-CV-Pilot-Basic-Safety-Message-One-Day-Samp/9k4m-a3jc>, <http://doi.org/10.21949/1504479>
- [24] Junyan, Lv, Xu Shiguo, and Li Yijie. "Application research of embedded database SQLite." 2009 International Forum on Information Technology and Applications. Vol. 2, 539-543, IEEE, 2009.
- [25] Limón, Xavier, et al. "SagaMAS: a software framework for distributed transactions in the microservice architecture." 2018 6th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT). 50-58, IEEE, 2018.

Authors



Sangkon Han is currently a research student in the PhD course at Pusan National University. He is interested in large-scale data collection and analysis, V2X.



EunHee Goo received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Electronics and Computer Engineering from Dankook University, Korea, in 2002, 2004 and 2009, respectively. Dr. Goo joined the faculty of the Department of

Dasan University College at Ajou University, Kyunggi, Korea, in 2016. She is currently a Professor in the Department of Dasan University College, Ajou University. She is interested in information security, cryptology, internet and mobile computing, and security as a service.



Jung-In Choi received the M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from Ewha Womans University, Republic of Korea, in 2012 and 2017, respectively. Dr. Choi joined the visiting professor of the

Software Education Center at Pusan University, Busan, Republic of Korea, in 2018. She is currently a Lecturer in the Department of Applied Artificial Intelligence, Ajou University. She is interested in activity recognition, data mining and V2X.