

자율주행 환경에서 공유 데이터의 투명성 및 신뢰성 확보를 위한 인프라-차량 공유체계에서의 블록체인 활용방안 연구

김 선 겸^{1*} · 김 형 수²¹한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부 수석연구원²한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원

Transparent and Reliable Data Sharing between Infrastructure and Vehicle through Blockchain in an Automated Driving Environment

Sun-Kyum Kim^{1*} · Hyungsoo Kim²¹Senior Researcher, Department of Future and Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea²Research Fellow, Department of Highway and Transportation Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

[요 약]

본 연구에서는 인프라-차량 공유체계에서 공유 데이터의 투명성과 신뢰성을 확보하기 위하여, 인프라와 차량이 실시간 통신으로 교통류를 최적화하는 기술인 인프라 가이드스가 설치된 환경에서 블록체인 기술을 적용한 주행 궤적 정보 공유 방법과 구현을 위한 프로토타입 설계를 제안하였다. 시스템의 동작 절차는 센서 수집 및 차량-RSU 간 통신, 최적 주행 궤적 정보 생성 및 전달, 승인 및 블록화, 블록화된 데이터의 분산으로 총 4단계로 설계하였다. 또한 블록체인 네트워크가 구성되는 프로토타입에 대한 설계에서 데이터의 승인을 통해 원장 내용 합의에 이르는 해당 시스템의 적용 가능성을 확인하였다. 결과적으로, 인프라 가이드스 환경에 블록체인 기술 적용을 통해 인프라와 차량간의 공유 데이터에 대한 투명성과 신뢰성이 확보되며 교통사고 발생시 조작 및 변조할 수 없는 데이터를 상호 공유하므로 도로교통 서비스에 대한 신뢰 구축에 공헌할 것으로 기대된다.

[Abstract]

This study proposes a blockchain-based method for sharing driving trajectory data to ensure transparency and reliability in infrastructure-vehicle sharing systems. Implemented in an infrastructure guidance environment, vehicles communicate with the infrastructure in real-time to optimize traffic flow. The system consists of four stages: sensor data collection and vehicle-roadside unit (RSU) communication; generation and transmission of optimal driving trajectory information; approval and block creation; and distribution of block data. The applicability of the system ranges from the design of the prototype in which the blockchain network is configured to the approval of the data all the way to the consensus of the ledgers. As a result, transparency and reliability of shared data between infrastructure and vehicles are secured through the application of blockchain technology in the infra-guidance environment. Therefore, the proposed method is expected to contribute to building trust in road transportation services by mutually sharing data that cannot be manipulated or tampered with in the event of a traffic accident.

색인어 : 블록체인, 데이터 공유 보안, 인프라 가이드스, 신뢰성, 투명성**Keyword** : Blockchain, Data Sharing Security, Infra-Guidance, Transparency, Reliability<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.7.1919>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 22 May 2024; Revised 05 June 2024

Accepted 09 July 2024

***Corresponding Author; Sun-Kyum Kim**

Tel: +82-32-995-0962

E-mail: sunkyumkim@kict.re.kr

1. 서론

최근 첨단기술의 발전으로 인하여 전 세계적으로 자율주행 연구가 빠르게 진행되고 있으며 국내에서도 2027년까지 레벨4 수준의 완전 자율주행차를 상용화하고 2035년에는 신차 보급률 50%를 목표로 자율차에 대한 연구가 진행되고 있다 [1]. 현재 이러한 도로 환경에서 효율적이고 안전한 교통 운영을 목적으로 실시간 모니터링 및 제어를 위해 인프라와 차량간에 정보를 공유하고 이를 통해 최적의 교통 정보를 전달하는 전략을 취하고 있다. 특히 일부 구간에 대하여 실시간으로 동적 도로환경 정보를 기반의 적극적인 자율주행을 지원하고 이를 통해 교통류 최적화를 목표로 하는 교통 운영 기술인 인프라 가이드스 연구가 진행중이다[2]. 인프라와 차량간 데이터를 공유하여 자율주행 기술의 완성도를 높이려는 노력이 진행되고 있지만, 자율주행 차량 입장에서 외부 데이터를 활용하는 경우에 정보의 정확도, 시간 동기화, 데이터 오류, 해킹 등에 대한 부담을 가지고 있다. 게다가 문제 발생 시 책임 구분이 투명하도록 데이터를 공유하는 인프라 시스템에 대한 신뢰 향상이 필요할 것이다.

2022년 기준 최근 5년간 매년 평균 약 20만건의 교통사고, 그리고 자동차 만대당 연간 평균 약 70~80건이 발생하고 있다[3]. 사고 발생 시 각도에 따라 달라지거나 조작이 가능한 사진, 블랙박스, CCTV 데이터와 순간 왜곡될 수 있는 운전자의 증언에 의지할 수밖에 없기 때문에 사고의 책임소재를 판단할 수 있는 근거가 매우 부족한 상황이며, 이러한 정보는 조작과 왜곡을 통해 정당한 보상을 받지 못하거나 오히려 사기 피해의 대상이 된다.

자율차는 인간 운전자에 비해 GPS 방해 전파 공격, 이미지 또는 비디오 변형 등에 더 취약하고[4], 사이버 공격 등으로 인한 대규모 가짜 또는 유해 데이터를 유포하여 인근 자율차 작동의 위협으로 존재하거나, 정상적인 자율차라도 센서가 오작동하여 잘못된 정보를 전달할 수 있다. 반면, 자율차의 통신 및 데이터 처리에 대한 과도한 부담을 완화하기 위해 RSU(roadside unit)를 통해 서비스를 실행할 때 공개적으로 접속되므로 자율차를 속이기 위한 사기성 콘텐츠 서비스를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 DDoS(distributed denial of service) 공격과 같은 다양한 공격에 취약하다. 이러한 사고 발생 원인에 대한 근거 부족과 조작 및 보안에 대한 문제를 해결하기 위한 데이터의 투명성과 신뢰성이 확보된 정보 또는 저장하는 방법이 요구된다.

현재 도로교통 환경에서 자율차의 수는 향후 수십 년 동안 빠르게 증가할 것으로 예상되므로 분산된 다수의 자율차에 대한 중앙 집중식 데이터 관리는 효율 및 운영비용 측면에서 감당하기 어려울 수 있다[5]. 또한, 중앙화 된 네트워크 구조는 중앙 서버가 해킹되면 전체 시스템에 대한 데이터 변조 공격, 개인정보 유출 등의 문제가 발생할 수 있고, 인프라의 일방적 기록의 활용이 차량 입장에서는 비효율적이게 되므로

투명성과 신뢰성이 떨어질 수밖에 없을 것이다.

블록체인은 체인으로 연결된 연속적인 데이터 레코드를 포함하는 분산 공개 원장으로, 중앙 서버에 의존하지 않고, 합의 작업을 채택하며 신뢰할 수 있도록 분산 저장소에 데이터를 불변하게 기록할 수 있다[6]. 기존의 중앙 집중식 접근 방식과 달리 데이터는 블록으로 기록되고 전체 블록체인 네트워크에서 공유된다. 이 특별한 데이터 구조는 단일 지점 오류를 방지하기 위해 더 나은 견고성을 제공하며 추적성, 부인 방지 및 변조 방지 기능을 갖추고 있다[7]. 허가된 노드만 등록 후 블록체인 네트워크에 참여할 수 있어 외부 공격자로부터 네트워크 보호가 가능하다. 또한 블록체인 네트워크는 분산된 참여자들의 합의를 이끌어내는 합의 알고리즘을 사용하기 때문에 참여자들의 동의에 의해 변경사항만 받아들인다. 최근 데이터 보안을 위하여 트래픽 관리 및 인증 시스템 블록체인 적용을 통한 DDoS 방지[8], 동적 감지 프로토콜을 통한 무단 액세스 방지[9], 교차점 사고 기록[10], 장치 손상 및 등급 조작 방지[11] 등의 다양한 블록체인 기술을 활용한 연구가 제안 및 활용되고 있다. 이러한 이유로 인프라-차량 데이터를 공유하는 과정에서 투명하고 신뢰성을 확보하기 위하여 블록체인 기술의 적용이 필요하다.

본 연구의 목적은 인프라-차량 데이터 공유체계에서 공유 데이터의 투명성과 신뢰성을 확보하기 위하여, 인프라와 차량이 실시간 통신으로 교통류를 최적화하는 기술인 인프라 가이드스가 설치된 환경에서 블록체인 기술을 적용한 주행 궤적 정보 공유 방법과 구현을 위한 프로토타입 설계를 제안하는 것이다. 인프라-차량 데이터 공유체계에 블록체인을 적용하기 위한 대상으로 선택한 인프라 가이드스 환경에서 인프라와 차량으로부터 주변 도로 환경 및 차량의 정보를 수집하여 인프라는 차량들의 최적 주행 궤적 정보가 포함된 가이드스 메시지를 생성하여 각각의 차량에게 전달한다. 가이드스 메시지를 받은 차량은 승인 및 확정 메시지를 인프라로 전송하며, 이를 블록화하여 기록하고 분산저장 한다. 이를 통해 정보에 대한 투명성과 신뢰성을 보장한다. 결과적으로, 인프라 가이드스 환경에 블록체인 기술 적용을 통해 인프라-차량 데이터 공유체계에서 공유 데이터에 대한 투명성과 신뢰성이 확보되므로 교통사고와 같은 책임을 구분하는 문제 발생시 조작 및 변조할 수 없는 데이터를 상호 공유하므로 신뢰를 가지고 인프라와의 소통에 참여하게 될 것으로 기대된다. 본 논문의 구성은 2장에서 연구의 기반이 되는 블록체인 기술을 설명하였고, 3장에서는 기술의 적용을 위한 인프라 가이드스와 제안하는 시스템을 설계하였다. 4장에서 구현을 위한 프로토타입 설계를 제시하고, 5장에서 결론으로 마무리 하였다.

II. 관련 연구

2007년 글로벌 금융위기가 도래했을 때, 중앙집중식 금융

시스템 위험성의 대안으로 개인간 거래가 가능한 기술로 고안된 블록체인은 데이터를 암호화하여 관리하는 분산원장 관리 방식으로 암호화폐인 비트코인에 적용되어 많이 알려지기 시작하였다[12]. 거래정보는 중개자 없이 탈중앙화의 형태로 다수의 참여자(노드)들에게 공유되며, 참여자는 거래 데이터의 타당성 확인, 공개키 기반의 암호화, 합의 및 검증을 통한 단일 블록체인 유지를 통해 데이터를 안전하게 공유할 수 있기 때문에 거래자 간의 신뢰 문제를 해결할 수 있게 된다. 데이터 공유 시 해킹의 위험, 부정확한 전달, 책임 문제가 발생하면 은폐 여지가 있으므로 투명성과 신뢰성을 유지하기가 쉽지 않다. 이와 같이 정보화 시스템에 보안 문제는 매우 중요하며 분산원장 구조의 블록체인은 신뢰할 수 있는 기술로 활용이 늘고 있다. 블록체인은 활용 목적에 따라 참여자의 참여방식에서 퍼블릭 및 프라이빗 블록체인으로 구분된다. 퍼블릭 블록체인은 참여자 모두가 참여하여 합의 시간이 오래 걸리는 반면 허가형인 프라이빗 블록체인은 허가된 참여자만 참여하는 방식으로 합의 시간이 짧아 거래 시간 관리에 용이하다.

기존 도로교통 분야에서 인프라-차량 간 데이터 공유시 안전하고 신뢰할 수 있는 방안에 대한 연구들이 수행되어 왔다. Ahmed 등[13]은 V2X 통신의 보안 요구사항을 분석하고, 경량 암호화, 인증, 데이터 무결성 검증을 포함한 보안 솔루션을 설계하여 기밀성, 무결성, 인증을 보장하면서 실시간 통신 요구사항을 충족시켰다. Eom 등[14]은 V2X 보안 인증 체계에서 경량화된 암호화 기법 도입, 효율적인 인증 메커니즘, 실시간 데이터 보호 방안 등을 제안하였다. Chen 등[15]은 차량-인프라 통신 시나리오에서 포그 컴퓨팅 기술을 활용하여 데이터 수집 과정에서 각 차량의 개인 정보를 노출하지 않으면서도 효율적인 데이터 처리를 가능하게 하였다. Sun 등[16]은 자율주행차 시스템에서 속성 기반 접근 제어와 프록시 재암호화 기술을 결합한 새로운 메커니즘을 제안, 동적 환경에서 세부적인 권한 관리를 가능하게 하여 데이터 소유자가 비밀 키를 노출하지 않고도 권한을 부여할 수 있게 하여 보안을 강화하였다. 각각의 연구들은 도출된 결과를 바탕으로 중요한 통찰을 제공하지만, 다양한 환경에서의 성능 검증, 중앙 서버만을 통한 보안 문제 등의 측면에서 한계가 있었다.

아직 일반화되지는 않았지만, 데이터 보안을 필요로 하는 경우에 블록체인 기술이 활용되었는데, 대표적으로 자율차 및 RSU의 신뢰성, 자율차에 대한 인센티브, 데이터 전달 보안에 적용되었다[17]. 자율차 및 RSU의 신뢰성은 데이터를 구별하여 적절한 결정을 내리는 것을 통해 신뢰성을 평가하며, 자율차에 대한 인센티브는 자율차의 주행 기능과 데이터를 공유하기 위한 인센티브를 나타내고, 데이터 전달 보안은 차량과 인프라로 연결된 시스템에서 외부의 공격자가 데이터의 변조와 위조, 자율차의 보안과 정보를 위협하는 것을 말한다. 자율주행 환경에서 데이터 전달 보안에서의 블록체인 기술을 활용하는 경우, 차량은 분산 네트워크에 참여하여 제 3자를 사용하지 않고 신뢰할 수 있는 개인정보를 보호받는 방식으

로 데이터를 공유하게 된다[18]. 또한 블록체인은 사용자 거래를 안전하게 유지하므로 익명성을 제공하고 인센티브 메커니즘을 활용할 수 있다.

도로교통 환경에서 데이터의 전달 시 조작에 대한 보안으로 블록체인을 적용한 연구 사례로 Oham 등[10]은 무단 액세스를 방지하는 자동차 보험 청구를 위한 분산 원장 프레임워크를 제안하였으며, 조작 시도 시 동적 검증 프로토콜에 의해 금지되게 하였다. Rathee 등[11]은 연결된 차량과의 가져요청, 장치 손상 및 저장된 사용자 등급 조작을 포함한 여러 보안 문제에 대하여 검증 블록체인 기술을 사용하였다. Buzachis 등[9]은 V2V 및 V2I 연결성을 확보하기 위하여 교차로에서 모니터링하고 사고가 발생 시 포렌식 목적으로 블록화하여 저장하는 제어 시스템을 제안하였다. Seo 등[19]은 주행이나 주차 중의 상시 녹화만이 아닌 모션 감지 녹화, 충격 감지 녹화, 차량 속도나 OBD 정보 등 여러 정보를 한번에 기록되는 블랙박스의 데이터를 블록화하는 주행 기록 시스템을 제안하여 뺑소니와 같은 사고를 해결하는데 어려움을 해결하고자 하였다. Kang 등[20]은 자율주행 반자동상태에서 운전자의 심박수, 동공상태, 눈 움직임, 혈압, 손짓, 움직임 등 여러 가지 민감한 개인정보(행태정보)를 블록화하여 사고 분석에 중요한 단서로 활용할 수 있게 하였다. Biswas 등[21]은 IoT를 활용해 자율주행에서의 데이터 수집, 엣지 인텔리전스를 활용해 데이터 처리, 5G 네트워크를 통해 통신이 가능하게 하는 블록체인 데이터 무결성을 보장하고, 안전한 데이터 교환을 지원하였다. Singh 등[22]은 블록체인 기술을 통해 데이터의 프라이버시를 보호하면서도 필요한 정보는 공유할 수 있는 메커니즘을 제공하여 교통 상황에 대한 신속한 대응을 지원을 통해 사고 발생 시 즉각적인 경고를 주변 차량에 전달하여 2차 사고를 방지하도록 하였다. Chen 등[23]은 차량과 인프라 간의 신뢰를 구축하는 것을 목표로 블록체인 기술을 사용하여 각 참여자의 행동과 데이터를 투명하고 안전하게 기록하며, 신뢰 점수를 통해 차량 간의 데이터 교환 및 협력과 악의적인 행동을 억제하도록 하였다. Ayaz 등[24]은 차량, 도로 인프라, 그리고 기타 관련 장치들이 네트워크로 연결되어 정보를 공유하는 시스템을 제안하여 차량 간 통신(V2V) 및 차량-인프라 통신(V2I)에서 발생할 수 있는 해킹, 데이터 위조, 프라이버시 침해 등의 문제를 해결하였다.

최근 다양한 분야에서의 블록체인을 활용한 투명성 및 신뢰성 향상 연구와 자율주행 분야에서 블록체인과 관련하여 국내외 다양한 연구들이 진행되고 있으나 데이터 공유에서의 조작 및 보안의 방지 관련 연구는 다소 미흡한 실정이다. 인프라-차량 간 데이터 공유 연구를 통해 미래에는 도로교통 분야에도 데이터가 분산화 되어 인프라 및 차량 각각이 독립 개체 간 관계로 대응이 필요하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 후에 수행된 블록체인 연구들은 대부분은 단순히 차량 기능과 차량으로 수집한 데이터를 블록화하는 연구이며, 블록체인 기술 적용 복잡성으로 인해 블록체인과 자율주행 기술을 접목시킨 자율주행에 특화된 연구는 거의 없다. 그러므로

표 1. 관련 연구

Table 1. Related works

Author	Blockchain	Objective	Major finding
Ahmed et al. [13]	X	V2X security solution	Lightweight encryption, authentication, data integrity verification.
Eom et al. [14]	X	V2X security authentication	Lightweight encryption, efficient authentication mechanisms
Chen et al. [15]	X	V2X fog computing	Fog computing technology without exposing the personal information
Sun et al. [16]	X	V2X combined security mechanism	Attribute-based access control and proxy re-encryption technology,
Oham et al. [10]	O	Distributed ledger framework	Insurance to prevent unauthorized access
Buzachis et al. [9]	O	Security verification blockchain	Data in intersection for monitoring
Seo et al. [19]	O	Management system	Recording of all data during driving parking
Kang et al. [20]	O	Driving record system	Driver's physical data to analyze accident
Biswas et al. [21]	O	Records of behavioral information	Data sharing and process in autonomous driving
Singh et al. [22]	O	IoT based autonomous driving	Data dissemination in autonomous driving
Chen et al. [23]	O	Trust management	Trust point to prevent malicious action of autonomous driving
Ayaz et al. [24]	O	V2X data sharing system	Data sharing to prevent data tampering of autonomous driving

본 연구에서는 인프라-자율차 데이터 공유체계에서 공유 데이터의 투명성과 신뢰성이 확보되도록 생성 및 공유되는 분산화 또는 자율주행에 특화된 정보 도출과 데이터의 보안을 위하여 데이터의 블록화를 위한 블록체인 기술이 필요하다.

III. 인프라 가이던스에서의 블록체인 기반 인프라-차량 데이터 공유체계

본 연구는 인프라-차량 데이터 공유체계에 블록체인을 적용하기 위한 대상으로 인프라 가이던스(IG; infra-guidance) 환경을 선택하였다. 인프라 가이던스란 인프라 센서로부터 감지된 인지 정보와 차량간 V2X 기반의 협력인지(cooperative perception) 정보 수집을 통해 실시간으로 도로의 동적상황을 인지하고, 교통류를 최적화할 수 있는 가이던스 정보를 생성하여 SAE J3216[25]의 협력등급에 따라 자율차에게 권고 또는 지시하여 협력주행(cooperative driving)을 수행하도록 하는 서비스를 말한다. 즉, 교통류 최적화를 위해 실시간으로 도로 동적 상황 정보를 활용하여 자율주행에서 안전하고 신속하게 위험상황을 벗어날 수 있도록 지원하는 것이다.

그림 1은 인프라 가이던스 환경의 구성을 보여주고 있다. 인프라 가이던스 환경은 현장검지기, 통신 설비, 교통관리센터 시설 및 장비, 이를 구성하는 인프라인 RSU 등으로 구성되어 있다. 자율차는 통신기술을 이용하여 주변 차량 및 도로 인프라와 교통상황 정보를 공유함으로써 차량운행의 안전성 향상을 추구하는 도로 환경으로 설정한다. 구성요소로 자율차(CAV; connected automated vehicle) 및 통신이 가능한 커넥티드 차량(CV; connected vehicle), 통신이 가능한 인프라, 이동 객체(차량, 사람, 자전거)가 있으며, V2N 장단거리 통신이 가능하도록 한다. 이를 통해 자율차는 인프라(RSU)에게 본인의 정보(센싱 데이터, 속도, 위치 등)를 전달하고 RSU는 일정시간 내에 모든 정보에서 차량별 최적의

적정보를 생성하여 자율차에게 제공한다. 이를 통해 RSU는 최적 주행 궤적 정보를 생성하고, 차량과 인프라의 검증과 승인 후 블록을 생성하고 이를 분산화하여 저장하게 된다.

본 연구에서는 인프라가 자율차에게 제공하는 최적의 '주행 궤적 정보'를 블록화하여 투명하고 신뢰성 있는 데이터를 제공하는 블록체인 기반 주행 궤적 정보 공유 방법인 블록체인 기반 인프라-차량 데이터 공유체계를 제안한다. 제안하는 시스템은 자율차, 인프라 RSU, 블록체인 네트워크로 구성되며, 각각의 구성요소들이 유기적으로 움직여 동작한다. RSU는 각각 주변 도로 환경(차량, 장애물, 신호, 사고 등)을 수집하며, 차량은 주변 및 본인 차량의 정보(시간, 위치 등)를 수집하여 RSU에 전송한다. 수집된 모든 정보를 토대로 차량들의 최적 주행 궤적 정보가 포함된 가이던스 메시지를 생성하여 각각의 차량에게 전달한다. 가이던스 메시지를 받은 차량은 최적 주행 궤적 정보에 대한 승인 및 확정 메시지를 RSU로 전송하며, RSU는 승인된 메시지를 블록화하여 기록한다. 최종적으로 블록화한 정보의 기록을 원래의 차량에게 분배 또는 해당 정보가 필요한 차량 요청시 제공한다. RSU는 인프라 가이던스 환경에서 최적 주행 궤적 정보를 포함하는 가이던스 메시지를 생성하는 인프라로 다수의 차량으로부터 수집한 정보로부터 차량의 최적 주행 궤적 정보를 블록화하여 데이터의 신뢰성 및 투명성을 확보하며 원 차량에게 정보 제공 및 요청한 차량에게 정보를 제공한다. 블록체인 네트워크는 최적 주행 궤적 정보를 생성시마다 블록을 생성하며, 동일 시간 내에 주행 궤적 정보는 하나의 블록(주행 궤적 정보는 트랜잭션 시 발생하는 원장 정보와 동일 가치)으로 생성한다.

그림 2에서 보여주는 바와 같이 본 연구에서 제안하는 블록체인 기반 인프라-차량 데이터 공유체계의 동작은 센서 수집 및 차량-RSU 간 통신, 최적 주행 궤적 정보 생성 및 전달, 승인 및 블록화, 블록화된 데이터의 분산으로 총 4단계로 나뉘어진다. 1단계 중 1-1단계에서는 자율차에서 탑재한 센서로부터 주변 정보 및 본인의 거동 정보를 수집하고, 1-2단계



그림 1. 인프라 가이드스
Fig. 1. Infra-guidance

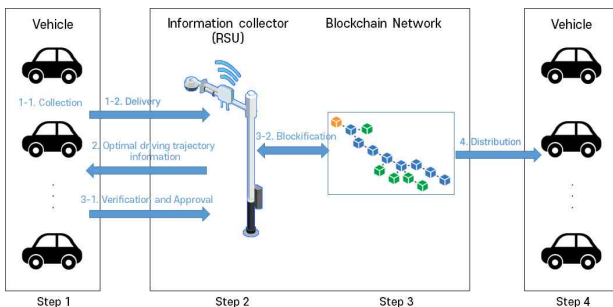


그림 2. 블록체인 기반 인프라-차량 데이터 공유체계
Fig. 2. Blockchain-based infrastructure-vehicle data sharing system

에서는 차량이 인프라 가이드스 구간에 도달했을 때 수집 정보 및 연결 정보를 RSU로 전송한다. 2단계에서는 RSU가 다수의 차량으로부터 정보를 수집하고 최적의 우선순위 및 주행 궤적 정보를 각각의 자율차에게 전달한다. 3단계에서 3-1 단계는 2단계에서 RSU로부터 전달받은 차량은 해당 주행 궤적에 대한 동의를 승인과 함께 확인 메시지를 RSU에게 전달, RSU는 이전에 주행 궤적 정보와 동일함이 확인이 되면 차량과 마찬가지로 승인을 하며, 3-2단계에서는 최종적으로 승인된 정보를 블록체인화하여 블록체인 네트워크에 추가한다. 마지막으로 4단계에서는 수집된 정보를 보낸 원래의 차량에게 블록체인화된 정보를 배포하며, 삭제되었거나 사고가 발생하거나 필요한 경우, RSU에게 해당 정보를 검색하여 요청하여 기록된 정보를 획득할 수 있다.

IV. 프로토타입 설계

제안하는 블록체인 기반 인프라-차량 데이터 공유체계가 실제로 동작을 잘 수행할 수 있도록 프로토타입 설계 방안을 제시하였다. 본 연구에서는 하이퍼렛저 패브릭(Hyperledger fabric) v2.2[26]을 활용하여 프레임워크 설계를 한다. 리눅스 재단에서 개발한 허가형 프라이빗 블록체인 플랫폼으로

대규모 트랜잭션을 처리가 가능하고, 허가된 노드들만 참여할 수 있으며,, 경량합의방식을 통한 검증 속도를 높일 수 있는 장점이 있어 선별된 차량-인프라 통신이 필요한 인프라 가이드스와 적합하다고 판단하였다. 시스템을 구조화 시키고, 블록과 프로토타입을 모델링하였으며, 프로토타입의 동작을 확인하기 위해 구성요소인 차량, 인프라, 블록체인 네트워크, 합의 를 구현하였다. 연구 개발환경은 Ubuntu v16.04.03 LTS, Docker v18.09이었다.

4-1 시스템 구조도

그림 3은 하이퍼렛저 패브릭 기반의 제안하는 공유체계의 시스템 구조도를 도식화한 것이다. 제안하는 시스템은 애플리케이션(Application), 블록체인 API 서버(Blockchain API Server), DB, 블록체인 코어(Blockchain core), 블록체인 빌딩 & 테스트 툴(Blockchain Building & Testing Tool)로 구성되어 있다. 애플리케이션은 블록체인 네트워크의 뷰기능을 쉽게 다룰 수 있는 웹 애플리케이션 프레임워크인 Pug와 서버의 기능을 담당하고 최적 주행 궤적 정보를 생성하고 DB에 저장하는 IG Server로 이루어져 있다. 블록체인 API 서버

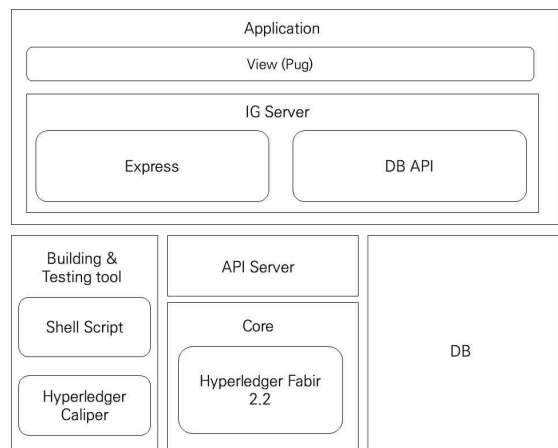


그림 3. 시스템 구조도
Fig. 3. System architecture

는 스마트 계약을 활용하여 블록체인에 원장에서의 읽기 및 쓰기 작업을 수행하고 애플리케이션을 통해 관리한다. 블록체인 코어는 하이퍼렛저 패브릭 2.2로 구성되어 있으며, 트랜잭션 처리와 데이터의 검증 및 라프트 알고리즘[27]을 활용한 합의 기능을 수행한다. DB는 블록화 되기 위한 최적 주행 궤적 정보들을 관리하며, 블록체인 빌딩 & 테스트 툴은 블록체인 네트워크를 설정하고 테스트 한다.

4-2 블록 모델링

제안하는 시스템의 블록체인의 블록은 그림 4와 같다. 블록체인 블록은 이전기록 해시를 참조하여 블록간 체인 형태로 연결되어 있으며 이를 구성하는 헤더와 바디, 메타데이터로 구성된다. 헤더는 버전, 타임스탬프, 이전 블록 헤더 해시, 머클 루트, 타임 스탬프, 난이도 목표(Difficulty bit), Nonce 등 일반적인 블록체인 블록 헤더를 따라간다. 바디는 다수의 트랜잭션을 포함한다. 메타데이터는 블록이 생성자의 서명이 포함되었는지 트랜잭션이 유효한지 현재까지의 누적 상태 업데이트한다. 트랜잭션은 블록체인 저장의 핵심 내용을 포함한다. 트랜잭션의 헤더는 블록체인 헤더와 마찬가지로 해당 트랜잭션의 버전, 타임스탬프, 입력/출력의 정보를 기록한다. 서명 기록은 검증 이후 서명을 위한 서명 기록으로 차량과 인프라의 정보를 포함한다. 최적 주행 궤적 정보는 인프라에서 생성한 최적 주행 궤적 정보를 말하며 x, y, z좌표로 구성되며, 헤더의 타임스탬프를 참조한다. 최적 주행 궤적 정보 반응은 차량으로부터 서명을 받고 확인 메시지를 받았는지의 여부를 확인한다. 그 외 정보는 블록체인별 필요한 정보들 유동적으로 사용한다.

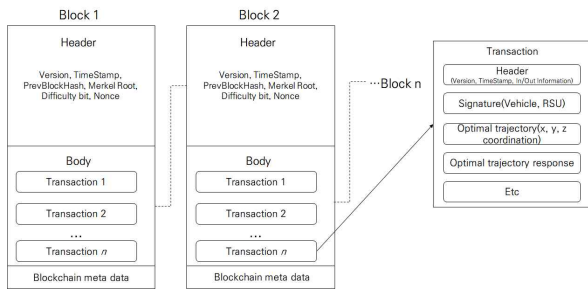


그림 4. 블록 모델링
Fig. 4. Block modeling

4-3 프로토타입 기능 설계

블록체인 기반 시스템은 무차별 해킹이나 악성 코드 시도와 같은 중앙 서버에 대한 외부의 악의적인 공격으로 인해 정보가 손실될 수 있기 때문에 탈중앙화된 블록체인 네트워크와 이를 구성하는 차량과 인프라 노드로 구성되어 있으며, 참여서 컨소시엄 형태로 허가된 노드만이 블록체인 네트워크에 참여할 수 있도록 구성이 가능하다. 각각의 노드는 블록화된

정보를 저장하기 위한 데이터베이스로 보유한다 이러한 블록체인 기반 네트워크는 블록체인 노드에 동일한 데이터가 저장되기 때문에 손실이 적으며, 데이터 보호 및 저장에 대하여 자율차 통신 및 사용자 식별과 같은 민감한 정보에 완벽하게 보호된다는 것을 의미한다. 또한 합의 알고리즘을 사용하여 악의적인 액세스, 시빌 공격을 방지하고 블록 변조를 방지한다. 궁극적으로 모든 노드는 저장된 데이터에 동등하게 접근 가능하고 변경 시에는 모든 노드의 동의가 필요하기 때문에 투명한 시스템을 구축할 수 있으며 노드간의 높은 신뢰성을 갖게 된다. 그러므로 블록체인을 기반으로 한 시스템에서는 필수 기능으로 탈중앙화(Decentralization), 합의 알고리즘(Consensus algorithm), 참여 허가(Permission), 블록체인 네트워크(Blockchain network), 보안 및 보호(Security & protection), 노드간 통신(Infra-vehicle communication)이라 할 수 있으며, 그림 5는 제안하는 프로토타입에서 필수 기능이 얼마나 잘 구현되었는지 앞서 설명한 시스템 구조도와 블록 모델링을 기반으로 기능별 설계 방안을 보여준다.

전체 기능을 구성하는 프로토타입은 IG 서비스를 운영하는 IG Server를 보유한 인프라인 RSU, 정보를 받고 거동을 수행하는 차량(Client), 블록체인 네트워크(Blockchain network)의 주요 기능을 수행하는 세 개의 엔터티로 구성된다. Client의 User interface는 RSU와 통신을 하고 데이터의 동작과 RSU의 지시에 따른 거동을 확인할 수 있으며, Digital data manager는 RSU로부터 최적 주행 궤적 정보를 받았을 시에 합의를 위한 디지털 서명의 기능을 가진다. Blockchain manager는 블록체인 네트워크에서 접속하여 검색과 보유한 블록화된 데이터의 관리 기능을 가지고, Database는 저장되는 데이터들을 관리한다. RSU의 경우 앞서 설명한대로 IG Server는 최적 주행 궤적 주행 경로 생성을, API Server는 본 시스템을 관리하여 허가된 Client만이 블록체인에 참여할 수 있도록 하며, Blockchain core로 블록체인 네트워크를 생성 및 관리를 하고, 데이터베이스로 저장된 데이터를 관리한다. 마지막으로 Blockchain network는 Daemon으로 데이터의 송수신과 이벤트를 관리하며, Blockchain service를 통해

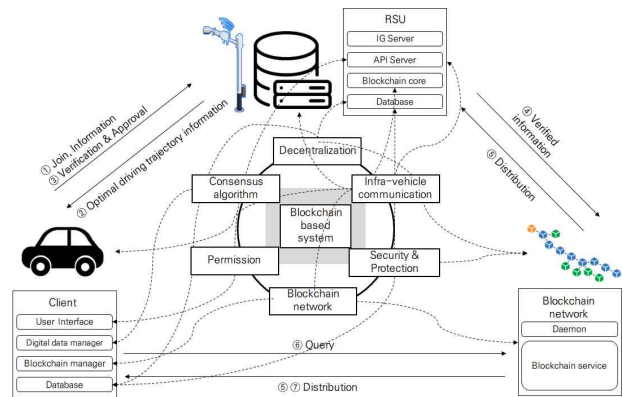


그림 5. 기능 설계
Fig. 5. Functional design

블록체인 네트워크를 운영한다. 프로토타입의 구성을 통해 블록체인 시스템의 핵심 필수 기능인 탈중앙화, 합의 알고리즘, 블록체인 네트워크, 노드간 통신의 모든 기능을 수행하여, 블록체인 데이터를 기록하고 프로토타입을 통해 제안하는 연구의 모든 기능과 과정을 수행하도록 한다.

4-4 프로토타입 모델링

프로토타입의 모델링은 Docker 기반의 Peer 간의 연결로 구성하며, 검증 노드는 Docker 컨테이너를 활용하여 체인코드의 배포 및 실행을 수행한다. 표 2는 본 구성에 따른 Docker 컨테이너이며, 그림 6은 컨테이너 간 관계도를 나타낸다. RSU에서 중추를 담당하는 IG Server와 이와 연계되는 Client, Hyperledger Fabric API Server를 비롯하여 주요 컨테이너로는 메인 네트워크를 구성하는 2개의 Orderer, 각 Orderer와 연계하는 n개의 Peer, 인프라 가이드스 조직이 관리하는 1개의 CA가 있다. API Server는 각 Peer와 http로 연계된다. IG Server의 경우 RSU 담당자에게 본 시스템을 활용할 수 있도록 View를 제공하며, 담당자는 View를 통하여 IG Server에 명령을 내리고 이를 수행한다. IG Server에서 DB를 두어 블록체인 네트워크 저장을 하고 캐싱을 통해 더욱 빠르게 listing, query등의 데이터를 처리할 수 있도록 도와주는 역할을 한다. 각 블록체인 네트워크의 분산화, 성능, 안정성을 위해 n개의 물리적인 서버 또는 Peer에서 네트워크를 관리하고 있으며 조직이 1개이므로 서버와 조직과 함께 Orderer 2개를 할당한다. 이를 통해 Peer에 장애가 발생하더라도 문제 없도록 구성하였다.

표 2. 도커 컨테이너 사용자

Table 2. Users of docker container

User	Docker container
RSU	orderer0, orderer1
vehicle 1	peer0, ca
vehicle 2	peer1, orderer
vehicle 3	peer2
vehicle n	peer n

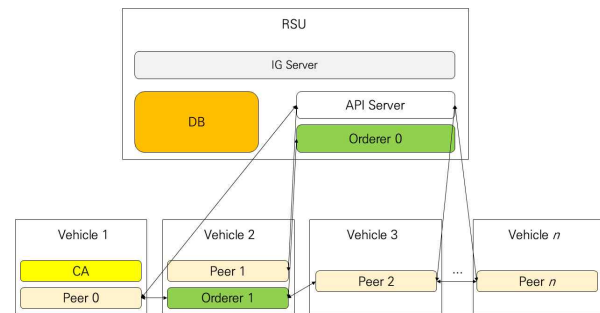


그림 6. 도커 컨테이너 간 관계
Fig. 6. Relationship of docker containers

그림 7은 프로그램상 실제로 동작하는 프로토타입 블록체인 네트워크의 개념적 구성도이다. 본 시스템을 구성하는 블록체인 네트워크의 경우, Orderer Channel을 통해 네트워크 및 구성요소를 관리하고 IG Channel을 통해 블록체인 네트워크를 활용한다. 각 Peer들은 Orderer Channel 및 IG Channel에 연계되어 있다. 각 Peer들은 Hyperledger Fabric API Server를 통해서 본 네트워크를 활용하게 된다. 본 연구에서 적용 하려고 하는 인프라 가이드스의 구간은 한 곳이므로 하나의 각 Peer의 접근과 서명을 관리하는 CA를 둔다. Orderer Channel은 두개의 Orderer가 관리하고 있으며, Peer를 등록하여 관리하는 역할을 한다. IG Channel은 하나의 조직이 관리 및 활용한다. 본 채널에서 발생한 데이터는 본 채널의 가입자만 접근할 수 있기 때문에 인프라 가이드스에서 이를 활용하기 위한 차량은 미리 가입을 해 둔다. 이를 통해 IG Channel은 private 데이터, Orderer Channel은 그 외의 시스템을 관리하여 데이터의 기밀이 유지될 수 있도록 한다. 개별 Peer는 체인코드 및 원장(Ledger)를 가진다. 체인코드는 합의를 통하여 보안/신뢰를 얻을 수 있는 역할과 모든 데이터를 보유하며, 원장은 합의된 데이터를 관리하고 필요시 검색을 통해 데이터를 찾는다.

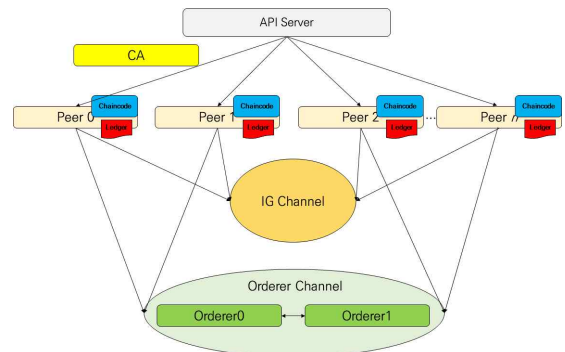


그림 7. 프로토타입 블록체인 네트워크 다이어그램
Fig. 7. Blockchain network diagram of prototype

4-5 프로토타입 시나리오

그림 8은 인프라 가이드스 환경이 설치된 회전교차로에서의 프로토타입의 시나리오이며, 표 3은 활용되는 개별 객체들의 설명을 보여준다. 녹색 차량이 시나리오의 중심이 되는 에고(ego) 차량이며, 실선 원의 인프라 가이드스 구간을 통과하기 전부터 통과 후를 그림 2에서의 단계에 따라 주행한다. 인프라 가이드스 구간에 진입시 RSU와 통신을 하고 흰색 차량과 협력주행을 수행한다. 에고 차량은 1단계에서 위치, 속도, 방향 등의 본인의 정보와 주변 장애물 등의 정보 수집을 하고 인프라 가이드스 진입시 RSU는 참여를 요청하고, 차량은 수집한 정보를 포함한 협력인지 메시지를 RSU에 전달한다. 구간 내의 모든 차량으로부터 전달 받은 정보를 토대로 최적 주행 경로 차량에게 전달하며, 차량은 확인 후 승인하고 다시

RSU에게 확인 메시지를 전달하면, RSU도 승인, 이를 블록화하여 네트워크에 추가한다. 최종적으로 블록화한 정보를 차량에게 전달하여 저장시키며, 필요시 재진입 요청시에 다시 전달한다.

표 3. 프로토타입 객체 역할

Table 3. Role of prototype objects

Role	Definition
Vehicle	Data management, release (On-chain submission), retrieval
RSU	Saving social data into Database, Keeping the original hash value
Hyperledger Fabric	Committing transactions to distributed ledgers
Database	Saving the meta information

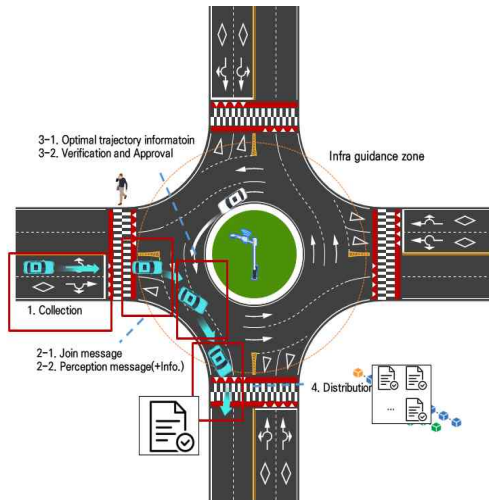


그림 8. 프로토타입 동작 시나리오

Fig. 8. Operation scenario of prototype

4-6 프로토타입 동작

본 프로토타입은 그림 8의 시나리오에 기반하여 작성한 Chaincode에 따라 그림 9와 같이 동작한다. 모든 기능에 대하여 수행절차마다 함수기반으로 호출 및 응답한다. 주요 구성요소로는 차량을 나타내는 Peer, 데이터를 관리하고, 블록화하여 저장하며, 하이퍼렛츠 패브릭에 접근할 수 있는 RSU, 제안을 시뮬레이션을 통한 유효성을 확인하는 Endorser peer, Peer와 연동하여 블록을 배포하는 Orderer로 이루어져 있다. 또한 각 Peer들은 합의를 위해 Community member와 RSU는 블록화를 실행하는 Committing peer 역할을 할 수 있다. RSU는 각 Peer에게 참여 메시지를 전달하고, 각 Peer는 참여 동의와 센서에서 수집된 정보가 포함된 협력 인지 메시지를 RSU로 전송한다. RSU는 수집된 차량 정보와 RSU에서 수집된 정보를 통해 최적 주행 궤적 정보를 도출하고, 각 Endorser peer에게 전달해주어 블록화에 대한

시뮬레이션을 하고 이상이 없으면 RSU는 확정된 최적 주행 궤적 정보를 가이드스 메시지에 포함시켜 Peer에게 전송한다. Peer는 Community member처럼 확인이 되어 가이드스 메시지를 확인하여 최적 주행 궤적 정보에 대해 승인을 하고 메시지 수신 여부를 포함한 확인 메시지에 전송하여 RSU로 전송한다. 각 차량의 주행 궤적 정보는 모두 하나의 트랜잭션이 되며, 확인 메시지를 통해 RSU는 초기 정보와 달라졌는지 비교를 하고 문제없음이 확인이 되면 승인하며, 승인된 정보들을 블록화하여 블록체인 네트워크에 추가한다. 블록 생성 후 생성 되었다는 확인 메시지를 RSU에게 보내며, RSU에서 최종적으로 승인을 하고 해당 정보에 대해 기록한다. 블록화된 정보를 본래 Peer에게 전달하며, Peer가 본인의 구간 주행 궤적 정보를 재확인하고 싶을 때 요청하여 해당 정보 배포 받을 수 있다. 본 절차는 인프라 가이드스 매주기이자, 블록 생성 주기 t 마다 반복적으로 진행된다.

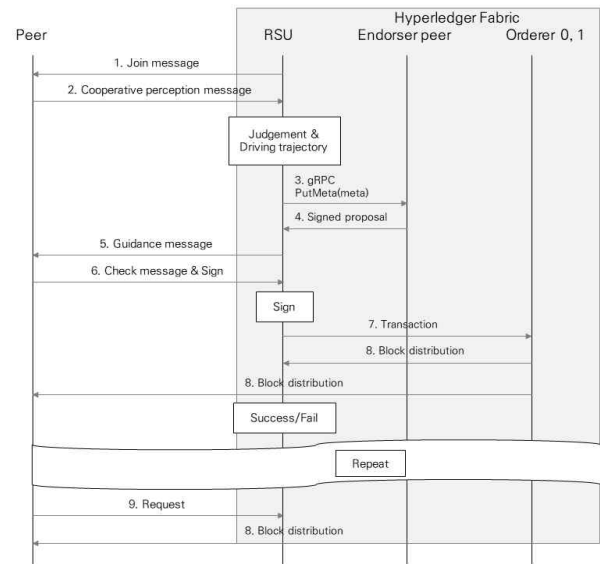


그림 9. 프로토타입 동작

Fig. 9. How prototype works

V. 결론

첨단 기술의 발전은 도로 인프라와 자동차 모두를 진화시켜 더욱 효율적이고 안전한 도로교통 환경 구현에 중요한 역할을 하고 있다. 대부분의 차량들은 이미 무선통신 기능을 가지고 있어 다양한 차량의 상태, 주행기록 정보를 제조사에 제공하고, 소유주에게는 시동, 잠금장치의 원격 동작 서비스를 제공하고 있다. 자율주행을 포함하는 미래 자동차 기술에는 더 많은 데이터 교환을 기반으로 하는데 DDoS 공격, 해킹, 위조와 같은 데이터 위협에 노출되어 있는 것이 사실이다.

블록체인은 체인으로 연결된 연속적인 데이터 레코드를 포함하는 분산 공개 원장 방식으로, 중앙 서버에 의존하지 않고,

합의 작업을 채택하며 신뢰할 수 있도록 분산 저장소에 데이터를 불변하게 기록할 수 할 수 있기 때문에 데이터 공유 보안에 활용된다. 본 연구에서는 인프라-차량 데이터 공유체계에서 공유 데이터의 투명성과 신뢰성을 확보하기 위하여, 인프라와 차량이 실시간 통신으로 교통류를 최적화하는 기술인 인프라 가이드스가 설치된 환경에서 블록체인 기술을 적용한 주행 궤적 정보 공유 방법과 구현을 위한 프로토타입 설계를 제안하였다.

시스템의 동작 절차는 센서 수집 및 차량-RSU 간 통신, 최적 주행 궤적 정보 생성 및 전달, 승인 및 블록화, 블록화된 데이터의 분산으로 총 4단계로 설계되었다. 인프라-차량 데이터 공유체계에 블록체인을 적용하기 위한 대상으로 선택한 인프라 가이드스 환경에서 인프라와 차량으로부터 주변 도로 환경 및 차량의 정보를 수집하여 인프라는 차량들의 최적 주행 궤적 정보가 포함된 가이드스 메시지를 생성하여 각각의 차량에게 전달한다. 가이드스 메시지를 받은 차량은 승인 및 확정 메시지를 인프라로 전송하며 이를 블록화하여 기록하고 분산저장 한다. 이를 통해 정보에 대한 투명성과 신뢰성을 보장하도록 하였다. 또한 블록체인 네트워크가 구성되는 프로토타입에 대한 설계함으로써 인프라 가이드스 환경에서 도로교통 환경으로부터 수집된 데이터의 승인을 통해 원장에 기록할 내용에 대해 합의로 해당 시스템의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 결과적으로, 인프라 가이드스 환경에 블록체인 기술 적용을 통해 인프라와 차량간의 공유 데이터에 대한 투명성과 신뢰가 확보되므로 교통사고와 같은 책임을 구분하는 문제 발생시 조작 및 변조할 수 없는 데이터를 상호 공유하므로 신뢰를 가지고 인프라와의 소통에 참여하게 될 것으로 기대된다.

본 연구의 범위는 인프라 가이드스 환경에서 참여하는 차량이 신뢰할 수 있는 데이터 공유체계를 위하여 블록체인을 활용한 주행 궤적정보 공유 방법과 구현을 위한 프로토타입 설계의 제안까지로 정하였지만, 실제 도로교통 환경에서의 검증이 필요할 것으로 보인다. 항상 실제 도로교통 환경에서는 예상과 다른 상황이 발생할 수 있고, 프로토타입 동작 단계별 성능에 대한 검증이 이루어져야 비로소 실제 적용이 가능하기 때문이다.

도로교통 환경에서 블록체인 기술을 조작없는 주행 궤적 데이터의 보안에 적용하였지만 차량간, 차량과 인프라간 통신은 계속 늘어날 것이므로 적용 분야는 계속 확대될 것으로 보인다. 본 연구는 향후 분산화된 데이터 공유 상황에서 참여자에게 신뢰를 주어야 하는 체계 설계에 사례로 공헌할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 RS-2022-00142565).

참고문헌

- [1] S. S. Ahn, J.-B. Lee, J. J. Kim, Y.-H. Sohn, and H.-M. Koo, "A Study on the Design of the Import/Export Ports Cyber-Physical System for Intelligent Vehicle," *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 22, No. 12, pp. 25-31, December 2021. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.12.25>
- [2] H. Jun, I. Yang, H. Kim, J. Lee, S.-K. Kim, and J. Jang, "A Study on Methodology to Develop Use Cases of Infra-Guidance Service for Connected and Automated Driving," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 23, No. 7, pp. 1331-1340, July 2022. <https://doi.org/10.9728/dcs.2022.23.7.1331>
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. MOLIT Statistics System [Internet]. Available: <https://stat.molit.go.kr>.
- [4] R. Xing, Z. Su, N. Zhang, Y. Peng, H. Pu, and J. Luo, "Trust-Evaluation-Based Intrusion Detection and Reinforcement Learning in Autonomous Driving," *IEEE Network*, Vol. 33, No. 5, pp. 54-60, September-October 2019. <https://doi.org/10.1109/MNET.001.1800535>
- [5] Y. Liu, K. Wang, Y. Lin, and W. Xu, "LightChain: A Lightweight Blockchain System for Industrial Internet of Things," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 15, No. 6, pp. 3571-3581, June 2019. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2904049>
- [6] J. Huang, L. Kong, G. Chen, M.-Y. Wu, X. Liu, and P. Zeng, "Towards Secure Industrial IoT: Blockchain System with Credit-Based Consensus Mechanism," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 15, No. 6, pp. 3680-3689, June 2019. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2903342>
- [7] Y. Wang, Z. Su, and N. Zhang, "BSIS: Blockchain-Based Secure Incentive Scheme for Energy Delivery in Vehicular Energy Network," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 15, No. 6, pp. 3620-3631, June 2019. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2908497>
- [8] S. Wani, M. Imthiyas, H. Almohamedh, K. M. Alhamed, S. Almotairi, and Y. Gulzar, "Distributed Denial of Service (DDoS) Mitigation Using Blockchain—A Comprehensive Insight," *Symmetry*, Vol. 13, No. 2, 227, January 2021. <https://doi.org/10.3390/sym13020227>
- [9] A. Buzachis, A. Celesti, A. Galletta, M. Fazio, and M. Villari, "A Secure and Dependable Multi-Agent Autonomous Intersection Management (MA-AIM) System Leveraging Blockchain Facilities," in *Proceedings of 2018 IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing Companion (UCC Companion)*, Zurich, Switzerland, pp. 226-231, December 2018. <https://doi.org/10.1109/UCC-IC3.2018.00027>

- 0.1109/UCC-Companion.2018.00060
- [10] C. Oham, R. Jurdak, S. S. Kanhere, A. Dorri, and S. Jha, "B-FICA: Blockchain Based Framework for Auto-Insurance Claim and Adjudication," in *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, Halifax, Canada, pp. 1171-1180, July-August 2018. https://doi.org/10.1109/Cybermatics_2018.2018.00210
- [11] G. Rathee, A. Sharma, R. Iqbal, M. Aloqaily, N. Jaglan, and R. Kumar, "A Blockchain Framework for Securing Connected and Autonomous Vehicles," *Sensors*, Vol. 19, No. 14, 3165, July 2019. <https://doi.org/10.3390/s19143165>
- [12] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," *Decentralized Business Review*, 21260, 2008.
- [13] K. J. Ahmed, M. Hernandez, M. Lee, and K. Tsukamoto, "End-to-End Security for Connected Vehicles," in *Proceedings of the 12th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS-2020)*, Victoria, Canada, pp. 216-225, August-September 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-03-0-57796-4_21
- [14] S. Eom, D. Kim, S. Kim, and S. Cho, "A Study on KOREA SCMS Analysis and Improvement Method," *Journal of Auto-Vehicle Safety Association*, Vol. 13, No. 1, pp. 31-37, March 2021. <https://doi.org/10.22680/kasa2021.13.1.031>
- [15] Y. Chen, Z. Lu, H. Xiong, and W. Xu, "Privacy-Preserving Data Aggregation Protocol for Fog Computing-Assisted Vehicle-to-Infrastructure Scenario," *Security and Communication Networks*, Vol. 2018, No. 1, 1378583, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1378583>
- [16] J. Sun, G. Xu, T. Zhang, X. Cheng, X. Han, and M. Tang, "Secure Data Sharing with Flexible Cross-Domain Authorization in Autonomous Vehicle Systems," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 24, No. 7, pp. 7527-7540, July 2023. <https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3157309>
- [17] Y. Wang, Z. Su, K. Zhang, and A. Benslimane, "Challenges and Solutions in Autonomous Driving: A Blockchain Approach," *IEEE Network*, Vol. 34, No. 4, pp. 218-226, July/August 2019. <https://doi.org/10.1109/MNE.2019.1900504>
- [18] L. Zhang, "Key Management Scheme for Secure Channel Establishment in Fog Computing," *IEEE Transactions on Cloud Computing*, Vol. 9, No. 3, pp. 1117-1128, July-September 2021. <https://doi.org/10.1109/TCC.2019.2903254>
- [19] E. Seo and J. Jang, "Design of Driving Record System using Block Chain," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 22, No. 6, pp. 916-921, June 2018.
- [20] J. Kang, M. Cho, and N. Kim, "Research on Blockchain Technology that Can be Applied as an Anonymization Technology for the Health Care Information of Passengers and Drivers in Autonomous Vehicles," in *Proceedings of the 2022 KIIT Summer Conference*, Jeju, pp. 59-61, June 2022.
- [21] A. Biswas and H.-C. Wang, "Autonomous Vehicles Enabled by the Integration of IoT, Edge Intelligence, 5G, and Blockchain," *Sensors*, Vol. 23, No. 4, 1963, February 2023. <https://doi.org/10.3390/s23041963>
- [22] M. Singh and S. Kim, "Blockchain Based Intelligent Vehicle Data Sharing Framework," arXiv:1708.09721, July 2017. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1708.09721>
- [23] X. Chen, J. Ding, and Z. Lu, "A Decentralized Trust Management System for Intelligent Transportation Environments," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 23, No. 1, pp. 558-571, January 2022. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3013279>
- [24] F. Ayaz, Z. Sheng, D. Tian, and V. C. M. Leung, "Blockchain-Enabled Security and Privacy for Internet-of-Vehicles," in *Internet of Vehicles and its Applications in Autonomous Driving*, Cham, Switzerland: Springer, ch. 9, pp. 123-148, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46335-9_9
- [25] SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicles, Author, Warrendale: PA, J3216_202107, July 2021.
- [26] E. Androulaki, A. Barger, V. Bortnikov, C. Cachin, K. Christidis, A. De Caro, ... and J. Yellick, "Hyperledger Fabric: A Distributed Operating System for Permissioned Blockchains," in *Proceedings of the 13th EuroSys Conference (EuroSys '18)*, Porto, Portugal, 30, April 2018. <https://doi.org/10.1145/3190508.3190538>
- [27] D. Ongaro and J. Ousterhout, J, "In Search of an Understandable Consensus Algorithm," in *Proceedings of the 2014 USENIX Conference on USENIX Annual Technical Conference (USENIX ATC '14)*, Philadelphia: PA, pp. 305-320, June 2014. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/52643634.2643666>



김선겸(Sun-Kyum Kim)

2010년 : 세종대학교 컴퓨터공학(학사)
2012년 : 연세대학교 컴퓨터과학(석사)
2016년 : 연세대학교 컴퓨터과학(박사)

2016년~2017년: 한국건설기술연구원 박사후연구원
2017년~2019년: 한국과학기술정보연구원 박사후연구원
2019년~2020년: 차세대융합기술연구원 선임연구원
2020년~현 재: 한국건설기술연구원 수석연구원
※ 관심분야 : 모바일 컴퓨팅, 데이터 분석, 블록체인



김형수(Hyoungsoo Kim)

1990년 : 인하대학교 건축공학(학사)
1995년 : 연세대학교 건축공학(석사)
2007년 : Univ. of Maryland at College Park, US(박사)

1995년~1999년: 한국건설기술연구원 연구원
2008년~현 재: 한국건설기술연구원 연구위원
※ 관심분야 : 교통운영, 자율주행, ITS, 시뮬레이션