

자동차 보안을 위한 블록체인 기반의 데이터 공유 기법 연구 동향

경보희¹, 오현영^{2*}

¹가천대학교 AI 소프트웨어학부 학부생

²가천대학교 AI 소프트웨어학부 교수

{kb8903, hyoh}@gachon.ac.kr

A Survey on Blockchain-based Secure Data Sharing Techniques for Vehicular Networks

Bo-Hee Kyoung, Hyunyoung Oh
Dept. of AI · Software, Gachon University

요 약

본 논문은 자동차에서의 안전한 데이터 저장 및 공유 기술에 대한 최근 동향을 조사한다. 블록체인 기술을 이용한 데이터 관리 방식을 중점적으로 살펴보고, 비동기식 연합학습, 컨소시엄 블록체인, 엣지 컴퓨팅 결합 등의 접근법을 분석한다. 이러한 기술들이 데이터 무결성, 프라이버시 보호, 시스템 효율성 향상에 기여함을 확인하고, 향후 연구 방향과 과제를 제시한다.

1. 서론

최근 자율주행자동차와 같은 지능형 차량의 발전으로 인해 자동차 네트워크에서 데이터의 활용이 크게 증가하고 있다. 스마트 차량은 도로 상태, 교통량, 사고 보고서 등 다양한 정보를 감지할 수 있는 여러 센서와 무선 통신 모듈을 탑재하고 있어 생성되는 데이터의 양이 방대하다[1]. 이러한 데이터의 안전한 공유는 안전한 주행 환경 구축, 교통 접근성 향상, 편안한 운전 경험 제공 등에 필수적이다.

그러나 차량 간 데이터 공유 과정에서 개인정보 유출, 데이터 무결성 훼손 등 보안 및 프라이버시 위협이 존재한다[2]. 기존의 중앙 집중식 데이터 관리 방식은 단일 장애점 문제와 확장성 한계가 있어 이를 해결하기 위한 분산형 아키텍처가 주목받고 있다. 특히 블록체인 기술은 데이터의 보안성과 무결성을 제공하고 참여 주체 간 신뢰를 구축할 수 있어 자동차 네트워크의 데이터 공유에 적합한 솔루션으로 평가받고 있다[3].

본 논문에서는 자동차 보안을 위해 블록체인을 기반으로 한 데이터 공유 기술에 대한 최근 연구 동향을 살펴보고자 한다. 먼저 이 분야의 주요 문제점들을 파악하고, 이를 해결하기 위해 제안된 여러 방법들을 소개한다. 또한 블록체인 기반 데이터 공유 시스템의 설계 고려사항과 향후 연구 방향에 대해 논의

한다.

2. 자동차 데이터 저장 및 공유의 과제

2.1 중앙집중화 문제

기존의 자동차 네트워크에서는 차량 데이터를 클라우드 서비스 플랫폼의 중앙 데이터베이스에 저장하고 관리했다. 그러나 차량 간 데이터 공유가 증가할수록 데이터 저장에 대한 요구사항이 높아지고 있다[1]. 이러한 중앙 집중형 방식은 악성 공격에 취약하며 단일 장애점 (Single Point of Failure) 문제가 있다. 대규모 데이터 유출이나 시스템 장애 시 전체 네트워크에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

2.2 보안 및 프라이버시 위협

차량 간 무선 통신을 통한 데이터 공유는 쉽게 모니터링되고 위조될 수 있어 차량의 안전성과 사용자의 프라이버시에 심각한 위협이 된다[2]. 악의적인 공격자가 위조된 데이터를 전송하여 정상적인 데이터 전송을 방해하거나 잘못된 정보를 제공할 경우 교통 사고로 이어질 수 있다. 이로 인해 데이터 제공자들은 보안 및 프라이버시 문제를 우려하여 데이터 공유를 꺼리게 될 수 있다.

2.3 무결성과 효율적인 공유

차량들은 신뢰할 수 없는 환경에서도 데이터를 효율적으로 공유해야 하는 상황이 존재한다. 예를 들어

* 교신저자

교통사고, 도로 상태 경고, 응급 차량의 신속한 이동을 위한 정보 공유 등이 있다. 이때 위조된 정보가 공유되거나 네트워크 과부하 등의 문제가 발생할 수 있어 데이터의 무결성 보장과 효율적인 공유 방안이 필요하다[3].

3. 최근 접근 방식 및 해결책

3.1 블록체인 기술의 도입

블록체인은 분산 원장 기술을 기반으로 데이터의 무결성과 신뢰성을 보장하는 기술이다. Lu et al.[2]은 블록체인 기반의 비동기식 연합학습 프레임워크를 제안하여 데이터 공유의 효율성과 보안성을 향상시켰다. 이 프레임워크는 엣지 층, 합의 층, 신뢰 기관 층으로 구성된다. 엣지 층에서는 차량들이 로컬 데이터로 모델을 학습하고, 학습된 모델 파라미터만을 블록체인에 업로드한다. 합의 층에서는 개선된 위임지분증명(Delegated Proof of Stake, DPoS) 알고리즘을 사용하여 효율적으로 블록을 생성하고 검증한다. 이 방식은 차량 간 직접적인 데이터 공유 없이 모델 파라미터만을 교환하여 프라이버시를 보호하면서도 협력적 학습이 가능하다. 실험 결과, 이 프레임워크는 기존의 동기식 연합학습 방식에 비해 20% 이상 향상된 학습 정확도와 30% 감소된 통신 오버헤드를 보였다.

3.2 컨소시엄 블록체인 활용

Zhang and Chen[3]은 컨소시엄 블록체인 기반의 데이터 공유 및 저장 시스템(Distributed Secure Storage with Consistency and Confidentiality Based on Blockchain, DSSCB)을 제안했다. DSSCB는 타원 곡선 암호화를 이용한 디지털 서명 기법으로 데이터 무결성을 보장하고, 분산 파일 시스템(InterPlanetary File System, IPFS)을 활용하여 대용량 데이터를 효율적으로 저장한다. DSSCB의 주요 구성 요소는 차량 노드, 노변 유닛(Road Side Unit, RSU), 컨소시엄 블록체인이다. 데이터 공유 과정은 차량이 데이터를 수집하고 서명한 후, RSU를 통해 검증되어 IPFS에 저장되고 블록체인에 기록되는 순서로 진행된다. 실용적 비잔틴 장애 허용(Practical Byzantine Fault Tolerant, PBFT) 합의 알고리즘을 적용하여 높은 처리량과 빠른 트랜잭션 확정을 달성했다. 실험 결과, DSSCB는 기존 시스템에 비해 데이터 확인 시간을 약 6배 단축시키고, 전송 효율을 83.33% 향상시켰다.

3.3 엣지 컴퓨팅과의 결합

Cui et al.[4]은 엣지 컴퓨팅과 블록체인을 결합한 Vehicle-to-Vehicle (V2V) 데이터 공유 방식을 제안했다. 5G 통신 기술을 활용하여 RSU 없이도 차량 간 직접 데이터 공유가 가능하도록 했다. 이 시스템은 엣지 레이어, 합의 레이어, 신뢰 기관 레이어로 구성된다. 신뢰 점수 모델을 도입하여 데이터 제공자의 신뢰도를 평가하고, 이를 바탕으로 개선된 DPoS 합의 알고리즘을 설계했다. 실험 결과, 제안된 시스템은 기존 방식에 비해 트랜잭션 처리 속도를 약 40% 향상시키고, 데이터 공유의 신뢰도를 20% 이상 개선하였

다.

3.4 인센티브 메커니즘

데이터 공유 참여를 촉진하기 위해 다양한 인센티브 메커니즘이 제안되었다. Zhang and Chen[3]의 DSSCB 시스템에서는 스마트 계약을 통해 데이터 제공에 대한 보상으로 데이터 코인을 지급한다. Cui et al.[4]의 방식에서도 차량 코인을 통한 보상 체계를 구현했다. 이 시스템에서는 데이터 공유뿐만 아니라 블록체인 유지에 대한 보상도 제공한다. 이러한 인센티브는 양질의 데이터 공유를 장려하고 전체 시스템의 신뢰도를 높이는 데 기여한다. 실험 결과, 인센티브 메커니즘 도입 후 데이터 공유 참여율이 약 50% 증가하고, 공유된 데이터의 품질도 30% 이상 향상되었다.

4. 결론

블록체인 기술은 자동차 네트워크에서 안전하고 효율적인 데이터 공유를 위한 유망한 솔루션으로 평가받고 있다. 비동기식 연합학습, 컨소시엄 블록체인, 엣지 컴퓨팅 결합 등의 접근 방식은 데이터 무결성, 프라이버시 보호, 효율성 향상에 기여한다. 인센티브 메커니즘 도입으로 데이터 공유 참여율과 품질이 향상되었지만, 안정적인 네트워크 유지와 대용량 데이터 처리 등의 과제가 남아있다.

향후 연구에서는 이러한 문제 해결을 위한 기술 개발과 실제 환경에서의 검증이 필요하다. 블록체인 기반 데이터 공유 기술은 미래 모빌리티 서비스의 핵심 인프라로 전망되며, 보안성, 효율성, 확장성을 고려한 균형 잡힌 연구 개발이 지속되어야 할 것이다.

사사문구

이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국 산업기술기획평가원의 지원(No. RS-2024-00406121, 자동차보안취약점기반위협분석시스템개발(R&D))과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. RS-2022-00166529)을 받고 과기정통부 정보통신기획평가원의 정보보호핵심원천기술개발사업(No. RS-2024-00337414)으로 수행한 결과임.

참고문헌

- [1] Muhammad Umar Javed et al., "Blockchain-Based Secure Data Storage for Distributed Vehicular Networks," *Applied Sciences*, 2011
- [2] Yunlong Lu et al., "Blockchain Empowered Asynchronous Federated Learning for Secure Data Sharing in Internet of Vehicles," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2020
- [3] Xiaohong Zhang and Xiaofeng Chen, "Data Security Sharing and Storage based on a Consortium Blockchain in a Vehicular Ad-Hoc Network," *IEEE Access*, 2019
- [4] Jie Cui et al., "Secure and Efficient Data Sharing among Vehicles based on Consortium Blockchain," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021