

# 자율주행 차량용 인공지능이 공유 저장소 시스템에 발생시키는 I/O 분석

<sup>1</sup>노경희\* <sup>1</sup>김양기\*\* <sup>1</sup>이재혁\*\* <sup>2</sup>이종인 <sup>2</sup>진상화\* <sup>1</sup>이동헌

<sup>1</sup>고려대학교 수학과 <sup>2</sup>삼성전자 기술기획팀 M-Square Lab

rkh97@naver.com, wheresmadog@gmail.com, jaehyeokbear@gmail.com,

jjwhd.lee@samsung.com, shwa.jin@samsung.com, holy@korea.ac.kr

## I/O Workload Analysis of AI Applications for Autonomous Vehicles with Shared Storage

<sup>1</sup>Kyunghee Roh\* <sup>1</sup>Yanggee Kim\*\* <sup>1</sup>Jaehyuk Lee\*\* <sup>2</sup>Jongin Lee <sup>2</sup>Sanghwa Jin\* <sup>1</sup>Donghun Lee

<sup>1</sup>Korea University, Department of Mathematics

<sup>2</sup>Samsung Electronics Technical Planning Team M-Square Lab

### 요약

이 논문은 자율주행 차량 내 공유 저장소 시스템에서 나타날 수 있는 I/O 작업 패턴과 이에 대응하는 저장 장치의 응답 특성을 분석한다. 특히 자율주행 관련 AI 모델로 SAM, OpenCOOD 및 V2VNet을 선정하고, 이들이 발생시키는 데이터 읽기 및 쓰기 작업의 빈도와 지연시간 변동성을 분석했다. 이러한 분석은 각 모델의 데이터 처리 요구 사항에 기반하여 실험적으로 저장 장치의 성능을 최적화하는 방향을 제시하며, 이를 기반으로 공유 저장소 시스템을 개선하여 자율주행 차량이 요구하는 실시간성을 유지하는 데 사용될 수 있다.

## 1. Introduction

자율주행 기술의 급속한 발전은 도로 안전 개선, 교통 체증 완화, 그리고 운전 경험의 전반적인 향상에 기여하고 있다. 이러한 기술의 핵심에는 첨단 인공지능 알고리즘이 자리 잡고 있으며, 이 알고리즘은 실시간으로 수집되는 센서 데이터를 기반으로 안전 운전을 위한 결정을 내린다. 자율주행 차량이 방대한 양의 센서 데이터를 실시간으로 처리하고 분석하기 위해서는 고성능의 데이터 입출력(I/O) 분석이 필수적이다. 이를 위해 고성능 공유 저장소 시스템을 통해 대량의 데이터를 저장하고 접근함으로써 실시간 처리 기능을 효율적으로 지원하는 것이 가능하다. 따라서 본 연구는 자율주행 차량 관련 인공지능 알고리즘에서 발생하는 고유한 데이터 I/O 패턴을 분석하고 이해하여, 자율주행 차량의 실시간 데이터 처리 요구를 충족하는 공유 저장소 시스템을 구성하는 데에 도움이 되고자 한다.

## 2. Background

### 2.1. 공유 저장소 시스템과 자율주행

공유 저장소 시스템은 그림 1과 같이 여러 시스템이나 애플리케이션이 하나의 데이터 저장 공간에 접근할 수 있도록 하는 저장 구조이다. 자율주행 차량에서 다양한 센서로부터 방대한 양의 실시간 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 공유

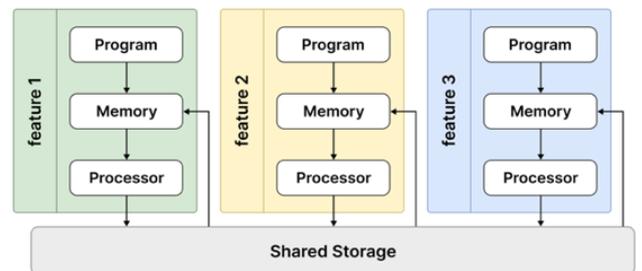


그림 1: 공유 저장소 운영 모식도

저장소 시스템 중앙에서 관리한다면, 데이터 중복을 줄이고 시스템의 효율성을 높일 수 있다. 또한, 공유 저장소 시스템은 자율주행 차량 내 여러 애플리케이션이 동일한 데이터에 접근할 수 있도록 함으로써, 각 애플리케이션 간의 데이터 일관성을 유지하고 상호 운용성을 높인다 [1].

### 2.2. 인공지능 알고리즘 I/O 패턴 분석의 중요성

자율주행 관련 인공지능 알고리즘의 I/O 패턴은 차량의 저장 장치 성능 최적화에 중요하다. 차량이 수집하는 데이터는 그 종류와 양이 매우 다양하며, 도로 상태와 교통 상황 같은 외부 요인들이 센서 데이터 I/O 패턴에 큰 영향을 준다. 자율주행 차량에서는 특히 인공지능 알고리즘들이 추가적인 I/O를 발생시키므로, 이 패턴을 정밀하게 분석하는 것은 자율주행 차량의 실시간 반응성 향상을 위해 필수적이다 [2]

이 논문은 2023년도 삼성전자 메모리사업부 지원을 받아 수행된 연구임

\* Equal Contribution

† 저자들이 고려대학교 수학과 소속일 당시 진행한 연구임

### 2.3. 분석한 자율주행 관련 AI 알고리즘

#### 2.3.1. SAM

Meta가 개발한 SAM(Segment Anything Model)은 이미지 내 다양한 객체를 동시에 식별하고 분류하는 근간 모델이다 [3]. 이 모델은 도로 상황, 교통 표지판, 보행자, 차량 등을 실시간으로 감지하고 분석하는 인공지능 소프트웨어를 구성하는데 사용할 수 있다. 본 연구에서는 자율주행 차량의 단독 주행 시 동작하는 AI사용 예시로서 SAM을 선택했다.

#### 2.3.2. OpenCOOD + V2VNet

OpenCOOD(COoperative Object Detection) 모델은 차량 간(V2V) 및 차량과 인프라 간(V2I) 통신을 활용해 데이터를 공유하고 협력적으로 객체를 탐지하는 상황을 시뮬레이션 할 수 있는 소프트웨어다. 본 연구에서는 OpenCOOD 모델과 함께 차량 간 정보를 실시간으로 공유하고 통합해 자율주행을 실행하는 V2VNet 모델 [4]을 자율주행 차량들의 협력 주행 상황의 AI 사용 예시로 선택했다. 이 두 모델을 통합하면 개별 차량의 센서로는 포착하기 어려운 정보까지 포함시켜 환경 인식을 강화하여, 자율주행 차량이 도로 상황을 더 효과적으로 인식하게 하는 차세대 자율주행 시나리오와 연관하다 [5].

#### 2.4. 자율주행 시스템에서 Q2D 및 D2C 지연시간

Q2D(Queue to Device) 지연시간은 읽기/쓰기 명령이 소프트웨어를 떠나 운영체제에서 머무르는 시간을 나타내고, D2C(Device to Complete) 지연시간은 운영체제를 떠나 드라이버로 보내진 뒤부터 완료될 때까지 걸리는 시간을 나타낸다 [6]. 이 두 지연시간은 시스템의 반응 속도에 직접적으로 영향을 미치며, 지연시간이 길어질수록 시스템의 작업 처리 속도가 지연될 수 있다. 특히 자율주행 차량과 같이 실시간 데이터 처리가 필수적인 시스템에서는 지연시간 및 그 변동성을 최소화하여 신속하고 일관된 성능을 유지하는 것이 중요하므로 [7], 본 연구에서는 지연시간의 변동성을 분석하여 자율주행 차량의 안정성에 중요한 영향을 주는 특성을 예측하고자 한다. 본 논문에서는 각 지연시간의 표준편차를 지연시간의 변동성을 판단하는 척도로 삼고, 이를 통하여 표준편차 값이 늘어나면 I/O작업의 지연시간의 변동성이 커질 수 있다는 것을 보이려고 한다.

### 3. Experiment

#### 3.1. I/O패턴 수집 방법

이 연구에서는 SAM, OpenCOOD, 그리고 V2VNet 모델들의 구동환경을 dockerize하여 독립화 시킨 뒤, 이를 실행했을 때 host머신의 저장장치에 나타나는 I/O 패턴을 blktrace를 사용하여 수집하였다. 자율주행 차량의 개별 모듈들이 독립적으로 운용되지만, 공동 저장소를 사용하는 환경을

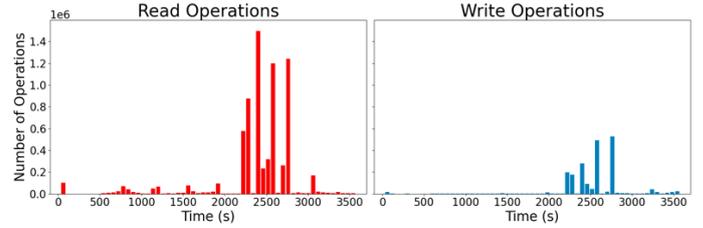


그림 2 : SAM 모델 읽기와 쓰기 작업 횟수

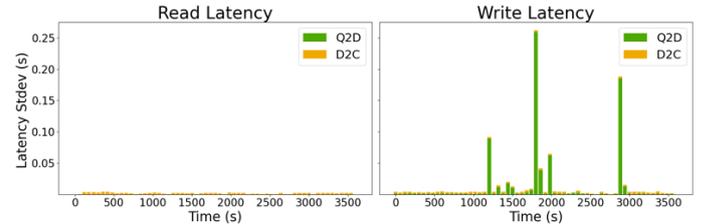


그림 2 : SAM 모델 구동 I/O 지연시간 표준편차

모사하기 위하여 위와 같은 형태로 구성하였다. 이를 실행한 뒤 두 가지 AI모델 시나리오를 3600초간 작동시켜 그 동안의 I/O 패턴의 로그를 기록하고 분석을 진행하였다.

### 3.2. I/O패턴 및 저장소 응답특성 분석 결과

#### 3.2.1. SAM

그림 2는 SAM모델을 3600초 동안 구동될 때의 읽기/쓰기 작업 수를 60초 간격으로 집계하여 시각화한 것이다. 이 그래프를 통해 읽기 작업이 쓰기 작업보다 더 자주 발생한다는 것을 확인할 수 있으며, 두 작업 모두 시간이 흐른 뒤 작업 수가 급격히 증가한다는 것을 보여준다. SAM모델은 이미지의 segmentation을 시행하는 모델로서 이미지 데이터를 읽는 과정에서 발생하는 읽기 작업이 많으며, 쓰기 작업의 경우는 어느정도 시간이 흐른 뒤에 발생하는 것을 볼 수 있었다.

그림 3은 SAM모델을 구동하며 읽기/쓰기 I/O작업을 다양하게 발생시키는 3600초 동안의 I/O지연시간 데이터들을 60초 간격으로 모아 그 표준편차들을 계산한 값들의 분포를 나타낸다. 특히, D2C 지연시간의 표준편차들이 읽기/쓰기 모두 일관되게 낮게 나오는 현상이 관찰되는데, 이는 저장장치가 일관되게 안정적인 성능을 제공하고 있음을 나타낸다. 반면 Q2D 지연시간의 경우, 쓰기 작업의 지연시간 표준편차가 상대적으로 읽기 작업 대비 크게 드러나며, 최대 0.25초까지 관측되었다. 이는 쓰기작업을 완료까지 걸리는 시간의 안정성을 운영체제 단계에서 개입할 수 있음을 시사하고 있다.

#### 3.2.2. OpenCOOD + V2VNet

그림 4는 3600초 동안 OpenCOOD 및 V2VNet 모델을 실행했을 때의 읽기 및 쓰기 작업 수를 60초 간격으로

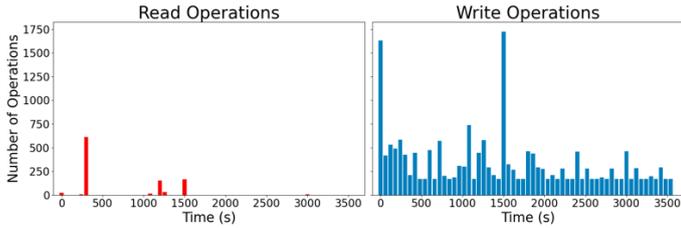


그림 4 : OpenCOOD+ V2VNet 모델 읽기와 쓰기 작업 횟수

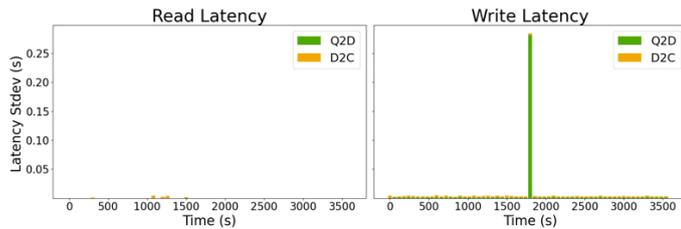


그림 3: OpenCOOD+ V2VNet 모델구동 I/O 지연시간 표준편차

집계하여 시각화한 것이다. 이 그래프에서는 쓰기 작업이 읽기 작업보다 현저히 많은 것을 확인할 수 있다. 이는 OpenCOOD 모델이 주로 센서 데이터를 기반으로 주변 환경을 해석하고 객체를 탐지하는 작업을 수행하기 때문이다. V2VNet 모델은 차량 간 네트워크를 통해 주변 차량과 정보를 실시간으로 공유하기 때문에 높은 쓰기 비율이 나타나는데, 이는 차량 간에 교환되는 많은 양의 정보를 각 차량의 로컬 저장장치에 기록해야 하는 필요성에서 비롯된다.

그림 5에서 Q2D와 D2C 지연시간이 전반적으로 매우 낮은 것을 확인할 수 있다. 하지만 쓰기 작업에서 Q2D 지연시간의 표준편차가 급격히 커지는 구간이 존재한다. 이는 스토리지 장치의 성능이나 구조의 문제보다는 외부 요인이나 시스템 환경의 영향을 받은 것으로 보인다. 이는 자율주행 차량의 전체 시스템을 구현할 때 네트워크 부하, 데이터 처리량, 백그라운드 작업의 최적화 등 시스템 전반에 걸쳐 여러 측면에서 지연시간을 관리해야 함을 시사한다.

#### 4. Discussion

그림 2에 따르면 SAM 모델은 대량의 I/O가 발생하며 좀 더 많은 읽기와 후반부의 쓰기 작업이 혼합되어 발생하는 반면, 그림 4를 보면 OpenCOOD와 V2VNet 모델은 I/O가 발생빈도는 낮지만, 쓰기 작업의 빈도가 읽기 작업 빈도에 비해 훨씬 많은 경우도 있다. 이를 통해, 모델마다 각 작업의 빈도가 다르므로 어떤 작업을 중점적으로 최적화 해야 하는지 판단할 필요가 있음을 시사한다. 또한, 그림 3와 그림 5에서 두 모델 모두 Q2D 지연시간의 표준편차가 D2C 지연시간의 표준편차 대비 훨씬 크게 나타났다. 이는 실험에 사용한 데이터 저장소에서 읽기 작업과 쓰기 작업 모두 I/O부하에 대하여 굉장히 최적화 되어있다는 것을 보여준다.

본 연구에서 살펴본 AI 모델들은 각기 다른 I/O 부하를 발생시키며, 공유 저장소는 이에 대해 다양한 지연시간

특성을 보인다. 자율주행 차량은 실시간성을 요구하는 여러 모델이 동시에 동작할 수 있어, 자율주행 기능이 많아질수록 더욱 가혹한 I/O 조건이 발생할 가능성이 크다. 따라서 자율주행 차량의 공유 저장소 시스템은 다양한 모델의 I/O 부하에 안정적으로 응답할 수 있도록 설계해야 한다.

이 연구의 한계는 I/O 패턴 및 공유 저장소 응답 특성을 제한된 AI 모델 구동 조건에서만 측정했다는 점이다. 다양한 교통 상황에서의 I/O 변화와 저장장치 성능 변화를 추가적으로 분석한다면 저장소 특성 예측에 더욱 유용할 것이다. 향후 연구에서는 다양한 운행 및 환경 조건에서의 I/O 패턴과 AI 모델을 도입해 공유 저장소의 강인성을 평가하고 저장장치 성능 개선에 도움을 줄 수 있을 것이다.

#### 5. Conclusion

본 연구에서는 자율주행 관련 AI 알고리즘인 SAM, OpenCOOD, V2VNet 모델의 I/O 부하 및 저장장치 응답 지연시간 특성을 분석하였다. 이를 통해 각 AI 모델의 I/O 부하 패턴과 응답특성이 운영체제 및 저장장치 특성에 따라 다름을 확인하였다. 자율주행 차량을 위한 공유 저장소 시스템의 최적화 필요성을 강조하며, 이러한 접근이 데이터 처리 아키텍처 설계 및 최적화에 기여할 수 있음을 기대한다.

#### 참고 문헌

- [1] K. Rieken, "Smart data storage key in autonomous vehicle training," *Automotive World*, 2019.
- [2] H. Review, "Vehicle electronic control units for autonomous driving in safety and comfort," *Hitachi Review*, 2023.
- [3] A. K. a. E. M. a. N. R. a. H. M. a. C. R. a. others, "Segment Anything," *arXiv*.
- [4] T.-H. a. M. S. a. L. M. a. Y. Wang, "{V2VNet}: Vehicle-to-vehicle communication for joint perception and prediction," *Springer*, 2020.
- [5] R. a. N. M. a. K. S. a. K. F. S. Bharadwaj, "Enhancing Novel Object Detection via Cooperative Foundational Models," *arXiv*, 2023.
- [6] A. Busch, "Workload Characterization for I/O Performance Analysis on IBM SYSTEM Z," *Master's thesis*, 2013.
- [7] Z. H. Liu, "Cola: Characterizing and optimizing the tail latency for safe level-4 autonomous vehicle systems," *arXiv preprint arXiv*, 2023.