

양자 기반 자율주행 기술 동향

정재현, 백한결, 박수현, 김중헌
고려대학교

{rupang1234, 67back, soohyun828, joongheon}@korea.ac.kr

Quantum-based Autonomous Driving Technology Trends

Jae Hyun Chung, Hankyul Baek, Soohyun Park, Joongheon Kim*
Korea University.

요약

양자 자율주행은 양자의 특성을 활용하여 안정성을 향상시키는 차세대 자율주행 기술을 나타낸다. 최근 양자를 기반으로 한 자율주행 기술이 주목받고 있으며, 이는 기존 양자 네트워크의 한계를 극복하기 위한 새로운 접근 방식으로 제안되고 있다. 본 논문에서는 기존 자율주행 기술에 대한 선행 연구를 조사하고, 양자를 기반으로 한 자율주행 기술 동향을 살펴볼 예정이다.

I. 서론

양자 자율주행(Quantum Autonomous Driving)은 양자의 중첩과 얽힘[1] 특성을 활용한 자율주행 기술로 기존 자율주행 기술에 비해 처리 속도, 안정성, 그리고 연산 능력이 크게 향상되었다. 기존 컴퓨팅과 달리, 양자 컴퓨팅은 중첩과 얽힘의 특성을 활용하여 0 과 1 을 동시에 처리할 수 있어 병렬 처리가 가능하고, 이는 연산 속도 및 보안성 향상으로 이어진다. 인공지능[2], 네트워크[3] 등과 같은 다양한 분야에서 양자 개념을 도입한 연구가 진행되고 있으며, 이러한 추세 속에서 최근 양자 기술을 도입한 자율주행 기술이 주목받고 있다. 본 논문에서는 현재까지 진행된 자율주행 기술 연구를 조사할 것이고, 기존 자율주행 기술의 제약을 극복할 것으로 예상되는 양자 자율주행 기술 동향을 살펴볼 것이다.

II. 본론

2-1 양자 컴퓨팅

양자 컴퓨팅은 큐비트를 사용하여 0 과 1 을 동시에 표현할 수 있다. 그림 1 은 간단한 양자 회로의 구조를 보여주며, 큐비트들과 그 큐비트의 상태를 조작하는 양자 논리 게이트들, 그리고 큐비트들을 관측하여 현재의 컴퓨터에 값을 저장하기 위한 기존 비트들로 구성되어 있다.

큐비트 ψ 는 $|0\rangle$ 과 $|1\rangle$ 의 선형 조합으로 이루어지며, Hadamard 게이트 H 를 통해 중첩 상태가 형성된다. 이러한 상태를 CNOT 게이트의 입력으로 사용하면 얽힘 상태가 형성된다. 이처럼 큐비트의 양자 특성을 활용하여 입력 정보를 처리하면 기존 컴퓨터의 연산 능력을 뛰어넘는 대규모 데이터 처리가 가능해진다. 이는

자율주행 기술의 제약 중 하나인 대규모 데이터 처리 과제에 대한 해결책이 될 수 있다. 이로써 현재 양자를 접목한 자율주행 기술에 대한 연구가 진행되고 있다.

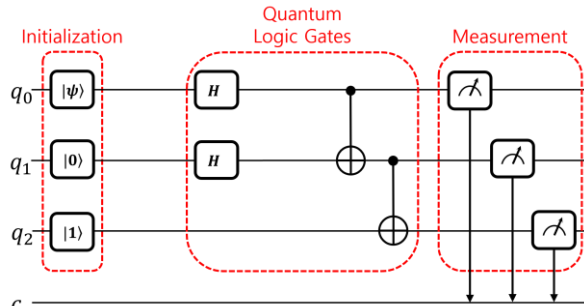


그림 1 양자 회로의 기본 구조

2-2 자율주행 기술 선행 연구

자율주행 기술은 LiDAR, 레이더, 카메라 등의 센서 기술이 매우 중요하다. 특히 LiDAR[4]는 빛을 이용하여 거리를 측정함으로써 다른 센서들의 단점을 보완할 수 있다. LiDAR 는 자율주행 차량에서 매핑과 객체 탐지에 사용된다. 하지만 LiDAR 는 외부에 노출되어 있어 기상상황에 민감하고 탐지 거리가 비교적 짧은 단점이 있다. 따라서 거리 측정 문제를 해결하기 위해 빛의 양자 특성을 활용한 양자 센서 개념 연구가 진행되고 있다.

또한, 자율주행에 심층신경망을 도입하면 센서 입력을 가져와 객체 탐지 결과를 직접 출력할 수 있는 End-to-End 인식 기술[5]이 가능해져 의사 결정이 더 빨라진다. 그러나 대규모 데이터 처리, 편향된 데이터에 의한 최적이지 아닌 성능 도달 등과 같은 한계가 존재한다.

2-3 양자 자율주행

양자 자율주행 기술은 기존 자율주행 기술의 문제였던 대규모 데이터 처리를 양자의 중첩 및 얽힘의 원리를 통해 해결하여, 보다 좋은 성능을 가진 자율주행 기술을 제공할 것으로 기대된다. 최근 연구[6]에서는 클래식

레이어와 양자 레이어를 함께 사용하는 하이브리드 딥러닝 모델을 제안하였다. 제안한 모델에서는 클래식 프로세서의 출력은 다양한 양자 게이트로 구성되고 얽힘 및 중첩과 같은 다양한 양자 역학적 기능을 지원하는 양자 레이어를 통해 추가로 처리된다. 이를 통해 적은 훈련 데이터로 더 나은 정확도와 더 나은 복원력을 얻는 효과를 볼 수 있다. 그림 2에서는 클래식 및 제안한 하이브리드 딥러닝 모델을 나타낸다.

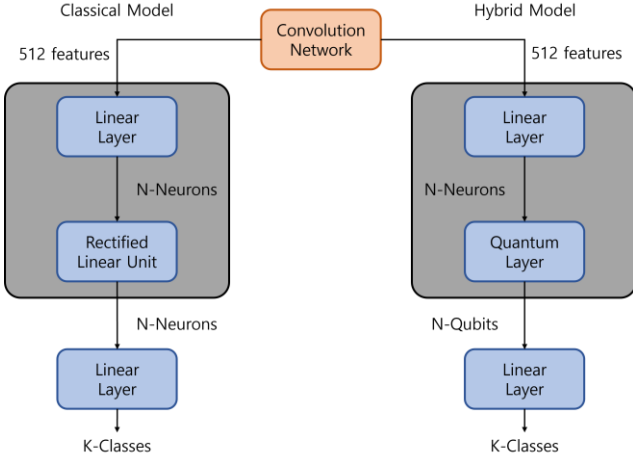


그림 2 클래식 및 하이브리드 모델 구조

AKA (Authentication and Key Agreement)는 센서 장치와 다른 사용자 간에 보안 세션 키를 설정하는 방식으로 안전하고 인증된 통신을 보장한다. 한 연구[7]에서는 사이버 위협에 취약한 기존 센서를 보완하고자 기존 AKA 방식에 양자 특성을 활용한 양자 보안을 접목시킨 방식이 제안되었다. 더 나아가, 클라우드와 자율주행 차량 모두에 대한 강력한 인증을 제공하기 위해 양자 보안과 RLWE(Ring Learning With Errors) 기반의 클라우드 중심 3 단계 AKA (3FAKA)[8] 시스템이 제안되었다. 이를 이용하여 자율주행 환경 내의 취약점을 공격자가 악용하는 것을 방지할 수 있다.

기존 연구에서 자율주행 차량과 인간 교통 참여자 간의 행동 의도 추정 및 상호작용은 핵심 과제 중 하나이다. 이를 위해 양자 결정 이론[9]을 기반으로 한 QGT(Quantum Game Theory) 모델이 제안되었다. 이는 기존에 사용된 CPT 모델과 비교하였을 때, 더 적은 데이터로 효율적인 의사결정을 내릴 수 있음을 입증하였다.

III. 결론

최근에는 자율주행에 대한 관심이 증가하면서 기술 발전이 지속적으로 이루어지고 있으며, 양자 컴퓨팅은 이 분야에서 새로운 힘을 발휘하고 있다. 양자 기반 자율주행 기술은 향상된 연산 능력, 효율적인 데이터 처리, 빠른 속도로 복잡한 문제를 해결하는 능력 등 다양한 이점을 제공한다. 이러한 양자 기반 기술은 자율주행차의 성능과 신뢰성을 향상시켜, 보다 안전하고 정밀한 운송 시스템을 구축하는 데 기여할 수 있는 잠재력을 지닌다. 본 논문에서는 기존 자율주행 기술에 대한 선행 연구를 조사하고 양자 기반 자율주행 기술의 연구 동향을 살펴보았다. 양자 자율주행은 현재 초기 단계로 이미지 분류 작업에서 효율적이고 신속한 대규모 데이터 처리에 대한 방향으로 연구가 진행되고 있다. 향후 양자 자율주행 기술을 더욱 발전시켜 상용화하고, 이를 토대로 센서가 아닌 다양한 분야에 양자 개념을 접목하여 광범위한 자율주행 차량을 추구하고, 단일이

아닌 다중 차량 시스템으로의 확장은 안정성과 효율성이 향상될 것으로 예측한다. 이러한 연구는 미래의 자율주행 차량이 보다 안전하고 진보된 기술로 더욱 발전할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00907, (2 세부) AI Bots 협업 플랫폼 및 자기조직 인공지능 기술개발). 본 논문의 교신 저자는 김중현임.

참 고 문 헌

- [1] G. Brassard, I. Chuang, S. Lloyd, and C. Monroe, "Quantum Computing," *The National Academy of Sciences*, vol. 95, no. 19, pp. 11032–11033, Sep. 1998, National Acad Sciences.
- [2] Y. Kwak, W. J. Yun, S. Jung, and J. Kim, "Quantum Neural Networks: Concepts, Applications and Challenges," in *Proc. International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*. IEEE, pp. 413–416, Aug. 2021.
- [3] J. Choi, S. Oh, and J. Kim, "Quantum Approximation for Wireless Scheduling," *MDPI Applied Sciences*, vol. 10, no. 20, pp. 7116, Oct. 2020.
- [4] Y. Li and J. Ibanez-Guzman, "LiDAR for Autonomous Driving: The Principles, Challenges, and Trends for Automotive LiDAR and Perception Systems," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 37, no. 4, pp. 50–61, Jun. 2020.
- [5] J. Chen, Z. Xu, and M. Tomizuka, "End-to-End Autonomous Driving Perception with Sequential Latent Representation Learning," in *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 1999–2006, 2020.
- [6] R. Majumder, S. M. Khan, F. Ahmed, Z. Khan, F. Ngeni, G. Comert, J. Mwakalonge, D. Michalaka, and M. Chowdhury, "Hybrid Classical-Quantum Deep Learning Models for Autonomous Vehicle Traffic Image Classification Under Adversarial Attack," *arXiv preprint arXiv:2108.01125*, Aug. 2021.
- [7] D. Mishra, K. Pursharthi, and P. Rewal, "Development of Quantum-Enhanced Authenticated Key Agreement Protocol for Autonomous Vehicles," *Vehicular Communications*, vol. 44, pp. 100688, Dec 2023, Elsevier.
- [8] L. O'Gorman, "Comparing Passwords, Tokens, and Biometrics for User Authentication," *Proc. IEEE*, vol. 91, no. 12, pp. 2021–2040, Dec. 2003.
- [9] Q. Song, W. Fu, W. Wang, Y. Sun, D. Wang, and J. Zhou, "Quantum Decision Making in Automatic Driving," *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, pp. 11042, Jun. 2022, Nature Publishing Group UK London.