

# Quantum Convolutional Neural Network 기반 객체 검출 기술

노지민, 박수현\* 김중헌

고려대학교, \*숙명여자대학교

emilyjroh@korea.ac.kr, \*soohyun.park@sookmyung.ac.kr, joongheon@korea.ac.kr

## Quantum Convolutional Neural Network based Object Detection

Emily Jimin Roh, Soohyun Park\*, Joongheon Kim

Korea Univ., \*Sookmyung Womans' Univ.

### 요약

본 논문은 고차원 데이터 처리가 필요한 객체 검출 기술에서 고전 convolutional neural network (CNN)이 효율적으로 해결하지 못했던 문제들을 양자의 중첩 및 얽힘의 특성을 활용하여 효과적으로 해결하기 위한 새로운 접근 방식인 quantum convolutional neural network (QCNN) 기반 객체 검출 기술 구현을 통하여 QCNN의 활용 가능성을 증명한다. 이후 QCNN 기반 객체 검출 기술 성능 향상을 위한 knowledge distillation (KD)를 통하여 성능 향상을 달성하고 QCNN이 기존의 CNN 기술을 대체할 수 있는 새로운 전략으로 활용할 수 있음을 입증한다.

### I. 서론

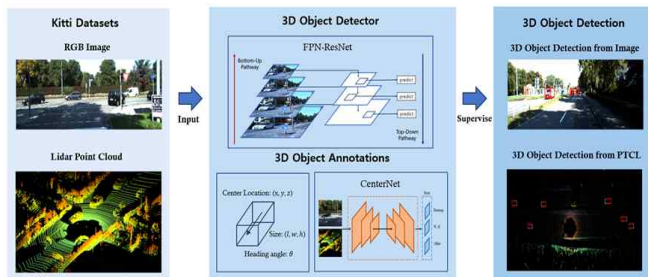


그림 1 객체 검출 기술 개요

객체 검출 기술은 영상처리와 컴퓨터 비전 분야에서 많이 활용되는 기술 중 하나이다. 그림 1은 본 논문에서 활용한 객체 검출 기술의 개요를 간략히 나타낸 그림이며, 자동차의 주행에 대한 영상을 포함한 다양한 센서로 수집된 정보들을 모은 KITTI 데이터셋을 입력으로 받아 feature pyramid network (FPN) 구조의 3D detector 기반으로 객체 검출을 수행한다. 본 논문에서 이러한 객체 검출 기술에는 주요 머신러닝의 많은 모델 중 convolutional neural network (CNN)이 많이 활용된다 [1]. CNN은 이미지와 같은 데이터가 주어질 때 픽셀 간의 상관 관계 정보를 계산하여 특징을 추출하는 방식으로 이루어진다 [2]. 하지만 CNN은 실제 환경에서의 차원이 큰 데이터를 처리하기 위해 모델의 차원이 커지면서 효율적인 학습이 힘들어지는 과제에 직면했다 [3]. 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 솔루션으로 quantum convolutional neural network (QCNN)이 객체 검출 기술이 개발되어지고 있다. QCNN은 양자의 중첩과 얽힘의 특성을 바탕으로 대용량 데이터를 고속으로 처리할 수 있다. 하지만 하드웨어의 한계로 인하여 활용할 수 있는 큐비트의 개수는 한정되어 있다. 이러한 상황 속에서 QCNN 기반 객체 검출 기술 구현을 통하여 CNN을 대체할 수 있는 QCNN의 가능성을 확인한다. 또한, QCNN의 성능 향상을 위하여 knowledge distillation (KD) 기법을 적용한다. 최종적으로 본 논문은 average precision (AP)가 60일 때의 객체 검출 기술 성능과 실제 KITTI 데이터셋에 적용한 결과를 통하여 QCNN의 성능을 확인한다.

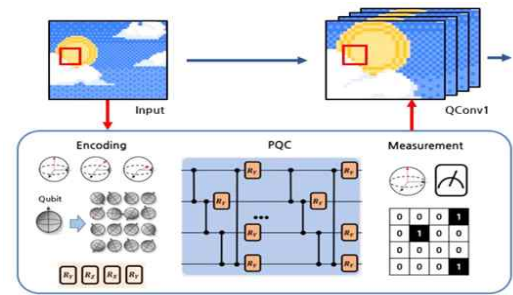


그림 2 QCNN 구조

### II. Quantum Convolutional Neural Network

양자 컴퓨팅은 기존 컴퓨팅 방식과 달리 중첩과 얽힘과 같은 양자 특성을 활용하여 큐비트의 병렬화를 통해 높은 성능을 달성할 수 있다 [4]. QCNN은 이러한 양자 컴퓨팅을 바탕으로 기존 CNN의 주요 특징과 구조를 양자 시스템으로 확장한다. QCNN에서 데이터는 큐비트를 통해 표현할 수 있으므로 고차원 데이터를 보다 효율적으로 학습할 수 있다. QCNN은 그림 2와 같이 CNN의 합성곱 레이어와 풀링 레이어를 양자 시스템에 적용한 구조로 이루어진다. QCNN에서의 연산은 먼저 인코딩(encoding) 과정에서 필터 크기에 해당하는 픽셀 데이터는 큐비트로 저장된다. 이후 학습 가능한 양자 회로(parameterized quantum circuit, PQC)의 필터를 통해 입력 상태에서의 숨겨진 상태를 감지하고, 이를 측정(measurement)을 통해 새로운 고전적 데이터로의 변환을 통해 학습이 이루어진다 [5]. 이렇듯 QCNN은 위의 세 과정을 반복하여 새로운 feature map을 만들고 결과 값을 추론한다.

### III. Quantum Convolutional Neural Network 기반 객체 검출 기술

QCNN을 적용한 객체 검출 기술의 구조는 그림 3과 같이 구성된다. KITTI 데이터셋의 2D 이미지를 입력으로 받아 최종적으로 이미지와 포인트 클라우드 데이터에 각각 3D bounding box가 출력된다. 본 논문에서

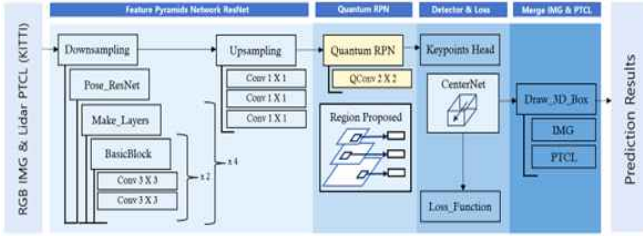


그림 3 QCNN 기반 객체 검출 기술 구조

는 region proposal network (RPN)에 QCNN을 적용한 quantum RPN (QRPN)으로 구성하여 객체 검출 기술을 구현했다. 또한 FPN Renet을 통하여 서로 다른 scale을 갖는 4개의 feature map을 추출하는 bottom-up pathway 과정을 거친 후, top-down pathway를 통해 각 feature map에 1x1 Qconv 연산을 적용하여 모두 256 channel을 갖도록 조정하고 upsampling을 수행하여 보다 입체적인 특징을 추출할 수 있도록 구성하였다. 이때 기존의 입력 이미지의 텐서 위에서 공간 필터를 슬라이딩하고 요소별 곱셈을 활용하는 RPN과 달리 QRPN은 다중 채널 입력을 한 번에 인코딩하고 연산 게이트를 통하여 한꺼번에 convolution을 수행할 수 있다 [6]. 최종적으로 QRPN을 거쳐 3D bounding box를 출력한다. 제안한 아고리즘은 한정된 양자 컴퓨팅 자원과 최적화 도구 때문에 QRPN을 잘 훈련시키는 것에 어려움이 존재하므로, KD를 사용하여 훈련하고 미리 훈련된 고전 컴퓨팅의 pre-trained된 RPN을 teacher model로 QRPN을 student model로 설정하여, 사전에 훈련되어 최적화까지 마친 고전 컴퓨팅 convolution 지식이 QRPN에 전달될 수 있도록 설계하였다.

#### IV. 성능 평가

Model	$AP_{60}$		
	Easy	Moderate	Hard
CNN	86.45	80.03	77.68
QCNN	53.47	51.15	48.16
QCNN (KD)	82.04	74.57	68.36

표 1  $AP_{60}$  일 때의 모델별 객체 검출 기술 성능

성능 평가는 제안한 QCNN 기반 객체 검출을 통한 3D 객체 탐지에서의 recall과 precision 간의 관계를 나타낸 AP 수치를 측정하였다. 또한 KITTI 데이터셋의 난이도에 따라 easy, moderate, hard로 분류하여 각 이미지셋에 대하여 성능 평가를 진행하였다. 표 1은  $AP_{60}$  일 때의 성능을 나타낸 것으로, CNN의 모델이 86.45, 80.03, 77.68로 가장 우수하였으며 제안한 QCNN (KD) 방식이 82.04, 74.57, 68.36으로, QCNN (KD)는 기존 CNN 방식의 성능의 평균 91% 정도를 달성함을 확인할 수 있다. 또한 그림 4를 통하여 각 모델별 검출 결과를 확인할 수 있다. QCNN의 경우 CNN에 비해 검출된 차량 객체가 상대적으로 적은 것을 볼 수 있으며, QCNN (KD)의 경우 CNN과 거의 비슷한 객체 검출 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다.

#### V. 결론

본 논문에서는 QCNN 기반 객체 검출 기술에 대하여 서술하고, 성능 평가를 통하여 미래에 CNN을 대체하여 보다 효율적인 연산을 가능케할 수 있는 QCNN의 가능성을 확인할 수 있다. 더 나아가 현재의 양자 컴퓨팅 기술 및 하드웨어의 한계로 인한 성능 열화를 KD를 활용한 QCNN을 통하여 CNN 성능의 91%까지 도달함을 확인할 수 있다.

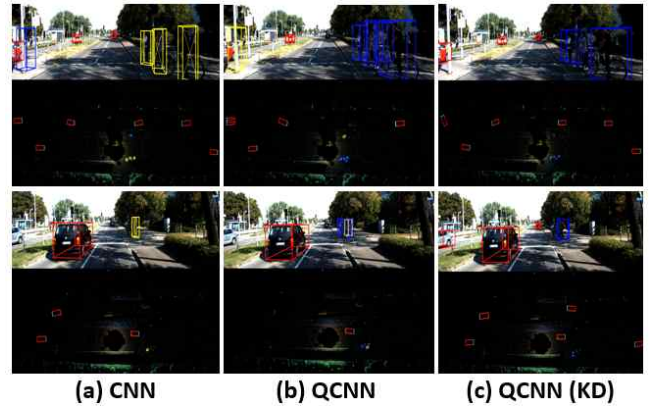


그림 4 모델별 객체 검출 결과

#### ACKNOWLEDGMENT

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

#### 참고 문헌

- [1] F. Sultana, A. Sufian, and P. Dutta, "A Review of Object Detection Models based on Convolutional Neural Network," *Intelligent Computing: Image Processing based Applications*, pp. 1 - 16, Jun. 2020.
- [2] K. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E., "ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks," *Communications of the ACM*, vol. 60, no. 6, pp. 84-90, May 2017.
- [3] Li, Z., Liu, F., Yang, W., Peng, S., & Zhou, J., "A survey of convolutional neural networks: analysis, applications, and prospects," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol.33, no.12, pp. 6999-7019, Jun. 2021.
- [4] 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.
- [5] I. Kerenidis, J. Landman, and A. Prakash, "Quantum Algorithms for Deep Convolutional Neural Networks," in *Proc. of the International Conference on Learning Representations (ICLR)*, Addis Ababa, Ethiopia, Apr. 2020.
- [6] H. Baek, W. J. Yun, S. Park, and J. Kim, "Stereoscopic Scalable Quantum Convolutional Neural Networks," *Neural Networks*, vol. 165, pp. 860 - 867, Aug. 2023.