



※ 본 연구동향은 양자정보연구지원센터 뉴스레터의 내용입니다.

양자머신러닝 연구 동향

[작성: 성균관대학교 박경덕 교수]

머신러닝은 데이터 분석과 인공지능을 위한 핵심 기술입니다. 머신러닝 모델의 학습 및 추론의 계산 효율성을 향상시키기 위해서는 컴퓨터의 성능이 매우 중요하므로 최근 양자컴퓨팅을 활용하는 머신러닝 기술에 이목이 집중되고 있으며 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있습니다. 현재 양자머신러닝 연구에 있어 중요한 질문 중 하나는 양자컴퓨팅이 실제 유의미한 데이터 분석 작업에 있어 어떠한 현실적인 장점을 줄 수 있는지입니다. 본 연구동향 에서는 최근 발표된 양자머신러닝의 본질적이며 현실적 장점을 정량적으로 분석하고 이해하기 위해 매우 중요한 연구 결과들을 소개합니다.

<Google Quantum AI & Caltech>

지금까지 발표된 많은 연구 결과들은 양자회로가 만들어내는 확률 분포의 표본추출 복잡도(sampling complexity)를 기반으로 양자컴퓨팅의 이득을 주장하곤 했습니다. (예: 2019년 구글이 발표한 양자우위 실험). 하지만 본 논문은 학습데이터를 기반으로 문제를 푸는 머신러닝 알고리즘에 있어서는 단순히 표본추출 복잡도만으로 양자컴퓨팅의 계산 이득을 주장할 수 없음을 이론적으로 보여주었습니다. 본 논문에서는 양자 및 고전 머신러닝 모델의 추론 정확도를 정량적으로 비교할 수 있는 체계적인 방법론을 제시하며, 이를 통해 최근 많은 관심을 받고 있던 양자커널 기법이 고전 머신러닝 대비 이득이 있기 위해 상당히 까다로운 조건들이 필요함을 보여주었습니다. 이를 보완하기 위해 본 논문은 힐버트 공간상에 매핑된 데이터를 다시 한 번 고전 데이터 공간으로 투사하여 머신러닝 모델을 구현하는 새로운 기법을 제시하였고, 30 큐비트 시뮬레이션을 통해 특정 머신러닝 문제 추론 정확도에 있어서는 고전 모델 대비 큰 이득이 있음을 보여주었습니다.

※ 참고논문[1]

[Nature Communications] Power of data in quantum machine learning, Nature Communications 12, 2631 (2021),

* 논문링크: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22539-9>

<워싱턴대학교>

양자컴퓨터는 고전컴퓨터 대비 특정 선형대수학 문제들을 기하급수적으로 빠르게 풀수있다고 알려졌으며, 이를 기반으로 2013년~2014년에 걸쳐 PCA, supervised clustering 등의 머신러닝 문제에 있어 양자컴퓨터가 기하급수적인 계산 이득을 달성할 수 있다는 연구 결과들이 발표되었습니다. 하지만 이러한 연구들은 고전 데이터가 amplitude encoding이라고 불리는 특정한 형태의 양자상태로 존재한다고 가정합니다. 즉 고전 데이터가 특정한 형태의 양자상태로 주어진다면, 양자역학적 원리를 활용하여 특정 머신러닝 문제를 기하급수적으로 빠르게 풀 수 있다는 주장입니다. 하지만 본 논문에서는 이러한 해석이 근본적으로 잘못되었음을 보여줍니다.

본 논문은 앞서 언급한 양자머신러닝 알고리즘들의 초기입력상태 전제조건에 대응하는 고전컴퓨팅에서의 조건을 고안하고, 이를 도입하면 고전 컴퓨터로도 기하급수적으로 빠르게 문제를 풀 수 있음을 보여주어, 해당 양자 알고리즘들의 장점은 양자역학에 의한 것이 아니라 단순히 초기입력상태 전제로부터 오는 것임을 주장합니다. 하지만 본 논문에서 제시하는 방법은 low-rank 전제를 요구하는 특정 선형대수 문제에만 적용이 가능하여 양자 matrix inversion과 같은 알고리즘은 여전히 기하급수적인 계산 속도 향상을 달성할 수 있습니다.

또한 본 논문은 amplitude encoding이라는 특정한 데이터 인코딩 기법만을 다루고 있는 반면, 최근 발표되고 있는 많은 양자머신러닝 알고리즘들은 다양한 데이터 인코딩 기법들을 다루고 있으므로 본 논문이 양자머신러닝 전반에 부정적인 견해를 준다고는 볼 수 없습니다. 마지막으로 비록 기존 연구 결과들이 주장한 특정 양자머신러닝 알고리즘의 기하급수적인 계산 속도 향상은 단순히 초기입력상태 전제로부터 오는 것임이 규명되었지만 여전히 다항적 속도 개선을 달성할 수 있다는 점은 매우 흥미롭습니다.

※ 참고논문[2]

[Physical Review Letter] Quantum Principal Component Analysis Only Achieves an Exponential Speedup Because of Its State Preparation Assumptions, Phys. Rev. Lett. 127 060503 (2021)

* 논문링크: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.127.060503>