



※ 본 연구동향은 양자정보연구지원센터 뉴스레터의 내용입니다.

## 양자 커널기반 패턴인식

[작성: 성균관대 박경덕 교수]

패턴인식의 핵심은 주어진 데이터 안에 숨겨진 복잡한(비선형적) 상관관계를 찾아내어 유의미한 지식정보를 추출해내는 것입니다. 비선형적 데이터 분석에 사용되는 많은 방법들은 데이터 간의 유사성(또는 거리)를 수학적으로 정의하고 계산함으로써 숨겨진 패턴들을 찾아내는데, 이 유사 함수를 커널이라 부릅니다. 다양한 커널기반 패턴인식 기법 중 지도 학습의 대표적인 예시로 서포트벡터머신(SVM)이 있습니다. SVM은 주어진 학습 데이터의 클래스를 구분지어주는 초평면(hyperplane) 결정경계선과 각 클래스의 학습데이터간의 margin을 최대화 시켜주는 선형적 분류기입니다. 선형적 결정경계선을 통해 비선형적 데이터 분석이 가능한 이유는 비선형적 데이터가 고차원 feature 공간으로 매핑되었을 때에는 선형적 분류가 가능할 수 도 있기 때문입니다.

이러한 커널기반 데이터분석의 성질을 이용하여 2019년 IBM 과 Xanadu에서는 각각 quantum feature mapping이라는 개념을 제시하였는데, 이는 양자컴퓨터를 사용하면 큐비트 개수에 대해 기하급수적으로 커지는 데이터 공간에서 선형적 결정경계를 아주 효율적으로 찾을 수 있기 때문입니다 [1,2]. 따라서 고전컴퓨팅으로 모사하기 어려운 quantum feature map을 잘 디자인하면 양자컴퓨팅을 활용하여 커널기반 기계학습 작업을 수행하는 데에 있어 이득이 있을 수 있다는 주장입니다. 하지만 이러한 양자 커널기법을 통해 특정한 기계학습 문제를 푸는 데에 있어 모든 고전알고리즘보다 뛰어난 성능을 달성할 수 있는지, 그리고 양자컴퓨팅의 확률적 성질로 인해 동일한 실험을 여러 번 반복해야 하는 문제(shot noise)를 극복하는 효율적 학습이 가능한지는 여전히 의문으로 남아있었습니다.

최근 IBM과 UC Berkeley 연구팀은 특정한 커널기반 지도학습에 있어 양자 스피드업이 존재할 수 있음을 증명하며 앞서 언급한 질문들에 대한 이론적인 답변을 제시하였습니다 [3]. 본 연구에서는 이산로그문제(discrete logarithm problem, DLP)에 의해 결정되는 데이터 패턴이 존재한다면, 해당 데이터의 패턴 인식 문제는 양자컴퓨터가 고전컴퓨터 대비 기하급수적으로 빠르게 풀 수 있음을 증명하였습니다. 또한 DLP 기반 패턴인식 문제를 풀기 위해 필요한 양자 커널 구현 방법을 구체적으로 제시하였으며, 이러한 양자 커널을 사용하면 large margin 데이터 분류가 가능함을 보여주어 앞서 언급한 양자컴퓨팅의 shot noise가 근본적인 문제가 되지 않음을 증명하였습니다. 기존의 많은 양자기계학습 알고리즘들은 해당 데이터가 특정한 형태의 양자 상태로 입력 되어야 한다는 가정을 기반으로 하고 있는 반면, 본 논문에서 제시하는 양자알고리즘은 필요한 양자 상태를 효율적으로 생성할 수 있기 때문에 별도의 조건 없이 기하급수적 양자 스피드업을 이룰 수 있습니다. 하지만 논문의 마지막 장에서 언급하듯, DLP 기반 패턴인식 문제는 양자컴퓨터가 기하급수적으로 빠르게 풀 수 있지만, 이 문제가 실제 유용한 데이터 분석 문제를 해결할 수 있을지는 미지수입니다. 따라서 양자 스피드업을 제공해주는 동시에 실제 데이터 분석에 응용 가능한 quantum feature mapping을 찾는 것이 커널기반 양자 기계학습 분야에 남겨진 큰 숙제입니다.

#### 참고 문헌:

- [1] Vojtěch Havlíček, Antonio D. Córcoles, Kristan Temme, Aram W. Harrow, Abhinav Kandala, Jerry M. Chow & Jay M. Gambetta. Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces. *Nature* **567**, 209–212 (2019)
  - [2] Maria Schuld and Nathan Killoran. Quantum Machine Learning in Feature Hilbert Spaces. *Phys. Rev. Lett.* **122** 040504 (2019)
  - [3] Yunchao Liu, Srinivasan Arunachalam, and Kristan Temme. A rigorous and robust quantum speed-up in supervised machine learning. *Nature Physics* **17**, 1013–1017 (2021)
- 논문링크: <https://www.nature.com/articles/s41567-021-01287-z>