

양자 볼륨 벤치마크의 확장 가능한 대안 제안

(2025.02.19., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 컴퓨터 성능 평가의 확장성 문제 해결을 위한 새로운 접근 방식

○ 양자 컴퓨터 벤치마킹의 한계

- 양자 컴퓨터의 성능을 측정하는 대표적인 방법 중 하나인 양자 볼륨(Quantum Volume, QV) 테스트는 시스템의 확장성과 신뢰성을 평가하는 중요한 지표로 사용됨
- 그러나 현재의 QV 테스트는 고전적 시뮬레이션을 필요로 한다는 점에서 큰 한계를 가짐
- 약 100큐비트를 넘어서는 시스템에서는 고전적 시뮬레이션이 계산적으로 불가능해지며, 이는 양자 컴퓨터의 발전 속도를 따라가기 어려운 문제를 야기함

○ 새로운 연구, 확장 가능한 대안 제안

- 폴란드 연구진, 최근 arXiv에 발표한 논문에서 기존 QV 테스트의 한계를 극복할 수 있는 새로운 벤치마킹 방법 제안
- 패리티 유지(parity-preserving) 및 이중 패리티 유지(Double Parity-preserving) 벤치마크는 두 가지 새로운 QV 테스트 방법을 도입
- 패리티 유지란 계산 과정에서 특정 그룹 내 1의 개수가 항상 짝수 또는 홀수로 유지되도록 하는 방식으로, 이를 통해 오류를 추적하고 줄이는 데 도움이 됨

□ 패리티 유지 벤치마크의 원리와 장점

○ 패리티 유지 방식의 핵심 개념

- 기존 QV 테스트에서는 고전적 시뮬레이션을 통해 “중요한 결과

(high-probability outcomes)” 를 검증해야 함

- 하지만 새로운 방식에서는 패리티 유지 원리를 적용, 결과를 사전에 예측할 수 있도록 설계됨
- 이를 통해 고전적 시뮬레이션 없이도 양자 컴퓨터의 성능을 평가할 수 있음

○ 패리티 유지 벤치마크

- 기존 QV 테스트의 구조를 유지하면서, 패리티 정보를 활용하여 검증 과정을 단순화한 방식
- 기존과 동일한 양자 게이트 개수를 유지하면서도, 고전적 시뮬레이션 부담을 대폭 줄일 수 있음

○ 이중 패리티 유지 벤치마크

- 패리티 정보를 더욱 정교하게 활용하여, 두 개의 독립적인 큐비트 그룹에서 패리티를 추적하는 방식
- 이를 통해 기존 방식으로는 감지하기 어려웠던 특정 유형의 오류까지 검출할 수 있음

□ 실제 실험 및 검증 결과

○ IBM 양자 컴퓨터에서의 실험

- IBM Sherbrooke 양자 프로세서에서 실험 수행
- 60개의 무작위 회로를 각각 900번 실행한 결과, 기존 QV 테스트와 유사한 결과를 도출하면서도 계산 비용을 대폭 절감할 수 있음을 확인

○ Qiskit을 활용한 시뮬레이션

- IBM 오픈소스 양자 컴퓨팅 프레임워크인 Qiskit 활용하여 다양한 오류율을 분석함
- 실험 결과, 새로운 벤치마크 방식이 기존 QV 테스트 대비 확장성이 뛰어나고, 향후 양자 프로세서가 더욱 커질 경우에도 적용 가능성이 높음을 보여줌

□ 연구의 의의 및 향후 과제

○ 확장성 문제 해결

- 기존 QV 테스트의 가장 큰 문제점이었던 고전적 시뮬레이션의 한계를 극복함으로써, 대형 양자 프로세서에서도 벤치마킹이 가능하도록 만듦

○ 한계점 및 향후 연구 방향

- 새로운 방식은 특정 구조의 양자 회로에 적용되는 특성이 있어, 모든 종류의 양자 하드웨어에 적용 가능 여부는 추가 연구가 필요함
- 더 큰 규모의 양자 컴퓨터에서 추가 검증을 진행할 예정이며, 기존 방식과 결합한 하이브리드 벤치마킹 기법도 연구 중임

○ 기대 효과

- 고전적 시뮬레이션이 필요 없는 QV 테스트는 양자 컴퓨터의 성능을 더욱 효과적으로 측정할 수 있는 도구가 될 것으로 예상됨
- 또한, 패리티 유지 방식은 단순한 벤치마킹을 넘어, 양자 장치의 노이즈 평가 등 다양한 응용 분야에서도 활용될 가능성이 높음

○ 결론

- 폴란드 연구진이 제안한 패리티 유지 및 이중 패리티 유지 벤치마크는 기존 QV 테스트의 확장성 문제를 해결할 수 있는 유망한 방법
- IBM 양자 컴퓨터에서 실험을 통해 기존 방식과 동등한 성능을 유지하면서도, 계산 비용을 대폭 줄일 수 있음이 확인됨
- 향후 연구를 통해 더 다양한 양자 하드웨어에서의 적용 가능성을 검토하고, 하이브리드 벤치마킹 기법과의 결합도 연구할 필요가 있음

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/02/11/researchers-propose-scalable-alternative-to-quantum-volume-benchmark/>