

낮은 오류율에서 비대칭 서피스 부호의 오류율 추정

이종현, 하진영, 허준*

고려대학교

{ljh0523, ksuwer, *junheo}@korea.ac.kr

Logical Error rate estimation under low physical error rate

Jonghyun Lee, Jinyoung Ha, Jun Heo*

Korea University.

요약

본 논문은 낮은 물리적 Z 오류율에서 Boundary가 존재하는 Surface 부호에서 논리적 Z 오류율을 추정하고, 이를 수식화 한다.

I. 서론

양자 오류정정 부호는 양자 채널에서 발생하는 오류를 추가 큐비트를 사용하여 검출하고 정정하기 위한 도구이다. 이 때 물리적 오류율이 임계치(Threshold)보다 낮은 경우, 부호의 distance를 증가시킴으로써 논리적 오류율을 0에 가깝게 만들 수 있다.

양자 오류정정부호는 CSS, RM, Shor 부호와 같은 연결에 기반한 연결 기반 오류정정부호(Concatenated Code)와 Topology에 기반한 서피스부호(Surface Code)로 구분 될 수 있다. 연결기반 오류정정부호에 비하여, Surface 부호는 높은 임계치와, 근접연산자로 구성되어 있다는 장점으로 인하여, 연결기반 오류정정부호보다 활발히 연구되고 있다.

해당 논문은 비대칭 서피스 부호에서 낮은 물리적 오류율에서의 논리적 오류율을 추정한다.

II. 본론

II.1 Surface Code with non-periodic Boundaries

초기 서피스 부호는 Torus 위에 큐비트를 배치하여, periodic boundary를 가지는 부호이다. 해당 부호는 4개의 큐비트에 동작하는 XZ 고정 연산자로 구성되며, 2개의 논리적 정보를 인코딩 할 수 있다.[5].

이후 non-periodic boundary를 가지는 서피스 부호가 소개되었으며, 해당 부호는 Boundary에 있지 않은 고정자의 경우 4개의 큐비트에 동작하며, boundary에 존재하는 고정연산자의 경우, 3개의 큐비트에 동작하게 된다. 해당 부호는 1개의 논리적 정보를 인코딩 할 수 있다

II.2 Logical error rate estimation

낮은 물리적 오류율에서 대칭 서피스 부호의 논리적 오류 발생에 대한 연구는 [6]에서 진행 된 바 있다. 유사하게 $L_1 \times L_2$ 평면에서 구현된 서피스

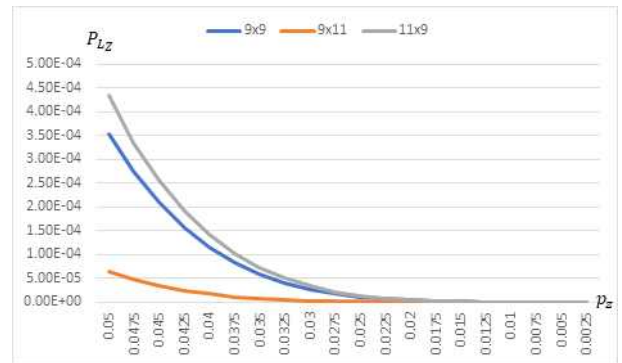
부호에서 논리적 Z 오류가 발생하는 경우는 대부분 $\frac{L_2 + 1}{2}$ 개의 물리적 Z 오류가, 하나의 최소 weight를 가지는 논리적 Z 연산자 위에서 발생해야한다. 따라서

$$P_{L_z} = L_1 \frac{L_2!}{[L_2/2]![L_2/2]!} p_z^{[L_2/2]} (1 - p_z)^{[L_2/2]}$$

로 추론 할 수 있으며, 해당 식은

$$P_{L_z} = L_1 \frac{L_2!}{[L_2/2]![L_2/2]!} p_z^{[L_2/2]}$$

로 나타 낼 수 있다. 그림 1은 9x9, 9x11, 11x9에서 물리적 오류율 대비 논리적 오류율 그래프를 보여준다.



III. 결론

본 논문에서는 낮은 물리적 오류율에서 논리적 오류율을 추정하고 그래프화 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 BK21 플러스 사업에 의하여 지원되었음

참고문헌

- [1] Kitaev, Alexei, "Anyons in an exactly solved model and beyond". Annals of Physics. 2006
- [2] Fern H E Watson and Sean D Barrett, "Logical error rate scaling of the toric code", New Journal of Physics