

B Đánh dấu sự đọc của một qubit siêu dẫn để các phép đo lặp đi lặp lại

S. Hazra,^{1,*} W. Dai,^{1,*} T. Connolly,¹ P. D. Kurilovich,¹ Z. Wang,¹ L. Frunzio Viện, Đại học Yale, New Haven, Connecticut 06520, Hoa Kỳ (ngày: ngày 16 tháng 7 năm 2024)

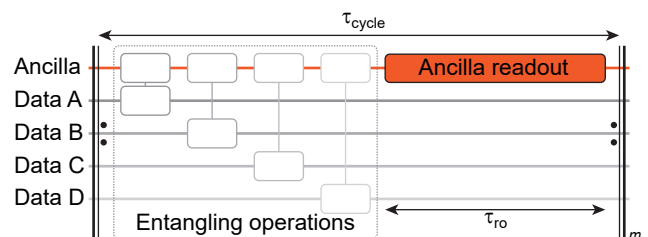
Độc các qubit siêu dẫn phải đối mặt với sự đánh đổi giữa tốc độ đo và hành động ngược không mong muốn trên qubit gây ra bởi ổ đĩa đọc, chẳng hạn như suy thoái T_1 và rò rỉ ra khỏi không gian con tính toán. Việc đọc thường được đánh dấu bằng cách tích hợp tín hiệu đọc và chọn ngưỡng nhị phân để trích xuất độ trung thực đọc của người đọc. Chúng tôi cho thấy rằng một sự thay đổi như vậy có thể bỏ qua đáng kể các lỗi rò rỉ do đọc. Chúng tôi giới thiệu một phương pháp để đánh giá một cách định lượng lỗi này bằng cách thực hiện liên tục một hoạt động tổng hợp đọc trước đó bởi một qubit-flip ngẫu nhiên. Chúng tôi áp dụng kỹ thuật này để mô tả sự đọc phân tán của một qubit được bảo vệ nội tại. Chúng tôi báo cáo mức độ trung thực đọc nhị phân là 99.63% và độ trung thực không hòa tan lượng tử (qND) vượt quá 99.00% có tính đến tỷ lệ lỗi rò rỉ là 0.12 ± 0 .

Việc đọc Qubit đơn nhanh và chính xác là rất quan trọng đối với vô số các thí nghiệm tính toán lượng tử bao gồm, chuẩn bị trạng thái dựa trên phép đo [1], tạo ra sự phát triển [2 Nott4] và hiệu chỉnh lỗi lượng tử (QEC) [5 .10]. Những tiến bộ gần đây trong việc đọc QBIT siêu dẫn kết hợp với hiệu quả phân tích gần như giới hạn gần như đã cho phép chứng minh hiệu chỉnh lỗi lượng tử với cả mã bề mặt [8, 9] và mã Bosonic [5 .7]. Trong các thí nghiệm này, việc loại bỏ entropy hiệu quả khỏi hệ thống lượng tử đạt được bằng cách áp dụng lặp đi lặp lại của việc đọc độ trung thực cao và đặt lại các qubit ancilla vật lý. Một phép đo không hòa tan lượng tử (QND) [11] hoàn toàn tương quan với trạng thái sau khi đọc của qubit với kết quả đọc, giúp đỡ sự cần thiết phải đặt lại vô điều kiện [12] của ancilla. Một tương tác hoàn toàn phân tán giữa một qubit và bộ cộng hưởng đọc của nó sẽ mang lại một sơ đồ đọc QND. Trong thực tế, sự tương tác này được thực hiện xấp xỉ trong các mạch siêu dẫn [13] khi một nguyên tử nhân tạo được kết hợp tuyến tính với bộ cộng hưởng đọc. Sự kết hợp tuyến tính của qubit và bộ cộng hưởng đọc dẫn đến phân rã purcell của qubit. Điều này ngăn chặn sự gia tăng tùy ý của tương tác phân tán bộ cộng đồng Qubit χ_{qr} và tốc độ ghép bên ngoài của bộ cộng hưởng κ_r , đặt tốc độ tối đa của lần đọc cho một công suất nhất định. Hơn nữa, ở công suất đọc cao hơn, sự gần gũi phân tán bị phá vỡ [14], gây ra rò rỉ do đọc [15, 16] và các trạng thái không tính toán của qubit vật lý. Những hạn chế này cấm theo đuổi đồng thời theo đuổi tốc độ đọc, độ trung thực và qnd-ness.

Trong QEC, các hoạt động vướng víu và các bài đọc ancilla được lặp lại, như được minh họa trong Hình.1. Các lỗi rò rỉ do đọc có thể khiến ANCILLA ở trạng thái kích thích không mong muốn trong nhiều chu kỳ và cũng có thể lan truyền thành các qubit lân cận [17]. Do đó, ngay cả một xác suất rò rỉ nhỏ cũng gây ra mối đe dọa lớn hơn so với lỗi phân tích hoặc lỗi Pauli. Thông thường, việc đọc sách của người Viking, [1, 18 ,23] được trích xuất từ các kết quả ngưỡng nhị phân được sử dụng làm số liệu duy nhất để thực nghiệm

Tối ưu hóa các tham số đọc. Mặc dù một số liệu như vậy là đủ để định lượng lỗi Pauli (xảy ra trong quá trình đọc) và lỗi phân biệt đối xử, nhưng nó không xác định một cách trung thực rò rỉ do đọc, đặc biệt nếu sau này xảy ra với xác suất thấp so với các lỗi đọc khác. Biện pháp tiêu chuẩn của QND-ness là mối tương quan của hai lần đọc nhị phân liên tiếp xuất hiện [21 Ném23] cũng bỏ qua rò rỉ khi kết quả đọc của các trạng thái rò rỉ chủ yếu rơi xuống một bên của ngưỡng. Do đó, các phương pháp như vậy không phản ánh đặc tính thực của các hoạt động đọc lặp lại. Có một cách hoàn chỉnh để điểm chuẩn hoạt động đọc với kết quả nhị phân?

Trong bức thư này, chúng tôi chứng minh một kỹ thuật đánh dấu đọc sách mới lạ, phát hiện giả giả, trong đó chúng tôi bắt chước một chu kỳ phát hiện hội chứng trong QEC bằng cách lặp lại một hoạt động tổng hợp, một lần đọc trước đó là một cú lật qubit. Phương pháp này cung cấp một nhân vật trung thành của việc đọc theo các triển khai lặp đi lặp lại và cung cấp một ước tính chính xác về Qnd đọc. Chúng tôi thực hiện việc đọc phân tán trên một transmon được bảo vệ được bảo vệ. Chúng tôi tối ưu hóa các xung đọc



Hình 1. Một chu kỳ phát hiện hội chứng trong QEC. Mỗi chu kỳ bao gồm một lần đọc ancilla đi trước bởi các hoạt động vướng víu với các qubit dữ liệu, ánh xạ hội chứng lên các hoạt động. Chúng tôi đặc trưng cho hiệu suất đọc bằng cách bắt chước thí nghiệm này trên một ancilla duy nhất, với hội chứng trực tuyến được tạo ra bằng cách áp dụng ngẫu nhiên các hoạt động nhận dạng và bit.