

Streszczenie

Implementacja pomiarów na współczesnych urządzeniach kwantowych stanowi znaczące wyzwanie. Jest to w dużej mierze spowodowane wszechobecnym wpływem szumu oraz ograniczeniami nałożonymi przez ograniczone zasoby kwantowe, takie jak liczba qubitów i dostępne operacje unitarne. Jednakże, w szerokim zakresie sytuacji, komplikacje wywołane przez te wyzwania mogą zostać zredukowane poprzez zastosowanie dodatkowych klasycznych zasobów (losowości oraz post-processingu). Główna hipoteza przedstawiona w tej dysertacji brzmi

Dodatkowe zasoby klasyczne mogą być użyte do oceny i poprawy jakości implementacji zaszumionych pomiarów kwantowych

Prezentujemy wyniki, które mają na celu lepsze zrozumienie wpływu szumu pomiarowego na jakość implementacji protokołów informacji kwantowej, a także metody redukcji tych efektów. W Rozdziale 3 wprowadzamy nowe miary dystansu między obiektami kwantowymi (w szczególności, pomiarami kwantowymi). Nazywamy te miary kwantowymi *average-case distances* (odległości lub dystanse AC). Dystans AC między zaszumionym pomiarem a jego idealną, teoretyczną wersją, pozwala na kwantyfikację jakości nieidealnego detektora w średnim (w sensie statystycznym) przypadku (stąd "average-case", czyli "średni przypadek/sytuacja"). Klasycznym zasobem wykorzystanym w tym kontekście jest *losowość*. W szczególności, odległość AC między dwoma pomiarami określa jak dobrze mogą być one statystycznie rozróżnione, jeśli mamy dostęp do losowej implementacji pewnej klasy losowych obwodów kwantowych (obwody tworzące tzw. "unitary 4-designs").

Mimo że odległość AC może być użyta do kwantyfikacji jakości implementacji pomiaru, nie dostarcza ona konkretnego protokołu jak scharakteryzować dany nieidealny pomiar. Częściowe rozwiązanie tego problemu proponujemy w Rozdziale 4, gdzie przedstawiamy wydajną metodę rekonstrukcji pewnych typów lokalnego szumu pomiarowego z danych eksperymentalnych. Proponowana metoda, *Diagonal Detector Overlapping Tomography* (DDOT), wykorzystuje klasyczną losowość. Co więcej, pokazujemy jak użyć wyników DDOT do redukcji efektów szumu pomiarowego na estymację marginalnych rozkładów prawdopodobieństwa. Jest to istotne, na przykład, w kontekście estymacji energii lokalnych Hamiltonianów. Nasze metody redukcji błędów są klasyczne w tym sensie, że są wykonane całkowicie w *post-processingu* danych eksperymentalnych uzyskanych w nieidealnych eksperymentach.

Wiele wyników w całej dysertacji jest wspartych przez obszerniejsze symulacje numeryczne. Ponadto, prezentujemy wyniki eksperymentalnej implementacji charakterystyki i mitygacji szumów na nadprzewodzących urządzeniach kwantowych od IBM i Rigetti (Chapter 4).

Dysertacja składa się z następujących prac:

- 1 *Operational Quantum Average-Case Distances*, F.B. Maciejewski, Z. Puchała, M. Oszmaniec, Quantum 7, 1106 (2023).

- 2 *Exploring Quantum Average-Case Distances: Proofs, Properties, and Examples*, F.B. Maciejewski, Z. Puchała, M. Oszmaniec, IEEE Transactions on Information Theory, vol. 69, no. 7, pp. 4600-4619 (2023).
- 3 *Modeling and mitigation of cross-talk effects in readout noise with applications to the Quantum Approximate Optimization Algorithm*, F.B. Maciejewski, F. Baccari, Z. Zimborás, M. Oszmaniec, Quantum 5, 464 (2021).