

Streszczenie rozprawy doktorskiej

„Open systems in quantum informatics”

mgr inż. Łukasz Paweła

Instytut Informatyki Teoretycznej Polskiej Akademii Nauk

Informatyka kwantowa jest dziedziną nauki badającą możliwość wykorzystania zasobów kwantowych do przechowywania, przetwarzania i przesyłania informacji. Jako stosunkowo nowa gałąź informatyki wciąż dynamicznie się rozwija i obecnie obejmuje wiele interesujących podobszarów badawczych. Do niedawna jej zakres badań ograniczony był głównie do prac teoretycznych, obecnie jednak duże nadzieje wiąże się z powstającymi komputerami kwantowymi. Choć obecnie, w roku 2017, dysponujemy kilkoma działającymi prototypami oraz jednym komercyjnie dostępnym komputerem kwantowym, to wszystkie te konstrukcje posiadają ograniczenia. Rozważania teoretyczne pozwalają jednak przypuszczać, że wielkoskalowe komputery kwantowe będą w stanie rozwiązać problemy takie jak np. rozkład liczb na czynniki pierwsze z wykorzystaniem algorytmu Shora zdecydowanie szybciej niż komputery klasyczne. Pomimo tych postępów istnieje ciągle wiele otwartych pytań w tej dziedzinie.

Celem niniejszej dysertacji jest omówienie i zbadanie zagadnienia inżynierii kanałów kwantowych opisujących działanie otwartych układów kwantowych. W tym celu będziemy koncentrować się na poprawnym wyborze i adaptacji modeli już istniejących w informatyce kwantowej. Chcemy bowiem pokazać, że pozwoli to na uzyskanie efektów bliskich optymalnym dla badanego zagadnienia.

Głównym obiektem badań w tej pracy są układy modelowane równaniem Goriniego-Kossakowskiego-Sudarshana-Lindblada. Kanał kwantowy w tych układach tworzymy poprzez oddziaływanie na ich część przedziałami stałymi funkcjami sterującymi. Będziemy badać rozmaite ograniczenia, które można nałożyć na wyżej wspomniane funkcje. Pierwszym z nich będzie z góry ustalona liczba okresów funkcji sterujących. Kolejnym – ograniczenie na spektrum tych funkcji. Na koniec przejdziemy do badania optymalizacji tych funkcji z minimalną normą L_1 .

Oprócz wyżej wymienionych ograniczeń zbadamy możliwość wykonania operacji unitarnej w kwantowym układzie otwartym. W tym celu dodajemy do rozważanego układu dodatkowy system, na który aplikujemy funkcje sterujące a następnie pokazujemy, że po odrzuceniu tego dodatkowego układu uzyskujemy kanał kwantowy będący blisko kanału unitarnego. Na koniec

wprowadzamy nową funkcję dla procedury optymalizacji. Bazuje ona na funkcji nadwierności stanów kwantowych, stąd jej nazwa – nadwierność kanałów kwantowych. Ma ona tę zaletę, że jest łatwo obliczalna dla szerokiej klasy kanałów kwantowych i pozwala nam przedstawić szereg wyników analitycznych.

W Rozdziale 1 zamieszczono krótkie wprowadzenie do matematycznego języka informatyki kwantowej. Ostatnia część tego rozdziału zawiera krótki opis pięciu publikacji stanowiących podstawę niniejszej dysertacji oraz dokładny opis mojego wkładu w powstanie każdej z nich.

Pozostała część dysertacji zawiera pięć opublikowanych artykułów naukowych dotyczących tematu inżynierii kanałów kwantowych. Pierwszy z nich, zaprezentowany w Rozdziale 2, dotyczy zagadnienia oszukiwania w grze kwantowej. Dokładniej mówiąc, badamy przypadek, w którym gracze posiadają niesymetryczną informację dotyczącą gry. W rozważanej przez nas sytuacji jeden z graczy myśli, że gra odbywa się na qubicie izolowanym od środowiska, podczas gdy drugi wie, że układ jest sprzężony ze środowiskiem.

Następnie w Rozdziale 3 badamy możliwość wykonania operacji unitarnej na otwartym układzie kwantowym. W tym celu dodajemy do układu dodatkowy system i wykonujemy na nim funkcje sterujące. W ten sposób pokazujemy, że po odrzuceniu dodatkowego systemu otrzymamy operację unitarną. Warunkiem otrzymania poprawnej operacji jest, aby sprzężenie ze środowiskiem było na tym samym poziomie co sprzężenie między układami.

W Rozdziale 4 skupimy się na przypadku ograniczeń na częstotliwości pojawiające się w transformacie Fouriera tych funkcji. Uzyskane w ten sposób funkcje sterujące, po zaaplikowaniu filtra dolnoprzepustowego, pozwalają uzyskać wyższą wierność operacji kwantowej, niż w przypadku, gdy przy optymalizacji nie uwzględniono tego ograniczenia.

Praca przedstawiona w Rozdziale 5 skupia się na sprzężeniu ze środowiskiem – doprecyzowując, badamy przypadek, w którym funkcje sterujące powodują sprzężenie ze środowiskiem. Celem jest sprawdzenie, czy istnieje możliwość optymalizacji funkcji kontrolnych z minimalną normą L_1 w taki sposób, by zmniejszyć sprzężenie ze środowiskiem.

W Rozdziale 6 badamy funkcje celu wykorzystywane w inżynierii kanałów kwantowych. Aby porównać wyjścia dwóch kanałów kwantowych, wykorzystujemy funkcję nadwierności stanów kwantowych. W wyniku tej operacji otrzymujemy nową funkcję celu – nadwierność kanałów.

Podsumowując, w niniejszej dysertacji zbadaliśmy zagadnienia znajdowania funkcji sterujących dla otwartych układów kwantowych. Wyniki zaprezentowane w Rozdziałach 2–6 pokazują, że poprawny wybór i adaptacja modeli informatyki kwantowej pozwala na efektywną inżynierię kanałów kwantowych w otwartych układach kwantowych.