

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Pasha Pandya pt. „Application of chosen optimization algorithms for recognition of nonclassical effects”

1. Opinia ogólna

Przedstawiona rozprawa jest na bardzo wysokim poziomie merytorycznym i dotyczy trudnego problemu certyfikacji korelacji kwantowych. Ilość przedstawionych wyników jest w moim odczuciu zadowalająca i wystarcza z nawiązką do spełnienia wymagań stawianych pracom doktorskim. Praca doktorska ma 116 stron, jednak rozbudowując opisy w celu zwiększenia przystępności można by ją bez większego wysiłku rozszerzyć do około 200 stron. Od strony formalnej, praca wykonana jest starannie i ma przemyślaną strukturę. Mimo wszystko, po przeczytaniu pracy nasuwają się drobne wątpliwości co do stopnia zaangażowania doktoranta w uzyskanie części przedstawionych wyników. Nie znalazłem w rozprawie informacji na temat podziału zadań badawczych. Wszystkie opisy wykonanych badań pisane są w pierwszej osobie liczbie mnogiej, co moim zdaniem rozmywa rolę doktoranta w prowadzonych badaniach. Moje wątpliwości dotyczą głównie rozdziału 5, który jest napisany trochę mniej przejrzysto niż reszta pracy. Może to być spowodowane różnicą w stosowanym aparacie pojęciowym względem reszty rozprawy. Rozdział 5 opisuje nierówności Bella i doktorant stosuje tam inne metody niż w poprzednich rozdziałach. Można przez to spekulować na temat stopnia zrozumienia wszystkich szczegółów technicznych rozdziału 5 przez autora rozprawy. Nie jest to jednak przesłanka do podważenia zdolności doktoranta do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

2. Ocena merytoryczna

a. Znaczenie problematyki w recenzowanej rozprawie

Tematyka poruszana w rozprawie jest ważna w odniesieniu do zastosowań i opisu układów złożonych wykazujących zachowania nieklasyczne. Do takich zastosowań należy, między innymi, komunikacja kwantowa, gdzie gwarantem bezpieczeństwa są prawa fizyki kwantowej. Bezpieczeństwo i prywatność komunikacji ma zasadnicze znaczenie dla wszystkich osób korzystających ze zdalnej komunikacji do przesyłania wrażliwych danych. Ma to miejsce np. w komunikacji z bankami czy organami administracyjnymi.

b. Metodyka badawcza (założenia, cele, metody)

Doktorant za cel swoich badań obrał badanie efektów nieklasycznych takich jak splątanie (nieseparowalność) czy nielokalność. Autor zakłada, że bada dowolny wielowymiarowy stan kwantowy. Ze względu na geometrię problemu, doktorant zdecydował się na zastosowanie algorytmu Gillberta do znajdowania najbliższego separowalnego bądź k-separowalnego do stanu badanego. Zidentyfikowanie odpowiedniego algorytmu do badania problemu separowalności układów złożonych oraz jego udana aplikacja do tychże świadczą o odpowiednim doborze metod do badanych problemów. O dobrym doborze i zrozumieniu obszaru zastosowania wybranego algorytmu świadczy również jego zastosowanie do znalezienia optymalnego świadka splątania. Wiąże się to z dobrym zrozumieniem geometrii stanów kwantowych, miar odległości między stanami oraz pojęć programowania

wypukłego. W rozprawie autor demonstruje również świadomość ograniczeń stosowanych metod optymalizacyjnych oraz wiąże te ograniczenia z klasą złożoności problemu separowalności. Aby sprawdzić poprawności zastosowanego algorytmu autor wykorzystuje w uzasadnionych przypadkach algorytm Verstraete, który odnajduje najbliższy stan PPT do stanu badanego. Można powiedzieć, że doktorant udanie zaadaptował algorytm Gillberta do dwóch klas problemów k-separowalności i znajdowania optymalnego świadka splątania.

W przypadku badania nielokalności i powiązania tego efektu z samotestowaniem doktorant posłużył się różnymi nierównościami Bella. Celem było tutaj znalezienie pary stan-nierówność pozwalającej na przeprowadzenie weryfikacji nielokalności korelacji kwantowych w oderwaniu od założeń na temat stosowanych układów doświadczalnych. W rozprawie Doktorant ograniczył się do badania nierówności opartych na rozkładach prawdopodobieństwa wyników pomiarów dwóch dwuwartościowych obserwabli. Zastosował nierówności liniowe (pozwalające na samotestowanie jednego stanu na jedną nierówność) i nieliniowe drugiego rzędu (pozwalające na samotestowanie całej rodziny stanów na jedną nierówność). Ograniczenie zakresu rozważanych nierówności do binarnych obserwabli pozwoliło doktorantowi na wykazanie szeregu własności obserwabli maksymalnie łamiących wybrane nierówności Bella. Dzięki temu doktorant odszukał przykłady stanów odpowiadających maksymalnie łamanym nierównościami. Wyniki te mogą pozwalać na weryfikację bezpieczeństwa wielostronnej komunikacji kwantowej.

c. Struktura rozprawy

Rozprawa jest podzielona na logicznie następujące po sobie rozdziały, z których każdy stanowi spójną całość. Brakuje jednak części podsumowującej w punktach najważniejsze wyniki rozprawy wraz z wyjaśnieniem w jaki sposób rozszerzają one dotychczasową wiedzę opisaną w literaturze.

d. Wykorzystana literatura

Praca jest opatrzona obszerną bibliografią (62 pozycje), w której jednak znajdują się błędy redakcyjne. Niektóre nazwiska nie są poprawnie zapisane. W pracy pojawiają się nawiązania do znanych wyników, ale nie są one opatrzone odnośnikami. Brakuje odnośników do: prac wykazujących klasę NP. złożoności problemu separowalności, prac definiujących właściwości miar splątania, pracy wprowadzającej „convex roof extension”, pracy podającej treść twierdzenia Caratheodorego, materiałów źródłowych opisujących geometrię stanów kwantowych, pracy definiującej stany Wernera, odniesienia do treści twierdzenia Naimarka, pracy definiującej uogólnione macierze Gell-Manna, pracy wprowadzającej twierdzenie Bertlmann-Narnhofera-Thirringa, prac dotyczących nierówności Svetlichnego, MABK, Uffnika.

e. Szczegółowa ocena merytoryczna poszczególnych części rozprawy

Wszystkie rozdziały są bardzo dobrze napisane. Mam jednak pewne uwagi krytyczne. Rozdział 1 służy wprowadzeniu aparatu pojęciowego stosowanego w rozprawie i jest napisany w sposób satysfakcjonujący.

W rozdziale 2 opisana jest procedura generacji losowego czystego stanu separowanego. Nie odpowiada jednak na pytanie czy jest to procedura próbująca przestrzeń stanów w sposób jednorodny. W sekcji 2.5.2 „Uniqueness of the Closest Separable State” ostatnie zdanie jest problematyczne. Brakuje argumentu za wykluczeniem możliwości istnienia czystego stanu separowalnego bliższego niż stany separowalne równoodległe.

Rozdział 3 systematycznie opisuje przykłady użycia algorytmu znajdowania najbliższego stanu separowalnego. Występują rozbieżności w przypadku badania biseparowalności dwiema metodami opartymi na opisanym wcześniej algorytmie. Autor wyciąga wnioski na temat geometrii najbliższych stanów separowalnych zgodnie z wiedzą znaną literatury, oraz nowe, np. w przypadku wielowymiarowych stanów GHZ.

W rozdziale 4 doktorant opisuje metodę tworzenia optymalnych świadków splątania. Cały wywód jest kompletny i nie pozostawia niedomówień. Można jednak poprawić opisy przy rysunkach, które nie są jednoznaczne (jako przykłady można wymienić rys. 4.4, gdzie brakuje opisów osi; rys. 4.5, gdzie symbole z rysunku nie są opisane w podpisie).

Rozdział 5 wymaga przestawienia się na nową klasę problemów i narzędzi związanych nieklasycyzacją korelacji i stosuje inne metody niż w poprzednich rozdziałach. Rozdział jest krótki, ale zawiera wiele ważnych wyników i twierdzeń, które autor mógłby bardziej szczegółowo omówić, tym bardziej, że podobny formalizm nie był stosowany wcześniej w rozprawie. Prześledzenie wyprowadzonych wzorów wymaga tu też od czytelnika więcej wysiłku niż w poprzedniej części rozprawy. Daje to wrażenie, że styl w jakim napisane są rozdziały 1-4 i rozdział 5 jest różny. Poziom merytoryczny rozdział 5 jest nieco wyższy niż poprzednich części rozprawy.

Ostatni rozdział 6 zwięźle podsumowuje rozprawę wskazując na istotne rezultaty.

f. Języki i formalna strona rozprawy

Praca została napisana w dobrym naukowym stylu, w języku angielskim. Praca jest dobrze zredagowana z odpowiednią dbałością o szczegóły. Zdarzają się jednak wyjątki. Pojawiają się literówki i inne błędy, np. nazwisko Bell pisane z małej litery „bell” (trudne do wykrycia automatycznie). Użycie wielkiej litery oraz przecinków jest niekonsekwentne. Ślad macierzy jest oznaczany różnym krojem czcionki. Pozycje bibliograficzne [62,39,26] mają nieodpowiednio zapisane nazwiska autorów. Brakuje też konsekwencji w używaniu pełnych imion, bądź inicjałów. Odnośniki do prac online (DOI, URL) też różnią się formatem i nie wszystkie prace dostępne online mają podane takie odnośniki. Podpisy rysunków są często zbyt zdawkowe. Formatowanie tekstu przy osiach np. wykresu 3.5 można by poprawić, gdyż „px100” można zastąpić np. przez $p [10^{-2}]$. Te niedociągnięcia, nie zacierają jednak mojego pozytywnego wrażenia odnośnie jakości przedstawionej rozprawy.

3. Pytania problemowe

- a. Czy sekcja 2.5.2 ma poprawną konkluzję?
- b. Jakie konsekwencje dla uzyskanych wyników miałyby nieprawdziwość stwierdzenia o identyfikacji najbliższego stanu separowanego jako mieszaniny stanów separowalnych równoodległych?
- c. Jakie są perspektywy na eksperymentalne wykorzystanie uzyskanych wyników teoretycznych?
- d. Jaką rolę w uzyskaniu opisanych wyników będących opublikowanych w pracach wieloautorskich pełnił doktorant?

4. Wnioski i opinia końcowa

Mimo przedstawionych sugestii i krytyki moja opinia o pracy pozostaje pozytywna. Przedłożona mi do recenzji dysertacja doktorska spełnia ustawowe kryteria (art. 187, Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U.2022.0.574) tj.:

- stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim jest eksploracja metod wykrywania nieklasycznych korelacji,
- wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną doktoranta w dyscyplinie nauki fizyczne, zwłaszcza w zakresie teorii informacji kwantowej,
- potwierdza umiejętność doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia pracy naukowej,
- do rozprawy jest dołączone streszczenie w języku polskim oraz angielskim.

Niestety z treści rozprawy nie jest całkowicie jasne ile wysiłku w badania, których wyniki stanowią większość treści recenzowanej rozprawy, włożył sam doktorant a ile pozostali współautorzy prac. Zdania o dokonaniach naukowych w pracy pisane są w liczbie mnogiej. Brakuje jasnego wskazania roli doktoranta w badaniach. Mogę założyć, że w pracy [39] doktorant pełnił rolę wiodącą. Oceniając rozprawę jako odrębne jednoautorskie dzieło naukowe, również stwierdzam, że autor wykazuje gotowość autora do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Do najważniejszych walorów recenzowanej pracy należy zaliczyć:

- ważności i aktualność podjętego tematu,
- przejrzystość i struktura pracy,
- solidna metodologia, dobór metod badawczych.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. Palasha Pandya pt. „Application of chosen optimization algorithms for recognition of nonclassical effects” spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w w/w ustawie I na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Gdańskiego o jej dopuszczenie do publicznej obrony.



Prof. UAM dr hab. Karol Bartkiewicz