

Dr hab. Julian Sitarek
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Uniwersytetu Łódzkiego

Recenzja pracy doktorskiej mgr. Aleksandra Kurka

Rozprawa doktorska Pana mgr. Aleksandra Kurka, zatytułowana „Towards advanced astronomical imaging: new techniques of data reduction and their applications” została wykonana pod kierunkiem Dr hab. Agnieszki Pollo. Właściwa część pracy składa się z 94 stron, podzielonych na 4 rozdziały i zwieńczonych krótkim podsumowaniem. Bibliografia zawiera 217 pozycji.

Tematyka przedstawiona w pracy doktorskiej koncentruje się głównie na różnych metodach ulepszania uzyskiwanych przez teleskopy obrazów. W szczególności omawiane są: interpolacja wadliwych pikseli, usuwania szumu impulsowego, optymalny podział czasu obserwacji na poszczególne ekspozycje oraz składania obrazów słabych źródeł z wielokrotnych ekspozycji. W czwartym rozdziale doktorant również wybiega w przyszłość omawiając możliwość wykorzystania teleskopów kwantowych do ulepszenia rozdzielczości obrazów astronomicznych. Pomimo, że większość pracy jest zdecydowanie „techniczna”, doktorant wiąże ją z konkretnymi zastosowaniami wymagającymi bardzo dobrej rozdzielczości kątowej, m.in. aktualnym problemem poszukiwania planet poza układem słonecznym.

Badania przedstawione w rozprawie doktorskiej oparte są na 4 pracach opublikowanych w czasopismach *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, *Optical Letters* oraz *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Czasopisma te mają impact factor rzędu kilku. Prace te są kilku-autorskie, lista autorów nie jest alfabetyczna. We wszystkich pracach doktorant znajduje się na pierwszej (1 praca) lub drugiej (3 prace) pozycji w liście autorów. Wraz z umieszczoną na początku każdego (pod-)rozdziału deklaracją doktoranta dotyczącą wykonanych zadań wskazuje to na duży udział doktoranta w tych czterech pracach. Z drugiej strony, opisując uzyskane wyniki w rozprawie habilitacyjnej, doktorant używa praktycznie w całej pracy „we” (my) zamiast „I” (ja). Lepszym rozwiązaniem byłoby używanie „I” w przypadku wyników osiągniętych bezpośrednio przez doktoranta. Biorąc pod uwagę, że są to dosyć nowe prace, uzyskane przez nie dotychczas 8 cytowań (nie licząc samocytowań) nie jest złym wynikiem. Dodatkowo w rozprawie doktorskiej wymienione są dwie kolejne prace, które zostały złożone przed złożeniem doktoratu, lecz w momencie pisania tej recenzji nie pojawiły się one w bazie NASA ADS, a zatem najprawdopodobniej wciąż są w trakcie recenzji w czasopiśmie.

Rozdział pierwszy pełni rolę wstępu. Doktorant określa rys historyczny obserwacji optycznych, omawia ograniczenia rozdzielczości kątowej, oraz przedstawia skalę obserwowanych odległości kątowych różnych klasy obiektów astronomicznych. Wstęp ten dobrze motywuje konieczność badań zaprezentowanych w kolejnych rozdziałach. Chociaż nie dostrzegłem w nim żadnych rażących błędów, występuje w nim kilka nieścisłości bądź drobnych pomyłek. Jako przykład można podać np. brak „mm” w równaniu 1.1, użycie formy „ 10^{-7} x darker” zamiast „ 10^7 x darker”, czy odwrócenie stosunku w „ $71/10^6 = 14\ 000$ ”. Niektóre wyjaśnienia wydają się również zbyt szczegółowe (np. jawne rozpisanie konwersji mm na μm oraz stopni na arcsec w równaniu 1.1), bądź, choć same w sobie ciekawe, mogłyby być swobodnie opuszczone bez szkody dla reszty rozprawy (jak np. częste odwołania do ludzkiego oka, lub lądowanie na księżycu).

Większość przeprowadzonych przez doktoranta badań została przedstawiona w rozdziale drugim. Rozdział ten jest podzielony na cztery podrozdziały, każdy z nich przedstawiający wyniki opublikowane w jednej z trzech opublikowanych oraz jednej złożonej do czasopisma pracy.

W rozdziale 2.1 doktorant porównuje dokładność pięciu metod interpolacji wadliwych pikseli oraz proponuje nową metodę. Nowa metoda opiera się na podobieństwie obserwowanego obrazu punktowych źródeł określonego przez PSF (*point spread function*) teleskopu. W równaniu 2.1 brakuje dzielenia przez N (jako stały czynnik nie powinno to jednak zmienić osiągniętych wyników). Również formuła 2.4 miałaby znacznie więcej sensu, jeżeli średni błąd estymacji liczony byłby jako ważona średnia arytmetyczna (bądź kwadratowa poszczególnych błędów estymacji, a nie tak jak to jest napisane na stronie 23 jako pierwiastek z ważonej średniej arytmetycznej. Czytając ten rozdział nasuwa się kilka pytań które mogłyby się znaleźć w dyskusji osiągniętych wyników. Zastanawia m. in. jaki wpływ na tę metodę ma zależność PSF od długości fali światła (która sprawia, że gwiazdy o różnych kolorach będą miały różny obserwowany kształt), jak szybki jest zmodyfikowany przez doktoranta algorytm, jaka metoda może być zastosowana w nie tak rzadkim przypadku, gdy dwa wadliwe piksele występują obok siebie.

W rozdziale 2.2 doktorant omawia różne metody programowej eliminacji szumu impulsowego. Metody są opisane dosyć skrótowo z pewnymi drobnymi nieścisłościami (np. mówienie o „promieniu” kwadratu, czy wymienienie mediany, lecz bez wyjaśnienia, w jakim obszarze jest liczona). Same testy metod (ani nawet zmienne definicja i jednostki σ_{PSF} i SNR) nie są natomiast praktycznie w ogóle opisane i czytelnik jest jedynie odesłany do opublikowanej pracy. Zwykle to w rozprawie doktorskiej jest więcej miejsca do opisanie szczegółów badań niż w opublikowanych pracach. Na dolnym panelu rysunku 2.13 widać duży rozrzut najlepszej metody redukcji szumu w zależności od użytej kamery. Nie jest wyjaśnione w rozprawie doktorskiej, czy wynika on z właściwości szumu impulsowego samych kamer, czy z czegoś innego. W szczególności obserwacje tego samego źródła teleskopem wyposażonym w taką samą optykę, lecz inną kamerę mogą dać inne σ_{PSF} (wyrażone w pikselach kamery) oraz SNR, od których jak pokazuje doktorant, również zależy efektywność metody. Uważam również, że przedstawienie ostatecznych wyników jako ilość przypadków, w których ta metoda okazała się najlepsza gubi istotną część informacji. Na przykład metoda, która zawsze jest druga, lecz jedynie nieznacznie gorsza od najlepszej może być preferowana niż metoda, która np. w połowie przypadków jest najlepsza a w połowie najgorsza. Lepszym rozwiązaniem na prezencje wyników mogłoby być np. wykreślenie E_{RMS} i E_a dla poszczególnych metod.

W rozdziale 2.3 opisana jest metoda optymalizacji podziału całkowitego czasu obserwacji na indywidualne ekspozycje wykorzystująca algorytm ewolucyjny. Chociaż sam pomysł jest bardzo interesujący, możliwość jego praktyczne zastosowania wydaje mi się ograniczona. Do optymalizacji wymagana jest znajomość m. in. jasności wszystkich źródeł, podczas gdy wyznaczenie tych jasności jest najprawdopodobniej celem samych obserwacji.

W rozdziale 2.4 doktorant opisuje metodę składania obrazu z wielokrotnych ekspozycji, w których przesunięcia poszczególnych obrazów są uzyskiwane poprzez algorytm ewolucyjny. Ten rozdział jest według mnie najciekawszą częścią rozprawy doktorskiej. Szczególnie imponujące jest zaprezentowanie możliwości tej metody na rysunku 2.21. Nie zgadzam się jednak ze zdaniem napisanym przez doktoranta: „It is difficult to present strict numeric efficiency of the method, since each individual run depends on its randomly generated starting point”. Podejrzewam, że algorytm powinien generować pewne losowe przesunięcie całego obrazu w zależności od założonych początkowych wartości. Jednakże, wydajność metody pokazana na rekonstruowanych obrazach wskazuje, że przesunięcie liczone względem np. uśrednionego przesunięcia powinno się zbliżać do wartości bliskich prawdziwych wartościom. Można by zatem wykreślić rozkład różnicy takiego względnego przesunięcia oraz prawdziwego przesunięcia, bądź wyznaczyć część obrazów przesuniętych idealnie. Co więcej, doktorant podaje część tej informacji na rysunki 2.22 oraz w ostatnim paragrafie rozdziału 2.4.2. Sądzę, że metoda zaproponowana przez doktoranta zdecydowanie powinno znaleźć zastosowanie w obserwacjach astronomicznych. Jednakże

możliwości obliczeniowe mogą wciąż ograniczać jej zastosowanie w niektórych przypadkach, np. we wspomnianej w rozprawie doktorskiej stabilizacji obrazów. Przeskalowując czas obliczeń 30 min dla kamery 100x100 pikseli, otrzymujemy 50 h dla kamery 1Mpik.

Rozdział trzeci opisuje planowane duże teleskopy o rozmiarze zwierciadła powyżej 20 m. Pomimo tego, że opisane w poprzednim rozdziale metody mogą być oczywiście do nich zastosowane, oraz że rozdział ten może być rozumiany jako wstęp do kolejnego rozdziału, wciąż wydaje się on tutaj niezbyt potrzebny. Większość informacji można było pominąć, jako że mają jedynie pośredni związek z badaniami doktoranta, a pozostałe rozdzielić pomiędzy rozdział 1 (do którego rozdział 3 i tak się odwołuje) a rozdział 4.

Rozdział czwarty jest poświęcony możliwości konstrukcji teleskopu kwantowego, który byłby w stanie osiągnąć lepszą rozdzielczość kątową, niż pozwala na to limit dyfrakcyjny. W podrozdziale 4.1.2 omówiony jest model klasyczny dający obiecujące rezultaty. Natomiast w kolejnym podrozdziale (4.1.3) omówiony jest dokładniejszy, semi-klasyczny model oraz postulowane jest, że umieszczenie urządzenia duplikującego fotony po odbiciu od lustra (tak jak doktorant proponuje w rozdziale 4.1.2) nie może ulepszyć rozdzielczości kątowej. Przewidywania modelu semi-klasycznego są zdecydowanie mniej optymistyczne niż klasycznego. Taka sytuacja może się oczywiście zdarzyć w cyklu prac naukowych, gdzie kolejny, dokładniejszy model umieszczony w jednej pracy rewiduje wyniki osiągnięte w poprzedniej pracy. Jednakże w ramach jednego dokumentu, jakim jest rozprawa doktorska, wprowadza to pewną wewnętrzną sprzeczność. Znacznie lepszym rozwiązaniem byłoby skupienie się na modelu semi-klasycznym, umieszczając model klasyczny jedynie jako wstęp do niego. Zastanawia mnie również sposób symulacji tła pochodzącego ze spontanicznej emisji. W rozprawie doktorskiej fotony tła symulowane są niezależnie, korzystając z rozkładu Poissona. Jednakże, ponieważ emitowane są one wewnątrz urządzenia klonującego fotony, powinny one również zostać klonowane z wielokrotnością bliską N . Wtedy nawet pojedynczy foton tła można znacznie zmienić otrzymane COG. Poza tym doktorant zakłada w symulacjach, że pojedynczy foton może zostać sklonowany w zasadzie dowolną ilość razy z minimalną zmianą jego funkcji falowej. Ponieważ wykonanie dokładnej kopii stanu nie jest możliwe w mechanice kwantowej, rozsądnym jest spodziewać się, że im większa ilość klonów tym bardziej będzie zaburzona funkcja falowa, co ostatecznie powinno wpłynąć na dokładność określenia COG. Co więcej, w modelu semi-klasycznym ilość zaobserwowanych sklonowanych fotonów w danym pikselu jest losowana z rozkładu Poissona ze średnią proporcjonalną do kwadratu funkcji falowej. W przypadku, jeżeli stany sklonowanych fotonów są płątane (tak jak np. w mechanizmie UQCM), zmierzenie poprzez kamerę teleskopu pierwszego ze sklonowanych fotonów zaburzy funkcję falową pozostałych, co może się odbić (pozytywnie lub negatywnie!) na obserwowanej rozdzielczości kątowej.

W podrozdziale 4.3 doktorant omawia możliwość budowy i późniejszych obserwacji odległych obiektów hiperteleskopami porównując m. in. odległość poprzeczną mierzoną przy danym przesunięciu ku czerwieni (tj. comoving transverse distance) z ograniczeniem dyfrakcyjnym. Dokładniejszym i bardziej optymistycznym rozwiązaniem byłoby tutaj porównywanie rozmiaru kątowego (który zmniejsza się dla $z \gg 2.5$).

Rozprawa habilitacyjna została napisana w języku angielskim. Jak w każdej dłuższej pracy da się znaleźć pewną ilość literówek, błędów interpunkcyjnych, brakujących fragmentów zdań oraz innych drobnych niedoskonałości (np. użycie tego samego skrótu (RMS) w dwóch różnych znaczeniach). Ich ilość nie jest jednak na tyle duża, żeby znacząco utrudnić czytanie pracy. Zwraca uwagę również dość częste (szczególnie w przypadku odwołań do bibliografii) wychodzenie tekstu poza margines, a w trzech przypadkach w adresach internetowych w bibliografii nawet zupełnie poza obszar kartki. Nie utrudnia to czytania, ale sprawia wrażenie, jakby praca była dokańczana w pośpiechu, bez ostatecznego sprawdzenia przed złożeniem. Znaczną część powierzchni pracy stanowią wykresy, których umieszczenie w tekście nie zostało zbyt optymalizowane, zmuszając

czytelnika często do przewijania tekstu nawet o kilka stron.

Pomimo wymienionych powyżej mankamentów samej rozprawy doktorskiej wysoko oceniam wartość badań naukowych doktoranta w niej opisanych. Pokazuje ona, że doktorant jest w pełni ukształtowanym naukowcem, będącym w stanie rozwijać nowe metody analizy danych obserwacyjnych. Zatem w pełni spełnione zostały wymagania określone w art. 13. ust. 1. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.). Wnioskuje zatem o przyjęcie pracy doktorskiej Pana mgr. Aleksandra Kurka i o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Wnoszę również o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr. Aleksandra Kurka.

Sitaruk