

Prof. dr hab. inż. Jerzy Kornowski
43-100 Tychy
Orzeszkowej 29/3
tel 607 651 246

Tychy 10 01 2019

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Aptekorza
pt. „Automatyczna detekcja pierwszego wstąpienia
podłużnej fali sejsmicznej z wykorzystaniem technologii
CUDA dla cyfrowych zapisów wstrząsów górniczych”.**

Recenzję wykonałem na zlecenie Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa w oparciu o pismo Naczelnego Dyrektora, Pana prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska (l. dz. NSR/227/2018 z dnia 23 11 2018) i umowę (FA/23/11/18/A1).

Recenzowana praca została wykonana pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Adama Lurki prof. GIG.

Praca liczy 116 numerowanych stron łącznie z tabelami i rysunkami, oraz jednostronicowy „Abstract” w języku angielskim a składa się z 7 rozdziałów zasadniczych, oraz obejmującego 71 pozycji (w tym 2 współautorstwa Doktoranta) spisu literatury i rozdziału zawierającego wykazy i załączniki. Tekst rozprawy poprzedzony jest spisem treści i wykazem skrótów.

Niniejsza recenzja obejmuje części o nazwach:

1. Ogólna charakterystyka i opis rozprawy
2. Ocena aspektów formalnych (temat, teza, cel) rozprawy
3. Krytyczna analiza pracy i jej usterki
4. Wniosek końcowy.

1. Ogólna charakterystyka i opis rozprawy

Recenzowana rozprawa jest opisem badań zmierzających do oceny użyteczności wybranych metod i algorytmów przetwarzania danych geofizycznych, obejmując też przygotowanie, opis i analizę użyteczności nowoczesnych narzędzi badawczych w postaci oprogramowania i sprzętu.

Rozdział 1 rozprawy to Wstęp, w którym Doktorant najpierw krótko opisuje trudną sytuację w zakresie automatycznej detekcji pierwszych wejść fali P na sejsmogram cyfrowy - **uzasadniając tym podjęcie tematu pracy**, a dużą ilością niezbędnych obliczeń **uzasadnia wprowadzenie obliczeń równoległych na procesorach graficznych**, które mogą je przyspieszyć i stanowią, o ile mi wiadomo, **nowość w górniczych zastosowaniach sejsmologii**. Autor informuje też, które – znane z literatury – algorytmy zamierza stosować.

Dalsza część rozdziału 1 to ogólne wprowadzenie do obliczeń na procesorach graficznych, a w ostatniej części tego rozdziału opisano bardzo skrótowo niektóre znane metody lokalizacji wstrząsów deklarując, że w rozprawie wykorzystuje się metodę i program (MULTILOK) znane np. z prac prof. Lurki.

Rozdział 2 określa cel pracy, jej tezę i zakres.

Teza pracy zapewnia, że

Detekcja czasu pierwszego wstąpienia podłużnej fali sejsmicznej P z wykorzystaniem technologii CUDA pozwala na automatyzację procesu lokalizacji zjawisk sejsmicznych w kopalniach.

Cel pracy rozbity został na „cel główny”, który obejmuje badanie algorytmów detekcji i „cel dodatkowy” - czyli rozszerzenie detekcji o metodę dyskwalifikacji sejsmogramów „z szumem o dużych amplitudach”. Wreszcie, nakreślając zakres pracy, Autor wymienia badanie, pod kątem możliwości zastosowania do lokalizacji ognisk wstrząsów, wcześniej wspomnianych algorytmów detekcji: Allena, zwany też algorytmem STA/LTA (co oznacza iloraz średnich: krótkookresowej i długookresowej), AIC (czyli kryterium informacyjne Akaike) z jednym filtrem autoregresyjnym, AIC z dwoma (przeciwnie skierowanymi) filtrami autoregresyjnymi, oraz algorytm Maedy, nie korzystający z filtrów liniowych lecz stosujący kryterium AIC.

W rozdziale 3 Doktorant nakreśla „sytuację początkową” swej pracy informując, że do badań wybrano 100 wstrząsów z kopalni Bobrek-Centrum, zarejestrowanych w formie cyfrowych sejsmogramów (z częstotliwością próbkowania $f=500\text{Hz}$) przez sieć 13, wyszczególnionych w tabeli Tab.2 sejsmometrów – w tym 8 jednoskładowych i 5 trójskładowych, otrzymując 3157 sejsmogramów z wyznaczonymi przez geofizyka czasami wejścia, a każdy sejsmogram zawierał 4096 lub 8192 próbki, przy czym standardowa długość sejsmogramu to 8192 próbki (s. 26). Można dodać, że wynika stąd iż niektóre sejsmogramy były dzielone, nie wiadomo jednak dlaczego i czy automatycznie, co generuje ciekawe pytania i problemy, nie badane jednak przez Doktoranta. Następnie krótko przedstawione jest środowisko sprzętowe i programistyczne, którym dysponował Autor, jako narzędziami na potrzeby tej pracy.

W rozdziale 4 opisane są metody, będące przedmiotem badań, (lub, z konieczności, w nich występujące), najpierw dobrze znane metody lokalizacji następnie, w rozdz. 4.2, wybrane metody detekcji, z jednym filtrem autoregresyjnym (AIC-AR2) i z dwoma (AIC-AR1), następnie detektor zwany metodą Maedy, nie filtrujący sejsmogramu lecz szukający minimum funkcji AIC, która w wersji Maedy staje się prostym przekształceniem wariancji i wreszcie algorytm Allena (STA/LTA) który Doktorant opisuje (str. 38) jako iloraz wariancji lecz realizuje, jak wskazuje tekst i kod na str. 45, jako iloraz odpowiednich sum wartości bezwzględnych. Dodać warto, że modele autoregresyjne znane są w statystyce od stu lat, a od lat 70-tych ub. wieku używane są, często wraz z kryterium AIC (do estymacji rzędu modelu) w analizie widmowej. W rozdz. 4.3 opisano najpierw architekturę sprzętową (o nazwie CUDA od ang. Compute Unified Device Architecture) umożliwiającą obliczenia równoległe na kartach graficznych celem przyspieszenia obliczeń numerycznych, a następnie jej zastosowanie do obliczeń filtracji liniowej (autoregresyjnej) w kroczącym oknie danych lub do liczenia sum bezwzględnych wartości sejsmogramu. W końcowej części rozdz. 4 opisano dwie metody dyskwalifikacji nadmiernie zanieczyszczonych szumem sejsmogramów, które to metody zmierzają do realizacji wspomnianego już „dodatkowego celu” pracy.

W rozdziale 5 przedstawiono wyniki przetwarzania wspomnianych 100 sejsmogramów, najpierw (w rozdz. 5.2) porównując (na podstawie odpowiednich histogramów), wyznaczone opisanymi poprzednio algorytmami detekcji, czasy wejść fali P z czasami wejść wyznaczonymi przez geofizyka, oraz porównując lokalizacje, obliczone na podstawie czasów określonych automatycznie z odpowiednimi lokalizacjami wyznaczonymi przez geofizyka (traktując te ostatnie jako punkt odniesienia). Następnie (w rozdz.5.3) porównano przyspieszenie obliczeń równoległych na kartach graficznych względem obliczeń „tradycyjnych” na CPU. Zauważyć należy, że jasno zdefiniowana „dokładność lokalizacji” (choć jest tylko dokładnością

względna i tylko na płaszczyźnie XY) nie wystarcza jako kryterium jakości algorytmów, gdy dodatkowo pod uwagę brana jest liczba odrzuconych lub zaakceptowanych sejsmogramów, co jest ważnym, kłopotliwym lecz koniecznym skutkiem „dodatkowego celu” badań.

W rozdziale 6 Autor ilustruje, za pomocą tzw. map błędu, wyniki lokalizacji na podstawie automatycznie wyznaczanych czasów wejścia, pokazując takie mapy dla każdego z wspomnianych algorytmów detekcji i umożliwiając ich porównanie z analogiczną mapą ilustrującą też położenie ognisk obliczone na podstawie czasów wejść określonych przez geofizyka.

W przypadku każdego z czterech algorytmów, czyli czterokrotnie w tym rozdziale, pod odpowiednią mapą błędu – a na podstawie tabel z rozdziału 5 – zamieszczone jest zdanie o postaci „Wartość średnia odległości XY między lokalizacją uzyskaną metodą automatyczną i lokalizacją ręczną wynosi (148) metrów. Zastosowanie tego algorytmu pozwoliło na automatyczne zlokalizowanie (66) wstrząsów (to cytaty ze str.88, wraz z przykładowymi wartościami 148 i 66, analogiczne są na str. 86,87,89). Zdaniem recenzenta sugeruje to, choć Doktorant tego nie napisał, próbę sformułowania „wektorowego” kryterium jakości algorytmów, która to próba nie była jednak, niestety, kontynuowana i podtrzymana we Wnioskach końcowych (rozdział 7). Najważniejszym elementem ostatniego rozdziału (rozdz. 7) jest stwierdzenie, że teza pracy została wykazana, z czym się zgadzam.

2 Ocena aspektów formalnych (temat, teza, cel) rozprawy

Określony tytułem rozprawy **temat pracy** dotyczy zadania niezwykle ciekawego, trudnego i w pewnym sensie klasycznego, gdyż podejmowanego w geofizyce górniczej od czasu wprowadzenia do niej cyfrowych systemów obserwacji sejsmologicznych. Mimo dużego znaczenia aplikacyjnego, zadanie to – czyli automatyczna detekcja tzw. pierwszych wejść na sejsmogramach cyfrowych – nie zostało dotąd w pełni rozwiązane, a Doktorant proponuje, demonstrując też (na zbiorze uprzednio zgromadzonych wstrząsów) skuteczność, nowoczesność i w tych warunkach **nowatorskie podejście**, polegające na wprowadzeniu obliczeń równoległych na procesorach graficznych. Otwiera to możliwość stosowania nowoczesnych algorytmów o większych wymaganiach obliczeniowych i dopuszcza analizę większej liczby wstrząsów w jednostce czasu, zatem i wstrząsów o mniejszej energii od rutynowo dotąd badanych. **Wybór tematu oceniam więc pozytywnie.**

Analiza **tezy pracy** wywołała pewne trudności, gdyż nie jest jasne jak szeroko interpretować należy zwrot: „pozwała na automatyzację ... lokalizacji”, a to dlatego, że zgodnie z teorią detekcji, w obecności szumu zakłócającego nie można całkowicie uniknąć błędów, (pierwszego i drugiego rodzaju czyli, odpowiednio, fałszywych alarmów i przeoczonych wstrząsów) dotyczy to jednak, przede wszystkim, algorytmów wykrywających wstrząsy. **Przyjmuję zatem**, że wyżej cytowany zwrot jest tzw. skrót myślowym, że Doktorant świadom jest ograniczeń wynikających z teorii detekcji i **że teza obiecuje nam automatyzację ale z ograniczeniami** (które mogą np. stać się przedmiotem przyszłych badań Doktoranta). Tak zakładając **stwierdzam, że teza pracy obiecuje wynik ważny, jest nietrywialna zatem naukowa i oceniam ją pozytywnie.**

Cel pracy (str. 25) podzielony został przez Doktoranta na „cel główny” i „cel dodatkowy”. Obydwa cele są ważne i określone w sposób jasny, lecz tylko „cel główny” wyposażono w tzw. „punkt odniesienia”, którym są, cytuję: „wyniki analizy ręcznej wykonanej przez ... geofizyka”. „Cel dodatkowy” nie został, w swej definicji, wyposażony w miarę jakości, ale z dalszego tekstu rozprawy zdaje się wynikać, że o jakości realizacji „celu dodatkowego” przez badany algorytm decyduje porównanie z wynikami innych algorytmów. Zatem i ten formalny aspekt rozprawy, czyli **cel pracy, oceniam pozytywnie.**

AIC-AR1 oraz AIC-AR2 taki próg (tzn. wartość 5) w ogóle nie był stosowany lub wyniki jego stosowania nie zostały podane. Dlaczego? **Czy istnieje optymalny próg dyskwalifikacji?**

- wartości liczbowe w ostatnich dwu kolumnach Tab. 5,7,9 i 11 są nieprawdziwe albo kolumny te są błędnie opisane albo są niezrozumiałe.

Proszę więc, by Doktorant w czasie publicznej obrony wyjaśnił wątpliwości wyrażone powyżej.

5. Doktorant pominął zagadnienie estymacji współczynników modelu AR, tylko raz, na str.42, o nim wspominając, a jest to zagadnienie ważne dla jakości i czasochłonności detekcji, a może też dla akceleracji obliczeń. **Proszę więc o wyjaśnienie, w czasie publicznej obrony, najlepiej z grafiką podobną do rys.16, ile razy, badając jeden seismogram, (np. wg Tab. 9, o liczebności 4096, szerokości okna 500 i o kroku 1) współczynniki te są liczone, jakim algorytmem numerycznym (np. Householdera, Burga lub tp.), jaki ułamek czasu analizy seismogramu obliczenia te (tzn. obliczenia współczynników filtru) zajmują a także jaka jest różnica między „stopniem” modelu AR a jego długością i jak długość ta była wyznaczana lub przyjmowana i dlaczego akurat tak?**

6. We wszystkich badanych algorytmach detekcji występują parametry o wartościach arbitralnych, a Doktorant, ze zrozumiałych powodów, nie zajmuje się ich optymalizacją. Jednakże inne (od przyjętych) wartości tych parametrów (np. inny krok okna) zmienić mogą zarówno wyniki detekcji jak i czasy obliczeń a może też akcelerację. Jest to uwaga krytyczna nie wymagająca odpowiedzi, którą warto wykorzystać w przyszłych badaniach, gdyż jest to bardzo ważny i ciekawy problem.

A oto kilka dalszych, mniej istotnych usterek, które nie wymagają odpowiedzi lecz powinny być wykorzystane w przypadku ewentualnej publikacji rozprawy:

7. W rozprawie brak jednoznacznie sformułowanych kryteriów jakości dla algorytmów i metod, co prowadzi Doktoranta do nadmiaru subiektywnych ocen a recenzentowi utrudnia recenzowanie rozprawy.

8. W rozprawie brak krytycznej analizy własnych wyników

9. Spis literatury zawiera stanowczo zbyt wiele usterek różnego rodzaju, podobnie jak nagłówki kolumn w górnym wierszu tabel Tab.5, Tab.7, Tab.9 i Tab.11.

10. Wnioski końcowe przedstawiono w bardzo niefortunny sposób, być może wnioskami są akapity w rozdziale 7, lecz nie jest to wcale pewne.

11. Doktorant zbyt łatwo przyswaja sobie żargon i pisze np. o metodach ręcznych, o czasach wyznaczanych ręcznie, o lokalizacji ręcznej itp.

Kończąc ten rozdział recenzji stwierdzam, że powyższe **uwagi krytyczne nie zmieniają mojej pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy.**

4. Wniosek końcowy

1. Przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Marcina Aptekorza pt. „Automatyczna detekcja pierwszego wstąpienia podłużnej fali sejsmicznej z wykorzystaniem technologii CUDA dla cyfrowych zapisów wstrząsów górniczych” **spełnia wymogi Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (dz.Ustaw z dn.16 04 2003) a w szczególności Art.13 ust.1 i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego a także wykazuje Jego wiedzę w dyscyplinie naukowej górnictwo i geologia inżynierska.**

2. **Biorąc powyższe stwierdzenie pod uwagę, stawiam wniosek o dopuszczenie Pana mgr. inż. Marcina Aptekorza do publicznej obrony tej rozprawy i dalszego postępowania w trybie przewidzianym Ustawą.**

Prof. dr hab. inż. Jerzy Kornowski