dr hab. inż. Damian Słota, prof. PŚ
Instytut Matematyki
Wydział Matematyki Stosowanej
Politechnika Śląska
ul. Kaszubska 23
44-100 Gliwice
e-mail: damian.slota@polsl.pl

Gliwice, 26.08.2019 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Mateusza Brzęka „Wykrywanie i lokalizacja uszkodzeń struktury w wybranych obszarach geometrycznych z wykorzystaniem teorii spektralnej"

Omówienie rozprawy doktorskiej

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgra Mateusza Brzęka została sporządzona na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (pismo L. Dz. WEAIiIB-b/510-15-2/16 z dnia 05.07.2019 r.). Rozprawa dotyczy lokalizacji uszkodzeń w obszarze geometrycznym na podstawie znajomości widma operatora Laplace'a. W szczególności Autor bada możliwości lokalizacji uszkodzenia w takich obszarach jak kwadrat, koło, elipsa oraz trójkąt. Celem pracy było opracowanie algorytmów pozwalających zlokalizować uszkodzenie w wyżej wymienionych obszarach. Poruszana w rozprawie tematyka jest ważna i aktualna. Ma ona znaczenie w rozwoju zagadnień odwrotnych oraz metod badań nieniszczących.

Szczególne znaczenie przy modelowaniu oraz analizie różnego rodzaju procesów zachodzących w fizyce, biologii oraz technice mają zagadnienia odwrotne. Ich charakterystyczną cechą jest to, że przyczyny opisywanego zjawiska są nieznane lub nie w pełni określone. Do jednoznacznego rozwiązania takiego zagadnienia wymagane są dodatkowe informacje, np. pomiar temperatury w wybranych punktach obszaru czy wartości własne operatora. Rozwiązanie zadania odwrotnego polega na odtworzeniu brakującej informacji oraz ewentualnie na wyznaczeniu funkcji stanu (np. w odwrotnych zagadnieniach przewodnictwa ciepła). Można więc posłużyć się tego rodzaju zadaniem w celu kontroli przebiegu procesu lub uzyskania pożądanego efektu końcowego. Zagadnienia odwrotne pozwalają bowiem dobrać np. warunki brzegowe lub parametry materiału w taki sposób, aby rozważany proces przebiegał w założony z góry sposób. Inne istotne zastosowanie zagadnień odwrotnych to wykorzystanie ich do wyznaczenia wielkości trudnej do pomiaru na podstawie łatwego do realizacji pomiaru innej wielkości.

Zagadnienia odwrotne należą na ogół do klasy zagadnień źle uwarunkowanych w sensie Hadamarda, czyli nie dla każdego zestawu danych wejściowych musi istnieć rozwiązanie. A nawet jeśli istnieje, to może być ono niejednoznaczne lub niestabilne ze względu na błędy danych wejściowych. Z tego też powodu rozwiązanie dokładne zagadnień odwrotnych jest możliwe jedynie w najprostszych przypadkach. Dlatego istotne jest rozwijanie różnego rodzaju metod przybliżonych rozwiązywania tego typu zagadnień.

Recenzowana rozprawa doktorska liczy łącznie 96 stron i zawiera siedem numerowanych rozdziałów (w tym wstęp oraz podsumowanie), spis literatury obejmujący 69 pozycji (w tym trzy prace, których współautorem jest Autor rozprawy), dwa streszczenia (w języku polskim i angielskim), spis treści oraz dodatkowo odpowiednie oświadczenia Autora.

W rozdziale pierwszym Autor przedstawił przegląd literatury z zakresu zagadnień odwrotnych, a w szczególności z wykorzystania teorii spektralnej do lokalizacji uszkodzenia w obszarze. Opisane zostały także metody pozwalające wykrywać uszkodzenia w obiektach rzeczywistych. W drugiej części rozdziału opisany został cel i zakres pracy. W rozdziale drugim zawarto podstawowe definicje i twierdzenia dotyczące tematyki pracy. Z kolei w rozdziale trzecim Autor opisał metodę elementów skończonych w ujęciu, w jakim jest ona zaimplementowania w pakiecie PDE Toolbox programu Matlab. Opisany jest też sposób rozwiązania zagadnienia własnego zaimplementowany w wymienionym pakiecie. W rozdziale czwartym przedstawiono algorytmy pozwalające lokalizować uszkodzenia w obszarze geometrycznym. Tam też opisano dwie metody lokalizacji. Pierwsza z nich nazwana metodą map izochorowych wykorzystana jest przy lokalizacji uszkodzenia dla obszarów: kwadratu, koła i elipsy. Z kolei w przypadku obszarów, które są trójkątami, wykorzystywano drugą metodę, nazwaną metodą identyfikacji wizualnej. Rozdział piąty zawiera porównanie widma operatora Laplace'a dla trzech kwadratów o różnej długości boku. Podobne porównanie, ale w przypadku kół o promieniach równych jeden i dwa, przedstawiono w rozdziale szóstym. Wyniki pracy podsumowano w rozdziale siódmym.

Uwagi natury merytorycznej

Rozważane w rozprawie zagadnienie należy do klasy geometrycznych zagadnień odwrotnych. Na podstawie informacji o widmie operatora należy odtworzyć kształt obszaru, na którym jest określony operator. W rozprawie Autor przedstawił dwie własne metody lokalizacji uszkodzenia w obszarze na podstawie znajomości widma operatora Laplace'a dla obszaru z defektem. Pierwsza z metod (metoda map izochorowych) jest stosowana w przypadku takich obszarów jak kwadrat, koło i elipsa, natomiast druga (metoda identyfikacji wizualnej) dla trójkątów. Przedstawione metody z większą lub mniejszą dokładnością pozwalają oszacować miejsce położenia uszkodzenia występującego w obszarze. W obu metodach na podstawie obliczeń wykonanych dla obszarów z uszkodzeniami rozmieszczonymi w kolejnych punktach obszaru, które tworzą jego dyskretyzację, tworzone są wzorcowe mapy (rysunki) ilustrujące położenie najmniejszych oraz największych wartości własnych (w pierwszej z metod) lub różnicę między tymi wartościami (w drugiej metodzie). Znając teraz widmo operatora Laplace'a dla badanego obszaru, można poprzez porównanie go z przygotowanymi danymi wzorcowymi, oszacować położenie miejsca uszkodzenia.

Podczas zapoznawania się z rozprawą nasunęły mi się pytania i uwagi natury merytorycznej. Część z nich można potraktować jako wskazówki do dalszych badań.

1) Metody wymagają znajomości widma (a właściwie kilku lub kilkunasu pierwszych wartości własnych) operatora Laplace'a. Możemy próbować wyznaczać je analitycznie lub numerycznie, ale za każdym razem wymagana jest znajomość obszaru. Dlatego przedstawione metody wydają się mieć charakter teoretyczny. Czy jest znany sposób wyznaczenia lub oszacowania wartości własnych operatora Laplace'a bez dokładnej znajomości obszaru? Jeśli byłoby to możliwe, to można by myśleć o praktycznych zastosowaniach metod.

2) Rozważane zagadnienie jest geometrycznym zagadnieniem odwrotnym. W związku z tym dobrze byłoby zbadać wrażliwość przedstawionych metod na błędy danych wejściowych. Czy Autor badał to?

3) Czy rozwiązując zagadnienie własne dla obszaru z uszkodzeniem, na brzegu uszkodzenia zadano jednorodne warunki brzegowe pierwszego rodzaju?

4) Czy gęstość siatki w metodzie elementów skończonych miała wpływ na uzyskane wyniki?

5) Czy w celu zabezpieczenia się przed tzw. inverse crime, do wyznaczenia wzorcowych map zastosowano inną dyskretyzację (w metodzie elementów skończonych) niż do wyznaczenia danych ilustrujących działanie metod?

6) W metodzie map izochorowych wybiera się przedział zawierający λ_{min} oraz przedział zawierający λ_{max}, np. w przykładzie dla kwadratu wybrano przedziały $[23, 25]$ oraz $[84, 86]$. Jak znaleziona lokalizacja uszkodzenia zależy od wyboru tych przedziałów? Co by było gdyby zostały one zawężone (na przykład do $[23{,}5, 24{,}5]$ oraz $[85, 86]$) lub poszerzone?

7) Zamiast nazwy „metoda map izochorowych", korzystniej byłoby wybrać inną. Słowo „izochorowy" wiąże się z przemianami termodynamicznymi zachodzącymi przy stałej objętości.

8) Na rysunku 4.7 b (str. 51) występują poziomice mające wartości 90 i 91, ale w tym przykładzie λ_{max} miała największą wartość 88,70 (tabela 4.1, str. 49). Skąd te poziomice, czy tworząc rysunek dokonano interpolacji lub aproksymacji danych?

9) Metoda identyfikacji wizualnej zastosowana dla trójkątów jest znacznie mniej dokładna od metody map izochorowych. W przedstawionej postaci pozwala ona stwierdzić jedynie, w którym z trzech podobszarów trójkąta może zawierać się uszkodzenie. Dlaczego w przypadku trójkątów nie zastosowano pierwszej metody?

10) W schemacie prezentującym zagadnienie bezpośrednie i zagadnienie odwrotne (strona 9, linie -15 i -14) strzałki powinny być skierowane w przeciwną stronę (przy nazewnictwie jakie jest stosowane w opisie poniższego wzoru (1.1)). Jeśli mamy zagadnienie opisane równaniem:

$$Gm = d,$$

z zagadnieniem bezpośrednim mamy do czynienia, gdy znamy m (parametry modelu) i wyliczamy d (dane). Z kolei z zagadnieniem odwrotnym, gdy znamy d (dane), a celem jest wyznaczenie m (parametry modelu).

Uwagi redakcyjne

Oceniana rozprawa jest zredagowana starannie, ale Autor nie ustrzegł się drobnych uchybień, które jednak nie wpływają w istotny sposób na pozytywną ocenę pracy. Do wspomnianych błędów należą:

- W spisie literatury zawarte są pozycje niecytowane w treści rozprawy.
- W drugiej linii wzoru (1) powinno być „na $\partial\Omega$".
- We wzorze (2), w pierwszej linii powinno być „in Ω", natomiast w drugiej linii „on $\partial\Omega$".
- Zamiast sformułowań „wartość najmniejsza wartości własnej" oraz „wartość największa wartości własnej" właściwiej jest używać przyjętych w literaturze sformułowań „najmniejsza wartość własna" oraz „największa wartość własna".
- Często jest używane sformułowanie „kwadrat o wymiarach $[0,1] \times [0,1]$", które jest niepoprawne. Symbol $[0,1] \times [0,1]$ oznacza iloczyn kartezjański przedziału jednostkowego z samym sobą, czyli kwadrat jednostkowy.
- Zamiast sformułowania „zagadnienie pierwotne" lub „problem pierwotny" (str. 9, linia -17 i poniżej), lepiej używać „zagadnienie bezpośrednie", „problem bezpośredni".
- W rozprawie jest stosowany zły symbol na zaznaczenie początku cudzysłowu (jest ", a w języku polskim powinien być „). W LaTeX-u z dołączonym pakietem dla języka polskiego wystarczy zastosować dwa następujące po sobie znaki przecinka.

- W definicji 1 (str. 14) zastosowano zły zapis wyrażeń występujących pod kwantyfikatorami postaci $\forall$ i $\exists$. Wyrażenia powinny być zapisywane w tej samej linii co kwantyfikator, a nie jako indeks. W kolejnych definicjach zapis jest poprawny.
- Zamiast nagłówka „Definicja" (str. 17, Definicja 6), powinien być nagłówek „Własność" lub podobny.
- W twierdzeniu 3 (strona 18) występuje sformułowanie „ciągiem liniowym niezależnych elementów", powinno być „ciągiem liniowo niezależnych elementów".
- We wzorze (2.8) (str. 18), jest x_1, powinno być x_2.
- Fragment wzoru (2.9) (str. 18) powinien mieć postać:

$$x_m = a_m - \sum_{k=1}^{m-1} \langle a_m, e_k \rangle \, e_k.$$

- W definicji 21 (str. 22) jest „$\alpha \in R$", powinno być „$\alpha \in \mathbb{R}$".
- W dowodzie twierdzenia 7 (str. 24) wykorzystywane jest inne oznaczenie iloczynu skalarnego niż w pozostałej części rozprawy.
- Ostatnie zdanie dowodu twierdzenie 8 (str. 24) jest nie najlepiej sformułowane. Korzystniej byłoby napisać:

  Z powyższego wynika, że $\lim_{n\to\infty} \|A^n\|^{\frac{1}{n}} = \|A\|$. Tym samym z formuły Gelfanda-Beurlinga dostajemy tezę.
- Pierwsze zdanie z definicji 29 (str. 25) powinno być przeniesione przed nią.
- Przy ciągach nie ma potrzeby pisać „dążącym w nieskończoności do zera" (definicja 29, str. 25), wystarczy „dążącym do zera" lub lepiej „zbieżnym do zera".
- W kroku 2 dowodu twierdzenia 12 (str. 27), jest $|\lambda_n| \geqslant 0$, powinno być $|\lambda_n| \geqslant \epsilon$.
- W kroku 2 dowodu twierdzenia 12 (str. 27) sformułowanie:

  „A to pokazuje, że dowolny ciąg Cauchy'ego (Tu_n) nie ma granicy"

  nie jest konsekwencją wcześniejszego fragmentu dowodu. Należało napisać (tak jak w oryginale [59]):

  „Wynika stąd, że ciąg (Tu_n) ma podciąg, który nie jest zbieżny".
- W kilku miejscach rozprawy iloczyn kartezjański jest oznaczany literą x zamiast symbolem $\times$ (na przykład wzór (2.17), str. 28).
- Strona 28, linia -2, zamiast „Po dwukrotnym zróżniczkowaniu", lepiej napisać „Po policzeniu odpowiednich pochodnych cząstkowych".

- Na stronie 30, linia 10, w sformułowaniu „nieujemną liczbą naturalną" jest nadmiarowe słowo „nieujemną".

- Podpisy do tabel powinny być nad tabelami.

- Na stronach 33 i 34 są sformułowania postaci „litery ... są funkcjami", lepiej napisać „symbole ... oznaczają funkcje".

- Jeśli pod całką jest suma (różnica) składników, to lepiej umieścić ją w nawiasie (wzór (3.2) i następne).

- We wzorze (3.6) (str. 35) w pierwszym składniku pod całką brakuje znaku minusa (to samo dotyczy wzoru (3.8)).

- Na stronie 40, linia 9, jest μM, powinno być μMU.

- Symbole λ_{min} oraz λ_{max} mają w rozprawie podwójne znaczenia. Raz oznaczają najmniejszą (największą) wartość własną, z kolei przy obliczaniu rozstępu R oznaczają minimalną (maksymalną) z wyznaczonych najmniejszych (największych) wartości własnych dla obszarów z uszkodzeniami.

- Rysunek 4.9 (str. 54) jest niedokładny, przedstawia elipsę o różnych osiach (współrzędne x przyjmują wartości spoza przedziału $[-1, 1]$).

- W podpisie do tabeli 4.5 (str. 67) zamiast „trójkąta równobocznego", powinno być „trójkąta równoramiennego".

- Praca jest czytelniejsza jeśli nagłówki zawierają jeden wiersz tekstu. W LaTeX-u są komendy, które pozwalają umieszczać w nagłówku skrócone wersje tytułów rozdziałów (`\markboth`, `\markleft`, `\markright`).

- Przy wydruku dwustronnym praca będzie łatwiejsza do czytania jeśli numery stron będą przy zewnętrznej krawędzi strony.

- W książkach (przy druku dwustronnym) lewe strony powinny mieć numer parzysty, a prawe nieparzysty. W rozprawie jest na odwrót. Jest to konsekwencją nie uwzględnienia w numeracji kilku pustych stron na początku rozprawy.

- W kilku miejscach jest pozostawiona pojedyncza litera na końcu linii. Powinno się ją przenieść do nowej linii, korzystając na przykład z tzw. twardej spacji (w LaTeX-u znak tyldy: ~).

- Praca zawiera także błędy literowe i interpunkcyjne.

Wniosek końcowy

W podsumowaniu należy stwierdzić, że przedstawiona do oceny rozprawa jest napisana wystarczająco starannie i precyzyjnie oraz zawiera oryginalne wyniki Autora, które były częściowo publikowane w czasopismach. Zawarte w recenzji uwagi mają w większości charakter redakcyjny, dyskusyjny lub są wskazówkami do dalszych badań i nie podważają istoty pracy, którą oceniam pozytywnie.

Oceniając rozprawę doktorską mgra Mateusza Brzęka stwierdzam, że spełnia one wymagania określone w „Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki" z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami.

W mojej opinii Kandydat zasługuje, na nadanie mu stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie automatyka i robotyka. W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie rozprawy mgra Mateusza Brzęka do publicznej obrony.