

Prof. dr hab. inż. Ryszard Makowski  
Katedra Systemów Przetwarzania Sygnałów  
Wydział Elektroniki  
Politechnika Wroclawska  
50-370 Wrocław  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27



Wrocław, 30 września 2015

Recenzja rozprawy doktorskiej  
dla Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i  
Inżynierii Biomedycznej  
Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

Tytuł rozprawy: ***Optymalizacja parametrów systemu przetwarzania sygnałów pomiarowych, dla najlepszej identyfikacji charakterystyk czasowych i częstotliwościowych obiektów elektroakustycznych***

Autor rozprawy: ***mgr inż. Daniel Król***

1. *Omówienie rozprawy*

Praca liczy 133 strony w tym: spis treści, spis oznaczeń i skrótów, 6 rozdziałów, bibliografię i dodatek. Rozdział 1 jest wprowadzeniem do tematyki pracy w następstwie którego postawiona została teza pracy, rozdziały 2 i 3 zawierają literaturowy przegląd wiedzy powiązanej z tematyką pracy, rozdziały 4 i 5 zawierają prezentację: wariantów systemu pomiarowego proponowanych przez Autora, zastosowanych rozwiązań pomiarowych i uzyskanych wyników oraz wnioski z nich wynikające zaś rozdział 6 stanowi podsumowanie pracy.

2. *Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autora? Jaki charakter ma rozprawa?*

W swej zasadniczej części praca dotyczy pomiaru odpowiedzi impulsowej i transmitancji systemu akustycznego jakim jest zestaw głośnikowy. Zagadnienie to należy do zadań identyfikacji systemu, jest więc zagadnieniem estymacyjnym, a na wynik identyfikacji wpływ ma szereg czynników. W przypadku sytuacji rozważanej przez Autora, zasadniczym czynnikiem utrudniającym identyfikację jest występowanie odbić od ścian pomieszczenia i relatywnie małe wymiary pomieszczenia, w którym wykonywany jest pomiar. Autor założył bowiem, że pomiar taki, z powodów praktycznych, realizowany będzie w zwykłym pomieszczeniu mieszkalnym bądź biurowym, a nie w komorze bezchłowej. Ponieważ obecność odbić w odpowiedzi systemu wpływa destrukcyjnie na dokładność identyfikacji, poszukiwane są metody pomiarowe minimalizujące wpływ tych odbić. Spośród kilku

możliwych metod Autor zdecydował się na identyfikację z zastosowaniem, jako sygnału wymuszającego, ciągu impulsów znanego z literatury jako sekwencja MLS. Sekwencja taka jest sygnałem szerokopasmowym a jego długość jest znacząco większa niż długość mierzonej odpowiedzi impulsowej. Zaliczyłbym więc tę metodę do grupy metod korelacyjnych, inaczej niż przyjął to Autor. Trzeba jednocześnie zauważyć, że elementy toru pomiarowego również mają istotny wpływ na wynik. Oprócz bowiem ograniczeń natury teoretycznej, te natury praktycznej też są niebagatelne.

Autor w swojej pracy rozważa głównie dwa zagadnienia: (i) wpływ koncepcji identyfikacji systemu na jakość estymacji a rozważania te dotyczą dokładności przetwarzania sygnałów przez tor pomiarowy oraz pomiarów w polu dalekim i w polu bliskim, (ii) wykorzystanie przetwarzania wielokanałowego do poprawy dokładności identyfikacji. W obydwu zagadnieniach nie są to wyłącznie rozważania koncepcyjne, ale analiza różnych rozwiązań skutkuje propozycją własnego rozwiązania a następnie znajduje ono implementację w systemie pomiarowym.

Krytyczna analiza osiągnięć naukowych w zakresie rozważanych zagadnień prezentowanych w literaturze naukowej posłużyła do sformułowania tezy pracy. Teza: „Zaawansowane przetwarzanie sygnałów w oparciu o połączenie technik MLS (*Minimum Length Sequence*), SAR (*Succesive Approximation Register*) oraz wielokanałowego kształtowania wiązki, umożliwia poprawę dokładności uzyskiwanych charakterystyk obiektu elektroakustycznego. Pomiar z wykorzystaniem wielokanałowej macierzy mikrofonowej może z powodzeniem zostać zastąpiony serią pomiarów pojedynczym mikrofonem ze zmienną pozycją w przestrzeni”. Teza rozprawy została sformułowana poprawnie i precyzyjnie. Moja drobna uwaga dotyczy jedynie słowa „charakterystyk”, które w tym przypadku niesie zbyt wiele znaczeń. Poruszane zagadnienia dotyczą przetwarzania i analizy sygnałów oraz zastosowań teorii estymacji (identyfikacji). Mają one charakter naukowy, znane są z literatury naukowej i mają istotne znaczenie praktyczne.

W celu wykazania słuszności tezy Autor rozprawy: (i) omówił metody pomiaru obiektów elektroakustycznych (rozdział 2), (ii) przedstawił algorytm kształtowania charakterystyki kierunkowej szeregu mikrofonowego oraz zagadnienia lokalizacji źródeł dźwięku (rozdział 3), (iii) przedstawił własną koncepcję modyfikacji systemu pomiarowego wykorzystującego sekwencję MLS (rozdział 4), (iv) zaprezentował wyniki pomiarów uzyskane za pomocą zrealizowanego w oparciu o tą koncepcję systemu (rozdział 4), (v) przedstawił własną koncepcję realizacji pomiarów z wykorzystaniem kształtowania charakterystyki kierunkowej szeregu mikrofonowego (rozdział 5) oraz (vi) przedstawił wyniki pomiarów uzyskane takim rozwiązaniem, a także dokonał porównania i analizy uzyskanych wyników z odniesieniem do pomiarów wykonanych w komorze bezchowej (rozdział 5). Na koniec, w rozdziale 6, podsumował zaproponowane rozwiązania pomiarowe oraz uzyskane wyniki stwierdzając wykazanie tezy pracy i realizację postawionych celów. W sumie praca stanowi więc kompletną całość od przeglądu znanych rozwiązań systemów pomiarowych do opisu skuteczności własnego rozwiązania. Praca ma charakter konstrukcyjno-eksperymentalny.

3. *Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł świadczący o dostatecznej wiedzy Autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?*

Literatura zagadnień naukowych cytowana w pracy jest bogata i zawiera około 100 pozycji. Ponieważ praca ma charakter konstrukcyjno-eksperymentalny w znacznej części są to pozycje o charakterze technicznym, co jest w pełni uzasadnione. Analiza źródeł literaturowych zawarta jest głównie w rozdziałach 2 i 3. Prezentując znane z literatury rozwiązania analogicznych systemów

pomiarowych Autor prowadzi ich krytyczną analizę, co świadczy o dużej wiedzy i doświadczeniu Autora w tym zakresie. Pewnym niedociągnięciem przeglądu źródeł literaturowych jest brak podsumowań na końcach tych rozdziałów, pozwalających na poznanie decyzji Autora co do zamierzonego kierunku badań.

Pomimo powyższych uwag krytycznych uważam, że przegląd literatury wykonany jest w sposób rzetelny i szeroki. Stanowi jednocześnie wystarczającą bazę dla zagadnień opisywanych w następnych rozdziałach. Jednocześnie cytowane pozycje wskazują na szeroką wiedzę Autora w zakresie przetwarzania sygnałów.

*4. Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?*

Pomiar właściwości inercyjnych i nieliniowych jest problemem o zasadniczym znaczeniu dla konstruktorów zestawów głośnikowych. Ci dysponujący znacznymi zasobami finansowymi badania takie wykonują w komorze bezechowej. Ale mniej zasobni muszą realizować takie pomiary w warunkach występowania odbić. Autor decydując się na realizację pomiarów z wymuszeniem sekwencji MLS, w pierwszym kroku proponuje eliminację przetwornika C/A z będącego w jego dyspozycji profesjonalnego systemu pomiarowego oraz zastąpienie przetwornika A/C typu delta-sigma przetwornikiem typu SAR.

Przeprowadzone badania wykazały, że zabiegi te pozwoliły na uzyskanie estymatorów odpowiedzi impulsowej badanego zestawu oraz modułu jego funkcji transmitancji znacznie lepszej jakości, tj. różnice dla modułu transmitancji dla kolumny głośnikowej pomiędzy wynikami dla systemu pomiarowego przed i po modyfikacji w zakresie 20-50Hz sięgają kilku dB. Wyniki uzyskane zmodyfikowanym systemem pomiarowym niewiele różnią się od tych uzyskanych przy zastosowaniu pobudzenia sinusoidalnego. Różnice te dla wszystkich pomiarów w zakresie powyżej 100Hz są już nieistotne. W pracy przedstawione są także wyniki pomiarów dla elektroakustycznego wzmacniacza mocy, ale są one mniej interesujące w kontekście tezy rozprawy.

Autor zaproponował również zastosowanie w systemie pomiarowym szeregu mikrofonowego w dość nietypowej konfiguracji polegającej na ustawieniu szeregu mikrofonów prostopadle po płaszczyzny promieniowania zestawu głośnikowego. W przypadku braku adaptacyjnego kształtowania wiązki, w zakresie powyżej 600Hz, różnice pomiędzy modulem transmitancji zmierzonym w komorze bezechowej a tym zmierzonym szeregiem mikrofonowym są niewielkie, natomiast poniżej tej częstotliwości – znaczne. Adaptacyjne kształtowanie wiązki pozwala przesunięcie tej granicy do ok. 40Hz. Włączenie do tego eksperymentu pomiarów w polu bliskim z automatycznym łączeniem charakterystyk częstotliwościowych pozwala na zmniejszenie różnic w wynikach uzyskanych w komorze bezechowej i tych przez proponowany system pomiarowy do poziomu poniżej 2dB w całym paśmie częstotliwości. Wynik ten należy uznać za znaczące osiągnięcie techniczne.

Zaproponowane modyfikacje pozwalają na poprawę jakości identyfikacji rozważanego systemu, a więc można uznać osiągnięcie przez Autora postawionych celów i wykazanie słuszności tezy rozprawy doktorskiej. Stosowane metody weryfikacji pomiarowej rozwiązania uważam również za w pełni poprawne. Na podkreślenie zasługuje wysoka jakość tej weryfikacji, którą cechuje wyjątkowo wysoka dbałość o szczegóły i rzetelność. Reasumując uważam, że





zaproponowane rozwiązania zostały zrealizowane poprawnie z naukowego punktu widzenia.

5. *Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy?*

Do oryginalnych i samodzielnych osiągnięć Autora zaliczam:

- a) Krytyczna analiza znanego rozwiązania systemu pomiarowego urządzeń elektroakustycznych oraz zaproponowanie i realizacja jego modyfikacji, polegającej na eliminacji przetwornika C/A i zastąpieniu przetwornika A/C typu delta-sigma przetwornikiem typu SAR;
- b) Opracowanie koncepcji i realizacja bloku sprzętowo-programowego realizującego: generowanie sekwencji MLS, sterowanie pomiarem, akwizycję i transmisję danych pomiarowych oraz przetwarzanie odpowiedzi systemu na pobudzenie;
- c) Opracowanie i realizacja sprzętowo-programowa specyficznego wirtualnego szeregu mikrofonowego, w dwóch wariantach: ze stałą charakterystyką kierunkowości i z kształtowaną adaptacyjnie charakterystyką kierunkowości;
- d) Opracowanie i implementacja metody hybrydowej identyfikacji wykorzystującej: zmodyfikowany system pomiarowy, adaptacyjne kształtowanie charakterystyki kierunkowości szeregu mikrofonowego i automatyczne łączenie charakterystyk częstotliwościowych uzyskanych w polu bliskim - dla małych częstotliwości i w polu dalekim - dla dużych częstotliwości;
- e) Wykazanie słuszności zaproponowanych rozwiązań na drodze przeprowadzonych eksperymentów.

Z teoretycznego punktu widzenia większość zastosowanych algorytmów i technik jest znana, jednak ich innowacyjne połączenie pozwoliło Autorowi na opracowanie bardziej efektywnego systemu do specyficznych pomiarów elektroakustycznych.

6. *Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?*

Układ pracy jest prawidłowy i zawiera wszystkie ważne elementy od analizy literaturowej, poprzez prezentację koncepcji rozwiązania problemu i jej realizację, po badania wykonane na rzeczywistych urządzeniach. Praca jest jednak zbyt obszerna, nie tylko dlatego, że jest w niej dużo wyników pomiarów, ale również dlatego, że znajdują się w niej fragmenty zbędne, gdyż zawierają informacje elementarne. Uwaga ta dotyczy znacznej części informacji zawartych w początkowych fragmentach rozdziałów 2 i 3. Z kolei podrozdział 3.6 dotyczy lokalizacji źródeł dźwięku, która w pracy nie jest wykorzystywana. Wadą jest również brak syntetycznych podsumowań na końcach rozdziałów.

Pod względem językowym praca napisana jest bardzo dobrze. Myśli zwykle wyrażone zostały w sposób klarowny. Pomimo tego, że program badań jest obszerny, uzyskane wyniki przedstawione są przejrzysto i omówione precyzyjnie. Zdarza się jednak, że w niektórych stwierdzeniach brakuje precyzji, jak również zdarzają się błędy stylistyczne i nieścisłości. Wykaz tych ważniejszych zamieściłem w załączniku.

W obszarze terminologicznym jedna kwestia budzi moje zastrzeżenia. Autor wielokrotnie myli

odpowieź impulsową mierzonego urządzenia elektroakustycznego z uzyskaną w wyniku przekształcenia odpowiedzi impulsową systemu jako całości, złożonego z zestawu głośnikowego, pomieszczenia i systemu pomiarowego. Odpowiedź impulsowa jest precyzyjnie zdefiniowanym atrybutem systemu i jest niezmienna dla systemów liniowych niezmiennych w czasie. Używanie tego terminu w innym kontekście jest nieporozumieniem, tak jak nazwa rozdziału 2.2.3.2. „Rozplatanie odpowiedzi impulsowej”. Ponadto, w pierwszym zdaniu Wprowadzenia pojawia się, moim zdaniem, nieprawidłowy termin „system liniowy i stacjonarny”, choć wiem, że jest on używany w pewnych środowiskach naukowych.

Wymienione powyżej i te prezentowane w załączniku nieścisłości i zastrzeżenia nie mają zasadniczego wpływu na przejrzystość rozprawy a w konsekwencji uważam, że Autor posiadał umiejętność prezentacji wyników pracy naukowej.

*7. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?*

Od strony merytorycznej nie widzę istotnych wad. Kilka niedociągnięć zostało omówionych we wcześniejszych fragmentach recenzji. Wartość pracy obniża natomiast brak istotnych analiz matematycznych, z których najważniejsze dotyczyć powinny wpływu odbić na estymator odpowiedzi impulsowej mierzonej z wykorzystaniem sekwencji MLS oraz właściwości kierunkowych szeregu mikrofonowego, prostopadłego do kierunku propagacji fali akustycznej. Uważam, że wyprowadzenia takie pozwoliłyby na wzbogacenie wiedzy Autora przed przystąpieniem do realizacji pomiarów, jak również podniosłyby wartość rozprawy.


*8. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?*

Zaproponowana metodologia jak i opracowany system pomiarowy powinny znaleźć zastosowanie w pomiarach akustycznych „in situ”.

*9. Wnioski końcowe:*

Reasumując, uważam że rozprawa doktorska mgr inż. Daniela Króla posiada cechy oryginalnego rozwiązania zagadnienia naukowego. Autor zrealizował zadania przedstawione we Wprowadzeniu i wykazał słuszność tezy rozprawy. Ponadto wykazał się dobrą wiedzą z zakresu przetwarzania sygnałów i pomiarów elektroakustycznych oraz umiejętnością prowadzenia badań naukowych.

W związku z tym uważam, że praca spełnia z nadmiarem wymagania stawiane pracom doktorskim w myśl istniejących przepisów. W konsekwencji stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Daniela Króla do publicznej rozprawy nad pracą.



Załącznik: Uwagi szczegółowe dotyczące rozprawy

1. Str. 4, wykaz oznaczeń, pomieszczenie skrótów z nazw polskich i angielskich
2. Str. 5, akapit 2, zdanie 3 – „... powodują falszowanie uzyskach wyników ...” - to nie ma nic wspólnego z fałszerstwem
3. Str. 6, akapit 2, 1. zdanie na górze strony – „... metodą impulsową jest technika ...” - albo metoda albo technika
4. Str. 7 – końcówka zdania na samej górze – żadna metoda pomiarowa nie pozwala na uzyskanie pełnej informacji o badanym obiekcie, to jest estymacja
5. Str. 10 – „Niestety koszt budowy komory bezechowej jest bardzo wysoki co wyklucza jej użycie” – za duży skrót myślowy
6. Str. 12, 1. zdanie na górze strony – brakuje *dla*
7. Str. 16, 3. zdanie na dole strony – jest to nieprawda, ale rozumiem, że jest to skrót myślowy
8. Str. 18, rozdz. 2.2.3.1, 1. zdanie – „... wykorzystuje sekwencję MLS do aproksymacji delty Diraca”. – jak wyżej
9. Str. 25, zdanie przed wzorem (2.32) – „... są wiarygodne powyżej częstotliwości:” – jak definiowana jest wiarygodność charakterystyki?
10. Str. 25, ostatnie zdanie rozdz. 2.2.3.4 – jak wyżej
11. Str. 26 ostatnia linia przed rysunkiem – „... ogólnej poprawie czytelności charakterystyki.” – co to znaczy czytelność charakterystyki?
12. Str. 45 – rozdz. 3.6.2 – w przypadku wielu źródeł, sytuacja nie jest taka prosta jak pisze Autor
13. Str. 46, 1. zdanie rozdz. 4 – „Jednym z celii niniejszej pracy ...”
14. Str. 57, w 1/3 strony – „... pojawiają się nieliniowości, które ...” – chyba zniekształcenia liniowe
15. Str. 57, w 2/3 strony – jak wyżej
16. Str. 61, przedostatnie zdanie – offset odpowiedzi impulsowej – zgodnie z definicją stabilności BIBO „offset” odpowiedzi impulsowej powodowałby niestabilność systemu; jest to myślę jakiś drobny problem z korekcją
17. Str. 62 – „Rysunek 4.20 przedstawia ...” – antropomorfizm, który pojawia się również w innych odwołaniach do rysunków
18. Str. 79 – „Liniowość prototypowego toru pomiarowego ...” – chodzi raczej o zniekształcenia liniowe
19. Str. 92. 3. zdanie od dołu – „Zbliżoną charakterystykę wypadkową ...” – ze względu na zły styl trzeba się domyślać o co chodzi
20. Str. 126, pozycja [Bat2008] – brak nazwy czasopisma



Pytania do Autora:

- Jak wygląda widmo i autokorelacja sekwencji MLS?
- Na czym polegała normalizacja wspomniana w rozdz. 5.3.2?
- Jak wyglądały przykładowe charakterystyki kierunkowości wirtualnego szeregu mikrofonowego bez adaptacji i z adaptacją?