

Dr hab. inż. Marek Pawełczyk, prof. Pol. Śl.

Gliwice, 7 stycznia 2014r.

Instytut Automatyki

Politechnika Śląska

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: „Modele neuronowe w systemach aktywnej redukcji hałasu ze sprzężeniem do przodu i nieliniową pierwotną ścieżką sygnału”

Autor rozprawy: mgr inż. Tomasz Krukowicz

Promotor: prof. dr hab. inż. Zbigniew Engel

Promotor pomocniczy: dr inż. Leszek Morzyński

I. Cel, zakres i charakter rozprawy

Celem rozprawy jest ocena możliwości zastosowania neuronowych modeli w systemach aktywnej redukcji hałasu z uwzględnieniem zjawisk nieliniowych w pierwotnej ścieżce sygnału, począwszy od etapu analizy problemu i modelowania, poprzez wybór i udoskonalenie algorytmu, badania symulacyjne, aż po weryfikację laboratoryjną.

W związku ze wzrostem zagrożenia hałasem środowiska pracy i wypoczynku, w którym w wielu przypadkach tor propagacji sygnału od źródła wprowadza zniekształcenia nieliniowe, problem badawczy podejmowany przez Autora jest aktualny, interesujący, a zarazem ważny społecznie. Badania prezentowane w rozprawie są tym bardziej istotne, że nieliniowości ścieżki pierwotnej są rzadko rozpatrywane w literaturze i osiągnięcia w tym zakresie są wciąż niewielkie.

Autor stawia dwie tezy:

„Zastosowanie neuronowego modelu układów dynamicznych NARMAX w systemach aktywnej redukcji hałasu z nieliniową ścieżką pierwotną umożliwia kompensację wyższych harmonicznych sygnału kompensowanego.

Zastosowanie metody Lapunowa badania stabilności układów w systemach aktywnej redukcji hałasu ze sprzężeniem do przodu poprawia ich skuteczność dla hałasów o charakterze procesów stochastycznych”.

Konsekwentnie dążąc do wypełnienia celu rozprawy i udowodnienia tez, Autor sięga po wiele narzędzi badawczych. Sprawnie porusza się zarówno wśród teoretycznych rozważań,

jak i w prowadzeniu badań symulacyjnych oraz eksperymentów laboratoryjnych. W swej rozprawie wykazuje się wiedzą z matematyki stosowanej oraz automatyki.

II. Zawartość i wyniki rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Krukowicza zawiera wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, wstęp, przegląd literatury, zwięzłą prezentację tematyki, celu i tezy pracy, cztery rozdziały zasadnicze, podsumowanie oraz bibliografię. Liczy 81 stron, a także kilka stron prowadzących.

We Wstępie Autor systematyzuje wiadomości podstawowe na temat hałasu, jego wpływu na funkcjonowanie człowieka, a także szkodliwość w miejscu pracy. Wymienia podstawowe metody walki z hałasem. Wśród nich wyróżnia metody aktywne, przedstawia postęp w tej dziedzinie, zwraca uwagę na wciąż istniejące problemy.

W rozdziale 2 Autor zagłębia się w metody aktywne. Rozpoczyna od przedstawienia podstawowych zasad rządzących aktywną redukcją oraz podkreśla przy tej okazji znaczenie osiągnięć polskich naukowców. W dalszej kolejności, rozwija problem przetwarzania sygnałów, prezentując m.in. grupę algorytmów opartych o LMS. W czytelny sposób omawia zagadnienia, które będą przedmiotem dalszej części rozprawy, a więc problem nieliniowości ścieżek oraz znane z literatury algorytmy sterowania nieliniowego.

W rozdziale 3 Autor wskazuje na istotną niszę w badaniach nad aktywną redukcją hałasu w obliczu nieliniowości ścieżki pierwotnej. Następnie formułuje cel i dwie tezy rozprawy, a także skrupulatnie przedstawia zakres pracy oraz jej główne wyniki. Zachęca w ten sposób do dalszego uważnego studiowania rozprawy.

Rozdział 4 poświęcony jest zastosowaniu modeli NARMAX w aktywnej redukcji hałasu. Rozpoczyna się od prezentacji tej grupy modeli i ich własności. Następnie rozważane jest zastosowanie sieci neuronowych do tego typu modelowania. Autor poświęca sporo uwagi prezentacji sieci neuronowych oraz aktualizacji ich parametrów, z uwzględnieniem struktury układu sterowania. Podkreśla, że uwzględnienie obecności ścieżki wtórnej wymaga rozszerzenia reguły łańcuchowej prowadzącej do wyprowadzenia algorytmu uczenia sieci, a także proponuje odpowiednią modyfikację. Analizuje także szybkość zbieżności algorytmu.

Rozdział 5 dotyczy analizy metod badania stabilności. Autor rozpoczyna od krótkiego przeglądu, skupiając się głównie na drugiej metodzie Lapunowa. Zauważa, że metoda ta może być zastosowana do uczenia radialnych sieci neuronowych i proponuje odpowiednie podejście.

Rozdział 6, to prezentacja badań symulacyjnych. Autor przedstawia parametry i dane zastosowane do symulacji, po czym omawia wyniki szeregu eksperymentów numerycznych potwierdzających znaczenie problemu nieliniowości ścieżki pierwotnej oraz zalety zastosowanych podejść do sterowania. Oprócz przebiegów czasowych i analizy widmowej, podpira się również osiągniętymi wartościami wskaźnika efektywności redukcji. Wyciąga stosowne wnioski oraz wskazuje na ich podstawie kierunki dalszych badań.

Celem rozdziału 7 jest eksperymentalne potwierdzenie efektywności działania zaproponowanych podejść. Autor wykorzystuje laboratoryjny model falowodu wyposażony w odpowiednie elementy próbkowania, rekonstrukcji i kondycjonowania oraz przetwarzania sygnałów. Precyzyjnie opisuje przebieg eksperymentu. Następnie, w sposób organizacyjnie zbliżony do poprzedniego rozdziału, raportuje wyniki eksperymentów. Zwraca uwagę, że są one w większości przypadków zgodne z oczekiwaniami uzasadnionymi wcześniejszymi analizami, a przy tym satysfakcjonujące.

Podsumowanie w czytelny sposób oddaje zakres rozprawy, wskazuje elementy autorskie, a także proponuje kierunki dalszych badań, dowodząc świadomości naukowej Doktoranta.

Spis literatury zawiera 96 pozycji, właściwie dobrane, do których odnośniki znajdują się w treści rozprawy. Doktorant wymienił pozycje zarówno klasyczne, jak również nowe. Oprócz literatury międzynarodowej, czerpał również z wyników uzyskanych w ośrodkach krajowych. Zacytował tylko 2 własne publikacje.

III. Uwagi ogólne

Poprawność postawionej tezy, użyteczność i skuteczność zaproponowanych metod nie budzi wątpliwości. Dokładniejsza analiza wywodów zamieszczonych w rozprawie nasuwa jedynie wymienione niżej uwagi natury ogólnej.

1. Na str. 5 Autor definiuje pierwotną ścieżkę jako odcinek pomiędzy detektorem odniesienia, a punktem obserwacji, zaś do wtórnej ścieżki zalicza wszystkie elementy, w tym elektroakustyczne i akustyczne pomiędzy wyjściem układu sterowania, a punktem obserwacji. Jest to dużym uproszczeniem. Z jednej strony pierwotna ścieżka nie jest wyłącznie odcinkiem, czy torem akustycznym na drodze pomiędzy dwoma punktami, lecz w polu rozproszonym istotne są właściwości całego ośrodka. Ważne jest również, że przyjmując oznaczenia stosowane w dalszej części rozprawy, chociażby na rys. 4.3 na str. 26, wyjście ścieżki wtórnej bezpośrednio sumuje się z wyjściem ścieżki pierwotnej. Jeśli więc ścieżka wtórna zawiera elementy elektroakustyczne związane z próbkowaniem, to również powinny być one elementem ścieżki pierwotnej. Korzystne byłoby również wyróżnienie elementów

pomiaru i próbkowania sygnału referencyjnego. Wpływają one na dynamikę całego systemu, w tym opóźnienia i mogą mieć istotny wpływ na zapewnienie przyczynowości pracy układu sterowania, a z przyjętych schematów nie jest w pełni jasne, gdzie i w jaki sposób zostały uwzględnione.

2. Na str. 7 Autor zwraca uwagę, że w przypadku ochronników słuchu zastosowanie sprzężenia do przodu jest niepraktyczne. Trudno się z tym stwierdzeniem zgodzić. Doświadczenia pokazały, że można uzyskać w takiej strukturze znacząco lepsze wyniki dla hałasów szerokopasmowych, niż w sprzężeniu zwrotnym, przy zastosowaniu dużego nadpróbkowania oraz odpowiedniego algorytmu.

3. Na str. 8 Autor wymienia zjawiska tłumaczące aktywną redukcję hałasu. Warto przy tym pamiętać również o modyfikacji impedancji akustycznej ośrodka oraz o pochłanianiu energii przez źródło wtórne.

4. Modyfikacje wprowadzone przez Autora mają charakter heurystyczny i dosyć intuicyjny. Interesująca byłaby więc próba teoretycznej analizy odwrotnej – ilościowej lub jakościowej, to znaczy jak te modyfikacje wpływają na wyniki redukcji lub funkcję kosztów. Przykładem takiej analizy jest np. znana z literatury interpretacja wycieku w algorytmie FXLMS jako dodanie białego szumu o odpowiedniej wariancji związanej w parametrem wycieku do sygnału referencyjnego.

5. Interesujące byłoby odniesienie algorytmu sterowania z zastosowaniem radialnych sieci neuronowych do algorytmu sterowania rozmytego z adaptacją parametrów funkcji przynależności.

6. Uzasadnione byłoby przedstawienie wyników badań laboratoryjnych dla sygnałów bardziej złożonych.

7. Na str. 46, równanie (6.4): efektywność redukcji hałasu lepiej byłoby liczyć w przesuwym oknie czasowym, zamiast od początku realizacji pomiarów, co sugeruje $n=1$ w wyrażeniu na sumę.

IV. Uwagi szczegółowe

W rozprawie wychwycono następujące potknięcia natury szczegółowej:

- s. 19 – podano, że model ARMA jest odpowiednikiem sygnałowym modelu ARX, a X oznacza wejście zakłóceń. Odpowiednikiem modelu ARX jest raczej model AR, zaś litera X oznacza wejście pobudzające, a nie zakłócające. Zakłócenie w tych modelach jest stochastyczne i w zależności od typu modelu jest nim biały szum lub biały szum filtrowany.

- s. 20, równanie (4.4): wprowadzono dwie różne zmienne czasowe.
- s. 34, równanie (5.4): wprowadzono symbol ϕ , na str. 33 posługiwano się oznaczeniem f , a na rys. 5.1 użyto symbolu ϕ .
- s. 35: wprowadzono wektory pionowe, wcześniej posługiwano się wektorami poziomymi, podobnie w dalszej części.
- s. 35, równanie (5.6): zamiast (w) powinno być w .
- s. 37, równanie (5.11) i komentarz: nazwanie $\Phi'(n)$ "odpowiedzią modelu wtórnej ścieżki sygnału" w równaniu na błąd $e(n)$ jest nadużyciem.
- s. 37 i 38, równanie (5.14) i (5.16): $g(n)$ powinno być wektorem i odpowiednio oznaczone.
- s. 39, równanie (6.2): oznaczenie przez y sygnału w pierwotnej ścieżce jest mylące w kontekście oznaczeń z rys. 6.1. Lepiej byłoby posługiwać się symbolem d z odpowiednim indeksem.
- s. 46, 2 linia: powinno być „sygnału kompensowanego”, a nie „sygnału referencyjnego”.
- s. 46, koniec 2 akapitu: rys. 6.9 nie ujawnia niestabilności, jak twierdzi Autor. Konieczna byłaby obserwacja w dłuższym horyzoncie czasowym.
- Rysunki 6.16 do 6.39 przedstawiają wiele przebiegów. Wystarczyłoby wybrać kilka reprezentatywnych i wyniki skomentować. Komplet przebiegów lepiej byłoby umieścić w załączniku, aby nie utrudniać śledzenia głównego wątku.

V. Uwagi redakcyjne

Rozprawa napisana jest przejrzysto. Przedstawione rysunki oraz wykresy są czytelne i właściwie skomentowane. Zauważono następujące usterki redakcyjne:

- „Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów” numerowany jest od iii, podczas gdy następujący po nim „Spis treści” numerowany jest od i;
- przecinki stosowane są zbyt oszczędnie, często sprzecznie z zasadami;
- po równaniach powinno się stosować ogólne zasady interpunkcji;
- s. iii, opis parametru N - powinno być „warstwie”;
- s. iv, opis sygnału $y'(n)$ - powinno być „ścieżki”;
- s. 4, koniec pierwszego akapitu 1.2 – brakuje spacji przed „Systemy”;
- s. 9, przedostatnia linia - powinno być „Recursive”;
- s. 10, 4 linia po (2.1) - powinno być „identyfikacja”;

- s. 11, początek akapitu przed rys. 2.1 - powinno być „sterującego”;
- s. 13, 4 linia 4 akapitu - powinno być „Nonlinear”;
- s. 17, 3 linia od końca - powinno być „polepszającą”;
- s. 19, 3 linia od końca 1 akapitu - powinno być „wymienionych”;
- s. 20, 5 linia - powinno być „parametrycznych”;
- s. 21, 4 linia w 4.2 - powinno być „Rozwiązaniem”;
- s. 22, 5 linia od końca - powinno być „są”;
- s. 27, ostatnia linia tekstu - powinno być „wyznaczają”;
- s. 28 – przed (4.25) nie powinno być znaku kropki;
- s. 31, 6 linia 2 akapitu - powinno być „Michajłowa”;
- s. 32, 2 linia przed (5.3) - powinno być „punktu”;
- s. 36, 5 linia - powinno być „aktywnej”;
- s. 36, 7 linia - powinno być „metod redukcji hałasu”;
- s. 36, 10 linia - powinno być „wolną”;
- s. 39, 3 linia 1 akapitu - powinno być „neuronowym”;
- s. 40, rys. 6.2 – brak oznaczenia [dB] na osi pionowej;
- s. 44 i 45, rys. 6.10-6.13 – rysunki przedstawiają trzy krzywe, a opis odnosi się tylko do dwóch z nich;
- s. 47, 5 linia akapitu - powinno być „ścieżki”;
- s. 58, 2 linia - powinno być „badań”;
- s. 58, 8 linia – brak spacji przed „Problem”;
- s. 61, 8 linia - powinno być „Człony”;
- s. 61, 3 linia 3 akapitu - powinno być „ścieżki”;
- s. 61, ostatnia linia - powinno być „ścieżka”;
- s. 61, ostatnia linia – zakres byłoby czytelniej podać jako (-0.6; 0.8);
- s. 71, 6 linia tekstu - powinno być „nieliniową”;
- s. 71, 4 punkt - powinno być „jej do uczenia”;
- s. 72, 2 linia - powinno być „ścieżki”;
- s. 72, 3 linia 2 akapitu - powinno być „dolnoprzepustowego o skończonej”;
- s. 72, 2 linia ostatniego akapitu - powinno być „była”;
- s. 72, 3 linia ostatniego akapitu - powinno być „ścieżki”;
- s. 73, 7 linia - powinno być „pierwotną”.

VI. Podsumowanie i wnioski końcowe

Doktorant podjął się realizacji trudnego zadania - sterowania w układzie aktywnej redukcji hałasu z nieliniową ścieżką pierwotną. Dzięki prześledzeniu trafnie dobranej literatury usystematyzował swoją wiedzę. Czytelnie przedstawił motywację do badań, cel oraz tezy rozprawy. Zaproponował odpowiednie modyfikacje znanych z literatury algorytmów, które pozytywnie zweryfikował zarówno w ramach symulacji, jak również eksperymentach z obiektem laboratoryjnym. Uzyskał zwiększenie poziomu redukcji hałasu. Wyniki przedstawił w sposób rzetelny. W ten sposób osiągnął cel oraz udowodnił postawione w pracy tezy.

W rozprawie nie znaleziono żadnych istotnych uchybień merytorycznych. Ogólne uwagi zawarte w punkcie III niniejszej recenzji nie umniejszają osiągnięć rozprawy, które wnoszą wkład w rozwój metod redukcji hałasu w obiektach nieliniowych. Uwagi te mają głównie charakter dyskusyjny lub wskazują ewentualne kierunki dalszych badań. Tekst rozprawy napisany jest stylistycznie poprawnie. Jednak znaczna liczba uwag szczegółowych, a zwłaszcza usterki redakcyjne zaburzają ogólne pozytywne wrażenie.

Dorobek publikacyjny Doktoranta jest znaczący. W rozprawie zauważyłem jednak odwołania wyłącznie do dwóch prac, co trudno zrozumieć, gdyż wiele innych ma bezpośredni związek z rozprawą. Przyglądając się pełnemu dorobkowi Doktoranta, warto podkreślić 2 samodzielne prace w renomowanych czasopismach z listy filadelfijskiej – Neurocomputing oraz Archives of Acoustics, 1 publikację w Przeglądzie Elektrotechnicznym, 2 artykuły w czasopiśmie branżowym Bezpieczeństwo Pracy, a także wiele publikowanych referatów konferencyjnych, w tym z ważnych konferencji międzynarodowych. Dowodzi to, że Doktorant wielokrotnie zmierzył się już z recenzentami i znalazł uznanie dla wyników swych badań. Ponadto uczestniczył w realizacji wielu prac badawczych.

Reasumując, uważam, że dorobek mgr inż. Tomasza Krukowicza na tym etapie kariery jest znaczący, a przedstawiona rozprawa spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę. W związku z powyższym, wnoszę o **dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Krukowicza do publicznej obrony.**

