

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Szabat
Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych
Wydział Elektryczny, Politechnika Wroclawska
ul Smoluchowskiego 19
50-372 Wrocław

Wrocław 2019-09-03

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Vincenta Megancka pt.
**Spiking Signal Processing Modeling and Application
in Control System of Electric Drives**

Opracowana na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Elektrycznego
Politechniki Warszawskiej

1. CHARAKTERYSTYKA DZIEDZINY I OCENA TEMATU ROZPRAWY

W ciągu ostatnich dekad obserwuje się gwałtowny rozwój metod sztucznej inteligencji, które w ogólności można podzielić na następujące grupy: sztuczne sieci neuronowe, logikę rozmytą oraz algorytmy genetyczne. Pierwsze pionierskie prace w tej dziedzinie powstały w drugiej połowie XX w. Ze względu na ograniczone możliwości techniczne w tamtym czasie dotyczyły one bardziej teorii niż prac praktycznych. Modelowano proste układy pojedynczych neuronów czy układy logiki rozmytej. Jednakże wraz z rozwojem techniki mikroprocesorowej a co za tym idzie wzrostem mocy obliczeniowej zaczęły się pojawiać coraz bardziej złożone struktury sieci neuronowych. Przeprowadzono również pierwsze duże wdrożenia przemysłowe. Wraz z upływem lat powstawały nowe, coraz bardziej skomplikowane modele systemów bazujące na sztucznej inteligencji. Wynikało to z wykładniczego zwiększania się mocy obliczeniowej układów mikroprocesorowych oraz z postępu w różnych dziedzinach nauki, w tym prac nad budową mózgu. Ciągły rozwój nauki prowadzi do stałego zwiększania wymagań stawianych różnym układom czy systemom, w tym układom regulacji automatycznych. Skutkuje to zarówno opracowaniem coraz nowszych rozwiązań w dziedzinie sztucznej inteligencji czy też łączeniem obecnie dostępnych metod. Jako przykład można wymienić zastosowanie sieci Petriego w sztucznych sieciach neuronowych czy opracowanie falkowych rozmytych sieci neuronowych opartych na rozmytych zbiorach typu II.

W rozprawie doktorskiej przedstawiono zagadnienia związane z zastosowaniem impulsowych sieci neuronowych do sterowania wybranymi napędami elektrycznymi. Już sama część teoretyczna przedstawiona w rozprawie jest sama w sobie istotna i oryginalna, a przykłady praktycznych zastosowań wybranych metod zwiększają wartość pracy. Jednym z głównych celów rozprawy jest analiza impulsowego przetwarzania sygnałów (SPP – spiking signal processing) i krytyczne porównanie do cyfrowego przetwarzania sygnałów (DSP – digital signal processing). W pracy dość dokładnie opisano właściwości SSP. Kolejno rozważano kaskadową strukturę sterowania silnika prądu stałego i przemiennego, w którym regulator prędkości oparty jest o sieci impulsowe.

Opiniowana rozprawa doktorska nawiązuje do nowatorskich zagadnień z dyscypliny Automatyka i Robotyka będących w potencjalnym zainteresowaniu szereg ośrodków naukowych i przemysłowych.

2. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedstawiona do zaopiniowania rozprawa doktorska składa się z ośmiu rozdziałów podstawowych, sześciu załączników oraz spisu treści, rysunków i literatury. Całość pracy zawarta jest na 120 stronach. Autor odnosi się do 58 pozycji literatury. Bibliografia nie jest może zbyt obszerna, jednakże biorąc pod uwagę nowatorską tematykę poruszaną w rozprawie dobór źródeł jest wystarczający.

W pracy można wyróżnić dwa podstawowe cele. Pierwszym z nich jest krytyczna analiza właściwości SSP z porównaniem do powszechnie stosowanego DSP. Drugim celem jest zaprezentowanie możliwości wykorzystania impulsowych sieci neuronowych w automatyce napędu elektrycznego, a konkretnie jako regulatorów prędkości silnika prądu stałego i indukcyjnego. W rozprawie brak jest wyraźnie sprecyzowanej tezy naukowej. Układ pracy jest prawidłowy. Rozdziały następują w logicznej kolejności po sobie. Na początku rozprawy znajduje się część teoretyczna, kolejno rozdziały zawierające badania symulacyjne oraz weryfikację proponowanej struktury sterowania z siecią impulsową na stanowisku laboratoryjnym. Pracę kończą wnioski podsumowujące. Zawartość poszczególnych rozdziałów przedstawia się następująco.

W rozdziale pierwszym przedstawiono schemat neuronu impulsowego. Omówienie zaczęto od przybliżenia budowy neuronu w ujęciu biologicznym, następnie zaprezentowano jego model elektryczny. Wyjaśniono zależności pomiędzy napięciem, czasem i konduktancją poszczególnych gałęzi, a także przedstawiono portrety fazowe różnych dla rodzajów neuronów.

Właściwości impulsowego przekształcania sygnałów zaprezentowano w rozdziale drugim. Ta część pracy zaczyna się od porównania funkcji Diraca do impulsu generowanego

przez sieć neuronową. Następnie zdefiniowano częstotliwość impulsów generowanych przez sieć. Wyprowadzono zależności pomiędzy czasem a z natury zmienną częstotliwością impulsów. Kolejno omówiono właściwości próbkowania DSP i SSP. Wskazano na różnicę pomiędzy nimi. W dalszej części omówiono przekształcenie (odkodowanie) impulsów oraz wpływ częstotliwości impulsów na dokładność i rozdzielczość kodowania, następnie przedstawiono sposób kodowania sygnałów ujemnych. Rozdział kończy się porównaniem DSP do SSP.

Kolejna część pracy dotyczy ciągów impulsowych. Rozważania teoretyczne odnoszą się do funkcji stałej, liniowej i wykładniczej. Autor wprowadza również zasadę złotego podziału do SSP.

Rozdział czwarty jest jednym z ważniejszych w pracy. Autor ukazuje w nim możliwość zastosowania SSP do analizy systemów sterowania. W czytelny sposób przedstawia klasyczne metody analizy układu bazujące na odpowiedzi liniowej i częstotliwościowej. Następnie ukazuje możliwości zastosowania SSP w tych samych zagadnieniach. W rozdziale omówiono klasyczne i proponowane w rozprawie metody dekompozycji sygnałów. Kolejno omówiono zastosowanie sieci impulsowych do identyfikacji systemów dynamicznych.

Zastosowanie sieci impulsowych do sterowania prędkością silnika prądu stałego zamieszczono w rozdziale piątym. Rozdział zaczyna się od przedstawienia mechanizmu poruszania mięśniami w ciele człowieka. Kolejno omówiona jest struktura sterowania prędkością SPS oraz model neuronowego regulatora prędkości. W pracy zamieszczono wyniki badań symulacyjnych dla różnych wariantów pracy silnika (rozruchy, obciążenia) i różnych parametrów sieci impulsowych. Wskazano na możliwość powstania zakłóceń impulsowych w przebiegu zmiennych stanu silnika oraz możliwości ich redukcji za pomocą filtrów dolnoprzepustowych.

W rozdziale szóstym zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych zrealizowanych na stanowisku laboratoryjnym z silnikiem indukcyjnym. W testach porównano działanie polowo-zorientowanego układu sterowania prędkością z klasycznym regulatorem PI oraz z regulatorem opartym na impulsowej sieci neuronowej. Dowiedziono możliwości implementacji badanych sieci na stanowisku laboratoryjnym jak i poprawnej pracy układu.

Rozdział siódmy odnosi się do przetwarzania serii impulsów w geometrycznych sieciach neuronowych. Omówiono zależności pomiędzy czasem a prędkością na przykładzie spider web network. Kolejno przybliżono podstawowe operacje matematyczne (dodawanie, odejmowanie, mnożenie i dzielenie) w sieciach impulsowych oraz przeanalizowano właściwości omawianych sieci.

W ostatnim rozdziale pracy zawarto wnioski i uwagi końcowe. Wymieniono najważniejsze osiągnięcia i wyniki. Podkreślono oryginalne osiągnięcia Autora pracy.

3. OCENA PRACY

W rozprawie przedstawiono zagadnienia związane z właściwościami impulsowych sieci neuronowych a zwłaszcza z impulsowym przetwarzaniem sygnałów. Pierwsze rozdziały zawierają rozważania teoretyczne. Autor wprowadza w nich ideę impulsowego przetwarzania sygnałów. Kolejno prezentuje jej właściwości i odnosi do standardowego cyfrowego przetwarzania sygnałów. Ukazuje jej właściwości również w zadaniach sterowania i identyfikacji. W kolejnych rozdziałach Autor prezentuje praktyczne przykłady zastosowań sieci impulsowych w strukturach sterowania prędkością elektrycznych układów napędowych. W mojej opinii bardziej znaczącą częścią pracy są rozważania teoretyczne. W literaturze światowej istnieją pozycje odnoszące się do impulsowych sieci neuronowych, jednakże ich ilość jest ograniczona, co podnosi znacząco wartość pracy i wskazuje na duże dokonania Autora. Implementacja praktyczna sieci impulsowych przedstawionych w rozprawie ukazuje ich przyszły potencjał w aplikacjach przemysłowych. Podsumowując, w mojej ocenie, zarówno tematyka jak i prezentowane wyniki są oryginalne w skali nie tylko krajowej ale i światowej.

Do najważniejszych oryginalnych osiągnięć rozprawy należy zaliczyć:

- Rozważania teoretyczne odnoszące się do impulsowego przekształcania sygnałów. Opracowanie nowej zasady przetwarzania odnoszącej się do SSP.
- Wprowadzenie zasady złotego podziału do SSP.
- Zaprezentowanie nowego podejścia do analizy systemów sterowania (liniowych i nieliniowych) przy wykorzystaniu SSP.
- Opracowanie modeli symulacyjnych impulsowych sieci neuronowych.
- Eksperymentalna weryfikacja impulsowych sieci neuronowych w strukturach sterowania elektrycznych układów napędowych. Ukazanie ich właściwości w zadaniach sterowania prędkością. Wyprowadzenie zastępczego wzmocnienia neuronu.

Redakcja pracy jest staranna, tym niemniej autor nie uniknął drobnych błędów edytorskich i stylistycznych, np.:

1. Strona 25. Mam wątpliwości czy wyrażenie 2.7 odpowiada opisowi na rys. 2.2. Przykładowo dla $n=1$ mamy następujące dane: $t_n = t_1$, $t_{n-1} = t_0$, konsekwentnie powinno być $\Delta t(1)$ i $v(1)$. Na wspomnianym rysunku jest $\Delta t(1)$ i $v(0)$.
2. Strona 25. W tekście jest '...v[3] in Fig. 2.2...'. Nie ma takiego oznaczenia na rys. 2.2.
3. Strona 25. Czy w wyrażeniu 2.8 t_{n-1} nie powinno być zastąpione przez t_n ?
4. W wyrażeniu 2.18 zamiast znaku '=' bardziej pasuje '≈'. Podobnie w wyrażeniu 2.19.
5. Komentarza wymagają wykresy przedstawione na Rys. 2.6. Dlaczego po scałkowaniu funkcji zamieszczonych na drugim rysunku składowym w rezultacie otrzymujemy wykres, w którym funkcja o mniejszym polu powierzchni posiada większą wartość niż funkcja oryginalna (w czasie do 0.3s). Czy po tym czasie następuje odwrotna zależność?
6. Rys. 5.7a Czy kolory przebiegów prędkości nie zostały naniesione błędnie? Układ z filtrem ma szybszą odpowiedź niż układ bez filtra.
7. W pierwszym zdaniu na str. 64 Autor przywołuje dwa rysunki 5.2 i 5.3. Sprawia to wrażenie różnicy pomiędzy nimi. Wydaje się, że bardziej przejrzyste byłoby odwołanie się do tego samego numeru (5.2 lub 5.3). W przeciwnym razie można by wywnioskować, że Autor bada inne układy.
8. W części paragrafów występują akapity a w części nie.

Należy podkreślić, że wymienione uwagi nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę pracy. Autor w sposób przejrzysty formułuje swoje myśli, co korzystnie wpływa na odbiór i zrozumienie pracy.

Po lekturze pracy nasuwa się kilka uwag o charakterze dyskusyjnym o różnej wadze merytorycznej, na które proszę o odpowiedź:

1. Rozdział piąty. Dogłębnierzego wyjaśnienia wymagają przebiegi z rys. 5.5. Autor przyjął do analizy trzy przypadki o różnych parametrach. Przypadek 1 – $a=20$, $b=0$, $N_d=0$; Przypadek 2 – $a=200$, $b=0$, $N_d=30$; przypadek 3 – $a=20$, $b=100000$, $N_d=0$. Z przedstawionych przebiegów prędkości wynika, że przebiegi z przypadku 1 i 2 w zasadzie się pokrywają (pomijając zakłócenia wynikające z impulsów). Nawiązując do wyrażenia 5.2 opisującego wzmocnienie neuronu, proszę o wytłumaczenie dlaczego większe wzmocnienie z przypadku 2 nie zwiększa dynamiki układu. Podobne wątpliwości nasuwają się przy określeniu wartości błędu ustalonego w przypadku 1 i 2 (dla przyłożonego momentu obciążenia). Dla mniejszego wzmocnienia neuronu jest

- on mniejszy niż dla większego?. (Badania przedstawione w 5.4 częściowo odpowiadają na te pytania ale proszę o doprecyzowanie).
2. Do parametrów impulsowego regulatora neuronowego należą a , b i N_d . Czy można sformułować wytyczne projektowe określające te wartości? Zwłaszcza istotny wydaje się być dobór opóźnień w układzie. Pytanie uzupełniające brzmi: Jak poszczególne parametry wpływają na redukcję impulsów i na zastępcze wzmocnienie regulatora?
 3. Stałą czasową filtra dolnoprzepustowego Autor ustalił na 10ms na podstawie odniesienia do ciała ludzkiego. Czy jest ona optymalna? Dodatkowe pytanie brzmi: Czy można w inny bardziej optymalny sposób przekształcić impulsy na sygnał ciągły?
 4. Czy wprowadzenie ograniczenia prądowego do neuronowego regulatora impulsowego jest zadaniem trywialnym w każdym przypadku?
 5. Czy impulsowa sieć neuronowa jest w stanie zapewnić lepsze właściwości dynamiczne sterowanego układu niż metody klasyczne przy znamionowych jak i zmienionych parametrach obiektu? Czy można porównać złożoność obliczeniową badanych struktur sterowania?
 6. W jaki sposób można wprowadzić adaptację do impulsowych sieci neuronowych?

4. PODSUMOWANIE

Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na pozytywną ocenę rozprawy. Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Vincenta Megancka pt. *Spiking Signal Processing Modeling and Application in Control System of Electrical Drives* zawiera rozwiązanie problemu naukowego, dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy badawczej, potwierdza bardzo dobre przygotowanie z dziedziny Automatyki i Robotyki a zwłaszcza z informatyki, teorii sterowania oraz napędu elektrycznego. Dowodem tych umiejętności są nie tylko rozważania teoretyczne i badania symulacyjne, ale również ich praktyczne wykorzystanie, udowodnione poprzez badania eksperymentalne wykonane na istniejącym stanowisku badawczym.

Należy podkreślić, że tematyka rozprawy jest oryginalna w skali światowej. Niewiele jest prac przedstawiających zastosowanie impulsowych sieci neuronowych. Dodatkowo, Autor skupił się nie tylko na projektowaniu sieci ale w większej części pracy na opracowaniu zasad impulsowego przetwarzania sygnałów. Nowatorskie podejście zaproponowane przez Autora może być wykorzystane przez kolejne osoby, tak więc materiał zawarty w rozprawie posiada wysoki potencjał inspirowania przyszłych prac.

Reasumując, w mojej opinii recenzowana rozprawa doktorska w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę o tytule i stopniach naukowych i w związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

The above comments can be subject to discussion and do not affect the positive assessment of the dissertation. The reviewed doctoral dissertation of Vincent Meganck, entitled "Spiking Signal Processing Modeling and Application in Control System of Electrical Drives" contains a solution to a scientific problem, proves the author's ability to conduct research independently, and confirms his good knowledge in the field of Automation and Robotics, especially in computer science, control theory and electric drives. The author proves this not only by submitting theoretical considerations and simulation studies, but also by presenting their practical use, demonstrating experimental research carried out on an existing experimental setup.

It should be emphasized that the topic of the dissertation is original on a global scale. There are few papers presenting the use of impulse neural networks. In addition, the author does not focus only on network design but, for the most part, works on developing the principles of impulse signal processing. Also, the innovative approach proposed by the author has a high potential to inspire future work.

To sum up, in my opinion the reviewed doctoral dissertation fully meets the requirements for doctoral dissertations by the applicable law on the title and academic degrees. Therefore, I hereby attest that the present dissertation can be submitted for public doctoral discussion.

Włodzisław Szabur

