

Kraków, 17 marca 2016 r.

Dr hab. Janusz Jurek
Katedra Systemów Informatycznych
Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie
ul. prof. St. Łojasiewicza 4, 30-348 Kraków



RECENZJA

rozprawy doktorskiej pana magistra Mateusza Wójcika
pt. „Hybrydowy system neuronalny
inteligentnego monitoringu turbiny wiatrowej”

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pana mgr Mateusza Wójcika zatytułowana „Hybrydowy system neuronalny inteligentnego monitoringu turbiny wiatrowej” przygotowana pod kierunkiem pana dra hab. Andrzeja Bieleckiego, prof. nadzw. AGH. Recenzja została wykonana na prośbę Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie pana dra hab. inż. Antoniego Cieśli, prof. nadzw. AGH, w związku z przewodem doktorskim przeprowadzanym na tym wydziale.

Recenzowana rozprawa dotyczy problematyki detekcji potencjalnych usterek i stanów przedawaryjnych dla turbin wiatrowych. Problematyka ta mieści się w dziedzinie zastosowań metod sztucznej inteligencji i ma duże znaczenie praktyczne. Energetyka wiatrowa ma coraz większe znaczenie w systemach energetycznych w kraju i za granicą. Jednym z kluczowych zagadnień energetyki wiatrowej jest zapewnienie właściwego utrzymania i konserwacji turbin wiatrowych, co wymaga inteligentnego monitoringu ich pracy.

Autor rozprawy, po przedstawieniu uzasadnienia dla potrzeby rozwoju metod monitoringu pracy turbin wiatrowych, sformułował na stronie 11 we „Wprowadzeniu” tezę dysertacji w następującej postaci: *„przy pomocy narzędzi sztucznej inteligencji możliwe jest stworzenie w pełni autonomicznego systemu, który w czasie rzeczywistym będzie analizować parametry pracy turbiny wiatrowej, wykrywając nietypowe stany operacyjne lub taką zmianę parametrów pomiarowych, która może świadczyć o usterce lub wystąpieniu stanu przedawaryjnego”*.

Jako podstawowy cel rozprawy określono zatem konstrukcję projektu systemu realizującego przytoczoną powyżej tezę (poprzez definicję części składowych systemu oraz algorytmu jego funkcjonowania), a także weryfikację działania implementacji systemu na danych pochodzących z monitoringu turbiny wiatrowej. Dodatkowy cel rozprawy został sformułowany jako analiza teoretycznych aspektów działania sieci neuronowych typu ART-2 (ang. *Adaptive Resonance Theory*), będących głównym elementem systemu.

Teza rozprawy została wykazana przez Autora w jej kolejnych rozdziałach. Rozdziały 2, 3 i 4 dotyczą opisu poszczególnych metod i algorytmów, na których opiera się system. W rozdziale 2 przedstawiono sieć neuronową typu ART-2, jej architekturę, algorytm przetwarzania sygnałów oraz podsumowanie jej własności, a następnie przeanalizowano problem wykorzystania sieci ART-2 do klasteryzacji danych w czasie rzeczywistym. Jak wykazano, problem ten jest trudny, a jednym z narzędzi jego rozwiązania może być metoda stereograficznej normalizacji danych dla wstępnego przetwarzania sygnałów wejściowych sieci ART-2. W rozdziale 3 opisano metodę gęstościowej analizy danych nazywaną Mieszaniną Gausowską – MoG (ang. *Mixture of Gaussians*) oraz sposób użycia MoG jako klasyfikatora obszarowego. Z kolei w rozdziale 4 podjęto zagadnienie wyodrębnienia z określonego zbioru pomiarowego jego punktów szczególnych za pomocą modelu VBMoG (ang. *Variational Bayesian MoG*), czyli wariacyjnego modelu gaussowskiego, opartego na wariacyjnym bayesowskim wnioskowaniu.

Rozdziały 5, 6 i 7 zawierają wyłącznie rezultaty oryginalnych badań własnych Autora i są one kluczowymi rozdziałami rozprawy.

Rozdział 5 przedstawia architekturę i sposób działania skonstruowanego przez Autora hybrydowego systemu neuronalnego służącego do uniwersalnego klastrowania danych w czasie rzeczywistym. System ten składa się z modułów zaimplementowanych w oparciu o metody przedstawione w trzech wcześniejszych rozdziałach. Strumień danych w systemie przechodzi kolejno przez moduły oparte na VBMoG, MoG, projekcji stereograficznej i sieci ART-2, przy czym ten ostatni jest głównym modułem systemu. Autor szczegółowo opisuje zarówno algorytm przetwarzania strumienia danych wejściowych w systemie, jak również algorytm procesu kontrolnego, niezbędnego do nadzorowania liczby klas powstających w sieci ART-2.

Zagadnienie zastosowania ww. systemu do inteligentnego monitoringu turbin wiatrowych opisano w rozdziale 6. W rozdziale tym Autor najpierw prezentuje techniki monitorowania turbin wiatrowych i problem zmiennego obciążenia turbin. Następnie dokonuje przeglądu rozwiązań wykorzystywanych do monitoringu turbin na świecie i wskazuje braki tych rozwiązań. Pozostała część rozdziału poświęcona jest opisowi koncepcji wykorzystania hybrydowego systemu neuronalnego jako klasyfikatora stanów operacyjnych turbiny wiatrowej ze szczególnym uwzględnieniem aspektu zapewnienia całkowicie automatycznej pracy systemu.

Rozdział 7 zawiera wyniki testów zaimplementowanego przez Autora systemu na trzech różnych zbiorach danych pomiarowych opisujących różne przebiegi pracy turbin wiatrowych (z usterkami i bez usterek). Wykonane symulacje pozwoliły na stwierdzenie, że system poprawnie rozpoznaje stany operacyjne turbiny oraz poprawnie zgłasza wystąpienie zdarzeń mogących prowadzić do usterki (potencjalne stany przedawaryjne).

W rozdziale 8 Autor przedstawia podsumowanie rozprawy. Poza wnioskami końcowymi dotyczącymi zrealizowanych celów i odniesienia się do tezy rozprawy, Autor przedstawia w nim także możliwości szerszego zastosowania opisanego hybrydowego systemu neuronalnego inteligentnego monitoringu – w branżach innych niż energetyka wiatrowa.

W mojej ocenie, teza dysertacji, przedstawiona we „Wprowadzeniu”, została przez Autora w pełni wykazana. Za podstawowe osiągnięcia Autora związane z wykazaniem tezy dysertacji uważam:

- 1) analizę problemu monitoringu turbin wiatrowych i definicję wymagań w zakresie wsparcia informatycznego tego monitoringu za pomocą metod sztucznej inteligencji,
- 2) szczegółowe zbadanie działania sieci neuronowych typu ART-2, a także określenie ich własności i ograniczeń oraz sposobów rozwiązywania problemów związanych z ich wykorzystaniem w środowiskach czasu rzeczywistego,
- 3) skonstruowanie oryginalnego modelu hybrydowego systemu neuronalnego służącego do uniwersalnego klastrowania danych w czasie rzeczywistym, składającego się z modułów opartych na sieci ART-2 i na gaussowskich metodach gęstościowych,
- 4) implementację systemu do monitoringu turbin wiatrowych w środowisku MATLAB na podstawie ww. modelu, przeprowadzenie testów działania systemu na rzeczywistych danych odzwierciedlających różne przebiegi pracy turbin wiatrowych, wnikliwą dyskusję osiągniętych wyników oraz wykazanie zalet systemu.

W aspekcie formalnym recenzowana dysertacja spełnia wszelkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim i świadczy o dobrym warsztacie naukowym jej Autora. Motywacja, teza i cele rozprawy zostały precyzyjnie określone we wprowadzeniu. Schemat rozprawy jest uporządkowany i przejrzysty, co znakomicie ułatwia jej lekturę. Literatura przytoczona w bibliografii jest adekwatna do rozpatrywanych w rozprawie zagadnień.

W zakończeniu recenzji chciałbym zamieścić dwie uwagi krytyczne do opiniowanej rozprawy.

1. Pewien niedosyt pozostawia prezentacja nowatorskich systemów monitoringu turbin wiatrowych stosowanych na świecie, zawarta w sekcji 6.1.4. Autor wprowadzie

podaje obszerną literaturę odnoszącą się do tego zagadnienia, ale omawia ją bardzo lakonicznie (wymieniając jedynie grupy stosowanych technik). W moim przekonaniu zabrakło tutaj przedstawienia konkretnych metod wykorzystywanych dotychczas w inteligentnych systemach monitoringu i opisanie ich własności. Dla czytelnika mogłoby być interesujące zestawienie porównawcze (np. w formie tabelarycznej) modelu opracowanego przez Autora z innymi modelami i metodami używanymi na świecie. Zestawienie takie potwierdzałoby dodatkowo zalety nowego modelu wymieniane przez Autora pod koniec sekcji 6.1.4., czyli m.in. jego możliwość nienadzorowanego uczenia się oraz zgłaszania ostrzeżeń w przypadku wystąpienia zdarzeń, mogących prowadzić do usterki turbiny.

2. Redakcja rozdziałów 2, 3 i 4 ma – moim zdaniem – pewne braki. Rozdziały te zawierają opis podstaw teoretycznych dla modułów składowych hybrydowego systemu neuronalnego zaproponowanego przez Autora. W ramach tego opisu pojawiają się zarówno elementy związane z kontekstem badań (np. definicja sieci ART-2 i gęstościowych modeli gaussowskich), jak też elementy będące wynikami analiz własnych Autora (np. analiza problemu przetwarzania danych przez sieć ART-2 w czasie rzeczywistym). O ile sposób przedstawienia treści w rozdziałach 2, 3 i 4 jest prawidłowy, gdyż umożliwia systematyczne zapoznanie się z czytelnika ze składowymi koncepcjami hybrydowego systemu neuronalnego, o tyle można było zadbać o lepsze wyeksponowanie oryginalnego wkładu Autora w ramach tych rozdziałów, na przykład poprzez zamieszczenie stosownego komentarza we wstępie do poszczególnych sekcji.

Chciałbym podkreślić, że powyższe uwagi nie mają charakteru zasadniczego i nie wpływają na moją całkowicie pozytywną ocenę dysertacji – zarówno w aspekcie merytorycznym, jak i formalnym.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska pana magistra Mateusza Wójcika zawiera oryginalne i wartościowe wyniki naukowe, stanowiące cenny wkład w dynamicznie rozwijającą się dziedzinę metod sztucznej inteligencji oraz ich zastosowań. Spełnia ona warunki ustawowe i może stanowić podstawę do dopuszczenia jej Autora

do dalszych faz przewodu doktorskiego w celu nadania stopnia naukowego doktora w zakresie informatyki.



Dr hab. Janusz Jurek