

Warszawa, 4 maja 2018

dr hab. inż. Krzysztof Siwek, prof. PW
Instytut Elektrotechniki Teoretycznej
i Systemów Informacyjno Pomiarowych
Wydział Elektryczny
Politechnika Warszawska

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Albiny Jegorowej

**pt. „Automatyczna identyfikacja stanu zużycia narzędzia podczas
wiercenia w płycie wiórowej laminowanej”**

(zlecenie Dziekana Wydziału Technologii Drewna Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego
z dnia 8 marca 2018)

Ocena doboru tematyki rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska pani Albiny Jegorowej dotyczy zagadnień wspomagania diagnostyki stanu narzędzi podczas wiercenia w płytach wiórowych laminowanych. Tematyka rozprawy jest w dużym stopniu interdyscyplinarna, łączy ze sobą zagadnienia z dziedzin technologii drewna oraz sztucznej inteligencji.

Proces zastępowania ludzi przez szeroko rozumianą automatykę jest coraz szybszy, a z powodów ekonomicznych bardzo pożądanym we współczesnym świecie. Rozprawa ta ponadto wpisuje się w aktualne trendy ścisłej współpracy nauki i przemysłu. Zaproponowane w niej rozwiązania można właściwie natychmiast zastosować w zakładach produkcyjnych. Dodatkowo należy podkreślić, że niezbędne w systemie czujniki i karty pomiarowe są łatwo dostępne, a cały system przetwarzania sygnałów można w prosty sposób zaimplementować używając darmowego oprogramowania (Open Source) lub rozprowadzać w postaci skompilowanej bezpośrednio z programu Matlab.

Zastosowanie sztucznej inteligencji w postaci sieci neuronowych pozwala na stworzenie systemu decyzyjnego całkowicie niezależnego od człowieka. W literaturze opisano wiele przypadków, gdzie sztuczna inteligencja stawia szybszą i bardziej trafną diagnozę, szczególnie podczas długiej, ciągłej i powtarzalnej pracy. Uważam, że przedstawione w rozprawie rozwiązanie należy również do tej grupy.

W mojej ocenie dobór tematyki rozprawy jest poprawny.

Charakterystyka i główne osiągnięcia rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska liczy łącznie z dodatkami 116 stron. Podzielona jest na 6 rozdziałów oraz dwa dodatki. Literatura liczy 90 pozycji, w ponad połowie anglojęzycznych. Podział rozprawy na rozdziały jest prawidłowy i dobrze ilustruje etapy pracy oraz osiągnięte przez Autorkę wyniki, a treść pracy odpowiada jej tytułowi.

Cel pracy został jasno i dokładnie zdefiniowany w rozdziale drugim na stronie 17 rozprawy: „celem prac badawczych jest opracowanie podstaw automatycznego systemu pośredniej (bezinwazyjnej) identyfikacji stanu zużycia wiertel w oparciu o wybrane sygnały pomiarowe, takie jak siła posuwowa, moment obrotowy skrawania, emisja akustyczna, hałas i drgania”. Należy podkreślić, że jest to cel zdecydowanie praktyczny, w perspektywie mogący znaleźć aplikacje w zastosowaniach przemysłowych. Ponadto rozprawa jest naturalną kontynuacją badań prowadzonych w macierzystej jednostce Autorki: Wydziale Technologii Drewna.

W rozdziale pierwszym Autorka zawarła wprowadzenie w problematykę diagnostyki stanu narzędzia. Szczególny nacisk położyła na automatyczną diagnostykę i wyjaśniła wagę oraz praktyczne znaczenie problemu. W rozdziale tym umieściła przegląd stanu wiedzy, analizę literatury i znanych rozwiązań w Polsce oraz na świecie.

Rozdział drugi zawiera zwięzłą definicję celu i opis zakresu pracy. Autorka uzasadniła tutaj celowość opracowania systemu automatycznej diagnostyki. W rozdziale tym pojawiają się po raz pierwszy określenia klas zużycia wiertel (zielony,

żółty i czerwony). Opisane zostały poszczególne etapy zadania badawczego: akwizycja danych, badanie wskaźników diagnostycznych, przygotowanie bazy danych zarejestrowanych sygnałów, wybór i przetestowanie klasyfikatora, dobór i selekcja cech diagnostycznych oraz opracowanie finalnego komputerowego systemu do automatycznej diagnostyki stanu narzędzi.

W rozdziale trzecim Autorka przedstawiła stanowisko badawcze, wiertła oraz zastosowane czujniki i karty pomiarowe. Wszystkie te elementy zostały wystarczająco dobrze omówione (bez danych katalogowych). Zabrakło natomiast wyjaśnienia dlaczego akurat te parametry (emisja akustyczną, drgania, hałas, moment obrotowy i siła posuwista), szczególnie w kontekście cech diagnostycznych ostatecznie wybranych w końcowym rozwiązaniu (tabela 24 str. 76), są istotne.

W dalszej części rozdziału trzeciego Autorka omówiła proces akwizycji danych oraz przedstawiła karty pomiarowe i środowisko komputerowe do rejestracji pomierzonych sygnałów.

Rozdział czwarty przedstawia zaproponowaną przez Autorkę metodę oceny jakości wiertła. Znajduje się tutaj wyjaśnienie sposobu interpretacji stanów „zielonego”, „żółtego” i „czerwonego” w automatycznym systemie diagnostycznym. Autorka zaprezentowała ponadto używane w pracy klasyfikatory: sieć neuronową typu MLP, minimalno-odległościowy klasyfikator k-NN oraz maszynę wektorów podtrzymujących SVM. Omawiała też wybrane metody selekcji cech diagnostycznych: sekwencyjnego poszukiwania cech (SequentialFS), wielokrotnej regresji krokowej (Stepwisefit) oraz filtrowania cech wg. maksymalnej relewancji (MRMR) i InfiniteFS.

Rozdział piąty prezentujący analizę wyników badań jest najobszerniejszą częścią rozprawy. Początek rozdziału zawiera definicje używanych później miar błędów klasyfikacji. W dalszej części Autorka kolejno zaprezentowała wyniki kolejnych swoich badań, prezentując tym samym metodykę dojścia do końcowego rozwiązania. Każdy etap badań jest dobrze omówiony i bogato zilustrowany wynikami w postaci macierzy rozbieżności dla różnych klasyfikatorów bez i z selekcją cech diagnostycznych. Autorka dzięki zastosowaniu końcowej fuzji cech poprawiła jeszcze wysoką dokładność

klasyfikacji. Część wyników w postaci macierzy i tabel, niestety bez komentarzy znajduje się w Dodatku B.

Uwagi dyskusyjne

W tej części recenzji chciałbym szerzej naświetlić pewne uwagi dyskusyjne, nie umniejszające jednak w istotnym stopniu osiągnięć Autorki rozprawy.

1. Dlaczego Doktorantka wybrała takie sygnały pomiarowe (emisja akustyczna, drgania, hałas, moment obrotowy i siła posuwista) do dalszego przetwarzania? Czy wiązało się to z dostępną gamą czujników i kart pomiarowych czy raczej Doktorantka sugerowała się innymi rozwiązaniami opisywanymi w literaturze?
2. Uważam, że w zaproponowanym układzie pomiarowym oraz w systemie przetwarzania sygnałów i systemie do klasyfikacji znajduje się zbyt duża liczba składników. Szczególnie zastosowanie dwóch różnych kart pomiarowych oraz programów LabView i Matlab znacząco podnosi koszt opracowanego systemu. Czy według Doktorantki jest możliwe ograniczenie kosztów w systemie produkcyjnym, jeśli i tak do diagnostyki używane są tylko niektóre z danych pomiarowych?
3. Brakuje mi w pracy analizy wpływu poszczególnych cech diagnostycznych wybranych w wyniku fuzji. Czy Doktorantka uważa, że możliwe było by dalsze zmniejszenie liczby cech diagnostycznych i tym samym ograniczenie liczby sprzętu pomiarowego instalowanego w stanowisku badawczym?
4. Niejasna dla mnie jest kolumna „Numer testu” w tabeli 18 w kontekście opisu fuzji cech z poprzedniej strony 70. Czy Autorka sprawdziła, że wybrane cechy diagnostyczne różniły by się w przypadku innej kolejności wykonywania testów?
5. Jak wymiar płyty, w której przeprowadza się wiercenie wpływać będzie, zdaniem Doktorantki, na cechy diagnostyczne i tym samym dokładność klasyfikacji? Czy Doktorantka uważa, że system opracowany dla diagnostyki

wierceniach w płytach o małych wymiarach będzie działał poprawnie dla dużych płyt meblowych?

6. Błędne i niecelowe jest stosowanie sieci MLP o więcej niż dwóch warstwach ukrytych (tabela 8 str. 56).
7. Dla stosowania sieci MLP Dyplomantka nie posiada wystarczającej bazy danych uczących. Dla przykładu sieć z pozycji 6 z tabeli 8 ze str. 56 posiada 7776 wag, podczas, gdy na str. 33 z tabeli 4 można doliczyć się tylko 788 par uczących. To może być przyczyną słabej dokładności klasyfikacji metodą MLP.
8. Dobrana skala pionowa na rysunku 35 str. 70 sugeruje, że dokładność klasyfikacji po selekcji cech wzrasta znacząco, podczas gdy jest to wzrost bezwzględny jedynie o 1,4%. Dopiero po fuzji cech dokładność wzrosła o 3,7%, co prezentuje rys 37 ze str. 76. Co oznacza przerywana niebieska linia na rys 37 ze str. 76?
9. Błędnie zapisana jest nazwa metody „Infinite feature selection” na stronie 48.
10. Nieściśle jest opis doboru współczynników C i gamma: „w przedziale od 2^{-1} z krokiem co 0,1 do 2^{12} ” (str. 62).
11. Brakuje w rozprawie głębszej analizy pozostałych miar klasyfikacji – precyzji, swoistości i czułości. Dyplomantka skupiła się jedynie na dokładności, a przecież o jakości klasyfikatora również wiele mówią pozostałe wymienione miary.
12. Niektóre wzory są zapisane w uproszczony sposób (np. 4.1 i 4.2 str. 35) lub są niejasne np. (3.2) str. 28.
13. Zbędne nawiasy we wzorach 5.6 do 5.10.
14. W przypadku separacji liniowej SVM mówi się o hiperpłaszczyźnie a nie o płaszczyźnie (str. 40, 41),
15. Praca napisana jest na dobrym poziomie językowym, aczkolwiek zdarzają się pojedyncze błędy językowe lub złe sformułowania: np. „klasyfikator (...)”

generuje błędy” na str. 56, „...bazy danych o przebiegu...” na str. 79. Autorka konsekwentnie w złym znaczeniu używa słowa „ilość” zamiast „liczba”, np. na str. 14, 25, 33, 68, itp.

Główne osiągnięcia Autorki rozprawy

Do oryginalnych osiągnięć Autorki rozprawy należy zaliczyć:

1. Opracowanie oryginalnej metody pomiarowej do pośredniej identyfikacji stanu wiertła.
2. Zaproponowanie i zbadanie wielu metod klasyfikacji stanu wiertła na podstawie wybranych cech diagnostycznych.
3. Zbadanie i zastosowanie metod selekcji cech diagnostycznych w badanym problemie.
4. Zbadanie i zastosowanie metody fuzji cech diagnostycznych i zmniejszenie w jej wyniku liczby cech o ok. 93% w stosunku do liczby początkowej.
5. Wykonanie wielu badań potwierdzających praktyczną przydatność opracowanej metody.

Zaproponowana przez Autorkę metoda bezinwazyjnej (w proces obróbki) diagnostyki pozwala na szybkie oszacowanie stanu wiertła przy jednoczesnym zachowaniu dużej dokładności. Co więcej, po niewielkiej adaptacji, zaproponowane rozwiązanie może być używane w zastosowaniach przemysłowych. **Uważam, że cel pracy został spełniony.**

Należy podkreślić, że Doktorantka w rozprawie doktorskiej wykazała, że posiadała wiedzę i umiejętności samodzielnej pracy naukowej wymagane na tym stopniu rozwoju naukowca. Poprzez zaproponowanie i opracowanie nowych metod oraz ich dogłębne przetestowanie Autorka wniosła istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej.

Sformułowane powyżej uwagi mają w większości charakter dyskusyjny i nie umniejszają w żaden sposób wartości opracowanej metody ani wysokiemu poziomowi badawczemu rozprawy.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa mgr inż. Albiny Jegorowej pt. „Automatyczna identyfikacja stanu zużycia narzędzia podczas wiercenia w płycie wiórowej laminowanej” **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim.**
Wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.



dr hab. inż. Krzysztof Siwek