

POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ OCEANOTECHNIKI I OKRĘTOWNICTWA

Prof. dr hab. inż. Wojciech Tarnowski 9.07.2019 19 czerwca 2019r.
Politechnika Koszalińska 295

Ul. Jasna 38 m 1
44 100 GLIWICE

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Justyny Ślęzak-Żołny

pt. „Metoda neuronowego modelowania wzorców sprawnej pracy
parowych bloków energetycznych diagnozowanych cieplnie on-line”

dla Rady Wydziału Oceanotechniki i Okrętownictwa
Politechniki Gdańskiej.

Recenzja została zlecona przez Dziekana Wydziału dr hab. inż. **Janusza Kozaka** pismem z dnia 16 maja 2019r. Opinia niniejsza dotyczy nowej, zmienionej wersji pracy.

Temat i zakres rozprawy

Naukowym celem pracy było opracowanie metodyki tworzenia neuronowych modeli działania parowych bloków energetycznych, modeli służących do wspomagania operatora w procesie diagnozowania, w czasie rzeczywistym, dla określonej klasy obiektów, oraz zbudowanie i zweryfikowanie takiego modelu.

Dobór tematu jest uzasadniony technicznie i ekonomicznie, ponieważ przynosi postęp w zakresie wykorzystania informacji ruchowych w trudnych warunkach decyzyjnych w zarządzaniu operacyjnym (przy ograniczonej wiedzy i w obecności silnego stresu decydenta), i zmniejsza ryzyko ponoszenia kosztów przestojów i zatrzymań bloku energetycznego.

Tytuł pracy jest zgodny z jej tematem.

Zakres rozprawy dotyczy procesu eksploatacji złożonego układu maszynowego, zatem mieści się w zakresie dyscypliny *budowa i eksploatacja maszyn*.

Dorobek Autorki

Istotnym dorobkiem naukowym Autorki są nast. elementy.

- Opracowano neuronowy model turbiny parowej przydatny do diagnozowania eksploatacyjnego; w krótkim czasie z wymaganą dokładnością wyznacza on wartości referencyjne parametrów cieplnych i przepływowych turbiny, w szczególności sprawności chwilowej i porównuje ze sprawnością obliczoną na podstawie pomiarów, w aktualnych warunkach pracy;
- Oryginalnym wnioskiem metodologicznym – potwierdzonym w tej pracy – jest, że w niektórych przypadkach, gdy obiekt ma własności homeostatyczne (co – dodajmy – uzyskuje np. przez efektywnie działający układ regulacji stałowartościowej), do symulacji własności dynamicznych można wykorzystać sieci neuronowe jednokierunkowe, a niekoniecznie sieci rekurencyjne;
- Zaproponowanie własnej metodyki projektowania i uruchamiania modeli neuronowych pewnej klasy obiektów przemysłowych, i sprawdzenie tej metodyki na przykładzie;
- Przedstawienie własnego podejścia do uczenia i testowania sieci;
- Przedstawienie oryginalnego sposobu automatycznego wyszukiwania optymalnego zestawu danych uczących dla projektowanego modelu neuronowego;
- Propozycja quasi-optimalizacji tworzonego modelu neuronowego (struktury i parametrów (p.6.3.2 s. 50); nie jest to formalna matematyczna optymalizacja, zatem lepiej użyć słowa *quasi-optimalizacja*;
- Kolejnym osiągnięciem naukowym Autorki (s. 74) jest metoda racjonalnego (optymalnego) podziału zbioru danych na uczące i testujące, gdy ten zbiór jest niewielki, nazwana przez Nią metodą „odwróconego scyzoryka”;
- Zręczny sposób wyłączenia z obszaru modelowania układów automatyki i tym samym pominięcia ich dynamiki przez wykazanie (s. 35), że ich działanie jest co najmniej o rząd szybsze niż dynamika procesów cieplnych i przepływowych w obiekcie, przy założeniu ich poprawnej pracy (istotne!), i że operator nie zmienia nastaw regulatorów podczas zbierania danych dla sieci;
- Dyskusja wymaganej dokładności symulacji (s. 36) oraz potrzebnego czasu symulacji (s. 37);
- Wzorowe określenie wymagań dla modelu i implementacji komputerowej (s. 34 – 38);
- Dobrze określenie charakterystyki własności statycznych i dynamicznych obiektu ze względu na potrzeby modelowania i symulacji (p. 5.5 s. 38 – 39) i zakłóceń (s. 40).

Słusznie Autorka zauważa (s.52 – 53), że niektóre procesy są szybkozmiennne (np. reakcje regulatorów) i w kontekście tej pracy ich dynamikę można pominąć (s. 39).

O wnikliwości Autorki świadczy na przykład pytanie (s. 49) czy maksymalne odchylenia wyników symulacji powinny być uznane jako symptomy błędów modelu czy wynikają z właściwości uogólniających sieci neuronowej.

Wartościowe są informacje podane w p. 6.3.4 (s. 54 – 58), zawierające obszerny materiał zebrany w trakcie badań Autorki.

Podobnie, na uznanie zasługują wnikliwe wnioski z badań własnych dotyczące uczenia sieci i związków między parametrami sieci a dokładnością odwzorowania (p. 6.3.4)

Poprawność możliwości quasi-optymalizacji parametrów sieci potwierdzają przebiegi pokazane na rys. 6.11 – 6.13, na których wykazano, że minima em , es i MSE leżą w tym samym zakresie liczby epok uczenia.

Wartościowe uwagi dla praktyki uczenia sieci pokazano w p. 6.3.6 (s. 64).

Na uznanie zasługuje fakt, że dane uczące pochodzą aż z trzech lat eksploatacji.

Na uznanie zasługuje bardzo wnikliwe i obszerne rozpoznanie dotychczasowego dorobku innych badaczy:

- w obszarze sieci neuronowych
- oraz rozpoznanie w zakresie modelowania obiektów energetycznych.

Świadczą o tym trafne wnioski co do własnych badań i potwierdza bardzo liczny zbiór literatury z tych obszarów – a także własna praktyka zawodowa.

Na uznanie zasługuje przekonująca i obszerna weryfikacja proponowanych procedur.

Podoba mi się wysiłek Autorki dotyczący stanu badań w zakresie modeli analitycznych (podany w Zał. 2.1 – 2.3) – tego nie należy zlekceważyć nawet gdy buduje się model neuronowy, ponieważ daje orientację o zmiennych i o własnościach dynamicznych obiektu.

Uwagi merytoryczne

s.17 Wg definicji (2.5) stan obiektu zależy od skończonego wektora zmiennych decyzyjnych $ZmZ: \{m, p, t\}$, ale nie zależy od zakłóceń. Zatem jak one będą uwzględnione w procesie diagnozowania?

s.18 Autorka definiuje *model wzorca sprawnej pracy* jako zbiór parametrów; sądzę że jest to **funkcja wektorowa** (jak na rys.2.3) a nie zbiór. Oczekiwałam jasnej definicji.

Mylące może być stwierdzenie (s. 36), że w zakres modelowanego obiektu nie wchodzi układy regulacyjne, tymczasem warunkiem skuteczności zastosowanej struktury sieci *feed-forward* jest właśnie skuteczność tych układów w zakresie szybkich zmian (s. 36 u dołu).

Struktura sieci neuronowej zawiera 12 równolegle działających sieci (s. 43 i rys. 5.3 i 5.5): to są ciśnienia i temperatury w 6 upustach, ale nie pokazano algorytmu post-procesora (rys. 5.3), w szczególności sprzężeń zwrotnych – czy nie są potrzebne?

Wniosek 3 od dołu na s. Z57 jest niezrozumiały.

s. Z5 oraz s. 17 (zał. (2.3) to są definicje a nie równania. Równaniem jest zależność (2.7).

Szczególnym osiągnięciem jest wykazanie, że w przypadku obiektów cieplno-przepływowych możliwe jest zamodelowania dynamiki obiektu za pomocą sieci feed-forward, dzięki temu uproszczeniu uniknięto sieci rekurencyjnej z pamięcią

Redakcja i układ pracy – uwagi ogólne

Tekst pracy jest wzorowo zorganizowany: mimo wielowątkowości dyskursu i złożoności problematyki, oraz wynikającej stąd obszerności dysertacji (111 stron plus 177 stron załączników), czytelnik odnajduje wewnętrzną logikę tekstu: od przesłanek do założeń i wymagań, poprzez dyskusję pola możliwych rozwiązań, wybór, eksperymenty, rezultaty aż do precyzyjnych i uporządkowanych wniosków.

Dyskusyjne jest stosowanie terminu *obiektu stacjonarnego*. Autorka przeciwstawia to pojęciu *obiektu dynamicznego*, tak jak to jest powszechnie rozumiane w termodynamice. W teorii systemów *obiekt stacjonarny* to taki, w którym **losowe** zjawiska mają stałe własności stochastyczne.

Podobnie termin *zakres modelowania* (s. 33): należy odróżnić zakres dopuszczalnych wartości zmiennych wejściowych (dla których model zachowuje ważność) od 'topograficznego' zasięgu obszaru modelowanego obiektu oraz zbioru modelowanych w obiekcie zjawisk fizycznych i informatycznych.

Przykładem dobrej redakcji pracy jest p. 6.3.10 (s. 84), zwięźle podsumowujący opracowaną metodę.

Znalazłem nieliczne omyłki językowe, np. na stronach 12, 55 i 73, i w załącznikach na stronach 57 i 60.

Komentarze

Czy do obszaru modelowania wchodzi układy automatyki (s. 36)? Czy przed rozpoczęciem uczenia sieci oraz przed rozpoczęciem diagnozowania użytkownik sprawdza układy regulacji? Należy podkreślić, że w trakcie uczenia sieci operator nie może zmieniać nastaw regulatorów, bo one stają się własnościami obiektu – jest to ważne gdy uruchamia się automatyczne uczenie sieci.

Czy podany zakres wartości wektora zmiennych wejściowych 95 – 105% od wartości znamionowych dotyczy stanów ustalonych? Przecież w stanach nieustalonych te zakresy są przekraczane nawet o kilkaset procent?

Czy system pracuje w czasie rzeczywistym, czy w ustalonym rytmie z zegarem wewnętrznym?

Jak sieć uczy się szumów i zakłóceń (s. 64) – przecież to są zmienne losowe; jak uwzględniono zakłócenia i szumy pomiarowe w procesie diagnozowania?

Czy uśredniania błędu (s. 50) dokonano po czasie (dla jednej konkretnej realizacji w funkcji czasu) czy dla różnych danych wejściowych, w stanach ustalonych, tzn. dla $x_{wej} = \text{const}$

Co oznaczają różne wartości częstotliwości (s. 41 Tabl. 5.2)?

Podsumowanie

Wybór struktury sieci neuronowej oraz jej parametrów jest zawsze trudny i dyskusyjny, szczególnie gdy model matematyczny jest zbiorem uwikłanych nieliniowych równań różniczkowych - jak w tym przypadku. Projektowanie sieci jest zawsze procesem heurystycznym, a literatura choć obszerna dostarcza ogólnikowych (a niekiedy sprzecznych) porad w tym zakresie. Autorka dogłębnie zapoznała się z tym problemem, i na podstawie swoich kilku-letnich doświadczeń w tym obszarze zaproponowała własną procedurę – co jest jednym z dwóch najwartościowszych osiągnięć pracy.

Drugim jest działający model symulacyjny, przydatny w diagnozowaniu eksploatacyjnym.

Ponadto wykazała słuszność założenia, że dla dobrej diagnozy wystarczy wyprowadzać z modelu symulacyjnego tylko jedną zmienną, np. sprawność.

Konkluzja

Autorka wykazała obszerną i rzetelną wiedzę teoretyczną i praktyczną w kilku obszarach:

- turbozespoły energetyki cieplnej: budowa, działanie (procesy), eksploatacja i diagnostyka;
- projektowanie i uczenie sieci neuronowych;
- ogólna wiedza metodologiczna w zakresie projektowania i diagnozowania systemów technicznych;
- umiejętność formułowania problemów, rozwiązywania zadań naukowych, weryfikacji znalezionych rozwiązań i walidacji wniosków;
- redagowania tekstów naukowych, w szczególności dysertacji

wobec powyższego uważam że spełnia ustawowe warunki dla prac doktorskich i może być dopuszczona do publicznej obrony

Wniosek o wyróżnienie

Powyżej przedstawiłem zbiór osiągnięć naukowych Autorki, wyjątkowo obszerny jak dla dysertacji doktorskiej.

W szczególności dostrzegam następujące wyróżniające elementy pracy:

- Udana próba zamodelowania dynamicznego obiektu za pomocą sieci *feed-forward*;
- Opracowanie własnej metodyki projektowania i uruchamiania modeli neuronowych pewnej klasy obiektów przemysłowych;
- Sformułowanie własnego podejścia do uczenia i testowania sieci;
- Na uznanie zasługuje ogromna liczba czasochłonnych eksperymentów przeprowadzonych przez Autorkę w celu wszechstronnej weryfikacji swoich propozycji (s. 70);
- Wzorowa redakcja dysertacji: przejrzysta konstrukcja opracowania naukowego: przekonujące uzasadnienie tematu i zakresu pracy; jasne założenia i wymagania; dogłębna analiza potrzeby; określenie pola możliwych rozwiązań zadania.

W związku z powyższym stawiam wniosek o wyróżnienie pracy.

prof. dr hab. inż. Wojciech Tarnowski

Wojciech Tarnowski