

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Szyber pt.

Metoda doboru zbioru sensorów dla diagnostyki procesów przemysłowych na podstawie grafu przyczynowo-skutkowego

1. Wstęp

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anny Szyber pt. ***Metoda doboru zbioru sensorów dla diagnostyki procesów przemysłowych na podstawie grafu przyczynowo-skutkowego***. Tematyka pracy jest zlokalizowana w obszarze diagnostyki systemów technicznych, w dyscyplinie naukowej Automatyka i Robotyka. Przedmiotem zainteresowania jest autorska metoda wyboru konfiguracji zestawu sensorów dla efektywnej diagnostyki, w tym zapewnienia rozróżnialności uszkodzeń. Tematyka pracy obejmuje zatem ważne i aktualne zagadnienia naukowe o potencjalnie szerokich zastosowaniach praktycznych.

Diagnostyka systemów technicznych stanowi szybko rozwijającą się gałąź wiedzy inżynierskiej na pograniczu automatyki, teorii systemów, informatyki, a także obszarów takich jak elektromechanika, hydraulika, pneumatyka, a więc związanych z konkretnymi realizacjami. Rozwijane są zarówno elementy teorii jak i podejścia praktyczne, zorientowane na zastosowania w rzeczywistych instalacjach technologicznych, a zatem uwzględniające uwarunkowania i wymagania praktyki przemysłowej.

Wraz ze wzrostem możliwości obliczeniowych komputerów oraz rozwojem metod i narzędzi dla realizacji zaawansowanych obliczeń numerycznego, ale także przetwarzania wiedzy o charakterze symbolicznym, nastąpił gwałtowny rozwój metod diagnostycznych. Aktualnie rozwijane metody diagnostyki oparte są na wykorzystaniu nowych paradygmatów obliczeniowych, takich jak sieci neuronowe (neuropodobne) czy systemy rozmyte, ale także analiza jakościowa, logika czy algebra komputerowa. Postępom teoretycznym towarzyszył wzrost zarówno liczby zastosowań praktycznych jak i stopnia zaawansowania stosowanych podejść.

Współczesne systemy diagnostyczne bazują często na sformalizowanych teoriach wywodzących się z automatyki (teorii sterowania), analizy systemowej czy inżynierii wiedzy (sztucznej inteligencji). Mogą one także opierać się na wykorzystaniu wiedzy eksperckiej i doświadczenia, a do budowy takich systemów wykorzystywane są podejścia oparte na uczeniu z przykładów. Zaawansowane systemy diagnostyczne stwarzają możliwości monitorowania pracy złożonych układów przemysłowych (tzw. systemy SCADA) oraz automatycznego diagnozowania poprzez wykrywanie błędnego zachowania się systemów i lokalizację uszkodzeń.

Czynnikami warunkującymi konieczność rozwoju metod monitorowania i diagnostyki są przede wszystkim wymagania dotyczące *efektywności, jakości, bezpieczeństwa i niezawodności* coraz bardziej złożonych systemów, w tym wymagania ekonomiczne dotyczące długookresowej, bezawaryjnej pracy, możliwości stałego monitorowania i predykcji stanu systemu, szybkiego diagnozowania on-line, lokalizacji i usuwania zaistniałych awarii, a w konsekwencji zapobiegania i likwidacji skutków poważniejszych awarii i związanych z tym strat ekonomicznych. Rozwój metod i systemów diagnostycznych ma istotne znaczenie dla efektywnego i bezpiecznego użytkowania złożonych instalacji technologicznych i jest jednym z istotnych czynników warunkujących konkurencyjność i szeroko rozumianą niezawodność systemów.

Recenzowana rozprawa bardzo dobrze wpisuje się w aktualne trendy badań naukowych w obszarze diagnostyki technicznej. Wykorzystuje ona proste i efektywne podejście do modelowania zachowania systemów dynamicznych w oparciu o grafy przyczynowo-skutkowe (tzw. Grafy Procesu, GP). Głównym celem rozprawy jest opracowanie procedur dla umożliwienia efektywnej odpowiedzi na następujące dwa pytania:

- 1). Czy dostępny zbiór pomiarów pozwala na spełnienie specyfikacji diagnostycznej?
- 2). W jaki sposób uzupełnić zbiór urządzeń pomiarowych, aby spełnienie specyfikacji było możliwe?

Oba powyższe pytania mają zarówno charakter teoretyczny jak i wyraźny podtekst praktyczny. W istocie, praca ma na celu zwiększenie efektywności procesu diagnostycznego w oparciu o odpowiednią konfigurację urządzeń pomiarowych. Konfiguracja ta powinna być z jednej strony najprostsza (najtańsza), a z drugiej zapewniać wymaganą rozróżnialność uszkodzeń.

Rozważania teoretyczne zawarte w pracy zostały zilustrowane obszernymi przykładami opartymi na analizie układów złożonych z dwóch i trzech zbiorników, układu arytmetycznego oraz ogniwa paliwowego.

2. Struktura pracy

Praca składa się z sześciu rozdziałów oraz zawiera dodatkowo obszerny wykaz bibliograficzny (sto kilkadziesiąt pozycji, nienumerowanych), wykaz stosowanych oznaczeń oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Praca liczy ogółem 151 numerowanych stron.

W rozdziale pierwszym przedstawiono problematykę pracy – obszar badawczy, sformułowano problemy badawcze i naszkicowano cele rozprawy. Przedstawiono również strukturę pracy.

Rozdział drugi zawiera wprowadzenie w obszar współczesnej diagnostyki i prezentację problematyki metod detekcji i lokalizacji uszkodzeń, zwłaszcza tych wywodzących się z klasycznej automatyki oraz teorii systemów, a opartych na koncepcji modelowania systemów za pomocą różnego rodzaju grafów. Przedstawiono problem lokalizacji czujników i rozróżnialności uszkodzeń oraz omówiono zastosowanie grafów przyczynowo-skutkowych w diagnostyce.

W rozdziale trzecim przedstawiono koncepcję modelu (lokalnego) oraz przedstawiono metody generacji takich modeli w oparciu o graf przyczynowo-skutkowy (tzw. Graf Procesu). Przedstawiono także propozycje algorytmów dla wyznaczania modeli diagnostycznych.

Najważniejszymi z punktu widzenia meritum rozprawy są rozdział czwarty i piąty. W rozdziale czwartym Autorka przedstawia zaproponowaną oryginalną metodologię generowania lokalizacji urządzeń pomiarowych dla spełnienia specyfikacji diagnostycznej. Rozdział piąty opisuje przykłady zastosowania wypracowanych metod i porównanie z rozwiązaniami znanymi z literatury problemu.

Rozdział 6 to podsumowanie osiągnięć pracy i szkic możliwych kierunków dalszych prac badawczych.

Kompozycja pracy wydaje się być czytelna i poprawna a sama praca jest dobrze zredagowana i zwarta.

3. Przedmiot i cele pracy

Przedmiotem recenzowanej rozprawy są rozważania dotyczące diagnostyki złożonych systemów technologicznych, w tym zwłaszcza metoda zapewnienia pożądanej wykrywalności i rozróżnialności uszkodzeń w oparciu o odpowiedni dobór lokalizacji urządzeń pomiarowych.

W rozprawie rozważano dwa zasadnicze wątki problemowe o wspólnym podtekście, stanowiące de facto problemy badawcze podejmowane w pracy:

- 1). Czy dostępny zbiór pomiarów pozwala na spełnienie specyfikacji diagnostycznej?
- 2). W jaki sposób uzupełnić zbiór urządzeń pomiarowych, aby spełnienie specyfikacji było możliwe?

Celem pracy było zaproponowanie autorskiego rozwiązania wskazanych wyżej problemów i opracowanie odpowiednich procedur, algorytmów, a także zilustrowanie wypracowanych rozwiązań przykładami.

4. Ocena pracy

Przystępując do oceny pracy należy na wstępie stwierdzić, że praca obejmuje dwa precyzyjnie zdefiniowane cele szczegółowe zlokalizowane w dobrze określonym obszarze badawczym diagnostyki technicznej. Wybrane do rozwiązania problemy stanowią o oryginalnym i twórczym charakterze podjętego zadania. Są one jasno określone i zrozumiałe na poziomie intuicyjnym, a równocześnie mają realny wymiar praktyczny.

W pracy dokonano wyboru podejścia do modelowania systemu z wykorzystaniem grafu przyczynowo-skutkowego oraz modeli lokalnych (modeli cząstkowych); wybór ten jest w pracy uzasadniony i – pomimo pewnych zastrzeżeń co do zakresu możliwości metod tej klasy - wydaje się być racjonalny zwłaszcza w przypadku złożonych instalacji technologicznych.

Do najważniejszych rezultatów stanowiących oryginalny dorobek recenzowanej pracy zaliczyć można:

- zaproponowanie modyfikacji definicji struktury modelu dopuszczającej występowanie zależności pomiędzy zamiennymi wejściowymi (a więc uwzględnienie więcej niż jednej zmiennej wejściowej dla jednej silnie spójnej składowej grafu; eliminacja cykli),
- opracowanie metody upraszczania grafu procesu poprzez redukcje silnie spójnych składowych; zaproponowanie odpowiednich algorytmów obliczeniowych,

- sformułowanie warunków koniecznych i dostatecznych dla zapewnienia wykrywalności i rozróżnialności uszkodzeń o opracowanie metody doboru i lokalizacji sensorów za zapewnienia zadanej wykrywalności i rozróżnialności.

W konsekwencji, wyznaczone model charakteryzują się prostą strukturą, jest ich znacząco mniej niż w przypadku klasycznych grafów procesu, a proces efektywnego diagnozowania nabiera realnego kształtu.

Dodatkowym osiągnięciem pracy jest obszerna analiza obliczeniowa, w tym szereg zaproponowanych algorytmów, oraz analiza metod wyznaczania zbiorów przecięć.

Przedstawione rezultaty mogą być uznane za oryginalny dorobek naukowy Autorki pracy. Równocześnie przedstawione wyniki uzyskane na bazie przykładów stanowią oryginalny i wartościowy materiał ilustracyjny i poglądowy.

Autorka wykazała dobrą znajomość prezentowanej tematyki, zarówno podstaw teoretycznych, najnowszych wyników badań jak i literatury problemu. Prezentacja elementów teorii jest w poprawna, ścisła, oraz relatywnie elegancka od strony formalnej. Podane przykłady dobrze ilustrują prezentowany materiał teoretyczny. Należy uznać, że cele założone w pracy zostały osiągnięte.

4.1 Uwagi ogólne merytoryczne

Tematyka pracy jest dobrze osadzona w kontekście aktualnych badań. Również ogólna wiedza teoretyczna Autorki o zagadnieniach poruszanej problematyki naukowej jest bezdyskusyjna, a umiejętność prowadzenia samodzielnej pracy naukowej została potwierdzona w rozprawie.

Tym niemniej, wydaje się, że analizując rozprawę w nieco szerszym kontekście, a zwłaszcza na tle prac prowadzonych w innych dziedzinach związanych z diagnostyką w pracy należałoby uwzględnić następujące zagadnienia:

1. Praca ogranicza się do wykrywania i rozróżniania uszkodzeń jednokrotnych; w opinii recenzenta stanowi to pewne ograniczenie. Dysponując możliwościami umieszczenia dodatkowych czujników czy elementów pomiarowych można – jak się wydaje – uwzględnić również wybrane uszkodzenia wielokrotne.
2. Na str. 11 określono 2 cele pracy; oba odnoszą się do „specyfikacji diagnostycznej”. Niestety brak tu formalnej definicji. Definicje pojawiają się dopiero na str. 77.
3. Podana na stronie 13 klasyfikacja uszkodzeń (za praca Kościelny, 2001) wydaje się być zawężona – obejmuje głównie uszkodzenia komponentów. Podejście takie jest dość powszechnie przyjmowane w literaturze teoretycznej, jednak w praktyce należałoby uwzględnić możliwość powstawania uszkodzeń o charakterze **strukturalnym i parametrycznym** (np. drgania będące przyczyną wzbudzenia powstałego w pętli sprzężenia zwrotnego przy zbyt dużym wzmocnieniu sygnału; podobny charakter ma **niestabilność systemu dynamicznego**).
4. W przedstawionej na stronie 22 krytycznej ocenie możliwości stosowania i ograniczeń grafów przyczynowo-skutkowych pominięto problem wrodzonej niemożności skutecznej symulacji oddziaływania dwóch (lub więcej) sygnałów o różnych znakach (wyznaczenia jakościowo fuzji tych oddziaływań oraz efektu kompensacji).
5. Strona 37-38 – podano liczne zalety GP... A jakie są wady i ograniczenia???

6. Rozważania prezentowane na stronie 42 – dotyczące dekompozycji systemu – nie są poparte wskazaniem literatury i niestety nie są wystarczająco jasne, nie wyjaśniono także oznaczeń (jakie jest znaczenie zbiorów C, Z oraz S z indeksem + czy też -), ani nie przedstawiono żadnych intuicji na których potencjalnie opierałaby się omawiana dekompozycja.
7. Podobnie – rozważania na str. 44 i Def. 2.13 – nie są odpowiednio wyjaśnione.
8. Podobnie – rozważania na str. 55 i 56 – nie są odpowiednio wyjaśnione.
9. Problem – użyta nazwa – **struktura modelu** jest myląca! Nie ma tam de facto żadnej struktury (np. grafu), a jedynie specyfikacja wejść i wyjść. Nie ma też mowy o modelu – w sensie np. transmitancji. Chodzi jedynie o zastaw zmiennych we-wy, taki, aby na podstawie we obliczyć wy.
10. Brak dyskusji problematyki rozróżnialności od strony teorii informacji. Przyjmując np., że jeden pomiar/czujnik wnosi 1 bit informacji, dla rozróżnienia N uszkodzeń powinno wystarczyć $\log_2(N)$ pomiarów/czujników. Np. dla $N=16$ liczba czujników to 4.
11. Przydałoby się oznaczać zmienne ukryte np. [X] i mierzalne/obserwowalne np. X lub X?. Zmienne podwójnie wyznaczone – konfliktowe – np. X*
12. W pracy przedstawiono szereg algorytmów, jednak w znakomitej większości brak jest precyzyjnych rozważań co do ich złożoności obliczeniowej.

4.2. Uwagi dotyczące redakcji, prezentacji i stylu

Prezentacja materiału przedstawionego w pracy dokonana jest w sposób zwięzły, ale relatywnie czytelny i zrozumiały. Język prezentacji, stosowana terminologia, czy symbole nie budzą w zasadzie zastrzeżeń. W pracy nie stwierdzono istotnych usterek edycji czy redakcyjnych. Zauważone, drobne uchybienia wykazano poniżej:

Str. 42: Nie opisano jakie jest znaczenie zbiorów C, Z oraz S z indeksem + czy też -.

Str. 91, alg. 4.5 – występujący najczęściej w **elementach** P (czyli w zbiorach P_1, \dots, P_k).

Na str. 97 – brak relacji we wzorach.

Ponadto, skład matematyczny w LaTeXu różni się od składu tekstowego (*italic*); w konsekwencji, napisy we wzorach matematycznych muszą być umieszczane w odpowiednich ramkach.

5. Wnioski końcowe

Przedstawiona w pracy problematyka dotyczy aktualnych i ciekawych zagadnień naukowych, lokowanych w obszarze diagnostyki technicznej, w dyscyplinie Automatyka i Robotyka. Praca koncentruje się na problematyce diagnostyki złożonych systemów technologicznych. Opiswane podejście pozwala na zwiększenie efektywności diagnostyki takich systemów poprzez identyfikację struktur modeli przydatnych do detekcji uszkodzeń. W konsekwencji, pozwala też na stosunkowo łatwą rozbudowę i uszczegóławianie projektowanego systemu diagnostycznego o węzły pomiarowe niezbędne dla zapewnienia wymaganej rozróżnialności uszkodzeń.

Przedstawiony materiał zawiera interesujące wyniki pracy badawczej oraz oryginalne rozwiązania Autorki. Praca jest na wysokim poziomie merytorycznym i użytkowym, a przedstawione powyżej uwagi krytyczne nie podważają pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy.

Przedstawiony w pracy materiał prezentuje wysoki poziom naukowy a sposób prowadzenia dyskusji i jej wartość merytoryczna odpowiada standardom pracy doktorskiej. Praca zawiera oryginalne koncepcje naukowe doprowadzone do szczegółowego podejścia algorytmicznego, wsparte obszernym materiałem ilustracyjnym.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr Anny Szyber pt. **Metoda doboru zbioru sensorów dla diagnostyki procesów przemysłowych na podstawie grafu przyczynowo-skutkowego**, lokowana w dyscyplinie *Automatyka i Robotyka*, spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, wynikające z *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dn. 14 marca 2003 (Dz.U. Nr 65 z dn. 16.04 2003, poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami) i na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Antoni Ligier