Zielona Góra, 16 sierpnia 2019

dr hab. inż. Justyna Patalas-Maliszewska, prof. UZ
Wydział Mechaniczny, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją
Uniwersytet Zielonogórski
E-mail: J.Patalas@iizp.uz.zgora.pl

WPŁYNĘŁO
dnia 22.08.2019
podpis

Recenzja

rozprawy doktorskiej pani mgr **Katarzyny Grobler-Dębskiej**
pt.: „Metoda przełączania modeli algebraiczno-logicznych dla produkcji dyskretnej z brakami jakościowymi".

Promotor: Prof. dr hab. inż. Ewa Dudek-Dyduch

Recenzję wykonano na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, na podstawie umowy o dzieło z dnia 10.07.2019.

Recenzja została opracowana w perspektywie dyscypliny automatyka i robotyka, w której przewód doktorski jest prowadzony.

1. Aktualność podjętego tematu badawczego

Główny obszar badawczy opiniowanej pracy doktorskiej to modelowanie i optymalizacja niedeterministycznego problemu dyskretnej produkcji przemysłowej. Podejmowane zagadnienie jest aktualne i zgodne z obecnym trendem poszukiwania rozwiązań, których zastosowanie pozwoli na skrócenie cyklu wprowadzania innowacji oraz na skrócenie czasu oczekiwania klientów na zamówienie w przedsiębiorstwach z obszaru produkcji dyskretnej w aspekcie koncepcji Przemysłu 4.0. Świadczą o tym liczne publikacje prezentujące przykłady systemów wspierających pracę w dziale utrzymania ruchu, których zastosowanie pozwala na zmniejszenie nieprzewidzianych zakłóceń związanych z wykorzystywaniem zasobów produkcyjnych (m.in. Ni i Jin (2012) przedstawili nowe narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji oparte na algorytmach matematycznych i narzędziach symulacyjnych do efektywnych operacji konserwacyjnych; Ni i in. (2015) opracowali model predykcyjny dla napraw prewencyjnych maszyn bez konieczności naruszania wymagań dotyczących przepustowości systemu czy Xiao i in. (2016), którzy przedstawili model minimalizacji kosztów produkcji, kosztów konserwacji zapobiegawczej, kosztów naprawy w przypadku nieoczekiwanych awarii oraz kosztów opóźnienia przy wykorzystaniu algorytmów genetycznych). Z drugiej strony, co również przedstawia Autorka w rozdziale dotyczącym genezy pracy (rozdział 1.2, str. 17), nieprzewidziane zakłócenia w przepływie produkcji to m.in. nieoczekiwana absencja pracowników czy anulowanie zamówienia. Powstaje pytanie dlaczego w pracy ograniczono się do tematu nieprzewidzianych zakłóceń związanych z pracą w przepływie produkcji, a ponadto nie uwzględniono czynnika absencji pracowników? Przedstawiane w pracy rozwiązanie problemu harmonogramowania produkcji (innymi słowy problemu szeregowania zadań) należy do klasy problemów trudnych (ang. NP-hard). Oznacza to, że konieczne jest ciągłe poszukiwanie nowych metod do jego rozwiązania z uwagi na efektywność stosowania tych algorytmów praktyce

gospodarczej. Na podstawie powyższego oraz wyników przeprowadzonej analizy literatury w rozdziale drugim pracy doktorskiej (tj. w kontekście dokonanego przeglądu metod rozwiązywania rzeczywistych problemów w przepływie produkcji), stwierdzam, że przedstawiona w pracy tematyka, zawężona do opracowania metody przełączania modeli algebraiczno-logicznych dla produkcji dyskretnej w kontekście występujących braków jakościowych w przedsiębiorstwach, jest aktualna i zgodna z kierunkami badawczymi prowadzonymi w dyscyplinie automatyka i robotka, jak również z potrzebami firm produkcyjnych w kontekście ich rozwoju zgodnie z koncepcją Industry 4.0.

(Literatura: Ni, J.; Gu, X.; Jin, X. Preventive Maintenance Opportunities for Large Production Systems. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* **2015**, *64*, 447–450, doi:10.1016/j.cirp.2015.04.127; Ni, J.; Jin, X. Decision Support Systems for Effective Maintenance, Operations. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* **2012**, *61*, 411–414, doi:10.1016/j.cirp.2012.03.065; Xiao, L.; Song, S.; Chen, X.; Coit, D.W. Joint optimization of production scheduling and machine group preventive maintenance. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* **2016**, *146*, 68–78, doi:10.1016/j.ress.2015.10.013)

2. Ocena formalna pracy oraz uwagi ogólne

Przedstawiona do recenzji praca składa się z dziewięciu rozdziałów, w tym wstępu. Dodatkowo obejmuje skorowidz ważniejszych pojęć, skorowidz ważniejszych nazw oraz dowód twierdzenia. Praca zawiera również spis rysunków i bibliografię. Układ pracy oraz sposób omówienia poszczególnych obszarów badawczych w rozdziałach jest prawidłowy, chociaż w rozdziale drugim powinna zostać przeprowadzona pogłębiona dyskusja dotycząca zalet i ograniczeń zastosowania obecnie znanych podejść do rozwiązywania problemów planowania w dyskretnych systemach wytwarzania.

Podejmowany problem badawczy dotyczy poszukiwania modelu do optymalizacji niedeterministycznego problemu dyskretnej produkcji przemysłowej, przy założeniu występowania braków jakościowych. W pracy postawiono tezę, iż zamodelowanie szerokiej klasy dyskretnych procesów produkcyjnych z brakami jakościowymi metodą przełączania zdefiniowanych modeli algebraiczno-logicznych pozwoli na efektywne budowanie algorytmów szeregowania.

W rozdziale pierwszym przedstawiono motywację do podjęcia pracy badawczej, jak również wskazano cele rozprawy oraz zadania badawcze, których realizacja pozwoliła na wykazanie postawionej tezy badawczej.

W rozdziale drugim szczegółowo omówiono problem szeregowania jak również przeprowadzono analizę metod modelowania i rozwiązania rzeczywistych problemów w harmonogramowaniu produkcji w perspektywie formalnych modeli matematycznych oraz odniesienia do stanów natury. Warto podkreślić, że dokonano analizy znanych w literaturze przedmiotu metod rozwiązywania problemu przepływowego i wykazano lukę badawczą w modelowaniu wieloetapowych decyzji przy rozwiązywaniu problemów szeregowania zadań. Jednak, w przeprowadzonej analizie literatury brakuje wyjaśnienia nie tylko postawionego w tezie sformułowania dotyczącego efektywnego budowania algorytmów szeregowania, ale również podjęcia tematu efektywności zastosowania algorytmów do rozwiązywania problemu harmonogramowania produkcji w rzeczywistości gospodarczej. Ponadto pojawia się niedostatek w postaci braku analizy obecnie stosowanych efektywnych algorytmów wspierających harmonogramowanie produkcji.

W rozdziale trzecim bardzo szczegółowo omówiono meta model algebraiczno-logiczny jako formalny model rozwiązywania dyskretnego dynamicznego problemu optymalizacyjnego. Jest to bardzo staranny i rzetelny opis modelu. Jednak w mojej opinii brakuje części poświęconej krytycznej analizie opisanych wcześniej modeli (rozdział 2) i wykazania przewagi w zastosowaniu omawianego algorytmu dla celów rozwiązania problemu harmonogramowania produkcji.

Rozdział czwarty ilustruje zastosowanie meta modelu algebraiczno-logicznego do rozwiązania problemu szeregowania zadań w produkcji w rozumieniu wykonania zlecenia produkcyjnego przy założonym poziomie jakości w zadanym terminie. Przyjęto, że celem optymalizacji jest skrócenie czasu wykonania wszystkich zadań. Poprawnie sformalizowano elementy modelu algebraiczno-logicznego:, tj.: czytelnie opisano stan systemu, w charakterystyce stanu maszyn przyjęto 2 klasy stanów maszyn (należy rozważyć, czy nie jest konieczne wprowadzenie stanu pośredniego: maszyna nie pracuje chwilowo z powodu nieoczekiwanej awarii), zbiór stanów niedopuszczalnych, zbiór stanów docelowych oraz decyzje i funkcję przejścia. Dyskusyjne uważam ograniczenie warunków „stopu" dla kolejnych zadań wyłącznie do trzech ograniczeń.

Rozdział piąty to charakterystyka wybranych problemów w produkcji, gdzie występują braki jakościowe oraz przykład procesu produkcyjnego napylania farby proszkowej. W moim przekonaniu rozdział ten powinien zostać uzupełniony o wprowadzenie jednoznacznych definicji w obszarze sterowania produkcją, co pozwoliłoby czytelnikowi na bardziej zrozumiały odbiór zawartych w nim problemów, dla których poszukuje się rozwiązania (uporządkowania wymagają pojęcia m.in.: system produkcyjny, proces produkcyjny, proces technologiczny, wyrób, produkt, itd.). Jednak z uwagi na opiniowanie pracy w perspektywie dyscypliny automatyka i robotyka to niedociągnięcie nie ma wpływu na ocenę pracy.

W rozdziale szóstym i siódmym zamodelowano problem produkcji przepływowej z brakami jakościowymi zgodnie z formalnym zapisem modelu podanym w rozdziale piątym. Jako wartość dodaną pracy oceniam zaproponowany algorytm przełączania dla produkcji przepływowej z jedną maszyną kontroli jakości i bez maszyn naprawczych (rysunek 6.1) oraz algorytm przełączania dla problemu produkcji przepływowej z naprawą braków na jednej maszynie naprawczej (rysunek 7.1).

Rozdział ósmy i dziewiąty to szczegółowa charakterystyka autorskiej metody przełączania modeli algebraiczno-logicznych dla produkcji przepływowej z brakami jakościowymi. Niestety nie znalazłam opisów dotyczących efektywności zastosowania proponowanej metody czy eksperymentów badawczych potwierdzających skuteczność zastosowania proponowanej metody. Ponadto szkoda, że nie opisano potencjalnych trudności (ograniczeń) w wykorzystaniu przedstawionej metody w harmonogramowaniu zadań w praktyce gospodarczej.

W podsumowaniu pokazano najważniejsze osiągnięcia pracy badawczej. Kolejne punkty pracy to trzy dodatki: skorowidz ważniejszych oznaczeń, skorowidz ważniejszych nazw oraz dodatek, przedstawiający dowód przyjętego w pracy twierdzenia Pinedo (2008), który oceniam jako bardzo istotny dla opracowanego rozwiązania. Dołączono również spis rysunków (15 pozycji). Spis pozycji literatury uważam za prawidłowy i wystarczający.

3. Ocena merytoryczna pracy, pytania oraz kwestie dyskusyjne

Merytorycznie dysertację oceniam pozytywnie. Zbudowane algorytmy: algorytm przełączania dla produkcji przepływowej z jedną maszyną kontroli jakości i bez maszyn naprawczych oraz algorytm przełączania dla problemu produkcji przepływowej z naprawą braków na jednej maszynie naprawczej, jak również autorska metoda przełączania modeli algebraiczno-logicznych dla problemów z brakami jakościowymi stanowią poprawne rozwiązania formalne postawionego problemu. Ponadto autorka bardzo starannie zaprezentowała aparat matematyczny dla zaproponowanego rozwiązania.

Przedstawione poniżej uwagi, nieścisłości czy pytania przedstawiono zgodnie z kolejnością rozdziałów pracy.

- W tezie pracy (rozdział 1.2) stwierdzono, że zamodelowanie szerokiej klasy dyskretnych procesów produkcyjnych z brakami jakościowymi metodą przełączania zdefiniowanych modeli algebraiczno-logicznych pozwoli na efektywne budowanie algorytmów szeregowania. Jak zdefiniowano i w jaki sposób wykazano założoną efektywność?

- W rozdziale drugim nie znaleziono analizy porównawczej obecnie stosowanych efektywnych algorytmów wspierających harmonogramowanie produkcji. Na jakiej podstawie zdefiniowano lukę badawczą?

- W rozdziale trzecim oczekuje się wyjaśnienia, dlaczego dokonano wyboru modelu ALMM do dalszych prac badawczych? W mojej opinii winna się znaleźć krytyczna analiza opisanych modeli w rozdziale 2.

- W rozdziale czwartym (4.2.3) proszę o wyjaśnienie w jaki sposób określono warunki dla kolejnych momentów czasowych. Ponownie stwierdzam, że dyskusyjne uważam ograniczenie warunków „stopu" dla kolejnych zadań wyłącznie do trzech ograniczeń (pp. uwagi ogólne). Można założyć, że jeżeli maszyna M_i jest zajęta, czyli wykonywane jest na niej dane zadanie J_j oraz nastąpi jej nieoczekiwana i nagła awaria (przestój), to kolejną decyzją jest kontynuowanie wykonywania tego zadania przez wolną maszynę M_i' (o parametrach zgodnych z maszyną M_i). Wtedy czas dokończenia zadania jest równy sumie czasu wykonania na pierwszej maszynie M_i oraz na maszynie zastępczej M_i' (określony na podstawie stanu maszyn).

- Rozdział szósty, siódmy, ósmy i dziewiąty stanowią oryginalny wkład autorki w obszarze badań dotyczących zarządzania harmonogramowania produkcji (czy innymi słowy szeregowania zadań).

  - W jaki sposób zweryfikowano efektywność opracowanych algorytmów?

  - Czy zostały przeprowadzone eksperymenty badawcze potwierdzające skuteczność opracowanej metody?

  - Oczekuje się również dyskusji nad możliwościami wykorzystania proponowanych algorytmów w praktyce gospodarczej, w szczególności w perspektywie ich wydajności (rozmiar problemu w praktyce gospodarczej).

4. Uwagi redakcyjne

Praca została przygotowana bardzo starannie i jest poprawna pod kątem stylistyczno-redakcyjnym. Została napisana zwięzłym językiem, który świadczy o dużej wiedzy i umiejętnościach matematycznych autorki. Zauważone drobne błędy redakcyjne nie mają istotnego wpływu na merytoryczną ocenę pracy.

str. 28	Niewłaściwe umiejscowienie rysunku 2.1. Powinien znaleźć się w rozdziale 2.2. Ponadto brak odniesienia w treści pracy do tego rysunku.
str. 29	Niewłaściwe określenie: „reprezentacja wiedzy problemu". Ponadto brak odniesienia do pozycji literatury przedmiotu odnośnie klasyfikacji podziału modeli reprezentacji wiedzy stosowanych do problemów harmonogramowania produkcji.
str. 37	Błąd w nazwie rozdziału 3.1
str. 59	Brak jednoznacznego zastosowania pojęć z obszaru sterownia produkcją (rozdział 5.3)

5. Oryginalne osiągnięcia i wnioski końcowe

Za oryginalne osiągnięcia pracy uznaję:

- Dokonanie rzetelnego opisu modelu algebraiczno-logicznego dla problemu produkcji przepływowej.
- Zbudowanie algorytmu przełączania modeli algebraiczno-logicznych dla produkcji dyskretnej z jedną maszyną kontroli jakości i bez maszyn naprawczych.
- Zbudowanie algorytmu przełączania modeli algebraiczno-logicznych dla problemu produkcji dyskretnej z naprawą braków na jednej maszynie naprawczej.
- Opracowanie metody przełączania modeli algebraiczno-logicznych dla produkcji dyskretnej z brakami jakościowymi, obejmującej siedem kroków postępowania.

W mojej opinii Autorka wykazała się wiedzą w dyscyplinie „automatyka i robotyka", w szczególności bardzo dobrą znajomością obszaru formalizacji problemu harmonogramowania produkcji oraz modelowania algorytmów do optymalizacji niedeterministycznego problemu dyskretnej produkcji przemysłowej, przy założeniu występowania braków jakościowych. Ponadto pokazała, że potrafi prowadzić samodzielnie odpowiedzialne badania naukowe.

Przedstawiona rozprawa doktorska spełnia warunki Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Stawiam wniosek o uznanie pracy jako spełniającej ustawowe wymagania dla rozprawy doktorskiej w zakresie nauk technicznych w dyscyplinie „automatyka i robotyka" oraz wnioskuję o dopuszczenie doktorantki do publicznej obrony pracy.