

Warszawa, 17 sierpnia, 2023.

Prof. dr hab. inż. Ignacy Kaliszewski

Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mirosława Ławrynowicza

„Algorytmy szeregowania zadań z niestalonymi terminami gotowości na maszynach dowolnych”

Niniejsza recenzja została przygotowana dla Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej, na podstawie uchwały Rady podjętej w dniu 28 czerwca 2023 r., wyznaczającej mnie na recenzenta wymienionej powyżej rozprawy.

Przedmiot rozprawy

Przedmiotem rozprawy są problemy szeregowania zadań z niestalonymi terminami gotowości na maszynach dowolnych. Użyta w rozprawie terminologia, a także tytuł rozprawy, wydają się plasować tematykę rozprawy w ramach klasycznych problemów wyznaczania kolejności wykonywania zadań z odniesieniami do praktycznych problemów wytwarzania produktów w środowisku przemysłowym. Lektura rozprawy wskazuje jednak, że odnosi się ona do daleko szerszej klasy zagadnień, jeżeli tylko klasyczny termin *maszyna* będzie rozumiana jako zestaw działań, które mogą być wykonywane w konkretnej lokalizacji. Uzmysłowanie sobie tego faktu już na początku lektury ułatwia zrozumienie celów rozprawy i zasadności doboru tematyki badawczej. Z niejaką szkodą dla strony wizerunkowej rozprawy Autor pozostawia przedstawienie takiego szerszego kontekstu dla prezentowanych własnych prac i wyników aż do przedostatniego rozdziału 5. Z obszernego przeglądu literatury podanego we Wstępie wynika jednak, że świadomość takiego szerszego kontekstu już szeroko funkcjonuje.

Za centralny problem rozważany w rozprawie należy bez wątpienia uznać problem łącznego rozmieszczania maszyn i szeregowania na nich zadań (ScheLoc). Problem ten można rozwiązywać wprost lub za pomocą naturalnej dekompozycji na problem rozmieszczenia maszyn i problem szeregowania zadań, w tej kolejności. Taka kolejność wynika z przyjętego w rozważanych w rozprawie problemach założenia, że termin gotowości zadania może zależeć nie tylko od samego zadania, ale także od konkretnej maszyny, na której to zadanie jest przetwarzane, co wprowadza różnicowanie maszyn, nawet w przypadku maszyn identycznych konstrukcyjnie ale rozmieszczonych w różnych lokalizacjach.

WPLYNĘŁO

21-08-2023

1

RDN-IIT / 154 / 2023



Zasadniczą część rozprawy stanowią rozdziały 2, 3, 4.

Zawartość rozdziału 2

W rozdziale 2 przedstawiono trzy autorskie algorytmy dla rozwiązywania problemu szeregowania zadań z terminami gotowości zależnymi od maszyn przy kryterium minimum maksymalnego czasu zakończenia przetwarzania zadań i poddano je eksperymentalnej ocenie. W poszczególnych algorytmach wykorzystano następujące techniki optymalizacyjne: przegląd wyczerpujący z dekompozycją zadań, symulowane wyżarzanie, optymalizację zachłanną.

Algorytmy bazują na udowodnionej teoretycznej własności funkcji celu rozpatrywanego problemu, polegającej na możliwości wyznaczenia jej wartości na podstawie znajomości czasu zadania krytycznego.

Dla trzeciego algorytmu (optymalizacja zachłanna) wyprowadzono dolne i górne oszacowanie na wartość optymalną wartości kryterium.

Przeprowadzono analizę algorytmów w terminach klasycznej teorii złożoności obliczeniowej.

Wskazano trzy przypadki szczególne, w których rozpatrywane problemy mają złożoność wielomianową. W ogólnym przypadku jest to problem klasy NP.

Zawartość rozdziału 3

W rozdziale 3 przedstawiono trzy autorskie algorytmy dla rozwiązywania problemu szeregowania zadań z przedziałowymi (niepewnymi) terminami gotowości zależnymi od maszyn i poddano je eksperymentalnej ocenie. W poszczególnych algorytmach wykorzystano następujące techniki optymalizacyjne: heurystyki, przeszukiwanie tabu.

Przygotowując podstawy teoretyczne tych algorytmów wykazano najpierw nieistnienie algorytmu α -aproxymującego dla rozpatrywanego problemu. Następnie przedstawiono twierdzenie redukujące niedeterministyczną w założeniu naturę problemu do problemu deterministycznego. Dowód twierdzenia oparty jest na własnościach zdefiniowanych w rozprawie *scenariuszy skrajnych*, *scenariuszy pośrednich*, i *scenariuszy istotnych*. Na bazie tych pojęć ustalono zakres możliwych wartości wykorzystywanego w problemie kryterium żalu. Uzyskane wyniki zostały następnie wykorzystane do uzyskania silniejszego oszacowania kryterium żalu w przypadku, gdy terminy gotowości nie zależą od maszyn.

Przeprowadzono analizę algorytmów w terminach klasycznej teorii złożoności obliczeniowej.

Zawartość rozdziału 4

W rozdziale 4 przedstawiono trzy autorskie algorytmy dla rozwiązywania problemu rozmieszczenia maszyn i szeregowania zadań i poddano je eksperymentalnej ocenie. Rozpatrzono przypadki przedziałów gotowości zadań zarówno zależnych jak i niezależnych od maszyn. W poszczególnych algorytmach wykorzystano następujące techniki optymalizacyjne:



- przegląd wyczerpujący, symulowane wyżarzanie, optymalizację zachłanną (analogicznie jak w rozdziale 2) – dla szeregowania zadań z terminami gotowości zależnymi od maszyn, przegląd wyczerpujący, optymalizację zachłanną – dla wyboru lokalizacji maszyn przy danej lokalizacji maszyn (podejście całościowe, globalne),
- przegląd wyczerpujący - dla wyboru lokalizacji maszyn, przegląd zachłanny – dla wyznaczania uszeregowania zadań przy zadanej lokalizacji maszyn (podejście sekwencyjne),
- heurystyki, przeszukiwanie tabu (analogicznie jak w rozdziale 3) – dla szeregowania zadań z przedziałowymi (niepewnymi) terminami gotowości, przegląd wyczerpujący, optymalizację zachłanną – dla wyboru lokalizacji maszyn przy danej lokalizacji maszyn (podejście sekwencyjne).

Wymienione algorytmy z tego rozdziału są parametryzowane algorytmami dla rozwiązywania jednego z dwu podzadań, stąd rzeczywista liczba algorytmów poddanych badaniom eksperymentalnych jest większa.

Ocena merytoryczna rozprawy

Przedmiotem pracy są nowatorskie sformułowania zadań szeregowania zadań w najszerszym ujęciu. Są to prace w dziedzinie pionierskie. Doktorant udowodnił bardzo dobre rozeznanie literatury w zakresie tej problematyki, a także wysoką sprawność warsztatu naukowego, którym się posługuje. Nowatorstwo prowadzonych przez niego badań potwierdzają liczne, jak na doktorat, publikacje o szerokim zasięgu oddziaływania. Jak wynika ze spisu literatury, doktorant opublikował, w okresie od roku 2018 do roku 2022, 8 artykułów współautorskich na tematy ściśle związane z przedmiotem rozprawy, w szeroko rozpoznawalnych czasopismach i materiałach konferencyjnych, wszystkie w języku angielskim.

Merytoryczną wartość rozprawy oceniam bardzo wysoko.

Za szczególną wartość rozprawy uznaję te elementy analizy rozpatrywanych problemów, które eksploatują strukturę zadania celem ustalenia zależności, które zostały następnie bezpośrednio wykorzystane w konstrukcjach algorytmów dla redukcji przestrzeni rozwiązań (rozdział 2 i rozdział 3). Tego typu podejście ma, teoretycznie i praktycznie, znacznie większą wartość dla uzyskiwania wysokiej efektywności algorytmów niż klasyczna analiza złożoności prowadząca do klasyfikacji algorytmów w terminach algorytmów o złożoności wykładniczej i algorytmów o złożoności wielomianowej.

Rozprawa nie zawiera porównań opracowanych algorytmów z algorytmami innych autorów, gdyż brak jest doniesień w literaturze o takich algorytmach. Przywołana w przeglądzie literatury praca Bachler, Krumke & Le (2020), odnosi się co prawda do problemu szeregowania z przedziałowymi terminami gotowości, jednak tylko dla przypadku jednej maszyny; jest to zatem raczej bardziej wynik poznawczy niż wartość o charakterze praktycznym. W konsekwencji, wszystkie porównania algorytmów mają charakter wsobny, porównywane są pomiędzy sobą algorytmy opracowane w ramach rozprawy, a dokładniej warianty tych algorytmów. Stwierdzenie to w żadnym przypadku nie może być jako

rozumiane zarzut, a jedynie jako stwierdzenie obiektywnych ograniczeń wynikających z bycia liderem w uprawianej dziedzinie.

Ocena formalna rozprawy

Mimo, że przedmiot rozprawy, ze względu na złożoną notację która opornie poddaje się werbalizacji, jest wyjątkowo niewdzięczny do prezentowania, rozprawa ma czytelny i konsekwentny układ. Śledzenie meritum rozważań jest znacznie ułatwione dzięki dyscyplinie językowej fragmentów opisowych i bardzo starannej edycji. Zauważone przeze mnie usterki bądź też wskazane miejsca, gdzie można by ująć przesłanie alternatywnie, z korzyścią dla narracji, zawarłem w osobnej części recenzji. Ze względu na to, że w żadnym stopniu nie wpływają one na moją pozytywną ocenę rozprawy, umieściłem je niejako w formie dodatku, już po końcowych konkluzjach recenzji.

Konkluzje

Rozprawa przedstawia nowatorskie podejścia do ogólnie rozumianego problemu szeregowania zadań problemu i zawiera oryginalne rezultaty teoretyczne i algorytmiczne.

Na tej podstawie, z pełnym przekonaniem stwierdzam, że spełnia ona, z nadmiarem, wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

W związku z powyższym wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Mirosława Ławrynowicza do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Logiczną konsekwencją moich pochlebnych opinii o rozprawie wyrażonych powyżej jest przedłożenie Radzie Dyscypliny Naukowej Informatyka i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej wniosku o uznanie rozprawy za rozprawę wyróżniającą. Niniejszym taki wniosek przedkładam.

Gracjan Kalinowski

Uwagi szczegółowe do treści rozprawy

1. W rozprawie brakuje wprowadzenia notacji Grahama, nawet biorąc pod uwagę, że jest ona powszechnie używana.
2. Strona 16-17, ostatnie zdanie na stronie: „... to rozwiązanie gwarantuje określoną stratę jakości względem rozwiązania optymalnego”.

Sformułowanie wydaje się sugerować, że celem algorytmu aproksymacyjnego jest uzyskanie określonej wartości odstępstwa od wartości optymalnej. Co nie jest prawdą, a co najmniej jest sformułowaniem nieprecyzyjnym.

3. Strona 19, ostatni akapit podrozdziału 1.2: „Wydajność przeglądu zupełnego można poprawić stosując algorytm z nawrotami (ang. backtracking). ... Dla większych instancji takie algorytmy są niepraktyczne z powodu konieczności alokacji dużych zasobów obliczeniowych.”

Te sformułowania są prawdziwe, ale nie mogą być uznane za uzasadnienie konsekwentnego stosowania przez doktoranta w zaproponowanych algorytmach przeglądu zupełnego zamiast jakiejś formy metody podziału i ograniczeń.

4. Strona 24, pierwszy wiersz od góry: „...wystarczy wyznaczyć maksima i minima lokalne ...”
Dlaczego nie trzeba wyznaczać maksimów i minimów globalnych?

5. Strona 24, wzór (1.10).

Bez wskazania co to są odpowiednie wagi, wzór (1.10) przedstawia sumę ważoną scenariuszy. Czy taka jest intencja tego wzoru?

6. Wzór (1.11) wraz z wprowadzającym go zdaniem nie jest zrozumiały.

7. Wzór (1.13) nie ma charakteru „agregatora”, spełnia raczej rolę „selektora”.

8. Strona 29, pierwszy akapit od góry: nie znalazłem w rozprawie definicji oznaczenia $Rm|r_{i,j},d_i|C_{max}$.

9. Strona 29, ostatni akapit: pojęcie Gamma-odporności nie zostało w rozprawie wprowadzone.

10. Strona 34, pierwszy akapit: jak wyżej.

11. Strona 34, pierwszy akapit: wzór $1|r_j(y),pmtn|\Sigma w_j F(C_j)|Graph$ wymaga objaśnienia.

12. Strona 35, przedostatni wiersz na stronie: „zorientował” → „sformułował”?

13. Strona 36, drugi akapit: dla nierówności Bonferroni’ego co najmniej odwołanie do pozycji literatury powinno być podane.

14. Strona 37, drugi akapit: nazwisko autora wspomnianej dekompozycji brzmi „Benders”. Strona 38, podobnie.

15. Strona 43 jest powtórzona dwa razy.

16. Strona 108 i 109. Oznaczenia:

$Rm|r_j-\leq r_j\leq r_j+|Reg(C_{max})+ScheLoc$ i $Rm|r_{i,j}-\leq r_{i,j}\leq r_{i,j}+|Reg(C_{max})+ScheLoc$ są mylące bo sugerują dwa problemy w jednym, natomiast tu chodzi o warianty problemu ScheLoc (inne sposoby wyznaczania terminów gotowości).

W całym tekście pojawia się sformułowanie „decyzja/decyzje o uszeregowaniu”. Ponieważ w rozprawie przywołuje się również możliwość uczestniczenia decydenta w sformułowaniu problemu (współczynniki beta we wzorze (1.9)), jest to sformułowanie mylące. W pierwszym przypadku użycia tego terminu chodzi nie tyle o *decyzję*, ile o konkretne uszeregowanie czyli przypisanie kolejności.

Wykazanie trafności hipotezy 4 (strona 41), bardzo ciekawej z perspektywy kierunku dalszych badań, powinno być przeprowadzone w terminach bardziej ogólnych niż tylko jako wskazanie konkretnego przypadku. Jakie zjawisko ma tu miejsce? Czy ma tu zastosowanie pojęcie relaksacji zbioru rozwiązań dopuszczalnych, co z zasady, przy tym samym kryterium prowadzi do nie gorszej, być może lepszej wartości kryterium?

