

Wrocław 2019-03-08

prof. dr hab. inż. Czesław Smutnicki
Katedra Informatyki Technicznej
Wydział Elektroniki
Politechnika Wroclawska

**Recenzja rozprawy doktorskiej pt.
"Podzielne szeregowanie zadań
z pozycyjno-zależnymi czasami wykonywania
na dwóch równoległych identycznych maszynach"
mgra. Marcina Żurowskiego**

1 Ocena rozprawy doktorskiej

1.1 Przedmiot oceny

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska z nauk matematycznych w dyscyplinie informatyka mgra. Marcina Żurowskiego, "Podzielne szeregowanie zadań z pozycyjno-zależnymi czasami wykonywania na dwóch równoległych identycznych maszynach" napisana pod kierunkiem prof. UAM dra. hab. Stanisława Gawiejnowicza. Rozprawa ma łączną objętość 69 stron, w tym zawiera 36 pozycji bibliograficznych, 31 rysunków, 7 tabel, 5 spisów.

1.2 Tematyka rozprawy

Tematyka, zakres i przedmiot rozprawy mieści się w zakresie dyscypliny informatyka (słowa kluczowe to: matematyczna teoria szeregowania zadań, algorytmy, optymalizacja, złożoność obliczeniowa, programowanie).

Rozprawa rozpoczyna się od dość ogólnie nakreślonego problemu podzielnego szeregowania zadań z pozycyjno-zależnymi czasami wykonywania na identycznych maszynach równoległych. W dalszym ciągu rozprawy Autor rozważa powyższy problem dla szczególnego przypadku dwóch maszyn

z kryterium długości uszeregowania oraz jednym zadaniem przerywalnym, przy czym przerywalność stosowana jest do pierwszego zadania na drugiej maszynie, kontynuowanego po przerwaniu jako ostatnie na pierwszej maszynie. O ile problematyka "klasycznego" szeregowania podzielnego na równoległych maszynach została dość dobrze zbadana i opisana w literaturze, podobnie rozwijana jest niezależnie problematyka szeregowania niepodzielnego pozycyjno-zależnego, to zagadnienia łączące obie wymienione cechy, tzn. podzielne szeregowanie pozycyjno-zależne stanowią całkowicie nową nieznaną dotychczas, nieprzebadaną klasę problemów. Zatem Autor nie tylko wykreował nowy obszar badawczy w teorii szeregowania zadań, ale także zdefiniował nową klasę problemów szeregowania, a następnie przeprowadził badania wybranych problemów tej klasy od strony teoretycznej, algorytmicznej i numerycznej używając odpowiednich/właściwych narzędzi naukowych. Mając na względzie, że nowe problemy szeregowania pozwalają modelować i rozwiązywać nowe problemy praktyczne, zarówno wybór tematu badawczego, obszaru badań i metodologii dokonany przez Autora uważam za słuszne i uzasadnione.

1.3 Merytoryczna i formalna ocena rozprawy

Rozprawa zawiera 8 rozdziałów w tym 4 rozdziały (4..7) merytoryczne dotyczące bezpośrednio rozwiązywanego zagadnienia.

Rozdział pierwszy najpierw wprowadza czytelnika ogólnie w tematykę szeregowania, szeregowania podzielnego oraz pozycyjno-zależnego (ze zmiennymi czasami wykonywania zadań), a następnie precyzuje oraz uzasadnia cel i motywację prowadzonych przez Autora badań. Cel ogólny określono (str. 4) jako "zdefiniowanie modelu podzielności dla zadań pozycyjno-zależnych i zbadanie jego własności". Cele szczegółowe to "zbadanie podstawowych własności uszeregowania podzielnych dla proponowanego modelu podzielności oraz skonstruowanie dla niego algorytmów ... dla badanego problemu". Realizując tak postawiony cel należałoby się spodziewać pewnej dyskusji dotyczącej alternatywnych definicji podzielności w warunkach pozycyjno-zależnych i konsekwencji z nich wynikających, czego nie znalazłem w rozprawie. Konsekwencją takiej dyskusji mogłoby być wskazanie przyjętej ostatecznie definicji (Def. 4.1 na str. 15) jako najbardziej racjonalnej. Faktycznie, postawiony cel spełniono w zakresie minimalnym bowiem podano arbitralnie jedną definicję podzielności w warunkach pozycyjno-zależnych, a następnie badano pewien problem tej klasy. Za pozytywny element redakcyjny należy uznać zawartą

informację o układzie rozprawy i przyjętej konwencji oznaczeń (patrz rozdz. 1) oraz podstawowe formalne definicje dotyczące algorytmów, szeregowania i notacji zawarte w trzystronicowym rozdziale drugim.

Rozdział trzeci omawia główne występujące w literaturze modele podzielności: pełny, o ograniczonej podzielności, kosztowe model podzielności, inne. Rozdziały 2-3 stanowią użyteczne dla czytelnika kompendium wiedzy niezbędnej dla dalszej lektury rozprawy. Trzon rozprawy wraz z elementami oryginalnego wkładu własnego Autora stanowią rozdz. 4 – 7.

W rozdziale czwartym wprowadzono model podzielności zadań pozycyjno-zależnych. Podana definicja podzielności (Def. 4.1 na str. 15) jest wystarczająco ogólna, bowiem obejmuje przypadek dowolnej liczby maszyn i dowolnej liczby zadań podzielonych. Należy podkreślić, że problem ogólny jest jednak w chwili obecnej zbyt złożony do analizy i badania własności, zatem przyjęcie pewnego modelu szczegółowego jest całkowicie uzasadnione dla badań wstępnych tej nowej klasy problemów szeregowania. Otrzymane wyniki stanowią solidną podstawę do dalszych uogólnień.

W rozdziale piątym sformułowano formalnie problem PSLE (podzielne pozycyjno-zależne szeregowanie zdań na dwóch maszynach z jednym zadaniem przerywalnym), którym się zajmuje Autor w dalszym ciągu rozprawy. Autor wprowadził w pierw współczynnik podziału zadania, następnie pojęcie zadania dominującego, określił warunki istnienia rozwiązania optymalnego oraz własności rozwiązania optymalnego. Podał także metodykę konstrukcji harmonogramu optymalnego dla danej alokacji zadań oraz własności związane z modyfikacją uszeregowania. Rozdział ten zawiera najistotniejsze wyniki teoretyczne Autora w tym 11 nietrywialnych Własności z dowodami, ilustrowane 9-cioma przykładami. W mojej ocenie rozdział ten świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu matematycznym Autora do prowadzenia badań w obrębie teorii szeregowania.

W rozdziale szóstym zaprojektowano i przebadano numerycznie dwa algorytmy dokładne dla problemu PSLE, a mianowicie: (1) wyliczeniowy, (2) oparty na schemacie podziału i ograniczeń. Oba algorytmy mają wykładniczą złożoność obliczeniową, wobec nieznannej dotychczas złożoności obliczeniowej PSLE. Algorytm wyliczeniowy jest ekspresją metody "siłowej", charakteryzującej się eksplozją ilości obliczeń już dla relatywnie małych instancji. Oba algorytmy oraz sposób implementacji opisano starannie w kategoriach informatycznych. Opisano populację instancji testowych. Zamieszczono tabele z wynikami badań eksperymentalnych i je przedyskutowano. Otrzymane wyniki nie są zaskoczeniem dla projektantów i użytkowników tego typu algorytm-

mów.

W rozdziale siódmym zaprojektowano i przebadano numerycznie dwa różne algorytmy heurystyczne dla problemu PSLE. Oba algorytmy oraz sposób implementacji opisano starannie. Opisano populację instancji testowych. Zamieszczono tabele z wynikami badań eksperymentalnych i je przedyskutowano. Zgodnie z twierdzeniem “no free lunch”, na użytej populacji instancji, jeden z algorytmów uzyskał przewagę.

Reasumując, słabością rozprawy jest dość szczególny problem i jedna definicja przerywalności zadań pozycyjno-zależnych. Mocną stroną rozprawy jest pierwsze w literaturze (polskiej i zagranicznej) sformułowanie problemu szeregowania podzielnych zadań pozycyjno-zależnych, wykazanie (udowodnienie) szeregu teoretycznych własności oraz zaproponowanie algorytmów rozwiązywania. Autor wykazał się wieloma umiejętnościami, takimi jak np. konstrukcja dowodów matematycznych, projektowanie algorytmów, analiza złożoności obliczeniowej, programowanie, projektowanie eksperymentów. Wyniki częściowe były prezentowane przez Autora na 4 konferencjach międzynarodowych z badań operacyjnych oraz opublikowane w 3 anglojęzycznych materiałach po-konferencyjnych.

2 Uwagi i komentarze

Lektura rozprawy generuje następującą listę uwag i komentarzy:

- (a) str. 7: Zamiast operowania pojęciem “uszeregowanie”, lepiej byłoby używać pojęcia podstawowego “harmonogram” (czasowy) co dokładnie oznacza przydzielenie dla zadań dostępnych zasobów (maszyn) oraz terminów czasowych ich realizacji. Co więcej angielskie określenie “schedule” ma polski odpowiednik “harmonogram”, a nie “uszeregowanie”. Faktycznie, każde rozwiązanie problemu to “harmonogram”, ale można reprezentować rozwiązanie problemu w inny sposób (np. pewnym obiektem kombinatorycznym), pod warunkiem określenia transformacji (i jej cech) prowadzącej od tak przyjętej reprezentacji rozwiązania do harmonogramu. Przykładowo, rozwiązanie PSLE może być reprezentowane tworem kombinatorycznym: podział zbioru + sekwencja na maszynach. Oczywiście, nietrywialnym zagadnieniem jest transformacja (oraz jej cechy, takie jak redundantność, jednoznaczność, aproksymacja) z reprezentacji kombinatorycznej do harmonogramu oraz me-

toda wyznaczenia wartości/oszacowania funkcji celu wraz z jej oceną złożoności obliczeniowej.

- (b) Błędy w oznaczeniach, rozdz. 2.3, str. 8, definicja $L_{[q]}(K) = \sum_{j=1}^{|K|} J_{[j]}(K)(j+q-1)^\alpha$ powinno być $L_{[q]}(K) = \sum_{j=1}^{|K|} p_{[j]}(j+q-1)^\alpha$ bowiem J jest zadaniem nie czasem wykonywania.
- (c) Mieszane są pojęcia “chwila” i “czas”, Def. 4.1 str. 15, przykładowo: S_k oraz P jest “chwila”, T jest “czasem”, S'_k jest “czasem”, S''_k jest “chwila”, etc. Wszystkie wymienione byty są zdarzeniami, którym przypisano jednolity atrybut czasu.
- (d) str. 16, p. 6: niejasne określenie “... funkcją podobnej postaci ...”. Jak jest rozumiane “podobieństwo”.
- (e) Występują skróty żargonowe “uszeregowanie jest krótsze/dłuższe” (str. 17, 18) zamiast “uszeregowanie ma mniejszą/większą długość”
- (f) str. 17: “... równość całkowitych obciążeń obu maszyn ... nie gwarantuje, że uszeregowanie jest optymalne, ponieważ może istnieć krótsze uszeregowanie z równymi obciążeniami obu maszyn.” Czy prawdziwa jest własność, że “rozwiązanie optymalne leży w klasie harmonogramów zapewniających równe obciążenie maszyn” lub przykład, że “istnieje rozwiązanie optymalne nie spełniające tego warunku”? Zapowiedź tutaj tej własności może pomóc czytelnikowi w zrozumieniu idei “zadania dominującego” występującego dalej.
- (g) Def. 4.2, str. 17: pomijając, że x_k może teoretycznie przyjmować wartości graniczne 0 i 1, nie do końca jest jasne jak są liczone pozycje zadań przed/po zadaniu k w tych przypadkach granicznych, “zdroworozsądkowo” (pomijamy zadanie o zerowym czasie trwania) czy “technicznie” (liczymy je). Zobacz także implikacje własności 5.3.
- (h) Przykład 4.3, str. 18: nie określono pojęcia “typ uszeregowania”.
- (i) Uwaga 4.4, str. 18: wzór na p'_k zawiera nieznaną tutaj s , wzór na p''_k jest prawdziwy tylko dla $r = 1$, patrz silne założenie na str. 16 po Def. 4.1. Wskazany byłby komentarz do wzorów na p'_k i p''_k .
- (j) Przykład 4.3, str. 18: Brak określenia współczynnika α w danych przykładu. Ma on wpływ na harmonogramy przedstawione w rysunku 4.4.

- (k) Str. 19: zdefiniowano dwa pojęcia: “podstawowy czas wykonywania zadania” oraz “aktualny czas wykonywania zadania”:. Własności 5.1, 5.2 i dalej używają pojęcia “czas wykonywania zadania” bez wskazania, o który czas chodzi. Podobnie Def. 5.2 używa pojęcia “.. rzeczywisty czas przetwarzania ...” niedefiniowanego poprzednio. Proponuję ujednoczyć nazewnictwo.
- (l) Własność 5.1, str. 20: własność wydaje mi się oczywista i nie wymaga dowodu.
- (m) Dowód własności 5.1, str. 20: zadanie k jest przerywane w chwili t_k . Oznaczenie to jest w kontraście do chwil przerw w definicji 4.1.
- (n) Str. 33, rozdz. 5.3: Hipoteza, że z wykładniczej liczby rozwiązań sprawdzanych wynika NP-trudność jest ryzykowna. Znane są w teorii szeregowania problemy posiadające $n!$ rozwiązań i wielomianową złożoność obliczeniową algorytmu rozwiązywania.
- (o) Str. 36, rozdz. 6: Czy zastosowanie algorytmów dokładnych o wykładniczej złożoności obliczeniowej wobec nieznanego złożoności obliczeniowej problemu PSLE jest uzasadnione?
- (p) Sformułowanie Tw. 7.1 i 7.2 jest nieporozumieniem. Wymienione algorytmy nie “rozwiązują problem PSLE” lecz “wyznaczają pewne rozwiązanie przybliżone problemu PSLE”. Porównaj z Tw. 6.1, 6.2.
- (q) Błędy techniczne składu w bibliografii: Grabowski ... (brak wydawcy); Soper ... (brak stron, 2×); Żurowski ... (pomiąć słowo *strony*, 3×)

2.1 Ważniejsze osiągnięcia zawarte w rozprawie

Za ważniejsze osiągnięcia Autora zawarte w rozprawie uważam:

- (1) sformułowanie pewnej definicji podzielności dla pozycyjno-zależnego szeregowania zadań na identycznych maszynach równoległych (problem definicji jest nietrywialny),
- (2) sformułowanie pewnego problemu szeregowania podzielnego pozycyjno-zależnego na dwóch maszynach z kryterium długości uszeregowania,
- (3) zbadanie podstawowych własności problemu z p. 2,

- (4) opracowanie algorytmu wyliczeniowego oraz opartego na schemacie podziału i ograniczeń dla problemu z p. 2,
- (5) opracowanie dwóch algorytmów przybliżonych dla problemu z p. 2,
- (6) zaplanowanie i przeprowadzenie eksperymentów numerycznych algorytmów z p. 4 i 5.

Reasumując, pragnę również podkreślić następujące elementy rozprawy:

- (a) rozprawa definiuje i analizuje nową klasę problemów szeregowania,
- (b) rozprawa zawiera elementy teoretyczne (własności z dowodami), algorytmy, jak i elementy badawcze (eksperymenty komputerowe),
- (c) Autor posiada dużą wiedzę i dojrzałość w samodzielnym rozwiązywaniu trudnych zagadnień, dowodzeniu własności i twierdzeń, projektowaniu algorytmów i prowadzeniu badań eksperymentalnych.

3 Ocena końcowa

Uważam, że mimo pewnych mankamentów redakcyjnych rozprawa mgra. Marcina Żurawskiego spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim w aktualnej Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami. Przedstawione w pracy wyniki stanowią niewątpliwie oryginalne rozwiązanie istotnego nowego problemu naukowego. Rozprawa wykazuje także ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie podstawowej – informatyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wnioskuje o przyjęcie recenzowanej pracy doktorskiej i dopuszczenie mgra. Marcina Żurawskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym do publicznej obrony pracy.

Czesław Smutnicki

