

Poznań, 06.12.2021

Prof. dr hab. Stanisław Gawiejnowicz
Wydział Matematyki i Informatyki
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Uniwersytetu Poznańskiego 4, 61-614 Poznań
e-mail: stgawiej@amu.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Mikity Hradovicha
pt. „Recoverable robust discrete optimization problems
under interval uncertainty representation”

Recenzję sporządzono na mocy uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej nr 132/08/RDND03/2021-2024 z dnia 22.09.2021 oraz zawiadomienia nr 1/09/RDND03/2021 z dnia 30.09.2021 o powołaniu mnie na recenzenta ww. rozprawy. Drukowaną wersję rozprawy wraz z załącznikami (1x instrukcja, 2x ww. zawiadomienie, 1x upoważnienie do przetwarzania danych osobowych, 1x oświadczenie dotyczące danych osobowych) otrzymałem 06.10.2021.

1. Tematyka rozprawy

Do połowy lat 70-tych XX wieku powszechnie przyjmowano założenie, iż w badanych problemach kombinatorycznych parametry takie, jak np. koszty składowych rozwiązania, są pewne oraz znane z góry. Założenie to jednak ograniczało obszar stosowalności otrzymywanych wyników ze względu na niepewność danych często występującą w praktyce. Mimo, iż znane były pojedyncze teoretyczne narzędzia pozwalające rozwiązywać szczególne przypadki problemów z niepewnymi danymi (np. zbiory rozmyte – Zadeh, 1965; programy liniowe z niepewnymi współczynnikami – Soyster, 1973), dopiero około trzy dekady temu rozpoczęto na szerszą skalę badać problemy z różnie definiowaną niepewnością danych.

Początkowo popularne podejście oparte o ww. zbiory rozmyte, wraz z upływem czasu zostało zastąpione dwoma innym podejściami do modelowania niepewności.

W pierwszym z nich, probabilistycznym, niepewne parametry modeluje się wykorzystując rozkład prawdopodobieństwa. Podejścia tego nie można jednak stosować, gdy rozkład danych nie jest znany, stąd też nie jest ono zbyt często stosowane. W drugim, bardziej popularnym podejściu scenariuszowym stosuje się dyskretną reprezentację niepewności (ang. discrete uncertainty representation), wykorzystującą skończony zbiór scenariuszy (ang. scenario set), zawierający wszystkie możliwe wartości niepewnych parametrów. Alternatywą do dyskretnej reprezentacji niepewności jest reprezentacja przedziałowa (ang. interval uncertainty representation), w której niepewne parametry reprezentuje się jako przedziały – wówczas zbiór scenariuszy jest produktem kartezjańskim przedziałów odpowiadających wszystkim parametrom.

WPLYNEŁO
06-12-2021

1/6

RDN-IT/211/2021

Reprezentacja przedziałowa może być modelowana za pomocą budżetu (ang. budget), ograniczającego od góry liczbę niepewnych danych (np. kosztów) we wszystkich scenariuszach, który można wyrazić za pomocą zmiennych dyskretnych bądź ciągłych, może on być także zadany wielościanem, opisanym zbiorem dodatkowych ograniczeń liniowych.

Rozprawa doktorska mgr inż. Mikity Hradovicha, napisana pod kierunkiem prof. dra hab. Pawła Zielińskiego, poświęcona jest wybranym problemom optymalizacji kombinatorycznej (problem przydziału, plecakowy, minimalnego drzewa rozpinającego, najkrótszej ścieżki oraz minimalnej bazy matroidu) w warunkach niepewności przedziałowej z różnymi rodzajami budżetu. Autor, stosując metody kombinatoryczne oraz programowanie matematyczne, zaproponował dla tych problemów algorytmy dokładne oraz przybliżone, podał także oszacowania dolne bądź górne optymalnych rozwiązań pewnych ich wariantów.

Warto w tym miejscu zauważyć, iż problemy z różnie modelowaną niepewnością danych są trudniejsze niż ich odpowiedniki z danymi stałymi, są jednakże bardziej atrakcyjne badawczo, gdyż wiele problemów tego typu jest nadal otwartych, co powoduje iż ukazuje się sporo prac z tej tematyki. Ponadto, problemy optymalizacji z niepewnymi danymi oferują o wiele większy obszar stosowalności otrzymywanych wyników niż problemy z ustalonymi danymi. Z tych powodów uważam, że tematyka rozprawy została wybrana trafnie, jest aktualna naukowo i ważna ze względu na zastosowania.

2. Zawartość rozprawy

Recenzowana rozprawa liczy 102 strony i jest napisana w języku angielskim. Składa się ze wstępu, 4 rozdziałów oraz dodatku A. Zawartość poszczególnych jednostek jest następująca.

We wstępie (4 strony) krótko opisano problematykę modelowania niepewności danych oraz zawartość poszczególnych rozdziałów rozprawy.

W rozdziale 1. (13 stron) podano szereg definicji i twierdzeń wykorzystywanych w rozprawie. Opisano wymienione w punkcie 1. recenzji formy reprezentacji niepewnych danych oraz znane w literaturze podejścia do rozwiązywania problemów w warunkach niepewności, poczynając od podejścia odpornego (ang. robust approach), przez optymalizację wieloetapową (ang. multi-stage optimization), a kończąc na przywracalnym podejściu odpornym (ang. recoverable robust approach). Rozdział zakończono uwagami na temat złożoności obliczeniowej problemów wyboru minimalnego podzbioru, najkrótszej ścieżki i minimalnego drzewa rozpinającego oraz kilkoma definicjami pojęć związanych z optymalizacją, takich jak np. kombinacja liniowa, otoczka wypukła, matroid czy schemat aproksymacyjny typu FPTAS.

Kolejne dwa rozdziały stanowią główną część rozprawy i zawierają oryginalne wyniki.

W rozdziale 2. (29 stron), opartym na pracach [33] i [34], rozważa się trzy problemy z przedziałową reprezentacją niepewności: dwa warianty problemu minimalnego drzewa rozpinającego, przywracalny i odporny przywracalny, oraz przywracalny wariant problemu wyznaczania minimalnej bazy matroidu. Udowodniono, że odporny przywracalny wariant problemu minimalnego drzewa rozpinającego z niepewnością przedziałową można rozwiązać w wielomianowym czasie za pomocą algorytmu 2.1 wykorzystującego programowanie liniowe (twierdzenie 2.1, s. 24). Dla przywracalnego wariantu problemu minimalnego drzewa rozpinającego podano silnie wielomianowy kombinatoryczny algorytm (twierdzenie 2.4, s. 37).

Następnie, wykorzystując ten algorytm, pokazano, iż przywracalny odporny wariant problemu minimalnego drzewa rozpinającego z przedziałową niepewnością można rozwiązać w wielomianowym czasie (twierdzenie 2.5, s. 37), natomiast dwie inne wersje tego problemu, z budżetem dyskretnym i ciągłym, można aproksymować ze stałymi współczynnikami najgorszego przypadku (twierdzenie 2.6, s. 39). Ponadto pokazano, że przywracalny odporny wariant problemu wyznaczania minimalnej bazy matroidu jest rozwiązywalny w wielomianowym czasie (twierdzenie 2.7, s. 43). Rozdział zakończono konkluzjami oraz uwagami na temat otwartych problemów (s. 43).

W rozdziale 3. (25 stron), opartym na pracy [36], opisano pewne ogólne podejście do znajdowania odpornych rozwiązań problemów programowania zero-jedynkowego z niepewnością przedziałową oraz budżetem zadaniem wielościanem. Ponadto, podano mieszane całkowito-liczbowe sformułowania (3.2a) oraz (3.2b) dwu nowych wariantów tych problemów, przyrostowego (ang. incremental) oraz przywracalnego, w których szuka się rozwiązań nie w całym zbiorze rozwiązań dopuszczalnych, tylko w pewnym otoczeniu danego rozwiązania. Sformułowano algorytm przybliżony dla problemu znajdowania najlepszego rozwiązania w tym otoczeniu (algorytm 3.1, s. 48). Podano także kilka oszacowań, dolnych oraz górnych, dla problemów z niepewnością przedziałową i budżetem zadaniem wielościanem (algorytm 3.2, s. 49; sformułowania (3.13), (3.16) i (3.17), podrozdział 3.4). Przedstawiono także wyniki eksperymentów obliczeniowych, w których badano jakość ww. oszacowań i rozwiązań przybliżonych konstruowanych za pomocą algorytmu 3.1 dla problemu przydziału i problemu plecakowego z przedziałową niepewnością oraz ciągłym budżetem. Eksperymenty te przeprowadzono wykorzystując aplikację RobRecSolver.jl napisaną przez Autora rozprawy, dostępną w internetowym serwisie programistycznym Github [57]. Podobnie jak rozdział 2., rozdział 3. zakończono konkluzjami oraz uwagami na temat otwartych problemów (s. 69).

Rozdział 4. (2 strony) zawiera podsumowanie wyników rozprawy oraz konkluzje.

Bibliografia liczy 73 pozycje, tematycznie związane z rozprawą, w tym 5 pozycji autorstwa bądź współautorstwa Autora rozprawy – współautorskie artykuły [33, 34, 35, 36] oraz samodzielnie opracowane repozytorium [57].

Dodatek A (10 stron) zawiera krótki opis języka Julia w którym napisano ww. aplikację, jak również szczegóły techniczne związane z instalacją oraz uruchomieniem tej aplikacji.

3. Najważniejsze wyniki rozprawy

Oryginalne wyniki rozprawy zawarto w rozdziałach 2. oraz 3. Za najważniejsze spośród nich uważam:

- wielomianowy algorytm 2.1 rozwiązywania przywracalnego odpornego wariantu problemu minimalnego drzewa rozpinającego z niepewnością przedziałową oraz dyskretnym budżetem, wraz z dowodem jego optymalności (lematy 2.2-2.3 oraz twierdzenie 2.1);
- silnie wielomianowy kombinatoryczny algorytm rozwiązywania przywracalnego wariantu problemu minimalnego drzewa rozpinającego z niepewnością przedziałową oraz dyskretnym budżetem, wraz z dowodem jego optymalności (lematy 2.6-2.8, twierdzenia 2.2-2.4);
- wielomianowy algorytm przybliżony rozwiązywania przywracalnego odpornego wariantu minimalnego drzewa rozpinającego z niepewnością przedziałową oraz

budżetem dyskretnym bądź ciągłym, wraz z dowodem najgorszego przypadku (lemat 2.11, twierdzenie 2.6);

- wielomianowy algorytm rozwiązywania przywracalnego odpornego wariantu problemu znajdowania minimalnej bazy matroidu z niepewnością przedziałową, wraz z dowodem optymalności (lematy 2.12-2.15, twierdzenie 2.7);
- propozycję ogólnej metody rozwiązywania przywracalnych odpornych wariantów problemów kombinatorycznych z budżetem zadany wielościanem, wykorzystującą mieszane programowanie całkowitoliczbowe oraz dolne oszacowania optymalnych rozwiązań badanych problemów (rozdz. 3.).

Pozostałe wyniki rozprawy, np.

- wielomianowy algorytm rozwiązywania przywracalnego odpornego wariantu minimalnego drzewa rozpinającego z niepewnością przedziałową, wraz z dowodem jego optymalności (twierdzenie 2.5);
- algorytm 3.2 znajdowania z zadaną dokładnością przybliżonego rozwiązania problemu dualnego (ang. adversarial problem) do danego przywracalnego odpornego wariantu problemu kombinatorycznego z budżetem zadany wielościanem (podrozdział 3.3);
- górne oszacowania oraz przybliżone rozwiązania danego przywracalnego odpornego wariantu problemu kombinatorycznego z budżetem zadany wielościanem (podrozdział 3.4) oraz
- wyniki eksperymentów obliczeniowych dotyczących jakości oszacowań oraz rozwiązań przybliżonych konstruowanych za pomocą algorytmu 3.1 dla problemu przydziału i problemu plecakowego z przedziałową niepewnością oraz ciągłym budżetem (podrozdział 3.4)

mają, moim zdaniem, mniejsze znaczenie.

Wyniki przedstawione w rozprawie zostały opublikowane w czasopismach o średnim IF ([33], Journal of Combinatorial Optimization, IF=1.195, 70pkt wg listy ministerialnej; [34], Optimization Letters, 1.769, 70pkt) oraz wysokim IF ([36], European Journal of Operational Research, IF 5.334, 140pkt). Dane te świadczą, moim zdaniem, o dużej wartości tych wyników.

4. Uwagi ogólne do rozprawy

Mgr inż. Hradovich rozwiązał problemy analizowane w rozprawie stosując właściwe narzędzia teoretyczne, takie jak programowanie matematyczne oraz analiza złożoności algorytmów. Wykazał się także umiejętnościami konstrukcji wielomianowych algorytmów dokładnych oraz algorytmów przybliżonych o stałym współczynniku najgorszego przypadku. Ponadto, przedstawiając we wstępie rozprawy aktualny stan badań nad głównymi problemami optymalizacji kombinatorycznej ze stałymi bądź niepewnymi danymi, wykazał się dobrą znajomością literatury. Moim zdaniem oznacza to, iż mgr inż. Hradovich dobrze opanował metody badawcze w zakresie tematyki rozprawy.

W trakcie czytania recenzowanej rozprawy nasunęły mi się następujące uwagi ogólne.

1. Rozprawa jest napisana w bardzo czytelnym języku angielskim, jedynie w paru miejscach napotkałem drobne błędy – ich listę podano w następnym punkcie recenzji.

2. We wstępie do rozprawy nie sformułowano w sposób jawny jej celu. Co prawda, wynika on pośrednio z komentarzy czynionych w tekście, ale podanie go explicite byłoby wskazane.
3. Rozprawa jest napisana w bardzo techniczny sposób, z wykorzystaniem dużej liczby symboli, co wymaga niekiedy znalezienia miejsca, gdzie dany symbol zdefiniowano po raz pierwszy. Stąd też, moim zdaniem, należało umieścić w rozprawie spis (bądź indeks) stosowanych symboli.
4. W rozprawie stosunkowo mało miejsca poświęcono przykładom ilustrującym prezentowane wyniki bądź ich zastosowania. Kilka przykładów występuje w dowodach, pochodzą one jednak z ww. prac Autora rozprawy. Powyższy mankament można było częściowo usunąć, poświęcając nieco więcej miejsca wynikom z pracy [35], która dotyczy praktycznej dziedziny (szeregowanie zadań) – niestety, jest ona cytowana tylko raz we wstępie (s. xiii).
5. Rozdział 4. w znacznej mierze powtarza konkluzje podane we wcześniejszych rozdziałach i w obecnej postaci jest nieco sztuczny. Spełniłby on swoją rolę lepiej, gdyby zawierał jakieś tabelaryczne zestawienie otrzymanych wyników, podobne do tabeli 1.1 (s. 11), bądź w formie graficznej przedstawiał zależności pomiędzy różnymi wariantami omawianych problemów.
6. O ile tekst rozprawy został napisany starannie, z dużą dbałością o szczegóły, o tyle pewne zastrzeżenia można mieć do interpunkcji, która została ograniczona do bardzo podstawowych form.

5. Uwagi szczegółowe do rozprawy

- Problemy minimalnego cięcia oraz wędrującego komiwojżera (ss. 2-3) nie są wykorzystywane w rozprawie, więc ich sformułowania można było pominąć.
- W kilku miejscach rozprawy język angielski mógłby być nieco lepszy: s. xi: zamiast ‘problems are a class’ lepiej napisać ‘problems compose the class’, zamiast ‘values can not’ winno być ‘values cannot’; ss. xi, 11, 12: zamiast ‘a set of all’ lepiej napisać ‘the set of all’; s. xii: zamiast ‘Researches’ winno być ‘Researchers’, fraza ‘namely it increases ... NP-hard’ jest niezrozumiała i należy ją przeformułować; s. 11: lepsza nazwa sekcji 1.4 to ‘Other definitions’; s. 15: zamiast ‘a main part’ lepiej napisać ‘the main part’, zamiast ‘we investigate in it the ...’ prościej (i lepiej) napisać ‘we investigate the ...’; s. 16: zamiast ‘such such’ winno być ‘such’; s. 17: zamiast ‘The one can observe that we can fix’ prościej (i lepiej) napisać ‘One can observe that if we fix’; s. 20 i dalej: fraza ‘which establishes the lemma’ jest redundantna, ponieważ symbol ‘□’ oznacza to samo; s. 21: zdanie ‘This proves the claim’ – uwaga jak do s. 20; ss. 43, 69: lepsza nazwa sekcji 2.6 oraz 3.6 to ‘Conclusions and open problems’; ss. 61, 65: zamiast ‘for each parameters setting’ lepiej napisać ‘for each parameter setting’.
- Podane na s. 21 stwierdzenie (Claim) 2.1 ma dowód, ale nie jest ono poprzedzone słowem ‘Proof’. Ponadto, zarówno to stwierdzenie, jak i następne (Claim 2.2) znajdują się wewnątrz dowodu lematu 2.3, co jest trochę mylące dla czytelnika. Stąd też, moim zdaniem, należało tak przeformułować ww. dowody, aby oba stwierdzenia (i ich dowody) występowały przed ww. lematem i jego dowodem, co zwiększyłoby czytelność tego fragmentu rozprawy.

- W rozprawie zaprezentowano pseudokody 4 algorytmów (ss. 24, 42, 48, 49). Pseudokody te są czytelne, jednak brak w nich opisu wejścia oraz wyjścia. Ponadto, w nagłówkach tych pseudokodów powtarza się słowo 'Algorithm'.
- W tekście rozprawy podano kilka przykładów (ss. 29, 32, 36, 48), nie są one jednak w żaden sposób wyróżnione w tekście. Rozprawa byłaby łatwiejsza w czytaniu, gdyby przykłady były oddzielnie numerowanymi jednostkami.
- W opisie przeprowadzonych eksperymentów (podrozdział 3.5) nie podano łącznej liczby przetestowanych instancji, co pozwoliłoby określić skalę tych eksperymentów.
- Bibliografia rozprawy zawiera prawie wszystkie istotne pozycje, wszystkie są cytowane w tekście. Z tych pominiętych wymieniłbym monografię M. Fiedler et al., Linear optimization problems with inexact data, Springer, 2006.

6. Konkluzje

Wymienione wyżej uwagi o charakterze krytycznym nie wpływają istotnie na ostateczną ocenę wartości recenzowanej rozprawy. Przedstawione w niej wyniki są nowe, zostały uzyskane za pomocą odpowiednich narzędzi teoretycznych, w istotny sposób wzbogacają literaturę przedmiotu oraz opublikowano je w trzech pracach, które ukazały się w średnio i wysoko punktowanych czasopismach z IF.

Stąd też, moim zdaniem, recenzowana rozprawa z nadmiarem spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim. W związku z tym, wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Mikity Hradovicha do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

