

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Стояна Юрія Євгеновича «Математичне моделювання та методи розв'язання оптимізаційних задач упаковки довільних багатогранників», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дослідження. Задачі упаковки належать до класу NP-складних та мають широкий спектр практичних застосувань, наприклад в адитивних технологіях, космічному машинобудуванні, матеріалознавстві, логістиці та ортопедичній хірургії.

На цей час задачі оптимальної упаковки довільних багатогранників залишаються недостатньо дослідженими. Для їх розв'язання здебільшого використовуються евристичні методи.

Створення ефективних методів розв'язання наукових і практичних оптимізаційних 3D задач упаковки заданого набору, в загальному випадку, неопуклих багатогранників, що допускають неперервні обертання і трансляції, з урахуванням мінімально допустимих відстаней, в контейнер мінімального об'єму, вимагає побудови нових математичних моделей.

Дисертаційна робота присвячена математичному і комп'ютерному моделюванню процесу оптимізації упаковки довільних багатогранників, що дозволяють неперервні трансляції і повороти, з урахуванням обмежень на мінімально допустимі відстані та обмежень балансу.

Отже, зважаючи на все вищезгадане, можна зробити висновок, що тема дисертаційної роботи є актуальною.

Обґрунтованість та достовірність нових положень, висновків і рекомендацій дисертації підтверджено формально-аргументованим викладенням матеріалу, доведенням відповідних тверджень, застосуванням конструктивних аprobованих засобів математичного моделювання, надійністю використаних методів нелінійної оптимізації. Наведені в роботі чисельні експерименти, що демонструють рекорди за значенням цільової функції, часом виконання, порівняно з кращими опублікованими результатами, також підтверджує достовірність отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні наукові результати дисертації вказані в авторефераті та є наступними:

а) набув подальшого розвитку метод phi-функцій: вперше побудовані phi-функції, псевдонормалізовані phi-функції, квазі phi-функції та псевдонормалізовані квазі phi-функції як засоби математичного моделювання обмежень розміщення для задачі OPP (Optimal Polytope Packing), що дозволяє описати в аналітичному вигляді: неперетин довільних багатогранників; включення багатогранників в опуклий контейнер; мінімально допустимі відстані між довільними багатогранниками та між багатогранниками та границею контейнера;

б) вперше побудована математична модель задачі оптимальної упаковки багатогранників (OPP) у вигляді задачі нелінійного програмування (що включає всі глобально оптимальні розв'язки) для неопуклих багатогранників в опуклому контейнері, границя якого формується за

ХУРЕ
Вхідний № 01/27-420
“20 ” 03 2019 р.

допомогою сферичних, циліндричних, еліптичних поверхонь та площини з урахуванням обмежень розміщення та обмежень балансу, що дозволяє використовувати сучасні NLP-солвери;

в) вперше побудована математична модель задачі кластерингу неопуклих багатогранників (OPC) в сферичній, кубоїдній та циліндричній областях мінімального об'єму, що дозволяє генерувати ефективні допустимі стартові точки для пошуку локальних екстремумів задачі OPP;

г) набули подальшого розвитку методи розв'язання задач геометричного проектування: запропонована стратегія розв'язання задачі OPP та розроблені ефективні методи для основних її реалізацій, які на відміну від існуючих підходів: враховують одночасно неперервні трансляції та обертання об'єктів, мінімально допустимі відстані і обмеження балансу; дозволяють отримувати локально оптимальні розв'язки для задач OPP, що є кращими за значенням цільової функції (порівняно з benchmark instances – відомими опублікованими результатами)

Практичні результати дисертації полягають у подальшому розвитку математичного моделювання і обчислювальних методів в геометричному проектуванні: створено нові математичні моделі та розроблено ефективні методи для розв'язання оптимізаційних задачах оптимальної упаковки довільних багатогранників, що мають широкий спектр застосувань в пріоритетних областях науки і техніки (включаючи адитивні технології, матеріалознавство, логістику, мінералогію, медицину, нанотехнології, робототехніку, системи розпізнавання образів, системи керування, системи керування космічними апаратами, енергетику, машинобудування, авіабудування, будівництво).

Розроблений програмний модуль оптимізації упаковки довільних неорієнтованих багатогранників застосовується на кафедрі «Прикладне матеріалознавство та обробка матеріалів» Національного університету «Львівська політехніка» для розв'язання задачі оптимального заповнення заданого об'єму частинками несферичної форми.

Отримано листа підтримки від Дж. Фазано – провідного вченого та спеціаліста в області математичного моделювання та оптимізації систем (systems modeling and optimization) європейської компанії «Thales Alenia Space» (<https://www.thalesgroup.com/en>), в якому зазначено важливість отриманих в роботі результатів для розв'язання оптимізаційних задач компонування в області ракетно-космічного машинобудування.

Запропоновані в роботі засоби, моделі, методи та програмні модулі використовуються в IT компанії «Cloud Works» для розв'язання задач оптимізації процесу 3D-друку, що використовує SLS технологію та розв'язання задач оптимального пакування вантажів у довільних контейнерах у сфері логістики.

Запропоновані засоби математичного моделювання задач OPP впроваджені в навчальний процес у Харківському національному університеті радіоелектроніки в курсі: «Моделювання геометричних об'єктів», «Математичне та комп'ютерне моделювання в системах підтримки прийняття рішень».

Повнота викладення наукових положень. За темою дисертації опубліковано 20 наукових праць, у тому числі 6 статей в наукових спеціалізованих виданнях, які входять до переліку ДАК МОН України (з них 2 входять в наукометричну базу SCOPUS) та 2 наукові статті у технічних виданнях України. Основні результати роботи доповідалися та одержали схвалення на міжнародних конференціях і наукових семінарах. Наукові результати дисертаційної роботи достатньо повно викладено в опублікованих працях.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури з 211 найменуваннями та чотирьох додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, вказано об'єкт, предмет і методи досліджень, визначено наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів, наведено відомості про публікації за темою дисертації і про апробацію результатів дослідження, а також зазначено особистий внесок здобувача у наукові праці, написані у співавторстві.

Перший розділ дисертації містить огляд робіт, присвячених практичним застосуванням упаковки 3D об'єктів в сучасних областях науки та техніки, зокрема в адитивних технологіях, матеріалознавстві, логістиці, космічному машинобудуванні та ортопедичній хірургії та огляд наукових праць за темою дисертації, у якому охоплюється застосування задач упаковки і методи їх розв'язання, та вибору напряму дослідження.

В другому розділі дисертації наводяться визначення phi-функції, нормалізованої та псевдонормалізованої phi-функції, квазі-phi-функції, нормалізованої та псевдонормалізованої квазі-phi-функції та їх основні властивості. Обґрунтуються необхідність побудови різних класів phi-функцій і квазі phi-функцій, необхідних для побудови математичних моделей задач оптимального розміщення довільних (опуклих і неопуклих) багатогранників з урахуванням обмежень на мінімально допустимі відстані та обмежень балансу. Визначаються типи контейнерів, описуються багатогранники, як об'єкти розміщення, визначаються обмеження розміщення та балансу. Формулюється постановка базової задачі оптимальної упаковки довільних багатогранників та постановка задачі оптимального кластерингу довільних багатогранників.

У третьому розділі розглядаються засоби математичного моделювання обмежень розміщення в задачі упаковки довільних багатогранників з використанням методу phi-функцій. Для аналітичного описання основних обмежень розміщення побудовані нормалізовані та псевдонормалізовані phi-функції і псевдонормалізовані квазі phi-функції для неопуклих багатогранників, а також для неопуклих багатогранників і доповнень до контейнерів, що мають форму кубоїда, кулі, прямого кругового циліндра, еліпсоїда, опуклого багатогранника і довільної опуклої області, обмеженою циліндричною, еліптичною, сферичною поверхнями або площинами. Будується математична модель задачі упаковки довільних багатогранників у вигляді задачі нелінійного програмування. Будується математична модель задачі оптимального кластерингу довільних багатогранників.

У четвертому розділі розглядається стратегія розв'язання задачі упаковки довільних багатогранників, яка ґрунтується на методі мультистарту. Розглядається метод побудови стартових точок для задачі оптимальної упаковки довільних багатогранників в різні опуклі контейнери. Наводиться опис

методу декомпозиції POLYDEC для пошуку локальних екстремумів, що дозволяє звести задачу з великою кількістю нерівностей та великої розмірності, до послідовності підзадач нелінійного програмування зі значно меншою кількістю нерівностей та значно меншої розмірності.

У п'ятому розділі наведено результати обчислювальних експериментів, виконаних за допомогою програмного забезпечення, побудованого із застосуванням розроблених у ході роботи засобів математичного моделювання, методів та алгоритмів. Зокрема, наведені результати розв'язання задач оптимальної упаковки довільних багатогранників (ОРР) та результати розв'язання задач оптимального кластерингу довільних багатогранників у мінімально охоплюючій області (ОРС).

У додатку А наведено список публікації здобувача. У додатку Б наведено довідку про використання програмного модуля оптимізації упаковки довільних неорієнтованих багатогранників, листа підтримки від Дж. Фазано (Giorgio Fasano) – провідного вченого та спеціаліста в галузі математичного моделювання та оптимізації систем європейської компанії «Thales Alenia Space», акт про впровадження запропонованих в роботі засобів, моделей, методів та програмних модулей в IT компанії «Cloud Works» та акт про впровадження в навчальний процес. У додатку В наведено точки локальних екстремумів для прикладів представлених в розділі 5. У додатку Г наведено опис інтерфейсу і можливостей дослідницької програми «Concave Demo» для реалізації кластерингу неопуклих багатогранників в мінімальній охоплюючій області, яка має форму кулі, циліндра або кубоїда), приклад побудови області допустимих розв'язків задачі оптимального кластерингу довільних багатогранників так код дослідницької програми, зазначеної вище.

Зауваження до дисертаційної роботи є такими:

1. У розділі 2 на мою думку корисним було у якості функції цілі розглянути також відхилення центру мас системи від заданої точки за умови, що контейнер є фіксованим.
2. У розділі 4 доцільно було б провести дослідження швидкості збіжності методу локальної оптимізації.
3. У розділі 5 не наведено жодного прикладу з використанням псевдонормалізованої ϕ -функції для неопуклого багатогранника та доповнення до контейнеру, що запропонована у розділі 3.
4. Не зовсім зрозуміло, чи призводить до втрати деяких локальних екстремумів кластеринг багатокутників, який використовується на етапі побудови початкових точок.
5. В дисертаційній роботі не наведено оцінки числа стартових точок для методу мультістарту.

Але зроблені зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновки. Результати дисертаційної роботи є новими, оригінальними, та викладені у публікаціях автора в наукових фахових виданнях. Дисертація є завершеною науковою роботою, у якій побудовані конструктивні засоби

математичного та комп'ютерного моделювання, ефективні методи пошуку допустимих та локально-оптимальних розв'язків для задач упаковки заданого набору довільних багатогранників у контейнер мінімального об'єму.

Зміст роботи та отримані в ній результати повністю відповідають паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Зміст автореферату дисертації повністю відповідає основним положенням самої дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота Стояна Ю.Є. «Математичне моделювання та методи розв'язання оптимізаційних задач упаковки довільних багатогранників» відповідає встановленим вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567 (зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015 та № 567 від 27.07.2016), що висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри фізико-математичних дисциплін
Національного університету цивільного
захисту України

 В.М. Комяк

Підпис засвідчує
Вчений секретар
Національного університету цивільного
захисту України
канд.психол.наук, с.н.с.

 А.Ю. Побідаш

