

УДК 004.925.8

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ СТРУКТУРНОГО РОЗТАШУВАННЯ 2D-ОБ'ЄКТІВ НА ПЛОЩИНІ

Усіков М.Ю., аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну

Волівач А.П., кандидат технічних наук, доцент

Київський національний університет технологій та дизайну

Ключові слова: 2D-об'єкти, розташування на площині, структурне оцінювання, задачі розкрою та пакування, нерегулярне розміщення, розкрій матеріалу, спрайт-атлас.

У сучасних задачах комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування та оптимізації просторових структур важливого значення набуває проблема ефективного розташування 2D-об'єктів на площині. Такі задачі виникають у різних прикладних сферах, зокрема, під час розкрою матеріалів, планування інтер'єрів, проектування електронних схем та графічного дизайну. Задачі розташування 2D-об'єктів належать до класу задач розкрою та пакування і характеризуються широким спектром практичних застосувань, серед яких автоматизований розкрій листових матеріалів, компонування деталей, пакування об'єктів в обмеженому просторі контейнера, а також формування текстурних ресурсів у комп'ютерній графіці [1–3].

Слід зазначити, що для задач нерегулярного розміщення, особливо у випадку об'єктів зі складною геометрією контурів, ключове значення мають геометричні процедури перевірки перетинів, допустимості дотику та коректності вміщення об'єктів у задану область [4].

У наукових публікаціях проблема розташування 2D-об'єктів на площині розглядається переважно з позицій побудови та оптимізації допустимих схем розміщення. Так, у роботі [1] систематизовано метаевристичні підходи до задач розміщення регулярних і нерегулярних об'єктів в обмеженій області, зокрема розглянуто генетичні алгоритми, методи імітації відпалу, табу-пошуку та штучні нейронні мережі як інструменти пошуку наближених розв'язків. Зазначені підходи дозволяють ефективно досліджувати простір можливих конфігурацій розміщення, однак їх продуктивність значною мірою залежить від способу кодування рішень та вибору функції оцінювання якості компонування. Водночас для задач з нерегулярними геометричними формами суттєво зростає обчислювальна складність перевірки допустимості розміщення, що зумовлює необхідність застосування спеціалізованих геометричних процедур та гібридних алгоритмів оптимізації.

У роботі [2] узагальнено сучасні точні, евристичні та метаевристичні підходи до задачі двовимірного пакування об'єктів у контейнер та її прикладних варіантів. Систематизовано як точні, так і наближені методи

розв'язання, що дозволяють отримувати ефективні рішення для задач пакування прямокутних об'єктів у контейнери обмежених розмірів.

Дослідження [3] присвячене задачі оптимального пакування прямокутників та демонструє метод абсолютного розміщення для пошуку мінімального прямокутного контейнера без взаємного перекриття об'єктів. Запропонований підхід ґрунтується на повному переборі допустимих конфігурацій із застосуванням ефективних процедур відсікання простору пошуку, що дозволяє забезпечити оптимальність отриманого розв'язку.

У роботі [4] увагу зосереджено на геометричному апараті задач нерегулярного розміщення та розглянуто растровий метод, метод прямої тригонометрії, багатокутник допустимих положень і ϕ -функції як базові засоби перевірки взаємного розташування контурів. Підкреслено, що саме геометричні методи є ключовими для коректного моделювання взаємодії об'єктів складної форми, оскільки вони дозволяють формалізувати умови неперетину та дотику на рівні обчислювальної геометрії.

Встановлено, що переважна більшість досліджень зосереджена на методах побудови схем розташування та геометричної перевірки їх допустимості, тоді як значно менша увага приділяється систематизації критеріїв комплексного оцінювання якості вже сформованих конфігурацій розташування. Зокрема, меншою мірою систематизовано підходи до інтегрального оцінювання структурних характеристик компонування, які враховують сукупність геометричних та оптимізаційних показників. Це, у свою чергу, зумовлює актуальність виокремлення та формалізації критеріїв структурного оцінювання розташування 2D-об'єктів на площині.

На практиці оцінювання розміщення часто зводиться до перевірки відсутності перетинів між об'єктами та визначення коефіцієнта використання площі. Проте цього недостатньо для повноцінного аналізу якості розкладки, оскільки варіанти з подібним рівнем заповнення можуть суттєво відрізнятися за компактністю, структурою вільного простору, можливістю подальшого доповнення та дотримання прикладних обмежень. Саме ці характеристики визначають поняття структурного розташування 2D-об'єктів на площині. У ході дослідження розроблено структурну схему класифікації критеріїв оцінювання (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема класифікації критеріїв оцінювання розташування 2D-об'єктів

Як видно з рисунка, класифікація передбачає поділ критеріїв на п'ять взаємопов'язаних груп: геометричну коректність, ефективність використання площі, компактність розташування, структуру вільного простору та дотримання прикладних обмежень. Узагальнена характеристика зазначених груп критеріїв, а також відповідні показники оцінювання та приклади їх застосування наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика критеріїв оцінювання структурного розташування 2D-об'єктів

Критерій	Характеристика критерію	Показники оцінювання	Застосування
Геометрична коректність	Визначає допустимість розташування об'єктів у межах контейнера	Відсутність взаємних перетинів об'єктів; розміщення в межах заданої області; дотримання мінімальних відступів; відповідність допустимим кутам повороту	Розкрій матеріалів: забезпечення неперетину деталей. Спрайт-атлас: дотримання службових відступів між спрайтами
Ефективність використання площі	Характеризує раціональність використання доступної області	Коефіцієнт заповнення; частка невикористаного простору; кількість використаних контейнерів	Розкрій матеріалів – мінімізація втрат; спрайт-атлас – щільність пакування
Компактність розташування	Відображає ступінь зосередженості об'єктів у межах обмежувальної області	Площа та периметр обмежувальної області; середня відстань між об'єктами; скупченість; рівень вирівнювання	Розкрій матеріалів – формування компактної схеми різання; спрайт-атлас – зручне компонування
Структура вільного простору	Описує конфігурацію порожніх зон після розміщення об'єктів	Кількість зв'язних компонент; розмір найбільшої порожнини; рівень фрагментації; форма залишкових областей	Розкрій матеріалів – придатність залишків до повторного використання. Спрайт-атлас – можливість подальшого доповнення
Дотримання прикладних обмежень	Враховує специфічні вимоги предметної області	Орієнтація об'єктів; послідовність різання; граничні розміри; правила групування спрайтів та обмеження розміру атласу	Розкрій матеріалів – дотримання технологічних вимог; спрайт-атлас – групування спрайтів та обмеження розміру атласу

Запропонована класифікація критеріїв оцінювання структурного розташування 2D-об'єктів охоплює геометричні, просторові та прикладні аспекти задачі. Вона дозволяє комплексно характеризувати якість розкладки з урахуванням допустимості розміщення, ефективності використання площі, компактності компоновання, структури вільного простору та специфічних обмежень предметної області.

Такий підхід доцільно розглядати як багатокритеріальну задачу, оскільки варіанти з подібним рівнем заповнення можуть суттєво відрізнятися за структурними характеристиками. Це особливо важливо для задач розкрою та пакування, де поряд із коефіцієнтом використання площі значну роль відіграють форма залишкових областей, щільність компоновання та технологічні обмеження.

Також слід відзначити, що багатокритеріальний характер задачі зумовлює необхідність застосування інтегральних підходів до оцінювання, які дозволяють враховувати взаємний вплив окремих критеріїв. Зокрема, підвищення компактності розміщення може впливати на структуру вільного простору, а дотримання технологічних обмежень – обмежувати рівень ефективності використання площі. Це, у свою чергу, обумовлює необхідність формування збалансованих стратегій оцінювання з урахуванням пріоритетності критеріїв залежно від задачі.

Таким чином, оцінювання структурного розташування 2D-об'єктів на площині доцільно розглядати як самостійну складову задач розкрою та пакування. Перехід від однокритеріальної оцінки за коефіцієнтом заповнення до багатокритеріального аналізу забезпечує більш точне врахування специфіки прикладної області та створює підґрунтя для подальшого удосконалення програмних засобів оцінювання і вибору оптимальних варіантів розкладки.

Список використаних джерел

1. Hopper E., Turton B. C. H. A Review of the Application of Meta-Heuristic Algorithms to 2D Strip Packing Problems. *Artificial Intelligence Review*. 2001. Vol. 16. P. 257-300. (<https://doi.org/10.1023/A:1012590107280>)
2. Lodi A., Martello S., Vigo D. Recent Advances on Two-Dimensional Bin Packing Problems. *Discrete Applied Mathematics*. 2002. Vol. 123, No. 1-3. P. 379-396. ([https://doi.org/10.1016/S0166-218X\(01\)00347-X](https://doi.org/10.1016/S0166-218X(01)00347-X))
3. Huang E., Korf R. E. Optimal Rectangle Packing: An Absolute Placement Approach. *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2013. Vol. 46. P. 47-87. (<https://doi.org/10.1613/jair.3735>)
4. Bennell J. A., Oliveira J. F. The Geometry of Nesting Problems: A Tutorial. *European Journal of Operational Research*. 2008. Vol. 184, No. 2. P. 397-415. (<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.11.038>)