Исследование эффективности решения при моделировании планов размещения и покрытия

Э.И. Дяминова
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
e-mail: xasel@mail.ru

А.С. Филиппова
Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы
Уфа, Россия
e-mail: annamuh@mail.ru

Аннотация[1]

Рассматривается задача размещения прямоугольных объектов внутри многосвязной области и аналогичная ей задача покрытия ортогонального полигона. Предлагаются подходы к тестированию недетерминированных алгоритмов, используемых для их решения. Рассмотрены вопросы формирования репрезентативной выборки тестовых примеров. Предложены новые критерии их классификации. Перечислены основные этапы методики проведения вычислительного эксперимента.

1. Введение

Проблема размещения различных объектов в областях ортогональной формы часто встречается на практике. Необходимо разместить как можно большее количество объектов в область при соблюдении ряда технологических ограничений. Другой близкий класс задач – моделирование плана покрытия сложной области геометрическими объектами. В [6, 7, 8] для решения этих задач было предложено использовать эвристические методы и недетерминированные алгоритмы. Для оценки качества работы алгоритмов и программ, определения области их эффективного применения требуется проведение вычислительного эксперимента и развернутого анализа эффективности.

2. Задачи размещения и покрытия и методика их решения

Задачи размещения и раскроя являются задачами переборного характера. Трудности, связанные с получением решения таких задач обусловлены NP-трудностью и большой размерностью. При практическом решении это привело к широкому использования приближенных, эвристических, метаэвристичеких (не гарантирующих нахождение оптимума) алгоритмов базирующихся как на эвристиках общего характера, так и на специфических приемах, учитывающих особенности конкретных задач, а также использующих эффекты взаимодействия эвристик и метаэвристик различных уровней и типов [1].

Определение эффективности эвристического алгоритма, предназначенного для решения определенного класса задач, актуально как с точки зрения пользователя, получающего возможность оценить затраты на получение необходимого решения, так и с точки зрения разработчика, получающего возможность целенаправленного конструирования алгоритма на основе оценивания эффективности различных эвристик и их комбинаций [2].

Оценка эффективности моделирования планов размещения и раскроя проводится с помощью аппарата математической статистики с различными вариантами выбора исходных данных для эксперимента [3, 4, 5]. В данной статье предлагается адаптировать известные методики тестирования для алгоритмов новой комбинаторной задачи размещения. Рассмотрим основные понятия и постановку комплексной задачи геометрического покрытия и раскроя.

Многосвязный ортогональный полигон (МОП) – структура, с которой довольно часто сталкиваются проектировщики из различных предметных областей. С ним связаны как минимум два типа задач:

- моделирование плана размещения как можно большего количества объектов в область при соблюдении ряда технологических ограничений: установка контейнеров на грузовых платформах, эффективное размещение товаров на складе, проектирование больших интегральных схем, раскрой промышленного материала и т.д.
- моделирование плана покрытия сложной области геометрическими объектами: экономное расходование стройматериалов, установка, например, минимального количества датчиков контроля различного назначения на территории предприятия и т.д.

---

[1]Труды второй международной конференции "Интеллектуальные технологии обработки информации и управления", 10 - 12 ноября, Уфа, Россия, 2014

Важным фактором снижения материалоемкости и рационального использования производственных площадей является совершенствование системы технологической подготовки геометрического покрытия и размещения, основанное, в том числе, и на использовании высокоэффективных алгоритмах расчета.

В общем виде математическая модель комплексной задачи геометрического покрытия МОП ортогональным ресурсом и раскроя может быть сформулирована следующим образом [6]. Дана прямоугольная область известной ширины и длины, а также множество прямоугольных препятствий заданных размеров с известными координатами в МОП. Кроме того, имеется неограниченное множество прямоугольных листов заданной длины и ширины, подлежащих раскрою на прямоугольные элементы. Требуется: найти план покрытия МОП, план раскроя ресурса, при минимизации протяженности стыков и количества затраченного ресурса. Таким образом, комплексная задача состоит из подзадач. Постановка подзадачи размещения прямоугольных объектов в МОП [7] отличается целевой функцией (максимизируется коэффициент размещения), наличием требования непересечения объектов друг с другом и с МОП и известными заранее длиной и шириной размещаемых элементов.

Для решения подзадач декомпозиции и размещения прямоугольников в многосвязном полигоне был использован метод матричной декомпозиции [7] и разработанные на его основе недетерменированные алгоритмы [6, 8]. Они базируются на метаэвристике и являются вероятностными, не гарантируя получение оптимального решения. Их использование в данном случае вполне оправдано, поскольку задача имеет неполиномиальную сложность.

3. Способы оценивания качества работы эвристических алгоритмов

Для получения полной информации о качестве алгоритмов и работы программ, определения области их эффективного применения требуется проведение вычислительного эксперимента и развернутого анализа эффективности. Способы оценивания показателей качества эвристических алгоритмов размещения и покрытия в целом аналогичны методам тестирования алгоритмов раскроя-упаковки [2] и основаны на тестировании интересующего алгоритма на некоторой конечной выборке задач данного класса с последующей интерпретацией полученных результатов. При этом тестовая выборка обычно формируется одним из следующих способов.

1. Задачи, возникающие в ходе протекания определенного реального процесса: так в [9, 10] алгоритмы тестировались на реальных примерах из судостроительной и торговой индустрии. Позитивными свойствами выборки этого типа являются ее репрезентативность относительно множества возникающих задач, а также практически отсутствующие затраты на ее получение; негативными же свойствами являются неопределенность в описании класса решаемых задач, а также зачастую недостаточный объем имеющейся выборки. В [3] с помощью аппарата математической статистики показано, что для создания репрезентативной выборки достаточно 100 примеров для каждого класса задач.

2. Задачи, специально отобранные экспертами. Как правило, это такие задачи из рассматриваемого класса, которые наиболее «труднорешаемы» для уже опробованных алгоритмов. Библиотеки этих примеров можно использовать при проверке эффективности реализации этапа размещения прямоугольных объектов внутри боксов, а также этапа раскроя ортогонального ресурса в задаче покрытия. Так в [11] для тестирования эвристик были использованы безотходные примеры [5]. Позитивными свойствами выборки указанного типа являются малые затраты на ее получение. А также возможность ее использования для совершенствования алгоритма в сторону повышения его эффективности именно на выделенных «труднорешаемых» задачах. Основными же негативными свойствами являются нерепрезентативность выборки по отношению к исследуемому классу задач, и неопределенность именно того класса задач, по отношению к которому данная выборка репрезентативна. Существенное ограничение на использование библиотек стандартных примеров может также накладывать специфика решаемой задачи. Например, при размещении и покрытии МОП наличие препятствий делает невозможной сопоставительную оценку методов «в целом» при тестировании на стандартных примерах, приходится ограничиваться поэтапным сравнением: так в [9] примеры E.Hopper [5] и A. Bortfeld [12] были использованы для тестирования эвристик на этапе заполнения выделенных боксов. Отсутствие или недостаточное количество готовых примеров, подходящих для тестирования алгоритмов решения новых задач, наталкивает авторов на разработку собственных библиотек.

3. Случайная генерация задач интересующего класса [4]. Такой подход был использован в [9, 10]. В [9] при создании примеров был взят за основу подход E.Hopper. Каждая выборка получена путем разделения исходного листа случайным образом сквозными вертикальными и горизонтальными линиями. Часть полученных прямоугольников согласно выбранному критерию назначалась препятствиями. Диапазоны размеров прямоугольников задавались в процентном соотношении к ширине области. В зависимости от этих диапазонов все прямоугольники были разделены на 3 класса: большие (30-60%), маленькие (10-30%) и различные (5-95%). В [10] все множество рассматриваемых задач было

разбито на классы по признакам: отношение суммарной площади препятствий к площади МОП; отношение ширины покрывающего материала к минимальному ребру контура МОП.

Перечисленные выше критерии позволяют выделить разнообразные классы задач в зависимости от того как размерные характеристики ортогонального материала соотносятся с размерными характеристиками МОП (препятствий). При этом упускается другая немаловажная сторона проблемы – форма самого МОП: как соотносятся между собой размеры препятствий и насколько плотно они расположены внутри области?

Возможным ответом на эти вопросы могло бы введение дополнительных критериев деления примеров на классы:

1) Разброс препятствий (дисперсия) – отношение среднего расстояния между центрами прямоугольных препятствий к диаметру области

$$B_{Disp} = \sqrt{\frac{2 \cdot \sum_{i=1}^{\mu-1} \sum_{j=i+1}^{\mu} d_{ij}^2}{\mu(\mu-1) \cdot d^2}}$$

где μ – количество прямоугольных препятствий в МОП; ω_i , λ_i - соответственно ширина и длина *i*-го препятствия; (χ_i, η_i) - координаты левого нижнего угла *i*-го препятствия в МОП; $\chi_i^o = \chi_i + \lambda_i/2$; $\eta_i^o = \eta_i + \omega_i/2$ - координаты центра *i*-го препятствия в МОП; $d_{ij}^2 = (\chi_j^o - \chi_i^o)^2 + (\eta_j^o - \eta_i^o)^2$ - квадрат евклидова расстояния между центрами *i*-го и *j*-го препятствий; *d* – диаметр МОП.

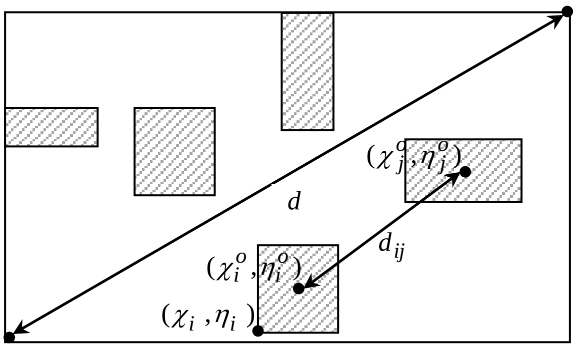

Рис. 1. Вычисление разброса препятствий

2) Соотношение размеров препятствий – отношение среднего размера препятствия к максимальному:

$$B_{Size} = \frac{\sum_{i=1}^{\mu} S_{B_i}}{\mu \cdot \max\limits_{i=1,\mu} S_{B_i}},$$

где в качестве S_{B_i} – размера *i*-го препятствия – могут выступать площадь, длина, ширина или какие-либо иные размерные характеристики фигуры.

Предложенные показатели имеют усредненный характер, что с одной стороны делает их безотносительными к масштабу, а значит удобными для сопоставления результатов, но с другой стороны эти показатели не учитывают возможную неоднородность МОП. Так вследствие усреднения величин к одному классу задач могут быть отнесены как области с локальными «сгустками» препятствий, так и МОП, где препятствия распределены по всей области равномерно.

Как видно, при получении выборки путем генерации примеров каждый исследователь использует собственные показатели качества алгоритма и процедуры их оценки, что порождает главный недостаток этого метода – отсутствие единого, общепринятого подхода к оценке качества эвристических алгоритмов и их тестированию. Это приводит к проблемам, связанным с сопоставимостью результатов, полученных разными авторами. Позитивным же свойством подхода является ненулевая вероятность попадания в выборку любой задачи класса.

Предлагаемая методика исследования эффективности недетерминированных алгоритмов решения многокритериальной задачи геометрического покрытия и раскроя состоит из следующих основных этапов проведения вычислительного эксперимента:

1. Определение параметров для выделения классов исходных данных при тестировании алгоритмов и методов решения;
2. Генерирование тестовых примеров на основе выделенных классов;
3. Проведение вычислительных расчетов на тестовых примерах и на примерах практических задач, сравнение эффективности;
4. Анализ полученных результатов, выявление области эффективного применения предложенных методов.
5. Формулирование рекомендаций для практического использования алгоритмов и их программных реализаций.

4. Заключение

Таким образом, рассмотренные подходы к тестированию эффективности алгоритмов решения классических задач раскроя и упаковки могут быть применены для алгоритмов и методов решения новых задач размещения и покрытия

Список используемых источников

1. Норенков И.П. Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации / И.П. Норенков // Информационные технологии. – 1999. № 1. – С. 2-7.

2. Канторович, Л. В. Рациональный раскрой промышленных материалов. 3-е издание. / Л. В. Канторович, В. А. Залгаллер. СПб: Невский Диалект, 2012. 304 с.
3. Мухачева, Э.А. Метод последовательного уточнения оценок: алгоритм и численный эксперимент для задачи одномерного раскроя / А.С. Мухачева, Г.Н. Белов // Информационные технологии. Машиностроение. – М., 2000. – №2. – С. 13-18.
4. Schwerin, P. The Bin-Packing Problem: a Problem Generator and Some Numerical Experiments with FFD Packing and MTP / P. Schwerin, G. Wascher // International Transactions in Operational Research. – 1997. – Vol. 4. – P.337-389.
5. Hopper, E. An empirical investigation of meta-heuristic and heuristic algorithms for a 2D packing problem / E. Hopper, B. Turton // EJOR 128. – 2001. – P. 34-57
6. Valiahmetova, J.I. Some approaches to solve a complex problem of geometrical covering and orthogonal cutting / J.I. Valiahmetova, E.I. Hasanova, A.S. Filippova // Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2013. – Т. 17, № 6 (59). – С. 88–91
7. Мухачева, Э.А. Проектирование размещения ортогональных объектов на полигонах с препятствиями / Э. А. Мухачева, Ю. И. Валиахметова, Э.И. Хасанова и др. // Информационные технологии. – 2010. – №10. – С. 16–22.
8. Телицкий, С. В. Гибридный алгоритм на основе последовательного уточнения оценок для задач максимального ортогонального покрытия / С. В. Телицкий, Ю. И. Валиахметова, Э. И. Хасанова // Вестник Башкирского университета. – 2012. – Т. 17. – №1 (I). – С. 421–425.
9. Хасанова, Э.И. Проектирование размещения геометрических объектов на многосвязном ортогональном полигоне: дис. … канд. техн. наук: 05.13.12 / Хасанова, Элина Ильдаровна. – Уфа, 2011. – 187 с.
10. Телицкий, С.В. Оптимизация многокритериального геометрического покрытия полигона на основе условных оценок с учетом технологических ограничений: дис. … канд. техн. наук: 05.13.01 / Телицкий, Станислав Владиславович. – Уфа, 2013. - 178 с.
11. Мухачева, А.С. Задача прямоугольной упаковки в полубесконечную полосу: численный эксперимент с безотходными задачами E.Hopper на базе алгоритмов блочной структуры / А.С. Мухачева, Э.А. Мухачева, А.В. Чиглинцев // Информационные технологии. – М.: Новые технологии, 2005. – №7. – С. 23-32.
12. Bortfeld, A. A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces / A. Bortfeld // Eur. J. Oper. Res. – 2006. – Vol. 172(3). – P. 814-837.