



М.А. Верхотуров¹, Г.Н. Верхотурова¹, М.В. Лукьянов²

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ МЕТАЭВРИСТИКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПЛОТНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ НЕВЫПУКЛЫХ МНОГОУГОЛЬНИКОВ НА ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ ПОЛОСЕ

¹ Уфимский государственный авиационный технический университет,
² АО «Уфимское приборостроительное производственное объединение»

Аннотация

В работе рассматривается задача нерегулярного плотного размещения невыпуклых многоугольников на полубесконечной полосе минимальной длины. Для её решения предложен алгоритм с применением годографа функции плотного размещения, основанный на анализе возможных точек занесения объекта в область упаковки и алгоритм оптимизации с использованием гибридной метаэвристики. Приведены примеры работы алгоритма, а также результаты вычислительного эксперимента, произведенного на общедоступных примерах.

Введение

Среди множества задач, возникающих на практике, важное место занимают задачи, связанные с нерегулярным размещением двумерных геометрических объектов (ГО), например, раскрой листов на плоские заготовки, компоновка двумерных объектов в заданной области размещения (ОР) и т.д.

Все они являются задачами оптимизационного геометрического моделирования. Дополнительную геометрическую сложность при их решении составляет проблема соблюдения условий взаимного непересечения размещаемых объектов между собой и с границами зоны размещения.

1 Постановка задачи

Пусть имеется набор двумерных объектов (ГО) $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$: $P_i \subset \mathbf{R}^2, i = \overline{1, n}$, каждый из которых задан в собственной системе координат.

Область размещения $Q \subset \mathbf{R}^2$ представляет собой прямоугольную полосу с фиксированными шириной W и переменной длиной L .

Пусть $P_i(\bar{u}_i)$ - многоугольный объект P_i с вектором координат опорной вершины $u_i \in \mathbf{R}^2$.

$X(P(U))$ – длина области размещения при размещении P с геометрическими параметрами размещения (координатами вершин относительно области размещения) U .

Требуется найти такое U , чтобы $X(P(U)) \rightarrow \min$ при следующих ограничениях:

- 1). Условия непересечения многоугольных объектов между собой:
$$\text{int } P_i(\bar{u}_i) \cap \text{int } P_j(\bar{u}_j) = \emptyset, \forall i = \overline{1, n}, \forall j = \overline{1, n}, i \neq j, \quad (1)$$



где $\text{int } P$ обозначает внутренние точки объекта P .

2). Условие непересечения многоугольных объектов и области размещения:

$$Q \cap P_i(\bar{u}_i) = \emptyset, \forall i = \overline{1, n} \quad (2)$$

Система условий (1)-(2) связывает параметры размещения $U = (\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_n)$ ГО множества P в области Q и является для них ограничениями.

2 Методы решения задачи

Из-за комбинаторной сложности описанная задача относится к классу NP-трудных задач [1].

Анализ существующих подходов показал, что использование принципа пообъектного размещения (ПОР), основанных на соблюдении условий взаимного непересечения (УВН), является перспективным. Поэтому в работе был выбран этот метод.

При использовании принципа ПОР объекты помещаются в зону размещения один за другим. После нахождения точки занесения очередного объекта его положение фиксируется и больше не меняется. Таким образом, при определении точки занесения ГО в область размещения, результат будет зависеть только от порядка занесения ГО в область и его угла поворота относительно области размещения. Это приводит к возможности разбиения процесса на две части:

- Геометрическая – внутренняя часть, отвечающая за моделирование УВН и нахождение параметров размещения ГО;
- Оптимизационная – внешняя (комбинаторная) часть, отвечающая за формирование и изменение последовательности размещаемых ГО и их ориентации относительно ОР.

Для построения УВН наибольшее распространение получили методы на базе построения годографа функции плотного размещения (ГФПР/NFP).

Под годографом G_{ij} подвижного объекта $P_j(u_j)$ относительно зафиксированного $P_i(u_i)$ понимается такое множество положений опорной вершины объекта P_j , при котором он плотно расположен относительно P_i .

3 Описание выбранных подходов

3.1 Моделирование УВН и нахождение точки размещения ГО

Для решения этого этапа был выбран годограф-ориентированный метод на основе операций Минковского [2].

Если рассматривать множество допустимых для размещения ГО точек, то оно представляет собой объединение областей, ограниченных различными ГФПР (в общем случае оно может быть несвязным).

В работе использован способ нахождения точки размещения ГО на основе ГФПР, предложенный Гомес и Оливейра [3].

В процессе нахождения точки размещения очередного ГО P_j из множества допустимых точек рассматриваются точки локальных экстремумов.

Точкой размещения является точка с минимальной X-координатой.



3.2 Алгоритм формирования и изменения последовательности размещаемых ГО и их ориентации относительно ОР

В данной работе рассматривается применение методологии, совмещающей генетический алгоритм [5], несущий коллективное начало и алгоритм пороговой допустимости [1], несущий индивидуальное начало – гибридный метаэвристический алгоритм (ГМА).

Использование этих алгоритмов обусловлено хорошими результатами, полученными при решении различных задач размещения ГО, и простотой идей этих методов, позволяющей сосредоточиться на его эффективной реализации.

На начальном этапе (применение генетического алгоритма), охватывается большая часть допустимой области, что, безусловно, влечет за собой положительный момент. Затем к каждому из "хороших" решений, полученных на предыдущем шаге, применяется алгоритм пороговой допустимости, являющийся модификацией алгоритма имитации отжига, и несущий индивидуальное начало.

Алгоритм состоит из двух этапов.

На первом этапе оптимизации применяется генетический алгоритм. Его основная особенность состоит в том, что анализируется не одно решение, а некоторое подмножество квазиоптимальных решений, называемых хромосомами и состоящих из генов. Это подмножество носит название «популяция».

Для рассматриваемой задачи хромосома описывает порядок размещения ГО – приоритетный список. Для хромосомы вычисляется целевая функция $F(X)$, называемая целевой, где X – длина области размещения. Каждый ген в хромосоме состоит из порядкового номера размещаемого ГО, координат вершин ГО и определяемых ими ребер в собственной системе координат и системе координат относительно ОР и угла поворота ГО относительно области размещения.

В рассматриваемой реализации начальная популяция формируется случайным образом и в неё включается хромосома, описывающая список ГО в порядке убывания площадей, с углом поворота таким, что гравитационная точка каждого из них имела минимальную координату по оси абсцисс. Такое положение ГО считается рациональным.

После формирования начальной популяции, осуществляется процесс синтеза новых решений (поколений) задачи. Новое поколение хромосом генерируется посредством двух основных операций: скрещивания с использованием двухточечного РМХ-кроссовера, в результате которого формируется хромосома-потомок и мутации хромосомы-потомка.

Мутация хромосомы-потомка происходит с заданной вероятностью и заключается в замене мест двух случайно выбранных ГО в приоритетном списке и повороте их на заданный угол.

Затем производится селекция хромосом. В текущей популяции, состоящей из родителей и потомков, производится отбор лучших решений, т. е. хромосом с наилучшим значением целевой функции, т.е. применяется принцип



элитизма. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет обработано заданное число поколений. Первый этап заканчивается формированием популяции с лучшими значениями целевой функции из всех рассмотренных. Второй этап оптимизации состоит в применении алгоритма пороговой допустимости к каждой хромосоме (приоритетному списку размещения) с целью улучшения полученных на первом этапе решений.

При реализации алгоритма пороговой допустимости для нахождения окрестного решения использован следующий подход: выбирается случайный объект из списка размещения, и с равной вероятностью выполняется одна из следующих модификаций

- меняется угол поворота этого ГО на заданное значение;
- ГО перемещается на новое случайно выбранное место в списке.

Переход к новому решению осуществляется, если функция цели больше на заданную величину порога $T > 0$.

4 Результаты вычислительного эксперимента

Эксперименты проводились в 64-разрядной операционной системе Windows, процессор Intel Core i7-2630QM 2.00GHz, 10Gb RAM.

В программе, написанной в среде Visual C#, распараллелены циклы по размеру популяции. Использована библиотека TPL (Task Parallel Library).

Пример 1. Использованы тестовые примеры с сайта ESICUP [6].

Пример	Кол-во разл. ГО	Общее к-во ГО	Ср. число вершин ГО	Ширина полосы	Повороты, град.
DIGHE1	16	16	3,87	100	0
DIGHE2	10	10	4,70	100	0
FU	12	12	3,58	38	0,90,180,270
ЯКОBS1	25	25	5,60	40	0,90,180,270

Представленный алгоритм сравнивался с гибридным алгоритмом SAHA (simulated annealing hybrid algorithm) [4] и алгоритмом ELS (extended local search) [7] по результатам 20 генераций. Результаты эксперимента представлены в следующей таблице.

Пример	ELS		SAHA		ГМА	
	Лучший %	Ср. вр, с.	Лучший %	Ср. вр., с.	Лучший %	Ср. вр., с.
DIGHE1	100	601	100	83	100	47
DIGHE2	100	600	100	22	100	20
FU	91,94	600	90,96	296	89,12	198
ЯКОBS1	89,10	603	75,89	332	81,67	106

Решение для наборов DIGHE1 и DIGHE2 алгоритмом ГМА и алгоритмами SAHA и ELS одинаково, однако время размещения алгоритмом ГМА меньше. Набор ЯКОBS1 размещается лучше и быстрее, чем алгоритмом



SAHA и быстрее, но хуже, чем алгоритмом ELS. Лучшая плотность размещения для набора FU - на основе алгоритма ELS.

Лучшие решения с использованием алгоритма ГМА представлены на рис.

1.

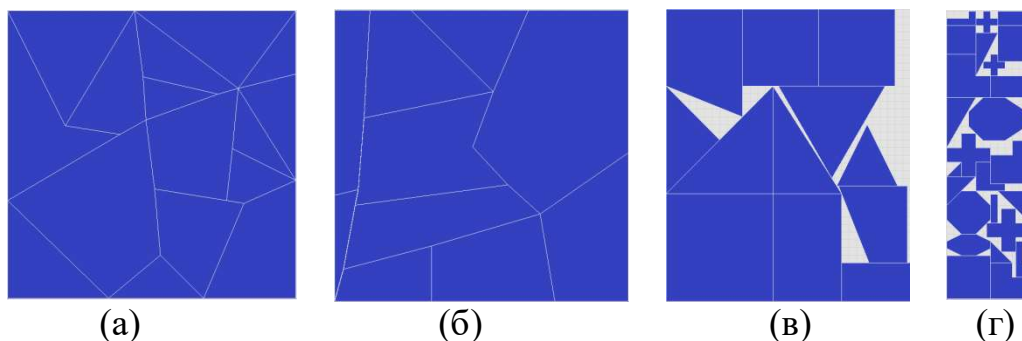


Рис. 1. Лучшие раскладки ГМА: (а) DIGHE1, (б) DIGHE2, (в) FU, (г) JACOBS1

Пример 2. Использован собственный тестовый набор из 35 ГО, ширина полосы - 25. Для сравнения эффективности представленного алгоритма был использован генетический алгоритм в чистом виде, т.е. исключен второй этап оптимизации предложенным алгоритмом. Однако параметры обоих алгоритмов были заданы таким образом, что при размещении использовано одинаковое количество рассматриваемых решений (вариантов размещения).

Плотности размещения алгоритмами ГА и ГМА получились 63,1% и 67,3% соответственно. Таким образом, применение алгоритма ГМА позволило добиться улучшения плотности размещения на 4,2%.

Результаты проведенных вычислительных экспериментов показали, что при реализации оптимизационной процедуры алгоритм ГМА работает лучше, чем ГА. Это можно объяснить тем, что решения алгоритма ГМА чаще попадают в окрестности локальных минимумов, позволяя более эффективно производить локальный поиск.

Заключение

В работе приведен разработанный алгоритм генерации двумерных карт размещения ГО на полубесконечной полосе заданной ширины, основанный на применении гибридной метаэвристики.

Литература

1. Верхотуров М. А. Задача нерегулярного раскроя фигурных заготовок: оптимизация размещения и пути режущего инструмента. // Вестник УГАТУ, 2007. Т. 9, №2 (20). С. 106–118.
2. Dean H. T., Tu Y, Raffensperger J. F. An improved method for calculating the no-fit polygon. Computers & Operations Research 2006; 33:1521–1539.
3. Gomes A. M., Oliveira J. F. A 2-exchange heuristic for nesting problems. European Journal of Operational Research 2002; 141(2): 359–370.



4. Gomes A. M., Oliveira J. F. Solving irregular strip packing problems by hybridizing simulated annealing and linear programming. *European Journal of Operational Research* 2006; 171:811–829.
5. Hopper, E. Two-dimensional packing utilising evolutionary algorithms and other meta-heuristic methods. Ph.D. Thesis 2000; Cardiff University.
6. <http://www.fe.up.pt/esicup>
7. Leung S. C., Lin Y., Zhang D. Extended local search algorithm based on nonlinear programming for two-dimensional irregular strip packing problem. *Computers & Operations Research* 2012; 39(3):678–686.

Р.Д. Галиев, М.В. Иванов

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

Одним из наиболее распространенных типов электрических машин в мире является асинхронный электродвигатель. Особого внимания заслуживает асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, который в силу нескольких причин занял прочные позиции в применении. За счет высокой надежности и неприхотливости в работе такие агрегаты получили широкое распространение в самых различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, они помогают решать бытовые и общепроизводственные задачи любой сложности. Поэтому в данной статье мы детально рассмотрим особенности асинхронных двигателей.

Конструктивно простейшая асинхронная машина представляет собой рамку, вращающуюся в переменном магнитном поле.

В пазы сердечника статора укладывается обмотки, предназначенная для пропуска электрического тока и формирования ЭДС. Число обмоток будет зависеть от количества пар полюсов на каждую фазу. [1]

По типу ротора асинхронные двигатели делятся на два вида:

1. С короткозамкнутым ротором. Он является сердечником, в который заливается раскаленный металл. После этого в нем появляются железные стержни, замыкающиеся маленькими торцевыми колечками. Подобная схема конструкции именуется “беличьей клеткой”. В устройствах с высокой мощностью алюминий заменяется на медь.