

УДК 658.512.22:004.514

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР МЕТОДА РАСЧЕТА ФИГУРНОГО РАСКРОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА АЛГОРИТМОВ

А.А. Петунин

Уральский государственный технический университет – УПИ, г. Екатеринбург

E-mail: sansan_2007@mail.ru

Рассматриваются задачи фигурного раскроя материала. Предложена классификация задач с целью исследования эффективности существующих алгоритмов раскроя для задач определенного класса. Проведено тестирование трех оптимизационных алгоритмов фигурного раскроя. На основании полученных результатов определена схема автоматического выбора оптимизационного алгоритма в зависимости от предложенной типологии задач.

Ключевые слова:

Фигурный раскрой, типология задач, алгоритм оптимизации, сравнительный анализ.

Key words:

Nesting problem, typology of tasks, optimizing algorithm, comparative analysis.

В различных отраслях промышленности на заготовительном этапе производства возникают задачи рационального раскроя материала. С точки зрения геометрической оптимизации они относятся к задачам раскроя-упаковки (Cutting & Packing, C&P) [1], для которых не известны алгоритмы решения полиномиальной сложности. Одной из наиболее трудных в проблеме C&P является задача фигурного раскроя или проблема «нестинга» (nesting). В общем случае, под «нестингом» понимается оптимальное размещение геометрических объектов сложной формы в заданных областях. Оптимизационную задачу можно сформулировать следующим образом.

Пусть $A_1, A_2, \dots, A_n$ – двумерные геометрические объекты (точечные множества), представляющие собой односвязные или многосвязные области, ограниченные одной или несколькими замкнутыми кривыми (граничными контурами). Данные объекты являются геометрическими моделями заготовок. Пусть также заданы $B_1, B_2, \dots, B_m$ – области размещения объектов (в общем случае, различные и многосвязные). Местоположение каждой заготовки A_i в области размещения определяется тремя параметрами x_i, y_i, φ_i , где x_i, y_i – абсцисса и ордината фиксированной точки (полюса) в некоторой системе координат, φ_i – параметр, задающий ориентацию (угол поворота) объекта на плоскости. Таким образом, необходимо определить $3n$ параметров размещения заготовок, при которых некоторая целевая функция

$$F = F(x_1, y_1, \varphi_1, x_2, y_2, \varphi_2, \dots, x_n, y_n, \varphi_n)$$

достигает своего экстремума и выполняются условия взаимного не пересечения объектов, условия размещения объектов внутри одной из областей размещения $B_1, B_2, \dots, B_m$, а также ряд дополнительных условий, определяемых свойствами раскраиваемого материала, серийностью производства и особенностями технологического оборудования, используемого для раскроя, т. е.

$$F(x_1, y_1, \varphi_1, x_2, y_2, \varphi_2, \dots, x_n, y_n, \varphi_n) \rightarrow \text{extr}, \quad (1)$$

$$f_{ij}^1(x_i, y_i, \varphi_i, x_j, y_j, \varphi_j) \geq 0, \quad i \neq j, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$f_i^2(x_i, y_i, \varphi_i) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$f_l^3(x_1, y_1, \varphi_1, x_2, y_2, \varphi_2, \dots, x_n, y_n, \varphi_n) \geq 0, \quad l = 1, 2, \dots, L, \quad (4)$$

где (2) – условия взаимного не пересечения объектов, (3) – условия размещения в области размещения, (4) – другие условия, которые совместно с (2) и (3) определяют область допустимых решений, удовлетворяющих дополнительным геометрическим и технологическим ограничениям. На практике в качестве целевой функции F чаще всего используют функцию, значение которой равно так называемому коэффициенту использования материала или коэффициенту раскроя k .

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{P},$$

где S_i – площадь i -го объекта, P – суммарная площадь занятой части областей размещения (использованного материала).

Сформулированная задача относится к классу задач математического программирования, для которых не существуют аналитических методов решения (прежде всего, из-за того, что ограничения (2)–(4) в аналитическом виде неизвестны). При решении такого рода задач используются вычислительные алгоритмы, в основном, приближенные [2–6]. Методы, гарантирующие получение глобального экстремума (точные методы), применимы к задачам с небольшой размерностью n и с сильными ограничениями на геометрическую форму заготовок [7–9]. В современном программном обеспечении для решения задач фигурного раскроя применяются как полностью автоматические методы, так и диалоговое проектирование, которое во многих случаях более эффективно, нежели другие методы.

Использование интерактивных методов связано еще и с тем, что эффективность алгоритмов автоматического проектирования фигурного раскроя существенно зависит от условий задачи: геометрической формы заготовок, их ассортимента, количественных характеристик, размеров материала и пр., причем характер этой зависимости остается крайне малоисследованным. Проведение таких исследований позволит повысить эффективность программного обеспечения расчетов раскроя материала в автоматическом режиме за счет того, что еще на этапе анализа условий задачи на основании результатов сравнительного анализа имеющихся в составе САПР раскроя алгоритмов будет выбираться наиболее «перспективный» алгоритм. Предлагаемый подход можно реализовать следующим образом.

1. Вводим некоторую классификацию заданий фигурного раскроя листового материала, т. е. разбиение множества заданий на группы (классы) по определенным признакам.
2. Проводим тестирование имеющихся в распоряжении разработчика алгоритмов раскроя с целью выявления наиболее эффективного для каждого класса заданий.
3. Разрабатываем и включаем в состав программного обеспечения САПР фигурного раскроя процедуру автоматического выбора алгоритма в соответствии с результатами тестирования.
4. При решении конкретной задачи раскроя проводим предварительный анализ задания на предмет его принадлежности к какой-либо группе и выбираем алгоритм решения в соответствии с разработанной процедурой автоматического выбора алгоритма.

Для реализации сформулированного подхода предлагается произвести разбиение всех заданий фигурного раскроя по трем признакам: серийности производства, «прямоугольности» задания и преобладанию «крупных» заготовок над «мелкими». Поясним эти понятия.

Существующая в настоящее время типология производства по степени его серийности подразделяется на три типа производства: единичное, мелкосерийное, крупносерийное (массовое). В качестве формального разделения задания на раскрой по признаку серийности будем использовать следующее правило: если суммарная площадь заготовок в задании не превосходит пятикратного значения площади области размещения B_1 , то задание будем относить к классу «единичных». Если суммарная площадь заготовок в задании превосходит двадцатикратное значение площади области B_1 , то задание будем относить к классу «крупносерийных». Остальные задания будем считать «мелкосерийными». Отметим, что данное разделение заданий сделано для проведения процедуры тестирования и не может служить определением понятий серийности производства.

В [10] было введено понятие «прямоугольности» задания. Поясним этот термин. Прямоугольностью задания на раскрой k_z^p называется величина равная средней величине прямоугольности отдельных заготовок в задании, т. е.

$$k_z^p = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^p}{n},$$

где S_i^p — коэффициент прямоугольности заготовки A_i . Прямоугольностью заготовки называется величина $S_i^p = S_i / P_i$, где S_i — площадь заготовки, P_i — минимальная площадь среди прямоугольников, описанных вокруг внешнего контура заготовки.

По степени прямоугольности все задания будем разделять на 2 группы: задание со степенью прямоугольности 0,8 и все остальные.

По степени преобладания крупных заготовок все задания фигурного раскроя листового материала также разобьем на 2 группы: Задание считается состоящим из крупных заготовок, если суммарная площадь крупных заготовок составляют не менее 80 % от площади всех заготовок в задании. Крупной называется заготовка, один из габаритов которой составляет не менее 0,6 от ширины листа.

Таким образом, в соответствии с тремя признаками все задания фигурного раскроя можно разбить на 12 классов (табл. 1). Для каждого из классов было подготовлено по 10 различных заданий (всего 120). Номенклатура заготовок была представлена ЗАО «Проммашсервис» (г. Екатеринбург). Число заготовок различной геометрической формы в заданиях варьировалось от 5 до 20. Суммарное число заготовок в заданиях выбиралось исходя из суммарной площади листов в задании (для тестирования использовался лист размерами 6000×1800 мм).

Таблица 1. Классификация заданий фигурного раскроя

Тип производства	Тип заготовок в задании			
	Непрямоугольные		Прямоугольные	
	Крупные	Мелкие	Крупные	Мелкие
Единичное	1	2	3	4
Мелкосерийное	5	6	7	8
Крупносерийное	9	10	11	12

В качестве тестируемых алгоритмов были выбраны 2 алгоритма фигурного раскроя (NCL и Штабель), входящие в состав САПР «СИРИУС» [11] и алгоритм Nesting Factory, разработанный компанией «Algomate» (Израиль) [12]. Этот алгоритм имеет интерфейс с САПР «СИРИУС».

Таблица 2. Схема автоматического выбора алгоритма фигурного раскроя в зависимости от класса задания

Класс задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Алгоритм раскроя												
Nesting Factory												
NCL												
Штабель												

В табл. 2 приведена схема выбора алгоритма раскроя, полученная на основании результатов проведенного тестирования. Рекомендуемые для выбора алгоритмы выделены серым цветом.

Таким образом, при решении задач раскроя в автоматическом режиме выбирается наиболее эффективный алгоритм оптимизации, что сокращает время проектирования рационального варианта раскроя и повышает коэффициент раскроя. Возможна реализация схемы автоматического выбора алгоритма с процедурой «самообучения» (т. е. с продолжением тестирования всех алгоритмов и изменением алгоритма выбора на основании резуль-

татов тестирования) при условии наличия достаточного временного ресурса у пользователя.

Выводы

При разработке универсальных САПР фигурного раскроя, ориентированных на решение широкого круга задач раскроя, подход, основанный на автоматическом выборе метода оптимизации с использованием сравнительного анализа алгоритмов, является наиболее целесообразным, поскольку попытки создать универсальный алгоритм фигурного раскроя, одинаково эффективный для всех классов задач, представляются автору малоперспективными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dykhoff H. A typology of cutting and packing problems // *European Journal of Operational research*. – 1990. – V. 44. – P. 145–159.
2. Мухачева Э.А., Верхотуров М.А., Мартынов В.В. Модели и методы расчета раскроя-упаковки геометрических объектов. – Уфа: УГАТУ, 1998. – 216 с.
3. Мухачева Э.А., Валеева А.Ф., Картак В.М., Мухачева А.С. Методы локального поиска оптимума в задачах ортогонального раскроя и упаковки: аналитический обзор и перспективы развития // *Информационные технологии*. – 2004. – № 5. – С. 2–18 (Приложение).
4. Стоян Ю.Г., Емец О.А. Теория и методы евклидовой комбинаторной оптимизации. – Киев: Ин-т систем исследований об-разований, 1993. – 188 с.
5. Фроловский В.Д. Оптимальное группирование геометрических объектов при проектировании карт раскроя материалов // *Программные продукты и системы*. – 2000. – № 3. – С. 47–48.
6. Петунин А.А., Полезов А.В., Куреннов Д.В. Об одном подходе к решению задач раскроя-упаковки // *Вестник УГТУ-УПИ*. – 2005. – Ч. 2. – № 18(70). – С. 212–216.
7. Липовецкий А.И. Геометрический подход к вычислению оптимума в задаче прямоугольного раскроя // *Труды Санкт-Петербургского математического общества*. – 2007. – Т. 13. – С. 121–142.
8. Картак В.М. Матричный алгоритм поиска оптимального решения для задачи упаковки прямоугольников в полубесконечную полосу // *Информационные технологии*. – 2008. – № 2. – С. 24–30.
9. Корницкая М.Н. Автоматизация проектирования карт фигурного нерегулярного раскроя в условиях единичного производства на основе аппроксимационного подхода: дис. ... канд. техн. наук. – Свердловск, 1990. – 130 с.
10. Петунин А.А., Мухачева Э.А., Мухачева А.С. Метод прямоугольной аппроксимации для решения задач нерегулярного фигурного раскроя-упаковки // *Информационные технологии*. – 2008. – № 1. – С. 28–31.
11. Петунин А.А. Интегрированная САПР «Сириус» для автоматизации раскройно-заготовительного производства. Концепция. Опыт разработки и внедрения // *Ресурсосберегающие технологии: математическое обеспечение оптимизационных задач в системах автоматизированного проектирования: Сб. докл. I Всеросс. научно-практ. конф. по вопросам решения оптимизационных задач в промышленности*. – СПб.: ЦНИИТС, 2001. – С. 126–129.
12. Algomate company – automatic nesting experts [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.algomate.com/> (дата обращения: 11.09.2009).

Поступила 09.08.2009 г.