

УДК 519.854.2

**ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
РАЦИОНАЛЬНОГО РАСКРОЯ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО АЛГОРИТМА****Балабанов В. Н.**

Донецкий национальный технический университет
Кафедра автоматизированных систем управления
E-mail: akavrt@gmail.com

Аннотация

Балабанов В. Н. Приближенный метод решения практических задач рационального раскрой на основе эволюционного алгоритма. При решении многих практических задач рационального раскрой требуется учитывать не только потери раскраиваемого материала в отход, но также целый ряд дополнительных критериев и ограничений производственного характера. Традиционный подход, основанный на сведении задачи рационального раскрой к задаче целочисленного линейного программирования, оказывается малоэффективным и не позволяет находить решения, удовлетворяющие требованиям реального производства. Для решения раскройных задач в многокритериальной постановке предлагается реализовать гибридный генетический алгоритм оригинальной двухуровневой структуры.

Введение. Раскрой исходного материала на отдельные части как одна из стадий производства готовой продукции встречается во многих отраслях промышленности. Задача рационального раскрой заключается в составлении такого плана, который позволит получить заготовки в требуемом ассортименте, обеспечив при этом наименьшие потери материала в отход. Формальная постановка подобной задачи впервые была дана Канторовичем в одной из ранних работ по линейному программированию [1]. Общая логическая структура задач рационального раскрой, упаковки и размещения в дальнейшем позволила сформировать единую систему классификации [2], основанную на использовании базового набора критериев. Применительно к задачам рационального раскрой наиболее важными характеристиками являются размерность (различают одно- и двухмерные задачи), ассортимент и доступность исходного материала, ассортимент и форму заготовок.

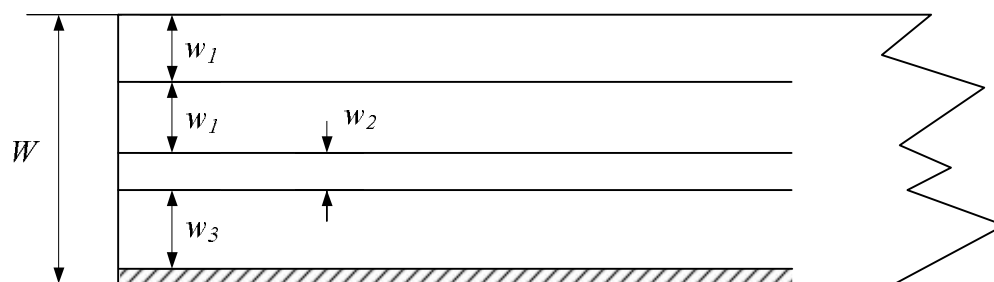


Рисунок 1. Продольный раскрой рулонного материала

Общая постановка задачи. Рассмотрим одну из типовых математических моделей одномерной задачи рационального раскрой. Положим, исходный материал, представленный рулонами шириной W , сквозными резами параллельно боковой кромке раскраивается на полосы заданной шириной w_i , потребность в полосе каждого вида известна и задается целым числом b_i . Такой вид раскрой рулонного материала называется продольным (рис. 1).

Обозначим через a_{ij} количество полос шириной w_i , полученное при раскрое рулона по способу с номером j . Если предположить, что все отдельные раскрои перечислены, то задача составления рационального плана заключается в нахождении неизвестных целых чисел x_j , удовлетворяющих требованиям (1) — (2).

$$Z = \min \sum_j x_j \quad (1)$$

$$\sum_j a_{ij} x_j \geq b_i \quad (2)$$

$$x_j \in Z_+, i \in I = \{1, \dots, m\}, j \in J = \{1, \dots, n\}$$

Были предложены и другие формулировки задач рационального раскроя, в частности, определенной популярностью пользуются теоретико-графовые модели.

Многокритериальные задачи рационального раскроя. Актуальным направлением в решении раскройных задач является комплексный подход к планированию, который предполагает уточнение существующих моделей за счет рассмотрения всех значимых критериев и ограничений. В качестве примера рассмотрим продольный раскрой рулонов, выполняемый с помощью дисковых ножниц [3]. Дальнейшее обсуждение требует уточнить некоторые из применяемых терминов. Способ раскроя рулона на полосы, определяемый столбцом $(a_{ij})^T$ в формулировке (1) — (2), называется раскройной картой. Допустимое решение задачи — план раскроя — представляет собой перечень всех используемых в раскрое карт с указанием соответствующих им рулонов.

Переналадка дисковых ножниц на очередную раскройную карту является трудоемкой операцией из-за конструктивных особенностей данного узла, поэтому при планировании раскроя стараются многократно использовать одни и те же раскройные карты, даже если это приводит к некоторому увеличению потерь рулонного материала в отход. Похожая ситуация, требующая рассмотрения нескольких критериев, возникает, когда раскраиваемые заготовки дополнительно разбиваются на несколько различных групп. Допустим, что к сборке изделия можно приступить только при наличии минимально необходимого перечня заготовок. Если одна из заготовок этого перечня будет получена в результате выполнения раскроя последней, то соответствующим образом задержится и сборка всего изделия, что, возможно, приведет к нежелательным простоям. В каждом из рассмотренных случаев в исходную модель вводится дополнительный критерий, появляются нелинейные зависимости. Сведение подобных задач к задаче целочисленного программирования общего вида представляется нецелесообразным.

В подобных случаях часто применяются конструктивные эвристики, основанные на построении допустимого плана раскроя за конечное число итераций. Дальнейшее развитие приближенных методов решения задач рационального раскроя предполагает использование метаэвристических стратегий, которые на концептуальном уровне сохраняют относительную простоту, свойственную обычным эвристикам, однако значительно превосходят последние по качеству найденных решений.

К метаэвристическим относят такие методы как имитацию отжига, поиск с запретами, эволюционные, муравьиные и роевые алгоритмы. Характерной чертой метаэвристических методов является использование интеллектуальных стратегий управления поиском решений. Фактически, каждая метаэвристика представляет собой лишь общую схему, которая должна быть соответствующим образом адаптирована к условиям решаемой задачи за счет выбора подходящей проблемно-ориентированной эвристики и правильной настройки параметров исходного метода. Последние два десятилетия отмечены большим количеством прикладных исследований, посвященных использованию метаэвристических методов для приближенного

решения задач рационального раскроя [4]. Эволюционный подход оказался один из наиболее эффективных [5, 6]. Далее рассматривается принцип построения эволюционного алгоритма, пригодного для решения задач рационального раскроя различного уровня сложности.

Эволюционный алгоритм. Метаэвристические методы, которые на каждой итерации работают с несколькими текущими решениями, условно выделяют в самостоятельный класс популяционных метаэвристик. Первые подобные методы, предложенные еще в середине 60-х годов, для эффективной организации поиска приближенных решений оптимизационных задач использовали основополагающие принципы эволюционной теории Дарвина. Растущая популярность и очевидное родство эволюционных алгоритмов в дальнейшем способствовали формированию самостоятельного направления в искусственном интеллекте, получившего название эволюционных вычислений [7]. Всего существует четыре основные разновидности эволюционных алгоритмов: эволюционное программирование, эволюционные стратегии, генетические алгоритмы и генетическое программирование.

В данной работе для решения задач рационального раскроя предлагается реализовать гибридный генетический алгоритм оригинальной двухуровневой структуры, основанный на следующих простых идеях:

- 1) раскройные карты, соответствующие заданному набору требований, генерируются на нижнем уровне алгоритма с помощью некоторой вспомогательной процедуры;
- 2) непосредственно формирование плана раскроя осуществляется на верхнем уровне, при этом целевая функция совместно учитывает все значимые критерии.

Поскольку в генетическом алгоритме решения задачи — хромосомы — традиционно представляются в виде последовательностей фиксированной или переменной длины, следует разработать подходящий способ преобразования и для раскройных планов. В данном случае может быть использована естественная иерархия, когда отдельным элементом хромосомы — геном — является раскройная карта, тогда последовательность генов может задавать план раскроя. Пример плана, составленного из трех раскройных карт, представлен на рис. 2.

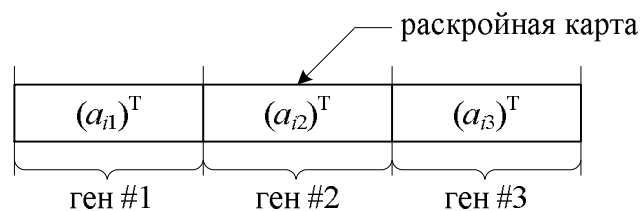


Рисунок 2. Структура хромосомы

Для генерации хромосом можно использовать простую эвристическую процедуру, которая последовательно добавляет в план раскроя карты, полученные в результате решения задачи о рюкзаке следующего вида:

$$Z^* = \max \sum_i w_i y_i \quad (3)$$

$$\sum_i w_i y_i \leq W \quad (4)$$

$$y_i \in Z_+, i \in I = \{1, \dots, m\}$$

Очевидно, что при одинаковых значениях W недостаточно ограничиться получением единственного решения задачи (3) — (4), поскольку в таком случае все сгенерированные хромосомы в начальной популяции также будут одинаковыми. Один из возможных способов решения данной проблемы заключается в использовании рандомизации, когда в поиск карты раскроя вносится элемент случайности.

Другой немаловажний аспект реалізації розглянутої двохуровневої структури генетического алгоритма заключається в комбінаторній складності розв'язуваної генетическим алгоритмом задачі. Якщо план розкрою на рис. 2 складається з трьох розкройних карт, кожна з яких може відповідати, скажемо, одному з десяти рішень задачі (3) — (4), тоді всього існує 10^3 різних послідовностей, з якими працює генетический алгоритм. В тому випадку якщо при тих же умовах план розкрою складається з восьми розкройних карт, тоді простір пошуку розшириться до 10^8 переборних варіантів. Можливо, в гібридному генетическому алгоритмі слід додатково реалізувати механізм, який буде підтримувати різноманітність генетического матеріалу на певному заданому рівні.

Оператор скрещування в гібридному генетическому алгоритмі може бути реалізований у вигляді одно- або двохточкового кроссовера, мутація — випадковим чином змінює порядок слідування генів в хромосомі або видаляє деякі гени. В останньому випадку цілісність хромосом може бути відновлена з допомогою процедури, використаної для генерації хромосом початкової популяції. Також необхідно розглянути можливість застосування більш досконалих модифікацій генетического алгоритма для пошуку Парето-оптимальних рішень багатокритеріальних задач раціонального розкрою.

Висновки. Розглянутий підхід до побудови гібридного генетического алгоритма був програмно реалізований для оптимізації продольного розкрою рулонного матеріалу. Висновки експериментів підтвердили достовірність запропонованих ідей, однак поряд з перевагами, включаючими простоту та ефективність даної гібридної схеми, виявлені і деякі недоліки. Ефективність розв'язування розкройної задачі в багатьох випадках визначається якістю вихідного генетического матеріалу, отриманого в результаті розв'язування допоміжної задачі рюкзака. В деяких випадках наближений метод розв'язування задачі рюкзака виявляється недостатньо ефективним, наприклад, не може забезпечити різноманітність генерованих карт розкрою на потрібному рівні. В такому випадку необхідно прикласти певні зусилля для його покращення, використати інші методи або розробити новий метод розв'язування допоміжної задачі. В подальшому запропонована схема може бути адаптована як для розв'язування задач більшої розмірності, так і родственных задач раціональної упаковки і розміщення.

Список літератури

1. Канторович, Л. В. Математические методы в организации и планировании производства [Текст] / Л. В. Канторович. — Л. : Изд-во ЛГУ, 1939. — 68 с.
2. Wascher, G. An improved typology of cutting and packing problems [Text] / G. Wascher, H. Haussner, H. Schumann // European Journal of Operational Research. — 2007. — Vol. 183, N 3. — P. 1109—1130.
3. Балабанов, В. Н. Оптимізація розкрою рулонного металопроката на слиттері / В. Н. Балабанов, Ю. А. Скобцов // Вестник ДГМА. — 2010. — № 1 (18). — С. 7—12.
4. Скобцов, Ю. А. К вопросу о применении метаэвристик в решении задач рационального раскрою и упаковки [Текст] / Ю. А. Скобцов, В. Н. Балабанов // Вісник Хмельницького національного університету. — 2008. — Т. 1, № 4. — С. 205—217.
5. Beasley, J. E. A population heuristic for constrained two-dimensional non-guillotine cutting [Text] / J. E. Beasley // European Journal of Operational Research. — 2004. — Vol. 156, N 3. — P. 601—627.
6. Bortfeldt, A. A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces [Text] / A. Bortfeldt // European Journal of Operational Research. — 2006. — Vol. 172, N 3. — P. 814—837.
7. Скобцов, Ю. А. Основы эволюционных вычислений [Текст] : Учебное пособие / Ю. А. Скобцов. — Донецк : ДонНТУ, 2008. — 326 с.
УДК 519.854.2