

АВТОМАТИЗИЦИЯ РАСКРОЯ ОДНОМЕРНОГО МАТЕРИАЛА НА БАЗЕ ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ

Ю.Д. Рязанов, Р.В. Воробьев

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Введение

Одной из основных операций в сферах производства мебели, производства строительных материалов, строительства домов, продажи строительных материалов, оказания услуг по ремонту и отделке помещений, и других сферах является формирование раскроев материала на заготовки деталей, которые впоследствии технологических процессов преобразуются в конечный продукт. Операции раскроя материала выполняются при планировании производства, закупке материалов и непосредственно при производстве изделий. Формирование качественного раскроя является трудоемкой задачей, может выполняться на крупных, средних и малых предприятиях, а также в домашних условиях, поэтому для решения этой задачи целесообразно использовать портативные устройства и ЭВМ.

Разработка программного обеспечения (ПО) для решения данной задачи позволит получить реальный экономический эффект в форме снижения отходов, повысить оперативность и качество планирования и управления производственными процессами, сократить расход сырья, снизить себестоимость продукции и, в конечном счете, принести значительный экономический эффект.

Постановка задачи

Задачи формирования раскроя можно сформулировать следующим образом.

Необходимо из материалов, длиной $L_1, L_2, \dots, L_j, \dots, L_m$ в количестве $B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_m$, выкроить заготовки, длиной $l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n$ в заданном количестве (соответственно) p_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Требуется определить оптимальный план раскроя материала, т.е. получить минимальные отходы с учетом комплектности заготовок (Задача 1) или если известны ценны $c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_m$ на материал, то получить минимальные затраты на покупку материалов для раскроя (Задача 2).

Частным случаем, является задача с фиксированной длиной материала L .

Для решения задач необходимо разработать математические модели задач, выбрать методы решения, разработать интерфейс пользователя и выполнить программную реализацию.

Разработка математических моделей

При создании модели будем использовать методы исследования операций [1 — 3].

Примем следующие обозначения:

x_{ik} — число материала j -го типа, раскраиваемого по k -м варианту раскроя;

p_i — число заготовок i -го типа, необходимое по заданию;

τ_j — число исходных вариантов раскроя j -го материала;

Δ_{ik} — отходы, получаемые от j -го типа материала при k -м варианте раскроя;

L_j — длина заданного материала j -го типа;

B_j — количество заданного материала j -го типа;

c_j — стоимость заданного материала j -го типа;

a_{ijk} — число заготовок i -го типа в k -м варианте раскроя j -го материала.

L_{jk} — общая длина заготовок в j -ом материале при k -м варианте раскроя;

l_i — длина заготовки i -го типа.

Пусть имеются материал различных длин L_j ($j=1, \dots, m$). Тогда общее количество отходов вычисляется по формуле 1.

$$\sum_j^m \sum_k^{\tau_j} \Delta_{jk} x_{jk} \quad (1)$$

Величину Δ_{ik} можно представить в виде формулы 2, откуда следует формула 3.

$$\Delta_{ik} = L_j - L_{jk} \quad (2)$$

$$\sum_j^m \sum_k^{\tau_j} \Delta_{jk} x_{jk} = \sum_j^m \sum_k^{\tau_j} L_j x_{jk} - \sum_j^m \sum_k^{\tau_j} L_{jk} x_{jk} . \quad (3)$$

Выражение 4 обозначает суммарную длину заготовок, равную значению выражения 5, из чего следует выражение 6.

$$\sum_j^m \sum_k^{\tau_j} L_{jk} x_{jk} . \quad (4)$$

$$\sum_j^m \sum_k^{\tau_j} L_{jk} x_{jk} = \sum_i^n l_i p_i . \quad (5)$$

$$\sum_j^m \sum_k^{\tau_j} \Delta_{jk} x_{jk} = \sum_j^m L_j \sum_k^{\tau_j} x_{jk} - \sum_i^n l_i p_i . \quad (6)$$

Из выражения 6 видно, что минимизация суммарной величины отходов эквивалентна минимизации выражения 7, которое обозначает общее количество материала, идущее на изготовление заготовок.

$$\sum_j^m L_j \sum_k^{\tau_j} x_{jk} \quad (7)$$

Математическая модель имеет вид

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{j=1}^m L_j \sum_{k=1}^{\tau_j} x_{jk} \rightarrow \min \\ & \text{при условиях:} \\ & \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{\tau_j} a_{ijk} x_{jk} \geq p_i ; i = 1, \dots, n ; \\ & \sum_{k=1}^{\tau_j} x_{jk} \leq B_j ; j = 1, \dots, m ; \\ & x_{jk} \geq 0 ; j = 1, \dots, m ; k = 1, \dots, \tau_j \end{aligned} \right\}$$

Если же стоимости материала известны c_j ($j=1, \dots, m$). Тогда общая стоимость материалов нужных для плана раскроя вычисляется по формуле 8

$$\sum_j^m c_j \sum_k^{\tau_j} x_{jk} \quad (8)$$

Математическая модель будет иметь вид

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{j=1}^m c_j \sum_{k=1}^{\tau_j} x_{jk} \rightarrow \min \\ & \text{при условиях:} \\ & \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{\tau_j} a_{ijk} x_{jk} \geq p_i ; i = 1, \dots, n ; \\ & \sum_{k=1}^{\tau_j} x_{jk} \leq B_j ; j = 1, \dots, m ; \\ & x_{jk} \geq 0 ; j = 1, \dots, m ; k = 1, \dots, \tau_j \end{aligned} \right\}$$

Обзор методов решения задач

Представленные ниже методы [3 — 4] подходят для решения задач, в которых требуется среди множества возможных вариантов решений выбрать тот, для которого значение заданной целевой функции достигает экстремального значения (минимального или максимального, в зависимости от условия). Задачи линейного раскроя принадлежат к этому классу задач.

Для задачи линейного раскроя множество решений конечно и перебрал все из них, мы можем найти лучшее. Как правило, полный перебор невозможно осуществить на практике из-за огромного числа рассматриваемых вариантов. Однако этот метод может применяться в случае малых размеров входных данных или в виде частичного перебора в других алгоритмах. Таким образом, для реализации полного перебора нужна процедура генерации всех допустимых решений. Как правило, это все перестановки целых чисел из некоторого диапазона, все подмножества конечного множества и т.д.

Если допустимое множество решений задачи конечно, то метод полного перебора всегда приводит к оптимальному решению. Однако число допустимых решений растет очень быстро с ростом параметров задачи. Поэтому этот метод крайне неэффективен. Одним из вариантов ускорения процесса является отбрасывание подмножеств заведомо неоптимальных решений. Эта идея улучшенного перебора применяется в методе ветвей и границ. Название метода объясняется следующим. «ветвей» — означает, что задача «ветвится» на подзадачи (каждому подмножеству разбиения соответствует задача поиска минимума функции на этом подмножестве), «границ» — подмножества разбиения оцениваются и отсекаются те из них, для которых оценка не меньше текущего рекордного значения. В худшем случае метод ветвей и границ

сводится к полному перебору всех возможных вариантов решения задачи.

В основе эвристических алгоритмов лежат идеи, основанные на интуиции, жизненном опыте. Для задач оптимизации они могут давать далеко не оптимальные решения. Поэтому, если нужно найти точное решение задачи, эти методы неприменимы. В то же время их просто понять, легко запрограммировать. Эвристические алгоритмы обычно имеют малую сложность вычислений и часто выдают хорошие, близкие к оптимальным, решения. Поэтому они часто применяются для решения трудных задач.

Иногда перебор допустимых решений в ходе решения задачи удается существенно сократить применением методов динамического программирования. Динамическое программирование — это процесс пошагового решения задач, когда на каждом шаге из множества допустимых решений выбирается одно решение, оптимизирующее целевую функцию. В методе динамического программирования задача делится на пересекающиеся подзадачи. При этом каждая из подзадач решается только один раз и при необходимости ответ берется из таблицы. В основе алгоритма, основанного на динамическом программировании, обычно лежит рекуррентное соотношение, связывающее оптимальные значения целевых функций подзадач.

В основе алгоритма генетического типа лежит идея моделирования развития популяции живых организмов в процессе естественного отбора. Отдельные особи популяции по традиции будем называть хромосомами. Каждая хромосома соответствует одному возможному решению задачи. Для реализации алгоритма необходимо описать операции кроссинговера (соответствует скрещиванию особей) и мутации (изменение свойств особи), определить фитнес-функцию

(величина, характеризующая выживаемость особи), максимальный размер популяции и выработать стратегию управления популяцией.

Анализ и выбор методов решения задач

Вычислительные мощности портативных устройств на данный момент времени находятся на достойном уровне, тем не менее, ряд методов попросту не подойдет для реализации алгоритма построения плана линейного раскроя.

Метод полного перебора не подходит для использования в разрабатываемом ПО, так как, вычислительная мощь портативных устройств хоть и находится на достаточно высоком уровне, но ее не будет хватать для того, чтобы производить полный перебор всех возможных планов раскроя. Если все же выбрать этот метод, то результата, даже на незначительно больших входных данных, мы можем не дожидаться и это приводит к бесполезности разрабатываемого ПО.

Динамическое программирование дает действительно неплохие результаты, но проблема состоит в том, что такой подход требует сильно больших затрат ресурсов оперативной памяти. Так как не многие портативные устройства могут похвастаться большими объемами оперативной памяти, этот подход нам так же не подойдет, так как это приведет к сужению аудитории пользователей.

Генетический алгоритм дает результаты, которые, также, как и результаты алгоритмов, основанных на эвристических методах, не являются оптимальными. Его можно использовать при больших исходных данных, но, поскольку этот алгоритм не дает нам оптимального результата, а быстрдействие хуже, чем у алгоритмов основанных на эвристических методах, то этот метод нам так же не подойдет. Генетический алгоритм больше всего подойдет при решении

задачи листового раскроя, где эвристические методы будут работать хуже.

Эвристические методы позволяют быстро получить результаты раскроя, но скорее всего эти результаты будут не оптимальные, хотя в зависимости от выбранного алгоритма, качество раскроя будет на достаточно высоком уровне. Кроме того, алгоритмы, основанные на таких методах, потребляют меньше всего ресурсов. Такой метод целесообразно использовать при определенных (значительно больших) входных данных, чтобы уменьшить время ожидания получения результатов.

Метод ветвей и границ, как мы увидели, это улучшенный метод полного перебора. Этот метод для реализации алгоритма получения плана линейного раскроя является наиболее подходящим, так как его результаты наиболее близки к оптимальным, сам вычислительный процесс не особо сложный и при правильной реализации можно сохранить достаточно большой объем оперативной памяти.

В разработанном ПО для решения задач 1 и 2 используем эвристические методы, а для частной задачи — метод ветвей и границ.

Описание интерфейса пользователя

Разработанное ПО [5] обладает простым и понятным пользователю интерфейсом. Кроме того, оповещает пользователя о некорректно введенных данных.

При запуске программы появляется окно (рис. 1), на котором расположены две вкладки: материалы и детали, занимающие большую часть окна. снизу и с верху расположены две кнопки «Добавить» и «Рассчитать».

Для начала работы необходимо добавить материалы и детали, для этого используется кнопка «Добавить». Если выбрана вкладка

«Материалы», то выведется новое окно для ввода информации о материале. Если же выбрана вкладка «Детали», то выведется другое окно для ввода информации о детали. По окончании заполнения полей в выведенных окнах нужно нажать кнопку «Готово», после чего должно появиться начальное окно, в котором будет показана добавленная нами информация.

Второй способ задания параметров — загрузка из файла в формате JSON. Для этого нужно предварительно сохранить параметры.

Сохранение происходит по выбору пункта «Сохранить проект» меню «Приложения», далее в диалоговом окне необходимо ввести имя файла и нажать «Ок». Загрузка параметров происходит аналогично, выбрав пункт «Загрузить проект», в диалоговом окне выбирается файл с параметрами и нажимается кнопка «Ок». Файлы сохраняются и загружаются из директории приложения.



Рис. 1. Начало работы программы

После выполнения расчетов результаты выводятся в новом окне (рис. 2).

Полученные результаты можно сохранить в формате PDF, выбрав пункт «Сохранить отчет в PDF» меню «Приложения», далее в диалоговом окне необходимо ввести имя файла и нажать «Ок». Файл с отчетом (рис. 3) также будет создан в директории приложения.

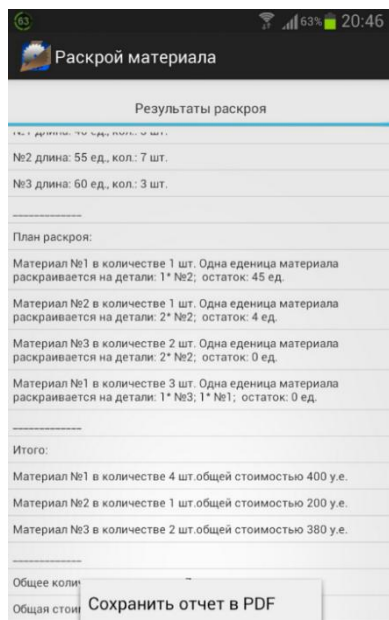


Рис. 2. Результаты вычислений

Выводы

Разработанное ПО для решения задачи формирования качественного раскроя материала позволяет получить реальный экономический эффект в форме снижения отходов материалов, повысить оперативность, качество планирования и управления

производственными процессами, сократить расход сырья, снизить себестоимость продукции.

Особенностью данного ПО являются применение различных методов для получения хороших результатов за разумный период времени и выбор модели оптимизации, т.е. выбор между оптимизацией по стоимости закупки или по объему закупки.

Раскрой материала

Материалы:

№ материала	Длина материала ед.	Кол. материала шт.	Цена. материала у.е.
2	114	∞	200
3	110	2	190
1	100	12	100

Детали:

№ детали	Длина детали ед.	Кол. детали шт.
3	60	3
2	55	7
1	40	3

План раскроя:

№ Раскроя	Кол. материала шт.	Материал	Количество детали шт.			Остаток ед.
			№3	№2	№1	
1	1	№1	0	1	0	45
2	1	№2	0	2	0	4
3	2	№3	0	2	0	0
4	3	№1	1	0	1	0

Итого:

Деталь	Кол. деталей шт.	Общая стоимость у.е.
№1	4	400
№2	1	200
№3	2	380
Σ	7	980

Рис. 3. Отчет в формате PDF

Список литературы

- 1) *Бабаев Ф.В* Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ/ Ф.В. Бабаев. — М: Машиностроение, 1982. — 168 с..
- 2) *Таха, Х.* Введение в исследование операций / Х. Таха. — Изд. Вильямс, 2005. — 903с.

- 3) *Брусенцев, А.Г.* Исследование операций и теория игр: учеб.пособие / А.Г. Брусенцев, В.И. Петрашев, Ю.Д. Рязанов. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. — 258 с.
- 4) *Романовский И.В.* Алгоритмы решения экстремальных задач / Романовский И.В. — Изд. Наука, 1997. — 352с.
- 5) *Воробьев Р.В.* Система планирования закупок одномерного материала / Р.В. Воробьев, Ю.Д. Рязанов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615907. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 05 июня 2014 г.