УДК 004.896

Е.В. ВОЛЧЕНКО, И.В. ДРОЗД
Государственный университет информатики и искусственного интеллекта, г. Донецк

ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЛЕКАЛ

В данной статье рассматривается проблема оптимального размещения лекал. Предложен гибридный алгоритм оптимального размещения лекал, совмещающий в себе алгоритм муравьиных колоний и «жадную» стратегию. Особенностью данного алгоритма является размещение криволинейных фигур. Проведен анализ и оценена эффективность предложенного гибридного алгоритма в сравнении с алгоритмом последовательно-одиночного размещения.

This paper considers the problem of the curve optimal disposition. There has been offered the hybrid algorithm of the curve optimal disposition, uniting the algorithm of the ant colonies and the «greedy» strategy. A peculiarity of the algorithm is the curvilinear figures disposition. There has been carried out the analysis and evaluated the efficiency of the offered hybrid algorithm in comparison with the algorithm of the series-single disposition.

Введение

Задача построения карт раскроя является одной из наиболее актуальных задач, что видно из развития программного обеспечения, выполняющего моделирование и построение лекал моделей одежды [1, 2, 3, 4]. Причиной такого широкого развития подобных программных комплексов является обеспечение точности разработки лекал для получения качественных изделий, сокращение времени при конструировании и расхода материала на разработку модели. Эта задача относится к классу NP – трудных задач и на сегодняшний день не существует оптимальных алгоритмов ее решения [5, 6, 7, 8, 9]. Среди возможных задач составления карт раскроя наиболее сложной является задача построения карт для криволинейных фигур, поскольку присутствие в объектах кривых линий существенно усложняет задачу совмещения фигур, определения их пересечения, определение пустот между фигурами. Известные алгоритмы, решающие рассматриваемую задачу, можно разделить на две группы:

1) алгоритмы, которые позволяют размещать объекты не повторяющейся формы [5, 7, 9];

2) алгоритмы, позволяющие размещать объекты исключительно с большим количеством одинаковых фигур (объектов одинаковой формы должно быть больше двух) [5, 8].

Алгоритмы второй группы не используются для решения поставленной задачи, поскольку объекты повторяющейся формы для одной карты раскроя встречаются довольно редко. Среди алгоритмов первой группы наиболее известными являются: оптимизация одномерного размещения, оптимизация двумерного раскроя, гильотинный метод раскроя, размещение объектов в прямоугольной области, способ последовательно – одиночного размещения. Принцип метода оптимизации одномерного раскроя заключается в получении максимально возможного числа самых длинных заготовок из самого короткого материала [9]. В таком случае фигуры выбираются по порядку, укладка их выполняется последовательно, на основе сравнения полученной карты раскроя с размером материала. Если карта больше размеров материала, то последнюю фигуру заменяют на следующую в списке, в противном случае полученная карта раскроя считается оптимальной. В методе оптимизации двумерного раскроя [9] фигуры априорно сортируются по возрастанию. На первом шаге размещаются сначала большие детали (потенциально менее удобные), затем меньшие и т.д. В следующих вариантах большие детали вытесняются меньшими. Укладка фигур производится последовательно. Перебор осуществляется до того момента, пока не будет достигнута текущая уступка – это значимый параметр алгоритма, допущение, которое задается экспериментально. В гильотинном методе выбор и укладка деталей происходит последовательно, пока не будут размещены все детали. Для каждой следующей раскладки берется деталь, на которой был достигнут максимум для данной длины материала. Алгоритм выполняется до тех пор, пока не будет достигнут максимум цены раскроя [7]. В методе размещения фигур в прямоугольной области объекты располагаются полосами без пробелов, изменяя ориентацию фигур и направление заполнения заданной области. Алгоритм заканчивает работу при достижении коэффициентом μ наибольшего значения, т.е. при максимальном количестве объектов, расположенных в заданной области [5]. Способ последовательно – одиночного размещения заключается в том, что все объекты размещаются последовательно по одному, а ранее размещенные считаются неподвижными. Каждый объект размещается так, что из всех его возможных положений выбирается такое, при котором функция цели достигает наименьшего значения только по переменным, являющимся параметрами размещаемого объекта [5].

В данной работе на примере задачи построения лекал предлагается новый гибридный алгоритм оптимального размещения криволинейных фигур, основанный на алгоритме муравьиных колоний и «жадной» стратегии поиска.

Постановка задачи

В качестве исходных данных для построения карты раскроя рассматривается множество фигур, заданных вектором:

$$F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\}, \tag{1}$$

где $F_i = \{P_1\{x,y\}, P_2\{x,y\}, \ldots, P_k\{x,y\}\}$, $P_i\{x,y\}$ – точка с координатами *x* и *y*. Для оценки качества получаемой карты раскроя используется коэффициент эффективности (плотности), который рассчитывается как отношение суммарной площади фигур S_{f_i}, $i \in [1,n]$ к площади прямоугольника минимального размера S_r, в который вписана карта раскроя (рис. 1):

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_{f_i}}{S_r}. \tag{2}$$

С повышением эффективности полученной карты раскроя коэффициент K стремится к единице.

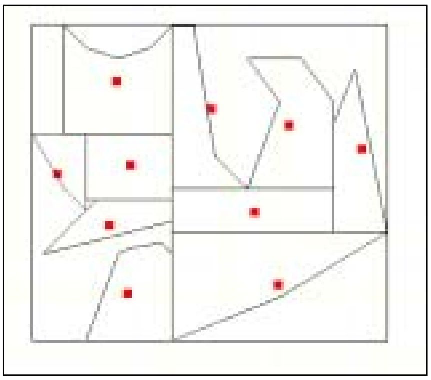

Рис. 1

Описание алгоритма

В процессе исследования возможных методов решения данной задачи в качестве базовых алгоритмов выберем: алгоритм муравьиных колоний и «жадная» стратегия. Выбор алгоритма муравьиных колоний обусловлен высокой эффективностью решения сложных оптимизационных задач, нахождение близкого к оптимальному решения [10]. «Жадная» стратегия зачастую позволяет найти оптимальное решение, однако требует значительных временных затрат [11]. Предложенный в данной работе гибридный алгоритм, совмещающий в себе алгоритм муравьиных колоний и «жадную» стратегию, позволяет объединять положительные стороны данных алгоритмов.

Основой алгоритма является алгоритм муравьиных колоний, а совмещение фигур на каждом шаге выполняется с помощью жадной стратегии. Основной идеей алгоритма является совмещение фигур по прямым линиям.

Далее приведем предложенный алгоритм в виде блок-схем с использованием принятой при описании алгоритма муравьиных колоний терминологии (рис. 2).

При инициализации алгоритма создаем *m* новых муравьев и размещаем их среди *n* фигур. Формируем отдельно массив из *v* фигур, у которых присутствуют прямые линии. Устанавливаем начальные значения феромонов на всех дугах равными τ_0 – случайно выбранному достаточно маленькому числу. В процессе выполнения алгоритма осуществляется переход каждого муравья от одного объекта к не посещенному раннее другому объекту. На каждом шаге осуществляется переход муравья к очередной фигуре.

Вероятность $p_{ij}^k(t)$ выбора следующей фигуры для перехода считается по формуле:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{\tau_{ij}(t)}{\sum_{k=1}^{n} \tau_{ij}^k}, \tag{3}$$

где $\tau_{ij}(t)$ – уровень феромона на дуге между фигурами *i* и *j* на *t*-ой итерации.

Алгоритм выполняется за два цикла. В первом цикле осуществляется обход фигур, содержащих прямые стороны, во втором – оставшиеся фигуры.

В первом цикле для совмещения объектов используется «жадная» стратегия [10]. Случайным образом выбирается прямая линия *i*-го объекта из списка линий всех объектов. Из объекта *j* выбирается прямая линия максимально подходящая для ранее выбранной линии *i*-го объекта. Вычисляем угол между полученными прямыми – векторами по следующей формуле:

$$Cos\lambda = \frac{A * B}{|A| * |B|}, \tag{4}$$

где *A* и *B* – прямые, причем *A* задана точками: a_1 $(x_1; y_1)$, a_2 $(x_2; y_2)$ и *B* задана точками: b_1 $(x_3; y_3)$, b_2 $(x_4; y_4)$.

Пусть $m_1 = x_2 - x_1$, $n_1 = y_2 - y_1$, $m_2 = x_4 - x_3$, $n_2 = y_4 - y_3$, тогда получим:

$$Cos\lambda = \frac{m_1 m_2 * n_1 n_2}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2} * \sqrt{m_2^2 + n_2^2}} \tag{5}$$

Поворачиваем *j* объект на полученный углол λ (5). Поскольку объектами являются криволинейные фигуры, то для нахождения их ценра, описываем вокруг фигуры прямоугольник. Пусть данный прямоугольник задан точками a_1 (x_1,y_1), a_2 (x_2,y_2), a_3 (x_3,y_3), a_4 (x_4,y_4). Центр, в точке *b* (x, y), полученного прямоугольника находим по формуле:

$$b(x,y) = (x_1 + \frac{x_3 - x_1}{2}; y_1 + \frac{y_3 - y_1}{2}) \quad (6)$$

По полученным прямым фигуры i и j совмещаются. Далее выполняется проверка на пересечение фигур. Задается малое значение r случайным образом, $r \in [0; 1]$. Прибавляем r к любой точке прямой фигуры j и проверяем, если полученная точка принадлежит фигуре i, в таком случае выполняем отражение фигуры от линии совмещения, в противном случае – фигуры не пересекаются. Выполняем дополнительную проверку на пересечения фигур. Крайние точки j-й фигуры проверяем на принадлежность уже размещенным фигурам. Если принадлежат какой-либо q-й фигуре – вычисляем расстояние пересечения между крайними точками фигур j и q. Смещаем на полученную величину.

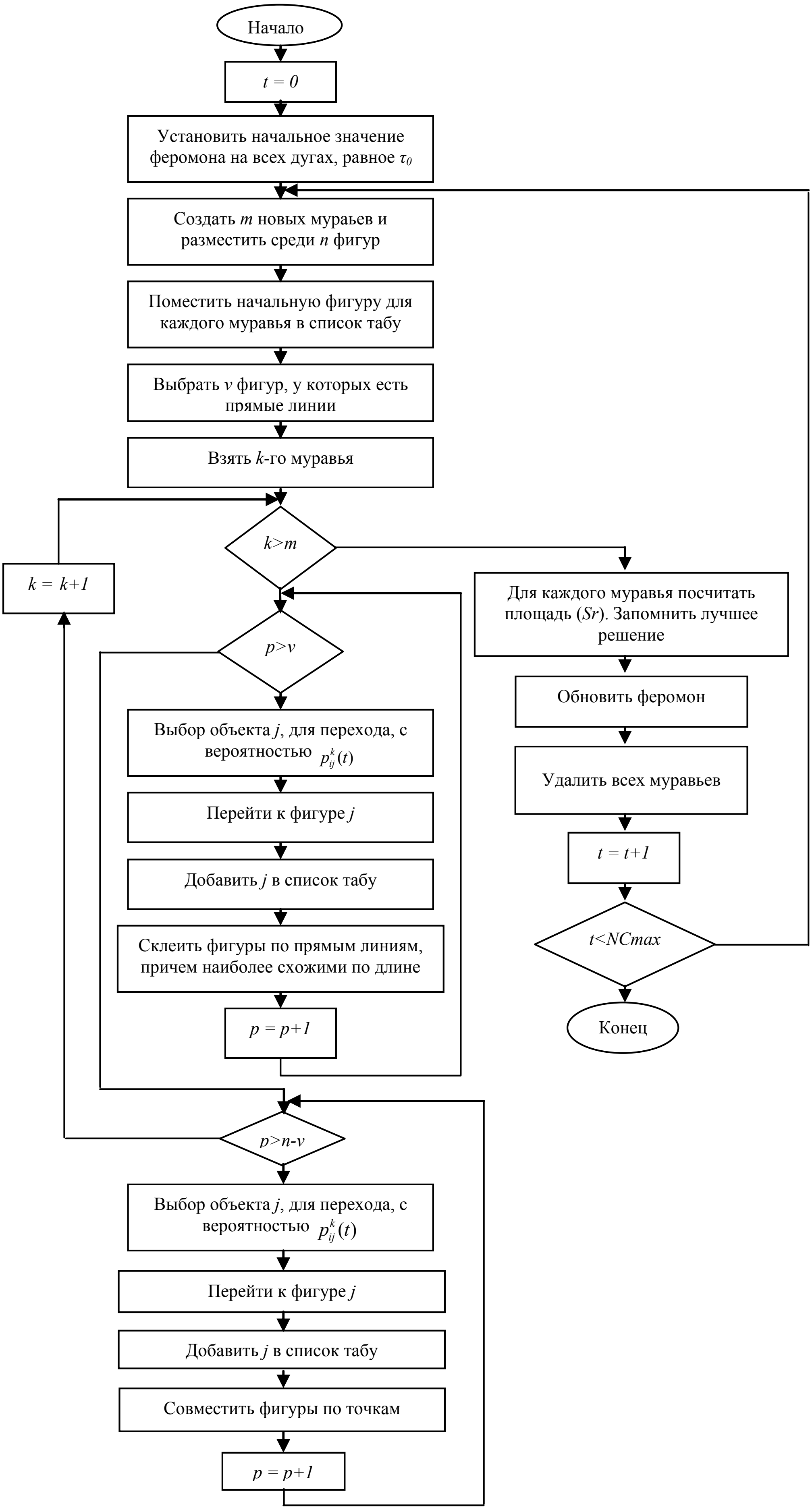

Рис. 2. Блок-схема предложенного гибридного алгоритма

Введем следующие определения. Активные точки – это точки тех фигур, которые находятся на активной карте раскроя и к ним возможно присоединение. Активная карта раскроя – это карта раскроя, еще находящаяся в процессе формирования.

Во втором цикле перебираем оставшиеся *n-v* фигур. Совмещаем фигуры относительно активных точек. Случайным образом выбираем активную точку фигуры *i* и точку *j*-й фигуры. Перемещаем фигуру *j* относительно взятой в ней точке в активную точку фигуры *i*. Проверяем на пересекаемость фигур. Если граничные точки *j*-й фигуры принадлежат какой-либо *q*-й фигуре – вычисляем расстояние пересечения между граничными точками фигур *j* и *q*. Смещаем на полученную величину.

После перехода к очередной фигуре выполняется обновление уровня феромона, которое считается по следующей формуле:

$$\tau_{ij}(t+1) = \tau_{ij}(t) + K - (1-\rho) * \tau_{ij}(t), \tag{7}$$

где ρ – интенсивность испарения (0< ρ <1), K – коэффициент (0< K <1).

Лучшее решение – наименьшее значение *Sr*. После каждой итерации вычисляем для всех муравьев площадь прямоугольника *Sr,* описанного вокруг полученной карты раскроя и запоминаем лучшее решение. Удаляем муравьев. Выполняем цикл, пока количество итераций не станет равным *NCmax* – заданному количеству шагов. Результатом выполнения алгоритма является лучшая карта раскроя, которая имеет наименьшую площадь *Sr*.

Результаты экспериментальных исследований

Для оценки разработанного алгоритма была проведена серия испытаний из 50 экспериментов (запусков разработанного алгоритма). В качестве исходных данных использовалось множество деталей криволинейной формы. Были вычислены средние значения коэффициента эффективности для различных наборов деталей, отличающихся степенью криволинейности. Также для оценки эффективности предложенного гибридного алгоритма был реализован известный метод размещения криволинейных фигур последовательно – одиночного размещения, приведенный в [5]. Процент криволинейных сторон фигур *P* вычисляется по следующей формуле:

$$P = \frac{(\sum_{i=1}^{n} l_s - l_l) * 100\%}{\sum_{i=1}^{n} l_s}, \tag{8}$$

где l_s – длина каждой стороны фигуры, l_l – длина прямой линии фигуры. Результаты расчета коэффициента эффективности для предложенного в работе гибридного алгоритма и алгоритма последовательно – одиночного размещения приведены в виде графика на рисунке 3.

Анализ полученных результатов построения карт раскроя показывает, что предложенный гибридный алгоритм показывает лучшие результаты на всех наборах фигур по сравнению с известным методом последовательно – одиночного размещения. Степень криволинейности фигур не значительно влияет на коэффициент эффективности, в отличии последовательно – одиночного размещения. Таким образом, полученный гибридный алгоритм может быть использован для получения оптимальных карт раскроя при решении различных прикладных задач.

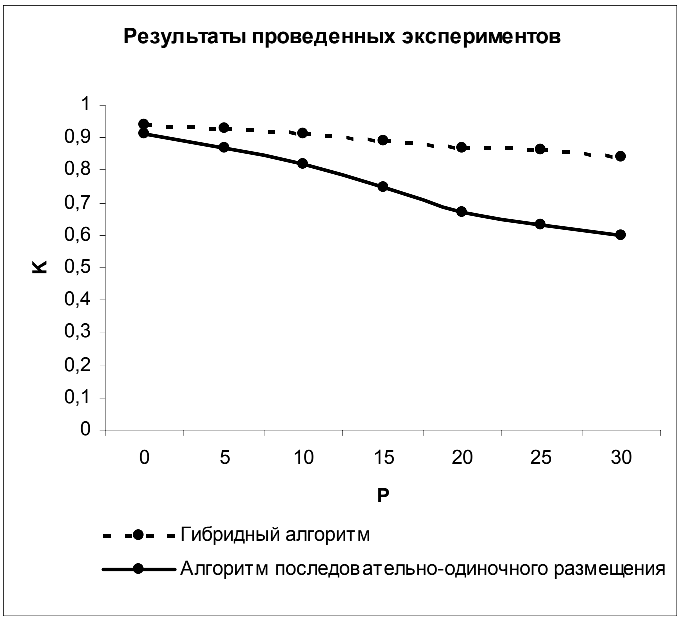

Рис. 3. Результаты проведенных экспериментов

Выводы

В работе предложен гибридный алгоритм оптимального размещения лекал, отличительной особенностью которого является совмещение алгоритма муравьиных колоний с методом «жадная» стратегия. Идеей алгоритма является выбор фигур для склеивания на основе метода «жадной» стратегии. В эксперименте на множестве тестов предложенный гибридный алгоритм показывает лучшие результаты по сравнению с одним из наиболее известных методов составления карт раскроя – методом последовательно – одиночного размещения.

Литература

1. Официальный сайт ООО "Комтенс" // http://www.comtense.ru
2. Официальный сайт компании SaprLegprom // http://www.julivi.ru
3. Официальный сайт фирмы «ВИЛАР» // http://www.lekala.info
4. Официальный сайт фирмы «Топ Системы» // http://www.tflex.ru
5. Стоян Ю.Г. Размещение геометрических объектов. – К.: Наукова думка, 1975. – 239с.
6. Амбос Э., Нойбауер А., Освальд Ю. Экономия сырья и материалов. – М.: Металлургия, 1989. – 255 с.
7. Канторович Л.В., Залгаллер В.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. – Новосибирск: Наука, 1991. – 299 с.
8. Балк М., Ландман Г. В поисках оптимального раскроя // Квант, 1987. – № 3. – С. 44-51.
9. Бронфельд Г.Б. Алгоритм решения задачи оптимального распределения плана производства // Труды института. Автоматизация и механизация управления производством, 1977. – № 2. – С. 75-83.
10. Glover F., Kochenberger G. Handbook of Metaheuristics. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 2002. – P. 560
11. Скобцов Ю.А. Основы эволюционных вычислений. – Учебное пособие. – Донецк: из-во ДонНТУ, 2008. – 326 с.

Надійшла 4.12.2008 р.