ISSN 2658-5014 (Print)
2019. № 2 (2). С. 63–70

СИИТ
СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ISSN 2686-7044 (Online)
http://siit.ugatu.su

УДК 004.023

Способы конструирования алгоритмов геометрического размещения

А. С. Филиппова[1], **Э.И. Дяминова**[2]

[1] annamuh@mail.ru, [2] xasel@mail.ru

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы»

(БГПУ им. М. Акмуллы)

Поступила в редакцию 21 октября 2019 г.

Аннотация. Рассматриваются подходы и методики разработки алгоритмов решения оптимизационных задач геометрического размещения. Большинство проблем подобного рода относятся к классу задач раскроя-упаковки и имеет не полиномиальную сложность. Дан обзор технологий разработки новых алгоритмов: послойной, уровневой, безуровневой, блочной, матричной технологии, а также технологии на основе специальных геометрических структур. Приведены примеры. Предложены алгоритмы локального поиска оптимума на основе блочной и матричной технологии. Рассмотрен вариант развития матричной технологии – использование для решения задачи размещения многоугольных ортогональных фигур внутри сложной области.

Ключевые слова: задача геометрического размещения; послойная технология; уровневая технология; безуровневая технология; блочная технология; матричная технология; многосвязный ортогональный полигон; размещение многоугольных объектов.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование технологических процессов в различных отраслях промышленности показывает, что многие из этапов заготовительного производства связаны с раскроем и размещением деталей с учетом геометрических особенностей [1]. Эти процессы являются очень важными с точки зрения экономии ресурсов и сложными для принятия решений. В качестве примеров можно назвать оптимизацию процессов проектирования: рационального раскроя материалов, генеральных планов промышленных предприятий, цифровой аппаратуры, систем воздушного и космического наблюдения, систем безопасности, систем освещения, агротехнических систем, систем сотовой связи и других [2, 3]. Большинство задач геометрического размещения являются NP-трудными, т. е. для их оптимального решения не известны алгоритмы полиномиальной сложности. Поэтому процесс разработки методов и алгоритмов решения подобных задач является актуальным. В данной статье приводится обзор технологий для разработки новых алгоритмов решения различных задач геометрического размещения.

МНОГООБРАЗИЕ ЗАДАЧ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО РАЗМЕЩЕНИЯ

Задачи геометрического размещения представляют собой важную технологическую проблему, оптимальное решение которых позволяет минимизировать расход имеющихся ресурсов. Общим для задач этого класса является наличие двух групп объектов. Между элементами этих групп устанавливается и оценивается соответствие. Перечень геометрических свойств заготовок и материала может дополняться и учитываться в математической модели некоторыми физическими и/или экономическими показателями. Подробная классификация основных моделей задач приведена в [1, 3, 4].

Работа поддержана грантами РФФФ 19-07-00895, 19-07-00780.

ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ РЕШЕНИЙ

Увеличение объема обрабатываемой информации при решении задач геометрического размещения диктует необходимость в разработке и использовании эффективных эвристических методов и алгоритмов, учитывающих прикладные ограничения. Под эффективностью надо понимать как возможность получения оптимального решения, так и быстроту получения рационального решения. Анализ существующих алгоритмов позволил выделить общие подходы при разработке новых алгоритмов, т.е. технологии конструирования решений. Под технологией будем понимать способ конструирования решений на основе базовой идеи, позволяющий создавать варианты алгоритмов с общей структурой. Рассмотрим следующие виды технологий: послойная; уровневая; безуровневая; блочная; матричная; на основе специальных геометрических структур.

ПОСЛОЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Рассмотрим способ конструирования решений послойной технологии на примере базовой задачи прямоугольной упаковки.

Задача упаковки прямоугольников в полосу (2 Dimensional Strip Packing Problem, 2DSP). Заданы размеры прямоугольников (предметов) и один из размеров полосы, например, ширина W, второй – длина – является переменным. Требуется найти упаковку прямоугольников в полосу минимальной длины L.

За основу послойных алгоритмов принимается принцип размещения прямоугольников группами, составляющими полосы (слои). Стратегия состоит в последовательном выполнении идентичных шагов, каждый из которых выполняется для выделенного (выбранного по какому-либо правилу) на предыдущем шаге прямоугольника. Построение слоя: полоса (лист, в случае раскроя листа на прямоугольные заготовки) разделяется на вертикальные слои, которые заполняются прямоугольниками автономно. Возможность разработки различных вариантов алгоритмов на основе послойной технологии заключается в комбинации способов формирования правил построения слоя, формирования группы прямоугольников (например, «склейка» близких по размеру прямоугольников), выбора текущего прямоугольника для размещения и др. Эти правила могут опираться, например, на случайный выбор, или «первый подходящий», или «самый» и т.п. Подобная стратегия удобна для гильотинного раскроя (рис. 1, *а*). Условие гильотинности резов характерна для станков, например, в массовом производстве, машиностроении.

Многие эвристики включают послойную стратегию, начало которой заложено в работах M. Adamowich & A. Albano [5]. Послойные подходы популярны и для 3D упаковки, и нашли свое отражение в работах A. Lodi, S. Martello, D. Vigo [6] и многих других.

УРОВНЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Уровневые стратегии сходны с послойными технологиями. Уровневые алгоритмы используют стратегию, когда каждый новый элемент упаковывается с выравниванием, например, по левому и нижнему краю. Через правую сторону прямоугольника максимальной длины проводят вертикальную линию. Полубесконечная полоса оказывается разделенной на уровни прямоугольной формы, содержащие целиком все покрывающие их прямоугольники. Простые и популярные алгоритмы на основе уровневой технологии со стратегиями: следующий подходящий (NFD); лучший подходящий (BFD) и др. (рис. 1, *б*). Разнообразия алгоритмов на основе этой технологии можно добиваться, например, способами сортировки последовательности прямоугольников, или однофазным, двухфазным и т.п. способами применения стратегий, или включением вероятностных процедур.

Уровневые алгоритмы появились позднее послойных, одновременно с метаэвристиками. Тогда конструирование решений на каждом шаге сложными способами перестало быть столь актуальным. Уровневую технологию использовал A. Bortfeldt при разработке генетического алгоритма [7]. Она позволила при реализации генетических процедур обходиться без алгоритмов-декодеров, преобразующих код упаковки в план упаковки. Однако при применении уровневых технологий неизбежными оказываются потери за счет введения уровней большой длины. Эта технология, безусловно, удобна для конструирования гильотинных раскроев.

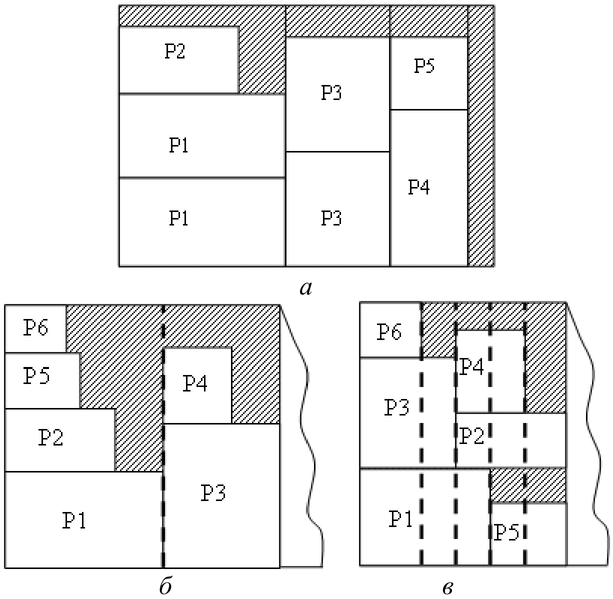

Рис. 1. Планы упаковок, технологии:
а – послойная; б – уровневая со стратегией «лучший подходящий»; в – блочная со стратегией «лучший подходящий»

БЕЗУРОВНЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Следующими по сложности и эффективности являются безуровневые алгоритмы. Способы конструирования решений на основе этой технологии можно назвать алгоритмами «здравого смысла». Они имитируют работу опытного мастера по раскрою, упаковке или размещению. Основная однопроходная безуровневая стратегия известна под названием нижний-левый (Bottom-Left, BL) и состоит в упаковке следующего элемента в самую нижнюю возможную позицию, выравнивая по левому краю [8]. На основе здравого смысла можно перестраивать полученные решения для улучшения, тем самым реализовывать многопроходные алгоритмы.

БЛОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Блочная технология моделирования решений задачи прямоугольной упаковки основана на представлении 2D-упаковки одномерным раскроем специального вида. Это позволяет применять модифицированные методы решения одномерной задачи для конструирования решения двух- и трехмерных задач.

Пара блок-структур как способ кодирования прямоугольной упаковки [9]. Пусть имеется прямоугольная упаковка RP. Проведем мысленно через правые стороны прямоугольников вертикальные резы. Они разделяют RP на прямоугольные вертикальные блоки одной и той же ширины W и различной длины χ_j. Пусть длина RP равна L. Аналогично получают горизонтальные блоки. Так мы получаем две блок-структуры для RP, вертикальную и горизонтальную (рис. 2). Каждому блоку j соответствует запись $S_j(\widetilde{S}_j)$, в которой перечислены номера прямоугольников, пересекающих этот блок по направлению снизу вверх в вертикальном случае (слева направо в горизонтальном). Для каждого вертикального блока j указана его длина χ_j, для горизонтального – ширина η_j. Упаковке, изображенной на рис. 2, соответствуют вертикальная и горизонтальная блок-структуры:

$$S_j : ((1{,}3{,}6)\chi_1; (1{,}7{,}6)\chi_2; (1{,}6)\chi_3; (2{,}4{,}6)\chi_4;$$
$$(2{,}5)\chi_5);$$
$$\widetilde{S}_j : ((1{,}2)\eta_1; (1{,}4{,}5)\eta_2; (3{,}4{,}5)\eta_3; (3{,}7{,}4{,}5)\eta_4;$$
$$(3{,}7{,}5)\eta_5; (6{,}7)\eta_6; (6)\eta_7)$$

Условия соответствия блок-структур и допустимой 2D-упаковки представлены в [9].

На основе блочной технологии можно конструировать, например, следующие алгоритмы: Блочный следующий подходящий (BNF), Блочный первый подходящий (BFF), Блочный Лучший подходящий (BBF) (рис. 1, *в*). Кроме того, разработаны эффективные эволюционный блочный, генетический блочный алгоритмы [9].

Безусловным преимуществом блочных структур является лучшее использование свободных для размещения областей. Однако это не означает явного преимущества блочных структур по сравнению с уровневыми представлениями. Уровневые структуры удобно ориентированы как на гильотинный раскрой, так и на упаковку. Этот феномен хорошо продемонстрировал A. Bortfeldt [7] для случаев, когда имеется достаточное количество небольших деталей, распределенных по различным уровням. Тем не менее преимущества в этом смысле блочных алгоритмов хорошо подтверждается численными экспериментами на примерах [9].

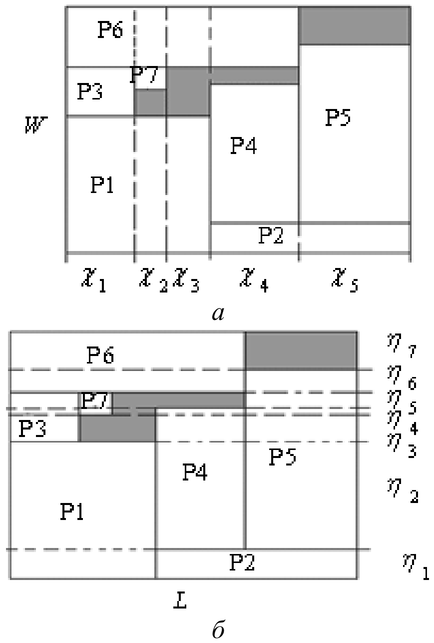

Рис. 2. Блок-структуры упаковки:
а – разделение упаковки на вертикальные блоки;
б – разделение упаковки на горизонтальные блоки

МАТРИЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Геометрическая составляющая рассматриваемых в статье задач накладывает определенные трудности в преобразовании информации при конструировании решений, связанные с учетом геометрических особенностей, например, области, в которой размещаются предметы. В связи с этим широко используется матричный способ представления информации о геометрии. Так, например, в [2] предложен метод наложения двумерных матриц для решения следующей задачи.

Задача 2D геометрического покрытия. Требуется расположить различные геометрические объекты на покрываемой поверхности таким образом, чтобы вся поверхность была покрыта с наименьшей площадью перекрытий объектов, а также использовать наименьшее количество объектов.

В алгоритме покрытия двумерными матрицами [2] каждая покрываемая область представляется в виде матрицы. В двумерной матрице каждая ячейка представляет собой пиксель на плоскости. Элементы матриц указывают на непокрытую, покрытую однократно или многократно геометрическими объектами область.

Нами предлагается алгоритм на основе матричной технологии для решения следующей задачи.

Задача размещения прямоугольников в многосвязный ортогональный полигон (МОП). Дана ортогональная многоугольная область, для которой известны ширина W и длина L описывающего прямоугольника, а также координаты (χ_ν, η_ν) и размеры $(\omega_\nu, \lambda_\nu)$, $\nu = \overline{1,\mu}$ прямоугольных препятствий внутри области (рис. 3, *а*). Необходимо найти план размещения прямоугольных объектов с максимальным коэффициентом размещения [10].

Алгоритм на основе матричной технология проектирования размещения прямоугольных объектов внутри многоугольной области подробно описан в [11] и основан на представлении МОП в виде двумерного бинарного массива. Через все грани препятствий проводятся сквозные линии. В результате область с препятствиями оказывается покрытой сетью (рис. 3, *б*), каждая ячейка которой либо не содержит препятствий (значение «0» в бинарной матрице), либо является препятствием или частью препятствия (значение «1» в бинарной матрице). Далее выбирается начальная пустая ячейка (например, левая нижняя), начиная с которой, согласно какому-либо критерию, происходит объединение смежных пустых ячеек в прямоугольную область. Возможные критерии выбора направления объединения: горизонтальное, вертикальное, диагональное (чередование горизонтального и вертикального), случайный выбор направления (равновероятностное; пользовательское – вероятности выбора направлений задаются «вручную»; пропорциональное – вероятность выбора направлений зависит от соотношения длины и ширины области). Объединение происходит до тех пор, пока на пути не встретится ячейка-препятствие, после чего вновь ищется начальная ячейка и все шаги повторяются. Процесс продолжается до тех пор, пока все пустые ячейки не будут отнесены к какой-либо прямоугольной области (боксу). В результате исходный МОП будет разбит на прямоугольные области, в которые далее необходимо разместить прямоугольные объекты (рис. 3, *в*). Таким образом задача сводится к задаче 2 – D упаковки.

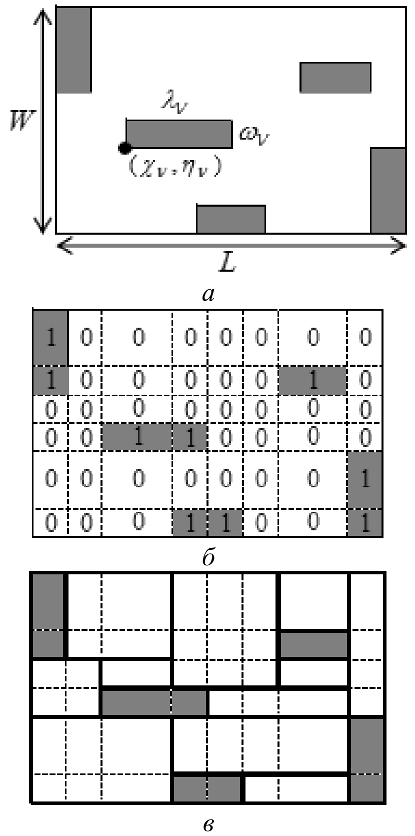

Рис. 3. Пример матричной декомпозиции МОП на прямоугольные области:
а – многосвязный ортогональный полигон; б – построение бинарной матрицы; в – результат объединений ячеек в прямоугольные области

Матричная технология моделирования решений показала хорошие результаты как на реальных, так и на сгенерированных тестовых примерах и позже получила развитие в [13], где была успешно применена для решения многокритериальной задачи геометрического покрытия.

В [14] было предложено расширить использование матричной технологии для размещения ортогональных многоугольников.

Задача размещения многоугольных объектов в многосвязный ортогональный полигон.

Имеется прямоугольная область размерностью $W \times H$, а также множество видов ортогональных многоугольников $P = (p_1, p_2, \ldots, p_i, \ldots, p_n, \ldots, p_{n+b})$, где n – количество видов многоугольников, b – количество препятствий, $i = \overline{1, n}$ –номера фигур, $i = \overline{n+1, n+b}$ – номера препятствий, s_i – площадь объектов множества P ($i = \overline{1, n+b}$).

Все многоугольники множества P должны удовлетворять следующим условиям:

1. *Ортогональность* – все грани многоугольника расположены под углом 90° по отношению друг к другу и к области размещения. Каждая вершина множества имеет ровно две примыкающие к ней грани, причем одна из них расположена горизонтально, другая – вертикально.

2. *Непересечение* граней – грани многоугольника могут соприкасаться (пересекаться) только в его вершинах.

3. *Односвязность* – все вершины многоугольника должны быть связаны между собой гранями, т.е. из любой вершины j можно построить путь к любой другой вершине k, $j \neq k$.

4. *Замкнутость* – из любой вершины можно построить путь, соединяющий все вершины, проходящий по каждой грани только один раз и заканчивающийся в этой же самой вершине.

5. *Соразмерность* – ширина и высота описывающего прямоугольника каждого объекта не должны превышать соответствующие размеры области размещения; площадь каждого многоугольника не должна превышать пригодную для размещения площадь области.

Необходимо найти план размещения многоугольников $P_n \subseteq P$ ($i = \overline{1, n}$) внутри заданной области при выполнении условий допустимости размещения:

1. Описывающие прямоугольники объектов не выходят за границы области размещения;

2. Размещенные многоугольники и препятствия из множества P пересекаются между собой.

3. Позволит наиболее эффективно использовать полезную площадь области размещения, т.е. для размещенных в область объектов.

Идея использования матричного подхода для решения этой задачи состоит в представлении в матричном виде не только области размещения, но и размещаемых многоугольников.

Каждому объекту множества *P* ставится в соответствие элементная матрица, ячейки которой содержат значение «*i*», если соответствуют непустой части объекта p_i, и «0» – в противном случае (рис. 4).

i	*i*	0	0	*i*	*i*	0
i	*i*	0	0	*i*	*i*	0
i	*i*	*i*	*i*	*i*	*i*	0
0	*i*	*i*	*i*	*i*	*i*	0
0	*i*	*i*	*i*	*i*	*i*	*i*
0	0	0	0	*i*	*i*	*i*
0	0	0	0	*i*	*i*	*i*

Рис. 4. Пример элементной матрицы объекта

Далее значения в ячейках матрицы области сопоставляются со значениями в ячейках элементных матриц с целью проверки возможности размещения соответствующего объекта.

В рамках этого подхода было предложено использовать различные комбинации алгоритмов определения позиции для размещения и способов упорядочения списка фигур [15], а также многопроходные эвристики.

ТЕХНОЛОГИЯ НА ОСНОВЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР

В некоторых работах при решении задач геометрического покрытия многоугольных областей широко используется технология конструирования алгоритмов на основе специальных геометрических структур. Например, в [13, 16] в качестве таких структур выступают многоугольники Вороного, которые применяются при описании математических моделей и выборе стартовых точек размещения. Каждая фигура задается координатами центра, а также радиусом – в случае кругов [16] или расстоянием до границ фигуры – в случае прямоугольников [13]. Для характеристики степени покрытия области фигурами используются методики на основе теории Г- и Ф-функций [1]. Специальные геометрические структуры, такие как диаграмма Вороного, используются и при покрытии областей в пространствах большей мерности. Так, в [17] в качестве объекта покрытия выступает выпуклое многогранное множество в трехмерном пространстве, которое необходимо покрыть минимальным количеством одинаковых шаров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечисленный выше список технологий конструирования решений в задачах геометрического размещения, несомненно, можно дополнить. Например, технологией на основе полного перебора [18]. К этому варианту относятся методы типа ветвей и границ, отсечений, в которых анализируются все варианты размещений. Для подобных алгоритмов важным вопросом являются способы уменьшения неперспективных областей поиска решений. Алгоритмы подобного рода эффективны с точки зрения точности решения, но неэффективны с точки зрения затраченного времени на получение этого решения, что не всегда приемлемо на практике.

Анализ предметной области, оценка имеющих ресурсов позволит разработчику выбрать подходящую технологию для создания алгоритмов решения прикладной задачи геометрического размещения. Совмещая и комбинируя различные стратегии на основе одной технологии, можно создавать варианты алгоритма и выбрать наиболее эффективный из них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Стоян Ю. Г.** Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. Киев: Наукова думка, 1986. **[** Y. G. Stoyan, *Mathematical models and optimization methods of geometric planning,* (in Russian). Kiev: Naukova Dumka, 1986. **]**

2. **Забелин С. Л., Фроловский В. Д.** Разработка и исследование моделей, методов и алгоритмов для синтеза и анализа решений задач геометрического покрытия // Вестник Сиб-ГУТИ. 2013. № 2. С. 42–53. **[** S. L. Zabelin, V. D. Frolovsky, "The models, methods and algorithms of geometrical covering problems solutions synthesis and analysis elaboration and research," (in Russian), in *Vestnik Sib-GUTI*, no. 2, pp. 42-53, 2013. **]**

3. **Filippova A. S., Valiakhmetova J. I.** Optimal use of resources: cutting-packing problem // Advances in Economics and Optimization: Collected Scientific Studies Dedicated to the Memory of L. V. Kantorovich. NY, United States of America, 2014. P. 435–487. **[** A. S. Filippova, J. I. Valiakhmetova, "Optimal use of resources: cutting-packing problem," (in English), in *Ad-*

vances in Economics and Optimization: Collected Scientific Studies Dedicated to the Memory of L. V. Kantorovich. NY, United States of America, pp. 435-487, 2014.]

4. **Филиппова А. С., Дяминова Э. И.** Технологии разработки алгоритмов геометрического размещения // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016) Proc. of the 4th International Conference. 2016. P. 219–223. [A. S. Filippova, E. I. Dyaminova, "The technologies of geometric placing algorithms development," (in Russian), *in Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016) Proc. of the 4th International Conference*, 2016, pp. 219-223.]

5. **Adamovicn A., Albano A.** Nesting two-dimensional shapes in rectangular Modules // Comput. Aeded Design. 1976. No. 8(1). P. 27–33. [A. Adamovicn, A. Albano, "Nesting two-dimensional shapes in rectangular Modules," in *Comput. Aeded Design*, no. 8(1), pp. 27–33, 1976.]

6. **Lodi A., Martello S., Vigo D.** Heuristic and metaheuristic approaches for a class of two-dimensional bin packing problems Algorithms // INFORMS J. Comput. 1999. No. 11. P. 345–357. [A. Lodi, S. Martello, D. Vigo, " Heuristic and metaheuristic approaches for a class of two-dimensional bin packing problems Algorithms," in *INFORMS J. Comput*, no. 11, pp. 345-357, 1999.]

7. **Bortfeldt A.** A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces // European Journal of Operation Research. 2006. No. 172(3). P. 814–837. [A. Bortfeldt, "A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces," in *European Journal of Operation Research*, no. 172(3), pp. 814–837, 2006.]

8. **Baker B. S., Goffman Jr. E. G., Riverst R. L.** Orthogonal packing in two dimensions // SIAM J. Comput. 1980. P. 846–855. [B. S. Baker, Jr. E. G. Goffman, R. L. Riverst, "Orthogonal packing in two dimensions," in *SIAM J. Comput,* no. 9, pp. 846-855, 1980.]

9. **Мухачева А. С.** Технология блочных структур локального поиска оптимума в задачах прямоугольной упаковки // Информационные технологии. Новые технологии, 2004. № 5. С. 19–31. [A. S. Mukhacheva, "The block structure technology of local optimum search in 2D packing problems," (in Russian), in *Information Technologies*, no. 5, pp. 19-31, 2004.]

10. **Хасанова Э. И., Филиппова А. С.** Задача размещения геометрических объектов на многосвязном ортогональном полигоне // Математическое программирование и приложения: матер. Всеросс. конф. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. №12. С. 215 [E. I. Hasanova, A. S. Filippova, "The problem of placing geometric objects in a multi-coherent orthogonal polygon," (in Russian), in *Matematicheskoye programmirovaniye i prilozheniya*: *Proc. Workshop, Ekaterinburg, no. 12, p. 215*]

11. **Мухачева Э. А., Валиахметова Ю. И., Хасанова Э. И., Телицкий С. В.** Проектирование размещения ортогональных объектов на полигонах с препятствиями // Информационные технологии. 2010. №10. С. 16–22. [E. A. Mukhacheva, J. I. Valiakhmetova, E. I. Hasanova, S. V. Telitsky, "The placing of orthogonal objects in polygon with barriers projection," (in Russian), in *Informacionnie tehnologii*, no. 10, pp. 16-22, 2010.]

12. **Филиппова А. С., Валиахметова Ю. И., Хасанова Э. И.** Многокритериальная оптимизация: комплексная задача геометрического покрытия и раскроя // Прикладная математика и фундаментальная информатика: ежегодный научный журнал. Омск: изд-во ОмГТУ, 2014. №1. С. 112–115. [A. S. Filippova, E. I. Hasanova, J. I. Valiakhmetova, "Multicriteria optimization: the complex problem of geometric covering and cutting," (in Russian), in *Prikladnaya matematika i fundamentalnaya informatika: Annual Scientific Journal*, Omsk, no. 1, pp. 112-115, 2014.]

13. **Романова Т. Е., Кривуля А. В., Злотник М. В**. Трансляционное покрытие // Reports of the National Academy of Science of Ukraine, 2008. No. 7. P. 48–53. [T. E. Romanova, A. V. Krivulya, M. V. Zlotnik, "Translational covering," (in Russian), in *Reports of the National Academy of Science of Ukraine*, no. 7, pp. 48-53, 2008.]

14. **Дяминова Э. И., Хасанов Р. И., Филиппова А. С.** Матричная модель представления данных в автоматизированных системах оптимального размещения ортогональных объектов // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: материалы Всерос. молодежной научной школы. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. Ч. 1. С. 37–43. [E. I. Dyaminova, R. I. Hasanov, A. S. Filippova, "Data presentation matrix model in automated systems of orthogonal objects optimal placing," (in Russian), in *Optimizacia i modelirovanie v avtomatizirovannih sistemah*: *Proc. Workshop,* Voronezh, 2017, vol. 1, pp. 37-43.]

15. **Использование** эвристик для поддержки принятия решений при размещении геометрических объектов в многосвязный ортогональный полигон / А. С. Филиппова [и др.] // Труды VII Всероссийской научной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений», (Уфа-Ставрополь-Ханты-Мансийск, Май 28-30). 2019. Т. 1. С. 131–142. [A. S. Filippova, *et al*. "Using heuristics for decision support when placing geometric objects in a multi-coherent orthogonal polygon," (in Russian), in *Proc. 7th Workshop on Information Technologies for Information Technologies for Intelligent Decision Making Support* (ITIDS'2019), 2019, vol. 1, pp. 131-142.]

16. Stoyan Y. G., Patsuk V. M. Covering polygonal set by identical circles // Computational Optimization and Applications. Vol. 46, Issue 1. P. 75–92. [Y. G. Stoyan, V. M. Patsuk, "Covering polygonal set by identical circles," in Computational Optimization and Applications, vol. 46, issue 1, pp. 75-92.]

17. Стоян Ю. Г., Пацук В. Н. Метод покрытия выпуклого многогранного множества минимальным количеством одинаковых шаров // Reports of the National Academy of Science of Ukraine. 2009. No. 5. P. 41–45. [Y. G. Stoyan, V. M. Patsuk, "The method of covering a convex polyhedral set with a minimum number of identical orbs," (in Russian), in *Reports of the National Academy of Science of Ukraine,* no. 5, pp. 41-45, 2009.]

18. Картак В. М., Фабарисова А. И. Методы целочисленного линейного программирования в задаче оптимального размещения полиминообразных фигур // Прикладная математика и фундаментальная информатика: Сб. науч. тр. Омск: изд-во ОмГТУ, 2015. №2. С. 76–81. [V. M. Kartak, A. I. Fabarisova, "Integer linear programming methods in the polymino-shaped figures optimal placing problem," (in Russian), in *Prikladnaya matematika i fundamentalnaya informatika: Annual Scientific Journal*, Omsk, no. 2, pp. 76-81, 2015.]

ОБ АВТОРАХ

ФИЛИППОВА Анна Сергеевна, зав. каф. прикладной информатики инст. проф. образования и инф. технологий (БГПУ). Дипл. инженер-системотехник (УГАТУ, 1996). Д-р техн. наук по спец. «Мат. моделирование и численные методы и комплексы про-грамм» (СГАУ, 2007). Иссл. в обл. методов оптимизации.

ДЯМИНОВА Элина Ильдаровна, доц. каф. прикладной информатики инст. проф. образования и инф. технологий (БГПУ). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. оптимизационных задач размещения и раскроя.

METADATA

Title: The geometric placing algorithms construction techniques

Authors: A. S. Filippova[1], E. I. Dyaminova[2]

Affiliation:

Bashkir State Pedagogical University named after M.Akmulla (BGPU), Russia.

Email: [1]annamuh@mail.ru, [2]xasel@mail.ru

Language: Russian.

Source: SIIT (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2, pp. 63-70, 2019. ISSN 2686-7044 (Online), ISSN 2658-5014 (Print).

Abstract: The approaches and methods of developing algorithms for solving optimization problems of geometric placing are considered. The most problems of this kind belong to the class of cutting-packing problems and have non-polynomial complexity. The article provides an overview of the development technologies for new algorithms, such as: layered, level, levelless, block, matrix technologies and also the technology based on special geometric structures. Examples are given. Algorithms for local optimum search based on block and matrix technology are proposed. The extension variant of using matrix technology is considered - solving the problem of placing polygonal orthogonal figures inside a complex area.

Key words: geometric placing problem; layered technology; level technology; levelless technology; block technology; matrix technology; multicoherent orthogonal polygon; placing of polygonal objects.

About authors:

FILIPPOVA, Anna Sergeevna, Head of Dept. of Applied Informatics, Inst. of Professional Education and Informational Technologies (Bashkir State Pedagog. Univ.), Dipl. Systems Engineer (UGATU, 1996). Cand. of Techn. Sci. (Ufa State Univ., 1999). Dr. of Techn. Sci. (Samara State Aerospace Univ., 2007).

DYAMINOVA, Elina Ildarovna, Associate Prof., Dept. of Applied Informatics, Inst. of Professional Education and Informational Technologies (Bashkir State Pedagog. Univ.), Dipl. Economist-matematician, (UGATU, 2007). Cand. of Tech. Sci (UGATU, 2011).