



10. T. Stützle, H. Hoos, “MAX-MIN Ant System and local search for the traveling salesman problem” // IEEE International Conference on Evolutionary Computation, pp.309-314, 1997.

11. Bernd Bullnheimer, Richard F. Hartl, Christine Strauß, “A new rank based version of the Ant System. A computational study” // Adaptive Information Systems and Modelling in Economics and Management Science, 1, 1997.

12. T. Stützle, M. López-Ibáñez, P. Pellegrini, M. Maur, M. de Oca, M. Birattari, Michael Maur, M. Dorigo, “Parameter Adaptation in Ant Colony Optimization” // Technical Report, IRIDIA, Université Libre de Bruxelles, 2010.

М.А. Верхотуров, Г.Н. Верхотурова, О.М. Верхотурова

## NO-FIT-POLYGON/POLYHEDRON - ОРИЕНТИРОВАННАЯ АДАПТАЦИЯ МЕТОДА "МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТЖИГА" ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НЕРЕГУЛЯРНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

### Аннотация

В статье рассматривается задача нерегулярного размещения геометрических объектов (ГО). Для ее решения применяется метод "моделирование отжига" (*Simulated Annealing - SA*) и его модификации, адаптированные на базе применения *No-Fit-Polygon/Polyhedron(NFP)*. Приводятся алгоритмы.

### 1. Введение

Задача нерегулярного размещения геометрических объектов (*Irregular Cutting Stock Problem - ICSP*) является *NP* – трудной проблемой и не позволяет находить точное решение для большого числа объектов за приемлемое время даже при введении некоторых ограничений. Для решения практических задач применяются эвристические методы решения. Одному из них, методу "Моделирование отжига" (*SA*) и его модификациям, посвящена данная статья.

### 2. Метод "Моделирование Отжига"

Метод *SA* был предложен независимо друг от друга двумя авторами Киркпатриком (1983г.) [1] и Церни (1985г.) [2] как метод минимизации функции многих переменных.

Идея была взята из алгоритма Метрополиса (1953г.) [3], который предложил простой алгоритм моделирования процесса отжига.

Киркпатриком и Церни была проведена аналогия между процессом охлаждения и решением задачи комбинаторной оптимизации. Аналогия между основными понятиями физической системы и комбинаторной оптимизации приведена в следующей таблице (см.

Таблица 1).



**Таблица 1 Соответствие понятий**

Физические системы	Задачи оптимизации
Состояние	Решение
Энергия	Функция цели
Охлажденное состояние	Оптимальное решение
Постепенное охлаждение	Пошаговое улучшение
Отжиг	Моделирование отжига

Общий алгоритм  $SA$  выглядит следующим образом:

$S :=$  начальное решение  $S_0$ ;  $T :=$  начальное решение  $T_0$

**while** Критерий окончания **do** {

**while** НЕ Состояние равновесия **do** {

$\bar{S} :=$  некоторое случайное соседнее решение  $S$

$\Delta E := E(\bar{S}) - E(S)$

$Pr ob := \min(1, e^{-\Delta E / k_b T})$

**if**  $random(0,1) \leq Pr ob$  **then**  $S := \bar{S}$

    }

    Изменить  $T$

}

Вывести лучшее решение

Определение начальной температуры  $T$ , приращения  $T$  на каждом шаге и определение "Состояния равновесия" называется "режимом охлаждения". Для определения параметров режима охлаждения применяются различные эвристики. Сходимость с разными режимами охлаждения описана, например, в [4].

Для адаптации метода  $SA$  к задаче нерегулярного размещения ГО необходимо выяснить следующие вопросы:

- определить целевую функцию;
- определить перечень возможных движений ГО.

Отличительной особенностью предложенных способов применения метода  $SA$  к рассматриваемой в работе задаче является использование таких произвольных перемещений и поворотов ГО, которые допускают взаимопересечение ГО между собой [5, 6]. Это влечет за собой следующий недостаток, присущий этим алгоритмам: возникновение ситуации, при которой не находится допустимое решение, т.е. не выполняются условия взаимного непересечения ГО между собой.

### 3. NO-FIT-POLYGON/POLYHEDRON - ориентированная адаптация метода "Моделирование отжига" (NFP-SA)

Рассмотрим один из возможных вариантов адаптации алгоритма  $SA$  для ICSP, использующий для определения условий не пересечения объектов аппа-



рат моделирования «*No-Fit-Polygon*» (для 2D) [7] и «*No-Fit-Polyhedron*» (для 3D) [8] и метод пообъектного размещения [9].

На начальном этапе одним из простейших методов формируется приоритетный список (ПС), например, по уменьшению площадей ГО, затем при помощи *NFP* генерируется карта  $K_0$ , являющаяся первым допустимым решением, которое собственно и является входной информацией для алгоритма, реализующего идеи метода *SA*.

Для выбора точки *NFP*, в которой будет размещен ГО, применяется локальная функция цели (ЛФЦ), в качестве которой может использоваться, например для 2D – расстояние от левой границы листа до вершин *NFP*. Таким образом, выбирается точка *NFP* с минимальным значением ЛФЦ.

Для реализации метода *SA* необходимо определить:

- целевую функцию;
- механизм получения новых допустимых решений для каждого из агентов (способ перехода).

**Функция цели.** В отличие от методов, использующих произвольные движения, метод применяющий моделирование *NFP*, не включает в целевую функцию штрафную составляющую, начисляемую за взаимопересечение ГО. Таким образом, может быть использована простейшая - минимизация занятой части области Р-У (например, для 2D - полубесконечной полосы).

**Способ перехода.** Для изменения расположения объектов используются три типа перемещений ГО в ПС:

- перемещение объекта на новое место;
- взаимозамена мест двух объектов;
- изменение ориентации объекта.

Основной сложностью при реализации метода *SA* является определение параметров "режима охлаждения", т.к. соответствующие им алгоритмы очень чувствительно относятся к изменениям этих параметров. Это характерно для решения большинства задач дискретной оптимизации.

Для устранения этого недостатка Дюком и Шеуером [10, 11] были предложены модификации метода *SA* – алгоритмы "Пороговой Допустимости" (*Threshold Accepting - TA*), "Всемирного Потопа" (*Great Deluge - GD*).

Алгоритм *TA* переходит к новому решению, которое не хуже, чем предыдущее старое, в отличие от *SA*, который переходит к худшему решению только с довольно небольшой вероятностью.

Рассмотренные оптимизационные эвристики имеют то преимущество перед методом *SA*, что они зависят только от одного параметра.

Так, например, для алгоритма *GD* необходимо выбрать только величину *Скорость\_подъема\_воды*. Эта величина, которая влияет на время вычислений и качество получаемого результата. Если *Скорость\_подъема\_воды* выбирается большой, то алгоритм работает быстро, но выдает результат среднего качества. Если же эта величина выбирается малой, то алгоритм выдает хороший результат, но после длительного времени счета.



Применение алгоритмов "Пороговой Допустимости" *TA*, "Всемирного Потопа" *GD* для решения *ICSP* производится аналогично адаптации метода *SA* с использованием *NFP*.

#### 4. Заключение

В заключении можно сделать следующие выводы:

- разработана адаптация метода "моделирование отжига" *SA* для решения задач нерегулярного размещения ГО на базе аппарата *NFP*;
- в связи с тем, что операция *NFP* является для данного метода базовой и часто повторяемой процедурой, то она должна работать максимально надежно и быстро;
- применение таких модификаций метода "моделирование отжига" *SA*, как: "Пороговая Допустимость" *TA*, "Всемирный Потоп" *GD* для решения *ICSP* производится аналогично *NFP-SA*.

#### Литература

1. Kirkpatrick S., Gelatt C.D., Vecchi M.P. Optimization by simulated annealing, *Science* 220, 1983, pp.671-680.
2. Cerny V. Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: an efficient simulation algorithm, *J. Opt. Theory Appl.*, 45, 1985, pp.41-51.
3. Metropolis, N., Rosenbluth A., Rosenbluth M., Teller, A. and Teller, E., "Equation of State Calculations by Fast Computing Machines" *J. Of Chem. Physics*, 21, 1953, pp.1087-1092.
4. Aarts L., Van Laarhoven P. Statistical cooling: a general approach to combinatorial optimization problems, *Philips J.Res* 40, pp.193-226, 1985.
5. Lutfiyya H., McMillin B., Poshyanonda P., Dagli C. Composite stock cutting through simulated annealing.- *Tech. report numbers CSC 91-09 and ISC 91-04*, University of Missouri at Rolla, Rolla, 1991, 50p.
6. Dowland K.A. Some experiments with simulated annealing techniques for packing problems, *EJOR*, 68, 1993, pp.389-399.
7. Jens Egeblad, Benny K. Nielsen, Allan Odgaard. Fast neighborhood search for two and three-dimensional nesting problems. *European Journal of Operational Research* 183 (2007), pp.1249–1266.
8. Верхотуров М.А., Верхотурова Г.Н., Ягудин Р.Р. Оптимизация размещения невыпуклых многогранников на основе динамической схемы определения *NFP* // Перспективные информационные технологии: Труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: издательство Самарского научного центра РАН, 2016. – С.52-55.
9. Верхотуров М.А. Задача нерегулярного размещения геометрических объектов: современное состояние методов решения // Ресурсосберегающие технологии. - СПб: ЦНИИТС.-2001.-С.33-56.
10. Dueck G. New optimization heuristics, *J.Comp. Phys.* 104, 1993, pp.86-92.
11. Dueck G. Scheuer T. Threshold accepting : a general purpose optimization algorithm appearing superior to simulated annealing. - *J.Comp.Phys.*, 1990, 90p.