

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ РАССТАНОВКИ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

В.А. Чеканин

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

МГТУ «СТАНКИН»

Россия, 127994, Москва, Вадковский пер., 1

E-mail: vladchekanin@yandex.ru

Ключевые слова: задача расстановки, задача упаковки, программная система, ортогональный многогранник, компьютерное моделирование.

Аннотация: В работе описывается разработанная программная система, предназначенная для решения задач оптимизированной расстановки объектов произвольной геометрии. В ее основе лежит использование алгоритмов, основанных на представлении размещаемых объектов в виде ортогональных многогранников. Приведено описание основных функциональных возможностей программной системы. Перечислены основные операции, обеспечивающие формирование и преобразование ортогональных многогранников во время препроцессорной подготовки задачи. Представлены примеры схем оптимизированной расстановки объектов сложной формы, полученных с использованием разработанной программной системы.

1. Введение

Задача расстановки представляет собой оптимизационную задачу поиска наиболее компактного варианта плотного размещения заданного набора объектов внутри некоторого замкнутого пространства, называемого контейнером. К решению этой задачи сводится решение таких задач, как задача раскроя промышленных материалов, проектирования компоновок деталей и оборудования, размещения грузов, моделирования микроструктуры композиционных материалов, а также ряда других задач оптимизации распределения ресурсов различного рода [1].

При решении задач оптимизированной расстановки объектов сложной геометрии возникают две основные проблемы. Первая проблема обусловлена принадлежностью данной задачи к классу NP-трудных задач [2], по этой причине применение методов, основанных на переборе различных всевозможных вариантов решения, оказывается на практике крайне неэффективным. Эта проблема решается за счет применения эвристических и метаэвристических методов оптимизации, которые обеспечивают получение хороших по качеству (субоптимальных) решений за приемлемое время [3-5].

Вторая проблема связана с необходимостью корректного формирования схемы размещения объектов, обеспечивающей гарантированное неперекрывание размещаемых объектов произвольной геометрии. Она может быть решена путем применения различных методов [6, 7], среди которых можно выделить методы, непосредственно

анализирующие геометрию объектов (например, метод построения NFP-полигона), методы, использующие дополнительные контрольные функции для анализа взаимного положения объектов (например, метод ϕ -функций) или методы, основанные на упрощении формы объектов.

В работе описывается разработанная программная система, обеспечивающая компьютерное моделирование и решение задач оптимизированной расстановки объектов произвольной геометрии, представленных в форме ортогональных многогранников, полученных посредством вокселизации с последующим объединением вокселей в наборы крупных ортогональных объектов – прямоугольников или прямоугольных параллелепипедов (в зависимости от размерности задачи).

2. Описание разработанной программной системы

2.1. Общее описание

Разработанная программная система «Packer» предназначена для решения задач оптимизации распределения ресурсов произвольной формы на основе их приведения к задачам раскроя и упаковки ортогональных многогранников. Программная система зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 06 ноября 2019 г., № 2019664360). Система разработана на алгоритмическом языке программирования C++ с использованием библиотеки OpenGL.

Минимальные общесистемные требования:

- операционная система Microsoft Windows (версия XP или старше);
- объем требуемой оперативной памяти – минимум 32 МБ;
- в качестве вспомогательного инструмента используется свободное программное обеспечение – библиотека GLUT (лицензия GNU LGPL v3).

В основе данной системы лежит использование авторских научно обоснованных алгоритмов формирования и расстановки ортогональных многогранников произвольной размерности [8] с использованием модели потенциальных контейнеров [9-11], разработанных при проведении научных исследований в ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», а также в ИПУ РАН.

2.2. Функциональные возможности

Основные функциональные возможности программной системы «Packer»:

- формирование плоских и объемных ортогональных многогранников (в ручном режиме из ортогональных объектов, посредством вокселизации в автоматизированном режиме на основе файлов моделей, а также посредством вокселизации аналитически описанных объектов);
- редактирование ортогональных многогранников (применение теоретико-множественных операций (сложения, вычитания, объединения), операций декомпозиции на крупные ортогональные объекты, инвертирования, усечения, масштабирования, заполнения внутренних отверстий, поворота, уточнения геометрии);
- применение модели потенциальных контейнеров для описания свободного пространства;
- компоновка объектов сложной формы в одном или нескольких контейнерах произвольной геометрии;

- учет дополнительных ограничений при расстановке (задание отступов между объектами, отступов от границ контейнера, возможности поворота объектов при размещении, направления расстановки, ограничения времени решения);
- визуализация полученных схем размещения объектов;
- оптимизация размещения объектов в контейнерах на основе классического и мультиметодного генетических алгоритмов;
- быстрое формирование компоновки на основе применения простых эвристик [5];
- оптимизация распределения веса в упаковке на основе генетического алгоритма;
- поддержка плоских моделей в формате DXF;
- поддержка трехмерных моделей в формате OBJ;
- автоматизированная подготовка детализированных отчетов по решению задачи расстановки в формате HTML.

На рис. 1 представлено главное окно программной системы «Packer» в режиме задания параметров плоской задачи.

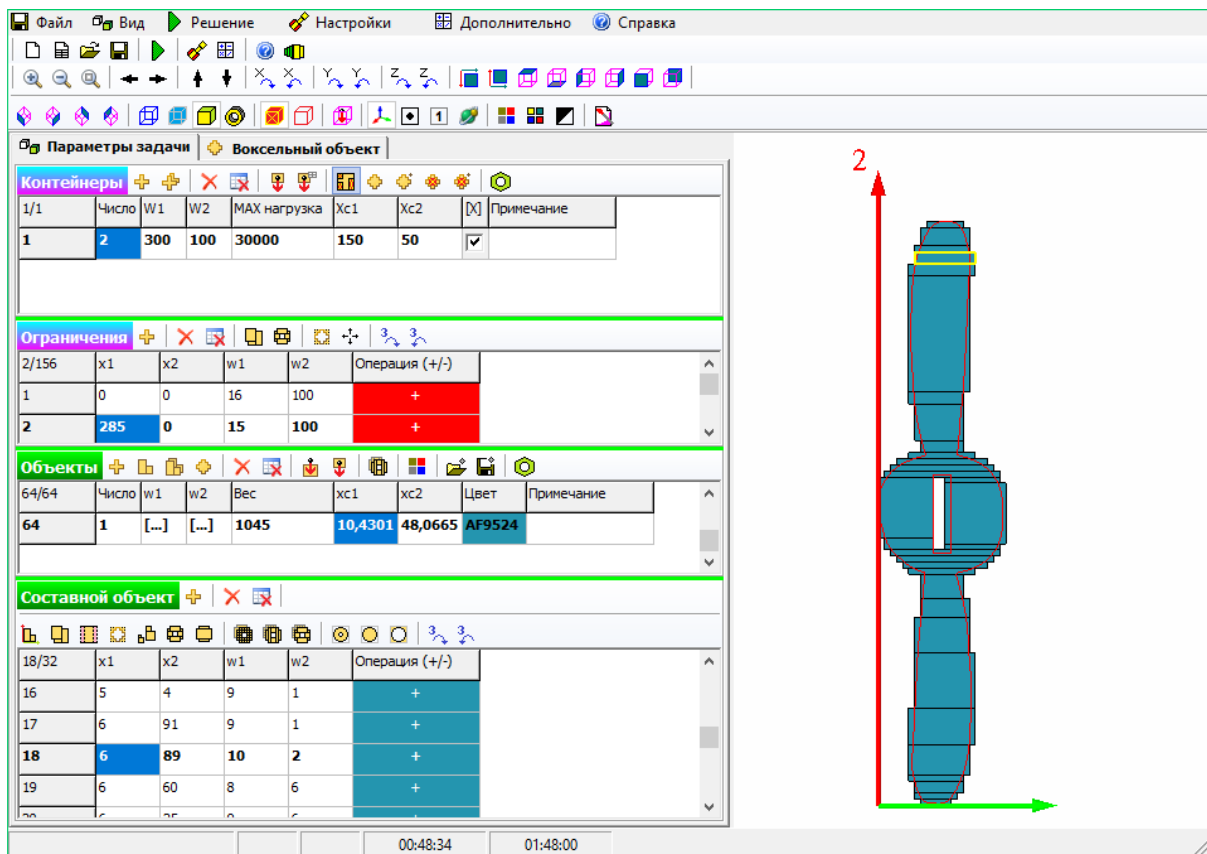


Рис. 1. Главное окно программной системы «Packer» в режиме задания контейнеров и объектов.

На рис. 2 представлено главное окно программной системы «Packer» в режиме визуализации результата решения задачи трехмерной упаковки (решалась задача компоновки деталей сложной формы на платформе 3D-принтера для последующего их изготовления методом селективного лазерного спекания).

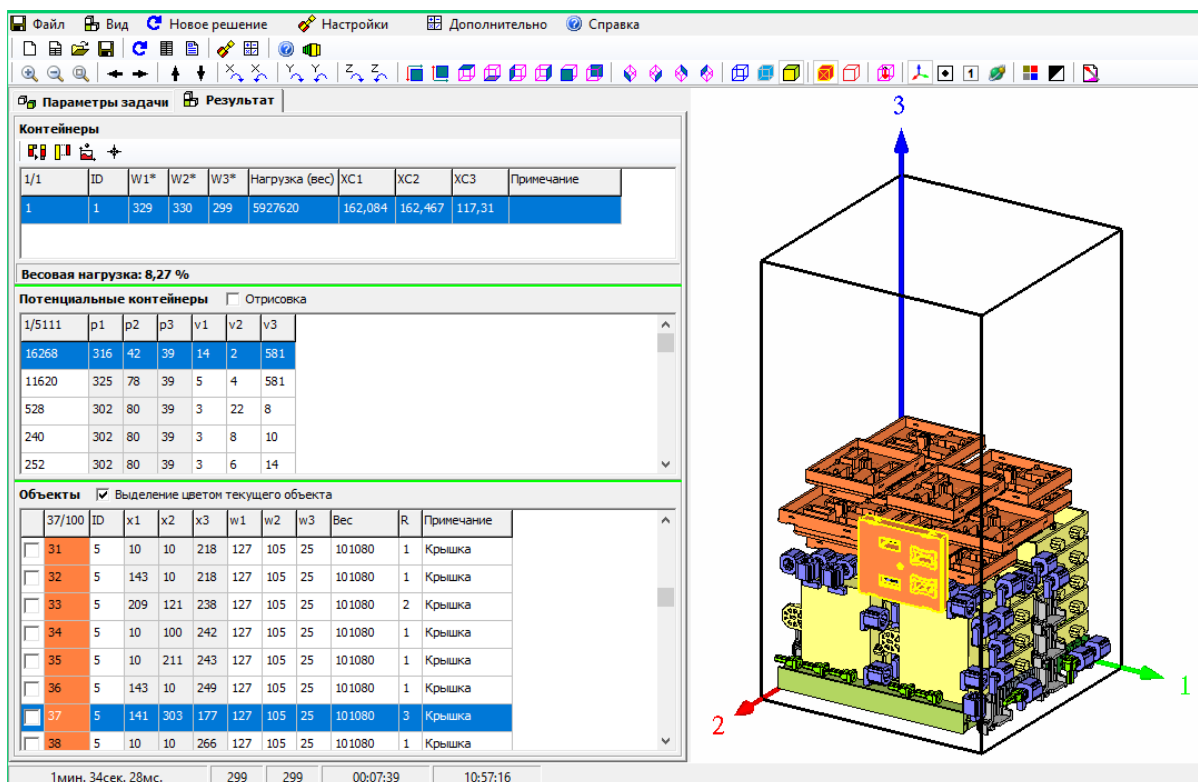


Рис. 2. Главное окно программной системы «Packer» в режиме визуализации решения задачи.

Примеры полученных решений задач оптимизированной расстановки плоских и объемных нерегулярных объектов внутри контейнера сложной формы представлены на рис. 3.

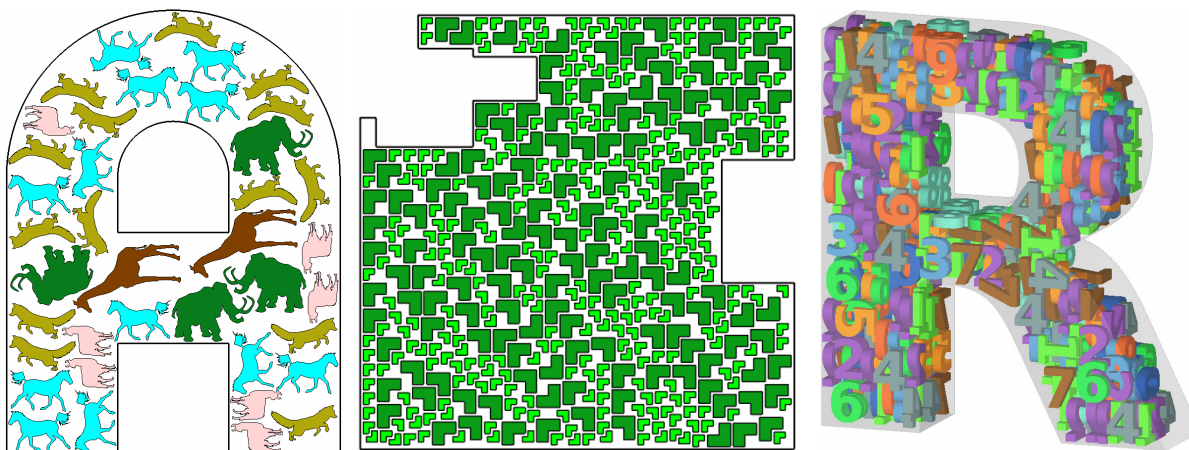


Рис. 3. Примеры расстановки объектов внутри непрямоугольных контейнеров.

3. Заключение

Разработанная программная система «Packer» имеет унифицированную архитектуру и основана на использовании авторской библиотеки для оптимизации решения задач раскроя и упаковки [12], которая позволяет добавлять как новые типы размещаемых объектов, так и включать новые типы применяемых алгоритмов

оптимизации, что дает широкие возможности для ее применения как для проведения научных исследований, так и для практического использования при решении самых разнообразных по постановке задач оптимизации распределения ресурсов.

Исследование выполнено в рамках научной программы национального центра физики и математики, направление №9 «Искусственный интеллект и большие данные в технических, промышленных, природных и социальных системах».

Список литературы

1. Валиахметова Ю.И., Филиппова А.С. Теория оптимального использования ресурсов Л.В. Канторовича в задачах раскроя-упаковки: обзор и история развития методов решения // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18, № 1 (62). С. 186-197.
2. Johnson D.S. A brief history of NP-completeness 1954-2012 // Documenta Mathematica. 2012. Extra Volume ISMP. P. 359-376.
3. Чеканин В.А. Эффективное решение задачи двухмерной контейнерной упаковки прямоугольных объектов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2011. № 6. С. 35-39.
4. Чеканин В.А. Мультиметодный генетический алгоритм для решения задач раскроя и упаковки прямоугольных объектов // Вестник МГТУ «Станкин». 2019. № 4 (51). С. 14-18.
5. Чеканин В.А., Чеканин А.В. Жадная эвристика размещения ортогональных многогранников для оптимизированного решения задач компоновки объектов нерегулярной формы // Прикладная информатика. 2023. Т. 18, № 4 (106). С. 26-39.
6. Стоян Ю.Г., Семкин В.В., Чугай А.М. Моделирование плотной упаковки 3D-объектов // Кибернетика и системный анализ. 2016. № 52 (2). С. 137-146.
7. Romanova T., Bennell J., Stoyan Y., Pankratov A. Packing of concave polyhedra with continuous rotations using nonlinear optimization // European Journal of Operational Research. 2018. Vol. 268, No. 1. P. 37-53.
8. Чеканин В.А., Чеканин А.В. Методы формирования ортогональных многогранников для задач раскроя и упаковки объектов произвольной геометрии // Прикладная информатика. 2022. Т. 17, № 3 (99). С. 84-96.
9. Chekanin A.V., Chekanin V.A. Effective data structure for the multidimensional orthogonal bin packing problems // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 962-965. P. 2868-2871.
10. Chekanin V.A., Chekanin A.V. Deleting Objects Algorithm for the Optimization of Orthogonal Packing Problems // Advances in Mechanical Engineering. Springer International Publishing. 2017. P. 27-35.
11. Чеканин В.А., Чеканин А.В. Применение модели потенциальных контейнеров для компоновки объектов сложной формы // Информационные технологии. 2022. Т. 28, № 7. С. 339-347.
12. Чеканин В.А., Чеканин А.В. Проектирование библиотеки метаэвристических алгоритмов для решения задач дискретной оптимизации // Современное машиностроение: Наука и образование : материалы 6-й международной научно-практической конференции / Под ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. С.Пб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 527-536.