

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ ПЛОТНОЙ УПАКОВКИ В ПОДСИСТЕМАХ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.С. Кущева¹, Е.С. Хухрянская²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная Академия им. профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина»

Аннотация. В работе рассмотрены особенности постановки задачи плотного заполнения контейнера сложной геометрической формы. При практической реализации в системах автоматизации необходим учет принятой системы типоразмеров и технологических допусков, которые зависят от применяемого конкретного оборудования или технологии проводимых работ.

Ключевые слова: укладка, упаковка, автоматизированное проектирование, геометрическое моделирование, оптимизация, размещение объектов.

THE STANDARDIZATION OF THE DENSE PACKAGING PROBLEM FORMULATION IN GEOMETRIC MODELING SUBSYSTEMS

I.S. Kuscheva¹, E.S. Khukhryanskaya²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Military Training and Research Center of the Air Force named after
N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin

Abstract. The paper considers the formulation features of the problem of dense filling of a complex geometric shape container. In practical implementation in automation systems, it is necessary to take into account the accepted system of standard sizes and technological tolerances, which depend on the specific equipment used or the work being carried out technology.

Keywords: stacking, packaging, computer-aided design, geometric modeling, optimization, object placement.

При достаточно общей постановке оптимизационной задачи плотной укладки/упаковки при реализации математического и программного обеспечения систем автоматизации проектирования (САПР) в подотраслях лесной и деревообрабатывающей промышленности имеет ряд специфических особенностей [1], для учета которых не существует унифицированного алгоритма решения.

Классическая формулировка задачи выглядит следующим образом: необходимо в контейнер плотно разместить объекты простой/сложной формы

при этом минимизировать или полностью исключить пустоты. В двумерном случае примером может служить геометрическое моделирование мозаичного паркета с включением уникальных художественных элементов [2].

Предложенную схему решения можно применить в других областях при схожих требованиях в постановке задачи. Так, например, в строительных работах часто возникает потребность расположить объекты одинаковой формы в двумерный контур нестандартной конфигурации, полностью используя пространство.

Одной из особенностей практического решения является соответствие размеров объектов принятой системе типоразмеров, а также учет допусков на пропил или швы, которые зависят от применяемого конкретного оборудования или технологии проводимых работ.

В целом, при проектировании и создании математического и программного обеспечения САПР процесс создания соответствующих моделей как контура контейнера W , заполняемого объектами, так и алгоритма генерации регулярного орнамента одинаковыми объектами либо оригинального включения с оговоренным расположением относительно особых точек области W можно разделить на следующие задачи или свести к ним:

1. Разработка математического описания контейнера, как входного объекта, где в отличие от классического [3], не требуется аппроксимация контура сплайнами. При этом модель представляется как многоугольник с базовой точкой, к которому сводится плоский контейнер W любой формы, это позволяет свести количество натурных измерений к минимуму без потери достоверности модели [4].

2. Формирование описания модели объекта, под которым понимают механизм размещения объектов в рамках контейнера по некоторой схеме. Размещение может быть как регулярным [5], что приводит к образованию орнамента полностью заполняющего контейнер, так и иррегулярным, помещающим геометрически сложный уникальный объект в область W , учитывая специфику последнего. При этом особенность модели включения, как и в случае описания контура контейнера, может быть трансформирована в совокупность многоугольников, объединенных базовыми точками.

Промышленное применение методик оптимизации должно предполагать учет специфики работы с материалами объектов, из которых формируется плотное заполнение контейнера. Например, принимать в расчет при создании модели допуски на пропил и швы, что приводит к нечеткости в постановке задачи, поскольку изменение линейных размеров должно согласовываться с действующими ГОСТами на объекты, с одной стороны, и не приводить к перерасходу материала с другой стороны [6]. Учитывая вышесказанное, плотную упаковку объектами двумерной замкнутой области можно отнести к задачам с использованием теории нечетких множеств.

Авторами [1, 4] было предложено решение в виде двухэтапного заполнения области как мультипликация атомарных объектов в пределах границ контейнера $\overline{W}$, представляющегося кортежем элементов

$$\bar{W} = \langle (\bar{V}_j, j=1, n_R(\bar{W})), (A_i, i=1..m_A), p_{0W} \rangle,$$

где $\bar{V}_j, j=1, n_R(\bar{W})$ – множество точек, образующих контур контейнера; n_R – количество V_j в контуре $\bar{W}$; p_{0W} – точка, указывающая центр системы координат, связанный с областью заполнения; $A_i, i=1..m_A$ – множество составляющих контейнер стандартных геометрических элементов.

В свою очередь объекты Ω , заполняющие контур, описываются подобным образом:

$$\bar{\Omega} = \langle (\bar{V}_j, j=1, n_R(\bar{\Omega})), (a_i, i=1..m_a), p_{0\Omega} \rangle$$

где n_R – количество углов в объекте; $\bar{V}_j, j=1, n_R(\bar{W})$ – множество вершин, входящих в объект; $p_{0\Omega}$ – центр внутренней системы координат; $a_i, i=1..m_a$ – множество подобъектов, из которых формируется внешний контур.

Таким образом, указанная стандартизированная методика формирования, как контуров объектов, так и контейнера, позволяет сказать о получении их унифицированного описания.

Список литературы

1. Кущева, И.С. Специфика некоторых оптимизационных моделей в задачах упаковки в подотраслях лесного комплекса / И.С. Кущева, Е.С. Хухрянская // Моделирование систем и процессов. – 2017. - Т. 10, № 3. – С. 10-18.
2. Кущева, И. С. Моделирование решений в САПР паркетных работ / И.С. Кущева, Е.С. Хухрянская // Моделирование информационных систем: Материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 19-20 мая 2021 года. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», 2021. – С. 346-350.
3. Аввакумов, В.Д. Оптимальное размещение плоских объектов произвольной геометрической формы / В.Д. Аввакумов // Информационные технологии. – 2009. – № 5. - С. 31–35.
4. Кущева, И.С. Обобщенная математическая модель описания входного объекта для задач размещения / И.С. Кущева, Т.И. Сушко, Е.С. Хухрянская // Физико-математическое моделирование систем: Материалы XVIII Международного семинара, Воронеж, 30 июня 2017 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2018. – Ч. 2. – С. 128-133.
5. Мартынов, В.В. Метод регулярного размещения плоских геометрических объектов на базе геометрических преобразований / В.В. Мартынов, А.В. Бабель // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т.17, № 2(55). – С. 208-214.

6. Высоцкая, И. А. Поиск множества допустимых управленческих решений в технических системах / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 35-42.

References

1. Kuscheva, I.S. Specificity of some optimization models in packaging tasks in forestry sub-sectors / I.S. Kuscheva, E.S. Khukhryanskaya // Modeling of systems and processes. – 2017. - Т. 10, No. 3. – P.10-18/.

2. Kuscheva, I.S. CAD modeling of parquet works / I.S. Kuscheva, E.S. Khukhryanskaya // Modeling of information systems: Materials of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, May 19-20, 2021. – Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, 2021. – P. 346-350.

3. Avvakumov, V.D. Optimum accommodation of flat objects of free geometric form / V.D. Avvakumov // Information Technologies. – 2009. – No. 5. - P. 31–35.

4. Kuscheva, I.S. Summarized mathematical model of description of the input object for placement tasks / I.S. Kuscheva, T.I. Sushko, E.S. Khukhryanskaya // Physical and mathematical modeling of systems: Materials of the XVIII International Seminar, Voronezh, June 30, 2017. – Voronezh: Voronezh State Technical University, 2018. – Part 2. – P. 128-133.

5. Martynov, V.V. The method of the regular placement of flat geometric objects based on geometric transformations / V.V. Martynov, A.V. Babel // Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University . – 2013. – T.17, No. 2(55). – P. 208-214.

6. Vysotskaya, I.A. Search for a set of acceptable management solutions in technical systems / I.A. Vysotskaya // Modeling of systems and processes. – 2024. – Т. 17, No. 1. – P. 35-42.