

ПРОСТОЙ АЛГОРИТМ ПЛОТНОЙ УПАКОВКИ НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ СТАНДАРТНОГО ГРУЗА В ГРУППУ ВАГОНОВ

Катаева Лилия Юрьевна

доктор физ.-мат. наук, профессор,
Филиал «Самарский государственный университет
путей сообщения», г. Нижний Новгород
kataeval2010@mail.ru

SIMPLE ALGORITHM OF DENSE PACKING SEVERAL TYPES OF STANDARD CARGOES IN A GROUP OF WAGONS

L. Kataeva

Summary: One of the priority areas is the automation and optimization of the railcar loading process. This paper describes an algorithm for orthogonal dense packing of several types of standard cargo into a group of wagons and gives examples of simulation based on this algorithm. The algorithm is based on the combination of the method of dynamic programming with memoization. To improve the efficiency of the algorithm, a criterion for evaluating each type of cargo for the convenience of packing it into a wagon is introduced. The target function in this case takes into account the partial loading of the last container. It is assumed that we have a lot of cargo of each kind. The heuristics of the packing algorithm for different sets of input data are investigated. It is found that the classical heuristics are more efficient for the case of packing a large number of heterogeneous cargoes, but the efficiency of the dynamic programming algorithm with memoization when combining heuristics for the inconvenience factor for loading specific cargo types increases when there are a large number of multiple cargo types. The results show that the use of such combination of algorithms leads to minimization of the number of railcars required for cargo transportation.

Keywords: cargo packing, wagon group, optimization, dynamic programming.

Аннотация. Одним из приоритетных направлений является автоматизация и оптимизация процесса погрузки вагонов. В данной статье описывается алгоритм ортогональной плотной упаковки нескольких типов стандартных грузов в группу вагонов и приводятся примеры моделирования на основе этого алгоритма. Алгоритм основан на сочетании метода динамического программирования с мемоизацией. Для повышения эффективности алгоритма вводится критерий оценки каждого вида груза на предмет удобства его упаковки в вагон. Целевая функция в этом случае учитывает частичную загрузку последнего контейнера. Предполагается, что у нас есть много грузов каждого вида. Исследуются эвристики алгоритма упаковки для различных наборов входных данных. Установлено, что классические эвристики более эффективны для случая упаковки большого количества разнородных грузов, однако эффективность алгоритма динамического программирования с мемоизацией при объединении эвристик для фактора неудобства погрузки конкретных видов грузов возрастает при наличии большого количества нескольких видов грузов. Результаты показывают, что использование такой комбинации алгоритмов приводит к минимизации количества автомобилей, необходимых для перевозки грузов.

Ключевые слова: упаковка груза, группа вагонов, оптимизация, динамическое программирование.

Введение

Железнодорожный транспорт обладает высокой степенью надежности, регулярности и экологической безопасности. Для эффективного функционирования и развития железнодорожного транспорта создана мощная информационно-цифровая среда, однако, многие автоматизированные системы, используемые в данной сфере, являются информационными и могут быть улучшены с помощью оптимизационных моделей принятия решений.

Хотя выбор рациональных решений в различных сферах деятельности железнодорожного транспорта остается за человеком, часто возникает проблема многовариантности возможных решений, с которой не всегда может справиться человек. Решение этой проблемы заключается в использовании математических моделей при обработке больших данных. Транспортная стратегия Российской Федерации также признает необходимость

применения аналитических систем и математических моделей в обеспечении поддержки принятия решений по регулированию функционирования и управлению развитием транспортного комплекса. В этом контексте, разработка и применение оптимизационных моделей принятия решений может значительно повысить эффективность работы железнодорожного транспорта и обеспечить более точное прогнозирование его развития в будущем [1, 2]. Эффективность работы железнодорожного транспорта оказывает существенное влияние на развитие региона и обеспечение его экономической безопасности [3, 4].

Одним из приоритетных направлений является автоматизация и оптимизация процесса погрузки вагонов. Для ее решения возникает необходимость разработки более совершенных и экономичных алгоритмов для упаковки грузов при условии минимизации количества используемых вагонов.

Поиск оптимального решения в режиме реального времени позволит наиболее эффективно использовать объем вагона, снизить затраты на транспортировку и повысить производительность железнодорожного транспорта. Кроме того, более плотная упаковка уменьшает вероятность повредить груз при его транспортировке. При неупорядоченной загрузке возможно возникновение неустойчивости поезда и даже привести к аварии.

История развития алгоритмов загрузки вагона насчитывает несколько десятилетий. Начальные алгоритмы были разработаны инженерами, работающими в области железнодорожной логистики, и применялись для оптимизации загрузки вагонов при транспортировке различных грузов. Оптимальная упаковка ящиков разного размера в контейнер — это комбинаторная задача оптимизации, которая относится к более широкой категории задач Упаковка в контейнеры (Bin Packing) и ранцы (Knapsack). Известно, что эти задачи являются NP-трудными, что означает, что поиск точного решения может быть вычислительно невыполнимым для неограниченного набора предметов. Поэтому многие современные алгоритмы для решения этих задач являются эвристическими или метаэвристическими по своей природе, поскольку они обеспечивают хорошие приближения к оптимальному решению за разумное время.

Для решения задачи упаковки грузов разработано большое количество методов. остановимся на некоторых из них. Одним из наиболее распространенных методов решения задачи об упаковке грузов является метод динамического программирования. В работе [5] авторы предложили алгоритм, основанный на методе динамического программирования, для решения задачи упаковки грузов с ограничениями на размеры и вес коробок. Улучшенный алгоритм был предложен в работе [6] и основан на методе динамического программирования с применением эвристических методов. Кроме того, существуют и другие методы решения задачи об упаковке грузов. В работе [7] был предложен метод генетического алгоритма для решения задачи упаковки грузов. В [8] был предложен метод решения задачи упаковки грузов на основе муравьиного алгоритма. Одним из наиболее распространенных методов решения задачи упаковки грузов является метод, основанный на линейном программировании (LP) и целочисленном линейном программировании (ILP). В работе [9] авторы предложили алгоритм, основанный на методе LP и ILP, для решения задачи упаковки грузов. В [10] данный был модифицирован и усовершенствован. Авторами [11] был предложен метод, основанный на генетическом алгоритме, для решения задачи упаковки грузов. Метод на основе алгоритма имитации отжига предложен авторами работы [12].

Можно отметить, что задача упаковки грузов является сложной и многогранной задачей, и решение ее

может быть достигнуто различными методами. Однако, авторы большинства работ в основном рассматривают упаковку разнообразных грузов, в то время как в данной статье внимание сосредоточено на упаковке заданного количества нескольких видов грузов и минимизации количества требуемых вагонов для перевозки их.

Цель исследования

Решение задачи плотной ортогональной упаковки нескольких типов стандартного груза в группу вагонов с минимизацией количества последних.

Постановка задачи и ее анализ

Предполагается, что количество видов груза ограничено и для каждого из вида имеется большое количество единиц груза. Ключевым фактором выступает эвристика по критерию неудобства для каждого вида груза в сочетании с динамическим программированием, что определяет последовательность погрузки их в вагоны. Требуется минимизировать количество вагонов, необходимое для перевозки всех грузов. У каждого вида груза заданы его размеры и количество единиц данного груза. Кроме того, у каждой единицы груза можно задать ограничения на возможности ее поворота либо запрет на поворот относительно осей симметрии, что определяется перестановкой соответствующих координат. В данной постановке было исключено требование по наличию опоры для каждой последующей единицы груза. Решением задачи оптимизации является определение числа минимального вагонов, необходимого для перевозки всех имеющихся единиц заданных видов груза. При размещении каждой следующей единицы груза водится требование, связанное с невозможностью пересечения грузов и все размещаемые предметы должны находиться во внутренней части вагона. Величина целевой функции равна числу контейнеров уменьшенного на единицу и увеличенного на долю объема, заполненного в последнем вагоне. Рассматривается ортогональная упаковка, что позволяет использовать для решения задачи метод динамического программирования и рекурсивному разбиению вагона на части по плоскостям. Это приводит к увеличению объема памяти, необходимого для хранения результатов и количества вычислений. В данной работе используется бинарная переменная, показывающая есть ли груз данного вида в наличии или нет. Если груз данного вида закончился, возникает необходимость пересчета величины удобства (неудобства) для оставшихся видов грузов и связано это с необходимостью заполнить оставшееся пространство в текущем вагоне. Другая возникающая проблема, связана с использованием гильотинной резки. Ее можно смягчить, если соединять объекты с одинаковыми гранями.

Таким образом, в классическом варианте объем вычисления зависит от хранения промежуточных результатов и приводит к нарастанию вычислительной сложности. В рассматриваемом в данной работе случае нет необходимости хранить такое большое количество данных, и размерность задачи сводится к размерности геометрии. Увеличение производительности происходит за счет использования мемоизации. На входе задаются вектор размеров, бинарный вектор наличия (отсутствия) единиц грузов данного типа и вектор весов, характеризующий удобство видов груза.

Результаты исследования и их обсуждение

Для тестирования данного алгоритма использовались результаты [12]. Рассматривалась упаковка 8 предметов (2×10×10), 16 предметов (2×2×2) и ящик размерами 12×12×12. В работах [12] получена заполняемость 53,7 % в то время как предложенный алгоритм дает наиболее оптимальный результат с загрузкой всех имеющихся предметов, так как в данном алгоритме есть возможность планирования на всю глубину планирования. Но это преимущество проявляется только в ограниченном классе задач.

В данной работе решена задача для двух вариантов исходных данных для загрузки вагонов, представленных в таблице 1. В первой колонке показаны результаты для первого варианта расчета, а во второй колонке результаты расчетов для второго варианта. При первом варианте потребовалось всего 9 вагонов, заполненный объем вагонов с 1 по 4 и 7 для составлял: 82 %, для 5 вагона 83 %, для 6 вагона 77 %, 8 вагон — 93% и неполный 9 вагон — 31 %. При этом общая целевая функция имеет значение 83 %. Для второго варианта потребовалось 10 вагонов, заполненный объем с 1 по 3 вагоны составляет 64 %, для 4 вагона 60 %, , для 5 вагона — 90 %, для вагонов с 6 по 8 — 87 %, для 9 вагона — 67 % и для 10 вагона — 58 %. Как видно из результатов представленных на рисунке 1 — остатки грузов размещены в последнем вагоне и он в дальнейшем требует дозагрузки на следующем этапе. При этом общая целевая функция

имеет значение 76 %. Неравномерная загрузка вагонов объясняется следующими факторами: в первую очередь загружается неудобный груз и затем к нему добавляется по возможности более удобный. Второй фактор, оказывающий влияющий на неравномерность загрузки является внезапное для алгоритма окончание данного типа груза, что приводит к необходимости включать пересчет ценности грузов на основе динамического программирования для оставшихся объектов.

На рисунке 1 показаны полученные результаты расположения исходных грузов по вагонам. Цветом выделены виды грузов, подлежащие упаковке. Как видно из рисунка 1а сначала осуществляется загрузка вида груза, выделенного зеленым цветом, так как его коэффициент неудобства выше. После того как груз данного вида заканчивается, происходит переоценка коэффициента неудобства и происходит догрузка вагона следующим видом груза максимально заполняя вагон. При условии, если нет подходящего груза для дозагрузки, остается свободное пространство.

Заключение

В данной работе показана работа ортогональной алгоритма упаковки грузов в вагон на основе метода динамического программирования, использования мемоизации и оценки удобства (неудобства) груза для упаковки. Описанный алгоритм хорошо показал себя при решении задачи об упаковке ограниченного количества видов грузов при большом количестве единиц груза каждого вида. Исключение свободного пространства в последнем вагоне позволяет повысить чувствительность целевой функции. Он обеспечивает плотную упаковку грузов в вагоне, в то время как известные алгоритмы ориентированы в основном на упаковку разнородных грузов.

Таблица 1.

Характеристики контейнеров и объектов

	Длина	Ширина	Высота	Количество	Длина	Ширина	Высота	Количество
Вагон	15724	2764	3050	—	15724	2764	3050	—
	Вариант 1				Вариант 2			
Вид 1	11	16	15	39	18	13	19	95
Вид 2	12	12	13	70	20	20	15	22
Вид 3	15	13	11	83	17	18	17	32
Вид 4	14	12	19	47	18	11	13	92
Вид 5	20	11	17	95	11	19	14	4

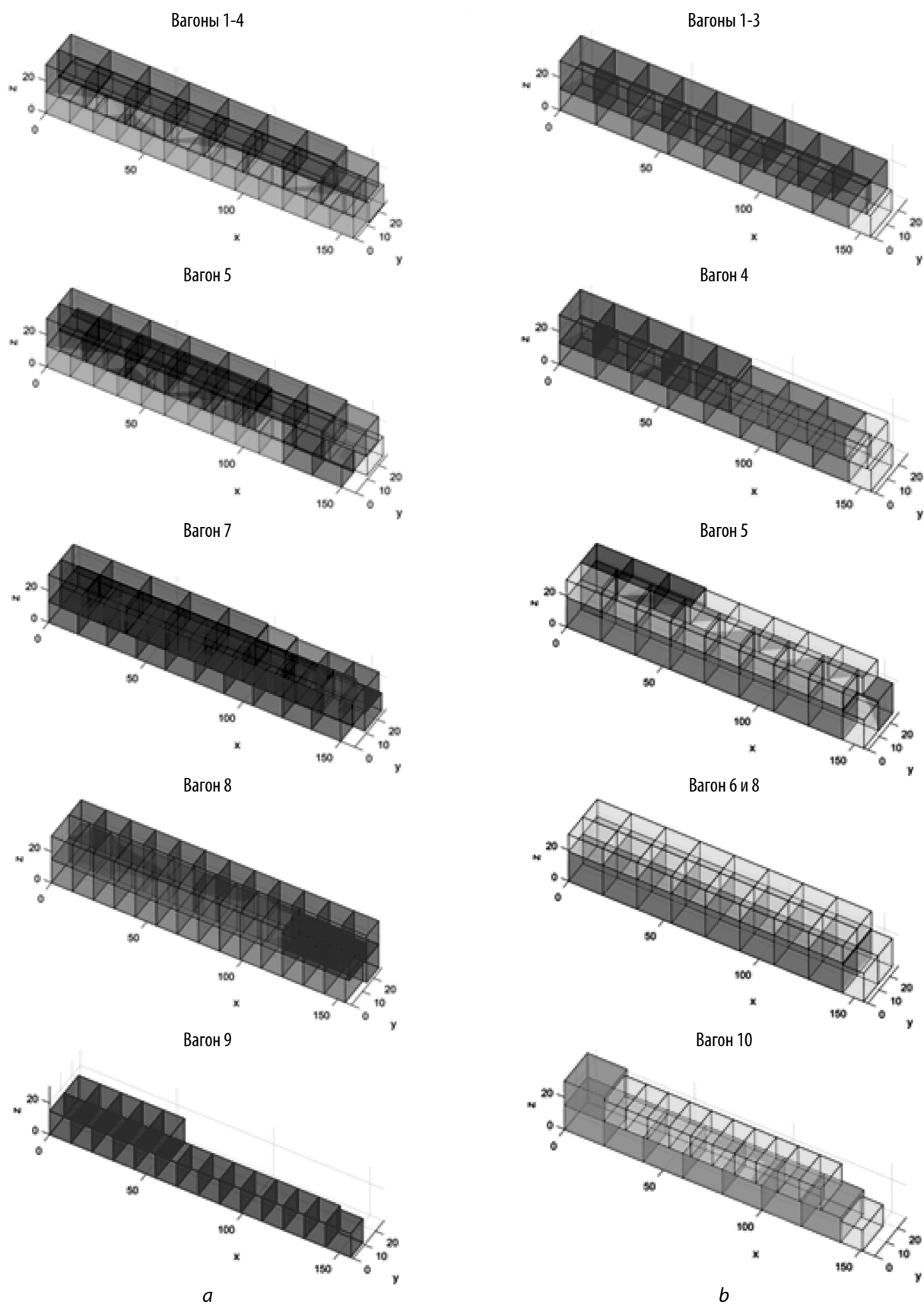


Рис. 1. Результаты решения задачи по размещению грузов в вагоне
a — для первого варианта исходных данных и *b* — для второго варианта исходных данных

ЛИТЕРАТУРА

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р. Министерство транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.mintrans.ru/documents/3/1009> (дата обращения 25.05.2023).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года №3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». Министерство транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/11577> (дата обращения 25.05.2023).
3. Масленников Д.А., Митяков С.Н., Катаева Л.Ю., Федосеева Т.А. Выявление особенностей стратегического развития регионов на основе статистического анализа индикаторов // Экономика региона. — 2019. — Т. 15, № 3. — С. 707–719. — DOI 10.17059/2019-3-7.
4. Катаева Л.Ю., Масленников Д.А., Федосеева Т.А. Влияние индикаторов на прогнозируемость экономической безопасности региона // Фундаментальные исследования. — 2019. — № 12-1. — С. 72–76. — DOI 10.17513/fr.42624.
5. Martello, S., Toth, P. (1990). Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations. John Wiley & Sons.
6. Bortfeldt, A., Gehring, H. (2002). An Improved Algorithm for the 3D Bin Packing Problem. European Journal of Operational Research, 141(1), 202–215.
7. Zhang, B., Wang, X. (2012). Solving the 3D Bin Packing Problem using Genetic Algorithm. Expert Systems with Applications, 39(10), 9124–9134.
8. Li, Z., Li, X., Zhang, Y. (2013). An Ant Colony Optimization Algorithm for the Three-Dimensional Bin Packing Problem. Journal of Intelligent Manufacturing, 24(2), 291–300.
9. Ota, J., Nakamura, M. (1994). A Branch-and-Bound Algorithm for the Bin-Packing Problem with Transportation Costs. European Journal of Operational Research, 72(2), 342–352.
10. Wang, Y., Liu, H., Li, X., Wu, T. (2017). An Improved Algorithm for the 3D Bin Packing Problem with Center of Gravity Constraint. Journal of Intelligent Manufacturing, 28(4), 917–928.
11. Li, Z., Li, X., Zhang, Y. (2012). An Effective Genetic Algorithm for 3D Bin Packing Problem with the Objective of Gravity Center Optimization. Expert Systems with Applications, 39(12), 11293–11302.
12. Li X., Zhao Z., Zhang K. A genetic algorithm for the three-dimensional bin packing problem with heterogeneous bins // IIE Annual Conference. Proceedings. — Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), 2014. — С. 2039.

© Катаева Лилия Юрьевна (kataeval2010@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»