

Контейнеры на терминале: метод ветвей и границ



Олег МАЛИКОВ
Oleg B. MALIKOV

СУМХУУ ГОМБОСЭД
SUMKHUU GOMBOSE



Маликов Олег Борисович — доктор технических наук, профессор Петербургского государственного университета путей сообщения, Санкт-Петербург, Россия.

Гомбосэд Сумхуу — аспирант кафедры «Логистика и коммерческая работа» Петербургского государственного университета путей сообщения, Улан-Батор, Монголия.

От места, которое занимают контейнеры на крупном терминале, зависят производительность и потребное количество подъемно-транспортного оборудования, и время простоя подвижного состава железнодорожного и автомобильного транспорта. Для оптимизации расположения контейнеров могут быть применены математические методы — например, метод ветвей и границ из теории транспортных потоков.

Ключевые слова: транспорт, контейнер, грузовой терминал, контейнерный автопогрузчик, контейнерный поезд, время простоя, оптимизация управления, метод ветвей и границ, математический расчет.

На крупных грузовых терминалах с числом одновременно находящихся там единиц хранения объемом до 5–7 тыс. ДФЭ (двадцатифутовый эквивалент) расположение и учет движения контейнеров представляет собой сложную многофакторную проблему. Решение ее влияет на простои подвижного состава железнодорожного и автомобильного транспорта под погрузкой и выгрузкой, потребное количество подъемно-транспортного оборудования, перерабатывающую способность и общую экономическую эффективность терминала.

Особенно важны эти вопросы для приграничных таможенных терминалов, где разгружаются и загружаются контейнерные поезда, следующие по железным дорогам с разной шириной колеи 1435 и 1520 мм. Риски очевидны: излишние простои зарубежного подвижного состава на терминале ведут к большим финансовым потерям.

Методика оптимизации расположения контейнеров на приграничном контейнерном терминале в качестве своей основы имеет в виду так называемый в математике «метод ветвей и границ». Он состоит в том, что анализируемая проблема (обыч-

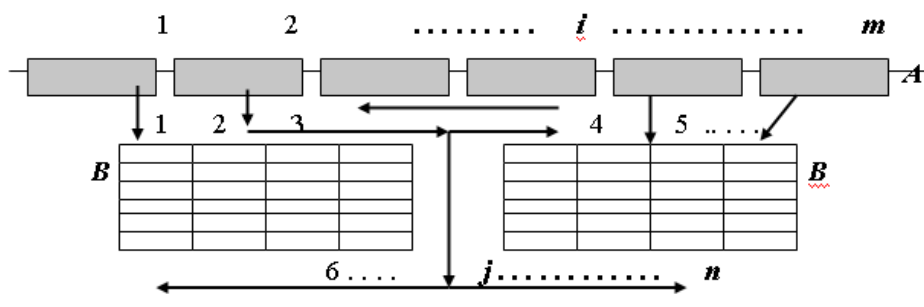


Рис. 1. Схема разгрузки контейнеров с маршрутного поезда А, состоящего из m фитинговых платформ, в штабели В, в которых имеется n свободных мест для приема контейнеров из этой транспортной партии.

но развозка грузов в той или иной транспортной системе) рассматривается в разных направлениях (по разным «ветвям» процесса анализа) с использованием определенного алгоритма, а в результате находится оптимальное направление решения проблемы. Причем по каждой «ветви» исследование проводится до тех пор, пока это целесообразно по тем или иным критериям, то есть до предполагаемой «границы».

Условия расположения контейнеров на площадке терминала поясняются с помощью рис. 1.

Имеется два множества — мест контейнеров в вагонах $A_i, i=1, 2, \dots, m$ и свободных мест в штабелях контейнеров $B_j, j=1, 2, \dots, n$. При этом $n \geq m$, то есть число свободных мест в штабелях должно быть не меньше числа контейнеров в маршрутном поезде.

Задача состоит в том, чтобы найти оптимальное сочетание пар ij — когда, сумма перемещений автопогрузчиков-ричстакеров, перевозящих контейнеры по площадке терминала, будет минимальной:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} \rightarrow \min ,$$

где a_{ij} — расстояние (в метрах) перевозки контейнера погрузчиком-ричстакером из i -го вагона на j -е свободное место в штабелях.

Исходные данные для решения задачи задаются в виде mn -матрицы, представленной таблицей 1.

Алгоритм решения задачи размещения контейнеров на площадке терминала при выгрузке их из маршрутного поезда состоит в следующем.

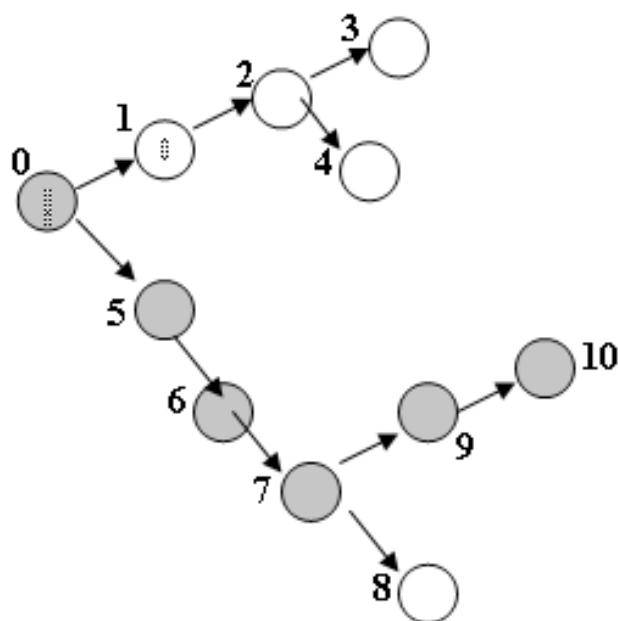
Сначала составляется исходная матрица (таблица 1). При этом элементы матрицы a_{ij} могут представлять собой расстояния в метрах от каждого контейнера в маршрутном поезде до каждого свободного места в штабелях зоны хранения. Такая схема с намеченными местами расположения контейнеров может быть подготовлена заранее автоматизированной системой управления терминалом (АСУТ), ведущей учет занятых и свободных адресов на площадке.

Таблица 1
Исходная матрица расположения контейнеров на площадке при разгрузке их из маршрутного поезда

Адреса в поезде	Адреса в штабелях						
	1	2	....	j	....	n-1	n
1	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	....	$a_{1,j}$	....	$a_{1,n-1}$	$a_{1,n}$
2	$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	....	$a_{2,j}$	....	$a_{2,n-1}$	$a_{2,n}$
.....							
i	$a_{i,1}$	$a_{i,2}$	....	$a_{i,j}$	....	$a_{i,n-1}$	$a_{i,n}$
.....							
m-1	$a_{m-1,1}$	$a_{m-1,2}$	....	$a_{m-1,j}$	....	$a_{m-1,n-1}$	$a_{m-1,n}$
m	$a_{m,1}$	$a_{m,2}$	....	$a_{m,j}$	....	$a_{m,n-1}$	$a_{m,n}$



Рис. 2. Пример схемы последовательности итераций при поиске оптимального размещения контейнеров в штабелях из маршрутного поезда на терминале методом ветвей и границ.



В каждом столбце матрицы из элементов a_{ij} , показывающих расстояния до обозначенного места от разных контейнеров в поезде, вычитается минимальное расстояние от каждого контейнера до адреса в штабеле. В результате формируется вторая матрица:

$$A_2 \{a_{ij} - \min_i a_j\}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

с нулями в тех клетках, где стояли минимальные значения расстояний в столбцах.

Вычисляем минимальное сокращение суммы расстояний между адресами контейнеров и свободными местами в штабелях (инфимум функции Z):

$$Z_{inf} = \sum_i^n \sum_j^n \min a_{ij}. \quad (2)$$

Нужно, чтобы в каждой строке получился хотя бы один 0, то есть каждый контейнер в маршрутном поезде должен найти какое-либо место в штабелях зоны хранения.

Если есть строка, в которой нет 0, находим минимальное значение элемента a_{ij} в строке и вычитаем это значение из каждого элемента.

В итоге получается третья матрица с уменьшенными значениями элементов a_i в i -й строке:

$$a_i = \{a_i - \min_j a_{ij}\}, j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Определяется новое значение минимально возможного сокращения суммы расстояний:

$$Z_{inf2} = Z_{inf} + \min_{j=1,2,\dots,n} a_{ij}. \quad (4)$$

Клетки матрицы, в которых имеются нули, могут быть включены в оптимальное решение задачи, связанной с нахождением мест установки в штабелях контейнеров, разгруженных с маршрутного поезда.

Чтобы найти наилучшие значения среди этих адресов, нулям в клетках приписываются индексы, которые равны следующему минимальному значению элемента a_i в каждой строке. При дальнейшем анализе матрицы эти индексы прибавляют к значениям инфимума функции Z_{inf} , корректируя его величину на каждом шаге итерации.

Строка и столбец, на пересечении которых стоит анализируемая клетка матрицы, вычеркиваются и получается первая уменьшенная матрица. С ней выполняются такие же действия, как были описаны для исходной матрицы, и т. д.

Таблица 2

Пример исходной матрицы для определения адресов размещения контейнеров из маршрутного поезда на площадке терминала методом ветвей и границ

Адрес контейнеров в поезде	Свободные места для контейнеров в штабелях				
	1	2	3	4	5
1	90	220	340	200	320
2	130	170	280	220	330
3	320	50	120	120	130
4	300	90	80	240	230
5	370	170	180	90	40

Таблица 3

Матрица 1-го шага определения оптимальных адресов размещения контейнеров из маршрутного поезда на площадке терминала методом ветвей и границ

Адрес контейнеров в поезде	Свободные места для контейнеров в штабелях				
	1	2	3	4	5
1	0	170	260	110	280
2	40	120	200	230	290
3	230	0	40	30	90
4	210	40	0	150	190
5	280	120	100	0	0

В результате отсекаются ветви, которые не могут улучшить решение задачи, то есть не в состоянии сократить инфимум функции Z_{inf} уменьшения суммы расстояний передвижений погрузчиков при разгрузке контейнеров с маршрутного поезда. Процесс поиска оптимального варианта может быть представлен в виде схемы (рис. 2).

Кружками на схеме показаны этапы решения задачи, предлагающие в составление и рассмотрение новых матриц с обнулением некоторых клеток и определением наименьшего значения суммы расстояний движений погрузчиков при разгрузке контейнеров из маршрутного поезда (инфимума функции Z_{inf}).

Затемненными кружками обозначен путь (ветвь) поиска оптимального решения, ведущего к отысканию минимального значения суммы расстояний на этапе 10.

Остальные ветви (с незатемненными кружками) показывают неудачные пути поиска решения, не ведущие к минимизации суммы расстояний движения погрузчиков.

Метод ветвей и границ сводится, по существу, к направленному перебору сочетаний расположения контейнеров в поезде и адресов свободных мест в штабеле. Причем удастся значительно сократить число рассматриваемых вариантов (во много раз).

К тому же, как свидетельствует анализ, при применении этого метода не всегда нужно искать абсолютный оптимум решения, а достаточно приблизиться к нему на 95–97%. Остальные 3–5% возможного уменьшения суммы расстояний движения погрузчиков по терминалу могут привести к сокращению простоя маршрутного поезда на 10–15 минут, что для практики эксплуатационной работы не существенно, ведь действительное время разгрузки маршрутного поезда 7–8 часов. Если согласиться с таким положением дел, есть смысл ограничиться «приблизительно оптимальным решением», которое достигается всего за 2–3 шага итераций.

Это демонстрируется на приведенном далее примере, когда при общем числе 25 возможных вариантов сочетаний адресов расположения контейнеров в поезде и свободных мест в штабелях на площадке терминала (пять контейнеров и пять свободных мест для них в штабелях), приемлемое решение находится всего за два шага.

Исходная матрица для упрощенного случая пяти контейнеров и пяти мест для них на площадке показана в таблице 2.

Элементы матрицы в клетках представляют собой расстояния движения автопогрузчиков с выдвигной крановой стрелой-



Таблица 4

Матрица 2-го шага определения оптимальных адресов размещения контейнеров из маршрутного поезда на площадке терминала методом ветвей и границ

Адрес контейнеров в поезде	Свободные места для контейнеров в штабелях				
	1	2	3	4	5
1	0	170	260	110	280
2	0	80	160	190	250
3	230	0	40	30	90
4	210	40	0	150	190
5	280	120	100	0	0



ричстакером, в метрах, при разгрузке контейнеров из вагонов на площадку терминала (включают рабочее движение с контейнером и обратный холостой ход в порожнем состоянии).

В исходной матрице (таблица 2) вычитаем минимальные значения в каждом столбце из всех значений в клетках: 90 – в столбце 1, 50 – в столбце 2, 80 – в столбце 3, 90 – в столбце 4, 40 – в столбце 5 (для фиксации нулей в соответствующих клетках). Получается матрица 1-го приближения (таблица 3).

Вычисляем инфимум функции сокращения суммы расстояний передвижения погрузчиков на этом этапе:

$$Z_{inf} = 90 + 50 + 80 + 90 + 40 = 350 \text{ м.}$$

Во всех строках матрицы присутствуют по 1–2 нулевым значениям, а в строке 2 такого значения нет. Это означает, что для контейнеров в строках 1, 3–5 нашлись

«приблизительно оптимальные» места в штабелях, а во второй – еще не нашлось. Для контейнера строки 5 может быть рассмотрено два оптимальных места 4 и 5. Выбор одного из них возможен не сразу, позднее на основе последующих шагов оптимизации. Но контейнеру в строке 2 нужно уже сейчас найти место в штабелях.

Для этого в строке 2 вычитаем минимальное значение ($a_{21} = 40$ м) из всех значений в других клетках этой строки. В результате имеем $a_{21} = 40 - 40 = 0$, $a_{22} = 120 - 40 = 80$, $a_{23} = 200 - 40 = 160$, $a_{24} = 230 - 40 = 190$, $a_{25} = 290 - 40 = 250$. Получается матрица 2-го приближения, показанная в таблице 4.

Вычисляем инфимум функции сокращения суммы расстояний передвижения погрузчиков на этом этапе:

$$Z_{inf} = 350 + 40 = 390 \text{ м.}$$

На основании данных таблицы 4 можно принять за «приближенное оп-

тимальное решение» пять пар адресов расположения контейнеров в поезде и на площадке зоны хранения: 14, 21, 32, 43, 55. В это решение включены прежде всего клетки с нулями. Поскольку на свободное место 1 в штабеле претендуют два контейнера строк 1 и 2, то для первого из них выбрано другое место – 4, в клетке которого значится следующее (после места 1) минимальное расстояние перемещения погрузчиков (110 м). Ситуация позволяет также из двух мест, возможных для размещения контейнера строки 5 (54 и 55 с нулями), выбрать одно место 5.

При выбранном размещении пяти контейнеров суммарное расстояние передвижения автопогрузчиков составит:

$$\Sigma L_i = a_{14} + a_{21} + a_{32} + a_{43} + a_{55} = 200 + 130 + 50 + 80 + 40 = 500 \text{ м.}$$

Дальнейший анализ с учётом восьми итераций (здесь он не приводится) показал, что действительно выбранные места для пяти контейнеров являются оптимальными. Не исключено в других случаях они

могут быть только «приблизительно оптимальными», но достаточно рациональными для условий терминала.

Инфимум функции сокращения суммы расстояний передвижения погрузчиков вполне совпадает с выбранным решением:

$$Z_{inf} = 390 + 110 = 500 \text{ м.}$$

Таким образом, найдена минимальная сумма расстояний передвижения погрузчиков при разгрузке контейнеров из маршрутного поезда на терминале.

Результаты расчета могут быть использованы для разных целей при проектировании или совершенствовании работы контейнерного терминала: более достоверного определения числа погрузчиков, расчета продолжительности обработки маршрутного контейнерного поезда, оптимизации расположения штабелей контейнеров на отведенной площадке и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маликов О. Б. Склады и грузовые терминалы. – СПб.: Бизнес-Пресса, 2005. – 648 с.
2. Поттгофф Г. Учение о транспортных потоках. – М.: Транспорт, 1975. – 344 с.

CONTAINERS AT THE TERMINAL: BRANCH AND BOUND METHOD

Malikov, Oleg B. – D. Sc. (Tech), professor of St.Petersburg State University of Railway Engineering, St.Petersburg, Russia.

Gombosed, Sumkhuu – Ph.D. student at the department of logistics and commercial operations of St.Petersburg State University of Railway Engineering, Ulan-Bator, Mongolia.

Required quantity and performance of lifting-and-shifting machines, efficiency of handling operations as well as time of inactivity of rail rolling stock and road vehicles depend greatly on exact placement of containers within the territory of a large terminal. In order to optimize the allocation of containers the article suggests using mathematical methods, particularly the branch and bound method belonging to the traffic flow theory.

Branch and bound method is essentially reduced to targeted exhaustive search of combinations of allocation of containers in train and of addresses of empty stock places at the terminal. The use

of the method permits to considerably (tenfold) reduce number of considered variants.

The practices show that it is not always necessary to search for absolute optimum solution, approximation of 95–97% is sufficient for practical tasks. If this assumption is used, then it is reasonable to limit the search by «approximately optimum solution» which can be attained in 2–3 steps of iterations.

The results of computational simulation could be used for designing and operation enhancement of container terminal, particularly to determine with more exactitude number of required truck loaders, to estimate the time necessary to handle block container train and for other purposes.

Key words: transportation, container, freight terminal, truck container loader, container train, dead time, branch and bound method, mathematical computation.

REFERENCES

1. Malikov O. B. Warehouses and cargo terminals [Sklady i gruzovye terminaly]. St.Petersburg, Biznes-Pressa publ., 2005, 648 p.

2. Potthof, Gerhart. Traffic Flow Science [Russian title: Uchenie o transportnyh potokah]. Moscow, Transport publ., 1975, 344 p.

Координаты авторов (contact onformation): Маликов О. Б. (Malikov O. B.) – stadnitskey@mail.ru, Гомбосэд Сумхуу (Gombosed Sumkhuu) – sumak1977@yahoo.com.

Статья поступила в редакцию / article received 26.03.2013
Принята к публикации / article accepted 16.04.2013

