

Научная статья
УДК 004.832
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.014

ЗАДАЧИ ЛОГИСТИКИ: КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Алексей Владимирович Шестаков^{1✉}, Александр Анатольевич Зуенко²

^{1, 2}*Институт информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

¹*shestakov@iimm.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-9052-2579>*

²*zuenko@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7165-6651>*

Аннотация

Приводятся определения задач логистики и дается их классификация. Рассмотрены некоторые математические постановки задач логистики и методы их решения. В частности, описываются задача коммивояжера, задача распределения ресурсов, транспортная задача, задача поиска максимального потока в сети.

Ключевые слова:

логистика, транспортная задача, максимальный поток, распределение ресурсов, задача коммивояжера

Благодарности:

исследование выполнено в рамках государственного задания Института информатики и математического моделирования имени В. А. Путилова Кольского научного центра Российской академии наук от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема научно-исследовательской работы «Методология создания информационно-аналитических систем поддержки управления региональным развитием, основанных на формирующем искусственном интеллекте и больших данных» (регистрационный номер 122022800551-0).

Для цитирования:

Шестаков А. В., Зуенко А. А. Задачи логистики: классификация и методы решения // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 2. С. 144–150.
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.014

Original article

LOGISTICS TASKS: CLASSIFICATION AND METHODS OF SOLUTION

Aleksey V. Shestakov^{1✉}, Alexander A. Zuenko²

^{1, 2}*Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre
of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹*shestakov@iimm.ru[✉], <https://orcid.org/0000-0002-9052-2579>*

²*zuenko@iimm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7165-6651>*

Abstract

The article provides definitions of logistics tasks and their classification. Some mathematical statements of logistics problems and methods of their solution are also given. In particular, the following combinatorial optimization problems are described: the traveling salesman problem, the resource allocation problem, the transportation problem, the maximum flow problem.

Keywords:

logistics, transportation problem, maximum flow, resource allocation, traveling salesman problem

Acknowledgments:

the study was carried out within the framework of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, research topic “Methodology for creating information and analytical systems to support the management of regional development based on formative artificial intelligence and big data” (registration number of the research topic 122022800551-0).

For citation:

Shestakov A. V., Zuenko A. A. Logistics tasks: classification and methods of solution // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 144–150.
doi:10.37614/2949-1215.2022.13.2.014

Введение

Задачи логистики всегда привлекали внимание математиков. Например, одной из известнейших задач, исследуемых в теории графов, является задача коммивояжера, а задачи военной логистики были первыми практическими применениями методов линейного программирования. С тех пор интерес только возрастал, а с появлением вычислительной техники появилась возможность решать задачи большой размерности. В настоящей статье рассмотрены определения задач логистики и дается их классификация. Также приводятся некоторые математические постановки задач логистики и традиционные методы их решения.

Понятие логистики и задачи логистики

В широком смысле логистика занимается планированием, координацией и управлением перемещением, складированием, а также другими процедурами, которые имеют место в экономической деятельности предприятия [1].

В зависимости от направленности существует много определений логистики, в контексте этой работы выделим два из них.

Логистика — это наука об управлении и оптимизации материальных потоков, потоков услуг и связанных с ними информационных и финансовых потоков в определенной микро-, мезо- или макроэкономической системе для достижения поставленных перед ней целей [2].

Логистика — интегральный инструмент менеджмента, способствующий достижению стратегических, тактических или оперативных целей организации бизнеса за счет эффективного с точки зрения снижения общих затрат и удовлетворения требований конечных потребителей к качеству продуктов и услуг управления материальными и (или) сервисными потоками, а также сопутствующими им потоками информации и финансов [3].

В логистике выделяют три группы задач [4].

1. Глобальные (главные) задачи. Такие задачи направлены на моделирование логистических систем, а также правил для их бесперебойной работы. Глобальные задачи заключаются в поиске решений, как при минимальных затратах и нестабильной ситуации рынка получить высокую эффективность.

2. Общие задачи логистики связаны с системами контроля и регулирования материальных и информационных потоков, разработкой методов, отвечающих за перемещение и распределения продукции.

3. Частные задачи логистики направлены на решение узкого спектра проблем, например, ускорение перевозки товаров, уменьшение срока нахождения товара на складах и т. д.

Логистика направлена на рациональное повышение эффективности хозяйственной деятельности посредством управления различными видами потоков (материальных, энергетических) (рис. 1.) [5]. Среди них можно выделить следующие ее виды: а) *закупочная логистика* отвечает за процессы при доставке, получении, перемещении и хранении материалов, приобретенных для бизнеса или организации; б) *производственная логистика* включает в себя управление закупленными деталями и материалами, распределение внутри фабрики, управление продукцией, упаковку и доставку на склад; управление доставкой, отправкой со склада и отгрузкой может быть оптимизировано, а состоянием транспортных средств доставки можно управлять, учитывая связь логистики закупок и видов логистики, описанных ниже; в) *распределительная логистика* является комбинацией процессов, которые эффективно перемещают товары в процессе выполнения заказа от склада к конечному потребителю; г) *транспортная логистика* включает в себя комплексный подход ко всем процессам в логистике, которые необходимы для осуществления перевозок.

Также выделяют логистику, направленную на поддержку информационного обеспечения, энергетического, логического сервиса.

Можно отметить следующие обобщенные функции логистики [6].

1. *Регулирующая функция*. Управляющее действие логистики направленно на контроль состояния отдельных элементов системы для сохранения состояния удовлетворения интересов всей системы, а также на экономию затрат всех видов — как трудовых, так и материальных.

2. *Интегрирующая функция.* Логистика осуществляет координирование потребностей посредников, поддержку потребителей, согласование условий для транспортировки продукции с ориентацией на рынок средств производства, складирования, реализации продукции.

3. *Результирующая функция.* Логистика затрагивает весь жизненный цикл продукции относительно спроса, а именно «снабжение — производство — распределение — потребление», и обеспечивает стратегии и технологии физического перемещения товаров нужного объема продукции в необходимое место при максимально низких расходах и в определенное время.

4. *Системообразующая функция.* Логистика подразумевает использование оптимальных методик обеспечения процесса управления ресурсами, управление перемещением продукции и товаров.

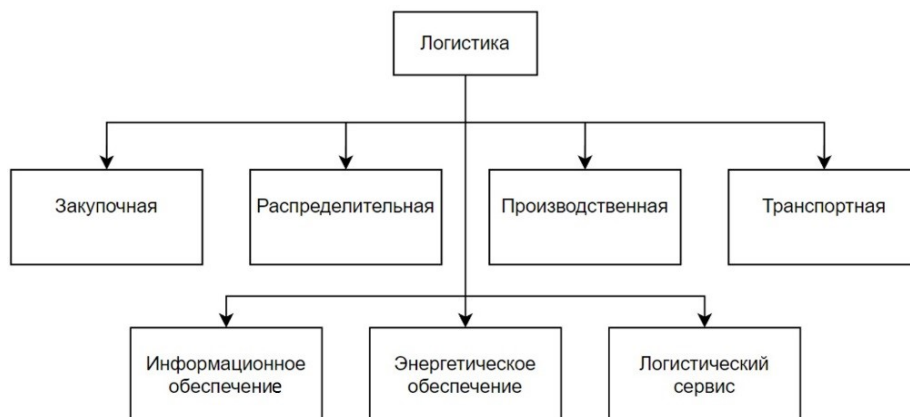


Рис. 1. Обобщенная классификация видов логистики

Далее рассматриваются математические постановки некоторых логистических задач и методы их решения. Данные постановки, несмотря на их простоту и академичность, составляют основу многих практически значимых задач.

Постановка и методы решения задачи распределения ресурсов

Рассмотрим задачи распределения ресурсов. Этот тип задач направлен на оптимизацию и улучшение использования ресурсов относительно введенных критериев оптимальности [7–10].

Пусть есть c_{ij} — стоимость перевозки груза от поставщика i до потребителя j , m — количество поставщиков, n — количество потребителей и $a_1, a_2, \dots, a_m$ — количество (объем) груза у поставщиков, а также $b_1, b_2, \dots, b_n$ — количество (объем) груза, необходимое потребителям [11]. Отметим, что x_{ij} — объёмы перевозок от поставщика i до потребителя j , причем $x_{ij} \geq 0$. Коэффициенты и переменные полагаются вещественными.

С математической точки зрения задачу линейного программирования можно сформулировать так: необходимо найти максимум целевой функции (линейной):

$$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (1)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i. \quad (2)$$

Задача, представленная в математической форме, решается при помощи методов математической оптимизации. Если целевая функция и ограничения заданы в линейной форме, то для решения задачи можно использовать методы линейного программирования. В ситуации, когда что-то из них является нелинейным, можно использовать подход на основе множителей Лагранжа. Метод Карушка — Куна — Таккера применяется в случаях, определенных неравенствами нелинейных ограничений.

Для решения общей задачи главными алгоритмами являются симплекс-метод и графический метод.

Постановка и методы решения транспортной задачи

Необходимо сформировать план перевозок, в котором при минимальных затратах товары будут доставлены потребителям и будут покрыты их потребности в данном продукте:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_j, j = 1, 2, \dots, m; \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Классическую транспортную задачу можно решить симплекс-методом, но в силу ряда особенностей обычно применяются другие методы [9–11]. Для этого определяется опорный план и находится оптимальное решение посредством последовательных операций. Для нахождения опорного плана можно использовать методы, представленные ниже.

Метод северо-западного угла (диагональный или улучшенный). В таблице необходимо заполнить верхнюю левую клетку самым крупным числом из доступных на данном шаге, то есть заполнение сводится к тому, что полностью вывозится груз из a_i или полностью удовлетворяется потребность b_j [12].

Метод наименьшего элемента. В данном методе задача сводится к максимальному уменьшению сторонних распределений продукции между потребителями. Это происходит следующим образом [13]: 1) выбирается клетка с наименьшей стоимостью из таблицы; 2) в нее заносится максимальное из доступных значений; 3) исключаются из рассмотрения строки и столбцы потребителей с полностью удовлетворенными потребностями, а также строки и столбцы поставщиков с полностью использованными товарами; 4) в случае наличия неисключенных строк и столбцов переход к пункту 1; 5) задача решена.

Решение с помощью теории графов. Пусть имеется двудольный граф. В нем пункты потребления находятся в нижней части. К ним присоединен сток, также пропускная способность пункта потребления в сток равна потребности в продукте в этом пункте. Пункты производства находятся в верхней части. К ним присоединен исток. Пропускная способность ребер из истока в каждый пункт производства равна запасу продукта в этом пункте. Ребра имеют бесконечную пропускную способность и цены за единицу потока c_{ij} .

В последствии необходимо решить задачу по поиску максимального потока минимальной стоимости (mincost maxflow).

Постановка и методы решения задачи о максимальном потоке

Задача о максимальном потоке состоит в поиске такого потока (рис. 2), что сумма потоков из истоков или стоков достигает максимального значения [13].

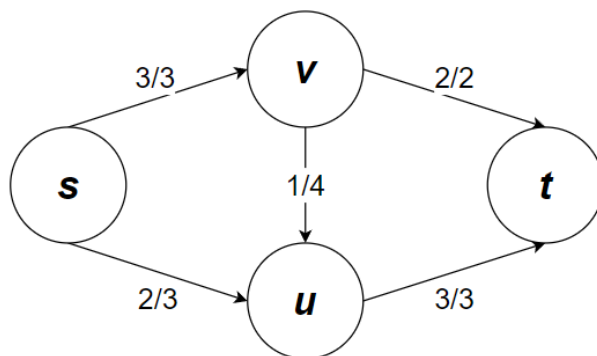


Рис. 2. Максимальный поток в транспортной сети. Числа обозначают потоки и пропускные способности

Пусть есть $G = (V, E)$ — транспортная сеть, которая представляет собой связанный, ациклический, ориентированный граф; E — множество ребер; $s, t \in V$ являются истоком и стоком с пропускной способностью $c : E \rightarrow R^+$; u, v — вершины графа.

Тогда математическая постановка задачи заключается в нахождении величины потока, в котором сумма потоков из источников максимальна:

$$|f| = \sum_{s,v \in V} f_{sv} \rightarrow \max. \quad (6)$$

Также, должны быть удовлетворены основные условия: поток по ребру не может быть больше, чем его пропускная способность; количество вещества, вытекающего из истока, совпадает с общим количеством вещества, поступающего в сток; поток $|f|$ должен быть положительным, в противном случае исток может оказаться стоком.

Для решения задачи о максимальном потоке используются методы линейного программирования, основанные на симплекс-методе, алгоритм Форда — Фалкерсона, алгоритм Эдмондса — Карпа, алгоритм проталкивания предпотока, алгоритм Диница и т. д.

Постановка и методы решения задачи коммивояжера

Задача коммивояжера заключается в построении такого маршрута, при котором будет найдено минимальное расстояние между определенными парами городов при условии, что начальный город должен являться конечным, а также каждый город маршрут проходит строго единожды.

Задача коммивояжера может быть смоделирована с помощью неориентированного взвешенного графа, где города являются вершинами графа, пути — ребрами графа, а расстояния между вершинами — весами ребер. Часто модель представляет собой полный граф (то есть каждая пара вершин соединена ребром). Если между двумя городами не существует пути, то ребру приписывается достаточно большой вес.

Задачу коммивояжера можно описать как задачу целочисленного линейного программирования [14].

Пусть имеются города $1, \dots, n$ и расстояние между городами $c_{ij} > 0$, где i — один город, j — другой. Таким образом основные переменные можно представить в виде:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } x \text{ принадлежит маршруту из города } i \text{ в город } j \\ 0 & \text{если } x \text{ не принадлежит маршруту из города } i \text{ в город } j, \end{cases} \quad (7)$$

тогда задача состоит в минимизации суммарного пройденного расстояния:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i, j=1}^n c_{ij} x_{ij}; \quad (8)$$

$$a) \sum_{i=1, i \neq j}^n x_{ij} = 1; \quad b) \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} = 1 \quad i, j = 1, \dots, n; \quad (9)$$

$$\sum_{i \in Q} \sum_{j \neq i, j \in Q} x_{ij} \leq |Q| - 1 \quad \forall Q \subsetneq \{1, \dots, n\}, |Q| \geq 2. \quad (10)$$

Первый набор равенств (9a) требует, чтобы в каждый город прибывали ровно из одного другого города, а второй набор (9b) — чтобы из каждого города было отправлено ровно в один другой город. Последнее ограничение (10) гарантирует, что никакое надлежащее подмножество Q не может сформировать подмаршрут, поэтому возвращаемое решение представляет собой один маршрут, а не объединение меньших маршрутов, иначе это приводит к экспоненциальному числу возможных решений.

К простейшим методам решения задачи относятся: полный перебор, случайный перебор, жадные алгоритмы, метод ближайшего соседа, метод включения ближайшего города, метод самого дешёвого включения, метод минимального остовного дерева, метод имитации отжига.

Алгоритмы решения, которые направлены на сокращения полного перебора, являются эвристическими, или «субоптимальными». Методы, использующие подобные алгоритмы, за разумное время способны дать приближенное решение. Методы точных алгоритмов позволяют находить решения достаточно быстро, однако это относится только к задачам малой размерности. Поэтому целесообразно использовать модификации алгоритма муравьиной колонии, метода ветвей и границ и метода генетических алгоритмов.

Заключение

Логистические информационные системы представляют собой автоматизированные системы управления логистическими процессами. Несмотря на высокую востребованность в промышленности эффективных методов решения логистических задач, а также достигнутый уровень элементной базы современных компьютеров, многие прикладные задачи логистики решаются с использованием эксклюзивных программных решений. Тем не менее, основу подобных решений, как правило, составляет развитие рассмотренных в статье математических постановок задач логистики.

Список источников

1. Панасенко Е. В. Логистика: персонал, технологии, практика: учеб. пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 224 с.
2. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов: учебное пособие / В. И. Сергеев, А. Н. Стерлигова, В. В. Дыбская, Е. И. Зайцев. М.: ИНФРА-М, 2005. 976 с.
3. Григорьев М. Н. Логистика: конспект лекций. М.: Юрайт, 2016. 207 с.
4. Логистика: учеб. пособие / А. У. Альбеков, Т. В. Пархоменко, Г. А. Лопаткин и др. М.: РИОР: ИНФРА-М, 2016. 403 с.
5. Логистика: учебник для среднего профессионального образования / В. П. Мельников, А. Г. Схиртладзе, А. К. Антонюк. М.: Юрайт, 2022. 287 с.
6. Анопоченко Т. Ю., Волошин Г. А., Григан А. М. Менеджмент: Экзаменационные ответы. Серия «Сдаем экзамен»: учеб. пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. 384 с.
7. Кузнецов А. В., Холод Н. И., Костевич Л. С. Руководство к решению задач по математическому программированию: учеб. пособие. Минск: Высшая школа, 1978. 110 с.
8. Словарь по кибернетике: учеб. пособие / под ред. В. С. Михалевича. Киев: Главная редакция Украинской советской энциклопедии имени М. П. Бажана, 1989. 751 с.
9. Конюховский П. В. Математические методы исследования операций в экономике: учеб. пособие. СПб.: Питер, 2000. 208 с.
10. Симаков Е. Е. Решение транспортных задач с применением программирования в системе MathCAD // Молодой ученый. 2014. № 5 (64).
11. Куличкина А. В., Захарова А. С., Ручкин В. Н. Решение транспортной задачи в исследовании операций // Методы и средства обработки и хранения информации: Межвузовский сборник научных трудов. 2019. С. 289–294.
12. Орлова И. В., Гармаш А. Н. Математические методы в управлении // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 11 (1). С. 125–126.
13. Алгоритмы: построение и анализ: учеб. пособие / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. М.: Вильямс, 2005. 1296 с.
14. Левитин А. В. Алгоритмы. Введение в разработку и анализ: учеб. пособие. М.: Вильямс, 2006. 576 с.

References

1. Panasenko E. V. *Logistika: personal, tekhnologii, praktika* [Logistics: personnel, technologies, practice]. Moscow, Infra-Inzheneriya, 2011, 224 p. (In Russ.).
2. Sergeev V. I., Sterligova A. N., Dybskaya V. V., Zaitsev E. I. *Korporativnaya logistika: 300 otvetov na voprosy professionalov* [Corporate logistics: 300 answers to professional questions]. Moscow, NIC INFRA-M, 2005, 976 p. (In Russ.).
3. Grigoriev M. N. *Logistika: konspekt lekciy* [Logistics: lecture notes]. Moscow, Yurajt, 2016, 216 p. (In Russ.).
4. Albekov A. U., Parkhomenko T. V., Lopatkin G. A. *Logistika* [Logistics]. Moscow, RIOR: INFRA-M, 2016, 403 p. (In Russ.).
5. Melnikov V. P., Skhirtladze A. G., Antonyuk A. K. *Logistika* [Logistics]. Moscow, Yurajt, 2022, 287 p. (In Russ.).
6. Anopchenko T. Yu., Voloshin G. A., Grogan A. M. *Menedzhment: Ekzamenacionnye otvety. Seriya "Sdaem ekzamen"* [Management: Exam answers. The series "Passing the exam"]. Rostov-on-Don, Feniks, 2002, 384 p. (In Russ.).
7. Kuznetsov A. V., Kholod N. I., Kontsevich L. S. *Rukovodstvo k resheniyu zadach po matematicheskomu programmirovaniyu* [A guide to solving problems in mathematical programming]. Minsk, Vysshaya shkola, 1978, 110 p. (In Russ.).
8. Mikhalevich V. S. *Slovar' po kibernetike* [Dictionary of Cybernetics]. Kiev, Glavnaya redakciya Ukrainskoj sovetskoj enciklopedii imeni M. P. Bazhana, 1989, 751 p. (In Russ.).
9. Konyukhovskiy P. V. *Matematicheskie metody issledovaniya operacij v ekonomike* [Mathematical methods of operations research in Economics]. Saint Petersburg, Piter, 2000, 208 p. (In Russ.).
10. Simakov E. E. Reshenie transportnyh zadach s primeneniem programmirovaniya v sisteme MathCAD [Solving transport problems using programming in the MathCAD system]. *Molodoj uchenyj* [Young Scientist], 2014, vol. 64, no. 5. (In Russ.).

11. Kulichkina A. V., Zakharova A. S., Ruchkin V. N. Reshenie transportnoj zadachi v issledovanii operacij [Solving the transport problem in operations research]. *Metody i sredstva obrabotki i hraneniya informacii Mezhevuzovskij sbornik nauchnyh trudov* [Methods and means of processing and storing information. Interuniversity collection of scientific papers], 2019, pp. 289–294. (In Russ.).
12. Garmash A. N., Orlova I. V. Matematicheskie metody v upravlenii [Mathematical methods in management]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2013, vol. 1, no. 11, pp. 125–126. (In Russ.).
13. Kormen T., Leiserson, Ch., Rivest R., Stein K. *Algoritmi: postroenie i analiz* [Algorithms: construction and analysis]. Moscow, Williams, 2005, 1296 p. (In Russ.).
14. Levitin. A. V. *Algoritmy. Vvedenie v razrabotku i analiz* [Algorithms. Introduction to development and analysis]. Moscow, Vilyams, 2006, 576 p. (In Russ.).

Информация об авторах

А. В. Шестаков — стажер-исследователь;

А. А. Зуенко — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

A. V. Shestakov — Intern Researcher;

A. A. Zuenko — Candidate of Science (Tech.), Leading Researcher.

Статья поступила в редакцию 15.10.2022; одобрена после рецензирования 14.11.2022; принята к публикации 21.11.2022.
The article was submitted 15.10.2022; approved after reviewing 14.11.2022; accepted for publication 21.11.2022.