

Оптимизация комплексных показателей эффективности логистики

Елена Викторовна Скакалина

Полтавский национальный технический университет, Украина

36011, г. Полтава, пр. Первомайский, 24

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: elena.skakalina@bk.ru

Аннотация. В статье рассмотрены подходы к процессу оптимизации ключевых показателей эффективности логистических систем. Выделена общая система показателей эффективности логистики. Предложена эффективная схема оптимальных по быстродействию расписаний в задачах назначения работ на неидентичные машины.

Ключевые слова: задача о назначениях; алгоритм Кана-Мункреса; NP-сложные задачи; эффективность логистики; ключевые показатели.

Введение. К особенностям класса задач оптимального назначения работ следует отнести основное звено, которое объединяет все задачи, относящиеся к этому направлению, а именно: квадратную матрицу $[\beta_{ij}]_m$ порядка m с неотрицательными целыми числами β_{ij} , характеризующими затраты на выполнение работы i на машине j . С выбором для каждой работы машины, способной ее выполнить, связана эффективность назначения m работ на m машин, формально называемая целевым функционалом.

Материалы и методы. Известен целый ряд заслуживающих внимания алгоритмов решения задач об оптимальных назначениях, временная сложность которых оценивается величиной не выше $O(N_{\max}m^4)$ [1]. Среди них необходимо выделить алгоритм Кана-Мункреса, применимый для решения задач с дополнительными ограничениями [2].

Обсуждение проблемы. За время развития логистики в промышленно развитых странах сформировалась система показателей, в общем плане оценивающих ее эффективность и результативность, к которым обычно относятся:

- общие логистические издержки;
- качество логистического сервиса;
- продолжительность логистических циклов;
- производительность;
- возврат на инвестиции в логистическую инфраструктуру.

Эти показатели можно назвать *ключевыми или комплексными показателями эффективности логистической системы*. Они лежат в основе отчетных форм компаний и систем показателей логистических планов разных уровней. Существуют общепринятые процедуры сравнительной оценки фирм (бенчмаркинг) в области логистики на основе аналитических и экспертных методов, использующие указанные комплексные показатели. Таким образом, ключевыми/комплексными показателями эффективности логистической системы называются основные измерители эффективности использования ресурсов в компании для сформированной логистической системы, в комплексе оценивающие результативность логистического менеджмента и являющиеся основой логистического планирования, учета и контроля.

Общими логистическими издержками называются суммарные затраты, связанные с комплексом функционального логистического менеджмента и логистическим администрированием в логистической системе. В составе общих логистических издержек можно выделить следующие основные группы затрат:

- затраты на выполнение логистических операций/функций (операционные, эксплуатационные логистические издержки);
- ущербы от логистических рисков;
- затраты на логистическое администрирование.

Общепринятыми в западном бизнесе являются выделение и учет затрат на транспортировку, складирование, грузопереработку, управление запасами, управление заказами, информационно-компьютерную поддержку и т.п. [3]. Важнейшим комплексным

показателем эффективности логистической системы является *продолжительность полного логистического цикла*, т.е. – время исполнения заказа потребителя (покупателя). Естественное требование, предъявляемое к этому комплексному показателю – его минимизация (minimization problems). Прежде чем ставить вопрос о NP – полноте таких оптимизационных задач, их следует преобразовать в задачу разрешения [4]. Обычно в качестве такой задачи разрешения рассматривают задачу проверки, является ли некоторое число верхней (или нижней) границей для оптимизируемой величины. Если после этого получается NP – полная задача, то тем самым установлена трудность исходной задачи. Таким образом, теорию NP – полноты можно использовать для решения задач оптимизации.

Рассмотрим одну из транспортных интерпретаций задачи о назначениях, содержащую изложенное требование к оптимальному решению.

Пусть два автопредприятия, расположенные в пунктах 1 и 2, выполняют между этими пунктами пассажирские перевозки m автобусами. Из расписания их движения в пунктах 1 и 2 известны время отправления и время прибытия каждого из $2m$ рейсов, а также продолжительность рейса, которую будем считать постоянной величиной.

Требуется минимизировать суммарное время, проводимое экипажами в нарядах, при условии, что все экипажи отправляющиеся из пункта 1 в пункт 2, должны возвращаться в пункт 1. Это же условие распространяется на все экипажи автобусов автопредприятия, расположенного в пункте 2.

В данном случае матрица $[\beta_{ij}^0]_m$ определяется с помощью двух таблиц

$[\beta_{ij}^1]_m$ и $[\beta_{ij}^2]_m$. Первая таблица содержит информацию о времени в наряде экипажей в предположении, что все перевозки выполняет в соответствии с расписаниями рейсов автопредприятие пункта 1. Вторая таблица составлена при условии, что выполнением всех рейсов заняты экипажи пункта 2. Другими словами, каждый элемент β_j^1 таблицы $[\beta_{ij}^1]_m$ равен в наряде экипажа, выполняющего рейсы i и j из пункта 1 в пункт 2 и обратно из пункта 2 в пункт 1. Аналогично, в матрице $[\beta_{ij}^2]_m$ величина β_{ij}^2 равна времени в наряде экипажа, отправившегося рейсом i из пункта 2 в пункт 1 и вернувшегося рейсом j из пункта 1 в пункт 2.

Очевидно, что решением поставленной задачи является решение задачи о назначениях для матрицы $[\beta_{ij}^0]_m$, в которой

$$\beta_{ij}^0 = \min(\beta_j^1, \beta_{ij}^2).$$

По принадлежности элементов оптимального решения к матрице $[\beta_{ij}^1]_m$ или $[\beta_{ij}^2]_m$ определяются количество автобусов автопредприятия пункта 1 и количество автобусов автопредприятия пункта 2, обеспечивающие согласно заданному расписанию их движения минимальное суммарное время пребывания экипажей в наряде.

Действия всех известных алгоритмов решения задачи о назначениях завершаются сразу же после построения первого оптимального назначения, в котором расхождения между наибольшим и наименьшим значениями его компонент с практической точки зрения могут оказаться неприемлемо большими. В приведенной содержательной постановке задачи полученные в оптимальном решении длительности пребывания экипажей в наряде в общем случае требуют коррекции.

Обобщением подобных задач является задача построения оптимального по быстродействию расписания из n двухэтапных работ, выполняемых двухуровневой системой машин, в которой первый уровень представлен единственной машиной, а второй уровень состоит из m параллельно действующих неидентичных машин.

Каждая работа i вначале выполняется на машине первого уровня за время γ_i , а затем на параллельной машине j , $j = \overline{1, m}$, за время β_{ij}^0 , так что длительности вторых этапов работ задаются матрицей $[\beta_{ij}^0]_{n \times m}$, где $\beta_{ij}^0 = \infty$, если машина j не может выполнить работу i . В любой момент времени каждая машина занята, самое большее, одной работой. Началом расписания является момент времени, когда все n работ готовы к выполнению на машине первого уровня.

В случае $n > m$ задача построения расписания минимальной длины относится к классу NP-сложных задач даже тогда, когда второй уровень системы представлен идентичными машинами. Эффективный алгоритм оптимального по быстродействию распараллеливания работ на неидентичных машинах представляет собой итерационный процесс и состоит в следующем: алгоритм описывает итерационный процесс построения локальных оптимальных последовательностей $\pi_{l\mu}^*$, начиная с последовательности, представленной единственным элементом $\beta_{\pi^0(m)}^0$, и заканчивая нахождением всех оптимальных перестановок длины m . Алгоритм состоит из $m-1$ итераций. На очередной итерации алгоритма для каждого оптимального локального решения $\pi_{(l+1)\mu}^*$ длины $m-l$, полученного на предыдущей итерации, находится множество из $(m-l)^2 + 1$ последовательностей π_{lt}^0 длины $m-l+1$, построенных способами а), б), в). Очевидно, что для N_l оптимальных локальных решений $\pi_{(l+1)\mu}^*$ необходимо построить $((m-l)^2 + 1)N_l$ допустимых последовательностей π_{lt}^0 . Далее, на множестве всех построенных последовательностей нужно выбрать все перестановки, которые доставляют минимум целевому функционалу задачи с входными данными, определяемыми матрицей B_{m-l+1} .

Представим алгоритм решения задачи в виде последовательности таких действий.

So°. Пусть $\pi^0 = (\pi^0(1), \pi^0(2), \dots, \pi^0(m))$ - допустимое решение, построенное для задачи в результате выполнения шагов S1-S4. Перестановке π^0 соответствует последовательность матриц $B_m = [\beta_{ij}^0]_m$, $B_{m-1}, \dots, B_2, B_1$. Исходные данные задачи дополнены столбцом $[\gamma_i]_{m \times 1}$, S1°. В матрице B_k найти все оптимальные локальные решения $\pi_{l\mu}^*$.

S2°. $k=k+1$; если $k > m$, то конец: построены все оптимальные локальные решения $\pi_{1\mu}^*$.

S3°. $l=l-1$. Выделить в матрице B_k подматрицу B_{k-1} и элемент $\beta_{\pi^0(l)}^0$. Для каждого локального оптимального решения $\pi_{(l+1)\mu}^*$ построить $(m-l)^2 + 1$ наборов значений из матрицы B_k .

S4°. В задаче найти сумму значений в каждом наборе и выбрать все наборы $\pi_{l\mu}^*$ с наименьшей суммой; перейти к шагу S5°. Найти максимальный элемент в каждом наборе и выбрать все наборы $\pi_{l\mu}^*$, в которых максимальный элемент принимает наименьшее значение; перейти к шагу S5°. Построить последовательности π_{lt}^0 и получить все локальные оптимальные решения $\pi_{l\mu}^*$; перейти к шагу S5°.

S5°. Перейти к шагу S2°.

Результаты. Задачи составления оптимальных по быстродействию расписаний работ относятся к классу полиномиально разрешимых задач. Задачи оптимального распараллеливания двухэтапных работ являются вариантами известных задач теории расписаний для случая, когда работы назначаются на неидентичные машины.

Заключение. На основе разработанной вычислительной схемы получены эффективные алгоритмы решения задач построения оптимальных по быстродействию расписаний из n двухэтапных работ, выполняемых двухуровневой системой из $m+1$ неидентичных машин, которые представляют собой обобщения задач о назначениях, задачи построения оптимальных по быстродействию расписаний из n трехэтапных работ. Эти алгоритмы могут быть с успехом применены в сложных логистических системах, что позволит создавать динамичные системы автоматизации управления сложными многоуровневыми корпорациями, способными адекватно и в реальном времени реагировать на изменения в предметной области и в конечном счете значительно оптимизировать комплексные показатели эффективности логистики.

Примечания:

1. Пападмитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 512 с.
2. Свами М., Тхуласироман К. Графы, сети и алгоритмы. Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 454 с.
3. Сергеев В.И. Корпоративная логистика. М.: Высшая школа экономики, 2005. 976 с.
4. Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. Алгоритмы: построение и анализ: (3-е издание). Пер. с англ. Вильямс, 2012. 1296 с.

UDC 519.8: 656

Optimization of the Integrated Logistics Efficiency Index

Elena V. Skakalina

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Ukraine
24, Pervomaysky Prospekt, Poltava 36011
Candidate of technical Sciences, associate Professor

Abstract. The article considers the approaches to the optimization of the key indices of the logistic network efficiency, detects the general system of the logistics efficiency index, presents the efficient schedule of the optimal timing for the nonidentical machines operation settings.

Keywords: task assignment; algorithm Can-Munkres; NP-hard problems; logistics performance; key indicators.