

Раздел VIII. Моделирование сложных систем

УДК 658.7

В.М. Курейчик, А.А. Рокотянский

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

Описывается метод планирования разгрузки и загрузки входящих и исходящих грузовиков на платформе кросс-докинг. Описывается математическая модель исследуемой задачи. Приводится обзор литературы и существующих методов решения задачи кросс-докинга. Цель работы состоит в том, что бы минимизировать время разгрузки и погрузки автотранспорта и исключить время хранения товара на складе. В статье описывается разработанный метод на основе генетических алгоритмов, направленный на решение задачи кросс-докинга. Представлены примеры и показаны результаты проделанной работы.

Кросс-докинг; разгрузка; загрузка; склад; расписание; генетический алгоритм.

V.M. Kureichik, A.A. Rokotyansky

SOLVING THE PROBLEM OF CROSS-DOCKING BY METHOD OF GENETIC ALGORITHM

This paper presents the scheduling of incoming and outgoing semi trailers in a transshipment platform. A set of incoming semi trailers, containing products for different destinations, arrives to the cross-docking. There is the review of literature and existing methods of solution of the problem of cross-docking. This paper studies the simultaneous scheduling of incoming and outgoing semi trailers for a single inbound and outbound door. The objective is to minimize the direct time of incoming and outgoing semi trailers. Genetic Algorithm's method is proposed to solve the cross-docking problem. In addition, few examples are performed and the results are shown.

Cross-docking; scheduling incoming and outgoing semi trailers; scheduling; genetic algorithm.

Введение. Концентрация производства в народном хозяйстве ведет к значительному усложнению транспортного процесса, в связи с чем, еще больше возрастает необходимость в интенсивном использовании автотранспортных средств на грузовых перевозках.

За последние годы наметилась тенденция снижения уровня интенсивности использования подвижного состава на грузовых перевозках. Во-первых это связано с тем, что грузовой парк страны стал массово пополняться (начиная с 1976 г.). Во-вторых, в перевозочном процессе до настоящего времени не отработаны многие организационные вопросы. Основной причиной при этом является отсутствие единой технологической системы организации перевозки грузов. Другими словами, нет согласованности в работе автотранспортных предприятий, поставщиков и получателей грузов. Эта цель может быть достигнута, если перевозочный процесс будет организован на базе заранее спроектированной прогрессивной технологии перевозок. Кроме того, изменение объемов продаж стало основным последствием кризиса, затронувшего практически все сферы экономики. В результате возникает необходимость проведения своевременного анализа существующей цепочки поставок товаров на предмет её эффективности. Транспортно-складские решения, оптимальные для докритических объемов продаж, сегодня могут оказаться убыточными [1].

В условиях сокращения объемов доставляемых до клиентов товаров повышается актуальность такого процесса, как кросс-докинг. У многих компаний объемы складского хранения резко сокращаются, а кросс-докинг позволяет минимизировать занимаемые складские площади, а иногда вообще убрать складское хранение из цепочки поставок.

В современной логистике понятие *кросс-докинг* (от англ. cross-docking – от cross – идущий напрямую и dock-док, причал, стыковка, соединение) – это логистическая операция внутри цепочки поставок, при которой отгрузка товара на склад и его последующая доставка получателю согласованы по времени таким образом, чтобы исключить хранение товара на складе. В результате партия продукции доставляется от поставщика (производителя) продавцу за максимально короткий срок. В результате партия продукции доставляется от поставщика (производителя) продавцу за максимально короткий срок. Кросс-докинг проходит в один или два этапа. При использовании одноэтапного кросс-докинга получатель адресует товар определенной торговой точке, и груз проходит через склад как отдельный заказ без изменений. Двухэтапный кросс-докинг предполагает, что партия товара, отгруженная поставщиком на склад в качестве логистической единицы, будет переформирована. При этом товар на складе можно делить на группы (каждая из которых доставляется в торговую точку) или собирать в единый блок (логистическую единицу) вместе с другими частями этого же заказа. Хранение товара на складе при использовании двухэтапного кросс-докинга также исключается.

Коммерческая эффективность использования кросс-докинга состоит в возможности развития транспортно логистической инфраструктуры регионов, имеющих сложную структуру транспортных перевозок и высокую степень неопределенности в задачах управления транспортными потоками. Применение методов интеллектуального анализа данных и эволюционного моделирования для создания информационных систем логистической поддержки и мониторинга транспортной инфраструктуры позволит в кратчайшие сроки, с самого начала использования информационной системы, получить значительное уменьшение расходов за счет более эффективного использования ресурсов транспортных предприятия и организаций поставщиков и клиентов.

Эффективность использования кросс-докинга в цепочке поставок будет наиболее заметной для компаний:

1. С большим количеством товарных позиций с низкой оборачиваемостью. Держать такие товары на стеллажном хранении очень неэффективно и удобнее поставлять товары в торговые центры по мере их необходимости.
2. У которых дорогая транспортная логистика. В этом случае использование кросс-докинга будет намного дешевле.
3. Реализующих негабаритные товары. Хранить негабаритный товар на универсальном складе весьма проблематично.

При этом концепция кросс-докинга выходит за рамки физического процесса товарооборота. Тесное информационное взаимодействие всех партнеров обеспечивает эффективное планирование, организацию и контроль всей цепочки поставок. Преимущества кросс-докинга состоят не только в сокращении запасов и издержек на складирование, но и в устранении всех операций, не добавляющих ценности продукту, которые появляются при загрузке материалов на хранение и последующей перегрузке.

Преимуществами сквозного складирования:

- ◆ более быстрая доставка продукции к пунктам назначения;
- ◆ сокращение складских площадей и снижение затрат на оплату аренды складов и труд персонала.

Оптимальными для сквозного складирования считаются товары с высоким спросом и значительным объемом транспортировки: товары массового потребления, пользующиеся постоянным спросом; скоропортящиеся продукты; товары высокого качества; продукция для рекламных мероприятий.

Использование кросс-докинга наиболее целесообразно в следующих случаях:

1) мелкие партии и большой ассортимент, смешанные паллеты. Данную ситуацию можно наглядно проиллюстрировать на примере доставки в магазины алкогольной продукции. Поставщики отправляют сборные паллеты, где представлены различные наименования продукции в небольших количествах. Мелкие партии, собранные от всех поставщиков, затем уходят конечному получателю (в магазины). Другими словами, кросс-докинг удобен при необходимости консолидации мелких партий товара от различных поставщиков;

2) при необходимости периодической отправки товара от нескольких поставщиков конечным получателям в регионах;

3) работа с товарами, которые затратно и неудобно хранить (товары, для которых характерна высокая оборачиваемость; скоропортящиеся товары: овощи, фрукты, мясо и т.п.);

4) при проведении рекламных акций/промо-акций, когда идет отгрузка по многим адресам при небольшой номенклатуре, а также в случае доставки сезонных товаров. Примером может служить акция «Снова в школу», когда в середине августа в магазины завозятся школьные принадлежности. При этом доставляемый на склад товар должен быстро распределяться по магазинам. Товары, обрабатываемые в процессе кросс-докинга, должны характеризоваться высоким уровнем прогнозируемости спроса, удобством обработки и значительными объемами. Наиболее актуально использовать кросс-докинг при организации цепи поставок в розничных сетях.

Постановка задачи. Рассмотрим выбранную рабочую модель кросс-докинга. В данной модели имеется один пункт приема товара и один пункт отправки, также имеется временное хранилище неограниченного объема. Имеется R грузовиков с товаром, необходимо распределить все товары по другим S грузовикам. Для каждого входящего грузовика известно, сколько и каких товаров он доставил, также для каждого исходящего грузовика известно, сколько и каких товаров необходимо в него поместить. Процесс разгрузки и погрузки происходит следующим образом [2].

Множество приехавших грузовиков отгружаются по очереди в пункте приема, причем каждый последующий грузовик начинает отгружаться, только после того, как полностью отгрузился предыдущий. Все полученные товары помещаются во временное хранилище. Таким образом, можно сказать, что грузовики доставки образуют «поток отгрузки».

Одновременно с ними загружаются по очереди грузовики для приема. Каждый грузовик погрузки загружается товарами из временного хранилища, если в хранилище нет нужных товаров, то грузовик будет ждать до тех пор, пока они не появятся. Соответственно, грузовики погрузки образуют «поток погрузки».

Время, затраченное на все операции, будет совпадать со временем отъезда последнего грузовика погрузки.

Представим данную задачу более строго в математической постановке. Для начала введем следующие обозначения: M – общее время работы (makespan); R – число входящих (выгружаемых) грузовиков; S – число выходящих (загружаемых) грузовиков; N – число типов товаров; D – время замены машины; V – время перемещения товаров от выгрузки (временного хранилища) до погрузки; τ_{ik} – число единиц товара k , погруженного во входящем грузовике i ; s_{jk} – число единиц товара k , который требуется погрузить в выходящий грузовик j ; t_{ij} – число единиц товара

k , который перемещается из машины i в машину j ; v_{ij} – равен 1, если $t_{ij} > 0$, и равен 0 в противном случае; C_i – время отъезда входящей машины i ; C_j – время отъезда выходящей машины j .

Критерием задачи является время погрузки, его требуется минимизировать. Время погрузки рассчитывается по следующей формуле:

$$M = C_{[S]}$$

$$C_{[i]} = \sum_{k=1}^N r_{[i]k} \quad (i=1)$$

$$C_{[i]} = C_{[i-1]} + D + \sum_{k=1}^N r_{[i]k} \quad (2 < i < R)$$

$$C_{[j]} = \max(h_1, h_2)$$

где

$$h_1 = \max_{1 \leq i \leq R} \left\{ v_{[i][j]} \left(C_{[i]} - \sum_{k=1}^N r_{[i]k} + \sum_{k=1}^N t_{[i][j]} + V + D \right) \right\}$$

$$h_2 = C_{[j-1]} + D + \sum_{k=1}^N s_{[j]k}$$

Переменными в данном случае являются порядки подъезда и отъезда входящих и выходящих машин, то есть порядок строк матриц r_{ik} и s_{jk} . Перестановку входящих машин будем обозначать PR, а перестановку выходящих PS. По сути, время работы будет зависеть от этих двух перестановок, поэтому нашу задачу можно обозначить так: $M(PR, PS) \rightarrow \min$.

Кодирование решений. В своей работе Yu и Egbelu [3] решали данную задачу в два этапа. На первом этапе определялась перестановка машин доставки, а на втором – перестановка машин сбыта. Такой подход можно использовать и при разработке генетического алгоритма.

Решение будем представлять при помощи векторной хромосомы. Векторные хромосомы – это такие хромосомы, гены которых представляют собой векторы целых чисел. При этом аллели генов обладают свойствами негомологичной числовой хромосомы, т.е. элементы вектора могут принимать значения в заданном интервале, и вектор не может содержать двух одинаковых чисел. Тем не менее, хотя гены в векторных хромосомах негомологичны, сами хромосомы являются гомологичными: первая будет кодировать решение задачи на первом этапе, а вторая на втором. Каждая хромосома кодирует перестановку номеров грузовиков, геном является номер грузовика. Соответственно, длина первой хромосомы будет равна R , а второй равна S .

Целесообразно использовать негомологичную хромосому. В негомологичных хромосомах гены могут принимать значение в заданном интервале; при этом интервал одинаков для всех генов, но в хромосоме не может быть двух генов с одинаковым значением. Для негомологичных хромосом применяются различные специальные генетические операторы, не создающие недопустимых решений [5].

Структурная схема алгоритма. В качестве алгоритма решения поставленной задачи был выбран простой генетический алгоритм. Особое внимание уделим алгоритму вычисления целевой функции. Расчет ЦФ можно условно разделить на два этапа: расчет интервалов разгрузки и расчет интервалов загрузки. Собственно значение ЦФ будет являться временем загрузки последнего грузовика. Схема алгоритма расчета интервалов загрузки изображена на рис. 1. На рис. 2 и 3 показана схема алгоритма вычисления ЦФ [4].

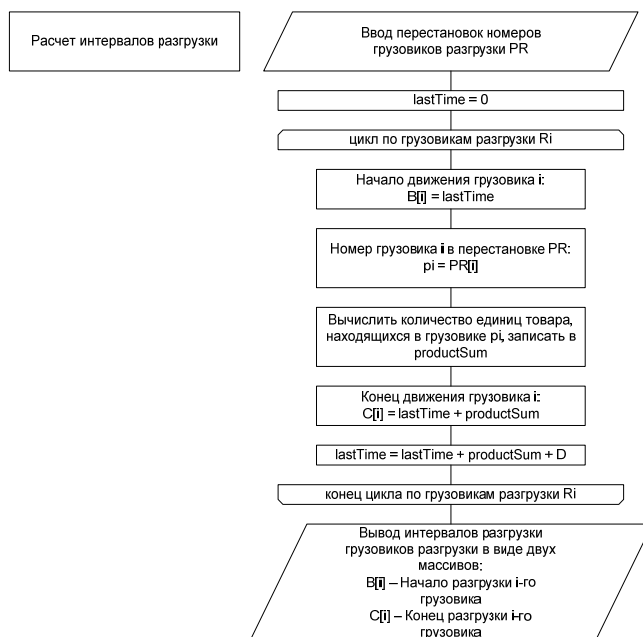


Рис. 1. Процедура расчета интервалов разгрузки

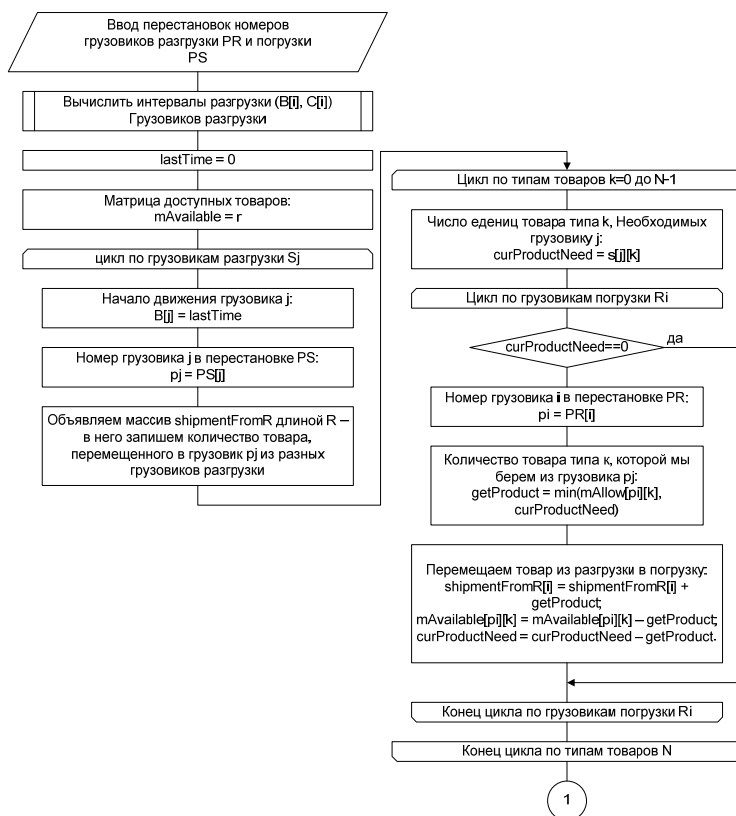


Рис. 2. Схема алгоритма вычисления целевой функции

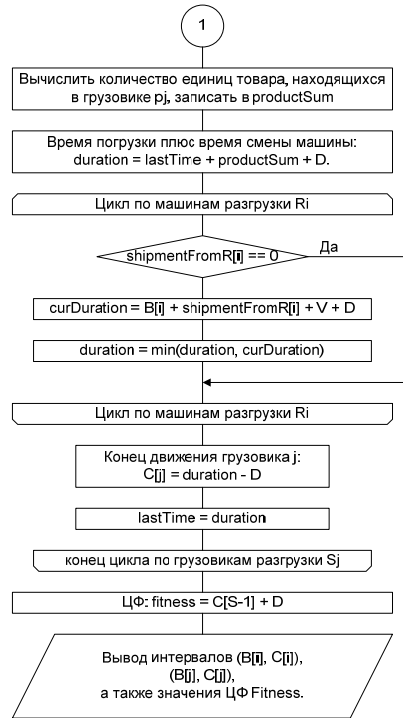


Рис. 3. Продолжение схемы алгоритма вычисления целевой функции

В рассмотренных алгоритмах использован массив B , он связан с массивом C из приведенных выше формул следующим соотношением:

$$B_{[t]} = \begin{cases} 0, & t = 1; \\ C_{[t-1]} + D, & t > 1. \end{cases}$$

В этом массиве хранятся моменты начала разгрузки.

Удобство такого обозначения состоит в том, что формулу для h_1 можно переписать так:

$$h_1 = \max \left(\tau_{[1]} \left(B_{[1]} + \sum_{i=1}^N \tau_{[i]} + V + D \right) \right)$$

Временная сложность генетического алгоритма зависит от числа вершин или автомобилей разгрузки и погрузки для задачи кросс-докинга: $O(N^2)$. На рис. 4 отображен график зависимости времени работы ГА от числа автомобилей.

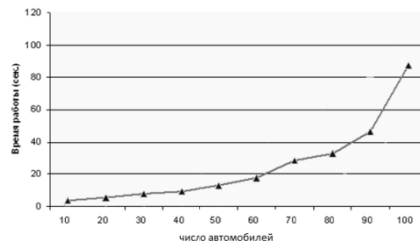


Рис. 4. График зависимости времени работы ГА от числа автомобилей

Заключение. В данной работе авторами был предложен алгоритм решения задачи кросс-докинга. Алгоритм находит приемлемое решение за полиномиальное время, что позволит использовать его в реальных задачах. Помимо высокой скорости работы, важным преимуществом является высокая адаптивность алгоритма, благодаря чему, могут быть учтены дополнительные ограничения, возникающие на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пиола В.В.* О приближенном решении 3-х мерной задачи об упаковке на основе эвристики // Интеллектуальные системы.–2007. –Вып. 1-4.
2. *Вельможин А. В.; Гудков В. А.; Миротин Л. Б.; Куликов А. В.* Грузовые автомобильные перевозки: учеб. для студентов вузов.– М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 559 с.
3. *Бочкарев А.А.* Унифицированная методика оптимизации маршрутов в цепях поставки товаров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lobanov-logist.ru/index.php?newsid=152>.
4. *Гладков Л.А., Курейчик В.М., Курейчик В.В.* Генетические алгоритмы. – Ростов-на-Дону: ООО «Ростиздат», 2004.
5. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Сороколетов П.В.* Биоинспирированные методы в оптимизации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 384 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

Курейчик Виктор Михайлович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: kur@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 88634393260; зам. руководителя по научной и инновационной деятельности; профессор.

Рокотянский Александр Александрович – e-mail: AlexRoko@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП-17А; тел.: 88634371651; кафедра систем автоматизированного проектирования; аспирант.

Kureichik Victor Michylovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kur@tsure.ru; GSP 17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634393260; the deputy the head on scientific work and Innovations; professor.

Rokotyansky Alexander Alexandrovich – e-mail: AlexRoko@gmail.com; GSP-17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371651; the department of computer aided design; postgraduate student.