УДК 65.011.56

А. А. НИКУЛЬЧЕНКО, ассистент кафедры КМММ НТУ «ХПИ»

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ДИСТРИБУЦИИ ТОВАРОВ

Предлагается использование комбинированного метода динамического программирования и генетических алгоритмов для нахождения оптимального плана дистрибуции товаров в многономенклатурных системах с несколькими точками поставки и ограничениями на объемы поставок. Выполнена реализация предложенного алгоритма и проведены его испытания на реальных данных.

Ключевые слова: генетические алгоритмы, динамическое программирование, задача дистрибуции товаров, многокритериальная задача упаковки рюкзака.

Введение. В условиях бурного развития средств связи и сети Интернет все больше и больше ритейлеров осознают необходимость в «online присутствии» для дальнейшего развития своего бизнеса и поддержания конкурентоспособности. В случае торговых сетей под «online присутствием» понимается наличие Интернет-магазина товаров и системы доставки этих товаров конечным потребителям. Для уменьшения затрат на доставку товаров конечным потребителям очень часто используется географически распределенная сеть складов, что позволяет удовлетворять заказы из складов географически расположенных близко к потребителю, и тем самым уменьшая затраты на доставку. Однако ближайший к потребителю склад может не обладать достаточным запасом товаров, чтоб удовлетворить все поступившие на него заказы, и в этом случае часть этих заказов необходимо будет удовлетворить с более географически удаленных складов, тем самым увеличивая суммарные затраты на доставку товаров. В итоге перед ритейлером встает задача оптимального распределения всех заказов между складами таким образом, чтобы каждый склад имел возможность удовлетворить отправленные ему заказы, и при этом суммарные затраты на доставку всех заказов из всех складов были минимальны.

В данной работе предложено использование комбинированного алгоритма динамического программирования и генетических алгоритмов для решения выше описанной оптимизационной задачи.

Анализ практически применяемых решений. На первом этапе был проведен анализ наиболее часто применяемого на практике алгоритма с целью оценки его оптимальности и определения необходимости его усовершенствования.

В настоящее время для решения данной задачи на практике применяется следующий «жадный» алгоритм:

- Все заказы выстраиваются в некотором порядке.

- На каждом шаге выбирается следующий заказ из списка, и находится ближайший склад способный удовлетворить заказ в полном объеме, с учетом наличного запаса товаров и распределенных ранее заказов. Процедура повторяется для следующего заказа в списке.
- Заказы, которые не удалось удовлетворить в полном объеме, разбиваются вручную на несколько складов.

Очевидно, что в случае наличия достаточных запасов на каждом из складов и возможности удовлетворить любой заказ из ближайшего склада предложенный жадный алгоритм будет давать оптимальное решение поставленной задачи. Однако анализ, проведенный на основе использования данного алгоритма для украинского дистрибьюра, компании ООО Фирма «СТВ», показал, что в среднем только 30% заказов удается удовлетворить с ближайшего склада, еще 40% получается удовлетворить в полном объеме с более удаленного склада, а оставшиеся 30% приходится разбивать на несколько складов. Данный анализ показывает неоптимальность используемого алгоритма и необходимость разработки алгоритма, позволяющего находить решения, с меньшей суммарной стоимостью доставки товаров.

Математическая модель и постановка задачи. Предположим, что на рассматриваемый момент времени перед нами стоит задача распределения m заказов содержащих n различных товаров по p складам.

Введем следующие обозначения:

$s_{i,k}, i=\overline{1,p}, k=\overline{1,n}$ – количество товара k на складе i;

$\mathrm{o}_{j,k}, j=\overline{1,m}, k=\overline{1,n}$ – количество товара k в заказе j;

$\mathrm{c}_{i,j}, i=\overline{1,p}, j=\overline{1,m}$ – затраты на доставку заказа (или части заказа) j со склада i;

$\mathrm{x}_{i,j,k}, i=\overline{1,p}, j=\overline{1,m}, k=\overline{1,n}$ – количество единиц товара k которые планируется поставить со склада i для удовлетворения заказа j.

Тогда исходная задача может быть сформулирована как задача нахождения $\mathrm{x}_{i,j,k}$, удовлетворяющих условиям:

$$\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{m}\operatorname{sgn}\left(\sum_{k=1}^{n}\mathrm{x}_{i,j,k}\right)\mathrm{c}_{i,j} \to \min, \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{p}\mathrm{x}_{i,j,k} = \mathrm{o}_{j,k}, \quad \forall j=\overline{1,m}, \forall k=\overline{1,n}, , \qquad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{m}\mathrm{x}_{i,j,k} \le \mathrm{s}_{i,k}, \quad \forall i=\overline{1,p}, \forall k=\overline{1,n}, \qquad (3)$$

где (1) – условие выполнения всех заказов, (2) – условие не превышения доступных остатков товаров, а (3) – цель задачи дискретной оптимизации.

Описание комбинированного алгоритма решения задачи. Легко показать, что в случае существования только одного склада для удовлетворения заказов, поставленная задача аналогична *многокритериальной задаче упаковки рюкзака* (*multidimensional knapsack problem*) [1, 2]. Хорошо известно, что данная задача является NP-полной, что означает невозможность построения полиномиального алгоритма для ее решения. Наличие же нескольких (а на практике – достаточно большого количества) складов, а также возможность удовлетворения заказа из нескольких складов, делает невозможным применение методов динамического программирования (чаще используемых для решения задачи упаковки рюкзака) для получения близкого к оптимальному решения в разумные временные рамки.

К приближенным методам решения подобных оптимизационных задач относят генетические алгоритмы, эффективность применения которых была изучена в [3].

Для решения поставленной задачи предлагается применять комбинированный алгоритм, использующий методы динамического программирования и генетических алгоритмов. В терминах генетических алгоритмов каждое возможное распределение заказов по складам будем называть особью.

Вначале необходимо найти ответ о разрешимости поставленной задачи, путем расчета критерия:

$$\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{m} \mathrm{x}_{i,j,k} \le \sum_{i=1}^{p} \mathrm{s}_{i,k}, \quad \forall k = \overline{1, n}. \tag{4}$$

Если данное условие не выполняется, то на данном шаге будет невозможно удовлетворить все заказы, и необходимо выбрать и удалить из задачи некоторые заказы до тех пор, пока условие (4) не будет выполнено. После выполнения условия (4) начинается поэтапное применение генетического алгоритма.

На первом этапе построим начальную популяцию из некоторого количества особей, распределив заказы по складам, используя методы динамического программирования:

- Отсортируем список заказов в произвольном порядке.
- Выбирая заказы по очереди, будем использовать методы динамического программирования для оптимального распределения выбранного заказа с учетом наличия товаров на складе, а также уже ранее распределенных заказов.
- Выполнив данное распределение для всех заказов, мы получим некоторое решение задачи распределения (особь).
- Повторим пункты 1–3 с различными начальными сортировками заказов, тем самым получая каждый раз новую особь для начальной популяции.

Очевидно, что решения, полученные при различном начальном порядке заказов, будут разными, и простое использование данного жадного алгоритма в большинстве случаев не будет давать решение, с достаточно низким значением критерия (1). Также очевидно, что если существует решение, которому соответствует меньшее значение критерия, то в нем хотя бы один заказ размещен с более низкой стоимостью, чем в полученном решении.

На втором этапе переберем все особи из начальной популяции и применим к каждой из них следующую мутацию:

- Выберем произвольный заказ из данного решения, который распределен способом, не обеспечиваемым минимальное значение критерия.
- Распределим выбранный заказ с минимально возможной стоимостью доставки, не учитывая при этом остальные заказы.
- Очевидно, что после такого распределения выбранного заказа для одного или нескольких складов будет нарушено условие (2). Выберем на данных складах те заказы, удаление которых приведет к выполнению неравенства (2).
- Выбирая удаленные на шаге 3 заказы по очереди, будем использовать методы динамического программирования для оптимального распределения выбранного заказа с учетом наличия товаров на складе, а также уже ранее распределенных заказов.

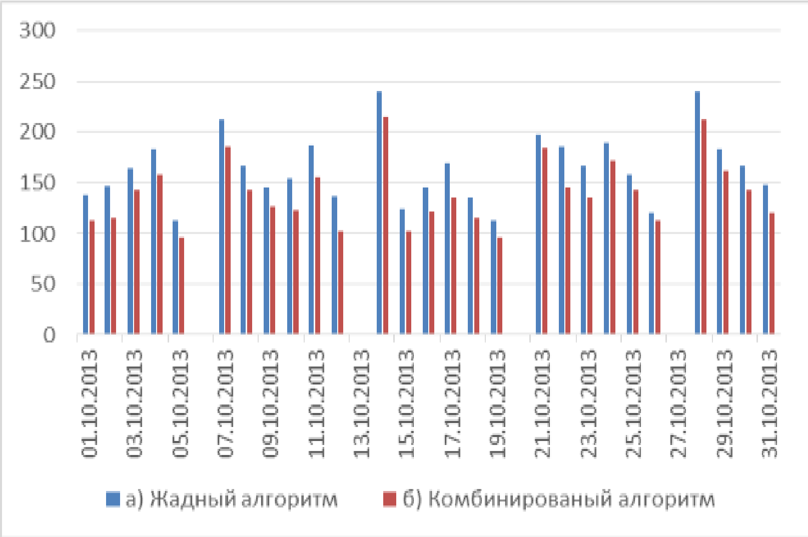
В результате выполнения второго этапа мы удвоим размер нашей популяции, добавив в нее по одному «решению с мутацией» для каждого изначального решения.

На третьем этапе рассчитаем значения критерия (3) для каждого полученного решения в популяции, и удалим из нее те, для которых этот критерий выше среднего для популяции. Снова перейдем ко второму этапу, тем самым получая механизм генерации следующих популяций.

Из описанного алгоритма видно, что каждая новая популяция будет содержать решения со значением критерия оптимизации не выше, чем в предыдущей популяции. Критериями остановки данного алгоритма могут быть:

- Достиженияе определенного количества итераций
- Получение решения, которое по каким-то заданным критериям можно считать достаточно близким к оптимальному.
- Достижения определенного временного лимита на решение поставленной задачи.

Результаты применения полученного алгоритма. Предложенный алгоритм решения задачи поиска оптимальной дистрибуции заказов был реализован на языке программирования Python. В качестве исходных данных были взяты реальные данные компании «СТВ». Компания производит удовлетворение примерно 200 заказов ежедневно с 80 географически распределенных складов. С целью скрыть реальные показатели работы компании все стоимости были умножены на некоторую случайно сгенерированную константу. Для оценки качества работы разработанного алгоритма было выполнено сравнение результатов работы жадного алгоритма, применяемого на данный момент в компании с результатами работы описанного комбинированного алгоритма на основе исторических данных на протяжении 30 дней. Результаты данного сравнения отображены ниже на рисунке.



Расходы на дистрибуцию товаров: *а* – с использованием жадного алгоритма; *б* – с использованием комбинированного алгоритма

Из приведенного на рисунке графика видно, что замена текущего жадного алгоритма на предложенный комбинированный даст существенное снижение затрат на доставку товаров и является экономически выгодной.

Связь с задачами пополнения запасов. Следует отметить, что сама необходимость решения описанной задачи может говорить о неоптимальной стратегии пополнении запасов на складах. Действительно, если бы каждый склад имел в наличии достаточно ресурсов для удовлетворения всех ближайших к нему заказов, то все заказы можно было бы удовлетворить с минимальной возможной стоимостью доставки. Тем не менее, существование высоких запасов товаров на складе означает повышенные расходы на хранение товара, а также слишком высокую суммарную стоимость инвентории.

Таким образом, задача пополнения запасов с поддержанием минимального страхового уровня в каком-то смысле может быть противоположна задаче оптимальной дистрибуции. Увеличение страховых запасов, а значит и стоимости хранения приводит к уменьшению стоимости доставки товаров конечным потребителям и наоборот.

Другим расширением задачи об оптимальной дистрибуции можно считать учет динамической информации о пополнении запасов. В некоторых случаях, зная что необходимые запасы будут пополнены в ближайшее время, может быть экономически более выгодно отложить удовлетворения заказа на некоторое время и потом его доставка по минимальной цене, чем удовлетворение заказа в текущий момент времени по более высокой цене доставки.

В результате особый интерес представляет разработка методов управления запасов и их дистрибуции, учитывающих одновременно и стоимость хранения и стоимость дистрибуции товаров.

Выводы. В работе сформулирована задача оптимальной дистрибуции товаров с нескольких складов. Для поставленной задачи предложен комбинированный алгоритм решения на базе методов динамического программирования и генетических алгоритмов. Предложенный алгоритм реализован в программном комплексе, и на базе результатов его работы проведено сравнение с методами, применяемыми на предприятии на данный момент, и дано экономическое обоснование реализации предложенного алгоритма для решения задачи дистрибуции на предприятии.

Список литературы: **1.** *Martello S., Toth P.* Knapsack problems. Algorithms and Computer Implementations / *Martello S., Toth P.* – John Wiley & Sons, 1990. – 306 с. **2.** *Pisinger D.* Algorithms for Knapsack Problems / *Pisinger D.* – Ph.D. thesis, 1995. – 200с. **3.** *Батищев Д. И., Неймарк Е. А., Старостин Н. В.* Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации / *Батищев Д. И., Неймарк Е. А., Старостин Н. В.* – [Электронный ресурс]: http://m.chorus-nnsu.ru/pages/e-library/aids/2007/15.pdf **4.** *Авдеев А. А.* Применение генетических алгоритмов к задачам оптимизации. / *Авдеев А. А.* // Технические науки – 2008. – № 2. – С. 110–111.

Надійшла до редколегії 30.10.2013

УДК 65.011.56

Применение генетических алгоритмов при расчете оптимального плана дистрибуции товаров / А. А. Никульченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 62 (1035). – С. 15–20. – Бібліогр.: 4 назв.

Пропонується використання комбінованого методу динамічного програмування і генетичних алгоритмів для знаходження оптимального плану дистрибуції товарів у багатономенклатурних системах з декількома точками поставки та обмеженнями на обсяги поставок. Виконана реалізація запропонованого алгоритму та проведено його випробування на реальних даних.

Ключові слова: генетичні алгоритми, динамічне програмування, задача дистрибуції товарів, багатокритеріальна задача упаковки рюкзака.

Composed method of dynamic programming and genetic algorithms suggested to find the optimal plan of distribution of the goods in multinomenclature systems with multiple distribution points and restrictions on shipments. The implementation of the proposed algorithm is completed and tested on real data.

Keywords: genetic algorithms, dynamic programming, the problem of distribution of goods, multiple knapsack problem.