



Виктор Псиола,
к.ф.-м.н., генеральный директор и ведущий
разработчик компании ЗАО «Пакер 3д»



Александр Строгалов,
к.ф.-м.н., доцент кафедры математической теории
интеллектуальных систем механико-математического
факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

ОБ ОДНОЙ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧЕ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ

Часть I

АННОТАЦИЯ. В настоящей работе излагаются некоторые принципы построения алгоритмов упаковки с эвристическими функционалами качества, разработанных и внедренных на различных предприятиях компанией «Пакер 3д».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Алгоритм, упаковка, оптимизация, эвристический функционал, логистика.

ANNOTATION. In this paper we present some principles of packing algorithms with heuristic quality functionals, developed and implemented in various enterprises by "Packer 3d".

KEY WORDS. Algorithm, packing, optimization, heuristic functionality logistician.

Введение

Под оптимизацией в логистике в общем виде можно понимать такое изменение бизнес-процессов, которое приводит к увеличению эффективности работы организации, уменьшению ее расходов и увеличению прибыли. Наиболее очевидным направлением оптимизации является автоматизация – разработка и внедрение технических и информационных средств с целью освобождения (либо уменьшения) участия человека в бизнес-процессах организации без ущерба для самих процессов.

Примеры подобной автоматизации:

- в таможенной логистике – системы автоматического формирования таможенной декларации и других сопроводительных документов для груза на основе данных внутренней информационной системы организации;
- в закупочной логистике – системы автоматического форми-

рования заказов у поставщиков на основе складских запасов и прогнозов продаж;

- в складской логистике – методы автоматизации распределения и поиска товара на пространстве склада и т.д.

Внедрение указанных систем и методов повышает эффективность работы отделов и сотрудников, позволяет уменьшить их количество или повысить производительность труда, снизить издержки, возникающие из-за простаивающих складов, транспортных средств и магазинов, связанные с ожиданием поступления нужных товаров. Особых идейных трудностей в процессе автоматизации такого рода задач нет, нужны только заказчики, обладающие финансовыми ресурсами и желанием сделать свой бизнес эффективнее.

Важной задачей оптимизации является повышение эффективности самих бизнес-процессов. Например, в бытовой логистике особое разме-

щение товара на полках магазина может существенно повысить продажи и, как следствие, общую прибыль. При решении этой задачи на основе информации об объемах продаж, проводимых рекламных кампаниях, типах товаров, правилах группировки связанных товаров и другой информации формируют планы размещения товара на стеллажах и полках. К плановым предъявляют много противоречивых требований, что усложняет их формирование и требует разработки специальных методов, в частности технологии «Data mining», нечеткой логики и др.

Основными критериями эффективности в складской логистике выступают отсутствие ошибок при приемке и отправке товара, доступность информации и наличие товара на складе в месте его размещения. Соответственно, основной задачей оптимизации работы склада является автоматизация процессов приемки, отправки

и контроля товара на складе, максимально уменьшающая возможные ошибки. Для оптимизации работы склада важно эффективное размещение товаров в пространстве склада, приводящее к минимизации времени поиска, погрузки и разгрузки товара, а также используемой площади склада.

В транспортной логистике существуют свои задачи, оптимальное решение которых может привести к уменьшению расходов на транспортировку:

- поиск кратчайшего маршрута проезда от склада до нескольких торговых точек;
- формирование расписания рейсов с учетом времени работы складов/магазинов и пробок;
- подбор транспортных средств для перемещения товаров с учетом собственного парка и возможности привлечения сторонних транспортных компаний;
- распределение товара по транспортным средствам и расписанию;
- оптимальное размещение товара внутри транспортных средств;
- выбор тары для эффективной упаковки и транспортировки товара и др.

Если некоторые из вышеперечисленных задач автоматизации решаются разработкой простых технических и компьютерно-информационных систем, которые полностью повторяют некоторые четко регламентированные действия специалиста, то для оптимального решения других задач, особенно в сфере транспортной логистики, требуется применять различные математические методы и подходы. С теоретической точки зрения для большинства из них есть строгая математическая формулировка и проведены серьезные и глубокие исследования на предмет нахождения наилучшего решения:

- поиск наилучшего маршрута – «задача коммивояжера»;
- формирование расписания рейсов – «задача составления расписания»;
- оптимальное размещение товара внутри транспортных средств – «задача о рюкзаке».

Все эти задачи являются NP-полными [1], т.е. для них не известен алгоритм быстрого поиска наилучшего решения и, соответственно, пока невозможно разработать программу, которая бы это наилучшее решение

предоставляла. Однако на практике требование нахождения наилучшего решения оказывается не так уж критично. В подавляющем большинстве случаев нет необходимости в нахождении именно наилучшего решения, достаточно найти хорошее, близкое (в той или иной степени) к наилучшему. А вот для поиска таких хороших решений существует множество методов и подходов.

Главным требованием к решению перечисленных задач с практической точки зрения является необходимость быстрого нахождения ответа при большом объеме входных данных, что во многих случаях делает поиск точного (наилучшего) решения нереальным, но позволяет быстро найти (за счет отказа от поиска точного решения) приемлемое хорошее приближение для решения задачи.

В качестве успешного примера математического подхода к решению сугубо практической задачи оптимизации в транспортной логистике ниже рассматриваются задача заполнения транспортного средства и алгоритм, ее решающий. Программная система *packer3d*, реализованная компанией «Пакер 3д» на основе описанного алгоритма, внедрена и успешно используется на предприятиях различных сфер деятельности.

Задача заполнения транспортного средства

Задача нахождения оптимальной укладки груза для перевозки достаточно легко формулируется в своей тривиальной постановке: *требуется найти такую схему расположения прямоугольных ящиков в трехмерном объеме, чтобы осталось как можно меньше свободного места*. Иначе говоря, требуется решить задачу максимального заполнения транспортного средства (ТС) с целью минимизации использования таких ТС и уменьшения транспортных расходов. Как утверждалось выше, разработать приемлемо быстрый алгоритм нахождения **наилучшего** решения этой задачи для любой конфигурации грузов и ТС невозможно. Но компании «Пакер 3д» удалось разработать алгоритм и программную систему для поиска приближенного решения этой задачи, которая дает вполне удовлетворительные результаты и в большинстве случаев позволяет найти оптимальную укладку грузов, чем

та, что может предложить человек без использования каких бы то ни было вспомогательных программных средств. Как показала практика внедрения, в подавляющем большинстве случаев схема укладки, которая формируется разработанной программой, устраивает пользователя по проценту заполнения объема ТС, но возникают различные технические сложности применения такой схемы на практике.

Первая проблема, с которой сталкивается пользователь, – подготовка данных. Чтобы рассчитать схему укладки, программе требуется знать, как минимум, линейные размеры ящиков и объемы для заполнения (внутренние размеры ТС). Эта информация чаще всего недоступна, особенно если речь идет о транспортных компаниях, получающих предварительные заказы на перевозку от своих клиентов. Применить математические методы оптимизации в этих случаях невозможно. Требуется изменить бизнес-процессы таким образом, чтобы задача поиска оптимальной схемы укладки возникала уже после появления всех необходимых данных. Например, можно запрашивать у клиентов в предварительных заказах на транспортировку не только информацию о массе товара, но и его линейные размеры. Как альтернатива возможна установка лазерного сканера размеров, который формирует полный пакет информации о весе и размерах товара.

Ситуация по сбору данных усложняется в том случае, когда большинство перевозимых товаров не являются прямоугольными. Например, транспортировка железобетонных изделий, где объектом транспортировки выступают кольца, полукольца, трапеции, уголки, Т-образные фигуры. Особенности геометрии этих объектов используют при укладке: уголки – лесенкой, Т-образные фигуры – чередованием, кольца – вкладыванием друг в друга, полукольца – штабелями. Все данные о конфигурации и правилах укладки объектов должны быть не только подготовлены и переданы в программу некоторым стандартизированным образом, но и учтены в алгоритмах укладки. Другой пример, с которым приходилось сталкиваться на практике, – транспортировка оборудования для вентиляции промышленных помещений, где трубы различных размеров

при упаковке вкладывают друг в друга, кондиционеры, вентиляторы и другие устройства обладают сложной геометрией и имеют специальные требования к расстановке. Подготовка данных и реализация специальных алгоритмов в этом случае становятся почти невыполнимыми задачами. В практике работы компании «Пакер Зд» нет успешных примеров разработки и внедрения ПО для решения подобных задач.

Из-за сложности подготовки и анализа данных методы оптимизации укладки товара в ТС, разработанные «Пакер Зд», применимы только к простым геометрическим фигурам (прямоугольным параллелепипедам и цилиндрам) при упаковке в простой прямоугольный объем. Но даже при таком подходе возникают дополнительные ограничения и требования, усложняющие задачу и, соответственно, алгоритм, представленный в программных продуктах компании. Самым востребованным является ограничение по грузоподъемности ТС. Несмотря на простоту формулировки, необходимо применить особый механизм оптимизации, чтобы для максимально допустимого веса груза подобрать предметы, которые заполняют максимальный объем. Схожим является параметр стоимости грузов и реализация требования поиска схемы укладки максимальной не по объему, а по суммарной стоимости упакованных предметов. Другими требованиями являются ограничения на расстановку отдельных предметов:

- «не кантовать» – для бытовой техники, которая должна быть расположена вертикально;
- «по ходу движения» – требование укладывать ящики длинной стороной по ходу движения ТС, которое используется для укладки стекла и предотвращает его разбитие при резком торможении;
- «только на дно» – некоторые типы груза могут быть установлены только на дно ТС, например паллеты или другие тяжелые грузы;
- «штабелирование» – другие типы грузов можно ставить на дно штабелями, столбиками однотипных предметов ограниченной высоты;

Учесть каждое ограничение в отдельности кажется не такой сложной задачей – надо просто проверить

заданные ограничения и заменить в схеме укладки те позиции, которые им не удовлетворяют. Однако учесть все это одновременно и при этом не нарушить укладку других ящиков достаточно сложно. Помимо ограничений на укладку отдельных ящиков на практике возникают различные требования к схеме расстановки предметов относительно друг друга:

- «хрупкость» – максимально допустимое давление на предмет других предметов, установленных сверху;
- «уровень» – альтернатива хрупкости, позволяющая определять требования вертикальной укладки предметов относительно друг друга, например, при упаковке продуктов питания металлические банки должны быть снизу, стеклянные – посередине, пластиковые – сверху;
- «последовательность» – используется, когда в одном ТС есть груз для разных точек и должен быть доступ к выгрузке груза в первой точке без перегрузки груза для других точек;

Ограничения на расстановку предметов накладывают также особенности транспортных средств и условий погрузки:

- «давление на оси» – при укладке груза в фуры или другой автотранспорт важно расставить его так, чтобы давление на оси ТС отвечало техническим характеристикам и требованиям законодательства;
- «загрузка паллетами» – особенности транспортировки часто подразумевают паллетную укладку, и тогда требуется оптимально рассчитать распределение груза по паллетам, его оптимальное расположение и расстановку паллет в ТС с соблюдением других требований;
- «упаковка в тару» – в некоторых случаях мелкий груз требуется предварительно упаковать в коробки (тару), а затем эти коробки расставить в ТС, в этом случае дополнительно возникают задачи распределения груза по таре, а в некоторых случаях требуется рассчитать оптимальные размеры и состав тары;
- «направление погрузки» – схема загрузки ТС должна описывать последовательность шагов, которая отвечает всем требова-

ниям к самому процессу погрузки (загрузка с торца контейнера, с бока фуры, с центральной двери вагона и т.п.);

- «особенности объема для погрузки» – в большинстве ситуаций погрузка осуществляется в прямоугольный объем, но в некоторых случаях требуется учитывать дополнительные особенности: скругленная крыша вагона или выступающие конструкции внутри объема, на место которых нельзя ставить груз.

Описанные ограничения на расстановку груза при решении задачи оптимального заполнения ТС показывают, что для практического использования алгоритма недостаточно решить задачу оптимальной расстановки груза («задачи о рюкзаке» в канонической постановке [1]). Требуется, чтобы формируемое решение отвечало множеству дополнительных требований. Именно из этих соображений в предложенном рассмотрении алгоритме в качестве метода поиска оптимального решения используется итерационный подход, когда нахождение всей схемы укладки сводится к последовательному нахождению наилучшего места для установки очередного наилучшего для укладки предмета. При этом подходе на каждом шаге алгоритма можно добиться соблюдения всех дополнительных требований к укладке и искать оптимальную схему среди заведомо допустимых. Общая идея построения алгоритма будет опубликована в части 2 настоящей статьи в следующем номере журнала.

Продолжение статьи читайте в № 5 журнала «ЛОГИСТИКА» за 2016 год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. – М.: Мир, 1982.
2. Липски В. Комбинаторика для программистов. – М.: Мир, 1988.
3. Псиола В.В. О приближенном решении 3-мерной задачи об упаковке на основе эвристики // Интеллектуальные системы. – 2007. – Т. 11, вып. 1–4. – С. 83–101.