

Адаптивная транспортная логистическая модель

В.Я. Вилисов, д.э.н., профессор кафедры Математики и естественнонаучных дисциплин,
С.Е. Сабо, к.т.н., доцент кафедры Математики и естественнонаучных дисциплин,
Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Московской области
«Финансово–технологическая академия», г. Королев, Московская область

Статья посвящена вопросам адаптивного управления бизнес-процессами транспортного типа на уровне предприятия. Использование транспортных моделей в адаптивной форме позволяет обеспечить высокую степень приспособляемости, подобно живым организмам в природе, имея в виду способность социально-экономических объектов адаптироваться к неблагоприятным внешним возмущениям, перестраивая свою структуру или изменяя параметры.

Транспортная задача, адаптация, оценивание, план перевозок.

Adaptive transport logistics model

V.Ya. Vilisov, D.Sc. in economics, Professor Department of Mathematics
and Natural Sciences State,
S.E. Sabo, Ph.D. in technical Sciences, Associate Professor Department of Mathematics and Natural Sciences State,
Moscow region state–financed educational institution of higher vocational training
«Finance and technology academy», Korolev, Moscow region

This article focuses on the issues of adaptive management at the enterprise level in relation to the business processes of transport type. The use of transport models in an adaptive form allows a high degree of adaptability, like living organisms in nature, with an ability to socio-economic facilities to adapt to the adverse external disturbances by rearranging its structure or changing settings.

Transportation problem, adaptation, evaluation, transportation plan.

Введение

Современные информационные технологии открывают новые возможности в управлении сложными социально-экономическими объектами. Однако вычислительный потенциал компьютерных средств часто опережает технологические возможности существующих процедур управления. Между тем тенденция перекладывания на «плечи компьютеров» все большего числа управленческих функций, предсказанная классиками науки управления [3, 7, 10], сохраняется и постепенно воплощается в практику. В арсенале современного управления имеются такие средства как элементы искусственного интеллекта (экспертные системы, генетические алгоритмы, нейронные сети и др.), инструментарий имитационного моделирования, идеи адаптивного управления, и ряд других.

Данная статья посвящена некоторым вопросам адаптивного управления на уровне предприятия применительно к бизнес-процессам транспортного типа. Идеи адаптивного управления социально-экономическими объектами разрабатывались достаточно давно [1, 2, 3]. Некоторые авторы [1, 10] считают, что в идеале экономика (и ее объекты всех уровней) должна обладать высокой степенью приспособляемости, подобно живым организмам в природе, имея в виду способность социально-экономических объектов адаптироваться к неблагоприятным внешним возмущениям, перестраивая свою структуру или изменяя параметры. При этом функции адаптации к воздействиям среды выполняет именно социальная составляющая (менеджеры, операторы и т.п. т.е. лица, принимающие решения - ЛПР) т.к. алгоритмическая компонента в настоящее время еще недостаточно развита и ей отводится лишь роль вычислительной поддержки. В рамках такой технологии адаптации опыт приспособляемости накапливается только у ЛПР, а при его смене или иной форме отсутствия приобретенный системой опыт утрачивается, что снижает эффективность ее функционирования.

В статье рассматривается другой аспект адаптации, в рамках которого опыт приспособляемости остается в системе даже при изъятии ЛПР из системы или при его временном отсутствии. Этот подход рассмотрен в контексте задач управления в транспортной системе. Хранилищем такого опыта являются экономико-математические модели, параметры (а в некоторых случаях и структура) которых настраиваются по решениям, принятым ЛПР в тех или иных ситуациях. Т.е. эти модели аппроксимируют предпочтения ЛПР в реальном масштабе времени, учитывая изменчивость и нестационарность среды, и являются своеобразными «консервами» опыта ЛПР, которые, как и консервы, могут иметь ограниченный срок годности в силу нестационарности внутренних характеристик системы и внешней среды. Подобные «консервы» могут быть использованы в системе без непосредственного участия ЛПР-донора опыта, с его минимальным участием, а также другими ЛПР, управляющими теми же объектами. Подобные накопители

положительного опыта ЛПП отражают фактически его предпочтения в виде критериев и целевых функций. Помимо свойства отделения опыта (целевых предпочтений) ЛПП от его носителя, рассматриваемая технология выполняет еще такую важную роль, как свертка многих целевых показателей, практически всегда имеющих место в реальной практике управления, в скалярную целевую функцию, аппроксимирующую вектор целевых показателей, часть из которых могут учитываться ЛПП лишь подсознательно.

Необходимость формализации опыта ЛПП и использования его в процедурах управления отмечали некоторые авторы [8, 9]. А следуя Г. Саймону [10], все ситуации принятия решений в практике управления социально-экономическими объектами можно разделить на структурированные и неструктурированные, причем все процедуры со временем должны переходить в разряд структурированных и выполняться в основном вычислительными средствами корпоративных информационных систем (КИС).

Существуют и другие подходы к формализации опыта ЛПП, например, экспертные системы и нейронные сети, однако техника их применения на практике еще не позволяет эффективно применять их для оперативного управления бизнес-процессами рассматриваемого типа.

КИС современных предприятий [10], как правило, включают те или иные элементы *ERP*-, *APS*- и *MES*-систем. Рассматриваемые в статье алгоритмы ориентированы на развитие и дополнение функций *APS*-систем.

В рамках предлагаемой технологии управление объектом производится в двухконтурной схеме, где в первом контуре выполняется подстройка параметров модели по данным принятия менеджером (ЛПП) решений, а во втором проводится непосредственное управление объектом на основании модели. В такой схеме первый контур работает в естественном темпе менеджера, а второй – в темпе управляемых процессов. Таким образом, высокая интенсивность потока данных, имеющая место при оперативном управлении процессами, не снижает качества принимаемых управленческих решений, однако при этом уменьшается влияние ограниченной рациональности (по Г. Саймону [10]) менеджера на качество управления.

В статье представлены некоторые свойства использования моделей транспортных задач в качестве «консервов» положительного опыта управления в транспортных системах. Материалы статьи развивают ранее выполненные работы по методам адаптивного управления в социально-экономических системах [4, 5, 6].

Прямая и обратная постановки транспортной задачи.

Модель транспортной задачи (МТЗ) является частным случаем модели линейного программирования. Решить транспортную задачу означает найти количества товаров (x_{ij}), направляемых из пунктов отправления в пункты назначения. При этом *критерием оптимальности плана является минимум суммарной стоимости всех перевозок*. В качестве исходных данных обычно полагаются известными объемы запасов (a_i) в пунктах отправки и объемы потребности в товарах (b_j) для каждого пункта назначения. Матрица стоимости перевозки единицы товара (c_{ij}) из i -го пункта отправления в j -й пункт назначения также обычно полагается известной.

Эти задачи линейного программирования исторически были выделены в самостоятельную группу в силу их специфической структуры, которая позволяет более эффективно решать их с помощью специально разработанных методов, ориентированных на ручной расчет. Однако в настоящее время с помощью существующих программных средств на современных высокопроизводительных компьютерах МТЗ может быть решена как обычная прямая задача линейного программирования (ЗЛП). При этом специфика задачи отражается лишь в исходной постановке. Для решения обратной ЗЛП (ОЗЛП) следует воспользоваться одним из алгоритмов ее решения [5] и, совершив обратный переход – получить оценки коэффициентов МТЗ.

Обычно при составлении плана перевозок минимизируется суммарная стоимость всех перевозок. Однако на практике задача, как правило, многокритериальна, а часто и изменчива во времени (нестационарна). И априори трудно сказать, является ли суммарная стоимость всех перевозок доминирующим показателем или более важным является время, а может быть и какие-то иные, не формализуемые показатели, о которых знает только ЛПП. Поэтому и представляется практически полезным выявить некоторую обобщенную свертку, включающую в себя интегральные предпочтения ЛПП на множестве альтернатив.

Особенностью МТЗ, в отличие от стандартной ЗЛП, является большая размерность даже при малом количестве пунктов отправления и пунктов назначения и вместе с тем большая разреженность матрицы решений (довольно много нулевых ячеек в матрице решений). Стандартной формой транспортной модели обычно описывают ситуации с однородным товаром, который в произвольный пункт B_j может быть доставлен из любого пункта A_i .

Для практических транспортных ситуаций более характерны варианты с неоднородными товарами, запасы и заявки по которым постоянно меняются, а матрица коэффициентов c_{ij} нестационарна (зависит от сезонных, суточных и случайных колебаний загрузки транспортной сети). Кроме того, на практике (там, где используются оптимизационные модели) транспортная задача обычно решается в комплексе с оптимизацией загрузки имеющегося парка транспортных средств.

Несмотря на отличия классической постановки транспортной задачи от большинства практических ситуаций, имеются случаи, когда МТЗ может быть использована. Для придания большей адекватности в МТЗ под стоимостью перевозки единицы товара из i -го пункта в j -й будем понимать не чисто денежный эквивалент, а некоторые обобщенные затраты, учитываемые ЛПП при выборе плана перевозок. Тогда решение обратной транспортной задачи будет заключаться в следующем: по наблюдениям за ситуациями (запасами и заявками), планами перевозок, которые признаны хорошими по результатам их реализации, построить оценки \widehat{c}_{ij} , на основании которых можно будет строить планы перевозок в новых ситуациях, решая прямую транспортную задачу. Это позволит автоматизировать процесс планирования и либо полностью заменить (в стационарной среде), либо существенно разгрузить ЛПП от непосредственного составления плана перевозок, однако сохранив при этом соответствие планов перевозок критериальным предпочтениям ЛПП и его практическому опыту. При использовании настроенной модели для планирования в тех случаях, когда среда достаточно изменчива, построенный по модели вариант плана, перед отправкой на исполнение, может предъявляться ЛППу для утверждения или корректировки.

Условно ЛПП можно представить неким «черным ящиком», который преобразует векторы запасов и заявок (представляющих собой ситуацию, требующую принятия решений – СТПР) в план перевозок.

Решение обратной транспортной задачи (ОТЗ) сводится к тому, чтобы по наблюдениям за ситуациями (т.е. СТПР) и действиями ЛПП выявить систему предпочтений ЛПП, и на этой основе в новых СТПР решать прямую транспортную задачу одним из методов (например, как ЗЛП).

СТПР определяется набором коэффициентов $\|a_i, b_j\|_{mn}$ ограничений:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = \overline{1, n} \quad (2)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n} \quad (3)$$

Решение \bar{x}^k по каждой СТПР для МТЗ представляет собой матрицу значений переменных $\bar{x}^k = \|x_{ij}^k\|_{mn}^N$. Тогда аппроксимация предпочтений ЛПП моделью транспортной задачи заключается в оценивании коэффициентов c_{ij} целевой функции (ЦФ):

$$L(\bar{x}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (4)$$

которые имеют смысл обобщенных транспортных расходов при перевозке единицы груза из i -го пункта отправления в j -й пункт назначения. Решая прямую ТЗ, необходимо обеспечить $L(\bar{x}) \rightarrow \min_{x_{ij}}$.

Решение обратной задачи (восстановление параметров ЦФ по наблюдениям).

Основная расчетная формула *точечного пошагового алгоритма* оценивания параметров модели по наблюдениям имеет вид [5]:

$$\widehat{c}_k^i = \frac{1}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^k \beta_j e_j^1\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^k \beta_j e_j^2\right)^2}} \sum_{j=1}^k \beta_j e_j^i, \quad (5)$$

где $i=1;2$ – номер координаты; β_j – весовой коэффициент j -го наблюдения; e_j^i – i -я координата вектора наблюдений (нормального вектора единичной длины – НВЕД).

Интерпретация полученных результатов

Алгоритм (5) построен на основе усреднения взвешенных векторов наблюдений, значит, если данные формировались случайным образом, то появления любого вектора наблюдений равновероятны. Следует при этом отметить, что не все направления обладают равной *информативностью*. Поэтому редкая сетка векторов спектра наблюдений приводит к тому, что итоговый вектор настройки оказывается смещенным относительно фактического (моделируемого) вектора ЦФ ЛПП. Однако, редкая сетка спектра наблюдений играет и положительную роль – если представительная спектральная линия «схвачена», то она в дальнейшем обеспечивает хорошее качество решений.

О логике адекватности восстановленной модели

Факт быстрой сходимости по решениям и плохой сходимости по оценкам объясняется тем, что ЦФ ЛПП проявляется только через СТПР (ОДР). А из всех возможных СТПР лишь СТПР-полигон [5] является наиболее представительным, наиболее информативным представителем среды, в которой действует ЛПП. Внешний наблюдатель видит целевые предпочтения (в форме ЦФ) ЛПП через СТПР, а значит и ЦФ ЛПП

должна иметь вид одного из элементов СТПР. Такими элементами СТПР являются векторы спектра задачи или спектра полигона. В процессе восстановления (оценивания) ЦФ ЛПР отыскивается НВЕД ЦФ (как образ ЦФ), аппроксимируя его одним из векторов спектра полигона. Т.е. можно говорить об аппроксимации ЦФ ЛПР одним из *векторов наблюдений* полигона. Таким образом, ЦФ ЛПР, представляемая непрерывным НВЕД, будучи спроецированной на СТПР, дискретизируется спектром задачи, информационно полным представителем которого является спектр полигона. Поэтому отыскивать оценку ЦФ ЛПР, аппроксимирующую его предпочтения, можно только на дискретном спектре задачи (полигона), что объясняет факт сходимости оценок (НВЕД ЦФ) к одному из векторов спектра полигона, а не к непрерывному реальному НВЕД ЦФ ЛПР.

Отметим также, что качество аппроксимации зависит от того, насколько множество СТПР на фазе оценивания, является представительным, т.е. полно отражающим все разнообразие возможных ситуаций. Если множество СТПР представительно (адекватно среде), то можно говорить об аппроксимации, адекватной любым потенциально возможным СТПР. Если множество СТПР отражает лишь часть возможных ситуаций, то имеет место локальная аппроксимация, при которой в процедурах настройки и в последующем решении прямой ТЗ используется лишь часть спектра задачи или спектра полигона (т.е. используется локальный спектр). В этом случае решения, принятые по настроенной модели будут надежными лишь для новых СТПР, возникающих в той же локальной области спектра – т.е. это можно считать поиском решений «под фонарем» – в той части спектра задачи, которая уже «освещена» предыдущими шагами настройки. Если возникает СТПР, выходящая за пределы локальной, то необходимо вновь протестировать ЛПР в этой новой области и скорректировать оценки ЦФ.

Выводы

1. Моделирование процесса аппроксимации предпочтений ЛПР в транспортной системе обобщенной транспортной таблицей показывает высокую скорость сходимости по решениям, что дает основания для применения подобных аппроксимаций в системах планирования транспортных перевозок и в других приложениях, описываемых схемой транспортной задачи или ЗЛП (например, в задачах о назначении, о рюкзаке, коммивояжера и др.).

2. Исследования алгоритма аппроксимации и свойств построенной модели транспортной задачи показали, что решения, получаемые с помощью настроенной модели, могут обладать локальной эффективностью, т.е. решения прямой транспортной задачи, полученные по настроенной модели, могут быть не хуже решений, полученных ЛПР в аналогичных ситуациях.

3. Правила останова процесса настройки модели может основываться на статистических характеристиках вариации вектора оценки ЦФ ЛПР, таких как среднее значение и среднее квадратическое отклонение.

Литература

1. Акофф, Р. Планирование в больших экономических системах [Текст] / Р. Акофф // М.: Советское радио. – 1972. – 224 с.
2. Багриновский, К. А. О методах адаптивного управления в переходной экономике [Текст] / К. А. Багриновский // Экономическая наука современной России. – 1999. – № 2. – С. 30-39.
3. Бир, С. Мозг фирмы [Текст] / С. Бир // М.: Едиториал УРСС. – 2005. – 416 с.
4. Вилисов, В. Я. Адаптивные модели исследования операций в экономике [Текст] / В. Я. Вилисов // М.: Энит. – 2007. – 286 с.
5. Вилисов, В. Я. Методы выбора экономических решений. Адаптивные модели [Текст] / В. Я. Вилисов // М.: Финансы и статистика. – 2006. – 228 с.
6. Вилисов, В. Я. Транспортная модель, аппроксимирующая предпочтения ЛПР [Текст] / В. Я. Вилисов // Прикладная информатика. – 2010. – № 6. – С. 101-110.
7. Глушков, В. М. Введение в АСУ [Текст] / В. М. Глушков // Киев: Техника. – 1974. – 320 с.
8. Моисеев, Н. Н. Математика ставит эксперимент [Текст] / Н. Н. Моисеев // М.: Наука. – 1979. – 224 с.
9. Моррис, У. Наука об управлении. Байесовский подход [Текст] / У. Моррис // М.: Мир. – 1971. – 304 с.
10. Саймон, Г. А. Теория принятия решений в экономической теории и науке о поведении [Текст] / Г. А. Саймон // В сб. Теория фирмы. Сост. и общ. ред. В. М. Гальперина / СПб.: Экономическая школа. – 1995. – С. 54-72.