
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИЯ ВЫБОРА МАРШРУТА ДОСТАВКИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ СИТУАЦИОННОЙ СЕТИ

А.В. Фараонов (Санкт-Петербург)

Имитационное моделирование – это методология исследования сложных систем для понимания их функционирования и для принятия обоснованных решений. **Имитационное моделирование необходимо любому человеку, принимающему ответственные решения** [1, стр. 17]. В докладе [2] рассматриваются потенциальные возможности повышения эффективности решения задач интермодальной транспортной логистики за счет использования новых информационных технологий для принятия соответствующих решений; обосновывается создание специализированных интегрированных систем поддержки принятия управленческих решений (ИСППУР). Определяется технология системного моделирования сложных объектов, позволяющая на конструктивном уровне проводить их полимодельное описание и исследование, как с использованием традиционных математических моделей, так и моделей, базирующихся на «мягких вычислениях» (soft computing). Анализируется важность и перспективность создания fuzzy-neuro-genetic информационных технологий и инструментальных средств. В статье [3] рассмотрена роль географической информации систем (ГИС) для развития интегрированных систем управления морскими грузовыми перевозками и логистики на основе централизованного хранилища, разработаны математические модели и определен алгоритм решения задачи.

Введение. Ситуационный подход в принятии решений на основе аппарата нечеткой логики основан на представлении ситуации в виде совокупности нечетких значений фиксированного набора признаков [4,5]. Применение ситуационных моделей в определении маршрутов доставки повышает эффективность принимаемых решений, сокращает время принятия решений [4-7]. Имитационное моделирование позволяет анализировать возможные последствия управляющих решений, прогнозировать состояние транспортно-логистической системы, оптимизировать систему до ее реализации. Изучение транспортно-логистической системы с помощью имитационной модели позволяет без вмешательства в работу реальной системы, растянуть или сжать время функционирования логистической системы, понять сложное взаимодействие элементов внутри системы, оценить степень влияния факторов и выявить «узкие места» [8-9]. Принцип имитационного моделирования заключается в том, что поведение логистической системы отображается компьютерной моделью взаимодействия ее элементов во времени и пространстве, включая такие взаимосвязанные этапы, как содержательная постановка задачи; разработка концептуальной модели; разработка и программная реализация имитационной модели; оценка адекватности модели и точности результатов моделирования; планирование экспериментов; принятие решений [10]. Разработка и решение логистических задач маршрутизации, нахождение оптимальных маршрутов – это проблемы, возникающие в различных областях транспортной логистики: доставка товаров от поставщика к клиенту, доставка сырья, запасных деталей и узлов на производство, курьерская и почтовая доставка, работа грузовых и экспедиторских операторов [11-14].

Вывод на основе нечеткой ситуационной сети. Для логистических задач маршрутизации требуется не просто идентифицировать текущую ситуацию и соответствующее ей множество управляющих решений, но и найти рациональные пути достижения целей планирования и оперативного управления выбором маршрута доставки, для чего необходимо определить возможные последствия управляющих решений на несколько шагов вперед. Задачи оперативного управления выбором маршрута доставки требуют привлечения до-

полнительных методов, среди которых хорошо себя зарекомендовали методы, основанные на представлении совокупности типовых состояний системы в виде узлов графа, переходы которого соответствуют управляющим решениям. Такое представление получило название нечеткой ситуационной сети (НСС) [4,5]. Ситуационная сеть S_{NET} может быть представлена в виде ориентированного графа $S_{NET} = (W, A)$; где W – множество узлов-состояний, а A – множество дуг-переходов между состояниями.

$$\begin{aligned} S_{NET} &= (W, A); \\ W &= \{w_i | i = 1, \dots, N_w\}; \\ A &= \{a_{i,j} | i = 1, \dots, N_w; j = 1, \dots, N_w\} \end{aligned} \quad (1)$$

Рассмотренный в [6,7] метод вывода по нечеткой ситуационной сети основывается на трактовке указанных задач в виде задачи поиска некоторого связного подграфа, содержащего некоторое начальное состояние сети w' , относительно которого ведется поиск.

$$\begin{aligned} S'_{NET} &= (W', A'), \\ W' &\subset W, w' \in W'; \\ A' &= \{a_{i,j} | w_i, w_j \in W'\} \end{aligned} \quad (2)$$

Вид подграфа S'_{NET} определяется типом конкретной ситуационной сети:

- для сетей, в дугах переходов которых отсутствует случайная составляющая, S'_{NET} обычно принимает вид цепи (выполнение опорного плана);
- для сетей, учитывающих случайные факторы при переходах, S'_{NET} ищется в виде дерева, соответствующего поливариантному сценарию управления (определяются варианты моделей).

Постановка задачи. В статье разрабатывается имитационная модель принятия оперативных решений при возникновении непредвиденной ситуации на маршруте, корректировке опорного плана и выборе нового маршрута доставки (рис. 1). Разработка модели выполняется в среде редактора AnyLogic, анализ модели происходит в среде исполнения.

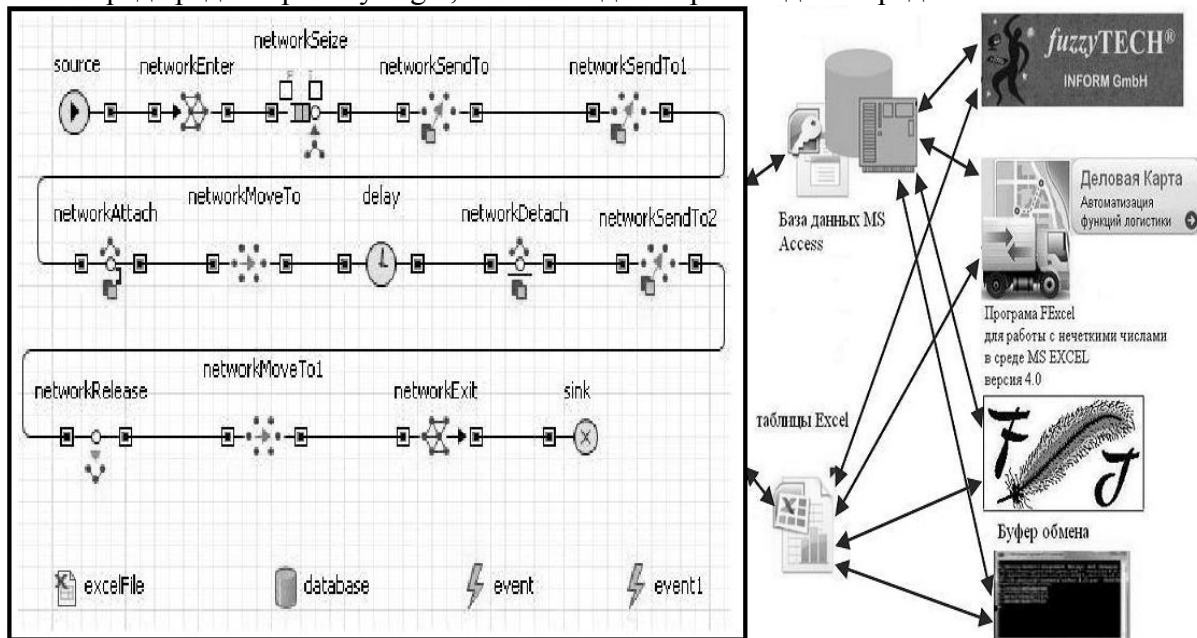


Рис. 1. Обмен данными между элементами имитационной модели

Обработка событий исполняющего модуля AnyLogic

Моделирование в AnyLogic представляет собой выполнение последовательности событийных и временных шагов [10]. Чтобы связать модель с базой данных MSAccess

«Деловая карта», нужно вначале создать объект **database** и **excelFile** – элемент модели AnyLogic, который будет соответствовать реальному опорному плану и обеспечивать взаимодействие с ним. Программируются события исполняющего модуля AnyLogic – **event** (маршруты опорного плана), которые могут быть выполнены в данный момент. События исполняющего модуля AnyLogic хранятся в очереди сообщений.

Временной шаг. Если текущих событий нет, то AnyLogic выполнит временной шаг до ближайшего события (или событий) в очереди, т.е. увеличит значение модельного времени. Во время выполнения временного шага может произойти событие, вызванное тем, что выполнилось какое-то заданное условие. Дискретная часть исполняющего модуля AnyLogic не знает о том, когда выполнится условие срабатывания перехода: это зависит от системы уравнений выбора модели доставки грузов (μ_{ij} отражает уровень соответствия i -го маршрута доставки требованиям по j -му параметру ($\mu_{ij} \in [0;1]$; $i=1,m$; $j=1,n$)), решаемой непрерывной частью исполняющего модуля. В интерактивном режиме программы fuzzyTECH можно не только видеть значение конечного результата $\mu(j)$, но и следить за промежуточными операциями. Данная возможность необходима при внесении новых переменных и правил в процедуру определения альтернативного маршрута. Демонстрация промежуточных результатов контролирует перенос правил нечеткого вывода в программу. Как только это произойдет, значение времени будет увеличено до времени, выданного решателем уравнений, и будет выполнен событийный шаг.

Событийный шаг. На один момент времени могут быть запланированы сразу несколько событий **event1** (выбор дальнейшего маршрута). Программа выберет одно из этих событий и выполнит его. Это будет повторяться до тех пор, пока не будут выполнены все текущие события.

Шаг 1. Определение опорного плана $S'_{NET} = (W', A')$, (рис. 2). Решается задача оперативного управления рациональной доставкой грузов в логистической компании «Нева – Лайн» от контейнерной площадки морского порта (1) и грузового терминала Пулковое (2) до склада (3), центрального офиса (4) и четырех магазинов (5-8) в среде «Business Map (Деловая карта)» [6]. Транспортная сеть доставки представлена в виде графа (рис.2), где: 1 – контейнерная площадка морского порта; 2 – грузовой терминал Пулковое; 3 – склад (ул. Политехническая,9); 4 – офис (ул. Красуцкого,5); 5 – магазин – склад (ул. Литовская,4); 6 – магазин (Ленинский пр.,163); 7 – магазин (Гончарная ул.,14); 8 – магазин (ул. Ильюшина, дом 1, кор., 1). Определяется множество маршрутов доставки S_{NET} ($S_{NET} = \{1, \dots, n\}$); $C = \{(i, j) | i, r \in S_{NET}\}$, например, с помощью пакета www.ingit.ru. Официальный сайт разработчика ООО «Фирма «ИНТИТ», «Деловая карта» [9].

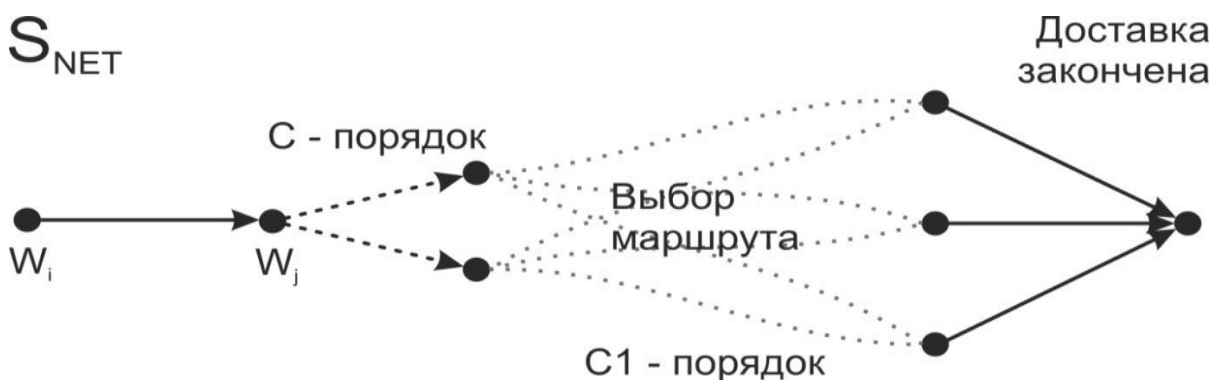


Рис. 2. Планирование и оперативное управление рациональной доставкой грузов

Шаг 2. Выполнение маршрутов по опорному плану $S'_{NET} = (W', A')$.

Шаг 3. При возникновении непредвиденной ситуации дальнейший маршрут определяется следующим образом (порядок завершения С1). Определено множество альтернативных (возможных) маршрутов доставки $\mu(j) = S_{NET} = \{S_{NET_1}, S_{NET_2}, \dots, S_{NET_i}, \dots, S_{NET_n}\}$. Каждый маршрут характеризуется параметрами (критериями) $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$.

Шаг 3 а. Выбор модели доставки грузов μ_{ij} отражает уровень соответствия *i*-го

маршрута доставки требованиям по *j*-му параметру ($\mu_{ij} \in [0;1]$; $i=1,m$; $j=1,n$) [8-10].

1. Модель максиминной свертки (ММС). Наилучшим считается маршрут при минимальных недостатках по всем параметрам.

2. Модель абсолютного решения (МАР). Задается минимально допустимое значение $\mu_{ij} \min$ для каждого параметра Y . Выбирается маршрут с параметрами не хуже заданных.

3. Модель основного параметра (МОП). Решение производится по шагам. На каждом шаге выбирается основной параметр, и поиск наилучшего решения ведется только по нему.

4. Модель компромиссного параметра (МКП). Логист выбирает параметры по уровню их важности и определяет влияние каждого параметра на выбор маршрута.

5. Модель эталонного сравнения (МЭС). Имеется оптимальное решение на основе компромиссной модели, при этом учитываются ограничения на значения параметров. Определяется эталонный вариант маршрута доставки груза X_0 . Параметры этого варианта принимаются как минимально допустимые значения параметров μ_{ijmin} . Каждый вариант маршрута множества X сравнивается с эталонным X_0 .

Шаг 3 б. Определение значений функции принадлежности и принятие решений по выбору модели доставки грузов на основе нечетких множеств в среде FuzzyTECH наиболее перспективные методы принятия решений в слабоструктурированных проблемных областях [11-14].

Заключение. Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Методы принятия решений на нечетких моделях позволяют удобно и достаточно объективно производить оценку альтернатив по отдельным критериям. Добавление новых альтернатив не изменяет порядок ранее ранжированных наборов.

2. Методы, базирующиеся на разных подходах, дают различные результаты. Каждый подход имеет свои ограничения и особенности, и пользователь должен получить о них представление, прежде чем применять тот или иной метод принятия решений.

3. Большинство нечетких методов принятия решений показывает зависимость результатов от исходных данных (рис. 3–5).

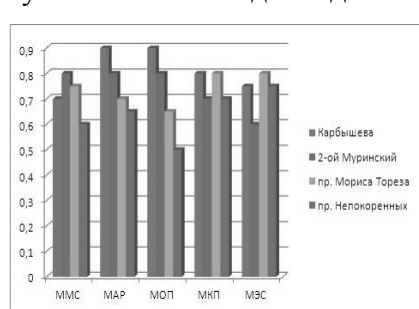


Рис. 3. Результаты сравнения по критерию «Время доставки»

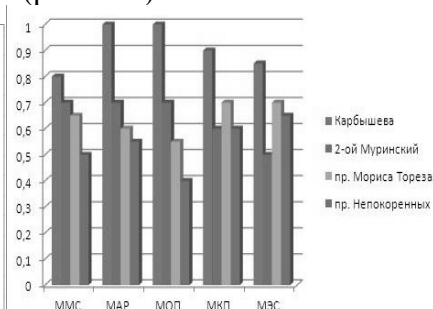


Рис. 4. Результаты сравнения по критерию «Расстояние»

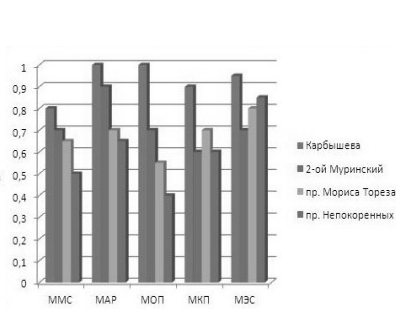


Рис. 5. Результаты сравнения по критерию «Пропускная способность»

Несовпадение результатов, полученных разными методами, объясняется, с одной стороны, различными способами представления экспертной информации, а с другой – различием подходов к принятию решений. Так, в основу метода анализа иерархий и модели компромиссного параметра заложен рационально-взвешенный подход, основанный на попарных сравнениях объектов и нормированных весовых коэффициентах. Максимальная свертка и модель основного параметра являются реализацией пессимистического подхода, игнорирующего хорошие стороны альтернатив, когда лучшей считается альтернатива, имеющая минимальные недостатки по всем критериям. К недостаткам модели эталонного сравнения относится требование большого объема входной информации.

Проведен анализ существующих подходов к моделированию транспортных потоков, разработана библиотека элементов транспортной сети и показано, как она может быть использована для решения проблем анализа и оптимизации транспортных потоков. Разра-

ботаны ситуационные модели принятия оперативных решений на основных направлениях доставки для минимального времени окончания оставшихся работ, корректировки опорного плана и выбора нового маршрута доставки, оперативного управления от контейнерной площадки морского порта и грузового терминала Пулково до склада, центрального офиса и четырех магазинов.

Литература

1. Юсупов Р.М. Национальное общество имитационного моделирования России – начало пути// CAD/CAM/CAEObserver #2 (70) / 2012.
2. Лукинский В.С., Романов А.В., Зеленцов В.А., Кириллов Н.П., Потрясаев С.А., Соколов Б. В. Междисциплинарный подход к созданию автоматизированных систем управления интермодальными транспортно-логистическими сетями// Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем. Сборник докладов второй международной науч.-практ. конф. ИКМ МТМТС, 2013 (ISSN 978-5-902241-22-5). – С. 60–66.
3. Tambovcevs Andrejs, Merkuryev Yuri. Using Gisforfreightssupplychainmodeling// Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем. Сборник докладов второй международной науч.-практ. конф. ИКМ МТМТС, 2013 (ISSN 978-5-902241-22-5). – С. 23–32.
4. Пospelов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986.
5. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990.
6. Борисов В.В., Зернов М.М. Реализация ситуационного подхода на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети.//Искусственный интеллект и принятие решений, Институт системного анализа РАН, ISSN 2071-8594, 1/2009. – С. 17–30.
7. Войнов В.В. Нечеткое ситуационное управление внутрисосудистым микророботом. V-я Международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (28–30 мая 2009 г., Коломна).
8. <http://www.anylogic.ru>. Экс Джей Текнолоджис», www.xjtek.ru.
9. www.ingit.ru. Официальный сайт разработчика ООО «Фирма «ИНТИТ», «Деловая карта».
10. Борщев А. Simulation Modeling with AnyLogic: Agent Based, Discrete Event and System Dynamics Methods/<http://www.anylogic.ru/the-big-book-of-anylogic>
11. Фараонов А.В. Ситуационная модель выбора маршрута доставки // «Прикладная информатика». – 2013. – № 2(44). – С.113–126.
12. Фараонов А.В. Разработка ситуационной модели выбора маршрута доставки при необходимости изменения опорного плана на основе нечетких множеств. «Логистика: современные тенденции развития». 12-я Международная научно-практическая конференция. Санкт-Петербург, 19 апреля 2013 г., – С.399–401.
13. Фараонов А.В. Ситуационная модель выбора маршрута доставки при необходимости изменения опорного плана на основе нечетких множеств // ВИНТИ, «Транспорт»: наука, техника, управлении. – 2012. – № 12. – С. 25–30.
14. Фараонов А.В. Разработка алгоритма принятия оперативных решений при выборе нового маршрута доставки // РИСК «Менеджмент в России и за рубежом». – 2012. – № 3.– С. 84–90.