

УДК 004.89

Яшар Рахими

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ПОЛНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТАВОК СУХОФРУКТОВ В УКРАИНУ

Проанализированы проблемы, связанные с повышением эффективности функционирования существующей логистической цепи поставок сухофруктов (ЦПС) на рынок Украины из различных регионов мира. Показано, что главной проблемой в обеспечении успешного функционирования ЦПС являются различные виды неопределенности, имеющей место при формировании и принятии решений участниками ЦПС. Предложено модернизировать математическое и информационное обеспечение ЦПС путем дополнения применяемой в настоящее время среды моделирования AnyLogic средствами искусственного интеллекта и инженерии знаний. В качестве такого средства предложено использовать технологию мультиагентных систем (МАС). Применение технологии МАС обеспечит возможность адекватного представления в среде AnyLogic динамики функционирования ЦПС с учетом большого числа разнородных, изменяющихся во времени факторов, которые непосредственным образом влияют на эффективность функционирования ЦПС.

Ключевые слова: *поддержка принятия решений, поставки сухофруктов, логистическая система, цепи поставок, моделирование бизнес процессов, искусственный интеллект, инженерия знаний, интеллектуальный агент.*

Введение

Цепь поставок сухофруктов в Украину (ЦПС) представляет собой сложную социо-экономическую систему, состоящую из множества поставщиков сырья (свежих фруктов), предприятий-изготовителей конечной продукции (сушка, упаковка), складских терминалов, дистрибьюторов, 3PL и 4PL-провайдеров, которые обладают определенными ресурсами. Взаимодействие участников бизнес процессов в ЦПС отражается множеством материальных, финансовых и информационных потоков, а также потоков услуг от источников исходного сырья до конечного потребителя. Многообразие регионов мира, из которых осуществляются поставки в Украину сухофруктов, широкая номенклатура поставляемой продукции, урожайность, колебание курсов валют, сезонность являются причинами возникновения высокого уровня неопределенности в процессах формирования и принятия решений участниками ЦПС.

По своей природе, ЦПС является сложной стохастической системой [1,2], для функционирования которой характерны следующие особенности: сравнительно большое число юридически независимых участников бизнес процессов (включая таможенных брокеров); трудно формализуемый характер взаимодействия между участниками ЦПС, которые зачастую конкурируют между собой; наличие собственной целевой функции у каждого участника, противоречащей интересам других; высокая динамика

изменения связей внутри системы; нестационарность большинства процессов, имеющих место при функционировании ЦПС.

Указанные обстоятельства определяют недостаточную эффективность существующей ЦПС и диктуют необходимость ее модернизации за счет расширения концепции SCM (управления цепями поставок) [3-5] путем дополнения ее знаниеориентированными средствами поддержки принятия решений, что даст возможность достижения конъюнктивного консенсуса между всеми элементами ЦПС [6-8].

Для обслуживания ЦПС к настоящему времени разработано множество различных схем, способов и методов, выбор которых зависит от факторов, описывающих динамичность функционирования конкретного варианта реализации цепи [9].

Необходимым условием эффективного управления ЦПС является координация совместной деятельности участников ЦПС и синхронизация их бизнес-процессов, что, в конечном счете, достигается повышением эффективности: формулирования целей и задач ЦПС, разработки стратегии действий на основе глубокого и всестороннего анализа рынка поставок (включая требования конкретного заказчика) и текущего состояния цепи поставок сухофруктов в Украину.

Цель статьи состоит в изложении подхода к модернизации существующей логистической цепи поставок сухофруктов в Украину путем разработки и интеграции с действующей ЦПС методических и программных средств, реализующих координацию элементов цепи с применением интеллектуальных

агентов. Использование такого подхода даст возможность повысить эффективность бизнес процессов в цепи за счет снижения уровня неопределенности в принятии решений участниками ЦПС.

Результаты исследований

В существующих на данный момент вариантах реализации ЦПС в качестве основного средства компьютерной поддержки применяется среда визуального моделирования AnyLogic, в которой создание графических моделей реализуется на объектно-ориентированном языке Java. Этим AnyLogic отличается от большинства инструментов моделирования, в которых применяется специализированный язык, разработанный для работы только с конкретным инструментом. К преимуществам разработки системно-динамических моделей в среде AnyLogic по сравнению с использованием универсальных языков программирования, следует также отнести использование графической нотации моделей, автоматическое определение зависимостей между параметрами, а также их классифицирование в терминах системной динамики [10].

Любой объект модели, разрабатываемой в AnyLogic, представляет собой класс на языке Java, пользователь может добавить в модель свои классы, переопределять методы базовых классов, использовать базовые и разработать свои библиотеки классов и т. п. По модели, представленной в графическом редакторе, AnyLogic генерирует Java-программу, с которой работает написанный на Java «движок». При построении модели в AnyLogic разработчик, фактически, создает Java-классы активных объектов и определяет отношения между ними. Во время реализации модель представляет собой иерархию экземпляров активных объектов. Собранная модель может работать локально, на одном компьютере, или же пользователь может одним кликом мыши построить Java-апплет, который можно запустить под управлением браузера. Основной сущностью в модели, разрабатываемой в среде AnyLogic, является активный объект. Активный объект имеет внутреннюю структуру и поведение, он может инкапсулировать в качестве элементов другие активные объекты. Структура активного объекта определяет, из каких элементов он состоит, и какие связи существуют между инкапсулированными объектами. Поведение определяет реакции активного объекта на внешние события – логику его действий во времени. Число уровней вложенности объектов структуры, и вложенность состояний, представленных в картах состояний произвольны, что позволяет отражать в моделях поставок сухофруктов структурную и поведенческую иерархию ЦПС [7].

В среде AnyLogic 6 [10] разработан класс Logger, предоставляющий удобный программный

интерфейс для записи логов модели в текстовые файлы. Использование текстовых файлов для записи логов дает возможность сократить время записи данных в 40–60 раз по сравнению с записью в Excel-файлы и базы данных (например, запись 100000 строк по 5 чисел в строке занимает 60 секунд при использовании Excel-файла и 1 секунду при использовании текстового файла). В проекте по моделированию ЦПС необходимы следующие логи: лог перемещений товаров между звеньями логистической цепи; лог остатков товаров на складах по датам; лог размещенных заказов на поставку сухофруктов от дистрибьюторов; лог размещенных заказов на пополнение складов, лог выполненных заказов на поставку от дистрибьюторов.

Вместе с тем, среда AnyLogic 6 имеет недостаточно развитую функциональность в аспекте синтеза логистических моделей, адекватно отражающих процессы поставок сухофруктов с учетом большого количества разнородных факторов, имеющих высокую динамику изменения во времени. В силу указанного выше, целесообразным представляется интеграция AnyLogic 6 с особым образом построенной многоагентной системой. Под интеллектуальным агентом принято понимать объект, имеющий внутреннее поведение и возможность взаимодействовать с другими агентами [11]. Каждый агент имеет неполную информацию или недостаточные возможности для выполнения общей задачи и в отсутствие централизованного управления должен выполнить ее в кооперации с другими агентами. Моделирование многоагентных систем применяется в настоящее время при анализе социальных процессов, процессов урбанизации и даже при исследовании рынка в анализе предпочтений различных социальных групп [12]. Существуют несколько инструментальных средств, поддерживающих моделирование в этой области [13].

Моделирование многоагентных систем не противоречит идеологии AnyLogic, поскольку основной идеей в AnyLogic является то, что модель состоит из активных объектов, каждый из которых имеет свое поведение, причем объекты взаимодействуют между собой через явно определенные интерфейсы. Исходя из приведенных выше соображений, агентный подход к построению моделей в среде AnyLogic даст возможность повысить эффективность функционирования ЦПС в части адекватности представления поведения элементов цепи и конфликтов, возникающих при их взаимодействии. Диаграмма разработки полной логистической цепи S с учетом информации обо всех входящих в нее звеньях, формально представляется набором объектов

$$G_S = \langle A_S, D_S, C_D, T_A, E_D, P_E, A_T, A^D, C^D, D^E, E^P \rangle$$

и диаграммой, отражающей их взаимодействие (рис. 1).

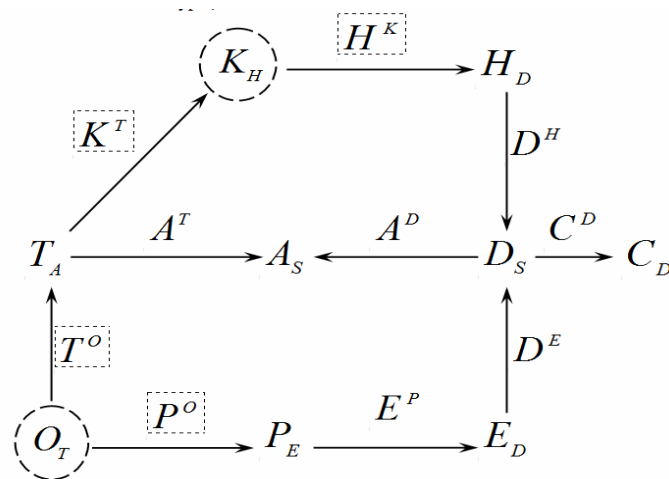


Рис. 1. Диаграмма функционирования ЦПС с учетом информации о производстве сырья

При этом использованы такие обозначения:

H_D – декартово произведение множеств характеристик различных видов сухофруктов, которые входят в общий объем поставки по каждому виду в пределах заданной номенклатуры,

$$H_D = \bigcup_i (H_i \times H_j), i \neq j;$$

D_H – сюръективное отображение множества характеристик импортируемых сухофруктов на их номенклатуру;

K_H – множество совокупностей характеристик товаров, отнесенных к признакам потенциальных коллизий в поставках;

H^K : $K_H \subset H_D$ – выделенные признаки потенциальных коллизий;

K_T – отображение, которое выделяет признаки потенциальных коллизий из всех совокупностей характеристик товаров в зависимости от требований к конкретной партии поставок;

O_T – ограничения, которые накладываются на параметры отдельных видов сухофруктов (биективное отображение P_0) в зависимости от требований к партии в пределах конкретной поставки (отображение T_0) – является «техническим состоянием поставки»

Признак существования коллизии:

$$P^O(O_i) \neq P_j$$

при

$$\begin{aligned} E^P(P_j) = E_K, D^E(E_K) = D_m, A^D(D_m) = \\ = A_r, A^T(T_g) = A_r, T^O(O_i) = T_g, \end{aligned}$$

т.е. расхождение ограничения и параметров конкретного вида товара при включении его в партию поставки, которая и определяет эти ограничения.

Множество K_H формируется на основе опыта и знаний эксперта, который по определенным признакам, при формировании партии товара, может предугадать появление коллизии в будущем в различных звеньях ЦПС.

Множество O_T , по сути, является множеством координирующих решений, т.к. оно представляет собой ограничения, которые необходимо наложить на параметры некоторых видов товаров, входящих в партию поставки, для реализации полной логистической цепи.

Множество K_H является результатом действий первого агента-распознавателя коллизий в создаваемой ЦПС.

Факт наличия или отсутствия P_0 является результатом работы второго агента-распознавателя распознавателя в логистической цепи.

Отображения K^T и H^K представляют собой зависимости, используемые первым агентом-распознавателем для выявления потенциальных коллизий. Характер этих отображений может быть знаниями, в случае невозможности построения аналитической зависимости для выделения признаков потенциальных коллизий из общего множества признаков видов товаров в формирующейся партии, а также зависимости для формирования самого решения.

Для примера, такими признаками могут являться: принадлежность в рамках одного вида товара (изюм) к различным сортам винограда, использованного в качестве исходного сырья; повышенные требования к отдельным параметрам, указанные в запросе на поставку – удельное содержание воды, сахара и др.

Отображение P_0 представляет собой знания, используемые вторым агентом-распознавателем для проверки реального существования коллизии.

Отображение T_0 представляет собой знания, используемые координатором для формирования координирующего решения по обнаруженной коллизии.

Множества признаков, а также видов координирующих решений получают из анализа предметной области и для логистики сухофруктов образуют небольшие по мощности (порядка 10-20) представительные счетные множества. Знания о форми-

ровании этих множеств могут быть получены как путем анализа существующих цепей поставок, так и путем приобретения знаний экспертов. Следовательно, работа координатора сводится к выбору рационального варианта координирующего решения при условии требований, накладываемых запросом на поставку.

Работа агента-распознавателя заключается в выделении совокупностей признаков товаров, входящих в партию поставки в зависимости от требований, выдвигаемых запросом на поставку. Множество признаков потенциальных коллизий для предметной области «Поставки сухофруктов в Украину» также представляет собой обозримое множество, которое также может быть получено путем приобретения экспертных знаний у опытных логистов.

Интеллектуальная поддержка формирования координирующих решений заключается в распознавании потенциальной коллизии, проверке реального существования коллизии и выдачи координирующего решения в случае несогласования.

Проверка реального существования рассогласования необходима, ввиду определенной специфики выделяемых признаков потенциальных коллизий, поскольку эти признаки могут образовать большое по мощности множество видов товаров, для которых уже предусмотрены меры по согласованию параметров с требованиями запроса на поставку.

Таким образом, используя описанную выше модель ЦПС, можно формально записать метод формирования координирующих решений при создании полной логистической цепи поставок сухофруктов следующей последовательностью шагов:

1. Для каждой из операций G_S формирования партии поставки S выделить (используя отображение K_H) признаки наличия потенциальных коллизий $H^K : K_H \subseteq H_D$ и сформировать конфликтное множество логистических операций из A_S .

2. Определить тип каждой потенциальной коллизии. Сформировать два подмножества – признаков разрешимых K_H^* и неразрешимых K_H^- в автоматизированном режиме коллизий. Для неразрешимых коллизий выполнить запрос к пользователю для формирования возможных координирующих решений.

3. Для каждой разрешимой коллизии из K_H^* определить задействованные в коллизии виды товаров (подмножество $D_S = f^{-1}(K_H^*)$ как полный прообраз признаков разрешимых коллизий).

4. Путем анализа запроса на поставку (элементы множества C^D) определить предыдущее звено в ЦПС для каждого вида товара, задействованного в коллизии, и соответствующий распознаватель.

5. Сформировать необходимые ограничения O_T для требований логистической операции из множества A_S .

6. Осуществить проверку реального существования коллизии, выполнив запрос к соответствующему распознавателю (определить истинность $P_0(O_i) = P_j$).

7. В случае существования коллизии (если $P_0(O_i) \neq P_j$) – определить метод ее разрешения по существующей, априорно созданной базе знаний разрешения типовых коллизий.

8. Сформировать координирующее решение (из множества O_T) для каждой выявленной коллизии, выдать его лицу, принимающему решения и занести решение в репозиторий прецедентов.

Каждый из шагов метода может быть конкретизирован соответствующим образом при его алгоритмической и программной реализации.

Выделение признаков наличия потенциальных коллизий – вложенное поведение распознавателя, оно не показано на рис. 1. Аналогично, этап проверки существования коллизии так же не отражен на диаграмме (рис. 1).

Последовательность действий на каждом шаге будет различаться в зависимости от способа реализации метода, особенностей программной платформы, выбранной за основу, а также от организации интерфейсной части диалоговой системы поддержки принятия решений по функционированию ЦПС.

Данный метод позволит выявлять потенциальные коллизии по признакам товаров, входящих в партию поставки, и требованиями, содержащимися в запросе на поставку. В случае возникновения коллизии метод даст возможность сформировать координирующее решение, которое устранил вероятное будущее рассогласование и обеспечит ликвидность партии товара при выполнении условий запроса на поставку.

Для формирования базы знаний могут быть использованы стандартные методы приобретения знаний, как по существующим решениям (множество O_T), используя их в качестве обучающей выборки, так и применением методов извлечения знаний экспертов.

Используемые методы разрешения коллизий основаны на так называемом методе компенсации, то есть отказе от выполнения каких-либо операций в логистической сети, либо на изменении параметров таких элементов как вид товара, с целью дальнейшего, беспрепятственного выполнения логистических операций с этими элементами при формировании партии поставки сухофруктов.

Выводы

На основе изложенного выше материала, можно сделать следующие выводы:

1. Анализ предметной области «Поставки сухофруктов в Украину» показал, что ряд особенностей реализации бизнес процессов в этой области

порождает высокий уровень неопределенности при формировании и принятии решений, и делает не эффективным применение стандартных компьютерных средств организации логистических цепей.

2. Показано, что для повышения эффективности функционирования ЦПС целесообразно дополнение среды формирования логистических цепей поставок AnyLogic интеллектуальным компонентом.

3. Предложена концепция построения интеллектуального компонента в AnyLogic на основе технологии многоагентных систем.

4. Рассмотрены модели интеллектуальных агентов для выявления и устранения коллизий, возникающих при функционировании ЦПС.

Список литературы

1. Crainic, T.G., Dejax, P.J., Delorme, L. Models for Multimodal Multicommodity Location Problems with Interdependent Balancing Requirements. // *Annals of Oper. Res.* – 1989. – 18. – P. 279-302.
2. Crainic, T.G., Delorme, L. Dual-Ascent Procedures for Multicommodity Location-Allocation Problems with Balancing Requirements. // *Transp. Sci.* – 1995. – 27(2). – P. 90-101.
3. Бочкарев А.А. Планирование и моделирование цепи поставок: Учебно-практическое пособие. – М.: Альфа-Пресс, 2008. – 192с.
4. Бродецкий Г.Л. Моделирование логистических систем. Оптимальные решения в условиях риска. – М.: Вершина, 2006. – 376 с.
5. Вагнер М. Штефан. Управление поставщиками / Пер. с нем. Под ред. А.Г. Ахметзянова. – М.: КИА центр, 2006. 128 с. (Библиотека логиста).
6. Беспалов Р.С. Транспортная логистика. Новейшие технологии построения эффективной системы доставки. – М.: Вершина, 2007. – 384 с.
7. Геррами В.Д., Колик А.В. Управление транспортными системами. Транспортное обеспечение логистики. Учебник - М.: Юрайт., 2015. – 512 с.
8. Дыбская В.В., Зайцев Е.И., Сергеев В.И., Стерлигова А.Н. Логистика. Интеграция и оптимизация логистических бизнес-процессов в цепях поставок: Учебник для МВА / Под общ. ред. проф. В.И. Сергеева. – М.: Эксмо, 2014. – 944 с.
9. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. / Под ред. проф. В.И. Сергеева. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2017.
10. Бауэрсокс Д.Дж., Клосс Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. 2-е изд. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 640 с.
11. Беззубова Ю.О. Модели программных агентов в задачах информационного поиска // *Славянский форум*. 2015. № 2(8). С. 41-49.
12. Маркелов В.М. Применение мультиагентных систем для управления логистическими системами // *Славянский форум*. 2014. № 2 (6). С. 82-87.
13. Лукинский В.С., Шульженко Т.Г. Моделирование временных составляющих логистического цикла при реализации технологии «точно в срок» // *V Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика», Т. II.* – СПб. – 2011. – С. 145–151.

Надійшла до редколегії 31.10.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Г. Чухрай, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

ЗНАННЯОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПО ФОРМУВАННЮ ПОВНОГО ЛОГІСТИЧНОЇ ЦЕПИ ПОСТАВОК СУХОФРУКТІВ В УКРАЇНІ

Яшар Рахімі

Проаналізовано проблеми, пов'язані з підвищенням ефективності функціонування існуючої логістичної ланцюга поставок сухофруктів (ЦПС) на ринок України з різних регіонів світу. Показано, що головною проблемою в забезпеченні успішного функціонування ЦПС є різні види невизначеності, що має місце при формуванні та прийнятті рішень учасниками ЦПС. Запропоновано модернізувати математичне та інформаційне забезпечення ЦПС шляхом доповнення застосовуваної в даний час середовища моделювання AnyLogic засобами штучного інтелекту та інженерії знань. В якості такого засобу запропоновано використовувати технологію мультиагентних систем (МАС). Застосування технології МАС забезпечить можливість адекватного уявлення в середовищі AnyLogic динаміки функціонування ЦПС з огляду на велику кількість різномірних, що змінюються в часі чинників, які безпосереднім чином впливають на ефективність функціонування ЦПС.

Ключові слова: підтримка прийняття рішень, поставки сухофруктів, логістична система, ланцюги поставок, моделювання бізнес процесів, штучний інтелект, інженерія знань, інтелектуальний агент.

KNOWLEDGE-ORIENTED APPROACH TO THE ORGANIZATION OF SUPPORTING DECISION-MAKING THE FORMATION OF A COMPLETE LOGISTIC CHAIN SUPPLYING DRIED FRUITS TO UKRAINE

Yashar Rahimi

The problems connected with increasing the efficiency of functioning of the existing logistics chain of deliveries of dried fruits (CSP) to the Ukrainian market from various regions of the world are analyzed. It is shown that the main problem in ensuring the successful functioning of the CSP are the various types of uncertainty that takes place in the formation and decision-making of the participants in the CSP. It is proposed to modernize the mathematical and information support of the CSP by supplementing the current AnyLogic modeling environment with artificial intelligence and knowledge engineering. As such a tool, it is proposed to use the technology of multi-agent systems (MAS). Application of the MAS technology will provide an opportunity for adequate representation in the AnyLogic environment of the dynamics of the DSP functioning, taking into account the large number of heterogeneous, time-varying factors that directly affect the performance of the DSP.

Keywords: decision support, supply of dried fruit, logistics system, supply chain, business process modeling, artificial intelligence, knowledge engineering, intelligent agent.