
ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ СНАБЖЕНИЯ СЕТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАГАЗИНОВ

К.А. Аксенов, С.А. Рудь, С.И. Рудь, А.Л. Неволлина (Екатеринбург)

Введение

Решение логистических задач лежит в основе успешного ведения бизнеса. Увеличение количества машин на дорогах и объёма товаров служит основанием для создания эффективной системы принятия решений, способной определять оптимальный маршрут, распределять время отправки грузов, рассчитывать и избегать возникновения очередей при разгрузке.

С данной проблемой в той или иной степени сталкиваются все сети розничной торговли, но особенно остро она проявляется в среде магазинов, занимающихся торговлей строительными материалами. Обычно, сети строительных магазинов имеют распределённую систему складов и широкий охват точками розничной и оптовой торговли. Основная задача, стоящая перед моделью – смоделировать логистическую цепочку (загрузку грузового автомобиля необходимым товаром согласно пунктам заказа составленного магазинами, выполнение рейса, с последующей разгрузкой и возвращением автомобиля на базу).

Мультиагентная модель логистического подразделения

С применением системы VPsim.MAS [1-3, 8-9] была разработана мультиагентная имитационная модель (ИМ) работы логистической цепочки сети строительных магазинов, которая состоит из 152 операций, 78 ресурсов, 12 агентов. В модели не рассматриваются такие параметры как: полный ассортимент товаров, сезонность спроса. Спрос в различных магазинах и ассортимент выделен в 5 укрупненных групп на основе анализа статистики усредненного спроса сети.

Дополнительным фактором, который используется в модели, является прибытие и разгрузка на одном из складов КАМАЗа для восполнения склада продукцией. Причем операция по разгрузке КАМАЗа полностью блокирует склад.

Отдел логистики координирует работу складов, магазинов и парка транспортных средств. Согласно опыту, на снабжение 1 магазина строительной сети выделяется 1 грузовой автомобиль. В среднем, в зависимости от ассортимента заявки, грузовой автомобиль совершает 2 рейса для ее выполнения, что связано с ограничениями по грузоподъемности транспортного средства, средним объемом грузоперевозки заявки и требованиями к транспортировке грузов отдельных категорий товаров.

Определены следующие требования к модели: 1) учёт загрузки грузового автомобиля; 2) распределение времени – планирование задачи так, чтобы при решении отсутствовали «окна», задержки на погрузку и разгрузку.

Для анализа и совершенствования плана (поиска более эффективного плана) используется метод мультиагентного планирования [1], примененный ранее для области строительства, основанный на интеграции следующих подходов: мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов [3], операционного анализа

вероятностных сетей [4, 6-7], технологии программных агентов субподряда [2] и метода критического пути [5].

Реализация метода мультиагентного имитационного планирования работ по грузоперевозкам

Метод мультиагентного планирования работ по грузоперевозкам программно поддерживается с помощью комплекса программ семейства BPSim (BPSim.MAS, BPSim.DSS). В основе метода используется мультиагентная имитационная модель, в данном случае модель включает в себя цепь поставки и складской терминал.

В модели используются несколько типов заявок (транзактов). В процессе работы модели экземпляры одного типа заявок порождают другие заявки. Так, приход заявки от магазина порождает на складском терминале заявку на работу грузового автомобиля, а на складе заявку на необходимые позиции товаров. В силу того, что для каждой из 5-ти групп товара (в силу его специфики и условий хранения) на терминале выделен отдельный склад, то данная заявка может порождать до 5-ти заявок на склады. На ряде складских терминалов "расщепление" заявки от магазина выполняют начальники складов, причем среднее время "расщепления" заказа и разбивки его на рейсы (т.е. планирование) может составлять до 2-ух часов на заказ. "Расщепленные" складские заявки передаются кладовщикам, которые формируют товар на отгрузку.

В модели предусмотрена детализация условий и параметров проводимого эксперимента: вероятность появления КАМАЗа, количество работающих грузовых автомобилей, увеличить или снизить спрос на товар на конкретной территории.

Рассмотрим два примера, где производится перевозка груза из точки А в точку Б, посредством N -транспортных средств, выполненных по технологии заявок. На рисунке 1 показана работа транспортного средства и принцип объезда точек погрузки в системе имитационного моделирования BPSim.MAS (одно из реализованных правил загрузки автомобиля, когда сначала идёт загрузка тяжелого негабарита).

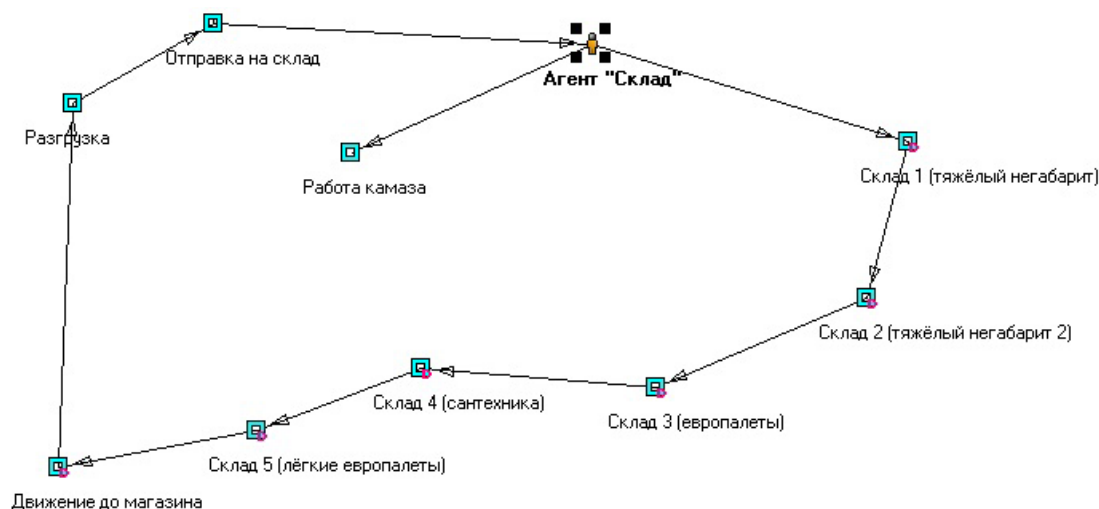


Рис. 1. Декомпозиция функционального блока «Склады»

Был проведен эксперимент, имитирующий работу склада за 9 дней и 14 часов. Склад обслуживает грузовики с 6 утра до 14 часов дня – дальнейшая отправка не имеет смысла в виду того, что доставка в часть магазинов произойдет уже после закрытия. Целью было определить, сколько нужно задействовать грузовиков для выполнения всего пула из 18 групп заказов. Особенность вариантов погрузки транспортных средств ограничивается двумя возможными вариантами: погрузка начинается со складов негабарита ("Склад1" и "Склад2"). Таким образом, при одном посту погрузки на складе, в первые рейсы параллельно может происходить погрузка не более двух автомобилей. После завершения загрузки тяжелым негабаритом, автомобиль направляется на другой склад. Среднее время погрузки на складе - 1 час. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Один пост погрузки

Число грузовиков	Выполнено заказов	$t_{\text{общ}}$, ч	$t_{\text{ож}}$ общ, ч	$t_1/t_{\text{ож}}$, ч	$t_2/t_{\text{ож}}$, ч	$t_3/t_{\text{ож}}$, ч	$t_4/t_{\text{ож}}$, ч	$t_5/t_{\text{ож}}$, ч	$t_6/t_{\text{ож}}$, ч
1	3	84	0	84/0	-	-	-	-	-
2	6	163	0	81/0	82/0	-	-	-	-
3	10	249	13	84/2	85/4	80/7	-	-	-
4	13	331	31	84/6	83/5	86/14	78/6	-	-
5	15	372	50	80/6	78/5	80/18	71/15	70/6	-
6	18	448	63	69/12	71/12	71/15	71/8	67/10	61/6

Где:

число грузовиков – число работающих грузовиков;

выполнено заказов – выполненные группы заказов с городов;

$t_{\text{общ}}$, ч – общее время работы грузовиков за время эксперимента в часах;

$t_{\text{ож}}$ общ, ч – общее время ожидания погрузки в часах;

$t_n/t_{\text{ож}}$, ч – время работы грузовика/ время ожидания на погрузку в часах;

Из таблицы 1 можно сделать следующие выводы:

- ожидания при погрузке появляется, когда число грузовиков превышает 2;
- число выполненных заказов растет пропорционально числу грузовиков;
- время ожидания растёт пропорционально числу грузовиков, когда тех работает больше 2 и при выполнении всех 18-ти заказов составляет в среднем для каждого грузовика более 10 часов;
- для выполнения всех заказов, необходимо 6 грузовиков.

Был проведён эксперимент, показывающий работу склада при параллельной работе двух постов погрузки и двух пар погрузчиков на каждом складе, результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Два поста погрузки

Число грузовиков	Выполнено заказов	$t_{\text{общ}}$, ч	$t_{\text{ож}}$ общ, ч	$t_1/t_{\text{ож}}$, ч	$t_2/t_{\text{ож}}$, ч	$t_3/t_{\text{ож}}$, ч	$t_4/t_{\text{ож}}$, ч	$t_5/t_{\text{ож}}$, ч	$t_6/t_{\text{ож}}$, ч
1	3	82	0	82/0	-	-	-	-	-
2	6	159	0	79/0	80/0	-	-	-	-
3	11	259	0	90/0	89/0	80/0	-	-	-

4	14	352	0	89/0	94/0	86/0	83/0	-	-
5	16	366	31	82/6	77/5	66/9	69/3	72/8	-
6	18	435	35	79/1	76/5	72/8	72/10	72/6	64/5

Из таблицы 2 можно сделать следующие выводы:

- ожидание очереди на погрузку начинается тогда, когда число грузовиков превышает 4;
- когда работает 1-2 грузовика, склад по производительности не отличается от предыдущего эксперимента;
- число выполненных заказов растёт пропорционально числу грузовиков, однако их число больше, чем в предыдущем эксперименте;
- для выполнения всех заказов необходимо 6 грузовиков.
- время ожидания растёт пропорционально числу грузовиков, когда тех работает больше 4, так как возникают простои. При выполнении всех заказов среднее время ожидания погрузки составляет в среднем для каждого грузовика примерно 6 часов, что значительно лучше, чем в первом эксперименте.

Дополнительной стратегией планирования является расширение условий предыдущей серии экспериментов возможностью появления на складском терминале в течение часа 5-й машины через полчаса после загрузки первых четырёх, для того, чтобы попробовать уменьшить время ожидания и улучшить эффективность склада. Результаты экспериментов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Два поста погрузки и дополнительная машина

Число груз	Вып. гр. зак.	$t_{\text{общ}}$, ч	$t_{\text{ож}}$ общ, ч	$t_1/t_{\text{ож}}$, ч	$t_2/t_{\text{ож}}$, ч	$t_3/t_{\text{ож}}$, ч	$t_4/t_{\text{ож}}$, ч	$t_5/t_{\text{ож}}$, ч	$t_6/t_{\text{ож}}$, ч
5	18	400	14	84/4	82/1	87/5	75/2	72/2	-
6	18	407	45	79/4	66/9	71/6	65/8	64/7	62/11

Поскольку производительность склада при работе 4 грузовиков не будет отличаться от предыдущего режима, было решено посмотреть работу при 5 грузовиках.

Из таблицы 3 можно сделать следующие выводы:

- заказы выполняются при работе 5 грузовиков;
- применение 6 грузовиков увеличивает среднее время ожидания до 7,5 часов на грузовик;
- для 5 грузовиков время ожидания погрузки минимально из всех, менее 3 часов на грузовик, что говорит об оптимальности этого решения в плане увеличения производительности.

С помощью мультиагентной имитационной модели логистического подразделения, реализованной на базе комплексов программ VPSim был проведен три направленных эксперимента во временном интервале обработки 103 заявок. Было установлено, что для выполнения всех 18 групп заявок необходимо 6 грузовиков при работе 1 поста на каждом складе. Кроме того, было установлено, что параллельная работа двух постов на каждом складе даёт значительное повышение производительности в выполнении групп заказов, а также снижает общее время работы грузовика и время ожидания погрузки. Параллельная работа двух постов на каждом складе и один дополнительный грузовик позволяет обслужить весь пул заказов при

парке в 5 машин, при том, что последний 5-й грузовик выезжает с задержкой в 30 минут, время ожидания в очереди на погрузку уменьшилось в среднем до 3-х часов.

Заключение

Применение мультиагентного имитационного моделирования в сочетании позволило создать гибкую и легко настраиваемую модель для проведения направленных экспериментов. Можно, изменяя количество автотранспорта, складов и магазинов, расстояния между пунктами, получить на выходе широкий спектр значений, характеризующих существующую сеть строительных магазинов и явно указывающих на «слабые звенья», где происходят наибольшие потери во времени. Проанализированы 3 варианта работы складского терминала. Данные, полученные в ходе экспериментов, показали, что наилучшие результаты достигаются при одновременной работе 4 грузовиков и одного с запозданием на 30 минут.

Литература

1. **Аксенов К.А., Аксенова О.П., Ван Кай** Планирование портфеля проектов в строительстве на основе мультиагентного имитационного моделирования // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 6 (162) 2012. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.171-174.
2. **Аксенов К.А., Ван Кай, Антонова А.С., Аксенова О.П., Липодаева А.А.** Разработка и применение системы поддержки принятия решений в управлении строительным холдингом // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 4 (128) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.53-60.
3. **Аксенов К.А.** Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов и системный анализ организационно-технических систем. // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2009. - № 6. - С.38-45.
4. **Ван Кай, Аксенов К.А., Аксенова О.П., Киселева М.В.** Использование аппарата операционного анализа вероятностных сетей для определения среднего количества приборов обслуживания мультиагентной модели // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/103-6290> (дата обращения: 22.05.2012).
5. Исследование операций: том 2. под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – 677 с.
6. **Литвин В.Г., Аладышев В.П., Винниченко А.И.** Анализ производительности мультипрограммных ЭВМ. М.: Финансы и статистика. -1984. - 159с.
7. **Томашевский В., Жданова Е.** Имитационное моделирование в среде GPSS. М.: Бестселлер.- 2003. - 416 с.
8. **Aksyonov K.A., Bykov E.A., Skvortsov A.A., Aksyonova O.P., Smoliy E.F.** Intelligent system for scheduling transportation within gas stations network . Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012). Berlin, Germany. 2012. Available at: <http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/pos194.pdf>
9. **Aksyonov K.A., Bykov E.A., Smoliy E.F., Khrenov A.A.** Industrial Enterprises Business Processes Simulation with BPsim.MAS. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference (WSC 2008). Miami, USA, 2008, pp. 1669- 1677.