УДК 656.61.02:519.872

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ СУДОВ НА ГРУЗОВЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛАХ В ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА В ЭЛЕМЕНТАХ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И БУЛЕВОЙ АЛГЕБРЫ В РАЗВИТИИ КОНЦЕПЦИИ Е-НАВИГАЦИИ

Соболева Е.О., аспирантка кафедры «Экономики и менеджмента» института Морского транспорта, менеджмента, экономики и права, *ФГБОУ ВО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова»*, e-mail: katefrankfurt19@gmail.com

В предложенном исследовании развернуто создание модели транспортно-информационного потока в сравнительной вариации с сетью Петри, дифференциального уравнения Линдли и метода макс,+ алгебры для оценивания информационного потока контейнерной фидерной линии предпортового контейнерного накопителя и грузового терминала морского порта. Дискретно-событийное моделирование позволяет с высокой долей вероятности создать управляющую модель для АРМ АСУТП для грузового участка порта.

Ключевые слова: сеть Петри, уравнение Линдли, метод макс,+ алгебры, дискретно-событийное моделирование, контейнеровозы, теория массового обслуживания, матричный вид дифференциального уравнения, фазовое пространство, функция случайной величины, диоид, форпорт, идемпотенция, аппроксимация, портовый терминал, коммуникативность и ассоциативность, функции Парето и Вейбулла, спектральный метод решения.

SIMULATION MODEL OF SHIP HANDLING AT CARGO TERMINALS BASED ON DISCRETE EVENT PROCESSING OF INFORMATION FLOW IN THE DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF E-NAVIGATION

Soboleva E., the post-graduate student, Economics and Management chair, Institute of Maritime Transport, Management, Economics and Law, *FSEI HE «Admiral Ushakov Maritime State»*, e-mail: katefrankfurt19@gmail.com

In the proposed study deployed the creation of a model of transport and information flow in the comparative variations of Petri nets, differential equations and Lindley method max,+ algebra for the evaluation of the information flow of container feeder line before the port drive train and a cargo terminal of the seaport. Discrete-event modeling allows with a high probability to create a control model for the automated control system of the cargo area of the port.

Key words: Petri net, Lindley's equation, method max,+ algebra, discrete event simulation, container ships, queueing theory, matrix differential equations, phase space, functions of random variables, dioid, purport, idempotence, approximation, port terminal, communication and associatively, functions of Pareto and Weibull, spectral method solution.

Смещение производства высокотехнологичных товаров в юго-восточную Азию создало обратный поток грузов готовой продукции в развитые страны Европы и Северо- американских государств. Высокоскоростные крупно-тоннажные контейнеровозы доставляют грузы в крупнейшие порты мира.

В исследовании, рассмотрим отдельные аспекты моделирования сетевых систем, как механизм адекватного составления математических моделей, где изменение выхода относительно входа, суть сопряженное пространство состояний системы от передаточных функций в матричном виде. Объект моделирования в предложенных системах описывается нелинейными функциями, где усилия моделирования направлены на линеаризацию систем, преобразованных через обобщающее решение дифференциальных уравнений в матричном виде. Результирующей моделирования, является алгоритм восстановленного фазового пространства моделируемых систем в элементах звеньев управляющих и регулирующих агрегатов и приборов.

В экономическом аспекте и элементах управляющих воздействий с применением теории массового обслуживания моделирование сетевых систем подразумевает методы теории систем и сетей в которых рассматриваются различные модели входных , выходных потоков и правил обслуживания исследуемых на базе законов распределения случайных величин и процессов, где генераторами являются некоторые типы случайных процессов (заявки на обслуживание за некоторый период) , а также вероятностные и статистические характеристики [1].

В исследовании и в общей теории систем, в теории систем и сетей массового обслуживания неявно предполагается использование процессорного времени, где процессы в системе протекают по возможности мгновенно, хотя допустима некоторая инерционность, и процессы подчинены некоторому вероятностному закону.

В потоках общего типа предлагается применить рекуррентное интегральное уравнение Линдли [2], которое удовлетворяет распределению F - стационарного времени ожидания (x) в $\left(\frac{G}{G_i}\right)$ в первой очереди:

$$F(x)=\int_0^\infty K(x-y)F(dy), x\geq 0 \quad , \qquad (1)$$

где:

$\mathrm{K(x)}$ - функция распределения случайной величины, обозначающая разность между событиями прибытия партии.

K – ядро , связывающее произвольную функцию распределения вероятностей интервалов времени между поступлениями соседних требований $A(t)$ и произвольную функцию распределения длительности обслуживания требований $\mathrm{B}(t)$ [3].

Применив спектральный метод решения уравнения Линдли получим, для выражения:

$$A(-\mathrm{s})\,\mathrm{B(s)}-1=\frac{\psi_+(s)}{\psi_-(s)},1 \quad , \qquad (2)$$

где:

$A(s), B(s)$ - преобразование Лапласа плотности распределения промежутка времени между поступлениями пакетов и плотности распределения времени обслуживания контейнерного потока.

После определения гистограмм определения функций Парето и Вейбулла [3,4], аппроксимируем в виде затухающих экспонент:

$$a(t)=\sum_{k=1}^{n} a_k e^{-a_k t}, \quad b(t)=\sum_{k=1}^{i} b_k e^{-\rho_k t}, \tag{3}$$

С применением распределения Парето с параметрами $\alpha_1 = 0,33$ и $\beta_1 = 42$

Аппроксимация будет:

$$a(t)=\sum_{i=1}^{s} a_k e^{-\alpha_1 t} = a_1 e^{-\frac{2t}{m}} + a_2 e^{-\frac{3t}{m}} + a_n e^{-\frac{(n+1)t}{m}} + a_s e^{-\frac{st}{m}}, \tag{4}$$

при:

$\alpha_k = \dfrac{K}{m}, m = 8$; абсолютная аппроксимирующая погрешность будет: $R(t) = 0,029$.

Для $b(t)$ - распределения Вейбулла с параметрами : $\alpha = 0,934$ и $\beta = 1571$

Аппроксимирующий экспонент составит:

$$b(t)=\sum_{i=1}^{s} b_k e^{-\rho_1 t} = b_1 e^{-\frac{2t}{m}} + b_2 e^{-\frac{3t}{m}} + b_n e^{-\frac{(n+1)t}{m}} + b_s e^{-\frac{st}{m}}, \tag{5}$$

где:

$\beta_s = \dfrac{K}{m}, m = 71$ и аппроксимирующая погрешность будет: $R(t) = 0,0001$.

В основу дискретно-событийного моделирования положили концепцию изменяющейся системы под воздействием некоторых событий безотносительно их возникновения и взаимодействия между собой или синхронизация, что описывается сетями Петри.

Сети Петри – как математический аппарат, применили для моделирования динамических дискретных систем с описанием структуры и динамического поведения моделируемого комплекса аванпорта контейнерного морского терминала [4].

Как вариант - моделирование конечных автоматов с применением сетей Петри, где система – это абстрактный автомат без выходного потока, число возможных состояний которого конечно. Результат работы автомата определяется по его конечному состоянию.

Так, конечный автомат может быть задан по пяти параметрам, десяти параметрам, но количество состояний должно быть конечно:

$$M = (Q, \sum, \delta, q_0, F), \tag{6}$$

где:

Q - конечное множество состояний автомата;

q_0 - начальное состояние автомата $(q_0 \in Q)$;

F - множество заключительных, допускающих состояний, как $(F \subseteq Q)$;

$\sum$ - допустимый входной алфавит, семантические символы которого считываются системой;

δ - заданное отображение множества $(Q \times \Sigma)$ во множестве $P(Q)$ подмножеств $Q : \delta : Q \times \Sigma \to P(Q)$, где - функция переходов автомата.

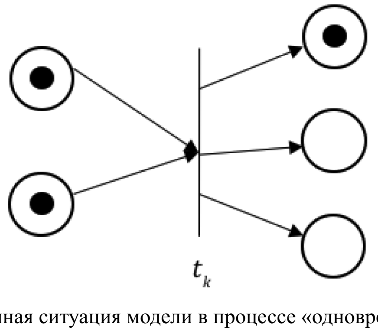

Рис. 1. Информационная ситуация модели в процессе «одновременность события»

В исходном состоянии имеются два информационных потока S, переход обозначен t_k, отношения в процессе обозначены стрелками. Применение лингвистических переменных описывает моделирование в динамической форме [5].

Некоторое развитие получил метод макс,+ алгебры.

Применим метод МАКС, + алгебры в дискретно-событийном моделировании , основной структурой является макс,+, полукольцо, являющееся числовым множеством в диапазоне плюс, минус бесконечность, снабженными операциями максимума, как сложения и вычитания периодичности систем [3,4].

Операции макс,+, обозначаются, как $\oplus$ и $\oplus$ или другие значения, то есть :

$$x \oplus y = \max\left(x, y\right) \text{ и } x \otimes y = x + y \text{ ., } \tag{7}$$

Полукольцо макс,+ является идемпотентным, когда сложение $a \oplus a = a$ - идемпотентно, тогда нулем будет $\varepsilon = -\infty$, где единицей считается $\varepsilon = 0$, которая нейтральна по операциям $\varepsilon = -\infty$, а для каждого ненулевого элемента по этой операции является обратный элемент .Для обоих операций выполняется коммутативность и ассоциативность, а операция $\otimes$ дистрибутивна относительно $\otimes$. Это диоид. Возможен также анализ относительно минимум, -.

Исследуем дискретно-событийное моделирование автоматизированной системы управления контейнерным потоком на железнодорожном морском контейнерном терминале фидерной контейнерной линии Новороссийского порта.

В системе имеются АРМ работников АСУ ТП на распределительном и припортовом терминале.

Путем передачи данных в единой сети поддерживается технологический процесс обработки информационных потоков.

Представим информационный поток в виде блок-схемы:

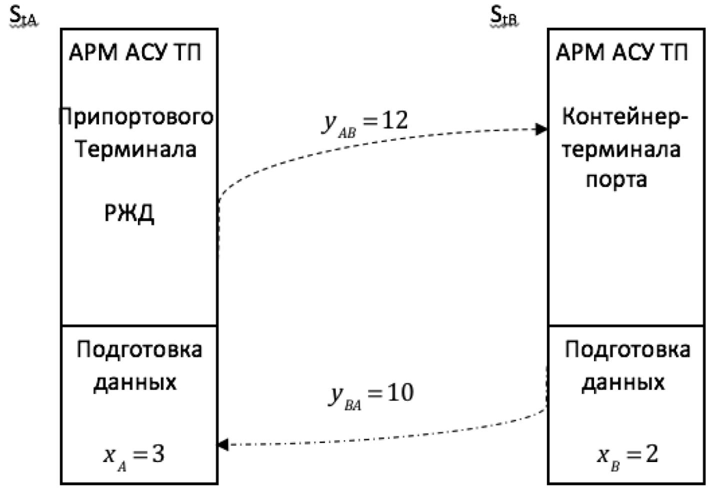

Рис. 2. Блок – схема обработки потока данных при грузовых операциях на терминале

Обработка информации на терминале занимает у оператора 3 минуты, ввод данных на каждую площадку, формируемого состава из 60 единиц составляет 12 минут. Время на принятия натурного листа 2 минуты, а внесение и корректура в порту 10 минут.

Интенсивность обработки документов в комплексе АРМ учитывает алгоритм максимальной скорости обработки контейнерного потока, что удовлетворяет максимально возможному количеству маршрутов на участке $StA \Leftrightarrow StB$ [6].

Тогда смоделируем информационный пакет данных на обработку и отправку эшелона контейнеров.

$$t_A\left(1\right) \geq t_A\left(0\right) + x_A + \Delta \text{ ,} \tag{8}$$

очередной прибывший пакет документов железно-дорожного маршрута, обрабатывается не ранее , чем передаются предыдущие корректировки на предпортовый терминал StA с StB .

$$t_A\left(1\right) \geq t_B\left(0\right) + y_{AB} + \Delta \text{ ,} \tag{9}$$

где:

$t_B(0)$ - начальный момент времени отправления корректировок с форпорта StA ;

$t_A(0) = 0$ - некоторая временная задержка в технологическом процессе обработки контейнерного маршрута.

Обработаем математические выражения в общем виде:

$$t_A\left(k+1\right) \geq t_A\left(k\right) + x_A + \Delta \text{ ,} \tag{10}$$

$$t_A\left(1\right) \geq t_B\left(0\right) + y_{BA} + \Delta \text{ ,} \tag{11}$$

Примем $\Delta = 0$ и решив предыдущие выражения получим максимальную задержку маршрутов:

$$t_A(\mathrm{k+1}) = \max\left[t_A(k) + 3, t_B(k) + 10\right. \text{ ,} \tag{12}$$

для форпорта , будет StB :

$$t_B(\mathrm{k+1}) = \max\left[t_A(k) + 12, t_B(k) + 2\right. \text{ ,} \tag{13}$$

При учете максимальных временных интервалов : $x_{A,} x_B, y_{AB}$, получим, при n станций, временной ряд: $t_1, t = 1, \ldots, n$, а технологические операции по перемещению информационного потока между аванпортом и терминалом, обозначим, как z_{ij}, тогда:

$$t_i(k+1)\max\left[t_1(k)+z_{i1}(k)+z_{i2},...,t_n(k)+z_{in}\right]=\max_{j=1,...,n}(z_{ij}+t_j(k)), \quad (14)$$

Преобразовав, как линейную рекуррентную последовательность, получим:

$$t_i(k+1)=\sum_{j=1,...,n}[z_{ij}+t_j(k), \quad (15)$$

$$t_i(k+1)=\max_{j=1,...,n}(z_{ij}+t_j(k)), \quad (16)$$

Применив метод $(\max,+)$ - алгебры, для дальнейшей оптимизации процесса, получим:

$$t_i(k+1)=\bigoplus_{j=1}^{n}\left(z_{ij}\otimes t_j(k)\right), \quad (17)$$

Перепишем по аналогии с линейной алгеброй в матричном виде:

$$\mathrm{t(k+1) = Z \;\; t(k)}, \quad (18)$$

где:

$\mathrm{e}-(\max,+)$ - операции;

Z - матрица содержащая коэффициенты преобразований.

Рассчитаем в соответствии со значениями матрицу коэффициентов преобразований по ритму технологических операций с контейнерными маршрутами:

$$Z=\begin{pmatrix}3 & 10\\ 12 & 2\end{pmatrix}, x(0)=\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}, \quad (19)$$

Таким образом, преобразовав , получим:

$$x(1)=\begin{pmatrix}(3\otimes 0)\oplus(10\otimes 0)\\ (12\otimes 0)\oplus(2\otimes 0)\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}10\\12\end{pmatrix}, \quad (20)$$

Принимая во внимание, что

$$x(2)= Z\odot Z\odot x \;\; 0 \;=\begin{pmatrix}3 & 10\\ 12 & 2\end{pmatrix}\odot\begin{pmatrix}3 & 10\\ 12 & 2\end{pmatrix}\odot\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}, \quad (21)$$

Решая далее, получим:

$$\begin{pmatrix}(3\otimes 3)\oplus(10\otimes 12)\oplus(3\otimes 10)\oplus(10\otimes 2)\\ (12\otimes 3)\oplus(2\otimes 12)\oplus(12\otimes 10)\oplus(2\otimes 12)\end{pmatrix}\odot\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}=$$

$$=\begin{pmatrix}22 & 13\\ 15 & 22\end{pmatrix}\odot\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}(22\otimes 0)\oplus(13\otimes 0)\\ (15\otimes 0)\oplus(22\otimes 0)\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}22\\22\end{pmatrix}, \quad (22)$$

и далее по установленному алгоритму.

Получаем циклическую форму математической записи технологических операций с помощью $(\max,+)$ - алгебры [4,6].

Дискретно-событийное моделирование с использованием $(\max,+)$ - алгебры применимо, как достаточно эффективный механизм моделирования систем с синхронизацией событий для сетевых компьютерных систем, таких как АРМ и АСУТП.

Рассмотрено моделирование сетевых систем в конфигурации изменения системы под воздействием некоторых событий без точной привязки к временной шкале. В целом процессорное время корреспондируется с состоянием системы, а модель при непрерывном потоке времени моделируется, как непрерывный информационный поток с синхронизацией отдельных событий. В исследуемом варианте модели рассматриваются некие генераторы случайных процессов, а результатами моделирования времена обслуживания вероятности пребывания и другие вероятностные и статистические характеристики.

Литература:

1. Кириченко А.В., Изотов О.А., Мегалинская А.Ю. Обоснование транспортно-технологических систем для выполнения экспедиционного завоза. С-Пб: Системный анализ и логистика, №8-2012.
2. Цветков В.Я.. Моделирование в автоматизации научных исследований и проектирования. – М.: ГКНТ, ВНТИЦ, 1991. – с. 125.
3. ЛескинА.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. Л.: Наука , 1989. – с. 133.
4. Гринберг А.Г., Любачевский Б.Д., Митрани Я.М. Алгоритмы для неограниченного параллельного моделирования.//ACM Трансмитерная вычислительная система. М.: Наука, 1991, с.221.5.
5. Кривулин Н.К. Оптимизация сложных систем для имитационного моделирования.//Вестник ЛГУ. Математика, СП-б, 1990, с. 64-67.6.
6. Ермаков С.М., Кривулин Н.К. Эффективные алгоритмы симуляции системы тандемных комплексов. //Вестник ЛГУ. Математика, С-Пб, 1994, с. 52-64.