

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИЦИОННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В.С. Наумов, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. На основе сетей Петри разработаны модели базовых вариантов технологического процесса транспортно-экспедиционных предприятий. Определены области использования методологии сетей Петри при моделировании экспедиционного обслуживания на автомобильном транспорте.

Ключевые слова: транспортно-экспедиционное обслуживание, сети Петри, имитационное моделирование.

Введение

Процесс транспортно-экспедиционного обслуживания (ТЭО) предприятий и организаций на автомобильном транспорте является сложным технологическим процессом. На эффективность ТЭО влияет большое количество случайных факторов, что значительно усложняет принятие управленческого решения. Возможность учёта случайных факторов и сложных зависимостей от них обеспечивается использованием методологии имитационного моделирования. Одним из перспективных вариантов формального описания и анализа имитационных моделей является использование методологии сетей Петри [1].

Существующие подходы к принятию решений при управлении ТЭО позволяют решать довольно узкий круг задач без учёта большинства параметров, определяющих эффективность технологического процесса. Это обосновывает необходимость разработки программно реализуемых моделей поддержки принятия решений.

Анализ публикаций

Теория сетей Петри (СП) является математическим аппаратом, предназначенным для работы с параллельными и асинхронными системами, к которым, очевидно, относятся транспортно-экспедиционные предприятия (ТЭП) на автомобильном транспорте. Впервые описанная в 1962 г. немецким математи-

ком Карлом Петри, в настоящее время теория имеет обширное применение практически во всех отраслях научных исследований [2].

В соответствии с [3] по определению сеть Петри Π является совокупность объектов

$$\Pi = \langle P, T, I, O, \mu \rangle, \quad (1)$$

где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – конечное множество позиций; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – конечное множество переходов; I – входная функция переходов; O – выходная функция переходов; μ – вектор маркировки СП.

Функции входа и выхода определяются отображением бинарного произведения множества переходов и множества позиций на множество $\{0, 1\}$

$$\begin{aligned} I: T \times P &\rightarrow \{0, 1\}, \\ O: T \times P &\rightarrow \{0, 1\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Маркировка СП определяется отображением множества позиций на множество натуральных чисел N

$$\mu: P \rightarrow N. \quad (3)$$

Графически сеть Петри Π интерпретируется как двудольный ориентированный граф, состоящий из вершин двух типов – позиций и

переходов, которые соединены между собой дугами, при этом вершины одного типа не могут быть соединены непосредственно. В позициях могут размещаться метки (маркеры), способные перемещаться по сети.

Моделирование в СП осуществляется на событийном уровне. Переходы отображают действия, происходящие в системе, а позиции – состояния, предшествующие этим действиям, и состояния, принимаемые системой после выполнения действия. Таким образом, модель сети Петри служит для отображения и анализа причинно-следственных связей в системе. Анализ результатов моделирования позволяет определить, в каких состояниях пребывала система.

Цель и постановка задачи

Целью работы является определение целесообразности использования методологии сетей Петри при моделировании процесса ТЭО предприятий и организаций на автомобильном транспорте. Объектом исследования является процесс моделирования ТЭО, а предметом – особенности использования методологии сетей Петри. Для достижения цели исследования разрабатываются модели технологического процесса работы ТЭП на основе СП, на базе разработанных моделей анализируются области использования методологии сетей Петри при управлении ТЭО.

Имитационные модели технологического процесса ТЭО

На основании алгоритмов, разработанных в [5], построены соответствующие модели технологического процесса (рис. 1-3).

Модель процесса обслуживания заявки от перевозчика (рис. 1), реализованная в сети Π_1 , содержит 6 позиций и 4 перехода:

$$\begin{aligned} P_1 &= \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\}, \\ T_1 &= \{t_1, t_2, t_3, t_4\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Элементами множества переходов P_1 являются следующие события: p_1 – заявка на загрузку транспортного средства поступила, p_2 – привлечение постоянных клиентов-грузовладельцев невозможно, p_3 – заявка размещена на специализированном логистическом сайте (СЛС), p_4 – варианты выполнения заявки на загрузку транспортного сред-

ства найдены, p_5 – заявка отклонена, p_6 – заявка принята к выполнению.

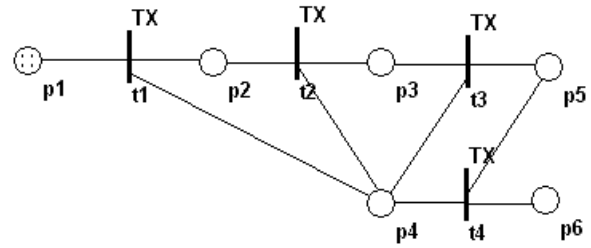


Рис. 1. Модель процесса обслуживания заявки от перевозчика

Элементами множества позиций T_1 являются технологические операции: t_1 – проведение консультаций с постоянными клиентами-грузовладельцами, t_2 – поиск вариантов загрузки на СЛС, t_3 – анализ вариантов выполнения заявки по загрузке транспортного средства, t_4 – согласование варианта загрузки и цены с перевозчиком.

Входная и выходная функции переходов I_1 и O_1 имеют следующий вид:

$$I_1 = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad O_1 = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (5)$$

Процесс обслуживания заявки от грузовладельца базовым ТЭП смоделирован в сети Π_2 (рис. 2), для которой множество P_2 содержит 7 позиций, а множество T_2 – 5 переходов:

$$\begin{aligned} P_2 &= \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7\}, \\ T_2 &= \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Позициями сети Π_2 являются: p_1 – поступление заявки от грузовладельца, p_2 – привлечение постоянных клиентов-перевозчиков невозможно, p_3 – заявка размещена на СЛС, p_4 – определены варианты обслуживания, p_5 – стоимость доставки согласована с перевозчиком, p_6 – заявка отклонена, p_7 – заявка принята к выполнению. Переходами для Π_2 являются: t_1 – проведение консультаций с постоянными клиентами-перевозчиками, t_2 – поиск вариантов доставки на СЛС, t_3 – ана-

лиз вариантов доставки груза, t_4 – согласование варианта и цены с перевозчиком, t_5 – согласование цены с грузовладельцем.

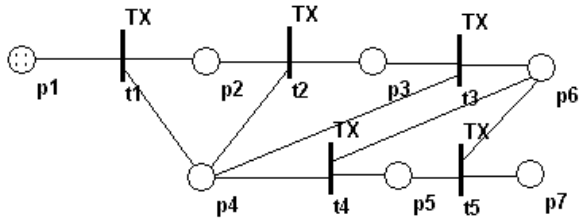


Рис. 2. Модель процесса обслуживания заявки от грузовладельца базовым ТЭП

Функции переходов I_2 и O_2 для сети Π_2 определяются следующим образом:

$$I_2 = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$O_2 = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (7)$$

Сеть Π_3 (рис. 3) является моделью технологического процесса обслуживания заявки на перевозку груза экспедитором с собственным подвижным составом. Множества позиций P_3 и переходов T_3 сети Π_3 содержат соответственно 8 и 6 элементов:

$$P_3 = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8\}, \quad (8)$$

$$T_3 = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\},$$

где p_1 – поступление заявки от грузовладельца, p_2 – выполнение заявки собственным подвижным составом невозможно, p_3 – выполнение заявки автомобилями постоянных клиентов-перевозчиков невозможно, p_4 – за-

явка размещена на СЛС, p_5 – определены варианты выполнения заявки, p_6 – стоимость доставки согласована с перевозчиком, p_7 – заявка принята к выполнению, p_8 – заявка отклонена, t_1 – оценка возможности выполнения заявки собственными автомобилями, t_2 – консультации с постоянными клиентами-перевозчиками, t_3 – поиск вариантов на СЛС, t_4 – анализ вариантов доставки, t_5 – согласование варианта загрузки и цены с перевозчиком, t_6 – согласование цены с грузовладельцем.

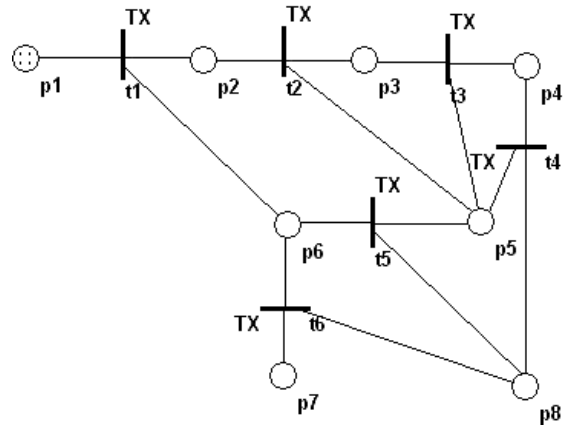


Рис. 3. Модель процесса обслуживания заявки от грузовладельца экспедитором с собственным подвижным составом

Функции переходов I_3 и O_3 для Π_3 имеют следующий вид:

$$I_3 = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \\ p_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$O_3 = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \\ p_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (9)$$

При проведении эксперимента на разработанных имитационных моделях можно определить вероятность отклонения заявки на ТЭО, а при заданных значениях продолжительности технологических операций данные модели позволяют оценить среднее время обслуживания заявки.

Области использования сетей Петри при моделировании процесса ТЭО

Практическое использование моделей на базе сетей Петри определяется имеющимся программным обеспечением. Интернет-ресурс Гамбургского университета Petri Nets World (www.informatik.uni-hamburg.de) содержит базу данных программных средств для работы с сетями Петри. Существующие программные средства реализации моделей на базе сетей Петри являются преимущественно некоммерческими продуктами, поэтому их использование возможно только после тестирования и проверки результатов работы на корректность.

Проведенные экспериментальные исследования (определение вероятности отклонения и времени обработки заявки) с использованием разработанных моделей на базе программных средств T-NET и PIPE позволяют сделать следующие замечания:

1. При имитационном моделировании необходимо многократное повторение опытов в соответствии с планом эксперимента. Моделирование процесса ТЭО с использованием методологии сетей Петри на базе доступного программного обеспечения существенно ограничивает возможности проведения экспериментов с большим количеством опытов.
2. Сети Петри позволяют решать задачи определения причинно-следственных связей, результаты моделирования, как правило, не позволяют оценить количественные характеристики исследуемого процесса. Эффективность же процесса ТЭО определяется преимущественно количественными показателями [4], поэтому модели на базе СП могут использоваться только для решения специфических задач при управлении ТЭО.
3. Для оценки временных показателей на базе моделей сетей Петри необходимы статистические данные по длительности используемых в модели технологических операций, которые не всегда возможно получить.

4. Для моделирования сетей с переходами-переключателями ТХ необходимы значения вероятностей перехода на соответствующие позиции. В случае, если эти вероятности не определяются однозначно аналитически, результаты моделирования будут некорректными или недостаточно обоснованными.

5. Модели сетей Петри наглядно отображают моделируемый процесс, что существенно облегчает процесс разработки и отладки модели.

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности применения аппарата сетей Петри при решении следующих групп задач:

- определение влияния структуры технологического процесса ТЭО и организационной структуры ТЭП на вероятности пребывания системы в различных состояниях для экспериментов с обоснованно небольшим количеством опытов;
- моделирование процессов обработки грузовых единиц и транспортных средств в транспортных узлах при наличии достоверной статистической информации о продолжительности технологических операций с использованием в качестве исследуемых значений временных показателей;
- оценка эффективности процесса ТЭО при наличии статистических данных и соответствующей постановке задачи;
- рационализация технологического процесса ТЭО при решении задач сокращения времени принятия решения и времени обработки заявок на экспедиционное обслуживание.

Выводы

Предложенные модели сетей Петри для процесса обработки заявок на ТЭО с использованием специализированного программного обеспечения позволяют оценить время обработки и вероятность отказа. Анализ особенностей имитационного моделирования на базе сетей Петри показал, что при разработке методов повышения эффективности ТЭО применение данной методологии довольно ограничено, однако это не исключает целесообразность использования моделей сетей Петри для решения некоторых специфических задач.

Литература

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
2. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.
3. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. – Л.: Наука, 1989. – 133 с.
4. Наумов В.С. Показатели оценки эффективности технологического процесса транспортно-экспедиционного обслуживания // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту: Зб. наук. пр. – Донецк: ПП «РВФ Молнія». – 2009. – Вып. 1. – С. 352 – 358.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 30 мая 2009 г.