

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ

А.П. БОРИСЕНКО

*Кубанский государственный университет,
350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149;
электронная почта: borisenkoanastasia95@gmail.com*

В статье рассмотрены дискретно-событийные модели основных элементов железнодорожной сети. Также рассмотрены модели движения поездов на примере. Модели представлены в виде сетей Петри с ограничивающими дугами. Получены формулы для анализа движения поездов на примере дискретно-событийной модели.

Ключевые слова: дискретно-событийная модель, сети Петри, супервизор, железнодорожная сеть, участок, перегон, блок-участок.

Современные мировые научные разработки в области железнодорожного транспорта направлены, в первую очередь, на решение вопросов безопасности движения. Например, в случае нахождения на перегоне нескольких поездов возникает проблема обеспечения безопасного их перемещения.

Сейчас безопасность обеспечивается системами сигнализации, обнаружения и блокирования аварийных ситуаций, контроля движения поездов. Ввиду недопустимости ошибок в таких системах для их проектирования и моделирования необходимо применять формальные методы. Не смотря на то, что эта проблема актуальна в наше время, не все ее стороны остаются изученными в достаточной мере. Поэтому данный вопрос требует глубокого анализа.

Таким образом, обеспечение безопасного движения на железнодорожном транспорте (обнаружение и блокирование аварийных ситуаций) состоит, прежде всего, в разработке ДС-моделей основных компонентов железнодорожной сети и в разработке супервизора, обеспечивающего заданный уровень безопасности при параллельном (одновременном) движении поездов по перегону[3].

Традиционно компоненты ДСС (ДС-модели объектов, ограничений и супервизоров) обычно представляются конечными автоматами, что не

приемлемо для транспортной системы с параллельным движением нескольких подвижных средств

Для представления ДС-моделей основных компонентов ж/д сети вместо конечных автоматов целесообразно применить сети Петри: они обладают точной математической семантикой, что позволяет достаточно просто интерпретировать поведение ж/д сети[4].

Сеть Петри состоит из 4-х элементов: множество позиций P , множество переходов T , входная функция I , выходная функция O . На рисунке белыми кружками обозначены позиции, полосками — переходы, чёрными кружками — метки[6].

Движение поездов по перегону имитируется перемещением фишек по позициям при срабатывании управляемых переходов. Запуск перехода $t_{i,j}$ разрешается при наличии фишек в управляющих позициях (разрешающих и блокирующих). На рисунке 1 видно, что в позициях P_1 и P_4 есть поезда, а в остальные секции пусты.

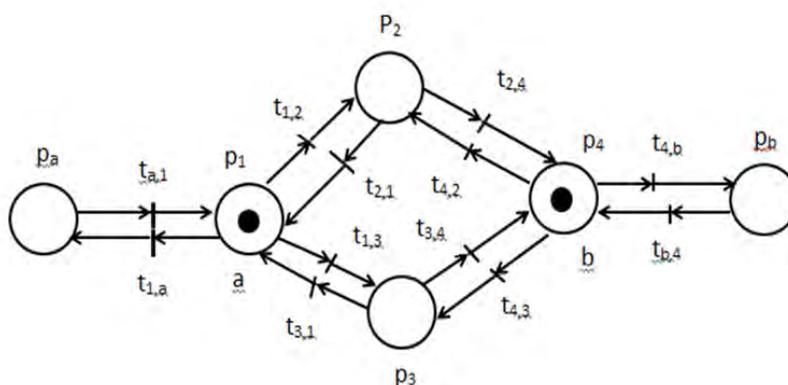


Рисунок – 1 Сеть Петри, моделирующая перегон с разъездом

В позиции p_1 находится фишка, что означает нахождение поезда на первой секции. Позиции a_2, a_3, b_1, b_2 будем называть управляющими позициями сети.

Значения управляющих переменных задаются системой организации маршрутов, маневров. Например, если требуется переместить поезд с первой секции на вторую секцию (рисунок 2), то управляющей переменной a_2 , присваивается единичное значение ($a_2 = 1$), а в позицию a_2 помещается фишка,

создавая тем самым условия запуска перехода t_1 , в результате фишка перемещается из позиции p_1 в позицию p_2 .

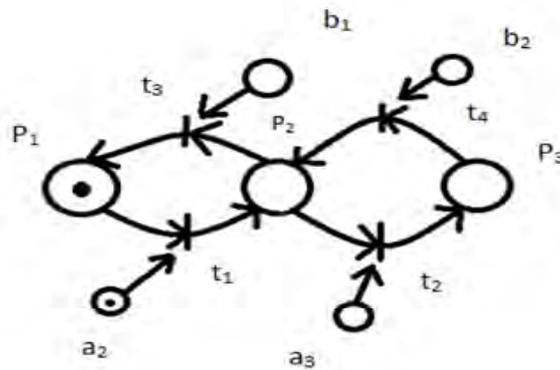


Рисунок – 2 Сеть Петри сегмента перегона (3 секции)

Требование безопасности состоит в том, чтобы между двумя движущимися поездами в попутном или встречном направлении по одному пути была бы, по крайней мере, одна свободная секция. В сети Петри это требование означает, чтобы между позициями сегмента, содержащими фишки, была бы, по крайней мере, одна пустая позиция.

На рисунке 3 изображена сеть Петри сегмента, состоящего из пяти секций. Пусть в исходном состоянии сети позиции p_1 и p_3 содержат фишки, а позиция p_2 — пустая, тем самым в исходном состоянии сети выполняется требование безопасности.

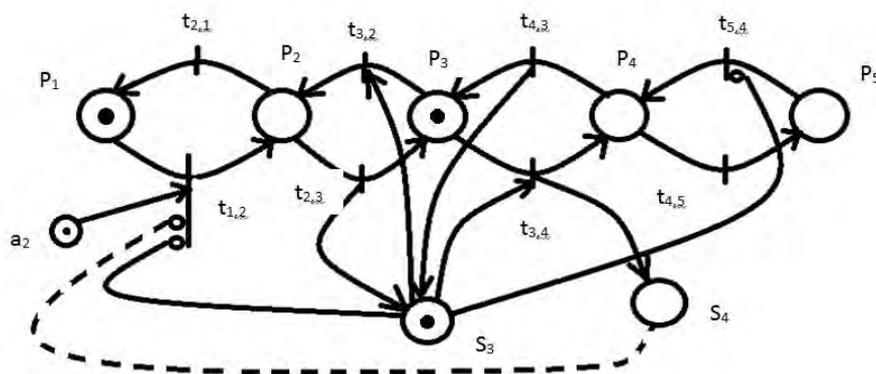


Рисунок – 3 Объединенная сеть Петри сегмента и супервизора безопасности

При $a_2 = 1$ срабатывает переход $t_{1,2}$ и фишка из позиции p_1 перемещается в позицию p_2 , но при этом будет нарушено требование безопасности. Для блокирования срабатывания перехода $t_{1,2}$ позиция p_3 дополняется позицией s_3

супервизора и блокирующей дугой ($s_3, t_{1,2}$). Одновременно с этим блокируется симметричный ему переход $t_{5,4}$ с помощью дуги ($s_3, t_{5,4}$). Позиция s_3 дублирует позицию p_3 , т. е. наличие (отсутствие) фишки в позиции s_3 совпадает с наличием (отсутствием) фишки в позиции p_3 . Таким образом, каждая позиция p_i сети дополняется управляющей позицией s_i и соответствующими блокирующими дугами. Число управляющих позиций (позиций типа s) равно числу секций перегона.

Совокупность управляющих позиций типа s и соответствующих блокирующих дуг образует так называемый супервизор безопасности, основные функции которого заключаются в синхронизации и обеспечении требований безопасности.

Требование безопасности можно ужесточить, а именно, потребовать, чтобы между активными позициями были бы две пустые позиции[5].

Рассмотрим применение ДС-моделей элементов перегона для определения времени движения поездов по перегону при их конвейерном движении.

Каждый перегон состоит из сегментов. Упрощенную сеть Петри сегмента (движение фишек только слева направо) представим в виде цепи последовательно соединенных k_i позиций, где k_i — число секций i -го сегмента. Рассмотрим сегмент железной дороги представленной на рисунке 4.

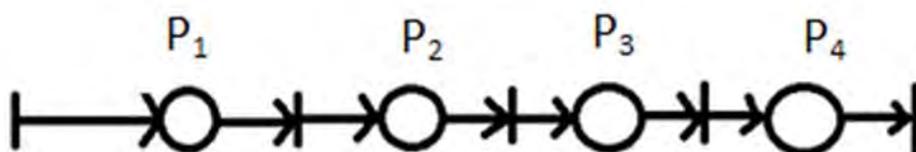


Рисунок – 4 Сеть Петри сегмента, состоящая из 4 элементов

Сегмент представленный на рисунке содержит четыре секции и описывает движение на станциях P_1 – Адлер, P_2 – Хоста, P_3 – Мацеста, P_4 – Сочи.

Для обеспечения безопасности движения поездов введем ограничение на взаимное расположение фишек в сети Петри: между позициями, в которых находятся фишки, должна быть, по крайней мере, одна позиция, не содержащая

фишку. Такие маркировки сети Петри будем называть допустимыми. Пример допустимой маркировки: $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4) = (1, 0, 1, 0)$. Допустимость маркировки будет обеспечиваться блокирующим супервизором.

Сеть Петри функционирует следующим образом. Первый переход может посылать фишку в позицию P_1 всякий раз, когда это не противоречит принятому ограничению. В дереве достижимости сети Петри каждая последовательность маркировок определяется последовательностью срабатывания переходов. Можно показать, что самая короткая последовательность допустимых маркировок двух поездов в нашем примере имеет место при одновременном сдвиге фишек в сети Петри таким образом, что:

$\mu_0 = (0,0,0,0)$ – начальный момент времени, когда в сети нет ни одного поезда;

$\mu_1 = (1,0,0,0)$ – первый поезд начал свое движение, находится на станции P_1 – Адлер;

$\mu_2 = (0,1,0,0)$ – первый поезд находится на станции P_2 – Хоста, второй поезд еще не может начать движение в силу ограничения, контролируемого супервизором;

$\mu_3 = (1,0,1,0)$ – первый поезд находится на станции P_3 – Мацеста, второй поезд начал движение и находится на станции P_1 – Адлер;

$\mu_4 = (0,1,0,1)$ – первый поезд заканчивает свое движение на станции P_4 – Сочи, второй находится на станции P_2 – Хоста;

$\mu_5 = (0,0,1,0)$ – первый поезд закончил движение, второй находится на станции P_3 – Мацеста;

$\mu_6 = (0,0,0,1)$ – второй поезд заканчивает свое движение на станции P_4 – Сочи;

$\mu_0 = (0,0,0,0)$ - в сети нет ни одного поезда, цикл завершен.

Пусть величина N_i равна числу тактов прохождения пакетом поездов i -го сегмента. Для прохождения одного поезда через k_i секций i -го сегмента

потребуется $N_i = k_i + 1$ тактов. Для прохождения пакета из двух поездов (с одной секции безопасности между ними) потребуется $N_i = (k_i + 2) + 1$ тактов. Для прохождения n поездов в пакете потребуется не менее

$$N_i = k_i + 2n - 1 \quad (1)$$

В общем случае, когда интервал безопасности равен r ($r = 1, 2, 3$), минимальное число тактов для прохождения пакета из n поездов через k секций определяется как:

$$N = k_i + n + r(n - 1) \quad (2);$$

Время прохождения:

$$N\tau = (k + n + r(n - 1)) * \tau, \quad (3)$$

τ - среднее время прохождения поездом одной секции.

Если задан интервал времени T и число секций k и требуется определить максимальное число прошедших поездов через секцию, то из формулы (3) следует, что:

$$n_{\max} = (T/\tau - k + r) * \frac{1}{(r + 1)} \quad (4)$$

Проверим полученные формулы на примере. Определим максимальную пропускную способность сегмента за одни сутки. При заданных значения параметров $\tau = 5$ минут, $k = 4$, интервал безопасности $r = 2$, сутки переводим в минуты – 1440 минут. Подставляем данные в формулу (4): $n_{\max} = 95$ поездов. Мы получили максимальное количество поездов, проходящих за сутки через обозначенные станции, по заданным параметрам. Можно сравнить этот показатель со статистическими данными: через Адлер проходят 95 поездов в сутки, Сочи – 97 поездов, Хоста – 93 поезда.

Можно сделать вывод, что рассчитанные значения весьма близки к реальным данным. То есть можно сделать вывод, что модель осуществима и довольно близка к действующим процессам.

По полученным формулам можно провести расчет необходимых данных для реальных моделей железнодорожных сетей. А также полученные результаты помогут в оптимизации движения поездов по функционирующим

маршрутам. При этом не будет уменьшения безопасности движения поездов, так как в построенных моделях закладывается показатель безопасности, и все расчеты проводятся с использованием данного показателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алеников А.С., Булин Г.В. Системный инструментарий моделирования и управления транспортным кластером мегаполиса // Экономика устойчивого развития: региональный научный журнал № 3 (23) 2015 г. С. 14-27.

2. Алеников А.С., Макаров М.В. Инструментарий системного анализа и его применение при моделировании нестационарной экономики // Национальные интересы: приоритеты и безопасность №4 (241) 2014 г. С. 36-47.

3. Амбарцумян А. А. Супервизорное управление структурированными динамическими дискретно-событийными системами // Автоматика и телемеханика. 2009. №8. С. 156-176.

4. Амбарцумян А. А. Моделирование и синтез супервизорного управления на сетях Петри для рассредоточенных объектов. Ч. 1 // Автоматика и телемеханика. 2011. № 8. С. 151-169. Ч. 2. // Автоматика и телемеханика. 2011. № 9. С. 173-189.

5. Амбарцумян А. А. Потехин А. И. Групповое управление в дискретно-событийных системах // Проблемы управления. 2012. № 5. С. 46-53.

6. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. СПб: БХВ-Петербург, 2006. С. 239–270.

7. Кожушко, А. А. Применение методов имитационного моделирования в транспортно-логистических задачах // Компьютерное моделирование: Труды Восьмой международной научно-практической конференции (26–27 июня 2007г.). СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2007. С. 230-234.

8. А. А. Кожушко, М. С. Турпищева Моделирование мультимодальных грузовых перевозок на примере транспортной сети астраханской области // ИММОД. 2007. № 2. С. 266-270.

9. Чубейко С.В. Дискретно-событийное моделирование сетевых систем в условиях высоких нагрузок// Фундаментальные исследования. 2014. № 2. С. 340–344.

REFERENCES

1. Alenikov A.S., Bulin G.V. Sistemnyj instrumentarij modelirovanija i upravlenija transportnym klasterom megapolisa // Jekonomika ustojchivogo razvitija: regional'nyj nauchnyj zhurnal № 3 (23) 2015 g. S. 14-27.

2. Alenikov A.S., Makarov M.V. Instrumentarij sistemnogo analiza i ego primenenie pri modelirovanii nestacionarnoj jekonomiki // Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost' №4 (241) 2014 g. S. 36-47.

3. Ambarcumjan A. A. Supervizornoe upravlenie strukturirovannymi dinamicheskimi diskretno-sobytnymi sistemami // Avtomatika i telemekhanika. 2009. №8. S. 156-176.

4. Ambarcumjan A. A. Modelirovanie i sintez supervizornogo upravlenija na setjah Petri dlja rassredotochennyh ob#ektov. Ch. 1 // Avtomatika i telemekhanika. 2011. № 8. S. 151-169. Ch. 2. // Avtomatika i telemekhanika. 2011. № 9. S. 173-189.

5. Ambarcumjan A. A. Potehin A. I. Gruppovoe upravlenie v diskretno-sobytnyh sistemah // Problemy upravlenija. 2012. № 5. S. 46-53.

6. Karpov Ju. G. Imitacionnoe modelirovanie sistem. SPb: BHV-Peterburg, 2006. S. 239270.

7. Kozhushko, A. A. Primenenie metodov imitacionnogo modelirovanija v transportno-logisticheskix zadachah // Komp'juternoe modelirovanie: Trudy Vos'moj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (26–27 ijunja 2007g.). SPb.: Izd-vo Politehnicheskogo un-ta, 2007. S. 230-234.

8. A. A. Kozhushko, M. S. Turpishheva Modelirovanie mul'timodal'nyh gruzovyh prevozok na primere transportnoj seti astrahanskoj oblasti // IMMOD. 2007. № 2. S. 266-270.

9. Chubejko S.V. Diskretno-sobytnoe modelirovanie setevyx sistem v uslovijah vysokix nagruzok// Fundamental'nye issledovanija. 2014. № 2. S. 340-344.

MODELING OF DISCRETE-EVENT MODEL RAILWAY NETWORKS

A.P. BORISENKO

*Kuban State University,
149, Stavropolskaya, st., Krasnodar, Russian Federation, 350040;
e-mail: borisenkoanastasia95@gmail.com*

A discrete-event model of the main elements of the railway network was considered in this article. Also model of movement of trains was considered on the example. Models was represented as Petri nets with bounding arcs. Formulas for the analysis of movement of trains was obtained by the example of discrete-event model.

Key words: discrete-event model, Petri nets, supervisor, railway network, section, stage, block section.