

УДК 021.8 + 025.1

ББК 78.34

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИИ¹

Амбарцумян А. А.², Браништов С. А.³

(ФГБУН Институт проблем управления РАН, Москва)

Исследуется организация движения поездов на пассажирской станции. Рассматривается вопрос моделирования деятельности дежурного по станции, планирования маршрутов движения, формирования оперативного расписания.

Ключевые слова: дискретно-событийное моделирование, супервизорное управление, организация движения, расписание, график движения, транспортная система.

1. Введение

Основная цель ДС-моделирования структурно-сложного объекта – это изучение динамики процессов по их проявлению в событиях и последовательностях (языках). Для задач транспортных систем сложной структуры эта модель весьма продуктивна, см. работы [1, 3, 4, 6–8], в частности, для задач поиска маршрута, формирования расписания движения поездов⁴, суточного графика движения поездов по станции и т.д.

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 11-08-13155-офи-м-2011-РЖД.

² Александр Артёмович Амбарцумян, доктор технических наук, профессор (ambar@ipu.ru).

³ Сергей Александрович Браништов, кандидат технических наук (pochta-na@mail.ru).

⁴ Далее по тексту под термином «поезд» понимаются поезда, составы, локомотивы, дрезины и др. подвижные транспортные средства в соответствии с принятым англ. термином train.

Функционирование инфраструктуры железной дороги (ЖД) как дискретно-событийной системы (ДСС) будем рассматривать с самых общих позиций как поведение некоторого генератора (источника) *строк* (последовательностей) *событий* из конечного множества событий E . Событие $e_i \in E$ – это абстракция для множества фактов, наблюдаемых в «жизни» транспортной системы (ТС). Функционирование ТС в условиях реального времени определяет необходимость использования ДСС с временными характеристиками (атрибутами) событий ВДСС (TDES) [2, 5]. Однако модель, предложенная в работах [2, 5], основана на представлении объекта как конечного автомата, что неприемлемо для транспортной системы с параллельным движением нескольких подвижных средств. Рассмотрим, как объект с сильно выраженной структурой и динамикой поведения, определяемой на структуре, моделируется событиями и языками (последовательностью строк событий).

Основной компонентой модели транспортной системы является **сегмент** – это упорядоченная совокупность участков (путей) ТС такая, что подвижное средство при движении в прямом и обратном направлении проходит её полностью (без ответвлений). Границами сегмента могут быть стрелки, изостыки и тупики. Отметим ряд особенностей сегментов:

- с точки зрения безопасной организации движения сегмент или свободен, или занят одним поездом (вне зависимости от его фактической протяженности);
- сегмент «реверсивен» – направление движения поезда в сегменте определяется при назначении ему пути следования;
- сегменты в структуре ТС могут быть *терминальными* (конечным) или *проходными*¹.

Основным приемом организации движения в ТС является формирование маршрутов в структуре транспортной системы

¹ Это деление условно. Например, терминальным может быть объявлен граничный в выделенной для моделирования структуре ж/д-путей сегмент.

(маршруты определим ниже). Поезд проявляется в ТС в одном из терминальных сегментов только после формирования маршрута.

Определение 1. Граф путей следования (ПС) транспортной (ГПС) системы $Y = \langle Q, R \rangle$ – это граф, вершины Q которого соответствуют сегментам, а ребра отображают возможные соединения сегментов в пути следования подвижного состава.

Замечание 1. Граф ПС не определяет направление движения.

Замечание 2. Терминальные вершины подразделяются на три вида: входо/выходные, целевые (перронные) и тупиковые (парки хранения).

Определение 2. Транзит (*transit* (англ.) – путь следования) – это простой путь между парой терминальных вершин различного вида.

Замечание 3. К транзитам относятся только те пути следования, которые реально выполнимы (в силу топологии коммутирующих элементов – стрелок, узлов слияния и пересечения).

Пример абстрактной структуры путей следования (СПС) приведен на рис. 1.

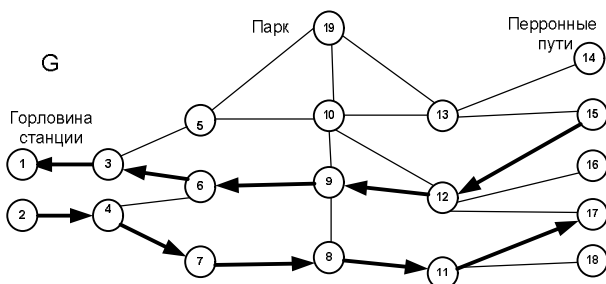


Рис. 1. Абстрактный ГПС

Поезда в ГПС появляются в терминальных вершинах при назначении маршрута. Составы, прибывающие на станцию, проходят от терминальных входо/выходных узлов горловины (границы станции) к перрону; отправляемые составы проходят от перронных сегментов к терминальным узлам горловины. На

рис. 1 1, 2 – терминальные входо/выходные сегменты соответствующие границе станции, 14–18 – сегменты у перронов станции, 19 – парк отстоя. Жирными стрелками подчеркнут факт назначения маршрута.

Наличие и расположение поезда в структуре будем моделировать метками в вершинах, а динамику их перемещения – сменой разметки. Внешне это похоже на разметку сетей Петри, однако предлагаемая модель проще – нет переходов с соответствующими правилами срабатывания, поскольку для ДС-моделирования важно моделировать последовательности событий, а правила их генерации определяются другими механизмами.

Определение 3. Транспортная система как объект дискретно-событийного моделирования – это $G = \langle Y, \mu, t_c \rangle$, где Y – граф путей следования; μ – разметка (текущее расположение поезда в системе); t_c – таймер, определяющий физическое время модели.

События в ГПС проявляются только с введением в структуру поезда и/или подготовки его введения (переключение связей – стрелок). Отличительным свойством проявления событий в ТС при ДС-моделировании является то, что каждое событие «привязывается» к физическому времени t_c , определяемому «таймером». События характеризуются набором атрибутов, среди которых обязателен временной атрибут $Atm(e_i)$: его значение определяет время актуализации события e_i .

Определение 4. Правило актуализации события: событие e_i актуализируется, если $Atm(e_i) \geq t_c$, где t_c – текущее время модели.

События мгновенны, их появление происходят в моменты времени, соответствующие описанному правилу, поэтому всё, что можно наблюдать, – это их последовательности, которые и представляются *строками* (языками). Примеры событий: факты изменения состояния отдельных компонент ТС; продвижение поездов по сегментам ТС; факты – команды из расписания, на которые реагирует модель сменой своего состояния (местоположения поезда в ТС, положение стрелок, значение сигналов светофоров и др.). В классической теории дискретно-событийных систем (ДСС) основная операция образования

строк – конкатенация¹. Множество всех строк любой конечной длины обозначают E^* . Как уже говорилось, любое подмножество строк $L \subseteq E^*$ называют языком над E . Однако эта операция не может быть использована для генерации строк событий, у которых имеется атрибут $Atm(e_i)$. Действительно, событие, генерируемое объектом в текущий момент времени t_c , есть идентификатор сегмента, в который в момент времени t_c переходит конкретный поезд m_j , а строка $u = e_0 e_1 e_2 \dots e_n$ является соответственно последовательностью таких событий, привязанной к времени. Несколько позже в статье будет дано определение соответствующей операции образования строк. Множество таких строк образует $L(G)$ – язык, генерируемый объектом G – транспортной системой. При этом если G ничем не ограничен, то и последовательности отражают неограниченное управление поведением $L(G) \subseteq E^*$. Всякая ТС имеет функциональное назначение: организовать движение транспортных средств в соответствии с заданием – расписанием, которое также определим как некоторую последовательность событий – заказов на маршруты. Для моделируемого объекта исходным расписанием движения поездов является график движения поездов (ГД). График движения – документ, регламентирующий перемещение поездов между станциями на участке железнодорожной сети, он определяет время прибытия на каждую станцию поездов и время отправления с неё. Ниже на основании графика движения будет рассмотрена задача формирования суточного плана графика работы станции или только его части – движение поездов (СПГ). Суточный план-график (он же суточный план-график работы станции, он же суточный план-график обработки поездов) – последовательность операций по обработке поездов и вагонов, ежесуточно выполняемых на станции. Это операции по

¹ Конкатенация – это приписывание справа к строке отдельных событий или целых строк с событиями, включая ε – пустой символ). Над строкой определяется целочисленная функция $leng(s) = n$, где n – число символов в строке s . Если $n = 0$, то $s = \varepsilon$.

формированию и расформированию поездов на вытяжных путях, горках; накопление вагонов в сортировочном парке; работа маневровых локомотивов; выполнение погрузки и выгрузки на пунктах местной работы. На суточном плане-графике показывают прибытие поездов на станцию и отправление, с обозначением путей прибытия и отправления.

Для обеспечения только востребованных последовательностей событий G «дополняется» супервизором S , встроенным «в манере обратной связи» (см. рис. 2).

Определение 5. Дискретно-событийная система с таймером (ДССТМ) – это набор $\langle E, G, K, S, t_c \rangle$, где E – конечное множество событий; G – объект (в нашем случае ГПС), рассматриваемый как генератор языка $L(G)$; K – язык спецификаций (ограничения и/или требования к поведению объекта, в нашем случае это расписание TL); S – супервизор (управляющий компонент ДСС), обеспечивающий поведение G в соответствии с ограничениями K . При этом S должен быть неблокирующим. Схематично компоненты ДССТМ и их взаимодействие представлены на рис. 2.

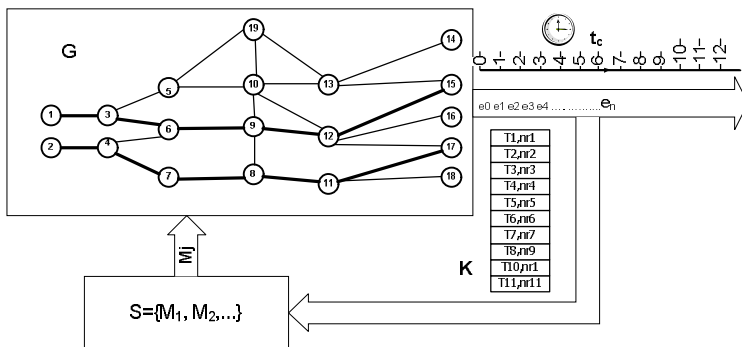


Рис. 2. Транспортная система как дискретно-событийная система с супервизором

Функционирование G в присутствии S обозначают S/G , а язык, генерируемый объектом под контролем S , обозначают

$L(S/G)$. Язык спецификаций (события и их последовательность) отражает задание на сутки работы транспортной системы (станции), его особенности изложим после введения необходимых определений по структуре ТС объекта (станции).

Определение 6. **Маршрутом** называется транзит, в котором сегменты (события) привязаны ко времени, определено направление движения и присвоен идентификатор поезда.

Таким образом, маршрут – это последовательность событий для конкретного поезда от входа на станцию до перронного пути (или наоборот для отправляемого состава). На рис. 1 жирными стрелками выделены маршруты 2, 4, 7, 8, 11, 17 (прибытие) и 15, 12, 9, 6, 3, 1 (отправление). Множество маршрутов будем обозначать $SR = \{r_1, r_2, \dots, r_p\}$. Это множество однозначно соотносится с множеством записей (строк) в расписании TL – спецификации K .

Функционирование ДС-модели ТС изложим ниже в разделе 3 в виде поведения агента-диспетчера. Здесь же изложим кратко основной механизм генерации выходной строки по структуре ГПС. Поведение ДССтм выражается в генерации событий в соответствии с правилом актуализации. В начальный момент времени (оговаривается особо) объект G выбирает из спецификации K (расписания) не произошедшее событие – ближайшее сверху к t_c – и помещает его в выходную строку. На это событие S реагирует считыванием номера транзита, определением маршрута для заявленного в расписании поезда, настройкой G на выполнение этого маршрута (на рис. 1 это изображено жирными стрелками) и размещением метки в соответствующую терминальную вершину (первый сегмент маршрута). Объект G просматривает все свои вершины с метками и в соответствии с t_c и правилом актуализации (определение 4) выдает соответствующее событие в выходную строку, затем перемещает метку в следующий сегмент по стрелке и продолжает сканировать все помеченные вершины и временную метку очередной строки расписания. Пусть при выполнении маршрута 2, 4, 7, 8, 11, 17 объект G обнаружит необходимость актуализации следующего события из K (например, задание на

запуск маршрута отправления с сегмента 15). Супервизор осуществляет соответствующую настройку G на маршрут 15, 12, 9, 6, 3, 1 и размещает метку в сегмент 15. Далее G будет отслеживать оба маршрута и формировать соответствующую выходную строку, в которую будут включаться события перемещения поездов в двух маршрутах в порядке их актуализации. Таким образом, в строке событий будет отражаться динамика перемещения поездов по сегментам.

В реальном объекте настройка на выполнение маршрута осуществляется устройствами СЦБ (система автоматической сигнализации и блокировки). В этом контексте будем считать, что маршрут – это набор (вектор) команд на устройства СЦБ с указанием времени их актуализации. Выполнение этих команд и обеспечивает переключение стрелок в нужное положение и светофоров на необходимый сигнал.

2. Функционирование ДС-модели станции при выполнении расписания

Сначала определим информацию (в виде атрибутов), которую содержат события и языки, используемые в ДССтм.

Кроме $Atm(e_i)$ определим еще два атрибута события в маршруте:

- $Atmd(e_i)$ – диапазон времени пребывания поезда в сегменте s_i , при этом $Atm(e_i)$ – момент активизации события e_i .
- $Asn(e_i)$ – номер сегмента транспортной сети, представляемого событием e_i .

Определение 7. На множестве сегментов Q определим отношение враждебности: два сегмента q_i, q_j находятся в отношении враждебности, если они не могут одновременно пропускать различные подвижные средства. Отношение рефлексивно и симметрично.

Язык спецификаций имеет следующие особенности:

- язык представляется одной строкой: $TL := tl_1 tl_2 tl_3 \dots tl_n$;
- каждое событие tl_i имеет следующие атрибуты: $Atn(tl_i) = nrj$ – номер транзита для маршрута rj ; $Atm(tl_i)$ – время

актуализации маршрута r_j ; $Atmd(e_i)$ – диапазон времени выполнения маршрута r_j ; $Asn(tl_i)$ – номер сегмента транспортной сети, в котором начинается маршрут r_j (номер первого сегмента транзита).

Работа транспортной системы станции выражается в параллельной «проводке» нескольких маршрутов, что и является источником трудностей в работе диспетчера и мотивом к формализации этой работы. Разумеется, совмещаются невраждебные маршруты. Враждебные маршруты – это станционные маршруты, при одновременном следовании по которым поездов последние могут оказаться опасными один для другого (занимают один и тот же сегмент). События, характеризующие группу одновременно выполняемых маршрутов, образуют поток событий, упорядоченных по времени активизации (проявления). Диспетчер обязан одновременно видеть весь поток и в тоже время успевать анализировать события каждого маршрута в отдельности. Формально объединение различных маршрутов в единый поток событий определяет операция сцепления.

Определение 8. Операция сцепление (#) строк u_1 и u_2 , соответствующих маршрутам r_1 и r_2 , определяет строку $u = (u_1 \# u_2)$, включающую события обеих строк, упорядоченные по атрибуту $Atm(e_i)$. Иллюстрация сцепления представлена на рис. 3.

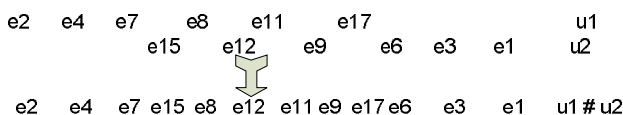


Рис. 3. Иллюстрация сцепления строк – совмещение по временной шкале событий двух маршрутов

Определение 9. Сцепление $r_s = r_k \# r_l$ корректно, если

$$\forall i, j | (e_i \in r_k, e_j \in r_l) : (Asn(e_i) \blacklozenge Asn(e_j)) \Rightarrow$$

$$(Atmd(e_i) \cap Atmd(e_j) = \emptyset)$$

Иными словами, строка-сцепление корректна, если для исходных строк нет пересечений по номерам враждебных сегмен-

тов, в противном случае враждебные сегменты не пересекаются по диапазонам времени пребывания поезда в сегментах q_i и q_j соответственно: $(Atmd(e_i) \cap Atmd(e_j) = \emptyset)$.

Модель транспортной системы в форме генератора G устроена так, что если в процессе генерации маршрута r_i начинает выполняться другой маршрут, то G сцепляет маршруты – совмещает эти маршруты по времени (события разных маршрутов следуют в соответствии с их временными атрибутами).

Множество маршрутов $SR = \{r_1, r_2, \dots, r_p\}$ однозначно соотносится с множеством записей (строк) в расписании TL – спецификации K .

Определение 10. План-график движения LE для множества маршрутов $SR = \{r_1, r_2, \dots, r_p\}$ – это сцепление маршрутов в одну строку: $LE = \#_1^p r_i$.

Для каждой записи le_i определим атрибут $Aint(le_i)$, равный количеству маршрутов, которые активированы на момент времени, соответствующий активизации события e_i , представленного в записи le_i . Атрибут $Aint(le_i)$ характеризует интенсивность движения по шкале времени.

Функционирование ДС-модели станции, имитирующее работу станции по приему и отправлению поездов, определим как правила поведения агента-диспетчера.

Пусть в ДС-модели определены все транзиты SL , а спецификация K преобразована в модель расписания TL и для каждой записи $tl_i \in TL$ определены следующие атрибуты: $AL(tl_i) = nr_i$ – номер поезда; $Atm(tl_i)$ – время прибытия (отправления) поезда; $Atr(tl_i) = sl_k$ – одна из записей в массиве транзитов SL (путей следования). *Задача агента-диспетчера по TL, SL* в соответствии с реальным временем формировать маршруты (определить временные отметки для всех событий транзита – сегментов ТС), объединять их в график движения LE и выдавать соответствующие команды-настройки в структуру станции G (в виде команд на устройства коммутации – стрелки и светофоры), разрешая только те события, которые входят в маршрут. Схематично взаимодействие агента с основными компонентами ДС-модели представлено на рис. 4, где агент представлен как неко-

торый «мотор», прокручивающий структуры данных в соответствии с расписанием и формирующий график движения.

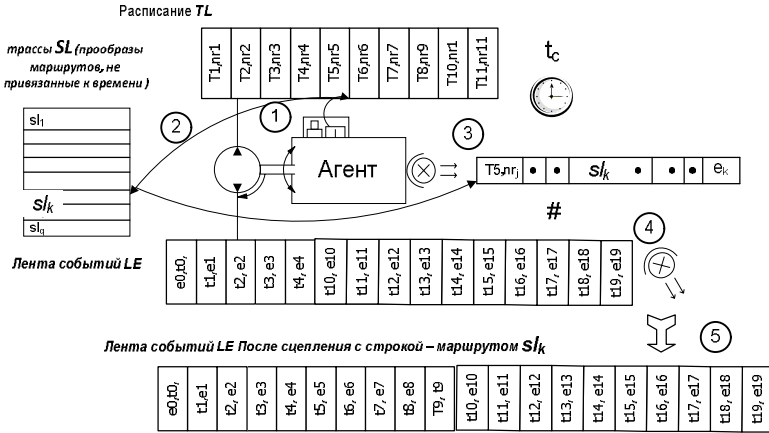


Рис. 4. Поведение агента-диспетчера

Правила.

1. На нулевом шаге на заданное время (принято $t_c = 3-00$) агент определяет запись в TL , ближайшую сверху к t_c . Пусть это tl_i (метка (1) на схеме).

2. Определяется имя транзита $sl_k = Atr(tl_i)$ – одна из записей в массиве транзитов SL .

3. Осуществляется преобразование sl_k в маршрут (метка (2) на схеме): для каждого события e_i определяются $Atm(e_i)$ – время входа в сегмент s_i (момент активизации события e_i); $Asn(e_i)$ – номер сегмента транспортной сети, представляемого событием e_i ; $Atmd(e_i)$ – диапазон времени пребывания ПС в сегменте s_i . Это выполняет специальная процедура-конструктор по $Atm(tl_i)$ – времени актуализации маршрута r_j и характеристикам событий сегментов в порядке их следования в маршруте.

4. По сформированному маршруту определяются и передаются в соответствующие механизмы настройки коммутирующих устройств (светофоров и стрелок).

5. Далее сформированная строка-маршрут передается на вход конструктора 2, который осуществляет операцию сцепле-

ния tl_i с сформированным к этому моменту текущим графиком движения составов (если это первый маршрут, то он и определяется начальным графиком движения). Метки 3, 4, 5 на рис. 4.

6. Агент отслеживает t_c и при достижении времени активизации следующей записи в TL считывает её (пусть это tl_i); если эта запись совпадает со считанной на шаге 1, то конец, иначе переход на п.2.

Как видно из правил, агент содержит в себе S/G -структуру объекта G , функционирующую под контролем супервизора S . При этом супервизор определен языком $L(S)$ как множество строк транзитов и процедурами и правилами, которые активируют маршруты и обеспечивают их следование, в соответствии с K – расписанием TL .

Из чего следует следующее утверждение.

Утверждение 1. Пусть имена строк TL rn_i образуют множество $AL(TL)$. Супервизор S обеспечивает выполнение спецификации K (расписания TL), если и только если проекция $P_{AL(TL)} L(S/G) = K$ и все операции сцепления при формировании TL корректны.

3. Задача формирования суточного плана-графика движения

Формирование суточного плана-графика движения составов в структуре станции – довольно общая задача в организации движения и в работе диспетчеров. Эта задача в режиме *offline* решается 1–2 раза в год при утверждении (вводе) нового расписания. В оперативном режиме (*online*) эта задача решается при внештатных ситуациях длительностью более 2–3 часов, когда происходит нарушение расписания, порядка движения поездов из-за задержек или изменения возможностей инфраструктуры (аварии, поломки, воздействие погоды) и поломки подвижного состава. Разработка плана-графика движения поездов по станции является сложной комбинаторной задачей. Сложность поиска решения для крупного транспортного узла (КТУ) объясняется размерностью транспортной сети этого узла и объемов

движения. Например, на станции Москва–пассажирская Ярославская имеется: около 500 сегментов ж/д-путей; около 300 коммутирующих элементов (стрелки, светофоры); интенсивность движения в объединенном расписании – около 150 событий в сутки, в часы «пик» около 20 событий в час.

3.1. ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ В ПОНЯТИЯХ ДС МОДЕЛИ

Даны: структура ТС – G , множество транзитов ST , расписание TL без назначения транзитов ($Atr(tl_i)$ для каждой записи не определен).

Найти: назначения транзитов для TL ($Atr(tl_i)$ для каждой записи), множество корректно сцепляемых маршрутов $SR = \{r_1, r_2, \dots, r_p\}$, покрывающих все записи расписания TL , и сформировать график движения $LE = \#_i^p r_i$.

3.2. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Сформулируем основные идеи поведения некоторого абстрактного *агента-конструктора* (агент-к), который последовательно обследует каждую запись расписания TL и из множества определенных заранее транзитов ST формирует суточный план-график движения по станции. Схема взаимодействия агента-к и данных при составлении суточного плана-графика движения представлена на рис. 5. В предложенной схеме агент является активной компонентой, которая «прокручивает» входную ленту – расписание TL , наблюдает ее и время и выдает (возможно, с обратным прокручиванием) выходную ленту – план-график движения по станции. На схеме это представлено двумя движителями.

1. Основные допущения.

- пропускная способность станции достаточна для реализации заданного расписания; график движения имеет такую интенсивность движения, которую возможно обслужить инфраструктурой станции;
- все задания на маневренные маршруты, обеспечивающие баланс составов на станции, в расписание уже включены;

– для каждой записи расписания определен первый сегмент в маршруте (в пути следования). То есть известен номер главного пути для прибывающего поезда и номер платформы для отбывающего.

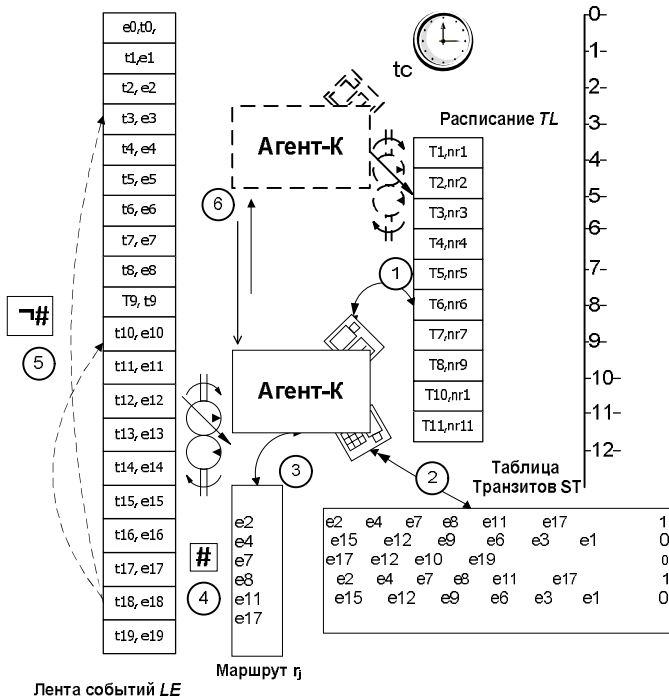


Рис. 5. Схема взаимодействия агента и данных

2. Структура станции задана как множество строк, представляющих транзиты – возможные пути следования составов между терминальными сегментами (от сегментов входа на станцию к сегментам перронных путей, и наоборот – для маршрутов отправления). Алфавит строк – имена сегментов с атрибутами.

3. Агент преобразует транзиты в маршруты (на схеме метки 1, 2, 3). Алфавит маршрутов – события, поскольку для каждой компоненты строки определено время ее актуализации и время «жизни» – время следования состава по сегменту. Таким обра-

зом, событие маршрута представляет динамическую составляющую ДС модели – движущиеся составы.

4. Агент формирует план-график движения как объединение текущего плана-графика с очередным маршрутом (например, r_j) путем применения введенной в разделе 2 операции сцепления $LE_c := LE_c \# r_j$ (на схеме рис. 5 метка 4). Если сцепление некорректно, то агент меняет выбранный транзит на следующий возможный (первый цикл перебора).

5. Если подходящих транзитов нет (агент не смог найти подходящего продолжения плана-графика), необходимо подняться на шаг назад (вверх) к предшествующей записи в расписании (метки 5 и 6 на схеме рис. 5), подобрать для этой записи расписания следующий возможный транзит и продолжить формирование маршрутов.

6. Подъемы (возвраты) возможны многократно, но в силу допущений 1 успех гарантирован.

На рис. 6 ниже приведена блок-схема поведения агента-к.

3.3. ЗАМЕЧАНИЯ ПО АЛГОРИТМУ АГЕНТА-К

1. Возврат может происходить многократно, даже для первого размещения. Однако поскольку заведомо известно, что подходящий суточный план-график существует, успех будет достигнут.

2. Легко видеть, что предложенное поведение агента-к реализует поиск решения по стратегии поиска в глубину. Стратегия гарантирует, что все возможные варианты размещения маршрутов по множеству транзитов будут рассмотрены. Однако сложность поиска по времени экспоненциальная (задача *NP*-полная).

4. Заключение

В настоящей работе предлагается дискретно-событийное моделирование функционирования станции и методы супервизорного управления, как база для поддержки оперативной работы ДС и формирования суточного плана-графика работы станции. Использование ДС-модели предполагает моделирование

транспортной системы ЖД как сетевой структуры, поведение которой представляется языками, ограничения на ее поведение определяется спецификацией, а управляющая компонента, обеспечивающая выполнение требуемых спецификаций, – агентами-супервизорами.

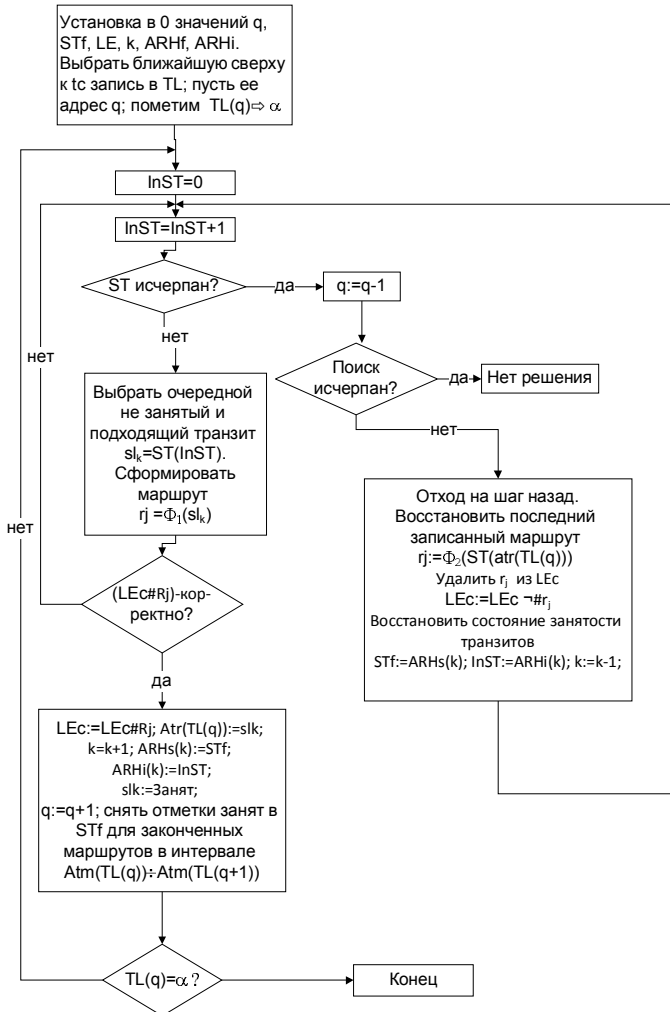


Рис. 6. Блок-схема.

Раздельное моделирование структуры, спецификации поведения и управления снижает трудоемкость алгоритмизации, а применение известных результатов теории дискретно-событийных систем гарантирует отсутствие ошибок на ранних стадиях программирования.

Предложена модель ДСС_{стм} – дискретно-событийная система с таймером, включающая сетевую модель структуры, языковое описание функционирования и расписания, агенты, выполняющие функции супервизора. ДСС_{стм} отличается от известных временных ДСС с «кликом» [2, 9] применением сетевой структуры в качестве модели объекта, благодаря чему удалось имитировать параллельные процессы в объекте, что очень важно для моделирования движения поездов в структуре станции.

Разработаны алгоритмы поведения таких агентов ДСС_{стм}, как диспетчер и конструктор. Агенты позволяют моделировать функционирование станции (конструктор) и проектировать суточный план-график движения поездов на станции (СПГД). Собрана база данных по путевому развитию станции (на примере станции Москва–пассажирская Ярославская) и разработан программный макет агента-диспетчера. Проведены эксперименты по формированию СПГД для БД по Москва–пассажирская Ярославская.

В основе поведения агента-конструктора положен лингвистический алгоритм формирования СПГД, который реализует поиск решения по стратегии поиска в глубину. Стратегия гарантирует, что все возможные варианты размещения маршрутов по множеству транзитов будут рассмотрены. Однако сложность поиска по времени экспоненциальная (задача *NP*-полная). Вместе с тем, в предложенном нами лингвистическом алгоритме формирования выходной ленты (СПГД) заложен оригинальный прием сокращения перебора – транзиты. Напомним: транзиты – это простые пути в сети станции между терминальными вершинами. В нашем алгоритме транзиты формируются один раз и хранятся в БД. Затем при заявке в расписании на новый маршрут транзит выбирается полностью, а также он полностью отвергается при возврате без перебора отдельных сегментов. Это

отличает от традиционного алгоритма поиска в глубину по графу структуры. Ограниченная глубина влияния принятого решения по включению транзита в расписание также используется механизмом транзитов. Выбранный транзит, после того как поезд по нему прошел, становится свободным и может использоваться другими поездами. Если имеет место ситуация, когда нет решения, то при возврате в случае неудачного шага нет необходимости возвращаться к корню дерева: такая ситуация неразрешима в любом месте расписания. Следовательно, если имеются признаки «неразрешимых ситуаций», то возвраты необходимо прекращать без полного перебора, при этом достаточно вернуться на уровень назначения всех участников «неразрешимых ситуаций». Эта важная особенность в формировании расписания с помощью лингвистического алгоритма.

Литература

1. АМБАРЦУМЯН А.А. *Супервизорное управление структурированными динамическими дискретно-событийными системами* // Автоматика и телемеханика. – 2009. – №8. – С. 156–176.
2. BRANDIN B., WONHAM W.M. *Supervisory control of timed discrete event systems* // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1994. – No. 39(2). – P. 329–342.
3. DECKNATEL G., SCHNIEDER E. *Modeling railway systems with hybrid Petri nets* // Proc. 3rd Int. Conf. on Automation of Mixed Processes, Reims (France), March 1998.
4. DIANA F., GIUA A., SEATZU C. *Safeness-enforcing supervisory control for railway networks* // IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, Como (Italy), July 2001. – P. 99–104.
5. DURMUŞ M.S., YILDIRIM U., SÖYLEMEZ M.T. *Signalization and Interlocking Design for a Railway Yard: A Supervisory Control Approach by Enabling Arcs* // Proceedings of 7th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems

- (IMS 2010), International University of Sarajevo, 2010. – P. 471–480.
6. FANTI M.P., GIUA A., SEATZU C. *Monitor design for colored Petri nets: an application to deadlock prevention in railway networks* // Control Engineering Practice. – 2006. – Vol. 14, No. 10. – P. 1231–1247.
 7. GIUA A., SEATZU C. *Modeling and supervisory control of railway networks using Petri nets* // IEEE Trans. on Automation Science and Engineering. – 2008. – Vol. 5, No. 3. – P. 431–445.
 8. JANCZURA C.W. *Modeling and analysis of railway network control logic using colored Petri nets*: Ph.D. Thesis. – University of South Australia, August 1998.
 9. LIN F., WONHAM W.M. *Supervisory control of timed discrete-event systems under Partial Observation* // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1995 – No 40(3) – P. 558–561.

MODELING TRAIN ROUTES AT PASSENGER STATION

Alexander Ambartsumyan, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (ambar@ipu.ru).

Sergey Branishtov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc., (pochta-na@mail.ru).

Abstract: Planning problems for a large train station are considered. We propose a discrete event (DE) modeling of a railway station and methods of supervisory control. The main purpose of DE-modeling of a complex system is to study dynamics of a process as a sequence of events (language model). This model is very productive for many problems in transport systems with complicated structure, such as routing problems, platforming, scheduling. DE-model describes both the structure of a transport system and its behavior, it is determined by the language; the specification sets limits on behavior of a system, and a supervisor provides implementation of this specification. Separate modeling of structure, conditions and control reduces the complexity of algorithms.

Keywords: discrete event modeling, supervisory control, platforming, scheduling, railway transport system.