

// TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2023. – No. 16(4). – P. 717-722. – DOI: 10.12716/1001.16.04.13.

3. Баранов Л.А., Михалевич И.Ф., Иванова Н.Д., Соколов С.С. Информационная безопасность системы автономного судовождения в контексте специфических для интеллектуальных транспортных систем угроз / Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXXI Международной научной конференции (Москва, 13 декабря 2023 года). – М.: ИПУ РАН, 2023. – С. 249-256. – DOI: 10.25728/iccss.2023.53.91.033.

4. Oruc A., Gkioulos V., Katsikas S. Towards a Cyber-Physical Range for the Integrated Navigation System (INS) // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. Issue 1. – 31 p. – DOI: 10.3390/jmse10010107.

5. Amro A.W., Gkioulos V. Communication and Cybersecurity Testbed for Autonomous Passenger Ship // Computer Security. ESORICS 2021 International Workshops. – 2022. – Vol. 13106. – P. 5-22. – DOI:10.1007/978-3-030-95484-0_1.

6. Баранов Л.А., Иванова Н.Д., Михалевич И.Ф. Нечеткая система оценки рисков информационной безопасности интеллектуальных систем водного транспорта // Автоматика на транспорте. – 2024. – № 1 (10). – С. 7-17. – DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-01-7-17.

Сафронов А.И.

Применение дополненного аппарата сетей Петри для моделирования процесса автоматизированного построения плановых графиков движения пассажирских поездов метрополитена

Аннотация: В работе предложен способ дополнения аппарата сетей Петри для удобного описания функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами на верхнем уровне, где происходит обработка событий, при увязке с

внутренним, алгоритмическим уровнем, описываемым классическими схемами алгоритмов.

Ключевые слова: метрополитен, автоматизированная система управления, технологический процесс, сети Петри, график движения поездов, модель

С начала XXI века кафедра «Управление и защита информации» Российского университета транспорта совместно с Московским метрополитеном накапливают бесценный опыт автоматизации планирования перевозочного процесса (АППП). Он всецело учтён при создании единой интеллектуальной системы управления (ИСУ) городскими рельсовыми транспортными системами [1].

Переход к интеллектуальному управлению основывается на изучении, использовании, апробации и внедрении в существующие решения новых информационных технологий [2], методик и передовых технических достижений [3-5], комплексно нацеленных на повышение уровня безопасности перевозок пассажиров.

Сложность переноса накопленного опыта в программную реализацию напрямую связана с ротацией перспективных кадров. При отсутствии удобного обобщённого описания модели ИСУ, над которой работает кафедра, много времени уходит на изложение основ АППП. Опыт проведения курса программирования показывает, что классической нотации для изображения схем алгоритмов по ГОСТ 19.701-90 [6] недостаточно для быстрого разъяснения студентам принципов функционирования ИСУ.

Поиск альтернативных способов графического моделирования вычислительных и технологических процессов заставил обратить внимание на гибкий аппарат сетей Петри, изложенный в [7].

Аппарат, предложенный Карлом Петри [8], создан для описания и анализа дискретных параллельных систем; для моделирования асинхронных информационных потоков в системах преобразования данных. Такие системы принципиально состоят из двух компонент: оболочки и базы данных. В числе разработок кафедры такой системой является «АРМ Графиста» для метрополитена.

На этапе внедрения этой системы предложена сеть Петри, описывающая, в частности, работу станции метрополитена [9]. На

основе этой работы выполнено аналогичное описание реализации вычислительной операции создания «нити» в «АРМ Графиста» [10].

Удобство описания как вычислительных, так и технологических процессов связано с особым местом сетей Петри в числе моделей, управляемых по событиям (*event-driven model*). События – массовое явление как при диспетчеризации, так и при взаимодействии оператора с графическим интерфейсом программного обеспечения.

Опыт использования моделей, основанных на сетях Петри в учебном процессе на кафедре, подтверждает высокий уровень их эргономичности: они – легко осваиваемы и воспроизводимы [11]. Студенты составляют карты вычислительных и технологических процессов для созданных ими «десктопных» и *web*-приложений с использованием аппарата сетей Петри. Под картой понимается увязка всех состояний системы со всеми событиями, происходящими в контексте состояний, при обязательном составлении легенды.

Такой аппарат договоримся называть дополненной сетью Петри. Дополнение классической модели заключается в изображении не только состояний, событий и переходов, но также и создаваемых эффектов. Далее рассмотрим отмеченные особенности подробнее.

Графовая модель характеризуется наличием вершин («состояний») и рёбер («переходов») между ними. В сетях Петри рёбра принципиально ориентированы – это орграф. В дополненной модели под вершинами, маркируемыми через «*p*» (предлагается сокращение не от «*position*» (положение), а от «*prompt*» (побуждение)), будем понимать происходящие события или побуждающие воздействия. События принципиально не содержат в обозначении ни одной «фишки», а также только они могут возникать на карте технологического процесса «ниоткуда», демонстрируя некоторое внешнее воздействие, оказываемое на систему или её часть, в произвольный момент времени. В отличие от классических сетей Петри в дополненной нотации в качестве «фишек» предлагается использование не только закрашенных кругов, а, в принципе, любых геометрические фигур и их сочетаний с окрашиванием или без такового, но при условии обязательного

упоминания их в легенде с подробным текстовым описанием. Наличие легенды в дополненной модели принципиально. «Фишкой» для обозначения вершины с устойчивым состоянием по умолчанию будем считать «круг». Позиции (положения) же из классической нотации сетей Петри договоримся маркировать не через «*p*», а через «*s*» (принципиально с индексом, проставляемым после) и считать их устойчивыми состояниями («*states*»). Под эффектами («*effects*») будем понимать следствия активации переходов («*transitions*») совокупностью событий «*p*», происходящих в контекстах устойчивых состояний «*s*». Эффекты будем обозначать через «*e*» и отмечать «фишками» квадратной формы. Переходы будем обозначать через «*t*» и это не вершины графа, а «площадки» (горизонтальные или вертикальные линии), которыми обозначены «барьеры», препятствующие возникновению эффектов до свершения совокупности событий в контексте устойчивых состояний. Переходы в дополненной модели не более, чем визуальная, а не функциональная составляющая, как это принято в классической модели.

В [12-13] показано, как фрагментам сетей Петри ставятся в соответствие фрагменты схем алгоритма. В настоящей работе предлагается не налаживать соответствие между моделями, а разумно дополнять ими друг друга: сеть Петри предназначена для моделирования работы графического пользовательского интерфейса, а схема алгоритма – для серверной части приложения.

Для обозначения границ контекста рассмотрения процесса из трудов Форда и Фалкерсона [14] заимствованы следующие элементы: под полустепенью захода вершины понимается количество дуг, заходящих в эту вершину, тогда исток («*source*») – вершина с нулевой полустепенью захода, отмечаемая «*s*» (без индексации и по умолчанию с «фишкой» в виде равнобедренного треугольника, направленного вниз); под полустепенью исхода вершины будем понимать количество дуг, исходящих из этой вершины, тогда сток («*sink*») будет вершина с нулевой полустепенью исхода, отмечаемая «*f*» (по умолчанию с «фишкой» в виде равнобедренного треугольника, направленного вверх).

Договоримся, что описываемый технологический процесс всегда заключён между истоком и стоком и должен быть неразрывен внутри этой области рассмотрения (рисунок 1).

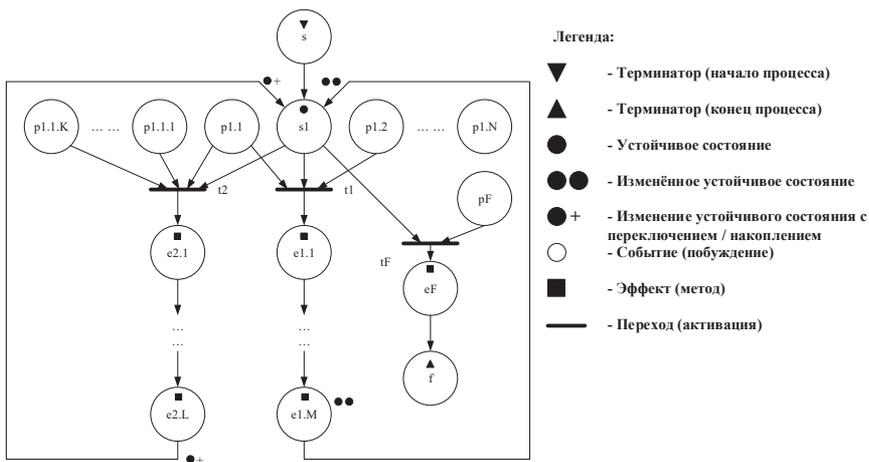


Рисунок 1 – Пример обобщения дополненной сети Петри

Дополненный аппарат сетей Петри удалось результативно применить для описания технологии АППП, заложенной в «АРМ Графиста». Схема содержит последовательный обзор АППП, начиная с подпроцесса построения «ниток» графика движения поездов в процессе утреннего часа «пик» по каждому из главных путей, в процессе равномерного ввода составов к утреннему часу «пик» с предварительным построением всех возможных «ниток» во всех утренних размерах движения при учёте и соблюдении требуемой парности и, соответственно, требуемого интервала между поездами, завершая построением подпроцесса ухода составов на ночную расстановку при использовании априорной информации о распределённых маршрутах и принятии решения о назначении на «нитки» незадействованных маршрутов. Учитывается так называемая «результативность» построения: разграничение вариантов на успешные и неуспешные, оценивание каждого точки зрения установленных критериев качества. Учитываются элементы ведения журналов событий. Переходные процессы АППП обозначены как итерационные, выполняемые по шагам: каждый успешный, пройденный шаг добавляет новые «фишки» к устойчивым состояниям; каждый неуспешный шаг снимает «фишку» с устойчивого состояния. Снятие всех «фишек» с некоторого контекстного устойчивого состояния приводит к

выставлению признака неготовности системы к дальнейшему построению, активируется другая площадка перехода и выполняется отступ к построению предыдущего подпроцесса АППП.

В дальнейшем планируется развитие изложенной схемы не только для построения графиков движения поездов по кольцевым линиям, но также и по линиям радиального типа. Планируется описание АППП, основанного на работе Генетических алгоритмов при использовании дополненного аппарата сетей Петри.

Литература:

1. Патент № 2791353 С1 Российская Федерация, МПК В61L 27/04, В61L 27/60. Интеллектуальный комплекс управления перевозочным процессом городской рельсовой транспортной системы (ГРТС): № 2022113881: заявл. 24.05.2022: опубл. 07.03.2023 / Л.А. Баранов, Е.П. Балакина [и др.]; заявитель ФГАОУ ВО РУТ.

2. *Сидоренко В.Г., Сафронов А.И., Филипченко К.М., Чжо Мин Аунг.* Применение современных технологий программирования к автоматизации планирования движения поездов метрополитена // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. № 3. – С. 331-347.

3. *Зорин В.И., Алабушев И.И., Новиков В.Г.* Измерители расстояния в устройствах обеспечения безопасности движения поездов // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 10. – С. 25-26.

4. *Костинский Г.И., Шляховский К.Л., Новиков В.Г., Логинова Л.Н.* Системы автоматического бесконтактного выявления перегрева букс подвижного состава Московского метрополитена // Наука и техника транспорта. – 2022. – №1. – С. 52-56.

5. *Новиков В.Г., Логинова Л.Н.* Повышение пропускной способности участков метрополитена за счёт применения цифрового радиоканала и инфракрасного канала передачи данных // Наука и техника транспорта. – 2023. – № 4. – С. 30-36.

6. ГОСТ 19.701 – 90. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения.

7. *Котов В.Е.* Сети Петри. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.

8. *Petri C.A.* Kommunikation mit Automaten. – Darmstadt: Technische Hochschule Darmstadt, 1962. – 128 p.

9. *Сидоренко В.Г.* Моделирование функционирования станции

метрополитена с использованием сетей Петри / Актуальные проблемы развития технических средств ж/д автоматики и телемеханики. – Ростов н/Д: РГУПС, 2002. – С. 89-95.

10. *Сафронов А.И.* Оптимизация процедур визуализации графиков движения пассажирских поездов метрополитена / Труды Международной конференции «ТМАС». – М.: МИИТ, 2010. – С. 315-317.

11. *Сафронов А.И.* Способы проектирования эргономичных графических пользовательских интерфейсов для интеллектуальных транспортных систем / Интеллектуальные транспортные системы: III Международная конференция. – М.: РУТ, 2024. – С. 385-394.

12. Сети Петри. – URL: <https://studfile.net/preview/5621924/> (дата обращения 21.09.2024).

13. *Кудж С.А., Логинова А.С.* Моделирование с использованием сетей Петри // Вестник МИРЭА. – 2015. – № 1 (6). – С. 10-22.

14. *Кормен Т.Х.* Алгоритмы: построение и анализ. – М.: «Вильямс», 2006. – 1296 с.

Команич Н.В.

Структура, принципы и проблемы группового иерархического управления региональной безопасностью

Аннотация: На сегодняшний день в условиях нарастающих внешних угроз и возникновения новых неопределенностей перед нашей страной ставятся новые задачи по формированию механизмов управления безопасностью отдельных регионов. В рамках данной работы был проведен анализ сложной организационной структуры управления регионов, особенностей субъектов управления и их возможностей, выделены ключевые факторы регионального развития, на их основе была построена модель группового иерархического управления с возможностями принятия координирующих управляющих решений в условиях активного противоборства и имитационная модель управления региональной безопасностью.