

СЕТИ ПЕТРИ КАК МОДЕЛЬ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

PETRI NETS AS A MODEL OF PARALLEL DISCRETE REAL-TIME SYSTEMS

БЕСКИН А.Л.

к.т. н., доцент кафедры высшей математики ИИИ РТУ МИРЭА

ПАРАСКЕВРПУЛО О.Р.

к.ф.-м. н., доцент кафедры высшей математики-3 ИПТИП РТУ МИРЭА

ГЕЛЬМИЯРОВА В.Н.

к.т. н., доцент кафедры высшей математики-3 ИПТИП РТУ МИРЭА

КОЗЛОВА О.Ю.

к.т. н., доцент кафедры высшей математики-3 ИПТИП РТУ МИРЭА

BESKIN A.L.,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Higher Mathematics, III of MIREA – Russian Technological University

PARASKEVOPULO O.R.,

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Higher Mathematics-3, IPTIP of MIREA – Russian Technological University

GELMIYAROVA V.N.,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Higher Mathematics-3, IPTIP of MIREA – Russian Technological University

KOZLOVA O.YU.,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Higher Mathematics-3, IPTIP of MIREA – Russian Technological University

Аннотация: Изложен опыт применения модифицированных сетей Петри в качестве средства моделирования дискретных систем реального времени, в частности, модулей операционных систем, отказоустойчивых блоков бортовых управляющих компьютеров. Определены требования к расширениям сетей Петри и программным инструментам их интерпретации. Особое внимание уделено разработанному под руководством автора сверхбыстродействующему эмулятору сетей Петри и созданным с его помощью моделям отказоустойчивых систем. Показана его полезность на разных этапах жизненного цикла дискретных систем реального времени, в учебных программах разных дисциплин и в реальных проектах

Ключевые слова: сети Петри, параллельные алгоритмы, недетерминированность, асинхронность, распределение ресурсов, оптимизация, отказоустойчивость

Annotation. The experience of using modified Petri nets as a means of modeling discrete real-time systems, in particular, operating system modules, fault-tolerant units of on-board control computers, is described. The requirements for Petri net extensions and software tools for their interpretation are defined. Special attention is paid to the ultra-fast Petri net emulator developed under the guidance of the author and models of fault-tolerant systems created with its help. Its usefulness is shown at different stages of the life cycle of discrete real-time systems, in educational programs of different disciplines and in real projects.

Keywords: Petri nets, parallel algorithms, nondeterminism, asynchrony, resource allocation, optimization, fault tolerance.

Развитие теории сетей Петри в 70-80-х годах прошлого века было связано с потребностями моделирования дискретных параллельных систем, таких как вычислительные устройства и их системное программное обеспечение [1]. В настоящее время разработка и исследование подробных объектов, особенно для отказоустойчивых и высокопроизводительных вычислительных систем не менее актуально. Проведение реальных экспериментов в этой области либо недоступно в принципе, либо затрудняет выявление причинно-следственных связей между входными параметрами и результатами.

Модели дают выявить наиболее существенные свойства и зависимости в системах быстро и точно. Для создания таких моделей требуются подходящие программные инструменты. Предлагается применить в качестве такого инструмента быстрые в освоении и бесплатные программы, специализированными на изучении основополагающих свойств компонентов сложных дискретных систем. К примеру, алгоритмов работы планировщиков операционных систем.

В настоящее время доступны десятки инструментов имитационного моделирования, как универсальные (Matlab-Simulink, Anylogic, GPSS World, Arena), так и специализированные (Anylogic, Flexsim, iThink, Boson NetSim). Основной проблемой их применения является высокая стоимость лицензий и достаточно долгий период их освоения.

Одним из решений данной проблемы стало создание специализированных программ моделирования, не требующих инсталляции и больших ресурсов компьютера, полностью бесплатных. Такие проекты возможны в рамках учебного процесса в вузах, при подготовке диссертаций, в научно-исследовательских и проектных организациях.

Отметим плюсы и минусы применения самописных инструментов в дизайне и исследованиях дискретных параллельных систем.

Их преимущества:

- Простота освоения (от 10 минут до 1 часа)
- Компактность кода, низкие требования к мощности компьютера, портативность (не требуют инсталляции).
- Быстродействие: прогоны моделей выполняются от нескольких секунд, до нескольких минут - при статистических исследованиях
- Открытый код, возможность доработки.

Недостатки самописных инструментов:

- Некачественная программная документация (или ее отсутствие).
- Привязка к конкретному программному окружению: обычно требуется Windows, программные библиотеки (QT, .Net).
- Остаточные ошибки в коде, исправление которых усложнятся недоступностью авторов
- Ограниченный функционал (не введены очевидные полезные функции).

Несмотря на определенные недостатки, самописные эмуляторы сетей Петри QPNet версий 1.2 и 1.3.2. актуальны в дипломном проектировании, исследованиях аспирантов и научных сотрудников. Не менее важная область применения – создание новых отказоустойчивых и долгоживущих систем реального времени.

На тему сетей Петри написаны монографии, тысячи научных статей и диссертаций, разработаны сотни компьютерных программ-эмуляторов [2,3]. Но практического эффекта и широкого применения они не нашли. При создании семейства эмуляторов сетей Петри QPNet были учтены ограничения доступных в интернет аналогов и многолетний опыт разработки собственных эмуляторов в 1990-2010 годах.

Была расширена математическая модель классических сетей Петри [1] внесением реального времени как основного параметра работы исследуемых систем. Также внесены понятия ингибиторных (условных) дуг, приоритетов переходов и глобальных параметров сетей. Каждое событие в сети (обозначаемое переходом) имеет определенное время, которое может быть фиксированным (в том числе, нулевым) или случайным, задаваемым одним из стандартных законов распределения вероятностей.

Дизайн графа сетей также был доработан для большей наглядности работы систем реального времени как множество параллельных горизонтальных конвейеров с движением заявок слева направо (рис.1).

В итоге была сохранена асинхронность работы модели как в классических сетях Петри, т.е. возможность моделирования параллельных процессов, но в реальном времени. Стало доступно моделирование систем со случайными потоками заявок на обслуживание, время обработки которых на конвейерах системы также случайно. В версии программы QPNet 1.2 автоматизированы статистические исследования моделей систем с заданными показателями эффективности (глобальные параметры сети) со скоростью до нескольких тысяч прогонов модели в секунду. На Рис.2 приведен пример выполнения более 5,7 млн. прогонов модели, давших результат «пять девяток» успешности. Модель тестовая, с двумя параметрами: число довольных и недовольных клиентов. Успех (Success) – 1000 довольных клиентов, неуспех (Fail) – 5 недовольных. Выполнено на обычном компьютере за приемлемое время, около трех часов.

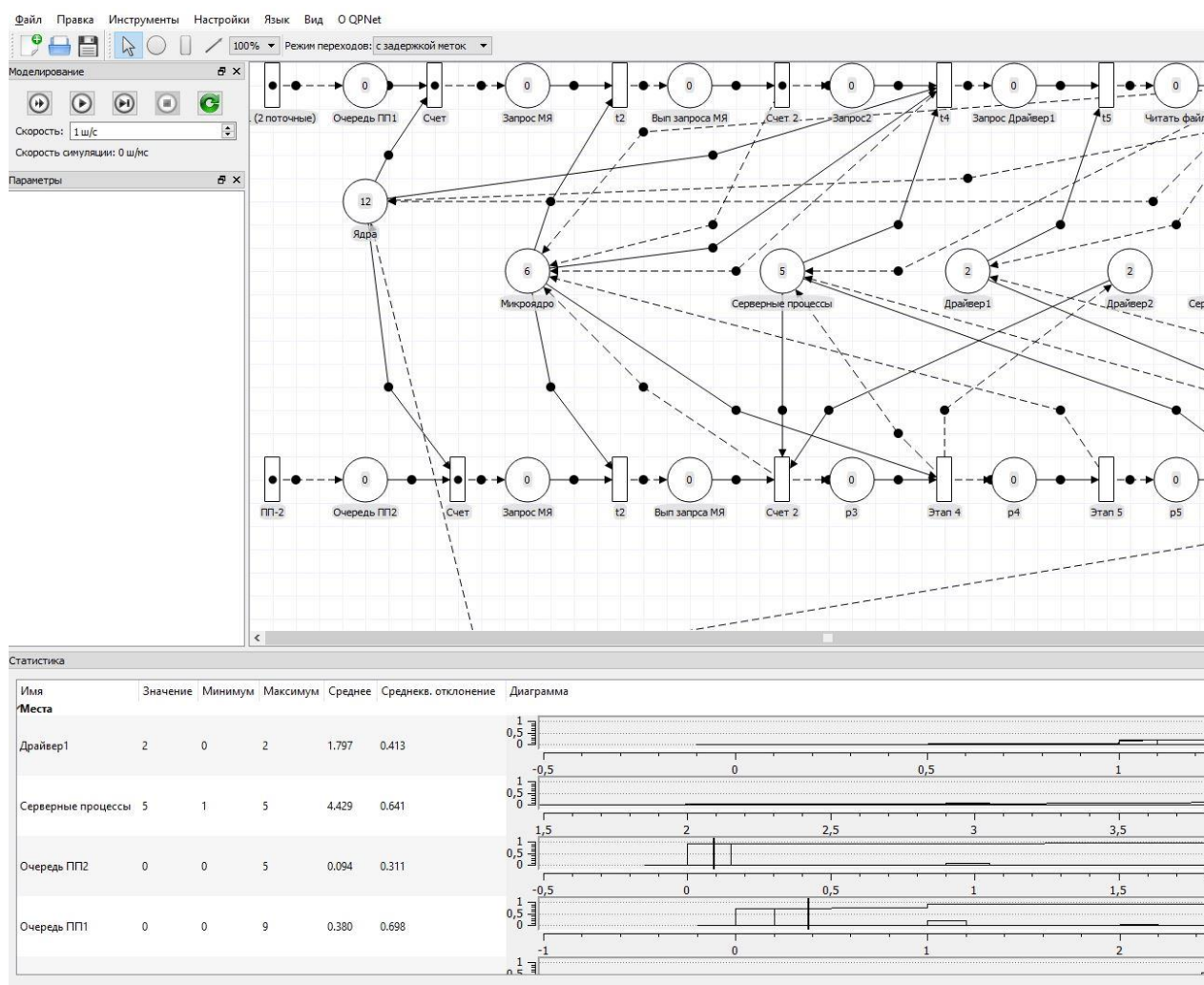


Рисунок 1. Фрагмент модели КасперскийОС со статистикой

Для исследования устойчивости систем к нештатным ситуациям были введены 4 стандартные модели:

- Перегрузка входа заявок
- Временный отказ постоянного ресурса
- Утеря невозполняемого ресурса
- Задержка обслуживания на этапе конвейера

Задачи, решаемые с применением программ QPNet на разных этапах жизненного цикла дискретных систем реального времени:

- синтез систем (пример – 5 канальная мажоритарная память);
- оптимизация систем (КасперскийОС – минимизация ресурсов);
- анализ устойчивости систем к нештатным ситуациям (4 стандартных НС)
- поиск редких событий (тупики в ОС, переполнение очередей)
- определение времени наработки на отказ.

Программы QPNet 1.3.2. и 1.2 доступны в интернет и не требуют установки (работают в среде Windows XP, 8, 10, 11). Их исполняемые файлы, описание и примеры задач размещены на учебном портале СДО РТУ МИРЭА [4].

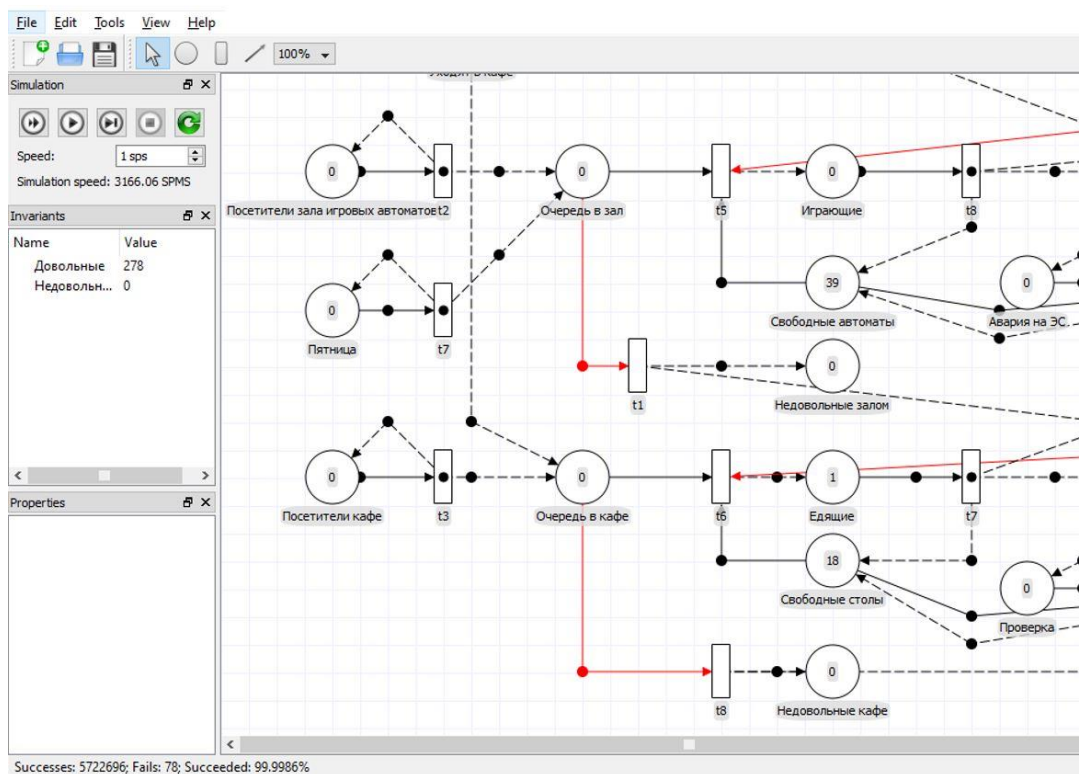


Рисунок 2. Статистические исследования успешности модели

Пятиканальная мажоритарная память для долгоживущих автономных систем была синтезирована с помощью программы QPNet 1.3.2 обобщение традиционной трехканальной памяти. На модели были показаны большие преимущества такой памяти по сравнению с трехканальной памятью:

- устойчивость к случайному одновременному сбою в двух каналах
- устойчивость к отказу одного и двух каналов
- продление срока безотказной работы

Также был исследован отказоустойчивый вычислитель для долгоживущего спутника, построенный на 6 идентичных микропроцессорах. Показан низкий эффект увеличения числа процессоров до 8 или 10. Определено на модели время наработки на отказ в зависимости от

надежности процессоров, доказана устойчивость к случайным сбоям при разных реальных частотах этих событий.

На модели КасперскийОС [5], транслированной из формата графа состояний в первоисточнике в сеть Петри, определены необходимые ресурсы ее успешной работы, вероятности задержек в обслуживании прикладных программных процессов 3 типов в условиях нештатных ситуаций.

ВЫВОДЫ

1. Удобные инструменты на сетях Петри поддерживают полный цикл разработки параллельных дискретных систем реального времени, от постановки задачи до сопровождения.
2. Проблемы применения импортных пакетов моделирования в образовании и проектировании ставят задачу замены их адекватными отечественными аналогами.
3. Сверхбыстродействующие программы моделирования дают возможность проверить проектные решения для отказоустойчивых и долгоживущих систем в критических ситуациях.

Литература

1. Дж. Питерсон. Теория сетей Петри и моделирование систем. Перевод с английского. Москва «Мир» 1984, с.264.
2. Д.В. Винс. Имитационное моделирование управляющих и вычислительных процессов в высокопроизводительных вычислительных системах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Новосибирск – 2016 <https://elibrary.ru/item.asp?id=30444887> (дата обращения: 07.11.2024).
3. Кутепов В.П., Ефанов А.А. Параллельные процессы и программы: модели, языки, реализация на системах. В научно-практическом журнале
4. «Программные продукты и системы». Дата подачи статьи: 26.08.2020. DOI:10.15827/0236-235X.131.375-384 <https://swsys.ru/index.php?page=article&id=4721> (дата обращения: 07.11.2024)
5. <https://online-edu.mirea.ru/course/view.php?id=8774> (дата обращения: 07.11.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
6. С.В. Назаров, А.Г. Барсуков. Архитектура и надежность операционных систем. Современные информационные технологии и ИТ-образование. Том 14, № 1. 2018. DOI: 10.25559/SITITO.14.201801.038-051