

Муравьев Николай Дмитриевич,
аспирант специальности
«Математическое и программное обеспечение
вычислительных систем, комплексов и сетей»
ИКБ РТУ – МИРЭА
tuplecats@gmail.com

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Аннотация: *Представлено разрабатываемое программное обеспечение для работы с сетями Петри (СП), описаны используемые средства и сторонние свободные библиотеки для разработки. Представлены структура разрабатываемого программного обеспечения, алгоритмы работы с сетями Петри.*

Ключевые слова: *сети Петри, анализ сетей Петри, программный комплекс моделирования распределенных систем.*

В последние годы наблюдается растущий интерес к использованию аппарата сетей Петри (СП) при решении задач, связанных с исследованием сложных систем. Развитие информационных технологий, производительности вычислительных систем позволило реализовывать новые методы автоматизированного анализа, основанные на разработке эффективных прикладных программ¹. Сеть Петри – математический аппарат для формализации, анализа и моделирования дискретно-событийных систем. СП может использоваться для эффективного моделирования технологических процессов.

Основная цель работы – разработка программного комплекса моделирования распределенных параллельных вычислительных систем с использованием сетей Петри.

В качестве среды разработки программных средств используется CLion от JetBrains, а в качестве языков программирования – язык Rust и C++. Данные средства предоставляются свободно в исследовательских целях.

Язык программирования Rust является компилируемым, мультипарадигмальным языком программирования с проверкой безопасности памяти на этапе компиляции по правилам проверки заимствований². Язык программирования C++ также является компилируемым, мультипарадигмальным языком программирования. Отличительной особенностью C++ от Rust является отсутствие безопасности памяти.

Разрабатываемый комплекс программ включает:

- модуль визуализации сетей Петри;
- модуль преобразования графического представления СП в матричное;
- модуль анализа СП, выполняющий следующие функции:
 - анализ СП на основе дерева достижимых разметок;
 - анализ СП на основе решения системы линейных уравнений (СЛАУ);
- модуль синтеза новых структур СП, выполняющий следующие функции:

¹ Клаус Шваб, Николас Дэвис. Технологии четвертой промышленной революции. Shaping The Fourth Industrial Revolution. Эксмо. 2018. 320 с.

² The Rust Programming Language // URL: <https://doc.rust-lang.org/book/> (дата обращения: 01.02.2022).

- декомпозицию исходной СП на линейные или линейно-циклические фрагменты;
- построение тензоров преобразования;
- генерацию программ синтеза новой структуры СП;
- поиск эквивалентных структур СП;
- модуль количественной оценки СП-структур, включающий:
 - разработку метрических шкал оценки синтезированных структур СП;
 - позиционирование синтезированных СП-структур в заданной системе координат.

Модуль визуализации сетей Петри реализован с помощью библиотеки Graphviz. Graphviz – пакет утилит для автоматической визуализации графов, заданных в виде описания на языке DOT. Также Graphviz может использоваться как библиотека. Модуль визуализации поддерживает некоторые алгоритмы визуализации, предоставляемые пакетом Graphviz: Dot, FDP (Force Directed Placement), SFDP, Neato (рис. 1).

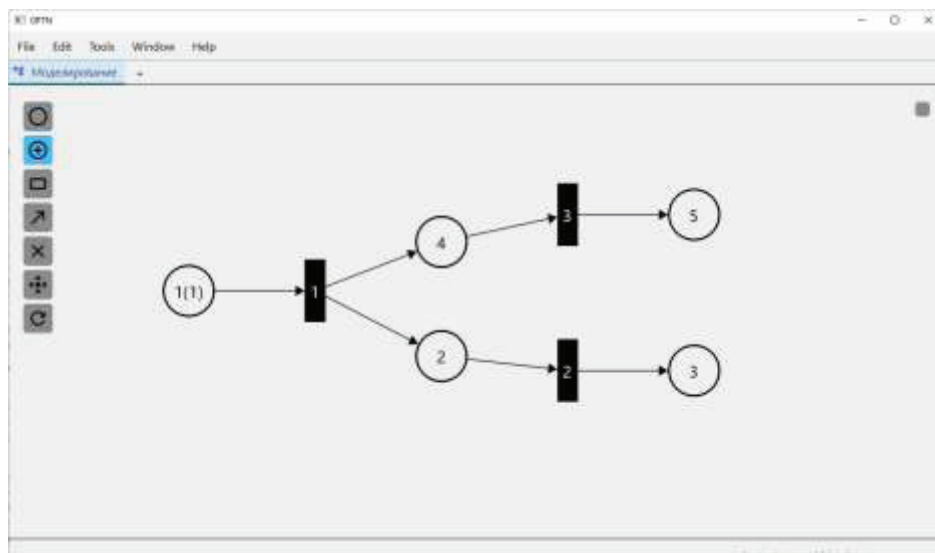


Рисунок 1. Основной экран программы. Визуализация сети Петри алгоритмом Dot.

Модуль преобразования графического представления СП в матричное позволяет просматривать и анализировать сеть Петри в виде матрицы. Также данный модуль используется для матричного представления исследуемой СП на любом этапе анализа или синтеза.

Декомпозиции СП включает в себя:

- поиск линейных и циклических фрагментов;
- дополнение циклических и линейных фрагментов эквивалентными позициями;
- построение примитивной системы (системы, представленной элементарными СП).

Основная задача декомпозиции состоит в разделении СП-структуры на примитивные составляющие, которые впоследствии будут использованы при синтезе новых структур СП.

Тензор преобразования предназначен для преобразования примитивной системы в систему линейно базовых фрагментов. Алгоритм декомпозиции СП и построения тензора преобразования описан в работе¹.

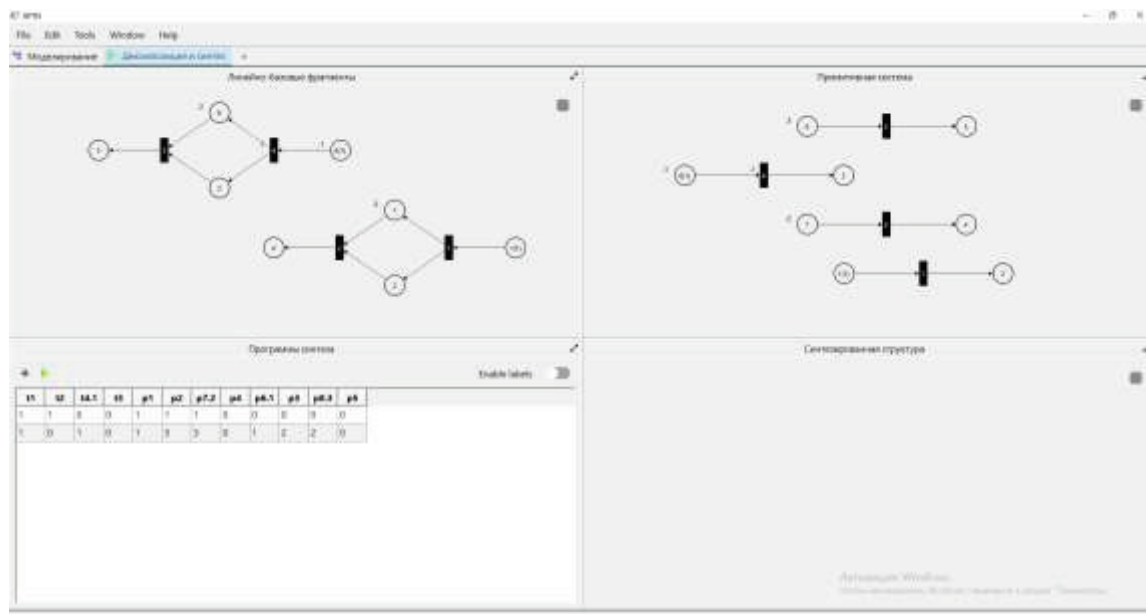


Рисунок 2. Окно программы, модули декомпозиции и синтеза.

Тензор преобразования, а также программа синтеза, описывающая подмножества объединяемых между собой вершин примитивной системы, являются исходными данными для построения новой СП-структуры. Для сравнительной оценки синтезированных структур и последующего принятия решения задаются метрические шкалы, определяющие оси пространства, в котором происходит позиционирование анализируемой структуры. Вновь синтезированные структуры сравниваются между собой по предварительно заданным параметрам. Данной сравнительной оценкой занимается специальный модуль, результатом работы которого является визуальное представление СП-структуры в заданной N-мерной системе координат².

В данной работе дано описание разработанное программное обеспечение для работы с сетями Петри. Моделирование и анализ распределенных систем на основе СП, позволяет на ранних этапах проектирования оценить корректность алгоритмов взаимодействия отдельных процессов, так и работу системы в целом. Кроме этого, разработанный комплекс позволяет проводить синтез новых СП-структур, моделирующих те же функции исследуемой системы, и проводить их последующий сравнительный анализ для выбора наиболее эффективного решения.

Программный комплекс написан с использованием языков программирования Rust и C++, а также с помощью фреймворка Qt и пакета визуализации Graphviz. При работе с матрицами используется библиотека openblas. Разработанный комплекс является кроссплатформенным и может быть запущен на разных ОС.

ПО выложено на GitHub под лицензией GNU LGPLv2.1³.

¹ Кулагин В.П. Тензорные методы исследования структур сетей Петри // Информационные технологии. 2015. Т. 21. № 2. С. 83-94.

² Кулагин В.П., Малых Е.С. Проектирование матричных вычислительных структур с использованием сетей Петри // Информационные технологии. 2019. Т. 25. № 5. С. 271-283.

³ GPTN // URL: <https://github.com/tuplecats/GPTN> (дата обращения: 01.02.2022).

Библиографический список:

1. Клаус Шваб, Николас Дэвис. Технологии четвёртой промышленной революции. Shaping The Fourth Industrial Revolution. Эксмо. 2018. 320 с.
2. Кулагин В.П. Тензорные методы исследования структур сетей Петри // Информационные технологии. 2015. Т. 21. № 2. С. 83-94.
3. Кулагин В.П., Малых Е.С. Проектирование матричных вычислительных структур с использованием сетей Петри // Информационные технологии. 2019. Т. 25. № 5. С. 271-283.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. 264 с.
5. Четвертая промышленная революция: Целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций. Всемирный экономический форум.
6. Documentation Graphviz // URL: <https://graphviz.org/documentation/> (дата обращения: 01.02.2022).
7. GPTN // URL: <https://github.com/tuplecats/GPTN> (дата обращения: 01.02.2022).
8. The Rust Programming Language // URL: <https://doc.rust-lang.org/book/> (дата обращения: 01.02.2022).

© Муравьев Н.Д., 2022