

ТРАНСЛЯТОР ЯЗЫКА ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПЕТРИ-ОБЪЕКТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Ю.С. БУЗЫКОВА¹, А.С. ЗУФАРОВА²

¹ ФГКВОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,
г. Москва;

² ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»,
г. Хабаровск

Ключевые слова и фразы: Петри-модели, программирование, преподавание, ML.

Аннотация: Цель исследования - визуальное программирование является направлением разработки средств программного обеспечения, направленным на применение визуальных объектов для описания задания на выполнение вычислений. Задачи исследования - для того, чтобы визуальное представление стало визуальным программированием необходимо гарантировать однозначное преобразование визуального представления в вычисления. Гипотеза исследования - такое преобразование обеспечивает транслятор речи. В работе использованы общенаучные методы исследования. Новизна исследования - сети Петри является ключевым формализмом для моделирования дискретно-событийных систем, который покрывает широкий класс систем от автоматных до стохастических. В контексте инженерии программного обеспечения формализм сетей Петри описывается важным еще и потому, что является общепринятым для разработки параллельных и распределенных вычислений в соответствии со стандартом ISO/IEC 15909-1:2004.

Технология Петри-объектного моделирования развивается с 2011 года, когда был опубликован труд [5], в котором были разработаны теоретические основы этого метода моделирования. Преимущество метода - возможность тиражирования элементов модели с одинаковым поведением и конструирования модели из фрагментов. В процессе конструирования обеспечиваются условия, когда построенная модель имеет описание стохастической сетью Петри, полученной объединением сетей Петри фрагментов модели. Этот доказанный теоретически факт - важный для обеспечения вычисляемости Петри-объектной модели. То есть, в отличие от других существующих способов конструирования модели из фрагментов сетей Петри, хранятся представления сети Петри всей модели, не возникают посторонние элементы в представлении модели, а также необходимость переходить к многоуровневому представлению модели.

Технология применялась для моделирования систем, содержащих сотни объектов. Она показала достаточно высокое быстродействие

как в процессе разработки модели, так и в процессе экспериментирования с ней. Однако использование исключительно редактора сети Петри в программном обеспечении выявило, что необходим мощный визуальный инструментарий для конструирования Петри-объектной модели, поскольку связывание Петри-объектов текстовым языком программирования потребовало значительных усилий, концентрации внимания и времени на отладку.

Формальная грамматика языка Петри-объектного моделирования разработана в виде правил вывода в труде [7] и контекстно-свободной (или грамматикой типа 2 по иерархии Хомского), однозначной и приведенной.

В данном научном исследовании представлена разработка транслятора языка визуального программирования Петри-объектных моделей, приведено описание семантики грамматических выражений языка и определен способ их преобразования в вычисления.

1. Конструирование
Петри-объектной модели

Петри-объектные модели применяют для конструирования моделей дискретно-событийных систем. Во время построения сложной системы ее разбивают на структурные части, взаимодействующие между собой, разрабатывают фрагменты модели и постепенно соединяют их.

Каждой элементарной событию, что происходит в системе, ставится в соответствие переход сети Петри. Условия для возникновения события символизируют маркеры в позициях. Петри-объектная модель состоит из конструктивных элементов Петри-объектов. Каждый Петри-объект является объектом суперкласса, воспроизводящий функционирование Петри-объекта в соответствии с заданной в объекте сетью Петри. Поскольку алгоритм имитации стохастической сети Петри является универсальным, то построенная модель сразу может запускаться на имитацию и выполнение экспериментальных исследований. А усилия, затраченные на построение модели, будут компенсированы уменьшением затрат на написание и отладку алгоритма имитации.

Подробно понятие Петри-объектной модели изложено в публикации [8]. Петри-объектом является объект-потомок суперкласса, содержащий сеть Петри и методы для воспроизведения функциональности объекта в соответствии с заданной сетью. Связи между Петри-объектами задаются парами отождествляемых позиций. Все пары отождествляемых позиций двух Петри-объектов образуют коннектор, соединяющий их.

В визуальном представлении модели семантическое значение имеют триплеты элементов Петри-объект-коннектор-Петри-объект, которые полностью определяют Петри-объектную модель.

Для каждого символа грамматики определено соответствующее визуальное его представление [7].

То есть модель состоит из триплета Петри-объект — коннектор — группа Петри-объектов. Сеть Петри объекта *Generator* состоит из одного триплета позиция — дуга — переход и одного триплета переход — дуга — позиция. Сеть Петри объекта *Queueing* из группы состоит из 4 триплетов позиция — дуга — переход и 4 триплетов переход — дуга — позиция.

3. Транслятор речи

Язык визуального программирования Петри-объектных моделей реализован в виде веб-применения. Современные веб технологии

придают гибкости в реализации визуального редактора Петри-объектных моделей, а удаленное выполнение процесса имитации избавляет зависимости от ограниченного локального ресурса пользователя. Визуальный редактор языка программирования Петри-объектных моделей реализован в клиентском применении и позволяет строить визуальное представление имитационной модели. Преобразование визуального представления модели в текстовую интерпретацию и запуск вычислений алгоритма имитации выполняется серверным приложением. Для этой цели разработан транслятор речи.

Транслятор языка программирования включает в себя три последовательные фазы: лексический анализ, синтаксический анализ и семантический анализ. Лексический анализ визуального представления модели — это выявление в визуальном представлении лексем, то есть наборов визуальных символов. Элементами лексики визуально представлены символы алфавита языка: позиция, переход, дуга, Петри-объект, группа Петри-объектов, открыта для укрупнения позиция, отождествитель позиций, коннектор. Результат классификации лексем является входной информацией для синтаксического анализатора. Задачей синтаксического анализа — построение синтаксического дерева, которое является собой расположение всех синтаксических элементов визуального представления модели согласно правил вывода грамматики. На этом этапе элементы лексики визуального языка интерпретируются как тройки терминальных элементов, определяющих связи между элементами МЭ Режи Петри, а также связи между Петри-объектами.

Семантический анализ и генерация кода является заключительной фазой трансляции интерпретирует смысловое содержание и правила выполнения конструкций выделенных синтаксическим анализатором. Поскольку визуальный редактор является собой клиентскую часть веб-применения, а выполнение процесса имитации происходит на сервере, транслятор выполняет преобразование визуального представления модели в текстовый формат *JSON*. Формат передачи данных между клиентским применением и серверным применением *JSON* общепринятым и представляет собой текст, содержащий структуру данных «ключ-значение». Процесс трансляции начинается уже во время построения визуального представления модели. В момент создания пользователем изображения элемента

сети Петри или Петри-объекта, создается его текстовая интерпретация. В момент объединения визуальных элементов между собой строится синтаксическое дерево, что содержит тройки элементов.

Исходный *JSON* показывает результатом работы транслятора на клиентской части и содержит интерпретацию символов алфавита языка. При конструировании модели формуется конечная текстовая интерпретация модели в формате *JSON*, что соответствует синтаксическому дереву и отправляется на сервер.

Преобразование Петри-объектной модели в модель вычислений происходит с использованием алгоритма имитации на последнем этапе. Поскольку функционирование модели определяется сетью Петри, полученной объединением сетей Петри всех объектов модели, то алгоритм имитации выполняет вычисления по тем же правилам, что и алгоритм имитации стохастической сети Петри с временными задержками с многоканальными переходами. Однако, существенный выигрыш в сложности вычислений из-за того, что поиск ближайшего события осуществляется не по всей сети, а по моментам ближайшего события Петри-объектов. Во-вторых, из-за распространения событий в пределах одного Петри-объекта (пока не будет достигнута позиция-отождествитель) проверка условий выполнения события и осуществления события происходит просмотром только элементов одного Петри-объекта вместо просмотра всей сети Петри [6].

Из-за ограниченного объема материала, который можно разместить в статье, преобразование визуального представления модели в ее вычисления приведем на простом примере модели массового обслуживания. Заметим, что благодаря использованию группы объектов построена модель в зависимости от параметра функционирования системы с разным количеством

обработчиков заказов, которые поступают на обслуживание с генератора 1. Во время использования обычных блочных редакторов, которые широко используются в симуляторах, пришлось бы соединять вручную в визуальном редакторе все n объекты. Очевидно, что при больших n это потребует значительных усилий. Кроме того, пересмотр всех n связей с целью их проверки или корректировки также потребует значительных усилий.

При запуске имитации можем убедиться в правильности полученных результатов и убедиться, что время при условии увеличения сложности модели растет полиномиально. Поскольку модель допускает теоретический расчет, то по результату сравнения полученных результатов имитации с теоретическими делаем вывод о корректности выполненных преобразований. Ошибка при времени моделирования 1000000 не превышала 5%.

Выводы

Разработан транслятор языка визуального программирования Петри-объектных моделей, который выполняет преобразование визуального представления Петри-объектной модели в текстовый язык программирования и запускает на вычисления. Лексический анализ выполняется при создании визуального представления модели в клиентском применении. Семантический анализ и выполнение вычислений модели выполняется серверным приложением.

Понятие Петри-объектной модели для тиражирования связей расширено понятиями коннектор Петри-объектов, группа Петри-объектов, коллекция Петри-объектов.

Приведен пример, в котором представлены все этапы преобразования визуального представления модели транслятором языка программирования. Сравнение результатов имитации с теоретическими доказывает корректность выполненных преобразований.

Литература

1. Dedova, A. From code to coloured Petri nets: Modelling guidelines / A. Dedova, L. Petrucci // Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency VIII (M. Koutny, W.M.P. van der Aalst, A. Yakovlev eds.). – Berlin. Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2013. – P. 71–88.
2. Mwambe, O. Endogenous Eye Blinking Rate to Support Human-Automation Interaction for E-Learning Multimedia Content Specification / O. Mwambe, P. Tan, E. Kamioka // Educ. Sci. – 2021. – No. 11. – P. 49.
3. Reyna, J. Learner-Generated Digital Media (LGDM) as an Assessment Tool in Tertiary Science Education: A Review of Literature / J. Reyna, P. Meier // Iafor J. Educ. – 2018. – No. 6. – P. 93–109.
4. Tarasov, G.V. Modeling function calls in program control flow in terms of Petri Nets /

G.V. Tarasov, D.I. Kharitonov // *ACSIJ Advances in Computer Science: an International Journal*. – 2014. – Vol. 3. – P. 82–91.

5. Voron, J.B. Transforming sources to Petri nets: A way to analyze execution of parallel programs / J.B. Voron, F. Kordon // *Proceedings of the 1st International Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks and Systems & Workshops, Simutools '08, (ICST, Brussels, Belgium, Belgium), ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008*. – P. 13:1–13:10.

6. Westergaard, M. Verifying parallel algorithms and programs using coloured Petri nets / M. Westergaard // *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency VI (K. Jensen, W.M. van der Aalst, M. Ajmone Marsan, G. Franceschinis, J. Kleijn, L.M. Kristensen eds.)*. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2012. – P. 146–168.

7. Джарратано, Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование : изд. 4 / Д. Джарратано, Г. Райли; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2007.

8. Ильин, И.В. Технологии проектирования и разработки интерактивных лабораторных работ в трехмерной виртуальной среде / И.В. Ильин, М.Д. Бузмаков, Е.В. Оспенникова // *Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании*. – 2020. – Вып. 16. – С. 30–46.

9. Стеценко, И.В. Теоретические основы Петри-объектного моделирования систем / И.В. Стеценко // *Математические машины и системы*. – 2011. – № 4. – С. 136–148.

10. Харитонов, Д.И. Метод генерации примеров моделей программ в терминах сетей Петри / Д.И. Харитонов, Е.А. Голенков, Г.В. Тарасов, Д.В. Леонтьев // *Моделирование и анализ информационных систем*. – 2015. – Т. 22. – № 4. – С. 563–577.

References

7. Dzharratano, D. Ekspertnye sistemy: printsipy razrabotki i programmirovaniye : izd. 4 / D. Dzharratano, G. Rajli; per. s angl. – M. : Vilyams, 2007.

8. Ilin, I.V. Tekhnologii proektirovaniya i razrabotki interaktivnykh laboratornykh rabot v trekhmernoj virtualnoj srede / I.V. Ilin, M.D. Buzmakov, E.V. Ospennikova // *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Informatsionnye kompyuternye tekhnologii v obrazovanii*. – 2020. – Vyp. 16. – S. 30–46.

9. Stetsenko, I.V. Teoreticheskie osnovy Petri-obektnogo modelirovaniya sistem / I.V. Stetsenko // *Matematicheskie mashiny i sistemy*. – 2011. – № 4. – S. 136–148.

10. KHaritonov, D.I. Metod generatsii primerov modelej programm v terminakh setej Petri / D.I. KHaritonov, E.A. Golenkov, G.V. Tarasov, D.V. Leontev // *Modelirovanie i analiz informatsionnykh sistem*. – 2015. – T. 22. – № 4. – S. 563–577.

© Ю.С. Бузыкова, А.С. Зуфарова, 2023