

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫМИ РАБОТАМИ

А.С. Пономарева¹, Н.Ю. Юдина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

При рассмотрении вопроса управления лесозаготовительным процессом является решение задачи оптимального управления. Эта задача может быть решена, если при организации выполнения лесозаготовительного процесса будет правильно осуществлен подбор машин и механизмов, применяемых на каждом этапе выполнения данного процесса. В статье рассмотрен метод имитационного моделирования с использованием маркированных сетей Петри. Сеть Петри – это абстрактная формальная модель потока информации. В основном сети Петри используются для моделирования систем событий, в которых некоторые события могут происходить одновременно, но существуют ограничения на совпадение, приоритет или частоту этих событий.

Ключевые слова: Сети Петри, процесс, модель, система сетей Петри (PNeS), оптимальное решение.

USE OF PETRI NETS IN SOLVING THE MODELING OF THE PROCESS OF MANAGEMENT OF FOREST CUTTING

A.S. Ponomareva¹, N.Yu. Yudina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

When considering the issue of managing the logging process, it is the solution of the problem of optimal control. This problem can be solved if, when organizing the implementation of the logging process, the selection of machines and mechanisms used at each stage of the implementation of this process is carried out correctly. The article considers a simulation method using labeled Petri nets. Petri net is an abstract formal model of information flow. Basically, Petri nets are used to model event systems in which some events can occur at the same time, but there are restrictions on the coincidence, priority or frequency of these events.

Key words: Petri nets, process, model, Petri net system (PNeS), optimal solution.

Важной задачей, которая стоит перед лесопромышленными предприятиями лесного комплекса, является решение задачи оптимального управления производственным процессом. Эта задача может быть решена, если при организации выполнения лесозаготовительного процесса будет правильно осуществлен подбор машин и механизмов, применяемых на каждом этапе выполнения данного процесса. При выборе машин и механизмов учитывается целый ряд факторов, таких как природные условия региона, где будут выполняться работы, характеристики древостоя, а также характеристики применяемого оборудования (производительность, экономичность, эргономичность и другие) [1, 6, 9]. При решении поставленной задачи необходимо учитывать, насколько согласованы будут работы машин разного назначения [3], т.е. обоснованное решение может быть принято только при одновременном учете многочисленных факторов, влияющих на производственный процесс.

В настоящее время активное использование систем поддержки принятия решений является самым эффективным способом при поиске наиболее оптимального решения при проектировании технологического процесса лесозаготовок. В основе систем принятия решения лежит математическое моделирование исследуемых операций и использование ГИС [1]. Такой подход минимизирует затраты на заготовку и транспортировку и приводит к увеличению прибыли, а также улучшает другие производственно-экономические показатели без дополнительных капитальных затрат. Кроме того, новым многообещающим направлением для более эффективного управления лесами, ориентированного на информацию и поддержку экономических, экологических и устойчивых решений с использованием высокотехнологичных сенсорных, аналитических и цифровых инструментов, является точное лесоводство.

В данной статье рассмотрим метод имитационного моделирования с использованием маркированных сетей Петри. Сеть Петри есть двудольный мультиграф. Вершины этого графа есть позиции и переходы. Позиции содержат маркеры, которые способны перемещаться из одной позиции в другую, когда срабатывают переходы сетей Петри.

Сети Петри широко используются как в теоретическом анализе, так и в практическом моделировании параллельных систем. Практическое использование сетей Петри сильно зависит от наличия адекватных компьютерных инструментов.

Параллельные системы, такие как автоматизированные производственные системы, системы управления технологическими процессами, системы свя-

зи, компьютерные операционные системы, офисные информационные системы и т. д., приобретают все большее значение, потому что их количество, размер и изощренность растут. Сложный характер современных параллельных систем создает множество проблем для их разработчиков. Проектирование и эксплуатация этих систем требуют моделирования и анализа для достижения желаемой производительности, и предотвращения катастрофических ошибок. Общеизвестно, что сбои в процессах моделирования могут существенно повлиять как на время и стоимость разработки, так и на эффективность работы. Поэтому особое внимание следует уделять правильности моделей, которые используются на всех этапах планирования. Сети Петри широко используются как в теоретическом анализе, так и в практическом моделировании параллельных систем. Их графический аспект позволяет более легко представить различные взаимодействия между дискретными событиями. Однако математический аспект позволяет провести формальное моделирование этих взаимодействий и анализ свойств моделируемой системы. Сети Петри были предложены Карлом А. Петри в качестве сетевого математического инструмента для изучения связи с автоматами Петри (1962). Их дальнейшему развитию способствовал тот факт, что они обладают двумя интересными особенностями. Во-первых, они позволяют моделировать и визуализировать типы поведения, имеющего параллелизм, параллелизм, синхронизацию и совместное использование ресурсов. Эти свойства характеризуют параллельные системы.

Во-вторых, теоретических результатов предостаточно; свойства этих сетей были и продолжают широко изучаться. Существует большое количество книг, статей и трудовых документов, посвященных теории и приложениям сетей Петри, например, Петерсон (1981), Рейзиг (1985), Мурата (1989), Дженсен, Розенберг (редакторы) (1991), Дэвид, Алла (1992), ДиЧезаре и др. (1993), Zurawski, Zhou (1994), Desel et al. (ред.) (2004 г.) и Цойгманн-Попова (2013 г.).

Практическое использование сетей Петри сильно зависит от наличия соответствующих компьютерных инструментов, помогающих пользователю обрабатывать все детали большого и сложного описания. Для сетей Петри необходимы как минимум графический редактор, анализатор и программы-симуляторы. Графический редактор дает возможность входа, выхода, построения и редактирования сетей Петри. Анализатор позволяет выполнять формальную проверку свойств, связанных с поведением базовой системы, например, параллельные операции, адекватная синхронизация, отсутствие взаимоблокировок, повторяющихся действий, взаимного исключения общих ресурсов и т. д.

Симулятор моделирует выполнение сети Петри, т. е. движение маркеров в местах сети через переходы. Моделирование дает наглядное графическое описание работы системы, помогая при разработке и отладке модели. Моделирование становится необходимым, когда производительность не может быть предсказана описанным оценщиком производительности системы.

Цель нашей статьи состоит в том, чтобы представить, как фундаментальные концепции сетей Петри, так и методы анализа моделей сетей Петри, а также основную информацию о наборе инструментов сетей Петри, называемых системой сетей Петри (сокращенно PNeS). Эта система может быть использована для построения, модификации и анализа моделей сетей Петри. В настоящее время PNeS позволяет работать с четырьмя основными классами сетей Петри: стандартными сетями Петри, сетями с ингибиторными дугами, самомодифицирующимися сетями и приоритетными сетями. Полученные сети Петри выражаются в формализме PNML, который является стандартным форматом, используемым многими инструментами анализа для сетей Петри PNML (2017). Кроме того, мы вводим некоторые из наиболее фундаментальных свойств сетей Петри, которые полезны для анализа смоделированных систем, и основные методы анализа, которые позволяют проверить, существует ли однозначное функциональное соответствие между моделью сети Петри и исходными требованиями. Технические характеристики; обычно выражается в неформальной форме. PNeS может быть полезен для исследователей и практиков, как из научных кругов, так и из промышленности, которые активно участвуют в работах в области моделирования и анализа параллельных систем, а также для тех, кто потенциально может быть вовлечен в эти области в будущем. В статье основное внимание уделяется стандартным сетям Петри, хотя другие типы сетей Петри также обсуждаются в контексте возможных приложений. PNeS работает на любом компьютере под любой операционной системой. Он был реализован на языке программирования Java, чтобы гарантировать переносимость и эффективность на любых компьютерах. PNeS является продолжением инструментов PN, которые были разработаны и внедрены в Педагогическом университете в Жешуве в 1986-1996 гг. PN-инструменты запускались на компьютерах IBM PC под операционной системой DOS Suraj (1995).

Динамическое поведение моделируемой системы может быть описано в терминах ее состояний и их изменений, каждое место потенциально может содержать либо ни одного, либо положительное количество токенов. Наглядно состояния представлены с помощью «кружков» вместе с подходящими поло-

жительными числами, расположенными внутри кругов, соответствующих соответствующим местам. Мы предполагаем, что если количество состояний в месте равно 0, то место пусто. Наличие состояний на местах сети Петри называется разметкой. Она определяет текущее состояние системы, моделируемой сетью Петри. Разметка сети Петри на n местах может быть представлена n -вектором M , элементы которого, обозначаемые как $M(p)$ – целые неотрицательные числа, представляющие количество фишек в соответствующей позиции p . Начальная маркировка, обозначаемая M_0 , – это маркировка, определяемая начальным состоянием системы. Сеть Петри, содержащая некоторое число состояний, называется размеченной сетью Петри.

Для имитации динамического поведения системы разметка в сети Петри изменяется в соответствии со следующим правилом. Если каждая позиция p из всех имеющихся позиций t имеет число состояний не менее числа равным кратности дуги в направлении движения и соединяет позицию p с позицией t . Включенный переход t может срабатывать или не срабатывать (в зависимости от того, выбран переход или нет). А срабатывание разрешенного перехода t удаляет из каждой входной позиции p количество состояний, равное кратности направленной дуги, соединяющей p с t , и добавляет к каждой выходной позиции p из t количество состояний, равное кратности направленной дуги соединения t с p .

Фрагмент графического изображения размеченной сети Петри вместе с включенными переходами показан на рисунке 1.

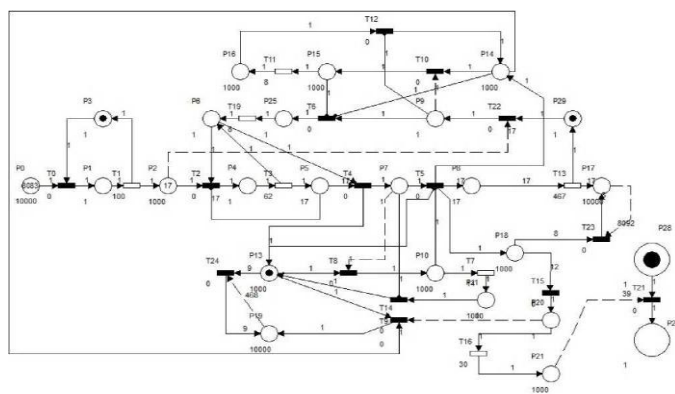


Рисунок 1 – Моделирование процесса управления лесосечными работами

Список литературы

1. Practice of Petri nets in Manufacturing / F. DiCesare, G. Harhalakis, J.M. Proth [et al.] // Chapman and Hall. – 1993. - S. 295. - DOI: 10.1007/978-94-011-6955-4. 1993.

2. Suraj, Z. Generalized Weighted Fuzzy Petri Net in Intuitionistic Fuzzy Environment / Z. Suraj, S. Bandyopadhyay // Proc. of the IEEE World Congress on Computational Intelligence. – 2016. – Pp. 2385-2392. - DOI: 10.1109/fuzz-ieee.2018.7737992 2016.
3. Welcome to the Petri nets World. - URL: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets> (дата обращения: 20.09.2022).
4. Басакер, Р. Конечные графы и сети / Р. Басакер, Т. Л. Саати. – М. : Наука, 1974. - 366 с.
5. Suraj, Z. A new class of fuzzy Petri nets for knowledge representation and reasoning / Z. Suraj // Eundam. Informat. – 2013. – Vol. 128(1-2). - Pp 193-207. - DOI: 10.3233/FI-2013-941.2013.
6. Юдина, Н.Ю. Программное обеспечение информационной системы по подбору лесозаготовительной техники / Н.Ю. Юдина, А.В. Быхов // Экологоресурсосберегающие технологии в науке и технике: материалы Всероссийской научно-технической конференции. - Воронеж, 2021. - С. 37-42.
7. Иваньо, Я.М. Применение больших данных для планирования производства продовольственной продукции в условиях неопределенности / Я.М. Иваньо, П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 13-20. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-2-13-20.
8. Юдина, Н.Ю. Определение управляющих воздействий и энергозатрат при программном движении манипулятора / Н.Ю. Юдина, И.С. Кущева, Т.В. Скворцова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 122-129. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-4-122-129.
9. Юров, А.Н. Проектирование автоматизированной системы производственных планировок / А.Н. Юров // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 87-93.
10. Сазонова, С.А. Математическое моделирование параметрического резерва систем теплоснабжения с целью обеспечения безопасности при эксплуатации / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, А.В. Звягинцева // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 71-77.
11. Интеллектуальное управление информационными системами в условиях неопределенности / Ю.В. Минин, В.Е. Дидрих, А.Ю. Гречушкина, С.А. Копылов // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 38-42.

References

1. Practice of Petrinets in Manufacturing / F. DiCesare, G. Harhalakis, J.M. Proth [et al.] // Chapman and Hall. - 1993. - S. 295. - DOI: 10.1007 / 978-94-011-6955-4. 1993.
2. Suraj, Z. Generalized Weighted Fuzzy Petri Net in Intuitionistic Fuzzy Environment / Z. Suraj, S. Bandyopadhyay // Proc. of the IEEE World Congress on Computational Intelligence. – 2016. – Pp. 2385-2392. - DOI: 10.1109/fuzz-ieee.2018.7737992 2016.
3. Welcome to the Petrinets World. - URL: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets> (accessed 20.09.2022).
4. Basaker, R. Finite Graphs and Networks / R. Basaker, T. L. Saaty. - M. : Nauka, 1974. - 366 p.
5. Suraj, Z. A new class of fuzzy Petrinets for knowledge representation and reasoning / Z. Suraj // Eundam. informat. - 2013. - Vol. 128(1-2). - Pp 193-207. - DOI: 10.3233/FI-2013-941.2013.
6. Yudina, N.Yu. Information system software for the selection of logging equipment / N.Yu. Yudina, A.V. Bykhov // Ecological and resource-saving technologies in science and technology: materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference. - Voronezh, 2021. - Pp. 37-42.
7. Ivanyo, Ya.M. The use of big data for planning the production of food products under uncertainty / Ya.M. Ivanyo, P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik // Modeling of systems and processes. - 2021. - T. 14, No. 2. - Pp. 13-20. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-2-13-20.
8. Yudina, N.Yu. Determination of control actions and energy consumption during the program movement of the manipulator / N.Yu. Yudina, I.S. Kushcheva, T.V. Skvortsova // Modeling of systems and processes. - 2021. - T. 14, No. 4. - Pp. 122-129. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-4-122-129.
9. Yurov, A.N. Design of an automated system for production planning / A.N. Yurov // Modeling of systems and processes. - 2019. - T. 12, No. 1. - Pp. 87-93.
10. Sazonova, S.A. Mathematical modeling of the parametric reserve of heat supply systems in order to ensure safety during operation / S.A. Sazonova, S.D. Nikolenko, A.V. Zvyagintseva // Modeling of systems and processes. - 2019. - T. 12, No. 3. - Pp. 71-77.
11. Intelligent management of information systems under uncertainty / Yu.V. Minin, V.E. Didrich, A.Yu. Grechushkina, S.A. Kopylov // Modeling of systems and processes. - 2018. - T. 11, No. 1. - Pp. 38-42.