

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ВСЕРОССИЙСКАЯ ГРУППА ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ IEEE  
АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ  
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ООО «ОТКРЫТЫЕ РЕШЕНИЯ»  
ОБЩЕСТВО «ЗНАНИЕ» РОССИИ  
ПРИВОЛЖСКИЙ ДОМ ЗНАНИЙ

*XIX Международная  
научно-техническая конференция*

**ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ  
В ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ,  
ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ**

*Сборник статей*

*24 – 25 октября 2019 г.*

Пенза

УДК 004  
ББК 32.81я43+74.263.2+65.050.2я43  
П781

П781      **ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ В ОБРАЗОВАНИИ,  
УПРАВЛЕНИИ, ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ :**  
сборник статей XIX Международной научно-технической  
конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2019. – 256 с.

ISBN 978-5-8356-1735-7  
ISSN 2311-0406

**Под редакцией *В.И. Горбаченко***, доктора технических наук,  
профессора;  
***В.В. Дрождина***, кандидата технических наук,  
профессора

Информация об опубликованных статьях предоставлена в систему Рос-  
сийского индекса научного цитирования (РИНЦ) по договору  
№ 573-03/2014К от 18.03.2014.

ISBN 978-5-8356-1735-7  
ISSN 2311-0406

© Пензенский государственный  
университет, 2019  
© АННМО «Приволжский Дом знаний», 2019

*XIX International  
scientific and technical conference*

**PROBLEMS OF INFORMATICS  
IN EDUCATION, MANAGEMENT,  
ECONOMICS AND TECHNICS**

*October, 24 – 25, 2019*

Penza

**Чернышева Елена Михайловна**  
Государственный морской  
университет имени  
адмирала Ф.Ф. Ушакова,  
г. Новороссийск, Россия

**Chernysheva E.M.**  
Admiral Ushakov Maritime  
State University,  
Novorossiysk, Russia

---

УДК 004.9

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

А.В. Романова, Н.Г. Яковлева

## **RESEARCH OF PETRI NETS IN SIMULATION OF PARALLEL COMPUTATIONS**

A.V. Romanova, N.G. Yakovleva

**Аннотация.** Рассматривается исследование сети Петри при моделировании параллельных вычислений систем, обосновываются основные свойства анализа моделируемой системы, рассматриваются два основных подхода к организации вычислений.

**Ключевые слова:** сети Петри, моделирование, параллельные вычисления, синхронизация переходов, операции обмена, параллельные процессы.

**Abstract.** The study of a Petri net in modeling parallel computing systems is considered, the basic properties of the analysis of the simulated system are substantiated, two main approaches to the organization of calculations are considered.

**Keywords:** Petri nets, modeling, parallel computing, transition synchronization, exchange operations, parallel processes.

Сети Петри содержат взаимодействующие параллельные компоненты, поэтому ими легко моделируется создание и выполнение параллельных ветвей различных вычислительных процессов, как искусственных, так и естественных. Тем самым, сети Петри – это, с одной стороны, адекватный инструмент анализа параллельных процессов, с другой – удобный объект для реализации на параллельных вычислительных системах.

Стандартная интерпретация сетей Петри как параллельных вычислительных процессов заключается в том, что метки представляют собой данные, места – память, в которых хранятся данные, а переходы – подпрограммы, которые обрабатывают эти данные. Подпрограмма ожидает, когда

будут готовы все ее входные данные, после чего производит необходимые вычисления и помещает результаты на свои выходные места. Когда два перехода не конфликтуют из-за данных, тогда при некоторых условиях могут быть выполнены параллельно соответствующие им подпрограммы [2].

Рассмотрим две стандартные операции `fork` и `join` для управления параллельными процессами. Переход `fork` моделирует «разветвление» данного процесса на  $n$  независимых процессов  $t_1, \dots, t_n$ , создает из одной ветви выполнения две параллельные ветви. Переход `join`, осуществляет синхронизацию и слияние двух ветвей по завершении их работы обратно в один последовательный процесс. Используемые сегодня объекты синхронизации также легко моделируются сетями Петри [1,3].

Для организации взаимодействия параллельных процессов применяются различные схемы и механизмы синхронизации:

- критические секции;
- семафоры;
- операции обмена.

Они относительно просто и наглядно моделируются с помощью сетей Петри.

Задача реализация сетей Петри на параллельных вычислительных системах является неправильной, когда в сетях метки не содержат никакой дополнительной информации, например, классические сети с различными схемами синхронизации переходов. Тем самым можно выделить два подхода к организации вычислений.

Первый подход использует матрично-векторные операции над матрицами  $W$ ,  $W^+$  и  $W^-$  и вектором разметки  $\mu$ . На каждой итерации сначала выполняется активация переходов, эта операция может быть выполнена независимо для всех переходов. Далее необходимо выбрать подмножество активных переходов, которые сработают в текущий момент времени. После этого формируется вектор  $\sigma$  и производится его умножение на матрицу  $W$  - стандартная операция для распараллеливания на любых типах вычислительных параллельных систем [1,4].

Преимущество такого подхода заключается в его простоте и в том, что в реализации используются стандартные инструменты.

Второй подход - объектно-ориентированный. Каждый переход и каждое место представляются отдельными объектами, которые взаимодействуют тем или иным способом. Все объекты распределяются по некоторой схеме по процессорам вычислительной системы. На каждой итерации переходы запрашивают информацию о метках у своих входных мест, решают между собой возникающие конфликты и составляют метки на свои выходные места. Операции активации и сбрасывания могут выполняться

одновременно для всех переходов, требуется только обеспечить синхронизацию доступа (для чтения и записи) к местам сети [1,4].

Преимуществом этого подхода является то, что он легко расширяется практически на все типы сетей Петри.

Недостатком при параллельной реализации сетей Петри являются конфликты между переходами. Разрешить конфликты проще всего, собрав информацию о текущем состоянии сети на одном процессоре и централизованно решив все имеющиеся конфликты. Не трудно догадаться, что такая схема очень негативно скажется на общей производительности. В некоторых случаях можно сделать процесс разрешения конфликтов распределенным. Например, для сетей, в которых каждый переход участвует не более чем в одном конфликте, разрешение конфликтов может быть решено каждой парой переходов независимо от других переходов. К сожалению, в общем случае конфликты (даже если они парные) могут образовывать весьма сложные цепочки, которые не так просто анализировать распределенным образом [1,3].

Применение сетей Петри для моделирования параллельных процессов позволяет построить адаптивные модели сложных систем с многопоточным параллелизмом, реагирующих на изменение внутренних и внешних условий. Например, таких, как алгоритм событийного функционального моделирования цифровых интегральных схем.

#### Библиографический список

1. Васильев В.В., Кузьмук В.В. Сети Петри, параллельные алгоритмы и модели мультипроцессорных систем. К.: Наукова думка, 1990. С. 216.
2. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984. С. 160.
3. Кузнецов А.С., Царев Р.Ю., Князьков А.Н. Теория вычислительных процессов. К.: СФУ, 2015. 184 с.
4. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. Л.: Наука, 1989. С. 133.

**Романова Анастасия Вадимовна**

Тверской государственный  
технический университет,  
г. Тверь, Россия

**Яковлева Наталья Геннадьевна**

Тверской государственный  
технический университет,  
г. Тверь, Россия

**Romanova A.V.**

Tver State Technical University,  
Tver, Russia

**Yakovleva N.G.**

Tver State Technical University,  
Tver, Russia