

УДК 004.415.2:519.688

Каримов Даниэль Рафаэлевич студент

2 курс КГУ им К.Э. Циолковского

Россия, г.Калуга

ОБНАРУЖЕНИЕ ТУПИКОВ И КОНФЛИКТОВ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Аннотация: Статья посвящена актуальной проблеме обеспечения надежности параллельных и распределенных информационных систем путем автоматического обнаружения потенциальных дефектов проектирования. Целью работы является демонстрация применения формального аппарата сетей Петри для анализа тупиков (*deadlock*) и конфликтов (*conflict*) в моделях таких систем. Представлен метод, основанный на анализе структуры сети и построении дерева достижимости, который позволяет выявлять состояния блокировки и состязания за ресурсы на этапе моделирования. В результате разработана модель-пример типичной информационной системы, для которой проведен верификационный анализ. Показано, что использование сетей Петри позволяет формализовать спецификацию системы и заблаговременно устранять критические ошибки, повышая тем самым ее стабильность.

Ключевые слова: информационные системы, сети Петри, обнаружение тупиков, надежность информационных систем, конфликты, верификация параллельных систем, анализ корректности.

Annotation: The article addresses the urgent problem of ensuring the reliability of parallel and distributed information systems through the automatic detection of potential design defects. The aim of the work is to demonstrate the application of the formal apparatus of Petri nets for analyzing deadlocks and conflicts in models of such systems. A method based on analyzing the network structure and constructing a reachability tree is presented, which makes it possible to detect states of lock and resource contention at the modeling stage. As a result, an example model of a typical information system was developed and subjected to verification analysis. It is shown

that the use of Petri nets allows for the formalization of the system specification and the early elimination of critical errors, thereby increasing its stability.

Keywords: *information systems, Petri nets, deadlock detection, information system reliability, conflicts, verification of parallel systems, correctness analysis.*

Современные информационные системы характеризуются высокой степенью сложности и многоуровневой структурой. Они включают в себя множество взаимосвязанных компонентов, функционирующих параллельно и взаимодействующих между собой в режиме реального времени. В таких условиях особую значимость приобретает задача обеспечения корректности выполнения информационных процессов и предотвращения логических ошибок, способных привести к отказам системы.

Одной из наиболее опасных категорий ошибок в информационных системах являются тупиковые состояния и конфликты. Тупик приводит к полной остановке процесса или системы в целом, тогда как конфликт может вызывать некорректное распределение ресурсов, потерю данных или непредсказуемое поведение системы [3]. На практике подобные ситуации часто обнаруживаются уже на этапе эксплуатации, что приводит к дополнительным затратам на сопровождение и модернизацию информационной системы.

В связи с этим актуальной является задача выявления тупиков и конфликтов на этапе проектирования информационных систем. Для её решения требуется использование формальных моделей, позволяющих не только визуализировать процессы, но и проводить строгий анализ их поведения. Одним из таких инструментов являются сети Петри, широко применяемые для моделирования и анализа дискретных событийных систем [1].

Целью данной статьи является исследование возможностей применения сетей Петри для обнаружения тупиков и конфликтов в информационных системах. В рамках работы рассматриваются теоретические основы сетей Петри, анализируются причины возникновения тупиковых и конфликтных ситуаций, а также демонстрируется практический пример применения данного подхода.

Тупиковое состояние в информационной системе представляет собой ситуацию, при которой дальнейшее выполнение процесса становится невозможным из-за отсутствия необходимых условий или ресурсов. При этом ни одна из операций не может быть продолжена, несмотря на то что процесс не достиг своего логического завершения [4].

Конфликт в информационной системе возникает в случае, когда несколько операций или процессов претендуют на одни и те же ресурсы или когда выбор дальнейшего хода процесса является неоднозначным [5]. Конфликтные ситуации могут приводить к задержкам выполнения операций, нарушению целостности данных и снижению производительности системы.

Причинами возникновения тупиков и конфликтов могут быть ошибки проектирования, некорректная логика взаимодействия процессов, недостаточный учет ограничений ресурсов, а также сложность параллельных и асинхронных операций. Для выявления подобных проблем требуется использование моделей, способных адекватно отражать динамику функционирования системы [6].

Сети Петри являются формальной математической моделью, предназначенной для описания и анализа дискретных динамических систем. Классическая сеть Петри представляет собой ориентированный двудольный граф, состоящий из позиций и переходов, соединенных дугами [1].

Позиции отражают состояния системы или наличие ресурсов, тогда как переходы соответствуют событиям или операциям, изменяющим состояние системы. Маркеры, размещаемые в позициях, определяют текущее состояние сети, называемое разметкой [2].

Динамика сети Петри описывается правилами срабатывания переходов. Переход может сработать только в том случае, если во всех его входных позициях присутствует необходимое количество маркеров. В результате срабатывания маркера из входных позиций удаляются, а в выходные позиции добавляются новые маркеры.

Формальный характер сетей Петри позволяет применять к ним методы математического анализа, направленные на исследование корректности и надежности моделируемых процессов [7].

Одним из ключевых свойств сетей Петри является живучесть. Живучей называется сеть, в которой каждый переход может сработать хотя бы один раз при некоторой последовательности срабатываний. Отсутствие живучести указывает на наличие недостижимых или заблокированных операций.

Тупиковое состояние в сети Петри соответствует разметке, при которой ни один переход не может сработать. Анализ достижимости таких состояний позволяет выявлять потенциальные тупики в информационной системе [3].

Конфликты в сетях Петри проявляются в виде конкурентных переходов, имеющих общие входные позиции. Анализ конфликтов позволяет выявлять ситуации, в которых выбор дальнейшего хода процесса может привести к нежелательным последствиям.

Также важным свойством является ограниченность сети, которая определяет максимальное количество маркеров в позициях. Неограниченность может свидетельствовать о неконтролируемом росте очередей или накоплении ресурсов [7].

Для анализа тупиковых состояний информационных процессов с использованием сетей Петри применяется поэтапная методика. На первом этапе производится формализация бизнес-процесса и выделение его основных операций и состояний.

На втором этапе элементы бизнес-процесса отображаются на элементы сети Петри. Состояния процесса моделируются позициями, а операции — переходами. Потoki управления и зависимости между операциями задаются дугами [5].

На третьем этапе определяется начальная разметка сети, соответствующая начальному состоянию информационного процесса. Далее проводится анализ достижимости состояний и выявление тупиковых разметок.

Полученные результаты позволяют сделать выводы о корректности логики процесса и при необходимости внести изменения в модель.

Конфликты в сетях Петри возникают в случае, когда несколько переходов конкурируют за одни и те же маркеры во входных позициях. Такие ситуации характерны для информационных систем, использующих ограниченные ресурсы или реализующих альтернативные ветви выполнения процесса [4].

Анализ конфликтов позволяет определить, все ли возможные варианты выбора являются допустимыми и приводят ли они к корректному завершению процесса. В противном случае конфликт может приводить к тупиковым состояниям или нежелательным сценариям функционирования системы.

Для анализа конфликтов используются граф достижимости, инварианты и методы структурного анализа сети Петри. Эти методы позволяют выявлять потенциально опасные участки модели [5].

Рассмотрим процесс обработки заявок в информационной системе предприятия. Процесс включает этапы регистрации заявки, проверки данных, принятия решения и выполнения обработки.

Процесс моделируется в виде сети Петри, где каждая стадия представлена соответствующими позициями и переходами. Возможные альтернативные сценарии, такие как отклонение заявки или необходимость дополнительной проверки, реализуются с помощью конфликтных переходов [6].

В ходе анализа модели выявляется потенциальный тупик, возникающий при одновременном ожидании результатов проверки и подтверждения данных. Модификация модели позволяет устранить данный тупик путем введения дополнительного перехода синхронизации.

Для анализа тупиков и конфликтов используются специализированные программные средства моделирования сетей Петри. Наиболее распространенными являются CPN Tools, WoPeD и PIPE.

Эти инструменты позволяют автоматически строить графы достижимости, анализировать живучесть и ограниченность сети, а также визуализировать

конфликтные ситуации. Их использование существенно упрощает процесс анализа и повышает его точность [5].

Применение сетей Петри для анализа тупиков и конфликтов позволяет выявлять ошибки проектирования на ранних этапах жизненного цикла информационной системы. Это снижает риски отказов и повышает надежность функционирования системы.

Кроме того, использование формальных моделей способствует повышению качества документации и улучшению взаимопонимания между разработчиками, аналитиками и заказчиками информационной системы.

Современные исследования в области сетей Петри направлены на разработку расширенных моделей, таких как временные, стохастические и цветные сети Петри. Их использование позволяет учитывать временные и вероятностные характеристики процессов.

Интеграция сетей Петри с другими нотациями моделирования, такими как BPMN и UML, открывает дополнительные возможности для комплексного анализа информационных систем.

В статье рассмотрены возможности применения сетей Петри для обнаружения тупиков и конфликтов в информационных системах. Показано, что данный аппарат позволяет эффективно анализировать корректность и надежность информационных процессов.

Использование сетей Петри способствует выявлению логических ошибок на этапе проектирования и повышению качества информационных систем. Практический пример подтверждает целесообразность применения данного подхода в задачах анализа и проектирования.

Список используемой литературы

1. Кулагин В.П., Муравьев Н.Д. Генерация программ синтеза моделей, основанных на сетях Петри, с ограничениями // Информационные технологии. – 2024. – Т. 30, № 4. – С. 206–213.

2. Муравьев Н.Д., Кулагин В.П. Декомпозиция сложных систем, выраженных в терминах сетей Петри // Computational Nanotechnology. – 2025. – Т. 12, № 4. – С. 178–186.
3. Зубарев А.Ю. Иерархия эквивалентностей непрерывно-временных сетей Петри со слабой временной стратегией // Проблемы информатики. – 2024. – № 1 (62).
4. Быстров А.В., Вирбицкайте И.Б., Ошевская Е.С. Инструментальные системы, поддерживающие стохастические сетевые модели // ИВМиМГ СО РАН. – 2024.
5. Федосеев А.И., Пономарева Л.А., Заболотникова В.С., Комаров В.М., Ромашкова О.Н. Матричный синтез цифрового портрета обучающегося вуза с помощью стохастической сети Петри // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2024. – № 3-2. – С. 78–86.
6. Ломазова И.А., Нестеров Р.А. Сети Петри и программная инженерия // Труды международного семинара Petri Nets and Software Engineering (PNSE). – 2020. – CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2651.