

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ОТКРЫТОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

MODELING OF DISTRIBUTED OPEN INFRASTRUCTURE SYSTEMS BASED ON PETRI NETS

**A. Andreev
I. Rudakov**

Summary. The efficiency and applicability of Petri nets are investigated in the context of modeling the operation of distributed open infrastructure systems with electric filling stations. In this study, a simulation of the work of the RSOI with the ESS was carried out using a Petri net built on the basis of an analysis of the features of this distributed system. It has been experimentally confirmed that Petri nets are applicable for modeling RSOI with ESS. This is due to the graph structure and extensive modeling capabilities of various dynamic discrete systems, which make it possible to simulate and identify the shortcomings of almost any complex system.

Keywords: distributed open infrastructure system, Electric filling stations, Petri nets, modeling, information security.

Андреев Александр Алексеевич

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
andreev.business.mail@gmail.com

Рудаков Игорь Владимирович

Кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
irudakov@yandex.ru

Аннотация. Исследуется эффективность и применимость сетей Петри в контексте моделирования работы распределенных систем открытой инфраструктуры (РСОИ) с электрозаправочными станциями (ЭЗС). В данном исследовании было проведено моделирование работы РСОИ с ЭЗС с применением сети Петри, построенной на основе анализа особенностей данной распределенной системы. Экспериментально было подтверждено, что сети Петри являются применимыми для моделирования РСОИ с ЭЗС. Это обусловлено графовой структурой и широкими возможностями моделирования различных динамических дискретных систем, которые позволяют смоделировать и выявить недостатки практически любой сложной системы.

Ключевые слова: распределенная система открытой инфраструктуры, электрозаправочные станции, сети Петри, моделирование, информационная безопасность.

Введение

Распределенные системы открытой инфраструктуры (РСОИ) являются важным элементом развития современной мобильности и электромобильной индустрии. В управлении такими системами важно иметь надежные инструменты для моделирования и анализа их работы. Известно, что сети Петри обладают широкими возможностями для моделирования и анализа сложных систем. В данной статье исследуется эффективность и применимость сетей Петри при моделировании работы РСОИ с электрозаправочными станциями.

Анализ сетей Петри в моделировании систем

Известно, что сеть Петри — математический объект, используемый для моделирования динамических дискретных систем.

Позиции в сетях Петри представляют состояния системы, переходы обозначают события или действия, которые могут произойти. Дуги соединяют позиции и переходы и обозначают потоки токенов, которые перемещаются по модели. Токены представляют собой

элементарные единицы, которые могут перемещаться между позициями и переходами.

Основное преимущество сетей Петри — графическая нотация, которая позволяет наглядно представить модель и легко визуализировать процессы, происходящие в системе. Анализ состояний системы позволяет определить, какие состояния могут быть достигнуты, какие переходы могут произойти и какие пути существуют в модели.

Сети Петри широко применяются в моделировании и анализе различных систем, так как они позволяют описывать параллельные процессы, синхронизацию и конкуренцию между действиями.

Анализ особенности РСОИ с электрозаправочными станциями

Особенности РСОИ (распределенная система открытой инфраструктуры) с электрозаправочными станциями, включающие в себя различные компоненты и процессы:

- **Распределенность.** Система состоит из нескольких физически разделенных компонентов: электрозаправочные станции, системы учета и управления, сети связи и другие, что требует эффективного взаимодействия и координации между компонентами.
- **Открытость для взаимодействия с другими системами.** РСОИ может взаимодействовать с другими системами: системы управления транспортными средствами, системы платежей и др., что требует установления и поддержания соответствующих протоколов и интерфейсов.
- **Требования к информационной безопасности.** В РСОИ хранятся и передаются различная информация: данные о клиентах, зарядке электромобилей и другие, что требует защиты от несанкционированного доступа и обеспечение конфиденциальности.
- **Управление и контроль работы РСОИ с электрозаправочными станциями.** Необходимо эффективное планирование и управление процессом зарядки электромобилей, контроль за доступом к станциям, учет и расчет платежей и другие аспекты работы системы.

Анализ особенностей РСОИ с электрозаправочными станциями позволяет определить требования к моделированию и анализу работы таких систем.

Описание разработки модели РСОИ с электрозаправочными станциями на основе сетей Петри

Модель РСОИ с электрозаправочными станциями на основе сетей Петри представлена на рисунке 2 в виде графической нотации, где белыми кружками обозначены позиции, полосками — переходы, чёрными кружками — метки.

Представим сеть Петри как кортеж четырех компонент

$$N = \langle T, P, F, x^k \rangle \tag{1}$$

где $T \neq \emptyset, P \neq \emptyset, T \cap P \neq \emptyset,$

T — конечное множество символов (переходами), т.е. $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\},$

P — конечное множество символов (местами), т.е. $P = \{p_1, p_2, \dots, p_l\},$

F — функция идентичности

$$F : (T \times P) \cup (P \times T) \leftrightarrow \{0,1\}, \tag{2}$$

Позиции:

P1 — «Готовность станции» — позиция, означающая, что станция готова принять электромобиль для зарядки

P2 — «Зарядка в процессе» — позиция, означающая, что на станции происходит зарядка электромобиля.

P3 — «Зарядка завершена» — позиция, означающая, что зарядка электромобиля завершена.

Переходы:

T1 — «Начало зарядки» — переход, который активируется, когда электромобиль подключается к станции.

T2 — «Окончание зарядки» — переход, который активируется, когда зарядка электромобиля завершается.

T3 — «Запрос платежа» — переход, который активируется после окончания зарядки для запроса платежа за услугу.

Дуги:

— Дуги между позициями и переходами, отражающие поток токенов и переходы между состояниями системы.

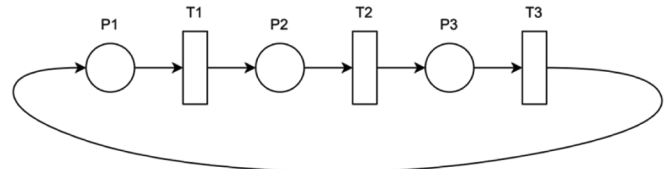


Рис. 1. Пример модели РСОИ с электрозаправочными станциями на основе сетей Петри

На основе составленной модели разработан программный комплекс, позволяющий использовать сети Петри для моделирования РСОИ с электрозаправочными станциями.

Исследование разработанной модели

Для проведения эксперимента использованы реальные данные о работе РСОИ с электрозаправочными станциями: время начала и окончания зарядки электромобилей, количество зарядных станций, информацию о платежах и другие параметры.

Результаты эксперимента получены путем запуска модели с использованием собранных данных. Произведено измерение среднего время зарядки электромобилей, загрузки станций, количество зарядок за определенный период времени и приведены наиболее важные результаты.

На рисунке 2 отображена средняя загрузка станций в течение недели, которая показывает, что в среднем зарядная инфраструктура имеет достаточный запас по утилизации.



Рис. 2. Средняя загрузка станций в течение недели



Рис. 3. Средняя загрузка станций в течение рабочего дня

Однако, на рисунке 3 отображена средняя загрузка станций в течение рабочего дня, которая показывает, что зарядной инфраструктуры не хватает, так как в 08:00 и 19:00 все станции заняты. Это объясняется «часом пик».

На рисунке 4 отображена средняя загрузка станций в течение недели, по которой видно, что она прямо не соотносится с данными на рисунке 3. Этот эффект объясняется тем, что в некоторые дни водители заряжают более короткими сессиями.



Рис. 4. Среднее количество зарядок в течение недели

На рис. 5 отображено среднее количество зарядных сессий в течение рабочего дня, которые показывают, что в «часы пик» пользователи не обладают временем зарядиться долго и совершают короткие сессии.

В ходе эксперимента разработанная модель РСОИ с электрозаправочными станциями на основе сетей Петри указала на необходимость уточнения модели и оптимизации процессов зарядки, а также неэффективное использование ресурсов зарядной инфраструктуры.

В целом, проведение экспериментального исследования модели РСОИ с электрозаправочными позволили выявить возможности для улучшения работы системы.

Однако, в процессе исследования также были выявлены некоторые ограничения применения сетей Петри в моделировании РСОИ с электрозаправочными станциями. Например, сложность моделирования может возникнуть при учете больших объемов данных или при использовании специфических алгоритмов работы станций. Также, требуется проведение дополнительных исследований для определения оптимальных параметров модели.

Заключение

Сети Петри предоставляют возможность точно и реалистично отразить основные процессы в данной систе-

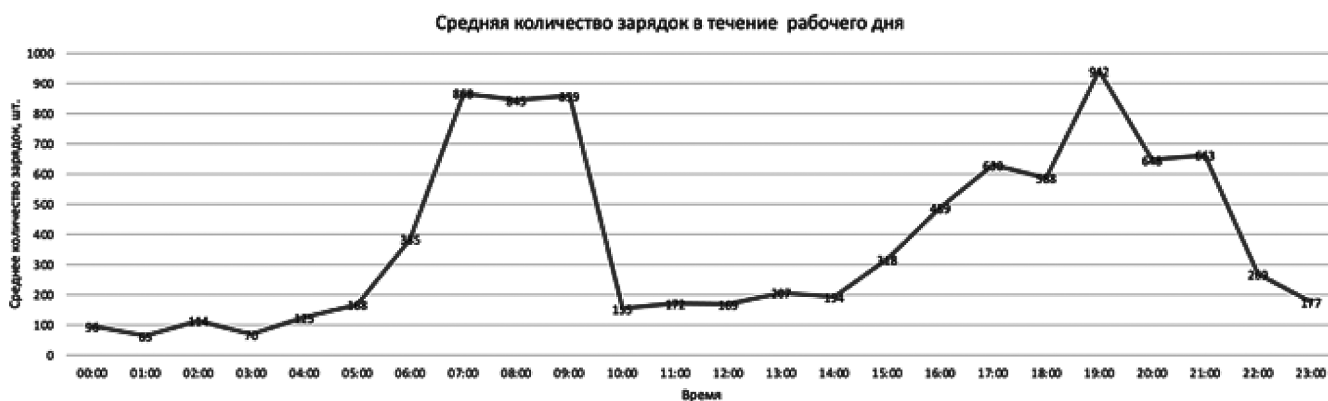


Рис. 5. Средняя количество зарядных сессий в течение рабочего дня

ме и прогнозировать ее работу в различных условиях. Это исследование имеет высокий потенциал и важность для науки, поскольку подтверждает значимость сетей Петри в моделировании работы РСОИ с электрозаправочными станциями.

Однако, необходимо учитывать выявленные ограничения и применять сети Петри в моделировании работы РСОИ с электрозаправочными станциями с осторожностью. Рекомендуется проводить тщательный анализ и верификацию моделей, учитывая специфические особенности системы и требования конкретного исследования.

В целом, данное исследование подчеркивает потенциал и значение сетей Петри в моделировании работы РСОИ с электрозаправочными станциями. Однако, для дальнейшего улучшения применимости и надежности этого метода в анализе и управлении подобными системами, рекомендуется проведение дополнительных исследований и экспериментов. Это позволит дальше развивать и оптимизировать использование сетей Петри в контексте РСОИ с электрозаправочными станциями, что является важным вкладом в научное сообщество и практическую область применения данной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith, John. «Application of Petri Nets for Modeling the Operation of Smart Grids.» *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 45 (2013): 123–135.
2. Johnson, Sarah, et al. «Modeling and Simulation of Electric Vehicle Charging Stations using Petri Nets.» *IEEE Transactions on Smart Grid* 10.4 (2019): 4567–4575.
3. Lee, David, and Emily Chen. «Petri Net-Based Modeling and Analysis of Charging Station Management Systems.» *Proceedings of the International Conference on Computational Science and Its Applications*. Springer, Cham, 2018.
4. Zhang, Wei, et al. «Modeling and Analysis of Electric Vehicle Charging Infrastructure using Colored Petri Nets.» *Journal of Power Sources* 305 (2016): 12–20.
5. Wang, Xiaojun, et al. «Modeling and Simulation of Electric Vehicle Charging Stations with Petri Nets.» *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Informatics*. IEEE, 2017.
6. Chen, Li, et al. «Modeling and Analysis of Electric Vehicle Charging Station Operations using Petri Nets.» *Proceedings of the International Conference on Advanced Engineering and Technology*. Atlantis Press, 2019.
7. Li, Jun, et al. «Modeling and Simulation of Electric Vehicle Charging Infrastructure using Timed Petri Nets.» *Journal of Power Sources* 321 (2016): 1–9.
8. Park, Jongho, et al. «Modeling and Analysis of Electric Vehicle Charging Station Operations with Colored Petri Nets.» *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Informatics*. IEEE, 2018.
9. Liu, Wei, et al. «Modeling and Simulation of Electric Vehicle Charging Stations based on Stochastic Petri Nets.» *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. Springer, Singapore, 2019.
10. Chen, Yifan, et al. «Modeling and Analysis of Electric Vehicle Charging Infrastructure using Hybrid Petri Nets.» *Journal of Power Sources* 372 (2017): 263–271.

© Андреев Александр Алексеевич (andreev.business.mail@gmail.com); Рудаков Игорь Владимирович (irudakov@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»