

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИМИТАЦИЯ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫХ СИСТЕМ

О.С. Цыба¹, К.О. Волкова¹, Н.Ю. Юдина¹

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

Аннотация. В статье рассматриваются мотивация, применение и преимущества стохастических сетей Петри в качестве инструмента для оценки надежности сложных систем. Хотя этот подход известен в академической среде, он еще не получил широкого распространения в промышленных приложениях, несмотря на его очевидные преимущества. Здесь предложены результаты, которые используются при оценке работоспособности системы. Для получения представленных результатов были использованы методы численного анализа.

Ключевые слова: Надежность, моделирование, имитация, цепи Маркова, стохастические сети Петри, программные инструменты.

MODELING AND SIMULATION OF RELIABILITY OF COMPLEX DYNAMIC DISCRETE-EVENT SYSTEMS

O.S. Tsyba¹, K.O. Volkova¹, N.Yu. Yudina¹

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

Abstract. The article discusses the motivation, application and advantages of stochastic Petri nets as a tool for evaluating the reliability of complex systems. Although this approach is known in academia, it has not yet been widely adopted in industrial applications, despite its obvious advantages. Here are the results that are used in assessing the performance of the system. Numerical analysis methods were used to obtain the presented results.

Keywords: Modeling, simulation, Markov chains, stochastic Petri nets, software tools.

Надежность является важным нефункциональным требованием ко многим искусственным системам, особенно когда отказы могут привести к катастрофическим событиям. Когда такие системы слишком сложны для понимания и проектирования одним человеком, результирующее влияние локальных проектных решений на общие свойства системы не очевидно.

Возможность использования математических моделей позволит дать описание таких систем и определить надежность с использованием соответствующего программного обеспечения. Вероятностные модели позволяют учесть случайные факторы, включая неизбежные неисправности. Статистические данные о прошлых событиях и отказах в системе могут быть использованы для оценки вероятности отказа в будущем. Для снижения затрат на резервирование необходимо разработать оптимальные стратегии. Математическое моделирование и анализ позволяют определить оптимальные решения, удовлетворяющие требованиям надежности и безопасности, при минимальных затратах. Использование всех этих методов и инструментов в сочетании может помочь улучшить математические модели и оценить надежность систем с учетом сложного поведения и неизбежных неисправностей. Он также позволит оптимизировать систему с точки зрения требований к надежности и затратам ресурсов.

В зависимости от сложности поведения системы и соответствующего размера пространства состояний, цепи Маркова и стохастические сети Петри применяются для решения задач надежности. Они являются привлекательными моделями до тех пор, пока лежащее в основе предположение о марковском поведении является реалистичным (фазовые распределения могут имитировать другие до определенной точности, но за это приходится платить еще большим пространством состояний). Сети Петри были приняты в качестве предлагаемого инструмента для проектирования надежности сложных систем в международном стандарте недавно.

Однако немарковские распределения задержек (необходимые, например, в случае детерминированных сроков или циклов технического обслуживания) характерны для технических систем. Стохастические классы сетей Петри, допускающие их, существуют, и они могут быть использованы для оценки надежности. Однако имеются ограничения в численном анализе, что ограничивает их применимость только в некоторых случаях.

Имитационное моделирование является альтернативным методом оценки, но его основная проблема заключается в вычислительных затратах для генерации достаточного количества состояний отказа и достижения статистической достоверности оценок. Эта проблема, известная как симуляция редких событий, имеет два основных подхода: важность выборки и расщепление. Целью этих подходов является увеличение частоты редкого события для получения более значимых выборок из того же количества сгенерированных событий.

При использовании методов, которые могут быть автоматизированы и использованы в промышленных приложениях, предпочтительнее использовать подход расщепления, так как он требует меньшего понимания деталей модели. Более того, для алгоритма RESTART существуют эффективные и надежные реализации, которые могут быть использованы для решения данной проблемы

В качестве примеров сложных систем можно привести системы из различных областей применения. Гибридные электромобили являются растущей областью применения для проектирования систем на основе моделей. Среди прочих вопросов, управление батареей важно для баланса между сроком службы батареи, энергоэффективностью и безопасностью дорожного движения.

Управление движением поездов, очевидно, является очень важной с точки зрения безопасности задачей, в которой проектирование на основе моделей может помочь достижению необходимой надежности при эффективном использовании ресурсов. Внедряемая в настоящее время Европейская система управления движением поездов ETCS является серьезным сдвигом в управлении поездами. Зависимость между нарушением сроков в реальном времени и подверженной сбоям беспроводной связью в условиях высокой безопасности может быть оценена на основе стохастических сетей Петри. На рисунке 1 представлен пример модели из этого примера.

Доставка точно в срок и тонкое планирование производства позволяют экономить складские расходы. Однако это ставит производство в зависимость от надежной и своевременной доставки деталей. Логистика становится все более важной, чтобы избежать дорогостоящих простоев оборудования. Надежные цепочки поставок могут быть разработаны на основе цветных стохастических сетей Петри.

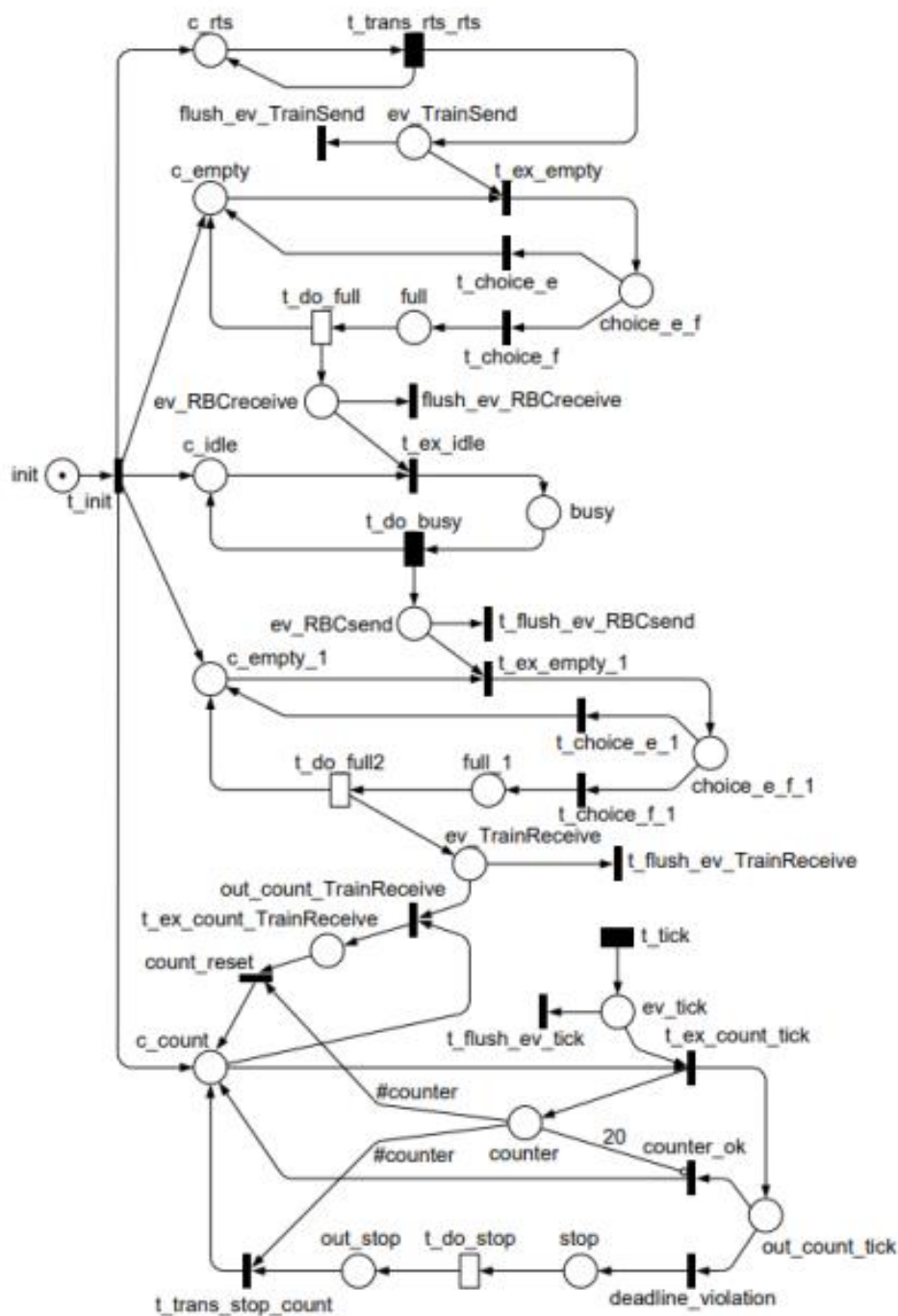


Рисунок 1. Стохастическая сеть Петри для связи ETCS и задержки контрольных сообщений

Сети Петри являются ценным инструментом для моделирования и оценки показателей надежности сложных систем, сравнивая их с классическими моделями надежности. СПП могут быть использованы для оценки надежности сложных систем и моделирования редких событий. Их преимущества включают возможность моделирования сложных процессов со стохастическими элементами и оценку риска редких событий.

Хотя этот подход еще не получил широкого распространения в промышленности, последовательное применение ССП может привести к повышению эффективности управления надежностью сложных систем в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Антонов, С. Г. Методика инструментально-расчетной оценки устойчивости объектов критической информационной инфраструктуры при информационно-технических воздействиях / С. Г. Антонов, И. И. Анциферов, С. М. Климов // Надежность. – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 35-41. – DOI 10.21683/1729-2646-2020-20-4-35-41. – EDN UKLVWW.
2. Гринь, А. Г. Цепи Маркова / А. Г. Гринь. – Омск : Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2019. – 42 с. – ISBN 978-5-7779-2420-9. – EDN SCMFKE.
3. Гусейнзаде, Ш. С. Моделирование с применением интегрированных стохастических сетей Петри / Ш. С. Гусейнзаде // Информационные технологии. Проблемы и решения. – 2019. – № 2(7). – С. 30-37. – EDN WYQHQR.
4. 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.
5. Юров, А.Н. Проектирование автоматизированной системы производственных планировок / А.Н. Юров // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 87-93.
6. 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.
7. Новикова, Т.П. Разработка и исследование базовой модели PERT для планирования работ по проекту / Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова, А.И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 75-81. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-4-75-81.

References

1. Antonov, S. G. Methodology for instrumental-calculation assessment of the stability of critical information infrastructure objects under information and technical impacts
2. Grin, A. G. Markov chains / A. G. Grin. – Omsk: Omsk State University named after. F.M. Dostoevsky, 2019. – 42 p. – ISBN 978-5-7779-2420-9. – EDN SCMFKE.
3. Huseynzade, Sh. S. Modeling using integrated stochastic Petri nets / Sh. S. Huseynzade // Information technologies. Problems and solutions. – 2019. – No. 2(7). – P. 30-37. – EDN WYQHQR.
4. Yudina, N.Yu. Determination of control influences and energy consumption during programmed movement of the manipulator / N.Yu. Yudina, I.S. Kuscheva, T.V. Skvortsova // Modeling of systems and processes. – 2021. – T. 14, No. 4. – P. 122-129. – DOI:10.12737/2219-0767-2021-14-4-122-129.
5. Yurov, A.N. Design of an automated production planning system / A.N. Yurov // Modeling of systems and processes. – 2019. – T. 12, No. 1. – P. 87-93.
6. Intelligent management of information systems under conditions of uncertainty / Yu.V. Minin, V.E. Diedrich, A.Yu. Grechushkina, S.A. Kopylov // Modeling of systems and processes. – 2018. – T. 11, No. 1. – P. 38-42.
7. Novikova, T.P. Development and research of the basic PERT model for planning project work / T.P. Novikova, S.A. Evdokimova, A.I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2021. – T. 14, No. 4. – P. 75-81. – DOI: 10.12737/2219-0767-2021-14-4-75-81.