

## Об эффективном алгоритме построения матрицы инцидентности фундаментального уравнения компонентной сети Петри с учетом временной характеристики

ЛУКЬЯНОВА Е. А.

*Физико-технический институт, ФГАОУ ВО "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского" (Симферополь, Россия)*

*E-mail: lukyanovaea@mail.ru*

БОЧКО А. Ю.

*Физико-технический институт, ФГАОУ ВО "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского" (Симферополь, Россия)*

Удобным формализмом для построения моделей реальных объектов, систем индустриального типа — распределённых систем различного уровня сложности и внутренней организации, является математический аппарат сетей Петри и его различных расширений, в том числе — сетей Петри с учётом временной характеристики [1], компонентных сетей Петри [2] и компонентных сетей Петри с учётом временной характеристики [3]. Требования, предъявляемые к модели: 1) адекватность исследуемой системе; 2) размеры, позволяющие провести её эффективный анализ; 3) возможность установления свойств модели для дальнейшей интерпретации в характеристике системы. Мощным средством исследования свойств моделей Петри являются  $S$ - и  $T$ -инварианты или инварианты состояния и инварианты поведения сети Петри с учётом временной характеристики, которые находятся как решения фундаментального уравнения сети — соответствующей системы линейных однородных диофантовых уравнений. Основным, решающим элементом этого уравнения является матрица инцидентности, коэффициенты  $a_{ij}$  которой представляют число фишек (маркеров), которые перемещаются, изменяются и добавляются в место  $p_i$  при срабатывании перехода  $t_j$  в сети (модели).

Моделируемая система характеризуется множеством всех возможных последовательностей действий, которые могут происходить. В распределённых системах отношения местоположений элементов играют существенную роль с точки зрения функционирования системы, её анализа и синтеза. В работе [4] была дана новая трактовка получения модели Петри, ориентированная на список работ (операций), необходимых для достижения ожидаемого результата на каждом шаге функционирования системы, процесса и дальнейших шагов-преобразований, приводящих к построению модели Петри.

В результате проведения работ по построению моделей различных задач, процессов, систем выявлены возможности значительного улучшения имеющегося алгоритма, а именно, перехода от матричной организации данных (ресурсов и событий) исследуемой сложной системы к матрице инцидентности ее сетевой модели — модели Петри. Для этого потребовалось: 1) определить понятие квазисмежности — характеристики организации связи данных, отражающей отношение (квазиарность) между несколькими событиями и действием (действиями) и наоборот; 2) построить матричную организацию данных (ресурсов и событий) исследуемой системы согласно введенной квазисмежности; 3) сформировать последовательность шагов эффективного перехода от матричной организации к матрице инцидентности сетевой модели Петри.

При этом проблема экспоненциального роста состояний модели решается переходом от полученной матрицы инцидентности к соответствующей усеченной матрице [5] инцидентности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Penzhek W. *Advances in Verification of Time Petri Nets and Timed Automata. A temporal logic approach* / W. Penzhek, A. Potrola. – Berlin: Springer-Verlag, 2006. – Vol. 20. – 280 p.
- [2] Лукьянова Е.А. *Исследование однотипных структурных элементов CN–сети в процессе компонентного моделирования и анализа сложной системы с параллелизмом* / Е.А. Лукьянова, А.В. Дереза. // Кибернетика и системный анализ, 2012. – № 6. – С. 20-29.
- [3] Лукьянова Е.А. *О специальном отношении на множестве вершин временной модели сложной системы* / Е.А. Лукьянова, А.В. Дереза. – Материалы XXIX Международной научно-технической конференции Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации. СПб: ГУАП, 2020. – С. 191 – ISBN 978-5-98803-4353.
- [4] Лукьянова Е.А. *О сетевом моделировании в медицинской области* / Е.А. Лукьянова, А.Ю. Бочко. // Сборник научных трудов МИКМО. – 2024. – С. 277-283.
- [5] Лукьянова Е.А. *ГО структурировании задействованной дискретной информации моделей Петри с целью ускорения вычисления инвариантов* / Е.А. Лукьянова, А.В. Дереза. // ТВИМ – 2017. – № 2(35). – С. 62-71.

### Приложение многоагентной маршрутизации к задаче доставки товаров

МАКАРОВ О. О., КОЗЛОВА М. Г.

*Физико-технический институт, ФГАОУ ВО "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского" (Симферополь, Россия)*

*E-mail: fantom2.00@mail.ru*

Рассматриваемые многоагентные задачи маршрутизации на сложных (большой размерности) сетевых структурах относятся к  $NP$ -трудным задачам дискретной оптимизации. Представляет интерес подход, основанный на решении близких задач, который опирается на систему «задача — близкая задача — алгоритм».

Авторами описаны этапы формирования решения оригинальной задачи  $TSP_j$  по близкой  $\widetilde{TSP_j}$  (Traveling Salesman Problem, задача коммивояжера). В качестве близости задач понимается близость их математических моделей и близость участвующих в решении фрагментов сложной сети. Метод определения близости фрагментов (кластеров  $C_j$ ) состоит в нахождении взвешенного метрического расстояния между векторами метаэвристических параметров соответствующих графов [1].

В данной работе приведен эксперимент, направленный на подтверждение гипотезы, что векторы метрических характеристик у близких задач находятся на небольшом расстоянии друг от друга. Также описаны вспомогательные эксперименты, показывающие максимальное допустимое различие между графами, при котором будем