Труды МАИ. 2023. № 131
Trudy MAI, 2023, no. 131

Научная статья
УДК 681.5.09
DOI: 10.34759/trd-2023-131-22

МОДЕЛЬ КОРРЕКЦИИ НАЧАЛЬНОЙ МАРКИРОВКИ КЛАССИЧЕСКОЙ СЕТИ ПЕТРИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИСКРЕТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Дмитрий Александрович Павлов[1], Антон Михайлович Попов[2]✉,
Владимир Викторович Ткаченко[3]
[1,2,3]Военно-космическая Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт Петербург, Россия
[2]vka@mil.ru✉

Аннотация. При моделировании различных параллельных асинхронных процессов нередко используется аппарат на основе классической сети Петри, который позволяет наглядно показать переход системы от состояния к событию, установить причинно-следственные связи между состояниями моделируемой системы, дает возможность производить формальный анализ свойств модели и отражать результаты полученного анализа на реальные свойства системы. Однако когда объем моделируемой системы велик и анализ свойств сети Петри дает некорректный результат, необходимо внести изменения в сформированную модель, но определить место, которое необходимо скорректировать в модели задача не простая, придется анализировать отношения

между всеми позициями и переходами вместе с начальной, промежуточными и конечной маркировкой сети поэтапно: от исходного до конечного состояния.

В данной статье предлагается формальный подход к коррекции начальной маркировки сети Петри для достижения сетью конечного состояния, т.е. корректного выполнения свойства достижимости сети путем решения задачи дискретного программирования.

Задача дискретного программирования будет решаться в случае невыполнения свойства достижимости сети Петри, т.е. когда решение уравнения достижимости будет отлично от $X \in Z^n$. После нахождения необходимого решения осуществляется операция обратного преобразования системы линейных уравнений в уравнение достижимости, для выделения из него скорректированного вектора начальный маркировки. Коррекция вектора начальной маркировки необходима для перехода сети в требуемое (конечное) состояние.

Данный подход может быть использован для коррекции различного рода исходных данных, поступающих на вход моделируемой системы, коррекции управляющих воздействий на систему, а также коррекций количественных составляющих отдельных состояний моделируемой системы.

Ключевые слова: сеть Петри, анализ свойств сетей Петри, начальная маркировка, коррекция ошибок, дискретное программирование

Для цитирования: Павлов Д.А., Попов А.М., Ткаченко В.В. Модель коррекции начальной маркировки классической сети Петри на основе решения задачи дискретного программирования // Труды МАИ. 2023. № 131. DOI: 10.34759/trd-2023-131-22

Original article

A MODEL FOR CORRECTING THE INITIAL MARKING OF A CLASSICAL PETRI NET BASED ON SOLVING A DISCRETE PROGRAMMING PROBLEM

Dmitry A. Pavlov[1], Anton M. Popov[2]✉, Vladimir V. Tkachenko[3]

[1,2,3]Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky,

Saint Petersburg, Russia

[2]vka@mil.ru✉

Abstract. Apparatus based on the classical Petri net is being employed quite often while modeling various parallel asynchronous processes. This apparatus allows demonstrating the system transition from state to event, establishing cause-and-effect relations between the states of the system being modeled. It offers an opportunity to perform formal analysis of the model properties and reflect the results of the obtained analysis on the real properties of the system. However, when the modeled system volume is large enough, and Petri net properties analysis produces incorrect result, changes should be introduced into the formed model, though detecting the place, which requires correction, is not an easy task. It will be necessary to analyze relations between all positions and transitions together with initial, intermediate and final marking stage-by-stage, namely from the initial to the final state.

This article proposes a formal approach to the initial marking correction of the Petri net so as the network would reach the final state, i.e. correct fulfilling of the reachability property of the network by solving the discrete programming problem.

The discrete programming problem will be solved in the case of the Petri net reachability property unfulfillment, i.e. when the reachability equation solution will differ from $X \in Z^n$. After the necessary solution finding, the reverse conversion operation of the system of linear equations into the reachability equation is being accomplished to discriminate the corrected vector of the initial marking from it. Correction of the initial marking vector is necessary for the net transition to the required (final) state.

The said approach may be employed for various type initial data correction, as well as corrections of the quantitative components of separate states of the system being modeled.

***Keywords**:* Petri net, Petri net properties analysis, initial labeling, error correction, discrete programming

For citation: Pavlov D.A., Popov A.M., Tkachenko V.V. A model for correcting the initial marking of a classical Petri net based on solving a discrete programming problem. *Trudy MAI*, 2023, no. 131. DOI: 10.34759/trd-2023-131-22

Введение

Сеть Петри состоит из четырех элементов: множество *позиций* P, множество *переходов* T, *входная* функция I и *выходная* функция O. Входная и выходная функции связаны с переходами и позициями. Входная функция I отображает переход t_j в множество позиций $I\ (t_j)$, называемых входными позициями перехода. Выходная функция O отображает переход t_j в множество позиций $O(t_j)$, называемых выходными позициями перехода. Структура сети Петри определяется ее позициями, переходами, входной и выходной функциями [1-3].

Сеть Петри C является четверкой $C = (P, T, I, O)$. $P = \{p_1, p_2,\ldots, p_n\}$ – конечное множество *позиций*, $n \geq 0$. $T = \{t_1,t_2,\ldots,t_m\}$ – конечное множество *переходов*, $m \geq 0$. Множество позиций и множество переходов не пересекаются, $P \cap T = \emptyset$. I: $T\rightarrow P^{\infty}$ является входной функцией – отображением из переходов в комплекты позиций. O: $T\rightarrow P^{\infty}$ есть выходная функция – отображение из переходов в комплекты позиций.

Мощность множества P есть число n, а мощность множества T есть число m. Произвольный элемент P обозначается символом p_i, $i = 1, \ldots, n$, а произвольный элемент T – символом t_j, $j = 1, \ldots, m$.

Маркировка μ есть присвоение фишек позициям сети Петри. Фишка – это примитивное понятие сетей Петри (подобно позициям и переходам). Фишки присваиваются (можно считать, что они принадлежат) позициям [4-6]. Количество и положение фишек при выполнении сети Петри могут изменяться. Фишки используются для определения выполнения сети Петри.

Маркировка μ сети Петри $C = (P, T, I, O)$ есть функция, отображающая множество позиций P в множество неотрицательных целых чисел N. $\mu: P \rightarrow N$. Маркировка μ может быть также определена как n-вектор $\mu = (\mu_1, \mu_2, \ldots, \mu_n)$, где $n = |P|$ и каждое $\mu_i \in N$, $i = 1,\ldots, n$. Вектор μ определяет для каждой позиции p_i сети Петри количество фишек в этой позиции. Количество фишек в позиции p_i есть μ_i, $i = 1, \ldots, n$. Связь между определениями маркировки как функции и как вектора очевидным образом устанавливается соотношением $\mu(p_i) = \mu_i$. Обозначение ее в виде функции является несколько более общим и поэтому употребляется гораздо чаще.

Маркированная сеть Петри $M = (C, \mu)$ есть совокупность структуры сети Петри $C = (P, T, I, O)$ и маркировки μ и может быть записана в виде $M = (P, T, I, O, \mu)$ [7-9].

Основная часть

Рассмотрим процесс, который можно охарактеризовать сетью Петри, представленной на рисунке.

В рамках сформированной модели необходимо получить требуемую конечную маркировку сети, вектор которой будет равен (0,0,0,0,0,0,1) (вектор указывает на наличие фишки в позиции P_7). При этом начальная маркировка будет некорректна, из-за чего требуемой (конечной) маркировки достичь не удастся (корректной является начальная маркировка (1,5,1,0,0,0,0), а на рисунке начальная маркировка (1,2,1,0,0,0,0), указывает на наличие ошибки в позиции P_2).

Поскольку речь идет о требуемой конечной маркировке сети, будем анализировать сформированную сеть на свойство достижимости [10-12].

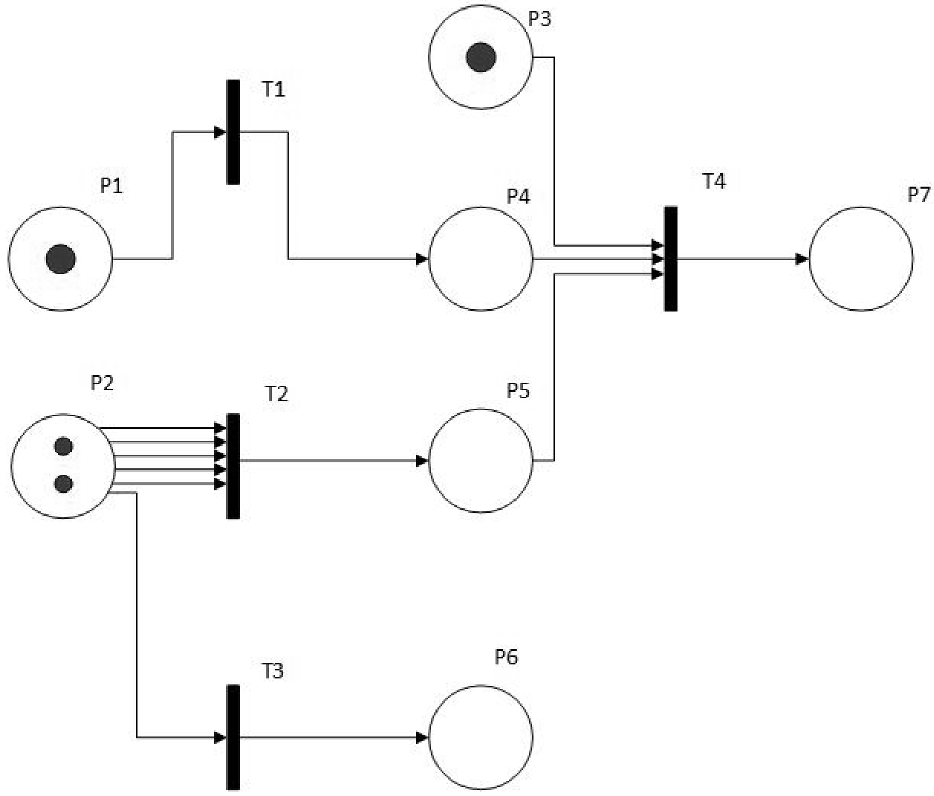

Рисунок — Модель процесса в классической сети Петри.

Для анализа свойств сети, представленной на рисунке 1, построим матрицы входных и выходных инциденций, которые будут иметь вид:

$$D^{-}=\begin{array}{c|ccccccc} & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & p_6 & p_7 \\ t_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_2 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_3 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_4 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{array} \qquad (1)$$

$$D^{+}=\begin{array}{c|ccccccc} & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & p_6 & p_7 \\ t_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ t_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ t_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ t_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \qquad (2)$$

На основании полученных матриц вычислим матрицу инцидентности по формуле:

$$D = D^{+} - D^{-} \tag{3}$$

$$D = \begin{matrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -5 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 1 \end{matrix} \tag{4}$$

Для анализа свойства достижимости сети, представленной на рисунке 1, решим следующее уравнение:

$$\mu^{'T} = \mu^{T} + e^{T}[i] \cdot D \ , \tag{5}$$

где $\mu^{'T}$ – вектор-строка, характеризующая требуемую (конечную) маркировку сети;

μ^{T} – вектор-строка, характеризующая начальную маркировку сети;

$e^{T}[i]$ — вектор-строка, значения которой определяют номера и количество срабатываний переходов, переводящих сеть из μ^{T} в $\mu^{'T}$;

D — матрица инцидентности.

Заранее зная требуемую, интересующую нас маркировку, запишем уравнение:

$$(0,0,0,0,0,0,1) = (1,2,1,0,0,0,0) + \left(x_1, x_2, x_3, x_4\right) \cdot \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -5 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \tag{6}$$

Сводя (6) к системе линейных уравнений, получим следующее выражение:

$$(-1,-2,-1,0,0,0,1) = \left(-x_1, -5x_2 - x_3, -x_4, x_1 - x_4, x_2 - x_4, x_3, x_4\right) \tag{7}$$

$$\begin{cases} -x_1 = -1 \\ -5x_2 - x_3 = -2 \\ -x_4 = -1 \\ x_1 - x_4 = 0 \\ x_2 - x_4 = 0 \\ x_3 = 0 \\ x_4 = 1 \end{cases}, \begin{cases} x_1 = 1 \\ 5\cdot 1 + 0 - 2 = 0 \\ x_4 = 1 \\ x_1 = x_4 \\ x_2 = x_4 \\ x_3 = 0 \\ x_4 = 1 \end{cases}, \begin{cases} x_1 = 1 \\ 3 \neq 0 \\ x_4 = 1 \\ x_1 = x_4 \\ x_2 = x_4 \\ x_3 = 0 \\ x_4 = 1 \end{cases} \tag{8}$$

Как видно из полученной системы линейных уравнений, во всех уравнениях, кроме второго, равенство соблюдается, однако данная система не имеет решения.

Модель коррекции начальной маркировки

Сведем полученное в результате анализа свойства достижимости сети Петри, представленной на рисунке 1, решение к задаче дискретного программирования [13-16].

Поскольку в данном примере мы корректируем начальную маркировку, которая в сети Петри на рисунке 1 выражена в виде фишек в позициях, а в системе уравнений представлена свободными членами, необходимо таким образом исправить свободный коэффициент в полученной системе линейных уравнений, чтобы она имела удовлетворяющее нас решение, а именно $X \in Z^n$ [17-20]. Для модели, представленной на рисунке 1, изменение свободного коэффициента в системе уравнений (8) будет означать изменение фишек в позициях (вектора начальной маркировки). Менять будем таким образом, чтобы получить минимальное количество фишек, которые необходимо изменить (добавить или вычесть), чтобы сеть перешла в требуемое (конечное) состояние.

В таком случае, модель коррекции начальной маркировки в сети Петри будет иметь следующий вид:

$$J = \sum_{j=1}^{n} (d_j^+ + d_j^-) \to \min \tag{9}$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} \alpha_{i1} x_i + d_1^+ - d_1^- = -b_1 \\ \sum_{i=1}^{n} \alpha_{i2} x_i + d_2^+ - d_2^- = -b_2 \\ \ldots \\ \sum_{i=1}^{n} \alpha_{in} x_i + d_n^+ - d_n^- = -b_n \end{cases} \tag{10}$$

$$d_j^+, d_j^- \in \mathrm{Z}, \forall j \in [1, n] \tag{11}$$

где J – поправка, необходимая для решения системы уравнений с учетом ограничений на целочисленность $X \in Z^n$, $X = \left\| x_i : i \in \overline{1,n} \right|, \left| \left(d_j^+, d_j^- \right) : j \in \overline{1,n} \right\|$;

d_j^+ – «положительная» поправка для i -го уравнения;

d_j^- – «отрицательная» поправка для i -го уравнения;

α_{in} – коэффициент перед x в системе уравнений;

b – свободный коэффициент в системе уравнений;

n — количество уравнений в системе.

Подставляя в предложенную модель коррекции начальной маркировки (9,10,11) исходные данные из (8), система уравнений (8) примет вид:

$$\begin{cases} -x_1 = -1 \\ -5x_2 - x_3 = -2 - 3 \\ -x_4 = -1 \\ x_1 - x_4 = 0 \\ x_2 - x_4 = 0 \\ x_3 = 0 \\ x_4 = 1 \end{cases} \tag{12}$$

Последовательно проведем обратную операцию для получения выражения (5), с учетом выполненных нами изменений. Получим:

$$\left(-1,-5,-1,0,0,0,1\right) = \left(-x_1, -5x_2 - x_3, -x_4, x_1 - x_4, x_2 - x_4, x_3\ , x_4\right) \tag{13}$$

Далее необходимо из разности маркировок $\Delta\mu$ (левая часть выражения (13)), получить начальную путем вычета требуемой (конечной) маркировки:

$$\Delta\mu = e^T[i] \cdot D \tag{14}$$

$$\Delta\mu = \mu^{'T} - \mu^T \tag{15}$$

$$\mu^T = \mu^{'T} - \Delta\mu \tag{16}$$

Получим:

$$\mu^T = \left(0,0,0,0,0,0,1\right) - \left(-1,-5,-1,0,0,0,1\right) = \left(1,5,1,0,0,0,0\right) \tag{17}$$

$$\left(0,0,0,0,0,0,1\right) = \left(1,5,1,0,0,0,0\right) + \left(x_1, x_2, x_3, x_4\right) \cdot \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -5 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \tag{18}$$

Получаем выражение (18), где в векторе μ^T видны изменения, полученные при выполнении обратного преобразования в выражение (5). Сравнивая полученное выражение (18) с начальным выражением (6), обнаруживаем различия в векторе начальной маркировки, а именно в маркировке позиции P_2.

Заключение

Таким образом, был смоделирован процесс, который можно охарактеризовать сетью, представленной на рисунке 1, проведен анализ свойства достижимости полученной сети, решена задача дискретного программирования для поиска места коррекции системы уравнений, выполнена операция обратного преобразования, для получения скорректированной начальной маркировки. Однако стоит отметить, что предложенный подход коррекции начальной маркировки будет являтся необходимым, но не достаточным условием для достижения сетью конечного состояния. Чтобы гарантированно переходить в конечное состояние сеть не должна иметь конфликтных переходов, т.е. из одного состояния не должно быть отношений с несколькими переходами сети.

Данный подход можно использовать для поиска ошибок в маркировке сети Петри, а также анализа системы на возможность ее перехода в требуемое состояние.

Список источников

1. Веретельникова Е.Л. Теоретическая информатика. Теория сетей Петри и моделирование систем. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 82 с.

2. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.

3. Шмелев В.В. Мануйлов Ю.С. Применение модифицированных сетей Петри к моделированию процесса послеполетного анализа телеметрической информации // Труды МАИ. 2015. № 84. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=63140

4. Шмелёв В.В., Николаев А.Ю., Самойлов Е.Б. Методика оперативного диагностирования системы управления расходованием топлива ракет-носителей типа "Союз-2" на основе функционально-логических схем обработки телеметрической информации в режиме реального времени // Авиакосмическое приборостроение. 2022. № 5. С. 34-46.

5. Николаев А.Ю., Самойлов Е.Б., Шмелев В.В. Модель выявления семантических ошибок в алгоритмах первичной обработки телеметрической информации космических средств // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. 2022. № 632. С. 139-148.

6. Шмелёв В.В., Зиновьев В.Г., Зайцев Д.О. Обоснование методики мониторинга технического состояния ракет-носителей с компенсацией искажений процесса телеизмерений // Информация и Космос. 2019. № 4. С. 145-151.

7. Шмелев В.В., Копкин Е.В., Самойлов Е.Б. Порядок формирования требований к качеству обработки измерительной информации ракетно-космической техники // Вооружение и экономика. 2018. № 2. С. 23-28.

8. Шмелев В.В., Ткаченко В.В. Систематизация требований к разработке перспективных аппаратно-программных комплексов обработки телеметрической информации ракетно-космической техники // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2015. № 646. С. 38-46.

9. Медведев В.О., Рудаков И.В. Верификация программного обеспечения формализованного сетью Петри // Современные научные исследования и разработки. 2017. № 7 (15). С. 230-233.

10. Шмелев В.В., Николаев А.Ю., Попов А.М. Поиск путей решения задачи моделирования алгоритмов обработки телеметрической информации для их дальнейшей верификации // Труды ФГУП «НПЦАП». Системы и приборы управления. 2023. № 2. С. 12-20.

11. Попов А.М., Шмелев В.В., Ткаченко В.В. Анализ задачи верификации алгоритмов обработки телеметрической информации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 1. С. 3-8.

12. Рудаков И.В., Медведев В.О. Алгоритм верификации программного обеспечения с помощью иерархических сетей Петри // Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 1 (91). С. 74-77.

13. Uh Yu. Gong L.S., Liu H.K. Knowledge representation and reasoning using fuzzy Petri nets: Literature review and bibliometric analysis // Artificial Reverberation, 2023, vol. 56, pp. 6241-6265.

14. Баркалов С.А., Глушков А.Ю., Моисеев С.И. Решение задачи распределения ресурсов дискретного типа методами линейного программирования // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2020. Т. 20. № 2. С. 26-35.

15. Бортаковский А.С., Щелчков К.А. Задачи группового быстродействия летательных аппаратов // Труды МАИ. 2018. № 99. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=92021

16. Шиндина Е.А., Уразаева Т.А. Применение метода ветвей и границ для решения задачи целочисленного линейного программирования // Научному прогрессу – творчество молодых. 2016. № 3. С. 319-321.

17. Осипов Г.С. Решение простейших нечетких задач целочисленного линейного программирования // Инновационная наука. 2016. № 1-2 (13). С. 99-108.

18. Смагин Б.И., Машин В.В. Критический анализ решения задачи целочисленного линейного программирования методом Гомори // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 1.

19. Шмелев В.В. Решение оптимизационной задачи на сетевой модели технологического процесса // Труды МАИ. 2016. № 88. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=70696

20. Москвин Б.В. Теория принятия решений. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. – 364 с.

References

1. Veretel'nikova E.L. *Teoreticheskaya informatika. Teoriya setei Petri i modelirovanie sistem* (Theoretical computer science. Petri nets theory and system modeling), Novosibirsk, Izd-vo NGTU, 2018, 82 p.

2. Kotov V.E. *Seti Petri* (Petri Nets), Moscow, Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoi literatury, 1984, 160 p.

3. Shmelev V.V. Manuilov Yu.S. *Trudy MAI*, 2015, no. 84. URL: https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=63140

4. Shmelev V.V., Nikolaev A.Yu., Samoilov E.B. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2022, no. 5, pp. 34-46.

5. Nikolaev A.Yu., Samoilov E.B., Shmelev V.V. *Trudy VKA im. A.F. Mozhaiskogo*, 2022, no. 632, pp. 139-148.

6. Shmelev V.V., Zinov'ev V.G., Zaitsev D.O. *Informatsiya i Kosmos*, 2019, no. 4, pp. 145-151.

7. Shmelev V.V., Kopkin E.V., Samoilov E.B. *Vooruzhenie i ekonomika*, 2018, no. 2, pp. 23-28.

8. Shmelev V.V., Tkachenko V.V. *Trudy Voenno-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhaiskogo*, 2015, no. 646, pp. 38-46.

9. Medvedev V.O., Rudakov I.V. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki*, 2017, no. 7 (15), pp. 230-233.

10. Shmelev V.V., Nikolaev A.Yu., Popov A.M. *Trudy FGUP «NPTsAP». Sistemy i pribory upravleniya*, 2023, no. 2, pp. 12-20.

11. Popov A.M., Shmelev V.V., Tkachenko V.V. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2023, no. 1, pp. 3-8.

12. Rudakov I.V., Medvedev V.O. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, 2019, no. 1 (91), pp. 74-77.

13. Uh Yu. Gong L.S., Liu H.K. Knowledge representation and reasoning using fuzzy Petri nets: Literature review and bibliometric analysis, *Artificial Reverberation*, 2023, vol. 56, pp. 6241-6265.

14. Barkalov S.A., Glushkov A.Yu., Moiseev S.I. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 26-35.

15. Bortakovskii A.S., Shchelchkov K.A. *Trudy MAI*, 2018, no. 99. URL: https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=92021

16. Shindina E.A., Urazaeva T.A. *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh*, 2016, no. 3, pp. 319-321.

17. Osipov G.S. *Innovatsionnaya nauka*, 2016, no. 1-2 (13), pp. 99-108.

18. Smagin B.I., Mashin V.V. *Nauka i Obrazovanie*, 2022, vol. 5, no. 1.

19. Shmelev V.V. *Trudy MAI*, 2016, no. 88. URL: https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=70696

20. Moskvin B.V. *Teoriya prinyatiya reshenii* (Theory of decision-making), Saint Petersburg, VKA imeni A.F. Mozhaiskogo, 2014, 364 p.

Статья поступила в редакцию 10.06.2023

Одобрена после рецензирования 13.06.2023

Принята к публикации 28.08.2023

The article was submitted on 10.06.2023; approved after reviewing on 13.06.2023; accepted for publication on 28.08.2023