

Федосеев, А. И. Моделирование учебного процесса в нотации сетей Петри для принятия эффективных управленческих решений / А. И. Федосеев, Л. А. Пономарева, В. С. Заболотникова // Прикладная математика и вопросы управления. – 2024. – № 2. – С. 76–87. DOI 10.15593/2499-9873/2024.4.06

Библиографическое описание согласно ГОСТ Р 7.0.100–2018

Федосеев, А. И. Моделирование учебного процесса в нотации сетей Петри для принятия эффективных управленческих решений / А. И. Федосеев, Л. А. Пономарева, В. С. Заболотникова. – Текст : непосредственный. – DOI 10.15593/2499-9873/2024.4.06 // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2024. – № 4. – С. 76–87.



ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА
И ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ

№ 4, 2024

<https://ered.pstu.ru/index.php/amcs>



Научная статья

DOI: 10.15593/2499-9873/2024.4.06

УДК 004.94:330.47



Моделирование учебного процесса в нотации сетей Петри для принятия эффективных управленческих решений

А.И. Федосеев, Л.А. Пономарева, В.С. Заболотникова

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ,
Институт общественных наук, Москва, Российская Федерация

О СТАТЬЕ

Получена: 26 сентября 2024
Одобрена: 07 октября 2024
Принята к публикации:
28 декабря 2024

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

равноценен.

Ключевые слова:

управление, раскрашенная сеть Петри, тестирование, моделирование, учебный процесс, анализ, задача достижимости, информационный поток, сценарий, модель.

АННОТАЦИЯ

Предложена модель процесса тестирования в нотации раскрашенных сетей Петри. Перед началом моделирования исследованы информационные потоки процесса освоения студентами кафедры прикладных информационных технологий ИОН РАНХиГС дисциплины «Информатика» в нотации IDEF3. В процессе построения модели решалась следующая задача: пусть дана сеть Петри, состоящая из множества позиций $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ и множества переходов $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$. Сеть моделирует процесс тестирования. Тогда существуют такие состояния позиций P , что для каждого перехода T в сети выполнены следующие условия:

1. $\forall t_i \in T: (\forall p_j \in \text{Pred}(t_i): p_j(p_j) = 1) \rightarrow T(P) = 1$, где $\text{Pred}(t_i)$ – множество всех предшествующих позиций перехода t_i .

2. $\forall t_i \in T: t_i(p_i) = 1 \rightarrow (\forall p_j \in \text{Succ}(t_i): p_j(p_j) = 1)$, где $\text{Succ}(t_i)$ – множество всех следующих позиций перехода t_i .

То есть, необходимо формализовать учебный процесс с использованием раскрашенной сети Петри. Найти такую маркировку, которая может быть достигнута в данной раскрашенной сети Петри, удовлетворяющую следующему условию: существует такая последовательность переходов (транзакций), начиная с начальной маркировки, что каждая последующая маркировка получается применением соответствующего перехода к предыдущей маркировке. То есть: $\exists M_0$: (начальная маркировка) $\rightarrow M^*$, где M^* обозначает рефлексивное и транзитивное замыкание отношения переходов в сети Петри.

Решение задачи достижимости маркировки сети дало понятие оптимального сценария проведения контроля освоения компетенций по дисциплине: некоторые задания и вопросы не обязательно включать в тестирование. Приведены различные сценарии контроля успеваемости обучающегося на примере тестирования по дисциплине. Например, один из вариантов сценария тестирования предполагал наличие общего ресурса с вопросами и заданиями по исследуемым пяти темам. В базе находилось 50 вопросов. Ответ на каждый вопрос может быть оценен от нуля до 10 баллов. Тест считается пройденным, если обучающийся набрал не меньше 41 балла. Также фиксировались номера выполненных заданий и вопросы с правильным ответом.

Другой вариант тестирования: по каждой теме 10 вопросов, и фиксировалось время ответа на вопрос (задание).

Проведен матричный анализ модели. Вектор начальной маркировки $\mu(p_i) = \{47, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0\}$ и $\mu_k = \{30, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 41\}$ на момент окончания тестирования. Анализ достижимости маркировки μ_k позволил получить одну из последовательностей срабатывания переходов $U_{k-1} = (t_1, t_3, t_4, t_3, t_3, t_4)$, где переходы $t_1 - t_4$ фиксируют начало и окончание элементарного процесса (например, начало тестирования – окончание тестирования).

Анализ модели позволил исследовать динамику изучения тем дисциплины «Информатика»: сколько раз обучающийся возвращался к повторному прочтению материалов модуля, сколько раз обращался к дополнительному материалу. Мониторы, прикрепленные к переходам, позволили определить время на выполнение каждой операции и составить протоколы изучения дисциплины.

© Федосеев Артем Игоревич – кандидат экономических наук, заведующий кафедрой прикладных информационных технологий, e-mail: fedoseev-ai@ganepa.ru.

Пономарева Людмила Алексеевна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладных информационных технологий, e-mail: ponomareva-la@ganepa.ru.

Заболотникова Виктория Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладных информационных технологий, e-mail: zabolotnikova-v@ganepa.ru.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Perm Polytech Style: Fedoseev A.I., Ponomareva L.A., Zabolotnikova V.S. Modelling the learning process in Petri net notation for effective managerial decision making. *Applied Mathematics and Control Sciences*. 2024, no. 4, pp. 76–87. DOI: 10.15593/2499-9873/2024.4.06

MDPI and ACS Style: Fedoseev, A.I.; Ponomareva, L.A.; Zabolotnikova, V.S. Modelling the learning process in Petri net notation for effective managerial decision making. *Appl. Math. Control Sci.* 2024, 4, 76–87. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2024.4.06>

Chicago/Turabian Style: Fedoseev, Artem I., Lyudmila A. Ponomareva, and Viktoria S. Zabolotnikova. 2024. “Modelling the learning process in Petri net notation for effective managerial decision making”. *Appl. Math. Control Sci.* no. 4: 76–87. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2024.4.06>



APPLIED MATHEMATICS
AND CONTROL SCIENCES
№ 4, 2024
<https://ered.pstu.ru/index.php/amcs>



Article

DOI: 10.15593/2499-9873/2024.4.06

UDC 004.94:330.47



Modelling the learning process in Petri net notation for effective managerial decision making

A.I. Fedoseev, L.A. Ponomareva, V.S. Zabolotnikova

Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Institute of Social Sciences, Moscow, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 26 September 2024
Approved: 07 October 2024
Accepted for publication:
28 December 2024

Funding

This research received no external funding.

Conflicts of Interest

The author declares no conflict of interest.

Author Contributions

100 %.

Keywords:

control, coloured Petri net, testing, modelling, learning process, analysis, reachability problem, information flow, scenario, model.

ABSTRACT

The authors propose a model of the testing process in the notation of colored Petri nets. Before starting the simulation, the information flows of the process of mastering the discipline «Informatics» in IDEF3 notation by students of the Department of Applied Information Technologies of the ION RANEPa were studied. In the process of building the model, the following task was solved:

let's give a Petri net consisting of a set of positions $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ and a set of transitions $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$. The network simulates the testing process. Then there are such states of positions P that the following conditions are met for each transition T in the network:

1. $\forall t_i \in T: (\forall p'_j \in \text{Pred}(t_i): p'_j(p_j) = 1) \rightarrow T(P) = 1$, where $\text{Pred}(t_i)$ is the set of all preceding transition positions t_i .
2. $\forall t_i \in T: t_i(p_i) = 1 \rightarrow (\forall p' \in \text{Succ}(t_i): p'_j(p_j) = 1)$, where $\text{Succ}(t_i)$ is the set of all the following transition positions t_i .

That is, it is necessary to formalize the educational process using a colored Petri net. Find a labeling that can be achieved in a given colored Petri net that satisfies the following condition: there is a sequence of transitions (transactions) starting from the initial labeling, such that each subsequent labeling is obtained by applying the corresponding transition to the previous labeling. I.e.: $\exists M0: (\text{initial labeling}) \rightarrow M^*$, where $\rightarrow M^*$ denotes the reflexive and transitive closure of the transition relation in the Petri net.

Solving the problem of the reachability of network labeling gave the concept of an optimal scenario for monitoring the development of competencies in the discipline: Some tasks and questions do not have to be included in the testing. Various scenarios for monitoring student progress are presented using the example of discipline testing. For example, one of the variants of the test scenario assumed the presence of a common resource with questions and assignments on the five topics under study. There were 50 questions in the database. The answer to each question can be rated from zero to 10 points. The test is considered passed if the student scored at least 41 points. The numbers of completed tasks and questions with the correct answer were also recorded.

Another test option: 10 questions for each topic and the response time to the question (task) was recorded.

A matrix analysis of the model was carried out. The vector of the initial marking $\mu(p_i) = \{47, 1, 1, 1, 0, 0, 0\}$ and $\mu_k = \{30, 0, 0, 0, 0, 0, 41\}$ at the end of testing. The analysis of the reachability of the μ_k marking allowed us to obtain one of the sequences of triggering transitions $U_{k-1} = (t_1, t_3, t_4, t_3, t_3, t_4)$. Where transitions $t_1 - t_4$ fix the beginning and end of an elementary process (for example, the beginning of testing – the end of testing).

The analysis of the model allowed us to investigate the dynamics of studying the topics of the discipline « Informatics »: how many times the student returned to re-reading the module materials, how many times he turned to additional material. Monitors attached to the transitions made it possible to determine the time for each operation and draw up protocols for studying the discipline.

© Artem I. Fedoseev – Head of the Department of Applied Information Technologies, Candidate of Economic Sciences, Institute of Social Sciences, e-mail: fedoseev-ai@ranepa.ru.

Lyudmila A. Ponomareva – Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Information Technologies, Institute of Social Sciences, e-mail: ponomareva-la@ranepa.ru.

Viktoria S. Zabolotnikova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Information Technologies, Institute of Social Sciences, e-mail: zabolotnikova-v@ranepa.ru.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

Введение

Моделирование учебного процесса в нотации сетей Петри является полезным инструментом для анализа, оптимизации и развития образовательных программ и методик [1–3]. Сети Петри предоставляют удобный формальный математический язык для описания и анализа дискретных моделей, так как позволяют представить последовательность действий, состояния, их переходы и зависимости между ними. Описание модели в нотации сетей Петри позволяет проводить анализ различных сценариев и прогнозировать их результаты, что полезно для обучения и обмена знаниями [4; 5]. Студенты и преподаватели могут использовать такие модели для облегчения понимания учебного материала или создания новых методов обучения [6–8].

Объектом исследования авторов работы являются процессы обучения студентов вузов.

Предмет исследования – построение модели процесса тестирования для проверки освоения компетенций студентами кафедры прикладных информационных технологий Института общественных наук (ИОН) РАНХиГС по дисциплине «Информатика», его визуализация и анализ.

Актуальность исследования обусловлена развитием программы модернизации национального образования России. Построение модели процесса обучения в нотации сетей Петри может помочь в измерении производительности, отслеживании времени выполнения каждого этапа освоения компетенций обучающимися, выявлении узких мест. Немаловажно ресурсное планирование (определить количество персонала, материалов, оборудования), которое позволит снизить издержки, повысить производительность и будет способствовать принятию эффективных управленческих решений.

Новизна исследования – это инновационный подход, позволяющий точно описать и визуализировать структуры и динамики учебного процесса на основе графа сети Петри [9], что позволяет лучше понять взаимосвязи между различными этапами и элементами учебного процесса. Есть возможность симуляции процесса со всевозможными сценариями для проведения экспериментов и тестирования стратегий обучения. В целом, моделирование учебного процесса сетями Петри предоставляет новые инструменты для анализа и оптимизации образовательных систем, повышая их эффективность и качество обучения.

Теоретические исследования

Исследование учебного процесса и его моделирование было проведено на примере тестирования студентов кафедры прикладных информационных технологий ИОН РАНХиГС дисциплины «Информатика».

Перед моделированием построена диаграмма в нотации IDEF3 для лучшего понимания протекающих информационных потоков процесса проверки освоения компетенций обучающимися (рис. 1) [10].

Сеть Петри – это формальная модель, используемая для анализа и моделирования параллельных процессов. В контексте учебного процесса она может быть определена следующим образом: пусть

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – конечное множество позиций (состояний) $n \geq 0$;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – конечное множество переходов $m \geq 0$;

$F: (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \mathbb{N}$ – функция инцидентности, где \mathbb{N} – множество неотрицательных целых чисел.

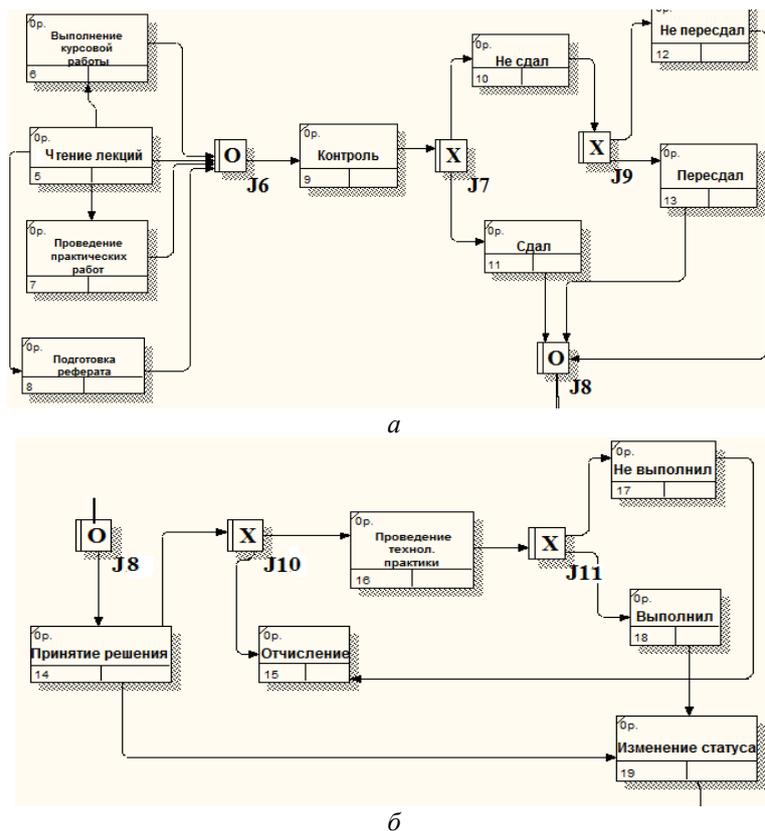


Рис. 1. Диаграмма (а, б) информационных потоков процесса тестирования по дисциплине «Информатика»

Тогда сеть Петри для модели тестирования может быть представлена кортежем $S = (P, T, I, O)$ где $I: T \rightarrow P^*$ является входной функцией – отображением из переходов в комплекты позиций. $O: P^* \rightarrow T$ есть выходная функция – отображение из комплектов позиций в переходы.

Условие срабатывания перехода для раскрашенной сети Петри при моделировании учебного процесса зависит от того, какие действия или события должны произойти для того, чтобы переход мог выполняться.

Правило срабатывания для каждого перехода t_i раскрашенной сети Петри, моделирующей процесс тестирования обучающихся: если для всех входящих позиций p_i (темы, которые участвуют в тестировании) и связанных с ними дуг d_i выполняется условие, что существует достаточное количество фишек (вопросы, на которые получены ответы), обозначаемое как μ_j , в каждой из этих позиций, то переход t_j может срабатывать. Т.е.: $\forall t_i ((\forall p_i, d_i (p_i \in p_i(t) \wedge d_i \in f_i(p_i, t))) \rightarrow (\forall p_i (\mu(p_i) \geq \mu_{\min})))$, где:

- t_i – переход, для которого рассматривается правило срабатывания;
- p_i – входящая позиция, связанная с переходом t_i ;
- d_i – дуга, соединяющая позицию p_i с переходом t_i ;
- μ_{\min} – минимальное количество фишек, необходимое в позиции p_i для срабатывания перехода t_i ;
- $f_i(p_i, t)$ – функция, возвращающая текущее количество фишек в позиции p_i .

Постановка задачи

Пусть дана сеть Петри, состоящая из множества позиций $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ и множества переходов $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$. Сеть моделирует процесс тестирования. Тогда существуют такие состояния позиций P , что для каждого перехода T в сети выполнены следующие условия:

- $\forall t_i \in T: (\forall p'_i \in \text{Pred}(t_i): p'_i(p_j) = 1) \rightarrow T(P) = 1$, где $\text{Pred}(t_i)$ – множество всех предшествующих позиций перехода t_i .
- $\forall t_j \in T: t_j(p_j) = 1 \rightarrow (\forall p' \in \text{Succ}(t_j): p'_j(p_j) = 1)$, где $\text{Succ}(t_j)$ – множество всех следующих позиций перехода t_j .

Таким образом, задача состоит в поиске состояний позиций сети Петри, для которых выполняются указанные условия активности переходов.

Практическое исследование

Для моделирования была выбрана дисциплина «Информатика», которая преподается на первом курсе [11–13]. Тестированию подлежали пять тем. Каждая тема содержала 10 вопросов. Каждый вопрос оценивался по десятибалльной шкале. Позиции сети – это темы (на рисунке они названы «Задание»). Маркировка каждой позиции – количество выполненных заданий (ответенных вопросов) и количество баллов за ответ по каждому вопросу.

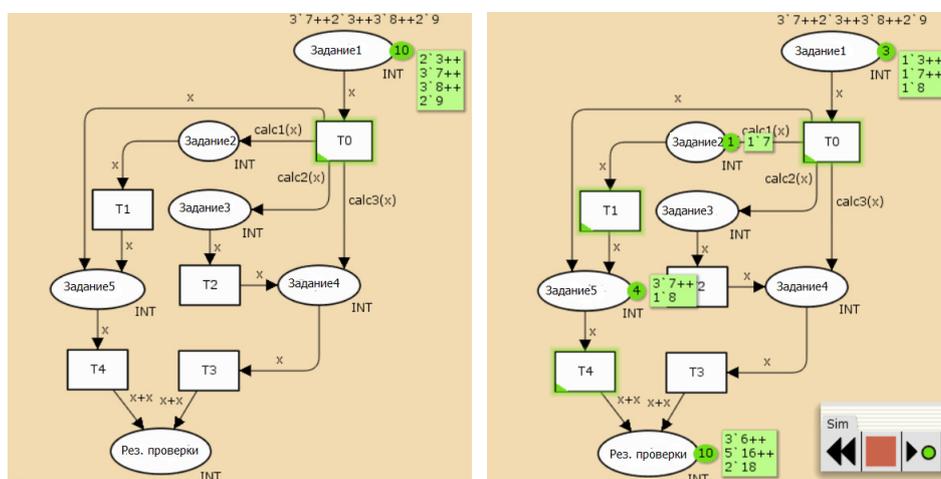


Рис. 2. Раскрашенная сеть Петри с начальной и промежуточной маркировкой

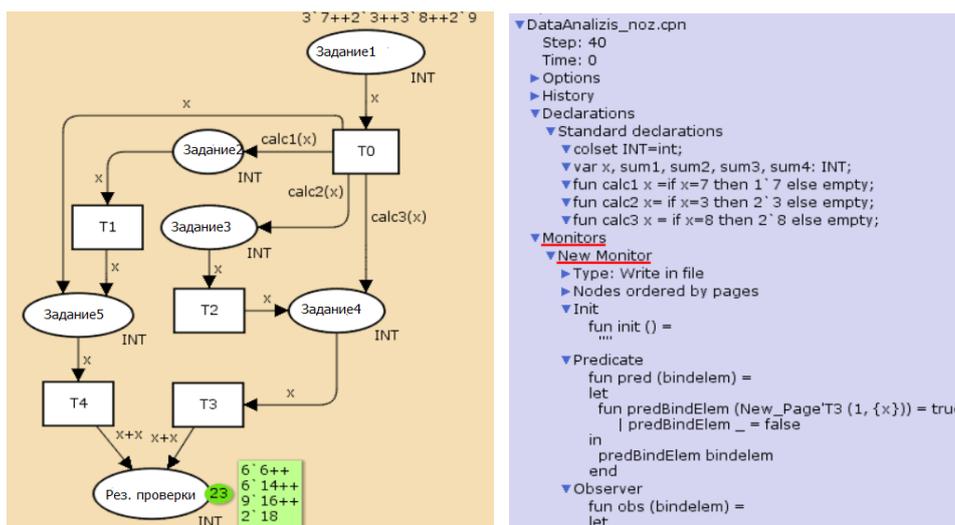


Рис. 3. Конечная маркировка сети и мониторы отслеживания для T2

Позиция «Рез. проверки» – окончание тестирования. Зеленым цветом рядом с позицией обозначено количество вопросов, на которые ответил студент и количество баллов по каждому за каждый ответ. Переходы «Т» срабатывают, когда предыдущее задание выполнено.

нено. Например, переход T3 сработает, когда выполнено задание 1 и задание 3. В данном примере ограничений на количество набранных баллов по заданию для перехода к следующему заданию не ставилось. Номера выполненных заданий и ответных вопросов также не отслеживались [11–13].

На рис. 2 представлена сеть с начальной маркировкой. Первое задание студент выполнил так: ответил на 3 вопроса и набрал по 8 баллов за каждый, еще за два вопроса получил по 9 баллов и т. д. На рис. 3 показана конечная маркировка сети и мониторы отслеживания для T2.

Для анализа процесса моделирования к переходам были прикреплены мониторы, чтобы можно было отследить время срабатывания переходов. Также отслеживалась скорость ответа на вопросы и оценивалась степень подготовленности отвечающего и степень сложности предложенного вопроса [14; 15].

Матричный анализ сети

Основное уравнение функционирования сети (достижимость маркировки):

$$\mu_k = \mu_{k-1} + V^T U_{k-1},$$

где матрица инцидентности $V = (F^t)^T - F^p$; $k = 1, 2, \dots, n$.

Отображение множества P на T:

$$F^p = \begin{pmatrix} & t_0 & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \\ p_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ p_3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ p_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ p_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Отображение множества T на P:

$$F^t = \begin{pmatrix} & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & p_6 \\ t_0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ t_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ t_2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ t_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ t_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Вектор начальной маркировки $\mu(p_i) = \{10, 0, 0, 0, 0\}$:

$$V = (F^t)^T - F^p = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$V^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ -10 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -11 \end{pmatrix}.$$

$$U_{k-1} = (g_1, g_2, \dots, g_{k-1})^T,$$

где $g_j = 1$ означает готовность перехода t_j к срабатыванию, $g_j = 0$ – отсутствие готовности. Этот вектор и требуется найти для решения задачи достижимости разметки к моменту окончания тестирования.

$\mu_k = \{0, 0, 0, 0, 23\}$ на момент окончания тестирования.

$$\mu_k = \mu_{k-1} + V^T U_{k-1} = (0, 0, 0, 0, 23)^T = (10, 0, 0, 0, 0)^T + \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ -10 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -11 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_2 \\ g_5 \end{pmatrix},$$

$$U_{k-1} = (t_0, t_2, t_4).$$

Проанализировав полученный результат, можно прийти к выводу, что некоторые задания и вопросы не обязательно включать в тестирование. Например, выполнение задания 5 подразумевает знание ответов на вопросы задания 2.

Авторами были рассмотрены различные сценарии тестирования по дисциплине «Информатика» (рис. 4).

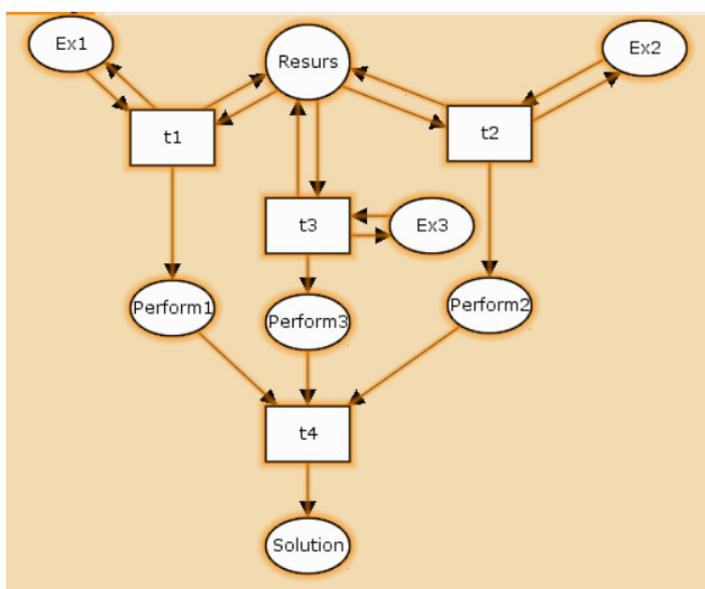


Рис. 4. Вариант тестирования с другим сценарием

Другой вариант сценария тестирования предполагал наличие общего ресурса с вопросами и заданиями по исследуемым пяти темам (Resurs). В базе находилось 50 вопросов. Ответ на каждый вопрос может быть оценен от нуля до 10 баллов. Тест считается пройденным, если обучающийся набрал не меньше 41 балла. Также фиксировались номера выполненных заданий и вопросы с правильным ответом. Настройки сети оставались, как в

предыдущем эксперименте. На рис. 4 обучающийся получает три вопроса или упражнения из общего ресурса. Переходы $t_1 - t_3$ срабатывают при правильном ответе (количество баллов за ответ больше нуля), и номера вопросов будут зафиксированы. Если студент не может выполнить задание, ему предоставляется возможность запросить другое упражнение. У такого тестирования ограничивается время на выполнение всего теста. В позиции Solution считаются баллы и принимается решение о прохождении теста.

Таблицы 1–3 являются матрицами представления сети Петри рис. 4. Правило построения матриц:

$$\begin{aligned} q_{j\epsilon} &= 1, \text{ если } p_\epsilon \in P^I t_j \vee t_j \in T^0 p_\epsilon \\ q_{j\epsilon} &= 0, \text{ если } p_\epsilon \notin P^I t_j \wedge t_j \in T^0 p_\epsilon \\ r_{j\epsilon} &= 1, \text{ если } p_\epsilon \in P^0 t_j \vee t_j \notin T^I p_\epsilon \\ r_{j\epsilon} &= 0, \text{ если } p_\epsilon \notin P^0 t_j \wedge t_j \notin T^I p_\epsilon \end{aligned}$$

Таблица 1

 Матрица инцидентности позиций (F^P) (авторские результаты)

Q	Resurs	Ex1	Ex2	Ex3	Perform1	Perform2	Perform3	Solution
t_1	1	1	0	0	0	0	0	0
t_2	1	0	1	0	0	0	0	0
t_3	1	0	0	1	0	0	0	0
t_4	0	0	0	0	1	1	1	0

Таблица 2

 Матрица инцидентности переходов (F^t) (авторские результаты)

R	Resurs	Ex1	Ex2	Ex3	Perform1	Perform2	Perform3	Solution
t_1	1	1	0	0	1	0	0	0
t_2	1	0	1	0	0	1	0	0
t_3	1	0	0	1	0	0	1	0
t_4	0	0	0	0	0	0	0	1

Таблица 3

 Матрица состояния ($F^t - F^P$) (авторские результаты)

R	Resurs	Ex1	Ex2	Ex3	Perform1	Perform2	Perform3	Solution
t_1	0	0	0	0	1	0	0	0
t_2	0	0	0	0	0	1	0	0
t_3	0	0	0	0	0	0	1	0
t_4	0	0	0	0	-1	-1	-1	0

Вектор начальной маркировки $\mu(p_i) = \{47, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0\}$ и $\mu_k = \{30, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 41\}$ на момент окончания тестирования. Анализ достижимости маркировки μ_k позволил получить одну из последовательностей срабатывания переходов $U_{k-1} = (t_1, t_3, t_4, t_3, t_3, t_4)$.

На рис. 5 представлена модель изучения одной темы по дисциплине «Информатика» одним студентом. В позицию p_1 начало изучения курса можно поставить количество студентов всей группы. И тогда будет получена оценка усвоения модулей дисциплины для всей группы.

Позиция *modul* содержит материалы по основным темам дисциплины, *additional material* – ресурс с дополнительными материалами для изучения, *tests questions* – вопросы для тестирования, *journal* – в этой позиции фиксируются результаты прохождения теста. В p_2 – выбирает-

ся тема, p_3 – выбирается тест по теме, получают вопросы из ресурса, p_4 – прохождение тестирования, p_5 – анализ ответов. При неправильных ответах – возвращение в p_2 или изучение дополнительного материала. Переходы $t_1 - t_7$ фиксируют начало и окончание элементарного процесса (например, начало тестирования – окончание тестирования. Условие срабатывания перехода p_i позиции возможно при маркировке $\mu_i = k' s$, $k > 0$. Маркировка на всех дугах – $1' s$ – прохождение по дуге единичного ресурса типа INT. Начальная маркировка сети Петри:

$\mu_1 = 1' s$, $\mu_M = N' s$, $\mu_S = K' s$, $\mu_T = T' s$, где M – количество тем дисциплины, предложенных для изучения, N – число дополнительных материалов по теме, T – количество вопросов в ресурсе для теста. Считаем, что $M < N \ll T$.

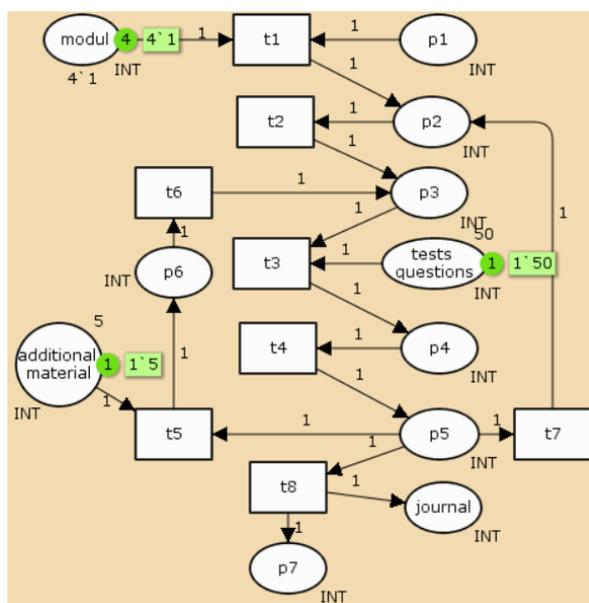


Рис. 5. Модель изучения темы по информатике

Модель рис. 5 позволила наблюдать динамику изучения тем дисциплины «Информатика»: сколько раз обучающийся возвращался к повторному прочтению материалов модуля, сколько раз обращался к дополнительному материалу. Мониторы, прикрепленные, к переходам позволили определить время на выполнение каждой операции и составить протоколы изучения дисциплины.

Заключение

Была построена модель процесса тестирования по дисциплине «Информатика» для студентов кафедры прикладных информационных технологий ИОН РАНХиГС в нотации раскрашенной сети Петри. Проводился матричный анализ достижимости маркировки, которая соответствует успешному завершению тестирования. В результате сделаны выводы об изменении порядка прохождения тем по дисциплине. Определены самые трудоемкие и сложные для усвоения темы. Авторами рассматривались различные сценарии проверки знаний. В результате моделирования процесса обучения с помощью различных сценариев были получены протоколы освоения дисциплины: временные характеристики для каждой темы, количество дополнительного материала, которое необходимо для лучшего понимания материала.

С помощью сети Петри удобно представить структуру и потоки данных в процессе обучения, что помогает лучше понять, как различные компоненты взаимодействуют друг с другом и какие зависимости существуют между элементами процесса.

Список литературы

1. Iakushkin, O. Service-Oriented Petri Net Model / O. Iakushkin // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. – 2020. – Vol. 12254 LNCS. – P. 51–66.
2. Petri, C. Communication with automata / C. Petri // *Schriften des IIM*. – 1962. – N. 3. – P. 16–27. – cited By 4.
3. Alla, H. Continuous and hybrid Petri nets / H. Alla, R. David // *Journal of Circuits, Systems and Computers*. – 1998. – Vol. 8, no. 1. – P. 159–188.
4. Башина, О.Э. Статистическое исследование потребности сферы торговли в кадрах / О.Э. Башина, О.С. Писецкая, А.И. Федосеев // *Вестник кафедры статистики Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. Материалы и доклады / под общ. ред. Н.А. Садовниковой*. – 2017. – С. 367–369.
5. Ponomareva, L.A. Instrumental implementation of the educational process model to improve the rating of the universities / L.A. Ponomareva, S.V. Chiskidov, O.N. Romashkova // *CEUR Workshop Proceedings. 9. Сер. «Selected Papers of the Proceedings of the 9th International Conference Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems, ITTMM 2019»*. – 2019. – P. 92–101.
6. Автоматизация процесса многокритериального ранжирования студентов с помощью электронного портфолио / Л.А. Пономарева, О.Н. Ромашкова, А.Н. Белякова, В.С. Заболотникова // *Вестник Донского государственного технического университета*. – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 382–388.
7. Анализ данных в принятии управленческих решений / Л.А. Пономарева, П.Е. Голосов, А.Б. Мосягин, В.С. Заболотникова, И.А. Ронжина. – М., 2021.
8. Современный подход к построению информационно-аналитической системы состояния и развития научной сферы в вузах / Н.В. Мамаева, Л.Б. Милютин, В.Н. Николенко, А.И. Федосеев. – М.: Открытое образование, 2014. – № 6(107). – С. 34–39.
9. Федосеев, А.И. Статистические методы оценки состояния и перспектив развития социально-экономической политики в сфере потребительского рынка товаров и услуг г. Москвы (на примере предприятий шаговой (пешеходной) доступности): специальность 08.00.12 «Бухгалтерский учет, статистика»: дис. ... канд. экон. наук. – М., 2005. – С. 186.
10. Method of computeraided formation of organic compound descriptors for quantitative structure-property relationships / M.I. Kumskov, L.A. Ponomareva, E.A. Smolenskii, D.F. Mityushev, N.S. Zefirov // *Известия Академии наук. Серия химическая*. – 1994. – № 8. – С. 1391.
11. Алтухова, Е.В. Проблемы и противоречия формирования кадрового потенциала сферы образования и науки / Е.В. Алтухова, А.И. Федосеев // *Современные технологии управления*. – 2014. – № 10 (46). – С. 2–5.
12. Пономарева, Л.А. Автоматизированная система управления образовательной средой для повышения рейтинговой оценки вуза / Л.А. Пономарева, А.Б. Мосягин, П.Е. Голосов // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2018. – № 4 (65). – С. 55–62.
13. Серeda, О.В. Применение модифицированного коэффициента корреляции для оценки выставочно-ярмарочной деятельности в России / О.В. Серeda, А.И. Федосеев // *Высшее образование для XXI века: проблемы воспитания: доклады и материалы XIV Международной научной конференции: в 2 ч., Москва, 14–16 декабря 2017 года. – Том Часть 2*. – М.: Московский гуманитарный университет, 2017. – С. 231–238.

14. Гурова, Т.И. Применение интеллектуальных систем в цифровой трансформации образования / Т.И. Гурова, В.С. Заболотникова // Математика и информатика в образовании и бизнесе: сборник материалов международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 150–155.

15. Гурова, Т.И. Интеллектуальные информационные системы в образовании / Т.И. Гурова, В.С. Заболотникова // Профессиональное развитие педагогических кадров в условиях обновления образования: сборник материалов VIII Городской научно-практической конференции. Сер.: Библиотека журнала «Интерактивное образование». – 2017. – С. 94–98.

References

1. Iakushkin, O. Service-Oriented Petri Net Model / O. Iakushkin // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). – 2020. – Vol. 12254 LNCS. – P. 51–66.

2. Petri, C. Communication with automata / C. Petri // Schriften des IIM. – 1962. – N. 3. – P. 16-27. – cited By 4.

3. Alla, H. Continuous and hybrid Petri nets / H. Alla, R. David // Journal of Circuits, Systems and Computers. – 1998. – Vol. 8, N. 1. – P. 159-188.

4. Bashina, O. E. Statistical research of the trade sector's need for personnel / O. E. Bashina, O. S. Pisetskaya, A. I. Fedoseev // In the collection: Bulletin of the Department of Statistics of the Plekhanov Russian University of Economics. Materials and reports. Under the general editorship of N. A. Sadovnikova. - 2017. – P. 367-369.

5. Ponomareva, L. A. Instrumental implementation of the educational process model to improve the rating of the universities/ L. A. Ponomareva, S. V. Chiskidov, O. N. Romashkova // В сборнике: CEUR Workshop Proceedings. 9. Сер. «Selected Papers of the Proceedings of the 9th International Conference Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems, ITTMM 2019». – 2019. – P. 92 – 101.

6. Ponomareva, L. A. Automation of the process of multicriteria ranking of students using an electronic portfolio / L. A. Ponomareva, O. N. Romashkova, A. N. Belyakova, V. S. Zabolotnikova // Bulletin of the Don State Technical University. – 2019. – Vol. 19. – No. 4. – P. 382-388.

7. Ponomareva, L. A. Data analysis in managerial decision-making / L. A. Ponomareva, P. E. Golosov, A. B. Mosyagin, V. S. Zabolotnikova, I. A. Ronzhina. – Moscow, 2021.

8. Mamaeva, N. V. A modern approach to building an information and analytical system for the state and development of the scientific sphere in universities / N. V. Mamaeva, L. B. Milyutin, V. N. Nikolenko, A. I. Fedoseev. – M.: Open Education, 2014. – № 6(107). – P. 34 – 39.

9. Fedoseev, A. I. Statistical methods for assessing the state and prospects for the development of socio-economic policy in the consumer market of goods and services in Moscow (on the example of walking distance enterprises): specialty 08.00.12 «Accounting, statistics»: dissertation for the degree of Candidate of Economic Sciences. – M.: 2005. – P. 186.

10. Kumskov, M. I. Method of computeraided formation of organic compound descriptors for quantitative structure-property relationships / M.I. Kumskov, L.A. Ponomareva, E.A. Smolenskii, D.F. Mityushev, N.S. Zefirov // Известия Академии наук. Серия химическая. – 1994. – № 8. – P. 1391.

11. Altukhova, E. V. Problems and contradictions of the formation of human resources in the field of education and science / E. V. Altukhova, A. I. Fedoseev // Modern management technologies. – 2014. – № 10 (46). – P. 2 – 5.

12. Ponomareva, L. A. Automated educational environment management system for improving the rating assessment of a university / L. A. Ponomareva, A. B. Mosyagin, P. E. Golosov // Bulletin of the Bryansk State Technical University. – 2018. – № 4 (65). – P. 55-62.

13. Sereda, O. V. Application of a modified correlation coefficient for evaluating exhibition and fair activities in Russia / O. V. Sereda, A. I. Fedoseev // Higher education for the XXI century: problems of education: reports and materials of the XIV International Scientific Conference: in 2 parts, Moscow, December 14-16, 2017. – Volume Part 2. – Moscow: Moscow University of the Humanities, 2017. – P. 231-238.

14. Gurova, T. I. Application of intelligent systems in the digital transformation of education / T. I. Gurova, V. S. Zabolotnikova // In the collection: Mathematics and Computer Science in education and business. Collection of materials of the international scientific and practical conference. – 2020. – P. 150-155.

15. Gurova, T. I. Intelligent information systems in education / T.I. Gurova, V.S. Zabolotnikova // In the collection: Professional development of teaching staff in the context of educational renewal. Collection of materials of the VIII City scientific and practical conference. Ser. «Library of the journal «Interactive education». – 2017. – P. 94-98.