

УДК 004.8

DOI: 10.25559/SITITO.18.202204.838-845

Оригинальная статья

## Реализация искусственного интеллекта в компьютерной игре

И. Ф. Астахова<sup>1</sup>, Е. И. Киселева<sup>2\*</sup>, Н. В. Беляева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация  
Адрес: 394018, Российская Федерация, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», г. Воронеж, Российская Федерация

Адрес: 394043, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Ленина, д. 86

\* ekaterkisel@mail.ru

### Аннотация

В данной статье представлена разработка и исследование модели формализации процесса принятия решений в компьютерной игре с использованием методов искусственного интеллекта. Игровой искусственный интеллект реализуется с помощью достаточно ограниченного набора средств: искусственных нейронных сетей, эволюционных алгоритмов, специализированных архитектур построения систем искусственного интеллекта. Но также, нейронные сети имеют ряд недостатков. Пожалуй, самым существенным из них является сложность и большое время обучения сети. Ставится проблема разработки новых математических алгоритмов, имеющих вероятность принятия правильного решения, сравнимую с нейронными сетями, но обладающих меньшим временем обучения. В данный момент, отсутствует единая модель искусственной иммунной системы для разработки искусственного интеллекта в компьютерных и мобильных играх. Таким образом, ставится проблема разработки новых алгоритмов, позволяющих реализовать взаимодействие с игроком в компьютерной игре, имеющих скорость и реалистичность, сравнимую с искусственными нейронными сетями и экспертными системами и при этом обладающих меньшим временем обучения. Одним из путей решения этой задачи является разработка модели игрового искусственного интеллекта на основе искусственной иммунной системы. Игра в точки является одной из модификаций японской игры go. В данной игре позиционное стратегическое планирование сочетается с тактическим перебором вариантов. Реализация искусственного интеллекта в данной игре в виде дерева решений не является для решения данной задачи рациональным. Для упрощения поиска оптимального решения использовались эвристические правила. Для сокращения времени поиска решения был создан игровой искусственный интеллект с применением методов, основанных на принципах иммунной системы. Искусственная иммунная система представляет идеализированный вариант естественного аналога и воспроизводит ключевые составляющие природного процесса: отбор лучших антигенов популяции в зависимости от степени их аффинитета (близости) к антигену, клонирование антигенов, мутация антигенов.

**Ключевые слова:** игровой искусственный интеллект, искусственная нейронная сеть, искусственная иммунная система

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Астахова И. Ф., Киселева Е. И., Беляева Н. В. Реализация искусственного интеллекта в компьютерной игре // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. Т. 18, № 4. С. 838-845. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202204.838-845>

© Астахова И. Ф., Киселева Е. И., Беляева Н. В., 2022



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



## Artificial Intelligence in Computer Games

I. F. Astachova<sup>a</sup>, E. I. Kiseleva<sup>b\*</sup>, N. V. Belyaeva<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

Address: 1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation

<sup>b</sup> Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russian Federation

Address: 86 Lenin St., Voronezh 394043, Russian Federation

\* ekaterkisel@mail.ru

### Abstract

This article presents the development and study of a model for formalizing the decision-making process in a computer game using artificial intelligence methods. Game artificial intelligence is implemented using a rather limited set of tools: artificial neural networks, evolutionary algorithms, specialized architectures for building artificial intelligence systems. But neural networks also have a number of disadvantages. Perhaps the most significant of them is the complexity and long network training time. The problem is raised of developing new mathematical algorithms that have a probability of making the right decision, comparable to neural networks, but with less training time. At the moment, there is no single model of the artificial immune system for the development of artificial intelligence in computer and mobile games. Thus, the problem is raised of developing new algorithms that allow realizing interaction with the player in a computer game, having speed and realism comparable to artificial neural networks and expert systems, and at the same time having less training time. One of the ways to solve this problem is to develop a game artificial intelligence model based on an artificial immune system. The dot game is a modification of the Japanese game go. In this game, positional strategic planning is combined with tactical enumeration of options. The implementation of artificial intelligence in this game in the form of a decision tree is not rational for solving this problem. To simplify the search for the optimal solution, heuristic rules were used. To reduce the solution search time, game artificial intelligence was created using methods based on the principles of the immune system. The artificial immune system is an idealized version of the natural analogue and reproduces the key components of the natural process: selection of the best antibodies in the population depending on the degree of their affinity (proximity) to the antigen, antibody cloning, antibody mutation.

**Keywords:** artificial neural network, artificial immune system, artificial intelligence in computer games

**Conflict of interests:** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Astachova I.F., Kiseleva E.I., Belyaeva N.V. Artificial Intelligence in Computer Games. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2022;18(4):838-845. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202204.838-845>



## Введение

В результате интенсивного развития информационных технологий получили широкое распространение компьютерные игры, использующие методы искусственного интеллекта для имитации различных аспектов поведения игрока. Одной из задач ставится создание максимально реалистичной игровой среды.

Игровой искусственный интеллект реализуется с помощью достаточно ограниченного набора средств: искусственных нейронных сетей, эволюционных алгоритмов, специализированных архитектур построения систем искусственного интеллекта. Генетические алгоритмы или нейронные сети широко применяются, существует много уже готовых программ и библиотек, их использующих. При использовании нейронных сетей для программирования искусственного интеллекта вероятность правильного решения очень высока.

Но также, нейронные сети имеют ряд недостатков. Пожалуй, самым существенным из них является сложность и большое время обучения сети. Это время может составлять десятки часов. Поэтому стоит проблема разработки новых математических алгоритмов, имеющих высокую вероятность принятия правильного решения, сравнимую с нейронными сетями, но обладающих меньшим временем обучения. Одним из них является алгоритм искусственной иммунной системы [1-22].

В данный момент отсутствует единая модель искусственной иммунной системы для разработки искусственного интеллекта в компьютерных и мобильных играх.

Таким образом, ставится проблема разработки новых алгоритмов, позволяющих реализовать взаимодействие с игроком в компьютерной игре, имеющих скорость и реалистичность, сравнимую с искусственными нейронными сетями и экспертными системами и при этом обладающих меньшим временем обучения. Одним из путей решения этой задачи является разработка модели игрового искусственного интеллекта на основе искусственной иммунной системы<sup>1</sup> [23].

**Цель работы.** Целью работы является разработка и исследование модели формализации процесса принятия решений в компьютерной игре с использованием методов искусственного интеллекта.

## Материалы и методы

В компьютерных играх искусственный интеллект используется для того, чтобы создать у играющих ощущение, будто они играют против реальных, разумных соперников. Применение искусственного интеллекта является одним из наиболее перспективных направлений развития компьютерных игр.

Игра в точки является одной из модификаций японской игры го. Наиболее распространены точки в России, на Украине, в Белоруссии и Казахстане. Данная игра предполагает участие двух игроков. Игровое поле размером 30×30 состоит из квадратов. В данной игре позиционное стратегическое планирование сочетается с тактическим перебором вариантов. Основная цель

данной игры – победить соперника путем захвата территории противника. Захват территории противника производится путем окружения его точек замкнутой цепью, состоящей только из точек одного цвета. Область считается захваченной, если внутри есть хотя бы одна точка противника. Подсчет очков для определения победителя производится по количеству захваченных точек.

Игру можно представить в виде дерева решений, где каждый узел будет представлять собой один шаг решения задачи (ход в игре), ветвь в дереве соответствует решению, которое ведёт к более полному решению, листья представляют собой окончательное решение (итоговые позиции). Основной целью является нахождение в дереве лучший путь от корня до листа. Однако для данной игры древо решений будет содержать огромное количество узлов. Реализация искусственного интеллекта в данной игре в виде древа решений не является для решения данной задачи рациональным.

Для оценки позиции в самом начале берется разность между числом окруженных точек противника и своими окруженными точками. Благодаря этим данным, можно наиболее точно определить, что происходит на игровом поле. Но хотя этот критерий и выбран основным, он не позволяет найти оптимальный ход, поскольку число окруженных точек в партии меняется достаточно редко. Поэтому было введено понятие *важности* точки – это величина определяется исходя из некоторых эвристических правил. Для поиска оптимального хода берется за основу число окруженных точек, но если при просчете в глубину дерева этот критерий не меняется, то выбор хода основывается на поиске точки с максимальной важностью.

Другими словами, оценка хода для клетки с координатами  $(x, y)$  имеет вид:

$$F(x, y) = k_1 \cdot \text{Importance}(x, y) + k_2 \cdot \text{MinMax}(\text{kill2}_m - \text{kill1}_m), \quad (1)$$

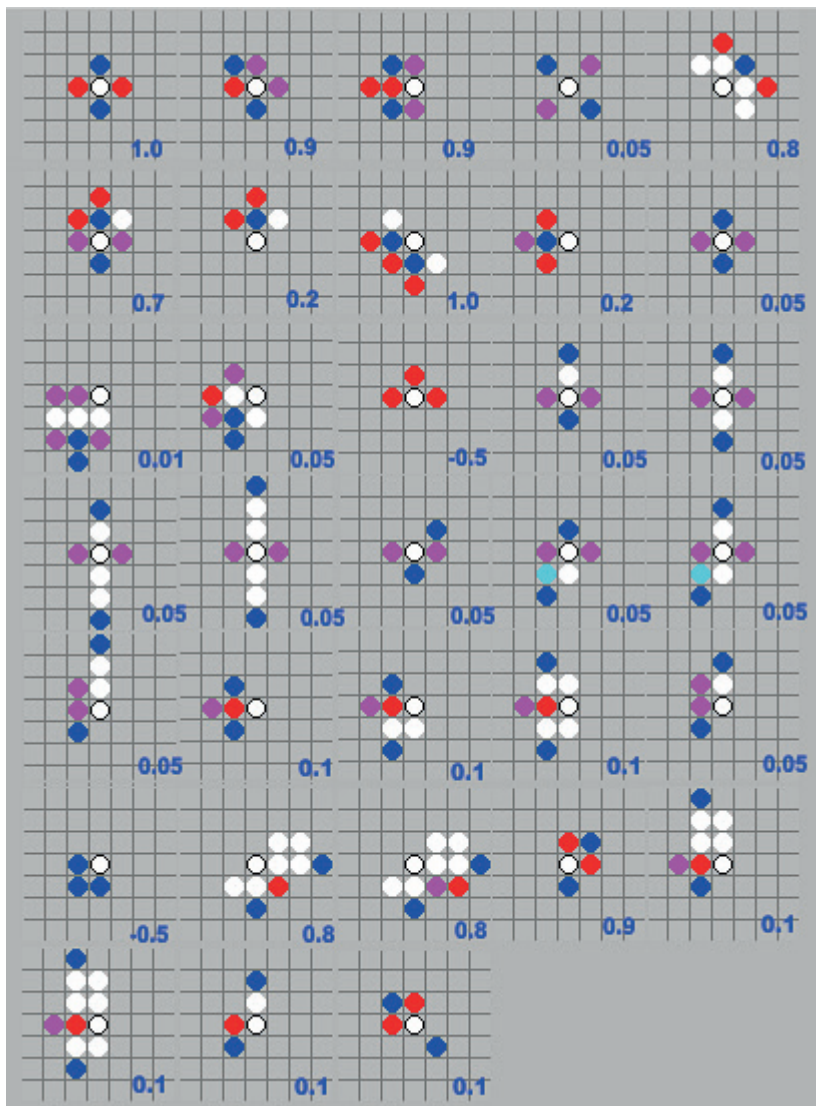
где  $0 < k_1 < k_2$  – некоторые коэффициенты,  $m$  – глубина просчета,  $\text{kill2}$  и  $\text{kill1}$  – число окруженных точек противника и число своих окруженных точек соответственно.  $\text{MinMax}$  рассчитывается на множестве вершин дерева вариантов и представляет собой функцию минимакса.

Важность точки  $\text{Importance}(x, y)$  рассчитывается только для свободных клеток, она не зависит от глубины просчета  $m$  и от стороны, для которой она рассчитывается. В результате чего важность пустой клетки имеет одинаковую величину как для синих, так и для красных точек.

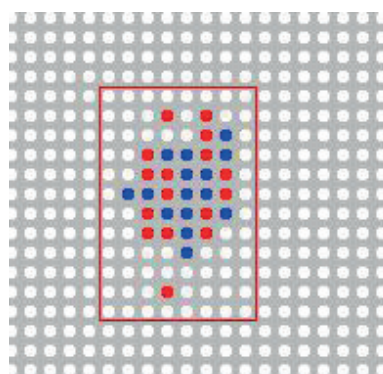
Оценка важности точки рассчитывается на основе эвристических правил. На рисунке 1 цифрами указана важность для точки в центре, которая представлена на данном рисунке в виде белого круга с черным ободком. Точки белого цвета обозначают незанятое поле. Красные и синие точки – занятые поля. Розовые и голубые точки – поля, которые могут быть либо свободны либо заняты точками соответствующего цвета. Серым показаны точки, цвет которых значения в данной позиции не имеет.

<sup>1</sup> Каширина И. Л. Нейросетевые технологии : учеб. пособие. Воронеж : изд-во ВГУ, 2008. 72 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23726984> (дата обращения: 27.10.2022); Астахова И. Ф., Киселева Е. И. Алгоритм использования искусственной иммунной системы для оптимизации целевого компонента информационной образовательной системы // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2017. № 2. С. 61-65. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29880179> (дата обращения: 27.10.2022).





Р и с. 1. Эвристические правила  
F i g. 1. Heuristic rules



Р и с. 2. Игровой диапазон  
F i g. 2. Playing Range



Перед началом поиска оптимального хода на поле выделяется игровой диапазон, определенный в виде прямоугольника минимальной площади, покрывающего все точки на доске, плюс одна (две) строка/столбец с каждой из четырех сторон (рисунок 2).

При просчете дерева вариантов на  $m$  полных ходов вперед выигрыш можно оценить сверху следующим образом:

$$F_{\max} = k_2 \cdot \max(\text{kill}2_m - \text{kill}1) \quad (2)$$

где  $\text{kill}1$  – число взятых наших точек на данный момент,  $\text{kill}2_m$  – число взятых точек противника, если бы игрок поставил еще  $m$  точек, а противник бы не сделал бы ни одного хода.

Аналогичным образом, моделируя только ходы противника, можно получить оценку снизу:

$$F_{\min} = k_2 \cdot \min(\text{kill}2 - \text{kill}1_m) \quad (3)$$

Полученный таким образом диапазон значений целевой функции, может использоваться для поиска оптимального решения методом ветвей и границ. Для упрощения поиска оптимального решения использовались следующие эвристические правила. Было введено понятие окружающей траектории как множества незанятых точек, при заполнении которых одним цветом происходит окружение точек противника. Если пустая точка не принадлежит ни к одной из траекторий, то такая точка бесполезна для обоих игроков и ходы в эту точку можно не рассматривать. Благодаря отсечению бесполезных ходов число рассматриваемых ходов можно сократить.

Метод моделирования только полезных ходов является основным методом сокращения времени просчета. Он позволяет сократить время на несколько порядков. Однако информация, полученная о траекториях, может быть использована и в самом процессе моделирования. Здесь существует несколько эвристик, позволяющих отбросить некоторые траектории и соответственно уменьшить дерево вариантов. Рассмотрим две эвристики, которые были реализованы в данной работе.

1. Пусть на некотором этапе моделирования нам осталось поставить  $n$  точек, а для замыкания некоторой траектории требуется большее число точек, чем  $n$ , то такую траекторию можно отбросить, поскольку мы не сможем ее заполнить до конца. То же самое касается траекторий противника.
2. Траектория, которая не пересекается ни с одной траекторией противника и содержит более 1-й точки, принадлежащей только ей, исключается из списка траекторий. Эта эвристика применяется один раз, перед поиском в дереве.

Применение описанного способа поиска оптимального решения, хотя и позволяет сократить время выбора хода, но далеко не всегда этого достаточно, чтобы время это было таким, чтобы игра, по мнению игрока, не зависала.

Для сокращения времени поиска решения был создан игровой искусственный интеллект с применением методов, основанных на принципах иммунной системы.

Искусственная иммунная система представляет идеализированный вариант естественного аналога и воспроизводит ключевые составляющие природного процесса: отбор лучших антител популяции в зависимости от степени их аффинитета (близости) к антигену, клонирование антител, мутация антител [16-25].

Для данной задачи модель иммунной системы можно предста-

вить следующим образом:

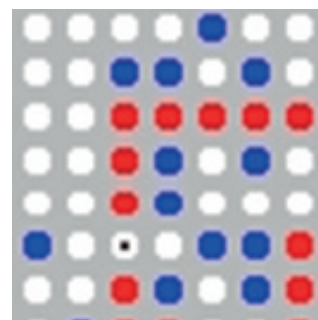
1. Антигеном  $A_g$  является игровое поле (матрица  $30 \times 30$ , в которой есть три типа элементов – свободные клетки, клетки игрока и клетки противника).
2. Антителом  $A_n$  является матрица, представляющая из себя часть игрового поля, в которой будет сделан ход размером  $7 \times 7$ .
3. Аффинность антитела к антигену вычисляется следующим образом:

$$F(A_g, A_n) = \text{MinMax}(\text{kill}2_m - \text{kill}1_m), \quad (4)$$

где  $m$  – глубина просчета ходов по дереву вариантов,  $\text{kill}2$  и  $\text{kill}1$  – число окруженных точек противника и число своих окруженных точек соответственно. Значение функции  $\text{MinMax}$  рассчитывается на множестве вершин дерева вариантов, без учета ходов противника.

Алгоритм функционирования искусственной иммунной системы:

1. Формируется популяция антител  $M_{Ag}$ : случайным образом выбираются координаты точки игрового поля  $(x, y)$ , затем формируется матрица, представляющая собой часть игрового поля размером  $7$  на  $7$ , для которой точка  $(x, y)$  – верхний левый угол (см. рис. 3). Численность популяции антигенов  $n$  подбирается экспериментально.
2. Для каждого из антител вычисляется функция аффинности.
3. Выбирается  $p$  антител с наилучшей аффинностью и создаются их копии (количество копий каждого антитела равно  $k$ ).
4. Вычисляется аффинность клонов антител.
5. Клоны с наибольшей аффинностью подвергаются мутации (координаты верхнего левого угла произвольно смещаются на одну позицию по вертикали или по горизонтали).
6. Вычисляется аффинность мутировавших клонов, затем из популяции удаляется часть антител с наихудшими показателями аффинности так, чтобы число оставшихся антител было меньше  $n$ .
7. Восстановление популяции до  $n$  элементов путем генерирования недостающего количества антител случайным образом.
8. Процесс повторяется до стабилизации популяции на протяжении заданного количества циклов.
9. Решение считается антителом с наилучшим показателем аффинности.



Р и с. 3. Антитело

F i g. 3. Antibody





## Результаты

Для разработки проекта использовался язык C++. Данный проект был разбит на несколько модулей. Каждый из модулей, выполняет одну из следующих задач: отображение и обновление окна программы, зарисовку поля, интерфейс программы, подключение к другому игроку для игры через интернет, реализации искусственного интеллекта.

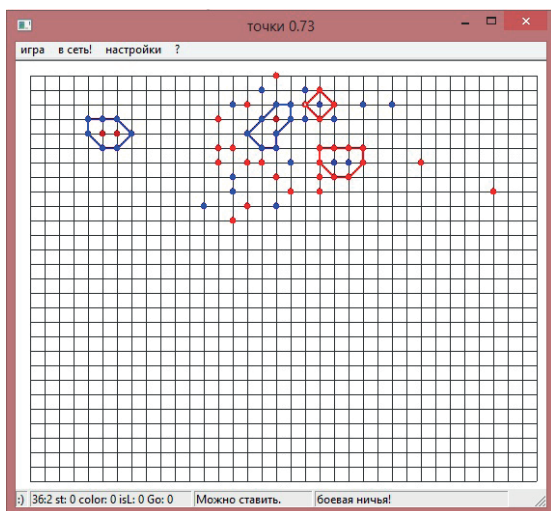
Модуль CPointsApp создает и обновляет окно программы. Модуль CPointsPaint производит отрисовку игрового поля и отрисовку захваченной области тем или иным игроком.

Для вычисления целевой функции используется класс FitnessFunction, который хранит входные данные – значения искомой функции в точках.

Класс FitnessFunction содержит только один метод, который позволяет вычислить значение целевой функции для переданного выражения, представленного объектом класса Expression.

Для осуществления гипермутации лимфоцитов был создан класс ExpressionMutator. Он поддерживает следующие виды мутаций [17]:

Вспомогательный класс ExpressionsImmuneSystemConfig инкапсулирует работу с настройками искусственной иммунной системы. Пример работы программы представлен на рисунке 3.



Р и с. 4. Скриншот работающей программы

F i g. 4. Screenshot of the running program

## References

- [1] Künzel S., Meyer-Nieberg S. Coping with opponents: multi-objective evolutionary neural networks for fighting games. *Neural Computing and Applications*. 2020;32(17):13885-13916. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04794-x>
- [2] Dash T., Dambekodi S.N., Reddy P.N., Abraham A. Adversarial neural networks for playing hide-and-search board game Scotland Yard. *Neural Computing and Applications*. 2020;32(8):3149-3164. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3701-0>
- [3] Wang M., Yan T., Luo M., Huang W. A novel deep residual network-based incomplete information competition strategy for four-players Mahjong games. *Multimedia Tools and Applications*. 2019;78(16):23443-23467. doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7682-5>
- [4] Hildmann H. Computer Games and Artificial Intelligence. In: Lee N. (ed.) *Encyclopedia of Computer Graphics and Games*. Cham: Springer; 2018. p. 1-11. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-08234-9\\_234-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08234-9_234-1)

Данные об эффективности использования различных методов выбора оптимального хода приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1. Эффективность использования различных методов выбора оптимального хода

T a b l e 1. Efficiency of using various methods for choosing the optimal move

Глубина просчета n, полных ходов	Метод поиска оптимального решения	Время просчета*, мин:сек
3	Просмотр всех ходов в игровом диапазоне	~1700 часов
3	Просмотр всех полезных ходов	4:30
3	Просмотр полезных ходов с применением 1-й эвристики	0:20
3	Просмотр полезных ходов с применением 1-й и 2-й эвристик	0:11
3	Поиск решения с использованием искусственной иммунной системы	0:08

\* данные приведены для Celeron 400MHz,160Mb

## Заключение

В данной работе получены следующие основные результаты.

1. Разработана формальная модель автоматизации процесса выбора оптимального хода игры с использованием методов искусственного интеллекта.
2. Разработан алгоритм процесса выбора оптимального хода в игре с использованием иммунной системы, модифицированный с учетом специфики данной задачи.
3. Произведено сравнение эффективности различных способов поиска оптимального решения.
4. Создан программный комплекс, реализующий описанные алгоритмы.



- [5] Chowdhary K.R. Adversarial Search and Game Theory. In: Fundamentals of Artificial Intelligence. New Delhi: Springer; 2020. p. 303-335. doi: [https://doi.org/10.1007/978-81-322-3972-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-81-322-3972-7_11)
- [6] Chowdhary K.R. Intelligent Agents. In: Fundamentals of Artificial Intelligence. New Delhi: Springer; 2020. p. 303-335. doi: [https://doi.org/10.1007/978-81-322-3972-7\\_16](https://doi.org/10.1007/978-81-322-3972-7_16)
- [7] Yannakakis G.N., Togelius J. Playing Games. In: Artificial Intelligence and Games. Cham: Springer; 2018. p. 91-150. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63519-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63519-4_3)
- [8] Yannakakis G.N., Togelius J. Modeling Players. In: Artificial Intelligence and Games. Cham: Springer; 2018. p. 203-255. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63519-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63519-4_5)
- [9] Liu J. Learning in VGAI. In: General Video Game Artificial Intelligence. Synthesis Lectures on Games and Computational Intelligence. Cham: Springer; 2020. p. 79-95. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-02122-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-02122-0_5)
- [10] Liapis A. Artificial Intelligence for Designing Games. In: Machado P., Romero J., Greenfield G. (eds.) Artificial Intelligence and the Arts. Computational Synthesis and Creative Systems. Cham: Springer; 2021. p. 79-95. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-59475-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59475-6_11)
- [11] Varsos C., Flouris G., Bitsaki M., Fasoulakis M. A Study of Misinformation Games. In: Pham D.N., Theeramunkong T., Governatori G., Liu F. (eds.) PRICAI 2021: Trends in Artificial Intelligence. PRICAI 2021. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 13031. Cham: Springer; 2021. p. 76-87. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-89188-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89188-6_6)
- [12] Wickramaratna N.C., Ganegoda G.U. Invoke Artificial Intelligence and Machine Learning for Strategic-Level Games and Interactive Simulations. In: Hemanth J., Silva T., Karunananda A. (eds.) Artificial Intelligence. SLAAI-ICAI 2018. Communications in Computer and Information Science. Vol. 890. Singapore: Springer; 2019. p. 129-143. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9129-3\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9129-3_10)
- [13] García-Sánchez P., Georgios N., Yannakakis G., Julian Togelius. Artificial Intelligence and Games. *Genetic Programming and Evolvable Machines*. 2019;20(1):143-145. doi: <https://doi.org/10.1007/s10710-018-9337-0>
- [14] Lucas S. Artificial Intelligence and Games. *KI – Künstliche Intelligenz*. 2020;34(1):87-88. doi: <https://doi.org/10.1007/s13218-020-00646-x>
- [15] Westera W., Prada R., Mascarenhas S., et al. Artificial intelligence moving serious gaming: Presenting reusable game AI components. *Education and Information Technologies*. 2020;25(1):351-380. doi: <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09968-2>
- [16] Wawrzyński P., Arabas J., Cichosz P. Predictive Control for Artificial Intelligence in Computer Games. In: Rutkowski L., Tadeusiewicz R., Zadeh L.A., Zurada J.M. (eds.) Artificial Intelligence and Soft Computing – ICAISC 2008. ICAISC 2008. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 5097. Berlin, Heidelberg: Springer; 2008. p. 1137-1148. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-69731-2\\_107](https://doi.org/10.1007/978-3-540-69731-2_107)
- [17] He W. Computer Games Based on Artificial Intelligence. In: Jansen B.J., Liang H., Ye J. (eds.) International Conference on Cognitive based Information Processing and Applications (CIPA 2021). Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Vol. 85. Singapore: Springer; 2022. p. 847-851. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-5854-9\\_112](https://doi.org/10.1007/978-981-16-5854-9_112)
- [18] Mateas M. Expressive Intelligence: Artificial Intelligence, Games and New Media. In: Basili R., Paziienza M.T. (eds.) AI\*IA 2007: Artificial Intelligence and Human-Oriented Computing. AI\*IA 2007. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 4733. Berlin, Heidelberg: Springer; 2007. p. 2. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74782-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74782-6_2)
- [19] Liapis A. Artificial Intelligence for Designing Games. In: Machado P., Romero J., Greenfield G. (eds.) Artificial Intelligence and the Arts. Computational Synthesis and Creative Systems. Cham: Springer; 2021. p. 277-310. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-59475-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59475-6_11)
- [20] Chan L., Hogaboam L., Cao R. Artificial Intelligence in Video Games and eSports. In: Applied Artificial Intelligence in Business. Applied Innovation and Technology Management. Cham: Springer; 2022. p. 335-352. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-05740-3\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-031-05740-3_22)
- [21] Astachova I., Kiseleva E. The Application of the Artificial Immune System for Design, Development and Using of the Hybrid System in Education. In: Sukhomlin V., Zubareva E. (eds.) Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2017. Communications in Computer and Information Science. Vol. 1204. Cham: Springer; 2021. p. 67-75. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78273-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78273-3_7)
- [22] Astachova I.F., Ushakov S.A., Shashkin A.I., Belyaeva N.V. The application of Artificial immune system for Parallel Process of Calculation and their comparison with existing methods. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1202(1):012003. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1202/1/012003>
- [23] Astachova I.F., Zolotukhin A.E., Kurklinskaya E.Yu., Belyaeva N.V. The application of artificial immune system to solve recognition problems. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1203(1):012036. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1203/1/012036>
- [24] Dasgupta D., Yu S., Nino F. Recent Advances in Artificial Immune Systems: Models and Applications. *Applied Soft Computing*. 2011;11(2):1574-1587. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.08.024>
- [25] Giannakos M., Voulgari I., Papavlasopoulou S., Papamitsiou Z., Yannakakis G. Games for Artificial Intelligence and Machine Learning Education: Review and Perspectives. In: Giannakos M. (ed.) Non-Formal and Informal Science Learning in the ICT Era. Lecture Notes in Educational Technology. Singapore: Springer; 2020. p. 117-133. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6747-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6747-6_7)

Поступила 27.10.2022; одобрена после рецензирования 06.12.2022; принята к публикации 10.12.2022.

Submitted 27.10.2022; approved after reviewing 06.12.2022; accepted for publication 10.12.2022.



**Об авторах:**

**Астахова Ирина Федоровна**, профессор кафедры математического обеспечения ЭВМ факультета прикладной математики, информатики и механики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (394018, Российская Федерация, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1), доктор технических наук, профессор, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2627-8508>**, [astachova@list.ru](mailto:astachova@list.ru)

**Киселева Екатерина Игоревна**, доцент кафедры педагогики и методики дошкольного и начального образования психолого-педагогического факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет» (394043, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. Ленина, д. 86), кандидат физико-математических наук, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6406-9782>**, [ekaterkisel@mail.ru](mailto:ekaterkisel@mail.ru)

**Беляева Наталья Викторовна**, ассистент кафедры математического обеспечения ЭВМ факультета прикладной математики, информатики и механики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (394018, Российская Федерация, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2627-8508>**, [belyaeva@amm.vsu.ru](mailto:belyaeva@amm.vsu.ru)

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

**About the authors:**

**Irina F. Astachova**, Professor of the Chair of Computer Hardware, Faculty of Applied Mathematics, Informatics and Mechanics, Voronezh State University (1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation), Dr. Sci. (Eng.), Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2627-8508>**, [astachova@list.ru](mailto:astachova@list.ru)

**Ekaterina I. Kiseleva**, Associate Professor of the Chair of Pedagogy and Methods of Preschool and Primary Education, Psychological and Pedagogical Faculty, Voronezh State Pedagogical University (86 Lenin St., Voronezh 394043, Russian Federation), Cand. Sci. (Phys.-Math.), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6406-9782>**, [ekaterkisel@mail.ru](mailto:ekaterkisel@mail.ru)

**Natalia V. Belyaeva**, Assistant of the Chair of Computer Hardware, Faculty of Applied Mathematics, Informatics and Mechanics, Voronezh State University (1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2627-8508>**, [belyaeva@amm.vsu.ru](mailto:belyaeva@amm.vsu.ru)

*All authors have read and approved the final manuscript.*

