



МРНТИ 28.17.33

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-152-3-110-121>

Современные подходы к изучению поведения человека в критической ситуации: интеграция 3D-агентов в виртуальную реальность

Р.М. Садвакасов*^{id}, К.Ж. Садвакасова^{id}

Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

E mail: sadvakasov.rm@gmail.com

Аннотация. В современных условиях моделирование поведения человека в критических ситуациях, таких, как пожар, приобретает особую актуальность для повышения безопасности и эффективности эвакуационных процессов. Развитие технологий виртуальной реальности (VR) открывает новые возможности для исследования и анализа таких ситуаций. Цель исследования – разработка имитационной 3D-модели агентов, которая позволяет анализировать их поведение в критических ситуациях и прогнозировать эвакуационные маршруты. Основные направления работы включают построение математической модели движения агентов, реализацию алгоритмов эвакуации в виртуальной среде и интеграцию результатов в игровые движки для визуализации и анализа. Научная значимость исследования заключается в разработке алгоритмов, которые учитывают особенности взаимодействия людей в сложных архитектурных условиях и позволяют анализировать поведение агентов в различных сценариях. В результате исследования предложен подход к моделированию, позволяющий прогнозировать движение людей при пожаре, оценивать эффективность эвакуационных маршрутов и анализировать влияние различных факторов на процесс эвакуации. Полученные результаты могут быть использованы в исследованиях по безопасности, разработке тренажеров для экстренных служб и совершенствовании архитектурных решений.

Ключевые слова: виртуальная реальность, Unreal Engine, агент, критическая ситуация, имитационное моделирование.

Введение

Изучение поведения человека в критических ситуациях представляет собой важную междисциплинарную задачу, имеющую как теоретическое, так и прикладное значение. В современных исследованиях особое внимание уделяется моделированию эвакуационных процессов в условиях чрезвычайных ситуаций, таких, как пожары и стихийные бедствия. В этом контексте технологии виртуальной реальности (VR) становятся эффективным инструментом для анализа поведения людей и оптимизации эвакуационных маршрутов. Современные исследования подтверждают эффективность VR-методов для изучения эвакуационного поведения, где авторы Yan Feng и др. [1] продемонстрировали, что использование виртуальной реальности позволяет исследовать выбор выходов при эвакуации и оценивать влияние различных факторов, таких, как знаки выхода и поведение окружающих. Так, исследователи Yukun Guo и др. [2, 3] предложили метод VR-симуляции для моделирования массовых эвакуаций в условиях пожара, улучшая реализм эвакуационных сценариев. В свою очередь, Juřík V и др [4] рассмотрели применение данных VR для калибровки агентных моделей эвакуации, подтверждая их значимость для предсказания реального поведения людей. Кроме того, исследование de Lama C и др. [5, 6] подтвердило, что виртуальные среды позволяют безопасно моделировать поведение людей в условиях пожара, учитывая уровень тревожности и реакции пользователей. Также значительный вклад внесли Muhamad S. B. S., Bahrin M. H. [7], которые представили симуляцию в виртуальной среде для оценки безопасности в исследовательских реакторах, демонстрируя потенциал VR для подготовки персонала. Также Muñoz J. E. и др. [8] рассмотрели психофизиологические аспекты VR-обучения, показывая влияние виртуальных сценариев на уровень стресса и принятие решений в критических ситуациях.

Целью данной работы является разработка имитационной 3D-модели поведения агентов, которая позволит анализировать их действия в критических ситуациях и прогнозировать эвакуационные маршруты. В ходе исследования планируется построение математической модели движения агентов, реализация алгоритмов эвакуации в виртуальной среде и интеграция результатов в игровые движки для визуализации и анализа. Полученные результаты могут быть использованы для обучения персонала, тестирования планов эвакуации и совершенствования проектирования зданий с точки зрения безопасности. Методология исследования включает математическое моделирование поведения агентов, применение алгоритмов оптимизации для расчета маршрутов эвакуации, а также интеграцию модели в виртуальную среду с использованием движка Unreal Engine (UE) [9, 10]. Таким образом, использование современных технологий позволяет не только изучать поведение людей в критических ситуациях, но и разрабатывать более эффективные стратегии эвакуации.

Методология

Для изучения поведения человека в критических ситуациях необходимо создать его имитационную модель и интегрировать её в виртуальную среду. Это позволяет не только моделировать различные сценарии поведения агентов, но и визуализировать их в динамике. Формальное описание модели представляет собой систематизацию и определение всех основных элементов и параметров, которые будут использоваться для анализа и моделирования. В данном случае рассматривается модель поведения агентов в

помещении в условиях критической ситуации, такой, как пожар. Описание пространства основано на 3D-координатном пространстве, что позволяет учитывать не только перемещение агентов в плоскости (x, y), но и их движение в вертикальном направлении (z), что особенно важно для моделирования многоуровневых пространств, таких, как здания, лестничные пролёты и различные этажи.

На рисунке 1 представлена трехмерная диаграмма движения агентов в декартовой системе координат. Начальные положения агентов обозначены синими крестами, конечные — красными. Направление движения агентов к выходам или безопасным зонам показано черными стрелками. Выходы обозначены зелеными квадратами. Координатные оси X, Y и Z представляют трехмерное пространство моделирования.

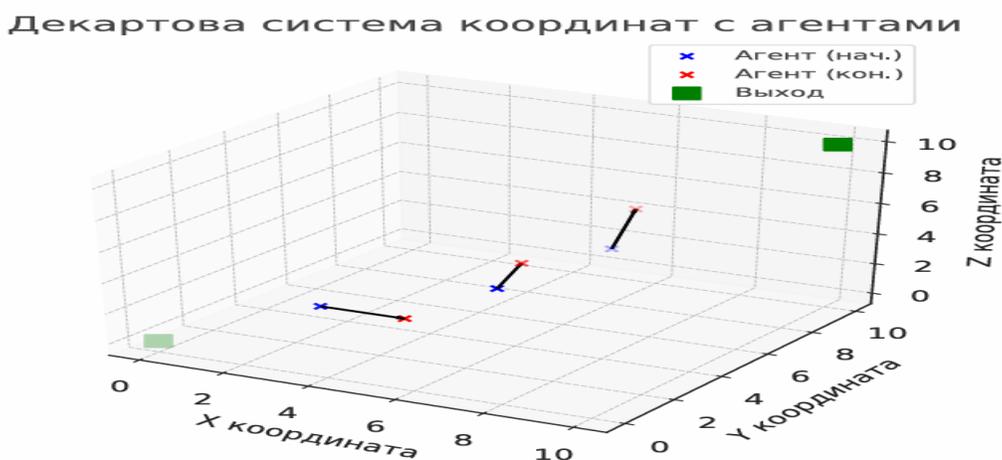


Рисунок 1. Трехмерная траектория движения агентов в процессе эвакуации

Итак, границы помещения определяются следующим соотношением:

$$L * W * H = V \quad (1)$$

где:

L - длина, W - ширина помещения, H - высота.

V - общий объём пространства, доступного для моделирования.

Для описания координат внутри помещения, где находятся агенты, можно использовать следующие ограничения:

$$0 \leq x \leq L, \quad 0 \leq y \leq W, \quad 0 \leq z \leq H \quad (2)$$

Далее плотность агентов ρ определяется как количество агентов n на единицу площади:

$$\rho = n / (L * W * H) \quad (3)$$

Теперь рассмотрим положение агентов в пространстве. Пусть координаты i -го агента обозначаются как:

$$A_i = (x_i, y_i, z_i)$$

где $i=1, 2, \dots, n$ и n -общее число агентов.

Каждая координата агента должна удовлетворять условиям:

$$0 \leq x_i \leq L, \quad 0 \leq y_i \leq W, \quad 0 \leq z_i \leq H \quad (4)$$

Таким образом, формула для описания пространства, где находятся агенты, будет следующей:

$$(x_i, y_i), \quad \text{"где"} \quad 0 \leq x_i \leq L, \quad 0 \leq y_i \leq W, \quad \text{"при"} \quad L \times W = 100 \quad (5)$$

Когда агенты сталкиваются с угрозой, например, пожаром, их поведение определяется их положением и возможным направлением движения. В этом случае пространство остается тем же, но добавляется динамика принятия решений. Пусть $dA_i(t)$ обозначает изменение позиции агента i в момент времени t :

$$A_i(t) = (x_i(t), y_i(t), z_i(t)) \quad (6)$$

Движение агентов зависит от различных факторов, таких, как направление к ближайшему выходу, плотность дыма, наличие других агентов и т.д. Для упрощения используем модель на основе скорости и направления движения:

$$\begin{aligned} (dx_i)/dt &= v_i \cos(\theta_i) \cos(\varphi_i) \\ (dy_i)/dt &= v_i \sin(\theta_i) \cos(\varphi_i) \\ v_i \sin(\varphi_i) & \end{aligned} \quad (7)$$

где:

v_i - скорость движения агента;

θ_i - угол направления его движения;

φ_i - угол движения в вертикальном направлении.

Исходя из этого, агенты могут принимать решения на основе различных алгоритмов.

Один из таких алгоритмов – движение в сторону ближайшего выхода, что описывается формулой:

$$D = \sqrt{((x_{\text{exit}} - x_i)^2 + (y_{\text{exit}} - y_i)^2 + (z_{\text{exit}} - z_i)^2)} \quad (8)$$

Другой важный аспект – избегание препятствий, где агенты корректируют траекторию, чтобы минимизировать столкновения с другими агентами или объектами на пути.

Данные формулы описывают начальное распределение агентов в пространстве до их движения, что важно для моделирования дальнейших действий. В дальнейшем эти формулы могут быть использованы для оценки плотности агентов в разных частях помещения, прогнозирования маршрутов эвакуации и анализа взаимного влияния агентов при движении в условиях ограниченного пространства. При пожаре взаимодействие может играть важную роль. Например, агент может учитывать действия других людей в процессе принятия решения о действиях [11].

На графике (см. рис.2) представлена зависимость времени эвакуации от количества агентов в помещении. Видно, что с увеличением количества агентов эвакуационное время

возрастает. Это объясняется увеличением плотности агентов ρ , определяемой по формуле (3), что приводит к более сложному взаимодействию между ними и увеличению времени выхода. Также на графике показаны интервалы погрешности, учитывающие вариативность в моделируемом процессе. Этот результат соответствует математическому описанию движения агентов (формулы 6 и 7), согласно которым их перемещение зависит от скорости v_i , направления движения θ_i , φ_i и возможных препятствий, включая других агентов. Таким образом, увеличение количества агентов в фиксированном объеме V приводит к более интенсивному взаимодействию и, следовательно, увеличению времени эвакуации.

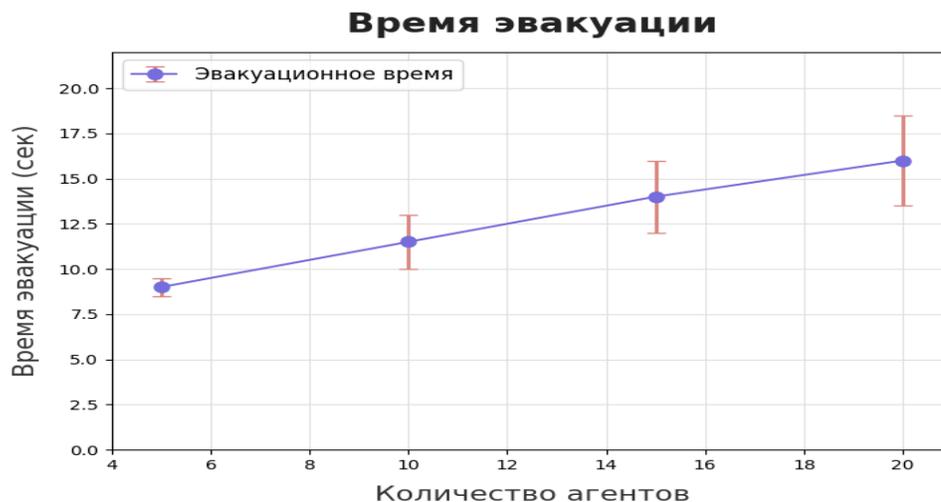


Рисунок 2. Время эвакуации в зависимости от плотности агентов

Имитационное моделирование в виртуальной среде

Взаимодействие агентов с виртуальной средой строится на основе декартовой системы координат, представленной на рисунке 1. Формулы движения агентов в 3D (включая перемещение по оси Z) адаптируются к VR, что позволяет учитывать движение по лестницам, наклонным поверхностям и в условиях ограниченной видимости. При этом основными параметрами является позиция агента (x_i, y_i, z_i) , которые обновляются в реальном времени с учетом условий среды. Учитывается скорость v_i и направление (θ_i, φ_i) , зависящие от наличия препятствий, видимости и уровня паники. Для определения оптимального маршрута эвакуации дистанция до ближайшего выхода D рассчитывается по формуле (8). Моделирование движения агентов в декартовой системе координат служит основой для интеграции с технологиями виртуальной реальности (VR), что позволяет детализировано исследовать поведение человека в условиях пожара. В VR-окружении симулируются различные сценарии критических ситуаций, включая распространение огня, задымление и динамическое изменение условий эвакуации. UE помогает интегрировать с 3D-средой и VR путем программирования агентов с помощью встроенных инструментов, таких как Blueprints (визуальное программирование) и C++ (классическое программирование). Учитывая, что UE предназначен для создания детализированных и интерактивных симуляций критических ситуаций, можно создать сцены поведения

агентов, которые будут взаимодействовать с виртуальной средой и друг с другом. Поэтому алгоритмы, заложенные в реализованных нами математических формулах, являются основой для создания сцены с агентами и препятствиями в UE.

Таким образом, реализация каждого шага потребует использования специфических инструментов и методов, предоставляемых UE, таких, как Blueprints или программирование на C++.

Рисунки 3 и 4 демонстрируют фрагменты Blueprint-кода, реализующего механизмы падения агента при контакте с огнём. На Рисунке 3 представлен скрипт, отвечающий за падение при взаимодействии с огнём, тогда как на Рисунке 4 показана симуляция этого процесса при столкновении агента с огнём.

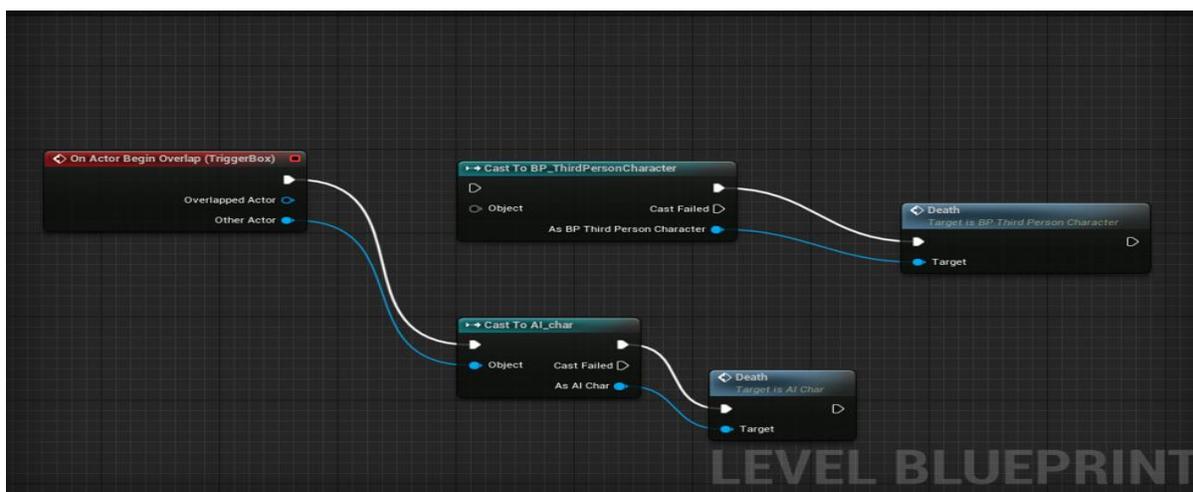


Рисунок 3. Фрагмент Blueprint скрипта – передачи данных AI агенту

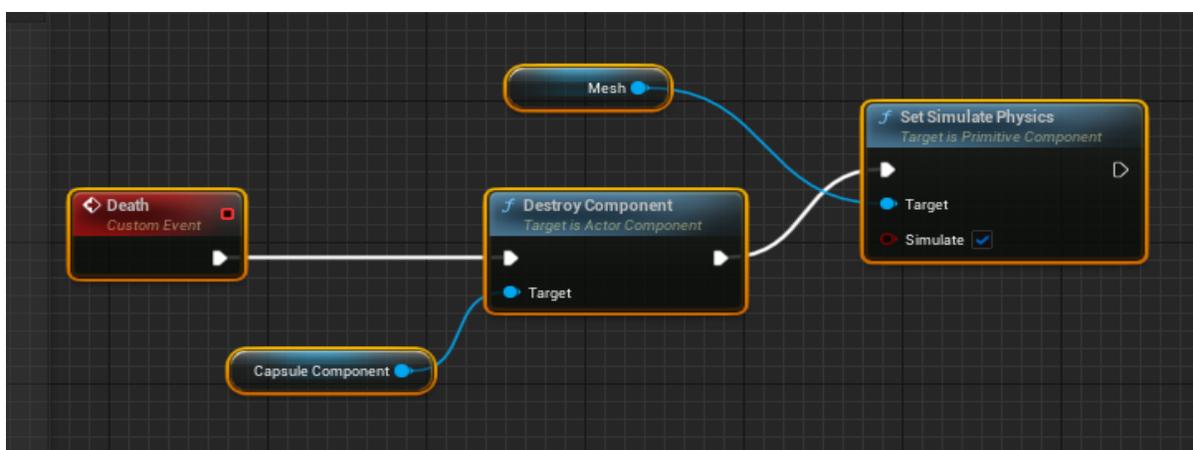


Рисунок 4. Фрагмент Blueprint скрипта, симуляции падения при столкновении с огнём

На рисунке 5 и 6 представлены симуляция взаимодействия агентов (людей) в помещении при пожаре в VR-среде. Продемонстрированы примеры работы AI-агентов в

Unreal Engine 5, использующих Nav Mesh, Target Point, систему EQS и Crowd Controller AI для определения оптимального маршрута эвакуации.

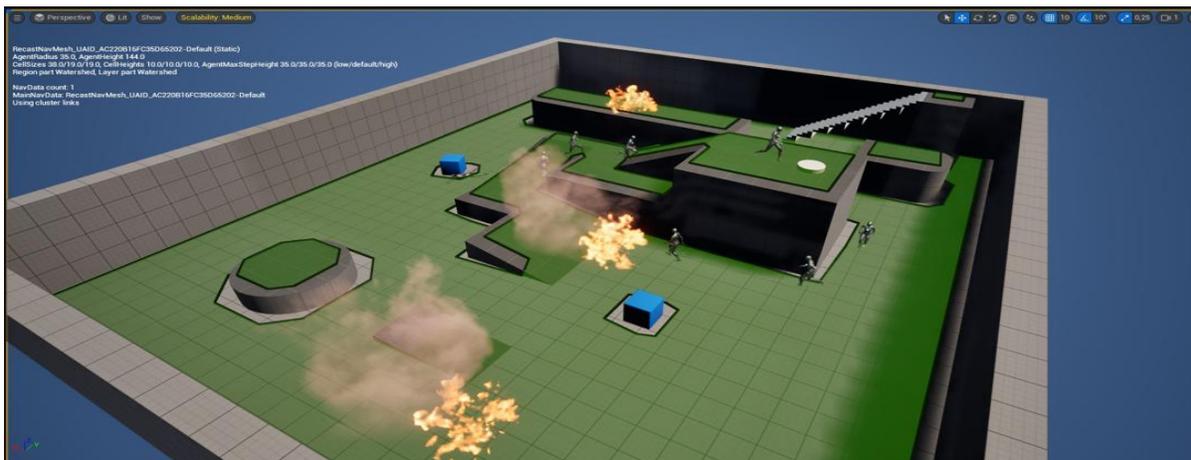


Рисунок 5. Симуляция эвакуации агентов в VR-среде при пожаре. Визуализация использования AI-агентов в Unreal Engine 5 для поиска оптимального маршрута эвакуации с применением Nav Mesh, Target Points, EQS-системы и Crowd Controller AI



Рисунок 6. Поведение AI-агентов в условиях пожара. Визуализация реакции агентов на распространение огня в VR-среде, моделирующей процесс эвакуации. Принятие решений для поиска безопасного маршрута

Результаты и Обсуждение

Разработанная модель агентов включает параметры их координат (x, y, z), скорости движения и алгоритмов принятия решений. Агенты ориентируются в пространстве, учитывая минимальное расстояние до выхода и избегая препятствий. Представлены формулы расчета плотности агентов, описания границ помещения и уравнения движения в трехмерной системе координат. В VR-среде реализована визуализация движения агентов с учетом факторов задымленности, паники и изменения обстановки.

Программная реализация модели выполнена в UE с применением Blueprints и C++. В ходе исследования подтверждена возможность точного моделирования поведения агентов при пожаре в 3D-пространстве. Использование VR позволяет анализировать поведение пользователей в стрессовых ситуациях и корректировать математические модели эвакуации [12]. Внедрение алгоритмов избегания препятствий и адаптивных маршрутов повышает точность предсказания движения агентов. Интеграция в UE демонстрирует перспективность дальнейшего развития VR-моделирования для изучения поведения человека в чрезвычайных ситуациях.

Заключение

Разработанная имитационная модель поведения человека в критической ситуации позволяет анализировать эвакуационные процессы и выявлять факторы, влияющие на успешность эвакуации. Интеграция с VR и движком UE делает возможным создание детализированных и интерактивных симуляций, полезных для обучения персонала и разработки эффективных стратегий эвакуации. Дальнейшие исследования направлены на расширение функционала модели, включая учет психологических факторов и взаимодействие агентов в группах.

Вклад авторов:

Р.М. Садвакасов – сбор данных, анализ, моделирование, визуализация, экспериментальная часть, заключение.

К.Ж. Садвакасова - концепция, методология, анализ литературы, помощь с экспериментом, написание, редактирование.

Список литературы

1. Feng Y., Duives D. C., Hoogendoorn S. P., Using virtual reality to study pedestrian exit choices during evacuation, *Safety Science*, 2021, Vol. 137, P. 105158, DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105158. – статья
2. Guo Y., Zhu J., Wang Y. et al., A Virtual Reality Simulation Method for Crowd Evacuation in a Multiexit Indoor Fire Environment, *International Journal of Geo-Information*, 2020, Vol. 9, No. 12, P. 750, DOI: 10.3390/ijgi9120750. – статья
3. Marín-Morales J., Llinares C., Guixeres J., Alcañiz M., Emotion Recognition in Immersive Virtual Reality: From Statistics to Affective Computing, *Sensors*, 2020, Vol. 20, P. 5163, DOI: 10.3390/s20185163. – статья
4. Juřík V., Uhlík O., Snopková D. et al., Analysis of the Use of Behavioral Data from Virtual Reality for Calibration of Agent-Based Evacuation Models, *Heliyon*, 2023, Vol. 9, e14275, DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14275. – статья
5. de Lama C., González-Gaya C., Sánchez-Lite A., An Experimental Test Proposal to Study Human Behaviour in Fires Using Virtual Environments, *Sensors*, 2020, Vol. 20, P. 3607, DOI: 10.3390/s20123607. – статья
6. Ahmed I., Harjunen V. J., Jacucci G., Ravaja N., Ruotsalo T., Spapé M. M., Touching Virtual Humans: Haptic Responses Reveal the Emotional Impact of Affective Agents, *IEEE*

- Transactions on Affective Computing, 2023, Vol. 14, No. 1, P. 331–345, DOI: 10.1109/TAFFC.2020.3038137. – статья
7. Muhamad S. B. S., Bahrin M. H., Virtual Environments Simulation in Research Reactor, AIP Conference Proceedings, 2017, Vol. 1799, No. 1, P. 050007, DOI: 10.1063/1.4972941. – труды конференции
 8. Muñoz J. E., Lavoie J. A., Pope A. T., Psychophysiological Insights and User Perspectives: Enhancing Police De-Escalation Skills through Full-Body VR Training, *Frontiers in Psychology*, 2024, Vol. 15, P. 1390677, DOI: 10.3389/fpsyg.2024.1390677. – статья
 9. Al Lawati H. A. J., The Path of UNITY or the Path of UNREAL? A Comparative Study on Suitability for Game Development, *Journal of Student Research*, Fourth Middle East College Student Research Conference, Muscat, Sultanate of Oman, 2025. – труды конференции
 10. Brookes J., Warburton M., Alghadier M. et al., Studying Human Behavior with Virtual Reality: The Unity Experiment Framework, *Behavior Research Methods*, 2020, Vol. 52, P. 455–463, DOI: 10.3758/s13428-019-01242-0. – статья
 11. Merkuriev Y., The Modelling and Simulation of Complex Systems: Methodology and Practice, *Information Technology and Management Science*, 2012, Vol. 15, P. 32–41, DOI: 10.2478/v10313-012-0005-8. – статья
 12. Joo J. H., Lee H., Lee S. et al., Immersive Emotion Analysis in VR Environments: A Sensor Data Fusion Approach, *Electronics*, 2024, Vol. 13, No. 8, P. 1494, DOI: 10.3390/electronics13081494. – статья

Р.М. Сәдуақасов*, Қ.Ж.Сәдуақасова

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Сыни жағдайдағы адам мінезін зерттеудің қазіргі тәсілдері: 3D агенттерді virtual realitya интеграциялау

Аңдатпа. Қазіргі жағдайда өрт сияқты сыни жағдайларда адамның мінез-құлқын модельдеу эвакуациялық процестердің қауіпсіздігі мен тиімділігін арттыру үшін ерекше өзектілікке ие болады. Виртуалды шындық (VR) технологияларының дамуы осындай жағдайларды зерттеуге және талдауға жаңа мүмкіндіктер ашады. Зерттеудің мақсаты-қиын жағдайларда олардың мінез-құлқын талдауға және эвакуациялық маршруттарды болжауға мүмкіндік беретін агенттердің Имитациялық 3D моделін жасау. Жұмыстың негізгі бағыттары агенттердің қозғалысының математикалық моделін құруды, виртуалды ортада эвакуация алгоритмдерін енгізуді және нәтижелерді визуализация мен талдау үшін ойын қозғалтқыштарына біріктіруді қамтиды. Зерттеудің ғылыми маңыздылығы күрделі архитектуралық жағдайларда адамдардың өзара әрекеттесу ерекшеліктерін ескеретін және әртүрлі сценарийлерде агенттердің мінез-құлқын талдауға мүмкіндік беретін алгоритмдерді әзірлеу болып табылады. Жұмыстың практикалық маңыздылығы мынада: құрылған модель қызметкерлерді оқыту, эвакуация жоспарларын сынау және қауіпсіздік тұрғысынан ғимараттарды жобалауды жақсарту үшін пайдаланылуы мүмкін. Зерттеу әдістемесі агенттердің мінез-құлқын математикалық модельдеуді, эвакуация маршруттарын есептеу үшін оңтайландыру алгоритмдерін қолдануды, сондай-ақ Unreal

Engine (UE) көмегімен модельді виртуалды ортаға біріктіруді қамтиды. Зерттеу нәтижесінде өрт кезінде адамдардың қозғалысын болжауға, эвакуациялық маршруттардың тиімділігін бағалауға және эвакуация процесіне әртүрлі факторлардың әсерін талдауға мүмкіндік беретін модельдеу тәсілі ұсынылды. Алынған нәтижелер қауіпсіздік зерттеулерінде, Төтенше жағдайлар машиналарын әзірлеуде және архитектуралық шешімдерді жетілдіруде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: виртуалды шындық, Unreal Engine, агент, сыни жағдай, Имитациялық модельдеу

R.M. Sadvakassov*, K.Zh. Sadvakassova

L.N. Gumilyov, Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Modern approaches to studying human behavior in a critical situation: integration of 3D agents into virtual reality

Abstract. In modern conditions, modeling human behavior in critical situations, such as fire, is becoming particularly relevant to improve the safety and effectiveness of evacuation processes. The development of virtual reality (VR) technologies opens up new opportunities for research and analysis of such situations. The aim of the research is to develop a 3D simulation model of agents that allows analyzing their behavior in critical situations and predicting evacuation routes. The main areas of work include building a mathematical model of agent movement, implementing evacuation algorithms in a virtual environment, and integrating the results into game engines for visualization and analysis. The scientific significance of the research lies in the development of algorithms that take into account the peculiarities of human interaction in complex architectural conditions and allow analyzing the behavior of agents in various scenarios. The practical significance of the work lies in the fact that the created model can be used for staff training, testing evacuation plans and improving the design of buildings in terms of safety. The research methodology includes mathematical modeling of agent behavior, the use of optimization algorithms to calculate evacuation routes, as well as the integration of the model into a virtual environment using the Unreal Engine (UE). As a result of the research, an approach to modeling is proposed that allows predicting the movement of people in a fire, evaluating the effectiveness of evacuation routes and analyzing the influence of various factors on the evacuation process. The results obtained can be used in safety research, the development of simulators for emergency services and the improvement of architectural solutions.

Keywords: virtual reality, Unreal Engine, agent, critical situation, simulation.

References

1. Feng Y., Duives D. C., Hoogendoorn S. P., Using virtual reality to study pedestrian exit choices during evacuation, *Safety Science*, 2021, Vol. 137, P. 105158, DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105158. – article
2. Guo Y., Zhu J., Wang Y. et al., A Virtual Reality Simulation Method for Crowd Evacuation in a Multiexit Indoor Fire Environment, *International Journal of Geo-Information*, 2020, Vol.

- 9, No. 12, P. 750, DOI: 10.3390/ijgi9120750. – article
3. Marín-Morales J., Llinares C., Guixeres J., Alcañiz M., Emotion Recognition in Immersive Virtual Reality: From Statistics to Affective Computing, *Sensors*, 2020, Vol. 20, P. 5163, DOI: 10.3390/s20185163. – article
 4. Juřík V., Uhlík O., Snopková D. et al., Analysis of the Use of Behavioral Data from Virtual Reality for Calibration of Agent-Based Evacuation Models, *Heliyon*, 2023, Vol. 9, e14275, DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14275. – article
 5. de Lama C., González-Gaya C., Sánchez-Lite A., An Experimental Test Proposal to Study Human Behaviour in Fires Using Virtual Environments, *Sensors*, 2020, Vol. 20, P. 3607, DOI: 10.3390/s20123607. – article
 6. Ahmed I., Harjunen V. J., Jacucci G., Ravaja N., Ruotsalo T., Spapé M. M., Touching Virtual Humans: Haptic Responses Reveal the Emotional Impact of Affective Agents, *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2023, Vol. 14, No. 1, P. 331–345, DOI: 10.1109/TAFFC.2020.3038137. – article
 7. Muhamad S. B. S., Bahrin M. H., Virtual Environments Simulation in Research Reactor, *AIP Conference Proceedings*, 2017, Vol. 1799, No. 1, P. 050007, DOI: 10.1063/1.4972941. – conference proceedings
 8. Muñoz J. E., Lavoie J. A., Pope A. T., Psychophysiological Insights and User Perspectives: Enhancing Police De-Escalation Skills through Full-Body VR Training, *Frontiers in Psychology*, 2024, Vol. 15, P. 1390677, DOI: 10.3389/fpsyg.2024.1390677. – article
 9. Al Lawati H. A. J., The Path of UNITY or the Path of UNREAL? A Comparative Study on Suitability for Game Development, *Journal of Student Research*, Fourth Middle East College Student Research Conference, Muscat, Sultanate of Oman, 2025. – conference proceedings
 10. Brookes J., Warburton M., Alghadier M. et al., Studying Human Behavior with Virtual Reality: The Unity Experiment Framework, *Behavior Research Methods*, 2020, Vol. 52, P. 455–463, DOI: 10.3758/s13428-019-01242-0. – article
 11. Merkurjev Y., The Modelling and Simulation of Complex Systems: Methodology and Practice, *Information Technology and Management Science*, 2012, Vol. 15, P. 32–41, DOI: 10.2478/v10313-012-0005-8. – article
 12. Joo J. H., Lee H., Lee S. et al., Immersive Emotion Analysis in VR Environments: A Sensor Data Fusion Approach, *Electronics*, 2024, Vol. 13, No. 8, P. 1494, DOI: 10.3390/electronics13081494. – article

Сведения об авторах:

Р.М. Садвакасов - автор для корреспонденции, магистр технических наук по специальности «Вычислительная техника и программное обеспечение», преподаватель кафедры «Технологии искусственного интеллекта», Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010000, Астана, Казахстан.

К.Ж. Садвакасова – кандидат педагогических наук., и.о. доцент кафедры «Компьютерная и программная инженерия», Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, 010000, Астана, Казахстан.

Р.М.Сәдуақасов - «Есептеу техникасы және бағдарламалық қамтамасыз ету» мамандығы бойынша техникалық ғылымдар магистрі, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Жасанды интеллект технологиялары» кафедрасының оқытушысы, Сәтбаева көшесі, 2, 010000, Астана, Қазақстан

Қ.Ж. Сәдуақасова – педагогика ғылымдарының кандидаты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Компьютер және бағдарламалық қамтамасыз ету инженериясы» кафедрасының доцент м.а., Сәтбаева көшесі, 2, 010000, Астана, Қазақстан.

RM. Sadvakassov - Master of Technical Sciences in the specialty «Computer Science and Software», teacher of the department «Artificial Intelligence Technologies», at the L.N. Gumilyov Eurasian National University, located at 2 Satpayeva Streed, 010000, Astana, Kazakhstan.

K.Zh. Sadvakassova – Candidate of Pedagogical Sciences, Acting Associate Professor of the Department of «Computer and Software Engineering», at the L.N. Gumilyov Eurasian National University, located at 2 Satpayeva Streed, 010000, Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)