

УДК 004.942

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-6-1130-1138

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НЕОРГАНИЗОВАННОЙ ГРУППЫ В СЛУЧАЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

И.И. Викснин, Ю.А. Ляховенко, Н.О. Турсуков

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация
 Адрес для переписки: Lyakhovenko.kam@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 01.09.19, принята к печати 09.10.19
 Язык статьи — русский

Ссылка для цитирования: Викснин И.И., Ляховенко Ю.А., Турсуков Н.О. Моделирование поведения неорганизованной группы в случае чрезвычайной ситуации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 6. С. 1130–1138. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-6-1130-1138

Аннотация

Предмет исследования. Представлены усовершенствованная модель и результаты экспериментального исследования поведения неорганизованной группы в случае чрезвычайной ситуации. Представленный подход к моделированию поведения человека основан на модели социальных сил Дирка Хелбинга и Питера Молнара (Social force model). Подобная модель учитывает информационное воздействие на индивидуальное поведение агентов группы. Разработанная в предлагаемой работе модель адаптирована для описания поведения группы людей в чрезвычайных ситуациях. **Метод.** В предлагаемой модели поведения агент в каждый момент времени решает задачу по нахождению оптимального направления перехода от своего местоположения до какого-либо более безопасного места. В качестве программной платформы для реализации симулятора предложен инструмент имитационного моделирования AnyLogic со встроенной библиотекой Pedestrian, который позволяет строить модели с большим объемом информации о передвижениях пешеходов (трафике). Используемый инструмент обеспечивает описание взаимодействия между агентами внутри группы, обладает графическим интерфейсом и позволяет использовать язык программирования Java. **Основные результаты.** Предложенная модель реализована в виде симулятора с использованием открытой информации о пожаре в клубе «Хромая лошадь» (5 декабря 2009 г.) в городе Пермь. Выполнено сравнение сведений о реальном пожаре с результатами моделирования по предложенной методике, по существующей методике поведения группы в многоуровневом разветвленном помещении и методикой движения агентов по кратчайшему пути. Показано, что результаты, полученные по предложенной модели, наиболее точно совпадают с реальными результатами. **Практическая значимость.** Представленная модель поведения неорганизованной группы позволяет проводить анализ произошедших чрезвычайных ситуаций и выполнять тестирование существующих и проектируемых помещений с целью обеспечения их безопасности.

Ключевые слова

многоагентные системы, моделирование, слабо организованные группы, моделирование чрезвычайных ситуаций, модель социальных сил

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-6-1130-1138

SIMULATION OF UNORGANIZED GROUP BEHAVIOR IN CASE OF EMERGENCY

I.I. Viksnin, J.A. Lyakhovenko, N.O. Tursukov

ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation
 Corresponding author: Lyakhovenko.kam@gmail.com

Article info

Received 01.09.19, accepted 09.10.19
 Article in Russian

For citation: Viksnin I.I., Lyakhovenko J.A., Tursukov N.O. Simulation of unorganized group behavior in case of emergency. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019, vol. 19, no. 6, pp. 1130–1138 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-6-1130-1138

Abstract

Subject of Research. The paper presents an advanced model and experimental study results considering an unorganized group behavior in case of emergency. An approach to simulation of human behavior is based on the Dirk Helbing and Peter Molnar model of social forces (Social force model). Such model takes into account the informational impact on the individual behavior

of group agents. The developed model is adapted for crowd behavior description in emergency situations. **Method.** The essence of the proposed model of behavior lies in the idea that at every instant the agent solves the problem of finding the optimal transition direction from a current location to some safer place. The implementation of AnyLogic simulation tool is proposed as a software platform for the simulator with the built-in Pedestrian library, which gives the possibility to build models with a large amount of information about pedestrian movements (traffic). The tool used has a graphical interface, provides a description of the interaction between agents within the group and the possibility for the Java programming language application. **Main Results.** The proposed model is implemented in the form of a simulator using open information about the fire in the Lame Horse Club (December 5, 2009) in the city of Perm. Comparison of information about a real fire with the simulation results by the proposed method is performed, as well as according to the existing method of group behavior in a multi-level branched room, and by the method of moving agents along the shortest path. It is shown that the results obtained by the proposed model most closely match the real results. **Practical Relevance.** The presented model of an unorganized group behavior makes it possible to analyze the emergencies that have occurred and test existing and planned premises in order to ensure their safety.

Keywords

multi-agent systems, simulation, poorly organized groups, emergency simulation, social forces model

Введение

На данный момент проектирование помещений, предназначенных для массового скопления людей, а также правила эвакуации из этих помещений построены без учета модели поведения человека, характеризующегося стохастичностью принятия решений в случае возникновения паники¹, из-за чего нерационально расходуется время, затрачиваемое на эвакуацию, что впоследствии увеличивает количество жертв. Существует множество трагичных примеров таких, как пожар 27.01.2013 г. в клубе «Kiss», который начался около 2:30 (по другим данным в 2:00) в г. Санта-Мария, штат Риу-Гранди-ду-Сул, Бразилия. Возгорание было вызвано неосторожным применением пиротехники в клубе. При пожаре погибли 242 человека, 630 пострадали. Число жертв увеличилось то, что запасной выход был узкий и всего лишь один, что привело к давке.

Эти события доказывают важность применения методов моделирования поведения неорганизованной группы (толпы) при возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС), что позволит оптимизировать процесс предварительной подготовки с целью минимизации жертв при экстренных ситуациях и возникновении паники.

Основной математической модели поведения человека в условиях экстренной ситуации, использованной в симуляторе, является модель социальных сил (Social force model) Дирка Хелбинга и Питера Молнара, а также предложено решение, учитывающее не только пространство и расстояние до различных областей выхода, но и внешние и внутренние воздействия на человека как часть слабо выраженной организованной массы: физиологические, социальные и информационные [1–3].

Под информационным влиянием в рамках представленной работы понимается влияние осведомленности других членов группы об окружающей среде, оказываемое отдельными видимыми агентами в процессе эвакуации. Отсюда вытекает неспособность человека выбирать оптимальные направления движения для достижения цели (спасения) на основании выбора средней траектории движения других агентов толпы.

Проверка симулятора проводилась на примере событий в ночном клубе «Хромая лошадь», произошедших 5.12.2009 г. в г. Пермь. В результате моделирования построена плоская модель здания, в котором произошел пожар, обозначены стены и перегородки, которые толпа не может преодолеть. Помимо этого, в модели был учтен фактор пожара, возникшего на главной сцене клуба, а также задымление и наполнение помещения ядовитым дымом, начавшихся спустя несколько секунд после начала пожара. В результате проделанной работы собраны и проанализированы данные симулятора о количестве погибших, раненых и выживших. Результаты были сравнены с реальными данными о жертвах пожара, а также с данными симулятора, построенного на модели молекулярной динамики.

Обзор предметной области

Из существующих глобальных подходов моделирования поведения неорганизованной группы можно выделить несколько видов. Самый простой подход представляет собой перевод участка, по которому двигаются агенты, в дискретную форму, а также задание правил перехода агента в ту или иную область. Помимо этого, модель поведения может быть основана на ньютоновской механике, либо на динамике газа. В данных случаях поведение агентов в тех или иных ситуациях обуславливается физическими свойствами элементов группы. Один из более сложных подходов представляет собой использование мультиагентных систем, которые описывают как поведение агента в целом, так и его взаимодействие с другими участниками моделирования. В настоящее время все чаще применяются гибридные подходы к моделированию поведения толпы [4–6]. Это позволяет создавать более гибкие модели и реалистичное поведение, а также реакции групп агентов в системе.

¹ СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с Изменением № 1). Введен 2009-05-01. 50 с.

В [7, 8] в моделировании поведения неорганизованной массы используется модель конкурентного поведения, организации очередей, стадное поведение и следование за лидером. Моделирование проводилось на платформе MASSEgress, позволяющее обнаруживать коллизии среди большого числа агентов и использовать алгоритм к-средних для разработки статистических процедур построения схем эвакуации. В концепции этой модели поведение всей толпы рассматривалось, как набор поведений каждого человека, входящего в толпу. Также предполагалось, что принятие решений человеком основывалось на трех основных соглашениях: инстинкт, опыт и ограниченность рациональности, а также тот факт, что при столкновении с ЧС человек выбирает одно соглашение или их комбинацию.

Концепция стадного поведения используется в [9, 10], но с учетом физического воздействия человека на окружающую среду (другие люди, окружающие их предметы и т. д.). В подобных моделях используются фундаментальные эффекты неорганизованных групп — колебания, увеличение скорости, но не предполагается асоциального поведения со стороны других членов группы. При моделировании рассмотрены разные виды давки: фантомная давка, давка при пожаре, эффект «быстрее-медленнее» из-за нетерпения, игнорирование свободных выходов. Также показаны различные коллективные самоорганизованные явления: формирование полосы движения и колебательные потоки через узкие места.

В модели Mases [11] используется многоагентная распределенная система без центрального контроллера. Движение агента в этой модели рассчитывается на двух уровнях. Высокий уровень соответствует процессу поиска пути, который генерирует последовательности участков траектории движения, а низкий уровень соответствует локальному движению агента. Mases основывается на данных о характеристике среды и параметрах, необходимых для моделирования. Каждого агента такой модели характеризует так называемая «память» — его ментальная карта, которая обновляется при перемещении агента и его общении с другими агентами. В модели Mases также учтено поведение высокого уровня, которое зависит от лидерских качеств и атрибутов обучения.

В модели [12] индивид описывается радиус-вектором, актуальной скоростью и желаемой скоростью. Несоответствие актуальной и желаемой скоростей формирует силу, психологическую по своей природе, инициирующую движение паникующего индивида, которая формируется независимо от групповой давки. Также в модели используются силы, связанные с взаимодействием человека с другими людьми и препятствиями, являющиеся силами социальной природы, которые зависят от нежелания вступать человеком в слишком тесный физический контакт с другими людьми и препятствиями. Учитывается вероятность выбора направления, исходя из этих сил и структуры помещения (односвязные и неодносвязные).

Анализ факторов

Каждого агента p_i , входящего в группу, характеризуют следующие факторы:

- неполнота знаний об окружающей среде и других агентах;
- невозможность полностью спрогнозировать изменения в окружающей среде;
- выбор направления движения $d_{p_i}^t$ из множества маршрутов D на основе $E(d_{p_i}^{t-1})$ средней траектории движения других видимых агентов группы;
- выбор направления движения d , основываясь на произошедших до t момента ЧС событий (увиденный стюард или запасный выход).

Модель поведения и алгоритм работы

Предлагаемый метод рассматривает катастрофу как набор временных интервалов $T = \{t_0, t_1, \dots, t_n\}$, т. е. мы можем предположить существование системы в момент времени t_i и существование системы в предыдущий момент времени t_{i-1} . Неорганизованная группа представляет собой множество агентов $P = \{p_0, \dots, p_n\}$, которое можно разбить на два подмножества, учитывая K — типы людей, разделяя множество P , $|\{K\}| = 2$, $K = \{K_{us}, K_{inf}\}$, где K_{us} — обычные люди, а K_{inf} — информированные, причем $K_{us} \gg K_{inf}$.

Каждый агент определяется следующим набором атрибутов:

- уровнем здоровья hp , который является равным для всех P_{inf} и P_{us} в момент времени t_0 ;
- местоположением в пространстве (координатами) — $coord_{p_{inf}}, coord_{p_{us}}$;
- расстоянием до опасного фактора L_{P_i} , причем эта величина зависит от местоположения агента, т. е. $L_{P_i} = L(coord)$;
- списком агентов S_i , попавших в поле зрения агента p_i , их местоположение в пространстве $coord_{p_{inf}}, coord_{p_{us}}$ и направление.

В используемой в симуляторе модели поведения агент в каждый момент времени решает задачу по нахождению оптимального направления перехода от своего местоположения до какого-либо более безопасного места. Под оптимальным направлением движения понимается направление движения, при котором набор индивидуальных свойств, определяющих его уровень здоровья, будут наиболее похожи на набор аналогичных свойств в начальный момент времени (в начале катастрофы).

Основным фактором, определяющим направление движения $d_{p_i}^t$ агента p_i , является оценка $s_i = s(p_i) = f_s(\text{coord}_{p_i}, d_{p_i}) = f_s(\text{coord}_{p_i}, \frac{2}{3}\pi r^2\{\text{coord}_{p_i}\})$ этим агентом направления движения других агентов из множества видимых агентов $S_i = \left\{ p_j \in P: p_j \neq p_i, \text{coord}_{p_j} \in \frac{2}{3}\pi r^2(\text{coord}_{p_i}) \right\}$.

Само же направление движения в момент времени t при этом зависит от направления движения в момент времени $t-1$, т. е. $d_{p_i}^t = f(w d_{p_i}^{t-1})$, где w — коэффициент веса направления движения, а также $w = \{w_{inf}, w_{us}\}$, где w_{inf} — вес направления информированного об окружающей среде агента, а w_{us} — вес направления движения обычного агента, которые также можно разделить на множества $w_{inf} = \{w_{sinf}, w_{nsinf}\}$, $w_{us} = \{w_{sus}, w_{nsus}\}$, где w_s — вес направления агентов, увиденных до эвакуации, и w_{ns} — вес направления агентов, не увиденных до экстренной ситуации, причем $w_{sinf} \geq w_{nsinf} \geq w_{sus} \geq w_{nsus}$. Отсюда следует, что направление движения агента в момент времени t будет находиться как сумма двух функций, т. е.:

$$d_{p_i}^t = f(w d_{p_i}^{t-1}) = f(w_{inf} d_{p_{inf}}^{t-1}) + f(w_{us} d_{p_{us}}^{t-1}), \text{ где } p_{us}, p_{inf} \in S.$$

Направление движения агента есть $d_{p_i}^t = \left\{ \text{coord}_{p_i}^{t-1}, \text{coord}_{p_i}^t \right\}$, а также является усредненным направлением движения других агентов:

$d_{p_i}^t = \left\{ \text{coord}_{p_i}^{t-1}, E(d_{p_i}^{t-1}) \right\}$, где $E(d_{p_i}^{t-1})$ — это усредненное движение всех агентов в момент времени $t-1$, включая координаты агента p_i в момент времени $t-2$.

Окончательный вид значения направления движения агента после подстановки всех коэффициентов веса направления:

$$d_{p_i}^t = \left\{ \text{coord}_{p_i}^{t-1}, \frac{w_{sinf} \sum \text{coord}_{p_{sinf}}^{t-1} + w_{nsinf} \sum \text{coord}_{p_{nsinf}}^{t-1} + w_{sus} \sum \text{coord}_{p_{sus}}^{t-1} + w_{nsus} \sum \text{coord}_{p_{nsus}}^{t-1} + \text{coord}_{p_i}^{t-2}}{|s_i| + 1} \right\}.$$

Описание симулятора

В качестве программной платформы для реализации симулятора выбран инструмент имитационного моделирования AnyLogic¹, позволяющий строить модели с большим количеством пешеходного трафика с помощью встроенной библиотеки Pedestrian². Используемый инструмент обеспечивает описание взаимодействия между агентами внутри группы, обладает графическим интерфейсом и позволяет использовать язык программирования Java.

В реализации симулятора использована открытая информация о реальном пожаре в клубе «Хромая лошадь», произошедшем 05.12.2009 г. в г. Пермь.

Агенты, участвующие в симуляции, а также их количество соответствуют реальным данным о посетителях в клубе в момент ЧС. На рис. 1 показан план помещения и расположение агентов до эвакуации, где синие круги — официанты. Данные, использованные в симуляторе:

- количество агентов — 322;
- количество официантов (информированных агентов) — 20;
- количество выходов — 2;
- время начала эвакуации — спустя приблизительно 10 с после начала пожара;
- время заполнения помещения дымом — 1 мин.

Симуляция начинается с равномерного распределения агентов в помещении. При этом большая часть агентов располагается в районе барных стоек и танцпола. Пожар начинается в центре сцены и быстро разгорается. Загоревшийся в клубе потолок облицован полипропиленом, характеристики пожарной безопасности которого следующие:

- группа воспламеняемости — В2 (умеренно воспламеняемый) по ГОСТ 30402³;
- дымообразующая способность — Д3 (высокая дымообразующая способность) по ГОСТ 12.1.044⁴;
- показатель токсичности — Т4 (чрезвычайно опасный) по ГОСТ 12.1.0444.

В соответствии со стандартами скорость распространения огня в помещении высокая, а материал горения выделяет токсичный дым, который быстро заполняет помещение. В связи с этим агенты, попадающие

¹ Anylogic — Моделирование для обоснованных решений. URL: <https://www.anylogic.ru> (дата обращения: 10.06.2019).

² Пешеходная библиотека. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/libraries/pedestrian-library/> (дата обращения: 10.06.2019).

³ ГОСТ 30402-96 Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость. Введен 1996-07-01. М., 1996. 33 с.

⁴ ГОСТ 12.1.044-2018 Пожаровзрывоопасность вещества и материалов. Номенклатура показателей и их методы определения. Введен. 1991-01-01. 206 с.

в задымленную область, теряют сознание после нескольких вдохов. В модели здоровье агентов показано посредством цветовой индикации – чем краснее объект, тем он менее здоров. Потерявший сознание человек считается недееспособным агентом, останавливается и полностью прекращает участие в работе модели.

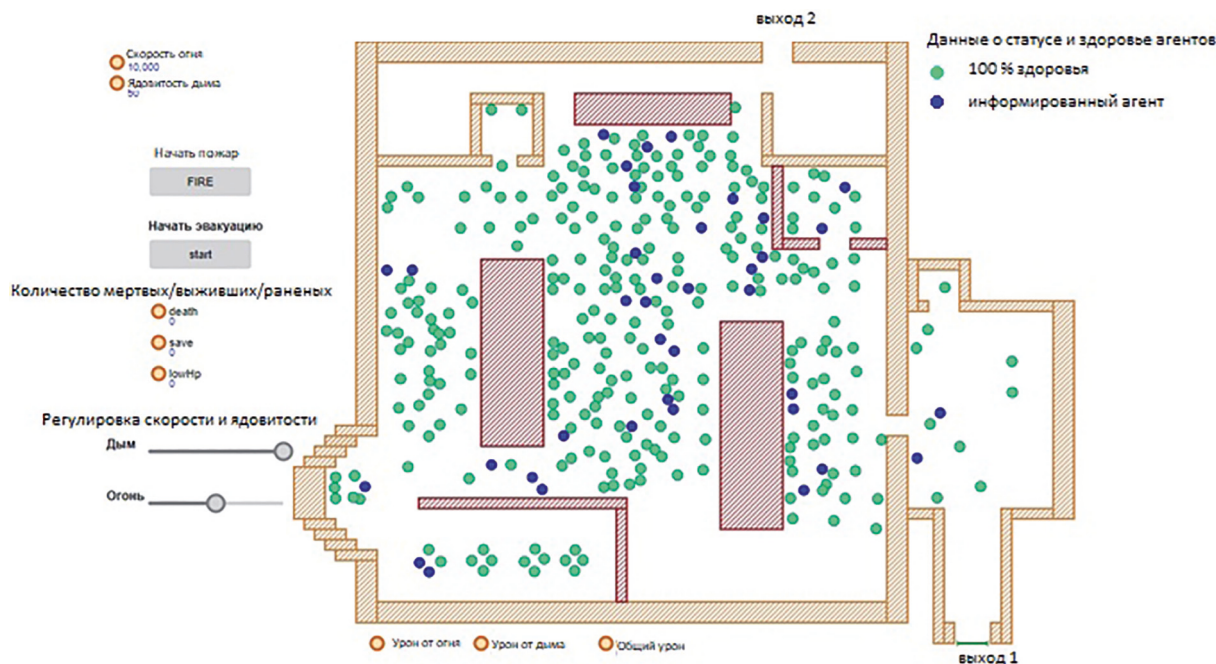


Рис. 1. План помещений и расположение агентов в здании

После заполнения помещения агентами и начала пожара начинается эвакуация людей. Выбор направления движения агентов зависит от движения информированных агентов, от средней траектории движения остальной массы людей, а также от огня, который разрастаясь, может ограничивать безопасную область передвижения.

Агенты, вышедшие из помещения, прекращают участие в работе модели. При этом часть людей движется в сторону запасного выхода, заметив его в своем поле видимости, и последовав за информированными агентами, корректируя путь в зависимости от движения неорганизованной группы. Движение агентов в сторону выходов начинается спустя 10 с после начала пожара. На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма эвакуации агента во время симуляции.

На основе данного алгоритма с помощью инструментов Anylogic реализована логика поведения агентов на плане. Поскольку каждый человек на интерактивной модели является самостоятельным агентом, для него прописаны условия того или иного действия. Так, при начале эвакуации, для каждого агента происходит проверка ряда событий, такие как обнаружение официанта, определение движения группы, обнаружение наличия огня в зоне видимости, и другие. На рис. 3 представлена базовая логическая схема движения агентов в помещении при обнаружении огня.

При наличии того или иного события происходит выполнение таких функций, как нахождение точки выхода из огня, нахождение ближайшего выхода либо изменение направления движения в сторону запасного выхода. Агент определяет свои координаты и приблизительно определяет расстояние до той или иной точки, в которой он хочет оказаться. Агент имеет индивидуальные характеристики, такие как вес и состояние здоровья, в зависимости от которых меняется и скорость передвижения человека на плане. Огонь и дым тоже считаются агентами и подчиняются правилам распространения в помещении. Распространение огня и дыма происходит в постепенно увеличивающемся радиусе, скорость увеличения которого задается пользователем программными средствами. На рис. 4 показан процесс эвакуации, смоделированный при работе программы.

После выполнения программы по предложенной модели сохраняются данные о состоянии здоровья у агентов и присваиваются статусы: здоров, ранен, погиб.

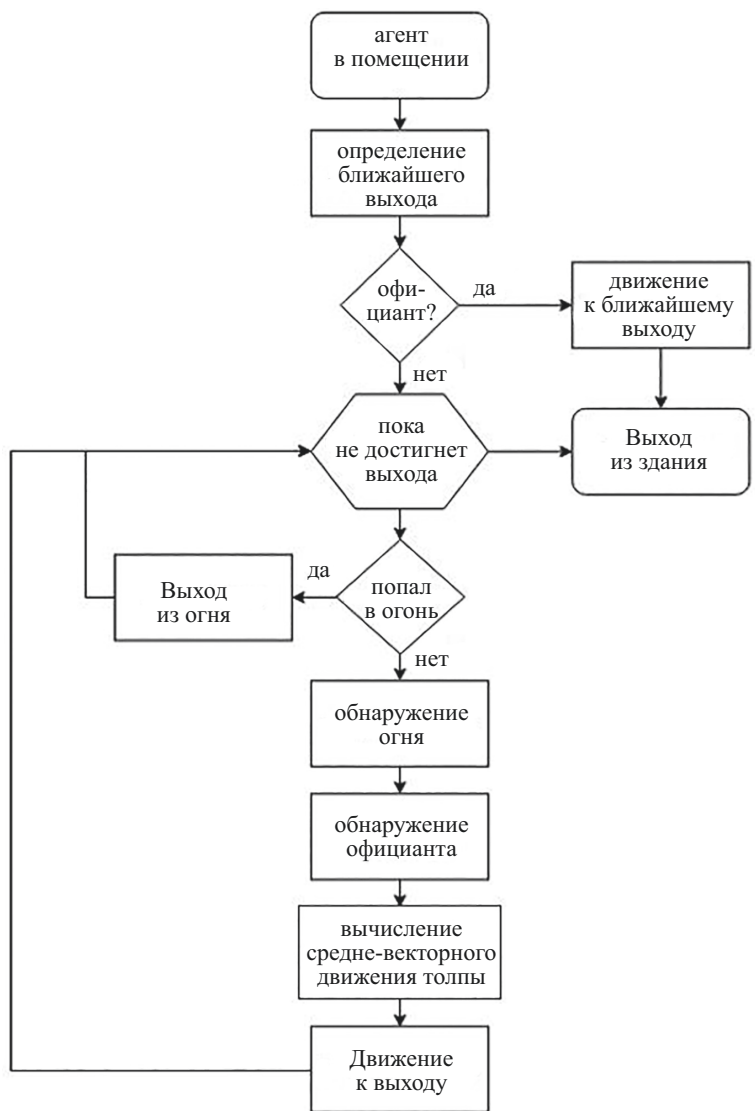


Рис. 2. Алгоритм эвакуации агента

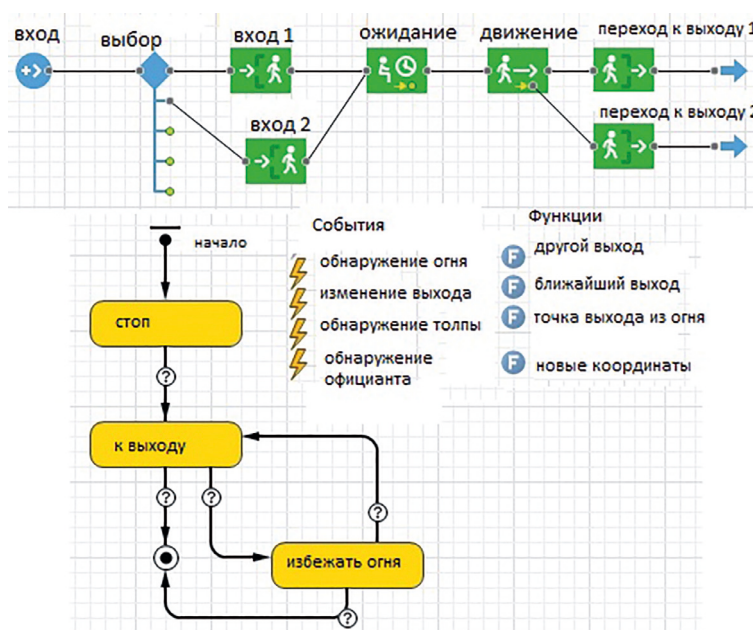


Рис. 3. Логическая схема движения агентов

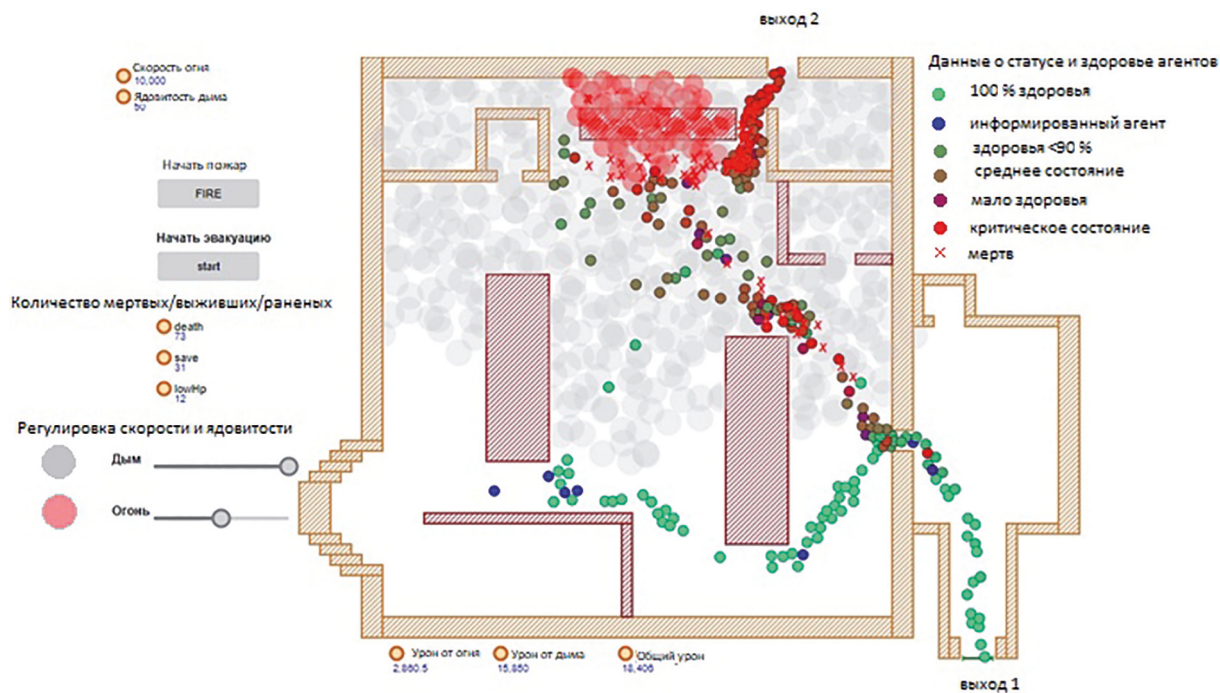


Рис. 4. Схема процесса эвакуации

Вычислительный эксперимент

В качестве симулятора, работающего без применения модели поведения человека, использована модель, построенная с помощью встроенных функций AnyLogic. Это подразумевает движение агентов по кратчайшей траектории к ближайшему выходу. При этом общее количество агентов неорганизованной группы, количество информированных агентов, наличие огня и дыма никак не учитываются. В соответствии с этим были получены результаты о количестве погибших, раненых и выживших людей.

Помимо этого, реализована модель [12] поведения паникующей группы в многоуровневом разветвленном помещении. В такой модели движение агента основано на существующей структуре помещения и наличии других агентов на пути.

В табл. 1 представлено сравнение результатов, полученных с помощью разработанной модели и реальными цифрами о пострадавших, выживших и погибших людях. Кроме того, одним из сравниваемых подходов является [12], результаты которого отображены в таблице в колонке «Модель поведения в разветвленном помещении (В)».

Таблица 1. Реальные данные о пострадавших и результаты моделирования, количество человек

Группы людей	Реальные данные	Результаты моделирования		
		Симулятор без модели поведения	Модель поведения в разветвленном помещении	Разработанная модель
Погибшие	156	202	186	151
Раненые	78	14	14	45
Здоровые	166	120	135	171

Для сравнения результатов моделирования, представленных в табл. 1, использованы показатели абсолютной ΔA и относительной δ погрешности. Результаты сравнения погрешностей приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение результатов моделирования. Абсолютные ΔA , чел. и относительные δ погрешности

Группы людей	Реальные данные, чел.	Симулятор без модели поведения		Модель поведения в разветвленном помещении		Разработанная модель	
		ΔA	δ	ΔA	δ	ΔA	δ
Погибшие	156	46	0,29	30	0,41	5	0,03
Раненые	78	64	0,82	63	0,82	33	0,42
Здоровые	166	46	0,28	31	0,19	5	0,03

Из реальных данных о произошедшей ЧС и результатов моделирования по предложенной методике видно, что результаты симуляции модели отличаются в среднем на 16 %, что значительно меньше, чем тот же показатель, полученный при симуляции с использованием других моделей. Это показывает точность разработанной модели относительно приведенных для сравнения общеизвестных моделей.

Заключение

Предложена и протестирована модель поведения неорганизованной группы в чрезвычайных ситуациях. Модель учитывает информационное воздействие на группу, что позволяет приблизить данные к реальным показателям. Представлено описание существующих подходов к моделированию поведения человека, показаны отличия разработанной модели. В полученной модели агент в каждый момент времени пытается определить оптимальное направление до безопасного места.

Полученные результаты проанализированы, выполнено сравнение с данными, полученными при тестировании других сравниваемых моделей. Выполнено сравнение с реальными сведениями о погибших, пострадавших и выживших при пожаре. Показано, что результаты, полученные по предложенной модели, наиболее точно совпадают с реальными результатами.

Продемонстрирована возможность повышения качества моделирования чрезвычайных ситуаций по частным показателям. Представленная модель может быть полезна при проведении анализа уже существующих и проектируемых помещений в целях обеспечения безопасности при возникновении паники в чрезвычайных ситуациях.

Литература

1. Helbing D., Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics. Institute of Theoretical Physics, University of Stuttgart, 70550 Stuttgart, Germany [Электронный ресурс]. URL: <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/9805244.pdf>, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 10.05.2018).
2. Pan X., Han C.S., Dauber K., Law K.H. A Multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations [Электронный ресурс]. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-007-0126-1>. Яз. англ. (дата обращения: 08.06.2018). doi: 10.1007/s00146-007-0126-1
3. Mehran R., Oyama A., Shah M. Abnormal crowd behavior detection using social force model [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5206641>. Яз. англ. (дата обращения: 18.07.2018). doi: 10.1109/CVPR.2009.5206641
4. Johansson A., Helbing D., Shula P.K. Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/220301682_Specification_of_the_Social_Force_Pedestrian_Model_by_Evolutionary_Adjustment_to_Video_Tracking_Data, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 27.09.2018). doi: 10.1142/S0219525907001355
5. Fazio R.H. Multiple processes by which attitudes guide behavior: the mode model as an integrative framework [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065260108603184>. Яз. англ. (дата обращения: 27.09.2018). doi: 10.1016/S0065-2601(08)60318-4
6. Oliver N.M., Rosario B., Pentland A.P. A bayesian computer vision system for modeling human interactions [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/868684>. Яз. англ. (дата обращения: 14.10.2018). doi: 10.1109/34.868684
7. Pan X. Computational modeling of human and social behaviors for emergency egress analysis [Электронный ресурс]. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Computational-modeling-of-human-and-social-for-Pan/0749a6d8952da20ff2d17f501da4068b5269b382>, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.10.2018).
8. Pan X., Han C.S., Dauber K., Law K.H. Human and social behavior in computational modeling and analysis of egress [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580505000737>. Яз. англ. (дата обращения: 08.11.2018). doi: 10.1016/j.autcon.2005.06.006
9. Helbing D., Farkas I.J., Molnar P., Vicsek T. Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations [Электронный ресурс]. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/6b72/b31c2531b2a910ecbe6baa095b0907a7448a.pdf>, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 08.11.2018).
10. Pentland A., Liu A. Modeling and prediction of human behavior [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mit.edu/~amliu/>

References

1. Helbing D., Molnar P. *Social force model for pedestrian dynamics. Institute of Theoretical Physics, University of Stuttgart, 70550 Stuttgart, Germany.* Available at: <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/9805244.pdf> (accessed: 10.05.2018).
2. Pan X., Han C.S., Dauber K., Law K.H. *A Multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations.* Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-007-0126-1> (accessed: 08.06.2018). doi: 10.1007/s00146-007-0126-1
3. Mehran R., Oyama A., Shah M. *Abnormal crowd behavior detection using social force model.* Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5206641> (accessed: 18.07.2018). doi: 10.1109/CVPR.2009.5206641
4. Johansson A., Helbing D., Shula P.K. *Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data.* Available at: https://www.researchgate.net/publication/220301682_Specification_of_the_Social_Force_Pedestrian_Model_by_Evolutionary_Adjustment_to_Video_Tracking_Data (accessed: 27.09.2018). doi: 10.1142/S0219525907001355
5. Fazio R.H. *Multiple processes by which attitudes guide behavior: the mode model as an integrative framework.* Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065260108603184> (accessed: 27.09.2018). doi: 10.1016/S0065-2601(08)60318-4
6. Oliver N.M., Rosario B., Pentland A.P. *A bayesian computer vision system for modeling human interactions.* Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/868684> (accessed: 14.10.2018). doi: 10.1109/34.868684
7. Pan X. *Computational modeling of human and social behaviors for emergency egress analysis.* Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Computational-modeling-of-human-and-social-for-Pan/0749a6d8952da20ff2d17f501da4068b5269b382> (accessed: 14.10.2018).
8. Pan X., Han C.S., Dauber K., Law K.H. *Human and social behavior in computational modeling and analysis of egress.* Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580505000737> (accessed: 08.11.2018). doi: 10.1016/j.autcon.2005.06.006
9. Helbing D., Farkas I.J., Molnar P., Vicsek T. *Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations.* Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/6b72/b31c2531b2a910ecbe6baa095b0907a7448a.pdf> (accessed: 08.11.2018).
10. Pentland A., Liu A. *Modeling and prediction of human behavior.* Available at: http://www.mit.edu/~amliu/Papers/PentlandLiu_NeuralComp99_v11n2.pdf (accessed: 10.03.2019).
11. Pelechano N., Badler N. *Modeling crowd and trained leader behavior during building evacuation.* Available at: https://www.researchgate.net/publication/3209678_Modeling_Crowd_and

- Papers/PentlandLiu_NeuralComp99_v11n2.pdf, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 10.03.2019).
11. Pelechano N., Badler N. Modeling crowd and trained leader behavior during building evacuation [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/3209678_Modeling_Crowd_and_Trained_Leader_Behavior_during_Building_Evacuation, свободный. Яз. англ. (дата обращения: 14.04.2019). doi: 10.1109/MCG.2006.133
 12. Аптуков А.М., Брацун Д.А., Люшин А.В. Моделирование поведения паникующей толпы в многоуровневом разветвленном помещении [Электронный ресурс]. URL: http://crm-en.ics.org.ru/uploads/crmissues/crm_2013_3/13313.pdf, свободный. Яз. рус. (дата обращения: 14.05.2019).
- Trained_Leader_Behavior_during_Building_Evacuation (accessed: 14.04.2019). doi: 10.1109/MCG.2006.133
 12. Aptukov A.M., Bratsun D.A., Lyushnin A.V. *Modeling of behavior of panicked crowd in multi-floor branched space*. Available at: http://crm-en.ics.org.ru/uploads/crmissues/crm_2013_3/13313.pdf (accessed: 14.05.2019). (in Russian)

Авторы

Виксин Илья Игоревич — преподаватель, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-3071-6937, wixnin@mail.ru

Ляховенко Юлия Александровна — студент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0001-7396-2831, Lyakhovenko.kam@gmail.com

Турсуков Никита Олегович — студент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0003-3848-1981, stepingnik@gmail.com

Authors

Ilya I. Viksin — Lecturer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-3071-6937, wixnin@mail.ru

Julia A. Lyakhovenko — Student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0001-7396-2831, Lyakhovenko.kam@gmail.com

Nikita O. Tursukov — Student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0003-3848-1981, stepingnik@gmail.com