



УДК 51–77::[[336.71+336.02]:336.051]

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТЬЮ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЛОБАЛЬНЫХ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

А.С. Карсаков^а, А.С. Загарских^а, В.А. Карбовский^а, А.П. Моисеев^а, В.А. Шмелев^а,
К.Д. Мухина^а, А. Верма^б, А.В. Бухановский^а

^а Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

^б Индийский институт наук, Бангалор, 560012, Индия

Адрес для переписки: kapc3d@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 08.12.16, принята к печати 30.12.16

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-52-61

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Карсаков А.С., Загарских А.С., Карбовский В.А., Моисеев А.П., Шмелев В.А., Мухина К.Д., Верма А., Бухановский А.В. Технологии виртуальной реальности в задачах управления ситуационной осведомленностью при проведении глобальных массовых мероприятий // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 1. С. 52–61. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-52-61

Аннотация

Представлена технология обучения персонала массовых мероприятий действиям в условиях больших скоплений людей, включая задачи организации движения толпы, и действиям в экстремальных ситуациях, связанных с паникой. Технология основана на использовании мультиагентной модели движения скоплений людей с перенастраиваемыми параметрами на основе механизма навигационных полей. Реализована программная система, обеспечивающая коллаборативный и, при необходимости, распределенный процесс обучения персонала мероприятия, в том числе в среде виртуальной реальности. В ходе экспериментальных исследований проанализированы три характеристики разработанной программной системы: ресурсоемкость задач моделирования; масштабируемость системы визуализации при увеличении числа агентов; реактивность конечной системы при визуализации высоконагруженной задачи. Предложенные модели и инфраструктура обучения посредством коллаборативного «погружения» в среду виртуальной реальности позволяют повысить ситуационную осведомленность персонала массовых мероприятий непосредственно до начала события. Разработанная технология является уникальным инструментом для повышения качества и безопасности проведения разовых, в том числе не обеспеченных ретроспективным опытом массовых мероприятий, вовлекающих широкие массы населения. Апробация технологии проведена в рамках религиозного фестиваля Кумбха-Мела (Удджайн, Индия).

Ключевые слова

ситуационная осведомленность, обучение персонала, мультиагентное моделирование, виртуальная реальность

Благодарности

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 14–21–00137 от 15.08.2014 г.)

VIRTUAL REALITY FOR MANAGEMENT OF SITUATIONAL AWARENESS DURING GLOBAL MASS GATHERINGS

A.S. Karsakov^а, A.S. Zagarskikh^а, V.A. Karbovskii^а, A.P. Moiseev^а, V.A. Shmelev^а,
K.D. Mukhina^а, A. Verma^б, A.V. Boukhanovsky^а

^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

^б Indian Institute of Science (IISc), Bangalore, 560012, India

Corresponding author: kapc3d@gmail.com

Article info

Received 08.12.16, accepted 30.12.16

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-52-61

Article in Russian

For citation: Karsakov A.S., Zagarskikh A.S., Karbovskii V.A., Moiseev A.P., Shmelev V.A., Mukhina K.D., Verma A., Boukhanovsky A.V. Virtual reality for management of situational awareness during global mass gatherings. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 52–61. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-1-52-61

Abstract

This paper presents a training technology for staff of mass events for development of action skills in large gatherings of people, including crowd dynamic management and actions in extreme situations caused by the panic. The technology is based on the multi-agent model of crowd dynamic with dynamically re-computable navigation fields. We implemented the software system that provides a collaborative and distributed process of training activities in the virtual reality environment. The following characteristics of the developed software system available from experimental studies were analyzed: computational intensity of simulations, scalability of rendering system and reactivity of the final system when rendering computationally intensive scenes. The proposed models and infrastructure for training through collaborative immersion in the virtual reality can improve situational awareness of events staff prior to the event. The developed technology is a unique tool for improving the quality and safety of disposable and unique events involving the broad masses of people, including unfunded by retrospective experience mass gatherings. Developed technology was tested within the Kumbh Mela festival in Ujjain, India.

Keywords

situational awareness, staff training, multi-agent modeling, virtual reality

Acknowledgements

This paper is prepared by the results of the project that was financially supported by the Russian Scientific Foundation, Agreement No. 14-21-00137 (15.08.2014)

Введение

Глобальные массовые мероприятия (ММ) являются сложными социотехническими явлениями, эффективное управление которыми требует использования современных информационных технологий. В настоящее время однозначного определения ММ не существует: в различных источниках нижняя граница числа участников варьирует от 1 до 25 тыс. человек [1]. Всемирная организация здравоохранения разделяет ММ на спонтанные и спланированные [2], в других источниках [3, 4] ММ также классифицируют по цели проведения, свойствам местности, по числу участников, по уровню используемых ресурсов и времени, которое занимают предварительное планирование и подготовка. Для всех классов ММ наиболее острой является проблема возникновения давки [5], среди основных причин которой выделяют [1]: стремление людей как можно скорее попасть в то или иное место, конкуренцию за свободное пространство или бесплатные ресурсы, глобальное распространение новой информации о мероприятии (включая дезинформацию и слухи), панику, в том числе из-за чрезвычайных ситуаций, а также окончание мероприятия [6, 7]. Для управления крупными ММ масштабом от сотен тысяч до нескольких миллионов человек используются информационные системы, осуществляющие частичный мониторинг и визуализацию ситуации; при этом в реализации функций управления задействован персонал мероприятия, большую часть которого традиционно составляют волонтеры [8–10]. Важным элементом мотивации волонтеров является получение нового опыта в ходе подготовки и выполнения своих обязательств [10, 11]. Для работы в рамках ММ волонтеры обычно инструктируют и (или) тренируют в идеализированных условиях; однако обеспечить их полноценное обучение действиям в реальных ситуациях сложно из-за уникальности (разового характера) ММ. Как следствие, для воспроизведения условий, приближенных к реальным, необходимо использовать методы компьютерного моделирования больших скоплений людей [12]. В целом программные решения для обучения персонала ММ на основе компьютерного моделирования делятся на две значимые группы. Первая группа (MassMotion [13], Legion [14], CrowdSim [15] и др.) полезна на этапе инструктирования: она в основном ориентирована на воспроизведение возможных вариантов процессов эвакуации, в том числе интерактивного управления толпой в «режиме бога» посредством виртуальных подчиненных (система Crowd Control Trainer компании VStep [16]). Вторая группа включает ряд тренажеров (преимущественно военных – DARWARS [17], VBS [18] и др.), с использованием игровых технологий и методов геймификации, для коллаборативной подготовки персонала, действующего на местности, однако без взаимодействия с большими скоплениями людей. Проведенный анализ демонстрирует отсутствие обучающих технологий, обеспечивающих качественное повышение ситуационной осведомленности персонала ММ, особенно в экстремальных ситуациях. Тем не менее, данная задача может быть решена в рамках создания виртуальной среды, отражающей специфику реального мероприятия, что позволяет в игровой форме обеспечить погружение в нее как обучающего, так и обучаемого персонала с целью отработки их коллаборативного взаимодействия.

Информационная и математическая модель массового мероприятия

В основе виртуальной среды заложена информационная модель ММ, связывающая все основные сущности в рамках интерактивного мультиагентного (МА) подхода.

В рамках информационной модели агент-посетитель ММ представлен как нематериальное тело; он описывается кортежем $A = \{(x, y, k), P, M(POI_i^{in}, POI_j^{out})\}$, где (x, y, k) – координаты агента; k – номер этажа, на котором находится агент (может быть нулевым в случае одноуровневого мероприятия); P – уникальные свойства агента: возраст, пол, физические характеристики; M – функция, определяющая путь агента между начальной (point of interest, POI) POI_i^{in} и конечной POI_j^{out} точками интереса (места паломничества, определенные стенды и т.п.). Путь может динамически меняться в зависимости от внешних

условий, в том числе по указанию персонала ММ. При этом все агенты обладают сенсорами реакции на информирование участников мероприятия, реакции на толпу и реакции на возникновение опасности. Помимо агентов, представляющих участников ММ, используется агент типа «персонал», имеющий схожее с агентом-посетителем визуальное представление в виртуальном пространстве, однако управление им передано напрямую обучаемому. Выделены три основные роли (уровня иерархии) персонала: административный (лица, принимающие решения, представители организаторов мероприятия); руководители (подразделений служб безопасности и волонтерских отрядов); исполнители (рядовые представители служб безопасности, волонтеры).

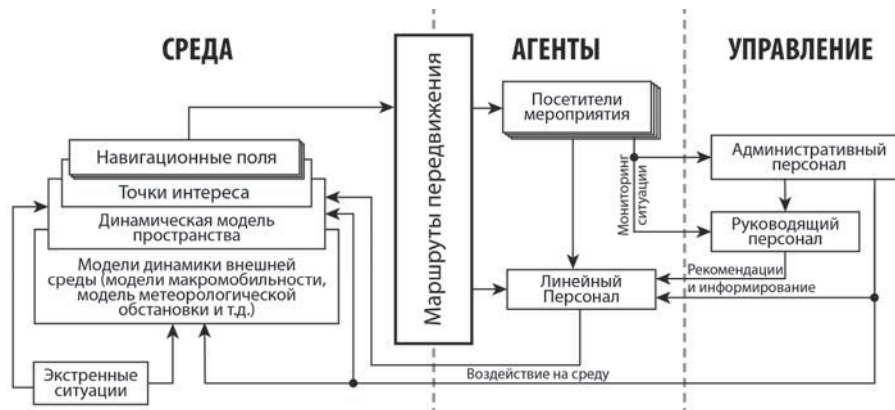


Рис. 1. Информационная модель массового мероприятия

Для имитации поведения посетителей ММ в рамках модели на рис. 1 использована МА-модель динамики больших скоплений людей на основе социальных сил (social force) [19]. В ней скорости \mathbf{v}_i перемещения каждого i -го агента в пространстве вычисляются с использованием уравнения

$$\frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \mathbf{F}_i(t) + \boldsymbol{\varepsilon}, \quad (1)$$

где $\boldsymbol{\varepsilon}$ – случайное отклонение, связанное с неоднородностью поведения агентов, а \mathbf{F}_i – результирующая сила, действующая на i -го индивида в момент времени t :

$$\mathbf{F}_i(t) = \frac{v_0 \mathbf{e}_i(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau} + \sum_j \mathbf{F}_{ij}(\mathbf{e}_i, \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) + \sum_n \mathbf{F}_{in}(\mathbf{e}_i, \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_n^i), \quad (2)$$

где \mathbf{e}_i – желаемое направление движения агента, первое слагаемое отвечает за собственное ускорение агента; \mathbf{r}_i – радиус-вектор агента i ; \mathbf{r}_j – радиус-вектор агента j ; \mathbf{r}_n^i – радиус-вектор до ближайшей к агенту i -ой точки препятствия n ; \mathbf{F}_{ij} – сила отталкивания между агентами i и j ; \mathbf{F}_{in} – сила отталкивания между агентом i и препятствием n .

Если на пути следования интересующего агента отсутствуют какие-либо препятствия, то он перемещается в направлении к цели $\mathbf{e}_i(t)$ со скоростью \mathbf{v}_0 . Различие между реальной $\mathbf{v}_i(t)$ и оптимальной $v_0 \mathbf{e}_i(t)$ скоростью, обусловленное необходимостью изменения скорости или коррекции маршрута из-за помех, сводится к появлению ненулевого времени релаксации τ . Отталкивание агентов описывается следующим выражением:

$$\mathbf{F}_{ij}(\mathbf{e}_i, \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) = -\omega(\mathbf{e}_i, -\mathbf{f}_{ij}) \nabla_{\mathbf{r}_{ij}} V_{ij}(b(\mathbf{r}_{ij})), \quad (3)$$

где b – малая полуось действующей силы отталкивания, а вес силы отталкивания ω , зависящий от направления движения агента при эффективном угле зрения агента 2φ , выражается формулой

$$\omega(\mathbf{e}_i, -\mathbf{f}_{ij}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \mathbf{e}_i \mathbf{f}_{ij} \leq |\mathbf{f}_{ij}| \cos \varphi, \\ c, & \text{иначе} \end{cases} \quad (4)$$

c – коэффициент влияния, $c \in (0; 1)$; \mathbf{f}_{ij} – вектор направления силы отталкивания. Второй множитель – потенциал влияния – представлен в следующем виде:

$$\nabla_{\mathbf{r}_{ij}} V_{ij}(b(\mathbf{r}_{ij})) = A \exp\left(-\frac{b(\mathbf{r}_{ij})}{B}\right) \frac{|\mathbf{r}_{ij}| + |\mathbf{r}_{ij} - \mathbf{y}_{ij}|}{4b(\mathbf{r}_{ij})} \left(\frac{\mathbf{r}_{ij}}{|\mathbf{r}_{ij}|} + \frac{\mathbf{r}_{ij} - \mathbf{y}_{ij}}{|\mathbf{r}_{ij} - \mathbf{y}_{ij}|}\right), \quad (5)$$

где $\mathbf{y}_{ij} = \mathbf{v}_i \mathbf{e}_i \Delta t$ – вектор изменения скорости \mathbf{v}_i агента i за время Δt ; A – коэффициент отталкивания агента i ; B – коэффициент отталкивания агента j ; b определяется выражением

$$b(\mathbf{r}_{ij}) = \frac{1}{2} \sqrt{(|\mathbf{r}_{kj}| + |\mathbf{r}_{kj} - v_k \mathbf{e}_k \Delta t|)^2 - (v_j \Delta t)^2}. \quad (6)$$

Отталкивание между агентом i и ближайшей точкой n препятствия вычисляется аналогично взаимодействию между агентами в предположении, что препятствие неподвижно, $v_n = 0$ и $\mathbf{e}_n = 0$.

Для построения маршрутов движения агентов использован механизм навигационных полей [20], поскольку пересчет пути агентов на каждом шаге не нужен. Навигационные поля представляют собой регулярную сетку, хранящую значения векторов направления движения в каждой ячейке до точек интереса (ТИ), в данной работе используется индивидуальное навигационное поле для каждой ТИ. Если возни-

кают новые ТИ или планируемый маршрут невозможен, то навигационные поля пересчитываются полностью.

Использование модели (1)–(6) совместно с механизмом навигационных полей обеспечивает воспроизведение среды, в которой обучаемый может выполнять различные связанные с навигацией по местности и управлением толпой действия, направленные на приобретение различных компетенций, связанных с управлением ММ. На рис. 2 представлена общая информационная модель обучения персонала ММ. Организатор ММ составляет план текущего мероприятия, по которому формулируются сценарии обучения, и настраивается сама обучающая система. В настройку входит создание модели места проведения ММ, сценариев перемещения посетителей и других сопроводительных данных для моделирования мероприятия, всей сопроводительной информации относительно места и самого ММ. Согласно плану мероприятия составляются инструкции для персонала. Согласно составленным документам проводится инструктаж обучающихся, после чего они приступают к отработке сценариев на обучающей системе. При отработке сценариев в системе производится МА-моделирование с сохранением данных о ходе выполнения сценария. На основании сохраненных данных оцениваются результаты обучения персонала, принимается решение о расположении персонала во время ММ, а также определяется необходимость дополнительного инструктирования.

Обучение может проводиться как для каждой роли по отдельности, так и для всех трех одновременно. При этом действует иерархический принцип коллаборативного взаимодействия между персоналом:

- администрация обеспечивает общий контроль за ситуацией на всей территории ММ (в том числе за макропараметрами) и имеет возможности глобального воздействия на среду обучения (изменять внешние условия, ограничивать входы–выходы и т.д.) и выдачи рекомендаций и указаний руководителям;
- руководители обеспечивают контроль за вверенной им территорией (здание, площадь и т.д.), получают указания и рекомендации от администрации и могут воздействовать на среду только непрямым способом – через указания к действиям исполнителям «на месте»;
- исполнители находятся «на местах», управляя агентами-персоналом, получают рекомендации и указания к действиям внутри среды от руководителей/администрации и реагируют на возникающие ситуации самостоятельно.

При оценке результатов обучения принимаемые решения сопоставляются (качественно и количественно) с эталонными решениями, выработанными экспертно и сформулированными администрацией. Такой подход имеет как достоинства (он соответствует ожиданиям администрации), так и недостатки (руководитель не всегда может предложить оптимальное решение). Потому дальнейшим развитием данного направления должно быть использование эталонных решений, сгенерированных на основе оптимизации самих модельных сценариев.

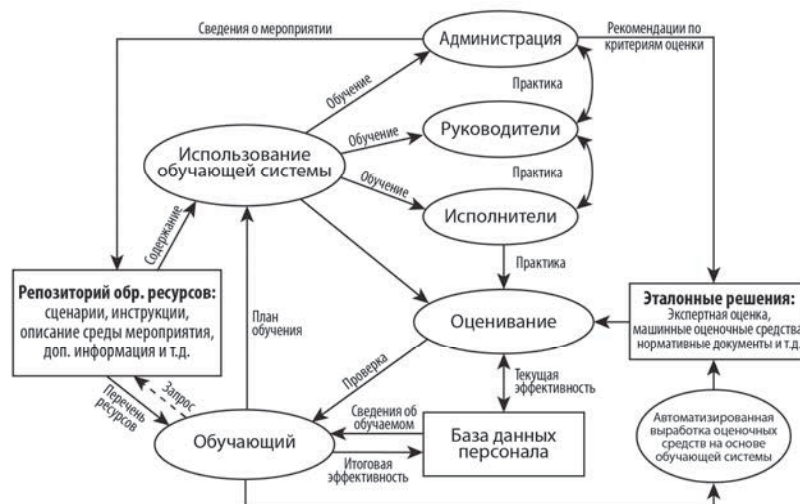


Рис. 2. Общая информационная модель обучения персонала массового мероприятия

Программная система обучения персонала в среде виртуальной реальности

В целях программной реализации моделей, отображенных на рис. 1 и 2, разработана программная система, включающая следующие модули, в целом позволяющие строить различные поведенческие сценарии: сборщик данных из внешних источников; управляющий серверный элемент, отвечающий за моделирование процесса; распределенная система визуализации результатов моделирования. Общая архитектура программной системы (рис. 3) содержит следующие основные элементы: система визуализации,

конфигуратор сценариев, подсистема моделирования, подсистема оценки, база знаний, система преобработки данных, база данных, система сбора данных и внешние источники данных.

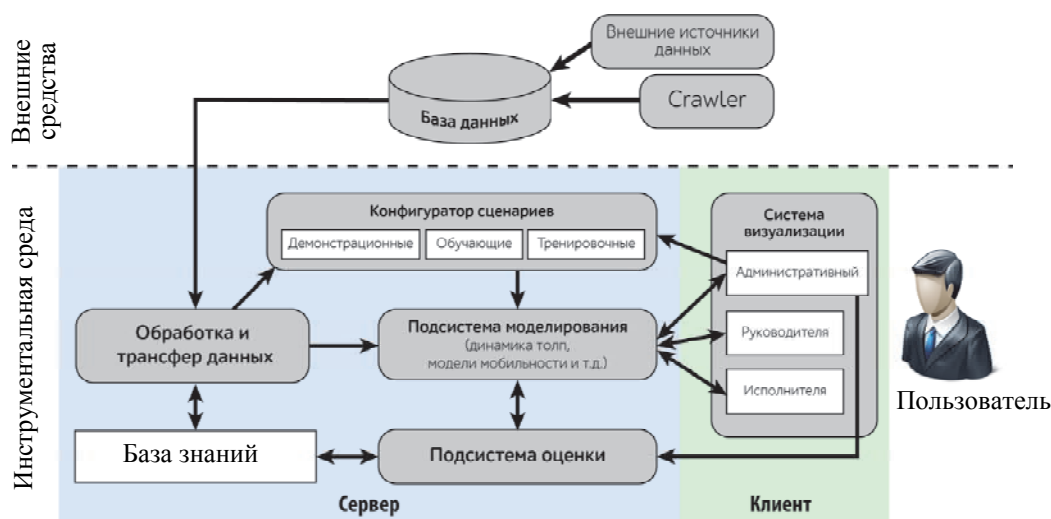


Рис. 3. Общая архитектура программной системы для обучения персонала массовых мероприятий

Обучающее приложение для конкретного ММ на основе этой архитектуры может работать в трех режимах: демонстрация (воспроизведение типовых сценариев для ознакомительного просмотра), обучение (воспроизведение сценариев с интерактивным взаимодействием с системой для приобретения новых компетенций) и тренировка (отработка и закрепление приобретенных компетенций).

Реализация программной системы выполнена на основе фреймворка моделирования городского пространства PULSE (Pulse Urban Life Simulation Environment). Данный фреймворк позволяет воспроизводить динамику толпы, используя различные поведенческие модели. Для создания системы визуализации использован графический движок Fusion Engine, интегрированный с платформой PULSE и поддерживающий множество необходимых технологических возможностей: современное графическое API DirectX11; встроенный инструментарий работы с геоинформационными данными; гибкое подключение новых устройств ввода-вывода; расширяемость программными модулями; гибкие инструменты создания пользовательского интерфейса; поддержка различных режимов 3D- (стерео-) визуализации.

Для работы с конечными пользователями разработано три типа клиентских приложений, соответствующих ролям обучающихся: административный клиент, рекомендательный клиент, а также клиент виртуальной реальности (КВР). Административный клиент предназначен для мониторинга и управления процессом моделирования в рамках воспроизводимого сценария поведения агентов. В момент установки соединения с сервером клиент получает информацию о местоположении агентов в пространстве и характеристики МА-модели. Для управления МА-моделью у административного клиента есть доступ к набору инструментов на сервере, позволяющих регулировать параметры модели (например, поток агентов, силу их взаимодействия между собой и т.д.). Несколько клиентов данного типа одновременно могут взаимодействовать с сервером и наблюдать за происходящим. Функциональность рекомендательного клиента схожа с функциональностью административного, но первый не может непосредственно влиять на среду и объекты моделирования. С помощью этого клиента можно только наблюдать за ходом сценария во вверенной области, выдавать рекомендации и указания к действию исполнителям «на местах» посредством передачи рекомендательного сообщения на сервер, откуда оно рассылается всем подключенным клиентам.

КВР предназначен для обучения исполнителей «на местах» и представляет собой систему, с помощью которой пользователь может погрузиться в виртуальный мир (при наличии гарнитуры виртуальной реальности), чтобы ознакомиться с территорией, на которой будет происходить мероприятие, и отрабатывать указания рекомендательных и административных клиентов. Для вывода пользователю изображения моделируемой среды в КВР камера наблюдателя помещается в «аватар» посетителя мероприятия, аналогичного моделируемой мультиагентной системой, однако другого типа. В этом случае пользователь может полноценно управлять своим агентом для перемещения по виртуальному пространству среды моделирования. Используемый Fusion Engine позволяет «из коробки» использовать программные интерфейсы (API) современных гарнитур виртуальной реальности (ГВР) для вывода изображения пользователю. API ГВР, вместо классического подхода синтеза моноскопического изображения из одной камеры, позволяет синтезировать стереопару изображений для трансляции их на независимые для каждого глаза экраны ГВР. Сами шлемы виртуальной реальности имеют в комплекте как внешние сенсоры отслеживания положения головы, так и встроенные датчики (акселерометр и гироскоп), для того чтобы синхронизировать

действия пользователя в реальном мире (движения головы) с камерой пользователя в виртуальном пространстве с высокой частотой обновления (порядка 90 Гц). Подобная синхронизация позволяет передать пользователю полное ощущение присутствия в виртуальном мире, а наличие в КВР, помимо видимого виртуального мира (то, что пользователь наблюдает через ГВР), и физического позволяет пользователю взаимодействовать с виртуальным пространством (перемещать объекты, например). Изменения физического мира (реконфигурация препятствий в пространстве) автоматически транслируются на сервер моделирования для обеспечения интерактивности взаимодействия пользователя с мультиагентной моделью.

Экспериментальные исследования и практическая апробация

В ходе экспериментальных исследований анализировались три характеристики разработанной программной системы: ресурсоемкость задач моделирования ММ; масштабируемость системы визуализации при увеличении числа агентов; реактивность конечной системы при визуализации высоконагруженной задачи. При оценке ресурсоемкости МА-моделирования ММ было установлено, что ограничением для практического использования системы является размер толпы порядка 25 тыс. человек. Однако на практике сверхбольшие мероприятия допускают декомпозицию на отдельные сектора, каждый из которых является зоной ответственности выделенных групп волонтеров. Таким образом, поведение толпы в этом случае можно моделировать параллельно и объединять в логике многомасштабного подхода.

Для анализа масштабируемости системы работы с КВР была рассмотрена задача визуализации моделирования поведения толпы. Определялось, сколько агентов система может отобразить в пределах видимости обучаемого.

В качестве главного показателя производительности используется число кадров в секунду (FPS). Для моновизуализации удовлетворительным считается 24 FPS, для стереовизуализации (при использовании ГВР) минимальным показателем является 45 FPS. Технические характеристики испытательного стенда: Intel Core i7-3930K, 32,0 ГБ RAM, NVidia GeForce GTX1070, Oculus Rift CV1 (для стереорежима). Как видно из табл. 1, на указанном аппаратном обеспечении в стереорежиме система может визуализировать максимум 2500 агентов, при этом выводимое изображение не будет вызывать чувство дискомфорта у пользователя. Для монорежима максимальное количество агентов – порядка 10 000.

Режим	Число агентов в кадре, шт					
	700	1500	2500	6400	10000	12100
Сtereo, FPS	90	63	45	30	22	18
Моно, FPS	114	89	69	39	27	23

Таблица 1. Производительность системы визуализации в условиях мультиагентного моделирования при разном числе находящихся в кадре агентов

Также проведен эксперимент по определению реактивности системы визуализации в стереорежиме путем измерений временного интервала между действием пользователя (вращением головой) и реакцией системы на это действие. Задержка реакции системы (ЗРС) визуализации складывается из задержек различных программных и аппаратных компонентов: сенсор Oculus Rift, определяющий положение очков Oculus; USB-провода и USB-порты; драйвер Oculus Rift; программный компонент системы визуализации; драйвер видеокарты. Измерения ЗРС проводились с помощью записи видео на высокоскоростную камеру GoPro Hero4 при параметрах 1280×720 ps на скорости 240 FPS, что позволило замерить ЗРС с погрешностью 4,167 мс. Всего было выполнено две серии замеров с различной частотой обновления системы визуализации при 90 и 45 FPS. По результатам эксперимента ЗРС в первом случае составила от 33 мс до 46 мс с медианным значением 38 мс, во втором – от 38 мс до 63 мс и медианным значением 41 мс, что немногим больше аппаратной задержки, заявляемой производителем ГВР (25–30 мс), и находится в пределах задержки, улавливаемой человеческим глазом (41,7 мс).

С целью оценки эффективности использования обучающей системы для подготовки персонала к работе на незнакомой территории было проведено экспериментальное исследование в рамках Дня открытых дверей Университета ИТМО. Для этого была создана обучающая система на основе разработанной инструментальной среды; она развернута на интерактивном стенде, функционировавшем во время мероприятия. Задание для участников состояло в поиске за кратчайшее время пути до двух контрольных точек (аудиторий). Участники были распределены по трем группам: хорошо знакомые со зданием; малознакомые/незнакомые со зданием и проходящие обучение на разработанной системе; малознакомые/незнакомые со зданием и прошедшие типовое инструктирование (контрольная группа). Каждый участник проходил по зданию произвольным образом от начальной до конечной точки. Время прохождения фиксировалось с помощью секундомера, учитывалось время достижения обеих контрольных точек. По окончании эксперимента участникам предлагалось пройти анкетирование, касающееся как программного средства, так и пройденного маршрута. На рис. 4 проиллюстрированы примеры проведения обучения и инструктирования с помощью разработанной обучающей системы.



Рис. 4. Обучение (а) и инструктирование (б) участника экспериментального исследования посредством обучающей системы

Результаты эксперимента показали, что участники, прошедшие обучение, взаимодействуют со средой и ориентируются в окружающей обстановке со скоростью, сравнимой со скоростью людей, не один год знакомых с территорией. 44% участников, прошедших обучение, показали время, соответствующее времени группы людей, досконально знающих особенности здания (рис. 5).

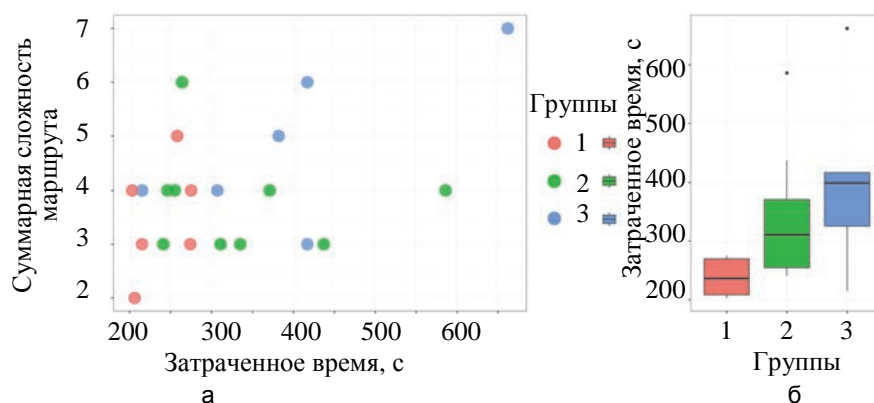


Рис. 5. Графики зависимости времени прохождения от суммарной оценки сложности маршрута (а) и времени прохождения маршрута по группам (б)

Апробация инструментальной среды для разработки обучающих систем применительно к долгосрочным ММ проведена в рамках глобального ММ Кумбха-Мела (г. Удджайн, Индия). Фестиваль Кумбха-Мела, представляющий собой массовое религиозное паломничество последователей индуизма, проводится каждые три года поочередно в четырех городах Индии – Аллахабад, Харидвар, Удджайн и Нашик; это самое массовое мероприятие в мире. Специально для проведения фестиваля администрацией праздника создается временная инфраструктура, рассчитанная на обеспечение нужд, по меньшей мере, одного миллиона постоянно присутствующих на территории в течение месяца паломников, а также большого числа единовременных посетителей. На территории возводятся палаточные комплексы, закрепляемые за религиозными деятелями – аскетами и «святыми» (которые беседуют о религии, участвуют в молитвах с последователями и гостями фестиваля), каждый из которых обладает группой последователей и обязан предварительно зарегистрироваться в администрации. Помимо этого, на территории лагеря сооружаются временные храмы и церемониальные залы. По окончании фестиваля конструкции всех этих сооружений разбираются и вывозятся с места проведения. В 2016 г. в мероприятии приняло участие около 70 млн человек.

На основе инструментальной среды была разработана обучающая система, позволяющая погружать обучаемых в виртуальную реконструированную среду ключевых для фестиваля Кумбха-Мела в г. Удджайне архитектурных сооружений – храмовых комплексов Харссидди и Махакалешвар. В системе (рис. 6) была реализована возможность участия в обучении сразу всех уровней персонала, от административного (способного кардинально влиять на ход сценариев), до персонала, действующего на местах (для тренировки навыков непосредственного взаимодействия с толпой). Для этого в нее было включено все три типа возможных клиентов, работающих распределенно. В рамках этой системы была реализована возможность динамического взаимодействия со средой – пользователь КВР может свободно перемещать временные ограждения, тем самым влияя на направление движения потока людей. Агенты в системе динамически учитывают новые препятствия и стараются их обойти. При обучении с использованием такого

типа системы можно не только найти места образования заторов, но и коллаборативно разработать оптимальные решения для их ликвидации. В ходе апробации разработанной технологии были выработаны направления использования подобных систем, созданных на ее основе руководителями персонала ММ для обеспечения лучшего понимания процессов, происходящих на местах, а также для выработки оптимальных стратегий как для регулярных процессов, так и для чрезвычайных ситуаций (заранее), а также для подготовки специалистов непосредственно для работы в толпе. Такие специалисты, будучи частью потока, должны направить людей в нужную сторону, избежав возникновения давки. Это возможно при тесном сотрудничестве с персоналом, отвечающим за внешнее управление потоками, а также при понимании различных вариантов движения потоков людей.

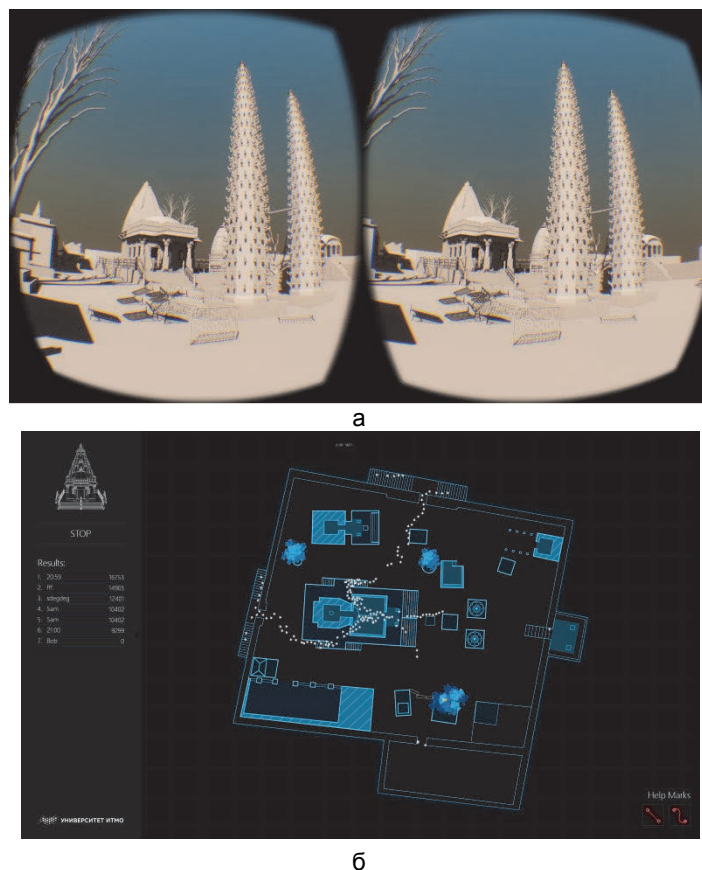


Рис. 6. Снимки экранов обучающей системы для отработки сценариев в храме Харссидди для клиента виртуальной реальности (а) и рекомендательного клиента (б)

Заключение

Разработанные модели и инфраструктура обучения посредством коллаборативного «погружения» в среду виртуальной реальности позволяют повысить ситуационную осведомленность персонала массовых мероприятий непосредственно до начала события, что является уникальным инструментом для повышения качества и безопасности проведения разовых и уникальных массовых мероприятий, вовлекающих в себя широкие массы населения. Разработанная программная система может быть гибко настроена для создания различных сценариев обучения, что обеспечивает унификацию разработанных решений для широкого диапазона массовых мероприятий. Проведенные экспериментальные исследования разработанной технологии подтвердили целесообразность ее практического применения, в том числе для самого большого в мире массового мероприятия – фестиваля Кумбха-Мела (Удджайн, Индия).

Литература

1. Illiyas F.T., Mani S.K., Pradeepkumar A.P., Mohan K. Human stampedes during religious festivals: a comparative review of mass gathering emergencies in India // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2013. V. 5. P. 10–18. doi: 10.1016/j.ijdr.2013.09.003
2. *Public Health for Mass Gatherings: Key Considerations*. World Health Organization, 2015.
3. Turrís S.A., Lund A., Hutton A., Bowles R. Mass-gathering health research foundational theory: Part 2-event modeling for

References

1. Illiyas F.T., Mani S.K., Pradeepkumar A.P., Mohan K. Human stampedes during religious festivals: a comparative review of mass gathering emergencies in India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2013, vol. 5, pp. 10–18. doi: 10.1016/j.ijdr.2013.09.003
2. *Public Health for Mass Gatherings: Key Considerations*. World Health Organization, 2015.
3. Turrís S.A., Lund A., Hutton A., Bowles R. Mass-gathering health research foundational theory: Part 2-event modeling for

- mass gatherings // *Prehospital and Disaster Medicine*. 2014. V. 29. N 6. P. 655–663. doi: 10.1017/s1049023x14001228
4. Molloy M. Management of mass gatherings / In: Koenig Schultz's *Disaster Medicine*. 2009. P. 265–293. doi: 10.1017/cbo9781139629317.022
 5. Steffen R., Bouchama A., Johansson A. et al. Non-communicable health risks during mass gatherings // *Lancet Infectious Diseases*. 2012. V. 12. N 2. P. 142–149. doi: 10.1016/s1473-3099(11)70293-6
 6. Turrís S.A., Lund A., Bowles R.R. An analysis of mass casualty incidents in the setting of mass gatherings and special events // *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. 2014. V. 8. N 2. P. 143–149. doi: 10.1017/dmp.2014.24
 7. Huang Y., Xu T., Sun W. Public health lesson from Shanghai New Year's Eve stampede // *Iranian Journal of Public Health*. 2015. V. 44. N 7. P. 1021.
 8. Salamon L.M., Sokolowski S.W., Megan A., Tice H.S. The state of global civil society and volunteering: latest findings from the implementation of the UN Nonprofit Handbook // *Comparative Nonprofit Sector Working Paper N49*, 2013. 18 p.
 9. Давыденко Т.В., Савченко В.О. Подготовка персонала для олимпиады в г. Сочи как школа подготовки для сферы гостеприимства // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. №6.
 10. Сухарькова М.П. Волонтерские практики на Олимпийских играх: (не)альтруизм в условиях (не)коммерческого мега-проекта // XVI Апрельская международная научная конференция НИУ ВШЭ по проблемам развития общества и экономики. Москва, 2015. С. 45–50.
 11. Johnston M.E., Twynam G.D., Farrell J.M. Motivation and satisfaction of event volunteers for a major youth organization // *Leisure/Loisir*. 1999. V. 24. N 1–2. P. 161–177. doi: 10.1080/14927713.1999.9651263
 12. Nasir F.M., Sunar M.S. A survey on simulating real-time crowd simulation // *Proc. 4th Int. Conf. on Interactive Digital Media (ICIDM)*. 2015. P. 1–5. doi: 10.1109/idm.2015.7516327
 13. Oasys Software - MassMotion [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.oasys-software.com/products/engineering/massmotion.html> (дата обращения 26.09.2016).
 14. Legion Software [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.legion.com> (дата обращения: 26.09.2016).
 15. Musse S.R. CROWDSIM: a framework to estimate safety of egress performance in real life scenarios. Pontifical Catholic University of Rio Grande Do Sul Department of informatics graduate programme in computer science, 2016.
 16. VSTEP Simulation and Virtual Training [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vstepsimulation.com> (дата обращения 26.09.2016).
 17. America's Army [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.americasarmy.com> (дата обращения 06.10.2016).
 18. Bohemia Interactive Simulations [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bisimulations.com> (дата обращения 06.10.2016).
 19. Helbing D., Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics // *Physical Review E*. 1995. V. 51. N 5. P. 4282–4286. doi: 10.1103/physreve.51.4282
 20. Patil S., van den Berg J., Curtis S., Lin M.C., Manocha D. Directing crowd simulations using navigation fields // *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2011. V. 17. N 2. P. 244–254. doi: 10.1109/tvcg.2010.33
 - mass gatherings. *Prehospital and Disaster Medicine*, 2014, vol. 29, no. 6, pp. 655–663. doi: 10.1017/s1049023x14001228
 4. Molloy M. Management of mass gatherings. In: *Koenig Schultz's Disaster Medicine*. 2009. P. 265–293. doi: 10.1017/cbo9781139629317.022
 5. Steffen R., Bouchama A., Johansson A. et al. Non-communicable health risks during mass gatherings. *Lancet Infectious Diseases*, 2012, vol. 12, no. 2, pp. 142–149. doi: 10.1016/s1473-3099(11)70293-6
 6. Turrís S.A., Lund A., Bowles R.R. An analysis of mass casualty incidents in the setting of mass gatherings and special events. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 2014, vol. 8, no. 2, pp. 143–149. doi: 10.1017/dmp.2014.24
 7. Huang Y., Xu T., Sun W. Public health lesson from Shanghai New Year's Eve stampede. *Iranian Journal of Public Health*, 2015, vol. 44, no. 7, p. 1021.
 8. Salamon L.M., Sokolowski S.W., Megan A., Tice H.S. The state of global civil society and volunteering: latest findings from the implementation of the UN Nonprofit Handbook. *Comparative Nonprofit Sector Working Paper N49*, 2013, 18 p.
 9. Davydenko T.V., Savchenko V.O. Staff training for the Olympic games in Sochi as a training school for the hospitality industry. *Modern Problems of Science and Education*, 2013, no. 6. (In Russian).
 10. Sukhar'kova M.P. Volunteer practice at the Olympic Games: (non) altruism in a (non) commercial mega-project. *XVI April'skaya Mezhdunarodnaya Nauchnaya Konferentsiya NIU VShE po Problemam Razvitiya Obshchestva i Ekonomiki*. Moscow, 2015, pp. 45–50. (In Russian).
 11. Johnston M.E., Twynam G.D., Farrell J.M. Motivation and satisfaction of event volunteers for a major youth organization. *Leisure/Loisir*, 1999, vol. 24, no. 1–2, pp. 161–177. doi: 10.1080/14927713.1999.9651263
 12. Nasir F.M., Sunar M.S. A survey on simulating real-time crowd simulation. *Proc. 4th Int. Conf. on Interactive Digital Media (ICIDM)*, 2015, pp. 1–5. doi: 10.1109/idm.2015.7516327
 13. Oasys Software - MassMotion. Available at: <http://www.oasys-software.com/products/engineering/massmotion.html> (accessed 26.09.2016).
 14. Legion Software. Available at: <http://www.legion.com> (accessed 26.09.2016).
 15. Musse S.R. *CROWDSIM: a framework to estimate safety of egress performance in real life scenarios*. Pontifical Catholic University of Rio Grande Do Sul Department of informatics graduate programme in computer science, 2016.
 16. *VSTEP Simulation and Virtual Training*. Available at: <http://vstepsimulation.com> (accessed 26.09.2016).
 17. *America's Army*. Available at: <https://www.americasarmy.com> (accessed 06.10.2016).
 18. *Bohemia Interactive Simulations*. Available at: <http://www.bisimulations.com> (accessed 06.10.2016).
 19. Helbing D., Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, 1995, vol. 51, no. 5, pp. 4282–4286. doi: 10.1103/physreve.51.4282
 20. Patil S., van den Berg J., Curtis S., Lin M.C., Manocha D. Directing crowd simulations using navigation fields. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 244–254. doi: 10.1109/tvcg.2010.33

Авторы

Карсаков Андрей Сергеевич – инженер, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, kapc3d@gmail.com
Загарских Александр Сергеевич – кандидат технических наук, инженер, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, zagarskikh@niuitmo.ru
Карбовский Владислав Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, vladislav.k.work@gmail.com
Моисеев Александр Павлович – инженер, Университет ИТМО,

Authors

Andrey S. Karsakov – engineer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, kapc3d@gmail.com
Alexander S. Zagarskikh – PhD, engineer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, zagarskikh@niuitmo.ru
Vladislav A. Karbovskii – PhD, senior researcher, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, vladislav.k.work@gmail.com
Alexander P. Moiseev – engineer, ITMO University, Saint

Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация,
moiseevalexander69@gmail.com

Шмелев Вадим Александрович – инженер, Университет ИТМО,
Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация,
vad1611@yandex.ru

Мухина Ксения Дмитриевна – инженер, Университет ИТМО,
Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация,
mukhinaks@gmail.com

Верма Ашиш – доктор технических наук, доцент, доцент,
Индийский институт наук, Бангалор, 560012, Индия,
ashishv@civil.iisc.ernet.in

Бухановский Александр Валерьевич – доктор технических наук,
директор мегафакультета, Университет ИТМО, Санкт-
Петербург, 197101, Российская Федерация, avb_mail@mail.ru

Petersburg, 197101, Russian Federation,
moiseevalexander69@gmail.com

Vadim A. Shmelev – engineer, ITMO University, Saint Petersburg,
197101, Russian Federation, vad1611@yandex.ru

Ksenia D. Mukhina – engineer, ITMO University, Saint Petersburg,
197101, Russian Federation, mukhinaks@gmail.com

Ashish Verma – PhD, Associate professor, Associate professor,
Indian Institute of Science (IISc), Bangalore, 560012, India,
ashishv@civil.iisc.ernet.in

Alexander V. Boukhanovsky – D.Sc., Head of School, ITMO
University, Saint Petersburg, Saint Petersburg, 197101, Russian
Federation, avb_mail@mail.ru