



Khanal S. et al. Virtual and Augmented Reality in the Disaster Management Technology: A Literature Review of the Past 11 years. *Front //Virtual Real.* 3: 843195. doi: 10.3389/frvir. – 2022. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2022.843195/full>

Сигнальный перевод 2022 г. Куприяновский В.П. v.kupriyanovsky@rut.digital

В этом исследовании представлен систематический обзор литературы по виртуальной реальности (VR), дополненной реальности (AR) и смешанной реальности (MR), используемой в борьбе со стихийными бедствиями. Мы учитываем такие факторы, как тип публикации, год публикации, область применения и используемая технология. Мы изучили статьи с 2009 по 2019 год, доступные в базе данных Web of Science и Google Scholar, и для обзора были отобраны 84 исследовательские статьи. После обширного обзора литературы было обнаружено, что технология XR широко применяется в компьютерном имитационном моделировании, методах взаимодействия, обучении, оценке и разведке инфраструктуры, а также в областях информирования общественности о борьбе со стихийными бедствиями. Мы обнаружили различные преимущества, возможности и проблемы использования XR для управления стихийными бедствиями, которые подробно обсуждаются. Кроме того, выявляются и обсуждаются текущие пробелы в исследованиях в области технологии XR для технологии борьбы со стихийными бедствиями, которые необходимы для лучшей поддержки управления стихийными бедствиями, чтобы определить направление будущих исследований.

1. Введение

Независимо от того, являются ли они антропогенными, природными или гибридными (Shaluf, 2007), бедствия в значительной степени несут ответственность за массовое уничтожение людей и имущества. Надлежащая готовность к стихийным бедствиям может иметь большое значение для общества. Управление стихийными бедствиями — это «совокупность политических и административных решений, оперативной деятельности, действующих лиц и технологий, относящихся к различным стадиям бедствий на всех уровнях» (Леттьери и др., 2009 г.). Хотя технология является единственным аспектом управления стихийными бедствиями, в ходе обсуждения становится очевидным, что ее роль неразрывно связана с остальными аспектами управления стихийными бедствиями. В области управления стихийными бедствиями технологии VR и AR открыли некоторые уникальные возможности в области передачи информации, быстрой оценки ущерба, надежного информационного моделирования зданий (BIM) и так далее.

Дополненная реальность (AR), виртуальная реальность (VR) и смешанная реальность (MR), вместе называемые расширенной реальностью (XR), — это области применения компьютерной графики, которые позволяют пользователю взаимодействовать с компьютерными изображениями как в реальном, так и в виртуальном мире. сценарии окружения. Сцены VR состоят из полностью виртуальной среды с виртуальными элементами, которые скрывают физическую среду и имитируют физические объекты, тогда как сцена AR состоит из реальной среды с интегрированными, но не доминирующими виртуальными объектами, которые могут реагировать на пользователя и/или сцену. (Андерсон и др., 2021). Кроме того, мы считаем общий термин MR синонимом расширенной виртуальности, где виртуальные элементы сливаются с реальными элементами, чтобы обеспечить восприятие пользователем одного элемента (Girau et al., 2019). Виртуальная реальность позволяет быстро создавать прототипы с низкими затратами и ранним проектированием с участием человека (Anderson et al., 2021). Это позволяет интегрировать физические системы в моделирование, сокращая затраты на моделирование и тестирование моделей. Эти функции делают эти инструменты чрезвычайно полезными для приложений управления аварийными ситуациями. Различные правительственные учреждения, такие как Управление по чрезвычайным ситуациям Нью-Йорка, Полицейское управление Лос-Анджелеса (LAPD), Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям DHS и т. д., а также академические учреждения, такие как Иллинойский университет в Чикагской школе общественного здравоохранения, Миннесотский университет общественного здравоохранения. Center, Управление Джонса Хопкинса по подготовке к критическим событиям и реагированию на них и т. д. используют и изучают применимость технологии XR в учебных мероприятиях (Hsu et al., 2013).

Тем не менее, по мере развития технологий, системам AR/VR для управления стихийными бедствиями приходится преодолевать некоторые барьеры, такие как эффективная обработка в недорогих XR, интеллектуальный рендеринг и минимизация укачивания (Kawai et al., 2016; Lovreglio et al., 2018). . Точно так же каждый разработчик моделирования бедствий должен сбалансировать экологическую достоверность и потенциальный психологический эффект сценария.

Этот систематический обзор (Borrego et al., 2014) направлен на то, чтобы дополнить теоретическую основу основных тенденций использования XR в борьбе со стихийными бедствиями путем изучения следующих вопросов исследования:

Q1. Каковы тенденции XR в технологиях управления стихийными бедствиями?

Q2. Почему XR предпочтительнее в качестве технологии управления стихийными бедствиями и каковы ее границы?

Q3. Каковы общие области исследований по применению XR в технологии управления стихийными бедствиями?

Q4. Каковы проблемы и пробелы в литературе по применению? Ион XR в технологии управления стихийными бедствиями?

Документ начинается с демографических данных рецензируемых статей (Q1), тактики поиска, критериев отбора и классификации на основе их источника. После этого обсуждается анализ рассмотренных статей на основе их прикладной направленности (Q3) со встроенным отчетом об особенностях и границах XR (Q2). Затем обсуждаются ограничения исследования и предлагаются возможные возможности будущих исследований (Q4). В этом документе представлены недавние и текущие области применения технологии XR при реагировании на стихийные бедствия в гражданской инфраструктуре. В статье проводится критический анализ конференций и журнальных статей, опубликованных с 2009 по 2019 год, и описываются их направленность, результаты и проблемы. Наконец, в этой статье приводятся указания для того, что не рассматривается в современной литературе. Документ будет особенно полезен ученым и инженерам, интересующимся передовыми приложениями визуализации и моделирования в области управления рисками чрезвычайных ситуаций и бедствий.

2 Связанные работы

Основная цель обзора литературы — изучить основные направления исследований по применению технологии XR в борьбе со стихийными бедствиями. В обзоре было отслежено значительное количество исследовательских работ, но статей в обзоре литературы в этой междисциплинарной области обнаружено не было.

3 Методы

Литература для этой статьи была отслежена и синтезирована с использованием протокола систематического обзора. Объем этого документа охватывает две большие области: управление стихийными бедствиями и технологию XR. После тщательного изучения протоколов систематического обзора было установлено, что статья Боррего и др. (Borrego et al., 2014) имеет отношение к инженерной и междисциплинарной области управления стихийными бедствиями. Документ был реализован для проведения обзора и отчета о результатах, которые включали: 1) определение области, 2) отслеживание ресурсов, 3) критический анализ и 4) синтез.

3.1 Определение области применения и вопросов исследования

Популяция, вмешательство, сравнение и результат (PICO) построены с использованием структуры PICO (таблица 1) для определения объема вопросов исследования. Чтобы исследовать границы эффективности технологии XR, исследовательские работы по приложениям XR сравниваются с традиционными методами управления стихийными бедствиями. Поскольку потенциальный результат исследования требует как количественных, так и качественных исследований, в целом исследование было разработано с использованием нескольких подходов в рамках смешанного подхода (Borrego et al., 2009). Качественный результат (т. е. масштаб) был более приоритетным, чем количественный результат (т. е. эффективность), встроенный дизайн исследования (Borrego et al., 2009) был использован с целью наметить области применения с более высоким приоритетом, чем Эффективность и границы. О выводах также сообщалось соответствующим образом.

ТАБЛИЦА 1. Резюме PICO.

Population	XR, Disaster management technology
Intervention	XR research papers that focus on the disaster management technology
Comparison	XR vs. Traditional methods
Outcome	Scope and effectiveness of XR research in disaster management

3.2 Критерии включения

Основная цель обзора исследований заключалась в изучении последних тенденций в области разработки приложений технологии XR для поддержки управления рисками в чрезвычайных ситуациях и стихийных бедствиях. Для рецензирования были рассмотрены статьи, опубликованные с 2009 по 2019 год как в журнале, конференциях, так и в главах книг. Точно так же для рецензирования отбирались только статьи, опубликованные на английском языке. Документы были найдены с использованием определенных ключевых слов, содержащих слова, связанные с «бедствием» и «технологией XR».

3.3 Поиск и каталогизация источников

Источник отслеживания должен был быть выбран, чтобы идентифицировать исследовательские работы о прогрессии, которые в основном можно найти на конференциях, и основополагающие исследовательские статьи в журналах. С этой целью для поиска релевантных статей использовались два источника отслеживания: Google Scholar (2020) и Web of Science (2020). Поиск в каталогах производился в соответствии с параметром диапазона дат, указанным в критериях включения, с использованием соответствующих ключевых слов, задокументированных в таблице 2. Google Scholar выдал большое количество документов, но большинство из них относились только к одному домену. Хотя авторам пришлось поэкспериментировать со значительным набором ключевых слов, база данных вернула статьи из разных источников, что в значительной степени способствовало отслеживанию уникальных исследовательских работ, проводимых в этой междисциплинарной области.

ТАБЛИЦА 2. Список ключевых слов, используемых в соответствующем источнике отслеживания.

Tracking source	Keywords
Google Scholar	"Augmented Reality for Disaster Response" "Wildfire Augmented Reality" "Flood Simulation using AR/VR", "Flood AR/VR" "Tsunami due to Earthquake Simulation" "Immersive Environment for Disaster Response" "Hurricanes and Tropical Storms Augmented Reality" "Immersive System for Flood", "3D/VR Disaster" "Building Damage Reconnaissance AR", "Severe Storm AR/VR" "Augmented Reality for Drought", "Flood Visualization" "Serious Games for Earthquake" "virtual Disaster Risk Management" "Immersive Disaster Risk Management" "Virtual Disaster Risk Reduction"
Web of Science	"Virtual Reality and Augmented Reality", "Virtual Reality and Emergency"

3.4 Критика и оценка

Полученные документы были обработаны с использованием систематического протокола, представленного в таблице 3. Настройки источника отслеживания поддерживались в соответствии с заранее определенными критериями приемлемости. После этого документы были подвергнуты поиску с использованием изложенной стратегии поиска. Затем отдельные статьи были проверены вручную с использованием отображаемого заголовка в результатах источника отслеживания. Из-за междисциплинарного характера обзора проверка выполнялась путем просмотра названия документов и проверки того, что в них есть оба термина, связанные с XR, такие как, помимо прочего, «дополненная реальность», «виртуальная реальность» и «смешанная реальность» и стихийное бедствие. связанных с управлением такие термины, как, помимо прочего, «наводнение», «реагирование» и «чрезвычайная ситуация». В некоторых заголовках были такие ключевые слова, как «носимые устройства», «симуляторы», «системы», а также ключевые слова, связанные с управлением стихийными бедствиями. Авторы просмотрели свои тезисы, чтобы понять их значимость в процессе отбора. Google Scholar выпустил множество исследовательских приложений, связанных с управлением стихийными бедствиями, но они были разработаны с использованием только трехмерной компьютерной графики. Этот шаг был очень важен при просмотре большого количества статей в Google Scholar. После этого для дальнейшего изучения их реферата и введения использовались только соответствующие статьи. Этот этап был важен для исключения патентных документов. Наконец, выбранные статьи были тщательно изучены, а полезная информация была синтезирована и записана на основе заголовков «Ключевые слова», «Название статьи», «Год публикации», «Отслеживание источника», «Описание работы», «Фокус бедствия», «Выводы и проблемы, связанные с исследованием». На этом этапе было обнаружено, что в некоторых документах, которые использовали XR в управлении стихийными бедствиями, не обязательно разрабатывалась система XR, а использовалась система только для проведения поведенческих исследований. Такие статьи отыскивались вручную и исключались из обзора.

www.frontiersin.org

ТАБЛИЦА 3. Критерии блок-схемы PRISMA.

Steps	Protocol
Search	Keywords (See Table 2)
Screen	Title having XR AND disaster management related words
Appraise	Abstract and introduction should indicate relevant developmental and/or comparative study
Synthesis	Research cannot be related to behavioral studies

4 Анализ

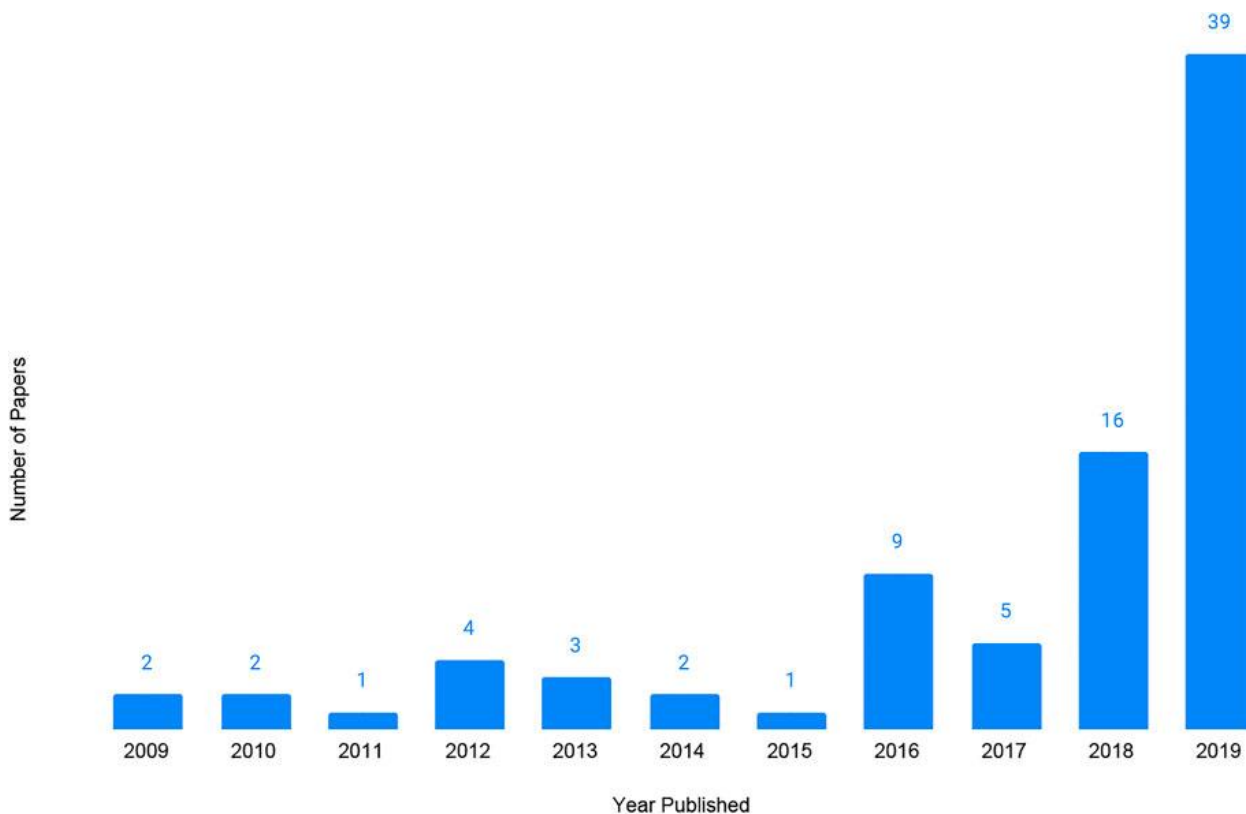
4.1 Демография

После того, как соответствующие статьи были собраны, был проведен демографический анализ статей на основе распределения статей в зависимости от года публикации, места публикации и очага стихийного бедствия.

На рисунке 1 показано распределение статей по годам публикации, которое показывает, что тенденция исследований в этой области быстро растет. Причина этой тенденции может быть связана с принятием технологии XR сообществом по управлению стихийными бедствиями, что может быть реакцией на недавнюю коммерциализацию продуктов XR в видеоиграх.

www.frontiersin.org

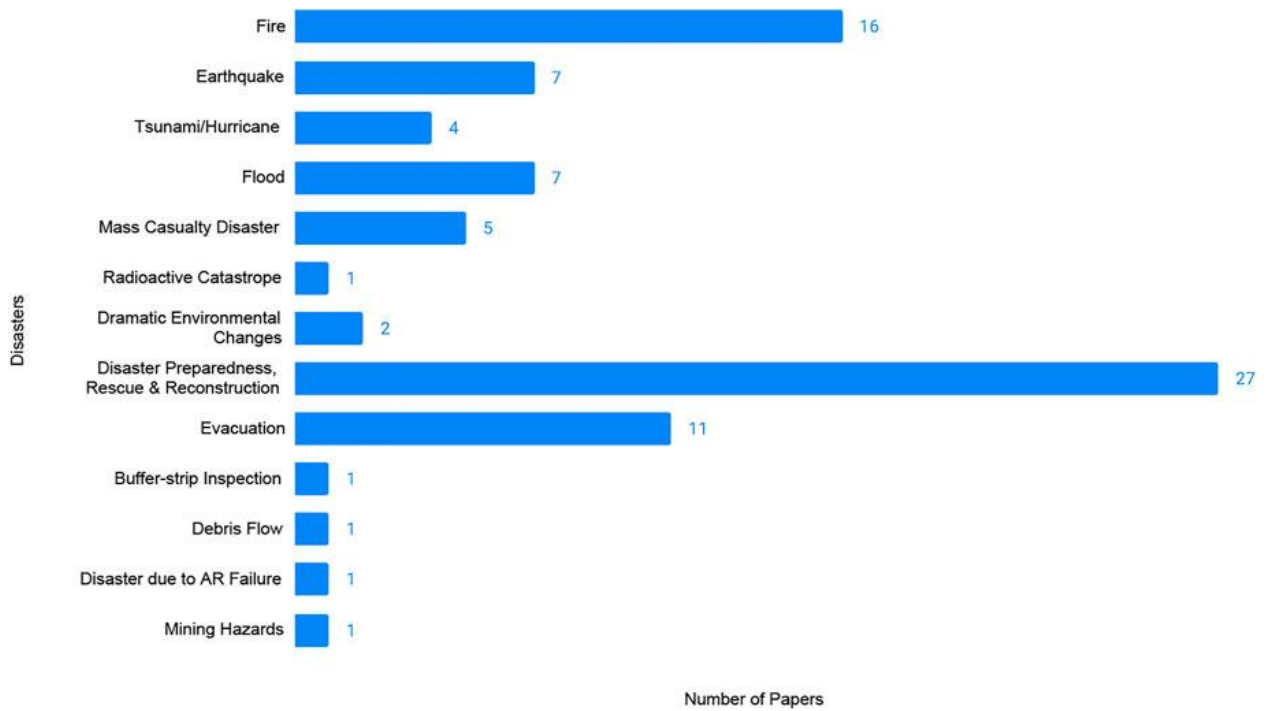
РИСУНОК 1. Распределение статей по годам публикации.



На Рисунке 2 представлено распределение статей в зависимости от их внимания к стихийным бедствиям. На диаграмме видно, что большинство статей были посвящены подготовке к стихийным бедствиям, спасению и реконструкции. Эти документы не были посвящены конкретному сценарию стихийного бедствия, но предполагали сценарий стихийного бедствия и создавали систему, которую можно было бы использовать для достижения целей управления стихийными бедствиями в различных ситуациях стихийных бедствий.

www.frontiersin.org

РИСУНОК 2. Распределение статей в зависимости от характера стихийного бедствия.



Точно так же в Таблице 4 представлено распределение статей в зависимости от места публикации. Отобранные статьи поступили из чрезвычайно разнообразных источников публикации, при этом не более трех статей из одного источника публикации. Это верно для известных XR-площадок, таких как IEEE, ISMAR и ISCRAM. Мы, авторы, связываем этот вывод с использованием уникальных источников отслеживания в поисковых документах. Однако авторы также обеспокоены тем, что этот результат может быть связан с отсутствием места публикации для этой междисциплинарной области. Было установлено, что эта область является относительно новой областью, которая нуждается не только в значительной исследовательской базе, но и в площадках, где публикуются такие работы.

www.frontiersin.org

ТАБЛИЦА 4. Распределение выбранных статей в зависимости от источника публикации.

Journal title	# Of papers
6th International Conference on Forest Fire Research	1
International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management	1
Natural hazards and Earth System Sciences	1
Automation in Construction	3
ISCRAM	1
Journal of Environmental Radioactivity	1
Int. Conf. on Recent Trends in Communication and Computer Networks	1
Personal and ubiquitous computing	1
Earth Science Informatics	1
Natural Hazards	1
ISPRS International Journal of Geo-Information	1
Public Library of Science currents	1
15th World conference on earthquake engineering	1
Bulletin of the American Meteorological Society	1
International Conference on Human-Computer Interaction	1
Advanced Engineering Informatics	2
Computers in Industry	2
Computers and Geosciences	1
Environmental Modelling and Software	2
International Journal of Disaster Risk Reduction	2
International Conference on Immersive Learning	1
Research for All	1
International Journal of Architectural Heritage	1
Disaster Medicine and Public Health Preparedness	1
Applied Sciences	1
Journal of Usability Studies	1
Advanced Robotics	1
Interactive Technology and Smart Education	1
Journal of Nondestructive Evaluation	1
Computer Animation and Virtual Worlds	1
Fire Technology	1
Journal of Mechanical Science and Technology	1
2019 International Conference on Internet of Things (IThings)	1
International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)	1
International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics	1
IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality	2
Advances in Engineering Materials, Structures and Systems	1
Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation	1
International Conference on Advanced Materials and Computer Science	1
Computers in Human Behaviour	1
Entertainment Computing	1
International Conference on Entertainment Computing	1
Fire Safety Journal	1
OCEANS 2009	1
ISPRS International Journal of Geo-Information	1
ACM International Conference	1
International Symposium on Software Reliability Engineering	1
Safety Science	1
International Conference on Information Technology	1
International Journal of Digital Earth	1
Nurse Educator	1
Annual Conference on Computational Science and Computational Intelligence	1
ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents	1
Computers in Entertainment	1
IEEE Access	1
Surgical Endoscopy	1
International Journal on Interactive Design and Manufacturing	1
ACM International Conference Proceeding Series	1
ACM SIGGRAPH	2
IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces	2
IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality	1
Chemical Engineering Transactions	1
International Conference on Data and Software Engineering	1
International Conference on Intelligent Computing and Control Systems	1
International Conference on Nuclear Engineering	1
IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference	2
IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering	1
4th International Conference on Human-Computer Interaction and User Experience in Indonesia	1
IEEE Symposium on Computational Intelligence for Human-like Intelligence	1
Journal of e-Learning and Knowledge Society	1
10th International Conference on Foundations of Augmented Cognition: Neuroergonomics and Operational Neuroscience	1
Simulation and Gaming	1
25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology	1
Halfway to the Future Symposium 2019	1
Total	84

4.2 Домен приложения

Обзор 84 статей, которые способствовали развитию технологии XR в области управления бедствиями, показал, что основными областями применения XR в управлении бедствиями являются: 1) компьютерное имитационное моделирование, 2) методы взаимодействия, 3) обучение, 4) инфраструктура. оценка и разведка и 5) информирование общественности.

Первые два приложения: компьютерное имитационное моделирование и методы взаимодействия являются строго исследовательскими областями приложений, которые играют решающую роль в обслуживании оставшихся трех приложений типа услуг/продуктов. Как будет видно из обсуждения, большинство статей посвящено моделированию, моделированию и методам взаимодействия. Каждая новая система XR должна пройти этап моделирования и взаимодействия. Этот вывод также свидетельствует о том, что исследования XR для управления стихийными бедствиями являются относительно новой областью.

Категории, на которые авторы опираются при поиске литературы, не являются взаимоисключающими. Все эти приложения требуют моделирования и проектирования взаимодействия. Однако из-за характера этих приложений и влияния технологии XR на революцию в этих приложениях существует убедительный аргумент в пользу того, что каждое из этих приложений и их подкатегорий может развиваться как отдельная область исследовательской деятельности.

5 Список категорий бумаги

Определения для каждой из сопоставленных категорий вместе с их демографическими данными представлены ниже с основным обзором каждой из категорий. Как показано в Таблице 5, категории не исключают друг друга. Любая отдельная исследовательская работа может включать несколько аспектов категорий. Краткое изложение таксономии этих приложений вместе с документами, использованными для построения синтеза, представлено в таблице. 6. Документы, указанные в заголовке прикладной области (например, компьютерное имитационное моделирование, методы взаимодействия и т. д.), используются для создания вводных и ограничивающих разделов, тогда как документы, указанные в подкатегориях (например, сеть наблюдения и мониторинга, системы управления и т. д.) используются для построения соответствующих абзацев. Эти категории подробно обсуждаются в следующем разделе.

www.frontiersin.org

ТАБЛИЦА 5. Список статей, использованных для синтеза.

4	Earthquake Disaster Simulation in Immersive 3D Environment
5	Geospatial visualization using hardware accelerated real-time volume rendering
6	Flood risk management in sponge cities: The role of integrated simulation and 3D visualization
7	An Immersive System for 3D Floods Visualization and Analysis
8	Prototyping Virtual Reality Serious Games for Building Earthquake Preparedness: The Auckland City Hospital Case Study
9	Moving to 3-D flood hazard maps for enhancing risk communication
10	A Next-Generation Augmented Reality Platform for Mass Casualty Incidents (MCI)
11	A Mixed Reality system for the simulation of emergency and first-aid scenarios
12	Numerical simulation of fire-following-earthquake at urban scale
13	Analysis on the Practice of Virtual Reality Technology in Electric Emergency Repair Practice
14	Emergency preparedness in industrial plants: A forward-looking solution based on industry 4.0 enabling technologies
15	Integrating evacuation research in large infrastructure tunnel projects -Experiences from the Stockholm Bypass Project
16	Adaptive Construction of the Virtual Debris Flow Disaster Environments Driven by Multilevel Visualization Task
17	State of Virtual Reality Based Disaster Preparedness and Response Training
18	Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications
19	First Responders' Spatial Working Memory of Large-scale Buildings: Implications of Information Format
20	Enhancing usability of augmented-reality-based mobile escape guidelines for radioactive accidents
21	Augmented Reality for Fire and Emergency Services
22	Mobile augmented reality for environmental monitoring
23	Towards an information centric flood ontology for information management and communication
24	A systematic review of Augmented Reality content-related techniques for knowledge transfer in maintenance applications
25	Smart maintenance of riverbanks using a standard data layer and Augmented Reality
26	Photogrammetry Assisted Measurement of Interstory Drift for Rapid Post-disaster Building Damage Reconnaissance
27	Mobile-powered head-mounted displays versus cave automatic virtual environment experiments for evacuation research
28	Warning messages to modify safety behavior during crisis situations: A virtual reality study
29	Human-Like Sequential Learning of Escape Routes for Virtual Reality Agents
30	Development and evaluation of advanced safety algorithms for excavators using virtual reality
31	Behavior Analysis of Indoor Escape Route-finding Based on Head-mounted VR and Eye Tracking
32	Behavior navigation system (BNS) for harsh environments
33	Mobile Augmented Reality for Flood Visualisation
34	A virtual reality based study of indoor fire evacuation after active or passive spatial exploration
35	Communicating Hurricane Risk with Virtual Reality: A Pilot Project
36	Downpour-Flood risk communication through interactive immersive street games
37	Mobile augmented reality in support of building damage and safety assessment
38	Sensitvity analysis of augmented reality-assisted building damage reconnaissance using virtual prototyping
39	Automated regional seismic damage assessment of buildings using an unmanned aerial vehicle and a convolutional neural network
40	3DCG reconstitution and virtual reality of UNESCOworld heritage in danger: the Citadel of Bam
41	A Fast Method for Large-scale Scene Data Acquisition and 3D Reconstruction
42	Design and Implementation of a Smart IoT Based Building and Town Disaster Management System inSmart City Infrastructure
43	Practical Insights into the Design of Future Disaster Response Training Simulations
44	Identification of Living Human Objects from Collapsed Architecture Debris to Improve the Disaster Rescue Operations Using IoT and Augmented Reality
45	Evacuation instruction training system using augmented reality and a smartphone-based head mounted display
46	Effects of Virtual Reality Simulation on Worker Emergency Evacuation of Neonates
47	Game-based evacuation drill using augmented reality and head-mounted display
48	A Physically Immersive Platform for Training Emergency Responders and Law Enforcement Officers
49	A VR-based the emergency rescue training system of railway accident
50	3D and VR models in Civil Engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance
51	Whistland: An Augmented Reality Crowd-Mapping System for Civil Protection and Emergency Management
52	AtomicOrchid: A Mixed Reality Game to Investigate Coordination in Disaster Response
53	Designing Future Disaster Response Team Wearables from a Grounding in Practice
54	Safe-AR: Reducing Risk While Augmenting Reality
55	AR/VR Based Smart Policing For Fast Response to Crimes in Safe City
56	Disaster Risk Management Training Simulation for People with Hearing Impairment: A Design and Implementation of ASL Assisted Model Using Virtual Reality
57	Mixed reality emergency management: bringing virtual evacuation simulations into real-world built environments
58	A Design of Safety and Disaster Response System with XR, IoT and LBS Convergence
59	VICTEAMS: a virtual environment to train medical team leaders to interact with virtual subordinates
60	Simulating a Futuristic Fire Pump Panel in Virtual Reality
61	3D Immersive Display Application for Nuclear Education and Public Acceptance
62	Flood Action VR: A Virtual Reality Framework for Disaster Awareness and Emergency Response Training
63	Hospital emergency room training using virtual reality and Leap motion sensor
64	A Serious Game for Anesthesia-Based Crisis Resource Management Training
65	Development of Virtual Reality Serious Game for Underground Rock-Related Hazards Safety Training
66	OR fire virtual training simulator: design and face validity
67	Collaborative Virtual Environment for Training Teams in Emergency Situations
68	A virtual and Augmented Reality platform for the training of First Responders of the Ambulance bus
69	Use of a Collaborative Virtual Reality Simulation for Multi-Professional Training in Emergency Management Communications
70	Serious Game Design for simulation of Emergency Evacuation by using Virtual Reality
71	VRescuer: A Virtual Reality Application for Disaster Response Training
72	Comparing immersive virtual reality and powerpoint as methods for delivering safety training: Impacts on risk perception, learning, and decision making
73	Design of a virtual reality training system for human-robot collaboration in manufacturing tasks
74	Disaster Risk Management and Emergency Preparedness: A Case-Driven Training Simulation Using Immersive Virtual Reality
75	Immersive virtual reality environment of a subway evacuation on a cloud for disaster preparedness and response training
76	Situated Learning based on Virtual Environment for improving Disaster Risk Reduction. Journal of e-Learning and Knowledge Society
77	Development of a VR prototype for enhancing earthquake evacuee safety
78	3D Cyber COP: a Collaborative Platform for Cybersecurity Data Analysis and Training
79	Evaluation of Strategic Emergency Response Training on an OLIVE Platform
80	Development of a VR prototype for enhancing earthquake evacuee safety
81	Implementing user-centered methods and virtual reality to rapidly prototype augmented reality tools for firefighters
82	An approach to designing next generation user interfaces for public-safety organizations
83	Being more focused and engaged in firefighting training: Applying user-centered design to VR system development
84	A Vision of Augmented Reality for Urban Search and Rescue

ТАБЛИЦА 6. Организация обзорных документов.

Application areas	Total number of papers	Papers used to construct the synthesis
1. Computer Simulation Modeling	4	Park et al. (2018), LaLone et al. (2019), Macchione et al. (2019), Markwart et al. (2019)
1.A. System Development		
1.A.I. Surveillance and Monitoring Network	3	Stipani et al. (2010), Luchetti et al. (2017), Bang et al. (2019)
1.A.II. Command System	4	Vassell et al. (2016), Demir et al. (2017), Molka-Danielsen et al. (2019), Wani et al. (2013)
1.A.III. Hardware Accelerated Systems	1	Berberich et al. (2009)
1.A.IV. Serious Games	11	Stipani et al. (2010), Cimellaro et al. (2019), Jaiswal et al. (2009), Fischer et al. (2012), Zhang et al. (2019), Wang et al. (2019), Massa;abi et al. (2018), Sinha et al. (2012), Chengyun et al. (2018)
1.A.V. Distributed Training Architecture	3	Longo et al. (2019), Chen et al. (1992), Passos et al. (2016)
1.B. Simulation Development		
1.B.I. Natural Disasters	9	Stipani et al. (2010), Cimellaro et al. (2019), Jaiswal et al. (2009), Fischer et al. (2012), Zhang et al. (2019), Wang et al. (2019), Massa;abi et al. (2018), Sinha et al. (2012), Chengyun et al. (2018)
1.B.II Humanoid Simulation	1	Girau et al. (2019)
1.B.III Simulation for Skill-Oriented Applications	2	Lourdeaux et al. (2019), Lutz (2018)
2.A. Comparative Studies		
2.B. Developmental Studies		
2.B.I. On-Site XR	5	Pierdicca et al. (2016), Veas et al. (2013), Dai et al. (2011), Haynes et al. (2018), Kim et al. (2016)
2.B.II Special Algorithms for XR Interaction	4	Dai et al. (2011), Oh et al. (2019), Matsas and Vosniakos (2017), Nguyen et al. (2019)
2.B.III. Teleoperation Systems	1	Oyama et al. (2016)
2.B.IV. Intelligent Interaction	3	Danial et al. (2019), Subhedar et al. (2019), Ilmi and Hendradjaya (2018)
2.B.V. Interaction using Big Data	9	Yu et al. (2018), Luchetti et al. (2017), Vassell et al. (2016), Tsai and Yau (2013), Lourdeaux et al. (2019), Sharma et al. (2014), Choi et al. (2019), Bang et al. (2019)
2.B.VI. Interaction using Haptics	1	Suhail et al. (2019)
2.B.VII. Interaction for Targeted Population	2	Caballero et al. (2019), Caballero and Niguidula (2018)
3. Training	1	Alharthi et al. (2018a)
3.A. Emergency Room Training	4	Farra et al. (2019), Dhanasree et al. (2019), Shewaga et al. (2018), Dorozhkin et al. (2017)
3.B. Law Enforcement Training	1	Carlson and Caporusso (2019)
3.C. Evacuation Training	5	Iguchi et al. (2017), Kawai et al. (2016), Cao et al. (2019), Liang et al. (2018), Tian et al. (2019)
3.D. Direct Disaster Response Training	3	Liang et al. (2019), Xu et al. (2018), ??
4. Infrastructure Assessment and Reconnaissance	4	Kim et al. (2016), Dong et al. (2013), Li et al. (2019), Dai et al. (2011)
4.A. Building Information Modeling	3	Azhar (2011), Park et al. (2018), Lochhead and Hedley (2019)
4.B. Rapid Infrastructure Assessment	6	Nilsson et al. (2018), Behzadan et al. (2015), Kim et al. (2016), Li et al. (2019), Dong et al. (2013), Xiong et al. (2020)
4.C. Virtual Museums	1	Ono et al. (2008)
5. Public Awareness	4	Bernhardt et al. (2019), Wendler and Shuttleworth (2019), Sermet and Demir (2019a), Luk et al. (2018)

5.1 Компьютерное имитационное моделирование

Моделирование — это процесс создания компьютерного представления природного процесса или явления, которое создает тесную взаимосвязь между входом и выходом в виде исходной системы (de Jong and van Joelingen, 2008). Направление исследований в этой области направлено на разработку иммерсивной системы, способной моделировать для пользователя конкретный сценарий бедствия. В то время как любая прикладная область, представленная в таблице 5, нуждается в иммерсивной среде, эта прикладная область строго ориентирована на отслеживание доменов в компьютерном моделировании.

5.1.1 Разработка системы

Разработка системы представляет собой комбинацию этапов, связанных с утвержденным построением инженерного проекта интересующей системы (Wasson, 2016). Работы по разработке архитектуры были сосредоточены на разработке проектов кибер-физических систем, которые позволяют пользователям погрузиться в уникальную и интеллектуальную симуляцию. Подкатегории областей исследований в области разработки систем следующие: Сеть наблюдения и мониторинга, Система управления, Системы с аппаратным ускорением, Серьезные игры (SG) и Архитектура распределенного обучения.

5.1.2 Разработка моделирования

Моделирование — это реализация модели для оценки результата (Ingels, 1985). Исследования в области разработки моделирования были сосредоточены на разработке трехмерной иммерсивной среды и/или сцены для сценария стихийного бедствия. Подкатегориями под этим заголовком были стихийные бедствия, моделирование гуманоидов и моделирование для приложений, ориентированных на навыки.

5.2 Методы взаимодействия

Интерактивный дизайн — это исследовательская область компьютерных наук, которая занимается разработкой продуктов, поддерживающих способы взаимодействия и общения пользователей в XR-среде (Preece et al., 2015). Область применения методов взаимодействия охватывает исследования, направленные на разработку и улучшение компонентов системы XR, чтобы лучше обращаться к нашему чувству реальности через аспекты эмоционального, когнитивного и социального взаимодействия (Kha, 2022).

5.2.1 Сравнительные исследования

Эта область обеспечивает аудит исследовательских работ, который включает исследования, сравнивающие эффективность систем XR с эффективностью традиционных методов. Информация, собранная в этом разделе, играет решающую роль в определении границ применения XR в управлении бедствиями.

5.2.2 Исследования развития

В этом исследовании представлен краткий обзор важных исследовательских подходов, которые включали создание уникальных и инновационных интерактивных дизайнов, способствующих иммерсивности XR-среды. Подкатегории под этим заголовком: XR на месте, специальные алгоритмы взаимодействия XR, системы дистанционного управления, интеллектуальное взаимодействие, взаимодействие с использованием больших данных, взаимодействие с использованием тактильных сигналов и взаимодействие для целевой группы населения.

5.3 Обучение

Обучение представляет собой систематический процесс передачи знаний и уроков, извлеченных в ситуации реагирования на стихийные бедствия, чтобы слушатели были в курсе последних тенденций в управлении стихийными бедствиями (Phillips et al., 2012). Учебное приложение включает исследования, направленные на разработку системы XR для обучения спасателей или группы обычных людей сценарию, связанному со стихийным бедствием. Хотя это исследование можно было бы отнести к категории имитационного моделирования, обсуждение в этой категории конкретно касалось оценки систем для удовлетворения потребностей и понимания заинтересованных сторон, таких как эвакуированные и лица, оказывающие первую помощь. Были обнаружены следующие подкатегории: обучение непосредственному реагированию на стихийные бедствия, обучение в отделениях неотложной помощи, обучение эвакуации и обучение правоохранительных органов.

5.4 Оценка инфраструктуры и рекогносцировка

Оценка и рекогносцировка инфраструктуры относится к прикладной области, которая сосредоточена на разработке инструментов и методов XR для визуального осмотра и оценки структурной целостности инфраструктуры. Прагматические подходы следуют полевому руководству по оценке безопасности после землетрясения АТС-20 (Rojahn, 2005), которое потенциально может быть длительной оценкой, а также может быть подвергнуто неправильному толкованию (Ассоциация инженеров-строителей Гавайев, 2006).

Эта область исследований направлена на обеспечение эффективной и быстрой оценки ущерба после стихийного бедствия и изучение способов точной реконструкции виртуальной модели важных инфраструктур, пострадавших в результате стихийного бедствия. Исследовательские приложения в этой отрасли включают информационное моделирование зданий, быструю оценку инфраструктуры. и виртуальная реконструкция.

5.5 Осведомленность общественности

Наконец, категория осведомленности общественности посвящена исследованиям, направленным на использование технологии XR для информирования широкой общественности о конкретном сценарии бедствия и о том, как правильно действовать в ситуации бедствия. Однако это не то же самое, что осознание пользователя, погруженного в симуляцию. Это приложение отличается от категории обучения тем, что XR, связанный с обучением, предназначен для определенной группы интересов, тогда как XR, связанный с повышением осведомленности, предназначен для широкой публики (см. Таблицу 7). Никаких дополнительных приложений в этой ветке обнаружено не было.

www.frontiersin.org

ТАБЛИЦА 7. Концепция управления стихийными бедствиями [Албайрак (2006)].

Prior disasters (Monitoring and Readiness)	During disasters (plan executions and resource allocation)
<ul style="list-style-type: none">- Conduct risk and vulnerability analysis- Make and validate plans- Simulate disasters and investigate disaster indicators- Train personnel- Give alarms based on the disaster indicators- Maintain disaster management resource and maintenance data	<ul style="list-style-type: none">- Be aware of resource capability and the state of the disaster (is the disaster over/under the response capability)- Rapidly allocate tasks and resources- Be ready to change plans based on the current situation- Coordinate with relevant parties
	<p>Post Disasters (post disaster tasks)</p> <ul style="list-style-type: none">- Prepare documentation- Revise strategies- Conduct repairing activities

6 Обсуждение

Эффективное управление стихийными бедствиями включает своевременное и стратегическое выполнение различных задач до, во время и после стихийных бедствий. В таблице 7 представлен общий обзор задач, которые необходимо выполнить для достижения оптимального результата с точки зрения минимального ущерба и максимальной готовности. В этом разделе представлен совокупный синтез выбранных исследовательских работ, классифицированных на основе представленной области приложений, с объяснением того, как эти приложения могут быть помощниками в различных задачах управления стихийными бедствиями.

6.1 Компьютерное имитационное моделирование

В ходе обзора были обнаружены две области компьютерного имитационного моделирования: разработка системы и разработка имитационного моделирования.

6.1.1 Разработка системы

Этап разработки систем включает в себя разработку сложного программного обеспечения системного уровня, которое объединяет несколько потоков функций для формирования общей инфраструктуры, способной выполнять предопределенные задачи для поддержки управления аварийными ситуациями. Ниже описаны важные архитектуры систем реагирования на бедствия.

6.1.1.1 Сеть наблюдения и мониторинга

Сеть наблюдения и мониторинга предназначена для проверки критических областей с использованием массива датчиков. Система предназначена для синтеза непрерывно собираемых данных датчиков и отображения значимой информации для пользователя. Мало того, что при соответствующем добавлении функций пользователи могут общаться с помощью различных уведомлений, которые запускаются при выполнении определенных условий. Некоторые системы могут отслеживать лесные пожары (Stipani et al., 2010), определять геолокацию стихийных бедствий (Luchetti et al., 2017) и выявлять преступную деятельность (Bang et al., 2019). Основным вкладом технологии XR в эти сценарии заключается в том, что технология XR может визуализировать информацию таким образом, чтобы пользователю было легко ее обрабатывать. Например, система наблюдения за лесными пожарами использует информацию о геокоординатах для точного определения места возгорания и имитацию дыма для визуализации пожара на платформе дополненной реальности (Stipani et al., 2010). В случае лесного пожара этой информации достаточно, чтобы оператор отправил спасателей на место за минимальное время. Следовательно, использование технологии XR сделало сеть наблюдения и мониторинга более эффективной и действенной за последние несколько лет, предлагая общую оперативную картину.

6.1.1.2 Система команд

Во время сценария реагирования на стихийные бедствия крайне важно, чтобы группа реагирования адекватно общалась друг с другом. Точно так же командир должен иметь доступ к данным о месте бедствия в режиме реального времени, а также к средствам связи со средствами реагирования на стихийные бедствия, такими как скорая помощь, пожарные службы и т. д. Было обнаружено, что CloudTM от Rapasea преуспевает в области реагирования на инциденты благодаря разработке AR. на основе системы, которая поддерживала координацию между командирами аварийных ситуаций и ликвидаторами. В их системе были реализованы устройства Интернета вещей (IoT), виртуальные маяки и узлы сенсорной сети (Vassell et al., 2016), которые могли обеспечить связь в реальном времени между всеми уровнями персонала реагирования на стихийные бедствия. Система, оцененная на моделировании, получила чрезвычайно положительные результаты по простоте установки и настройки на основе рейтинга шаблонов персонала, инцидентов и объектов (Demir et al., 2017). Точно так же Molka-Danielsen et al. (2019) разработали симулятор на основе виртуальной реальности под названием «VAcademia», который позволял осуществлять тактическую и оперативную связь между

соответствующими руководителями для облегчения динамического принятия решений в случае возникновения пожара. Результаты оценки показали, что обучение на тренажере работает лучше, если оно сочетается с вводным обучением системе перед фактическим обучением (Molka-Danielsen et al., 2019). Кроме того, Вани и соавт. (2013) также представили систему, которая помогает вести учет пожаров, не мешая работе аварийной бригады, сочетая управление рабочим процессом, дополненную реальность и координацию. Они пришли к выводу, что «мобильное оборудование, интегрированное с адаптивной контекстно-зависимой рабочей средой» (Wani et al., 2013), ценно в чрезвычайных ситуациях. Включение доступных технологий в XR сделало систему управления инцидентами более надежной для реагирования на стихийные бедствия.

6.1.1.3 Системы с аппаратным ускорением

Моделирование на основе XR позволяет пользователям взаимодействовать со сложным 3D моделированием, например, 4D визуализация на основе данных (Berberich et al., 2009). К сожалению, вычислительные требования сильно нагружают процессоры и оперативную память на номинальных компьютерах. Однако включение специального вычислительного оборудования, такого как графический процессор (GPU), позволяет компьютерам разгрузить обработку для эффективного рендеринга. Использование таких методов, как прямой объемный рендеринг, обеспечивает превосходное качество изображения и более высокую частоту кадров, что позволяет реалистично взаимодействовать с симуляцией (Berberich et al., 2009). В заключение следует отметить, что использование системы XR с аппаратным ускорением повышает реалистичность моделирования любой сложной катастрофы.

6.1.1.4 Серьезные игры

Полное определение серьезных игр звучит так: «Игры, целью которых является создание увлекательного и самоподкрепляющего контекста, в котором мотивируются и обучаются игроки» (Kankaanranta and Neittaanmäki, 2008). Основными компонентами серьезных игр являются сюжет, персонажи, ведущий игры и игровой процесс (Iurra and Borst, 2006). Моделирование стихийных бедствий состоит из историй, связанных со сценарием землетрясения в замкнутом пространстве (Lovreglio et al., 2018), радиоактивной катастрофой (Fischer et al., 2012), экстренной эвакуацией (Iguchi et al., 2017; Ilmi and Hendradjaya, 2018), наркоз (Shewaga et al., 2018), подземные шахты (Liang et al., 2019), место наводнения (Luk et al., 2018; Sermet and Demir, 2019a) и место пожара (Caroca et al., 2016; Alharthi et al., 2018b). Сюжет нужно продумывать тщательно, поскольку он влияет на удобство использования игры (Lovreglio et al., 2018). Точно так же обычно существует два типа персонажей: игровые и неигровые персонажи (Fischer et al., 2012; Iguchi et al., 2017; Lovreglio et al., 2018). Игрок является пользователем симуляции, а неигровые персонажи — это автономные персонажи, которыми пользователь не может управлять (Fischer et al., 2012; Iguchi et al., 2017; Lovreglio et al., 2018). Кроме того, игровыми хостами могут быть человек или компьютерный интерфейс (Iurra and Borst, 2006), но ИИ не смог стать надежным ведущим хостом (Ilmi and Hendradjaya, 2018). Основная обязанность ведущего игры — помочь пользователю ориентироваться в серьезной игре. Наконец, геймплей включает в себя аспект дизайна взаимодействия для игрока. Использование технологии XR улучшает взаимодействие с игроком, делая игру привлекательной и запоминающейся (Liang et al., 2019), ориентированной на учащихся (Shewaga et al., 2018) и в целом эффективной (Iguchi et al., 2017).) дизайн для управления стихийными бедствиями. Таким образом, серьезная структура игрового дизайна является ценным подходом к разработке систем управления стихийными бедствиями.

6.1.1.5 Архитектура распределенного обучения

Знаний о реагировании на стихийные бедствия недостаточно для персонала по управлению бедствиями. Необходимо должным образом информировать и о проблемах лиц, оказывающих помощь в условиях стихийных бедствий, таких как когнитивная предвзятость, ошибки в командной работе и проблемы с коммуникацией (Lusk et al., 1993). Таким образом, желательна комплексная структура обучения, включающая стратегию обучения, среду обучения и структуру обучения (Tena-Chollet et al., 2017). Лонго и др. (2019) разработали систему обучения, которая имеет совместную, основанную на опыте и дифференцированную стратегию обучения и использует учебный симулятор на основе виртуальной реальности вместе с продуктами Индустрии 4.0. Их система может обеспечить не только обратную связь для поддержки разработки систем реагирования на стихийные бедствия, но и большую гибкость в отношении изменения норм безопасности страны (Longo et al., 2019). Точно так же Чен (2014 г.) разработал интерактивную виртуальную онлайн-среду (OLIVE) — совместную учебную среду, которая позволяла стажерам работать вместе в случае места происшествия до стихийного бедствия и места стихийного бедствия. Проверка системы с участием 11 слушателей показала, что виртуальная платформа желательна и может лучше выполнять учения по реагированию на чрезвычайные ситуации (Чен, 2014 г.), чем традиционные подходы. Наконец, Пассос и др. (2016) разработали тренажер для улучшения совместной коммуникации, который ставит перед стажерами задачу общаться друг с другом о возможном подозреваемом в многолюдной ситуации во время футбольного матча, используя устные сигналы и жесты. Их моделирование успешно тренирует компетентность сотрудников службы безопасности в условиях чрезвычайной ситуации (Passos et al., 2016).

6.1.2 Разработка моделирования

В этом разделе основное внимание уделяется областям исследований, связанным с визуальными и графическими аспектами моделей XR. Основные категории в этой области представлены ниже:

6.1.2.1 Стихийные бедствия

Моделирование стихийного бедствия требует осязаемого опыта, который может быть связан с пользователями. Например, при моделировании землетрясения ощущение тряски; для моделирования наводнения это может быть повышение уровня воды; а для торнадо это может быть катящийся столб воздуха на расстоянии. Для симуляций, предназначенных для привлечения внимания через визуальные эффекты, такие как наводнение; цунами; и ураганам требуются уникальные виртуальные объекты. Поиск литературы привел к исследовательским работам, направленным на разработку и оценку связанных со стихийными бедствиями динамических графиков дыма (Stipani et al., 2010), пожарной обстановки (Cimellaro et al., 2019), цунами (Jaiswal et al., 2009), радиоактивной катастрофы (Fischer et al., 2012), селевой поток (Zhang et al., 2019), наводнение (Massaabi et al., 2018; Wang et al., 2019), землетрясение (Sinha et al., 2012) и ситуации с отключением электроэнергии (Чэньюнь и др., 2018). Было обнаружено, что базовая динамика разработана с использованием численного моделирования (Jaiswal et al., 2009; Cimellaro et al., 2019), анализа нелинейной динамики (Sinha et al., 2012), многоуровневой визуализации (Zhang et al., 2019) и прогнозного моделирования (Wang et al., 2019). Таким

образом, XR предоставляет уникальную возможность для разработки реалистичных симуляций стихийных бедствий.

6.1.2.2 Симуляция гуманоида

Работа с человеческими жертвами является одной из общих задач аварийно-спасательных служб. Желательно иметь реалистичную симуляцию гуманоида, потому что пользователи чувствуют себя более погруженными и присутствующими в симуляции. Жирау и др. (2019) разработали обучающую систему MR для сценариев оказания первой помощи, сопоставив реальный манекен с его виртуальным представлением. Моделирование смогло добиться хороших результатов в тестах на реалистичность, присутствие и вовлеченность (Girau et al., 2019). Таким образом, XR-симуляция гуманоида является мощным инструментом, поскольку позволяет получить непосредственный опыт контролируемым и воспроизводимым способом.

6.1.2.3 Моделирование приложений, ориентированных на навыки

Наконец, были обнаружены две уникальные исследовательские работы, в которых основное внимание уделялось обучению нетехническим навыкам и управлению рисками в условиях стихийного бедствия. Лурдо и др. (2019) представили краткое описание своей системы: VICTEAMS, которая обеспечивает иммерсивные тренировочные ситуации для нетехнических навыков, которые включают в себя сильное коллективное решение для управления массовыми авариями путем обучения спасателей обнаружению и исправлению ошибок своих товарищей по команде (Lourdeaux et al., 2019). Лутц (2018) предложил уникальное приложение «Безопасный AR», которое использует идентификацию рисков, оценку рисков и снижение рисков, и применил концепции к приложению «AR Left-Turn Assist». Результаты показали, что режимы отказа AR с участием пользователя имеют лучший охват, чем текущие подходы (Lutz, 2018). В заключение следует отметить, что оба приложения продемонстрировали эффективность в обучении действиям в чрезвычайных ситуациях с точки зрения нетехнических приложений.

6.2 Методы взаимодействия

Во время обзора между сравнительными исследованиями и исследованиями развития были замечены две ветви в исследованиях методов взаимодействия.

6.2.1 Сравнительные исследования

Традиционными подходами к методам визуализации являются слайды PowerPoint (Koutitas et al., 2019; Leder et al., 2019), дидактическое обучение (Rossler et al., 2019), видеоматериалы (Liang et al., 2019) и пошаговое руководство по системе (Koutitas et al., 2019). В этом разделе представлены тематические исследования того, в чем XR превзошел своих традиционных аналогов. Ши и др. (2019) провели исследование, в котором изучалось влияние формата информации и то, как он воспринимается лицами, оказывающими первую помощь, с помощью эксперимента с участием человека. Было обнаружено, что формат 2D полностью уступает визуальным контекстам 3D и VR в пространственной рабочей памяти, частично из-за различий в паттернах внимания, обусловленных разными форматами визуальной информации (Shi et al., 2019). Точно так же Росслер и соавт. (2019) провели исследование для оценки эффективности виртуального тренажера для обучения навыкам электрохирургии (VEST) на основе виртуальной

реальности в противопожарной подготовке в операционной со студентами-медсестрами. Результаты показали большой прирост знаний после теста по сравнению с предварительным тестом в группе с обучением VEST, чем с традиционным программным обучением (Rossler et al., 2019). Кутитас и др. (2019) оценили эффективность приложения Ambus, которое имитирует настоящие автомобили Ambus, предназначенные для крупномасштабных чрезвычайных ситуаций. Дизайн состоял из системы AR и VR для Ambus. Оценка этих систем показала, что AR и VR превзошли традиционное обучение как по времени выполнения задач, так и по количеству ошибок (Koutitas et al., 2019).

Точно так же было обнаружено исследование эффективности технологий XR. Рончи и др. (2019) сравнили результаты экспериментов по эвакуации из туннеля, направленных на исследование конструкции мигающих огней на порталах аварийных выходов с использованием методов Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) и мобильных дисплеев с головным креплением (HMD), и обнаружили согласованность между двумя методами для сенсорные, когнитивные и функциональные возможности. Исследование показало, что в случае относительно ограниченного уровня сложности использование недорогих мобильных средств HMD является более надежным в сценариях эвакуации (Ronchi et al., 2019). Важность этого вывода заключается в том, что использование сложной и более дорогой платформы XR не является обязательным для эффективных приложений по борьбе со стихийными бедствиями, особенно для обучения и действий по реагированию на команды.

Наконец, Ледер и соавт. (2019) провели исследование, чтобы сравнить рассказите об эффективности VR и PowerPoint в обучении технике безопасности с использованием слайдов CAVE VR и PowerPoint для обучения технике безопасности при использовании столбовых сверл. Исследование показало, что, хотя иммерсивность более очевидна при обучении в виртуальной реальности, содержание важнее, чем способ подачи информации. Новизна последнего исследования заключается в том, что оно устанавливает границы полезности технологии XR для передачи информации. В данной работе предлагается рассматривать содержание и визуализацию последовательно.

6.2.2 Исследования развития

6.2.2.1 XR на месте

Термин «XR на месте» вдохновлен исследовательскими работами Veas et al. (2013) и Pierdicca et al. (2016). Эта технология включает использование уровня данных, состоящего из прошлых данных и данных в реальном времени в среде XR на мобильной платформе для проведения исследований на месте (Pierdicca et al., 2016). Обнаруженные приложения включали осмотр буферных полос (Pierdicca et al., 2016), навигацию для эвакуации (Caballero et al., 2019), фотограмметрические измерения (Dai et al., 2011), приложение для управления рисками наводнений (Haynes et al., 2018) и оценка ущерба (Kim et al., 2016). Некоторыми важными параметрами обнаружения в этих системах являются датчики с географической привязкой (Veas et al., 2013; Pierdicca et al., 2016) и микрофонные датчики для связи (Veas et al., 2013). Точно так же использование облачной системы базы данных для доступа к показаниям датчика в реальном времени делает систему полезной для служб экстренной помощи (Haynes et al., 2018). Следовательно, «Локальный XR» представляет собой портативный инструмент, который

способствует низкозатратному усвоению информации, что ускоряет принятие решений в сценарии, связанном со стихийным бедствием.

6.2.2.2 Специальные алгоритмы XR-взаимодействия

Двумя основными компонентами мозга XR являются данные и алгоритмы. Таким образом, алгоритмы являются важной частью дизайна взаимодействия. В ходе исследования проводились работы по компьютерному зрению для съемки (Dai et al., 2011), алгоритму безопасности (Oh et al., 2019), методам сотрудничества человека и робота (Matsas and Vosniakos, 2017) и траектории для оптимальной спасательной операции (Nguyen et al., 2019). Типичным примером алгоритма взаимодействия является работа Матсаса и Воснякоса (2017). Они представили высокоинтерактивную обучающую систему под названием «Остерегайтесь робота», в которой они разработали методы взаимодействия для моделирования сотрудничества между промышленным роботом и человеком при выполнении производственной задачи. Они использовали *guzcasting* для выбора и прямую технику виртуальной руки для манипулирования и активации элементов управления. Они осуществляли управление системой, используя управляемую отслеживанием виртуальную руку, которая взаимодействует с определенными объектами и запускает событие или изменение режима состояния/взаимодействия системы. Они также реализовали обнаружение столкновений и срабатывание с помощью методов покрытия сферы, ящика и цилиндра (Матсас и Воснякос, 2017). Технология XR была подкреплена уникальными компьютерными алгоритмами, которые поддерживают уникальное взаимодействие для приложения по управлению стихийными бедствиями. Следовательно, инновации в алгоритмах представят уникальные интерактивные функции системы XR, которые произведут революцию в ее применимости в технологии управления стихийными бедствиями.

6.2.2.3 Системы дистанционного управления

Системы телеуправления состоят из двух подсистем: одной для эксперта и другой для оператора. Использование AR позволяет проецировать жест руки эксперта на поле зрения оператора, что позволяет оператору выполнять сложную задачу (Oyama et al., 2016). Система поведенческой навигации, разработанная Oyama et al. (2016) превзошли инструкции голосовой связи по времени, затраченному на выполнение задачи. Преимущество XR над любыми другими методами заключается в том, что эксперт может виртуально показать, как выполнить задание, а работник может воспринять информацию так, как если бы эксперт физически присутствовал в помещении. Следовательно, телепортация с помощью систем XR может произвести революцию в передаче информации в случае стихийного бедствия, позволяя оператору имитировать то, как эксперт будет выполнять задачу.

6.2.2.4 Интеллектуальное взаимодействие

В этом разделе представлены краткие тематические исследования исследовательских работ, посвященных разработке интеллектуальных методов для улучшения взаимодействия в среде XR. Даниал и др. (2019) предложили методологию последовательного изучения маршрутов, Обобщенное стохастическое изучение маршрутов на основе сети Петри (GSPNRL), для агентов, которые напоминают то, как люди изучают маршруты путем последовательного воздействия. Точно так же Subhedar et al. (2019) разработали интеллектуальную систему, которая использует дроны для сканирования RFID-сигналов носимых устройств, представляющих пострадавших, и использует интеллектуальный алгоритм для определения их приоритетности в зависимости от

возраста, пола, частоты сердечных сокращений и текущего положения застрявшего объекта, а также дополняет информацию о спасателях. мобильные или очки дополненной реальности для навигации. Кроме того, Ilmi и Hendradjaya (2018) разработали SG, где игроки должны эвакуировать агентов, чтобы выбраться из здания как можно скорее. Их скрипты могли изменять скорость агентов. в зависимости от ситуации, определение позиции позади лидеров и выбор для агентов, выйти или следовать за лидером. Эти интеллектуальные методы имеют большие перспективы использования в качестве инструмента для будущих приложений по борьбе со стихийными бедствиями в таких аспектах, как виртуальный человек (Danial et al., 2019), интеллектуальное спасение, интеллектуальное моделирование и так далее. Следовательно, системы, основанные на алгоритмах мягких вычислений, могут предоставить пользователю уникальные взаимодействия для сценариев управления бедствиями, большинство из которых могут быть дорогостоящими с вычислительной точки зрения при использовании алгоритмов жестких вычислений.

6.2.2.5 Взаимодействие с использованием больших данных

Несмотря на то, что это относительно новая область, влияние и перспективы больших данных в управлении стихийными бедствиями значительны. Большие данные позволяют пользователю быстро оценить ситуацию и оперативно принять меры (Ю и др., 2018). Точно так же большие данные помогают прогнозировать стихийные бедствия (Yu et al., 2018). Как обсуждалось в подразделах «Разработка системы» (например, «Командная система»), многие системы имеют специальный уровень данных для синтеза больших данных и их интерпретации для пользователя XR. Типичными примерами использования больших данных в развитии взаимодействия в сфере управления стихийными бедствиями являются: идентификация стихийных бедствий с использованием API Twitter (Luchetti et al., 2017), ядро Системы управления инцидентами в Panaceas Cloud™ (Vassell et al., 2016) и Glas™ от Panacea (Vassell et al., 2016), а также поиск путей эвакуации в программном обеспечении, помогающем эвакуироваться (Tsai and Yau, 2013), автономные виртуальные агенты, способные совершать ошибки (Lourdeaux et al., 2019), сценарий эвакуации из метро (Sharma et al., 2014) и Choi et al. (2019) «Умная система безопасности и реагирования на стихийные бедствия». Кроме того, Bang et al. предложили футуристическую систему взаимодействия на основе больших данных. (2019). Они предложили систему для обнаружения различных действий, таких как реагирование на экстренные вызовы, патрулирование, расследование, аресты, а также для обнаружения преступной деятельности путем обработки распределенного массива датчиков. После ареста преступника комната записи преступлений в виртуальной реальности может помочь властям разобраться в преступлении (Bang et al., 2019). Кроме того, полевые офицеры могут получить информацию и поддержку принятия решений из приложения AR (Bang et al., 2019). Следовательно, большие данные могут произвести революцию в важных прикладных областях управления стихийными бедствиями, таких как симуляции обучения XR, синтез данных команд и ответов и навигационные системы.

6.2.2.6 Взаимодействие с использованием тактильных ощущений

Тактильные устройства — это устройства, которые обеспечивают двунаправленную передачу таких ощущений, как давление, сдвиг, сила, движение и т. д. (Rodríguez et al., 2019). Тактильные датчики усиливают обратную связь, предоставляемую пользователям (Brewster, 2003; MacLean, 2008), что делает их применимыми в сценарии стихийного бедствия. С использованием тактильных ощущений возможны два типа взаимодействия: активное тактильное взаимодействие и пассивное тактильное взаимодействие (Rodríguez et al., 2019). В активных тактильных системах пользователь контролирует тактильное взаимодействие, тогда как в

пассивных тактильных системах тактильные приводы автоматизируют взаимодействие для пассивного пользователя (Rodríguez et al., 2019). Сухейл и др. (2019) разработали симулятор, который использует пассивные тактильные ощущения для создания тренировочной симуляции вращения, сжатия, вытягивания/толкания и нажатия, чтобы настроить панель насоса для тушения горящего учебного автомобиля с использованием правильного класса пены путем настройки насоса и выпуска пены. (Сухаил и др., 2019). В заключение следует отметить, что тактильная техника имеет большой потенциал для использования в сценариях подготовки к стихийным бедствиям для повышения реалистичности симулятора.

6.2.2.7 Взаимодействие с целевой группой

В соответствии с принципом социальной интеграции Организации Объединенных Наций (ООН) Конвенция о правах инвалидов (КПИ) требует, чтобы все страны, входящие в состав ООН, проводили мероприятия по информированию о стихийных бедствиях, обеспечению готовности и реагированию, которые включают и доступны для людей с ограниченными возможностями. инвалидности (Inclusion Made Easy, 2012). Таким образом, системы XR могут стать эффективным средством обучения и обучения людей с ограниченными возможностями безопасности при стихийных бедствиях. Кабальеро и др. (2019) исследовали эффективность учебных симуляторов виртуальной реальности для обучения людей с нарушениями слуха. Их система состояла из обычной симуляции, но инструкции предоставлялись с использованием подхода, основанного на рекомендациях, и подхода инфографики, когда аватары на языке жестов передавали инструкции обучаемым. Они разработали учебные симуляции для землетрясений, пожаров, тайфунов и цунами. Исследование удобства использования подтвердило, что система на основе виртуальной реальности эффективна для обучения людей с нарушениями слуха, а также важные результаты, свидетельствующие в пользу исследования на основе инфографики для повышения производительности и эффективности с точки зрения обучения (Caballero and Niguidula, 2018). Следовательно, существует большая возможность и потенциал для разработки симуляторов XR для целевой группы населения.

6.3 Обучение

Обучение является частью этапа «подготовки» управления стихийными бедствиями, когда прошлые уроки преобразуются в педагогические элементы для изучения учащимися. XR с Системы доказали свою эффективность в передаче, сборе и открытии знаний (Fernández del Amo et al., 2018), что делает их весьма применимыми для обучения. Новизна систем обучения на основе XR возникает особенно в ситуациях, когда поездки ограничены или доступны только ограниченные средства для развития учебной среды. Поскольку эффективность моделирования не связана с точностью моделирования (Hays and Singer, 2012), моделирование с низкой точностью, требующее меньше ресурсов, может быть многообещающим (Alharthi et al., 2018a). Точно так же смешанная реальность также демонстрирует многообещающее будущее в качестве технологии обучения при стихийных бедствиях, поскольку в среде смешанной реальности могут быть разработаны новые обучающие симуляторы, связанные с человеческим фактором (Alharthi et al., 2018a). Основные области применения XR в обучении управлению стихийными бедствиями были обнаружены в обучении отделений неотложной помощи, обучении правоохранительных органов, обучении эвакуации и обучении непосредственному реагированию на бедствия.

6.3.1 Обучение в отделении неотложной помощи

Учебными системами, связанными с условиями отделения неотложной помощи, были эвакуация новорожденных (Farra et al., 2019), использование оборудования отделения интенсивной терапии (Dhanasree et al., 2019), анестезиологический кризис (Shewaga et al., 2018) и пожар в операционной (Дорожкин и др., 2017). Учебный симулятор на основе XR превзошел традиционные методы по времени выполнения задачи (Farra et al., 2019), усилив подход, ориентированный на учащегося (Shewaga et al., 2018), и сделав среду обучения желательной для учащихся (Дорожкин и др., 2017). В качестве репрезентативного примера Farra et al. (2019) исследовали эффективность виртуальной реальности, обучая сотрудников отделения интенсивной терапии новорожденных с помощью обновлений через Интернет о полученных знаниях, уверенности при эвакуации и эффективности упражнений по эвакуации в реальном времени. Они обнаружили, что, хотя тесты на самооценку и когнитивные оценки не показали существенных различий, группа VR показала намного лучшие результаты в тренировках по эвакуации в реальном времени с точки зрения времени, необходимого для эвакуации детей (Farra et al., 2019). Таким образом, тренажеры XR эффективно передают навыки пользователям.

6.3.2 Обучение сотрудников правоохранительных органов

Сотрудники правоохранительных органов испытывают стресс и беспокойство на работе, что напрямую влияет на их эффективность и способность принимать соответствующие решения в полевых условиях. Необходимо разработать симуляцию, которая инкапсулирует психологические параметры их работы и обучать их должным образом. Точно так же важная теоретическая педагогическая основа для обучения такой ситуации называется моделью ситуативного познания, которая основана на идее о том, что ситуации ответственны за структурирование познания (Brown et al., 1988). Два основных следствия ситуативной модели познания таковы: знание достигается посредством живой практики, а обучение достигается путем участия в практических сообществах (Brown et al., 1988). Система обучения XR проверяет оба значения, чтобы предложить уникальное решение для обучения сотрудников правоохранительных органов и сотрудников службы экстренной помощи модульным и обширным образом (Carlson and Caporusso, 2019). Карлсон и Капоруссо (2019) представили модульный и расширяемый тренажер. Система позволяет оператору испытать различные тактики, динамику, местоположения, уровни угрозы и результаты, а также несколько раз запускать симуляцию, реализуя ситуативную модель познания, предназначенную для обучения сотрудников правоохранительных органов и экстренных служб (Carlson and Caporusso, 2019). Таким образом, учебные тренажеры XR могут быть эффективно реализованы с учетом цели философского обучения в таких критических областях, как правоохранительные органы.

6.3.3 Обучение эвакуации

В ходе исследования были обнаружены уникальные сценарии обучения эвакуации, такие как активный поиск стратегии эвакуации (Iguchi et al., 2017), активное принятие решений в условиях ограниченного времени (Kawai et al., 2016) и ситуации скопления людей в помещении (Сао et al., 2019). Системы на основе AR могут активно смешивать виртуальные элементы посредством вычисления подобию, суперпозиции и синхронизации (Kawai et al., 2016) по отношению к физической сцене. Кроме того, существуют две основные категории режимов пространственного исследования, известных для сцены эвакуации: активное исследование и пассивное исследование (Chrastil and Warren, 2012). При активном исследовании обучаемым разрешается свободно покидать окружающую среду, тогда как при пассивном исследовании они следуют заранее определенному пути в окружающей среде (Chrastil and Warren, 2013). Режим пассивного исследования эффективен при эвакуации в помещении, где заранее определенные маршруты

применимы более жестко (Cao et al., 2019). Таким образом, тренажеры на основе XR могут стать общепризнанными (Iguchi et al., 2017), мотивирующими (Kawai et al., 2016) и эффективными средствами обратной связи (Liang et al., 2018) для учений по эвакуации. Такое обучение эффективно предотвратит вторичные бедствия, такие как паническое бегство, путем обучения эвакуированных эффективно эвакуироваться из зоны бедствия.

С другой стороны, системы XR обеспечивают современные средства для оценки данных обучаемых, которые помогают свести к минимуму предвзятость, которая может возникнуть в прагматических средствах оценки, таких как опрос после обучения. Тиан и др. (2019) разработали эффективную систему для анализа поведения пожарной лестницы в помещении. Система собирает информацию, такую как движение, информацию о трехмерном положении взгляда от глаз, а также положение головы одновременно в виртуальной среде, которая затем анализируется для получения информации о пространственном когнитивном процессе участников. Эта система могла поддерживать расширенный глубинный поведенческий анализ для качественной и количественной проверки зрительного внимания. Следовательно, тренажеры на основе XR также предоставляют надежные инструменты для сбора когнитивной информации об участниках. Это может помочь при интерпретации результатов, полученных после анализа обучающих данных.

6.3.4 Обучение непосредственному реагированию на бедствия

Были найдены две статьи в этой прикладной области: обучение авариям на железной дороге (Xu et al., 2018), обучение авариям на шахтах (Liang et al., 2019). Сюй и др. (2018) разработали однопользовательскую систему обучения железнодорожного крана, которая использует динамику нескольких тел для получения обратной связи между твердыми телами, движок PhysX для имитации крушения поезда на любой скорости, автоматическое обнаружение столкновения груза с окружающими объектами и краном в процессе подъема, и получил соответствующий вывод от оценки обучения VR к традиционному обучению на месте. Точно так же Лян и соавт. (2019) разработали приложение SG для обучения технике безопасности при работе с горными породами в подземных шахтах. Приложение имеет два режима: режимы масштабирования и тренировки восприятия. В режиме масштабирования игроки находят и удаляют свободные камни. В режиме тренировки восприятия игроки используют свои продвинутые навыки восприятия опасностей, чтобы идентифицировать случайные рыхлые камни и признаки неустойчивого грунта. Проверка системы по сравнению с обучающим видео привела к выводу, что участники, которые проходят обучение с помощью VR-медиа, работают лучше, чем те, кто проходит обучение с помощью видео-медиа (Liang et al., 2019). Таким образом, система обучения XR может тренировать координацию и восприятие опасности, что помогает в развитии компетентности (Caballero and Niguidula, 2018) во время реагирования на стихийные бедствия.

6.4 Оценка инфраструктуры и рекогносцировка

Две основные технологии, поддерживающие оценку и разведку инфраструктуры, основаны на методах компьютерного зрения. Идея состоит в том, чтобы собрать данные об инфраструктуре до стихийного бедствия, а затем использовать их для сравнения с данными после стихийного бедствия для анализа ущерба инфраструктуре (Ono et al., 2008; Dong et al., 2013; Kim et al., 2016; Ли и др., 2019; Сюй и др., 2020). Роль XR состоит в том, чтобы визуализировать синтезированную информацию таким образом, чтобы облегчить принятие решений.

6.4.1 Информационное моделирование здания

Информационное моделирование зданий (BIM) связано с разработкой базы данных, которая содержит информацию о геометрии, географической информации и других деталях конструкции здания и инфраструктуры (Azhar, 2011). Парк и др. (2018) предложили и смоделировали систему управления стихийными бедствиями на основе AR для многоэтажных зданий, которая обеспечивает интеллектуальное обслуживание, рекомендации по безопасности и удаленную систему в реальном времени на основе IoT. В качестве подсистемы система на основе дополненной реальности может сканировать и генерировать карту этажа, чтобы предоставлять пассажирам и спасателям рекомендации по безопасной эвакуации (Park et al., 2018; Lochhead and Hedley, 2019). Подсистемы используют смарт-панели, которые можно сканировать, чтобы получить всю структуру здания в случае пожара (Park et al., 2018). Как следствие, BIM в XR способствует быстрому принятию решений в случае стихийного бедствия, что делает его важной областью применения технологии управления стихийными бедствиями.

6.4.2 Быстрая оценка инфраструктуры

Подходы к оценке инфраструктуры включали: оценку безопасности (Nilsson et al., 2018) и оценку ущерба (Phillips et al., 2012; Behzadan et al., 2015). Точно так же оценка ущерба включала оценку с использованием дронов (Kim et al., 2016; Li et al., 2019) и оценку с использованием портативных устройств.

Что касается исследований в области безопасности, технология XR позволяет уникальным образом оптимизировать наши инфраструктуры с точки зрения дизайна, ориентированного на пользователя, с минимальными затратами и временем. Известное приложение, разработанное Nilsson et al. (2018) использует виртуальную реальность для оценки дизайна различных выходов из портала. Это позволило быстро и эффективно тестировать различные конструкции без существенной нагрузки на бюджет.

После стихийного бедствия в сообществе первым шагом в процессе восстановления является оценка ущерба инфраструктуре (Phillips et al., 2012). Этот шаг покажет, в каких зданиях безопасно оставаться, а какие пострадали от стихийного бедствия. Быструю оценку ущерба можно выполнить, развернув дрон-сканер, оснащенный алгоритмом обработки изображений, который может сравнивать сцены до и после стихийного бедствия для оценки ущерба (Dong et al., 2013; Li et al., 2019; Xiong et al., 2020). Использование портативного AR может обеспечить портативную среду для более точного доступа к повреждениям для таких параметров, как коэффициент межэтажного смещения (Dong et al., 2013), неточность и неопределенность анализа повреждений (Kim et al., 2016). Интеллектуальный алгоритм с использованием сверточной нейронной сети VGGNET способен оценивать повреждения зданий с точностью 89,39% (Xiong et al., 2020). Алгоритм на основе облака точек наряду с использованием подчиненных дронов также успешно снижает временную сложность задачи оценки ущерба (Li et al., 2019).

Наконец, было обнаружено, что другим подходом к обеспечению безопасности с использованием XR является система Mobile XR. Этот разведывательный подход включал использование технологии XR для реализации 4D-моделирования интересующей системы, такой

как сценарий бедствия, путем наложения виртуальных моделей (таких как BIM) на реальную графику с промежутком времени (Behzadan et al., 2015).). В заключение, системы на основе XR могут способствовать более быстрому принятию решений для безопасной инфраструктуры, чтобы облегчить процесс аварийного восстановления, требующий минимальных средств и времени.

6.4.3 Виртуальные музеи

Одним из аспектов аварийного восстановления также является восстановление исторического и культурного наследия (Phillips, 2009). После стихийного бедствия у страны или организации может не хватить средств для восстановления исходной инфраструктуры в ее первоначальном состоянии. В такой ситуации следующей лучшей альтернативой может стать виртуальная реконструкция. Цитадель Бама, расположенная в провинции Керман в Иране, является объектом всемирного наследия ЮНЕСКО и была разрушена землетрясением 2003 года (Ono et al., 2008). Группа исследователей использовала разнородные знания о реликвиях и использовала процесс именованых слоев на основе метаданных, чтобы связать доступные компоненты для создания 3D-моделей (Ono et al., 2008). Они также разработали систему на основе виртуальной реальности, позволяющую проводить виртуальные экскурсии по сайту (Ono et al., 2008). Использование виртуальной реальности позволяет посетителям получить опыт, аналогичный посещению реального сайта. Кроме того, реконструкция VR более рентабельна и менее подвержена повреждению, чем альтернатива физической реконструкции.

6.5 Осведомленность общественности

Осведомленность населения играет важную роль в эффективном смягчении последствий стихийного бедствия, вызывая общественный интерес и обучая общество снижать риск потенциальных угроз (Davis et al., 2003). Бернхардт и др. (2019) проверили эффективность виртуальной реальности в информировании людей о приближении ураганов к берегу по сравнению с традиционными СМИ. В ходе оценки был сделан вывод о том, что просмотр виртуального моделирования выхода на сушу категории 3 по времени концентрации (TC) по сравнению с более традиционными продуктами побуждает респондентов более серьезно относиться к предупреждениям, когда они помещаются в гипотетический сценарий (Bernhardt et al., 2019). Вендлер и Шаттлворт (2019) создали уличную игру «Ливень!» что позволяет игрокам независимо исследовать как научные, так и политические аспекты управления наводнениями. Иммерсивный характер уличной игры призван потенциально вызвать активное участие в усилиях, связанных с наводнением, путем создания эмоциональной связи с проблемами (Wendler and Shuttleworth, 2019). Точно так же Сермет и Демир (2019b) представили игровую среду виртуальной реальности, которая использует географические и погодные данные для моделирования и сбора поведенческих и психологических данных пользователей как в однопользовательском, так и в многопользовательском режиме. Проверка системы на конференции показала, что система проста в использовании и навигации (Sermet and Demir, 2019b). Наконец, Лук и др. (2018) представили систему виртуальной реальности, которая имитирует работу атомных электростанций и возможные аварии в виртуальном мире. Проверка технологии в образовательном аспекте пришла к выводу, что иммерсивная система виртуальной реальности очень успешно помогла посетителям понять атомную энергетику (Luk et al., 2018). Системы XR могут предоставить интересные и привлекательные решения для распространения информации о стихийных бедствиях среди широкой публики.

XR предлагает уникальное решение для создания опыта, похожего на реальную жизнь. Его симуляция надежна, поскольку позволяет получить непосредственный опыт контролируемым и повторяющимся способом по сравнению с плохо предлагаемыми традициями. Телепортация систем XR произвела революцию в передаче информации, позволив операторам имитировать то, как специалисты выполняют задачи. Он также произвел революцию в функциях взаимодействия с использованием тактильных ощущений для повышения реализма в симуляторе. Системы XR также помогают быстрее принимать решения по инфраструктуре, облегчая аварийное восстановление с минимальными затратами средств и времени. Группа, обученная виртуальной реальности, показала намного лучшие результаты в тренировках по эвакуации в реальном времени по сравнению с традиционной группой, демонстрирующей, как обучающие системы XR передают навыки пользователям. Однако одна из важных проблем, которые все еще существуют, заключается в том, что работа в реальной зоне бедствия требует значительных инвестиций в инфраструктуру, а исследователям необходимо оценить общую эффективность и ее влияние. Например, чтобы провести пожарную тревогу, местная пожарная служба должна разработать сценарий пожара, и для этого требуется очень большой капитал. После того, как обучение завершено, трудно воспроизвести сценарий. Первые реагирующие могут получить травмы в процессе обучения или даже иметь смертельные травмы. Технология XR может использоваться для разработки виртуальной среды для обучения заинтересованных пользователей в безопасной среде, а также с меньшими затратами. Наконец, системы XR обеспечивают эффективные решения для обучения в условиях стихийных бедствий как в технических, так и в нетехнических приложениях, связанных с реагированием на стихийные бедствия.

7 ограничений и будущих направлений

7.1 Ограничения обзора

Инновация этой статьи заключается в нанесении на карту не исключаящих друг друга областей применения исследований в управлении стихийными бедствиями. Мы проанализировали набор из 84 документов, которые представляют собой подмножество гораздо большего корпуса документов. Мы считаем, что сделанные нами оценки (раздел 6) и выявленные нами ограничения (раздел 7) могут быть полезны для будущих обзоров литературы и определения будущих исследований. Ограничение этого обзора заключается в том, что обзор фокусируется на всестороннем изучении приложений посредством синтеза исследовательских работ. Важным будущим направлением является отдельное проведение углубленного систематического обзора литературы по каждой из прикладных областей для поддержки развития теории в этой развивающейся области. Кроме того, изучение патентов на системы управления стихийными бедствиями на основе XR и современных систем, используемых на практике, также может открыть новые возможности для исследований. Кроме того, полезные идеи могут быть получены при изучении проблем киберболезни при использовании систем XR. Это может вдохновить исследовательское сообщество на разработку систем XR, которые имеют минимальные побочные эффекты для здоровья пользователей.

Точно так же мы выбрали разные ключевые слова для поиска документов из двух источников отслеживания (Google Scholar и Web of Science). Предыдущая исследовательская работа [Taster (2022)] показала, что использование этих двух источников отслеживания подходит почти для всех существующих статей ученых-исследователей. Мы понимаем, что некоторые исследовательские статьи могут отсутствовать, но исследовательская работа, включенная в эту обзорную статью, обобщает существующую работу и предоставляет заинтересованным читателям руководство по

текущему состоянию дел в области управления стихийными бедствиями. Кроме того, одним из ограничений может быть асимметрия ключевых слов при использовании источников отслеживания. Используя семнадцать различных ключевых слов в Google Scholar, он предоставляет полный список исследовательских работ, которые были проверены путем ручного поиска в результатах поиска, а два ключевых слова, используемые в Web of Science, показывают оставшийся список результатов поиска, которые не были доступны в Google ученый. Тем не менее, учитывая тщательный процесс рецензирования с использованием 84 документов, мы считаем, что обзорный документ обеспечивает основу для рассмотрения многих других документов. Ограничения и будущие направления, которые мы обнаружили, включают информацию об использовании виртуальной и дополненной реальности в области технологий управления стихийными бедствиями, которая может быть полезна для исследовательского сообщества. Наконец, еще одним ограничением этого обзора является исключение изучения поведения человека в сценариях бедствий с использованием XR. Хотя исследования, посвященные разработке технологии XR для поведенческих исследований, были включены, исследования, посвященные ситуационной осведомленности, стрессу, предвзятости и другим человеческим факторам в опасных чрезвычайных ситуациях в среде XR, не рассматривались.

7.2 Будущие направления

7.2.1 Компьютерное имитационное моделирование

Создание симуляции требует значительных вычислительных мощностей. Рекомендуется использовать надежное оборудование для разработки и запуска симуляций. Отсутствие этого может вызвать буферизацию и паузу при переходе кадров, а также отслеживание положения в системах VR, AR и MR. Использование передового оборудования, запрограммированного для ускорения вычислений с использованием графических процессоров, обеспечивает реалистичную визуализацию, которая может повысить экологическую достоверность моделирования на базовом уровне. Парк и др. (2018) рекомендовали, чтобы внедрение технологий на основе определения местоположения, таких как информационное моделирование зданий (BIM), географическая информационная система (ГИС) и радиочастотная идентификация (RFID), могло значительно улучшить системы управления операциями в случае стихийных бедствий (Park et al., 2018).

После обзора было замечено, что значительное количество исследовательских работ, связанных с разработкой уникальных симуляций, не прошли надлежащее тестирование и проверку. Это было еще одним свидетельством того, что применение XR в борьбе со стихийными бедствиями все еще находится на начальной стадии и требует дополнительных исследований.

В ходе проверки было обнаружено несколько систем реагирования на инциденты. Основные компоненты системной интеграции включали XR для Common Operational Picture, облачные вычисления для эффективной связи и хранения информации, геопространственную сеть для позиционирования и развертывания массива датчиков для сбора информации о среде бедствия. В ходе обзора было обнаружено несколько проектов, связанных с беспилотниками. Однако, никакие системы управления не использовались. Дроны для поисково-спасательных операций. Системы управления инцидентами могут включать дроны в свои системы для повышения устойчивости (LaLone et al., 2019) в своих поисково-спасательных задачах.

В области 3D-реконструкции неоткалиброванные изображения вызывали проблемы с растяжением и сжатием 3D-модели. Необходимы дополнительные исследования, чтобы найти способ нормализации изображений для надлежащего согласования с трехмерной геометрией, чтобы можно было устранить зависимость качества моделирования от качества захваченного изображения (Macchione et al., 2019).

Точно так же желательно, чтобы симуляция была максимально реалистичной. Однако чрезвычайно иммерсивная симуляция сценария стихийного бедствия может нанести психологическую травму пользователям. Компромисс реализма с психической безопасностью для моделирования, связанного со стихийным бедствием, может представлять междисциплинарный интерес для исследований, таких как изучение XR и науки о безопасности (Markwart et al., 2019).

Наконец, общие чрезвычайные ситуации в области управления стихийными бедствиями подразделяются на обычные чрезвычайные ситуации и кризисные чрезвычайные ситуации (Леонард и Ховитт, 2009 г.). Всеобъемлющая теория каждой из чрезвычайных ситуаций доступна в текстах по управлению бедствиями вместе с ключевыми элементами, которые приводят к эффективному реагированию. Разработка этих тренажеров с использованием идей из этой литературы может дать слушателям навыки адаптации к непредвиденным сценариям стихийных бедствий.

7.2.2 Методы взаимодействия

С появлением новых инструментов и методов взаимодействия он помог исследователям и ученым взаимодействовать с различными сценариями в иммерсивной виртуальной среде. Ши и др. (2019) определили, что с помощью отслеживания взгляда мы можем выявлять и исследовать более сложные и динамичные сценарии строительства. Внедрение новых гаджетов, таких как тактильные устройства, может способствовать взаимодействию, которое может повысить иммерсивность системы XR.

Точно так же желательно, чтобы технология дополненной реальности адаптировалась ко всем условиям окружающей среды. Веас и др. (2013) предположили, что адаптация производительности к любым погодным условиям может потребовать будущей исследовательской работы, которая напрямую повысит удобство использования технологии. Исследования по улучшению компьютерного зрения для дополненной реальности могут быть многообещающими. Возможность дистанционного зондирования для XR может улучшить такие приложения. Кроме того, для визуализации дополненной реальности требуется практическое решение по оптимизации алгоритма адаптивной компенсации задержки с помощью методов обработки изображений. В противном случае на аспект интерактивности напрямую влияет ослабление объектов (Veas et al., 2013).

Кроме того, приложения для технического обслуживания нуждаются в регулярной оценке и анализе. Было бы эффективнее автоматизировать процесс проверки. Пьердика и др. (2016) рекомендовали, чтобы для управления автоматической классификацией землепользования

можно было использовать головной дисплей, а для автоматизации процесса проверки можно было использовать беспилотные роботизированные транспортные средства.

Наконец, разработка средств помощи при эвакуации предполагает детальное изучение поведения человека при поиске пути. Цао и др. (2019) рекомендовали изучить, как сложные когнитивные процессы влияют на режим пространственного исследования при пожаре. Они обнаружили, что его можно использовать для разработки более эффективных методов и инструментов вмешательства в поиск пути для обеспечения эффективной эвакуации во время чрезвычайных ситуаций в здании.

7.2.3 Обучение

Реалистичная симуляция, основанная на коде с аппаратным ускорением, и достаточное количество датчиков делают эффективную тренировочную симуляцию. По мнению автора, следует либо избегать обучения с использованием дополненной реальности на основе маркеров, либо использовать маркеры, маскирующие симуляцию, в тренажерных тренажерах. Это связано с тем, что маркеры используются для размещения виртуальных объектов в реальном мире, и обучаемые увидят бумагу, прикрепленную к мертвому телу, или движущийся шторм, что сильно повлияет на качество моделирования. Если необходимо использовать дополненную реальность на основе маркеров, настоятельно рекомендуется использовать творческие маркеры, такие как изображения крови, в качестве маркера для размещения виртуального человеческого мертвого тела. В качестве лучшей альтернативы можно использовать интеллектуальные алгоритмы для идентификации объектов на предоставленном изображении, чтобы выяснить, где виртуальный объект должен быть наложен.

Точно так же учебные тренажеры, разработанные в соответствии с ориентированным на пользователя подходом к проектированию, имеют широкое применение в учебных тренажерах по обеспечению готовности к стихийным бедствиям и реагированию на них. Использование моделей, ориентированных на пользователя, может за короткое время создать очень полезный продукт (Baillie et al., 2016), улучшить восприятие и опыт виртуальной среды (Jeon et al., 2019). Мало того, концепция ситуативного познания также обладает высокой педагогической эффективностью в виртуальном мире (Caroca et al., 2016). Одной из предлагаемых процедур проектирования системы является: анализ требований, прототипирование взаимодействия, прототипирование комплексной системы и прототипирование кросс-функциональной системы (Grandi et al., 2019).

Кроме того, поскольку технология XR быстро распространяется в других областях, педагогические исследования о том, как разработать XR, чтобы помочь учащимся в обучении, становятся растущей тенденцией между исследователями. (Sampaio et al., 2010) представили дидактические модели виртуальной реальности для консольного метода и метода поэтапного запуска конструкции настила моста. Эти модели можно использовать для разработки эффективных тренажеров, которые помогут процессу обучения строителей и повысят безопасность на рабочих местах на строительных площадках.

Моделирование с участием нескольких человек также является важной областью, требующей дополнительных исследований. Как и в случае аварии поезда, в некоторых спасательных операциях требуется синхронизация нескольких крановщиков для подъема тяжелого груза, который может содержать жизнь и имущество. Таким образом, в этом аспекте могут потребоваться некоторые исследования и разработки, чтобы помочь скоординированному реагированию на стихийные бедствия (Xu et al., 2018). Наконец, укачивание — еще одна проблема со здоровьем, связанная с текущими ограничениями технологии XR. Некоторые из обучаемых в своей симуляции столкнулись с 3D-укачиванием и трудностями в движении (Kawai et al., 2016; Lovreglio et al., 2018). Эта проблема, не решенная, может помешать развитию технологии XR, поэтому требует серьезного внимания.

7.3 Оценка инфраструктуры и рекогносцировка

Процесс разведки в основном включает посещение места и предоставление визуальной информации разведывательному программному обеспечению. Желательно, чтобы оборудование для запуска программного обеспечения было портативным. Мобильный AR с облачной обработкой — популярный вариант, поскольку он обеспечивает мобильность портативного устройства, предоставляя вычислительную мощность из облака. Тем не менее, есть компромисс с этой функцией. Ким и др. (2016) обнаружили, что надежность сетей создает неопределенность в системе такого типа, и существует компромисс между затратами и выгодами в отношении точности данных и требований к оборудованию (Kim et al., 2016) (Dong et al., 2013) также определил, что их автоматический алгоритм измерения межэтажного коэффициента дрейфа (IDR) не мог работать лучше, чем ручной выбор из-за неопределенностей и ошибок, связанных с инструментами (Dong et al., 2013).

Была обнаружена важная связь между двумя статьями, имеющими составное приложение (Li et al., 2019). представил быстрый метод сбора данных и 3D-реконструкции. Дай и др. (2011) представили мобильный бесконтактный метод расчета РДЭ. Эти две системы могут быть объединены в систему, которая берет первоначальную карту города перед сценарием бедствия и может быть быстро развернута для проведения разведки всего города в режиме реального времени. Это не только предоставляет важную техническую информацию, но также предоставляет визуальную информацию о повреждении для нетехнической аудитории.

7.4 Осведомленность общественности

Были обнаружены только две статьи, в которых специально использовалась технология XR для оповещения широкой общественности о стихийных бедствиях. Можно было бы провести дополнительные исследования для разработки инструментов и методов, которые можно было бы использовать для информирования населения в целом о рисках бедствий. Вендлер и Шаттлворт (2019) отметили, что их приложение SG может быть адаптировано к экологическим проблемам, характерным для интересующего места, путем создания уникальной последовательности взаимодействий и задач, которая в настоящее время разработана для Манчестера и северо-запада Соединенного Королевства.

Массовая осведомленность — это уникальная область исследования, и ее не следует смешивать с обучением. (Bernhardt et al., 2019) выразил обеспокоенность по поводу эффективности

виртуальной реальности, поскольку она может ввести в заблуждение население, менее уязвимое для конкретного шторма, и убедить их эвакуироваться, когда этого делать не следует. Проверка технологии необходима до ее внедрения, чтобы предотвратить массовый хаос (Bernhardt et al., 2019).

8 Заключение

В этом обзоре литературы была исследована недавняя 11-летняя тенденция развития применения технологии XR в области управления стихийными бедствиями с упором на системы XR. Набор из 84 документов был отслежен из большого корпуса документов и критически синтезирован для оценки текущих тенденций и будущих рекомендаций. В ходе обзора было обнаружено, что применение XR в качестве технологии управления стихийными бедствиями в исследовательском сообществе пользуется большой популярностью. Несмотря на ограничения по содержанию (Leder et al., 2019), носитель информации играет решающую роль в обеспечении правильной передачи информации. Системы на основе технологии XR отличаются сохранением пространственной рабочей памяти (Shi et al., 2019), увеличением знаний (Rossler et al., 2019), а также сокращением времени выполнения задач и количества ошибок (Koutitas et al., 2019). al., 2019) по сравнению с традиционными и прагматическими методами. Точно так же было также обнаружено, что системы XR широко использовались в компьютерном имитационном моделировании, методах взаимодействия, обучении, оценке инфраструктуры и разведке, а также в прикладных областях информирования общественности о борьбе со стихийными бедствиями. Был сделан краткий обзор каждого исследовательского направления, достижений и ограничений. Дополнительные исследования в области тестирования и проверки систем, интеграции вычислительного и сенсорного оборудования, автоматизации зондирования и картирования, а также проблем со здоровьем, связанных с виртуальной реальностью, могут быть проведены, чтобы лучше служить науке о борьбе со стихийными бедствиями с помощью технологии XR. ги. Выводы этого исследования будут особенно полезны исследовательским и промышленным агентствам, которые стремятся разработать эффективные и экономичные системы на основе XR для решения проблем управления стихийными бедствиями.

Вклад автора

Все перечисленные авторы внесли существенный, непосредственный и интеллектуальный вклад в работу и одобрили ее для публикации.

Финансирование

Этот исследовательский проект финансировался Исследовательским советом по высшему образованию - Глобальная предпринимательская миссия Айдахо (HERC-IGEM).

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что исследование проводилось при отсутствии каких-либо коммерческих или финансовых отношений, которые могли бы быть истолкованы как потенциальный конфликт интересов.

Примечание издателя

Все претензии, изложенные в этой статье, принадлежат исключительно авторам и не обязательно представляют претензии их дочерних организаций или издателя, редакторов и рецензентов. Любой продукт, который может быть оценен в этой статье, или претензии, которые могут быть сделаны его производителем, не гарантируются и не поддерживаются издателем.

Благодарности

Мы благодарим Нираджана Бхаттарая за помощь в подготовке статьи к представлению. Мы также хотели бы поблагодарить Rachel Brownell, Jose Duran и Jodi Quigley за отзывы и рецензирование статьи.

References

Albayrak, O. (2006). “Management and Diffusion of Technology for Disaster Management,” in 2006 Technology Management for the Global Future-PICMET 2006 Conference (Istanbul, Turkey: IEEE), 1742–1748. Vol. 4. doi:10.1109/picmet.2006.296748

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Alharthi, S. A., LaLone, N., Khalaf, A. S., Torres, R. C., Nacke, L. E., Dolgov, I., et al. (2018a). “Practical Insights into the Design of Future Disaster Response Training Simulations,” in Proceedings of the International ISCRAM Conference.

[Google Scholar](#)

Alharthi, S. A., Sharma, H. N., Sunka, S., Dolgov, I., and Toups, Z. O. (2018b). “Designing Future Disaster Response Team Wearables from a Grounding in Practice,” in ACM International Conference Proceeding Series. doi:10.1145/3183654.3183662

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Anderson, A., Boppana, A., Wall, R., Acemyan, C. Z., Adolf, J., and Klaus, D. (2021). Framework for Developing Alternative Reality Environments to Engineer Large, Complex Systems. *Virtual Reality* 25, 147–163. doi:10.1007/s10055-020-00448-4

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadersh. Manage. Eng.* 11, 241–252. doi:10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Bailie, T., Martin, J., Aman, Z., Brill, R., and Herman, A. (2016). Implementing User-Centered Methods and Virtual Reality to Rapidly Prototype Augmented Reality Tools for Firefighters. *Lecture Notes Comput. Sci.* 9744, 135–144. doi:10.1007/978-3-319-39952-2_14

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Bang, J., Lee, Y., Lee, Y.-T., and Park, W. (2019). "AR/VR Based Smart Policing for Fast Response to Crimes in Safe City," in Adjunct Proceedings of the 2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2019. doi:10.1109/ISMAR-Adjunct.2019.00126

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Behzadan, A. H., Dong, S., and Kamat, V. R. (2015). Augmented Reality Visualization: A Review of Civil Infrastructure System Applications. *Adv. Eng. Inform.* 29, 252–267. doi:10.1016/j.aei.2015.03.005

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Berberich, M., Amburn, P., Moorhead, R., Dyer, J., and Brill, M. (2009). "Geospatial Visualization Using Hardware Accelerated Real-Time Volume Rendering," in MTS/IEEE Biloxi - Marine Technology for Our Future: Global and Local Challenges, OCEANS 2009. doi:10.23919/oceans.2009.5422170

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Bernhardt, J., Snellings, J., Smiros, A., Bermejo, I., Rienzo, A., and Swan, C. (2019). Communicating hurricane Risk with Virtual Reality: A Pilot Project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 100, 1897–1902. doi:10.1175/bams-d-17-0326.1

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Borrego, M., Douglas, E. P., and Amelink, C. T. (2009). Quantitative, Qualitative, and Mixed Research Methods in Engineering Education. *J. Eng. Educ.* 98, 53–66. doi:10.1002/j.2168-9830.2009.tb01005.x

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Borrego, M., Foster, M. J., and Froyd, J. E. (2014). Systematic Literature Reviews in Engineering Education and Other Developing Interdisciplinary fields. *J. Eng. Educ.* 103, 45–76. doi:10.1002/jee.20038

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Brewster, S. (2003). "Haptic Human-Computer Interaction," in Proceedings of CHINZ 2003: The 4th Annual Conference of the ACM Special Interest Group on Computer-Human Interaction New Zealand Chapter, 3–4. doi:10.1145/2331829.2331830

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Brown, S. J., Collins, A., and Duguid, P. (1988). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educ. Res.* 18, 32–42. doi:10.21236/ada204690

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Caballero, A. R., Niguidula, J. D., and Caballero, J. M. (2019). "Disaster Risk Management Training Simulation for People with Hearing Impairment: A Design and Implementation of ASL Assisted Model Using Virtual Reality," in Proceedings of 2019 4th International Conference on Information Technology: Encompassing Intelligent Technology and Innovation Towards the New Era of Human Life, InCIT 2019. doi:10.1109/INCIT.2019.8912094

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Caballero, A. R., and Niguidula, J. D. (2018). "Disaster Risk Management and Emergency Preparedness," in The 4th ACM In Cooperation International Conference in HCI and UX, 31–37. doi:10.1145/3205946.3205950

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Cao, L., Lin, J., and Li, N. (2019). A Virtual Reality Based Study of Indoor Fire Evacuation after Active or Passive Spatial Exploration. *Comput. Hum. Behav.* 90, 37–45. doi:10.1016/j.chb.2018.08.041

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Carlson, G., and Caporusso, N. (2019). A Physically Immersive Platform for Training Emergency Responders and Law Enforcement Officers. *Adv. Intell. Syst. Comput.* 2019, 108–116. doi:10.1007/978-3-319-93882-0_11

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Caroca, J., Bruno, M. A., and Aldunate, R. G. (2016). Situated Learning Based on Virtual Environment for Improving Disaster Risk Reduction. *J. E-Learning Knowledge Soc.* 12, 81–92. doi:10.20368/1971-8829/1192

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Chen, C.-W., Lee, G., and Juang, J.-N. (1992). Several Recursive Techniques for observer/Kalman Filter System Identification from Data. *ARC* 1992, 354–364. doi:10.2514/6.1992-4386

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Chen, Y.-F. (2014). Evaluation of Strategic Emergency Response Training on an OLIVE Platform. *Simulation & Gaming* 45, 732–751. doi:10.1177/1046878113495354

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Chengyun, H., Jianlong, G., Shan, X., and Tengfei, H. (2018). "Analysis on the Practice of Virtual Reality Technology in Electric Emergency Repair Practice," in 7th International Conference on Advanced Materials and Computer Science.

[Google Scholar](#)

Choi, G. K., Lee, S., Roh, B.-h., Kang, J., and Kim, S. J. (2019). "A Design of Safety and Disaster Response System with XR, IOT and LBS Convergence," in Proceedings - 6th Annual Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2019. doi:10.1109/CSCI49370.2019.00295

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Chrastil, E. R., and Warren, W. H. (2012). Active and Passive Contributions to Spatial Learning. *Psychon. Bull. Rev.* 19, 1–23. doi:10.3758/s13423-011-0182-x

[PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Chrastil, E. R., and Warren, W. H. (2013). Active and Passive Spatial Learning in Human Navigation: Acquisition of Survey Knowledge. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 39, 1520–1537. doi:10.1037/a0032382

[PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Cimellaro, G. P., Domaneschi, M., Villa, V., and De Iuliis, M. (2019). "Numerical Simulation of Fire-Following-Earthquake at Urban Scale," in *Advances in Engineering Materials, Structures and Systems: Innovations, Mechanics and Applications - Proceedings of the 7th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, 2019*, 1921–1925. doi:10.1201/9780429426506-331

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

[Dataset] Taster (2022). Google Scholar, Web of Science, and Scopus: Which Is Best for Me? Available at: <https://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2019/12/03/google-scholar-web-of-science-and-scopus-which-is-best-for-me/>.

[Google Scholar](#)

[Dataset] Web of Science (2020). *Web of Science*.

[Google Scholar](#)

[Dataset] Sampaio, A. Z., Ferreira, M. M., Rosário, D. P., and Martins, O. P. (2010). 3D and VR Models in Civil Engineering Education: Construction, Rehabilitation and Maintenance. *Automation in Construction* 19, 819–828. doi:10.1016/j.autcon.2010.05.006

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Dai, F., Dong, S., Kamat, V. R., and Lu, M. (2011). Photogrammetry Assisted Measurement of Interstory Drift for Rapid post-disaster Building Damage Reconnaissance. *J. Nondestruct Eval.* 30, 201–212. doi:10.1007/s10921-011-0108-6

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Danial, S. N., Smith, J., Khan, F., and Veitch, B. (2019). Human-Like Sequential Learning of Escape Routes for Virtual Reality Agents. *Fire Technol.* 55, 1057–1083. doi:10.1007/s10694-019-00819-7

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Davis, I., Hosseini, M., and Izadkhah, Y. O. (2003). "Public Awareness and the Development of a Safety Culture: Key Elements in Disaster Risk Reduction," in *Proceedings of the 4th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering (SEE 4)* (Tehran, Iran: IIEES), 1–56.

[Google Scholar](#)

de Jong, T., and van Joolingen, W. R. (2008). "Model-facilitated Learning," in *Handbook of research on educational communications and technology*, 457–468.

[Google Scholar](#)

Demir, F., Ahmad, S., Calyam, P., Jiang, D., Huang, R., and Jahnke, I. (2017). A Next-Generation Augmented Reality Platform for Mass Casualty Incidents (MCI). *J. Usability Stud.*

[Google Scholar](#)

Dhanasree, K. S., Nisha, K. K., and Jayakrishnan, R. (2018). "Hospital Emergency Room Training Using Virtual Reality and Leap Motion Sensor," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS*. doi:10.1109/ICCONS.2018.8662900

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Disaster management and HCI (2022). “Disaster Management and HCI: A Critical Review of Current Research and Future Directions,” in *Human-Computer Interaction and beyond: Advances towards Smart and Interconnected Environments Part II*. Editor R. Khadka (Sharjah, UAE: Bentham Science Publishers), 1–26.
doi:10.2174/9789815036398122010004

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Dong, S., Feng, C., and Kamat, V. R. (2013). Sensitivity Analysis of Augmented Reality-Assisted Building Damage Reconnaissance Using Virtual Prototyping. *Automation in Construction* 33, 24–36. doi:10.1016/j.autcon.2012.09.005

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Dorozhkin, D., Olasky, J., Olasky, J., Jones, D. B., Schwaitzberg, S. D., Jones, S. B., et al. (2017). OR Fire Virtual Training Simulator: Design and Face Validity. *Surg. Endosc.* 31, 3527–3533. doi:10.1007/s00464-016-5379-7

[PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

[Dataset] Fernández del Amo, I., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., Palmarini, R., and Onoufriou, D. (2018). A Systematic Review of Augmented Reality Content-Related Techniques for Knowledge Transfer in Maintenance Applications. *Comput. Industry* 103, 47–71.
doi:10.1016/j.compind.2018.08.007

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

[Dataset] Google Scholar (2020). *Google Scholar*.

[Google Scholar](#)

[Dataset] Hsu, E. B., Li, Y., Bayram, J. D., Levinson, D., Yang, S., and Monahan, C. (2013). State of Virtual Reality Based Disaster Preparedness and Response Training. *Plos Curr.* 5. doi:10.1371/currents.dis.1ea2b2e71237d5337fa53982a38b2aff

[PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Farra, S., Hodgson, E., Miller, E. T., Timm, N., Brady, W., Gneuhs, M., et al. (2019). Effects of Virtual Reality Simulation on Worker Emergency Evacuation of Neonates. *Disaster Med. Public Health Prep.* 13, 301–308. doi:10.1017/dmp.2018.58

[PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Fischer, J. E., Jiang, W., and Moran, S. (2012). AtomicOrchid: A Mixed Reality Game to Investigate Coordination in Disaster Response. *Lecture Notes Comput. Sci.* 2012, 572–577.
doi:10.1007/978-3-642-33542-6_75

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Girau, E., Mura, F., Bazurro, S., Casadio, M., Chirico, M., Solari, F., et al. (2019). “A Mixed Reality System for the Simulation of Emergency and First-Aid Scenarios,” in Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS. doi:10.1109/EMBC.2019.8856777

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Grandi, J. G., Ogren, M., and Kopper, R. (2019). “An Approach to Designing Next Generation User Interfaces for Public-Safety Organizations,” in 26th IEEE Conference on

Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings, 944–945.
doi:10.1109/VR.2019.8797895

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Haynes, P., Hehl-Lange, S., and Lange, E. (2018). Mobile Augmented Reality for Flood Visualisation. *Environ. Model. Softw.* 109, 380–389. doi:10.1016/j.envsoft.2018.05.012

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Hays, R., and Singer, M. (2012). *Simulation Fidelity in Training System Design: Bridging the gap between Reality and Training*. Berlin, Germany: Springer-Verlag Publishing.

[Google Scholar](#)

Iguchi, K., Mitsuhara, H., and Shishibori, M. (2016). “Evacuation Instruction Training System Using Augmented Reality and a Smartphone-Based Head Mounted Display,” in Proceedings of the 2016 3rd International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management, ICT-DM 2016. doi:10.1109/ICT-DM.2016.7857220

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Ilmi, N., and Hendradjaya, B. (2018). “Serious Game Design for Simulation of Emergency Evacuation by Using Virtual Reality,” in Proceedings of 2018 5th International Conference on Data and Software Engineering, ICoDSE 2018. doi:10.1109/ICODSE.2018.8705860

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Inclusion Made Easy (2012). *Tech. Rep.* Mumbai: CBM.

[Google Scholar](#)

Ingels, D. M. (1985). *What Every Engineer Should Know about Computer Modeling and Simulation*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. doi:10.1201/9781003209997

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Iuppa, N., and Borst, T. (2006). *Story and Simulations for Serious Games: Tales from the Trenches*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.

[Google Scholar](#)

Jaiswal, R. K., Singh, A. P., and Rastogi, B. K. (2009). Simulation of the Arabian Sea Tsunami Propagation Generated Due to 1945 Makran Earthquake and its Effect on Western Parts of Gujarat (India). *Nat. Hazards* 48, 245–258. doi:10.1007/s11069-008-9261-3

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Jeon, S.-G., Han, J., Jo, Y., and Han, K. (2019). “Being More Focused and Engaged in Firefighting Training: Applying User-Centered Design to VR System Development,” in Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST. doi:10.1145/3359996.3364268

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Kawai, J., Mitsuhara, H., and Shishibori, M. (2016). Game-based Evacuation Drill Using Augmented Reality and Head-Mounted Display. *teractive Technol. Smart Educ.* 13, 186–201. doi:10.1108/ITSE-01-2016-0001

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Kim, W., Kerle, N., and Gerke, M. (2016). Mobile Augmented Reality in Support of Building Damage and Safety Assessment. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, 287–298. doi:10.5194/nhess-16-287-2016

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Koutitas, G., Smith, K. S., Lawrence, G., Metsis, V., Stamper, C., Trahan, M., et al. (2019). “A Virtual and Augmented Reality Platform for the Training of First Responders of the Ambulance Bus,” in ACM International Conference Proceeding Series. doi:10.1145/3316782.3321542

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

LaLone, N., A. Alharthi, S., and Toups, Z. O. (2019). “A Vision of Augmented Reality for Urban Search and rescue,” in ACM International Conference Proceeding Series. doi:10.1145/3363384.3363466

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Leder, J., Horlitz, T., Puschmann, P., Wittstock, V., and Schütz, A. (2019). Comparing Immersive Virtual Reality and Powerpoint as Methods for Delivering Safety Training: Impacts on Risk Perception, Learning, and Decision Making. *Saf. Sci.* 111, 271–286. doi:10.1016/j.ssci.2018.07.021

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Leonard, H. B., and Howitt, A. M. (2009). *Managing Crisis: Responses to Large Scale Emergencies*. 1st edn. Washington, D.C.: CQ Press.

[Google Scholar](#)

Lettieri, E., Masella, C., and Radaelli, G. (2009). Disaster Management: Findings from a Systematic Review. *Disaster Prev. Manage.* 18, 117–136. doi:10.1108/09653560910953207

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Li, Y., Xie, Y., Wang, X., Luo, X., and Qi, Y. (2019). “A Fast Method for Large-Scale Scene Data Acquisition and 3D Reconstruction,” in IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), 321325. doi:10.1109/ismar-adjunct.2019.00-20

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Liang, H., Liang, F., Wu, F., Wang, C., and Chang, J. (2018). “Development of a VR Prototype for Enhancing Earthquake Evacuee Safety,” in Proceedings - VRCAI 2018: 16th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry. doi:10.1145/3284398.3284417

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Liang, Z., Zhou, K., and Gao, K. (2019). Development of Virtual Reality Serious Game for Underground Rock-Related Hazards Safety Training. *IEEE Access* 7, 118639–118649. doi:10.1109/access.2019.2934990

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Lochhead, I., and Hedley, N. (2019). Mixed Reality Emergency Management: Bringing Virtual Evacuation Simulations into Real-World Built Environments. *Int. J. Digital Earth* 12, 190–208. doi:10.1080/17538947.2018.1425489

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Longo, F., Nicoletti, L., and Padovano, A. (2019). Emergency Preparedness in Industrial Plants: A Forward-Looking Solution Based on Industry 4.0 Enabling Technologies. *Comput. Industry* 105, 99–122. doi:10.1016/j.compind.2018.12.003

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Lourdeaux, D., Afoutni, Z., Ferrer, M.-H., Sabouret, N., Demulier, V., Martin, J.-C., et al. (2019). “Victeams,” in IVA 2019 - Proceedings of the 19th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents. doi:10.1145/3308532.3329418

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Lovreglio, R., Gonzalez, V., Feng, Z., Amor, R., Spearpoint, M., Thomas, J., et al. (2018). Prototyping Virtual Reality Serious Games for Building Earthquake Preparedness: The Auckland City Hospital Case Study. *Adv. Eng. Inform.* 38, 670–682. doi:10.1016/j.aei.2018.08.018

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Luchetti, G., Mancini, A., Sturari, M., Frontoni, E., and Zingaretti, P. (2017). Whistland: An Augmented Reality Crowd-Mapping System for Civil protection and Emergency Management. *ISPRS Int. J. Geo-inf* 6, 41. doi:10.3390/ijgi6020041

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Luk, B. L., Lam, M.-L., Chen, T.-H., Zhao, J., Tsui, S. M., and Chieng, C.-C. (2018). “3D Immersive Display Application for Nuclear Education and Public Acceptance,” in International Conference on Nuclear Engineering, Proceedings, ICONE. doi:10.1115/ICONE26-81161

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Lusk, S. M., Maule, A., and Svenson, O. (1993). *Time Pressure and Stress in Human Judgment and Decision Making*. Berlin, Germany: Springer Science & Business Media.

[Google Scholar](#)

Lutz, R. R. (2018). “Safe-AR: Reducing Risk while Augmenting Reality,” in Proceedings - International Symposium on Software Reliability Engineering, ISSRE. doi:10.1109/ISSRE.2018.00018

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Macchione, F., Costabile, P., Costanzo, C., and De Santis, R. (2019). Moving to 3-D Flood hazard Maps for Enhancing Risk Communication. *Environ. Model. Softw.* 111, 510–522. doi:10.1016/j.envsoft.2018.11.005

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

MacLean, K. E. (2008). Haptic Interaction Design for Everyday Interfaces. *Rev. Hum. Factors Ergon.* 4, 149–194. doi:10.1518/155723408x342826

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Markwart, H., Vitera, J., Lemanski, S., Kietzmann, D., Brasch, M., and Schmidt, S. (2019). Warning Messages to Modify Safety Behavior during Crisis Situations: A Virtual Reality Study. *Int. J. Disaster Risk Reduction* 38, 101235. doi:10.1016/j.ijdr.2019.101235

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Massaâbi, M., Layouni, O., Oueslati, W. B. M., and Alahmari, F. (2018). An Immersive System for 3D Floods Visualization and Analysis. *Commun. Comput. Inf. Sci.* 2018, 69–79. doi:10.1007/978-3-319-93596-6_5

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Matsas, E., and Vosniakos, G.-C. (2017). Design of a Virtual Reality Training System for Human-Robot Collaboration in Manufacturing Tasks. *Int. J. Interact Des. Manuf* 11, 139–153. doi:10.1007/s12008-015-0259-2

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

M. Kankaanranta, and P. Neittaanmäki (Editors) (2008). *Design and Use of Serious Games* (Berlin, Germany: Springer).

[Google Scholar](#)

Mohamed Shaluf, I. (2007). Disaster Types. *Disaster Prev. Manage.* 16, 704–717. doi:10.1108/09653560710837019

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Molka-Danielsen, J., Prasolova-Forland, E., Fominykh, M., and Lamb, K. (2018). “Use of a Collaborative Virtual Reality Simulation for Multi-Professional Training in Emergency Management Communications,” in Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2018. doi:10.1109/TALE.2018.8615147

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Nguyen, V. T., Jung, K., and Dang, T. (2019). “Vrescuer: A Virtual Reality Application for Disaster Response Training,” in Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality, AIVR 2019. doi:10.1109/AIVR46125.2019.00042

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Nilsson, D., Frantzich, H., Ronchi, E., Fridolf, K., Lindgren Walter, A., and Modig, H. (2018). Integrating Evacuation Research in Large Infrastructure Tunnel Projects - Experiences from the Stockholm Bypass Project. *Fire Saf. J.* 97, 119–125. doi:10.1016/j.firesaf.2017.07.001

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Oh, K., Kim, H., Seo, J., Cha, M., Lee, G., and Yi, K.-S. (2019). Development and Evaluation of Advanced Safety Algorithms for Excavators Using Virtual Reality. *J. Mech. Sci. Technol.* 33, 1381–1390. doi:10.1007/s12206-019-0239-8

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Ono, K., Andaroodi, E., Einifar, A., Abe, N., Matini, M. R., Bouet, O., et al. (2008). 3DCG Reconstitution and Virtual Reality of UNESCO World Heritage in Danger: The Citadel of Bam. *Prog. Inform.* 99. doi:10.2201/NiiPi.2008.5.10

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Oyama, E., Shiroma, N., Watanabe, N., Agah, A., Omori, T., and Suzuki, N. (2016). Behavior Navigation System for Harsh Environments. *Adv. Robotics* 30, 151–164. doi:10.1080/01691864.2015.1113888

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Park, S., Park, S., Park, L., Park, S., Lee, S., Lee, T., et al. (2018). Design and Implementation of a Smart IoT Based Building and Town Disaster Management System in Smart City Infrastructure. *Appl. Sci.* 8, 2239. doi:10.3390/app8112239

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Passos, C., Nazir, S., Mol, A. C., and Carvalho, P. V. (2016). Collaborative Virtual Environment for Training Teams in Emergency Situations. *Chem. Eng. Trans.* doi:10.3303/CET1653037

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Phillips, B. D. (2009). *Disaster Recovery*. 1st edn. Abingdon-on-Thames, Oxfordshire, UK: Taylor & Francis. doi:10.4324/9781420074215/DISASTER-RECOVERY-BRENDA-PHILLIPS

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Phillips, B., Neal, D., and Webb, G. (2012). *Introduction to Emergency Management*. 1st edn. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.

[Google Scholar](#)

Pierdicca, R., Frontoni, E., Zingaretti, P., Mancini, A., Malinverni, E. S., Tasseti, A. N., et al. (2016). Smart Maintenance of Riverbanks Using a Standard Data Layer and Augmented Reality. *Comput. Geosciences* 95, 67–74. doi:10.1016/j.cageo.2016.06.018

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Preece, J., Sharp, H., and Rogers, Y. (2015). *Interaction Design*. 4th edn.

[Google Scholar](#)

Rodríguez, J.-L., Velázquez, R., Del-Valle-soto, C., Gutiérrez, S., Varona, J., and Enríquez-Zarate, J. (2019). Active and Passive Haptic Perception of Shape: Passive Haptics Can Support Navigation. *Electronics* 8, 355. doi:10.3390/electronics8030355

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Rojahn, C. (2005). “ATC-20-1 Field Manual: Postearthquake Safety Evaluation of Buildings,” in *Tech. Rep.* (Redwood, CA: Applied Technology Council).

[Google Scholar](#)

Ronchi, E., Mayorga, D., Lovreglio, R., Wahlqvist, J., and Nilsson, D. (2019). Mobile-powered Head-mounted Displays versus Cave Automatic Virtual Environment Experiments for Evacuation Research. *Comput. Anim. Virtual Worlds* 30, 1873. doi:10.1002/cav.1873

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Rossler, K. L., Sankaranarayanan, G., and Duvall, A. (2019). Acquisition of Fire Safety Knowledge and Skills with Virtual Reality Simulation. *Nurse Educator* 44, 88–92. doi:10.1097/NNE.0000000000000551

[PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Sermet, Y., and Demir, I. (2019a). "Flood Action VR," in ACM SIGGRAPH 2019 Posters, SIGGRAPH 2019. doi:10.1145/3306214.3338550

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Sermet, Y., and Demir, I. (2019b). Towards an Information Centric Flood Ontology for Information Management and Communication. *Earth Sci. Inform.* 12, 541–551. doi:10.1007/s12145-019-00398-9

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Sharma, S., Jerripathula, S., Mackey, S., and Soumare, O. (2014). "Immersive Virtual Reality Environment of a Subway Evacuation on a Cloud for Disaster Preparedness and Response Training," in IEEE SSCI 2014 - 2014 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence - CIHLI 2014: 2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Human-Like Intelligence, Proceedings, 1–6. doi:10.1109/CIHLI.2014.7013380

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Shewaga, R., Uribe-Quevedo, A., Kapralos, B., Lee, K., and Alam, F. (2018). A Serious Game for Anesthesia-Based Crisis Resource Management Training. *Comput. Entertain.* 16, 1–16. doi:10.1145/3180660

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Shi, Y., Du, J., Sargunam, S. P., Ragan, E. D., and Zhu, Q. (2019). "First Responders' Spatial Working Memory of Large-Scale Buildings: Implications of Information Format," in Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation - Selected Papers from the ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019. doi:10.1061/9780784482421.020

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Sinha, R., Sapre, A., Patil, A., Singhvi, A., Sathe, M., and Rathi, V. (2012). "Earthquake Disaster Simulation in Immersive 3D Environment," in 15th World Conference on Earthquake Engineering.

[Google Scholar](#)

Stipani, D., Štula, M., Krstini, D., Šeri, L., Jakov, T., and Bugari, M. (2010). "Advanced Automatic Wildfire Surveillance and Monitoring Network," in VI International Conference on Forest Fire Research.

[Google Scholar](#)

Structural Engineers Association of Hawaii (2006). ATC-20 Post-earthquake Building Safety Evaluations Performed after the October 15, 2006 Hawaii Earthquakes Summary and Recommendations for Improvements (Updated). *Tech. Rep.*

[Google Scholar](#)

Subhedar, S., Gupta, N. K., and Jain, A. (2019). Identification of Living Human Objects from Collapsed Architecture Debris to Improve the Disaster Rescue Operations Using IoT and Augmented Reality. *Commun. Comput. Inf. Sci.* 2019, 521–527. doi:10.1007/978-3-030-23528-4_71

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Suhail, M., Gainer, S., Haskins, J., Boyd, B., Laird, C., Huse, W., et al. (2019). "Simulating a Futuristic Fire Pump Panel in Virtual Reality," in 26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings. doi:10.1109/VR.2019.8798280

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Tena-Chollet, F., Tixier, J., Dandrieux, A., and Slangen, P. (2017). Training Decision-Makers: Existing Strategies for Natural and Technological Crisis Management and Specifications of an Improved Simulation-Based Tool. *Saf. Sci.* 97, 144–153. doi:10.1016/j.ssci.2016.03.025

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Tian, P., Wang, Y., Lu, Y., Zhang, Y., Wang, X., and Wang, Y. (2019). "Behavior Analysis of Indoor Escape Route-Finding Based on Head-Mounted Vr and Eye Tracking," in Proceedings - 2019 IEEE International Congress on Cybermatics: 12th IEEE International Conference on Internet of Things, 15th IEEE International Conference on Green Computing and Communications, 12th IEEE International Conference on Cyber, Physical and So. doi:10.1109/iThings/GreenCom/CPSCoM/SmartData.2019.00090

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Tsai, M.-K., and Yau, N.-J. (2013). Enhancing Usability of Augmented-Reality-Based mobile Escape Guidelines for Radioactive Accidents. *J. Environ. Radioactivity* 118, 15–20. doi:10.1016/j.jenvrad.2012.11.001

[PubMed Abstract](#) | [CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Vassell, M., Apperson, O., Calyam, P., Gillis, J., and Ahmad, S. (2016). "Intelligent Dashboard for Augmented Reality Based Incident Command Response Co-ordination," in 2016 13th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2016, 976–979. doi:10.1109/CCNC.2016.7444921

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Veas, E., Grasset, R., Ferencik, I., Grünewald, T., and Schmalstieg, D. (2013). Mobile Augmented Reality for Environmental Monitoring. *Pers Ubiquit Comput.* 17, 1515–1531. doi:10.1007/s00779-012-0597-z

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Wang, C., Hou, J., Miller, D., Brown, I., and Jiang, Y. (2019). Flood Risk Management in Sponge Cities: The Role of Integrated Simulation and 3D Visualization. *Int. J. Disaster Risk Reduction* 39, 101139. doi:10.1016/j.ijdrr.2019.101139

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Wani, A. R., Shabir, S., and Naaz, R. (2013). "Augmented Reality for Fire & Emergency Services," in Int. Conf. on Recent Trends in Communication and Computer Networks.

[Google Scholar](#)

Wasson, C. (2016). *System Engineering Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices*. 2nd edn. New York, NY, USA: John Wiley & Sons.

[Google Scholar](#)

Wendler, J., and Shuttleworth, E. L. (2019). Downpour! - Flood Risk Communication through Interactive Immersive Street Games. *Res. All* 3, 18–24. doi:10.18546/rfa.03.1.03

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Xiong, C., Li, Q., and Lu, X. (2020). Automated Regional Seismic Damage Assessment of Buildings Using an Unmanned Aerial Vehicle and a Convolutional Neural Network. *Automation in Construction* 109, 102994. doi:10.1016/j.autcon.2019.102994

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Xu, J., Tang, Z., Yuan, X., Nie, Y., Ma, Z., Wei, X., et al. (2018). A VR-Based the Emergency rescue Training System of Railway Accident. *Entertainment Comput.* 27, 23–31. doi:10.1016/j.entcom.2018.03.002

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Yu, M., Yang, C., and Li, Y. (2018). Big Data in Natural Disaster Management: A Review. *Geosciences* 8, 165. doi:10.3390/geosciences8050165

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)

Zhang, Y., Zhu, J., Li, W., Zhu, Q., Hu, Y., Fu, L., et al. (2019). Adaptive Construction of the Virtual Debris Flow Disaster Environments Driven by Multilevel Visualization Task. *ISPRS Int. J. Geo-inf.* 8, 209. doi:10.3390/ijgi8050209

[CrossRef Full Text](#) | [Google Scholar](#)