

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних наук,
управління та адміністрування
Кафедра інформаційних
технологій

Кваліфікаційна робота бакалавра

на тему: Програмний інструмент моделювання поведінки людини
в надзвичайній ситуації з використанням алгоритмів ШІ

Виконав студент групи К-19
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
Назарова Оразджемал

Керівник канд. техн. наук, доцент
Терещенко Т.М.

Рецензент док. техн. наук, проф.
Мещеряков В.І.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	8
1.1. Особливості моделювання поведінки людини.....	8
1.2. Аналіз моделей поведінки людини.....	10
1.3. Методи прогнозування поведінки людини.....	15
2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПОВЕДІНКИ ЛЮДИНИ.....	18
2.1. Типи поведінки людини у надзвичайних ситуаціях.....	18
2.2. Особливості моделювання індивідуальної поведінки та натовпу.....	19
2.3. Математична модель поведінки людини.....	27
3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ.....	33
3.1. Алгоритм програмної реалізації.....	33
3.2. Візуалізація поведінки людини.....	38
3.3. Візуальне моделювання індивідуальної поведінки.....	41
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	49

ВСТУП

Щороку значна кількість катастроф відбувається внаслідок природних явищ або з вини людини. Щоб зменшити збитки та жертви, пов'язані з кожним лихом, надзвичайно важливо підготуватися до подібних ситуацій. Дійсно, екстрена евакуація є важливою частиною цієї підготовки. Державні департаменти різних країн працюють над створенням систем моделювання евакуації протягом останніх кількох десятиліть. Вони намагаються змодельовати навколишнє середовище, фізіологію та психологію людини якомога реалістичніше, щоб зробити аналіз більш точним.

Зростання людських жертв, що пов'язані з надзвичайними ситуаціями у всьому світі, обумовлено, у тому числі, не ефективними рішеннями під час планування та реалізації евакуації великої кількості людей. Для покращення такої ситуації необхідні ефективні плани реагування на надзвичайні ситуації та евакуацію. Екстрена евакуація не обмежується лише стихійними лихами. Техногенні катастрофи також вимагають швидкої та своєчасної евакуації мешканців, що інакше може призвести до великої кількості жертв.

Формулювання та реалізація оптимальних стратегій екстреної евакуації є надзвичайно важливими в контексті безпеки мешканців будівлі. Аварії можна звести до мінімуму, попередньо спланувавши оптимальні стратегії евакуації з будівлі на випадок як природних, так і техногенних катастроф. Збитків під час надзвичайних ситуацій можна уникнути, якщо організації належним чином підготовлені для громадської безпеки. Заходи PSS зазвичай позиціонуються як відповідальність державних установ, але можуть функціонувати у великій організації або житлових товариствах, і в основному спрямовані на запобігання та захист населення від таких небезпек, як катастрофи, ризики для здоров'я, злочини чи тероризм.

Історично склалося так, що навчання з евакуації проводяться, щоб підвищити шанси на виживання звичайних мешканців того чи іншого будинку. Про найбезпечніший і найкоротший шлях евакуації інформують

мешканців, розповсюджують аварійні маршрути будівлі, що зменшує ймовірність нещасних випадків при реальній екстреній евакуації. Однак проведення регулярних тренувань на випадок надзвичайних ситуацій є нудним, руйнівним і трудомістким.

Область моделювання та симуляції (MS) відіграє важливу роль у цьому відношенні з багатьма додатковими перевагами. Методи та інструменти MS забезпечують безризикове та незалежне від часу середовище, яке дозволяє проводити ефективний і ретельний аналіз. У багатьох випадках немає можливості просто знайти правильні рішення, експериментуючи з реальним світом. Експеримент або внесення змін у реальний світ може бути занадто дорогим, небезпечним або просто неможливим. Тому досить складно експериментувати зі сценаріями надзвичайних ситуацій у реальних умовах і сформулювати плани евакуації для громадської безпеки. Навпаки, імітаційні моделі мають низьку вартість, не залежать від часу та пропонують нешкідливе експериментальне середовище, таким чином стаючи корисними для відтворення реальних сценаріїв у світі без ризиків.

Метою роботи є розробка програмного інструменту моделювання поведінки людини в надзвичайній ситуації з використанням алгоритмів штучного інтелекту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Визначити особливості моделювання поведінки людини в умовах надзвичайних ситуацій. .
2. Проаналізувати існуючі моделі поведінки людини та методи прогнозування такої поведінки в умовах настання надзвичайної ситуації.
3. Визначити типи поведінки людини в надзвичайній ситуації та особливості моделювання індивідуальної поведінки та натовпу.
4. Проаналізувати існуючі методи та моделі з метою вибору математичної моделі поведінки людини в надзвичайній ситуації.

5. Розробити програмні інструменти моделювання поведінки людини в надзвичайній ситуації.

1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Особливості моделювання поведінки людини

Зіткнутися з несподіваними подіями в реальному житті можна майже щодня. Щоденне реальне життя не може бути систематичним, особливо коли люди намагаються уникати рутинного життя. Навіть на рутинне життя можуть безпосередньо вплинути зовнішні непередбачені події. Деякі події можна бажати і цінувати, тоді як інші є такими, що їх слід уникати або зупиняти, якщо це взагалі можливо. Однак погані події можуть статися без запобіжних заходів, і, отже, жертви будуть спіймані непередбаченими. Безпосередні наслідки можуть включати причини різного типу та тяжкості, а також шкоду навколишньому середовищу та/або економіці. Деякі безпосередні приклади включають ураган Катрін, лісові пожежі у Форт-Макмуррі, сезонні пожежі в Каліфорнії, звичайні обвалення в підземних шахтах, терористичні атаки на закритій території, як теракт у Парижі в 2015 році, 11 вересня в США тощо. Першою і головною метою є зменшення причинно-наслідкових зв'язків до можливого мінімуму з кінцевою метою уникнути їх виникнення. Збереження навколишнього середовища та економіки також важливі, але порятунок життя завжди стоїть на першому місці. Таким чином, людей, які перебувають у таких небезпечних зонах, слід евакуювати з мінімальними можливими жертвами. Це було б неможливо без добре підготовлених планів евакуації, які скеровуватимуть людей до найбезпечнішого шляху виходу з небезпечної точки, будь то будівля, зона військового конфлікту, палаючий ліс, регіон, що постраждав від землетрусу чи рідини тощо. Успішна реалізація плану залежить від різноманітних факторів, включаючи поведінку та психологію людини, серйозність події, знайомство мешканців із місцем,

Моделювання людської поведінки в останні десятиліття привернуло значну увагу та стало вирішальним як для індустрії розваг (ігри, фільми тощо),

так і для моделювання натовпу для конкретних завдань, таких як безпека, інженерне та архітектурне тестування. Це особливо у важливих областях, де потрібні реалістичні симуляції. Аналіз фізичних, психологічних і соціологічних аспектів, пов'язаних з подіями, відіграє важливу роль для створення точних моделей. Завдяки нещодавньому швидкому зростанню та розвитку технологій, включаючи розвиток веб-індустрії, який є основою для соціальних мереж і платформ соціальних мереж. Останні дозволили людям безглуздо спілкуватися за допомогою повідомлень, які можуть відображати їхній статус, особистість, настрій, обережність, події тощо. Дійсно, деякі повідомлення можуть диктувати основи успішного плану. Це правда, тому що нове середовище дозволило отримати величезну кількість даних, які можна було б проаналізувати для деяких цінних відкриттів для підтримки ефективного прийняття рішень.

Найчастіше дослідники та розробники використовують багатоагентну модель натовпу для планування евакуації. Це є базовий компонент системи виявлення надзвичайних ситуацій у режимі реального часу. Такі системи доволі часто базуються на використанні публікації та повідомлення в соціальних мережах для отримання інформації про останні події, що викликають надзвичайні ситуації в усьому світі. Аналіз таких повідомлень може допомогти у створенні деяких цікавих сценаріїв, які далі можна використовувати для вирішення завдання екстреної евакуації таким чином, щоб мінімізувати причинно-наслідкові зв'язки, коли повного уникнення неможливо досягти [1].

Загалом існує два методи створення сценаріїв «що-якщо» в ситуації надзвичайної ситуації. Перший метод пропонує просто розмістити фактичних евакуйованих осіб у реальних будівлях, де є всі необхідні інструменти, а потім перевірити та оцінити здійсненність різних сценаріїв евакуації. Цей метод дорогий, трудомісткий і може бути небезпечним. Крім того, враховуючи, що сценарії евакуації в основному використовуються для перевірки проектів безпеки виходу до фактичного будівництва будівлі, унеможливають

проведення сценаріїв евакуації в реальному світі. Відповідно, альтернативним методом є проектування віртуального світу, де враховуються вирішальні фактори, що впливають на процес евакуації, і добре охоплюються розробленими сценаріями, наскільки це можливо.

1.2. Аналіз моделей поведінки людини

За останні десятиліття були розроблені різні моделі людської поведінки, які допомагають пояснити, як люди реагують на надзвичайні ситуації. Кожна з них дивиться на людську поведінку по-різному, це підкреслює складність розуміння поведінки людини в цих ситуаціях і необхідність комплексного підходу до розвитку надійної політики вирішення надзвичайних ситуацій. Сьогодні існує ряд відомих моделей, які найчастіше використовуються у процесах дослідження та моделювання поведінки людини в надзвичайних ситуаціях (рис. 1):



Рисунок 1 – Основні моделі поведінки людини

Розглянемо більш детально вище зазначені моделі. Модель паніки припускає, що в надзвичайних ситуаціях представники громадськості стають приголомшеними, що призводить до сплутаності свідомості, дезорієнтації та відсутності координації. Спираючись на традиційний погляд реакції «бийся або біжи» під час надзвичайного стресу (зазвичай як функція адреналіну, який вивільняється в кров) паніку можна визначити як невідповідну (або надмірну) відповідь на подразник. Ця модель враховує рух людей в публічному просторі як неузгоджених об'єктів, які поведуться ірраціонально, егоїстично, конкурентно, антисоціально і такі, які здатні відмовитися від соціальних норм. Цей тип поведінки можливий, коли люди занадто пізно дізнаються про надзвичайну ситуацію евакуюються впорядковано. У тому, що часто з'являється на підтримку принципів моделі паніки, вузькі місця в точках виходу можуть виникнути через велику кількість людей, які намагаються виїхати тим самим забороненим маршрутом. Наслідком моделі паніки є те, що нескоординована поведінка може призвести до великих фізичних сил, що діють на людей і навколишні структури, які потім можуть привести до розгрому натовпу. Хоча така поведінка може мати місце в надзвичайних ситуаціях, її можна значною мірою звести нанівець, якщо людям надати корисну інформацію про інцидент. У всіх, крім кількох прикладів, модель паніки оскаржувалася, оскільки люди часто демонструють певну раціональну поведінку, і соціальні норми можуть залишатися незмінними (рис. 2) [2].

Подальший розвиток модель паніки отримала з появою теорії обмеженої раціональності. Ця теорія стверджує, що люди здатні бути раціональними у прийнятті рішення в надзвичайних ситуаціях, навіть з обмеженими інформаційними та пізнавальними ресурсами. Серйозність надзвичайної ситуації, що насувається, може зайняти більше часу, щоб зрозуміти і оцінити її. Ця теорія висвітлює як люди можуть відволікатися на інші звичайні події та негайні події у надзвичайній ситуації та приділяти більше уваги цим подіям, ніж міркуванням щодо майбутніх сценаріїв. Як наслідок, це може призвести

до очевидно неприхильної поведінки натовпу. Наприклад, якщо черга перестає рухатися, людина може штовхнути людину попереду, щоб вирішити таким чином свою поточну ситуацію, не думаючи про вплив своєї поведінки у скупченні виходу та уповільненні виходу [3].

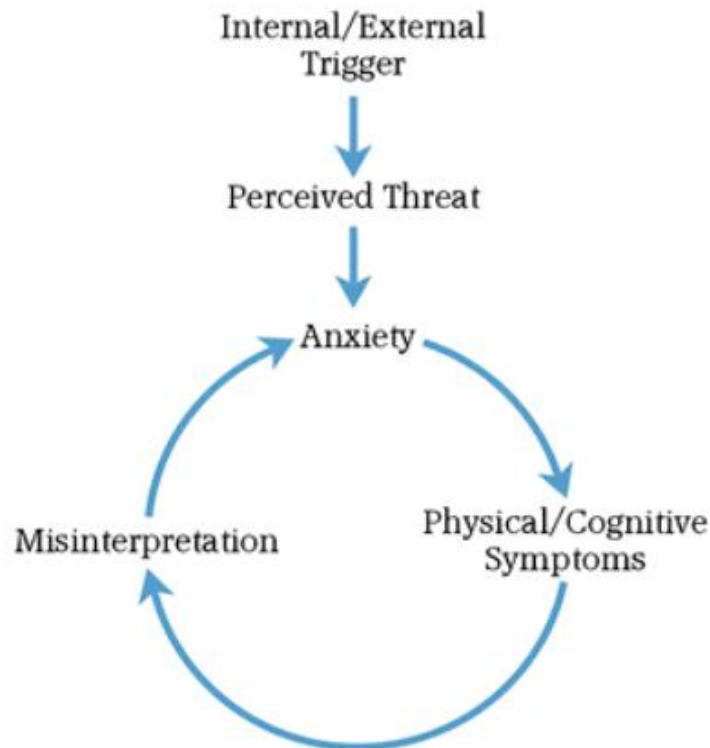


Рисунок 2 – Графічне представлення моделі паніки

Моделі прихильності та афіліації визнають соціальну природу людської поведінки та наводять аргумент, що люди будуть тяжіти до знайомих місць, груп та/або окремих осіб, навіть якщо це відводить їх від безпосередньої безпеки, або що вони можуть залишатися в небезпечній ситуації довше, якщо знайомі люди з ними або потребують їх допомоги. Обидві моделі припускають, що для людей більший стрес викликає відсторонення від знайомих, ніж наражатися на небезпеку. Перебування серед знайомих людей може мати заспокійливий ефект, але також може сповільнити або зменшити можливості для виходу (як показано на прикладі терористичної атаки 9/11 на

всесвітній торговий центр) через більші зусилля, щоб допомогти друзям і колегам, а не негайну індивідуальну евакуацію. Модель приналежності допомагає пояснити, чому люди можуть вийти так само, як вони увійшли в будівлю, а не оцінювати всі можливі альтернативи або активно шукати найближчий аварійний вихід. Це пояснюється тим, що спеціальні пожежні виходи, які зазвичай не використовуються, являють собою незнайомі шляхи виходу. Люди менш схильні використовувати їх через відсутність помітності, ніж більш звичний основний маршрут (рис. 3) [4].

		Attachment Figures (Predisposing Conditions)	
		Present	Absent
Perceived Degree of Danger (Precipitating Conditions)	Mild Anxiety	Affiliation (Increased attachment), Seek proximity with familiar people and locations	Low intensity Flight-and-Affiliation, orderly evacuation away from danger and towards the familiar
	Severe Fear/Terror	Occasional low-to-intense flight-and-affiliation; orderly evacuation	Intense flight-and-affiliation; mass panic

Рисунок 3 – Афіліативні реакції на загрозу (Mawson, 2005)

Для уникнення цього впливу необхідні постійні навчання, які імітують надзвичайні ситуації, щоб людина змогла ідентифікувати евакуаційний вихід, як знайомий і скористатися ним.

Модель самокатегоризації стверджує, що члени натовпу, як правило, відповідають соціальним нормам, які характеризують надзвичайні ситуації. У ній також зазначено, що відчуття спільної ідентичності створюється в неформальних групах у таких ситуаціях, особливо коли люди не знають один одного. У звітах про інциденти часто згадується, як лідери з'являються для координації діяльності або як фізично сильніші члени групи відкладають свій вихід, щоб допомогти слабшим або пораненим членам групи.

Пов'язана з моделлю самокатегоризації, теорія емерджентних норм стверджує, що за незвичайних обставин колективна поведінка розвивається, коли люди переосмислюють свою ситуацію, взаємодіють для формування нових процесів, які спрямовують їхню поведінку. Прояви цієї теорії в надзвичайних ситуаціях містить швидшу реакцію малих (а не великих) груп і менших груп, які мають більші шанси на виживання, ніж великі групи. Пояснення цього полягає в тому, що великі групи витрачають більше зусиль, енергії, ресурсів і часу через розширену взаємодію у визначенні та пропонуванні стратегій з наголосом на евакуації всієї групи, а не на конкретних діях для евакуації. У результаті «евакуація комітетом» може бути ускладнена розробкою кількох гіпотез, які лише частково перевірені. Іншим аспектом такої поведінки може бути спосіб, у який людина обробляє та зберігає ментальні схеми, пов'язані з фізичними місцями, які пам'ятає (наприклад, евакуаційні виходи), та/або зразки категорій, які являють собою нечіткі уявлення про те, які елементи люди можуть очікувати знайти і де (наприклад, розміщення евакуаційних засобів біля вікон і вогнегасників біля виходів). Таким чином люди розвивають когнітивні уявлення про модель соціальної самокатегоризації, яка може (або не може) допомогти їм у реальній надзвичайній ситуації.

Якщо взяти за систему координат показники раціональності та соціальні норми, то отримаємо взаємозв'язок ключових моделей поведінки людини в надзвичайних ситуаціях (рис. 4) [3].

Щоб прояснити принципи моделей, їх було розташовано вздовж осей раціональності (від ірраціонального до раціонального) та соціальних норм (від високого до низького). Саме вони є критичними факторами, які розрізняють моделі між собою. Наприклад, модель паніки передбачає переважно ірраціональну поведінку та низький вплив соціальних норм, тоді як теорія емерджентних норм пов'язана з більш раціональною поведінкою, але залишається на нижній частині осі соціальних норм через акцент на емерджентній соціальній поведінці під час криз. Модель самокатегоризації

стоїть вище на обох осях, оскільки вона побудована на соціальному консенсусі та більш раціональній поведінці людини під час надзвичайної ситуації.

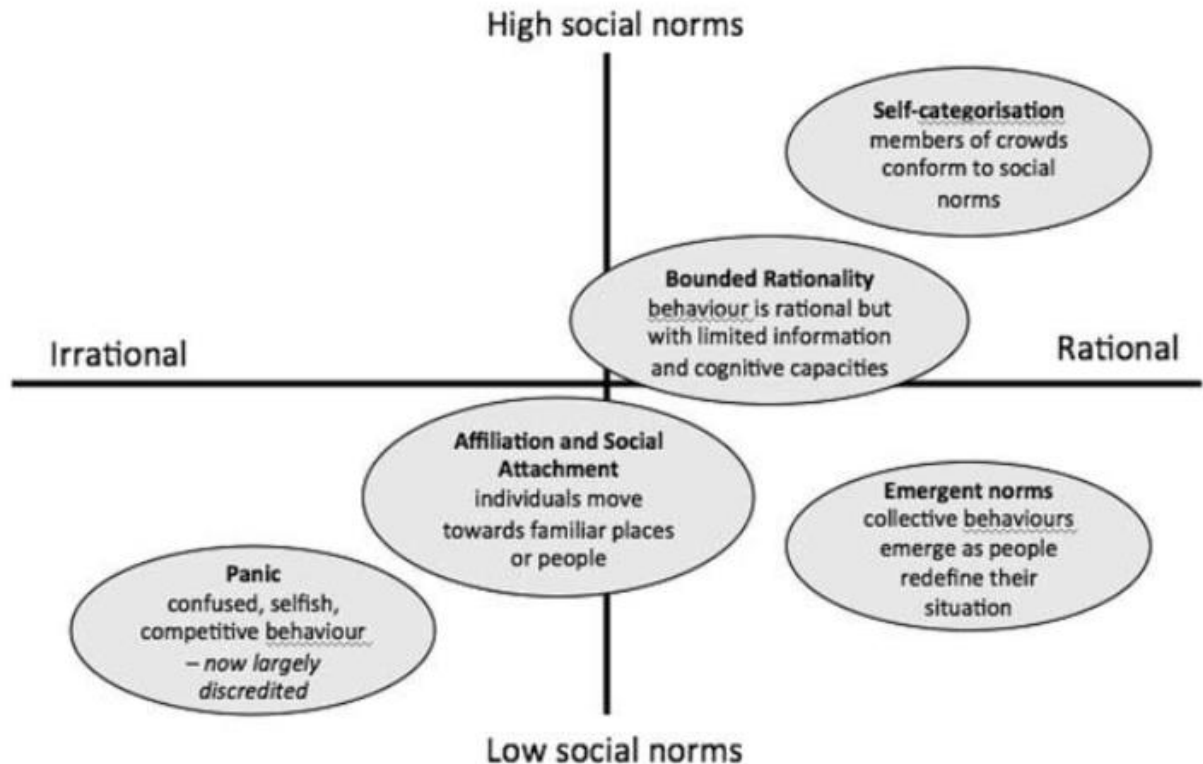


Рисунок 4 – Моделі поведінки людини

На вибір моделі, яка буде покладена в основу системи, впливають завдання, які стоять перед розробником у процесі проектування.

1.3. Методи прогнозування поведінки людини

Існує декілька методів прогнозування поведінки людини або групи людей у різних ситуаціях. Один підхід передбачає використання людей-добровольців у повномасштабних випробуваннях, наприклад, організація евакуації в умовах надзвичайної ситуації. Цей підхід дозволяє збирати реальні

дані користувачів, однак такі випробування мають ряд обмежень. Їх проведення може бути небезпечним, оскільки учасники мають досвід в минулому, і часто їх організація дорога. Повномасштабні випробування також можуть страждати від відсутності екологічної обґрунтованості, якщо вони не є репрезентативними для надзвичайних ситуацій. Під час будь-якого випробування важко відтворити наслідки декомпресії, зіткнення чи пожежі, звідки пасажери повинні евакуюватися. Крім того, хоча учасники випробування повинні представляти типову демографію пасажирів або громадян, цей підхід піддався критиці через використання здорових і молодих учасників. Оскільки в цих випробуваннях не завжди використовуються репрезентативні групи людей і оскільки вони не обов'язково моделюють травматичні наслідки аварії або природного лиха, отримані результати часто виявляються занадто оптимістичними. Однак піддавання учасників впливу вогню, диму та/або сміття призведе до збільшення небезпека для них, що призводить до серйозних етичних проблем для такого роду досліджень. Отже, будь-який метод прогнозування поведінки людини в надзвичайних ситуаціях, який залучає учасників, повинен передбачати компроміс між рівнями реалізму та потенційною можливістю завдати психічної чи фізичної шкоди учасникам. У результаті цього альтернативні методи прогнозування поведінки людини в надзвичайних ситуаціях отримали більше прихильників та розвиваються доволі динамічними темпами, особливо, з розвитком інформаційних технологій та штучного інтелекту.

Щодо евакуації з аварійного літака, то існують методи використання спеціального обладнання. Симулятори кабіни літака можуть стати альтернативою повномасштабній евакуації, оскільки вони пропонують безпечне та більш контрольоване середовище для тестування поведінки людини в надзвичайних ситуаціях літака. Ці симулятори можуть містити гірки для евакуації, кисневі маски, ремені безпеки, рятувальні жилети та візки для освіжаючих напоїв, а також може бути можливим змінити схему для імітації різних типів літаків або порушеного середовища, спричиненого аварією

(наприклад, розсипане та впало сміття блокує проходи). Подібні симулятори використовувалися для дослідження швидкості виходу пасажирів у різних типах надзвичайних ситуацій і перевірки процедур, яких дотримується бортпровідник. Випробування можна проводити з кабіною, наповненою нетоксичним димом, і учасників знімали під час евакуації за допомогою тепловізорних або інфрачервоних чутливих камер. Це потужний інструмент аналізу, а також освітні та навчальні матеріали для використання в майбутньому.

Іншою альтернативою є використання комп'ютерних моделей для моделювання надзвичайних ситуацій. Вони часто є економічно ефективнішими та безпечнішими, ніж повномасштабна евакуація або симулятори простору аварії, однак вони вимагають великої та складної бази даних фактичної інформації, щоб забезпечити реалістичні результати. Необхідні дані часто отримують зі звітів про нещасні випадки, однак їх важко отримати та проаналізувати систематично. Однак комп'ютерні моделі можуть надати інформацію про фізичні, психологічні та фізіологічні реакції людей, які можуть вплинути на вихід. Програмне забезпечення можна використовувати для моделювання евакуації, наприклад, пасажирів літака з використанням різних підмоделей, які взаємодіють одна з одною, щоб отримати реалістичні результати людської поведінки. Ці підмоделі включають характеристики окремих людей (розрізнення між пасажирами та членами екіпажу) та їх реакцію на навколишнє середовище (включаючи негайні реакції та загальні цілі). Цей підхід можна використовувати для порівняння змодельованої та реальної евакуації (де поведінка може відрізнятись), а також для того, щоб переконатися, що обладнання відповідає вимогам сертифікації. На додаток до цього, його також можна використовувати для аналізу аварій після інцидентів, для розробки програм і процедур підготовки екіпажу та для допомоги в майбутньому проектуванні транспорту чи будівель.

2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПОВЕДІНКИ ЛЮДИНИ

2.1. Типи поведінки людини у надзвичайних ситуаціях

В роботі [5] проведені дослідження поведінки людини в зоні впливу катастрофи, яка має швидку динаміку та відсутність тривоги для населення. Зроблено припущення, що ефект несподіванки є повним і немає жодних передвісників чи попереджень, які б дозволяли населенню прийняти превентивну поведінку. Наприклад, може бути землетрус або локальне цунамі. Визначені три різні типи поведінки в такій ситуації (рис. 5).

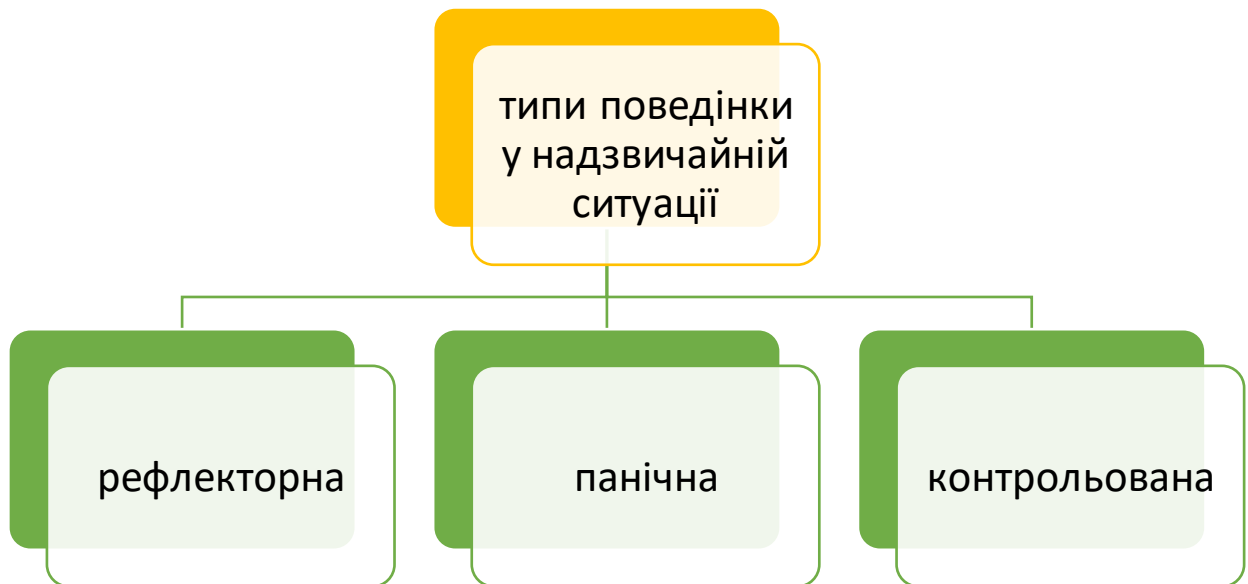


Рисунок 5 – Типи поведінки людини

Перший тип полягає в рефлекторній поведінці і стосується реакцій мозку та відповідає набору інстинктивних форм поведінки, крім паніки. Цей механізм дозволяє швидко реагувати, або втікаючи якомога швидше, або бути приголомшеним і фізично неспроможним пересуватися в просторі.

Наприклад, це може приймати форму сидерації та автоматизувати поведінку. У моделі глобалізовані всі ці рефлекторні форми поведінки, незважаючи на їхню різноманітність.

Другий відповідає панічній поведінці. Паніка має особливий статус, оскільки, навіть якщо вона не завжди прийнята (як, наприклад, під час землетрусу в підготовлених регіонах, таких як Японія), ця поведінка викликає найбільше страху. Дійсно, запущений цей механізм важко зупинити і він може спровокувати небезпечні ситуації в натовпі через витоптування та роздавлювання. Крім того, згасання колективної паніки більше пов'язане з внутрішньою динамікою, ніж з віддаленістю небезпеки. Таким чином, навіть якщо це належить до рефлекторної поведінки, вона розглядається окремо через свою особливу природу. Крім того, у моделі колективна паніка може поширюватися через механізми імітації та зараження.

Третій тип включає всі контрольовані форми поведінки. Ними керує префронтальна кора головного мозку, яка контролює мозок. Таким чином, на зміну рефлекторним реакціям приходять керовані, розумні та аргументовані реакції. Вони можуть приймати різні форми під час катастрофи, як, наприклад, евакуація, витік шкідливих речовин, локалізація, укриття, пошук допомоги, грабїж, крадіжка тощо. Слід зазначити, що три ці моделі поведінки не відбуваються одночасно і мають певний порядок виникнення. Перша поведінка людини перед обличчям небезпеки є рефлекторною, за якою на другому етапі слідує контрольована або панічна поведінка.

2.2. Особливості моделювання індивідуальної поведінки та натовпу

Дослідження довели, що існують суттєві відмінності у підходах до моделювання поведінки у надзвичайних ситуаціях. Агентний підхід широко використовується дослідниками для вивчення нової поведінки натовпу [6]. Вагнер і Агравал (Wagner and Agrawal 2014) запровадили модель на основі

агента для вирішення готовності і планування на випадок пожежі під час масових зібрань, наприклад, концертів, спортивних змагань, масових заходів. Модель дозволяє певне налаштування планування концертного майданчика (або іншого міста проведення заходу) та тестування різних сценаріїв. Симуляції відбувається в реальному часі на основі агентів, використовується для вивчення та прогнозування поведінки натовпу з більшою точністю. Чен та ін. (Chen et al. 2017) запропонували структуру симуляції на основі агента в режимі реального часу, засновану на живому відстеженні положення з відео з камер спостереження. Запропоновано алгоритм вирішення проблеми зникнення положення людини у відеокадрах, а також генерування оптичного потоку моделей рухів людини на основі оцінки щільності натовпу.

Інший підхід до вивчення поведінки натовпу передбачає призначення різних ролей суб'єктам у натовпі. Чжао та ін. (Zhao, Zhong, and Cai 2018) представили ролі лідерів і послідовників для моделювання людської поведінки у щільних натовпах. Ця модель на основі даних здатна моделювати колективну поведінку натовпу, наприклад, формування смуг у реалістичний спосіб. Включення стратегій оптимізації в процес евакуації покращує ефективність процесу. Ху та ін. (Hu et al. 2018) пропонує структуру для оптимізації евакуації натовпу за допомогою система зворотного зв'язку, заснована на генетичному програмуванні. Цей підхід показує менший час евакуації та зменшує затори, але це стосується лише сценаріїв, достатньо гнучких, щоб дозволити втручання управління під час евакуації, попереднє планування та контроль швидкості переміщення. Спостерігається нова поведінка формування смуги руху та ударно-рідкісних фракційних хвиль при зустрічі з перешкодами. Потік пішоходів у насиченому тунелі моделювався за допомогою моделі мікроімітації та клітинних автоматів. Їхні висновки показують, що у великій витягнутій зоні, динаміка потоку пішоходів демонструє дуже схожу поведінку до транспортного потоку.

Для випадків масових скупчень, наприклад, релігійні святкування та збори, пропонуються різні стратегії евакуації для контролю потік натовпу.

Махмуд та ін. (Mahmood, Haris, and Sarjoughian 2017) представили оптимізовану базу агентного підходу у реальному масштабі, який був реалізований в Anylogic для моделювання та аналізу складної поведінки натовпу. В цьому дослідженні аналізуються різні стратегії евакуації, щоб визначити мінімальний час евакуації. Модель екстреної евакуації на основі агента запропонована Харісом та ін. (Haris та ін. 2019) в Anylogic забезпечує швидку та безпечну евакуацію за допомогою методів оптимізації та розбіжності маршруту у разі блокування. Для визначення найкращого шляху евакуації використовуються алгоритми гармонійного пошуку та найкоротшої відстані. Результати показують, що застосування механізму безпеки скорочує загальний час евакуації. Загальна структура моделювання і аналізу поведінки натовпу представлена на рис. 6.

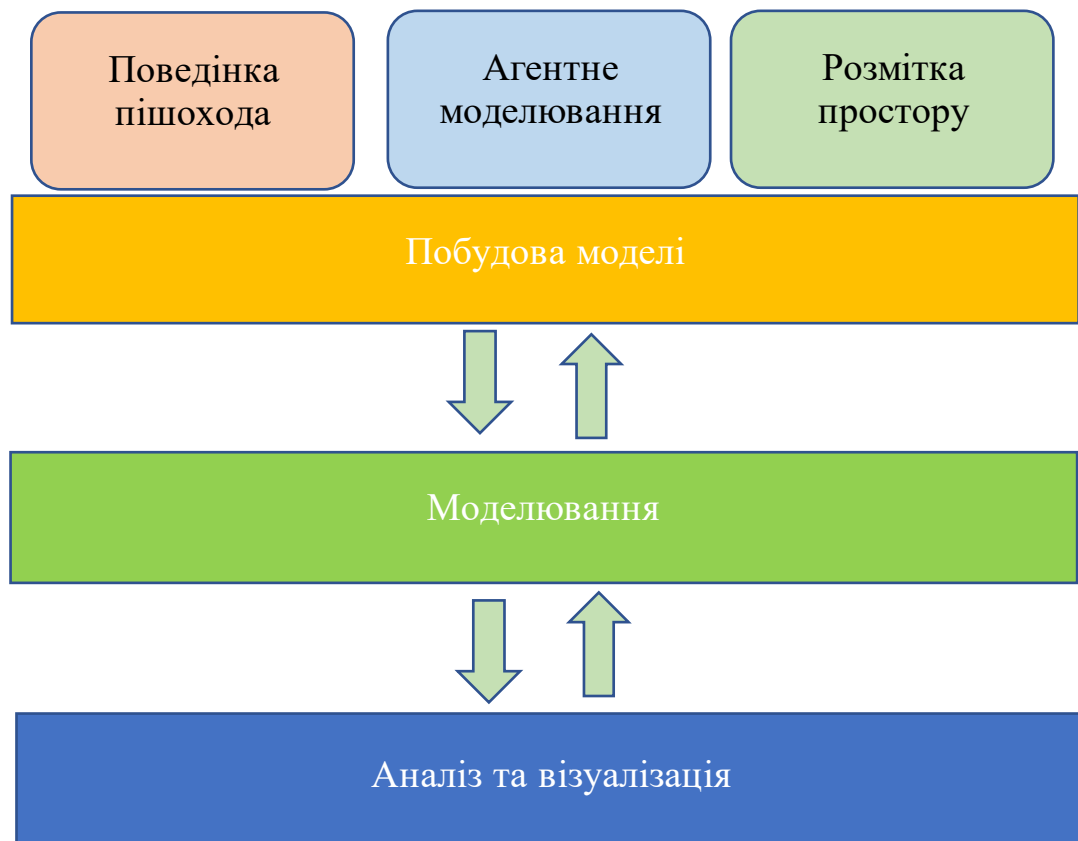


Рисунок 6 – Моделювання і аналізу поведінки натовпу

Дослідження групової поведінки в основному зосереджено на структурі та правилах груп і впливі груп на час евакуації. Боді та ін. вважали, що реакційна поведінка групи відрізняється від поведінки індивіда. Під час евакуації пішоходи будуть шукати найближчих знайомих, що призведе до затримки початкового часу евакуації та подовження часу групового прийняття рішення [7]. У той же час, якщо згуртованість команди велика, членам команди необхідно досягти згоди щодо напрямку евакуації в процесі евакуації. Процес обговорення також затягнеться. Джонсон і Куліговські вказали на те, що характеристики розміру групи та типу внутрішніх стосунків суттєво впливатимуть на взаємодію населення та державні судження. Згідно з емпіричним дослідженням пожежі в нічному клубі Station, Aguirre та інші виявили, що навіть у надзвичайних ситуаціях, які швидко поширюються, люди в небезпеці шукають близьких супутників.

Моделювання поведінки пішоходів, які знаходяться у натовпі, мають деякі відмінності. Розуміння поведінки натовпу та динаміки пішоходів має своє застосування в моделюванні евакуації великих будівель і територій. Динаміка пішоходів сприяє розширенню розуміння натовпу та його колективної поведінки. Торде та ін. (Tordeux та ін., 2018) змоделювали динаміку пішоходів на мезоскопічному масштабі, що забезпечує більшу деталізацію та швидшу імітацію великого натовпу. Моделювання панічного стану в поведінці агента з більшою ймовірністю відтворить реальну евакуацію. Wang та ін. (Wang et al. 2015) представили багатоагентну структуру, що включає індивіда у прийнятті рішень у стані паніки. Результати моделювання показують, що під час паніки агенти, як правило, вибирають переповнені виходи, ігноруючи альтернативні шляхи. Представлення ролі віртуального лідера в агентах показало значне підвищення ефективності евакуації. Робота (Qiu and Hu 2010) моделює групові явища в натовпі пішоходів, і показує, що різні розміри груп, внутрішньогрупові структури та міжгрупові відносини можуть мати значний вплив на поведінку натовпу. Поведінка в чергах відіграє важливу роль в ефективності евакуації натовпу. Чжоу та ін. (Чжоу та ін al.

2019) реалізував модель клітинного автомата для вивчення евакуації пішоходів на основі реального експерименту. Зосередженість поведінки в черзі при моделюванні натовпу сприяє зменшенню очікування пішоходів в черзі та скорочення часу евакуації. Лу та ін. (Lu et al. 2019) застосував модель соціальної сили для територій з високим рівнем ризику землетрусу Він провів моделювання евакуації під час землетрусу та впливу розподілу уламків та збільшення перешкод в евакуаційному потоці. Такі моделі корисні в процесах плануванні міст. Результати моделювання показали, що кількість та розмір уламків негативно впливають на час евакуації та ефективність евакуації.

Дослідження індивідуальної поведінки в основному підкреслюють важливість особистих знань, культури та досвіду для прогнозування реакції людини. За особливостями поведінки окремі пішоходи зазвичай переслідують максимізацію власних інтересів. Їхня поведінка втечі в основному базується на індивідуальних цілях [7]. Індивідуальна реакція залежить від знайомства з навколишнім середовищем і власного усвідомлення серйозності ситуації. Коли пішоходи перебувають у знайомій місцевості, вони, як правило, зневажають суворість стану, затримують втечу та тікають до знайомого пункту призначення «Теорія сценарію місця стверджує, що реакції людей визначаються їхніми ролями та щоденними звичками, формуючи фіксовані правила. Вона оцінює індивідуальну поведінку відповідно до людського пізнання, концепції ризику, досвіду та щоденних звичок. Galea та інші вивчали індивідуальну поведінку під час евакуації за різних культурних особливостей; провели опитування окремих пішоходів в Англії, Туреччині та Китаї; і систематично аналізував внутрішній зв'язок між індивідуальними культурними характеристиками та відповіддю на евакуацію.

У роботі [10] визначені основні фактори, що впливають на індивідуальну поведінку. Згідно з когнітивним моделюванням Фунга, людську поведінку можна розділити на чотири рівні: геометричний, кінематичний, фізичний і поведінковий (рис. 7).



Рисунок 7 – Когнітивне моделювання Фунга

Ця модель була взята за основу для створення когнітивної архітектури для моделювання поведінки (рис. 8).

1. Датчики: Датчики використовуються для збору інформації про навколишнє середовище та зчитування вхідної інформації. Наприклад, персонажі можуть сприймати землетрус за допомогою своїх датчиків.

2. Персептрони: Персептрони відрізняються від сенсорів. Вони використовуються для обробки та відбору інформації з датчиків. У персептроні для кожного персонажа є попередньо встановлений список об'єктів. Лише перелічені об'єкти можуть бути сприйняті персонажем.

3. Пізнання: цей модуль включає цілі, планування, емоції, особистість, мотивацію, поведінку, соціальні атрибути та соціальне ставлення. Цілі попередньо встановлено у файлі сценарію. Вони будуть пунктами призначення. Планувальники використовуються для створення відповідних планів поведінки персонажів. Ці плани базуються на цілях, зовнішньому стимулі та соціальних атрибутах. Відповідно до цих планів, поведінкові коди можуть генеруватися актюаторами. Емоція вказує на емоційний стан

персонажа. Він може бути активований зовнішніми подразниками та психологічними мотиваціями. Після активації код емоційного вираження буде надіслано до приводів.

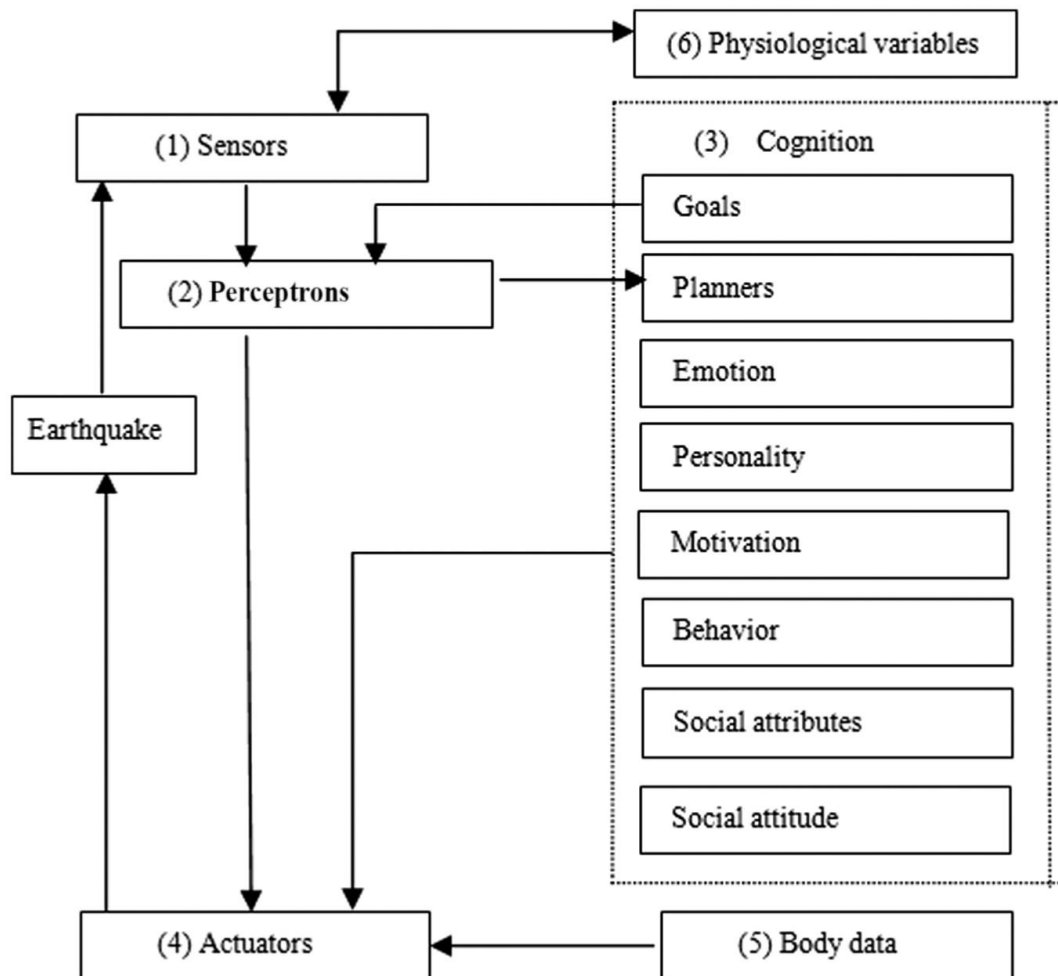


Рисунок 8 – Когнітивна архітектури для моделювання поведінки

Особистість можна описати за допомогою моделі особистості OCEAN, яка представляє п'ять основних типів особистості: відкритість, сумлінність, екстраверсія, приємність і невротизм. Кожен тип має позитивний і негативний полюс. Риси особистості для кожного полюса наведені в табл. 1.

При вирішенні надзвичайних ситуацій відкриті (O+) і сумлінні (C+) люди можуть ефективно реагувати на зміни та приймати найкращі рішення для поточної ситуації. Самотні (E-), відсторонені (A-) і невротичні (N+) люди

частіше проявляють екстремальну поведінку, наприклад стрибають з будівлі, коли мають справу з несподіваними лихами.

Мотивація описується ієрархією потреб Маслоу. Потреби в безпеці та любові/приналежності є двома факторами, які впливатимуть на поведінку персонажів під час несподіваних катастроф. Керуючись потребами безпеки, персонажі якомога швидше втечуть із небезпечної зони. Тим не менш, вони зроблять щось небезпечне відповідно до своїх потреб любові/приналежності. Наприклад, коли трапиться землетрус, батьки не втечуть самі без дітей. Вони підуть шукати своїх дітей і втечуть разом з ними. За цих обставин потреби в любові/приналежності перевищують потреби безпеки.

Таблиця 1

Риса для кожного полюса

Позначення полюса	Характерні риси для полюса
O+	Допитливий, уважний, проникливий, творчий
O–	Простий, послідовний, обережний, консервативний
C+	Наполеглива, передбачувана, ефективна, організована
C–	Безладний, недбалий, грубий, легкий
E+	Відвертий, напористий, доміантний, енергійний
E–	Віддалений, самотній, сором'язливий, замкнутий
A+	Доброзичливий, толерантний, терплячий, милосердний
A–	Владний, протилежний, упертий, аналітичний, відсторонений
N+	Чутливий, боязливий, залежний, покірний, нервовий
N–	Спокійний, незалежний, впевнений, безпечний

Соціальні атрибути можуть бути представлені соціальною ідентичністю. У поєднанні з соціальними нормами, включаючи соціальні стандарти та соціальні відносини, ці атрибути керуватимуть поведінкою

індивідів у певному соціальному контексті. Соціальне ставлення стосується ставлення індивідів до соціальних норм. Різні соціальні установки призведуть до різної соціальної поведінки. Люди, які дотримуються соціальних норм, зазвичай стримують свою поведінку. Наприклад, соціальні норми вимагають, щоб медсестри допомагали пацієнтам і гарантували втечу під час землетрусу. Таким чином, медсестри, які підкоряються соціальним нормам, не втечуть самі, а допоможуть пацієнтам втекти першими. Якщо медсестра егоїстична і не підкоряється соціальним нормам, вона втече сама і залишить пацієнтів у спокої.

4. Актуатор: Залежно від типу емоції та коду емоційного вираження, актуатор може генерувати міміку. Модуль також може генерувати анімацію скелета з відповідними даними захоплення руху, які зчитуються з модуля даних тіла.

5. Дані тіла: цей модуль зберігає дані про 3D-геометрію, дані захоплення руху та анімацію ключових кадрів.

6. Фізіологічні змінні: у симуляції життя (тобто здоров'я персонажа в діапазоні від 0 до 1) використовується для вказівки фізичних атрибутів віртуального персонажа. Початкове значення життя дорівнює 1. Воно може зменшитися під час або після землетрусу. Коли значення досягне дуже низького рівня, віртуальний персонаж досягне меж життя. Воно може бути в стані коми або смерті.

2.3. Математична модель поведінки людини

Математична модель побудована на основі SIR (susceptible-infected-removed model), що складається з чотирьох класів, один з яких відповідає щоденній поведінці, а три інших відповідають трьом попереднім поведінкам (рис. 5). Припускається, що клас під назвою Q складається з індивідів у щоденній поведінці, і що під час події не відбувається ні смерті, ні

народження. Отже, глобальна популяція постійна і складається з N осіб. Крім того, під час катастрофи Q є сумою двох субпопуляцій [5]:

1. $Q_1(t)$, яка проектує кількість осіб із звичайною поведінкою. Очевидно, що незадовго до того, як станеться катастрофічна подія, все населення є у цьому стані, тому $Q_1(0) = N$.

2. $Q_2(t)$ – це кількість осіб, які повернулися до нормального способу життя після спалаху катастрофи. Оцікується, що наприкінці події всі особи будуть у цьому стані, отже, $Q_2(\text{tend}) = N$.

Згідно з типами поведінки (рис. 5) населення під час катастрофи розкладається на 3 субпопуляції, які представлені такими змінними:

- $x(t)$ – кількість осіб з рефлекторною поведінкою,
- $y(t)$ – кількість осіб з контрольованою поведінкою,
- $z(t)$ – кількість осіб з панічною поведінкою.

Припускається присутність раптової та непередбачуваної події, все залучене населення має спочатку рефлекторну реакцію, відповідну інстинктивним настроям. Таким чином, рутинна поведінка, представлена за допомогою змінної $Q_1(t)$, може бути перетворена лише в рефлекторну поведінку, тобто в $x(t)$. Згодом рефлекторна поведінка може стати контрольованою або панічною поведінкою. Оскільки $Q_2(t)$ являє собою кількість індивідів, які повертаються до нормального способу життя, його можна враховувати лише за допомогою контрольованої поведінки $y(t)$. Фактично, людині необхідно відновити самоконтроль, щоб відновити свою повсякденну звичайну поведінку. Як тільки люди повернулися до нормального стану, вони зберігають свою звичну поведінку. Таким чином, особи в Q_2 не можуть пройти в Q_1 і знову увійти в цикл. Під час катастрофічних подій виникає взаємодія та переходи між різними поведінками, як показано на рис. 6 [5].

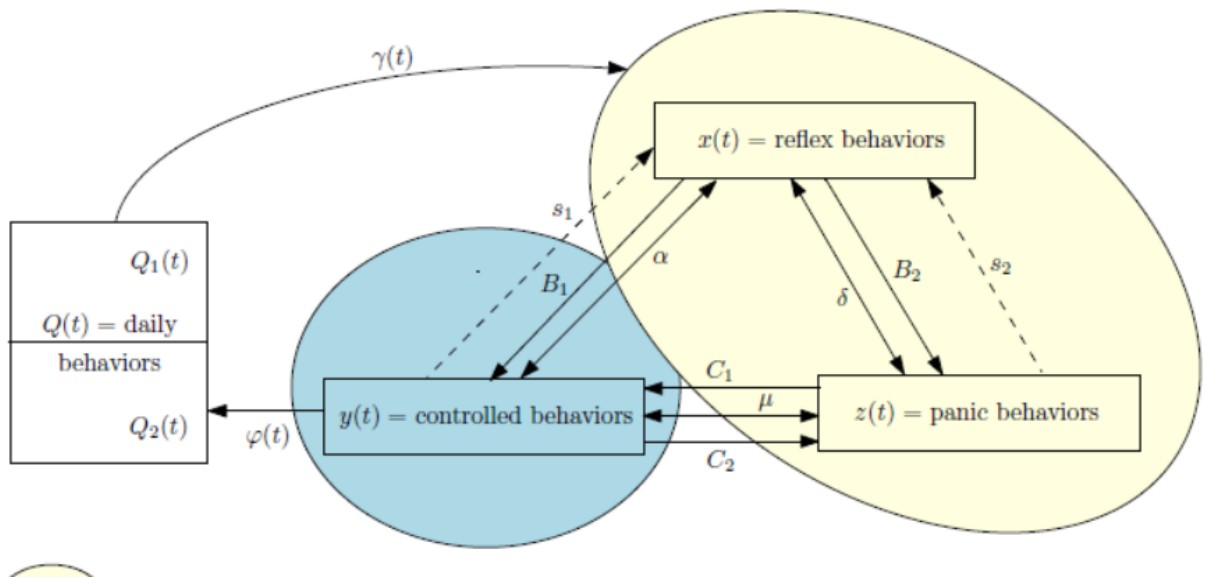


Рисунок 6 – Переходи між типами поведінки

Зовнішня подія, тобто початок катастрофи, представлена функцією примусу, яка може бути дискретною або безперервною залежно від типу події дослідження. Наприклад, така подія, як локальне цунамі, може бути представлена дискретною функцією, тоді як затоплення – безперервною функцією, оскільки її можна оголосити за менше годин до початку. Було зроблено припущення, що людина знаходиться в першій ситуації, а жорстокість і швидкість катастрофічної події моделюється через логістичну функцію.

Для врахування можливого продовження або повторення стресу сприйняття катастрофи додано стрілки s_1 і s_2 , які вважаються постійними параметрами. Як тільки популяція перебуває в рефлексорній поведінці, вона може еволюціонувати в керовану або панічну поведінку відповідно до параметрів B_1 і B_2 відповідно. Так само частина контрольованої популяції може еволюціонувати до панічної поведінки і відповідно до коефіцієнтів C_1 і C_2 . Усі попередні переходи є причинно-наслідковими зв'язками. Однак деякі процеси імітації та зараження існують і моделюються стрілками, позначеними μ , яка на малюнку відображає процес імітації між x і y , який реалізується в

обох напрямках. Цей процес моделюється як епідеміологічне поширення і має такий вигляд: $\cdot f_1(x(t)) \cdot y(t)$. Це моделювання дозволяє віддати перевагу імітації в одному напрямку, зокрема від x до y . Повинно бути принаймні 55% рефлексорної поведінки, щоб контролювана індивідуальна поведінка імітувала рефлексорну.

Таким же чином константа транслює процеси імітації між x і z , моделюється функцією $\cdot f_2(x(t)) \cdot z(t)$. Нарешті, постійна μ транслює процеси імітації між контролюваною та панічною поведінкою індивідів, знаючи, що імітація, по суті, є відчуттям паніки щодо поведінки контрольованих індивідів. Він моделюється терміном $\mu \cdot g(y(t)) \cdot z(t)$. З графічного моделювання на рис. 6 виводиться наступна математична модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = \gamma(t)Q_1(t) \left(1 - \frac{x(t)}{x_m}\right) - (B_1 + B_2)x(t) \\ \quad + \alpha f_1(x(t))y(t) + \delta f_2(x(t))z(t) + s_1y(t) + s_2z(t), \\ \frac{dy}{dt} = B_1x(t) - \alpha f_1(x(t))y(t) + C_1z(t) - s_1y(t) \\ \quad - C_2y(t) - \varphi(t)y(t) \left(1 - \frac{Q_2(t)}{Q_{2m}}\right) + \mu g(y(t))z, \\ \frac{dz}{dt} = B_2x(t) - s_2z(t) - \delta f_2(x(t))z(t) - C_1z(t) \\ \quad + C_2y(t) - \mu g(y)z, \\ \frac{dQ_1}{dt} = -\gamma(t)Q_1(t) \left(1 - \frac{x(t)}{x_m}\right), \\ \frac{dQ_2}{dt} = \varphi(t)y(t) \left(1 - \frac{Q_2(t)}{Q_{2m}}\right) \end{array} \right.$$

Рисунок 7 – Математична модель

Оскільки відповідна популяція має бути постійною, тобто рівність $Q_1(t)+Q_2(t)+x(t)+y(t)+z(t)=N$ для всіх $t \in [0, T]$ є перевірено, систему (рис. 7) можна звести до чотирьох рівнянь і переписати у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = \gamma(t)Q_1(t) \left(1 - \frac{x(t)}{x_m} \right) - (B_1 + B_2)x(t) \\ \quad + \alpha f_1(x(t))y(t) + \delta f_2(x(t))z(t) + s_1y(t) + s_2z(t), \\ \frac{dy}{dt} = B_1x(t) - \alpha f_1(x(t))y(t) + C_1z(t) - s_1y(t) \\ \quad - C_2y(t) - \varphi(t)y(t) \left(1 - \frac{N - Q_1(t) - x(t)}{Q_2m} \right. \\ \quad \left. \frac{-y(t) - z(t)}{Q_2m} \right) + \mu g(y(t))z(t), \\ \frac{dz}{dt} = B_2x(t) - s_2z(t) - \delta f_2(x(t))z(t) - C_1z(t) \\ \quad + C_2y(t) - \mu g(y)z(t), \\ \frac{dQ_1}{dt} = -\gamma(t)Q_1(t) \left(1 - \frac{x(t)}{x_m} \right). \end{array} \right.$$

Рисунок 8 – Математична модель

Було виділено дві групи кількісних даних. Перша група стосується відсотка населення, яке приймає певний тип поведінки, а друга – тривалості такої поведінки.

Різні типи людської поведінки (рис. 6) можуть проявлятися в різних пропорціях залежно від розглянутої катастрофи, раптовості загрози, складу групи, індивідуальних здібностей до розуміння небезпеки та знання навколишнього середовища. Крім того, в роботі [8] визначено, що в більшості катастроф 15% осіб виявляють явні патологічні реакції, 15% зберігають холонокровність і 70% виявляють начебто спокійну поведінку, але насправді відповідають певному ступеню емоційної сторони та втрати ініціативи, що відображається в патологічному реєстрі. Зроблені наступні припущення,

оскільки немає даних для кількісної оцінки механізмів переходу від одного стану до іншого:

- $x(t)$ = від 50 до 75% населення
- $y(t)$ = від 12 до 25% населення
- $z(t)$ = від 12 до 25% населення

Три різні реакції мають різну тривалість [9]. Тривалість рефлекторної та панічної поведінки коливається від кількох хвилин до однієї години. У більшості випадків ці два типи поведінки не перевищують 15 хвилин. Однак для першого це може зайняти більше часу, особливо якщо це відповідає затримці евакуації в зоні лиха. У цьому випадку поступово з'являється підтримуюча та дослідницька поведінка родичів і потерпілих. Для другого, колективна панічна поведінка, як правило, вирішується спонтанно. Однак іноді зовнішнє втручання дозволяє панічній популяції $z(t)$ повернутися до автоматизованої поведінки $x(t)$, перш ніж прийняти контрольовану поведінку $y(t)$. Загалом тривалість неконтрольованої поведінки $x(t) + z(t)$ не перевищує 1 год 30 хв. У цій моделі зроблено припущення, що людина не може залишатися 1 годину в рефлекторній поведінці і ще годину в стані паніки. Тривалість контрольованої поведінки $y(t)$ змінюється від кількох хвилин до меншої кількості годин відповідно до втручання аварійного реагування.

3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ

3.1. Алгоритм програмної реалізації

Для програмної реалізації проєкту у якості аналогу була взята програмна платформа, яка представлена в роботі [10]. Вона являє собою віртуальну платформу для моделювання евакуації під час землетрусу за допомогою C++. Платформа базується на відкритому графічному інструментарії OpenSceneGraph і відкритому фізичному механізмі Bullet.

OpenSceneGraph – це набір інструментів для високопродуктивної 3D-графіки з відкритим кодом, який використовується розробниками додатків у таких сферах, як візуальне моделювання, ігри, віртуальна реальність, наукова візуалізація та моделювання. Повністю написаний стандартним C++ і OpenGL, він працює на всіх платформах Windows, OSX, GNU/Linux, IRIX, Solaris, HP-Ux, AIX і операційних системах FreeBSD. OpenSceneGraph – це провідна світова технологія графіків сцен, яка широко використовується у vis-sim, космосі, науці, нафтогазі, іграх та індустрії віртуальної реальності [11].

OpenSceneGraph написано стандартною C++ із використанням стандартної бібліотеки шаблонів (STL) для контейнерів. Програмне забезпечення використовує підхід графа сцени для представлення 3D-світів у вигляді графа вузла, який логічно та просторово групує підграфи для поведінки та високої продуктивності. Підтримуються версії від OpenGL 1.0 до OpenGL 4.2, а також OpenGL ES 1.1 і 2.0, що дає змогу підтримувати як старе апаратне забезпечення, так і операційні системи до найновіших мобільних пристроїв, а також усі функції найсучасніших графічних систем для настільних комп'ютерів завдяки перевірці розширення часу виконання програмного забезпечення. Шаблони дизайну використовуються в усьому програмному забезпеченні, що полегшує підтримку та розуміння того, як працює програмне забезпечення, а також є гарним прикладом використання.

Програмне забезпечення є модульним і розширюваним, що дозволяє кінцевим користувачам використовувати лише ті компоненти, які їм потрібні, і налаштовувати за потреби. Ключовими перевагами OpenSceneGraph є його продуктивність, масштабованість, портативність і підвищення продуктивності, пов'язані з використанням повнофункціонального графа сцени.

Bullet – це бібліотека виявлення зіткнень і динаміки твердого тіла. Бібліотека є відкритою та безкоштовною для використання [12].

Інтерфейс користувача розроблено для цієї платформи було розроблено Qt, а ефект полум'я та диму створюється механізмом частинок SPARK. Розробники стверджують, що користувачам не потрібно писати код. Їм потрібно відредагувати файл сцени, щоб отримати конкретний сценарій евакуації. Платформа може симулювати великі сцени та може бути вдосконалена для інших симуляцій евакуації.

Функціональні модулі цієї платформи та їхній взаємний зв'язок представлено на рис. 9.

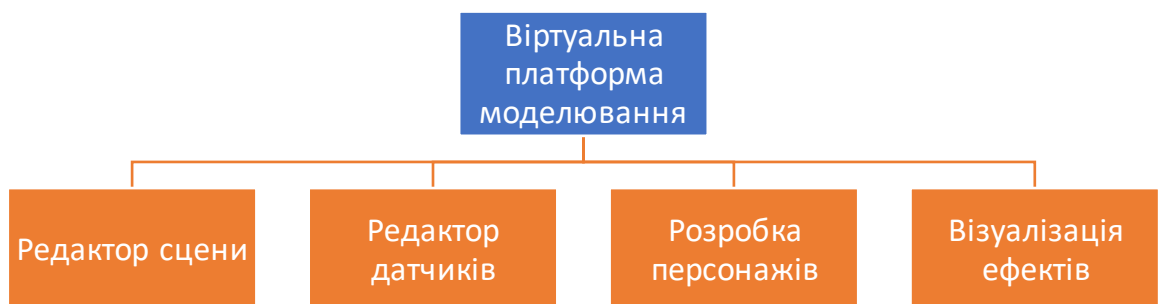


Рисунок 9 – Побудова платформи віртуального моделювання

Розглянемо представлені модулі більш докладно:

1. Редактор сцен: у цій системі файли сцен є файлами XML. Користувачі можуть перетягувати попередньо розроблені об'єкти для створення власних сцен. Кожен об'єкт можна налаштувати для адаптації нової сцени (рис. 10).

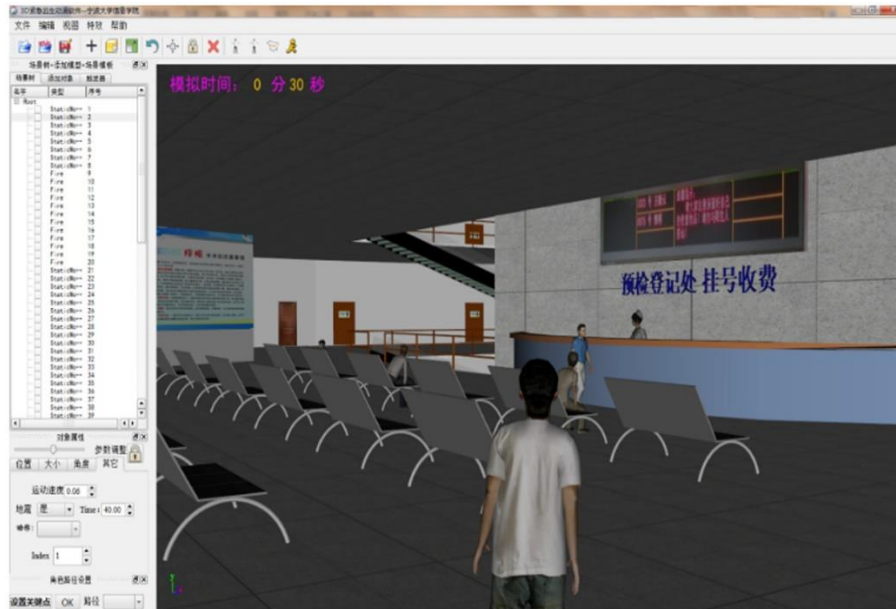


Рисунок 10 – Демонстраційна сцена

Інші геометричні моделі, які створені користувачами, також можна імпортувати в бібліотеку об'єктів платформи. Для навігації персонажів у середовищі ключові точки евакуації встановлені вздовж зон, таких як сходи, двері та коридори, які потрібно пройти під час евакуації.

2. Редактор датчиків: на цій платформі є три види датчиків: датчик положення, датчик тригера та датчик зіткнення. Коли віртуальний персонаж переміщається в певне місце, спрацьовує датчик положення, і з'являється відповідний текст (включаючи аудіо). Датчик спрацьовування встановлюється на певний об'єкт. Це змусить об'єкт рухатися, коли персонаж торкнеться його. Датчик зіткнення – це механізм для уникнення зіткнення. Наприклад, це може гарантувати, що персонаж не врізається в стіну.

3. Розробка персонажів: користувачі можуть вибирати віртуальних персонажів із бібліотеки персонажів. Початкові параметри персонажів і вихідні точки за замовчуванням записуються в текстовий файл. Їхня поведінка складається з дій, які заздалегідь отримані за допомогою пристроїв захоплення руху. На основі кінцевого автомата поведінка може переключатися з одного на інший.

4. Візуалізація ефектів: ґрунтуючись на інтегрованому фізичному механізмі з відкритим вихідним кодом і механізмі частинок, платформа імітує різноманітні фізичні події та візуальні ефекти, такі як колапс, вогонь і дим, землетрус тощо.

Як і в реальному світі, віртуальні персонажі рухаються у просторі, який має горизонтальний і вертикальний напрямки. Їхні рухи керуються попередньо встановленими точками навігації. Кожному персонажу призначаються ключові точки навігації в сцені. Коли персонажі рухаються між цими точками, застосовується виявлення зіткнень, щоб уникнути перешкоду спереду та проникнення в підлогу. Обмежувальна рамка AABB 46, яка оточує символ із шестигранником, призначена для реалізації алгоритму виявлення зіткнень. Потрібно виявити два типи зіткнень: горизонтальне зіткнення та вертикальне зіткнення (рис. 11).

Для виявлення горизонтального зіткнення горизонтальний промінь використовується для визначення наявності перешкоди на шляху вздовж шляху. Встановлено, що h – це максимальна висота, яку може переступити персонаж, а $P_{current}$ – центральна точка в нижній частині обмежувальної рамки. $P_{current1}$ – це точка, яка піднімає висоту h від точки $P_{current}$. Це також початкова точка горизонтального променя. Промінь буде вказувати на наступну точку навігації P уздовж напрямку руху персонажа. Щоб виявити горизонтальне зіткнення, користувачу потрібно з'ясувати, чи горизонтальний промінь перетинає поверхню обмежувальної рамки, яка оточує перешкоду. Якщо немає перехрестя, тобто немає зіткнення, віртуальний персонаж може продовжувати рух вперед.

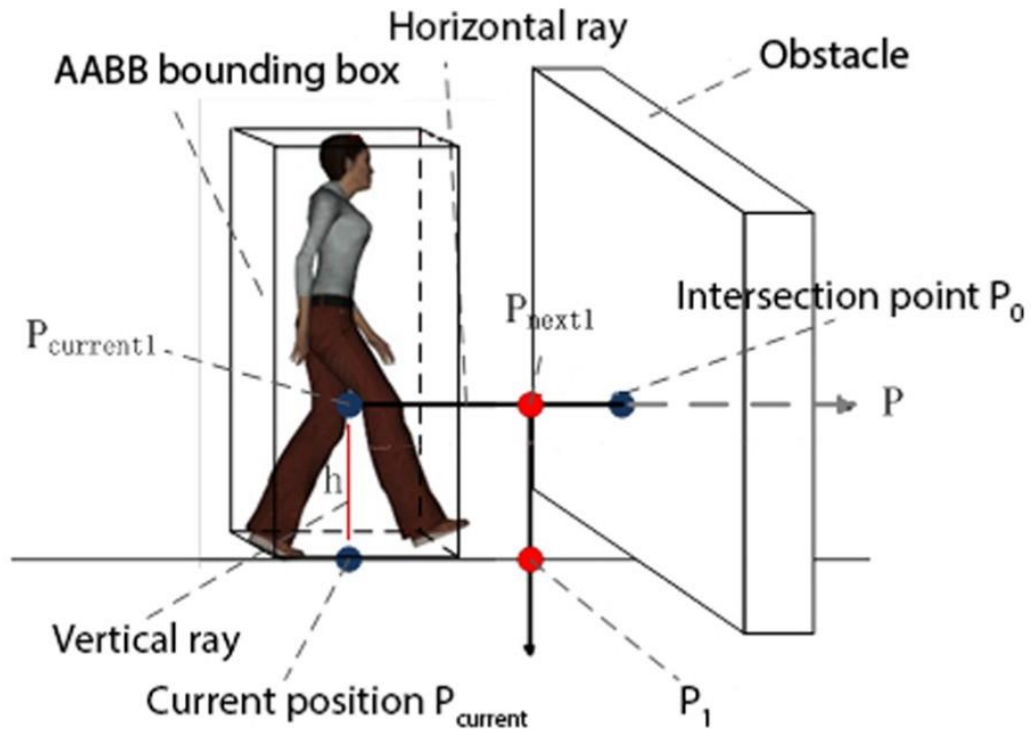


Рисунок 11 – Виявлення та уникнення зіткнень

В іншому випадку персонаж може змінити напрямок руху, щоб уникнути наступного зіткнення. Прийнято, що P_{next1} буде новою позицією, яку досягне віртуальний персонаж, коли він переміститься на один крок вперед, P_0 буде точкою перетину, в якій горизонтальний промінь перетинає обмежувальну рамку перешкоди. Якщо відстань між P_{next1} і P_0 більше або дорівнює кроку персонажа, персонаж продовжуватиме рухатися вперед; якщо відстань менша, вона змінить свій напрямок. Він вибере найкоротший шлях для обходу перешкод і продовжить рух до наступної навігаційної точки P .

Виявлення вертикального зіткнення використовується, щоб переконатися, що персонажі не спливають і не провалюються крізь підлогу під час їхнього руху. Під час виявлення зіткнення вертикальний промінь виходить із точки P_{next1} і перетинає поверхню землі в точці P_1 , яка є центральною точкою в нижній частині обмежувальної рамки на наступному кроці.

3.2. Візуалізація поведінки людини

Анімація поведінки є важливою частиною комп'ютерної анімації. Якісна поведінкова анімація повинна представляти поведінку віртуальних персонажів реалістично та чітко. Конвеєр створення реалістичної поведінкової анімації включає захоплення руху, перетворення файлів, редагування анімації та відтворення анімації. У представленій системі [10] захоплення руху та перетворення файлів можна реалізувати наступним чином.

Існує два типи пристроїв захоплення руху, які зазвичай використовуються на ринку: одні засновані на оптиці, інші – на основі інерції. Дані поведінкової анімації персонажів, які використовуються в системі – це дані про рух людини, зібрані оптичним пристроєм захоплення руху Motion Analysis, який використовує спеціальний одяг, 12 камер, 40 сенсорних точок (на людину) і програмне забезпечення Cortex 5.3 (рис. 12) [13].

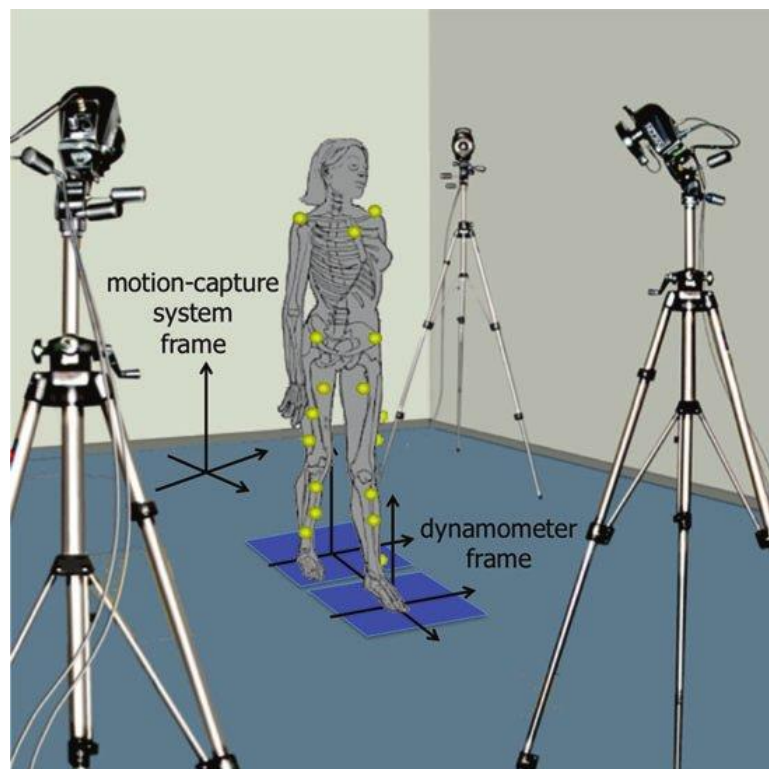


Рисунок 12 – Лабораторія аналізу руху

Перед збором даних необхідно прикріпити 40 сенсорних точок до важливих частин тіла виконавця та відкалібрувати рухи. Після того, як виконавець завершить цей етап, можна буде зібрати тривимірні дані про рух людини. Спочатку зібрані дані зберігаються у файлах CAP, а потім можуть бути перетворені у файли TRC за допомогою Cortex 5.3. Щоб створити файли FBX, які можна імпортувати в запропоновану систему, слід використовувати MotionBuilder для перетворення файлів TRC у файли FBX.

Автори [10] зазначають, що у процесі анімації кісток FBX необхідно враховувати деякі особливі питання:

1. На етапі моделювання персонажів необхідно розглянути питання щодо точності сітки. Більше сіток може створювати складніші моделі та реалістичніші персонажі. Однак, коли модель персонажа динамічно змінюється, обчислення сіток у реальному часі займає багато часу. Таким чином, у фактичному додатку загальний персонаж не потребує занадто багато сіток. Кількість патчів і вершин має бути зменшено настільки, наскільки це можливо, доки точність моделі персонажа відповідає вимогам.

2. На стадіях створення каркасної системи двоногих та узгодження скелетів необхідно враховувати питання щодо налаштування. Наприклад, при створенні системи двоногого скелета кількість хребетних ланок має бути змінено на три, а пальців ніг – на одне; під час зіставлення скелета систему скелета слід встановити як режим тіла.

3. На стадії сітчастої оболонки необхідно розглянути питання щодо схеми. Physique і Skin – це два схожі методи, які можна використовувати для сіток зі шкірою в 3DS Max. Обидва вони видають скелет і неодноразово регулюватимуть вагу персонажа для досягнення кращого ефекту в сітці зі шкірою.

4. На етапі завантаження руху необхідно розглянути питання щодо даних руху. Деякі рухи надходять із наявної бібліотеки файлів VIP. Користувачі можуть записувати та змінювати рухи з цих файлів. Інші рухи створюють користувачі з тонко налаштованим скелетом. Щоб уникнути

надмірності даних, режим потоку руху можна застосувати для інтеграції кількох файлів руху VIP в один файл VIP, щоб дані, що повторюються, видалялися. Завдяки цій схемі один файл FBX матиме кілька даних про рух, а обсяг каркасних даних можна зменшити.

Розглянемо приклад типової поведінки під час землетрусів (рис. 13).

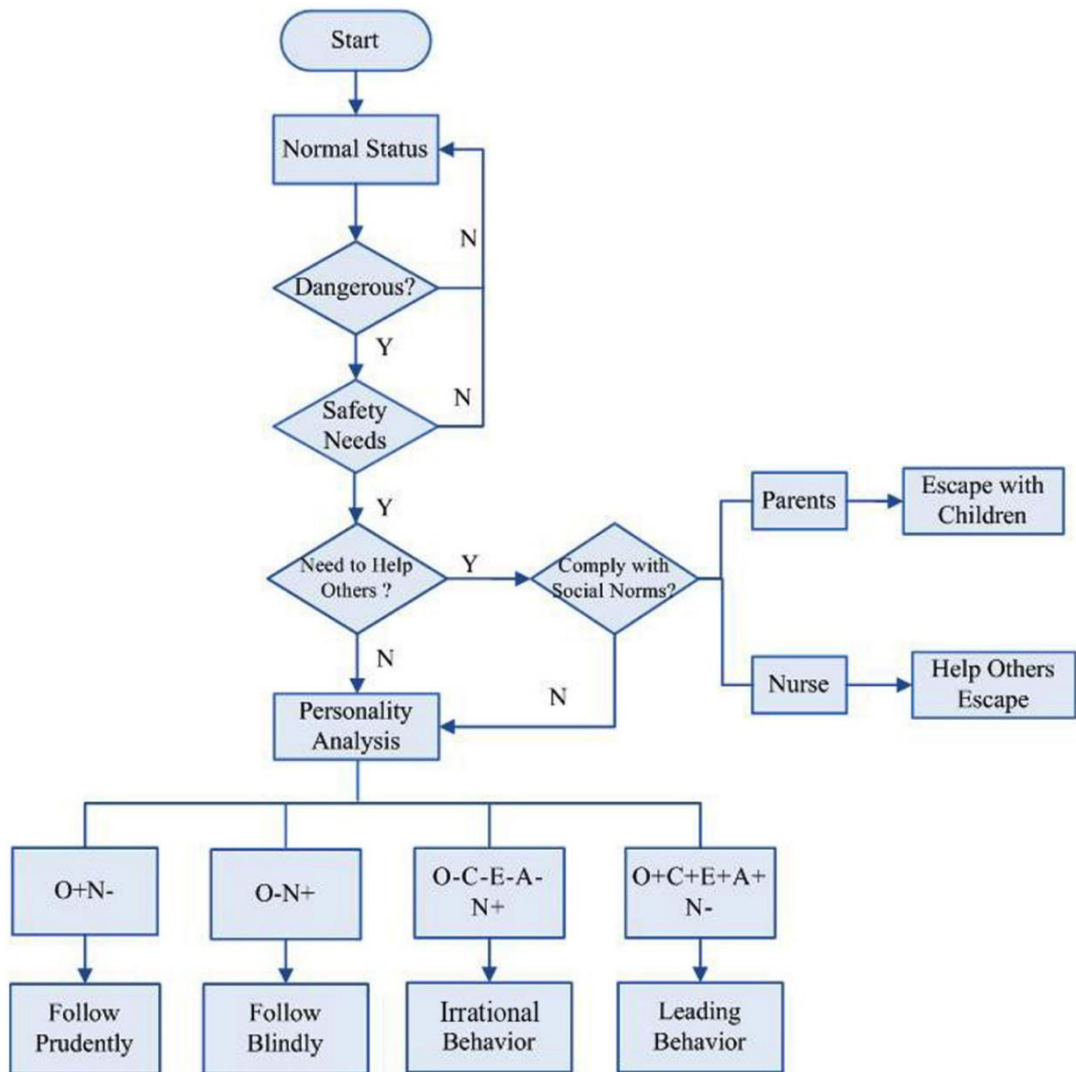


Рисунок 13 – Типова поведінка під час землетрусу

Приклад – це сцена з лікарнею, коли персонажі відчують землетрус, вони збережуть свій поточний статус або виберуть поведінку відповідно до своїх потреб безпеки. Хоча люди, як правило, егоїстичні під час землетрусів, вони також можуть бути альтруїстами під впливом прихильності та

соціальних норм. Наприклад, батьки спочатку чекатимуть або знайдуть своїх дітей, а потім втечуть з ними; медсестри професійно зобов'язані допомогти пацієнтам якомога швидше вийти з небезпечної ситуації.

Під час евакуації персонажі з різними характерами матимуть різну поведінку:

1. Послідовна поведінка: ця поведінка (стадна поведінка) є дуже типовою поведінкою під час евакуації під час землетрусу. Люди з особистістю (O+, N-) і (O-, N+) матимуть різну поведінку. Люди O+ і N- відкриті та спокійні. Вони будуть розсудливо слідувати за натовпом відповідно до навколишнього середовища. Люди O- і N+ консервативні, залежні та чутливі. Вони будуть сліпо слідувати за натовпом, не замислюючись над тим, чи розумна поведінка лідера.

2. Ірраціональна поведінка: Ірраціональна поведінка відноситься до надзвичайно неправильної поведінки людей під час процесу втечі. Наприклад, коли стався землетрус, хтось, хто знаходиться поблизу балюстради, може стрибнути з будівлі, щоб втекти. Люди, які є інтровертами, самотніми, чутливими, негативними та легко здаються (O-, C-, E-, A-, N+), можуть проявляти ірраціональну поведінку під час землетрусів.

3. Провідна поведінка: люди з характерами O+, C+, E+, A+, N- матимуть власну думку та стійкі емоції. Вони дуже незалежні і можуть бути лідером в евакуації.

3.3. Візуальне моделювання індивідуальної поведінки

За допомогою представленої віртуальної платформи [10] та розглянутих моделей була розроблена гра для навчання безпеки. У цій грі будівлі можуть завалитися через коливання землі, а пожежа може виникнути через коротке замикання електрики. За допомогою віртуальних персонажів користувачі можуть відчувати процес евакуації. Вони повинні втекти в безпечні зони за

межами будівлі протягом визначеного часу. Для імітації реальних сцен під час евакуації встановлюються кілька перешкод. Визначимо типові небезпеки, які реалізовані в рамках цієї гри:

1. Пошкоджений ліфт: користувач впаде, якщо спробує скористатися пошкодженим ліфтом.

2. Пожежа: при зустрічі з пожежею користувач може вибрати інший спосіб уникнути її, пройти через неї або знайти вогнегасник, щоб її загасити.

3. Балюстрада: досягнувши балюстради, деякі користувачі можуть зістрибнути з будівлі, щоб втекти. Якщо вони спробують це зробити, їхній аватар впаде та настане смерть. Цей параметр використовується, щоб нагадати користувачам, що під час евакуації стрибати з будівлі не є правильним підходом.

4. Дим: користувачі повинні обходити дим, коли вони стикаються з ним.

Завдяки керуванню поведінкою віртуальних персонажів з виконанням запропонованих правил поведінки користувачі дізнаються, що вони повинні робити під час евакуації. Крім того, у системі представлені персонажі, які не є гравцями (NPC). Ці персонажі мають автономну поведінку в грі. Наприклад, медсестра стоятиме біля ескалатора, щоб нагадати користувачам не користуватися ескалатором.

На рис. 14 – 19 представлені експериментальні результати моделювання індивідуальної поведінки під час землетрусу. Це показує, що запропонований метод може генерувати реалістичну та автентичну поведінку віртуальних персонажів. На першому рисунку зображена сцена приймальні у лікарні до землетрусу, це необхідно для того, щоб гравець відчув себе максимально наближеним до реальних умов. Далі стався землетрус і користувач вже бачить його наслідки, на наступному рисунку показана сцена з обвалом та пожежею, яка виникла у результаті землетрусу, гравець повинен почати реагувати на події, інакше його аватар помре через довгий час перебування у будівлі.



Рисунок 14 – Сцена приймальної лікарні перед землетрусом



Рисунок 15 – Сцена обвалу і пожежі в приймальні лікарні після землетрусу

Після моделювання умов, які настають в наслідок землетрусу, гравець починає пересуватися у пошуках виходи для евакуації з приміщення. На його шляху виникають нові персонажі, які імітують реальні умови. Спочатку він бачить дитину біля тіла загиблої бабусі, а далі з'являється нераціональний

персонаж, який загинув у наслідок неправильних дій під час евакуації. В цих сценах гравець повинен відпрацювати поведінку, яка допоможе врятуватися самому та врятувати когось ще.

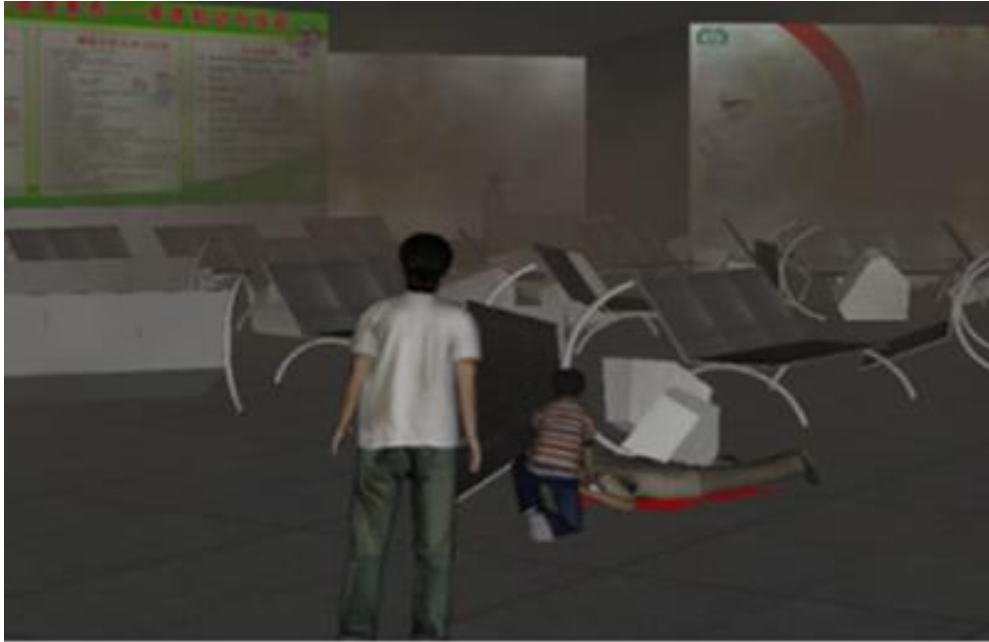


Рисунок 16 – Сцена наслідків землетрусу



Рисунок 17 – Наслідки нераціональної поведінки під час землетрусу

Далі в грі змодельована поява персонажу, який не є гравцем, це медсестра, вона попереджає гравця про небезпеку на ескалаторі.



Рисунок 18 – Медсестра попереджає про небезпеку на ескалаторі



Рисунок 19 – Смерть персонажа

Для імітації емоцій людини під час евакуації були створені додаткові персонажі, які представляють людей різних типів. На рис. 20 показано варіації інтенсивності страху під час евакуації. Ці персонажі мають випадкову

початкову інтенсивність страху. Поки вони знаходяться в будівлі, їхній страх буде посилюватися емоційним зараженням. Значення буде до 1, що є максимальним значенням інтенсивності емоцій, коли вони знаходяться біля виходу. Після виходу з будівлі інтенсивність страху з часом зменшується. Без емоційного зараження цінність не відновиться.

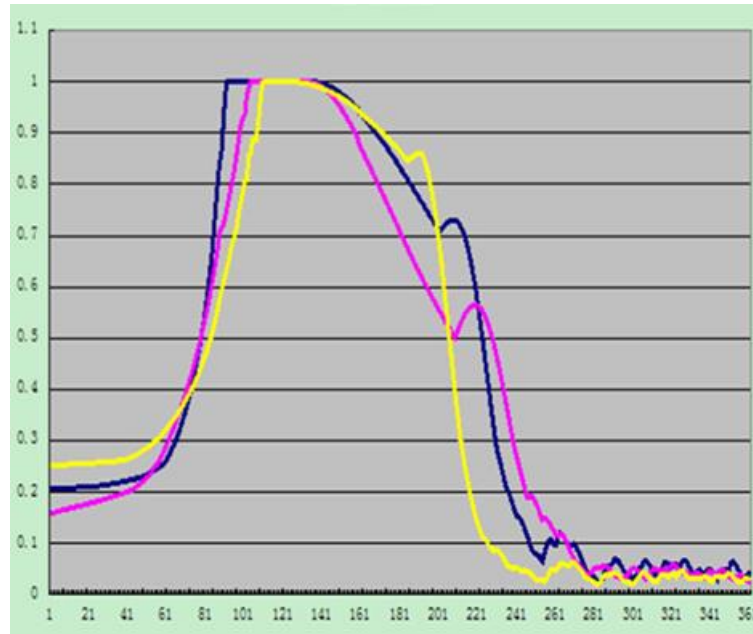


Рисунок 20 – Варіації інтенсивності страху

На рис. 21 показано варіації інтенсивності надії для цих трьох персонажів. Коли вони в будівлі, надії немає. Після втечі з будівлі інтенсивність надії з часом зростатиме. На рис. 22 показані варіації швидкості від внутрішньої до зовнішньої частини будівлі. Швидкість зменшується з часом.

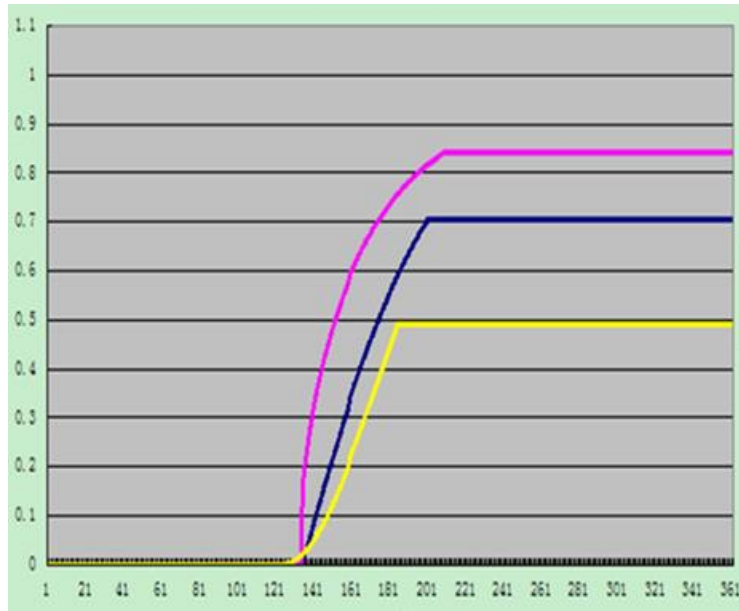


Рисунок 21 – Варіації інтенсивності надії

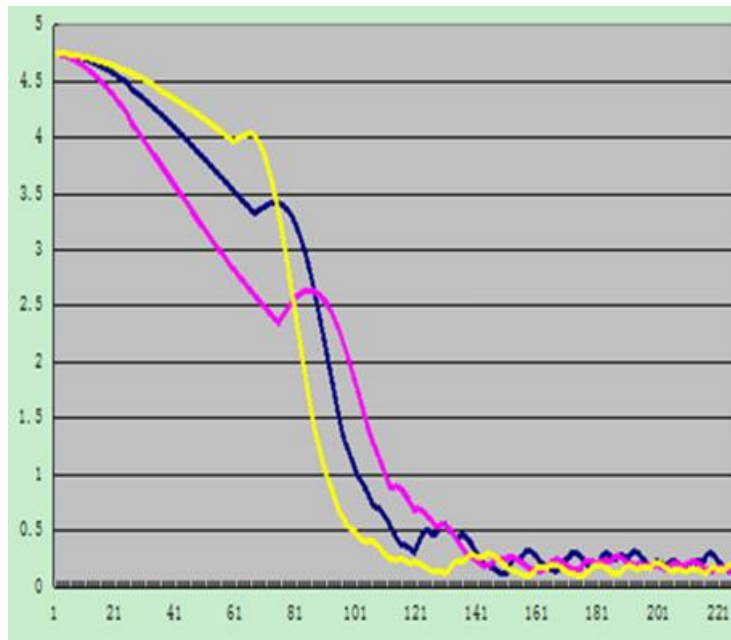


Рисунок 22 – Варіації швидкості

ВИСНОВКИ

В роботі було розглянуто методи, моделі та програмні інструменти, які використовуються в процесах моделювання та прогнозування поведінки людини в умовах надзвичайних ситуацій.

На першому етапі були розглянуті особливості індивідуальної поведінки та поведінки натовпу з урахуванням типів реакцій людини на ті чи інші збуджуючі фактори. Проаналізовані існуючі моделі поведінки людини та методи прогнозування такої поведінки в умовах настання надзвичайної ситуації. Визначено, що комп'ютерне моделювання є ефективним інструментом дослідження проблеми евакуації в умовах надзвичайних ситуацій.

На другому етапі були розглянуті математичні методи та моделі, які є основою побудови програмного забезпечення для моделювання та прогнозування поведінки людини в умовах стихійного лиха, техногенної катастрофи та неконтрольованої поведінки натовпу. Визначені відмінності індивідуальної поведінки та поведінки натовпу, їх взаємний вплив на якість боротьби з наслідками.

На заключному етапі роботи над проектом була обрана програмна платформа платформу для моделювання евакуації під час землетрусу. Визначені базові графічні компоненти та компоненти реалізації фізичних механізмів. Розроблені програмні інструменти моделювання поведінки людини в надзвичайній ситуації.

Подальші дослідження можуть бути пов'язані з удосконаленням моделей поведінки людини в надзвичайних ситуаціях та розробка планів евакуації з урахуванням умов визначеного підприємства або організації, наприклад, житлового комплексу або навчального закладу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Coşkun Şahin, Jon Rokne, Reda Alhajj .Human behavior modeling for simulating evacuation of buildings during emergencies, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 528, 2019, p. 121-142.
2. Why we panic / <http://clinicalphilosophy.blogspot.com/2020/11/why-we-panic.html> (дата звернення: 30.04.23).
3. Alex Stedmona, Glyn Lawsonb, Laura Lewisb, Dale Richardsa and Rebecca Granta. Human behaviour in emergency situations: Comparisons between aviation and rail domains // <https://www.researchgate.net/publication/283709963> (дата звернення: 30.04.23).
4. Bañgate, Julius et al. “A Review on the Influence of Social Attachment on Human Mobility During Crises.” *International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management, 2017* / <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Review-on-the-Influence-of-Social-Attachment-on-Ba%C3%B1gate-Dugdale/41789b5737f066a69343fef7de8d3e8bc15dc5a5> (дата звернення: 30.04.23).
5. Verdière N., Lanza V., Charrier R., Provitolo D., Dubos-Paillard E., Bertell C., Aziz-Alaoui M. Mathematical modeling of human behaviors during catastrophic events, 2014 / https://www.researchgate.net/publication/280853433_Mathematical_modeling_of_human_behaviors_during_catastrophic_events/citations (дата звернення: 30.04.23).
6. Imran Mahmood, Talha Nadeem, Xiaolin Hu, Faiza Bibi. Analyzing emergency evacuation strategies for large buildings using crowd simulation framework / *Proceedings of the 2019 Winter Simulation Conference, 2019*, p. 3116-3127.
7. Modeling and Simulation of Crowd Pre-Evacuation Decision-Making in Complex Traffic Environments / <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9779157/> (дата звернення: 30.04.23).

8. Boyd S.T. Réactions psychologiques des victimes de catastrophes. South african Medicine Jal, 1981, p.744–748.

9. Vermeiren E. Psychologie des foules : elements de compréhension et de prévention en situation de catastrophe collective. Urgences, 2007, p.123–134.

10. 3D visual simulation of individual and crowd behavior in earthquake evacuation / <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0037549717753294#fig5-0037549717753294> (дата звернення: 30.04.23).

11. OpenSceneGraph / www.openscenegraph.org (дата звернення: 30.04.23).

12. Bullet / www.bulletphysics.org (дата звернення: 30.04.23).

13. Camomilla V., Cappozzo A., Vannozzi G. Three-Dimensional Reconstruction of the Human Skeleton in Motion. 2017 / https://www.researchgate.net/publication/318141412_Three-Dimensional_Reconstruction_of_the_Human_Skeleton_in_Motion/citations org (дата звернення: 30.04.23).