

Г.А. Дробаха, Л.В. Розанова, В.Е. Лісцин, В.А. Музичук

Національна академія Національної гвардії України, Харків

КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ ДІЙ НАТОВПУ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ МАСОВИХ ЗАХОДІВ

Розглянуто методи моделювання дій натовпу, визначені їх недоліки. Запропоновано підхід щодо побудови моделі дій натовпу під час масових заходів із застосуванням мультиагентних технологій, реалізованих для електронних карт міста з метою дослідження поведінки натовпу та взаємодії його елементів між собою і з об'єктами навколишнього середовища.

Ключові слова: мультиагентний метод, моделювання дій натовпу, геоінформаційні системи.

Вступ

Постановка проблеми. Створення комплексної моделі натовпу, яка містить моделі поведінки окремих індивідів та їх взаємодії з іншими індивідами та елементами навколишнього середовища, є досить актуальним та важливим завданням у сферах забезпечення громадського порядку, проведення та організації масових заходів, оцінки щільності натовпу та планування можливих шляхів евакуації і переміщення великих мас людського потоку. У цьому контексті натовп розглядатиметься як складна система із великою кількістю параметрів, а саме тому важливо виявити тенденції та динаміку розвитку процесів у такій системі та оперативно отримати їх показники. Для цього доцільно використовувати моделі, які зберігають адекватність з оригіналом у рамках прийнятих менш жорстких припущень та мають високу швидкоплинність одержання результату.

Таким чином, потреба дослідження цієї тематики на сьогодні сумніву не визиває. Попередження та подолання негативних подій під час масових заходів потребує від сил охорони правопорядку вміння передбачати їх розвиток, прогнозувати можливий характер дій натовпу у різних конфліктних ситуаціях та на цій основі знаходити раціональні варіанти дій у відповідь. Це обумовлює актуальність розв'язування проблем вдосконалення та створення таких моделей, які були б в змозі достатньо адекватно відображати розвиток досліджуваних подій у просторі та часі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз існуючих у розглянутій сфері моделей та програмного забезпечення показує, що для того щоб реалізувати реально ефективну систему дослідження дій натовпу в умовах міських кварталів, необхідно враховувати досить значну кількість факторів, наприклад, – склад та мету дій натовпу, ширину вулиць та можливі шляхи відходу індивідів із скупчення, погодні умови під час проведення масового заходу тощо. Це потребує проведення моделювання

на електронній карті міста у середовищі геоінформаційної системи (ГІС) із залученням багатьох тематичних, растрових і векторних шарів карти та додаткової інформації із різноманітних баз даних. Саме ГІС мають широкі можливості з інтеграції та аналізу різнорідних даних. Головна перевага ГІС перед іншими інформаційними технологіями полягає у інтеграції в одному програмному продукті набору засобів для створення та об'єднанні інформації з баз даних різних форматів, що відрізняються можливостями графічного аналізу і наочної візуалізації даних у вигляді карт, графіків, діаграм та зв'язаних за допомогою реляційних операцій атрибутивних даних.

Актуальною є також проблема створення надвеликих масивів географічно прив'язаних даних і нового математичного та програмного забезпечення, яке дозволить застосувати геоінформаційні інструменти разом із сучасними засобами OLAP-технологій та динамічним формуванням і відображенням картографічних шарів моделі на основі аналітичної інформації.

На сторінках наукових видань [1, 2, 3, 4, 5] неодноразово розглядалися питання моделювання натовпу різними методами: на основі ньютонівської механіки, молекулярної динаміки, графоаналітичні, гібридні, мультиагентні, клітинні автомати. Детальніше аналіз розглянутих методів та їх недоліки були наведені у наукових працях [6, 7, 8, 9]. На сьогодні, на наш погляд, найбільш перспективним з точки зору повноти опису можливих дій індивіда в натовпі є, так званий, мультиагентний підхід, у основі якого лежить поняття агента (людини) із програмно реалізованою поведінкою, алгоритмами переміщення у просторі та взаємодією із іншими агентами і елементами зовнішнього середовища, визначеного в системі у вигляді низки тематичних шарів мапи. Такий підхід до моделювання передбачає не тільки опис динамічної системи в цілому, а й створення набору елементарних правил, які будуть застосовуватися до будь-якого агента в натовпі.

Метою статті є розкрити зміст підходу щодо моделювання дій натовпу під час масових заходів із за-

стосуванням мультиагентних технологій, реалізованих для електронних карт міста з метою дослідження поведінки натовпу та взаємодії його елементів між собою і з об'єктами навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо деякі особливості натовпу та поведінки окремої людини у натовпі, що обумовлює застосування саме мультиагентного підходу. По перше, людський потік в умовах скупчення не є стабільним, як упродовж часу, так і у різних напрямках руху. В умовах міста, вулиці, що визначаються шириною та наявністю тупиків, поворотів та перехрестів, грають роль своєрідної “шийки пляшки”, особливо під час раптової зміни напрямку руху скупчення людей (перехід або витіснення з майдану у вузькі бокові вулиці).

По друге, непередбачуваність напрямку та взагалі можливості руху окремої “одиниці” в скупченні у визначений момент часу. Індивід, що знаходиться у натовпі, може мати цільову настанову на рух, або бути пасивним спостерігачем, знаходячись на одному місті упродовж тривалого часу. Напрямок руху індивіду в будь-який час залежить від:

- його цільової настанови на рух;
- поточного місця розташування людини відносно елементів навколишнього середовища (стіни, огорожі, водоймища) та відносно інших членів натовпу;
- взаємодії індивіда з іншими елементами натовпу, у котрому він знаходиться, або із елементами другого натовпу, який протистоїть першому (сценарії силового розгону або протиборства двох груп);
- фізичних (зріст, вага, стать, вік) та психоемоційних параметрів (втома, стан сп'яніння) людини;
- впливу таких випадкових факторів як сезонність, погода, час доби, тощо (рис. 1).

Для отримання результатів моделювання був створений програмний комплекс. Як інструмент моделювання за допомогою мультиагентної технології автори створили програму в середовищі Visual Basic NET 2010. З рис. 1 зрозуміло, що для елементів натовпу, що створюються, моделюються такі аспекти як агресивність, активність, вік, стать, наявність озброєння, вага. Значення кожного з параметрів може визначитися за допомогою датчика випадкових чисел з рівномірного закону розподілу. Таким чином, у вибраних осередках карти буде розміщено елементи з різними фізичними та психоемоційними параметрами, що наближує створений кластер моделі натовпу до реальних об'єктів.

Вперше мультиагентний підхід щодо моделювання натовпу був запропонований в роботі Reynolds [10], у якій була наведена модель поведінки зграї птахів.

Рис. 1. В демонстраційній програмі впроваджені інтерфейс вводу параметрів для створення елементів натовпу на електронній карті міста

Подібний об'єкт моделювання був вибраний внаслідок дуже складного характеру руху зграї птахів: попри те, що зграя складається з окремих птахів, загальний характер руху має гнучкість, синхронізацію і створює враження наявності централізованого управління. Незважаючи на це, характер такого руху складається тільки з окремих незалежних вчинків агентів, зроблених на основі їх локального сприйняття навколишньої обстановки. Така комп'ютерна модель координації тваринного руху була ґрунтована на тривимірній обчислювальній геометрії, яка зазвичай використовується в комп'ютерній анімації і комп'ютерному дизайні. Загальну симуляцію істот у натовпі Крейг Рейнолдс (Craig Reynolds) назвав boids. Основна модель натовпу складається з трьох простих рульових поведінок які описують, як маневрує кожна істота (boiD) відповідно до позиції і швидкості її найближчих сусідів:

- розділення (кермо для відвертання скупчень істот);
- вирівнювання (кермо для вирівнювання щільності місцевого скупчення);
- згуртованість (кермо для руху в середню позицію місцевого скупчення).

До переваг цього методу можна віднести відносно простий спосіб задавання правил поведінки для учасників натовпу (також з можливістю розширення їх кількості).

Недоліком цього підходу є наявність досить великої кількості вільних параметрів системи, що впливають на поведінку натовпу в цілому, – вибір і верифікація цих параметрів не розглядається у більшості робіт з цієї тематики.

Взагалі, моделі, що ґрунтуються на мультиагентних технологіях, можуть використовувати різні підходи під час реалізації дій елементів:

- дії під впливом лідера натовпу (так звана дія зграї);
- дії по аналогії із визначеним шаблоном;
- дії, що описуються стохастичними та ймовірнісними законами.

Для першого підходу в моделі необхідно реалізувати цільові точки, на які спрямований вектор руху окремих елементів, та виділити деяких найбільш активних членів натовпу, які в процесі руху кластеру будуть знаходитися попереду натовпу та діяти найбільш активно.

У другому підході натовп асоціюється, наприклад, із рухом рідини у струмі та описується за допомогою законів гідродинаміки.

Останній підхід використовує теорію ймовірності для розрахунку можливих напрямків руху кожного елементу кластеру.

Кожний з трьох підходів потребує визначення на електронній карті ГІС геометричних параметрів окремого елементу натовпу. На рух агента в натовпі великий вплив оказує простір, у якому він рухається. Чим простір вільніший, тим швидкість руху агента буде більше (середня швидкість руху агента

становить 0,5 км/год). А чим більше щільність агентів у просторі, тим менше їх швидкість і більша ймовірність отримання травм.

Так щільність D людського потоку (1) в нашому випадку, згідно з наведеним у [1], може бути виражена відношенням суми горизонтальних проєкцій людей (2-3) до площі простору, займаної агентами, m^2/m^2

$$D = \frac{\sum f}{\delta \cdot l}, \quad (1)$$

$$\sum f = N \cdot f, \quad (2)$$

$$f = \frac{\pi}{4} a \cdot c, \quad (3)$$

де N – число людей в потоці; δ, l – ширина і довжина потоку, m ; f – площа горизонтальної проєкції однієї людини, m^2 ; a, c – ширина і товщина розміру людини.

Це вираження щільності застосовне при будь-якому складі потоку, яке залежить від кількості людей N і від їх розмірів (згідно табл. 1) [1].

Наприклад, якщо вимагається визначити середню щільність людського потоку (4), що займає площу $40 m^2$ у просторі, в якому знаходяться 25 дорослих у вуличному зимовому одязі, 10 підлітків і 5 дітей (значення f приведені у табл. 1), шукана середня щільність складе

$$D = \frac{25 \cdot 0,125 + 10 \cdot 0,09 + 5 \cdot 0,056}{40} = 0,107 m^2 / m^2. \quad (4)$$

Таблиця 1

Розрахункові середні розміри людини

Вікова шкала людини	Ширина a , м (у плечах)	Товщина c , м (на рівні грудей)	Площа горизонтальної проєкції f , m^2
Дорослий (одяг залежно від сезону)	0,46-0,50	0,28-0,32	0,100-0,125
Підліток	0,38-0,43	0,22-0,27	0,067-0,090
Дитина	0,30-0,34	0,17-0,21	0,040-0,056

Дослідження, описані у [1], показали, що максимально допустиме граничне ущільнення складає $1,16 m^2/m^2$, що вкрай утрудняє і навіть призупиняє рух. Тому максимальна щільність (5), встановлена в натуральних умовах і перевірена на моделі, виявилася рівною

$$D = \frac{\sum f}{\delta \cdot l} = 0,92 m^2 / m^2. \quad (5)$$

Рух агентів може бути погодженим (організованим) і не погодженим (не організованим). При погодженому русі агенти йдуть нога в ногу в одному ритмі, з постійною, рівною довжиною

кроку і швидкістю всіх агентів. Приклад – стройовий рух військових підрозділів. Не погоджений рух – кожний агент, що бере участь в русі, має свою довжину кроку і частоту залежно від віку, фізичних даних і багатьох інших причин. Не погоджений рух не має загального ритму і може протікати зі змінною швидкістю. Коливання швидкості залежить від таких чинників, як вік, фізичні дані людини, психічний стан в даний момент, щільність людських мас і т.д. Тому при оцінюванні швидкості доводиться користуватися середніми значеннями, які встановлені статистичним методом.

При моделюванні руху натовпу з використанням мультиагентних технологій, значне місце займає питання опису поведінки агента щодо необхідності визначення ймовірності переходів у кожний можливий напрямок руху. Ймовірність може бути вичислена з урахуванням міри знання геометрії простору, очікуваного бажання людини рухатися в певному напрямі, властивостей людей триматися на відстані від інших людей і від перешкод, які варіюються залежно від ситуації. Також необхідно передбачити правила розв'язування конфліктних ситуацій, пов'язаних з тим, що на одне і теж місце може претендувати кілька людей одночасно.

Так, у режимі дослідження просторово-часових параметрів дій натовпу на ПЕОМ відображається електронна карта місцевості, на яку автоматично наносяться умовні позначки та елементи натовпу згідно з сформованими вхідними даними. В інтерактивному режимі ці дані можуть змінюватись з метою уточнення параметрів натовпу та вибору потрібного варіанту, оцінки результатів моделювання. Для цього необхідно здійснити кілька “прогонів” моделі і отримати чіткі кластери натовпу, що повторюється в кожному черговому циклі роботи програми (рис. 2).



Рис. 2. Результати моделювання після закінчення чергового циклу роботи програми. Сформовано два чіткі кластери натовпу

Основні гіпотези та допущення, які прийняті при моделюванні дій натовпу:

1. Завчасно відомий склад натовпу, що бере участь у масових заходах, та його початкове розташування на місцевості.
2. Завчасно відомі напрямки дій натовпу.
3. Процеси управління натовпом, що відображаються в моделі, обмежені отриманням даних про натовп, про обстановку, що склалася, та обробленням цих даних.

Дана модель сформована у вигляді кількох реляційних таблиць, що зберігаються в базі даних ГІС Національної гвардії (НГ) України під назвою “Інструмент”.

Модель містить:

1. Таблицю MDL3_CITIZ з характеристиками натовпу, параметрами кожного агента.

2. Таблицю MDL3_SYSTEM з загальними параметрами моделювання, розміром зони моделювання, растровою картою місцевості, для якої створюють модель, даними про погодні умови та умови освітлення тощо.

3. Таблицю MDL3_TARGET цільових точок, до яких будуть рухатись агенти в натовпі (окремі групи в моделі можуть мати різні цільові точки на карті).

4. Таблицю MDL3_ENVIR, що містить дані про нерухомі об'єкти та забудови, які складають навколишнє середовище та прив'язуються до електронної карти.

Масив даних електронної карти моделі будується за допомогою створення найпростішої карти за даними з чотирьох наведених вище таблиць.

Результати моделювання відображаються на екрані монітору і зберігаються у вигляді окремої моделі в реляційних таблицях ГІС НГ України “Ін-

струмент”, та у подальшому використовуються при відпрацюванні завдань.

Збережена модель може бути знову відкрита та відтворена (рис. 3).

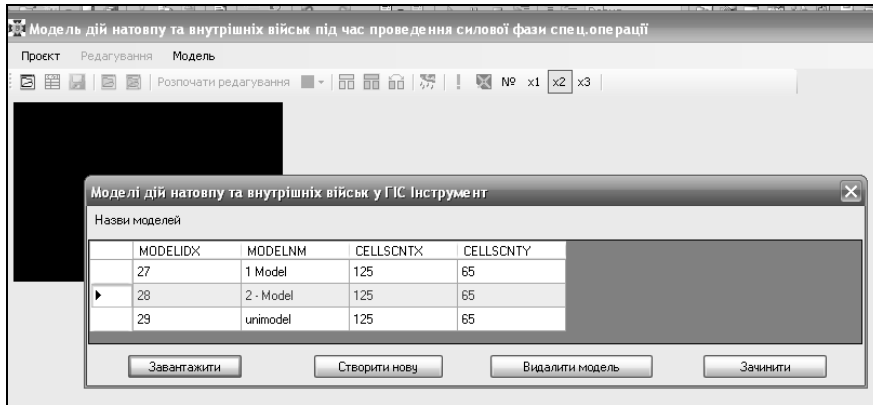


Рис. 3. Вибір із списку бази даних ГІС НГ України “Інструмент” та відкриття моделі дій натовпу

Показниками, значення яких одержують під час моделювання дій натовпу, можуть бути:

- кількість створених кластерів натовпу, їх форма і взаємне розташування;
- щільність створених кластерів натовпу;
- взаємне розташування центрів кластерів натовпу;
- чисельність та склад створених кластерів натовпу;
- чисельність поранень та пошкоджень у результаті дій натовпу;
- час досягнення натовпом цільових точок;
- напрямки переміщення груп натовпу;
- відсоток агресивних та активних індивідів у кожному кластері натовпу.

На практиці, щодо підходу до розрахунку оптимального напрямку переміщення, пропонується спрощений але більш швидкий алгоритм. Його сутність полягає в тому, що на першому етапі розраховуються косинуси кутів у напрямках до цільової точки для кожного осередку плаваючого вікна розміром 3×3 клітинки. Зрозуміло, що максимальне позитивне значення косинусу буде знайдено для осередку, який найбільш близько відповідає напрямку до цільової точки. Але у більшості випадків це значення косинусу буде меншим ніж 1. У протилежному від цільової точки напрямку косинус кута, що розрахований, буде мати негативне значення (яке також може не досягати величини -1). Область визначення для напрямків, що розраховуються, відповідає інтервалу $[0; 2\pi]$.

У моделі активний, але не агресивний агент більш завзято переміщується до цільової точки. Притому він майже не намагається витиснути іншого агента і в більшості випадків тільки шукає іншу, незайняту клітинку для переміщення. Навпаки – агресивний агент створює тиск та передає його по ланцюжку уздовж напрямку свого переміщення.

Якщо активність та агресивність групи агентів визначається випадковими значеннями (рис. 1), то імітаційне моделювання руху натовпу стає більш реалістичним. У той же час за допомогою моделі є можливість відобразити групи агентів з великим або малим показником агресивності і активності (агресивні кластери натовпу). Також, під час моделювання тиску, обов’язково потрібно враховувати стать та вагу агента. У моделі (рис. 1) є можливість обирати три типових значення ваги, встановлювати чоловічу або жіночу стать для агента будь-якого фрагменту натовпу, або моделювати випадкові значення цих параметрів.

Особливої уваги потребує моделювання траєкторії руху як окремого агента, так і кластера, елементи якого спрямовані на досягнення визначеної цільової точки на карті. Траєкторія руху окремого елемента на карті може бути визначена за допомогою опорних точок. Параметри, що обмежують напрямки руху такого елемента, можуть встановлюватися за допомогою векторних шарів електронної карти міста. Наприклад, якщо рух натовпу відбувається уздовж деякої вулиці, то елементи кластера фактично рухаються в одновимірній локальній системі координат у прямому чи зворотному напрямку. Якщо на карті визначено ширину вулиці, то до вектору руху додається друга компонента, довжина якої втім обмежена будівлями з обох сторін вулиці. Опорні точки (вузли) переміщення елемента можуть бути з’єднані послідовно або прямою лінією. Але для збільшення адекватності моделі може бути застосовано з’єднання вузлів за допомогою В-сплайнів (рис. 4).

Вибір В-сплайнів [11] для моделювання траєкторії руху суттєво ускладнює розрахунок проміжних точок, що знаходяться між парою опорних вузлів. Під час відображення на екрані монітору одночасного руху багатьох елементів це може призвести до обмеження ресурсів графічного процесору.

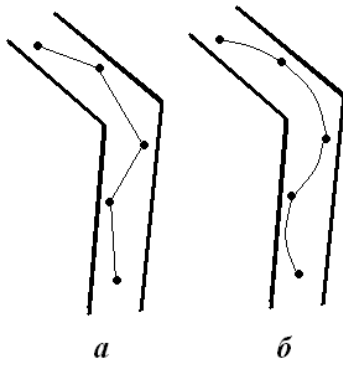


Рис. 4. Моделювання форми переміщення елемента натовпу удовж вулиці:
а – за допомогою прямолінійних сегментів;
б – за допомогою В-сплайнів

Висновки

Комплексна модель дій натовпу, що розробляється для електронних карт міста, повинна враховувати не тільки загальні дії натовпу під час масових заходів, а й погодні умови під час проведення масового заходу, що можуть негативно вплинути на хід подій, також надавати можливість досліджувати поведінку натовпу в цілому, взаємодію індивідів натовпу між собою та з іншими об'єктами навколишнього середовища. Але таке питання виходить за межі розгляду цієї статті. Проведений аналіз показує, що для відображення таких різномірних дій у єдиному операційному просторі моделювання доцільним стає використання мультиагентних технологій.

Наведені методи та підходи до реалізації такої моделі можуть скласти основу розроблення необхідного математичного та програмного забезпечення для дослідження можливої поведінки натовпу при масових заходах, ймовірні варіанти їх дій, що надасть можливість передбачати розвиток подій у цілому, прогнозувати можливий характер дій натовпу, оцінювати можливості натовпу і на цій основі знаходити раціональні варіанти дій у відповідь.

Список літератури

1. Предтеченский В.М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков [Текст]:

учеб. пособие для вузов / В.М. Предтеченский, А.И. Мулинский. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Стройиздат, 1979. – 376 с.

2. Гребенников Р.В. Модель поведения толпы на основе локальных потенциальных полей [Текст] / Р.В. Гребенников // Интеллектуальные информационные системы: Вестн. Воронеж. гос. ун-та. – 2009. – Вып. 1. – С. 46-50.

3. Гребенников Р.В. Обзор классических методов моделирования поведения толпы [Текст] / Р.В. Гребенников // Межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж: ВГТУ, 2010. – С. 50-53.

4. Розанова Л.В. Моделювання дій натовпу для дослідження силової фази спеціальної операції з припинення масових заворушень // Г.А. Дробаха, Л.В. Розанова // Честь і закон: науковий журнал. – Х.: А ВВ МВС України, 2013. – Вип. 2. – С. 74-81.

5. Розанова Л.В. Імітаційне моделювання дій натовпу у задачах дослідження його поведінки під час проведення масових заходів // Л.В. Розанова, Г.А. Дробаха, В.Е. Лисицин // Збір. наук. праць. – Х.: А ВВ МВС України, 2013. – Вип. 2. – С. 31-40.

6. Гребенников Р.В. Обзор ADPLV и графоаналитического методов моделирования толпы [Текст] / Р.В. Гребенников // Межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж: ВГТУ, 2010. – С. 210-214.

7. Гребенников Р.В. Способы оценки эффективности различных моделей поведения толпы [Текст] / Р.В. Гребенников // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. – 2010. – Вып. № 1. – С. 126-129.

8. Гребенников Р.В. Моделирование поведения толпы с использованием локальных скалярных полей: дис.... канд. техн. наук / Гребенников Р.В. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2011. – 113 с.

9. Розанова Л.В. Методи і засоби інформаційно-аналітичного забезпечення прийняття рішення командиром військової частини внутрішніх військ на участь у спеціальній операції з ліквідації масових заворушень: дис. ... канд. техн. наук: 21.07.05 / Л.В. Розанова. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2014. – 321 с.

10. Reynolds C.W. (1987). Flocks, herds and Schools: A distributed behavioral model. Computer Graphics 21 (4) SIGGRAPH'87 conference proceedings, 25-34.

11. Пэрент Р. Компьютерная анимация. Теория и алгоритмы [Текст] / Р. Пэрент; КУДИЦ-ОБРАЗ. – М., 2004. – 554 с.

Надійшла до редколегії 30.09.2014

Рецензент: д-р військ. наук, проф. М.О. Єрмошин, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЙ ТОЛПЫ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Г.А. Дробаха, Л.В. Розанова, В.Э. Лисицин, В.А. Музычук

Рассмотрены методы моделирования действий толпы, определены их недостатки. Предложен подход к построению модели действий толпы во время массовых мероприятий с применением мультиагентных технологий, реализованных для электронных карт города с целью исследования поведения толпы при взаимодействии ее элементов между собой и с объектами окружающей среды.

Ключевые слова: мультиагентный метод, моделирование действий толпы, геоинформационные системы.

COMPLEX MODEL OF CROWD ACTIVITY DURING THE MASS ACTIONS

G.A. Drobaha, L.V. Rozanova, V.E. Lisitsin, V.A. Muzichuk

The methods for modeling of crowd activity are revealed, defined by their imperfections. An approach to the modeling of crowd activity during mass actions is proposed on the base of multi-agent technologies that implemented for digital maps of the city with the aim of investigating the behavior of the crowd in the interaction of its members with each other and with environmental objects.

Keywords: multi-agent method, design of actions of crowd, geographical information systems.