



Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра електронних обчислювальних машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Кіму Андрію Валерійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модель патрулювання в міських умовах «S-bots» - systems

затверджена наказом по університету від “ 24 ” жовтня 2022 р. № 178Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 13 грудня 2022р.

3. Вхідні дані до роботи 1) провести дослідження - математичної моделі нейронної мережі Хопфилда; 2) провести огляд існуючих методів патрулювання; 3) провести огляд існуючих алгоритмів напрямку руху; 4) провести огляд алгоритмів пост-обробки вхідної інформації побудови карти території патрулювання в міських умовах «S-bots» - systems.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

1) огляд літератури за темою роботи;

2) аналіз предметної області;

3) вибір та обґрунтування методики дослідження;

4) проведення експериментальних досліджень;

5) висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) \_\_\_\_\_

Слайд-презентація – 20 слайдів \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою роботи	25.10.22 - 11.11. 22	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	13.11. 22 - 18.04. 22	
3	Вибір інструментальних засобів	19.11. 22 - 28.11. 22	
4	Проведення експериментів	29.11. 22 - 02.12. 22	
5	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	03.12. 22 - 06.12. 22	
6	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	07. 12. 22 - 08.12. 22	
7	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	09.12. 22 - 12.12. 22	

Дата видачі завдання 24 жовтня 2022 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

доц. Токарєв В.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 59 с., 25 рис., 1 дод., 14 джерел.

НАВІГАЦІЯ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, «SWARM-BOT» SYSTEMS, WI-FI.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження моделі патрулювання в міських умовах «S-bots» - systems.

Досліджено математичну модель планування траєкторії руху у міських умовах «S-bots» - systems на базі нейронної мережі Хопфілда, що діє у двовимірному робочому просторі з перешкодами. Завдяки новим алгоритмам функціонування нейромережі та конструктора шляху, ця модель дозволяє формувати неконфліктні та близькі до найкоротших траєкторії руху для «S-bots» - systems, а також забезпечує оперативне реагування «s-bots» при виявленні нових перешкод у процесі руху по заданій траєкторії.

## ABSTRACT

Master's thesis: 59 pages, 25 figures, 1 appendices, 14 sources.

NAVIGATION, NEURAL NETWORK, «SWARM-BOT» SYSTEMS, WI-FI.

The purpose of the qualification work is to study the model of patrolling in urban conditions «S-bots» - systems.

The mathematical model of planning the trajectory of movement in the risky "S-bots" - systems has been studied. Thanks to new algorithms for the functioning of the neural network and the path constructor, this model allows you to form non-conflicting and close to the shortest trajectory for "S-bots" - systems, and also provides prompt response of "s-bots" when new obstacles are detected in the process of moving along a given trajectory.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП .....	8
1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ АЛГОРИТМІВ ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЦЕВОСТІ .....	10
1.1 Критерії оцінки ефективності патрулювання .....	13
1.2 Огляд існуючих методів патрулювання .....	14
1.3 Архітектура зберігання даних.....	29
1.3.1 Одиниця даних «поза».....	29
1.3.2 Одиниця даних «орієнтири» .....	29
1.3.3 Одиниця даних «замикаючі ребра».....	30
2 ПОБУДУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ «S-BOTS» - SYSTEMS.....	32
2.1 Розробка траєкторії руху мобільних s-bots за допомогою нейронної карти .....	32
2.2 Структура «нейронної мережі Хопфілда».....	34
2.3 Математична модель «нейронної мережі Хопфілда» .....	37
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАНУВАННЯ РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ «S-BOTS» - SYSTEMS .....	40
3.1 Процес активації та стан рівноваги мережі.....	40
ВИСНОВКИ.....	45
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	46
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	49

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ  
І ТЕРМІНІВ

ААУ – адаптивне автономне управління

БЗ – база знань

ІР – ідентифікатор регіону

МСО – мережа, яка самоорганізується

НМ – нейронна мережа

ТД – туман дій

УІД – унікальний ідентифікатор

## ВСТУП

В даний час автономні наземні та літальні «S-bots» - systems широко використовуються для різних завдань, які традиційно вирішувалися за допомогою людських ресурсів.:

- розвідка;
- побудови карти місцевості;
- патрулювання;
- відео- та фото-зйомки;
- доставки або перенесення вантажів, у тому числі у сценаріях, де робота людини може становити небезпеку (шахти, рятувальні операції тощо).

Для вирішення описаних вище завдань «s-bots» повинні ефективно вирішувати безліч більш простих підзадач:

- будувати карту місцевості та визначати власне становище на території;
- збирати та обробляти інформацію з використанням систем технічного зору, ехолокації та вибирати маршрути, за якими необхідно збирати на даний момент інформацію.

Раніше розробка цих алгоритмів здійснювалася для випадку одного «s-bot». В даний час стає популярним використання «S-bots» - systems для дослідження та патрулювання території, оскільки використання кількох «s-bots» дозволяє підвищити швидкість дослідження заданої території. Однак, розподілене картування, організація руху та інші завдання, що виникають при використанні кількох «s-bots», досліджені помітно гірше, ніж їх аналоги для випадку одного «s-bot». Також для ефективного колективного функціонування необхідно розробити алгоритми, що керують «S-bots» - systems та регламентують обмін та обробку інформації між «s-bots».

Невід'ємною частиною завдання дослідження території є картування території. У сучасних «S-bots» - systems завдання картування та локалізації «s-

bot» тісно пов'язані і зазвичай вирішуються разом у рамках завдання SLAM (англ. - Simultaneous Localization And Mapping). SLAM є алгоритмічною обчислювальною задачею побудови і оновлення мапи невідомого оточення з одночасним відстежуванням місцеположення рухаючись по ньому.

Задача SLAM для «s-bots» вивчена помітно гірше, ніж для випадку «s-bot». Інформація, яку збирає «s-bot», залежить від маршруту його руху, оскільки сенсори «s-bot» мають обмежену дальність. Для ефективного використання «s-bots» необхідні алгоритми руху, відмінні від алгоритмів, що використовуються при застосуванні «s-bot».

Таким чином, побудова моделей та розробка алгоритмів для дослідження та патрулювання мінливої місцевості «S-bots» - systems з обмеженим обсягом пам'яті є актуальним завданням.

## 1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ АЛГОРИТМІВ ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЦЕВОСТІ

У процесі роботи автономні «s-bots» повинні вирішувати безліч завдань:

- визначення свого становища;
- збирання та інтерпретації інформації про навколишнє середовище;
- вибору напрямку руху та управління актуаторами для виконання маневрів.

Для орієнтації в навколишньому світі та збору інформації «s-bots» використовують різні сенсори. Дані сенсорів знімаються або перетворюються на цифровий вигляд, в якому «s-bots» можуть їх обробляти з використанням різних алгоритмів. Найчастіше наземні «s-bots» використовують наступні датчики:

- цифрові камери;
- сонари – ультразвукові датчики вимірювання відстані;
- датчики інерційної навігаційної системи: гіроскоп, акселерометр, магнетометр та ін;
- датчики кута повороту коліс;
- лазерні датчики виміру відстані (лідари).

Для тестування алгоритмів, які застосовувалися у кваліфікаційній роботі, використовувався прототип наземного «s-bot». Основними функціями таких взаємодіючих «s-bots» є дослідження та патрулювання заданої території.

На рисунку 1.1 наведено прототип «s-bot» для дослідження та патрулювання заданої території.

Прототип оснащений стереопарою на базі цифрових камер Imaging Source DFK 23U445 з ширококутними об'єктивами (140°), роздільною здатністю 1280x960 та максимальною частотою кадрів – 30 в секунду, 6-ма сонарами LV-MaxSonar-EZ1, інерційною навігаційною системою на основі чіпа CMPS11. Для доступу до мережі використовується WiFi адаптер D-Link DWA-126.



Рисунок 1.1 – Прототип наземного «s-bot»

На багатьох прототипах наземних «s-bots» використовується набір датчиків, сонарів, стереопари та інерційні навігаційні системи. Такий набір дозволяє отримати достатню для функціонування «s-bot» інформацію без використання дорогого лазерного далекоміра.

Розглянемо коротко моделі отримання цифрових даних з використанням датчиків, встановлених нашим «s-bot». Схема роботи камери наведена на рисунку 1.2. Використовується наступна модель отримання цифрового зображення за допомогою камери:

- камера здійснює центральну проекцію навколишнього світу на площину фотоматриці;
- елементи матриці вимірюють освітленість кожного з пікселів;
- отриманий на матриці сигнал дискретизується по простору та яскравості проекції.

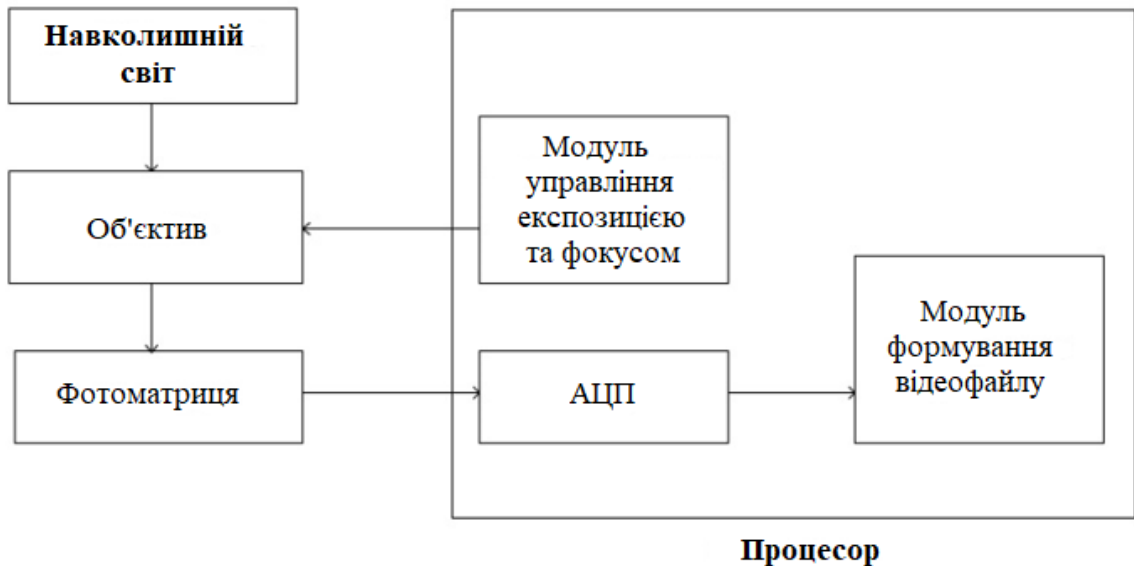


Рисунок 1.2 – Схема роботи цифрової камери

Значення освітленості в різний час доби може значно змінюватись (від 17000 у сонячний день до 30 у сутінках). Крім того, в процесі руху «s-bot» може відвідувати ділянки території, які освітлені по-різному. Тому потрібна система, що здійснює автоматичний контроль експозиції. Експозиція дорівнює добутку освітленості (регулюється діафрагмою) та витримки (часу, протягом якого світло потрапляє на матрицю при знятті одного кадру). Регулювання діафрагми є доцільним, оскільки дозволяє уникнути передчасного вигорання пікселів матриці камери.

Принцип роботи сонарів полягає у створенні ультразвукової хвилі, яка відбивається від перешкод, що знаходяться в промені сонара. Сонар вимірює час між випромінюванням і прийомом хвилі і обчислює відстань до перешкоди (вважаючи відомим швидкість звуку в повітрі). Потім відбувається оцифрування отриманої величини.

Електронні гіроскопи, що вимірюють прискорення, можуть працювати на різних принципах (рисунок 1.3).

Одним із основних є використання конденсатора зі змінною ємністю. На рисунку 1.3 наведено приклад: при прискоренні по осі ОХ вантаж стискає обклашки конденсатора, збільшуючи його ємність.

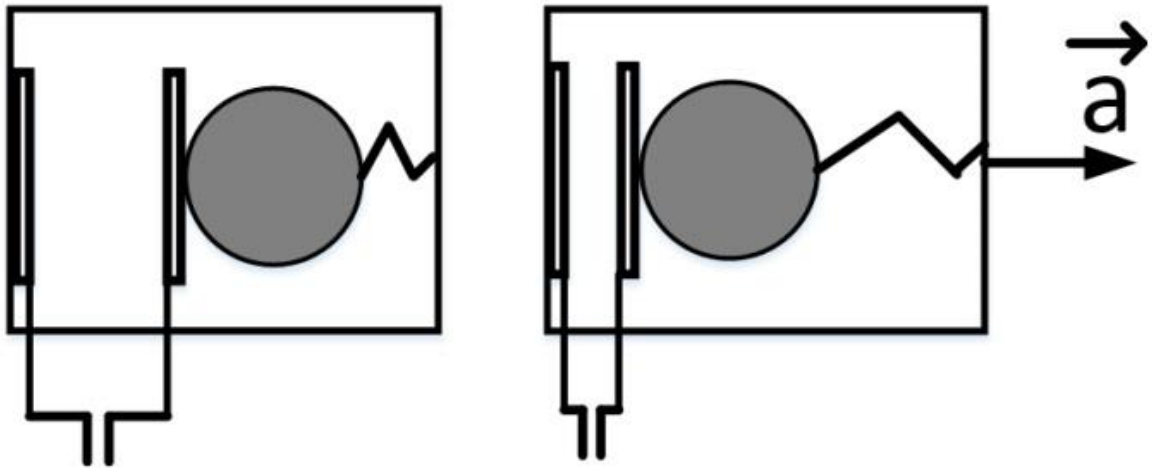


Рисунок 1.3 – Схема роботи електронного гіроскопа

Датчики повороту коліс зчитують кількість обертів, які здійснили колеса «s-bot» навколо осі обертання і дозволяють розрахувати відстань, яку «s-bot» проїхав (не враховуючи прослизання). Також вони дозволяють визначати кути повороту коліс в інших площинах.

### 1.1 Критерії оцінки ефективності патрулювання

Сформулюємо критерій ефективності патрулювання. Назвемо  $ТД(X)$  – «туманом дій» у точці  $X$  території, що патрулюється, час, що минув з моменту останнього спостереження за точкою  $X$ , цієї території яким-небудь із «s-bot». Часто з метою оцінки ефективності патрулювання вимірюють середнє значення  $ТД(X)$  по всіх точках карти під час патрулювання. Додатково до цього критерію можуть вводитися додаткові вимоги, наприклад, щоб у кожний момент патрулювання будь-яка точка карти повинна бути досяжна хоча б одним із «s-bot» за певний час.

У кваліфікаційній роботі пропонується використовувати альтернативний, більш рідко використовуваний критерій вимірювання ефективності патрулювання.

Нехай:

$$MTD(t) = \max_{x \in T} TД(x), \quad (1.1)$$

де  $MTD(t)$  – максимальне значення туману дій серед усіх точок території на момент часу  $t$ . Тоді в якості критерія використовується середнє значення  $MTD(t)$  за час патрулювання. Показано, що в середньому для більшості методів патрулювання існує статистична залежність між середніми значеннями та часом патрулювання.

## 1.2 Огляд існуючих методів патрулювання

Патрулювання – є завданням організації руху «s-bot» так, щоб за кожною точкою території відбувалося періодичне спостереження (рисунок 1.4). Ефективний алгоритм патрулювання може бути використаний у багатьох додатках «S-bots» - systems, наприклад, при картуванні території, що змінюється, «s-bot» необхідно постійно відвідувати всі місця на карті, щоб оперативно виявляти зміни. Для завдання виявлення об'єкта «s-bost» необхідно рівномірно розподілитися по території та відвідати всі точки, не залишаючи необстежених ділянок. «S-bots» можуть справлятися із завданням патрулювання ефективніше «s-bot», однак, для досягнення дійсно високої ефективності руху «s-bots» треба координувати їхні дії, (наприклад, «s-bots» не повинні досліджувати одну і ту ж частину території, а повинні бути розподілені по карті досить рівномірно.

Одним із рішень є централізоване управління «s-bots». Подібне управління може забезпечувати більш ефективний рух і дозволяє проводити розрахунок оптимальних напрямків руху в єдиному центрі, який має великі обчислювальні потужності, проте він вразливий:

- по-перше, у разі втрати зв'язку з центром управління «s-bot» не володітиме алгоритмом дій;

- по-друге, система з центральним координатором уразлива до його поломки або злому.



Рисунок 1.4 – Приклад патрулювання території селища «s-bot»

Часто в літературі проводиться поділ методів патрулювання на методи, призначені для роботи в приміщеннях та поза приміщеннями.

Формалізуємо цей поділ. Будемо називати територію закритою, якщо вона природно розбивається на граф, вершини якого відповідають ділянкам карти, повністю доступним для одного з «s-bot» у разі його знаходження на цій території, і якщо територія містить безліч вузьких проходів, які «s-bot» використовує для руху (подібні проходи відповідають ребрам графа). Приклад закритої території є, наприклад, офісне приміщення, для якого відвідування будь-якої точки кімнати достатньо для спостереження всієї кімнати.



Рисунок 1.5 – Приклад закритої території в офісі

Кімнати приміщення у такому графі відповідають вершинам, дверні проходи та коридори – ребрам. В іншому випадку (коли територія не розбивається природним чином на граф) називатимемо відкритою територію (рисунок 1.6).

Більшість приміщень є закритою територією, а більшість територій, розташованих поза приміщеннями – відкритою. Однак існують і протилежні приклади: наприклад, велика зала, розміри якої помітно більші за дальність дії сенсорів «s-bot», є прикладом відкритої території усередині приміщення. Вузькі вулиці є прикладом закритої території поза приміщенням (перехрестя є вершинами графа, а вулиці - ребрами) (рисунок 1.7).



Рисунок 1.6 – Приклад відкритої території поза офісом



Рисунок 1.7 – Приклад закритої території поза офісом

Організація патрулювання на закритій території є значно простішим завданням порівняно з відкритою територією. Причина полягає в тому, що патрулювання закритої території фактично полягає у русі за графом (і відвідуючи вершину графа, «s-bot» проводить спостереження за всіма точками території, що відповідають вершині), тоді як на відкритій території допустимі напрями руху практично не обмежені. Однак основні ідеї, що використовуються для організації патрулювання, є схожими.

Одним із основних підходів до організації патрулювання на закритій території є знаходження такого маршруту на графі, який проходить через усі вершини, знаходження відповідного маршруту на території та патрулювання «s-bots», рівномірно розподіленими за маршрутом (рисунок 1.8).

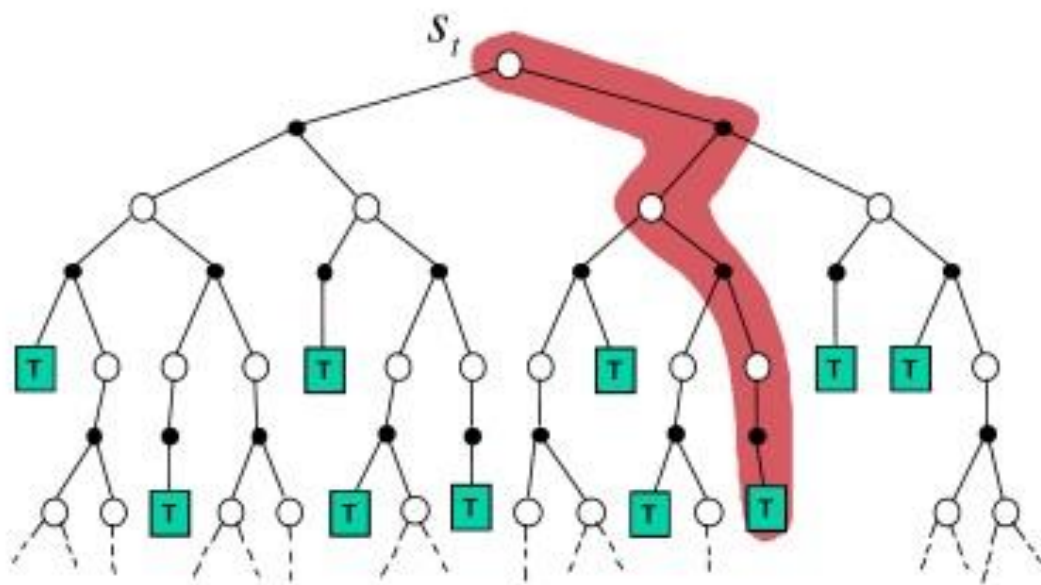


Рисунок 1.8 – Приклад знаходження маршруту на графі

Проблемою даного методу є повна передбачуваність у поведінці «s-bots». Спостерігаючи за «s-bots» зловмисник може визначити маршрут їх руху і спланувати непомічене проникнення. Крім того, алгоритм є нестійким до виходу з ладу одного (або більше) «s-bots»:

- по-перше, при цьому порушиться рівномірність розподілу «s-bots» за маршрутом;

- по-друге, якщо поломка відбудеться у вузькому проході, інші «s-bots» взагалі не зможуть продовжити патрулювання.

Замість циклічного руху «s-bots» по всій території існує інший спосіб організувати патрулювання. Для цього будується аналогічний граф території, після чого граф розбивається на підграфи (що відповідають локальним ділянкам території). «S-bots» розподіляються між ділянками території, що відповідають підграфам, і кожен патрулює відведену йому ділянку. Подібний алгоритм може бути доповнений та узагальнений на випадок відкритих областей. Область патрулювання «s-bot» також ділиться на ділянки, і всередині кожної ділянки патрулювання здійснюється за деяким алгоритмом.

Такий алгоритм привабливий тим, що дозволяє повністю уникнути ситуацій, коли кілька s-bots здійснюють рух по одній і тій же частині території (даний сценарій поганий тим, що деякі точки території, що патрулюється кількома s-bots, відвідуються занадто часто). При його використанні «s-bots» завжди досить рівномірно розподілені по карті місцевості. Необхідно також зазначити, що даний алгоритм може бути дуже ефективно масштабований, тобто його ефективність слабко падає зі збільшенням території патрулювання та числа патрулюючих «s-bots». Однак цей алгоритм має і недоліки:

- по-перше, він також досить передбачуваний («s-bots» не залишають відведених їм ділянок);

- по-друге, хоча вихід з ладу одного з «s-bot» не порушує процесу патрулювання інших, при поломці «s-bot» відведена йому територія залишиться непатрульованою;

- по-третє, при додаванні нового «s-bot» йому не буде відведено території для патрулювання.

Тому подібний алгоритм має бути доповнений алгоритмом, який динамічно здійснює розбиття території, що патрулюється, на підтериторію. За відсутності єдиного центру управління реалізація такого алгоритму може бути досить складною.

Описані вище алгоритми мають спільну рису. При використанні цих

алгоритмів рішення про напрям руху «s-bot» у кожний момент часу визначено ще до початку патрулювання. Таким чином, «s-bots» не мають можливості дуже швидко зреагувати на те, що відбувається на території патрулювання. Очевидно, що алгоритм, здатний реагувати на такі події як:

- поломку «s-bot»;
- додавання нових «s-bots»;
- непередбачена зміна території патрулювання, має динамічно визначати напрямки руху для кожного з «s-bot», виходячи з поточної ситуації..

Проведемо огляд таких алгоритмів.

Алгоритм заснований на методі «нейронна мережа Хопфілда» (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Метод «нейронна мережа Хопфілда»

Джон Хопфілд зробив великий внесок у розробку теорії та моделей рекурентних НМ, також їм була запропонована загальна модель мережі зі зворотними зв'язками, яка отримала загальноприйнятну назву нейронна мережа Хопфілда.

Дискретна нейронна мережа Хопфілда є шаром нейронів, вхідні сигнали яких – це зважена сума зовнішніх сигналів ( $I$ ) і сигналів зворотних зв'язків інших нейронів в мережі.

Вхідні сигнали нейронів піддаються нелінійній обробці за допомогою заданої функції (функції активації  $\Phi$ ) і далі (з деякою тимчасовою затримкою  $\Delta t$ ) знову надходять на входи нейронів, внаслідок чого вихідний сигнал нейронної мережі ( $H$ ) формується лише після того, як значення на виходах усіх нейронів стануть незмінними (стан «рівноваги»).

Таким чином, даний тип нейронної мережі моделює деякий стохастичний процес, кінцевий стан якого визначається вхідним вектором ( $Y$ ), елементи якого – це відповідні сигнали нейронів мережі.

Розглянемо повнозв'язкову нейронну мережу Хопфілда, де стан кожного  $i$ -го нейрона визначається його вихідним сигналом  $v_i$ , а функція активації  $\Phi_i$  може приймати значення  $\{0,1\}$ . Вихідний сигнал кожного нейрона  $H_i$  – це зважена сума сигналів інших нейронів  $v_j$  плюс величина вхідного сигналу  $I_i$ :

$$H_i = \sum_{j=1}^J w_{ij} v_j + I_i, \quad (1.2)$$

де  $w_{ij}$  вага синаптичного зв'язку, що з'єднує  $j$ -й нейрон з  $i$ -м нейроном.

Для даної моделі нейронної мережі значення  $w_{ij}$  є фіксованими для всіх  $i$  та  $j$ , а також симетричними, тобто  $w_{ij} = w_{ji}$ . Після подачі вхідного сигналу запускається процес активації нейронів мережі, протягом якого стан нейронів мережі кожен момент часу описується вектором:

$$Y(t) = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t)). \quad (1.3)$$

При цьому стан кожного нейрона на момент часу  $(t + 1)$  змінюється залежно від заданого граничного рівня активації  $S_i$  наступним чином:

$$v_i = \begin{cases} v_i(t+1)=0, & H_i(t) < S_i \\ v_i(t+1)=1, & H_i(t) > S_i \\ v_i(t+1)=v_i(t), & H_i(t) = S_i \end{cases} \quad (1.4)$$

Таким чином, система рівнянь (1.3) та (1.4) описує якийсь стохастичний процес зміни вектора стану нейронної системи  $Y(t)$  залежності від зовнішніх значень  $I_i$ .

Цей процес зрештою призводить систему до стану рівноваги, тобто до стану, коли виконується умова збіжності для всіх нейронів:

$$Y(t)=Y(t+1) \quad (1.5)$$

Подібний характер нейродинаміки в нейронній мережі з рекурентними зв'язками дозволяє використовувати дану нейросистему як «асоціативну пам'ять», тому що навіть часткова активація мережі (тобто еталонний вхідний сигнал отримує лише частину нейронів) поблизу одного зі стійких станів наводить її в цей же стійкий стан.

Варто також відзначити, що збіжність (стійкість) мережі гарантована, якщо матриця вагових коефіцієнтів  $W$  є симетричною і всі діагональні елементи дорівнюють нулю. Доказ збіжності може бути отриманий з аналізу «енергетичної» функції нейронної мережі, що розглядається.:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J w_{ij} v_i v_j - \sum_{i=1}^I I_i v_i + \sum_{i=1}^I S_i v_i, \quad (1.6)$$

де –  $E$  це значення функції стану  $E(v)$  мережі Хопфілда.

Ця величина може або зростати, або зберігати своє значення у процесі нейронної динаміки. Таким чином, енергетична функція  $E$  також є для нейронної системи функцією Ляпунова.

Виходячи з зазначених властивостей енергетичної функції нейронної мережі, що розглядається, можна зробити висновок, що довільна зміна стану нейрона в архітектурі нейронної мережі Хопфілда призводить до зменшення енергетичної функції всієї системи. Ця особливість нейронної мережі Хопфілда визначає її ключову властивість – здатність до самоорганізації. Ця властивість дозволяє застосовувати нейронну мережу такого типу для вирішення низки складних завдань, таких як:

- навчання підсистем розпізнавання ситуацій;
- управління рухом мобільних «s-bots» у реальному часі.

Алгоритм, заснований на методі «Торги на аукціонах» наведений на рисунку 1.10.

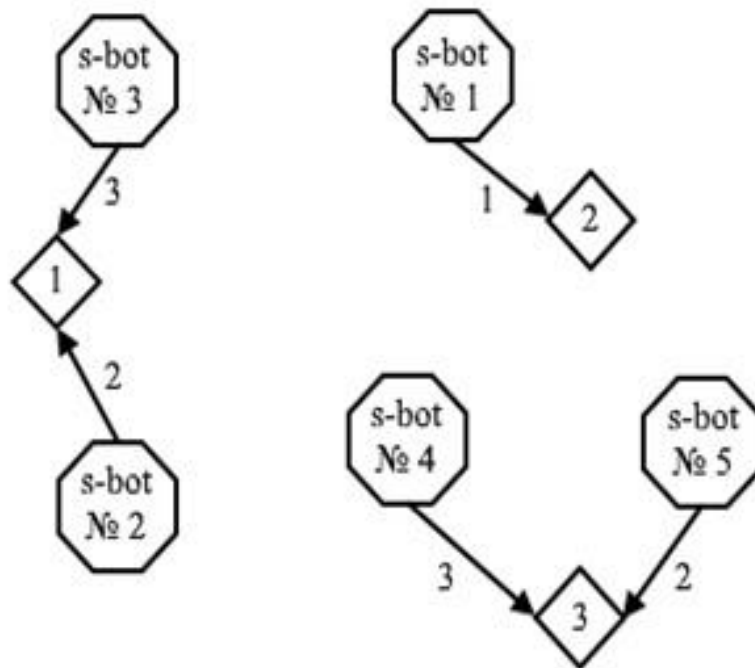


Рисунок 1.10 – Метод «Торги на аукціонах»

«S-bots», що беруть участь у патрулюванні:

- обмінюються повідомленнями;
- визначають точки, які потрібно відвідати;

- залежно від взаємного розташування, колективно розподіляють між собою ці точки.

Такий алгоритм складний та потребує постійної роботи радіозв'язку. Крім того, перехоплюючи повідомлення між «s-bots», злоумисник зможе заздалегідь передбачити їхні наміри.

Алгоритм, заснований на методі «Потенціалів», наведений на рисунку 1.11. Це принципово інший клас алгоритмів управління рухом «s-bots».

Суть цього методу полягає у введенні штучних сил, що діють на «s-bots» з боку різних об'єктів на карті місцевості:

- довільних точок території;
- перешкод;
- орієнтирів;
- пунктів збору.

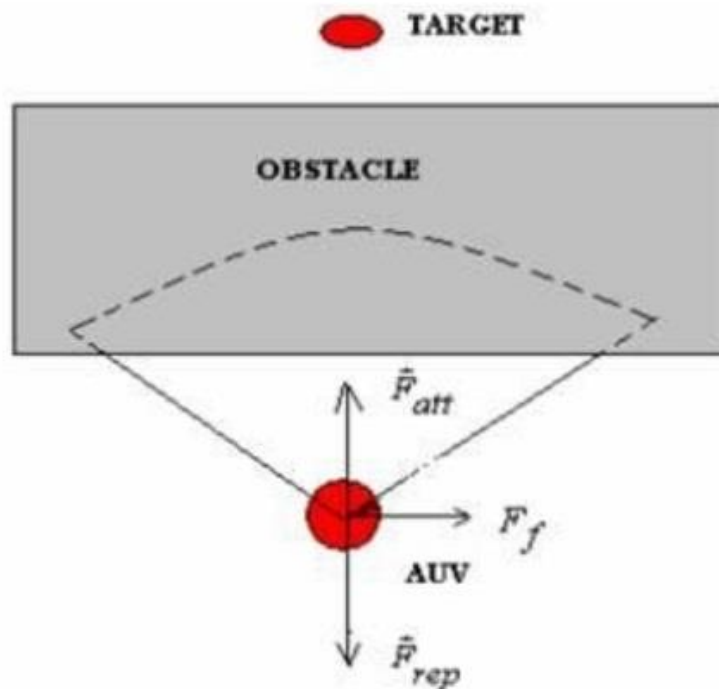


Рисунок 1.11 – Метод «Потенціалів»

Подібні штучні сили можуть бути як силами тяжіння, так і силами відштовхування. Рух кожного з «s-bots» визначається композицією сил, створюваних об'єктами на карті місцевості (при цьому можливі різні закони підсумовування сил та вибору напрямку руху залежно від результуючої сили). Оскільки положення «s-bot» і об'єктів може динамічно змінюватися, то сили, що діють на «s-bot», також будуть змінюватися. Отже, поведінка «s-bot» залежатиме від ситуації на навколишній території. Динамічне варіювання законів, за якими формуються сили, що діють на «s-bot», дозволяє досягати різних типів поведінки. У сучасній науковій літературі розглядається сценарій спільного руху «s-bots» з об'їздом перешкод при збереженні «s-bots» взаємного положення у просторі. Розглянуті вище методи використовуються для знаходження шляхів на території та для вирішення завдання уникнення перешкод. У наукових працях розглядаються завдання оточення об'єкта по периметру та розосередження по території для великої кількості «s-bots». Важливо відзначити, що алгоритми, що досліджуються в цій кваліфікаційній роботі, застосовуються для відкритих просторів. Деякі автори наукових публікацій пропонують ефективний спосіб патрулювання та «зачистки» закритих приміщень від загарбників. Для цього вони розбивають територію, що патрулюється, на ділянки і представляють їх у вигляді графа, після чого застосовують різні алгоритми на основі методів описаних вище. Наприклад, у одній науковій роботі завдання патрулювання місцевості мобільними «s-bots» вирішується методом «Потенціалів» на графі. У цій роботі запроваджується ключова ідея тяжіння «s-bots» до точок карти місцевості, які найдовше не було відвідано. В інших наукових публікаціях пропонується алгоритм патрулювання території «s-bots», заснований на методі «Віртуальний феромон», який випаровується з позицій, відвіданих «s-bots», і приваблює «s-bots» рухатися у бік найбільш довго не відвіданих позицій. Однак цей метод також спирається на графове уявлення території. На жаль, результати розглянутих наукових публікацій не можуть бути безпосередньо узагальнені на випадок патрулювання відкритої території, оскільки вона не може бути

легко представлена у вигляді графа (принаймні з малим числом зв'язків). У багатьох наукових статтях показано, що методи, які використовують уявлення місцевості у вигляді графа, показують низьку ефективність, якщо отриманий граф має велику кількість зв'язків. Така проблема може бути вирішена за рахунок використання великої кількості «s-bots» (десятки або сотні) і дуже щільного покриття території, проте подібний метод непридатний для використання у сценаріях, де кількість «s-bots» невелика. Таким чином, завдання патрулювання відкритої місцевості слабо освітлено у науковій літературі. Однак існує велика кількість вирішених завдань на основі методу "нейронної мережі Хопфілда". Використання та модифікація цих рішень може дозволити досить легко розробити алгоритм патрулювання та використовувати його для додавання алгоритмів поведінки, необхідних в інших сценаріях. Для розробки більш достовірних алгоритмів поведінки, заснованих на методі "нейронної мережі Хопфілда", сучасними «s-bots» використовуються показання різних датчиків:

- стереопари (з використанням щільних алгоритмів стереосустановлення);
- лазерного далекоміра;
- радара;
- сонара.

Сонари є найдешевшими датчиками з перелічених, а також здатні працювати в будь-яких погодних умовах. В даний час ведуться розробки алгоритмів побудови карти прохідності на основі даних сонарів. Недоліком таких карт є жорстка дискретизація простору, що викликає помилки при віднесенні точок до тієї чи іншої клітини, а також відсутність інформації про нормалі поверхонь. Подібними недоліками не володіють методи, що представляють перешкоди у вигляді геометричних фігур, у тому числі на основі знаходження прямих меж між зайнятими та незайнятими областями з використанням перетворення Хафа. Подібний підхід має два суттєві недоліки:

- він знаходить лише межі між зайнятими та незайнятими областями;

- він не здатний дати оцінку впевненості в отриманій карті (тобто ймовірнісний розподіл у просторі карт прохідності).

В даний час проводяться дослідження, що дозволяють об'єднати переваги обох підходів для розробки алгоритмів пост-обробки вхідної інформації та побудови максимально точної карти території. Існує безліч методів для побудови карток прохідності на основі даних, отриманих з ультразвукових датчиків вимірювання відстані (сонарів). Побудова подібних карт не є простим завданням, оскільки вимірювання сонарів піддаються до випадкових перешкод і викидного шуму. Також велика ширина променя сонара ускладнює відновлення карти. Одне й те саме показання сонара може бути отримано при різних конфігураціях оточуючих перешкод (рисунки 1.12 - 1.14), тобто показання сонара свідчить про наявність перешкоди не в деякому певному місці, а лише про наявність перешкоди в деякій, досить великій області.



Рисунок 1.12 – Приклад різних конфігурацій перешкод, які призводять до однакового показання сонара



Рисунок 1.13 – Приклад різних конфігурацій перешкод, що призводять до однакового показання сонара



Рисунок 1.14 – Приклад різних конфігурацій перешкод, що призводять до однакового показання сонара

Крім того, існують поверхні, які розсіюють сонарні промені, і поверхні, що відображають промені сонарів тільки під кутами, близькими до прямого, що ускладнює процес побудови карт. Для ефективного використання сонарів потрібні алгоритми, здатні компенсувати ці недоліки.

### 1.3 Архітектура зберігання даних

#### 1.3.1 Одиниця даних «поза»

«Пози» – містять інформацію про оточення біля певної точки території. Ця інформація включає локальні орієнтири та інформацію про прохідність найближчої місцевості, отриману методами технічного зору та ехолокації. Для опису положення орієнтирів усередині «поз» вводиться локальна система координат, точка відліку якої називається центром «поз». Зазвичай центр «поз» відповідає позиції «s-bot» в момент часу, коли були зняті вимірювання. Однак іноді відбувається об'єднання двох «поз», тоді у новій «поз» центр та позиції орієнтирів перераховуються. Тому в загальному випадку центр «поз» не відповідає позиції «s-bot» у певний момент часу.

Структура «поз»:

- унікальний ідентифікатор (УІД) «поз»;
- внутрішня система координат та оцінка позиції «поз» у глобальній системі координат;
- набір орієнтирів зі своїми координатами у внутрішній системі координат;
- карту прохідності ближньої території;
- ідентифікатор регіону (IP) – оцінка того, в якій частині території розташована «поз».

#### 1.3.2 Одиниця даних «орієнтири»

«Орієнтири» – це характерні об'єкти або точки на території. Кожна «поз» містить інформацію про «орієнтири», які розташовані поблизу цієї «поз». Щоб оцінити взаємне розташування «поз» «s-bots», порівнюються позиції «орієнтирів», які містяться в цих «позах» (тобто відбувається асоціювання даних). Тривимірні позиції «орієнтирів» зазвичай відновлюються

на основі алгоритмів стерео зіставлення з двох відеокамер. В якості «орієнтирів» використовують ключові точки, знайдені на кожному із зображень (знятих камерами). Далі використовуються дескриптори для зіставлення знайдених точок на зображеннях, і з допомогою епіполлярної геометрії відновлюється тривимірна позиція «орієнтира». При цьому передбачається, що стереопара, яка використана для роботи, ректифікована і лінія, що з'єднує камери, розташована паралельно до землі. Тому, при зіставленні точок, їх координати на зображенні повинні бути дуже близькі.

Структура орієнтиру:

- дескриптор – дозволяє розрізняти різні «орієнтири». Як правило, «орієнтир» виходить як відновлена тривимірна точка на основі двох знайдених ключових точок з кадрів лівої та правої камери. Дескриптор «орієнтира» вважається як середнє між дескрипторами точок на правому та лівому кадрі;

- надійність  $r$  – оцінка того, наскільки інформація про тривимірну позицію «орієнтира» та його дескриптора вірна та актуальна. Надійність приймає значення від 0 до 1, а початкове значення може дорівнювати 0.5 за замовчуванням, або отримано від алгоритму, який зіставляє ключові точки;

- тимчасова мітка – оцінка того, коли цей «орієнтир» спостерігався будь-яким із «s-bot» востаннє. Надійність та тимчасова мітка можуть бути змінені без зміни UID «поз», що містить «орієнтир».

### 1.3.3 Одиниця даних «замикаючі ребра»

За допомогою зіставлення «орієнтирів», можливе визначення взаємного становища «поз». Найпростіший випадок асоціювання даних наступний. Довільний «s-bot» їздить петлею, причому в міру руху він накопичує помилку в оцінці власного положення. Коли «s-bot» перетинає свою траєкторію, він може по візуальних «орієнтирах» виявити, що він уже знаходився в цій точці, розрахувати відносне зміщення і знищити помилку, що накопичилася за час руху.

Для знаходження асоціацій даних використовують спеціальні алгоритми. Структура замикаючого ребра:

- обов'язково UID «поз», з'єднаних рубом;
- ймовірнісна оцінка просторового перетворення між «позами» (зсув та поворот).

У цьому розділі проведено:

- огляд літератури на тематику кваліфікаційної роботи;
- описано розвиток алгоритмів картування місцевості;
- огляд існуючих алгоритмів патрулювання;
- описана область їх застосування;
- аналіз критеріїв ефективності патрулювання.

Показано, що розробка алгоритмів патрулювання територій мобільними «s-bots» на основі методу «нейронної мережі Хопфілда» є найефективнішим методом вирішення таких завдань..

## 2 ПОБУДУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ «S-BOTS» - SYSTEMS

У другому розділі проводиться аналіз системи розробки траєкторії руху мобільних «s-bots» за допомогою нейронної карти (для «s-bot»). На базі даної системи, виходячи з основних принципів групового управління, мобільними «s-bots» розробляються підходи до реалізації системи планування для «s-bots».

### 2.1 Розробка траєкторії руху мобільних s-bots за допомогою нейронної карти

Основна ідея методу планування руху мобільних «s-bots» за допомогою нейронної мережі Хопфілда полягає в тому, щоб використовувати нейронну карту як динамічне представлення двовимірного дискретного робочого простору. Таким чином, нейронна мережа, що використовується для вирішення задачі планування, матиме певну топологію, а кількість нейронів у мережі буде дорівнює кількості дискретних комірок робочого простору. Наприклад, нехай є деяке зовнішнє джерело інформації (локальна сенсорна система мобільного «s-bot» і т.д.), на підставі якої можна в межах заданої дискретизації визначити місце розташування мобільного «s-bot», розташування мети і перешкод. Тоді, використовуючи цю інформацію, можна сформувати вектор вхідних сигналів для даної нейронної мережі. Якщо якийсь із вхідних значень відмінно від нуля, то в мережі запускається процес активації, через прямі та зворотні зв'язки сигнал поширюється по всій нейронній мережі до тих пір, поки не буде досягнуто стану стійкості. Якщо вихідний вектор мережі у стані стійкості подати у вигляді матриці, розмірність якої збігається з топологічним поданням дискретного робочого простору

(тобто кількість елементів матриці збігається з кількістю дискретних комірок), то отримана матриця і буде «нейронною картою», яку надалі можна використовувати для розрахунку траєкторії руху «s-bots» до заданої мети. Для опису принципу роботи системи планування траєкторії руху мобільних «s-bots» на основі методу «нейронних карт», розглянемо мобільний s-bot, що знаходиться в двовимірному дискретному робочому просторі (С). Система планування траєкторії для мобільного «s-bot» складається з двох основних блоків.:

- нейронна карта;
- конструктор шляху.

Архітектура системи представлена на рисунку 2.1.

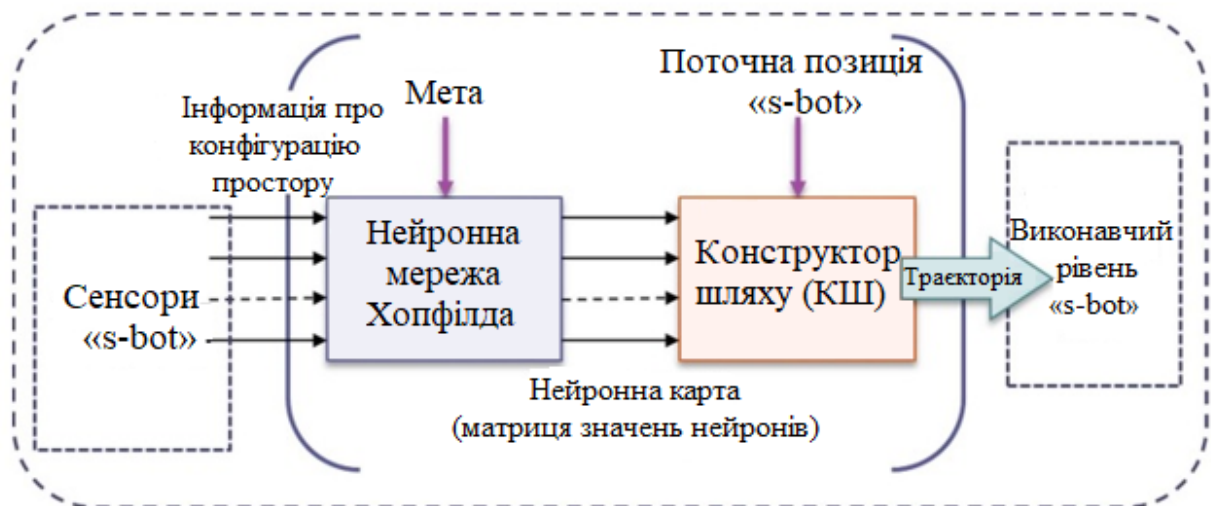


Рисунок 2.1 – Архітектура системи планування траєкторії руху мобільних «s-bots» на основі нейронної карти

Система працює за наступним алгоритмом:

- визначаються ціль та поточна позиція мобільних «s-bots»;
- на підставі сенсорної інформації про двовимірний дискретний робочий простір, визначається конфігурація робочого простору (розташування перешкод);

- формується вхідний сигнал для «нейронної мережі Хопфілда», при цьому вхідний сигнал нейрона, що відповідає цільовій комірці, буде більше 0 (точка активації);
- очікування завершення процесу активації;
- формування матриці вихідних сигналів (нейронна картка);
- нейронна карта подається на блок архітектора шляху;
- отримання кінцевої траєкторії руху мобільних «s-bots» до заданої мети.

Виходячи з того, що використовувана в системі «нейронна мережа Хопфілда» має властивість запам'ятовування образів («пам'ять»), сформовані нейронні карти можуть бути використані багаторазово і виступати як деяка база знань, на підставі якої система будуватиме або коригуватиме траєкторію в процесі руху агента (тобто «приймати рішення»). На основі цієї властивості можна також охарактеризувати систему як інтелектуальну. Також система, що розглядається, безсумнівно, буде відноситися до класу складних систем. На приналежність до цього класу вказує складність функціонування (поведінки) даної системи, що багато в чому визначається безліччю можливих станів «нейронної мережі Хопфілда» та нейродинамікою. Нейродинамічні процеси, у свою чергу, зумовлюються як особливостями структури базових обчислювальних елементів мережі (нейронів), так і структурною організацією всієї мережі (топологією).

## 2.2 Структура «нейронної мережі Хопфілда»

Для аналізованої у складі системи планування «нейронної мережі Хопфілда» нейрон  $i$  характеризується:

- вхідним вектором  $Y$ ;
- сигналом власного зворотного зв'язку  $v_{ij}$ ;

- вихідними сигналами зв'язаних нейронів  $v_{ijn}$ , де  $n$  - розмірність мережі;
- матрицею вагових коефіцієнтів  $W_i$ ;
- сумарним (мережевим) сигналом  $u_i$ ;
- функцією активації  $\Phi$ ;
- вхідним сигналом  $I_i$ ;
- власним вихідним сигналом стану  $v_{out}$ .

Власний вихідний сигнал нейрона  $v_i$  та вихідні сигнали  $v_{ijn}$  пов'язаних (зворотними зв'язками) з  $i$  нейроном, утворюють вхідний вектор сигналів  $Y$  який, у свою чергу, зважується матрицею вагових коефіцієнтів  $W_i$ , складається з вхідним сигналом (зміщенням)  $I_i$  та формує скаляр  $u_i$ , який проходить через нелінійну функцію активації  $\Phi$ :

$$u_i = W_i \times Y(t) + I_i(t) \quad (2.1)$$

Функція активації  $\Phi(u)$  визначає граничні значення сигналів нейронів  $i$ , отже, характер енергетичної взаємодії між усіма нейронами. Таким чином, саме ця функція багато в чому визначає безліч можливих станів мережі та, відповідно, збіжність. Якщо розглянути плоский робочий простір  $S$ , рівномірно розділений на  $n$  дискретних комірок, то відповідна «нейронна мережа Хопфілда» також складатиметься з  $n$  нейронів, рівномірно розподілених (образно) по центрах дискретних комірок даного простору. Кожен нейрон матиме зв'язки (як прямі, так і зворотні) лише з нейронами з суміжних комірок. Таким чином, мережа буде представляти собою упорядковану структуру у вигляді «решітки». Залежно від заданої геометричної форми дискретних комірок нейронна мережа матиме різну топологію (рисунок 2.2 та рисунок 2.3). Як видно з рисунків, кожен нейрон  $i$  взаємодіє лише із сусідніми в межах своєї підмножини («домена»)  $S_i$ . Ця особливість забезпечує «хвильовий» характер поширення сигналу в мережі.

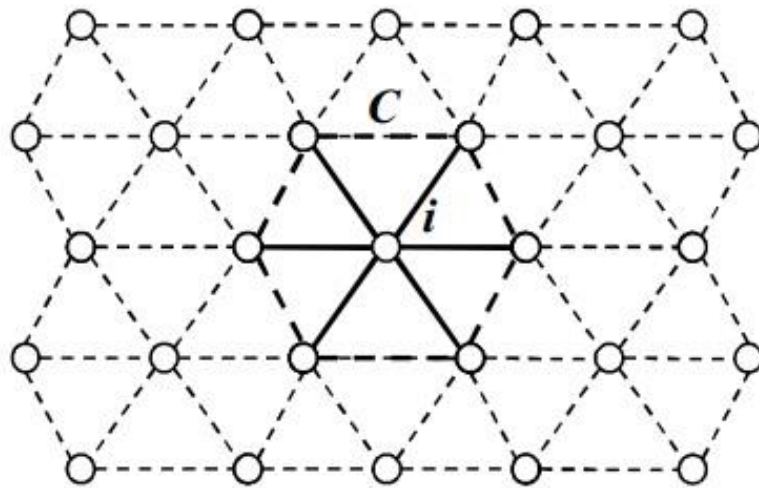


Рисунок 2.2 – Топологія мережі для 2-мірного простору – гексагональна

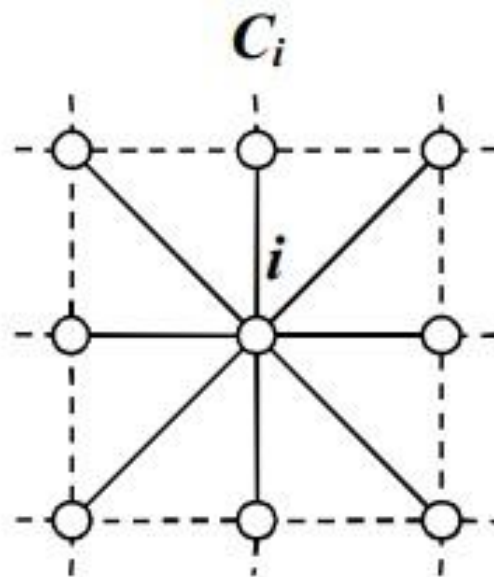


Рисунок 2.3 – Топологія мережі для 2-мірного простору - ортогональна

У кваліфікаційній роботі приймемо ортогональну дискретизацію робочого простору як основну. Таким чином, модель «нейронної мережі Хопфілда», що розглядається, буде також мати ортогональну топологію, де кожен «домен» складатиметься з дев'яти нейронів, центральний і 8 сусідніх відповідно (за 8-ми можливими напрямками руху).

### 2.3 Математична модель «нейронної мережі Хопфілда»

Виходячи з обраної топології, функція відстані між нейронами  $i$  та  $j$  в мережі, що описується, є функція евклідової відстані:

$$d(i, j) = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}, \quad (2.2)$$

де  $i$  та  $j$  – вектори станів  $i$ -го та  $j$ -го нейронів відповідно.

Доменна структура мережі гарантує, що кожен нейрон  $i$  з'єднаний лише з підмножиною сусідніх нейронів, утворюючи домен  $F_i$ , а кожна нейронна область  $F$  – тільки з підмножиною сусідніх нейронних областей. У межах домену значення ваги та «сусідство» для кожного нейрона визначає функція  $f(d)$ :

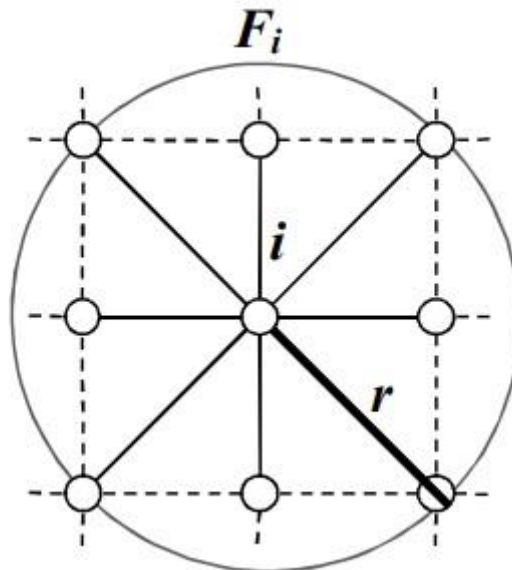
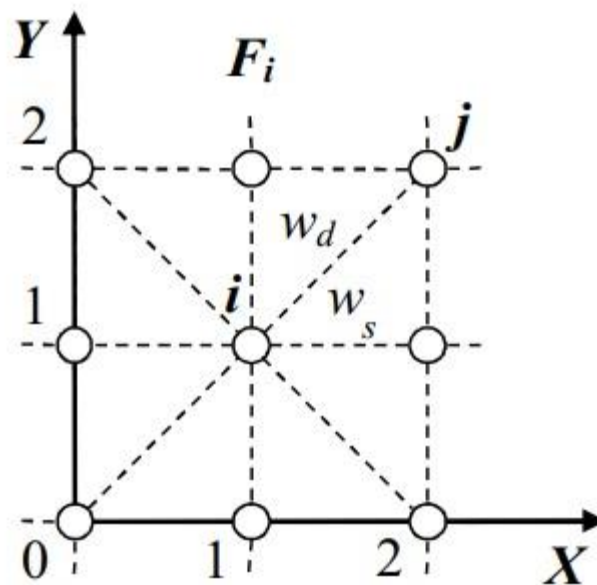
$$f(d) = \begin{cases} \frac{1}{d}, & 0 < d \leq r \\ 0, & d = 0 \vee d > r \end{cases}, \quad (2.3)$$

де  $r$  – радіус нейронної області  $F$ ;

$d$  – відстань між нейронами.

Вираз (2.3) визначає фізичний зміст нейронних зв'язків у нейронній мережі, що є топологічним уявленням дискретного робочого простору. Вагу нейронного зв'язку можна представити як «пропускну здатність» між двома нейронами у просторі. Чим більша відстань між цими нейронами, тим «пропускну здатність» (вага) зв'язку між ними менша.

Таким чином, для кожної пари нейронів у домені вага зв'язку обернено пропорційна відстані між ними. Розглянемо ортогональну нейронну область  $F_i$  у двовимірній системі координат та визначимо значення ваг зв'язків для сусідніх нейронів (рисунок 2.4. та рисунок 2.5).

Рисунок 2.4 – Нейронна область  $F_i$ Рисунок 2.5 – Нейронна область  $F$  у двовимірній системі координат

Прийmemo ваги для зв'язків прямої дії ( $w_s$ ) у межах нейронної області  $F$  рівними 1. Тоді, відповідно до (2.2)

$$d(i, j) = \sqrt{(1-2)^2 + (1-2)^2} = \sqrt{2} = 1.4142$$

А вага діагонального зв'язку ( $w_d$ ) по (2.3):

$$\frac{1}{1.4142} = 0.7071$$

Ваги, що виходять, симетричні для всіх  $i$  та  $j$  в межах підмножини  $F$ , тобто  $x(i, j) = x(j, i)$ .

### 3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАНУВАННЯ РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ «S-BOTS» - SYSTEMS

#### 3.1 Процес активації та стан рівноваги мережі

Для дослідження енергетичних взаємодій між нейронами в мережі побудуємо математичну модель аналізованої нейронної мережі Хопфілда зі 100 нейронів у системі моделювання MatLab. Виходячи із заданої ортогональної топології та значень ваг зв'язків нейронів, мережу можна представити у вигляді нейронної сітки розмірністю  $10 \times 10$ , де кожен нейрон розташований у центрі дискретної комірки і пов'язаний лише з підмножиною нейронів, розташованих у найближчих комірках (рисунок 3.2). Кожен нейрон у процесі активації прийматиме власні значення енергії, за якими формується матриця сигналів (матриця активації), розмірність якої дорівнює розмірності нейронної сітки. За даною матрицею можна побудувати тривимірну поверхню, у вершинах (E) якої будуть знаходитись відповідні значення матриці (величина сигналу відповідного нейрона) – ця поверхня і буде нейронною картою для даного набору вхідних сигналів.

Розглянемо випадок, коли немає спеціально встановлених перешкод та цілей. Тоді вхідні сигнали для всіх нейронів дорівнюють нулю:  $I_1 = 0, I_2 = 0, \dots, I_n = 0$  і, якщо мережа доти була активована, її стан так і залишиться нульовим. У такому разі нейронна карта матиме такий вигляд, як на рисунку 3.1.

Припустимо, що мету було встановлено, тоді еквівалентний цілі нейрон отримає максимальний вхідний сигнал (наприклад, комірка 56,  $I_{56} = 1$ ). Поширення даного сигналу мережі через пов'язані у домені нейрони (процес активації) триватиме до виконання умови збіжності, тобто до входу мережі у стан рівноваги.

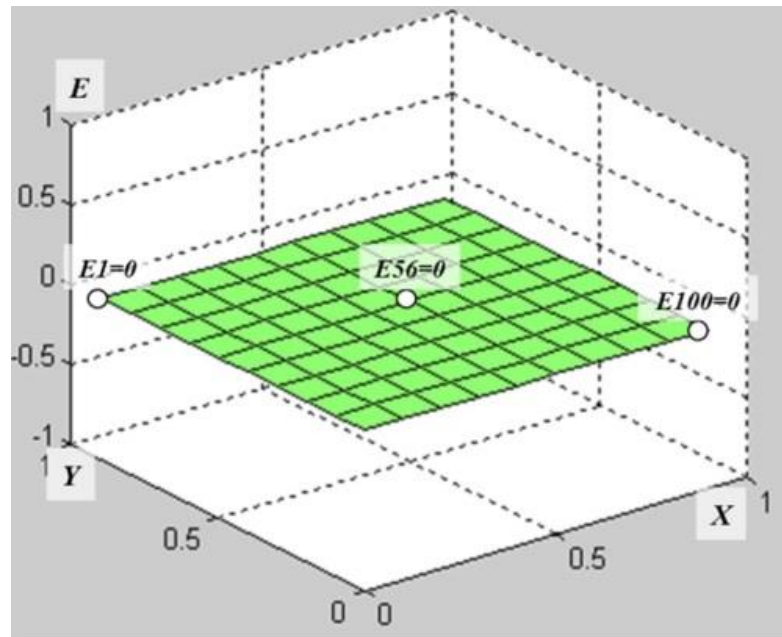


Рисунок 3.1 – Нульовий стан мережі Хопфілда зі 100 нейронів

Нижче наведено значення матриці активації для випадку ( $I_{56} = 1$ ) (рисунок 3.2), які отримані за допомогою програми-сценарію системи моделювання Matlab.

0.0034	0.0071	0.0113	0.0155	0.0187	0.0198	0.0185	0.0151	0.0104	0.0052
0.0071	0.0153	0.0249	0.0349	0.0429	0.0459	0.0426	0.0341	0.0229	0.0113
0.0113	0.0249	0.0423	0.0625	0.0799	0.0868	0.0794	0.0612	0.0393	0.0187
0.0155	0.0349	0.0625	0.1017	0.1417	0.1598	0.1412	0.1001	0.0585	0.0267
0.0187	0.0429	0.0799	0.1411	0.2591	0.3103	0.2585	0.1398	0.0752	0.0330
0.0198	0.0459	0.0868	0.1598	0.3103	<b>1.0000</b>	0.3097	0.1578	0.0819	0.0355
0.0185	0.0426	0.0794	0.1412	0.2585	0.3097	0.2579	0.1393	0.0748	0.0328
0.0151	0.0341	0.0612	0.1001	0.1398	0.1578	0.1393	0.0985	0.0573	0.0261
0.0104	0.0229	0.0393	0.0585	0.0752	0.0819	0.0748	0.0573	0.0366	0.0173
0.0052	0.0113	0.0187	0.0267	0.330	0.0355	0.0328	0.0261	0.0173	0.0085

Рисунок 3.2 – Значення матриці активації при  $I_{56} = 1$

На рисунку 3.3 представлена нейронна карта, що побудована за даними значення матриці активації. У випадку, якщо спочатку активовано кілька нейронів, то на поверхні виникнуть пікові значення в кожному з них, і

результуюча форма поверхні буде представляти собою злиття кількох активаційних хвиль (рисунок 3.4).

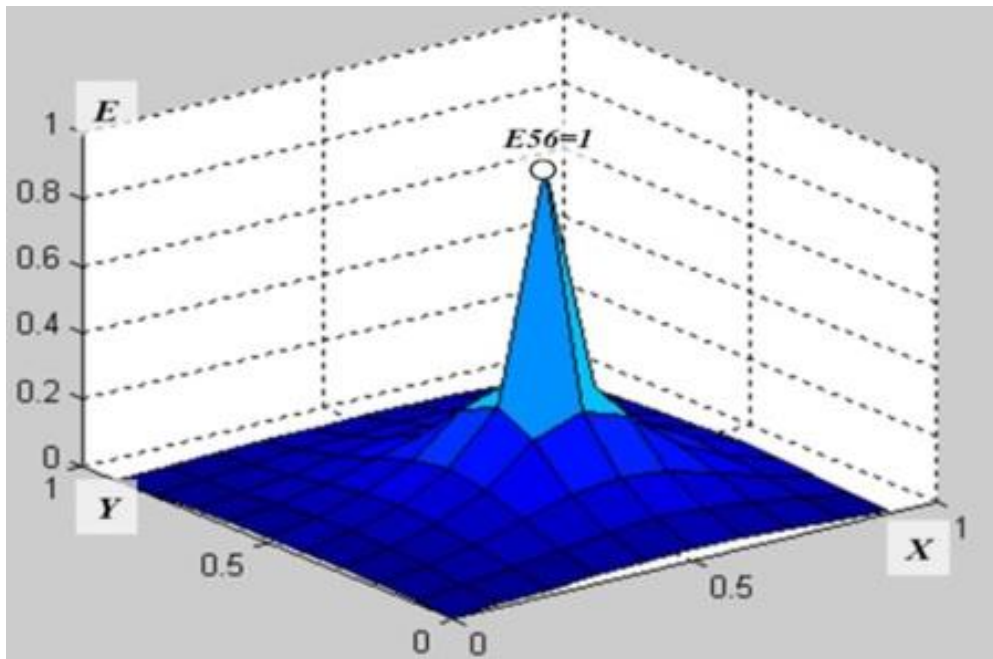


Рисунок 3.3 – Вид нейронної карти при активації 56-го нейрона

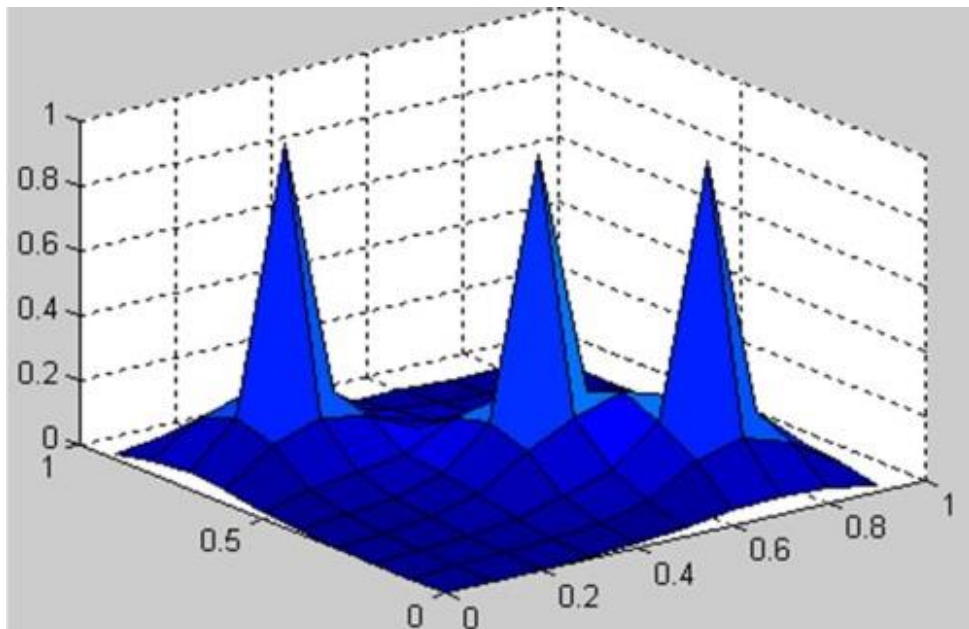


Рисунок 3.4 – Форма поверхні при 3-х точках активації

Так як у кваліфікаційній роботі розглядається програмна модель дискретної нейронної мережі Хопфілда, процес активації мережі також носить дискретний (ітераційний) характер. В такому випадку  $\Delta t$  зворотних зв'язків нейронів дорівнюватиме машинному часу обчислення  $u_i$  для всіх нейронів мережі. Також варто відзначити, що при виконанні машинних обчислень для зберігання сигналів нейронів використовуються змінні типу `double` (число з плаваючою комою подвійної точності). Даний тип змінної має розмір 8 байт та відповідне обмеження точності  $\approx 10^{-16}$ . Отже, сигнал нейрона вважатиметься ненульовим, якщо  $E_i > 10^{-16}$ . Таким чином, характер поширення сигналу в мережі носитиме ітераційний характер: на першому етапі ненульовий сигнал матиме безпосередньо цільовий нейрон і найближчі сусідні нейрони, які, у свою чергу, на наступному етапі передадуть сигнал своїм сусідам і так далі. У зв'язку з цим мережа має пройти кілька етапів до завершення активації. Якщо розглянути процес активації мережі поетапно, то для розглянутого вище прикладу він виглядатиме таким чином. Як було згадано вище, нейрони-перешкоди – це неактивні нейрони, їх стан завжди встановлено 0, і через них не проходить поширення активації. Можна припустити, що ці нейрони виключені з мережі.

На рисунку 3.5 показана поверхня активації, а на рисунку 3.6 графічне уявлення хвильового характеру поширення активації при закритій перешкоді (всі нейрони 4-го стовпця). З рисунку 3.5 видно, що нейрони-перешкоди діють як «бар'єри» для активації, яка може поширюватися навколо них через ненульові нейрони. Варто зазначити, що чим більше кількість нульових нейронів, тим більше часу (кількості ітерацій) потрібно мережі для завершення активації. Цей ефект пов'язаний із зменшенням «каналів» (кількість зв'язків) поширення сигналів через «вимкнені» з структури мережі нейрони перешкод. Також, відповідно до нульових нейронів будуть знижувати рівень сигналу сусідніх нейронів і, відповідно, доменів, в яких вони складаються, таким чином нейрони-перешкоди утворюватимуть навколо себе області зі зниженим потенціалом.

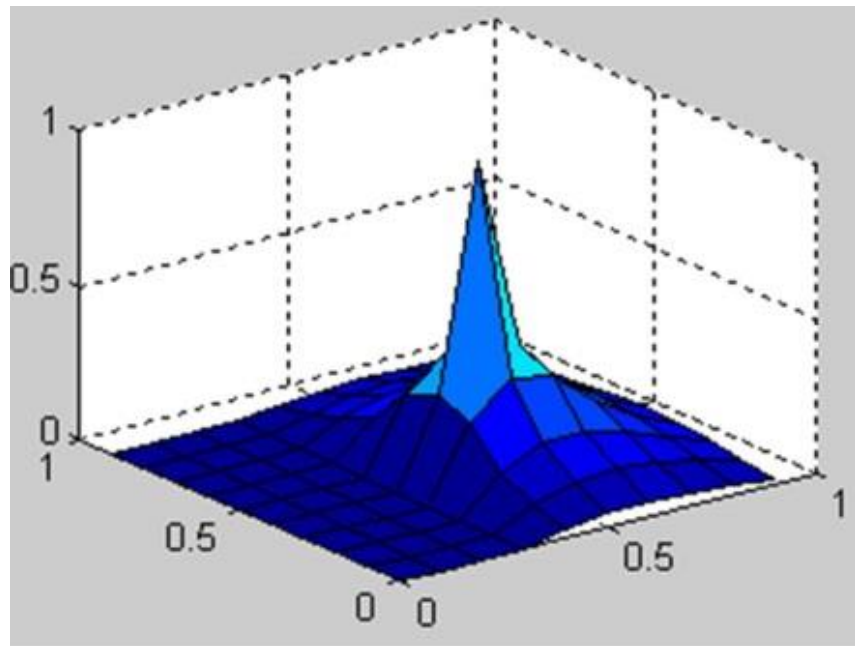


Рисунок 3.5 – Поверхня активації при закритій перешкоді

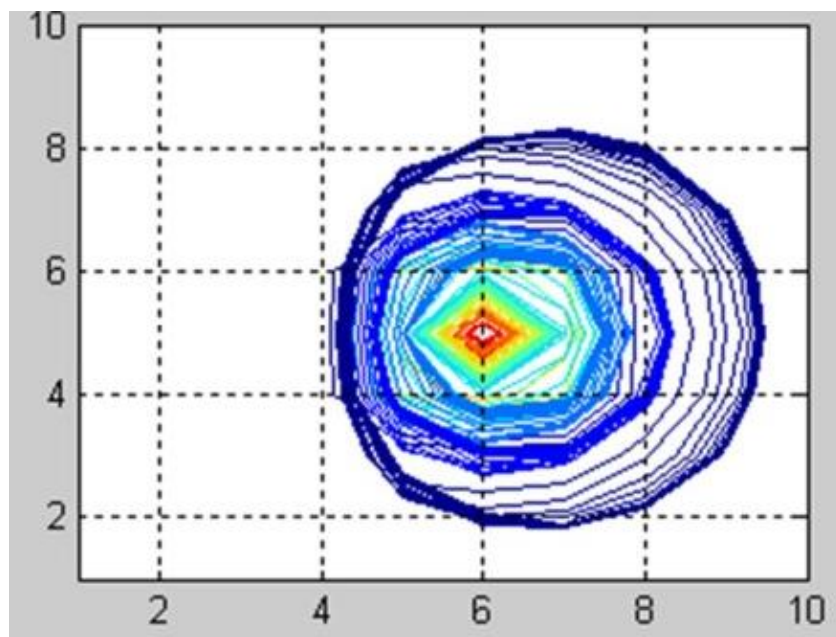


Рисунок 3.6 – Графічне подання хвильового характеру розповсюдження активації при закритій перешкоді

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було досліджено модель патрулювання в міських умовах «S-bots» - systems.

Запропоновано методику синтезу системи планування траєкторій для «S-bots» - systems на основі універсальної програмної моделі, яка забезпечує побудову траєкторій переміщення з урахуванням заданих правил неконфліктної взаємодії «s-bots» в ортогональному дискретному робочому просторі. Також на підставі даних правил взаємодії отримано методику синтезу траєкторій «s-bots», що дозволяє отримати вигреш за часом руху до 10%.

Проведено експериментальне моделювання нейронної мережі Хопфілда, в результаті якого було встановлено, що середня тривалість одного циклу активації скоротилася до 1,5 - 2,5 разів, а кількість циклів, необхідних для формування нейронної картки, зменшилась у 1,3 - 3 рази ( в залежно від конфігурації робочого простору).

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ткачов В.М., Токарев В.В., Радченко В.О., Лебедев В.О. Проблема передачі даних типу BIG DATA у мобільній системі «Мультикоптер- сенсорна мережа» / В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедев // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2017. №2(42). - С.154-157
2. Радченко В.О., Руденко Д.А., Ткачов В.Н., Токарев В.В. Мобильная подсистема «Мультикоптер-сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения BIG DATA / В.О. Радченко, Д.А. Руденко, В.Н. Ткачов, В.В. Токарев // Системи управління, навігації та зв'язку. - 2017. №4(44). - С.102-105.
3. Пат. 118921 Україна, МПК H04W 64/00. Спосіб передачі цифрових даних мультикоптерною системою між сегментами розподіленої сенсорної мережі та базовою станцією / В.М. Ткачов, В.В. Токарев - № u201704085; заявл. 24.04.2017; опубл. 28.08.2017. Бюл. № 16. 5с.
4. Радченко В.А., Токарев В.В., Ткачев В.Н. Мобильная система передачи данных на базе динамически реконфигурируемых мультикоптерных устройств / В.А. Радченко, В.В. Токарев, В.Н. Ткачев // Проблеми інформатизації: тези доповідей V - наук. - техн. конф., 13 - 15 лист. 2017р. - Харків, 2017. - С.36.
5. Рубан И.В., Чурюмов Г.И., Токарев В.В., Ткачев В.Н. Функциональная стойкость универсальной мобильной реконфигурируемой системы при воздействии электромагнитного излучения высокой мощности / И.В. Рубан, Г.И. Чурюмов, В.В. Токарев, В.Н. Ткачев // Информационные технологии и безопасность: (ИТБ-2017), материалы докладов XVII Международной научно-практической конференции, 30 нояб. 2017г. - Киев, 2017. - С.205 - 210.
6. Створення науково-методичних основ забезпечення живучості мережевих систем обміну інформацією в умовах зовнішнього впливу потужного НВЧ випромінювання: звіт про НДР (заклуч.) № держреєстрації

0117U003916.: Ф76/109-2017 / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки; керівник Г. И. Чурюмов. – Харків, 2017. – 116 с.

7. Ruban I.V., Churyumov G.I., Tokarev V.V., Tkachov V.M. Provision of Survivability of Reconfigurable Mobile System on Exposure to High-Power Electromagnetic Radiation / I.V. Ruban, G.I. Churyumov, V.V. Tokarev, V.M. Tkachov // Selected Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Security: (ITS 2017). CEUR Workshop Processing., 30 nov. 2017 y. - Kyiv, 2017. - P. 105-111.

8. Serkov A., Kravets V., Yakovenko I., Churyumov G., Tokariev V., Nannan W. Ultra Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles / A. Serkov, V. Kravets, I. Yakovenko, G. Churyumov, V. Tokariev, W. Nannan // The 10h IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies: (DESSERT'2019)., 5-7 june, 2019 y. - Leeds, 2019. - P.26 - 29.

9. Серков О. А., Пустовойтов П. Є., Яковенко І. В., Лазуренко Б. О., Чурюмов Г. І., Токарев В. В., Наннан Ванг. Надширокосмугові технології в системах управління мобільними об'єктами. / О. А. Серков, П. Є. Пустовойтов, І. В. Яковенко, Б. О. Лазуренко, Г. І. Чурюмов, В. В. Токарев, Ванг Наннан // Сучасні інформаційні системи. - 2019. - Т.3, №2. - С.22-27.

10. Серков О.А., Князев В.В., Лазуренко Б.О., Яковенко І.В., Чурюмов Г.І., Токарев В.В. Надширокосмугові технології в задачах забезпечення електромагнітної сумісності рухомих об'єктів / О.А. Серков, В.В. Князев, Б.О. Лазуренко, І.В. Яковенко, Г.І. Чурюмов, В.В. Токарев // Проблеми електромагнітної сумісності перспективних бездротових мереж зв'язку (EMC-2019):збірник наукових робіт четвертої міжн. наук.-техн. конф., 24 жовт. 2019 р. - Харків, 2019. - С. 55-57.

11. Кривуля Г.Ф., Токарев В.В., Щербак В.К. Моделирование компьютеризированных систем управления с использованием интеллектуальных средств / Г.Ф. Кривуля, В.В. Токарев, В.К. Щербак // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доповідей 32-ї міжн. наук.-практ. конф., 24-25 жовт. 2019р. - Харків, 2019. - С. 90 - 91.

12. Krivoulya G., Tokariiev V., Iina I, Shcherbak V. Mathematical Model for Finding Probability of Detecting Victims of Man-Made Disasters Using Distributed Computer System with Reconfigurable Structure and Programmable Logic / G. Krivoulya, V. Tokariiev, I. Iina, V. Shcherbak // IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology: (PIC S&T), 06-09 oct. 2020y. - Kharkiv, 2020. - P.197 - 201.

13. Лебедев О.Г., Ткачев В.Н., Токарев В.В., Чурюмов Г.И. Темпоральная модель адаптации интегрированной информационной системы путем реконфигурации логической структуры / О.Г. Лебедев, В.Н. Ткачев, В.В. Токарев, Г.И. Чурюмов // Комп'ютерні та інформаційні системи і технології: тези доповідей другої міжн. наук. - техн. конф., 18 - 19 квітн. 2018 р. - Харків, 2018. - С.6-7.

14. Кім А.В. Модель патрулювання в міських умовах «S-bots» - systems / А.В. Кім // Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: збірник тез доповідей, 22 вересн. 2022р. - Тернопіль, Україна – Переворськ, Польща: 2022. - випуск 70. - С.31 - 32.