

УДК 004.4:519.688

**Л. І. Коротка, Н. Ю. Науменко**

Державний вищий навчальний заклад «Український хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ

### **РОЗРОБКА НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ОБ'ЄКТУ НА ПЛОЩИНІ**

У роботі розглянуто побудову та реалізацію програмного модуля інтелектуальної системи планування траєкторії руху вільного від зіткнень мобільного робота. Запропонована система має працювати у двох режимах: стійкий стан системи, при якому робоча область не змінюється у процесі планування, або динамічної зміни робочого простору. В залежності від обраного режиму використовуються або хвильовий алгоритм пошуку шляху, або нейронна мережа Хопфілда. В останньому випадку основною ідеєю запропонованого підходу є використання нейронної карти для динамічного представлення робочого простору пошуку, інформація про який надходить ззовні.

Програмний код інформаційної підсистеми планування маршруту написано за допомогою мови C++, а для візуалізації процесу пошуку траєкторії руху робота використано графічну бібліотеку OpenGL.

**Ключові слова:** хвильовий алгоритм, нейронна мережа Хопфілда, інформаційна підсистема планування руху, мобільний робот.

**Л. И. Короткая, Н. Ю. Науменко**

Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск

### **РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА НА ПЛОСКОСТИ**

В работе рассмотрено построение и реализация программного модуля интеллектуальной системы планирования траектории движения свободного от столкновений мобильного робота. Предложенная система может работать в двух режимах: устойчивое состояние системы, при котором рабочая область неизменна в процессе планирования, или динамическое изменение рабочего пространства. В зависимости от выбранного режима используется волновой алгоритм поиска пути или нейронная сеть Хопфилда. В последнем случае основной идеей предложенного подхода является использование нейронной карты для динамического представления рабочего пространства поиска, информация о котором поступает извне.

Программный код информационной подсистемы планирования маршрута написан с помощью языка C++, а для визуализации процесса поиска траектории движения робота использована графическая библиотека OpenGL.

**Ключевые слова:** волновой алгоритм, нейронная сеть Хопфилда, информационная подсистема планирования движения, мобильный робот.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Широкого вжитку в різних областях науки та техніки набуває використання рухомих функціональних систем різноманітних класів без участі людини: картографічні сервіси, трасування печатних плат, комп'ютерні ігри, робототехніка тощо. Задачі визначення положення таких об'єктів (в роботі мобільного робота) та планування вільного від зіткнень маршруту їх руху у робочій області набувають все більшої актуальності.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Для вирішення завдання планування траєкторії руху існує декілька методів: наближені та методи планування на основі інтелектуальних алгоритмів [1].

Наближені методи засновані на дискретизації робочого простору, коли замість опису робочої області і перешкод безперервними функціями використовуються дискретні моделі зовнішнього середовища у поєднанні з методами динамічного та цілочислового програмування, потенційних функцій і так далі.

Інтелектуальні методи також використовують дискретне представлення робочого простору, але при цьому включають різні типи алгоритмів на основі технологій м'яких обчислень: штучних нейронних мереж, нечіткої логіки та генетичних або ймовірнісних обчислень.

Використання різних підходів пов'язано з типом розв'язуваних задач. Відсутність динамічних перешкод на площині дозволяє використовувати наближені методи, а саме, у роботі для знаходження оптимального шляху руху об'єкта застосовано хвильовий алгоритм. У випадку динамічного змінення робочого простору поширення набувають методи на основі інтелектуальних алгоритмів, наприклад, нейронних мереж. Основна ідея полягає в тому, що нейронна карта використовується як динамічне представлення заданого простору, інформація про який поступає із зовнішніх джерел. Важливу роль у плануванні маршруту руху грає вибір представлення карти середовища у роботі використовується нейронна карта мережі Хопфілда [2, 3].

Постановка задачі: проектування та розробка інформаційної підсистеми планування оптимальної траєкторії руху мобільного робота у двох режимах, коли робоче середовище може динамічно змінюватись або ні. Основні завдання робота під час планування маршруту у середовищі наступні: прийом сигналів; прийом інформації щодо навколишнього середовища (координати перешкод, параметрів середовища) на основі його карти; прийом координат стартового та фінішного положення у середовищі; передача координат від сенсору до програмного забезпечення робота; планування траєкторії руху.

Для реалізації швидкого та раціонального процесу на базі нейронних мереж хід планування траєкторії доцільно звести до наступних етапів: формалізація завдання планування; вибір топології нейронної мережі; відображення енергетичних взаємодій нейронів у мережі у вигляді нейронної карти (поверхні); розрахунок повної траєкторії у вигляді деякої процедури «сходження» до вершини поверхні (цілі).

Вхідні дані надходять від сенсору та закладеної програми робота, які використовує система, що керує: координати із карти; початкові та кінцеві координати.

Усю інформацію про координати навколишнього середовища робот обробляє двома системами: сенсорною та системою, що керує. Нейрони, що складають нейронну карту середовища, передають сигнали координат. Надані координати робот обробляє обробником вхідних даних (для спрощення подальшого планування маршруту руху) та зберігає їх в оперативну пам'ять. Вже оброблені координати системою, що керує, використовуються навігаційною системою для планування маршруту.

До вихідних даних відноситься вже спланована траєкторія руху робота на основі всіх отриманих сигналів від нейронної карти середовища. Також результат цього планування можна використовувати як основу для подальшого планування руху робота або групи роботів.

При плануванні траєкторії руху з використанням нейронної карти необхідно обрати нейронну мережу, яка буде створювати цю карту, та алгоритм, який буде використовуватися для генерації маршруту (рис. 1).

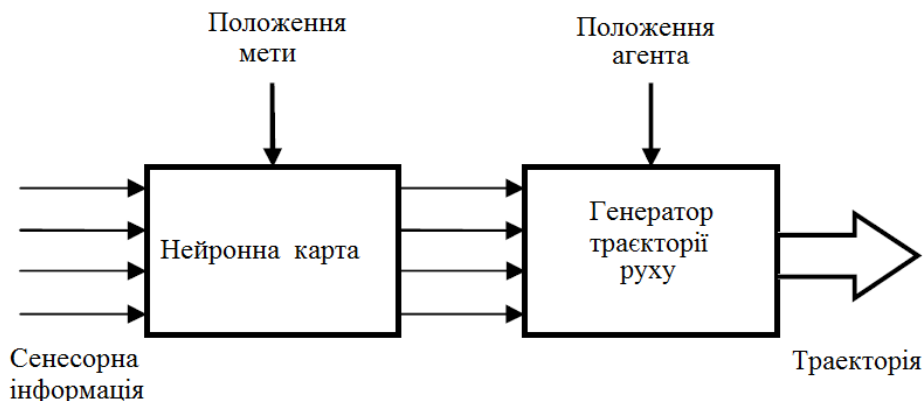


Рисунок 1 – Структура системи планування

Існує достатня кількість алгоритмів для пошуку оптимального шляху у середовищі. Для оцінки їх якості вводяться поняття складності алгоритму або зворотне поняття – його ефективність. Згідно цих характеристик можна провести порівняльний аналіз хвильового алгоритму з алгоритмом Дейкстри або з алгоритмом  $A^*$ . Зрозуміло, що кожен з них має свої недоліки та переваги [1].

У роботі пропонується у якості алгоритму планування маршруту руху при незмінній робочій області використовувати хвильовий алгоритм розповсюдження сигналу. У силу хвильової природи алгоритм гарантує знаходження шляху найменшої довжини при його наявності та завершує роботу за кінцеве число ітерацій [1]. При цьому у відсутності перешкод алгоритм витрачає на побудову траєкторії  $K$  кроків від стартової точки до кінцевої, де  $K$  – кількість дуг між вузлами мережі, які входять у шуканий шлях. Як відомо, робота алгоритму включає три етапи: ініціалізацію, поширення хвилі і відновлення дороги.

Під час ініціалізації при використанні нейронної карти будується образ безлічі нейронів оброблюваної карти, кожен нейрон набуває власних значень, визначаються нейрони-перешкоди, запам'ятовуються нейрон-агент і нейрон-мета.

Далі від нейрона-агента породжується крок до сусіднього нейрона, при цьому перевіряється чи прохідний він (стан нейрона) і чи не належить до раніше поміченого на шляху нейрона. При виконанні умов прохідності та приналежності його до раніше непомічених нейронів змінюється стан і параметри нейрона, а в атрибут нейрона записується число, яке дорівнює кількості кроків від стартового нейрона (на першому кроці це буде 1). Кожен нейрон, який мічений числом кроків від стартового нейрона, стає стартовим і з нього породжуються чергові кроки до сусідніх нейронів [4, 5].

При такому переборі буде знайдено маршрут від нейрона-агента до нейрона-мети або з будь-якого породженого на шляху нейрона черговий крок буде неможливий. Відновлення найкоротшої дороги відбувається у зворотному напрямі.

Як відомо, нейронна мережа Хопфілда – повнозв'язна мережа з симетричною матрицею зв'язків [2]. Така мережа може бути використана як автоасоціативна пам'ять, як фільтр, а також для вирішення деяких завдань оптимізації. На відміну від багатьох нейронних мереж, що працюють на здобуття відповіді через певну кількість тактів, мережі Хопфілда працюють до досягнення рівноваги, тобто коли наступний стан мережі в точності дорівнює попередньому: початковий стан є вхідним образом, а при рівновазі отримують вихідний образ.

Концептуальна нейронна мережа представляє відображення декартового представлення карти середовища пошуку шляху. При цьому використовується розбиття простору на комірки (клітинки), проекції яких на горизонтальну поверхню представляють собою квадрати однакового розміру [4].

Структурно нейронна мережа складається з сукупності штучних нейронів, кожен з яких зіставляється з відповідною клітинкою карти середовища. З метою забезпечення можливості здійснення планування траєкторії руху мобільного робота кожен нейрон зіставляється з даною клітинкою середовища, зв'язується синапсами з нейронами та зіставляється із сусідніми клітинками середовища [5].

Подальше розв'язання задачі планування визначається відображенням енергетичних взаємодій нейронів у мережі у вигляді нейронної карти. Нехай поточне розташування агента, цілі і розташування перешкод визначені на безперервному заданому просторі  $S$  і нейрони мережі рівномірно розподілені по заданому простору. Тоді нейрон або група нейронів (залежно від розмірів мережі) знаходиться на місці поточної конфігурації агента – нейрон-агент. Будуть визначені наступні нейрони: цілі, що знаходяться на місці, та перешкоди, тобто відповідно нейрон-мета та нейрони-перешкоди. Очевидно, що при створенні нейронної карти значення одного нейрона не повинне відповідати в один і той же час агенту та меті або меті та перешкоді. Координати мети та інформація про довкілля подаються на вхід аналогової нейронної мережі Хопфілда. Нейрони мережі входять в стан рівноваги і набувають власних значень енергії. Взаємодії нейронів побудованої мережі обумовлені динамікою та архітектурою самої мережі, а також конфігурацією навколишнього простору і координатами мети, яка є точкою активації. Значення енергії нейронів на даній нейронній області (ландшафт активації) поступають на вхід блоку генератора траєкторії, який, у свою чергу, і виконує розрахунок та планування траєкторії [4].

Нейронна мережа Хопфілда складається з  $N$  штучних нейронів, кожен з них може знаходитись у одному зі станів: «увімкнено» або «вимкнено», тобто приймати значення: один або нуль. У мережі Хопфілда, як відомо, матриця зв'язків є симетричною, а діагональні елементи матриці вважаються рівними нулю, що виключає ефект дії нейрона на самого себе та є необхідною, але не є достатньою умовою стійкості в процесі роботи мережі Хопфілда. Достатнім є асинхронний режим її роботи.

Якщо моделюється робота мережі на одному процесорі, то при синхронному режимі послідовно є видимими нейрони, проте їх стани запам'ятовуються окремо і не змінюються до тих пір, поки не будуть пройдені всі нейрони мережі. У випадку, коли всі вони «проглянуті», їх стани одночасно (тобто синхронно) змінюються на нові.

Враховуючи координати на карті місцевості, а отже, і ортогональне представлення топології мережі [4] з координатами нейронів-клітинок, її елементи описуються таким чином:  $n$  – кількість рядів з клітинками на карті місцевості;  $m$  – кількість клітинок в кожному ряді карти місцевості;  $n_{ij}$  – штучний нейрон, зіставлений з  $j$ -ю клітинкою, що розташована в  $i$ -му рядку карти середовища;  $x_{ij}$  – вектор вхідних сигналів нейрона  $n_{ij}$ ;  $w_{ij}$  – вектор синаптичних вагових коефіцієнтів нейрона  $n_{ij}$ ;  $z_{ij}$  – початкові значення нейрона  $n_{ij}$ ;  $\theta_{ij}$  – зміщення нейрона;  $\vartheta_{ij} = z_{ij} + w_{ij}x_{ij} + \theta_{ij}$  – сумарний вхідний сигнал;  $f(\vartheta)$  – активаційна або передаточна функція нейрона  $n_{ij}$  (у роботі сигмоїд, а саме гіперболічний тангенс);  $y_{ij} = f(\vartheta)$  – вихідний сигнал нейрона  $n_{ij}$  (рис. 2) [5].

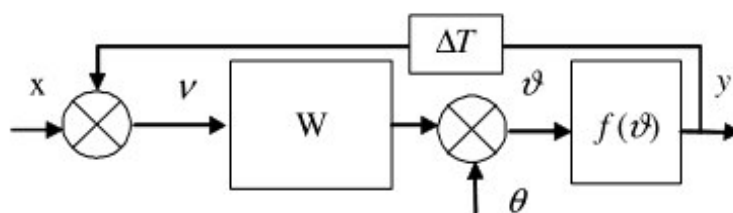


Рисунок 2 – Структура нейрона

У роботі використано для мережі Хопфілда ортогональну топологію (рис. 3), але можна використовувати гексагональну з сьомма нейронами в нейронній області, тобто шістьма можливими сусідами для кожного нейрона [4, 5].

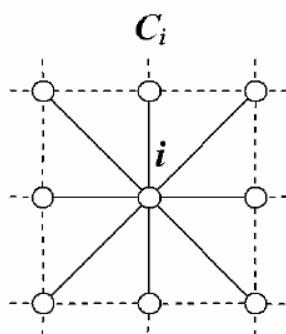


Рисунок 3 – Ортогональна топологія мережі для двовимірного простору

Нехай є нейронна мережа Хопфілда з  $n$  аналоговими модулями. Всі нейрони мережі знаходяться в нульовому стані і зовнішнє джерело (сенсорна система) відключене від входів мережі. Тоді нейрони будуть розміщені в  $r$ -розмірних ґратах, рівномірно розподілених по заданому простору  $C$  (де  $r$  – вимір  $C$ ).

Для створення нейронної карти необхідно, щоб в мережі поширення енергії було подібним до ефекту поширення хвилі, тому кожен нейрон взаємодіє лише з сусідніми в межах своєї підмножини сусідів  $c_i$ . У цьому випадку кожен нейрон в мережі має лише зв'язки з коротким діапазоном (прямі або діагональні) з симетричним поширенням. Всі з'єднання далекої дії установлені в нуль. Таким чином, кожен нейрон сполучений лише з підмножиною сусідніх нейронів, а кожна нейронна область лише з підмножиною сусідніх нейронних областей.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідно створити програмний модуль планування траєкторії руху мобільного робота з використанням нейронної карти. У свою чергу потрібно запрограмувати робота обходити перешкоди, який отримує сигнали від нейронів, що складають нейронну карту середовища.

Інформаційну підсистему, яка розглядається у роботі, було реалізовано у вигляді програмного модуля (рис. 4). Код програми написано з використанням мови C++ у середовищі Visual Studio 2012. Для коректної роботи програми при візуалізації процесу побудови маршруту руху об'єкту використано відкриту графічну бібліотеку OpenGL, яка є популярним прикладним програмним інтерфейсом. Як відомо, OpenGL є проширенням між апаратним та користувальницьким рівнем, що дозволяє представити єдиний інтерфейс на різних платформах, використовуючи при цьому можливості апаратної підтримки [6]. В роботі застосовано функції вказаної бібліотеки, а саме функції опису примітивів, що визначають об'єкти нижнього рівня ієрархії (примітиви) та які спроможні відображувати графічну підсистему.

Слід зазначити, що модуль загальної інформації містить повідомлення про існуючі алгоритми пошуку оптимального шляху, загальні положення про нейронні мережі та корисні посилання. У модулі інтерактивної довідки фактично знаходиться інструкція користувача. Модуль обробки вхідних даних приймає стартову/і та кінцеву/і координати точок. У модулі роботи нейронної мережі формується нейронна карта, хоча програмний модуль може працювати і без використання мережі. В цьому випадку на площині стохастичним чином формується карта місцевості, яка не змінюється у процесі побудови траєкторії руху.

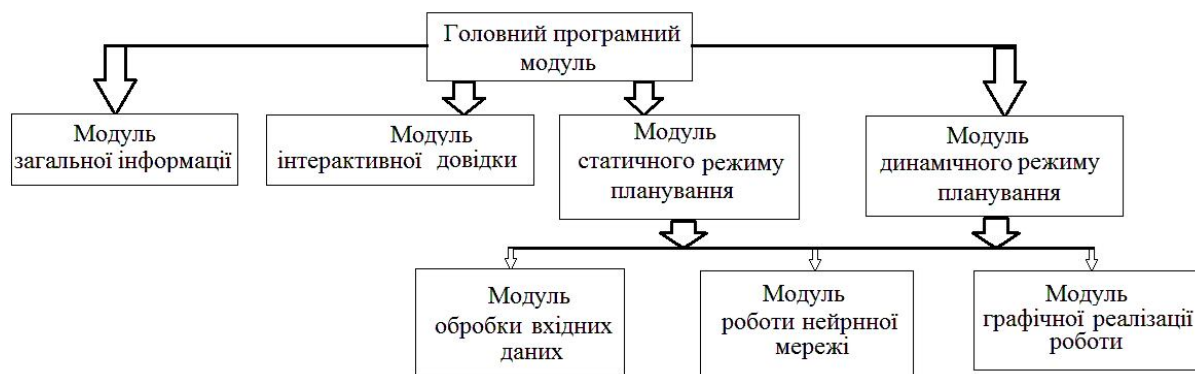


Рисунок 4 – Структура програмного модуля

Крім того, існують два режими використання створеного програмного модуля для планування траєкторії руху: статичний та динамічний. За замовчуванням стоїть статичний режим планування, який означає, що початкове місцезнаходження робота не змінюється, а користувач може лише обирати фінішну клітинку (та/або нейрон-мету). У випадку обрання динамічного режиму планування маршруту руху з'являється можливість обирати «новий» фініш, при чому «старий» фініш стає стартовою точкою. Звісно, що випадки коли неможливо побудувати шлях відслідковуються та видаються у вигляді попередження, тобто вікна-повідомлення. Модуль графічної реалізації дозволяє візуалізувати процес знаходження траєкторії оптимального шляху.

Результати експериментів: у якості прикладу побудовано математичну модель нейронної мережі з 400 нейронів. При заданій топології мережі, початкових значеннях синаптичних ваг, заданих зв'язків між нейронами мережу можна розглядати як нейронну сітку розмірністю 20 на 20 одиниць (комірок), де кожен нейрон розташований у центрі комірки та пов'язаний лише з сусідніми нейронами.

Слід зауважити, що у випадку коли середовище з перешкодами не змінюється та відоме, то використання хвильового алгоритму є доцільним, так як у цьому випадку можливе використання стійкого стану нейронної мережі, який може подаватися на блок «генератор траєкторії руху». У випадку коли середовище динамічно змінюється у процесі побудови траєкторії руху, тоді використання нейронної мережі є цілком виправданим. Деякі результати роботи створеного програмного модуля представлено на рисунках 5 та 6.

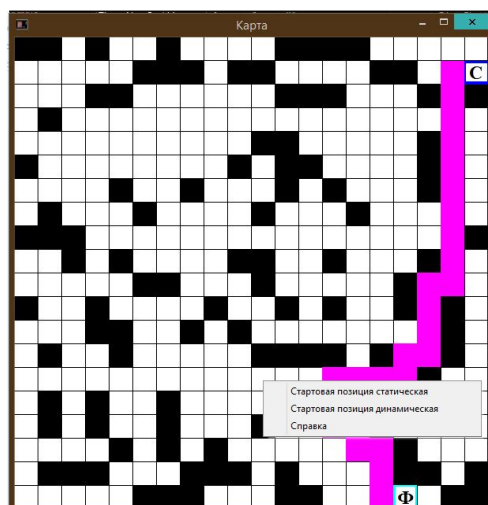


Рисунок 5 – Вибір режиму планування руху

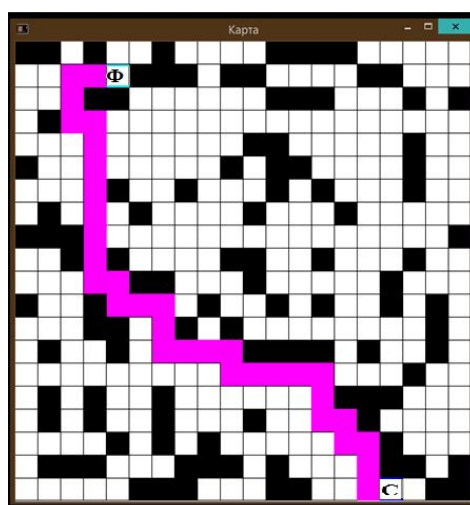


Рисунок 6 – Спланований маршрут у динамічному режимі

**ВИСНОВКИ.** Отримані результати можуть бути використані в начальному процесі або для вирішення більш масштабних технічних задач, наприклад, визначення місцезнаходження робота чи планування руху групи роботів у заданому середовищі.

При виборі та використанні методів для розв'язання задач подібного класу необхідно враховувати певні їх специфічні особливості. Як відомо, нейронні мережі мають можливість донавчатися та швидко адаптуватися, але генетичні алгоритми дають можливість уникнути локальних екстремумів. У деякому сенсі альтернативою наведеним методам, є нечіткі алгоритми у задачах планування шляху, так як вони невибагливі до апаратних ресурсів, але для нескладних навчальних задач використання хвильового алгоритму та нейронних мереж виявилось цілком достатнім.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Области применения приближенных и интеллектуальных методов планирования траекторий для групп мобильных роботов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/120-16542> – Загл. с экрана.

2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

3. Круглов В. В. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – М. : Физматлит, 2001. – 224 с.

4. Даринцев О. В. Использование нейронной карты для планирования траектории мобильного робота / О. В. Даринцев, А. Б. Мигранов // «Штучний інтелект». – № 3'2009. – С. 300–307.

5. Горюнова Н. С. Планування маршруту робота з використанням нейронних мереж / Н. С. Горюнова // VII міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології» (27-29 квітня 2015 р., м. Дніпропетровськ), 2015. – С. 80–82.

6. Баяковский Ю. М. Графическая библиотека OpenGL – учебно-методическое пособие / Ю. М. Баяковский, А. В. Игнатенко, А. И. Фролов. – М. : Издательский отдел вычислительной математики и Кибернетики МГУ им. Ломоносова, 2003. – 132 с.

**L. Korotka, N. Naumenko**

State Higher Educational Institution «Ukrainian State Chemical Technology University»,  
Dnipropetrovsk

### DEVELOPMENT OF NEURAL NETWORK SOFTWARE MODULES PLANNING A PATHWAY OF OBJECTS ON A PLANE

The robot considered the construction of a software module intellectual trajectory of the planning system is free from collision of the mobile robot. The proposed system can operate in two modes, namely: a stable state of the system (the working area is unchanged in the planning process) or dynamic changes in the workspace. Depending on the mode used wave algorithm to find a way, or a neural network Hopfield. In the latter case, the main idea of the proposed approach is the use of neural maps for dynamic presentation of the working of the search space, details of which comes from outside.

The code information subsystem route planning is written using C ++, and to visualize the process of finding the path of movement of the robot used graphics library OpenGL.

**Key words:** wave algorithm, Hopfield neural network, traffic planning information subsystem, a mobile robot.

## REFERENCES

1. *Oblasti primeneniya priblizhennykh i intellektual'nykh metodov planirovaniya traektoriy dlya grupp mobil'nykh robotov* [Applications close and intelligent methods of planning trajectories for groups of mobile robots], available at <http://www.science-education.ru/120-16542> (accessed May 20, 2015) [in Russian]
2. Haykin, S. (2006), *Neyronnye seti: polnyy kurs* [Neural networks: a complete course], Publishing House «Williams», Moscow, Russia. [in Russian]
3. Kruglov, V.V., Dli, M.I. and Golunov, R.Yu. (2001), *Nechetkaya logika i iskusstvennye neyronnye seti* [Fuzzy logic and artificial neural networks], Fizmatlit, Moscow, Russia. [in Russian]
4. Darintsev, O.V. (2009), "Using a neural map for mobile robot path planning", *Shtuchnyi intelekt*, no. 3, pp. 300-307. [in Russian]
5. Horiunova, N.S. (2015), *Planuvannia marshrutu robota z vykorystanniam neironnykh mrezh, VII mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh «Khimiia ta suchasni tekhnologii»*, Dnipropetrovsk, April 27–29, 2015, pp. 80–82. [in Ukrainian]
6. Bayakovskiy, Yu. M., Ignatenko, A.V. and Frolov, A.I. (2003), *Graficheskaya biblioteka OpenGL – uchebno-metodicheskoe posobie* [Graphics library OpenGL – a teaching aid], Izdatel'skiy otdel vychislitel'noy matematiki i Kibernetiki MGU im. Lomonosova, Moscow, Russia. [in Russian]

**Коротка Лариса Іванівна,**

к.техн.н., доцент,  
доцент кафедри «Інформаційних систем»,  
Вищий навчальний заклад «Український  
державний хіміко-технологічний  
університет»,  
пр. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ,  
Україна, 49005.  
Тел. +38(0562) 47-38-77.  
E-mail: korliv@hotmail.com

**Korotka Larysa Ivanivna,**

Cand.Sc. (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of Information Systems  
Drive Department,  
Higher Educational Institution "Ukrainian  
State Chemical Technology University"  
pr. Gagarina, 8, Dnipropetrovsk,  
Ukraine, 49005.  
Tel. +38(0562) 47-38-77.  
E-mail: korliv@hotmail.com

**Науменко Наталія Юріївна,**

к.техн.н., доцент,  
доцент кафедри «Інформаційних систем»,  
Вищий навчальний заклад «Український  
державний хіміко-технологічний  
університет»,  
пр. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ,  
Україна, 49005.  
Тел. +38(0562) 47-38-77.  
E-mail: nay\_nata@i.ua

**Naumenko Nataliia Yuriivna,**

Cand.Sc. (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of Information Systems  
Drive Department,  
Higher Educational Institution "Ukrainian  
State Chemical Technology University"  
pr. Gagarina, 8, Dnipropetrovsk,  
Ukraine, 49005.  
Tel. +38(0562) 47-38-77.  
E-mail: nay\_nata@i.ua

Стаття надійшла 04.06.2015