



I. Г. Цмоць¹, Ю. В. Опотяк¹, Б. В. Штогрінець¹, А. О. Дзюба², Ю. Ю. Олійник¹

¹ Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

² Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна

БАЗОВА СТРУКТУРА СИСТЕМИ НЕЙРОНЕЧІТКОГО УПРАВЛІННЯ ГРУПОЮ МОБІЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ПЛАТФОРМ

Показано, що для групового управління мобільними робототехнічними платформами (МРП) можуть використовуватися такі підходи: централізований (зосереджений), децентралізований (розподілений) та гібридний. Визначено, що актуальним завданням є розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП, яка повинна виконувати: розподіл завдань між МРП, визначення маршрутів руху МРП, спільне планування робіт та їх синхронізацію. Сформульовано вимоги до системи нейронечіткого управління групою МРП, основними з яких є: ефективне управління групою МРП; мінімізація часу на виконання завдань; гнучкість та адаптивність до змінних умов роботи; надійна та стійка робота при реалізації різних сценаріїв; розширення функцій та масштабування відносно кількості МРП; точність та надійність управління рухом кожної МРП; реагування на зміни умов роботи; безперебійна робота групи МРП; ефективне використання ресурсів МРП; зменшення габаритів, ваги та енергоспоживання; управління у реальному часі; збирання даних про навколишнє середовище та стан МРП; бездротовий зв'язок між МРП; розроблення програмних засобів, з урахуванням розподіленої архітектури; реалізація інтерфейсу програмування з можливістю розроблення додаткового програмного забезпечення та інтеграції з іншими системами; збереження даних про стан всіх МРП для подальшого аналізу та вдосконалення управління групою МРП. Визначено такі основні етапи розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП: формулювання задачі; аналіз вимог до системи; проектування апаратних засобів; розроблення алгоритму нейронечіткого управління; розроблення ПЗ; тестування та налаштування; впровадження та експлуатація. Запропоновано розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП виконувати на базі інтегрованого підходу, який охоплює: методи нейронечіткого управління групою МРП, штучні нейронні мережі та нечітку логіку; методи навігації, методи попереднього опрацювання та розпізнавання зображень; методи інтелектуального опрацювання та оцінювання даних із дачивів в умовах дії завад і неповноти інформації; сучасні методи та алгоритми інтелектуального управління рухом МРП; сучасну елементну базу (мікроконтролери, системи на кристалі, ПЛІС тощо); методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів МРП. Запропоновано реалізацію системи нейронечіткого управління групою МРП виконувати на підставі проблемно-орієнтованого підходу, який передбачає поєднання програмного (універсального) і апаратного (спеціалізованого) забезпечення, який забезпечує високу ефективність використання обладнання. Вдосконалено метод часового розподілу ресурсів запам'ятовуючого середовища багатопортової пам'яті, який за рахунок врахування швидкодії запам'ятовуючого середовища та зовнішніх пристроїв забезпечує збільшення кількості пристроїв із безконфліктним доступом до запам'ятовуючого середовища.

Ключові слова: мобільна робототехнічна платформа, нейронечітке опрацювання, структура системи, нейромережа, сенсори, захист даних, управління групою.

Вступ / Introduction

Актуальність проблеми. Групи мобільних робототехнічних платформ (МРП) застосовуються в багатьох галузях промислового виробництва, у зонах радіоактивного та хімічного зараження, у боротьбі з терористами, в умовах бойових дій і космічних досліджень. У значній частині застосувань від МРП вимагається збільшення інтелектуальності, зменшення габаритів, маси, енергоспоживання, вартості та часу розроблення. Окрема МРП орієнтована на виконання відносно нескладних

операцій, що зумовлено невеликим радіусом дії, обмеженим бортовим енергоресурсом, невеликою кількістю операцій, що виконуються, обмеженим набором виконавчих пристроїв і невисокою вірогідністю виконання визначеного завдання в екстремальних умовах. Тому ефективнішим є використання групи МРП для вирішення складніших завдань [1]. При груповому використанні МРП збільшується радіус дії за рахунок розосередження МРП по всій робочій зоні, розширюється набір виконуваних функцій, що забезпечується шляхом установки на окремих МРП виконавчих пристроїв різ-

них типів. Досягається вища ймовірність вирішення визначеного завдання шляхом перерозподілу цілей між роботами групи у разі виходу з ладу деяких із них [2].

Однак при груповому використанні МРП виникає ряд складних завдань, пов'язаних із проблемою управління та організацією колективної взаємодії. Управління групою МРП полягає у віднайденні та реалізації таких дій кожної окремої МРП, які забезпечували б досягнення загальної групової мети.

Для групового управління МРП можуть використовуватися такі підходи: централізований (зосереджений), децентралізований (розподілений) та гібридний.

Централізоване управління передбачає, що одна МРП управляє роботою всіх інших МРП у групі. Таке управління забезпечує скоординоване та більш точне керування МРП, проте вимагає значних ресурсів.

Децентралізоване управління передбачає, що кожна МРП у групі має свою власну систему управління, яка може співпрацювати з іншими системами управління МРП, які є у групі. Таке управління є ефективнішим, оскільки воно дає змогу МРП працювати незалежно одна від одної та забезпечувати більшу швидкість реакції.

Гібридне управління є поєднанням централізованого та децентралізованого управління. У такому випадку кожна МРП має свою систему управління, але також існує централізований контроль роботи групи МРП.

Тому розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП, яка забезпечить розподіл завдань між МРП, визначення маршрутів руху МРП, спільне планування робіт та їх синхронізацію, є актуальним завданням.

Об'єкт дослідження – процеси збирання та опрацювання даних, формування команд управління групою МРП.

Предмет дослідження – структура системи нейронечіткого опрацювання даних для забезпечення управління групою МРП та структура і метод побудови багатопортової пам'яті.

Мета дослідження – розроблення базової структури системи нейронечіткого управління групою МРП із можливістю адаптації до вимог конкретного застосування.

Для досягнення визначеної мети сформульовано такі основні завдання дослідження:

- аналіз останніх досліджень та публікацій;
- визначення вимог та етапів розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП;
- вибір підходів та принципів розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП;
- розроблення базової структури системи нейронечіткого управління групою МРП;
- вдосконалення методу часового розподілу ресурсів запам'ятовуючого середовища та розроблення структури багатопортової пам'яті.

Матеріали та методи дослідження. У роботі використано: методи навігації, методи попереднього опрацювання та розпізнавання зображень; сучасні методи та алгоритми інтелектуального управління, штучні нейронні мережі та нечітку логіку; нейроподібні криптографічні методи захисту передачі даних; сучасні компоненти МРТП, елементну базу для реалізації апа-

ратних комп'ютерних засобів; методи інтелектуального опрацювання та оцінювання даних із дачивів в умовах завад і неповної інформації; методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів МРТП.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За останні роки виконано ряд досліджень та публікацій з тематики розроблення систем управління групою МРП [3–5]. Основна ідея цих досліджень зводиться до розроблення ефективної системи управління групою МРП у реальному часі, яка забезпечує обмеження щодо габаритів, енергоспоживання та вартості.

Проведений аналіз робіт [6, 7] показав, що невизначеність зовнішнього середовища, в якому пересуваються МРП, змушує включати в їх склад систему технічного зору, набір інтелектуальних дачивів і нейромереві засоби опрацювання даних, які повинні забезпечити автономне безпечне управління рухом платформ.

Одним із найбільш важливих напрямків досліджень є розроблення засобів для забезпечення чотирьох важливих тем, які стосуються безпілотних систем у майбутньому, а саме інтероперабельність, автономність, безпека мережі та співпраця людини і машини [8]. У роботі [9] автори пропонують систему нейромережевого управління групою МРП, яка забезпечує виконання спільної задачі навіть при відсутності комунікації між МРП. Використання методів глибинного навчання для розвитку систем нейромережевого управління групою МРП розглянуто в [11].

Аналіз робіт [12, 13] показує, що для реалізації системи управління групою мобільних роботів, яка враховує динаміку змін у оточуючому середовищі, використовуються нейронні мережі. У роботах [14, 15] автори пропонують методи навчання з підсиленням для таких нейронних мереж.

У роботі [16] напівавтоматичний навігаційний робот використовує нечітку логіку, що використовується для керування швидкістю двигуна на підставі відстані до перешкоди, яку зчитує датчик, і вхідних даних. У роботі [17] представлено побудову нечіткого контролера для керування роботом, щоб уникати всіх фіксованих і мобільних перешкод за допомогою нечіткої логіки. Контролер нечіткої логіки, описаний у [18], оптимізований за допомогою двох програмних комп'ютерних методів: генетичного алгоритму та оптимізації роєм частинок (PSO). Ці методи використовуються для налаштування входів і виходів контролера нечіткої логіки з метою покращення навігації мобільного робота. У працях [19–21] розглянуто альтернативні підходи до реалізації систем керування на підставі нечіткої логіки.

З аналізу літератури [22, 23] видно, що основними шляхами покращення техніко-експлуатаційних характеристик МРП є широке використання сучасної елементної бази, розроблення нових методів, алгоритмів і апаратних структур, орієнтованих на ефективну реалізацію інтелектуальних алгоритмів опрацювання та розпізнавання зображень, моделювання оточуючого середовища, планування дій, прокладення раціональних маршрутів переміщення з використанням нечіткої логіки, нейроподібного криптографічного шифрування та дешифрування даних.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Останніми роками у різних галузях господарської діяльності, у військовій сфері, сільському господарстві все частіше застосовуються різноманітні робототехнічні платформи. Однак, як свідчить практика, для досягнення визначених цілей буває недостатньо такої одиної платформи внаслідок можливої її втрати, недостатності ресурсів для виконання завдання тощо. Саме тоді постає питання використання групи мобільних робототехнічних платформ. При виконанні складних завдань окрема МРП може бути орієнтована на виконання відносно нескладних операцій, обумовлених обмеженим радіусом дії, енергоресурсом чи набором виконавчих пристроїв. Проте група МРП загалом, діючи злагоджено і оптимально використовуючи обмежені ресурси, може спільно виконати поставлене завдання.

При керуванні групою МРП виникає ряд складних завдань, пов'язаних з узгодженим управлінням, організацією взаємодії окремих платформ, моделюванням навігаційного стану оточуючого середовища, обліком ресурсів тощо (рис. 1). Отже, завдання управління групою МРП полягає у забезпеченні керування кожною окремою МРП із метою виконання поставленого завдання загалом.

Вбачається, що такі засоби керування групою МРП доцільно реалізувати з широким використанням методів нечіткого та нейронечіткого управління. В умовах динамічної зміни ситуації, можливої зміни кількісного складу групи, необхідності врахування вимог щодо масогабаритних характеристик та енергоспоживання вказані методи варто вважати адекватними до використання (рис. 1).

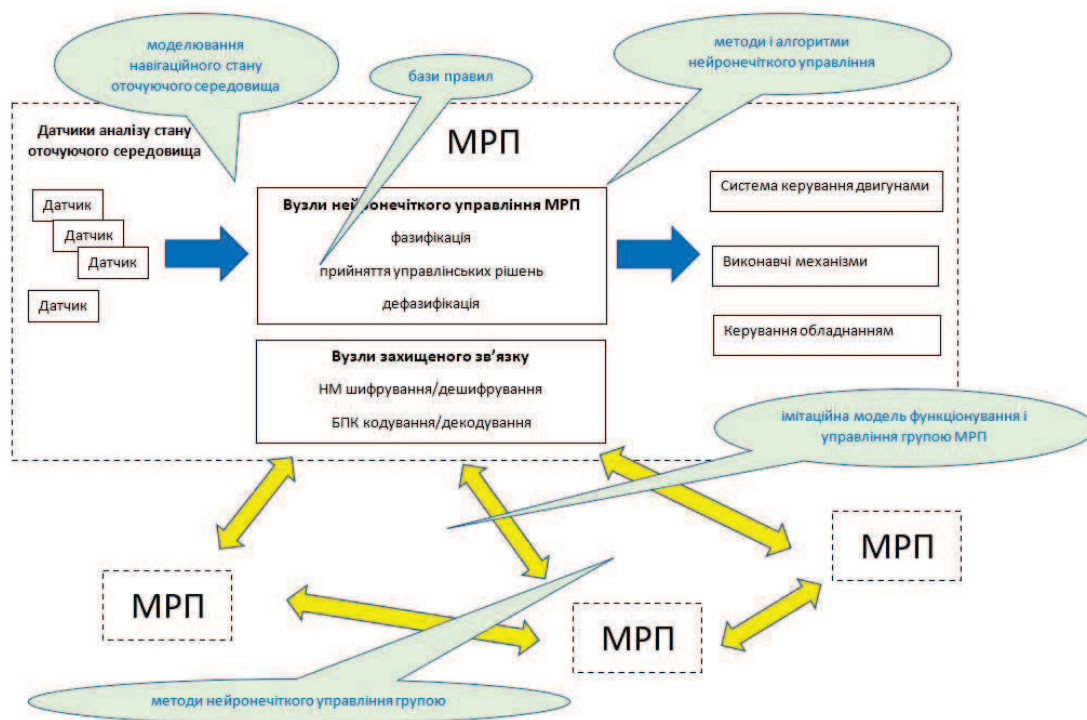


Рис. 1. Базові компоненти нейронечіткого управління групою мобільних робототехнічних платформ /
Basic components of neurofuzzy control of a group of mobile robotic platforms

Отже, для побудови системи керування групою МРП необхідно вирішити низку завдань, серед яких:

- розроблення методів і алгоритмів моделювання навігаційного стану оточуючого середовища;
- розроблення методів і алгоритмів нейронечіткого управління рухом групи МРП;
- адаптація інтелектуальної системи управління МРП до роботи в групі;
- розроблення блоків фазифікації, прийняття управлінських рішень та дефазифікації для управління рухом МРП;
- розроблення баз правил для нейронечіткого управління групою МРП;
- синтез програмного контролера нечіткої логіки для управління групою МРП;
- розроблення апаратно-програмних засобів управління групою МРП у реальному часі, з забезпе-

ченням криптографічного захисту передачі даних і команд управління.

Вимоги та етапи розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП. Основними вимогами, які висуваються до системи нейронечіткого управління групою МРП, є забезпечення:

- ефективного управління групою МРП;
- мінімізації часу на виконання завдань МРП;
- гнучкості та адаптивності до змінних умов роботи;
- надійної та стійкої роботи при реалізації різних сценаріїв;
- розширення функцій та масштабування відносно кількості роботів, якими потрібно управляти;
- точності та надійності управління рухом кожної МРП;
- реагування на зміни умов роботи;
- безперебійної роботи групи МРП;

- легкого налаштування та використання системи управління;
- ефективного використання ресурсів МРП;
- високої продуктивності оброблення даних і ефектвної реалізації алгоритмів нейронечіткого управління;
- зменшення габаритів, ваги та енергоспоживання;
- управління у реальному часі;
- збирання даних про навколишнє середовище та стан МРП;
- бездротового зв'язку між МРП;
- розроблення програмних засобів із урахуванням розподіленої архітектури;
- реалізації інтерфейсу програмування з можливістю розроблення додаткового програмного забезпечення та інтеграції з іншими системами;
- візуалізації даних для відображення стану МРП та навколишнього середовища;
- діагностики МРП шляхом оброблення і аналізу даних, отриманих від сенсорів;
- збереження даних про стан усіх МРП для подальшого аналізу та вдосконалення управління групою МРП.

Розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП вимагає широкого використання сучасної елементної бази (мікроконтролерів, систем на кристалі, програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) тощо), розроблення нових методів і алгоритмів із використанням нейронних мереж і нечіткої логіки.

Управління групою МРП у режимі реального часу накладає обмеження на час t_{FCV} опрацювання даних від сенсорів та формування сигналів управління, який не повинен перевищувати час відведений на реакцію на зміни $t_{\text{PЗ}}$, тобто:

$$t_{\text{FCV}} \leq t_{\text{PЗ}}. \quad (1)$$

Під час розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП необхідно мінімізувати апаратні затрати на розроблення системи та забезпечити управління в реальному часі. Для оцінювання розробленої системи нейронечіткого управління групою МРП пропонується використати критерій ефективності E_{CV} використання обладнання, який зв'язує час опрацювання даних і формування сигналів управління з витратами обладнання і дає оцінку елементам системи за продуктивністю. Кількісно величина ефективності використання обладнання визначається так:

$$E_{\text{CV}} = \frac{R_{\text{CV}}}{t_A W_{\text{CV}}}, \quad (2)$$

де R_{CV} – складність алгоритмів опрацювання даних і нейронечіткого управління; t_A – час виконання алгоритмів; W_{CV} – апаратні витрати на реалізацію системи управління.

Вихідною інформацією для розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП є:

- опис МРП, що належать до групи, враховуючи їхні технічні характеристики (швидкість руху, радіус повороту, максимальну вантажопідйомність, відеокамери, номенклатуру сенсорів);
- опис задач, які має виконувати група МРП, враховуючи їхню мету та вимоги до точності виконання;
- дані про динаміку руху роботів, зокрема про їхню швидкість та прискорення, що враховують дії усіх МРП у групі;
- інформація про середовище, у якому працює група МРП (план місцевості, перешкоди, місця роз-

ташування маркерів або інших об'єктів, з якими МРП можуть взаємодіяти);

- дані про взаємодію між МРП у групі (наприклад, процес комунікації між МРП, розміщення МРП у групі, взаємна залежність між задачами, що виконуються);
- інформація про типи та кількість сенсорів, що використовуються для збирання даних про середовище та про цілі задач, що виконуються групою МРП;
- дані про технології, що використовуються для забезпечення безпеки МРП (наприклад, обмеження зони руху, зупинка в разі загрози зіткнення);
- алгоритми опрацювання даних і алгоритми нейронечіткого управління групою МРП;
- величини масивів вхідних даних N ;
- інтенсивності вхідних потоків даних;
- вимоги до зовнішніх інтерфейсів системи управління;
- розрядність вхідних даних і необхідна точність обчислень;
- технічні вимоги до апаратних засобів, такі як обсяг пам'яті, швидкість оброблення даних, розміри та маса пристроїв, енергоефективність тощо.

Процес розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП містить такі основні етапи:

1. Формулювання задачі: на цьому етапі визначається, яку задачу повинна вирішувати система нейронечіткого управління групою МРП.
2. Аналіз вимог до системи: на цьому етапі визначаються вимоги до характеристик системи, такі як швидкість оброблення даних, кількість сенсорів та актуаторів, енергоефективність та інші. Також на цьому етапі визначаються функції системи та її можливості.
3. Проектування апаратних засобів: на цьому етапі визначаються основні характеристики апаратних засобів системи, такі як тип мікроконтролерів, сенсорів, актуаторів, засобів комунікації та інших елементів.
4. Розроблення алгоритму нейронечіткого управління: на цьому етапі розробляється алгоритм, який враховує якісні та кількісні параметри МРП, отримані внаслідок аналізу вихідних даних. Для розроблення алгоритму пропонується використати нейромережі на підставі парадигми моделі послідовних геометричних перетворень та нечіткої логіки.
5. Розроблення ПЗ: на цьому етапі розробляється програмне забезпечення для реалізації алгоритму нейронечіткого управління. Програмне забезпечення повинно забезпечувати взаємодію з сенсорами та виконавчими пристроями МРП, а також виконувати обробку та аналіз даних, що надходять від МРП.
6. Тестування та налаштування: на цьому етапі система нейронечіткого управління групою МРП перевіряється на реальних робототехнічних платформах в умовах, близьких до реальних. Після тестування система налаштовується на оптимальні параметри для максимальної ефективності та точності управління.
7. Впровадження та експлуатація: на цьому етапі система нейронечіткого управління запроваджується у роботу та виконується її експлуатація.

Вибір підходів та принципів розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП. Розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП пропонується здійснювати на базі інтегрованого підходу, який охоплює:

- методи нейронечіткого управління групою МРП, штучні нейронні мережі та нечітку логіку;
- методи навігації, методи попереднього опрацювання та розпізнавання зображень;
- методи інтелектуального опрацювання та оцінювання даних із давачів в умовах дії завад і неповноти інформації;
- сучасні методи та алгоритми інтелектуального управління рухом МРП;
- сучасну елементну базу (мікроконтролери, системи на кристалі, ПЛІС тощо);
- методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів МРП.

Реалізацію системи нейронечіткого управління групою МРП пропонується виконувати на підставі проблемно-орієнтованого підходу, який передбачає поєднання програмних і апаратних засобів. Процес взаємопроникнення програмних (універсальних) і апаратних (спеціалізованих) засобів забезпечує високу ефективність використання обладнання.

Розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП пропонується здійснювати за такими принципами:

- розподілення, при якому система повинна бути розподіленою, тобто складатися з окремих МРП, які можуть працювати окремо або в групі;
- автономності, де кожна МРП повинна мати власну систему нейронечіткого управління, що дасть змогу самостійно реагувати на зміни у середовищі і приймати рішення;
- взаємодії, при якому кожна МРП повинна мати можливість передавати інформацію про свої дії і стан, а також отримувати команди від координатора;
- системності, при якому між компонентами утворюються такі зв'язки, які забезпечують взаємодію та ефективне управління МРП;

- змінного складу обладнання, що передбачає наявність ядра системи та змінних модулів (компонент), за допомогою яких ядро адаптується до вимог конкретного застосування;
- модульності, який передбачає розробку компонент системи у вигляді функціонально завершених модулів, що мають вихід на стандартний інтерфейс;
- відкритості програмного забезпечення, що передбачає можливість нарощування та його вдосконалення, максимального використання стандартних драйверів та програмних засобів;
- сумісності, який передбачає використання під час розроблення компонент інформаційно-технологічних інтерфейсів, завдяки яким компоненти можуть взаємодіяти між собою;
- спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів опрацювання та захисту даних;
- використання комплексу базових проектних рішень.

Розроблення базової структури системи нейронечіткого управління групою МРП. Основними задачами системи нейронечіткого управління групою МРП є координація руху МРП у групі та їх взаємодія з оточуючим середовищем. Для розв'язання широкого спектру задач розробляється базова структура системи нейронечіткого управління групою МРП, яка є ядром для синтезу на її основі широкого спектру систем управління. Реалізація конкретної системи нейронечіткого управління групою МРП здійснюється шляхом доповнення ядра (базової структури) набором модулів, які адаптують систему до вимог конкретного застосування.

Розроблена базова структура системи нейронечіткого управління групою МРП наведена на рис. 2.

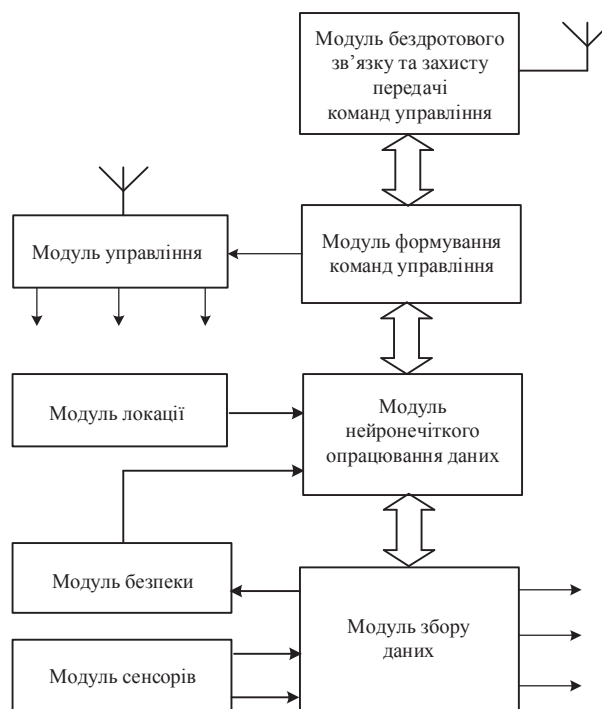


Рис. 2. Базова структура системи нейронечіткого управління групою мобільних робототехнічних платформ / Basic structure of the neurofuzzy control system of a group of mobile robotic platforms

Основними компонентами базової структури системи нейронечіткого управління групою МРП є такі модулі: бездротового зв'язку та захисту передачі команд управління, формування команд управління, модуль управління, локації, нейронечіткого опрацювання даних, збирання даних, безпеки та сенсорів.

Модуль бездротового зв'язку та захисту передачі команд управління забезпечує передачу зашифрованих команд управління на кожну МРП. Передача зашифрованих команд управління виконується переважно з використанням стандартів бездротового зв'язку, таких як Wi-Fi, Zigbee або спеціалізованих.

Модуль формування команд управління на підставі нейронечіткого опрацювання даних забезпечує формування команд управління рухом МРП і команд виконання задач, визначених перед МРП. Сформовані команди містять настанови для переміщення, збирання даних, спілкування з іншими МРП.

Модуль управління забезпечує виконання команд управління, які можуть надходити як від модуля формування команд управління, так і системи управління групою МРП. Даний модуль забезпечує управління швидкістю, кутом повороту та координацією руху. Окрім цього, він забезпечує виконання команд, зв'язаних із розподілом завдань між МРП.

Модуль локації забезпечує локалізацію МРП як на місцевості, так у групі. Для такої локалізації МРП можуть використовуватися GPS-приймачі та радіолокаційні вимірювачі параметрів руху.

Модуль безпеки забезпечує: безпеку взаємодії між МРП; захист від зовнішніх загроз; перевірку ідентичності кожного МРП у групі та надання доступу до необхідних ресурсів; шифрування-дешифрування конфіденційної інформації, що передається між МРП та управляючою системою.

Модуль нейронечіткого опрацювання даних забезпечує виконання таких операцій:

- опрацювання даних, що надходять від сенсорів, зокрема відеоданих, та даних з інших МРП;

- аналіз даних із метою визначення поточного стану МРП та її оточення;
- підтримка управління на підставі аналізу даних, що надходять із різних джерел, враховуючи планування маршруту руху, управління рухом та уникнення перешкод;
- координації дій та прийняття рішень за результатами опрацювання даних про стан МРП та її оточення.

Для виконання таких операцій модуль нейронечіткого опрацювання даних використовує нечітку логіку, різноманітні алгоритми машинного навчання та аналізу даних, такі як: нейронні мережі, алгоритми кластеризації, алгоритми виявлення об'єктів та багато інших. Окрім цього, при опрацюванні даних у такому модулі використовуються алгоритми визначення стану навколишнього середовища, розпізнавання об'єктів та перешкод, а також планування траєкторій руху роботів.

Модуль збирання даних забезпечує збір даних від МРП та сенсорів у реальному часі. Такий модуль реалізується основі багатопортової пам'яті (БПП) з безконфліктним доступом до запам'ятовуючого середовища. Для забезпечення безконфліктного доступу використовується принцип часового розподілу часу доступу до запам'ятовуючого середовища між засобами (МРП, сенсорами, модулем нейронечіткого опрацювання даних), які підключаються до модуля збирання даних.

Структура БПП із часовим розподілом ресурсів. Поява на ринку пам'яті з великим об'ємом та малим часом циклу запису і читання спонукала до розроблення на їх базі БПП, в основу роботи якої покладено принцип часового розподілу ресурсів пам'яті між пристроями, що під'єднуються до неї [24]. Для модуля збирання даних у реальному часі найбільший інтерес становлять безконфліктні методи доступу до БПП. Структура БПП, яка реалізує такі методи обміну, представлена на рис. 3, де КБПП – контролер БПП, ПК – пристрій керування, ШД – шина даних, ША – шина адреси, ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій.

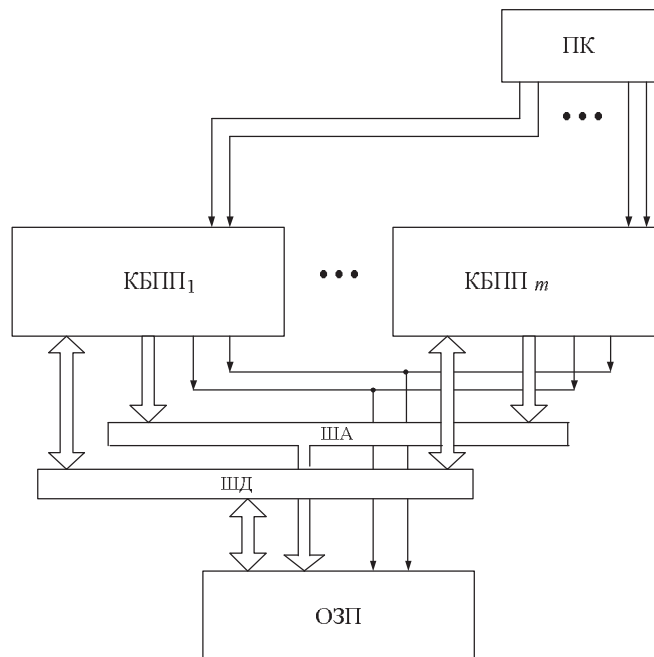


Рис. 3. Структура багатопортової пам'яті з часовим розподілом ресурсів / Structure of multiport memory with time distribution of resources

Основними елементами БПП із часовим розподілом ресурсів є ОЗП і КБПП, які синхронізують обмін між ОЗП і зовнішніми пристроями. Кількість контролерів у БПП дорівнює кількості зовнішніх пристроїв.

Вдосконалення методу часового розподілу ресурсів запам'ятовуючого середовища багатопортової пам'яті. Доступ зовнішніх пристроїв до ОЗП здійснюється циклічно з періодом T , який залежить як від кількості пристроїв m , так і від часу t_u циклу доступу до ОЗП і часу $t_{КПП}$ спрацювання КПП. При звертанні зовнішніх пристроїв з однаковою швидкістю до паралельної пам'яті з часовим розподілом ресурсів період T визначається виразом:

$$T = (t_u + t_{КПП})m. \quad (3)$$

Налаштування БПП із часовим розподілом ресурсів ОЗП на роботу з різними за швидкістю ОЗП і зовнішніми пристроями здійснюється шляхом формування ПК для кожного КПП, неперервної послідовності тактових імпульсів PI_{1j}, PI_{2j} , де $j=1, \dots, m$. Часова діаграма тактових імпульсів PI_{1j}, PI_{2j} на виході ПК для чотирьох КПП, які працюють із однаковими за швидкістю зовнішніми пристроями, наведена на рис. 4.

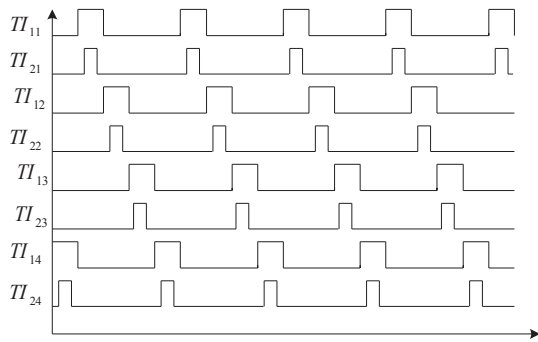


Рис. 4. Часова діаграма формування тактових імпульсів на виході пристрою керування / Timing diagram of the formation of clock pulses at the output of the control device

Тривалість тактових імпульсів PI_{1j}, PI_{2j} рівна, відповідно, часу циклу звертання і часу запису (читання) в ОЗП. При звертанні до БПП із часовим розподілом ресурсів ОЗП різних за швидкістю зовнішніх пристроїв їх періоди визначаються так:

$$T_w = (k + 1)(t_u + t_{КПП}); \quad (4)$$

$$T_n = T_w (m - k), \quad (5)$$

де T_w, T_n – періоди звертання, відповідно, швидких і повільних пристроїв; k – кількість швидких пристроїв.

Запис (читання) даних у БПП із часовим розподілом ресурсів ОЗП може здійснюватися як послібно, так і масивами.

Обговорення отриманих результатів. Група МРП, загалом, діючи злагоджено і оптимально використовуючи обмежені ресурси, може спільно виконати визначене завдання. При цьому, окрема МРП може бути орієнтована на виконання відносно нескладних операцій, обумовлених обмеженим радіусом дії, енергоресурсом чи набором виконавчих пристроїв. При керуванні групою МРП виникає ряд складних завдань (узгоджене управління кожною МРП, організація взаємодії окремих МРП, моделювання навігаційного стану оточуючого середовища, облік ресурсів), які доцільно реалізовувати з широким використанням методів нечіткого та

нейронечіткого управління. Вказані методи варто вважати найбільш адекватними в умовах динамічної зміни ситуації, зміни кількісного складу групи тощо.

Для групового управління МРП варто застосовувати три типи підходів, а саме: централізований, децентралізований та гібридний, кожен із яких у кожному конкретному випадку має певні переваги. Система управління групою МРП повинна будуватися з урахуванням необхідності виконання завдання, загалом, навіть при умові втрати за тих чи інших умов окремих МРП. Для цього система управління повинна здійснювати перерозподіл завдань між МРП, забезпечувати визначення оптимальних маршрутів руху МРП, планування завдань для групи загалом та їх синхронізацію. Необхідність розроблення системи групового управління в умовах невизначеності вказує на потребу застосування нечітких і нейронечітких засобів, завданням яких є забезпечення: ефективного управління групою МРП; мінімізації часу виконання завдання; масштабування відносно кількості МРП; реагування на зміни умов роботи; ефективного використання ресурсів МРП; аналізу та оброблення даних про стан всіх МРП для подальшого вдосконалення управління групою тощо. Визначено основні етапи створення системи нейронечіткого управління групою МРП та запропоновано розроблення системи виконувати на базі інтегрованого підходу, що містить: засоби штучних нейронних мереж та нечіткої логіки; методи навігації; методи інтелектуального опрацювання та оцінювання даних із давачів в умовах дії завад і неповноти інформації; розпізнавання зображень та ін. Реалізацію системи нейронечіткого управління групою МРП пропонується виконувати на підставі проблемно-орієнтованого підходу, який передбачає поєднання програмного (універсального) і апаратного (спеціалізованого) забезпечення з метою ефективного використання обладнання. Зокрема, вдосконалено метод часового розподілу ресурсів запам'ятовуючого середовища багатопортової пам'яті, який забезпечує збільшення кількості пристроїв із безконфліктним доступом.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вдосконалено метод часового розподілу ресурсів запам'ятовуючого середовища багатопортової пам'яті, який за рахунок врахування швидкодії запам'ятовуючого середовища та зовнішніх пристроїв забезпечує збільшення кількості пристроїв із безконфліктним доступом до ОЗП.

Практична значущість результатів дослідження – розроблено базову структуру системи нейронечіткого управління групою МРП, яка забезпечує адаптацію до вимог конкретного застосування, а використання запропонованої структури багатопортової пам'яті з часовим розподілом ресурсів забезпечує синтез модуля збору даних із безконфліктним доступом до запам'ятовуючого середовища.

Висновки / Conclusions

Розроблено базову структуру системи нейронечіткого управління групою МРП, яка забезпечує можливість адаптації до вимог конкретного застосування.

Визначено вимоги до системи нейронечіткого управління групою МРП, основними з яких є забезпечення: ефективного управління групою МРП; мінімізації часу на виконання завдань; гнучкості та адаптивності до змінних умов роботи; надійної та стійкої роботи при реалізації різних сценаріїв; розширення функцій та

масштабування відносно кількості МРП; точності та надійності управління рухом кожної МРП; реагування на зміни умов роботи; безперебійної роботи групи МРП; ефективного використання ресурсів МРП; зменшення габаритів, ваги та енергоспоживання; управління у реальному часі; збирання даних про навколишнє середовище та стан МРП; бездротового зв'язку між МРП; розроблення програмних засобів із урахуванням розподіленої архітектури; реалізації інтерфейсу програмування з можливістю розроблення додаткового програмного забезпечення та інтеграції з іншими системами; збереження даних про стан всіх МРП для подальшого аналізу та вдосконалення управління групою МРП.

Визначено такі основні етапи розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП: формулювання задачі; аналіз вимог до системи; проектування апаратних засобів; розроблення алгоритму нейронечіткого управління; розроблення ПЗ; тестування та налаштування; впровадження та експлуатація.

Запропоновано розроблення системи нейронечіткого управління групою МРП виконувати на базі інтегрованого підходу, який охоплює: методи нейронечіткого управління групою МРП, штучні нейронні мережі та нечітку логіку; методи навігації, методи попереднього опрацювання та розпізнавання зображень; методи інтелектуального опрацювання та оцінювання даних із давачів в умовах дії завад і неповноти інформації; сучасні методи та алгоритми інтелектуального управління рухом МРП; сучасну елементну базу (мікроконтролери, системи на кристалі, ПЛІС тощо); методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів МРП.

Запропоновано реалізацію системи нейронечіткого управління групою МРП виконувати на підставі проблемно-орієнтованого підходу, який передбачає поєднання програмного (універсального) і апаратного (спеціалізованого) та забезпечує високу ефективність використання обладнання.

Вдосконалено метод часового розподілу ресурсів запам'ятовуючого середовища багатопортової пам'яті, який за рахунок врахування швидкодії запам'ятовуючого середовища та зовнішніх пристроїв забезпечує збільшення кількості пристроїв із безконфліктним доступом до запам'ятовуючого середовища.

References

[1] Pentagon Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017–2042. <https://news.usni.org/2018/08/30/pentagon-unmanned-systems-integrated-roadmap-2017-2042>

[2] Monda, S., Pratihari, D. K. (2016). Fuzzy logic-based group formation control of multiple wheeled robots. International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom), Durgapur, 1–7. <https://doi.org/10.1109/MicroCom.2016.7522556>

[3] Melingui, A., Merzouki R., Mbede, J. B. (2014). Neuro-fuzzy controller for autonomous navigation of mobile robots. IEEE Conference on Control Applications (CCA), Juan Les Antibes, France, 1052–1057. <https://doi.org/10.1109/CCA.2014.6981474>

[4] Boudjelal, Meftah, Hamza, Teggari. Navigation in multi-robot systems based on the behavioural fuzzy controller. New Trends in Mathematical Sciences 9 Proceeding, 1, 124–129. <https://doi.org/10.20852/ntmsci.2021.439>

[5] Shi, Y., Song, J., Hua, Y., Dong, J., Ren, Z. (2022). Leader-Follower Formation Control for Fixed-Wing UAVs using Deep Reinforcement Learning. 41st Chinese Control Conference (CCC), Hefei, China, 3456–3461. <https://doi.org/10.23919/CCC55666.2022.9901799>

[6] Hoy, M., Matveev, A. S., Savkin A. V. (2015). Algorithms for collision free navigation of mobile robots in complex cluttered environments: a survey. *Robotica*, 33, 03, 463–497. <https://doi.org/10.1017/S0263574714000289>

[7] Yang, L., Qi, J., Song, D., Xiao, J., Han, J., Xia, Y. (2016). Survey of robot 3D path planning algorithms. *J Control Sci Eng*, 5. <https://doi.org/10.1155/2016/7426913>

[8] Glavaski, D., Mario, V., Bonkovic, M. (2009). Robot motion planning using exact cell decomposition and potential field methods. Proceedings of the 9th WSEAS international conference on Simulation, modelling and optimization, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), September, 126–131.

[9] Zhuo, Y., Guo, C. (2013). Underactuated ship way-points track control using repetitive learning neurofuzzy. 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Guiyang, China, 248–252. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2013.6560929>

[10] Nyarko, E. K., Peric, N., Petrovic, I. (2005). Experimental investigations of a direct adaptive neurofuzzy controller. Proceedings of 2005 IEEE Conference on Control Applications, CCA, Toronto, ON, Canada, 1051–1056. <https://doi.org/10.1109/CCA.2005.1507269>

[11] Wen-Ran Z. (1997). Neurofuzzy agents and neurofuzzy laws for autonomous machine learning and control. Proceedings of International Conference on Neural Networks (ICNN'97), Houston, TX, USA, 3, 1732–1737. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1997.614157>

[12] Yusof, Y., Mansor, H. M. A. H., Ahmad, A. (2016). Formulation of a lightweight hybrid ai algorithm towards self-learning autonomous systems. Proc. of the 2016 IEEE Confer. on Systems, Process and Control (IC-SPC), Melaka, Malaysia, 16–18 December, 142–147. <https://doi.org/10.1109/SPC.2016.7920719>

[13] Alves, R. M. F., Lopes, C. R. (2016). Obstacle avoidance for mobile robots: A hybrid intelligent system based on fuzzy logic and artificial neural network. Proc. of the 2016 IEEE Intern. Conf. on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Vancouver, BC, Canada, 24–29 July, 1038–1043. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2016.7737802>

[14] Medina-Santiago, A., Morales-Rosales, L. A., Hernández-Gracidas, C. A., Algreto-Badillo, I., Pano-Azucena, A. D., Orozco Torres, J. A. (2021). Reactive Obstacle – Avoidance Systems for Wheeled Mobile Robots Based on Artificial Intelligence. *Applied Sciences*, 11(14), 64–68. <https://doi.org/10.3390/app11146468>

[15] Chen, C. L. P., Yu, D., Liu, L. (2019). Automatic leader-follower persistent formation control for autonomous surface vehicles. *IEEE Access*, 7, 12146–12155. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2886202>

[16] Wildani, F., Mardiaty, R., Mulyana, E., Setiawan, A. E., Nurmamasari, R. R., Sartika, N. (2022). Fuzzy Logic Control for Semi-Autonomous Navigation Robot Using Integrated Remote Control. 8th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Yogyakarta, Indonesia, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICWT55831.2022.9935458>

[17] Oultiligh, A., Ayad, H., Pozna, C., Mogan, C., Eibouzkraoui M., Elkari, B. (2020). Obstacle Avoidance using Fuzzy Controller for Unicycle Robot. International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD), Paris, France, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCAD49821.2020.9260553>

[18] Sahloul, S., Benhalima, D., Rekek, C. (2019). Comparative study of hybrid fuzzy logic methods for mobile robot navigation in unknown environments. 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Sousse, Tunisia, 170–175. <https://doi.org/10.1109/STA.2019.8717260>

[19] Najmurokhman, A., Kusnandar, U., Sunubroto, K., Sadiyoko, A., Iskanto, T. Y. (2019). Mamdani based Fuzzy Logic Controller for A Wheeled Mobile Robot with Obstacle Avoidance Capability. International Conference on Mechatronics, Robotics and Systems Engineering (MoRSE), Bali, Indonesia, 49–53. <https://doi.org/10.1109/MoRSE48060.2019.8998720>

- [20] Wang, S., Xu, G., Liu, T. Zhu, Y. (2021). Robust Real-time Obstacle Avoidance of Wheeled Mobile Robot based on Multi-Sensor Data Fusion. IEEE 5th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), Chongqing, China, 2383–2387. <https://doi.org/10.1109/IAEAC50856.2021.9391021>
- [21] Aniculaesei, A., Grieser, J., Rausch, A., Rehfeldt, K. and Warnecke, T. (2018) Toward a Holistic Software Systems Engineering Approach for Dependable Autonomous Systems IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering for AI in Autonomous Systems (SEFAIAS), Gothenburg, Sweden, pp. 23-30. <https://doi.org/10.1145/3194085.3194091>
- [22] Купріненко, О., Мочерад, В., Загребельний, С., & Слюсаренко, О. (2022). Визначення потреби сухопутних військ у наземних роботизованих комплексах. Військово-технічний збірник, 26, 33–41. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.26.2022.33-41>
- [23] Глебов, В., Жадан, В., Корольов, В., Мормило, Я., Стривовський, С., Волковой, О., Ганзера, Ю., Липовець, В., & Фолунін, С. (2022). Розроблення бойового наземного роботизованого комплексу важкого класу на базі бронетранспортера БТР-4Е. Військово-технічний збірник, 2), 3–10. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.3-10>
- [24] Hirano, K., Ono, T., Kurino H., Koyanagi, M. (1998). A new multiport memory for high performance parallel processor system with shared memory. Proceedings of 1998 Asia and South Pacific Design Automation Conference, Yokohama, Japan, 333–334. <https://doi.org/10.1109/ASPAC.1998.669491>

I. G. Tsmots¹, Yu. V. Opotyak¹, B. V. Shtohrinets¹, A. O. Dzyuba², Yu. Yu. Oliinyk¹

¹ Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

² Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine

BASIC STRUCTURE OF THE NEUROFUZZY CONTROL SYSTEM FOR A GROUP OF MOBILE ROBOTIC PLATFORMS

It is shown that the following approaches can be used for group management of mobile robotic platforms (MRP): centralized (concentrated), decentralized (distributed) and hybrid. It was determined that an urgent task is the development of a neurofuzzy management system for the MRP group, which must perform the distribution of tasks between the MRPs, the determination of MRP movement routes, joint planning of works and their synchronization. The requirements for the system of neurofuzzy management of the MRP group are formulated, the main of which are the provision of: effective management of the MRP group; minimization of time for tasks; flexibility and adaptability to changing working conditions; reliable and stable operation when implementing various scenarios; expansion of functions and scaling relative to the number of MRPs; accuracy and reliability of traffic management of each MRP; response to changes in working conditions; uninterrupted work of the MRP group; effective use of MRP resources; reduction of dimensions, weight and energy consumption; management in real time; collecting data on the environment and the state of the MRP; wireless communication between MRP; development of software tools taking into account the distributed architecture; implementation of a programming interface with the possibility of developing additional software and integration with other systems; saving data on the status of all MRPs for further analysis and improving the management of the MRP group. The following main stages of the development of the neurofuzzy control system by the MRP group were identified: problem formulation; analysis of system requirements; hardware design; development of a neurofuzzy control algorithm; software development; testing and tuning; implementation and operation. It is suggested that the development of the system of neurofuzzy control of the MRP group be carried out on the basis of an integrated approach, which includes: methods of neurofuzzy control of the MRP group, artificial neural networks and fuzzy logic; navigation methods, methods of pre-processing and image recognition; methods of intellectual processing and evaluation of data from sensors in conditions of interference and incomplete information; modern methods and algorithms of intelligent traffic control of MRP; modern element base (microcontrollers, systems-on-chip, FPGA, etc.); methods and means of automated design of hardware and software of MRP. It is proposed to implement the neurofuzzy control system by the MRP group on the basis of a problem-oriented approach, which involves a combination of universal software and specialized hardware, which ensures high efficiency of equipment use. The method of time allocation of resources of the storage medium of multiport memory has been improved, which, due to the consideration of the speed of the storage medium and external devices, ensures an increase in the number of devices with conflict-free access to the storage medium.

Keywords: mobile robotics platform, neurofuzzy processing, system structure, neural network, sensors, data protection, group management.

Інформація про авторів:

Цмоць Іван Григорович, д-р техн. наук, професор, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: ivan.h.tsmots@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-4033-8618>

Опотяк Юрій Володимирович, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: yurii.v.opotyak@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-9889-4177>

Штогрінець Богдан Володимирович, аспірант, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: bohdan.v.shtohrinets@lpnu.ua; <https://orcid.org/0009-0001-4956-3862>

Дзюба Артем Олексійович, начальник факультету ракетних військ і артилерії.

Email: artem.dzuba@icloud.com; <https://orcid.org/0009-0001-1050-2501>

Олійник Юрій Юрійович, аспірант, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: yurii.y.oliiynyk@lpnu.ua; <https://orcid.org/0009-0008-8149-4116>

Цитування за ДСТУ: Цмоць І. Г., Опотяк Ю. В., Штогрінець Б. В., Дзюба А. О., Олійник Ю. Ю. Базова структура системи нейронного управління групою мобільних робототехнічних платформ. *Український журнал інформаційних технологій*. 2023. Т. 5, № 1. С. 77–85.

Citation APA: Tsmots, I. G., Opotyak, Yu. V., Shtohrinets, B. V., Dzyuba, A. O., Oliinyk, Yu. Yu. (2023). Basic structure of the neurofuzzy control system for a group of mobile robotic platforms. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 5(1), 77–85.

<https://doi.org/10.23939/ujit2023.01.077>