



І. Г. Цмоць, В. М. Теслюк, Ю. В. Опотяк, Р. В. Парцей, Р. В. Зінько

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

БАЗОВА АРХІТЕКТУРА МОБІЛЬНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ РУХОМ І ЗАХИСТОМ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Визначено вимоги до мобільної робототехнічної платформи (МРТП) з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних, основними з яких є забезпечення: зменшення габаритів, енергоспоживання та вартості; дистанційного та інтелектуального автономного управління рухом; криптографічного захисту передачі даних у реальному часі; збереження працездатності в умовах дії зовнішніх чинників; адаптації до вимог замовника; здатність самостійно виконувати завдання в умовах невизначеності зовнішньої обстановки. Запропоновано розробку мобільної робототехнічної платформи виконувати на базі інтегрованого підходу, який охоплює: методи навігації, методи попереднього опрацювання та розпізнавання зображень; сучасні методи та алгоритми інтелектуального управління, штучні нейронні мережі та нечітку логіку; нейроподібні методи криптографічного захисту передачі даних; сучасні компоненти та сучасну елементну базу; методи інтелектуального опрацювання та оцінювання даних із давачів в умовах завад і неповної інформації; методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів МРТП. Вибрано для розроблення мобільної робототехнічної платформи з інтелектуальною системою управління та криптографічним захистом передачі даних такі принципи: ієрархічності побудови інтелектуальної системи управління; системності; змінного складу обладнання; модульності; відкритості програмного забезпечення; сумісності; спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів опрацювання та захисту даних; використання комплексу базових проектних рішень. Розроблено базову архітектуру мобільної робототехнічної платформи з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних, яка є основою для побудови мобільних робототехнічних платформ із заданими техніко-експлуатаційними параметрами. З метою реалізації нейроподібних засобів вдосконалено метод таблично-алгоритмічного обчислення скалярного добутку, який за рахунок одночасного формування k макрочасткових добутків забезпечує зменшення в k рази часу обчислення скалярного добутку.

Ключові слова: мобільна робототехнічна платформа; інтелектуальне опрацювання; архітектура; нейромережа; автономне управління; давачі; захист даних.

Вступ

У військовій галузі для транспортування озброєння, проведення розвідки, виконання спеціальних військових і пошуково-рятувальних операцій важливою проблемою є організація дистанційного та автономного управління рухом мобільної робототехнічної платформи (МРТП) з використанням криптографічного захисту передачі даних. Для вирішення такої проблеми необхідно розробити МРТП з інтелектуальною системою управління, захистом передачі даних і високими техніко-експлуатаційними параметрами. Вирішення такого завдання потребує широкого використання сучасної елементної бази (мікроконтролери, системи на кристалі, ПЛІС тощо), розроблення нових методів, алгоритмів і апаратних структур, орієнтованих на ефективну реалізацію алгоритмів опрацювання та розпізнавання зобра-

жень, моделювання навколишнього середовища, планування дій, прокладення раціональних маршрутів переміщення з використанням нечіткої логіки, нейроподібного криптографічного шифрування та дешифрування даних. Одним із шляхів досягнення високих техніко-експлуатаційних характеристик інтелектуальної системи управління є використання нейромереж на підставі парадигми послідовних геометричних перетворень для оцінювання даних із давачів в умовах завад і неповної інформації та для розпізнавання зображень і сцен. Значені характеристики засобів криптографічного захисту передачі даних забезпечать використанням нейроподібних мереж прямого поширення автоасоціативного типу, які навчаються неітеративним методом послідовних геометричних перетворень. Особливістю таких нейроподібних мереж є принципова можливість неітеративного обчислення вагових коефіцієнтів синаптич-

них зв'язків між нейронними елементами та використання для їх реалізації таблично-алгоритмічного методу. Режим реального часу та висока ефективність використання обладнання у компонентах МРТП досягається внаслідок розпаралелення та конвеєризації процесів оброблення, одночасного використання універсальних процесорних ядер, доповнених спеціалізованими апаратно-програмними засобами.

Тому актуальною проблемою є розроблення базової архітектури МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних, яка орієнтована на побудову на її основі множини МРТП із заданими техніко-експлуатаційними параметрами.

Об'єкт дослідження – збирання та інтелектуальне опрацювання даних, моделювання навколишнього середовища, планування дій, прокладення раціональних маршрутів переміщення та управління рухом МРТП.

Предмет дослідження – архітектура МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі, методи, алгоритми і засоби реалізації базових нейромережових операцій.

Мета роботи – розроблення базової архітектури МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних, вдосконалення методу та створення пристрою таблично-алгоритмічного обчислення скалярного добутку.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі *основні завдання дослідження*:

- аналіз останніх досліджень та публікацій;
- формування вимог до МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних;
- вибір підходів і принципів розроблення МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних;
- розроблення базової архітектури МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних;
- вдосконалення методу та розроблення пристрою для обчислення скалярного добутку, який є основою створення відповідних нейромережових засобів.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вдосконалено метод таблично-алгоритмічного обчислення скалярного добутку, який за рахунок одночасного формування k макрочасткових добутків забезпечує зменшення в k раз часу обчислення скалярного добутку.

Практична значущість результатів дослідження – використання вдосконаленого методу таблично-алгоритмічного обчислення скалярного добутку для апаратної реалізації забезпечує високу ефективність використання обладнання та режим реального часу завдяки нейромережевому обробленню даних.

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

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій [1], [5], [6], [7], [13], [16] показує, що задача розроблення мобільних робототехнічних платформ полягає в тому, щоб забезпечити вимоги конкретних застосувань, щодо масо-габаритних параметрів, енергоспоживання, вартості, крипостійкості передачі даних, дистанційного та автономного управління рухом, планування безпечного шляху від початкової позиції до визначеного місця.

У роботах [3], [5], [8], [9], [12] показано, що переважною частиною наявних мобільних робототехнічних платформ управляє людина-оператор, від якої вимагається неперервне спостереження за платформою та оперативне керування її діями. Такий підхід до управління мобільною робототехнічною платформою має низку недоліків: необхідність постійного каналу зв'язку між оператором і платформою; швидке втомлення оператора, що веде до збільшення імовірності помилкових дій; складність правильної оцінки зовнішнього середовища та здійснення адекватного управління.

Проведений аналіз робіт [9], [14], [17] показав, що невизначеність зовнішнього середовища, в якому рухається мобільна робототехнічна платформа, включає в її склад систему технічного зору, набір інтелектуальних давачів і нейромережові засоби опрацювання даних, які повинні забезпечити автономне безпечне управління рухом платформи.

З аналізу літератури [3], [4], [5], [6], [7], [9], [11], [16], [17] випливає, що основними шляхами покращення техніко-експлуатаційних характеристик мобільних робототехнічних платформ є часте використання сучасної елементної бази, розроблення нових методів, алгоритмів і апаратних структур, орієнтованих на ефективну реалізацію інтелектуальних алгоритмів опрацювання та розпізнавання зображень, моделювання навколишнього середовища, планування дій, прокладення раціональних маршрутів переміщення з використанням нечіткої логіки, нейроподібного криптографічного шифрування та дешифрування даних [1], [2], [8], [12], [13], [14].

Результати дослідження та їх обговорення

Формування вимог до МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних. Основними вимогами, які висуваються до МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних, є забезпечення:

- зменшення габаритів, енергоспоживання та вартості МРТП;
- дистанційного та інтелектуального автономного управління рухом МРТП;
- криптографічного захисту передачі даних у реальному часі;
- збереження працездатності МРТП в умовах дії зовнішніх чинників;
- можливості адаптації до вимог замовника;
- багатofункціональності, сумісності й можливості інтеграції з наявними МРТП;
- здатності самостійно виконувати завдання в умовах невизначеності зовнішньої обстановки [15];
- застосування МРТП вдень і вночі в умовах радіоелектронної та інформаційної протидії.

Створення таких МРТП потребує частого використання сучасних компонент (відеокамер, давачів, плат-

форм-шасі, мікроконтролерів, систем на кристалі, програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) тощо), розроблення нових методів, алгоритмів і засобів для опрацювання та захисту у реальному часі різних за інтенсивністю надходження потоків даних (відеопотоків [10], даних із давачів, команд управління).

Режим реального часу накладає обмеження на тривалість опрацювання та захисту даних T_o , який не повинен перевищувати тривалості нагромадження даних $T_{но}$, тобто

$$T_o \leq T_{но}.$$

Тривалість нагромадження масиву даних залежить як від його обсягу N , розрядності даних n і частоти F_d їх надходження, так і від розрядності n_k і кількості каналів k , якими вони надходять. Таку тривалість визначають за формулою

$$T_{но} = \frac{Nn}{F_d k n_k}.$$

Для забезпечення опрацювання та криптографічного захисту потоків даних у реальному часі продуктивність комп'ютерних засобів має бути:

$$П \geq \frac{BRF_d k n_k}{Nn},$$

де: R – складність алгоритмів опрацювання та криптографічного захисту даних; β – коефіцієнт врахування особливостей комп'ютерних засобів реалізації алгоритму. Забезпечити продуктивність комп'ютерних засобів для опрацювання потоків даних у реальному часі пропонуємо шляхом розпаралелення та конвеєризації процесів оброблення.

Під час розроблення МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних необхідно мінімізувати апаратні затрати на розроблення компонент під час забезпечення їх роботи у реальному часі. Для оцінювання розроблених компонент МРТП пропонуємо використати критерій ефективності E_k застосування обладнання, який зв'язує тривалість опрацювання даних із витратами обладнання і дає оцінку елементам компонент за продуктивністю. Кількісно величину ефективності використання обладнання у компонентах визначаємо так:

$$E_k = \frac{R_k}{t_A W_k},$$

де: R_k – складність алгоритму функціонування компоненти; t_A – тривалість виконання алгоритму; W_k – апаратні витрати на реалізацію компоненти. Високу ефективність використання обладнання під час розроблення компонент МРТП пропонуємо досягати застосуванням універсальних процесорних ядер, доповнених спеціалізованими апаратними засобами, які реалізують складні обчислювальні алгоритми.

Створення МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних із високими техніко-експлуатаційними характеристиками потребує розроблення нових методів, алгоритмів і апаратних структур, орієнтованих на ефективну реалізацію алгоритмів опрацювання та розпізнавання зображень, моделювання навколишнього середовища, планування дій, прокладення раціональних маршрутів переміщення з використанням нечіткої логіки, нейроподібного криптографічного шифрування та дешифрування даних. Для

досягнення цих характеристик під час розроблення інтелектуальних компонент управління рухом і криптографічного захисту передачі даних пропонуємо використовувати нейромережі прямого поширення автоасоціативного типу, що навчаються неітеративним методом послідовних геометричних перетворень.

Під час автономного керування рухом МРТП необхідно забезпечити підвищену стійкість керування, яку можна досягнути методами управління з використанням нечіткої логіки.

Вихідною інформацією для розроблення компонент МРТП з інтелектуальною системою управління та захистом передачі даних є:

- алгоритми опрацювання та криптографічного захисту даних;
- величини масивів вхідних даних N ;
- інтенсивності вхідних потоків даних;
- вимоги до зовнішніх інтерфейсів компонент МРТП;
- розрядність вхідних даних і необхідна точність обчислень;
- техніко-експлуатаційні вимоги та обмеження.

Загалом завдання розроблення компонент МРТП з інтелектуальною системою управління та захистом передачі даних можна сформулювати в такий спосіб:

- вибрати алгоритми опрацювання та нейроподібного шифрування і дешифрування даних і представити їх у вигляді конкретизованого потокового графу;
- визначити порядок реалізації у часі алгоритмів функціонування компонент МРТП;
- розробити структури компонент із максимальною ефективністю використання обладнання, які враховують всі обмеження та забезпечують обробку та криптографічний захист даних у реальному часі;
- визначити основні характеристики компонент МРТП та здійснити їх розроблення;
- вибрати способи обміну, визначити необхідні зв'язки та розробити систему обміну між компонентами.

Вибір підходів і принципів розроблення МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних. МРТП з інтелектуальною системою управління та захистом передачі даних пропонуємо розробляти на базі інтегрованого підходу, який охоплює:

- методи навігації, методи попереднього опрацювання та розпізнавання зображень;
- сучасні методи та алгоритми інтелектуального управління, штучні нейронні мережі та нечітку логіку;
- нейроподібні методи криптографічного захисту передачі даних;
- сучасні компоненти МРТП, елементну базу для реалізації апаратних комп'ютерних засобів;
- методи інтелектуального опрацювання та оцінювання даних із давачів в умовах дії завад і неповноти інформації;
- методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів МРТП.

Реалізацію компонент МРТП пропонуємо виконувати на підставі проблемно орієнтованого підходу, який передбачає поєднання універсальних і спеціалізованих засобів, що апаратно реалізують найскладніші обчислювальні алгоритми. Розроблення МРТП з інтелектуальною системою управління та криптографічним захистом передачі даних варто здійснювати за такими принципами:

- ієрархічності побудови інтелектуальної системи управління МРТП шляхом поділу її на рівні управління;

- системності, при якому між компонентами утворюються такі зв'язки, які забезпечують взаємодію та цілісність функціонування МРТП;
- змінного складу обладнання, що передбачає наявність ядра МРТП та змінних модулів (компонент), за допомогою яких ядро адаптується до вимог конкретного застосування;
- модульності, який передбачає розроблення компонент МРТП у вигляді функціонально завершених модулів, що мають вихід на стандартний інтерфейс;
- відкритості програмного забезпечення, що передбачає можливості нарощування та його вдосконалення, максимального використання стандартних драйверів і 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 архітектури МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних. Більшість сучасних МРТП використовують інтерактивне управління з використанням технологій обчислювального та штучного інтелекту. Особливістю

МРТП з інтелектуальною системою управління та захистом передачі даних є здатність до навчання та адаптація до зовнішнього середовища. У значній частині застосувань МРТП повинні працювати у невизначених і екстремальних умовах з використанням дистанційного та автономного управління. Для забезпечення навігації та безпечного руху МРТП повинні мати інтелектуальні засоби, які забезпечать моделювання середовища, локалізацію місця його положення, контроль руху, виявлення та уникнення перешкод. Однією з основних функцій МРТП є забезпечення надійності руху від початкової позиції до визначеного місця і у зворотному напрямку. Реалізація цієї функції потребує включення у склад МРТП набору інтелектуальних давачів і системи технічного зору. Для забезпечення адаптації до вимог конкретного застосування та розширення галузей застосування архітектура МРТП з інтелектуальною системою управління та захистом передачі даних повинна мати змінний склад обладнання. Особливістю архітектури із змінним складом обладнання є ядро, яке для всіх застосувань залишається незмінним, та набір змінних модулів, за допомогою яких здійснюється адаптація до вимог конкретного застосування. Базову архітектуру МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних наведено на рис. 1.

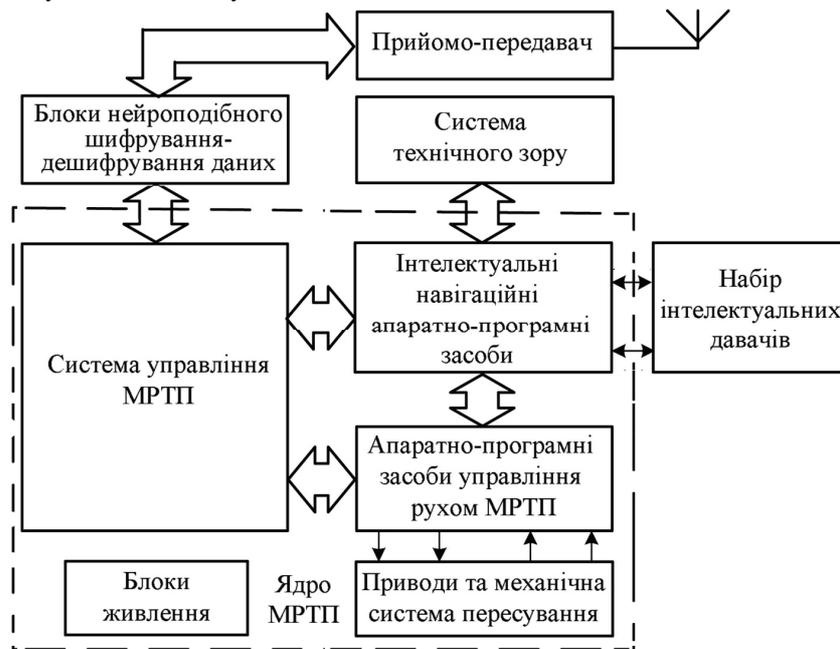


Рис. 1. Базова архітектура МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних

Основними компонентами базової архітектури МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних є: система управління МРТП, інтелектуальні навігаційні апаратно-програмні засоби, апаратно-програмні засоби управління рухом МРТП, приводи та механічна система пересування, блоки живлення, система технічного зору, набір інтелектуальних давачів, блоки нейрорподібного шифрування-дешифрування даних і приймо-передавач. Усі перераховані компоненти розміщуються на платформі, яка залежно від задач, які необхідно виконувати, може бути: колісною, гусеничною, колісно-гусеничною, крокуючою, колісно-крокуючою, роторною тощо. Кожна з перерахованих платформ має свої недоліки та переваги. На практиці найчастіше використовують платформи з колісним або гусеничним переміщенням.

Особливістю архітектури МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних є те, що вона має ієрархічну систему управління, яка складається з двох рівнів: першого (система управління МРТП) та другого – інтелектуальна система управління рухом (інтелектуальні навігаційні апаратно-програмні засоби, апаратно-програмні засоби управління рухом МРТП, система технічного зору, набір інтелектуальних давачів). Систему управління МРТП призначено для приймання, аналізу команд дистанційного управління від оператора та формування управляючих сигналів для всіх компонент МРТП.

Інтелектуальні навігаційні апаратно-програмні засоби на підставі даних від системи технічного зору та інтелектуальних давачів здійснюють моделювання зовнішнього середовища з різним ступенем деталізації, ло-

калізацію місця положення МРТП, планування безпечного шляху, контроль руху, виявлення та уникнення перешкод. Для аналізу структури зовнішнього середовища використовують систему технічного зору, яка забезпечує розпізнавання зображень і сцен, визначення перешкод і можливості руху по заданій ділянці шляху та відстежує рух певного об'єкту. Типи та кількість інтелектуальних давачів, які використовують в МРТП, залежать здебільшого від поставлених задач і вимог конкретного застосування. Інтелектуальні давачі додатково забезпечують оцінку зовнішнього середовища. Так, для позиціонування МРТП використовують енкодери, акселерометри, гіроскопи, GPS, а для визначення віддалі до перешкод – ультразвукові, інфрачервоні та лазерні давачі віддалі. Особливістю ультразвукових давачів є вимірювання відстані в межах кількох метрів і їх залежність від властивостей поверхні та кута падіння на об'єкт. У МРТП для оброблення даних із давачів і системи технічного зору доцільно використовувати готові мікрокомп'ютерні засоби, що мають достатню продуктивність та обсяг пам'яті як, наприклад, останні моделі Raspberry Pi або аналогічні.

Апаратно-програмні засоби безпосереднього управління рухом МРТП (управління приводом коліс, керування маніпуляторами тощо) варто реалізовувати на базі сучасних мікроконтролерів, основними перевагами яких є низька вартість, кросплатформність та реалізація у промисловому виконанні, що скорочує і одночасно здешевлює процес створення вузлів МРТП.

Для забезпечення приймання команд і передачі даних у МРТП доцільно використати готові модулі на базі прийомо-передавачів, які реалізують новітні принципи і методи модуляції, промислово реалізовані на трансиверах сімейства Semtech SX12xx, Silicon Labs SI44xx, Texas Instruments CC1101 тощо.

Для дешифрування команд, які надходять від оператора, використовують блок нейроподібного дешифрування, а для шифрування даних з МРТП – блок нейроподібного шифрування. Блоки нейроподібного шифрування і дешифрування пропонуємо реалізувати програмно на базі мікрокомп'ютерів за потреби доповнюючи їх розробленими апаратними пришвидшувачами.

Вдосконалення методу та розроблення пристрою для обчислення скалярного добутку. Для інтелектуального опрацювання даних від давачів, розпізнавання зображень і сцен у системах технічного зору використовують нейромережі на підставі парадигми послідовних геометричних перетворень, особливістю яких є можливість неітеративного попереднього обчислення вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків W_j між нейронними елементами. Базовою операцією нейромережових алгоритмів є операція обчислення скалярного добутку. Тому доцільно розробити алгоритм обчислення скалярного добутку для випадку множника W_j є константами.

Алгоритм обчислення скалярного добутку з аналізом одного розряду множників запишемо в такий спосіб:

$$Z = \sum_{j=1}^N W_j X_j = \sum_{j=1}^N \sum_{i=0}^{n-1} 2^{-i} W_j x_{ji} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=0}^{n-1} 2^{-i} P_{ji}. \quad (1)$$

Якщо у формулі (1) суму $\sum_{j=1}^N P_{ji}$ часткових добутків замінити на i -й макрочастковий добуток P_{Mi} то в результаті отримуємо

$$Z = \sum_{j=1}^N W_j X_j = \sum_{j=1}^N \sum_{i=0}^{n-1} 2^{-i} P_{ji} = \sum_{i=0}^{n-1} 2^{-i} P_{Mi}. \quad (2)$$

Для випадку коли W_j є наперед обчисленими, необхідно обчислити таблицю можливих значень макрочасткових добутків P_{Mi} . Обчислення таблиці макрочасткових добутків P_{Mi} здійснюється за наступною формулою:

$$P_{Mi} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x_{1i} = x_{2i} = x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 0; \\ W_1, & \text{якщо } x_{1i} = 1, \quad x_{2i} = x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 0; \\ W_2, & \text{якщо } x_{1i} = 0, x_{2i} = 1, x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 0; \\ W_1 + W_2, & \text{якщо } x_{1i} = 1, x_{2i} = 1, x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 0; \\ \vdots \\ \sum_{i \in N} W_j, & \text{якщо } x_{1i} = 0, x_{2i} = x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 1; \\ \sum_{i \in N} W_j, & \text{якщо } x_{1i} = x_{2i} = x_{3i} = \dots = x_{Ni} = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Обсяг таблиці, яка необхідна для запису i -о макрочасткового добутку P_{Mi} , дорівнює $Q=2^N$. Таблично-алгоритмічне обчислення скалярного добутку зводиться до зчитування з таблиці макрочасткового добутку P_{Mi} за адресою, яка відповідає розрядному зрізу вхідних даних x_1, \dots, x_N , і його додавання до раніше нагромаджених сум відповідно формулі

$$Z_i = 2^{-1} Z_{i-1} + P_{Mi}, \quad (4)$$

де $Z_0=0$.

Кількість тактів для таблично-алгоритмічного обчислення скалярного добутку за формулою (2) дорівнює розрядності вхідних даних n . Для зменшення часу обчислення скалярного добутку пропонуємо застосувати метод обчислення з використанням k таблиць макрочасткових добутків P_{Mi} . Структуру пристрою обчислення скалярного добутку з аналізом k розрядних зрізів вхідних даних наведено на рис. 2, де: x_{g1q}, \dots, x_{gNq} – g розрядний зріз вхідних даних, Pg – регістр, BP – блок пам'яті, k -См – k вхідний суматор, $См$ – суматор, PI – тактові імпульси, Z – вихід скалярного добутку.

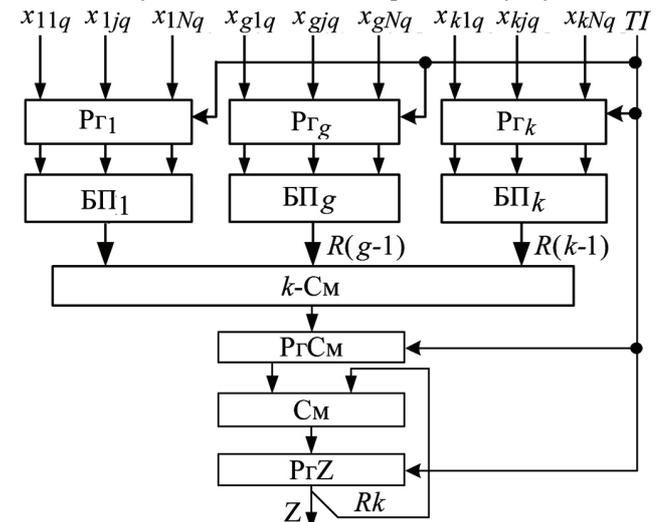


Рис. 2. Структура пристрою обчислення скалярного добутку з аналізом k розрядних зрізів вхідних даних

Перед початком роботи в блоки пам'яті $BP_1, \dots, BP_g, \dots, BP_k$ записуються 2^N значень макрочасткових результатів P_{Mi} , які формуються відповідно до формули (3). Обчислення скалярного добутку у цьому пристрої здійснюють за алгоритмом, який передбачає виконання у кожному q -у такті ($q=1, \dots, p; p=\lceil n/k \rceil; n$ – розрядність

множників X_j ; $\lceil \cdot \rceil$ – знак заокруглення до більшого цілого числа) таких операцій:

- запис 1-о, ..., g-о, ..., k-о розрядних зрізів множників $X_1, \dots, X_j, \dots, X_N$ у реєстри відповідно $R_{g1}, \dots, R_{gk}, \dots, R_{gk}$;
- зчитування з БП₁, ..., БП_g, ..., БП_k – k макрочасткових результатів $P_{M1q}, \dots, P_{Mgq}, \dots, P_{Mkq}$;
- обчислення групового макрочасткового результату P_{GMq}

$$\text{за формулою } P_{GMq} = \sum_{g=1}^k 2^{-(g-1)} P_{Mgq};$$

- підсумовування групових макрочасткових результатів P_{GMq} відповідно до формули $Z_q = 2^{-k} Z_{q-1} + P_{GMq}$, де $Z_0 = 0$.

Обчислення скалярного добутку виконуємо за час, який визначаємо за такою формулою

$$t_{CD} = (\lceil n/k \rceil + 3)(t_{Pz} + t_{BP} + t_{k-CM}),$$

де: t_{Pz} – тривалість зчитування даних із реєстра, t_{BP} – тривалість зчитування макрочасткового результату P_{Mgq} з БП_g, t_{k-CM} – тривалість підсумовування k макрочасткових результатів P_{Mgq} .

Обговорення результатів дослідження. Розроблена базова архітектура МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних є основою для побудови МРТП із заданими техніко-експлуатаційними параметрами. Для зменшення часу та вартості синтезу МРТП доцільно розробити та дослідити роботу в реальному часі її базових компонент (набору інтелектуальних датчиків, інтелектуальної системи управління, блоків нейроподібного криптографічного шифрування та дешифрування даних). Подальші дослідження з створення базових компонент МРТП пов'язані з розпаралеленням та конвеєризацию процесів нейромережевої обробки даних з метою забезпечення реального часу та апаратної реалізації базових операцій.

Висновок

Визначено вимоги до МРТП, основними з яких є забезпечення: зменшення габаритів, енергоспоживання та вартості; дистанційного та інтелектуального автономного управління рухом; криптографічного захисту передачі даних у реальному часі; збереження працездатності в умовах дії зовнішніх чинників; адаптації до вимог замовника; здатність самостійно розв'язувати задачі в умовах невизначеності зовнішньої обстановки.

Запропоновано МРТП розробляти на базі інтегрованого підходу, який охоплює: методи навігації, методи попереднього опрацювання та розпізнавання зображень; методи та алгоритми інтелектуального управління, штучні нейронні мережі та нечітку логіку; нейроподібні криптографічні методи захисту передачі даних; сучасні компоненти та сучасну елементну базу; методи інтелектуального опрацювання та оцінювання даних із давачів в умовах завод і неповноти інформації; методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів МРТП.

Запропоновано розробку МРТП з інтелектуальною системою управління та криптографічним захистом передачі даних здійснювати за такими принципами: ієрархічності побудови інтелектуальної системи управління; системності; змінного складу обладнання; модульності; відкритості програмного забезпечення; сумісності; спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів опрацювання та захисту даних; використання комплексу базових проектних рішень.

Розроблено базову архітектуру МРТП з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних, яка є основою для побудови МРТП із заданими техніко-експлуатаційними параметрами.

З метою реалізації нейроподібних засобів вдосконалено метод таблично-алгоритмічного обчислення скалярного добутку, який за рахунок одночасного формування k макрочасткових добутків забезпечує зменшення в k рази часу обчислення скалярного добутку.

Підтримка дослідження. Робота виконана за підтримки проекту № БФ/ІНФОТЕХ-2021 (Національний університет "Львівська політехніка").

References

- [1] Aleksandrov, V., Vetlugin, R., & Makarenko, A. (2018). Vzgliady voennykh spetsialistov SShA na boevoe primenenie nazemnykh robotekhnicheskikh kompleksov. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 6, 39–43. [In Russian].
- [2] 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. In Proc. of the 2016 IEEE Intern. Conf. on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Vancouver, BC, Canada, 24-29 July 2016, 1038-1043. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2016.7737802>
- [3] Bodianskii, Ye. V. ta in. (2016). Analiz ta obroblynnia potokiv danih zasobami obchisljuval'nogo intelektu. Monografiia. Lviv: Vid-vo Lviv. politehniki. [In Ukrainian].
- [4] 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>
- [5] Denysyuk, P., Teslyuk, V., & Chorna, I. (2018). Development of mobile robot using LIDAR technology based on Arduino controller. 14th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, MEMSTECH 2018, Proceedings, 240–244. <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH.2018.8365742>
- [6] Dusan, Glavaski, Volf, Mario, & Bonkovic, Mirjana (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).
- [7] 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(3), 463–497. <https://doi.org/10.1017/S0263574714000289>
- [8] Ignatov, A. V., Bogomolov, S. N., & Fedianin, N. D. (2018). K voprosu o razvitiu boevykh nazemnykh robotekhnicheskikh kompleksov. *Tekhnologija proizvodstva sistem i kompleksov. Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki*, 11, 353–358. [In Russian].
- [9] Kellman, M., Rivest, F., Pechacek, A., Sohn, L., & Lustig, M. (2017). Barker-Coded node-pore resistive pulse sensing with built-in coincidence correction. 2017 IEEE Intern. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), New Orleans, LA, 1053-1057. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2017.7952317>
- [10] Matviichuk, K., Teslyuk, V., & Teslyuk, T. (2016). Vision system model for mobile robotic systems. Proceeding of the KhIIh International Conference "Perspective Technologies and Methods in MEMS Design", MEMSTECH2016, 20-24 April 2016, Polyana, Lviv, Ukraine, 104-106. <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH.2016.7507529>
- [11] 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), 6468. <https://doi.org/10.3390/app11146468>

- [12] Palagin, A. V., & Iakovlev, Iu. S. (2017). Osobennosti proektirovaniia kompiuternykh sistem na kristalle PLIS. *Matematicheskie mashiny i sistemy*, 2, 3-14. [In Russian].
- [13] Pentagon Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042 (2018). USNI News. Retrieved from: <https://news.usni.org/2018/08/30/pentagon-unmanned-systems-integrated-roadmap-2017-2042>
- [14] Pilsu, Kim, Eunji, Jung, Sua, Bae, Kangsik, Kim & Taikyong, Song, (2016). Barker-sequence-modulated golay coded excitation technique for ultrasound imaging. 2016 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), Tours, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ULTSYM.2016.7728737>
- [15] Tsmots, I., Teslyuk, V., & Vavruk, I. (2013). Hardware and software tools for motion control of mobile robotic system. 12th International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics", CADSM 2013, 368 p.
- [16] 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 p. <https://doi.org/10.1155/2016/7426913>
- [17] Yusof, Y., Mansor, H. M. A. H., & Ahmad, A. (2016). Formulation of a lightweight hybrid ai algorithm towards self-learning autonomous systems. In Proc. of the 2016 IEEE Conference on Systems, Process and Control (IC-SPC), Melaka, Malaysia, 16-18 December 2016, 142-147. <https://doi.org/10.1109/SPC.2016.7920719>

I. G. Tsmots, V. M. Teslyuk, Yu. V. Opotiak, R. V. Parcei, R. V. Zinko

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

THE BASIC ARCHITECTURE OF MOBILE ROBOTIC PLATFORM WITH INTELLIGENT MOTION CONTROL SYSTEM AND DATA TRANSMISSION PROTECTION

The requirements for a mobile robotic platform (MRP) with an intelligent traffic control system and data transmission protection are determined. Main requirements are the reduction of dimensions, energy consumption, and cost; remote and intelligent autonomous traffic control; real-time cryptographic data protection; preservation of working capacity in the conditions of action of external factors; adaptation to customer requirements; ability to perform tasks independently in conditions of uncertainty of the external environment. It is proposed to develop a mobile robotic platform based on an integrated approach including: navigation methods, methods of pre-processing and image recognition; modern methods and algorithms of intelligent control, artificial neural networks, and fuzzy logic; neuro-like methods of cryptographic data transmission protection; modern components and modern element base; methods of intellectual processing and evaluation of data from sensors in the conditions of interference and incomplete information; methods and means of automated design of MRP hardware and software. The following principles were chosen for the development of a mobile robotic platform with an intelligent control system and cryptographic protection of data transmission: hierarchical construction of an intelligent control system; systematicity; variable composition of equipment; modularity; software openness; compatibility; specialization and adaptation of hardware and software to the structure of algorithms for data processing and protection; use of a set of basic design solutions. The basic architecture of a mobile robotic platform with an intelligent traffic control system and data transmission protection has been developed, which is the basis for the construction of mobile robotic platforms with specified technical and operational parameters. To implement neuro-like tools, the method of tabular-algorithmic calculation of the scalar product was improved, which due to the simultaneous formation of k macroparticle products provides k times reduction of the time of the scalar product calculation.

Keywords: mobile robotic platform; intelligent processing; architecture; neural network; autonomous control; sensors; data protection.

Інформація про авторів:

Цмоць Іван Григорович, д-р техн. наук, професор, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** ivan.tsmots@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4033-8618>

Теслюк Василь Миколайович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем управління. **Email:** vasylteslyuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5974-9310>

Опотяк Юрій Володимирович, канд. техн. наук, викладач, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** yurii.v.opotiak@lpnu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-9889-4177>

Парцей Руслан Володимирович, аспірант, кафедра автоматизованих систем управління. **Email:** vasylteslyuk@gmail.com

Зінько Роман Володимирович, д-р техн. наук, доцент, кафедра автомобілебудування. **Email:** rzinko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3275-8188>

Цитування за ДСТУ: Цмоць І. Г., Теслюк В. М., Опотяк Ю. В., Парцей Р. В., Зінько Р. В. Базова архітектура мобільної робототехнічної платформи з інтелектуальною системою управління рухом і захистом передачі даних. *Український журнал інформаційних технологій*. 2021, т. 3, № 2. С. 74–80.

Citation APA: Tsmots, I. G., Teslyuk, V. M., Opotiak, Yu. V., Parcei, R. V., & Zinko, R. V. (2021). The basic architecture of mobile robotic platform with intelligent motion control system and data transmission protection. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 3(2), 74–80. <https://doi.org/10.23939/ujit2021.02.074>