

## 5. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 004.383.8:032.26 Проф. І.Г. Цмоць, д-р техн. наук; аспір. І.Є. Ваєрук;  
проф. В.М. Теслюк, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

### МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ МОБІЛЬНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Розроблено структуру апаратно-програмних засобів автономного управління рухом, проведено їх дослідження. Запропоновано метод вибору кута повороту мобільної робототехнічної системи, з урахуванням значення кутів повороту в різних режимах руху та коефіцієнтів активації кожного режиму.

**Ключові слова:** нечітка логіка, автономна мобільна робототехнічна система, інтелектуальне управління рухом.

**Постановка проблеми.** На сьогодні мобільні робототехнічні системи (МРС) можна використовувати для реалізації різноманітних завдань. Особливий інтерес викликають МРС, що здатні функціонувати в невизначеному середовищі. Такі системи можна використовувати для роботи в небезпечних для людей середовищах, для дослідження підводного або космічного простору, проведення розмінування, ремонту трубопроводів тощо [1]. При цьому важливим завданням є реалізація інтелектуальної системи управління рухом, що забезпечує рух МРС автономно або з мінімальним контролем оператора.

Існує величезна кількість технологій, які використовують для забезпечення автономного інтелектуального управління рухом робототехнічних систем. При цьому ефективність управління рухом напряму залежить як від методів та алгоритмів, так і від кількості та якості даних, що розміщені на МРС. Основними вимогами, що ставляться до інтелектуального управління МРС є [1-5]: забезпечення можливості функціонування в невизначених умовах; забезпечення швидкої реакції, досягнення цілі, навчання та адаптація, прийняття рішень на основі неповних і невизначених вхідних даних, налаштування поведінки відповідно до змінних умов зовнішнього середовища та поставлених цілей, забезпечення високої швидкодії управління та точності переміщення тощо. Тому актуальною проблемою є розроблення швидкодіючих і високоточних апаратно-програмних засобів автономного інтелектуального управління рухом МРС.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз останніх досягнень в галузі інтелектуального управління МРС [6-11] показав, що для управління рухом можна використовувати різноманітні алгоритми. Вибір конкретного алгоритму здійснюють з урахуванням умов функціонування робототехнічної системи: детерміновані чи недетерміновані, статичні чи динамічні.

У [7, 8] здійснено огляд основних методів управління МРС та показано, що на цей час найбільш розповсюдженим є використання інтелектуальних методів, до яких зокрема відносять нечітку логіку та нейронні мережі. Нейронні мережі або нейронечіткі системи забезпечують можливість навчання та адаптації. Управління МРС в більшості випадків важко формалізувати, але можна легко описати звичайною мовою, тобто можна охарактеризувати якісно. Тому

ефективним рішенням є використання нечіткої логіки, оскільки при цьому забезпечується можливість реалізації управління навіть в невизначеному середовищі з зашумленими неточними вхідними даними, що можуть отримуватись з давачів робототехнічної системи [6-8].

Управління рухом МРС є складною задачею, тому база правил нечітких систем зазвичай складається з великої кількості правил. Оскільки однією з основних вимог, що висуваються до розроблення системи управління рухом МРС є здійснення швидкої реакції на події (особливо під час функціонування робототехнічної системи в динамічному середовищі), то ефективним рішенням є паралельне опрацювання всіх правил, що передбачає їх поділ на певні частини. Здебільшого використовують поділ на дві частини, що реалізують режими руху до цілі та об'їзду перешкод [6, 9-11]. При цьому основна проблема полягає у виборі відповідного режиму на кожному етапі руху робототехнічної системи. Існує кілька підходів до вибору режимів управління, розглянемо два основних: вибір значень лише одного режиму руху або об'єднання результатів управління. Основним недоліком першого випадку є не оптимізована траєкторія руху МРС, оскільки у разі виникнення ситуації одночасної активації кількох режимів здійснюється вибір лише одного. Наприклад, коли з'являється перешкода під час руху до цілі, то її об'їзд може здійснюватись з обох боків. У разі використання цього підходу в такому випадку обирається режим об'їзду перешкод, що не враховує положення цілі. У другому випадку здійснюється об'єднання всіх режимів руху, що забезпечує оптимальну траєкторію руху без зіткнень з перешкодами.

**Метою дослідження** є розроблення апаратно-програмних засобів автономного інтелектуального управління рухом МРС, що забезпечує оптимізацію траєкторії руху.

#### Основні результати дослідження

**Структура апаратно-програмних засобів інтелектуального управління рухом мобільної робототехнічної системи.** Задача управління рухом МРС полягає в її переміщенні з початкової точки в кінцеву. При цьому необхідно забезпечити здійснення руху в реальному часі та уникнення можливих зіткнень з рухомими або нерухомими перешкодами; тобто забезпечити швидке реагування на зміни в зовнішньому середовищі та прийняття самостійних рішень під час переміщення МРС в невизначених умовах.

Для забезпечення можливості швидкої адаптації МРС до виконання інших задач необхідно здійснити розбиття інтелектуальної системи управління рухом на певну сукупність програмних модулів, що призначені для генерування управляючих дій внаслідок реалізації різних режимів руху. Кількість програмних модулів залежить від призначення МРС та поставленої задачі оператором. Перелік режимів управління, що реалізуються окремими модулями, є таким: режим руху вздовж правої стіни, режим руху вздовж лівої стіни, режим руху об'їзду перешкоди, режим руху до цілі.

Завдяки такій реалізації існує можливість легкої адаптації МРС до виконання інших задач, що здійснюється додаванням додаткових програмних модулів, які реалізують необхідні режими руху. Як вхідні дані використовують дані

з давачів МРС та системи технічного зору, а вихідними даними є сигнали управління, що надходять у виконавчі механізми МРС. На рис. 1. наведено структуру системи інтелектуального управління рухом МРС.

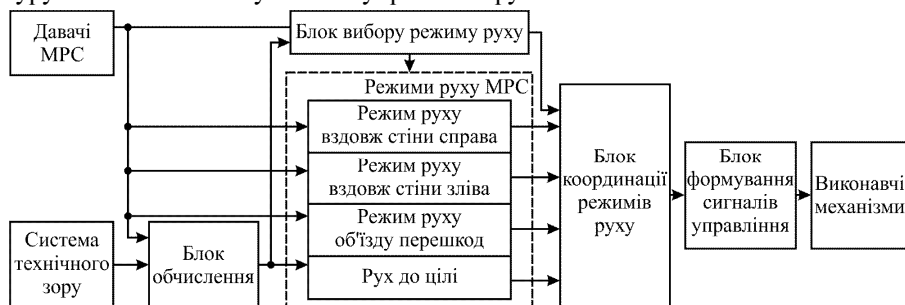


Рис. 1. Структура системи інтелектуального управління рухом МРС

Вхідними лінгвістичними змінними під час реалізації управління МРС є віддаль до перешкод, що отримується з давачів віддалі. У режимі руху до цілі використовують вхідну лінгвістичну змінну, що визначає різницю кутів між напрямком руху МРС та ціллю. Вихідною лінгвістичною змінною кожного режиму руху є кут повороту МРС. З-поміж функцій належності обрано трикутні функції належності, оскільки вони найбільш прості в реалізації.

Для вхідних лінгвістичних змінних, що визначають віддаль до перешкод, множина значень (термів) задається в кількості трьох:  $T = \{ \text{"Small"}, \text{"Average"}, \text{"High"} \}$ , що позначають малу, середню і велику відстань до перешкоди відповідно. Вхідна лінгвістична змінна, що визначає різницю кутів між напрямком руху МРС та ціллю містить терми  $T = \{ \text{"Positive"}, \text{"Zero"}, \text{"Negative"} \}$ , що позначають знаходження цільової точки відповідно справа, прямо попереду та зліва від МРС. Вихідна лінгвістична змінна визначає кут повороту МРС. Визначення функцій належності кожної лінгвістичної змінної здійснювали емпірично.

Реалізація режимів руху вздовж стін забезпечує згладження траєкторії руху за великої кількості перешкод, що розташовані з різних сторін МРС. Крім того, при цьому забезпечується проходження МРС U-подібних перешкод, з яких важко або неможливо вибратись з використанням лише поведінки об'їзду перешкод. Рух МРС вздовж стін здійснюється шляхом використання режимів: рух вздовж стіни справа та рух вздовж стіни зліва.

Задача уникнення перешкод є першочерговою під час розроблення системи інтелектуального управління МРС. Для об'їзду перешкод, що знаходяться на відкритій місцевості, використовується режим руху об'їзду перешкоди. Дозволений напрямок руху МРС визначається режимом об'їзду перешкод на основі вхідних даних, які отримують з давачів віддалі.

Забезпечення режиму руху до цілі передбачає насамперед визначення цілі. Як вхідні змінні можуть бути задані координати цілі на основі даних, отриманих з відеокамери або кут різниці між розміщенням МРС та цілі. Цей режим руху може передбачати рух до нерухомої або рухомої цілі, що рухається за певною траєкторією. Запропоновано реалізацію режиму руху до цілі здійснювати за кутом різниці між розміщенням МРС та цілі.

Однією з основних задач під час реалізації програмних засобів управління є розроблення блоків вибору та координації режимів, оскільки за однакових вхідних даних можуть бути активними кілька режимів управління рухом МРС.

Запропоновано координацію режимів здійснювати лінійним об'єднанням значень режимів руху з використанням коефіцієнтів, що виражають степінь активації кожного окремого режиму за такою формулою:

$$\phi = T_1y_1 + T_2y_2 + T_3y_3 + T_4y_4 = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4, \quad (1)$$

де:  $T_1, T_2, T_3$  та  $T_4$  – коефіцієнти, які визначають степінь активації режиму руху відповідно до цілі, об'їзду перешкод, вздовж стіни зліва та вздовж стіни справа;  $y_1, y_2, y_3$  та  $y_4$  – вихідне значення кута повороту МРС в режимах руху відповідно до цілі, об'їзду перешкод, вздовж стіни зліва та вздовж стіни справа;  $\beta_1, \beta_2$  та  $\beta_4$  – вихідне значення кутів повороту МРС з використанням коефіцієнтів активації в різних режимах руху відповідно до цілі, об'їзду перешкод, вздовж стіни зліва та вздовж стіни справа;

Блок вибору режиму руху використовують для визначення коефіцієнтів  $T_1, T_2, T_3$  та  $T_4$ , що виражають степінь активації кожного окремого режиму. Для визначення коефіцієнтів вхідними даними є: віддаль до перешкод, значення кута між напрямком руху МРС та напрямком на цілю, що задані відповідними лінгвістичними змінними. Значення коефіцієнтів знаходяться в межах від 0 до 1. Функції належності всіх коефіцієнтів, що визначають степені активації режимів руху, містять відповідні терми  $T = \{ \text{"VS"}, \text{"S"}, \text{"SA"}, \text{"A"}, \text{"H"} \}$ .

Для кожного режиму управління та для знаходження коефіцієнтів активації режимів руху розробляється окрема реалізація нечіткого методу управління рухом МРС. При цьому пошук результатуючих значень  $y_1, y_2, y_3, y_4$  та значень коефіцієнтів активації  $T_1, T_2, T_3$  та  $T_4$  можна здійснювати паралельно. У блоці координації режимів руху здійснюється обчислення значення вихідного кута повороту МРС  $\phi$  шляхом лінійного об'єднання значень кутів повороту, що отримують в кожному режимі руху та коефіцієнтів, які виражають степінь активації кожного окремого режиму руху за формулою (1).

У блоці формування сигналу управління за отриманим значенням кута повороту МРС здійснюється формування сигналу, що надходить в виконавчі механізми МРС. Залежно від типу МРС для безпосереднього управління виконавчими механізмами використовують різні сигнали. Наприклад, в колісній МРС з рульовим управлінням здійснення повороту відбувається за рахунок зміни кута між площиною обертання коліс та віссю колісної МРС. Тому вихідним сигналом управління буде кут повороту коліс. Поворот колісної МРС з фіксованими неповоротними колесами здійснюється за рахунок зміни швидкостей або напрямків обертання коліс, що розташовані з протилежних сторін. У такому випадку вихідними сигналами управління будуть швидкості обертання коліс.

**Дослідження ефективності запропонованої системи управління рухом з використанням програмних засобів.** Розроблені програмні засоби побудови траєкторії руху МРС мовою C# в програмному середовищі Visual Studio 2010. Ці засоби забезпечують здійснення візуалізації траєкторії руху МРС в різних середовищах та в різних режимах руху. Здійснено порівняння розробленої

системи управління з системою управління, в якій на кожному кроці обирають лише один з режимів управління. Порівняння здійснювалось в однакових умовах за однакових правил бази правил системи нечіткого логічного виведення.

Розглянемо детальніше рух MPC до рухомої цілі за відсутності перешкод. Траєкторію руху MPC до цілі з координацією режимів управління та вибором одного з режимів наведено на рис. 2.

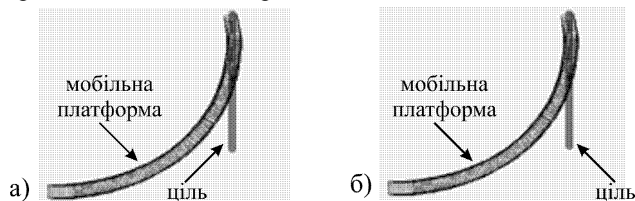


Рис. 2. Траєкторія руху MPC до рухомої цілі за відсутності перешкод:

а) з координацією режимів управління; б) з вибором одного з режимів управління

З наведеної траєкторії руху MPC (рис. 2) видно, що в цьому випадку траєкторія руху MPC з використанням розробленої системи управління є однаковою порівняно з траєкторією руху MPC, що отримується внаслідок використання системи управління з вибором одного з режимів управління. Це забезпечується за рахунок вибору одного режиму руху – режиму руху до цілі.

На рис. 3 наведено значення кутів повороту MPC без використання коефіцієнтів активації в різних режимах руху. Оскільки траєкторії руху є однаковими, то кути повороту MPC також однакові.

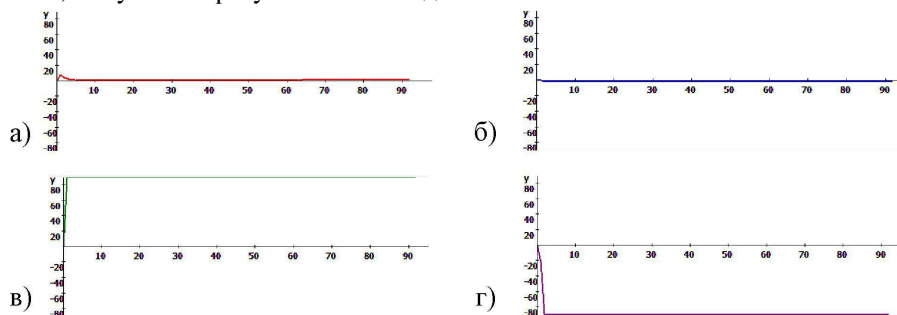


Рис. 3. Значення кутів повороту MPC без використання коефіцієнтів активації:

а) в режимі руху до цілі; б) в режимі руху об'їзду перешкод; в) в режимі руху вздовж стіни зліва; г) в режимі руху вздовж стіни справа

Як видно з рис. 3. під час руху MPC до рухомої цілі з відсутністю перешкод різні режими руху отримують різні кути повороту. На рис. 3 а показано кут повороту на ціль, значення якого на перших кроках істотно змінюється залежно від положення цілі, а на наступних неістотно коректується за наявності рухомої цілі. З рис. 3 б видно, що значення кута повороту становить нуль градусів, оскільки в цьому випадку перешкод на шляху MPC немає. У режимі руху вздовж стіни зліва значення кута повороту становить 90 градусів впродовж всього руху MPC (що позначає рух MPC вліво) та в режимі руху вздовж стіни справа значення кута повороту становить -90 градусів впродовж всього руху

MPC (що позначає рух MPC вправо). Використання коефіцієнтів активації забезпечує обмеження значень кутів повороту MPC, що не повинні використовуватись під час досягнення цілі. На рис. 4 наведено значення коефіцієнтів активації режимів руху що є однаковими для обох випадків.

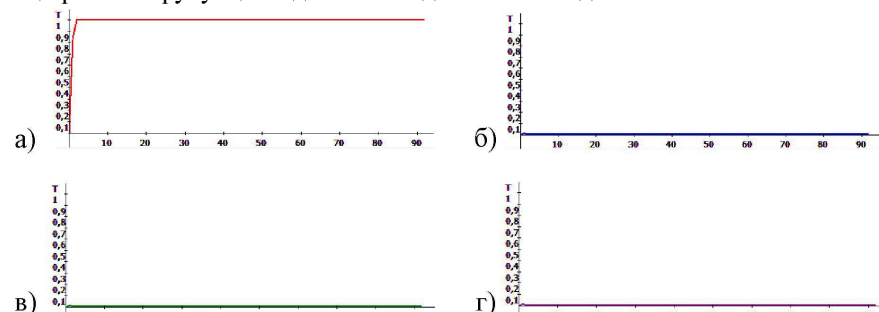


Рис. 4. Значення коефіцієнтів, що визначають ступінь активації режимів руху:

а) режиму руху до цілі; б) режиму руху об'їзду перешкод; в) режиму руху вздовж стіни зліва; г) режиму руху вздовж стіни справа

З рис. 4 видно, що значення коефіцієнта активації режиму руху до цілі становить одиницю, а інших режимів – нуль. Тобто, в цьому випадку MPC рухається з використанням кута повороту, який одержується в режимі руху до цілі. Це представлено на рис. 5, де наведені значення кутів повороту MPC з використанням коефіцієнтів активації в різних режимах та результуючий кут  $\phi$ .

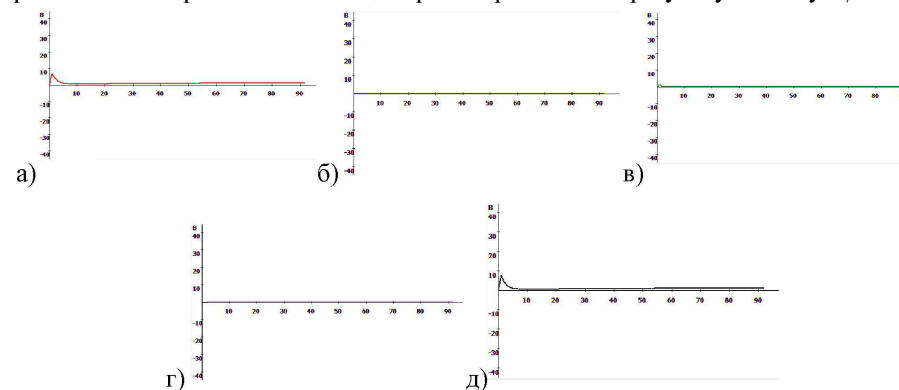


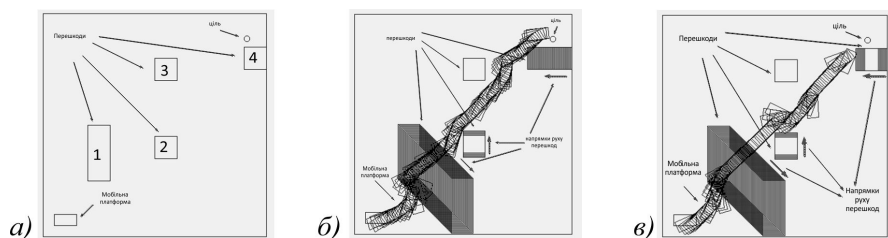
Рис. 5. Значення кутів повороту MPC з використанням коефіцієнтів активації:

а) режиму руху до цілі; б) режиму руху об'їзду перешкод; в) режиму руху вздовж стіни зліва; г) режиму руху вздовж стіни справа; д) результуючий кут повороту MPC

Розглянемо рух MPC до цілі в динамічному середовищі з великою кількістю рухомих перешкод, траєкторію якої представлено на рис. 6.

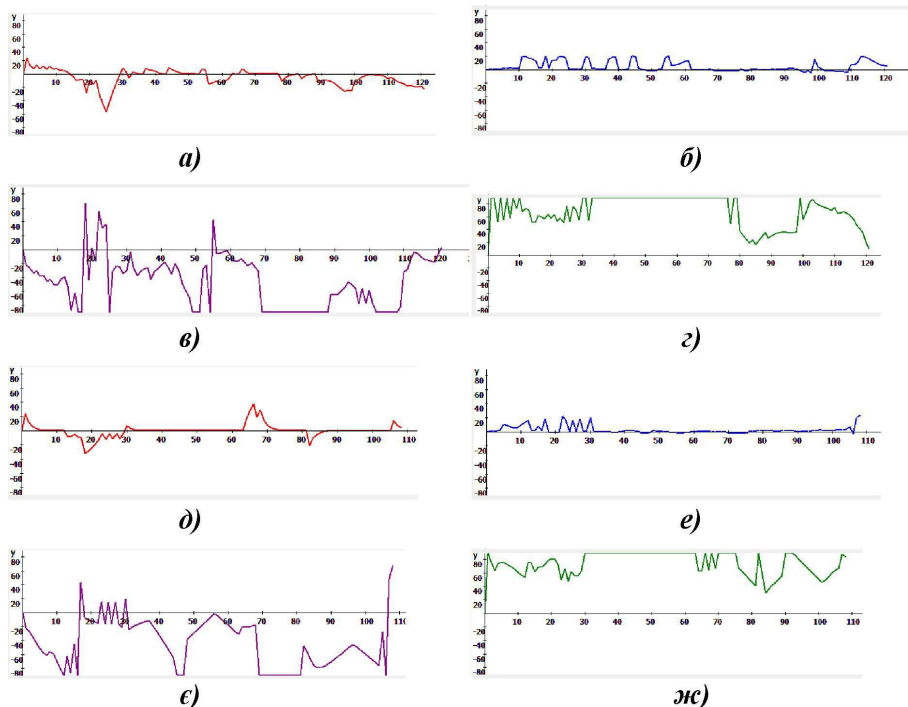
Динамічне середовище, що представлено на рис. 6 а, складається з чотирьох перешкод, три з яких є динамічними та починають рух в різні проміжки часу під час руху MPC. У цьому випадку здійснюється рух першої перешкоди по діагоналі вниз з першого кроку, другої перешкоди – по вертикалі вгору з 50 до 55 кроку та четвертої перешкоди по горизонталі вліво з 100 кроку.





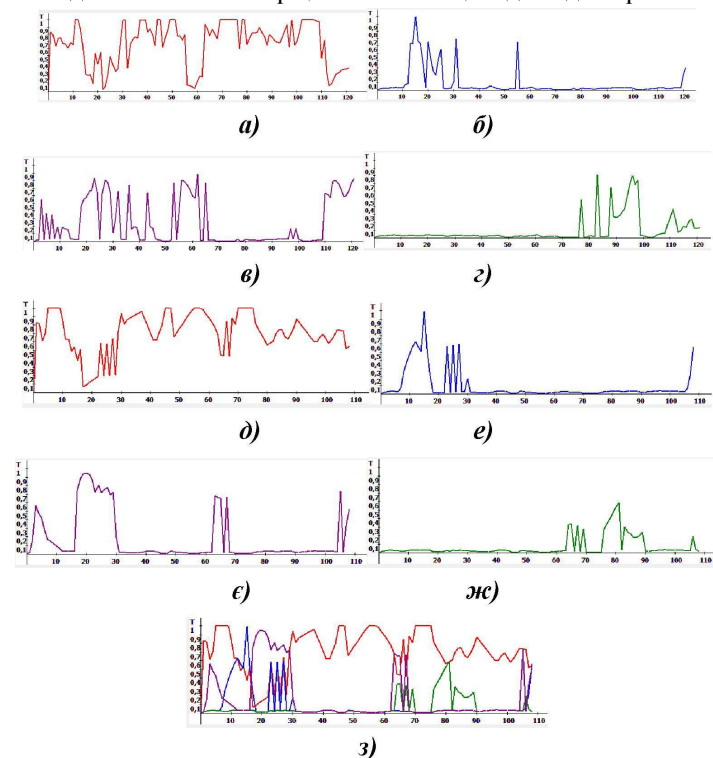
**Рис. 6. Траєкторія руху MPC в динамічному середовищі з великою кількістю перешкод:** а) початкові умови; б) з координацією режимів управління; в) з вибором одного з режимів управління

З рис. 6 б, в видно, що MPC з координацією режимів управління може ефективно оминати рухомі перешкоди під час руху до цілі на відміну від MPC з вибором одного з режимів управління, під час руху якої відбулось зіткнення з четвертою рухомою перешкодою. На рис. 7 наведено значення кутів повороту MPC без використання коефіцієнтів активації різних режимів руху.



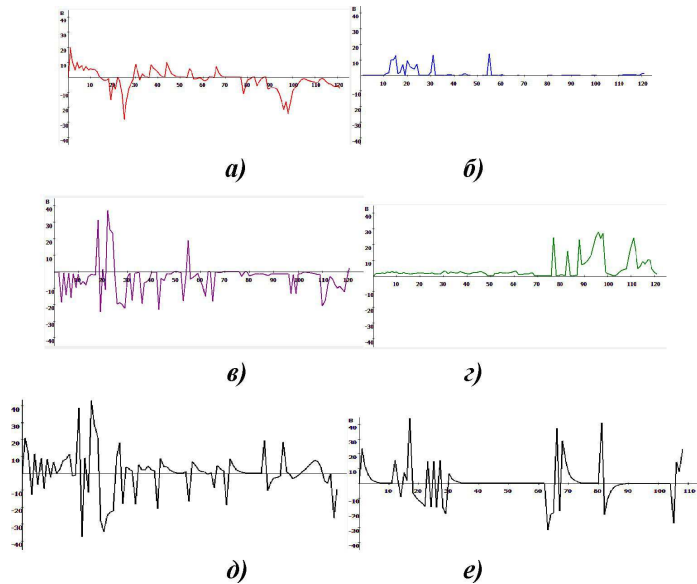
**Рис. 7. Значення кутів повороту MPC на кожному кроці без використання коефіцієнтів активації з координацією режимів управління рухом:** а) режиму руху до цілі б) режиму руху об'їзду перешкод; в) режиму руху вздовж стіни справа; г) режиму руху вздовж стіни зліва та з вибором одного з режимів руху; д) режиму руху до цілі е) режиму руху об'їзду перешкод є) режиму руху вздовж стіни справа; ж) режиму руху вздовж стіни зліва

З рис. 7 а, д видно, що рух MPC відбувається до цілі з незначним відхиленням за наявності перешкод. Різниця між значеннями кутів повороту на рис. 7 б та рис. 7 е полягає в збільшенні значення цього кута в режимі об'їзду перешкод під час об'їзду кожної з чотирьох перешкод з використанням системи управління з координацією режимів руху (рис. 7 б) в той час як з використанням системи управління з вибором одного з режимів руху (рис. 7 е) збільшення значення цього кута здійснюється лише під час об'їзду першої перешкоди. З рис. 7 в, є видно, що значення кута повороту MPC режиму руху вздовж стіни справа зменшується до -90 градусів при віддаленні від стіни, що обмежує середовище руху MPC. У разі наближення до перешкод, що знаходяться справа від MPC, значення кута повороту режиму руху вздовж стіни справа збільшується. Значення кута повороту MPC режиму руху вздовж стіни зліва (рис. 7 г, ж) змінюється відповідно до наявних перешкод зліва від MPC. У разі наближення до третьої перешкоди, що знаходиться зліва від MPC – значення кута повороту зменшується. На рис. 8 наведено значення коефіцієнтів активації відповідних режимів руху.



**Рис. 8. Значення коефіцієнтів, що визначають степінь активації режимів руху з координацією режимів управління рухом:** а) режиму руху до цілі; б) режиму руху об'їзду перешкод; в) режиму руху вздовж стіни справа; г) режиму руху вздовж стіни зліва; та з вибором одного з режимів руху: д) режиму руху до цілі; е) режиму руху об'їзду перешкод; є) режиму руху вздовж стіни справа; ж) режиму руху вздовж стіни зліва; з) загальне представлення коефіцієнтів активації режимів управління з вибором одного з режимів руху

З рис. 8 видно, що майже на кожному кроці коефіцієнт активації режиму руху до цілі є близьким до максимального значення, крім випадків об'їзду першої та другої перешкоди з використанням системи управління з координацією режимів руху (рис. 8 а). Тоді активними є коефіцієнти активації режимів руху об'їзду перешкод та руху вздовж стіни справа. У випадку використання системи управління з вибором одного з режимів руху значення коефіцієнта активації режиму руху до цілі зменшується тільки під час об'їзду першої перешкоди. Саме тому відбувається зіткнення MPC з четвертою перешкодою. Під час досягнення цілі у випадку використання системи управління з координацією режимів високий рівень мають коефіцієнти активації режимів руху: до цілі, руху вздовж стіни зліва та руху вздовж стіни справа. На рис. 9 наведено значення кутів повороту MPC з використанням коефіцієнтів активації в різних режимах та результуючі кути повороту MPC'.



**Рис. 9.** Значення кутів повороту MPC з використанням коефіцієнтів активації з координацією режимів управління рухом: а) режиму руху до цілі; б) режиму руху об'їзду перешкод; в) режиму руху вздовж стіни зліва; г) режиму руху вздовж стіни справа д) результуючий кут повороту MPC та е) результуючий кут повороту MPC з вибором одного з режимів руху

Як видно з рис. 9 а-д, у випадку використання системи управління з координацією режимів руху – результуючий кут повороту MPC під час об'їзду першої та другої перешкод залежить від вихідних значень режимів руху до цілі, об'їзду перешкод та руху вздовж стіни справа. Під час об'їзду третьої перешкоди на результуючий кут впливають значення, отримані з використанням режимів руху вздовж стіни зліва та руху до цілі, а під час об'їзду четвертої перешкоди – режими руху до цілі і вздовж стіни справа та зліва. З рис. 9 е видно, що у випадку використання системи управління з вибором одного з режимів руху ре-

зультуючий кут повороту MPC майже весь час відповідає куту повороту режиму руху до цілі за винятком об'їзду першої перешкоди, де здійснюється вибір режимів руху об'їзду перешкод та режиму руху вздовж стіни справа та другої перешкоди, де здійснюється використання режиму руху вздовж стіни справа. Під час руху до четвертої перешкоди зміна режиму руху до цілі на режим руху об'їзду перешкод відбувається занадто пізно, що призводить до зіткнення.

Використання системи управління MPC з вибором окремих режимів руху не може задовольнити рух MPC до цілі без зіткнень в середовищі з наявними перешкодами. Тому ефективним рішенням є реалізація системи управління шляхом поєднання відповідних режимів руху з коефіцієнтами активації, що забезпечує рух MPC без зіткнень в невизначених середовищах.

**Висновки:**

1. Запропоновано структуру системи управління рухом здійснювати у вигляді сукупності модулів, що реалізують різні режими руху. Це дає змогу легко адаптувати робототехнічну систему до виконання різних задач шляхом додавання додаткових модулів, що реалізують відповідний режим руху.
2. Запропоновано метод вибору оптимального кута повороту MPC, що полягає у підсумовуванні добутків одержаних значень кутів повороту в різних режимах руху на коефіцієнти активації кожного режиму руху.
3. Розроблені програмні засоби забезпечують здійснення візуалізації траєкторії руху MPC в різних середовищах, різних режимах руху та забезпечують дослідження ефективності запропонованої системи управління рухом.

**Література**

1. Миронов С.В. Система технического зрения в задачах навигации мобильных объектов / С.В. Миронов, А.В. Юдин // Международный журнал программные продукты и системы. – 2011. – № 1. – С. 123-126.
2. Усков А.А. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики / А.А. Усков, В.В. Круглов. – Смоленск : Изд-во "Смоленская городская типография", 2003. – 238 с.
3. Зиксин К. Интеллектуальное навигационное управление и диагностика адаптивных мобильных роботов в незнакомой среде / К. Зиксин, А.В. Тимофеев // Актуальные проблемы информационно-компьютерных технологий, мехатроники и робототехники (ИКТМР-2009) : матер. научно-техн. конф., 2009. – С. 169-176.
4. Бабич Л.О. Использование методов нечеткой логики в процессе достижения противоречивых целей интеллектуальным мобильным роботом / Л.О. Бабич // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 2. – С. 216-221.
5. Dragoicea, M. 2003. Multi-behavioral model based autonomous navigation of the mobile robots / M. Dragoicea, I. Dumitrache, D.S. Cuculescu // International Journal Automation Austria. – Vol. 11, Nr. 1. – Pp.1-20.
6. Rajibul Huq, George K.I. Mann, and Raymond G. Gosine. Behavior-Modulation Technique in Mobile Robotics Using Fuzzy Discrete Event System // IEEE Transactions on robotics. – Vol. 22, NO. 5, OCTOBER 2006. – Pp. 903-916.
7. Prases K. Mohanty, Dayal R. Parhi Controlling the Motion of an Autonomous Mobile Robot Using Various Techniques: a Review // Journal of Advance Mechanical Engineering, 2013. – Pp. 24-39.
8. Бекасов Д.Е. Применение аппарата нечеткой логики при решении задачи поиска пути в неизвестном окружении // Молодежный научно-технический вестник (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (электронный журнал). – 2012. – № 5. – Pp. 38-43.
9. Lakhmissi Cherroun, Mohamed Boumechraz. Designing of Goal Seeking and Obstacle Avoidance Behaviors for a Mobile Robot Using Fuzzy Techniques J. Automation & Systems Engineering 6-4 (2012). – Pp. 164-171.
10. Leyden M, Toal D, Flanagan C. (1999). A Fuzzy Logic Based Navigation System for a mobile Robot, Automatisierungs symposium Wismar. – 1999. – № 5. – Pp. 58-62.

11. KarimBenbouabdallah and Zhu Qi-dan A Fuzzy Logic Behavior Architecture Controller for a Mobile Robot Path Planning in Multi-obstacles Environment Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 5(14). – Pp. 3835-3842.

**Цмоць І.Г., Ваєрук І.Е., Теслиук В.Н. Моделирование интеллектуального управления движением мобильной робототехнической системы**

Разработана структура аппаратно-программных средств автономного управления движением, проведены их исследования. Предложен метод выбора угла поворота мобильной робототехнической системы, учитывающая значения углов поворота разных режимов движения и коэффициентов активации.

**Ключевые слова:** нечеткая логика, автономная мобильная робототехническая система, интеллектуальное управление движением.

**Tsmots I.G., Vavruk I.Ye., Teslyuk V.M. Intellectual control simulation of mobile robotic system**

The structure of hardware and software tools for autonomous motion control is developed. The research of proposed tools is carried out. The method of choosing the rotation angle of mobile robotic system is proposed as a combination of different movement modes rotation angles and activation coefficients of each mode.

**Keywords:** Fuzzy logic, autonomous mobile robotic system, intelligent movement control.

УДК 528.88

*Доц. О.Є. Горшенин<sup>1</sup>, канд. техн. наук;*  
*доц. І.В. Пулеко<sup>1</sup>, канд. техн. наук; доц. В.О. Чумакевич<sup>2</sup>, канд. техн. наук*

**ОСНОВИ ОБРОБЛЕННЯ ТА ДЕШИФРУВАННЯ ЗНІМКІВ З КОСМІЧНОГО АПАРАТА "СІЧ-2" ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТЕМАТИЧНИХ ЗАДАЧ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА**

Проведено порівняльний аналіз характеристик ряду космічних апаратів дистанційного зондування Землі, проаналізовано можливості вирішення тематичних задач лісового господарства за знімками з космічного апарата "Січ-2", викладено основи методик рішення тематичних задач лісового господарства з урахуванням специфіки конкретної бортової апаратури та розглянуто приклади їх вирішення.

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі, розрізнення, контроль, знімок з космічного апарата, лісове господарство.

**Постановка проблеми.** У сучасній вітчизняній та зарубіжній практиці для вирішення завдань дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) значного поширення набули космічні засоби, які дають змогу отримати високоякісні знімки земної поверхні. Такі космічні знімки використовуються для вирішення багатьох тематичних задач національної економіки, зокрема лісового господарства. Донедавна розвиток цього напрямку в Україні гальмувався відсутністю власних космічних засобів, що призводило до необхідності закупівлі достатньо дорогих знімків з іноземних носіїв. Запуск 17 серпня 2011 р. космічного апарата (КА) дистанційного зондування Землі "Січ-2", дав змогу по-новому переглянути тематичні завдання ДЗЗ та надав можливість рішення всього спектра задач, які можуть бути вирішені з використанням власних космічних засобів.

<sup>1</sup> Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету;

<sup>2</sup> Академія сухопутних військ, м. Львів

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Теоретичні питання з оброблення та практичні аспекти застосування даних ДЗЗ розглянуто в наукових роботах [1-8]. У цих роботах автори детально розглядають концептуальні питання, теоретичні підходи та практичні можливості застосування різних систем ДЗЗ для вирішення національно-економічних задач.

Однак у зазначеній літературі не враховуються особливості бортової апаратури ДЗЗ космічного апарата "Січ-2" та відсутні методики рішення тематичних задач лісового господарства з урахуванням специфіки конкретної бортової апаратури.

**Формулювання завдання дослідження.** Основними завданнями роботи є конкретизувати можливості тематичних задач ДЗЗ для лісового господарства та порядок їх вирішення на основі знімків з КА ДЗЗ "Січ-2".

**Виклад основного матеріалу.** Інформаційні можливості космічних знімків земної поверхні за відображенням рослинного покриву визначаються характеристиками бортової апаратури КА та параметрами його орбіти. КА "Січ-2" оснащено оптико-електронним сканером з трьома спектральними та одним панхроматичним діапазонами, сканером середнього інфрачервоного діапазону та комплексом наукової апаратури. Порівняльною характеристикою вітчизняного та деяких зарубіжних КА ДЗЗ наведено у табл. 1. При порівнянні треба враховувати, що "Січ-2" відноситься до класу мікросупутників. Для якісного вирішення задач ДЗЗ особливе значення мають чотири види так званого "розрізнення" [7]: просторове, спектральне, радіометричне та часове.

Таким чином, знімки, отримані з КА "Січ-2", мають досить великі інформаційні можливості з відображення рослинного покриву. Це дає змогу використовувати їх у цілях середньо- і дрібномасштабного картографування лісів за переважаючими породами та вирішення інших задач.

Порівняно з картами, складеними традиційними методами, карта складена по космічних знімках масштабніше відображає природні закономірності розміщення лісів за породами; внаслідок використання багатоступінчатої генералізації точніше передає конфігурацію контурів, співвідношення лісових і нелісових площ. Разом із фіксацією закономірностей розміщення лісів знімки дають змогу відобразити сучасний стан лісового покриву, визначити основні чинники і масштаби антропогенних дій. У межах досліджуваної території основні чинники антропогенного порушення лісів обумовлені типами господарського використання території: сільськогосподарського, лісових промислів і рибальства, лісопромислового. Порівняно з іншими, КА "Січ-2" дає змогу більш точно відображати границі зон антропогенного порушення лісів.

Зазвичай, використання космічної інформації ДЗЗ для забезпечення потреб лісового господарства здійснюється за такими основними напрямками: контроль збезліснення, інвентаризація лісу, виявлення значних пошкоджень лісових масивів, лісоводство, зокрема виявлення динаміки вирубки лісів.

Інвентаризація лісового господарства здійснюється з метою визначення якісних і кількісних характеристик лісових масивів:

- визначення типів лісонасаджень і домінуючих порід;
- оцінка запасів лісоматеріалів;
- вимірювання загальної площі і кількісна оцінка біомаси;