

Д. т. н. Ю. С. ЯМНЕНКО, В. О. ОСОКІН

Україна, Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
E-mail: petergerya@yahoo.com; ovo-dez01mp-eds-21@lil.kpi.ua

## ПОРІВНЯННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІЮВАННЯ МЕТОДОМ ТРИЛАТЕРАЦІЇ ТА МЕТОДОМ НА БАЗІ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

*Проведено порівняння точності позиціювання мобільного робота при використанні методу, що базується на генетичному алгоритмі і належить до методів штучного інтелекту, та методу трилатерації, який традиційно використовується в задачах позиціювання. Розглянуто застосування відповідної термінології, запозиченої з генетики, та алгоритмів обробки даних для зазначеної предметної області.*

**Ключові слова:** мобільний робот, позиціювання робота, генетичні алгоритми, методи штучного інтелекту, метод трилатерації.

Системи позиціювання живих та штучних об'єктів широко використовуються у технологічних і бізнес-процесах в різних галузях діяльності. Стрімкий розвиток робототехніки, поява та широке впровадження нових побутових та ігрових роботів обумовлюють зростання попиту на нові та вдосконалені пристрої. Для мобільних роботизованих систем задача позиціювання є критично важливою, оскільки є підґрунтям для формування та контролю оптимальної траєкторії руху в режимі реального часу [1, 2].

Області застосування мобільних роботизованих пристроїв охоплюють системи пересування пацієнтів, персоналу та обладнання в лікарнях, контролю місцеперебування робочих, складальних одиниць і інструменту на конвеєрі, виявлення постраждалих під час пожежі, спостереження за поведінкою тварин на вільному випасі з метою виявлення хворих тощо [3]. Різноманітність областей застосування та відносна «молодість» напрямку породили різноманітність технологій позиціювання.

Розрізняють три типи систем позиціювання роботів:

- 1) частково автономні — оператор приймає безпосередню участь у керуванні роботом;
- 2) напівавтономні — робот виконує запрограмовані дії або послідовність дій циклічно (такі роботи використовуються в процесі виготовлення мікросхем, зварювання та інших галузях);
- 3) повністю автономні — ці системи здатні самостійно орієнтуватись у просторі, збирати інформацію з датчиків та приймати рішення щодо виконання дій залежно від параметрів навколишнього середовища.

Останній тип наразі викликає найбільший інтерес дослідників. Для орієнтації у просторі та позиціювання використовуються алгоритми обчислення ко-

ординат на основі методів нечіткої логіки [2], але такі технології мають досить високу вартість і тому застосовуються обмежено. Одним з ефективних рішень є використання алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання [2, 3], зокрема генетичних алгоритмів, для визначення оптимальної траєкторії руху робота. Генетичні алгоритми успішно використовуються для оптимізації параметрів регуляторів при розв'язанні задач маршрутизації мереж, оптимізації інтегральних схем тощо [4—6].

В цій роботі проведено порівняння точності позиціювання мобільного робота, який рухається представленою на **рис. 1** траєкторією, методом трилатерації та за допомогою генетичних алгоритмів.

Досліджувана система складається з колісної платформи, рух якої здійснюється за допомогою сервомоторів, мікроконтролера та ультразвукових датчиків, розміщених на корпусі робота для виміру відстані до маяків, які розташовуються по периметру й обмежують пересування робота у певному діапазоні. При визначенні координат робота допустимою вважається помилка, величина якої не перевищує половини мінімального з габаритних розмірів робота. На похибку позиціювання впливають такі фактори, як відбиття тестових сигналів, нерівномірність освітлення тощо.

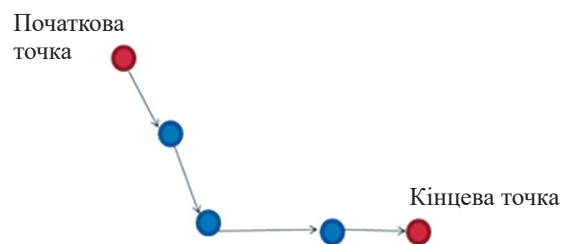


Рис. 1. Задана траєкторія руху робота

### Позиціювання методом трилатерації

Розглянемо позиціювання за допомогою методу трилатерації, використовуючи **рис. 2**. Необхідно знайти положення робота на  $(x, y)$ -площині з центром координат у місці знаходження приймача  $O$ . З геометричної точки зору, завдання трилатерації [7—9] зводиться до знаходження точки перетину трьох сфер на **рис. 2**, центри яких знаходяться у місці розташування приймачів, а радіусами є відстань від приймачів до робота. Якщо відома відстань від робота до приймача, це означає, що робот знаходиться на поверхні відповідної сфери.

Для трьох сфер на **рис. 2** справедлива система рівнянь:

$$\begin{cases} r_1^2 = x^2 + y^2; \\ r_2^2 = (x - i)^2 + y^2; \\ r_3^2 = x^2 + (y - j)^2, \end{cases} \quad (1)$$

де  $r_{1,2,3}$  — відстані від робота до приймачів  $O, X, Y$ ;  
 $x, y$  — координати робота;

$i, j$  — відстані між приймачами, відповідно,  $X, Y$  та приймачем  $O$ , який знаходиться у центрі координат.

За відомих значень відстаней, які входять до цієї системи рівнянь, можна знайти координати робота:

$$\begin{aligned} x &= \frac{r_1^2 - r_2^2 + i^2}{2i}; \\ y &= \frac{r_1^2 - r_3^2 + j^2}{2j}. \end{aligned} \quad (2)$$

Координати робота, отримані для чотирьох точок його розташування, наведено в **табл. 1**.

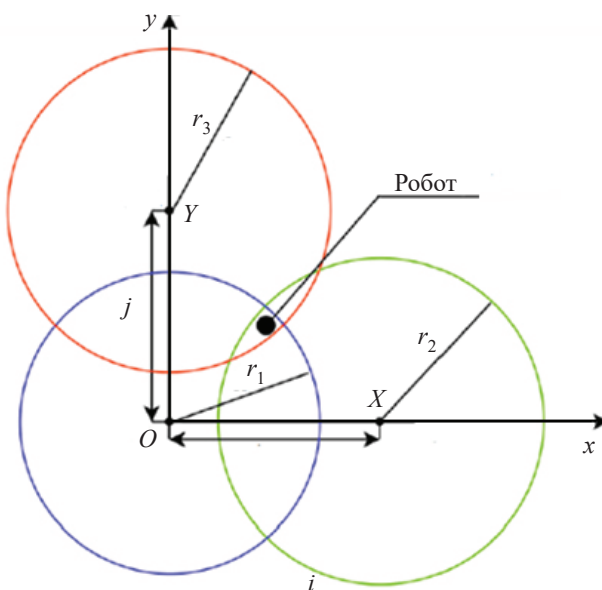


Рис 2. Позиціювання за допомогою методу трилатерації

Таблиця 1

Координати робота, знайдені методом трилатерації

| $x$ | $y$ |
|-----|-----|
| 5,7 | 5,9 |
| 4,3 | 4,1 |
| 3,8 | 3,5 |
| 5,6 | 5,3 |

Тепер знайдемо дисперсію вибірки:

$$\begin{aligned} s_x^2 &= \frac{N \sum_{m=1}^N x_m^2 - \left( \sum_{m=1}^N x_m \right)^2}{N(N-1)} = 16,8; \\ s_y^2 &= \frac{N \sum_{m=1}^N y_m^2 - \left( \sum_{m=1}^N y_m \right)^2}{N(N-1)} = 18,18, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $N$  — кількість вимірювань.

Звідси отримаємо стандартне відхилення вибірки:

$$s_x = 4,09; s_y = 4,26.$$

На практиці метод трилатерації, а також схожі з ним за принципом методи позиціювання є ефективними лише у невеликих приміщеннях. Ефективність їх застосування у відкритому просторі зменшується через такі фактори, як велика кількість даних, значна похибка вимірювань, зовнішні збурення. У таких випадках доцільно використовувати більш гнучкі методи, придатні до прийняття рішень у умовах динамічної зміни навколишнього середовища, серед яких — генетичні алгоритми.

### Позиціювання з використанням генетичного алгоритму

В традиційних генетичних алгоритмах розглядається множина векторів можливих рішень, розмірність яких залежить від кількості дискретних моментів часу, коли здійснюється вимірювання деяких фізичних величин.

Пошук напрямку руху мобільного робота реалізується на базі генетичного алгоритму, що передбачає схрещування (комбінування сигналів від датчиків і поточного стану вектора напрямку), селекцію (відбір оптимального напрямку серед множини можливих за певними критеріями) і формування нових поколінь. Таким ітераційним шляхом формується покоління, яке містить рішення, що задовольняють заданому критерію (наприклад, відстані до цільової точки) [10, 11].

Теорія генетичних алгоритмів для розв'язання задач керування у технічних системах оперує поняттями, запозиченими з генетики, такими як [11, 12]:

- *особина* — схема, структура або алгоритм дій технічного об'єкта, які можуть розглядатися як ре-

зультат розв'язання технічної задачі (наприклад, визначення найкращої топології або побудова алгоритму згідно з заданими критеріями);

- *ген* — одна з властивостей (характеристик) особини, що визначається дійсним або бінарним числом; в задачі просторової орієнтації робота генами є його координати на площині;

- *хромосома* (сукупність генів, що визначає індивідуальні властивості особини) — набір чисел, що описує всі характеристики особини, які беруть участь у розв'язанні задачі керування;

- *схрещування* (кросовер) — генетичний оператор над двома хромосомами, що передбачає обмін генами між ними для створення більш пристосованої особини; являє собою комбінування послідовностей чисел;

- *мутація* — генетичний оператор над двома хромосомами, що передбачає заміну стану одного або декількох генів; для двійкової послідовності мутація являє собою інвертування одного чи більше бітів у бітовій послідовності з заданою ймовірністю;

- *інверсія* — генетичний оператор над двома хромосомами, який передбачає, що деяка кількість генів у хромосомі міняється місцями;

- *популяція* (сукупність особин) — множина особин, які беруть участь у розв'язанні технічної задачі;

- *відбір* — обирання групи особин у популяцію за певними умовами.

Функціональна модель системи керування мобільним роботом складається з двох ідентичних обчислювальних структур для керування лівим і правим колесами платформи. На вхід моделі надходять сигнали від датчиків, що фіксують відстань до перешкоди, які підсилюються відповідними ваговими коефіцієнтами (рис. 3). На початку роботи генетичного алгоритму випадковим чином формується сукупність сигналів  $U_L$ , яка надходить на вхід генетичного алгоритму:

$$U_L = \sum_{i=1}^{12} l_i w_i, \quad (4)$$

де  $l_i$  — відстань до перешкоди;

$i$  — біти генетичного коду,  $i = 1, 2, \dots, 12$ ;

$w_i$  — вагові коефіцієнти.

Для розрахунку початкового положення робота використовуються такі формули:

$$\begin{cases} x_a = v \cdot \cos j; \\ y_a = v \cdot \sin j; \\ \varphi = \omega, \end{cases} \quad (5)$$

де  $x_a, y_a$  — координати початкового положення робота;

$v, \omega$  — лінійна та кутова швидкість;

$\varphi$  — кут повороту.

Для оцінки кожної особини першої популяції використовується певний критерій відбору [13, 14]. У

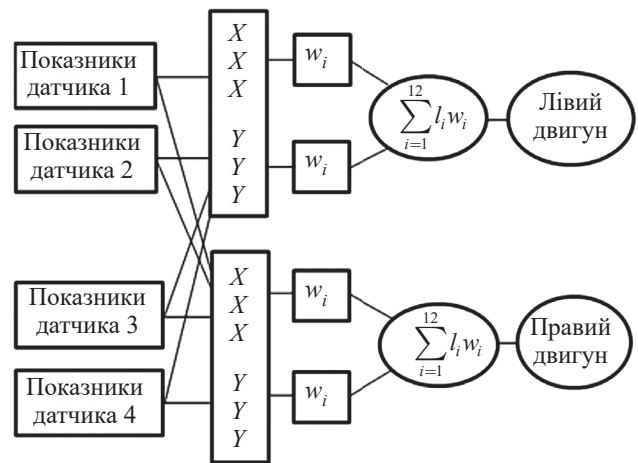


Рис. 3. Модель генетичного алгоритму керування двома колесами робота

нашому випадку це відстань до цілі: що вона більше, то менша ймовірність хромосоми пройти відбір.

Для врахування можливостей одометричних пристроїв (датчиків) для відбору першої популяції формується умова відбору. Вона, наприклад, може бути такою: відстань до об'єкту має лежати у межах від трьох до п'яти метрів,  $3 \leq l \leq 5$ .

Після відбору формується перша популяція. Кожна особина цієї популяції має відповідну хромосому, в якій зберігаються значення, що входять у заданий діапазон [15]. Розглянемо, наприклад, дві особини, що описуються такими наборами генів  $x_i$ :

— перша хромосома: 3,5; 4,2; 4,6; 3,8;

— друга хромосома: 3,7; 4,1; 4,9; 4,3.

Кількість складових особини відповідає кількості орієнтирів. Після генерування першої популяції у ній випадковим чином обираються дві хромосоми, що утворюють «батьківську пару» для формування наступного покоління особин [16, 17]. Пари координат, представлених дійсними числами, кодуються двійковим кодом за формулою

$$g_i = \frac{(x_i - x_{\min}) \cdot (2^m - 1)}{x_{\max} - x_{\min}} + x_{\min}, \quad (6)$$

де  $g_i, m$  —  $i$ -й кодований ген та розрядність генів у хромосомі відповідно;

$x_{\max}, x_{\min}$  — максимальне та мінімальне значення, які можуть приймати гени у хромосомі.

Тоді для першої хромосоми отримаємо кодовані гени у десятковому та двійковому представленні:

$$g_1 = \frac{(3,5 - 3) \cdot (2^{10} - 1)}{5 - 3} \approx 16383_{10} = 111111111111_2;$$

$$g_2 = \frac{(4,2 - 3) \cdot (2^{10} - 1)}{5 - 3} = 39323_{10} = 1001100110011001_2;$$

Таблиця 2

Вигляд двох закодованих хромосом

|    |                 |                  |                  |                  |
|----|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| I  | 111111111111    | 1001100110011001 | 1100110011001100 | 110011001100110  |
| II | 101100110011001 | 1000110011001100 | 11110011001100   | 1010011001100101 |

|                 |                  |                  |                  |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| 111111111111    | 1001100110011001 | 1100110011001100 | 110011001100110  |
| 101100110011001 | 1000110011001100 | 11110011001100   | 1010011001100101 |

Рис. 4. Схрещування двох хромосом

Таблиця 3

Вигляд утвореної хромосоми (1) та інвертованих при мутації генів (2)

|   |                 |                  |               |                  |
|---|-----------------|------------------|---------------|------------------|
| 1 | 111111111111    | 1001100110011001 | 1110011001100 | 1010011001100101 |
| 2 | 111111111111011 | 1001100110011011 | 1111011011100 | 1010010001100101 |

$$g_3 = \frac{(4,6-3) \cdot (2^{10}-1)}{5-3} = 7372_{10} = 1100110011001100_2;$$

$$g_4 = \frac{(3,8-3) \cdot (2^{10}-1)}{5-3} = 42597_{10} = 110011001100110_2.$$

Аналогічно виконується кодування другої хромосоми.

Вигляд, який мають закодовані хромосоми, показано в **табл. 2**.

Після кодування відбувається схрещування обраних хромосом, яке полягає в обміні генетичною інформацією між ними за схемою, наведеною на **рис. 4**. Після схрещування утворена хромосома підлягає мутації — біти у генетичному коді інвертуються випадковим чином з ймовірністю 0,3 (**табл. 3**).

Після знаходження особини, яка має найвищу пристосованість при заданих ймовірностях схрещування та мутації, відбувається декодування генів хромосом за формулою:

$$x_i = \frac{g_i(x_{\max} - x_{\min})}{2^m - 1} + x_{\min}. \quad (7)$$

де  $g_i$  — кодовані гени у десятковому представленні.

Звідси отримаємо декодовані гени:

$$x_1 = \frac{16383(5-3)}{2^{10}-1} + 3 = 3,4;$$

$$x_2 = \frac{39323(5-3)}{2^{10}-1} + 3 = 4,2;$$

$$x_3 = \frac{7372(5-3)}{2^{10}-1} + 3 = 3,2;$$

$$x_4 = \frac{42597(5-3)}{2^{10}-1} + 3 = 4,3.$$

Аналогічним чином генетичні оператори відбору, схрещування та мутації застосовуються до координати у.

Знайдені за генетичним алгоритмом координати чотирьох точок приведено в **табл. 4**. За цими координатами будується граф для знаходження оптимального маршруту до цілі.

Таблиця 4

Координати, знайдені методом генетичного алгоритму

| x   | y   |
|-----|-----|
| 3,4 | 4,7 |
| 4,2 | 3,3 |
| 3,2 | 3,8 |
| 4,3 | 4,4 |

Для того щоб позиціонування здійснювалось більш ефективно, використовується пошук оптимального маршруту за допомогою графу (**рис. 5**). Кожен його вектор описує хромосому генетичного алгоритму [18, 19], а кількість вершин залежить від кількості генів у хромосомі. При кодуванні інформації в одній хромосомі зберігаються можливі маршрути від початкової точки до усіх можливих вершин графу.

Слід зауважити, що побудова графу є одним з інструментів знаходження маршруту за відомими координатами. Методики використання генетичного алгоритму можна поєднувати між собою, тим самим покращуючи кінцевий результат при розв'язанні технічних задач.

На **рис. 6** показано графік залежності максимальної та середньої пристосованості особин від кількості поколінь, за яку буде отримано оптимальне рішення задачі. Для знаходження оптимальної траєкторії руху вирішується задача локального мінімуму, тобто знаходження найменшої кількості поколінь, коли буде досягнуто максимальне значення пристосова-

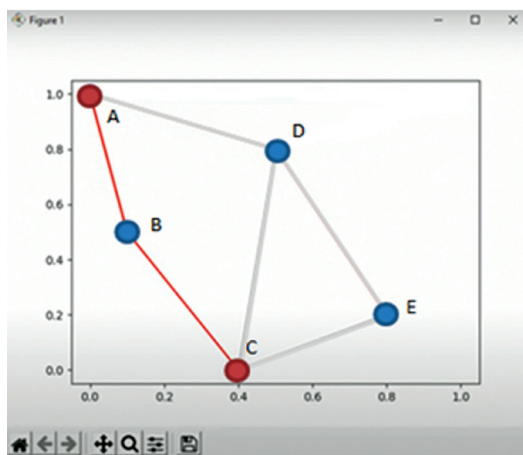


Рис. 5. Можливі маршрути від початкової точки *A* до кінцевої *C*

ності особин. У нашому випадку на 20-му поколінні максимальна пристосованість особин дорівнює 1, середня пристосованість особин дорівнює 0,77, і це є максимальне значення пристосованості із обраних 140 поколінь. Виходячи з цього можна стверджувати, що задача генетичного алгоритму виконана.

Відповідно до формул (3) дисперсія та стандартне відхилення вибірки в цьому випадку складають відповідно

$$s_x^2 = 11,2; s_y^2 = 10,7;$$

$$s_x = 3,34; s_y = 3,27.$$

### Аналіз результатів досліджень

Порівняння похибок позиціювання, отриманих при застосуванні двох методів, показує, що використання генетичного алгоритму дає більш точні результати, ніж метод трилатерації: похибка визначення координати *x* складає 3,34 проти 4,09, координати *y* — 3,27 проти 4,26. Це можна пояснити тим, що на позиціювання методом трилатерації впливає багато чинників з навколишнього середовища, а також похибки датчиків, за допомогою яких робот отримує

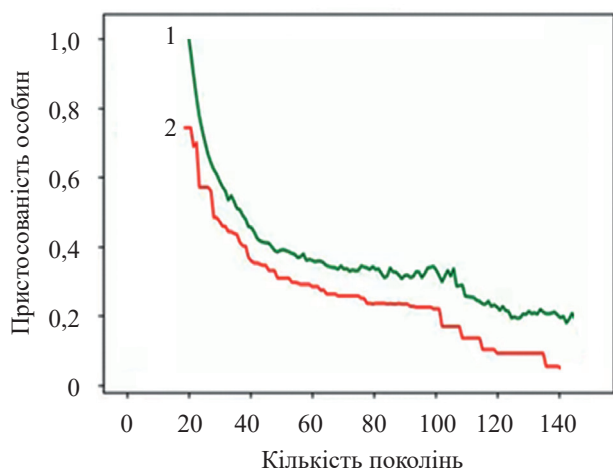


Рис. 6. Залежність максимальної (1) та середньої (2) пристосованості особин від кількості поколінь

інформацію про відстань до приймачів або до поставленої цілі. Пошук координат за генетичним алгоритмом відбувається з використанням кута повороту та лінійної швидкості робота, після чого знайдені координати проходять відбір у першу популяцію. Для генетичного алгоритму головною задачею є знаходження особин з найбільшою пристосованістю при заданій кількості особин у популяції, а також ймовірності генетичних операторів схрещування та мутації.

### Висновки

Таким чином, дослідження показали, що за точністю знаходження розташування об'єкта метод трилатерації поступається генетичним алгоритмам, які дозволяють знайти оптимальне рішення задачі позиціювання без суттєвого впливу похибки вимірювань датчиків та інших вимірювальних пристроїв на результат. Завдяки генетичним операторам відбору, схрещування та мутації генетичний алгоритм менше залежить від навколишнього середовища, а також має можливість побудови оптимальної траєкторії руху.

### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Абабій, В., Судацевський, В., Рошка Н., Лунгу І. Мережа датчиків для керування роботами. *ІІ МНПК «Прикладні науково-технічні дослідження»*, 2019, т. 6, № 4, с. 26–32.
2. Гладков, Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. *Генетические алгоритмы*. Молдова, Кишинев, Физматлит, 2010, с. 320.
3. Войтюк І. Ф., Дивак М. П., Неміш В. М. Метод та генетичний алгоритм структурної ідентифікації інтервальних різницьових операторів в задачах екологічного моніторингу. *Наукові праці ДонНТУ*, 2011, т. 4, № 4, с. 71–89.
4. Рутковская Д. *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы*. Москва, Горячая линия-Телеком, 2006, с. 452.
5. Юревич Е. И. *Основы робототехники*. Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2005, 416 с.
6. Лебедев Б. К. Генетический алгоритм распределения соединений по слоям при многослойной глобальной трассировке СБИС. *Известия ЮФУ. Технические науки*. Россия, Таганрог, 2012, № 7, с. 14–22.
7. Здор Г. Н., Потеха А.В. Методические особенности использования генетических алгоритмов для прогнозирования развития пожарных роботов. *Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка*, 2014, т. 6, № 2, с. 50–56. <https://rep.bntu.by/handle/data/84744>
8. Афанасьев В. Н. *Динамические системы управления с неполной информацией. Алгоритмическое конструирование*. Москва, Ленанд, 2018, с. 216.
9. Герасун В. М., Жога В.В., Несмиянов И.А. и др. Исследование оптимальных конфигураций манипулятора-трипода с поворотным основанием. *Мехатроника, автоматизация, управление*, 2016, № 6, с. 16–21.
10. *3D-печать и устройство 3D-принтера*. <https://make-3d.ru/articles/chto-takoe-3d-pechat/> (20 вересня 2021)
11. Пшихопов В. Х. Организация репеллеров при движении мобильных роботов в среде с препятствиями. *Мехатроника, автоматизация, управление*, 2008, № 2, с. 34–41.
12. Зенкевич С. Л., Ющенко А. С. *Основы управления манипуляционными роботами*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, 480 с.

13. Ульянов С. В. Робастные интеллектуальные системы управления: системный и структурный анализ. *Нечеткие системы и мягкие вычисления*. 2008, № 2, с. 15–31.

14. Рыбаков А. В. Робот-гексапод с нейросетевой системой управления движением. *Робототехника и техническая кибернетика*, 2017, № 3, с. 59–66.

15. Даринцев О. В., Мигранов А. Б. Система планирования движения группы мобильных микроботов на основе генетических алгоритмов. *Теория и системы управления*, 2007, № 3, с. 163–173.

16. Zhu J., Huai L., Cui R. Research and application of hybrid random selection genetic algorithm. *2017 10<sup>th</sup> International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)*, 2017, vol. 20, iss. 7, p. 330. <https://doi.org/10.1109/ISCID41719.2017>

17. Croitoru N. High probability mutation and error thresholds in genetic algorithms, *2015 17<sup>th</sup> International Symposium on Symbolic*

*and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC)*, 2015, vol. 17, iss. 4, p. 271. <https://doi.org/10.1109/SYNASC.2015.51>

18. Kar S., Kabir M. M. J. Comparative analysis of mining fuzzy association rule using genetic algorithm, *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 2019, vol. 7, iss. 3, p. 5. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2019.8679336>

19. Chen C., He J., Hong T. A two-stage multi-objective genetic-fuzzy mining algorithm, *2013 IEEE International Workshop on Genetic and Evolutionary Fuzzy Systems (GEFS)*, 2013, vol. 10, iss. 2, p. 16. <https://doi.org/10.1109/GEFS.2013.6601050>

Дата надходження рукопису  
до редакції 26.11 2021 р.

DOI: 10.15222/TKEA2021.5-6.26  
UDC 004.415.2, 004.588

Yu. S. YAMNENKO, V. O. OSOKIN

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"  
E-mail: petergerya@yahoo.com; ovo-dez01mp-eds-21@lil.kpi.ua

## COMPARISON OF MOBILE ROBOT POSITIONING TECHNIQUES

*The article compares the accuracy of mobile robot positioning by the technique based on genetic algorithms, which are related to artificial intelligence, and by the trilateration technique. The authors consider the application of appropriate terminology borrowed from genetics and data processing algorithms for this technical problem. When using the genetic algorithm, the coordinates of the robot are found using angular methods or rigid logic methods, which are not particularly effective because of the large amount of data that is not needed for positioning, so there is a need to select the most likely indicators to find the best route to the target.*

*The genetic algorithm used in this study first selects the data by a certain criterion to enter the first population, and then the data falls into the beginning of the genetic algorithm. Each individual has chromosomes that represent a sequence of data, i.e., genes. After a chromosome is coded, the following genetic operations are performed: crossing over and mutation. These operations occur cyclically until a population with high fitness is found. The solution is a sequence of selected coordinates, from which a system is constructed to determine the optimal route to the destination.*

*The robot navigation techniques are compared in terms of coordinate positioning accuracy. Calculation results on dispersion and absolute positioning error show that the positioning using genetic algorithm gives less error than the one using trilateration method. The genetic algorithm allows finding the optimal solution of the positioning problem while reducing a significant influence of the measurement error of sensors and other measuring devices on the result.*

**Keywords:** robot positioning, genetic algorithms, artificial intelligence methods, mobile robot, trilateration method.

### REFERENCES

1. Ababii, V., Sudacevschi, V., Rosca N., Lungu I. [Sensors network for robots control]. *International Scientific-Practical Conference "Applied Scientific and Technical Research"*, 2019, vol. 6, no. 4, pp. 26–32. (Ukr)
2. Gladkov, L. A., Kureychik V. V., Kureychik V. M. *Geneticheskiye algoritmy* [Genetic algorithms]. Moldova, Chisinau, Fizmatlit, 2010, 320 p. (Rus)
3. Voytyuk I. F., Dyvak M. P., Nemish V. M. The method and genetic algorithm for structural identification of interval difference operators in the tasks of ecological monitoring. *Scientific Works of DonNTU*, 2011, vol. 4, no. 4, pp. 71–89. (Ukr)
4. Rutkovskaya D. *Neironnyye seti, geneticheskiye algoritmy i nechetkiye sistemy* [Neural Networks, Genetic Algorithms and Fuzzy Systems]. Russia, Moscow, Hot line-Telecom, 2006, 452 p. (Rus)
5. Yurevich Ye. I. *Osnovy robototekhniki* [Fundamentals of Robotics]. St. Petersburg «BHV-Petersburg», 2005, 416 p. (Rus)
6. Lebedev B. K. [Genetic algorithm for the distribution of compounds by layers in multilayer global VLSI tracing.]. *Izvestiya*

*SFedU. Engineering Sciences*, Russia, Taganrog, Izvestia UFU, 2012, № 7, pp. 14–22. (Rus)

7. Zdor G. N., Potekha A. V. Methodical features of usage of genetic algorithms for prediction of development of fire robots. *Vesnik Hrodzenskaha Dziarzhavnaha Universiteta Imia Ianki Kupaly. Seriya 6. Tekhnika*. <https://rep.bntu.by/handle/data/84744> (Rus)

8. Afanas'yev V. N. *Dinamicheskiye sistemy upravleniya s nepolnoy informatsiyey. Algoritmicheskoye konstruirovaniye* [Dynamic control systems with incomplete information. Algorithmic design]. Moscow, Lenand, 2018, 216 p. (Rus)

9. Gerasun V. M., Zhoga V. V., Nesmiyanov I. A. et al. [Investigation of the optimal configurations of a manipulator-tripod with a rotary base]. *Mechatronics, Automation, Control*, 2016, no. 6, pp. 16–21. (Rus)

10. [3D printing and 3D printer device]. <https://make-3d.ru/articles/chto-takoe-3d-pechat/> (20 september 2021) (Rus)

11. Pshikhopov V. Kh. Organization of repellers when moving mobile robots in an environment with obstacles. *Mechatronics, Automation, Control*, 2008, no. 2, pp. 34–41. (Rus)

12. Zenkevich S. L., Yushchenko A. S. *Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami* [Fundamentals of manipulation robots control]. Moscow, BMSTU, 2004, 480 p. (Rus)

13. Ulyanov S. V. [Robust intelligent control systems: system and structural analysis]. *Fuzzy Systems and Soft Computing*, 2008, no. 2, pp. 15–41. (Rus)

14. Rybakov A. V. [Hexapod robot with neural network motion control system]. *Robotics and Technical Cybernetics*, 2017, no. 3, pp. 59–66. (Rus)

15. Darintsev O. V., Migranov A. B. [Mobile group traffic planning system microrobots based on genetic algorithms. *Theory and Systems Management*, 2007, no. 3, pp. 163–173. (Rus)

16. Zhu J., Huai L., Cui R. Research and application of hybrid random selection genetic algorithm. *2017 10<sup>th</sup> International Symposium*

on Computational Intelligence and Design (ISCID), 2017, vol. 20, iss. 7, p. 330. <https://doi.org/10.1109/ISCID41719.2017>

17. Croitoru N. High probability mutation and error thresholds in genetic algorithms, *2015 17<sup>th</sup> International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC)*, 2015, vol. 17, iss. 4, p. 271. <https://doi.org/10.1109/SYNASC.2015.51>

18. Kar S., Kabir M. M. J. Comparative analysis of mining fuzzy association rule using genetic algorithm, *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 2019, vol. 7, iss. 3, p. 5. <https://doi.org/10.1109/ECACE.2019.8679336>

19. Chen C., He J., Hong T. A two-stage multi-objective genetic-fuzzy mining algorithm, *2013 IEEE International Workshop on Genetic and Evolutionary Fuzzy Systems (GEFS)*, 2013, vol. 10, iss. 2, p. 16. <https://doi.org/10.1109/GEFS.2013.6601050>

#### Опис статті для цитування:

Ямненко Ю. С., Осокін В. О. Порівняння точності позиціонування методом трилатерації та методом на базі генетичного алгоритму. *Технологія і конструювання в електронній апаратурі*, 2021, № 5–6, с. 26–32. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2021.5-6.26>

#### Cite the article as:

Yamnenko Yu. S., Osokin V. O. Comparison of mobile robot positioning techniques. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, 2021, no. 5–6, pp. 26–32. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2021.5-6.26>

#### НОВІ КНИГИ

##### НОВІ КНИГИ



#### Николишин М. Й. Радіотехнічні методи навігації: Навчальний посібник.— Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020.

Висвітлено основні радіотехнічні методи навігації, які уможливають визначення місцеположення об'єктів та маршрутизацію їх переміщення. Кожна тема супроводжується низкою вправ і задач, які дають змогу закріпити матеріал.

Для студентів спеціальностей 172 “Телекомунікації та радіотехніка”, 173 “Авіоніка”, а також для всіх, хто цікавиться проблемами радіонавігації та радіолокації.



##### НОВІ КНИГИ



#### Матвійків М. Д., Васьків Г. М., Вус Б. С., Матвійків С. О. Матеріали для електронних пристроїв.— Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021.

Викладено основні відомості про матеріали та пов'язані з ними технології, які використовуються в електронній галузі. Розглянуто властивості матеріалів, а також технології та використання матеріалів.

Для студентів закладів вищої освіти, які навчаються за спеціальностями, пов'язаними з використанням матеріалів та технологій, а також для широкого кола читачів, які цікавляться сучасними матеріалами, технологіями та пристроями.

