

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

Було розроблено радіолокаційний метод вимірювання параметрів руху, що дозволяє уникнути характерних похибок, що властиві традиційним одометричним методам. Впровадження запропонованого методу надає можливість створення комплексної навігаційної системи, яка поєднує системи позиціонування за супутниками і наземного радіообладнання.

**Ключові слова:** радіолокація, одометр, навігація, радіообладнання

### *Abstract*

*In this work was developed a radar method for measuring motion parameters, which avoids the typical errors inherent in traditional odometric methods. The implementation of the proposed method makes it possible to create an integrated navigation system that combines satellite positioning systems (SPS) and ground radio equipment (GREE).*

**Keywords:** radar, odometer, navigation, radio equipment

### Вступ

Розвиток технології супутникової навігації відбувся тому, що США запустили GPS, а Європа запустить GALILEO. Ця технологія використовується в пристроях, які допомагають людям визначити своє місцезнаходження, особливо в транспортних засобах, що рухаються. Деякі країни Європи мають програму під назвою «екстрений виклик», згідно з якою в автомобілях повинні бути пристрої, які можуть розпізнавати аварії та викликати допомогу. [1]

В Україні також працюють над супутниковим моніторингом, але інколи це погано працює в надзвичайних ситуаціях. Є три ситуації, коли пристрої не можуть приймати сигнали: у тунелях, коли дороги перекриті та коли на шляху стоять високі будівлі. Американська система GPS також має деякі проблеми з точністю. Через ці проблеми деякі країни працюють над новими способами визначення місцезнаходження без супутників. [2]

Таким чином, наукові дослідження методів для покращення точності виявлення місцезнаходження рухомих об'єктів є актуальним в наш час.

### Теоретичні та експериментальні дослідження

У зв'язку із широким поширенням технологій систем радіонавігації (СРНС) в щоденній практиці, багато вітчизняних та зарубіжних експертів [1-3] звернуло увагу на проблему підвищення точності та стійкості до завад систем навігації. Один із видів альтернативних СРНС - це автономні системи навігації НРО, побудовані на основі обчислення шляху (технологія Dead Reckoning) [3]. Згідно з класифікацією, яка наведена в рекомендації Міжнародної конференції з радіонавігації, одним з методів визначення місцезнаходження рухомих об'єктів є метод навігаційного обчислення шляху, який також відомий як метод інерційної навігації. Цей метод передбачає установку на НРО датчиків напрямку (курсу), прискорень, швидкості руху і пройденого шляху. За показниками цих датчиків визначається місцезнаходження об'єкта відносно фіксованих реперів, які можуть бути визначені як точки на місцевості, так і напрямки на об'єкти тощо. [4]

Переваги методу обчислення шляху перед системами радіонавігації (СРНС) полягають у можливості контролювання положення навігаційного об'єкту (НРО) на тих ділянках шляху, де отримання сигналу від супутника є обмеженим. Сучасні системи обчислення шляху використовують мініатюрні інерційні датчики. Наприклад, компанія Analog Devices розробила мініатюрні акселерометри, такі як ADXL150, ADXL250, ADXL202, які є одно- і двокомпонентними вимірювачами прискорення. Для вимірювання пройденого шляху застосовують одометричні датчики, які вимірюють кількість обертів коліс (трансмисії) на кожній прямолінійній ділянці. Більшість систем місцевого визначення положення

навігаційного об'єкта (НРО) підключені до спідометра автомобіля. Сучасні електронні спідометри можуть генерувати колісні імпульси кожні 20 см пробігу, забезпечуючи точні виміри пройденого шляху. Нині вивчають інші методи вимірювання пройденого шляху, такі як застосування оптичних стрічок на шинах та розташування магнітних стрічок на колесах автомобіля. Їх використовують у випадках, коли підключення до спідометра не є зручним з точки зору компонування та розташування обладнання. Проте, всі ці методи надають низьку точність вимірювання пройденого шляху. [5]

Для оцінки похибок вимірювань розглянемо математичну модель одометра. Якщо взяти до уваги, що швидкість точки колеса, яка стикається з опорною поверхнею дороги, дорівнює нулю, або, інакше кажучи, колесо повністю зчеплене з опорною поверхнею, то можна встановити такий зв'язок: [5]

$$\omega = \frac{V}{R}, \quad (1)$$

де  $V$  — швидкість транспортного засобу;  $R$  — радіус колеса;  $\omega$  — кутова швидкість.

Кут повороту колеса дорівнюватиме:

$$\Omega = \frac{S}{R}, \quad (2)$$

де  $S$  – пройдений шлях

Якщо тепер виразити загальний шлях через кількість обертів колеса ( $n$ ), можна отримати співвідношення:

$$S = n2\pi R \quad (3)$$

Швидкість можна виразити так:

$$V = \frac{dn}{dt} 2\pi R \quad (4)$$

За аналогією можна знайти також прискорення НРО. Хронометричні спідометри побудовані на використанні відношення (1).

У реальних умовах радіус колеса змінюється, а ідеальне зчеплення з опорною поверхнею неможливе. Практика показує, що при зменшенні або збільшенні ширини шини на 10 мм показання змінюються на 2,5%.

Крім того, при вимірюванні одометром приросту за координатою  $X$  збільшення  $\Delta X$  слід враховувати коефіцієнт проковзування колеса  $m_k$

Можна показати, що з урахуванням цього коефіцієнта похибка вимірювання збільшення буде рівна:

$$\delta X = m_k \Delta X \quad (5)$$

Коефіцієнт проковзування  $m_k$  залежить від стану дороги і практично його врахувати неможливо.

Ефективним рішенням для підвищення точності вимірювань параметрів руху, особливо на бездоріжжі, є використання безконтактного методу вимірювання фактичної швидкості, прискорення руху і пройденого шляху за допомогою доплерівського радіолокаційного датчика з двома приймально-передавальними антенами. Діаграми спрямованості цих антен скеровані під кутом  $90^\circ$  і напрямлені вперед-назад під кутом  $45^\circ$  відносно дорожнього покриття. Такий підхід дозволяє значно знизити похибки в оцінюванні параметрів руху через поздовжні коливання нерухомої референційної точки відносно центру мас транспортного засобу і повністю уникнути характерних значних похибок, що виникають при вимірюванні зміни діаметра та пробуксовуванні ведучих коліс за допомогою традиційних методів.

Прикладом реалізації цього підходу є радіолокаційний датчик, який використовується для автоматизованого вимірювання параметрів руху (РВПР) [5]. РВПР призначений для вивчення швидкісних, гальмівних, паливно-економічних та експлуатаційних характеристик наземних транспортних засобів під час їх руху на дорогах різних типів покриття, включаючи бездоріжжя.

РВПР встановлюється на наземні транспортні засоби за допомогою магнітної платформи і не потребує додаткових кріплень. [4]

Під час руху наземного транспортного засобу (НРО), на якому встановлений радіолокаційний вимірювач параметрів руху (РВПР), щодо поверхні, яку опромінює його приймально-передавальний модуль (ППМ), значення доплерівської частоти  $F_\partial$  і радіальної швидкості  $V_r$  зв'язані між собою відомим виразом [3]:

$$F_\partial = 2V_r \frac{f_0}{C} \quad (6)$$

де  $F_\partial$  [Гц] – доплерівський зсув частоти;  $V_r$  [м/с] – радіальна складова швидкості  $f_0$  [Гц] – несуча частота зондувального сигналу;  $C=3 \cdot 10^8$  [м/с] – швидкість поширення радіохвиль.

Величина  $V_r$  зв'язана зі швидкістю руху НРО  $V$  щодо поверхні, що опромінюється, виразом

$$V_r = V \cdot \cos \gamma, \quad (7)$$

де  $\gamma$  – кут між вектором швидкості НРО, на якому встановлено РВПР, і напрямком осі діаграми

спрямованості антени на поверхню, що опромінюється.

Під час руху наземного радіообладнання (НРО) по пересіченій місцевості кут  $\theta$  постійно змінюватиметься через коливання передавальних пристроїв модуляції (ППМ) щодо точки О. Якщо в ППМ використовується лише одна антена, що є характерною для традиційних доплерівських вимірювачів, виникне відповідна зміна доплерівської частоти, що може призвести до похибок у вимірі параметрів руху. З виразів (6), (7) видно, що при наявності у ППМ двох антен ці похибки будуть компенсовані.

### Висновки

Досліджений радіолокаційний метод вимірювання параметрів руху дозволяє уникнути характерних похибок, що властиві традиційним одометричним методам, і забезпечує відносну середньоквадратичну похибку вимірювання пройденого шляху на рівні 0.1 %. Це значно менше, ніж похибки контактних одометрів, які базуються на розрахунку кількості обертів коліс. Впровадження запропонованого методу надає можливість створення комплексної навігаційної системи, яка поєднує системи позиціонування за супутниками (ПС СРНС) і наземного радіообладнання (НРО), засновану на принципах обчислення шляху з використанням радіовимірювань пройденого відстані (РВПР).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. The struggle for coordinates. Global navigation systems and their importance in modern military conflicts : веб-сайт. URL: <https://universemagazine.com/borotba-za-koordynaty-globalni-navigacijni-systemy-tayih-znachennya-u-suchasnyh-vijskovyh-konfliktah/> (дата звернення 01.11.2023).
2. Sergiy Kobzan, Olena Pomortseva. Determinations of the Optimal Location of the Real Estate Object. Real Estate Market of Ukraine. Chapter 2, 2023, pp. 23-68. DOI: 10.1007/978-3-031-31248-9\_4
3. E. Baby Anitha, S. Sivaprakash, S. Velmurugan, S. S. Saranya. Hybrid artificial bee colony based neural network and dynamic threshold technique for predicting moving vehicle location and co-located objects. Sadhana, Published by Springer Nature, Volume 48(2), 2023, pp. 13-45. ISSN: 0973-7677. DOI: 10.1007/s12046-023-02128-w
4. Rogers R.M. Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems. 2-nd Edition, AIAA, Inc. p. 330, 2003.
5. Бударецький Ю.І. Особливості побудови підсистеми визначення шляху і експериментальні дослідження її складових частин / Ю.І. Бударецький, М.Г. Грубель, М.І. Гладкий, С.М. Назаркевич // Військово-технічний збірник / Львівський інститут Сухопутних військ Національного університету "Львівська політехніка". – Львів: ЛІСВ, 2009. – Вип. 1. 114 с.

**Кушнір Владислав Ігорович** - студент групи КІВТ-23М, кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: waldiskushnir@gmail.com

**Прытула Максим Олександрович** - к.т.н., старший викладач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: prytyula@vntu.edu.ua

**Kushnir Vladyslav Ihorovych** - student of the KIVT-23M group, Department of Information Radioelectronic technologies and systems, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email address: waldiskushnir@gmail.com

**Prytula Maksym Oleksandrovych** - Ph.D., senior lecturer of the Department of Information Radio-Electronic Technologies and Systems, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: prytyula@vntu.edu.ua