

Висновки. Подано рекомендації щодо вибору параметрів комп'ютеризованих ультразвукових охоронних систем:

1) треба вибирати матеріал акустичних перетворювачів і відбивачів з коефіцієнтом відбивання звуку $R_S = 0,9$.

З теорії акустичних шаруватих середовищ [3] відомо, що коефіцієнт R виражається через імпеданси повітряного середовища Z_1 й акустичного відбивача Z_2 формулою

$$R = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1). \quad (9)$$

Отже, його максимум буде, якщо $Z_2 \gg Z_1$. Цього можна досягти, якщо для акустичного відбивача використовувати сталь без покриття або покриту платиною чи кадмієм, одночасно вирішуючи проблеми корозії ультразвукового перетворювача, особливо в агресивному середовищі;

2) параметр K_S доцільно вибирати меншим за 0,2.

1. Погребенник В.Д., Політило Р.В. Ультразвукові сенсори системи охоронної сигналізації // Вісник Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут». Серія «Приладобудування». – К., 2008. – С. 72–79. 2. Погребенник В.Д., Політило Р.В. Методи підвищення надійності ультразвукових засобів охоронної сигналізації / Наук.-техн. конф. «Обчислювальні методи і системи перетворення інформації». – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2010. – С. 207–210. 3. Хамидуллин В.К. Ультразвуковые контрольно-измерительные устройства и системы. – Ленинград: Изд-во Ленинградского университета, 1989. – 245 с. 4. Погребенник В.Д., Політило Р.В. Оптимізація параметрів ультразвукових вимірювальних засобів для охоронних систем // Матеріали 16 міжн. наук.-техн. конф. «Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів» (ЛЕОТЕСТ-2011). – Львів, 2011. – С. 53–56.

УДК 621.396.96

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОЦІНКИ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ НАЗЕМНИХ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Ї Сопільник Любомир¹, Заяць Р.², Бударецький Ю.², Підвірний Ю.², 2011

¹ДНДЕККЦ ГУМВС України у Львівській області,

²Львівський університет бізнесу та права

Досліджено вплив похибок механічних одометрів на точність оцінки параметрів руху, запропоновано методи реалізації неконтактних вимірювачів.

Исследовано влияние погрешностей механических одометров на точность оценки параметров движения, предложены методы реализации неконтактных измерителей.

Influence of errors of mechanical odometers on accuracy of an estimation of parameters of movement is investigated, methods of realisation of non-contact measuring instruments are offered.

Постановка проблеми. Активний розвиток супутникових навігаційних технологій зумовлений розгортанням американської системи GPS, російської системи ГЛОНАСС, а в перспективі і європейської системи GALILEO. Інтенсивний розвиток систем мобільного зв'язку сприяє широкому впровадженню приймачів споживачів (ПС) супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) у системи визначення місцеположення наземних рухомих об'єктів (НРО). Інтеграція ПС СРНС із засобами зв'язку сприяла

розвитку систем моніторингу НРО, що призначені для підвищення ефективності їх експлуатації.

У Європі з 2010 р. почала працювати прийнята Єврокомісією програма e-call («екстрений виклик»). У країнах ЄС, що підписали меморандум із впровадження програми «екстрений виклик», законодавчо встановлено вимоги до автовиробників – обладнати автомобілі, що поставляють для продажу на ринки цих держав, телеметричними блоками, що дають змогу з використанням супутникової навігації точно

визначити місце ДТП і вчасно викликати необхідну допомогу, зв'язавшись із диспетчерським центром через канали бездротового зв'язку. Аналогічна російська програма екстреного реагування під час аварії (ЕРА ГЛОНАСС), над якою працюють Асоціація «ГЛОНАСС/Гнсс-форум», професійна асоціація протидії викраденням транспортних засобів, ФГУП «РНДІ КП», НП «Ітс-росія» і представники страхового співтовариства, оснований на технологіях ГЛОНАСС. В Україні значних успіхів у розвитку супутникового моніторингу НРО досяг ДП «Оризон-Навігація».

Однак СРНС не завжди ефективні та доступні для навігації НРО. Можна виділити як мінімум три основні випадки [1], коли дані, отримані за допомогою приймача СРНС на рухомому об'єкті, самі по собі некоректні. Ці випадки схематично показано на рис. 1.

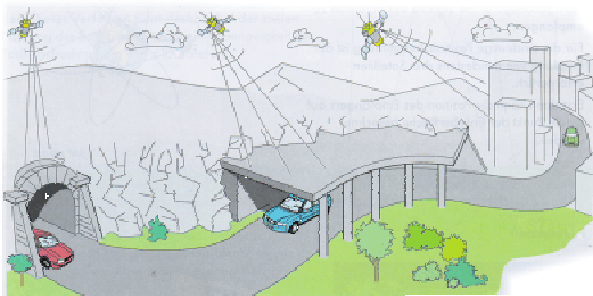


Рис. 1. Обмеження у використанні приймача СРНС у міських умовах

Перший випадок, позначений на рис. 1, показує, що неможливо отримати сигнал із супутника на автомобільній дорозі, що проходить крізь тунель.

Другий випадок – коли неможливо одержати сигнал із супутника під час проходження НРО ділянки дороги з перекриттям (крізь парки, лісосмуги).

Третій випадок – закриття сигналу із супутника високими будівлями на міській території.

Крім того, в американській системі GPS для цивільного каналу може вводитися “сигнал, що уводить”, який сильно ускладнює точне й швидке визначення координат НРО. Відзначимо і низьку стійкість СРНС до зовнішніх впливів різноманітного походження, що обмежує перспективи їх ефективного використання.

З огляду на це зростає потреба доповнити, а в перспективі – і замінити СРНС безсупутниковими системами локалізації, прототипи яких інтенсивно розробляють у різних країнах світу. Тому завдання

підвищення перешкодозахищеності та точності систем навігації є одним з найголовніших для систем оцінки місцеположення НРО.

Аналіз досліджень і публікацій. У зв'язку з широким упровадженням технологій СРНС у повсякденну діяльність на проблему підвищення точності та перешкодозахищеності систем навігації звернуло увагу багато вітчизняних і зарубіжних спеціалістів [1–3].

Одним з видів альтернативних СРНС є автономні системи навігації НРО, побудовані на принципах обчислення шляху (технологія Dead Reckoning) [3]. Відповідно до класифікації, наведеної в рекомендації МККР (звіт 904-1, Дубровник, 1986), одним з методів визначення місцеположення рухомих об'єктів є метод навігаційного обчислення шляху, який також називають методом інерційної навігації. Цей метод передбачає оснащення НРО датчиками напрямку (курсу), прискорень, швидкості руху і пройденого шляху, за показниками яких визначають місцеположення об'єкту відносно фіксованих реперів, якими можуть бути визначені точки на місцевості, напрямки на об'єкти тощо.

Рис. 2 показує суть методу обчислення шляху (Dead Reckoning). Рух НРО починається з точки з відомими координатами (X_0 і Y_0) і визначеним початковим напрямком α^0 . Використовуючи датчики швидкості руху НРО V_i і часу пересування t_i , або датчики пройденого шляху в кожний момент часу, можна стежити за довжиною пройденого шляху S_i .

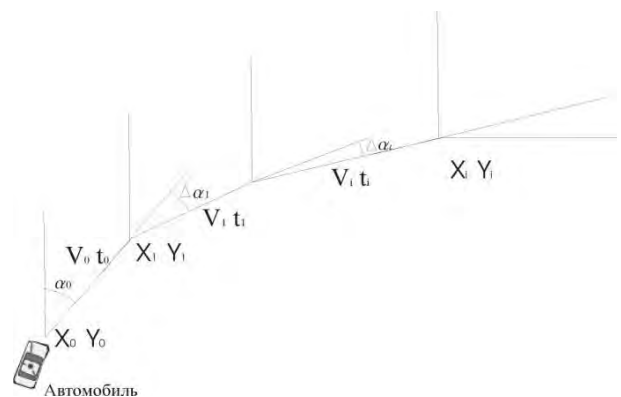


Рис. 2. Ідея технології обчислення шляху (Dead Reckoning)

Датчик напрямку руху дає збільшення приросту кута вказаного елемента шляху S_i . Використовуючи початковий напрямок, можна отримати напрямок у

поточній ділянці руху, додаючи приріст і отже, отримати координати у поточний момент часу.

Такі операції виконують для кожної ділянки траєкторії руху і координати кожної наступної точки одержують на основі координат і напрямку руху попередньої точки місцеположення.

Переваги технології обчислення шляху над системою СРНС полягають в можливості контролювання положення НРО на ділянках шляху, де отримання сигналу з супутника обмежене.

У сучасних системах обчислення шляху відбувається мініатюризація інерційних датчиків. Прикладом мініатюрних акселерометрів є інтегральні мікросхеми фірми Analog Devices ADXL150, ADXL250, ADXL202, ADXL202, які являють собою одно- і двокomпонентні вимірювачі прискорення. Другим прикладом може бути компанія Stmicroelectronics, яка за технологією мікроелектромеханічних систем (MEMS) успішно інтегрувала в одному корпусі мікросхеми LSM320HAY30 два датчики: тривісевий цифровий MEMC акселерометр і аналоговий MEMC двовісевий гіроскоп. Датчик LSM320HAY30 здатний вимірювати прискорення в діапазоні $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ і кути з кутовим прискоренням від 30 град./с до 6000 град./с по осях тангажа й ристання. Комбінація двох вимірювань в одному корпусі збільшує ефективність і надійність кінцевого виробу, а також зменшує його розмір і вартість.

Для визначення пройденого шляху використовуються одометричні датчики, в яких пройдений шлях на кожній прямолінійній ділянці вимірюють кількістю обертів коліс (трансмисії). У більшості систем місцевизначення НРО навігаційний комп'ютер підімкнений до спідометра автомобіля. Сучасні електронні спідометри можуть видавати так звані колісні імпульси через кожні 20 см пробігу, що забезпечує малу дискретність виміру пройденого шляху. Нині опрацьовують й інші способи вимірювання пройденого шляху, такі як нанесення оптичних стрічок на шини і розміщення магнітних стрічок на колесах автомобіля. Їх використовують у тих випадках, коли підімкнення до спідометра не зовсім зручне з погляду компонування й розміщення апаратури.

Однак всі ці способи дають низьку точність оцінювання пройденого шляху.

Мета дослідження. Метою дослідження є визначення методів підвищення точності оцінювання шляху, пройденого НРО.

Виклад результатів дослідження. Для оцінювання похибок вимірювань розглянемо математичну модель одометра.

Якщо прийняти, що швидкість точки колеса, яка стикається з опорною поверхнею дороги, дорівнює нулю, або, інакше кажучи, спостерігається повне зчеплення колеса й опорної поверхні, то справедливе таке співвідношення

$$\omega = \frac{V}{R}, \tag{1}$$

де V — швидкість транспортного засобу; R — радіус колеса; ω — кутова швидкість.

Кут повороту колеса дорівнюватиме

$$\Omega = \frac{S}{R}, \tag{2}$$

де S – пройдений шлях.

Якщо тепер виразити повний пройдений шлях через кількість обертів колеса (n), то можна одержати співвідношення

$$S = n2\pi R. \tag{3}$$

Швидкість дорівнюватиме:

$$V = \frac{dn}{dt} 2\pi R. \tag{4}$$

За аналогією можна знайти й прискорення НРО.

На використанні відношення (1) побудовані хронометричні спідометри.

У реальності радіус колеса змінний, а ідеальне зчеплення з опорною поверхнею неможливе.

Практика показує, що у разі зменшення або збільшення ширини шини на 10 мм показання змінюються на 2,5 %. Залежність похибки вимірювань від зміни радіуса колеса на прикладі велокомп'ютера для довжин окружностей коліс ровера с 26" колесами з різними покриттями (за даними фірми shim_pedali) наведена в таблиці.

Залежність похибки вимірювань від зміни радіуса колеса

Покришка	L, мм	% похибки	Показання велокомп'ютера на швидкості, км/год		
			20	40	60
слік 1,5" Rubena	1950	6,4	21,3	42,6	63,8
слік 1,75" IRC Metro II 4 атм.	1990	4,3	20,9	41,7	62,2
напівслік 2,1" Merida "рідна"	2025	2,5	20,5	41,0	61,5
розрахована за формулою (1)	2075	0	20,0	40,0	60,0

Крім того, вимірюючи одометром приріст за координатою X збільшення ΔX , треба враховувати коефіцієнт проковзування колеса m_k .

Можна показати, що з урахуванням коефіцієнта проковзування похибка вимірювання збільшення становитиме:

$$dX = m_k \Delta X. \quad (5)$$

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

Тому контактні, основані на підрахунку кількості обертів коліс (трансмсії) одометри мають значну похибку вимірювання пройденого шляху. Сумарна помилка показань контактних методів вимірювання може перевищувати 10 %, як би цей факт не приголомшував їхніх прихильників.

Кардинальним рішенням для підвищення точності вимірювань параметрів руху, зокрема і на бездоріжжі, є безконтактне вимірювання фактичної швидкості, прискорення руху і пройденого шляху за допомогою доплерівського радіолокаційного датчика з двома приймально-передавальними антенами, діаграми спрямованості яких скеровані під кутом 90° і напрямлені вперед – назад під кутом 45° відносно полотна дороги. Таке рішення значно зменшує похибки оцінювання параметрів руху за рахунок поздовжніх коливань НРО відносно його центра мас та повністю виключає характерні суттєві похибки традиційних методів вимірювання, викликані зміною діаметра та пробуксовуванням ведучих коліс.

Прикладом реалізації цього рішення може бути створений ТОВ «НВП «ЕФІР-С» на основі радіолокаційного датчика автоматизований вимірювач параметрів руху (РВПР) [3]. Зовнішній вигляд РВПР, який призначено для дослідження швидкісних, гальмівних, паливно-економічних та експлуатаційних характеристик НРО під час руху по дорогах з різним типом покриття, зокрема і по бездоріжжю, наведено на рис. 3.



Рис. 3. РВПР для випробувань НРО

З рис. 3 видно, що встановлення приймально-передавального модуля (ППМ) РВПР на НРО відбувається за допомогою магнітної платформи і не потребує додаткових кронштейнів. Структурна схема ППМ наведена на рис. 4, а схема його роботи під час встановлення на НРО – на рис. 5

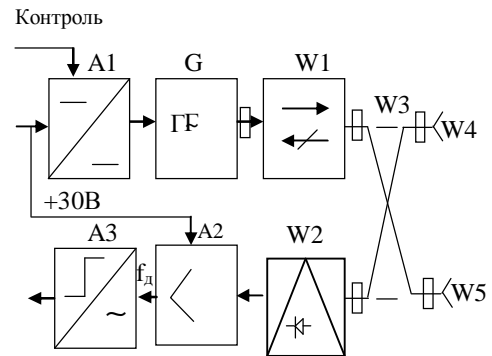


Рис. 4. РВПР для випробувань НРО

Згідно зі структурною схемою ППМ складається з передавального, приймального й антенного трактів.

До складу передавального тракту входять:

- стабілізатор струму А1;
- генератор на лавино-пролітному діоді (ГЛПД) G1;
- вентиль W1.

До складу прийомного тракту входять:

- змішувальна камера W2;
- підсилювач доплерівської частоти (УДЧ) А2;
- формувач імпульсів (ФІ) А3.

До складу антенного тракту входять:

- щілинний міст W3;
- рупорні антени W4, W5.

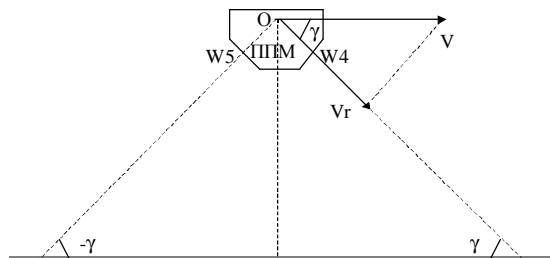


Рис. 5. Схема встановлення ППМ на НРО

Під час руху НРО, на якому встановлений РВПР, щодо поверхні, яка опромінюється його ППМ, значення доплерівської частоти F_d й радіальної швидкості V_r зв'язані між собою відомим виразом [3]:

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

де F_{∂} [Гц] – доплерівський зсув частоти; V_r [м/с] – радіальна складова швидкості; f_o [Гц] – несуча частота зондувального сигналу; $C = 3 \times 10^8$ [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 γ – кут між вектором швидкості НРО, на якому встановлено РВПР, і напрямком осі діаграми спрямованості антени на поверхню, що опромінюється.

З рис. 5 видно, що під час руху НРО по пересіченій місцевості кут γ постійно змінюватиметься за рахунок коливань ППМ щодо точки О. Якщо в складі ППМ є тільки одна антена W4, що характерно для традиційних доплерівських вимірювачів, виникатиме відповідна зміна доплерівської частоти, що призводить до помилок вимірів параметрів руху.

З виразів (6), (7) видно, що за наявності в складі ППМ двох антен W4 і W5 ці помилки компенсуюватимуться у наведеній на рис. 4 схемі побудови ППМ.

Державні сертифікаційні випробування показали, що відносна середньоквадратична похибка вимірювання пройденого шляху за допомогою РВПР не перевищує 0,1 % [4].

Висновки.

1. Запропонований радіолокаційний неконтактний метод вимірювання параметрів руху дає змогу усунути характерні похибки традиційних одометричних методів і отримати відносну середньоквадратичну похибку вимірювання пройденого шляху 0.1 %, що на два порядки менше від похибок контактних одометрів, оснований на підрахунку кількості обертів коліс.

2. Реалізація запропонованого методу дає підставу для створення комплексованої системи навігації на основі ПС СРНС і системи навігації НРО, яка побудована на принципах обчислення шляху з використанням РВПР.

1. *Навигационные системы НАТО* <http://dogswar.ru/armii-mira/vooryzhenie/698-navigacionnyye-sistemy-nato.html>. 2. Горбачёв А. Ю. *Применение одометров для коррекции интегрированных навигационных систем* // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана, серия «Приборостроение». — М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана: 2009. — № 4. — С. 37–53. 3. 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. 4. *Дорожні випробування і оцінка паливної економічності повнопривідних автомобілів на різних типах доріг* / П.П. Ткачук, М.Г. Грубель, Л.В. Крайник, Ю.І. Бударецький // Автошляховик України. — 2007. — № 5. — С.12–14.