

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ
ДП “КИЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ”
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Wrocław University
of Science and Technology



ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2023)

ШІСТНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

23-24 травня 2023 р.
Київ, Україна

ЗБІРКА ТЕЗ

Київ
2023

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова:

Квасніков В.П. д.т.н., проф., Заслужений метролог України, зав. каф. Комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій НАУ, м. Київ.

Члени комітету:

Васильєв А.Й. д.е.н., проф., Президент Інженерної академії України, Заслужений діяч науки і техніки України, академік Міжнародної Інженерної академії, м. Харків.

Власенко В.О. д.т.н., проф., каф. технології університету Ополя, Республіка Польща.

Древецький В.В. д.т.н., проф., зав. каф. автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, віце-президент Інженерної академії України, м. Рівне.

Черновол М.І. член-кор. Національної аграрної академії України, д.т.н., проф., професор Центральноукраїнського НТУ, м. Кропивницький.

Острофські К. д.т.н., проф., декан Краківського сільськогосподарського університету, Республіка Польща.

Мічинські Я. д.т.н., проф., зав. каф. Краківського сільськогосподарського університету, Республіка Польща.

Хойніцкі Ю. Ph.D., проф., заст. декана Варшавського університету природничих наук, Республіка Польща.

Kovela S. MSc, PhD, MBA, Associate Professor in Project Management, New College of the Humanities / Northeastern University College of Professional Studies, England, United Kingdom.

Khraisat Yahya S.H. Ph.D., Al Balda Applied University / Al-Huson University College, Irdan, Jordan.

Frivaldsky M. Ph.D., Prof. Ing. Head of Department Mechatronics and Electronics, University of Žilina, Slovakia.

Відповідальний редактор: Шелуха О.О., к.т.н., доц. каф. Комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій, НАУ, м. Київ.

Рекомендовано до друку вченою радою Аерокосмічного факультету НАУ (протокол № 5 від 17 травня 2023 р.).

Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2023). Шістнадцята міжнародна науково-практична конференція 23-24 травня 2023 р., Київ, Україна. – К.: НАУ, 2023. – 402 с. (збірка тез).

Містить результати наукових, експериментальних та теоретичних досліджень вчених, аспірантів та студентів.

Матеріали можуть бути корисними науковим співробітникам, інженерно-технічним працівникам, аспірантам та студентам, що спеціалізуються в галузі автоматизованих систем управління робототехнічних комплексів, інформаційних технологій та метрології.

ОЦІНКА СКЛАДОВИХ ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПСЕВДОШВИДКОСТІ В СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Рудик А.В., д.т.н., професор, Національний університет водного господарства та природокористування, a.v.rudyk@nuwm.edu.ua;

Кирилюк В.В., здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, Національний університет водного господарства та природокористування

Для надійного керування рухомими мобільними об'єктами на їх систему керування мають надходити сигнали від сенсорів різного типу та призначення, в результаті оброблення яких визначаються поточні координати мобільного об'єкту, параметри його переміщення (швидкість і прискорення), а також просторова орієнтація, яка задається відповідними кутами курсу, тангажу і крену. Основними типами таких сенсорів, які застосовуються в сучасній робототехніці, є інерціальні (акселерометри, гіроскопи, магнітометри), локаційні (ультразвукові, радарні, лідарні), а також відео (моно- та стереокамери) [1].

В роботі основна увага приділяється радіонавігаційним технологіям, які використовуються не тільки в традиційній галузі навігації та керування рухом різних об'єктів, але й в геодезії, топографії, метрології, логістиці та ін. Відповідні сенсори, які застосовуються для оцінки параметрів переміщення [2], є основною елементною базою для створення мініатюрних навігаційних систем.

В супутникових радіонавігаційних системах (СРНС) псевдошвидкість \hat{V} визначається за доплерівським зсувом частоти прийнятого сигналу. Доплерівський зсув частоти прийнятого вузькосмугового сигналу відносно частоти випроміненого сигналу обумовлений взаємним переміщенням джерела випромінення та приймача сигналу. Якщо частота випроміненого сигналу f_0 , то частота прийнятого сигналу f_{Π} визначається як

$$f_{\Pi} = f_0 \left(1 + \frac{V_P}{c} \right)^{-1} \approx f_0 \left(1 - \frac{V_P}{c} \right), \quad (1)$$

де V_P – швидкість відносного переміщення вздовж лінії «навігаційний супутник – мобільний об'єкт», позитивне значення якої відповідає збільшенню відстані між об'єктами.

Для доплерівського зсуву частоти з співвідношення (1) маємо такий результат

$$f_D = f_{\Pi} - f_0 \approx -f_0 \frac{V_P}{c} = -\frac{V_P}{\lambda} = -\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{dD}{dt}, \quad (2)$$

де D – відстань між джерелом випромінювання та приймачем.

Повна фаза прийнятого сигналу з частотою (1) за умови, що $V_P = const$, запишеться такою формулою:

$$\Phi_{\Pi}(t) = \varphi_0 + \int_0^t 2\pi f_{\Pi} dt = \varphi_0 + 2\pi f_0 t + 2\pi f_D t, \quad (3)$$

де φ_0 – початкова фаза.

При відомій частоті f_0 оцінку доплерівського зсуву частоти прийнятого сигналу в приймачі отримують при формуванні опорного коливання $\cos(\varphi_{0,on} + 2\pi f_0 t) = \cos(\Phi_{on}(t))$, вимірюванні різниці фаз:

$$\Delta\Phi(t) = \Phi_{\Pi}(t) - \Phi_{on}(t) = \varphi_0 - \varphi_{on} + 2\pi f_D t \quad (4)$$

та обчисленні похідної за часом від даної різниці [3]:

$$\hat{f}_D = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d \Delta\Phi(t)}{dt}. \quad (5)$$

З врахуванням формул (4) та (5) знаходимо формулу для оцінки швидкості, що формується у приймачі:

$$\hat{V}_P = -\lambda \hat{f}_D = -\frac{\lambda}{2\pi} \cdot \left(\frac{d \Delta\Phi_{\Pi}(t)}{dt} - \frac{d \Delta\Phi_{on}(t)}{dt} \right). \quad (6)$$

Похідні $\frac{d \Delta\Phi_{\Pi}(t)}{dt}$ та $\frac{d \Delta\Phi_{on}(t)}{dt}$ відповідно до формули (6) визначають миттєві частоти $2\pi f_{HC}(t)$ та $2\pi f_{on}(t)$ бортового передавача та опорного генератора приймача. Тому що кожний генератор синусоїдальних коливань має власну визначену нестабільність частоти, то можна записати такі формули:

$$f_{HC}(t) = f_0 + f'_{HC}, \quad f_{on}(t) = f_0 + f'_{on}, \quad (7)$$

де f'_{HC} та f'_{on} – відхилення частот випромінюваного сигналу та опорного коливання приймача від номінальних значень.

Таким чином, при визначенні радіальної швидкості за співвідношенням (6) виникає зміщення в оцінці швидкості $V' = \lambda(f'_{on} - f'_{HC})$, обумовлене розходженням частот опорних генераторів навігаційного супутника (НС) та мобільного об'єкта, тобто фактично визначається не швидкість, а псевдошвидкість $\hat{V} = V_P + V'$. В роботі [4] показано, що $\hat{V} = \frac{d D'}{dt} = c \frac{dt'}{dt}$, де t' – розходження між бортовою шкалою часу (БШЧ) та шкалою часу мобільного об'єкта (ШЧМО).

Наведені вище визначення доплерівського зсуву частоти та псевдошвидкості відповідають поширенню сигналу у вільному просторі. Реально сигнал, що випромінюється з НС, проходить шари іоносфери та тропосфери, тому необхідно враховувати ефекти, які виникають при поширенні сигналу в реальних середовищах [5].

Іоносфера впливає не тільки на затримку оригінальної сигналу, але і на затримку його фази. При цьому додаткова затримка фази, обумовлена впливом іоносфери, в першому наближенні збігається з аналогічною затримкою оригінальної δt_{ion} та має протилежний знак.

Однак оскільки зміна затримки $\delta t_{\text{іон}}(t)$ з часом дуже повільна, похідна $\frac{d \delta t_{\text{іон}}(t)}{dt}$ дуже незначна, тобто і вплив іоносфери на визначення псевдошвидкості слабкий. Аналогічна ситуація виникає і при аналізі впливу тропосфери на визначення псевдошвидкості, тому ним також нехтують.

Вплив на точність визначення псевдошвидкості релятивістських та гравітаційних ефектів враховується відповідною складовою похибки δV_{PGE} . Пов'язано це з такими причинами [6]:

- НС рухаються за орбітами з достатньо високими швидкостями;
- різниця гравітаційних потенціалів в точках знаходження НС та мобільного об'єкту така, що нею не можна знехтувати;
- Земля з мобільним об'єктом, що на ній знаходиться, обертається відносно інерціальної системи координат, в якій задається рух НС.

В приймальному пристрої оцінка доплерівського зсуву частоти прийнятого сигналу формується слідкувальною системою за фазою (або частотою), що приводить до виникнення складової похибки $\delta f_{\text{допл.пр}}$.

В результаті оцінка псевдошвидкості (виміряна псевдошвидкість) може бути записана у формі

$$\hat{V} = V_P + V' + \delta V_{PGE} + \lambda \delta f_{\text{допл.пр}} + \delta V_{\text{ін}}, \quad (8)$$

де $\delta V_{\text{ін}}$ – інші складові похибки визначення псевдошвидкості, що не входять в розглянуті вище.

Список використаних джерел

1. Рудик, А. В. Методи оцінки просторового положення об'єктів / А. В. Рудик // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2016). Матеріали 9-ої міжнародної НПК. – Київ : НАУ, 2016. – С. 31-33.
2. Квасніков, В. П. Врахування робочих умов вимірювання параметрів руху об'єктів в математичній моделі формування результату вимірювання / В. П. Квасніков, А. В. Рудик // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2016. – № 2 (9). – С. 41-45.
3. Чмых, М. К. Цифровая фазометрия / М. К. Чмых. – М. : Радио и связь, 1993. – 184 с.
4. Рудик, А. В. Оцінка точності навігаційно-часових визначень в супутникових радіонавігаційних системах / А. В. Рудик // Вісник Інженерної академії України. – 2016. – № 3. – С. 39-45.
5. Рудик, А. В. Аналіз навігаційних похибок, що виникають внаслідок неповного врахування умов поширення радіохвиль / А. В. Рудик, Д. Р. Ярош // Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК-2020). – Київ, НАУ. – 2020. – С. 65÷67.
6. Рудик, А. В. Наукові основи та принципи побудови приладової системи вимірювання прискорення мобільного робота. Монографія / А. В. Рудик, В. П. Квасніков. – Харків : Мачулін, 2018. – 272 с.

ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2023)

ШІСТНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

23-24 травня 2023 р.

Київ, Україна

Збірка тез

Тези надруковані в авторській редакції на одній із двох робочих мов конференції

Оригінал-макет
підготовлено на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій
Аерокосмічного факультету
Національного авіаційного університету

Комп'ютерна верстка:
Шелуха О.О.

Підп. до друку 17.05.23. Формат 60x84/16.
Папір офс. Гарн. Times New Roman.
Ум. друк. арк. 24,5. Тираж 100 прим. Замовлення № 5

Віддруковано у СПД «Андрієвська Л.В.»
м. Київ, вул. Бориспільська, 9,
Свідоцтво серія ВОЗ № 919546 від 19.09.2004 р.