

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-2024)

СІМНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

21-22 травня 2024 р.
Київ, Україна

ЗБІРКА ТЕЗ

Київ
2024

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL AVIATION UNIVERSITY
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE
SE "KYIV OBLSTANDARTMETROLOGY"
NATIONAL UNIVERSITY OF WATER AND
ENVIRONMENTAL ENGINEERING
WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Wrocław University
of Science and Technology

INTEGRATED INTELLECTUAL ROBOTECHNICAL COMPLEXES (IIRTC-2024)

17th INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNICAL
CONFERENCE

MAY 21-22ND, 2024
KYIV, UKRAINE

COLLECTED ARTICLES

KYIV
2024

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.

Friwaldsky 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'ютерної інтеженії та кібербезпеки, ДУ «Житомирська Політехніка» м. Житомир.

Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2024). Сімнадцята міжнародна науково-практична конференція 21-22 травня 2024 р., Київ, Україна. – К.: НАУ, 2024. – 516 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.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ КОМПЛЕКСНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ЛОКАЛЬНІЙ НАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ НАЗЕМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА

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

Навігація в мобільній робототехніці має ряд особливостей, які не дозволяють ефективно використовувати навігаційне обладнання інших мобільних об'єктів. Тому для створення навігаційних систем мобільних роботів (МР) необхідно застосовувати декілька різних навігаційних засобів з їх комплексуванням та паралельною обробкою інформації при врахуванні особливостей динаміки і кінематики об'єкту [1].

Розрізняють два типи навігації автономних МР – глобальну і локальну. Основною задачею систем глобальної навігації є формування плану переміщення на заданій цифровій карті. Системи локальної навігації планують і контролюють виконання маневрів, які є складовими переміщення за сформованим маршрутом. Локальна навігація є схемою навігації автономних МР, що визначає відносні координати об'єкту і параметри його переміщення на короткому часовому інтервалі до 10 хв. Основними задачами локальної навігації є:

- визначення відносних декартових координат і параметрів руху МР;
- планування і контроль виконання МР маневрів, з яких складається переміщення за сформованим маршрутом;
- корегування системи глобальної навігації для визначення абсолютних координат МР.

З аналізу літературних джерел відомо, що ЛНС МР може бути реалізована з використанням активних (інерціальна навігація, системи технічного зору) та пасивних (супутникова, за радіомаяками і маркерами) схем навігації [2, 3].

Тому що всі вимірювані та спостережувані величини зв'язані між собою нелінійними залежностями, для визначення вектора стану МР за вектором вимірювання інерціальних сенсорів в кожний момент часу застосовано алгоритм нелінійної фільтрації – узагальнений фільтр Калмана (УФК) [4]. В даному випадку задача оцінювання вектора стану x_i зводиться до фільтрації марковської послідовності $x_i = \Phi_i(x_{i-1}) + \mathfrak{G}_i$ за проведеними кожного i -го моменту часу вимірюваннями $y_i = \varphi_i(x_i) + \lambda_i$ при гаусівському характері породжуючих шумів \mathfrak{G}_i та похибок вимірювання λ_i . Функція $\Phi_i(x_{i-1})$ характеризує динаміку зміни вектора стану, а функція $\varphi_i(x_i)$ – зв'язок вектора вимірювань y_i з ним.

УФК оснований на гаусівській апроксимації апостеріорної густини при розкладанні в ряд Тейлора функцій $\Phi_i(x_{i-1})$ та $\varphi_i(x_i)$ (x_{i1}, x_{i2} – точки лінеаризації):

$$\Phi_i(x_{i-1}) \approx \Phi_i(x_{i1}) + \frac{\partial \Phi_i(x_{i1})}{\partial x_{i-1}^T} (x_{i-1} - x_{i1}); \quad (1)$$

$$\varphi_i(x_i) \approx \varphi_i(x_{i2}) + \frac{\partial \varphi_i(x_{i2})}{\partial x_i^T} (x_i - x_{i2}). \quad (2)$$

Як точки лінеаризації в (1) і (2) застосована оцінка вектора стану попереднього і апостеріорна оцінка поточного кроків: $x_{i1} = \tilde{x}_{i-1}$, $x_{i2} = \tilde{x}_{i/i-1}$.

Таким чином, математичний апарат однієї ітерації алгоритму УФК полягає в послідовному визначенні таких величин:

- апостеріорної оцінки вектора стану

$$\tilde{x}_{i/i-1} = \Phi_i(x_{i1}) + \frac{\partial \Phi_i(x_{i1})}{\partial x_{i-1}^T} (\tilde{x}_{i-1} - x_{i1}); \quad (3)$$

- матриці коваріацій апостеріорної оцінки вектора стану

$$P_{i/i-1}(x_{i1}) = \frac{\partial \Phi_i(x_{i1})}{\partial x_{i-1}^T} P_{i-1} \left(\frac{\partial \Phi_i(x_{i1})}{\partial x_{i-1}^T} \right)^T + Q_i, \quad (4)$$

де Q_i – матриця інтенсивності породжуючих шумів;

- матриці коваріації поточної оцінки вектора стану

$$P_i(x_{i1}, x_{i2}) = \left((P_{i/i-1}(x_{i1}))^{-1} + \left(\frac{\partial \varphi_i(x_{i2})}{\partial x_i^T} \right)^T R_i \frac{\partial \varphi_i(x_{i2})}{\partial x_i^T} \right)^{-1};$$

- коефіцієнта підсилення фільтра Калмана

$$K_i(x_{i1}, x_{i2}) = P_i(x_{i1}, x_{i2}) \left(\frac{\partial \varphi_i(x_{i2})}{\partial x_i^T} \right)^T R_i, \quad (5)$$

де R_i – матриця інтенсивності шумів вимірювань;

- поточної оцінки вектора стану

$$\tilde{x}_i = \tilde{x}_{i/i-1} + K_i(x_{i1}, x_{i2}) \left(y_i - \varphi_i(x_{i2}) - \frac{\partial \varphi_i(x_{i2})}{\partial x_i^T} (\tilde{x}_{i/i-1} - x_{i2}) \right).$$

За математичною моделлю ЛНС визначено вид використовуваних в (3)-(5) матриць та векторів. При цьому вектор вимірювань має форму $y_i = (\omega_{xi}, \omega_{yi}, \omega_{zi}, a_{xi}, a_{yi}, a_{zi})^T$, а до складу 21-мірного вектора стану окрім величин з рівнянь математичної моделі входять також швидкості зміни фільтрованих величин $\dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}$ та $\dot{n}_x, \dot{n}_y, \dot{n}_z$, які необхідні для визначення матриці динаміки $\Phi_i(x_{i-1})$. Оскільки інформація про ці параметри недоступна, вони моделюються за допомогою породжуючих шумів у вигляді марковських стаціонарних процесів [5].

Остаточно матриці динаміки системи $\Phi_i(\tilde{x}_{i-1})$, зв'язку вектора вимірювань з вектором стану системи $\varphi_i(\tilde{x}_{i/i-1})$, коваріацій Q_i породжуючих шумів \mathfrak{D}_i та коваріацій R_i шумів вимірювання λ_i будуть такими:

$$Q_i = \text{diag} \left[0 \quad 0 \quad (1-E_\alpha^2)Q_\alpha \quad 0 \quad 0 \quad (1-E_\beta^2)Q_\beta \quad 0 \quad 0 \quad (1-E_\chi^2)Q_\chi \quad 0 \quad 0 \quad 0 \right. \\ \left. 0 \quad (1-E_{n_x}^2)Q_{n_x} \quad 0 \quad (1-E_{n_y}^2)Q_{n_y} \quad 0 \quad (1-E_{n_z}^2)Q_{n_z} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \right];$$

$$R_i = \text{diag} \left[N_\alpha \quad N_\beta \quad N_\chi \quad N_{n_x} \quad N_{n_y} \quad N_{n_z} \right].$$

$$\varphi_i(\tilde{x}_{i/i-1}) = \begin{pmatrix} \frac{\dot{\beta}_{i/i-1} - \dot{\alpha}_{i/i-1} \sin \chi_{i/i-1}}{\cos \chi_{i/i-1}} + \varepsilon_{xi/i-1} \\ \dot{\chi}_{i/i-1} + \varepsilon_{yi/i-1} \\ \dot{\alpha}_{i/i-1} + \varepsilon_{zi/i-1} \\ n_{xi/i-1} \cos \chi_{i/i-1} + (n_{yi/i-1} \sin \beta_{i/i-1} - (n_{zi/i-1} + g) \cos \beta_{i/i-1}) \sin \chi_{i/i-1} + \psi_{xi/i-1} \\ n_{yi/i-1} \cos \beta_{i/i-1} + (n_{zi/i-1} + g) \sin \beta_{i/i-1} + \psi_{yi/i-1} \\ n_{zi/i-1} \sin \chi_{i/i-1} - (n_{yi/i-1} \sin \beta_{i/i-1} - (n_{zi/i-1} + g) \cos \beta_{i/i-1}) \cos \chi_{i/i-1} + \psi_{zi/i-1} \end{pmatrix};$$

де $E_j = \exp(-\Delta t/\tau_j)$, τ_j – сталі часу моделювання швидкостей зміни фільтрованих величин, які характеризують можливу частоту їх зміни; $\Delta t = t_i - t_{i-1}$ – період дискретизації; Q_j – інтенсивність білих шумів, якими моделюють швидкості зміни фільтрованих величин; N_j – інтенсивність шумів вимірювання.

Далі складемо перелік параметрів, які необхідно визначити або задати для можливості використання отриманих матриць в алгоритмі фільтрації УФК: початкові значення вектора стану x_0 і матриці коваріацій P_0 ; значення періоду дискретизації Δt ; значення сталих часу модельованих марковських процесів τ_j ; інтенсивності породжуючих шумів Q_j і шумів вимірювань N_j . Оптимальні значення цих параметрів підбираються при аналізі фізичної моделі.

Список використаних джерел

1. Corke, P. An introduction to inertial and vision sensing / P. Corke, J. Lobo, J. Dias // International Journal of Robotics Research. – June 2007. – Volume 26, Issue 6. – P. 519-535.
2. Farrell, J. A. Aided Navigation: GPS with High Rate Sensors / J. A. Farrell. – New York : McGraw-Hill, 2008. – 530 p.
3. 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.
4. Grewal, M. S. Global Position Systems, Inertial Navigation and Integration / M. S. Grewal, L. R. Weill, A. P. Andrews. – John Wiley & Sons, 2001. – 392 p.
5. Groves, P. D. Principles of GNSS, Inertial and Multisensor Integrated Navigation Systems / P. D. Groves. – Artech House, 2008. – 505 p.

УДК 004

Наукове видання

ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2024)

СІМНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

21-22 травня 2024 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 20.05.24. 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.