

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ МАНЕВРУЮЧИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ СТІЙКОГО АЛГОРИТМУ ДИНАМІЧНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф.

Інститут телекомунікаційних систем КПП ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: cukanov-o@ukr.net

MODELING THE MOTION PARAMETERS OF MANEUVERING UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON A STABLE DYNAMIC FILTERING ALGORITHM

The results of modeling the parameters of movement of maneuvering unmanned aerial vehicles using an estimation algorithm, in which stability is ensured by estimating coordinates and their derivatives, are considered.

В роботі [1] авторами запропоновано стійкий алгоритм оцінки параметрів руху маневрують безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як елементів літаючих бездротових систем, що самоорганізуються сенсорних мереж в якому стійкість забезпечується шляхом оцінки координат і їх похідних на основі фільтра Калмана [2] в припущенні, що помилки визначення координат мають закон розподілу помилок, який в загальному випадку відрізняється від нормального. У цьому випадку використання модифікованого алгоритму динамічного оцінювання на основі фільтра Калмана дозволяє, на наш погляд, отримати як усталені оцінки БПЛА, так і забезпечити їх високу точність.

Нижче наведені деякі результати моделювання запропонованого в [1] алгоритму, суть якого полягає в наступному:

- 1) оцінка вектору стану (ВС) у вигляді координат і параметрів руху (швидкості, а деяких випадках і прискорення БПЛА), точність оцінювання якого визначаються шляхом вимірювання відстаней між БПЛА;
- 2) оцінка кореляційної матриці помилок (КМО) ВС, яка для кожного БПЛА мережі залежить від багатьох факторів, основними з яких є помилки визначення координат БПЛА;
- 3) екстраполювання ВС шляхом його подання у вигляді складання матриць екстраполяції і управління;
- 4) введення до вектору управління параметру стійкості процесу оцінювання γ , який забезпечує «примусове збільшення» значень діагональних елементів матриці управління [2];
- 5) задавання моделі руху БПЛА.

Математичне подання цього алгоритму приведено в доповіді, а для моделі руху БПЛА обрана модель, заснована на реальних технічних

характеристиках БПЛА «Орлан» [3], яка описується алгебраїчним багаточленом 5-го ступеню за координатами:

$$\hat{Z}_t = a_0 + a_1 t_{i-1} + a_2 t_{i-1}^2 / 2 + a_3 t_{i-1}^3 / 6 + a_4 t_{i-1}^4 / 24 + a_5 t_{i-1}^5 / 120, \quad (1)$$

поліномом 4-го ступеню за швидкостями:

$$\tilde{Z}_t = a_1 + a_2 t_{i-1} + a_3 t_{i-2}^2 / 2 + a_4 t_{i-1}^3 / 6 + a_5 t_{i-1}^4 / 24 \quad (2)$$

та поліномом 3-го ступеню від прискорення:

$$\tilde{\tilde{Z}}_t = a_2 + a_3 t_{i-2} + a_4 t_{i-2}^2 + a_5 t_{i-1}^3 / 6. \quad (3)$$

Стійкість оцінки ВС БПЛА забезпечується множенням на параметр γ . Ця операція, в свою чергу, призводить до нижньої межі значень елементів матриці посилення динамічного фільтру. Таким чином, постійними в алгоритмі є параметр γ й величина Δt (час між вимірами відстані між БПЛА). У зв'язку з цим при моделюванні можна попередньо задати елементи вектору управління КМО для забезпечення стійкості та необхідної точності оцінки.

Наведемо деякі результати моделювання. Зокрема, моделювався політ БПЛА при його прямолінійному русі та наступних типів маневру: відходу від лобового зіткнення, набір висоти і плавний розворот на 90° з подальшим переходом до прямолінійного руху (див. Рис. 1 при $\gamma = 0$ та Рис. 2 при $\gamma = 0,4$ за координатами і похідним).

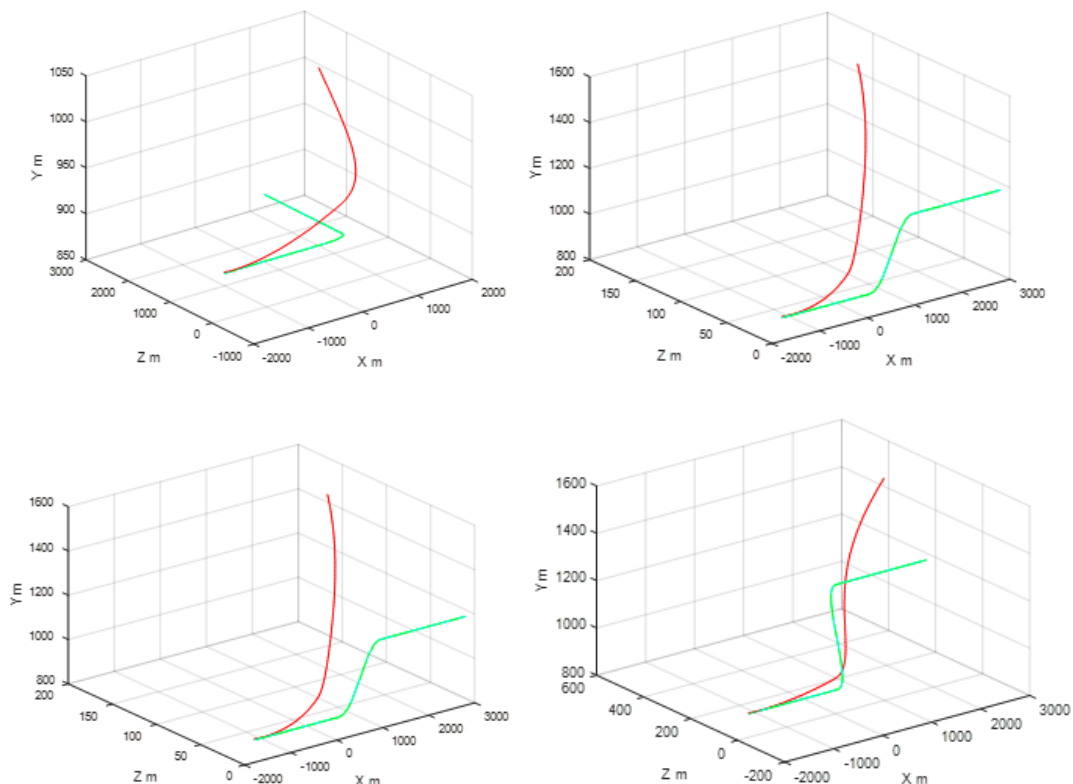


Рис. 1. Результати моделювання.

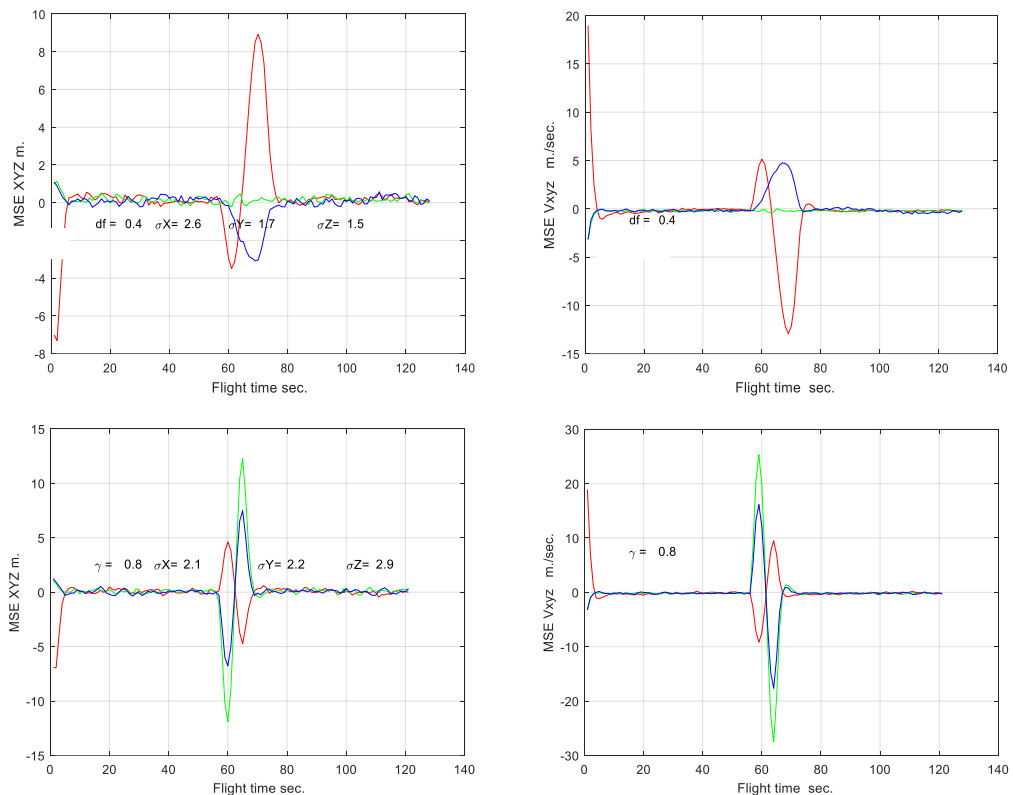


Рис. 2. Результати моделювання.

Крім того, було проведено аналіз величини похибки оцінки за координатами та швидкості, розподілених на 100 реалізацій. При прямолінійному русі максимальна похибка визначення координат становить 4,5 м - $\gamma = 0,1$, мінімальне 1,6 м - $\gamma = 0,8$. На ділянці маневру: максимальна похибка за координатами 18 м - $\gamma = 0,1$, мінімальне 5 м - $\gamma = 0,4$, максимальна похибка швидкості 18 м/с - $\gamma = 0,1$, мінімальне 10 м/с - $\gamma = 0,8$.

Результати моделювання дозволяють припустити, що запропонований стійкий алгоритм оцінки відстаней між БПЛА з багаторазовими вимірами дозволяє отримувати стійкі оцінки координат ВС і їх похідних і одночасно підвищується точність визначення координат БПЛА.

Література

1. O. Tsukanov, E. Yakornov Estimation of the motion parameters of the UAVs FANET using the dynamic filtering method. Springer Nature Switzerland AG 2019 M. Ilchenko et al. (Eds.): UKRMICO 2018, LNEE 560, pp. 239–261, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_12C. 303-318.
2. Grewal M.S., Andrews A.P., "Kalman Filtering – Theory and Practice Using MATLAB", Wiley, 2001.
3. Мельник Н.О. Полная математическая модель беспилотного летательного аппарата в условиях движения с мешающими воздействиями. // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2015, Volume: 11, No. 2, pp. 31-33, ISSN: 1729-6501.