

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ МАНЕВРУЮЧИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У МЕРЕЖАХ FANET

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського

E-mail: cukanov-o@ukr.net

Determination of motion parameters of flying aerial vehicles in flying sensor networks FANET

The task of estimating the motion parameters of constantly maneuvering unmanned aerial vehicles as elements of flying FANET sensor networks is considered. An algorithm for dynamic filtering without a maneuver detection unit based on the estimation of the component accelerations and the specification of the values of the control vector are proposed. The results obtained make it possible to ensure the stability of the motion parameters, which will ensure the efficient management of the elements of the FANET wireless sensor network.

Для ефективного управління безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як елементів літаючих сенсорних мереж FANET [1] на наземному пункті управління недостатньо знати тільки їх поточні координати в реальному масштабі часу. Більш того, для вирішення завдання управління БПЛА, що маневрує необхідна інформація про їх швидкостях і прискореннях. Граничні значення цих параметрів визначаються в основному технічними характеристиками конкретного літального апарату і параметрами атмосфери, в першу чергу, швидкості вітру на траєкторії його польоту.

При наявності вітру траєкторія польоту кожного БПЛА може розглядатися як "політ з маневром". Один з підходів оцінювання параметрів руху маневрують БПЛА розглянуто в [2], суть якого полягає в визначення ймовірності наявності маневру і на основі цієї інформації розрахунку коефіцієнта посилення динамічного фільтра. У той же час, ймовірність маневру на кожному кроці непостійна, а тому для постійно маневрують БПЛА такий алгоритм не працездатний.

Пропонується алгоритм побудований на уточнення значень прискорень за координатами, визначеними одночасно з вектором стану (ВС) в "ковзному вікні".

Вважаємо, що початкові координати БПЛА FANET можуть бути визначені як за допомогою датчиків GPS встановлених на всіх БПЛА так і шляхом взаємного вимірювання відстаней D_{ij} між i -тим і j -тим БПЛА, наприклад, з використанням протоколу IEEE 802.15.4 (ZigBee) [3] (в такому випадку датчиками GPS оснащуються тільки 3-4 БПЛА мережі).

Інформацію про параметри руху представляється у вигляді ВС, а інформацію про помилки у вигляді кореляційної матриці помилок (КМО). Стійкість процесу оцінювання ВС кожного з БПЛА мережі залежить від багатьох факторів, основними з яких є помилки визначення координат БПЛА.

Математична постановка задачі оцінювання ВС (параметрів руху) БПЛА FANET виглядає наступним чином. На підставі наявної інформації про координати $\widetilde{x}_i, \widetilde{y}_i, \widetilde{z}_i$, і їх помилки $\overline{\sigma x}_i, \overline{\sigma y}_i, \overline{\sigma z}_i$, необхідно визначити параметри руху маневрового БПЛА, а саме:

- 1) оцінки ВС \widehat{X}_{in} координати $\widehat{x}_i, \widehat{y}_i, \widehat{z}_i$, похідних (швидкостей) $\widehat{\dot{x}}_i, \widehat{\dot{y}}_i, \widehat{\dot{z}}_i$;
- 2) КМО оцінки координат елементів \widehat{K}_{in} ;
- 3) вимірювання координат БПЛА накопичення в "ковзному" вікні та уточнення значень прискорень $a_{x,n-1}, a_{y,n-1}, a_{z,n-1}$ у векторі управління.

Помилки вимірювання координат БПЛА при використанні тільки датчиків GPS $\overline{\sigma x}_i, \overline{\sigma y}_i, \overline{\sigma z}_i$, визначаються багатьма факторами і залежать від динаміки (швидкості і прискорення польоту БПЛА) сезонної, тимчасової нестабільності гравітаційного поля Землі, від умов поширення радіохвиль.

Для отримання високоточних оцінок параметрів руху БПЛА, що маневрують, на основі вимірювання координат пропонується використовувати як рекурентні методи, так і оцінювання методом найменших квадратів (МНК) в "ковзному вікні" [4].

Початковими умовами запропонованого алгоритму оцінювання є ВС параметрів руху X_{in-1} і КМО K_{in-1} на $n-1$ кроці оцінювання. ВС має вигляд:

$$X_{in}^T = |x_{in}, \dot{x}_{in}, y_{in}, \dot{y}_{in}, z_{in}, \dot{z}_{in}|,$$

а вектор вимірювань –

$$Y_{in}^T = |\widetilde{x}_{in}, \widetilde{y}_{in}, \widetilde{z}_{in}|.$$

При цьому екстрапольовані значення ВС X_{in}^e і КМО оцінки K_{in}^e можна представити у вигляді [5]:

$$X_{in}^e = F_{in,n-1} X_{in-1} + G_{n-1} U_{in-1}, \quad (1)$$

$$K_{in}^e = F_{in,n-1} K_{in-1} F_{in,n-1}^T + G_{n-1} S_{in-1}^* G_{n-1}^T, \quad (2)$$

де $F_{in,n-1}$ - матриця екстраполяції, S_{in-1} - КМО вектора управління, який представляє собою середнє квадратичне відхилення оцінок прискорень за координатами x, y, z ; U_{in-1} - вектор управління; G_{n-1} - матриця управління.

Матричний коефіцієнт посилення динамічного фільтра має вигляд:

$$H_{in} = K_{in}^e (K_{in}^e + Q_{in})^{-1}. \quad (3)$$

Тут Q_{in} - КМО вектора Y_{in} , на n - ому кроці вимірювань. Тоді оцінки ВС \widehat{X}_{in} і КМО оцінювання \widehat{K}_{in} визначаються як:

$$\widehat{X}_{in} = X_{in} + H_{in} (Y_{in} - X_{in}^e), \quad (4)$$

$$\widehat{K}_{in} = K_{in}^e - K_{in}^e H_{in}, \quad (5)$$

Одночасно здійснюється уточнення значень вектора управління $\widehat{a_{x,n-1}}, \widehat{a_{y,n-1}}, \widehat{a_{z,n-1}}$, за результатами апроксимації оцінювання координат в "ковзному вікні" шириною $\Delta t = [t_{k-1}, t_{k-m}]$.

В якості вимірюваних значень приймаються координати місця розташування i -ого БПЛА $Z_{\Delta t}$

$$Z_{\Delta t} = |x_{\Delta t}, y_{\Delta t}, z_{\Delta t}|.$$

де $x_{\Delta t}, y_{\Delta t}, z_{\Delta t}$ масиви значень по координатам на інтервалі часу Δt .

Здається модель руху маневрового БПЛА, яка описується алгебраїчним поліномом по кожній координаті вектора Z_i :

$$\tilde{Z}_{t-1} = c_0 + c_1 t_{i-2} + c_2 t_{i-2}^2 \quad (6)$$

Далі за МНК визначається в "ковзному вікні" вектор коефіцієнтів по кожній з координат:

$$C = (N^T N)^{-1} N^T Z, \quad (7)$$

Отримані коефіцієнти c_2 є елементами вектора управління

$$U_{n-1} = |\widehat{a_{x,n-1}}, \widehat{a_{y,n-1}}, \widehat{a_{z,n-1}}|$$

на $n-1$ кроці.

Вирази (1) - (7) представляють собою запропонований стійкий алгоритм оцінювання. Завдання забезпечення стійкості алгоритму оцінювання параметрів руху БПЛА, який постійно маневрує, вирішена шляхом обмеження знизу значень елементів матричного коефіцієнта посилення H_{in} за рахунок роботи фільтра Калмана (1)-(5) тільки на перехідній ділянці та уточнення елементів вектора управління U_{in-1} .

Розглянутий алгоритм уточнення моделі руху дозволяє забезпечити стійке оцінювання без блоку виявлення маневру при раптовій зміні траєкторії руху БПЛА. Якщо БПЛА не робить маневр тоді всі складові вектора управління $a_{x,n-1}, a_{y,n-1}, a_{z,n-1}$ становлять близькими до нуля.

Результати імітаційного моделювання для БПЛА, якій постійно маневрує з максимальної швидкістю 40 м/с і з різними типами маневру, підтверджують працездатність запропонованого алгоритму. Аналіз графічних залежностей помилок оцінювання від часу по координатами і швидкостям надані в доповіді.

Література

1. Романюк В.А. Літаючі самоорганізуючі радіомережі. / Романюк В.А., Степаненко Є.О., Панченко І., Восколович О.І. // Збірник наукових праць ВІТІ К.: - 2017, № 1, С. 105-114.
2. Langdon M. "ZigBee goes underground", E&T Magazine, 2009, Aug.
3. Жук С.Я. «Адаптивная фильтрация параметров движения маневрирующего объекта в прямоугольной системе координат». / Жук С.Я., Кожешкурт В.И., Юзefович В.В. // Реєстрація, зберігання і обробка даних, - 2009, Т. 11, № 2, С. 12-24.
4. Бодрова А. А.. Позиционирование и взаимодействие в беспроводных сенсорных сетях. / Бодрова А. А., Логвин В. И. // Молодой ученый. - 2015, №6, С. 129-132.
5. Grewal M.S. «Kalman Filtering». / Grewal M.S., Andrews A.P. //Theory and Practice Using MATLAB- Wiley, 2001.