

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ РУХУ ДЛЯ МАНЕВРУЮЧИХ БПЛА МЕТОДОМ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ З ДРОБОВИМИ ПОЛІНОМАМИ ТА ПОЛІНОМАМИ ЧЕБИШЕВА

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф.

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: cukanov-o@ukr.net

COMPARATIVE ESTIMATION OF MOTION PARAMETERS FOR MANEUVERING UAVS BY THE LEAST SQUARES METHOD WITH FRACTIONAL POLYNOMIALS AND CHEBYSHEV POLYNOMIALS

A comparative estimation of motion parameters for maneuvering UAVs is presented by the least squares method with fractional polynomials and Chebyshev polynomials for different widths of the "sliding window", simulation results are presented.

В даний час відбувається інтенсивне використання безпілотних літаючих апаратів (БПЛА) у різних напрямках діяльності людства: повітряне фото- та відео-зйомка приватних та засекречених об'єктів, спостереження в реальному часі за наземними промисловими та військовими об'єктами, доставка товарів та продуктів до споживачів, а також при розв'язанні низки інших специфічних завдань. Застосування в терористичних, військових цілях, або вторгнення у приватне життя, породжує необхідність розробки систем безпеки, які вирішують завдання виявлення БПЛА, визначення його розташування та параметрів руху, особливо при їх використанні у складі сенсорних мереж.

При створенні таких мереж, одним із завдань, з яких доводиться стикатися розробникам, - це визначення параметрів руху таких БПЛА та особливо квадрокоптерів з високою точністю. Траєкторію останніх, необхідно описувати на кожній ділянці польоту системою диференціальних рівнянь, оскільки рух таких БПЛА можна розглядати, як траєкторію об'єкту, що постійно маневрує, через вплив зовнішніх факторів (вітер, тиск на певній висоті).

У роботі [1], на основі математичного апарату змішаних марковських процесів у дискретному часі, синтезовано оптимальний та квазіоптимальний адаптивні алгоритми фільтрації параметрів руху БПЛА за даними сенсорної мережі на основі вимірювання потужності прийнятого сигналу, що не завжди прийнятне. Також з оцінки параметрів руху маневруючого БПЛА доцільно застосовувати адаптивний підхід з урахуванням рекурентного фільтру Калмана.

Основним недоліком останнього є той факт, що у разі постійного короткочасного маневру фільтр Калмана завжди працюватиме на перехідній ділянці, а відомо, що максимальна точність оцінювання досягається саме на стаціонарній ділянці. Це означає, що алгоритми з перехідною ділянкою, як правило, рекурентні, не застосовують для оцінювання параметрів руху БПЛА, що постійно маневрують.

Тому для оцінювання параметрів руху БПЛА, що постійно маневрують порівняємо можливості методу найменших квадратів у "ковзному вікні" [2, 3] та дробових поліномів на основі ряду Тейлора [4].

Як робочі співвідношення вибираємо алгебраїчний поліном виду:

$$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3. \quad (1)$$

Багаточлени Чебишева першого роду мають вигляд:

$$T_0(x) = 1; T_1(x) = x; T_2(x) = 2x^2 - 1; T_3(x) = 4x^3 - 3x; \\ T_n(x) = 2x T_{n-1}(x) - T_{n-2}(x); \quad (2)$$

$$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 (2t^2 - 1), \\ y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 (2t^2 - 1) + a_3 (4t^3 - 3x). \quad (3)$$

Дробні поліноми на основі ряду Тейлора запишемо у вигляді:

$$y(t) = a_0 + a_1 t^{0.5} + a_2 t^{1.5}. \quad (4)$$

$$y(t) = a_0 + a_1 t^{0.5} + a_2 t + a_3 t^{1.5} \quad (5)$$

Передбачається, що БПЛА постійно здійснює маневр відповідно до поліному третього порядку та параметрами шуму розподіленого за нормальним законом розподілу з нульовим середнім і дисперсією 25 м^2 .

При цьому відомо, що багаточлени Чебишева в інтервалі $[-1: 1]$, тому "ковзне вікно" має найкраще наближення серед усіх відомих багаточленів, а багаточлени (4)-(5) аналізуються в інтервалі $[1: 5]$.

Результати моделювання показано на рис. 1-2 де: $N_{fr}=1/2$ поліном (5) ступеня 1.5; $N_{al}=3$ ступінь полінома 3; E cheb, E frac, E alg – помилки оцінювання відповідним поліномом; W - ширина "ковзного вікна".

З графіків на малюнках видно, що максимальна точність оцінювання, має місце під час використання полінома (4). Це пов'язано з величиною $W=12$. Аналогічний результат представлений і на рис.2 для ступеня 1.5.

Результати моделювання також показують, що, якщо ширину вікна, що ковзає, зменшити в 2 рази ($W=6$), то максимальна точність оцінювання буде у багаточлена Чебишева 3 порядку. У той же час, при використанні багаточлена Чебишева 2 порядку, кращу точність показує поліном (4), а при використанні

полінома (5), максимальна точність буде у багаточлена Чебишева другого та третього порядку.

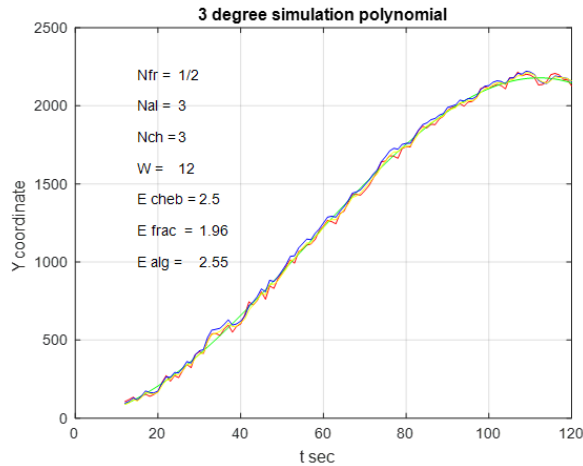


Рис.1. Результати моделювання поліном ступеня 1.5 при $N_{fr}=1/2$.

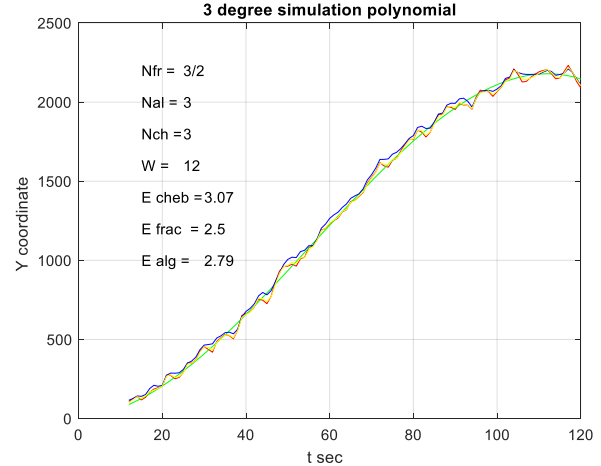


Рис.2. Результати моделювання поліном ступеня 1.5 при $N_{fr}=3/2$.

Таким чином, порівняння розглянутих вище методів оцінювання показує, що при невеликій ширині "ковзного вікна", максимальна точність досягається застосуванням багаточленів Чебишева, а при великій ширині - дробних рядів Тейлора.

Звідси випливає, що ідеальних поліномів для оцінювання параметрів руху БПЛА, що постійно маневрують немає та необхідно створювати адаптивні алгоритми з урахуванням комбінації різних методів.

Література

1. Товкач И. О., Жук С. Я. Адаптивная фильтрация параметров движения БПЛА по данным сенсорной сети на основе измерения мощности принимаемого сигнала. Вестник НТУУ «КИИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратное строение. 2017. № 69. с. 41-48.
2. Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф. Визначення параметрів руху маневруючих безпілотних літальних апаратів у мережах FANET.// Матеріали XIII-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи телекомунікацій» (ПТ-19) К.: НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», 2019, с. 285 – 287.
3. Y. Yakornov, O. Tsukanov Estimation of the Motion Parameters of Unmanned Aircraft of Wireless Sensor Networks Using Taylor Fractional Series. 2021 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (IEEE UkrMiCo'2021), Kyiv, Ukraine, November 29 – December 3, 2021, pp. 212-215.
4. D. Sierociuk "Fractional Kalman Filter algorithm for states, parameters and order of fractional system estimation", *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, 2006, Vol.16, No.1, pp. 129–140.