УДК 629.7

О.П. Кривоносенко к.т.н., Ю.В. Мельник д.т.н., Ю.М. Юрченко
(Національний авіаційний університет, Україна)

Синтез регулятора руху бпла з підвищеною робастною стійкістю

В даній роботі розглядається рішення задачі синтезу ідеального регулятора з підвищеною робастною стійкістю для адаптивної системи керування БПЛА з одним входом і з одним виходом на класі однопараметричних структурно-стійких відображень градієнтно-скоростним методом вектор функції Ляпунова. Синтез такого регулятора є важливою задачею при створенні адаптивної системи управління БПЛА особливо в умовах невизначеності параметрів структури рухомого об'єкта. Така ситуація часто виникає в умовах масового виробництва БПЛА різного класу і необхідності врахування багатьох стохастичних збурень, не врахування яких може суттєво зменшити ефективність застосування БПЛА. Для гарантії якісної роботи системи управління і виконання польотного завдання досліджується стійкість, робастність і якість функціонування системи градієнтно-швидкісним методом вектор-функцій Ляпунова.

Вступ

Сучасні системи керування БПЛА характеризуються постійним збільшенням як складності, так і вимог до їх високої ефективності. У цих системах динамічна невизначеність може бути викликана як наявністю неконтрольованого вітрового збурення, що діє на об'єкт керування [1], так і відсутністю знання істинних значень параметрів руху об'єктів і непередбачуваних змін у часі їхньої динаміки [1,2].

Актуальною проблемою є створення систем керування, які забезпечують робастний захист від невизначеності при наявності неконтрольованих впливів, а також при змінах параметрів в знанні динамічних властивостей об'єкта, досліджень нестабільності збурюючих факторів та системи управління.

Проектування систем управління з високим захистом від нестабільності може забезпечити робастна стійкість при будь-яких значеннях неозначених параметрів. Але, відомі методи не розглядають завдання управління, де динамічні властивості рухомого об'єкта змінюються в значних межах. Тому, розглянемо систему управління з підвищеним потенціалом робастної стійкості рухомого об'єкта з одним входом і з одним виходом.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Нехай система керування рухом БПЛА з одним входом і з одним виходом задається рівнянням стану

$$\dot{x} = \mathrm{Ax} + \mathrm{Bu} \qquad (1)$$

Закон управління задається у формі одно параметричних структурно-стійких відображень

$$u_i(t) = -x_i^3 + k_i x_i, \ \mathrm{i} = 1, \ \ldots, \ \mathrm{n} \qquad (2)$$

тут x(t) ∈ Rn - вектор стану об'єкта управління, u(t) ∈ Rm – вектор функції управління рухомим об'єктом.

Рівняння стану (1) розгорнутій формі представляється виразом

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = x_3 \\ \vdots \\ \dot{x}_{n-1} = x_n \\ \dot{x}_n = -b_n\ x_1^3 - (a_n - b_n k_1)\, x_1 - b_n\ x_2^3 - \\ -(a_{n-1} - b_n k_2)\, x_2 - b_n\ x_3^3 \\ -(a_{n-2} - b_n k_3)\, x_3 -, \ldots, - \\ -x_n^3 - (a_1 - b_n k_n)\, x_n \end{cases} \qquad (3)$$

Наступним кроком знаходимо стан (3) системи, що встановився в часі

$$\begin{cases} x_2 = 0 \\ x_3 = 0 \\ \vdots \\ x_{n+1} = 0 \\ -b_n x_{1s}^3 - (a_n - b_n k_1)\, x_{1s} - b_n\ x_{2s}^3 - \\ (a_{n-1} - b_n k_2)\, x_{2s} -, \ldots, - \\ -x_{ns}^3 - (a_1 - b_n k_n)\, x_{ns} = 0 \end{cases} \qquad (4)$$

З (4) знаходимо тривіальне рішення:

$$x_{1s} = 0,\ x_{2s} = 0,\ \ldots,\ x_{n6} = 0. \qquad (5)$$

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Дослідимо надстійкість стаціонарного стану (5) градієнтно швидкісним методом вектора функції Ляпунова [1].

З рівнянь стану (3) визначаємо компоненти вектора градієнтів та визначаємо розкладання компонентів вектора швидкості змінних стану x1,. . . , xn системи (3).

$$\begin{gathered} \frac{dV(x)}{dt} = -x_2^2 - x_3^2 -, \ldots, -x_n^2 \\ -b_n^2 [x_1^3 - 3\sqrt{k_1 - \tfrac{a_n}{b_n}} x_2^1 + (k_1 - \tfrac{a_n}{b_n}) x_1]^2 \\ -b_n^2 [x_2^3 - 3\sqrt{k_2 - \tfrac{a_{n-1}}{B_n}} x_2^2 + (k_2 - \tfrac{a_{n-1}}{b_n}) x_2]^2 -, \ldots, \\ -b_n^2 [x_n^3 - 3\sqrt{k_n - \tfrac{a_1}{b_n}} x_n^2 + (k_n - \tfrac{a_n}{b_n}) x_n]^2 \end{gathered} \qquad (6)$$

Умови негативної визначеності повної похідної за часом (6) від функції Ляпунова гарантовано виконується при цьому функція (6) є знаконегативною функцією. За компонентами вектору градієнтів (6) побудуємо вектор-функцій Ляпунова у скалярній формі:

$$v\left(x\right) = \tfrac{1}{4}b_n x_1^4 - -b_n\sqrt{k_2 - \tfrac{a_n}{b_n}}x_1^3 + cx_1^2 +$$
$$\tfrac{1}{4}b_n x_2^4 - -\sqrt{k_2 - \tfrac{a_{n-1}}{b_n}}x_2^3 + \tfrac{1}{2}b_n(k_2 - \tfrac{a_{n-1}}{b} - \tfrac{1}{b_n})x_2^2 +$$
$$\tfrac{1}{4}b_n x_3^2 - -b_n\sqrt{k_3 - \tfrac{a_{n-2}}{b_n}}x_3^3 + \tfrac{1}{2}b_n(k_3 - \tfrac{a_{n-2}}{b_n} -$$
$$\tfrac{1}{b_n})x_3^2 +, \ldots, \tfrac{1}{4}b_n x_n^4 - -b_n\sqrt{k_n - \tfrac{a_1}{b_n}}x_n^3 \qquad (7)$$

Функція (7) відповідає умовам леми Морса з теорії катастроф, тому функцію (7) можемо наближено замінити квадратичною формою.

$$V\left(x\right) \approx \tfrac{1}{2}b_n(k_2 - \tfrac{a_n}{b_n})x_1^2 + \tfrac{1}{2}b_n(k_2 -$$
$$\tfrac{1}{b_n})x_2^2 + \tfrac{1}{2}b_n(k_3 - \tfrac{a_{n-2}}{b_n} - \tfrac{1}{b_n})x_3^2, \ldots,$$
$$+\frac{1}{2}b_n(k_n - \frac{a_n}{b_n} - \frac{1}{b_n})x_n^2 \qquad (8)$$

Умови позитивної визначеності функцій (8) представляється у вигляді:

$$\begin{cases} b_n\left(k_1 - \frac{a_n}{b_n}\right) > 0 \\ b_n\left(k_2 - \frac{a_{n-1}}{b_n} - \frac{1}{b_n}\right) > 0 \\ b_n\left(k_3 - \frac{a_{n-2}}{b_n} - \frac{1}{b_n}\right) > 0 \\ \ldots \qquad \ldots \\ b_n\left(k_n - \frac{a_1}{b_n} - \frac{1}{b_n}\right) > 0 \end{cases} \qquad (9)$$

Якщо в результаті досліджень градієнтно-швидкісним методом вектор функцій Ляпунова еталонної моделі адаптивної системи заданої якості, то маємо умову аперіодичної робастної стійкості при виконанні наступних нерівностей

$$-d_n^m > 0,\ -d_{n-1}^m - 1 > 0, -d_{n-2}^m - 1 > 0, \cdots - d_1^m - 1 > 0, \qquad (10)$$

або

$$d_n^m > 0,\ d_{n-1}^m - 1 > 0, d_{n-2}^m - 1 > 0, \ldots d_1^m - 1 > 0, \qquad (11)$$

де d, i = 1, ...n відомі параметри еталонної моделі , то порівнюючи ліві частини

нерівності (10) та (11) отримуємо

$$\begin{cases} b_n\left(k_1 - \frac{a_n}{b_n}\right) = d_n \\ b_n\left(k_2 - \frac{a_{n-1}}{b_n} - \frac{1}{b_n}\right) = d_{n-1} - 1 \\ b_n\left(k_3 - \frac{a_{n-2}}{b_n} - \frac{1}{b_n}\right) = d_{n-2} - 1 \\ \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \\ b_n\left(k_n - \frac{a_1}{b_n} - \frac{1}{b_n}\right) = d_1 - 1 \end{cases} \tag{12}$$

$$\begin{cases} k_1 = \frac{a_n}{b_n} + \frac{d_n}{b_n} \\ k_2 = \frac{a_{n-1}}{b_n} + \frac{d_{n-1}}{b_n} \\ k_3 = \frac{a_{n-2}}{b_n} + \frac{d_{n-2}}{b_n} \\ \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \\ k_n = \frac{a_1}{b_n} + \frac{d_1}{b_n} \end{cases} \tag{13}$$

Таким чином, система (3) є системою управління з підвищеним потенціалом робастної стійкості та забезпечує надстійкість при будь-яких значеннях невизначених параметрів, а для системи з одним входом та з одним виходом у класі одно параметричних структурно-стійких відображень ідеальний регулятор адаптивної системи обчислюється за формулами (12) та (13).

Відомі із літератури методи не розглядають завдання управління, коли динамічні властивості об'єкта змінюються у невідомих межах. Пропонується метод визначення області зміни параметрів об'єкта, забезпечуючи робастну стійкість до змін параметрів. У свою чергу, це забезпечує управління режимами нестійкості в системі керування. Вибраний градієнтно-швидкісний метод векторної функції Ляпунова дозволяє вирішити задачу побудови ідеального регулятора з підвищеним потенціалом робастної стійкості адаптивної системи управління.

Список літератури

1. Кунцевич В.М. /Управління за умов невизначеності: Гарантовані результати у завданнях управління та ідентифікації. - К.: Наукова Думка, 2007. - 620 с.
2. Beisenbi M., Uskenbayeva G., Satybaldina D., Martsenyuk V., Shailhanova A. / Robust stability spacecraft traffic control system using Lyapunov functions // 16th International Conference on Control, Automation and System (ICCAS), IEEE. - 2018. pp. 743-748