

СТРУКТУРА ФІЛЬТРУ СУПРОВОДУ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ НА ОСНОВІ ПРОЦЕСІВ З ВИПАДКОВО ЗМІННОЮ СТРУКТУ- РОЮ

к.т.н. С.О. Тишук, к.т.н. В.Р. Воронов, к.т.н. О.Ю. Мелашенко, В.В. Боровков
(подав д.т.н., проф. С.В. Козелков)

Розглядається фільтрація (супроводження) траєкторій повітряних цілей, які мають ділянки різної інтенсивності маневрування, на основі теорії фільтрації процесів з випадково змінною структурою.

Вступ. Розглянемо роботу радіолокаційної системи спостереження за повітряними об'єктами. Після виявлення сигналу цілі система переводиться в режим визначення координат і спостереження. Характерно те, що на одних етапах польоту цілі рухаються рівномірно і прямолінійно, а на інших етапах, виходячи з задач, що вирішуються, маневрують з різною інтенсивністю. Алгоритми роботи системи спостереження на цих етапах різні, однак зв'язані між собою кінцевими умовами. Так, значення координат цілей, що відфільтровані на одних етапах польоту, є початковими для фільтрації на інших етапах польоту. Самі моменти переходу з одного етапу на інший у розглянутій системі будуть випадковими через випадковий характер траєкторії польоту об'єкта, що визначається випадковістю рішень льотчика цілі для сторони, що спостерігає.

Динамічні системи, властивості яких стрибкоподібно змінюються у випадкові моменти часу, називаються *системами з випадковими змінами структури* (СВС), що має визначене число станів. При цьому не слід змішувати поняття стану структури і поточного стану динамічної системи. Перше відноситься до простору структур, друге – до звичайного простору станів системи з постійною структурою.

При зміні структури розглянутих систем (повітряні цілі, що рухаються з етапами різного ступеня маневрування) міняється саме рівняння системи (у тому числі його порядок) і початкові умови наступного стану структури певним чином зв'язані з кінцевими умовами попереднього.

У розглянутому випадку маються ділянки руху двох типів: без маневру, тобто без зміни вектора швидкості, і маневрування, тобто зі зміною вектора швидкості повітряних цілей. Звідси СВС буде з кінцевим числом структур $s = 2$. Процеси в такій системі зручно зображувати так, як показано на рис. 1.

На рис. 1 індексами $\langle 1 \rangle$, $\langle 2 \rangle$, ..., $\langle s \rangle$ позначені структури системи, буквами $x^{\langle l \rangle}(t)$ – вектори станів у l -й структурі, $\xi^{\langle l \rangle}(t)$ – вектори впли-

вів. Випадкові моменти часу τ_1, τ_2, \dots відповідають зміні структури, а для кожної з них стан $x^{<l>}(t)$ є безперервною функцією часу і підкоряється своїм рівнянням. Штрихові лінії на рис. 1 відображають можливі напрямки переходу від однієї структури до іншої. Тому що процеси в кожній з підсистем мають однакову фізичну природу, то їх можливо поєднувати в деякий єдиний процес. Це доцільно і з методичних розумінь, тому що потрібно визначати властивості єдиної системи.

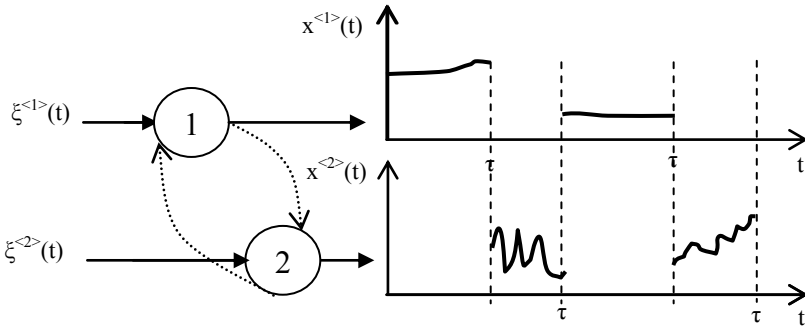


Рис. 1. Процеси у випадково змінних системах

Найважливішою ознакою класифікації СВС є характер взаємодії процесів $x^{<l>}(t)$ у системі і процесу $\vartheta(t)$, що визначає моменти зміни структур. Вплив процесу $\vartheta(t)$ на $x^{<l>}(t)$ очевидно, тому що приводить до переривання функціонування однієї структури і переходу до іншої. Зворотний же вплив полягає в тім, що при досягненні процесом $x^{<l>}(t)$ визначеного значення (тобто при виявленні маневру), реалізується процес $\vartheta(t)$, і система переходить з першого стану в другий. У цьому випадку моменти переходів функціонально зв'язані з ходом зміни фазових координат, тобто переходи будуть у ті моменти, коли процес $x^{<l>}(t)$ досягне визначеного рівня. Таки системи носять назву систем із залежною структурою та зосередженими переходами. У цьому випадку статистичні властивості процесів $\vartheta(t)$ і $x^{<l>}(t)$, $l = \overline{1, s}$ повинні вивчатися сумісно. Досить загальна теорія СВС розроблена в рамках певних обмежень. Такими рамками служать умови марковості, що накладаються на спільний процес $\vartheta(t)$ і $x^{<l>}(t)$, $l = \overline{1, s}$.

Для кожної з s можливих структур система описується векторними стохастичними диференціальними рівняннями

$$x^{<l>}(t) = f^{<l>}(x, t) + \xi^{<l>}(t), \quad l = \overline{1, s}, \quad (1)$$

де $x^{<l>}(t)$ - вектор станів системи в l -й структурі розмірності n_l ; $f^{<l>}$ - нелінійна векторна функція; $\xi^{<l>}$ - вектор нормальних випадкових процесів

типу білого шуму з коваріаційною матрицею

$$E[\xi^{<l>}(t) \xi^{<l>T}(t')] = \psi^{<l>}(t) \sigma(t-t'). \quad (2)$$

Моменти переходів утворюють випадковий ординарний потік з незалежними інтервалами між переходами. Імовірність переходу за малий час Δt від структури l до структури r позначимо $v_{lr}(x, t)\Delta t$, $l, r = \overline{1, s}$, де v_{lr} – інтенсивність переходів, що залежить від ходу зміни стану $x^{<l>}(t)$ l -й структури. Для цього випадку функція поглинання стає рівною

$$v_l(x, t) = \sum_{r=1 \neq l}^s v_{lr}(x, t) p_l(x, t). \quad (3)$$

Важливою особливістю марковських процесів з випадковою структурою є те, що в момент зміни структур, наприклад r на l , можуть мати місце визначені початкові умови, що залежать від індексу попередньої структури r , кінцевого стану системи при попередній структурі $x^{<r>}(t)$ й індексу нової структури. Задамо їх умовною щільністю імовірності відновлення

$$q_{rl}(x^{<l>}, t/x^{<r>}, t) = q_{rl}(x, t/x', t), \quad (4)$$

де перший нижній індекс означає номер попередньої структури, а другий – номер нової структури.

При повному збігу початкових умов нової структури з кінцевими попередньої, що має місце в розглядаємому випадку, маємо функцію $q_{rl}(x, t/x', t) = \delta(x - x')$, а вид реалізації процесу показаний на рис. 2.

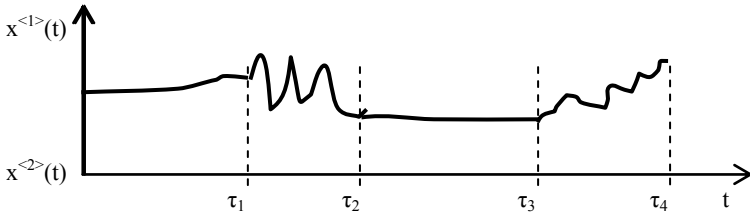


Рис. 2. Випадок збігу вихідних та кінцевих умов

При нелінійному спостереженні процес є результатом перетворення $x(t)$ при адитивному білому шумі за рівнянням:

$$z^{<l>}(x, t) = h^{<l>}(x, t) + \eta^{<l>}(t). \quad (5)$$

Апостеріорні імовірності станів $\hat{P}_l(t)$ описуються рівнянням:

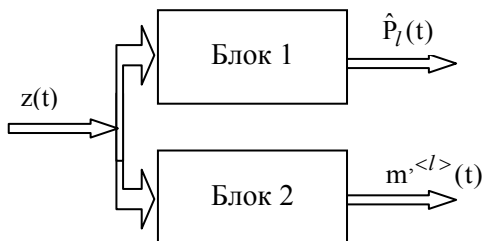
$$\dot{\hat{P}}_l(t) = - \sum_{r=1 \neq l}^s \alpha_{lr}(t) + \sum_{r=1 \neq l}^s \alpha_{rl}(t) + \lambda^{<l>}(z, t) - \hat{P}_l(t) \sum_{r=1}^s \lambda^{<r>}(z, t), \quad l = \overline{1, s}, \quad (6)$$

де $\alpha_{tr}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} v_{tr}(x, t) \hat{p}_l(x, t) dx$; $\lambda^{<l>}(z, t) = \int_{-\infty}^{\infty} l^{<r>}(x, z, t) \hat{p}_l(x, t) dx$.

Векторне диференціальне рівняння для математичних сподівань має вигляд:

$$\dot{m}^{<l>}(t) = - \int_{-\infty}^{\infty} x \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^T \hat{\Pi}_l(x, t) dx - \int_{-\infty}^{\infty} x \hat{v}_l(x, t) dx + \int_{-\infty}^{\infty} x \hat{u}_l(x, t) dx + \int_{-\infty}^{\infty} x L^{<l>}(x, z, t) p_l(x, t) dx - \sum_{r=1}^s m^{<l>}(t) \int_{-\infty}^{\infty} L^{<r>}(x, z, t) \hat{p}_r(x, t) dx, \quad l = \overline{1, s}. \quad (7)$$

Висновок. Отже, структурна схема оптимального фільтра складається з



блоку ідентифікатора структури (блок 1) (рис. 3), виходом якого є апостеріорні імовірності поточної структури фільтруемого процесу, і блоку оцінки стану (блок 2), виходами якого є апостеріорні математичні сподівання компонентів стану для кожної структури.

Рис. 3. Структурна схема оптимального фільтра

Між зазначеними блоками мається взаємний зв'язок, тому що рівняння (6) і (7) повинні зважуватися спільно.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского.* – М.: Наука, 1987. – 712 с.
2. *Артемьев В.М. Теория динамических систем со случайными изменениями структуры.* – Мн.: Мышэйша школа, 1979. – 466 с.
3. *Казаков И.Е., Артемьев В.М. Оптимизация динамических систем случайной структуры.* – М.: Наука, 1980. – 320 с.

Надійшла 1.09.2004

ТИЩУК Сергій Олександрович, канд. техн. наук, нач. кафедри НАО України. В 2004 році закінив НАО України. Облaсті наукових інтересів – теорія завадостійкості радіоприймальних пристроїв, оцінка ефективності радіоелектронної боротьби.

ВОРОНОВ Віктор Романович, канд. техн. наук, доцент, заст. нач. кафедри НАО України. В 1977 році закінив КВВАІУ. Облaсті наукових інтересів – теорія радіоелектронного конфлікту, теорія фільтрації та керування процесами, що мають змінну структуру.

МЕЛAШЕНКО Олександр Юрійович, канд. техн. наук, доцент, заст. нач. кафедри ХУ ПС. В 1985 році закінчив ХВВКІУ РВ. Облaсті наукових інтересів – протидія системам

виявлення літальних апаратів. Взаємодія електромагнітних хвиль із плазмою..

БОРОВКОВ Віталій Вікторович, ад'юнкт НЦ ВПС. В 1986 році закінчив КВВАІУ.
Області наукових інтересів – теорія радіолокаційних систем фільтрація процесів, що мають випадкову змінну структуру.
