

ФОРМУВАННЯ РІЗНИЦЕВОГО СИГНАЛУ В МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМАХ ДІАГНОСТИКИ

Воловик А. Ю., к.т.н., доц.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

Однієї з найважливіших завдань модельно-орієнтованої функціональної діагностики є формування відповідного різницевого сигналу чутливого до несправностей, але інваріантного стосовно збурювань різноманітної природи. Процедуру формування такого сигналу слід інтерпретувати як завдання обробки сигналів. Якщо ця процедура оптимальна, то добування інформації про час, місце, і причину появи несправності відбувається з мінімальними втратами. Методи модельно-орієнтованої функціональної діагностики в переважній більшості засновані на математичних моделях контрольованих процесів і систем. Якщо завдання сформульоване в детермінованій постановці, то це – функціональні спостерігачі Луенбергера, для стохастичного варіанта завдання це – фільтр Калмана.

Зазначені методи використовують для оцінювання виходів системи результати вимірювань, проведених на діючому об'єкті, математична модель якого представляється співвідношеннями

$$\begin{aligned} \mathbf{x}'(t) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}_R(t) + \mathbf{R}_1(t) \mathbf{f}(t) \\ \mathbf{y}_R(t) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}_R(t) + \mathbf{R}_2(t) \mathbf{f}(t). \end{aligned} \quad (1)$$

де $\mathbf{x}(t)$ – n - мірний вектор стану; $\mathbf{u}_R(t)$ – r - мірний вектор входу; $\mathbf{y}_R(t)$ – m - мірний вектор виходу реально діючої системи; $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}$ – точно відомі системні матриці відповідних розмірностей; $\mathbf{f}(t) \in \mathbf{R}^g$ – вектор несправностей, кожний елемент якого $f_i(t)$ ($i=1, 2, \dots, g$) відповідає певному типу несправності; $\mathbf{R}_1$ і $\mathbf{R}_2$ – матриці входів відповідні до несправностей, що описують процес впливу несправностей на контрольовану систему.

На практиці, звичайно, застосовуються функціональні спостерігачі, порядок яких менше порядку контрольованого об'єкта, тобто пристрій оцінювання є квазіоптимальним при цьому стає необхідним оцінити певну лінійну функцію від вектора стану, наприклад, $\mathbf{L}[\mathbf{x}(t)]$. Для цього можна скористатися функціональним спостерігачем Луенбергера канонічна структура якого описується наступними рівняннями [1]:

$$\begin{aligned} \mathbf{z}'(t) &= \mathbf{F}\mathbf{z}(t) + \mathbf{K}\mathbf{y}(t) + \mathbf{J}\mathbf{u}(t); \\ \mathbf{w}(t) &= \mathbf{G}\mathbf{z}(t) + \mathbf{R}\mathbf{y}(t) + \mathbf{S}\mathbf{u}(t), \end{aligned} \quad (2)$$

де $\mathbf{z}(t) \in \mathbf{R}^q$ є вектором стану функціонального спостерігача, а $\mathbf{F}, \mathbf{K}, \mathbf{J}, \mathbf{G}, \mathbf{R}$ та $\mathbf{S}$ системні матриці відповідних розмірностей. Вихід цього спостерігача $\mathbf{w}(t)$ прийнято називати оцінкою $\mathbf{L}^*[\mathbf{x}(t)]$, для системи, що описується рівнянням (1). Оцінка розуміється в асимптотичному змісті, тобто при відсутності несправностей повинне виконуватися співвідношення

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\mathbf{w}(t) - \mathbf{L}[\mathbf{x}(t)]) = \lim_{t \rightarrow \infty} (\mathbf{L}^*[\mathbf{x}(t)] - \mathbf{L}[\mathbf{x}(t)]) = 0 \quad (3)$$

При введенні матричної передатної функції $\mathbf{T}$, яка зв'язує вектор стану контролюваного об'єкта з вектором стану спостерігача $\mathbf{z}(t) = \mathbf{T}\mathbf{x}(t)$, спостерігач відповідно до рівняння (2) буде формувати оцінку $\mathbf{L}^*[\mathbf{x}(t)]$ тоді, коли задовольняються наступні умови [2]: $\mathbf{TA} - \mathbf{FT} = \mathbf{KC}$; $\mathbf{J} = \mathbf{TB} - \mathbf{KD}$; $\mathbf{RC} + \mathbf{GT} = \mathbf{L}$; $\mathbf{S} + \mathbf{RD} = \mathbf{0}$, а власні значення матриці $\mathbf{F}$ є стійкими. Якщо покласти $\mathbf{L} = \mathbf{C}$, то вектор різницевого сигналу буде визначений як

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{Q}[\mathbf{y}(t) - \mathbf{y}^*(t)] = \mathbf{L}_1\mathbf{z}(t) + \mathbf{L}_2\mathbf{y}(t) + \mathbf{L}_3\mathbf{u}(t), \quad (4)$$

де $\mathbf{L}_1 = -\mathbf{QG}$; $\mathbf{L}_2 = \mathbf{Q} - \mathbf{QR}$; $\mathbf{L}_3 = -\mathbf{Q}(\mathbf{S} + \mathbf{D})$.

Формувач векторного різницевого сигналу (рис. 1) описується наступною парою рівнянь:

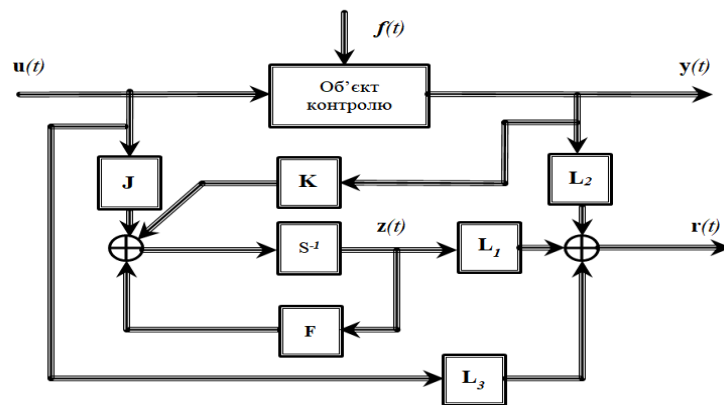


Рисунок 1. Схема формувача векторного різницевого сигналу, заснованого на функціональному спостерігачі Луенбергера

$$\begin{cases} \mathbf{z}'(t) = \mathbf{Fz}(t) + \mathbf{Ky}(t) + \mathbf{Ju}(t); \\ \mathbf{r}(t) = \mathbf{L}_1\mathbf{z}(t) + \mathbf{L}_2\mathbf{y}(t) + \mathbf{L}_3\mathbf{u}(t), \end{cases} \quad (5)$$

а матриці, що входять у ці рівняння повинні задовольняти умовам: $\mathbf{TA} - \mathbf{FT} = \mathbf{KC}$; $\mathbf{J} = \mathbf{TB} - \mathbf{KD}$; $\mathbf{L}_1\mathbf{T} + \mathbf{L}_2\mathbf{C} = \mathbf{0}$; $\mathbf{L}_3\mathbf{T} + \mathbf{L}_2\mathbf{D} = \mathbf{0}$.

Перетворення Лапласа для різницевого сигналу задається виразом:

$$\mathbf{r}(s) = [\mathbf{L}_1(s\mathbf{I} - \mathbf{F})^{-1}\mathbf{K} + \mathbf{L}_2]\mathbf{y}(s) + [\mathbf{L}_1(s\mathbf{I} - \mathbf{F})^{-1}\mathbf{J} + \mathbf{L}_3]\mathbf{u}(s). \quad (6)$$

У тому випадку, коли застосовується формувач різницевого сигналу (2) до системи (1) різницеvim сигналом буде величина

$$\begin{cases} \mathbf{e}'(t) = \mathbf{Fe}(t) - \mathbf{TR}_1\mathbf{f}(t) + \mathbf{KR}_2\mathbf{f}(t); \\ \mathbf{r}(t) = \mathbf{L}_1\mathbf{e}(t) + \mathbf{L}_2\mathbf{R}_2\mathbf{f}(t), \end{cases} \quad (7)$$

де $\mathbf{e}(t) = \mathbf{z}(t) - \mathbf{T}\mathbf{x}(t)$. З формули (7) можна зробити винятково важливий висновок: формований у такий спосіб різницеvim сигнал залежить тільки й тільки від наявних несправностей $\mathbf{f}(t)$.

У випадку коли використовується в якості формувача різницевого сигналу спостерігач повного порядку виходять наступні спрощення: $\mathbf{T} = \mathbf{I}$;

$\mathbf{J}=\mathbf{B}-\mathbf{K}\mathbf{D}; \mathbf{F}=\mathbf{A}-\mathbf{K}\mathbf{C}; \mathbf{L}_1=\mathbf{Q}\mathbf{C}; \mathbf{L}_3=\mathbf{Q}\mathbf{D}; \mathbf{L}_2=-\mathbf{Q}$. Отже, матричні передатні функції для формувача різницевого сигналу, заснованого на спостерігачі повного порядку, будуть такими

$$\begin{cases} \mathbf{H}_y(s) = \mathbf{Q}\{\mathbf{C}[s\mathbf{I} - (\mathbf{A} - \mathbf{K}\mathbf{C})]^{-1}\mathbf{K} - \mathbf{I}; \\ \mathbf{H}_u(s) = \mathbf{Q}\{\mathbf{C}[s\mathbf{I} - (\mathbf{A} - \mathbf{K}\mathbf{C})]^{-1}(\mathbf{B} - \mathbf{K}\mathbf{D}) + \mathbf{D}. \end{cases} \quad (8)$$

Для зміни частотної характеристики різницевого сигналу слід динамічно змінювати вагову матрицю $\mathbf{Q}(s)$. Мінімальний порядок функціонального спостерігача q_0 задовольняє нерівності $q_0 \leq \mu - 1$, де μ є індексом спостережуваності системи, що знаходиться у межах $n/m \leq \mu \leq n - m + 1$ і визначається як мінімальне число, що задовольняє умові [3]

$$\text{rank} \left[\mathbf{C}^T, (\mathbf{C}\mathbf{A})^T, \dots, (\mathbf{C}\mathbf{A}^{\mu})^T \right] = n. \quad (9)$$

Ця нерівність визначає тільки мінімально можливий порядок функціонального спостерігача. На практиці, порядок функціонального спостерігача вибирається більшим, ніж мінімально можливий. Це обумовлено лише тим, що для цілей функціональної діагностики необхідне задоволення ще додаткових умов, пов'язаних із забезпеченням чутливості різницевого сигналу до несправностей. Для локалізації несправностей можна використовувати модельно-орієнтовані спостерігачі, за допомогою яких формується або структурована безліч різницевих сигналів або векторний різницевий сигнал із заданою орієнтацією у функціональному просторі.

Перелік посилань

1. Luenberger D. G. Observing the state of a linear system. IEEE Trans. / D. G. Luenberger // Mil. Electron. — 1964, №8, pp. 74-80.
2. O'Reilly J. Observers for Linear Systems / O'Reilly J. ; Academic Press, 2012 — 246 p. ISBN-13 : 978-0124110823
3. Mironovski L. A. (1980). Functional diagnosis of dynamic system - a survey. / Mironovski L. A // Automn Remote Control — 1980, №141, pp. 1122-1143

Анотація

Розглянуті теоретичні основи методів формування різницевого сигналу в модельно-орієнтованих системах функціональної діагностики. Проведено математичний аналіз алгоритму формування різницевого сигналу на основі функціонального спостерігача Луенбергера.

Ключові слова: динамічна система, різницевий сигнал, модельно-орієнтовані системи діагностики.

Abstract

The matters of fundamental theory methods of difference signal forming in the functional diagnostic model systems are studied in the paper. Mathematical analysis of the difference signal algorithm forming is carried out using the basis of the functional observer Luenberger.

Keywords: dynamic system, difference signal, diagnostic model system.