

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АДАПТИВНИХ ПРОГРАМНО-КЕРОВАНИХ РАДІОЗАСОБІВ У ПРОСТОРИ СТАНУ

Лівенцев С.П.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: slivencev@gmail.com

INVESTIGATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF ADAPTIVE SOFTWARE- CONTROLLED RADIO DEVICES IN STATE SPACE

The problems of analyzing the dynamics of the processes of restructuring software-controlled radio devices (SRD) are analyzed. The considered mathematical apparatus of the state space allows us to obtain algorithms for statistical analysis, optimal and quasi-optimal control of SRD, which in some cases lead to significant gains in efficiency compared to known algorithms

Незважаючи на досить велику кількість публікацій з проблем проектування адаптивних систем, динаміку процесів перебудови програмно-керованих радіозасобів (ПРС) вивчено недостатньо. Залишаються невирішеними такі завдання:

- оцінка впливу виду та параметрів закону перебудови ПРС на величину динамічної похибки при заданих параметрах адаптивних систем;
- аналізу впливу виду, порядку та параметрів апроксимуючої функції на динамічну похибку різних класів таких адаптивних систем при заданому законі перебудови;
- синтезу адаптивних систем, що перебудовуються за заданим законом та забезпечують необхідну динамічну точність;
- оптимізації закону перебудови з урахуванням вимог до динамічної точності, а також низку інших практично важливих завдань.

Розглянемо адаптивні системи довільного класу та порядку, перебудова яких забезпечується шляхом зміни періоду дискретизації. Такі адаптивні системи описуються нестационарними різницевиими рівняннями динаміки виду

$$\begin{cases} \mathbf{x}(n+1) = \mathbf{A}_d \mathbf{x}(n) + \mathbf{B}_d e(n) \\ y(n) = \mathbf{C} \mathbf{x}(n) + d e(n) \\ T(n) = T / \Psi(n) \end{cases}, \quad (1)$$

де $e(n)$, $y(n)$, $\mathbf{x}(n)$ – вхідна, вихідна змінні та вектор змінних стану; $\mathbf{A}_d$, $\mathbf{B}_d$, $\mathbf{C}$ та d – параметри адаптивної системи; $T(n)$ – керована тривалість часового інтервалу між сусідніми відліками; $\Psi(n)$ – закон перебудови ($\Psi(n) \geq 0$).

Дискретна передатна функція адаптивної системи при постійному впливі, що управляє $\Psi(n) = \text{const} = \Psi$ має вигляд

$$K_d(z, \psi) = \mathbf{C}(z^{1/\psi} \mathbf{I} - \mathbf{A}_d)^{-1} \mathbf{B}_d + d = K_d(z^{1/\psi}, 1), \quad (2)$$

де $H_d(z, 1)$ – вираз цієї функції при $\psi = 1$, $z = e^{pT}$.

Величина ψ визначає масштаб частотних характеристик по осі частот (частоту налаштування адаптивної системи) $\omega_c(\psi) = \psi \omega_c(1)$.

Так як система рівнянь (1) не може бути вирішена методами теорії дискретних систем, то перейдемо від гратчастих функцій до безперервних

$$\begin{aligned} e(n) &\rightarrow e(t), y(n) \rightarrow y(t), \psi(n) \rightarrow \psi(t), \\ \mathbf{x}(n) &\rightarrow \mathbf{x}(t), \mathbf{x}(n+1) \rightarrow \mathbf{x}(t) + T\mathbf{x}(t)/\psi(t) \end{aligned}$$

і перейдемо до еквівалентної безперервної системи, що описується диференціальними рівняннями

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \psi(t)[\mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}e(t)] \\ y(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + de(t) \end{cases}, \quad (3)$$

$$\text{де } \mathbf{A} = T^{-1}\mathbf{A}_d - \mathbf{I}, \mathbf{B} = T^{-1}\mathbf{B}_d.$$

Слід зазначити, що адекватним інструментом дослідження процесів перебудови може бути динамічна частотна характеристика (ДЧХ). За фізичним змістом ДЧХ близька до комплексного коефіцієнта передачі стаціонарної системи, оскільки служить коефіцієнтом пропорційності між гармонійним вхідним впливом та вимушеною складовою реакції системи.

Динамічна АЧХ відображає процес зміни в часі модуля коефіцієнта передачі на частоті впливу, а динамічна ФЧХ – фазового зсуву, що вноситься.

Як вихідні дані використовується закон перебудови та математична модель еквівалентної безперервної стаціонарної адаптивної системи (ПРС) у формі імпульсної функції $h(t)$ або передавальної функції $K(p)$.

Вважаючи, що законом перебудови є невід'ємна інтегрована функція $\psi(t)$, визначимо загальний вираз ДЧХ методом τ -перетворень. Ідея цього методу полягає в переході до нової (приведеної) шкали часу, пов'язаної з

абсолютними співвідношеннями $\tau = \varphi(t) = \int_0^t \psi(t) dt$, $t = \phi(\tau)$, в якій рівняння

(3), що розглядаються щодо τ -зображень змінних $(e_r(\tau), y_r(\tau), \mathbf{x}_r(\tau), \dot{\mathbf{x}}_r(\tau))$, перетворюються на стаціонарний і набувають вигляду

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}_r(\tau) = \mathbf{A}\mathbf{x}_r(\tau) + \mathbf{B}e_r(\tau) \\ y_r(\tau) = \mathbf{C}\mathbf{x}_r(\tau) + de_r(\tau) \end{cases}. \quad (4)$$

За допомогою τ -перетворень представимо τ -зображення вхідного впливу $e(t) = \exp(pt), (p = j\omega)$ у вигляді $e_r(\tau) = \exp[p\phi(\tau)]$ та отримаємо ДЧХ

$$K_r(p, \tau) = \int_0^\infty h(x) e^{p[\phi(\tau-x) - \phi(\tau)]} dx. \quad (5)$$

Після зворотного τ -перетворення виходить шуканий вираз ДЧХ

$$K(p, t) = \int_0^\infty h(x) e^{-pR(t,x)} dx, \quad (6)$$

де $R(t, x) = t - \phi[\phi(t) - x]$.

У практично важливому випадку закон перебудови є ступінчастою функцією

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } t < 0 \\ \beta & \text{при } t \geq 0 \end{cases},$$

а закони τ -перетворень визначаються виразами

$$\phi(t) = \begin{cases} t & \text{при } t < 0 \\ \beta & \text{при } t \geq 0 \end{cases}, \quad \phi(\tau) = \begin{cases} \tau & \text{при } \tau < 0 \\ \tau/\beta & \text{при } \tau \geq 0 \end{cases}.$$

Тоді вираз ДЧХ для даного випадку має вигляд

$$K(p, t) = \begin{cases} K(p) & \text{при } t < 0 \\ K(p/\beta) + \Delta K(p, t) & \text{при } t \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

де $\Delta K(p, t)$ – динамічна похибка.

$$\Delta K(p, t) = \frac{p(1-\beta)}{\exp(-pt)} \sum_{i=1}^N \frac{A(p_i) \exp(\beta p_i t)}{B(p_i)(p - p_i)(p - \beta p_i)};$$

N – порядок фільтра, p_i – полюси передавальної функції $K(p) = A(p)/B(p)$.

З аналізу (7) випливає:

- 1) ДЧХ адаптивних систем, що дискретно перебудовуються, є функцією трьох змінних – частоти ω , часу t та глибини перебудови β ;
- 2) асимптотами цієї характеристики служать початкові та кінцеві вирази статичної передавальної функції

$$K(p, t) = \begin{cases} K(p) & \text{при } t < 0 \\ K(p/\beta) & \text{при } t \rightarrow \infty \end{cases};$$

3) ДЧХ є безперервною функцією часу – у момент перемикання вона змінює своє значення

$$K(p, 0^{(+)}) = K(p, 0^{(-)}) = K(p);$$

4) динаміка процесу перебудови повністю визначається динамічною похибкою $\Delta K(p, t)$;

5) початкове значення динамічної похибки дорівнює збільшенню статичної передавальної функції $\Delta K(p, 0) = K(p) - K(p/\beta)$;

6) при малій величині кроку перебудови $\Delta\beta = 1 - \beta \ll 1$ амплітуда похибки пропорційна величині цього кроку.

Висновки.

1. Розглянутий математичний апарат простору станів дозволяє отримати алгоритми статистичного аналізу оптимального та квазіоптимального управління ПРС, що призводять у ряді випадків до суттєвих вигравів у ефективності порівняно з відомими алгоритмами.

2. Дослідження динамічних властивостей адаптивних програмно-керованих радіозасобів у просторі стану показало, що ДЧХ ПРС є безперервною функцією часу – у момент перемикання вона не змінює свого значення, а динаміка процесу перебудови повністю визначається динамічною похибкою $\Delta K(p, t)$.

Література

1. J. Mitola et al., "Cognitive radio: Making software radios more personal," IEEE Personal Communication, vol. 6, no. 4, pp. 13–18, Aug. 1999.
2. S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," IEEE J. Sel. Areas Comm. vol. 23 no 2, pp. 201–220, 2005.
3. R. Venkatesha Prasad, "Cognitive Functionality in Next Generation Wireless Networks: Standardization Efforts," IEEE Communication magazine, vol 64, issue: 4, pp.72-78, April 2008.
4. Amir Ghasemi and Elvino S. Sousa, "Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: Requirements, Challenges and Design Trade-offs," IEEE Communication Magazine, volume:46, issue:4, pp. 32-39, April 2008.