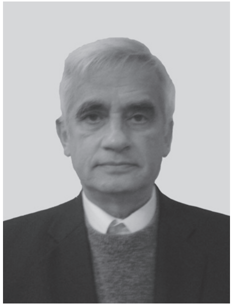
УДК 681.242.389

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ У ПРЕДСТАВЛЕННІ ЙМОВІРНІСНИХ АВТОМАТІВ

О.М. Кричевець, *кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного відділу, заступник директора з наукової роботи та якості Державного підприємства "Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних та управляючих систем", м. Львів*



Подано результати дослідження обчислювальних каналів вимірювальних систем гнучкої структури у представленні ймовірнісної моделі кінцевого автомата. Зроблено висновок щодо доцільності опису метрологічних характеристик таких обчислювальних каналів з урахуванням ймовірностей їх виникнення.

The results of the research of computing channels of measuring systems with flexible structure represented in terms of a probabilistic model of a finite automaton is presented. The conclusion regarding the advisability of description of metrological characteristics of such computing channels is made with taking into consideration the possibilities of their appearance.

Обчислювальні канали (ОбК) вимірювальних систем реалізують три типи перетворення, а саме:

1) перетворення з використанням фіксованих у часі обчислювальних процедур (розрахунки за формулами);

2) перетворення з використанням змінних у часі обчислювальних процедур (розрахунки за наближеними співвідношеннями);

3) перетворення з використанням змінних у часі і просторі обчислювальних процедур (розрахунки за співвідношеннями з "гнучкими" структурами) [1, 2].

ОбК, що реалізують перший тип перетворення, мають незмінну "жорстку" програмну структуру. Другий тип перетворення реалізується ОбК, які також мають фіксовану структуру, але за природою наближених обчислень можуть проводити повторні обрахунки (ітераційні, рекурсивні алгоритми). Для третього типу обчислень характерною є зміна програмної структури ОбК шляхом залучення або вилучення компонентів каналів у залежності від зміни вимірювальної задачі або характеру поведінки об'єкта, що досліджується [2].

Розглядатиметься третій тип ОбК вимірювальних систем, які мають специфічні функційні та структурні відмінності від каналів фіксованих типів, а саме: під час експлуатації вимірювальних систем вони виявляють "гнучкі" властивості.

"Гнучкість" структури і функцій ОбК третього типу виникає за рахунок формування у програмних засобах за фіксований проміжок часу K ланцюгів обчислень, що виникають із певною ймовірністю $P^{к}$ (рис. 1).

На рис. 1 наведено приклад формування ланцюгів 1-2-3-...*i*; 1-4-5-6-...*n*; 2-5-3-...*i*; 1-2-3-6-...*n* із різною ймовірністю виникнення.

Для ОбК, що реалізують "гнучкі" обчислювальні процедури, розглянемо можливість використання моделі детермінованого ймовірнісного автомата.

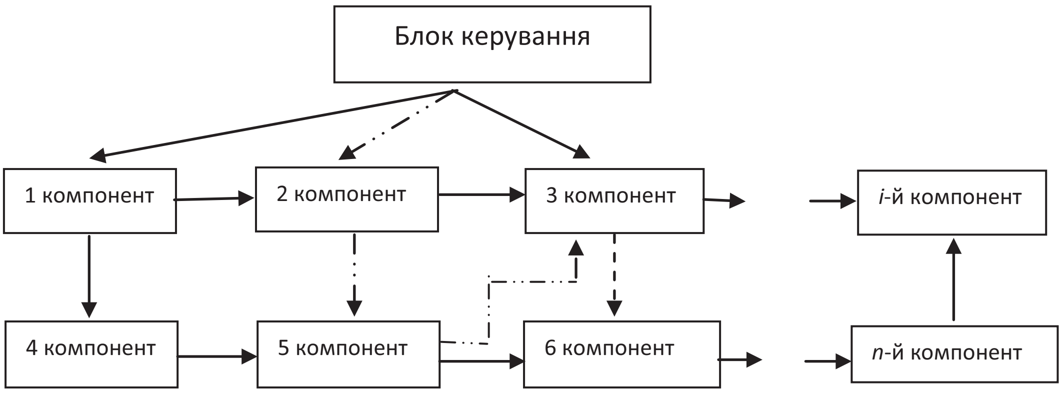


Рис. 1. Формування "гнучкої" структури ОбК

$x = 1$		
	P_0	P_1
P_0	0,7	0,5
P_1	0,3	0,5

$x = 0$		
	P_0	P_1
P_0	1	1
P_1	0	0

Рис. 2. Матриця перехідних ймовірностей: x – вхідний сигнал (x = 1, якщо виникає другий стан); P_{ij} – ймовірність переходу зі стану i до стану j

Ймовірнісний автомат (probabilistic automat) — це дискретний потактний перетворювач інформації з пам'яттю, функціонування якого в кожному такті залежить тільки від станів, тобто вхідний сигнал може викликати перехід від поточного стану до різних станів із певною ймовірністю.

Його математична модель складається з елементів множини Φ пар виду (z_k, y_i), де z_k — елементи підмножини Z станів автомата і y_i — елементи вихідної підмножини Y, та множини G, елементами якої є пари (x_i, z_k), де x_i — елементи вхідної підмножини X.

Нехай $P^к = P_{ij}$ — ймовірності переходу автомата до стану z_k і появи на його виході сигналу y_i, якщо він до того був у стані z_s і на його вхід подано сигнал x_i. Очевидно, кількість таких розподілів має дорівнювати кількості елементів множин G. Зазначивши цю кількість через B, маємо модель ймовірнісного автомата $P = <Z, X, Y, B>$ [3].

Імовірнісний автомат може бути заданий у вигляді графа або таблиці переходів, яка набирає вигляду матриці перехідних ймовірностей. Так, таблиця переходів ймовірнісного автомата з двома станами має вигляд матриці перехідних ймовірностей і складається для кожного вхідного сигналу (рис. 2).

Використовуючи представлення моделі ймовірнісного автомата для ОбК, розглянемо його функціонування з метрологічної точки зору.

Як вже зазначалося, у залежності від зміни стану об'єкта вимірювання чи керування ОбК може сформувати різні обчислювальні схеми. Зрозуміло, що метрологічні стани ОбК відрізнятимуться один від одного за рахунок зміни числа компонентів, які мають різні метрологічні характеристики. Формування таких обчислювальних схем проводиться з певною детермінованою ймовірністю $P^к$, звідси зміна метрологічного стану ОбК проходить з аналогічною ймовірністю.

Виходячи з представлення ймовірнісного автомата, можна сформувати матрицю переходів ОбК, елементами якої будуть значення функції перетворення похибок вхідних даних, що залежатимуть не тільки від часу обчислень, але й від ймовірності зміни метрологічного стану ОбК. Таку ж саму залежність, очевидно, матимуть значення матриці виходів, елементами якої є масив значень похибок результатів обчислень. Таким чином, узагальнена метрологічна модель ОбК, що реалізують "гнучкі" обчислювальні процедури під час вимірювань, має вигляд

$$\left\|\Delta_k(t,\ P^к)\right\| = \Delta_{к1}\left\|f_k(t,\ P^к)\right\|, \qquad (3)$$

де $\Delta_{к1}$ — похибка початкового компонента $к$-ї обчислювальної схеми ОбК; $f_k(t,\ P^к)$ — ймовірнісна матриця переходів.

Отже, метрологічні характеристики ОбК у залежності від структури та функцій кожного ланцюга (стану ланцюга) також залежатимуть і від ймовірності $P^к$ виникнення кожного ланцюга.

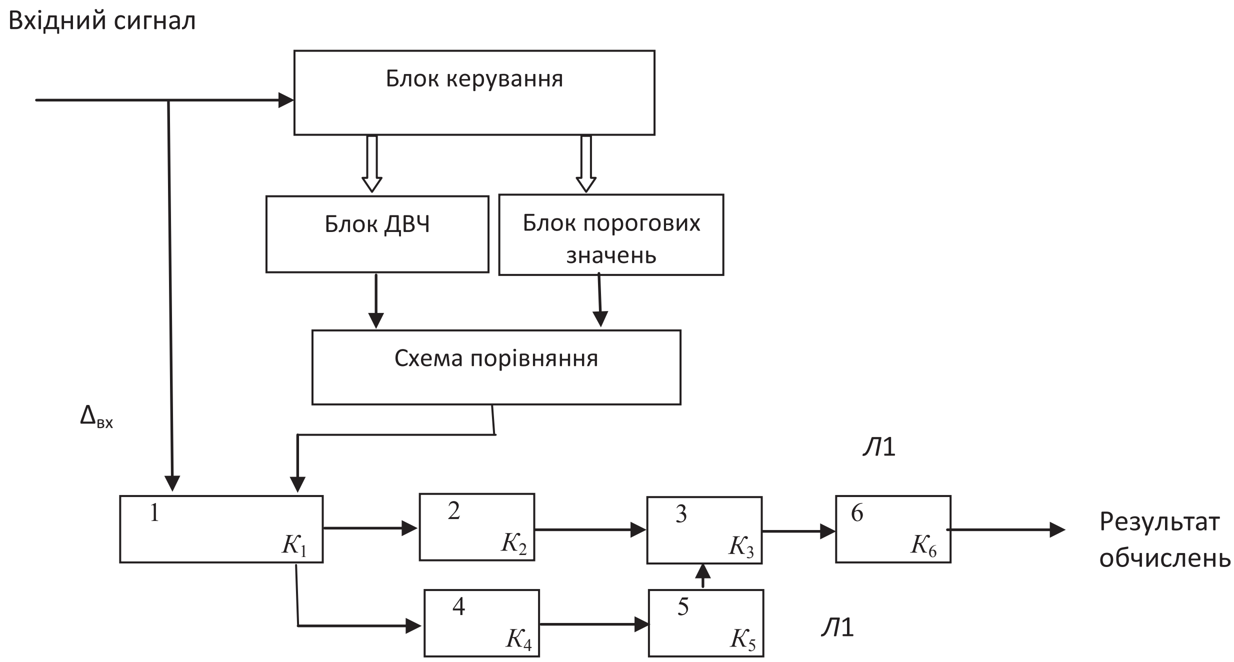


Рис. 3. Обчислювальний канал "гнучкої" структури в представленні ймовірнісного автомата: ДВЧ – датчик випадкових чисел; 1…6 – компоненти ОбК; $K_1 \ldots K_6$ – коефіцієнти перетворення похибок вхідних даних; $\Delta_{вх}$ – похибка вхідних даних

Ймовірнісний автомат може бути поданий у вигляді системи, що складається з детермінованого автомата і датчика випадкових чисел, який видає сигнали із заданим розподілом імовірностей. Залежно від стану і вхідного сигналу випадкове число порівнюється з пороговим значенням. Сигнал із виходу схеми порівняння надходить на додатковий вхід автомата разом з основним. Вибір ланцюга обчислень реалізується у 1-му компоненті ОбК.

Розглянемо структуру обчислювального процесу, що реалізується "гнучким" ОбК, на базі ймовірнісного автомата (рис. 3).

Із рис. 3 випливає, що ОбК має два стани.

Нехай X_0 – вхідний сигнал, що відповідає стану ОбК, під час якого розрахунок не проводиться. Позначимо $X_0 = 0$. Тоді $X_1 = 1$ – вхідний сигнал, що відповідає стану ОбК, під час якого проводяться обрахунки з певною ймовірністю по ланцюгу 1–2–3–6, або по ланцюгу 1–4–5–3–6.

$K_1 = 1{,}1$; $K_2 = 1{,}2$; $K_3 = 1{,}0$; $K_4 = 1{,}3$; $K_5 = 1{,}2$; $K_6 = 1{,}2$;

$\Delta_{вх} = 0{,}5$.

Порогові значення ймовірностей приймаємо 0,2 чи 0,5.

При обраних даних матриця перехідних ймовірностей для кожного сигналу матиме такий вигляд:

1-й стан

$X = 0$		
	P_1	P_2
P_1	1	1
P_2	0	0

2-й стан

$X = 1$		
	P_1	P_2
P_1	0,8	0,5
P_2	0,2	0,5

Отже, в залежності від зміни характеристик процесу, що вимірюється, можливим є проведення розрахунків по 1-й ланці з імовірністю 0,8, або як по першій, так і по другій ланках зі збіжними ймовірностями 0,5. В останньому випадку не можна нехтувати другою ланкою. Звідси слід провести визначення похибок обох ланок.

Використовуючи залежності з [4]

$$\Delta_{ОбК} = \Delta_{вх} \cdot \prod_{i}^{N} K_i, \quad i = 2...N,$$

де $\Delta_{вх}$ – похибка першого (вхідного) обчислювального компонента обчислювального каналу, K_i – коефіцієнт перетворення похибки вхідних даних i-го обчислювального компонента обчислювального каналу, N – кількість обчислювальних компонентів обчислювального каналу, отримуємо такі результати:

• похибка перетворення першої ланки становитиме

$\Delta_{Л1} = \Delta_{вх} \times K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_6 = 0{,}5 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}2 = 0{,}792 \rightarrow 0{,}8$;

• похибка перетворення другої ланки становитиме

$\Delta_{Л2} = \Delta_{вх} \cdot K_1 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_3 \cdot K_6 = 0{,}5 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}2 = 1{,}0296 \rightarrow 1{,}0$.

Отже, розглянутий ОбК з метрологічної точки зору має описуватися масивом похибок із зазначенням імовірностей їх визначення:

$\Delta_{ОбК} = \{0{,}8_{|0,8};\ 1{,}0_{|0,2};\ 0{,}8_{|0,5};\ 1{,}0_{|0,5}\}$.

Список літератури

1. *Кричевець О.М.* Метрологічні властивості числових вимірювальних перетворювачів ВІС // О.М. Кричевець // Метрологія та вимірювальна техніка: III Міжнар. наук.-техн. конф. "Метрологія – 2002", 8–10 жовтня 2002 р., Харків: наук. праці: в 2 т. Т. 2. – Харків: ХДНДІМ, 2002. – С. 194–196.
2. *Кричевець О.М.* Узагальнені метрологічні моделі обчислювальних компонентів ВІС в представленні кінцевих автоматів / О.М. Кричевець // Метрологія та вимірювальна техніка: IV Міжнар. наук.-техн. конф. "Метрологія – 2004", 12–14 жовтня 2004 р., Харків: наук. праці: в 2 т. Т. 2. – Харків: ННЦ "Інститут метрології", 2004. – С. 277–279.
3. *Самофалов К.Г.* Прикладная теория цифровых автоматов / К.Г. Самофалов. – К.: Вища школа, 1987. – 375 с.
4. *Кричевець О.М.* // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. – № 1. – С. 86–89.