

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

*Пропонується метод оперативного визначення інформаційних станів об'єктів дослідження і управління різної природи з урахуванням досягнення високої вірогідності отриманих оцінок інформаційних станів. Аналізуються інформаційно-статистичні показники сигналів, які характеризують поведінку об'єктів у різних робочих режимах чи функціональних станах.*

© Б.М. Шевчук, Ф.М. Горін,  
С.В. Фраєр, Н.С. Сташкова,  
2003

УДК 681.5.015

Б.М. ШЕВЧУК, Ф.М. ГОРІН,  
С.В. ФРАЄР, Н.С. СТАШКОВА

## ОПЕРАТИВНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СТАНІВ ОБ'ЄКТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ І УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ СИГНАЛІВ, ЩО ПІДЛЯГАЮТЬ КОНТРОЛЮ

Визначення поточного стану об'єктів дослідження і керування (ОДіК) в різноманітних галузях людської діяльності найбільш ефективно здійснюється шляхом тривалого моніторингу тих сигналів, які на думку дослідників характеризують поведінку об'єктів у різних робочих режимах чи функціональних станах. На сьогоднішній день досить актуальною є проблема оперативного визначення станів складних об'єктів промисловості, сільського господарства, транспорту, включаючи контроль поточних станів людино-машинних комплексів, операторів, диспетчерів, льотчиків, машиністів, водіїв. Аналогічні завдання виникають в області наукових досліджень, у процесі випробувань зразків пристроїв, систем і апаратів, у медико-біологічних дослідженнях, спорті.

Суть ідеї оперативного визначення інформаційних станів ОДіК полягає в тому [1], щоб у процесі тривалого спостереження за об'єктами виявити інформативні фрагменти і ділянки сигналів, проаналізувати і визначити динаміку як внутрішніх характеристик відповідної вибірки первинних даних, включаючи типи хвиль (коливачь), частоти їх появи, типи послідовностей груп хвиль, амплітудно-часові, частотні й фазові характеристики виявлених коливачь і фрагментів сигналів, так і визначити динаміку ентропійних, статистичних, кореляційних і спектральних характеристик сигналів.

Сукупність визначених первинних і вторинних показників сигналів та їх фрагментів, динаміка цих показників, яка відповідає певним робочим і функціональним станам об'єктів, повною мірою характеризують поточний інформаційний стан ОДіК. При цьому важливою проблемою є формування інтегральних показників інформаційних станів об'єктів, прив'язка визначених величин і показників інформаційних станів до відповідних робочих режимів чи функціональних станів ОДіК, а також відображення на екранах, моніторах і дисплеях визначених характеристик поточних сигналів об'єктів.

Розглянемо процес оперативного визначення інформаційних станів ОДіК з урахуванням досягнення високої вірогідності отриманих оцінок та проаналізуємо інформаційно-статистичні показники вхідних сигналів, обчислення яких дозволяє контролювати стан об'єктів у реальному часі без залучення потужних обчислювальних засобів. Такий підхід до вирішення проблем контролю станів об'єктів створює умови для використання дешевих портативних комп'ютерів, мікроконтролерів і сигнальних процесорів, що в свою чергу, є основою для широкого впровадження на практиці запропонованих методів аналізу стану об'єктів різної природи.

У загальному випадку в процесі тривалого контролю сигналів, якими характеризується поведінка об'єктів, система збору, обробки і передачі інформації оперує з  $n$ -канальною вхідною інформацією ( $n$  – кількість вимірювальних каналів, кожний з яких складається із спеціального підсилювача та фільтра нижніх частот), при цьому частоти опитування вхідних сигналів  $f_{оп}^i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) можуть бути різними.

Для поточної характеристики стану об'єкта в темпі введення інформації необхідно запам'ятовувати і аналізувати мінімально необхідний масив даних, який складається з  $n$  підмасивів, кожний з яких на інтервалі тривалості періоду повторення найнижчої спектральної складової  $i$ -го сигналу  $f_n^i$  матиме відповідну кількість відліків:

$$\begin{array}{ccccccc} x_{11}, & x_{12}, & \dots, & x_{1i}, & \dots, & x_{1l} \\ x_{21}, & x_{22}, & \dots, & x_{2j}, & \dots, & x_{2m} \\ & & & \vdots & & \\ x_{p1}, & x_{p2}, & \dots, & x_{pk}, & \dots, & x_{pr} \\ & & & \vdots & & \\ x_{n1}, & x_{n2}, & \dots, & x_{ns}, & \dots, & x_{nv}, \end{array}$$

де  $l, m, \dots, r, \dots, v$ , – показники максимальної кількості відліків у підмасивах на інтервалі  $T_i = 1/f_n^i$ , тривалість якого в загальному випадку є різною для кожного сигналу.

Як правило, для простоти введення і обробки інформації вхідні канали групуються за розміром частоти опитування  $f_{оп}^i$ , яка узгоджується з максимальною частотою спектра одного із сигналів  $f_{в}^i$ , де

$$f_b^i > k \cdot f_3^i \approx k \cdot f_3^i, \quad (1)$$

$k \geq 3 \dots 5$ ;  $f_3^i$  – частота зрізу  $i$ -го каналного фільтру нижніх частот.

Таким чином система збору оперує з попередньо профільтованим поточним масивом даних, який є первинним інформаційним образом об'єкта. В цьому масиві каналні відліки є достатньо корельованими, інформаційно збитковими і в цілому  $n$  підмасивів даних характеризуються відповідним співвідношенням сигнал/шум. Синхронне відтворення на екрані монітору потоку вхідних сигналів значною мірою відображає поточний інформаційний стан об'єкта, проте дослідник повинен володіти певними знаннями і досвідом. Тому для ідентифікації поточних інформаційних станів об'єктів уже на першому етапі аналізу вхідних даних у процесі попередньої обробки доцільно контролювати перебування сигналів у межах допустимих мінімальних і максимальних амплітудних величин  $X_{\min}^i$  і  $X_{\max}^i$ , а також орієнтовно визначати поточне значення степеня «зашумленості» вхідних сигналів.

Відповідно першим важливим показником  $i$ -го сигналу є поточна величина дрейфу постійної складової сигналу, щодо якої спостерігається зміна інформативної динамічної кривої. Найпростіше відліки дрейфу постійної складової  $i$ -го сигналу можна отримати шляхом ковзкого згладжування поточних відліків сигналу з великим інтервалом усереднення:  $T_y^i$ , де  $1/f_b^i \ll T_y < T_i$ . На основі отриманих даних у процесі апертурного контролю поведінки кривої дрейфу постійної складової  $i$ -го сигналу доцільно визначити булеві змінні вектора  $Q_s^i = (q_{1s}^i, q_{2s}^i, \dots, q_{vs}^i, \dots, q_{rs}^i)$ , де  $Q_s^i$  – ідентифікатор  $s$ -го інформаційного стану об'єкта за результатами контролю  $i$ -го сигналу (параметра);  $q_{vs}^i$  –  $v$ -й відлік контролю  $s$ -го інформаційного стану об'єкта;  $v = \overline{1, r}$  – номер відліку  $i$ -го сигналу (параметра). Значення  $v$ -го параметра  $q_{vs}^i$  визначається у відповідності з виразом [1, 2]

$$q_{vs}^i = \begin{cases} 1, & F(X_{iv}^i) - Z_v^i < e_v^i / 2, \\ 0, & F(X_{iv}^i) - Z_v^i \geq e_v^i / 2, \end{cases} \quad (2)$$

де  $F(X_{iv}^i)$  – величина контрольованого показника  $i$ -го сигналу;  $Z_v^i$  – величина  $v$ -ї умовної норми  $i$ -го показника сигналу;  $e_v^i$  – величина апертури  $v$ -го показника сигналу.

Величини  $Z_v^i$  і  $e_v^i$  вибираються в залежності від показників динамічного діапазону  $i$ -го сигналу і характеристик аналого-кодового перетворювача (АКП), включаючи максимальне і мінімальне значення сигналу, відповідно  $X_{\max}^i$  і  $X_{\min}^i$ , де  $X_{\min}^i = \Delta_{\max}^i < X_{\max}^i / 2^q$ ,  $q$  – кількість біт АКП. Величина  $\Delta_{\max}^i$  являє собою сумарну похибку АКП, включаючи похибку квантування, динамічну,

нелінійну та інші похибки. З практичної точки зору в системах оперативного визначення інформаційних станів об'єктів при обчисленні орієнтовних величин доцільно вважати, що величина  $\Delta_{\max}^i = X_{\max}^i / 2^q$ , тому кількість вірогідних біт АКП  $q_b = q - 1$ .

Для подальшого контролю перебування об'єкта в базових (очікуваних, прогнозованих) інформаційних станах у процесі спостереження за дрейфом постійної складової  $i$ -го сигналу величину  $Z_v^i$  можна вибрати як середню величину динамічного діапазону сигналу, тобто  $Z_v^i = (X_{\max}^i - X_{\min}^i) / 2$ , а значення величини  $e_v^i$  вибирається з урахуванням допусків на відхилення ізоляції сигналу від величини поточної умовної норми  $Z_v^i$ . У випадку суттєвого відхилення ізоляції  $i$ -го сигналу за межі прийнятих допусків у процесі контролю інформаційних станів об'єкта визначається і підбирається така величина  $Z_v^i$ , яка дозволяє організувати спостереження за динамікою сигналу при перебуванні об'єкта в аномальних (не прогнозованих) станах. Моменти зміни величини  $Z_v^i$  дозволяють визначити тривалості  $T_v^i$  квазістаціонарних відрізків  $i$ -го сигналу, значення яких ( $T_v^i < T_i$ ,  $T_v^i \geq T_i$ ,  $T_v^i \gg T_i$ ) визначають подальші дії по обчисленню тих чи інших поточних показників контрольованих сигналів. При  $T_v^i < T_i$  вірогідними будуть тільки локальні показники і величини фрагментів сигналів (амплітуди, тривалості, швидкості наростання, і т.п.), ентропійні та інші характеристики.

При  $T_v^i \geq T_i$  можна також визначити деякі статистичні характеристики, а при  $T_v^i > k \cdot T_i$ , де  $k > 10 \dots 20$  доцільно визначити спектрально-кореляційні характеристики сигналів. Для оперативного визначення орієнтовного співвідношення сигнал/шум у вхідному масиві даних, який є первинним інформаційним образом об'єкта, необхідно на інтервалі тривалості квазістаціонарних ділянок контрольованих сигналів визначити частоти появи низькочастотних і високо частотних завад. До них належать суттєві дрейфи ізоляції сигналів, які опосередковано фіксуються моментами зміни величини  $Z_v^i$ , а також швидко наростаючі і спадаючі високоамплітудні викиди, тривалості яких є значно меншими за період повторення найвищих спектральних складових сигналів.

Слід зазначити, що більш точні характеристики співвідношення сигнал/шум можна отримати після спектрального аналізу сигналів, якими характеризується стан об'єкта. Визначені параметри вхідного масиву даних ( $Z_v^i, e_v^i$ , орієнтовні характеристики співвідношення сигнал/шум) є першими показниками інформаційного стану об'єкта.

Отримані вхідні дані підлягають подальшій попередній обробці, включаючи цифрову фільтрацію, нормування відліків сигналів, попередню експрес-іденти-

фікацію і класифікацію інформативних ділянок сигналів, а також стиснення відліків сигналів, які підлягають оперативній передачі по каналах зв'язку. Нормування відліків сигналів дозволяє порівняти динамічні показники різно-рідних сигналів, які вимірюються у різних діапазонах і величинах, а також утворює основу для визначення однотипних інтегральних показників контролюючих сигналів. Для  $i$ -го сигналу, знаючи максимальну величину  $X_{\max}^i$ , внаслідок нормування отримуємо відносні відліки  $A_{\text{в}}^i = X_i / X_{\max}^i$ . При виборі максимальної частоти опитування вхідних сигналів, яка узгоджується з найбільшою частотою спектра одного із  $n$  каналів, після попередньої обробки і аналізу вхідних даних отримуємо матрицю нормованих відліків первинних даних  $[A_{lk}]$ ,  $l = \overline{1, n}$ ,  $k = \overline{1, m}$ ,  $m$  – максимальна кількість відліків вибірки сигналів, тривалістю  $T_i$ . Формулювання поточної матриці даних  $[A_{lk}]$ , яка супроводжується первинними показниками інформаційного стану об'єкта і орієнтовними величинами вірогідності відліків сигналів, забезпечує можливість обчислення у ковзкому режимі відповідних інформаційних і статистичних характеристик для більш детальної оцінки поточного стану об'єкта.

Окрім внутрішніх показників типових фрагментів сигналів і структурних характеристик всієї вибірки сигналів, для комплексної оцінки станів об'єкта доцільно одночасно обчислювати ентропійні, спектрально-кореляційні [3, 4] та інтегральні показники поточної вибірки сигналів [1]. Кожний з цих показників має свої переваги та недоліки, характеризується притаманними тільки йому інформативними ознаками, і тільки конкретні дослідження за певних умов можуть підтвердити кореляційні зв'язки між поведінкою об'єктів і динамікою обчислюваних показників. Серед ентропійних показників своєю простотою та інформативністю виділяється міра Хартлі  $H_k^i = \log_2 A_k^i / \Delta_{\max}^i$ , яка передбачає, що поточні відліки  $A_k^i$  є рівноймовірними. При обчисленні ентропії відповідних фрагментів сигналів довжиною  $l$  відліків ентропія дорівнює  $H = \sum_{j=1}^l H_j^i$ .

Для квазістаціонарних сигналів з нерівноймовірними і корельованими відліками оцінка ентропії визначається відомим виразом

$$H^* = \log_2 \left( 2\pi e D_x \sqrt{1 - \rho_{xx}^2(\tau)} \right), \quad (3)$$

де  $D_x$  – дисперсія випадкового процесу  $x(t)$ ;  $c_{xx}(\phi) = R_{xx}(\phi) / D_x$  – нормована кореляційна функція процесу  $x(t)$ ;  $\tau$  – часовий зсув.

Оскільки реальні сигнали є, як правило, нестационарними за математичним очікуванням і використання автокореляційної функції  $R_{xx}(\phi)$  для ідентифікації станів об'єкта призводить до громіздких обчислень і великих похибок, то доцільніше визначати відліки структурної або модульної функції [2, 4]. Враховуючи

взаємозв'язок між структурною функцією  $C_{xx}(\tau)$  і функцією  $R_{xx}(\tau)$  згідно із співвідношенням [4]  $C_{xx}(\tau) = 2(D_x - R_{xx}(\tau))$ , отримаємо вираз

$$H^* = \log_2 \pi e + \log_2 \sqrt{C_{xx}(\Phi)} + \log_2 \sqrt{4D_x - C_{xx}(\Phi)}, \quad (4)$$

де  $C_{xx}(\Phi) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (X_k - X_{k+\tau})^2$ .

Обчислення ентропійних і кореляційних показників сигналів можна суттєво спростити, якщо використати вирази для модульної функції [2]

$$G_{xx}(\Phi) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |X_k - X_{k+\tau}|, \quad G_{xx}(\Phi) = 2((D_x - R_{xx}(\Phi))/p)^{1/2}. \quad (5)$$

У роботі [1] запропоновано вираз для обчислення відносних відліків модульної функції  $i$ -го сигналу, спрощений вигляд якого буде таким:

$$\rho_{gi}(\tau) = G_{xx}(\tau) / G_{xx}(\tau_{\max}).$$

На основі визначених відносних відліків функції  $\rho_{gi}(\tau)$  згідно з [1] можна організувати експериментальну перевірку на стаціонарність і нормальність відліків контрольованої вибірки вхідних сигналів, обчислити інтегральні показники стану об'єкта шляхом визначення статистичних показників варіативності відліків модульної функції, і на основі отриманих даних визначити найбільш інформативні сигнали, які значною мірою відображають поточний інформаційний стан об'єкта. У випадку, коли вибірка сигналів вважається нестационарною, окрім статистичних показників функції  $\rho_{gi}(\tau)$ , аналізуються характеристики установлених та перехідних ділянок (фрагментів) сигналів.

Таким чином, послідовність дій оперативного визначення інформаційних станів об'єкта передбачає такі обчислення:

1) для кожного із  $n$  сигналів у процесі апертурного контролю дрейфу постійної складової згідно з (2) знаходять величини  $Z_v^i$  і  $e_v^i$ , а також поточні значення булевих величин вектора  $Q_s^i$ . При цьому визначається орієнтовна кількість інформаційних станів об'єкта за результатами даного апертурного контролю  $I_s^i = Z_v^i / e_v^i$ , де  $s = 1, E(Z_v^i / e_v^i)$ ,  $E$  – ознака цілої частини дробу. Всі інші визначені показники прив'язуються до величини  $s$ -го інформаційного стану об'єкта;

2) визначаються орієнтовні показники співвідношення сигнал/шум у вибірці вхідних даних тривалістю  $T_v^i > kT_i$  і приймається рішення про доцільність обчислення відповідних показників сигналів;

3) для достовірної вибірки вхідних даних обчислюються ентропійні, спектрально-кореляційні та інші характеристики сигналів; визначаються інтегральні показники стану об'єкта, і на основі отриманих даних формується кінцеве заключення, яке відображає взаємозв'язок робочих (функціональних) і інформа-

ційних станів об'єкта, що характеризуються відповідними показниками сигналів, включаючи ступінь інформативності того чи іншого сигналу для відображення поточного  $s$ -го стану об'єкта.

Запропонована методологія оперативного контролю ОДіК орієнтована на підвищення ефективності функціонування абонентських систем комп'ютерних радіомереж [5] за рахунок оптимізації формування пакетів інформації, що підлягають подальшій передачі.

1. *Шевчук Б.М.* Про показники сигналів та їх обчислення для оперативного визначення інформаційних станів об'єктів дослідження і керування // Комп'ютерна математика. Оптимізація обчислень. – К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2001. – Т 1. – С. 397–406.
2. *Идентификация* информационных состояний объектов исследования и управления на основе системы логико-статистических информационных моделей / Я.Н. Николайчук, М.А. Лучук, Б.М. Шевчук и др. – Киев, 1988. – 20 с. – (Препр. / АН УССР. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 88-45).
3. *Марпл-мл С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
4. *Романенко А.Ф., Сергеев Г.А.* Вопросы прикладного анализа случайных процессов. – М.: Сов. радио, 1968. – 256 с.
5. *Технологія побудови та організація функціонування комп'ютерних мікросістемних радіомереж збору, обробки і передачі інформації / Б.М. Шевчук, А.І. Куляс, Ф.М. Горін та ін.* // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2002. – № 1. – С. 127–134.

Одержано 15. 06. 2003