

УДК 629.07.5

І.М. Ключников, О.Є. Зєнович, О.В. Никифоров

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕРВАЛУ СПОСТЕРІГАННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ

Запропонована методика визначення інтервалу спостереження за поведінкою системи з декількох однотипних засобів при визначенні її технічного стану, яка базується на накопиченні та обробці статистичних даних про результати обробки інформації та дозволяє парувати нестійкі порушення функціонування цифрових систем обробки інформації (зброї). Застосування запропонованої методики дозволить підвищити готовність систем управління.

**Ключові слова:** обробка інформації, визначення технічного стану, інтервал спостереження.

### Вступ

**Постановка проблеми та аналіз літератури.** На сьогодні при побудові цифрових систем критичного призначення широко використовуються різні типи надмірності, які дозволяють підвищити достовірність отримання інформації та надійність функціонування таких систем в цілому. Для досягнення цих цілей у складі інформаційних підсистем використовується апаратна надмірність. Це дає можливість контролювати функціонування інформаційної підсистеми шляхом порівняння результатів від декількох каналів (датчиків), що обробляють (вимірюють) одну величину [1, 2].

В цих роботах пропонуються різні методи визначення достовірності інформації, яка поступає з декількох однотипних каналів (датчиків), але для цифрових систем притаманна наявність великої кількості збоїв, що спричиняють виникнення недостовірних даних про дійсний стан систем. Тому для врахування цього фактору пропонується вирішення задачі визначення інтервалу накопичення інформації, що поступає з каналів (датчиків), що дозволить зменшувати вплив збоїв на достовірність отриманої інформації.

**Метою статті** є розробка методики визначення інтервалу спостереження за поведінкою системи, яка побудована з декількох однотипних засобів, при визначенні її технічного стану.

### Викладання основного матеріалу

Нехай три однакових датчики вимірюють одну й ту ж величину (рис. 1).

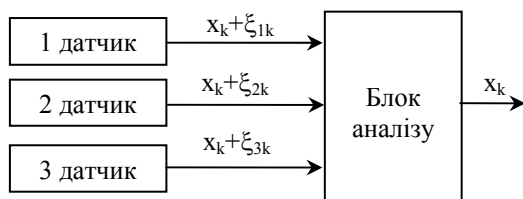


Рис. 1. Система збору та аналізу інформації.  
 $x_k$  – значення величини, яка вимірюється;  
 $\xi_{ik}$  – похибка вимірювання

$$\xi_{ik} \in N(0, \sigma_{\xi}^2);$$

$$M\{\xi_{ik}, \xi_{jk}\} = 0, i \neq j;$$

$$M\{\xi_{ik}, \xi_{im}\} = 0, k \neq m.$$

В блоці аналізу визначаються такі величини:

$$x_{1k} = \xi_{1k} - \xi_{2k};$$

$$x_{2k} = \xi_{2k} - \xi_{3k};$$

$$x_{3k} = \xi_{1k} - \xi_{3k}.$$

Метод контролю полягає у наступному. Значення  $|x_{ik}|$  порівнюються з граничним значенням  $x_{\Pi}$ . У випадку, якщо два значення  $x_{ik}$  перевищують граничне значення, рішення приймається за таким правилом:

$$\text{if } (x_{ik}) \text{ and } (x_{(i+1)k}) > x_{\Pi} \Rightarrow x_{ik} \in \bar{N}.$$

У табл. 1 представлені можливі варіанти порівнянь та результати прийняття рішень про технічний стан датчиків („1” – при  $|x_{ik}| > x_{\Pi}$ , „0” – при  $|x_{ik}| \leq x_{\Pi}$ ).

Таблиця 1

Результати прийняття рішень  
про технічний стан датчиків

Результат контролю	$x_{1k}$	$x_{2k}$	$x_{3k}$
$x_{1k} \in \bar{N}$	1	0	1
$x_{2k} \in \bar{N}$	1	1	0
$x_{3k} \in \bar{N}$	0	1	1

При такому підході рішення приймається за результатами одного вимірювання. Значення  $x_{\Pi}$  визначається за заданим значенням імовірності хибної тривоги  $P_{\text{хт}}$ .

Тому що  $P_{\text{хт}}$  повинно бути досить малим, кількість виходів  $x_{ik}$  за межі допуску під час нормального функціонування розподілено за законом Пуассона:

$$P(k) = \frac{a^k}{k!} e^{-a},$$

де  $a = \lambda t$ ;  $t$  – час функціонування;  $\lambda = \frac{P_{\text{хт}}}{T}$  – інтенсивність виникнення хибної тривоги;  $T$  – період дискретності.

Середнє напрацювання на одну тривогу

$$T_{\text{сеп}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{P_{\text{хт}}}.$$

Середня кількість тактів, за час яких відбувається одна хибна тривога,

$$n_{\text{сеп}} = \frac{1}{P_{\text{хт}}}.$$

Якщо допускається одна хибна тривога за  $10^4$  тактів, тоді  $P_{\text{хт}} = 0,0001$ .

Знайдемо імовірність спільного здійснення подій  $|x_{1k}| > x_n$  та  $|x_{3k}| > x_n$ :

$$x_{1k} = \xi_{1k} - \xi_{2k}; \quad x_{3k} = \xi_{1k} - \xi_{3k};$$

$$\xi_k = \begin{pmatrix} x_{1k} \\ x_{3k} \end{pmatrix} \in N(0, P_{\xi k}); \quad P_{\xi k} = \begin{pmatrix} 2\sigma_{\xi}^2 & \sigma_{\xi}^2 \\ \sigma_{\xi}^2 & 2\sigma_{\xi}^2 \end{pmatrix}.$$

Сумісна щільність розподілу має вигляд:

$$P_{x_{1k}, x_{3k}}(y, z) = \frac{1}{2\pi |P_{\xi k}|^{1/2}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \begin{pmatrix} y \\ z \end{pmatrix}^T P_{\xi k}^{-1} \begin{pmatrix} y \\ z \end{pmatrix} \right\}.$$

Тоді

$$\begin{aligned} P\{|x_{1k}| > x_n, |x_{3k}| > x_n\} &= \int_{x_n}^{\infty} \int_{x_n}^{\infty} P_{x_{1k}, x_{3k}}(y, z) dy dz + \\ &+ \int_{-x_n}^{-\infty} \int_{-x_n}^{-\infty} P_{x_{1k}, x_{3k}}(y, z) dy dz + \int_{-x_n}^{-\infty} \int_{x_n}^{\infty} P_{x_{1k}, x_{3k}}(y, z) dy dz + \\ &+ \int_{x_n}^{\infty} \int_{-x_n}^{-\infty} P_{x_{1k}, x_{3k}}(y, z) dy dz = \phi(x_n). \end{aligned}$$

Таким чином, встановлюючи значення  $P_{\text{хт}}$  можна визначити значення границі  $x_n$ .

Для прийняття рішення на підставі декількох вимірювань можна використовувати статистику

$$\sum_{k=1}^m \frac{(\xi_{1k} - \xi_{2k})^2}{2\sigma_{\xi}^2}; \quad \sum_{k=1}^m \frac{(\xi_{2k} - \xi_{3k})^2}{2\sigma_{\xi}^2}; \quad \sum_{k=1}^m \frac{(\xi_{1k} - \xi_{3k})^2}{2\sigma_{\xi}^2}. \quad (1)$$

У випадку нормального функціонування суми (1) розподілені по закону  $\chi^2(n)$ . Запишемо

$$x_i^* = m_{x_i}^* + \sigma_{x_i}^* \xi_i^*,$$

де  $\xi_i^* \in N(0, 1)$ . Тоді

$$\eta_i^* = \frac{x_i^* - m_{x_i}^*}{\sigma_{x_i}^*} = \frac{m_{x_i}^*}{\sigma_{x_i}^*} + \xi_i^*; \quad \eta_i^* \in N \left\{ \frac{m_{x_i}^*}{\sigma_{x_i}^*}, \frac{\sigma_{x_i}^*}{\sigma_{x_i}^*} \right\}.$$

Щільності розподілу випадкових величин  $\eta_i^{*2}$  та  $\sum_{i=1}^n \eta_i^{*2}$  матимуть такий вигляд:

$$P_{\eta_i^{*2}}(y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jyt} (1 - 2jt\sigma^2)^{-1/2} e^{jtm^2} dt;$$

$$P_{\sum \eta_i^{*2}}(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jzt} (1 - 2jt\sigma^2)^{-1/2} e^{jtm^2 n} dt.$$

Нехай вимірюється величина  $\xi_1 = \sum_{i=1}^n \eta_i^{*2}$ . Не-

обхідно вибрати одну з гіпотез (рис. 2):

$$H_0: P_{\sum \eta_i^{*2}}(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jzt} (1 - 2jt\sigma^2)^{-1/2} dt,$$

$$H_1: P_{\sum \eta_i^{*2}}(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jzt} (1 - 2jt\sigma^2)^{-1/2} \times e^{jtm^2 n} dt.$$

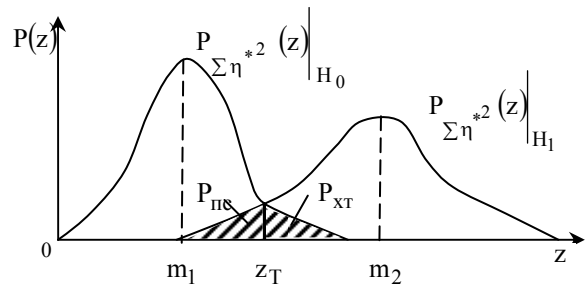


Рис. 2. Визначення похибок контролю

Відношення правдоподібності має вигляд

$$L(z) = \frac{P_{\sum \eta_i^{*2}}(z) |_{H_1}}{P_{\sum \eta_i^{*2}}(z) |_{H_0}}.$$

Границя правила вирішення, що мінімізує байєсовський ризик, визначається як

$$T = \frac{P_{H_0} (C_{10} - C_{00})}{P_{H_0} (C_{01} - C_{11})},$$

де  $C_{00}$  – втрати при прийнятті рішення  $H_0$ , коли справедливе  $H_0$ ;

$C_{01}$  – втрати при прийнятті рішення  $H_0$ , коли справедливе  $H_1$ ;

$C_{10}$  – втрати при прийнятті рішення  $H_1$ , коли справедливе  $H_0$ ;

$C_{11}$  – втрати при прийнятті рішення  $H_0$ , коли справедливе;

$P_{H_0}, P_{H_1}$  – апіорні ймовірності  $H_0$  та  $H_1$ .

Правило вибору рішення, найкращого у сенсі критерію середнього ризику, можна записати у вигляді

$$L(z)\{(<) \text{or} (>)\} T.$$

Якщо  $L(z) > T$  то приймається гіпотеза  $H_0$ , якщо  $L(z) < T$  – приймається гіпотеза  $H_1$ .

Якщо прийняти:

$$C_{00} = C_{11} = 0; \quad C_{01} = C_{10}; \quad P_{H_0} = P_{H_1},$$

тоді правило вибору буде мати вигляд

$$\left( \frac{P_{\Sigma \eta}^{*2}(z) \Big|_{H_1}}{P_{\Sigma \eta}^{*2}(z) \Big|_{H_0}} \right) \{(<) \text{or} (>)\} 1.$$

Таким чином, це правило мінімізує суму ймовірностей хибної тривоги та пропуску сигналу. Границя  $z_T$  цього правила вирішення визначається з умови

$$P_{\Sigma \eta}^{*2}(z) \Big|_{H_1} = P_{\Sigma \eta}^{*2}(z) \Big|_{H_0}.$$

Доцільно побудувати алгоритм контролю таким чином:

- задати ймовірності  $P_{ХТ}$ ,  $P_{пс}$ ;
- задати початковий об'єм вибірки  $n_0$ ;
- знайти оцінки максимальної правдоподібності  $m_{n_0}$ ,  $\sigma_{n_0}$ ;
- визначити  $n_1$  – об'єм вибірки таким чином, щоб при

$$m = m_{n_0} \quad \text{та} \quad \sigma = \sigma_{n_0}$$

забезпечити задані  $P_{ХТ}$ ,  $P_{пс}$ : якщо  $n_1 \leq n_0$ , то визначається поріг  $z_T$ , якщо  $n_1 > n_0$ , то об'єм вибірки збільшується до  $n_1$  та визначаються  $m_{n_1}$ ,  $\sigma_{n_1}$ , а потім визначається новий об'єм вибірки.

Інтервал спостереження визначається як

$$t_{сп} = T_{обч} \cdot n,$$

де  $T_{обч}$  – час виконання одного робочого циклу розрахунків;  $n$  – об'єм вибірки.

## Висновки

Запропонована методика визначення інтервалу спостереження за поведінкою системи, що побудована з декількох однотипних засобів, дозволяє визначити інтервали спостереження, що мінімізують ризик від недостовірного визначення несправного каналу.

В подальшому методику доцільно вдосконалювати у напрямку визначення оптимального інтервалу спостереження за поведінкою окремого каналу, з якого поступає недостовірна інформація. Це дозволить парувати вплив збоїв на функціонування систем.

## Список літератури

- Харченко В.С. Реализация проектов отказоустойчивых бортовых компьютеров космических аппаратов с использованием электронных компонент Industry / В.С. Харченко, Ю.Б. Юрченко, Н.К. Байда // *Технология приборостроения*. – 2002. – № 1. – С. 29-36.
- Харченко В.С. Выбор архитектур и технологий проектирования дефектоустойчивых управляющих и вычислительных систем реального времени / В.С. Харченко // *Космическая наука и технология*. – 1997. – № 3. – С. 109-119.
- Лобанов А.В. Организация сбое- и отказоустойчивой работы двухкомплексной многомашиной вычислительной системы / А.В. Лобанов // *Автоматика и телемеханика*. – 1998. – № 2. – С. 143-152.
- Oh N. Error detecting by duplicated instructions in super-scalar procesors / N. Oh, P.P. Shirvani, E.J. McClusey // *IEEE Transaction on Reliability*. – 2002. – Vol. 51. – P. 63-75.
- Пархоменко П.П. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян. – М.: Энергия, 1981. – 358 с.
- Согомонян Е.С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е.С. Согомонян, Е.В. Слабаков. – М.: Радио и связь, 1989. – 208 с.
- Харченко В.С. Основы технической диагностики систем летательных комплексов / В.С. Харченко. – Х.: МО СССР, 1991. – 106 с.

Надійшла до редколегії 9.09.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛА НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ

И.Н. Ключников, А.Е. Зенович, О.В. Никифоров

Предложена методика определения интервала наблюдения за поведением системы из нескольких однотипных средств при определении ее технического состояния, которая базируется на накоплении и обработке статистических данных о результатах обработки информации и позволяет паровать неустойчивые нарушения функционирования цифровых систем обработки информации (сбои). Применение предложенной методики позволит повысить готовность систем управления.

**Ключевые слова:** обработка информации, определения технического состояния, интервал наблюдения.

## DETERMINATION OF OBSERVE INTERVAL IN DETERMINATION OF DIGITAL SYSTEMS TECHNICAL CONDITION

I.M. Klyushnykov, A.E. Zenovych, O.V. Nikiforov

It is proposed the methods of determination observe interval for the system behavior from several one-type means in determination its technical condition, based on collection and processing of statistical data about data processing results and allows to couple non-stable disturbances of data processing digital systems (weapon) functioning. Application of the proposed methods allows increasing control system readiness.

**Keywords:** data processing, technical condition determination, observe interval.