

УДК 004.415.2.052.03

Є.Ваврук, І.Грицик

Національний університет "Львівська політехніка"

## МЕТОД ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ВІДМОВОСТІЙКИХ СИСТЕМ ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ

*Досліджено вплив глибини аналізу параметрів задачі на особливості проектування відмовостійких систем опрацювання сигналів.*

Ключові слова: *відмовостійкість, опрацювання сигналів.*

**Вступ.** Побудова відмовостійкої системи опрацювання сигналів (ВСОС) є складною задачею, яка вимагає комплексного підходу до її розв'язання. Для цього потрібно проаналізувати множину факторів, особливості функціонування даної системи та специфіку її використання. Причому дані фактори необхідно проаналізувати на етапах розробки алгоритмів, структур, архітектур.

**Огляд літературних джерел.** Проблема забезпечення відмовостійкості систем опрацювання сигналів (СОС) актуальна у випадках, коли відновлення технічного стану об'єкта ускладнене або взагалі неможливе [1].

Відмовостійкість СОС — це здатність правильно виконувати задані алгоритми опрацювання сигналів за наявності апаратних відмов та програмних помилок. Здебільшого забезпечення відмовостійкості відбувається на основі використання різного типу надлишковості [2]. Надлишковість у відмовостійких системах використовується для організації процесу ідентифікації відмови та усунення її впливу на правильність виконуваних системою функцій.

Відносно продуктивності, інтенсифікації процесу обчислень, адаптації до умов застосування та відмовостійкості, у побудові систем важливу роль відіграють бази обчислювальної техніки [3]. На даний час забезпечення відмовостійкості систем опрацювання сигналів ведеться паралельно в різних базисах незалежно один від одного. Проаналізувавши сучасні напрямки проектування ВСОС [4-12], варто відзначити, що при проектуванні ВСОС не врахований взаємовплив цих базисів. Тому проблема полягає у повному аналізі етапів проектування та особливостей поставленої задачі.

**Постановка задачі.** Розробити метод оцінки глибини аналізу розв'язуваної задачі, вимог до проведення обчислень та взаємозв'язку етапів проектування, який би дав змогу комплексно та якісно підійти до побудови відмовостійких систем опрацювання сигналів.

**Аналіз специфіки побудови відмовостійких систем опрацювання сигналів.** Основними базисами обчислювальної техніки [3] є елементно-технічний, алгоритмічний, організаційний та інформаційний базиси. Елементно-технічний базис — аналіз, розробка відповідної елементної бази для реалізації на ній алгоритмів для розв'язання поставленої задачі. Забезпечення відмовостійкості відбувається на основі використання сучасних технологій виробництва відмовостійких компонентів, із врахуванням їх області застосування, вимог до енергоспоживання і тактової частоти. Хоча ринок пропонує великий вибір елементної бази з підвищеними вимогами до відмовостійкості, розробник немає можливості впливати на процес їх виготовлення, і його основним завданням є забезпечення відмовостійкості на решті базисів. Оскільки в літературі, присвяченій особливостям забезпечення відмовостійкості на технологічному рівні, детально описано всі вимоги, фактори впливу, то подальший розгляд елементно-технічного базису не є актуальним.

В основі будь-яких обчислень лежить певна задача чи алгоритм, згідно з яким функціонує система. Проте, всі вони мають певні особливості, притаманні тільки їм. Такими особливостями для задач і алгоритмів ЦОС є:

- великий обсяг обчислень з перевагою обчислювальних операцій над логічними;
- регулярність і рекурсивність алгоритмів;

- структура даних дозволяє застосування векторної обробки з використанням обох видів паралелізму (просторового і часового);
- велика інтенсивність і постійність потоків даних;
- широкий динамічний і частотний діапазон сигналів, що обробляються;
- з виконанням функцій переставлення і затримки даних на необхідну кількість тактів;
- можливість розпаралелення, як в часі так і в просторі;
- розв'язання, поряд із прямою, і оберненої задачі;
- постійне ускладнення нових алгоритмів і підвищення вимог до точності результатів.

Позначимо множину особливостей  $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_N\}$ , де  $N$  – кількість особливостей СОС.

Як показує аналіз [14], в залежності від наведених вище особливостей і розв'язуваних задач можна виділити такі базові операції систем ЦОС:

- для алгоритмів цифрової фільтрації: затримання, додавання, віднімання, множення, обчислення суми парних добутків;
- для алгоритмів ортогональних тригонометричних перетворень: обчислення коефіцієнтів, виконання послідовності операцій множення, додавання, віднімання дійсних та комплексних чисел;
- для ефективною реалізації наведених алгоритмів ортогональних перетворень в складі комп'ютерних систем доцільно мати: багаторозрядні операційні пристрої для обчислення базових операцій, малоточкові процесори швидких перетворень.

На основі аналізу множини базових операцій та особливостей систем ЦОС можна виділити основні фактори впливу на процес обчислень, які потрібно врахувати при побудові систем обробки сигналів:

- особливості алгоритмів;
- необхідність роботи в реальному часі (високі вимоги по швидкодії);
- інтенсивність вхідних потоків;
- необхідність багатоканального і/або паралельного опрацювання даних;
- обмежений перелік основних операцій, які передбачають можливість розпаралелення;
- довільна розрядність обчислювальних даних.

Позначимо множину факторів впливу на процес обчислень  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_M\}$ ,

де  $M$  — кількість факторів впливу.

Перелік задач, алгоритмів і операцій дозволяє із наведених в [15] виділити для СОС такі принципи організації відмовостійких систем:

- забезпечення достатнього рівня надлишковості на рівні елементів, вузлів, виконуваних функцій, контролю окремих частин системи;
- використання перспективної елементної бази;
- забезпечення достатнього дублювання функцій;
- створення ефективною структурно-функціональною організації процесу обчислень, який забезпечує високий рівень відмовостійкості;
- забезпечення адаптації до нових задач, без втрати параметрів відмовостійкості.

Множину принципів забезпечення відмовостійкості позначимо  $Z = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_K\}$ ,

де  $K$  — кількість принципів організації.

Високий рівень відмовостійкості досягається на основі повного аналізу вимог до обчислень, особливостей алгоритмів ЦОС та принципів забезпечення відмовостійкості, безпосередньо під час проектування ВСОС.

**Розробка методу оцінки ефективності проектування.** На основі викладеного матеріалу можна побудувати схему проектування відмовостійкої системи обробки сигналів.

Структурна схема процесу проектування наведена на рис.1.

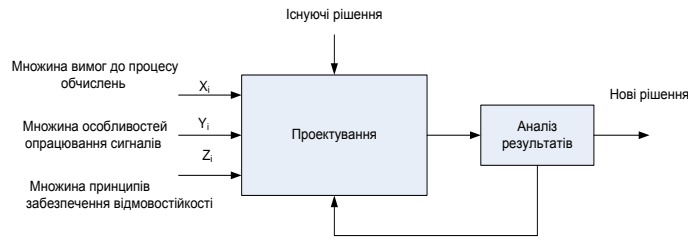


Рис.1. Структурна схема процесу проектування

Проектування починається з аналізу поставленої задачі. На його основі формується множина  $X$  факторів впливу на процес обчислень, множина особливостей опрацювання сигналів  $Y$  та множина вимог до організації відмовостійкості  $Z$ . На кожному етапі проектування зі всього набору наведених множин вибираються підмножини параметрів  $X_i, Y_i, Z_i$ ,  $i=(1,..,K)$ , де  $K$ — кількість етапів проектування. Як результат, одержуємо певну множину вихідних реалізацій. На основі їх аналізу приймається рішення про повторне проектування на даному етапі або про перехід на наступний етап проектування. Для забезпечення цього механізму введемо показник ефективності глибини аналізу вхідних параметрів  $X_i, Y_i, Z_i$ , який обчислюється за виразом (1):

$$q_i = q_x \times q_y \times q_z , \tag{1}$$

де  $q_x$  — глибина аналізу вимог та факторів,  $q_y$  — глибина аналізу особливостей опрацювання сигналів і  $q_z$  — глибина аналізу принципів організації відмовостійкості.

Враховуючи глибину аналізу  $q_r$  існуючих рішень  $R_i$ , вираз (1) буде мати вигляд

$$q_i = q_x \times q_y \times q_z \times q_r \tag{2}$$

Значення показника ефективності коливається в межах  $0 < q_i < 1$ .

Якщо множину вихідних реалізацій на  $i$ -му етапі позначити через  $W_i$ , а множину існуючих рішень  $R_i = W_{i-1}$ , то процес проектування можна подати у вигляді виразу (3):

$$W_i = f(X_i, Y_i, Z_i, R_i) , \tag{3}$$

де  $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$  — підмножина множини факторів впливу на процес обчислень  $X$ , яка містить  $M$  елементів,  $Y_i = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$  — підмножина множини особливостей обчислень  $Y$ , із  $N$  елементів,  $Z_i = \{z_1, z_2, \dots, z_K\}$  — підмножина множини принципів організації відмовостійкості  $Z$ , із  $K$  елементів,  $R_i = \{r_1, r_2, \dots, r_L\}$  — множина із  $L$  існуючих рішень. Враховуючи алгоритмічний, організаційний та інформаційний базиси, процес проектування ВСОС можна поділити на такі етапи :

- проектування відмовостійких алгоритмів;
- проектування відмовостійких структур;
- проектування відмовостійких архітектур.

На рис.2 наведена узагальнена схема проектування ВСОС .

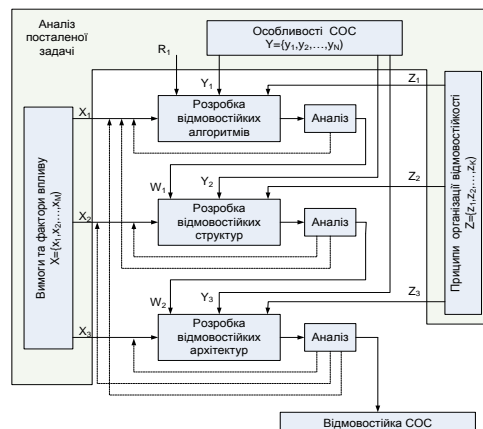


Рис.2 Узагальнена схема проектування відмовостійкої системи обробки сигналів

Загальний процес проектування включає три етапи, які згідно з (3), можна подати у вигляді виразу (4):

$$W = f(X_3, Y_3, Z_3, R_3) = f(X_3, Y_3, Z_3, W_2) = f(X_3, Y_3, Z_3, f(X_2, Y_2, Z_2, W_1)) = f(X_3, Y_3, Z_3, f(X_2, Y_2, Z_2, f(X_1, Y_1, Z_1, R_1))) \quad (4)$$

Загальний показник ефективності глибини аналізу для процесу проектування можна подати у вигляді виразу (5):

$$q = q_1 \times q_2 \times q_3, \quad (5)$$

де  $q_1, q_2, q_3$  - показники ефективності глибини аналізу вхідних параметрів на кожному з етапів.

Оскільки, результати проектування можуть бути незадовільними з точки зору глибини аналізу вхідних параметрів, то може бути прийняте рішення про повторне виконання проектування не тільки на поточному етапі, але й на попередніх. Даний механізм забезпечується на основі внутрішніх та зовнішніх зворотніх зв'язків.

**Дослідження використання запропонованого методу.** В залежності від завдання, умов функціонування та інших параметрів, можливе виключення частини етапів із загального переліку процесу проектування. Розглянемо можливі випадки :

1. Початковим етапом є аналіз існуючих та проектування нових алгоритмів. Процес проектування можна зобразити у вигляді виразу (4). Показник ефективності глибини аналізу вхідних параметрів має максимально можливе значення  $q = q_1 \times q_2 \times q_3 \approx 1$ . Загальний час проектування  $t$  можна подати у вигляді виразу (6):

$$t = t_1 n_1 \times t_2 n_2 \times t_3 n_3, \quad (6)$$

де  $t_1, t_2, t_3$  - час проектування на кожному з етапів,  $n_1, n_2, n_3$  - кількість повторів для кожного етапу проектування.

2. Початковим етапом є аналіз існуючих та розробка нових структур. Враховуючи (4), процес проектування можна зобразити у вигляді виразу (7):

$$W = f(X_3, Y_3, Z_3, R_3) = f(X_3, Y_3, Z_3, W_2) = f(X_3, Y_3, Z_3, f(X_2, Y_2, Z_2, R_2)), \quad (7)$$

де  $R_2$  — існуючі відмовостійкі структури. Показник ефективності глибини аналізу вхідних параметрів  $q = q_1 \times q_2 \times q_3, q_1 \approx 0$ . Загальний час проектування  $t$  можна подати у вигляді виразу (8):

$$t = t_2 n_2 \times t_3 n_3 \quad (8)$$

3. Початковим етапом є аналіз існуючих та розробка нових архітектур. Згідно з (4), процес проектування можна подати у вигляді виразу (9):

$$W = f(X_3, Y_3, Z_3, R_3), \quad (9)$$

де  $R_3$  — існуючі відмовостійкі архітектурні рішення. Показник ефективності глибини аналізу вхідних параметрів  $q = q_1 \times q_2 \times q_3, q_1 \approx 0, q_2 \approx 0$ . Загальний час проектування  $t$  можна подати у вигляді виразу (10):

$$t = t_3 n_3. \quad (10)$$

**Результати проведених досліджень.** На рис.3 наведено графік взаємозалежності показника ефективності  $q$  від часу розробки  $t$ .

Розглянемо детально кожен випадок: *Фіксований час етапів проектування.* На кожному етапі проектування виділяється фіксований час. Оскільки проектування ВСОС в цілому покладається на людину, то в коефіцієнт ефективності глибини аналізу може змінюватись в залежності від конкретної людини, яка виконує це проектування. Наведені на рис.3(а) криві 1-3 ілюструють залежність коефіцієнта ефективності від часу проектування ВСОС конкретним розробником: крива 1 показує недостатність аналізу, крива 2 – його збалансованість, а крива 3 зображає підвищену ефективність. В залежності від глибини аналізу вхідних параметрів  $q_x, q_y, q_z, q_r$  коефіцієнт ефективності може коливатись в межах  $q_1' > q_1 > q_1''$ ,  $q_2' > q_2 > q_2''$ ,  $q_3' > q_3 > q_3''$ .

*Фіксована показник ефективності глибини аналізу параметрів.* На протипагу попередньому випадку існують такі ситуації, коли потрібно забезпечити конкретний показник ефективності  $q$ . Як і в попередньому випадку, в залежності від виконавця, час забезпечення фіксованого значення показника аналізу може коливатись в межах  $t_1' < t_1 < t_1''$ ,  $t_2' < t_2 < t_2''$ ,  $t_3' < t_3 < t_3''$ . На рис.3(б) наведені криві 1-3, які це ілюструють.

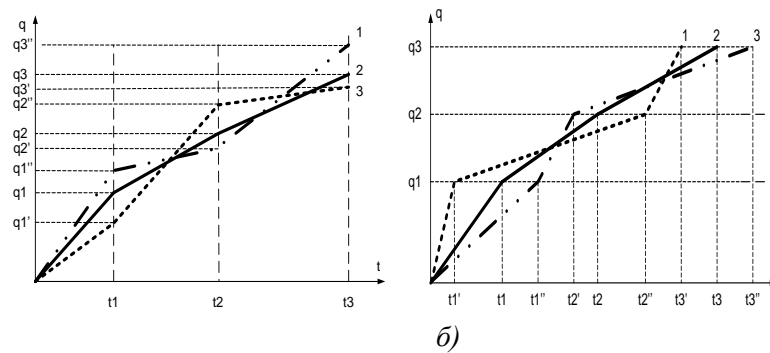


Рис.3 Графік взаємозалежності показника ефективності  $q$  від часу розробки на кожному етапі: (а) при фіксованому часу етапів проектування; б) при фіксованій глибині аналізу параметрів на кожному етапі

**Висновки.** Запропонований в даній статті метод забезпечує механізм контролю за процесом проектування на кожному з етапів та оцінку його ефективності, враховуючи глибини аналізу вхідних параметрів. В подальшому цей метод вигідно використовувати у оцінці можливостей вирішення поставленої задачі при обмеженні часу проектування та фіксованій глибині аналізу параметрів. Коефіцієнт ефективності аналізу параметрів може лягти в основу автоматизованої системи проектування ВСОС як ключовий критерій оцінки ефективності проектування на кожному з етапів.

1. Коваленко А.Е., Гула В.В. Отказоустойчивые микропроцессорные системы.— К.: Техніка, 1986.—150 с.
2. Koren I., Krishna C.M. Fault-tolerant systems. Morgan Kaufmann Publishers. San Francisco-USA ,2007.-р.399.
3. Теслер Г.С. Место и роль алгоритмического базиса в решении проблемы производительности// Математические машины и системы.—1997. — №1.— с.25- 33.
4. Абу Знейт Рушди Салим Х. Обеспечение отказоустойчивости алгоритмов// Исследовано в России.—2000.—№3.— с.826-831.
5. Савельева О.С. Критерии отказоустойчивости технических систем//Труды Одесского политехнического университета.—2004.—№2(22).
6. Liberios Vokorokos, Branislav Madoš, Jan Perháč Fault Tolerant Computer System Based on TMR Architecture// 5th Slovakian-Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics.—2007.
7. Петлеванный С.В., Сагдеев А.К. Применение корректирующих способностей кодов для обеспечения отказоустойчивости// Материалы электронной конференции "Новые информационные технологии и системы".—2006.
8. Гусев Е.В. Повышение надежности бортового программного обеспечения путем использования N-версного программирования// Научная сессия МИФИ-2004, том2.—с.142-143.
9. Goessel Michael Fault Tolerant Systems. Problems and Solutions /University of Postdam, Institute for Informatics, Fault Tolerant Computing Group, 2004.
10. Теслер Г.С. Концепция построения гарантоспособных вычислительных систем// Математичні машини і системи,—2006.—№ 1.—с.134-145.
11. Ваврук Є.Я. Організація відмовостійкості в системах опрацювання сигналів// Вісник НУ "Львівська політехніка" "Комп'ютерні науки та інформаційні технології". -2006. - № 565. - с.36-43.
12. Михалевич, В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем/ В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. – М.:Наука, 1982.
13. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов.2-е изд.—СПб.:Питер, 2007.—751с.
14. Данько Ю.П. Методы и средства обеспечения эффективности механизмов отказоустойчивости вычислительных систем. М.: ИТМиВТ. 1990, –52 с.