

УДК 621-192

Н.П. БЛАГОДАРНЫЙ¹, Б.В. ОСТРОУМОВ², Н.Ф. СИДОРЕНКО², Д.С. ТРОНЕНКО¹¹Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Украина
²НТ СКБ «ПОЛИСВИТ», Харьков, Украина**ОЦЕНКИ ЧИСЛА ОТКАЗОВ И СБОЕВ ПРОЦЕССОРНЫХ МОДУЛЕЙ
МАТРИЧНЫХ СПЕЦПРОЦЕССОРОВ НА АКТИВНЫХ
ИНТЕРВАЛАХ ПРИМЕНЕНИЯ**

Предлагаются модели оценок числа отказавших и подверженных сбоям процессорных модулей высокоинтегрированных матричных спецпроцессоров (МСП) на активных интервалах применения по назначению. Приводится обобщенная оценка среднего числа ПМ, подверженных отказам и сбоям на конечном временном интервале. Обосновывается целесообразность использования глобальной реконфигурации для возврата восстановившихся после сбоя процессорных модулей в реконфигурационное пространство матричных спецпроцессоров.

Ключевые слова: отказоустойчивость, резервирование, реконфигурация, процессорный модуль, отказ, сбой.

Введение

Сбой в работе используемого или резервного процессорного модуля (ПМ) V_{ij} ,

$$V_{ij} \in V_u(t) \cup V_p(t),$$

переводит его в множество отказавших ПМ $V_0(t)$, матричного спецпроцессора (МСП) [1-5]. Восстановление ПМ V_{ij} после сбоя ($S_{V_{ij}} = S_0$, S_0 – исправное состояние ПМ) делает возможным его дальнейшее использование либо в составе множества используемых (рабочих) ПМ $V_u(t)$ (для обработки информации), либо в составе множества резервных ПМ $V_p(t)$ (для обеспечения безотказного функционирования высокоинтегрированных матричных спецпроцессоров (МСП) на активном временном интервале применения) [6, 7].

Так как интенсивности отказов λ_0 , сбоев λ_c и восстановлений μ_c ПМ имеют разный порядок:

$$\lambda_c \gg \lambda_0 \text{ и } \frac{\lambda_c}{\mu_c} \ll 1 \text{ [7]},$$

то важнейшим резервом совершенствования методов реконфигурации высокоинтегрированных МСП является оперативный возврат восстановившихся после сбоев процессорных модулей в множество исправных ПМ

$$V \setminus V_0(t_{Hi}) \text{ МСП,}$$

где V – множество ПМ МСП, $V_0(t_{Hi})$ – мощность отказавших ПМ перед очередным i -м активным интервалом применения МСП.

1. Постановка задачи

Обозначим через $\ell_0(t_a)$ и $\ell_c(t_a)$ число отказавших и подверженных сбоям ПМ МСП на активном временном интервале (t_{Hi}, t_{0i}) длительностью $t_a, t_a = t_{0i} - t_{Hi}$ и определим общее число $\ell_{oc}(t_a)$ неисправных ПМ МСП на активном интервале применения МСП

$$\ell_{oc}(t_a) = \ell_0(t_a) + \ell_c(t_a). \quad (1)$$

Оперативный возврат восстановившихся после сбоев ПМ во множество ПМ $V \setminus V_0(t)$ уменьшает значение $\ell_{oc}(t_a)$ до величины $\ell'_{oc}(t_a)$, и следовательно, позволит снизить требования к мощности множества $|V_p(t_{Hi})|$ резервных ПМ МСП.

2. Решение задачи

Получим оценку $\ell'_{oc}(t_a)$. При простейших потоках отказов и сбоев с интенсивностями λ_0 и λ_c значения $\ell_0(t_a)$ и $\ell_c(t_a)$ определим из выражений (1) и (2):

$$\ell_0(t_a) = \sum_{i=1}^{|V \setminus V_0(t_{Hi})|} i P_0(i, t_a) = \sum_{i=1}^{|V \setminus V_0(t_{Hi})|} i \frac{(\lambda_0 t_a)^i}{i!} e^{-\lambda_0 t_a}, \quad (1)$$

$$\ell_c(t_a) = \sum_{j=1}^{|V \setminus V_0(t_{Hi})| - \ell_0(t_a)} j P_c(j, t_a) = \sum_{j=1}^{|V \setminus V_0(t_{Hi})| - \ell_0(t_a)} j \frac{(\lambda_c t_a)^j}{j!} e^{-\lambda_c t_a}. \quad (2)$$

где $P_o(i, t_a)$ – вероятность отказа i ПМ на интервале t_a . $P_c(j, t_a)$ – вероятность сбоя j ПМ на интервале t_a .

На рис. 1, а приведены графики изменений числа отказавших ПМ и ПМ, подверженных сбоям в течение активного интервала применения МСП.

Как следует из рис. 1, а, к концу интервала (t_{H_i}, t_{0_i}) имеет место неравенство $l_o(t_a) \ll l_c(t_a)$.

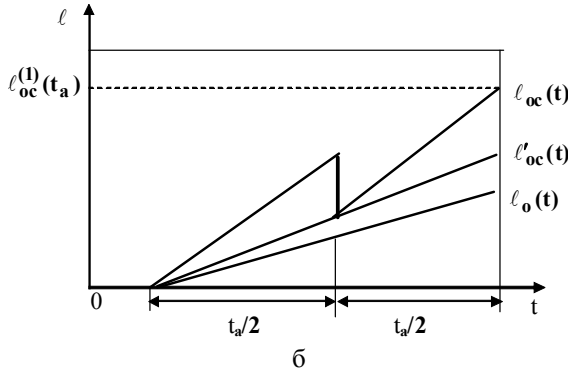
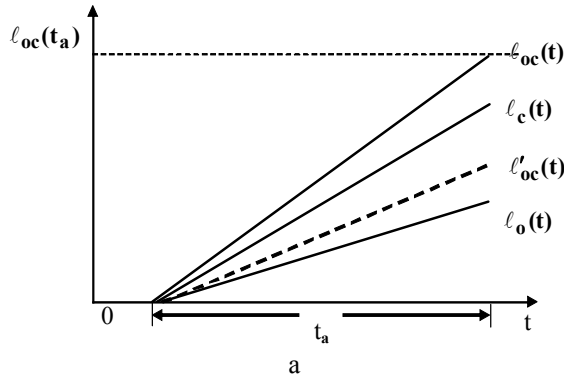


Рис. 1. Оценки значений $l_{oc}(t_a)$ при изменении периодичности глобальной реконфигурации

Поток восстановлений переводит подверженные сбоям ПМ в исправное состояние. Использование глобальной реконфигурации на временных интервалах (t_{H_i}, t_{0_i}) позволяет возвращать восстановившиеся ПМ в множества $V_u(t_{H_i})$ и $V_p(t_{H_i})$ [7]. Воздействие потоков сбоев и восстановлений ПМ МСП опишем схемой гибели – размножения, приведенной на рис. 2.

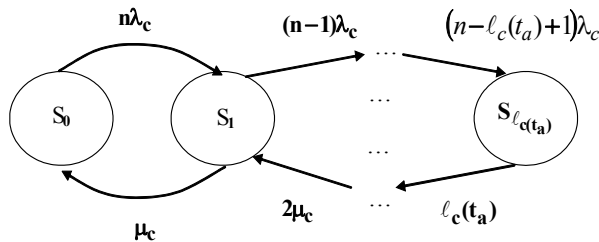


Рис. 2. Граф-схема воздействия на МСП потока сбоев и восстановлений

На схеме рис. 2 использованы следующие обозначения: $n = |V(t_{H_i}) \setminus V_o(t_{H_i})|$ – число исправных ПМ перед активным временным интервалом; S_i – состояние МСП, в котором i ПМ подвержены сбоям.

Определим вероятности p_i нахождения МСП в состояниях S_i , $i = \overline{0, l_c(t_a)}$.

$$p_i = \frac{l_s(t_a)! p^i}{(l_c(t_a) - i)! i!} p_0, \quad i = \overline{1, l_c(t_a)}, \quad p = \lambda_c / \mu_c,$$

где $p_0 = \left[1 + \sum_{i=1}^{l_c(t_a)} \frac{l_c(t)! p^i}{(n-i)! i!} \right]^{-1}$ – вероятность нахождения МСП в состоянии S_0 .

Среднее число $l_{cc}(t_a)$ модулей, находящихся в состоянии сбоя, оценим математическим ожиданием (3)

$$l_{cc}(t_a) = \sum_{i=0}^{l_c(t_a)} p_i i = \sum_{i=0}^{l_c(t_a)} \frac{l_c(t_a)! p^i}{(l_c(t_a) - i)! (i-1)!} p_i = \sum_{i=0}^{l_c(t_a)} \frac{l_c(t_a)! p^i}{(l_c(t_a) - i)! (i-1)!} \left[1 + \sum_{i=1}^{l_c(t_a)} \frac{l_c(t_a)! p^i}{(l_c(t_a) - i)! i!} \right]^{-1} \quad (3)$$

Тогда среднее число $l'_{oc}(t_a)$ ПМ, находящихся к концу активного интервала (t_{H_i}, t_{0_i}) в состояниях отказа, определится выражением (4)

$$l'_{oc}(t_a) = l_o(t_a) + l_{cc}(t_a) = \sum_{i=0}^{V \setminus V_o(t_{H_i})} i \frac{(\lambda_o t_a)^i}{i!} e^{-\lambda_o t_a} + \sum_{i=0}^{l_c(t_a)} \frac{l_c(t_a)! p^i}{(l_c(t_a) - i)! (i-1)!} \left[1 + \sum_{i=1}^{l_c(t_a)} \frac{l_c(t_a)! p^i}{(l_c(t_a) - i)! i!} \right]^{-1} \quad (4)$$

Осуществление глобальной реконфигурации [7] в момент времени $t, t \in (t_{H_i}, t_{0_i})$ позволяет наряду с заменой отказавших ПМ резервными назначить в множестве $V_u(t_{H_i})$ и $V_p(t_{H_i})$ восстановившиеся после сбоев ПМ, число которых оценивается как

$$\Delta l(t) = l_c(t) - l_{cc}(t_a).$$

На рис. 1, б приведены графики изменения значений $l_o(t)$, $l_{oc}(t)$, $l'_{oc}(t)$ при однократном применении глобальной реконфигурации в момент времени $\frac{t_a}{2}$.

Следовательно, среднее число ПМ, подверженных отказам и сбоям, к концу интервала (t_{H_i}, t_{0_i}) уменьшится до величины $l^1_{oc}(t_a)$:

$$\ell_{oc}^{(1)}(t_a) = \ell_o(t_a) + \ell_c \left(\frac{t_a}{2} \right) \cong \ell_o(t_a) + \frac{\ell_c(t_a)}{2}.$$

При J -кратном использовании ГР на протяжении интервала $(t_{H_i}, t_{0_i}), i = 0, 1, 2, \dots$ значение $\ell_{oc}(t_a)$ определится выражением (5):

$$\ell_{oc}^{(J)}(t_a) = \ell_o(t_a) + \frac{\ell_c(t_a)}{J}. \quad (5)$$

Оценки значений $\ell_o(t_a)$, $\ell_{oc}(t_a)$ и $\ell_{oc}^{(J)}(t_a)$ для МСП $10^2 * 10^2$ при $t_a = 1$ ч, $\lambda_0 = 10^{-4} \frac{1}{ч}$; $\lambda_c = 10^{-2} \frac{1}{ч}$; $\mu_c = 10 \frac{1}{ч}$ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Оценки значений $\ell_o(t_a)$, $\ell_{oc}(t_a)$,

J	0	1	2	3	4	5
$\ell_o(t_a)$	2	2	2	2	2	2
$\ell_{oc}(t_a)$	96	96	96	96	96	96
$\ell_{oc}^{(J)}(t_a)$	98	50	38	26	19	14

Анализ данных таблице показывает, что уже однократное использование глобальной реконфигурации позволяет вернуть в множество $V \setminus V_0(t_{H_i})$ до 50% подверженных сбоям ПМ и, следовательно, существенно уменьшить требования к мощности множества $V_p(t_{H_i})$ и качеству размещения резервных ПМ.

Выводы

Полученные результаты (3-5) позволяют предложить усовершенствованный алгоритм реконфигурации МСП на активных интервалах применения:

- осуществление оперативного контроля функционирования ПМ $V_{ij}; V_{ij} \in V \setminus V_0(t_{H_i})$;

- осуществление локальной реконфигурации МСП при необходимости замены отказавшего (подверженного сбою) ПМ V_{ik} исправным, если множество резервных ПМ $\Gamma_\pi(V_{ik})$, предназначенных для

замены отказавшего ПМ V_{ik} , не пустое. При невозможности такой замены ($\Gamma_\pi(V_{ik}) = \emptyset$) необходимо осуществление глобальной реконфигурации;

- возвращение восстановившихся после действия сбоев ПМ в множество $V \setminus V_0(t_{H_i})$ в моменты времени $t = \frac{t_a}{J+1}$ путем проведения глобальной реконфигурации.

Применение такого алгоритма позволит уменьшать требования к мощности множества $V_p(t_{H_i})$, а, следовательно, увеличить мощность множества $V_u(t_{H_i})$ рабочих ПМ и эффективность применения МСП в целом.

Литература

1. Харченко В.С. Методы и алгоритмы реконфигурации систолических матричных систем с фиксированной размерностью и деградацией структуры / В.С. Харченко, В.Г. Литвиненко, В.А. Краснобаев // Кибернетика и системный анализ. - 1992. - № 4. - С. 72-79.

2. Харченко В.С. О реконфигурапригодности цифровых систем / В.С. Харченко, Н.П. Благодарный // Электронное моделирование. - 1998. - № 6. - С. 81-93.

3. Кун С. Матричные процессоры на СБИС: Пер. с англ. / С. Кун. - М.: Мир, 1993. - 672 с.

4. Благодарный М.П. Композиція реконфігурації, динамічного синтезу та реактивації у відказостійких процесорних середовищах реального часу / Н.П. Благодарный // Ракетно-космічна техніка. - 1999. - Вип. 1. - С. 46-48.

5. V.S.Kharchenko A Reconfigurability of Fault-Tolerant Systems: the Measures, Algorithms and Modeling Technique / Kharchenko V.S., Gostishchev V.V., Blagodarny N.P., Melnikov V.A. // Успехи современной радиоэлектроники. - 2002. - №5. - С. 62-72.

6. Благодарный М.П. Назначение рабочих модулей матричных спецпроцессоров реального времени / Н.П. Благодарный, Ю.М. Зигангорова // Системы обработки информации. - X.: ХВУ, 2002. - Вип. 5(21). - С. 298-300.

7. Благодарный Н.П., Модели запасов отказоустойчивости VLSI-архитектур с циклическим режимом функционирования / Н.П. Благодарный, Н.Ф. Сидоренко // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. - 2007. - №8 (27). - С. 78-81.

Поступила в редакцию 22.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заместитель начальника Харьковского университета Воздушных Сил им. И. Кожедуба Ю.В. Стасев, Харьков, Украина.

**ОЦІНКИ КІЛЬКОСТІ ВІДМОВ І ЗБОЇВ ПРОЦЕСОРНИХ МОДУЛІВ
МАТРИЧНИХ СПЕЦПРОЦЕСОРІВ НА АКТИВНИХ
ІНТЕРВАЛАХ ЗАСТОСУВАННЯ**

М.П. Благодарний, Б.В. Остроумов, М.Ф. Сидоренко, Д.С. Троненко

Пропонуються моделі оцінок кількості відмовивши та підвержених збоєм процесорних модулів високоінтегрованих матричних спецпроцесорів (МСП) на активних інтервалах використання за призначенням. Наводиться узагальнена оцінка середньої кількості ПМ, підвержених відмовам та збоєм на кінцевому інтервалі часу. Обґрунтовується доцільність використання глобальної ре конфігурації для повернення після збою процесорних модулів, що відновилися в реконфігураційний простір матричних спецпроцесорів.

Ключові слова: відмовостійкість, резервування, реконфігурація, процесорний модуль, відмова, збій.

**ESTIMATIONS OF NUMBER FAILURE PROCESSORS MODULES
MATRIX PROCESSORS ON ACTIVE
INTERVALS USELESS**

N.P. Blagodarny, B.V. Ostroumov, N.F. Sidorenko, D.S. Tronenko

Models of estimations of number of the processor modules which have given up and subject to failures mostintegrated matrix processors (MMP) on active intervals of application to destination are offered. The generalized estimation of average PM, subject to refusals and failures on a final time interval is resulted. The expediency of use global reconfiguration for return of processor modules restored after failure in reconfigured space matrix processors is proved.

Key words: fault-tolerance, reservation, reconfiguration, the processor module, refusal, failure.

Благодарный Николай Петрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри мехатроники Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского „ХАИ”, Харьков, Украина, e-mail: blag53@mail.ru.

Троненко Денис Сергеевич – аспирант кафедри мехатроники Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского „ХАИ”, Харьков, Украина, e-mail: driverden@mail.ru.

Остроумов Борис Владимирович - канд. техн. наук, начальник отдела НТ СКБ «Полисвит», Харьков, Украина, e-mail: skbpolysvit@ulr.net.

Сидоренко Николай Федорович - канд. техн. наук, доцент, главный инженер НТ СКБ «Полисвит», Харьков, Украина, e-mail: skbpolysvit@ulr.net.