

НАДЕЖНОСТНЫЙ СИНТЕЗ МАТРИЧНЫХ СПЕЦПРОЦЕССОРОВ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

к.т.н. Н.П. Благодарный
(представил д.т.н., проф. В.С. Харченко)

Матричные спецпроцессоры реального времени реализуются на СБИС - архитектурах и используются для обработки сигналов и изображений [1, 2]. Они представляют собой совокупность n^2 процессорных модулей (ПМ) V_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$, регулярно соединенных между собой и параллельно функционирующих при обработке информации. Все ПМ настроены на выполнение одной операции (как правило, операции свертки) над операндами, поступающими на их вертикальные и горизонтальные входы, и выдачу результатов соседним ПМ (либо на выходы МСП) через вертикальные и горизонтальные выходы [1].

Ограниченные надежностные характеристики ПМ (интенсивность λ_0 потока отказов - 10^{-5} 1/ч, интенсивность λ_c потока сбоев - $10^{-3} \div 10^{-4}$ 1/ч), большая размерность МСП ($n = 100 \div 1000$), реальный масштаб времени, с одной стороны, и длительный срок T_0 гарантированного функционирования ($T_0 = 10^4 \div 10^5$ ч), с другой - требуют внедрения в структуру МСП средств, обеспечивающих [4]:

- контроль правильности функционирования ПМ;
- замену отказавших ПМ резервными;
- восстановление искаженной информации.

Использование традиционных методов повышения надежностных характеристик для МСП в высокоинтегральном исполнении ограничено [1, 4]: технологическими особенностями СБИС - архитектур; большой размерностью МСП; реальным масштабом времени функционирования.

Решение проблемы находится на пути размещения ресурсов для организации контроля, перестройки и восстановления функционирования МСП на внутрикристальном уровне. Интерес к этому направлению усиливается фактом введения избыточности в СБИС - архитектуры на этапе производства с целью увеличения выхода годных [1]:

© к.т.н. Н.П. Благодарный, 1998

- введения избыточных связей между ПМ V_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$, для замены отказавших ПМ;

- введения в состав ПМ входных и выходных коммутаторов, средств встроенного контроля.

Реальный масштаб времени при функционировании МСП характеризуется интервалами t_a активного применения ($t_a = t_{i2} - t_{i1}$, $i = 1, 2, \dots$), t_n простоя ($t_n = t_{(i+1)1} - t_{i2}$, $i = 1, 2, \dots$) и Δt_a допустимых временных затрат на операции контроля ПМ, перестройки МСП и восстановления искаженной информации.

Отказ МСП РВ наступает в следующих случаях:

- отказы и сбои ПМ МСП, возникшие на интервале t_a не могут быть устранены за время Δt_a ;

- на интервале t_a не обеспечивается возможность функционирования МСП с уровнем качества $K(t_{i1})$

$$K(t_{i1}) = \frac{|V_u(t_{i1})|}{|V \setminus V_0(t_{i1})|},$$

где $|V_u(t_{i1})|$ - число ПМ МСП, используемых на интервале t_a для обработки информации;

V - множество ПМ, образующих МСП

$$V = V_u(t_{i1}) \cup V_p(t_{i1}) \cup V_0(t_{i1});$$

$V_p(t_{i1})$ - множество резервных ПМ МСП в момент времени t_{i1} ;

$V_0(t_{i1})$ - множество отказавших ПМ МСП в момент времени t_{i1} .

Результатом надежного синтеза, выполняемого перед интервалом t_a , должно быть обеспечение гарантированного функционирования МСП в течение интервала t_a с максимальным значением показателя $K(t_{i1})$ качества. Для этого за время t_n необходимо решить задачу синтеза.

Задача синтеза МСП РВ. Исходя из условий функционирования МСП РВ, заданных параметрами t_a , Δt_a , t_n , $|V_0(t_{i1})|$, определить число $|V_p(t_{i1})|$ резервных ПМ и их отображение Z на множество $V \setminus V_0(t_{i1})$ ПМ, обеспечивающее выполнение условия (1)

$$\mathbf{Z} : \mathbf{V}_p(\mathbf{t}_{i1}) \rightarrow \mathbf{V} \setminus \mathbf{V}_0(\mathbf{t}_{i1}) : \begin{cases} \mathbf{L}(\mathbf{t}_{i2}) \leq \frac{\Delta \mathbf{t}_a}{\tau}, \\ \mathbf{K}(\mathbf{t}_{i1}) \rightarrow \max, \end{cases} \quad (1)$$

где $\tau = \tau_p + \tau_b$ - время реконфигурации (перестройки МСП и восстановление информации при замене отказавшего ПМ);

$\mathbf{L}(\mathbf{t}_{i2})$ - число отказавших ПМ, заменяемых на интервале \mathbf{t}_a активного функционирования МСП,

$$\mathbf{L}(\mathbf{t}_{i2}) = \mathbf{F}_L(\lambda_0, \lambda_c, |\mathbf{V}_u(\mathbf{t}_{i1})|, |\mathbf{V}_p(\mathbf{t}_{i1})|, \mathbf{Z}, \mathbf{t}_a).$$

Значение τ определяется с учетом длительностей централизованной ($\tau_{ц}$) и децентрализованной ($\tau_{дц}$) реконфигурации и значений их условных вероятностей $\pi_{ц}$ и $\pi_{дц}$ ($\pi_{ц} + \pi_{дц} = 1$)

$$\tau = \pi_{ц}\tau_{ц} + \pi_{дц}\tau_{дц}.$$

Интегральной характеристикой отображения \mathbf{Z} является эффективная размеренность $\mathbf{W}(\mathbf{t})$ реконфигурационного пространства ПМ \mathbf{V}_{ij} , $\mathbf{V}_{ij} \in \mathbf{V}_u(\mathbf{t})$,

$$\mathbf{W}(\mathbf{t}) = \frac{\sum_{\mathbf{V}_{ij} \in \mathbf{V}_u(\mathbf{t}_{i1})} |\Gamma_z^1(\mathbf{V}_{ij})|}{|\mathbf{V}_u(\mathbf{t})|},$$

где $\Gamma_z^1(\mathbf{V}_{ij}) = \Gamma^1(\mathbf{V}_{ij}) \cap \mathbf{V}_p(\mathbf{t})$ - множество ПМ, которые могут быть децентрализованно использованы для замены ПМ \mathbf{V}_{ij} .

Значение $\mathbf{W}(\mathbf{t}_{i1})$ зависит от мощности множества $\mathbf{V}_p(\mathbf{t}_{i1})$, отображения \mathbf{Z}_1 на множество $\mathbf{V} \setminus \mathbf{V}_0(\mathbf{t}_{i1})$ и оказывает влияние на значения вероятностей $\pi_{ц}$, $\pi_{дц}$ и τ в целом. Например, для отображений \mathbf{Z}_1 , \mathbf{Z}_2 , \mathbf{Z}_3 множества $\mathbf{V}_p(\mathbf{t}_{i1})$, $|\mathbf{V}_p(\mathbf{t}_{i1})| = 5$, на множество ПМ \mathbf{V} , $|\mathbf{V}| = 9$, при $\Gamma^1(\mathbf{V}_{ij}) = 3$, приведенных на рис.1, имеют место следующие значения $\mathbf{W}(\mathbf{t})$ и τ :

$$\begin{aligned} \mathbf{W}_1(\mathbf{t}_{i1}) &= 1, \tau_1 = 5,5\tau, \\ \mathbf{W}_2(\mathbf{t}_{i1}) &= 2,3, \tau_2 = 4,1\tau, \\ \mathbf{W}_3(\mathbf{t}_{i1}) &= 3, \tau_3 = 3,2\tau. \end{aligned}$$

Известные методы реконфигурации МСП (замены, простого захвата, упреждающего захвата) [1, 2] основаны на использовании отображения Z_1 и, как видно из примера, имеют ограниченные возможности при надежном синтезе МСП РВ. Поиск отображения Z , максимизирующего значение $W(t_{i1})$ осуществляется путем построения максимального паросочетания двудольного графа $G(V_1, V_2)$, где $V_1 = V_p(t_{i1})$, $V_2 = V_u(t_{i1})$, требующего больших временных затрат t , $t = O(n^4) \gg t_n$ [3]. При наличии аппроксимации значения $W(t)$, $W(t) = F_w(t_n, |V_p(t)|, |V|)$, возможно графическое решение задачи надежного синтеза, приведенное на рис.2, где использованы следующие модели:

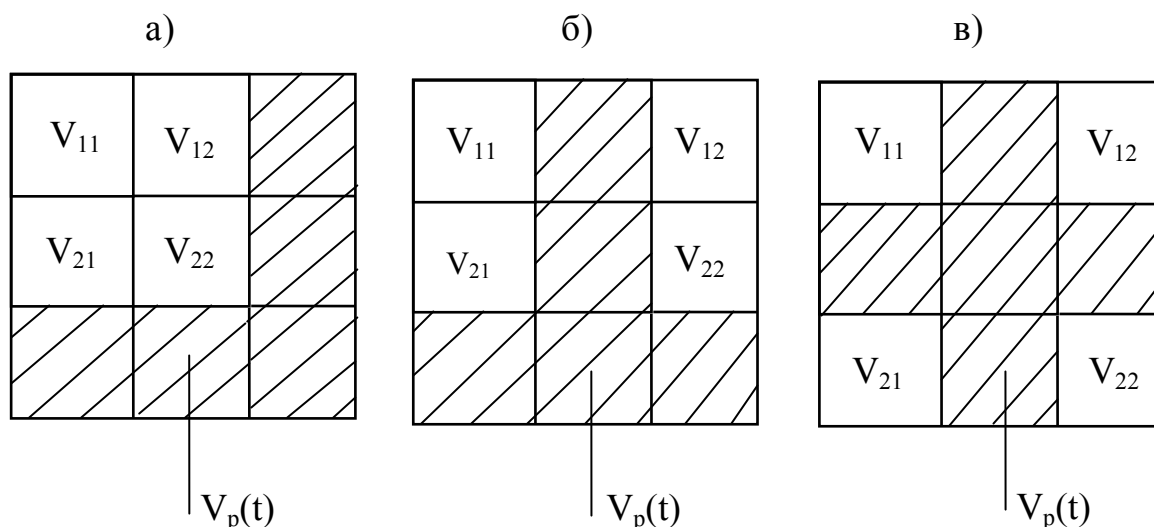


Рисунок 1 - Варианты отображения V_{ij} , $V_{ij} \in V_p(t)$, на множество V

$\tau_1 = F_{\tau_1}(W(t), |V|)$ - среднее время, затрачиваемое при замене отказавшего ПМ резервным;

$K(t_{i1}) = F_k(|V_u(t_{i1})|, |V_p(t_{i1})|, |V|)$ - уровень качества функционирования ПМ на интервале t_a ;

$L(t_{i2}) = F_L(t_a, \lambda_0, \lambda_c, V \setminus 0(t_{i1}))$ - число отказавших ПМ на интервале t_a ;

$\tau_2 = F_{\tau_2}(L(t_{i2}), \Delta t_a)$ - ожидаемое время на замену отказавшего ПМ.

Надежный синтез МСП РВ, поиск отображения Z , удовлетворяющего условию (1), сводится к работе с монограммами (рис.2) в следующей последовательности.

1. Задавая исходные данные t_n , $|V_p(t_{i1})|$, $|V_u(t_{i1})|$, $|V|$ по рис.2а определяем значения $K(t_{i2})$, $W(t_{i1})$, τ_1' .

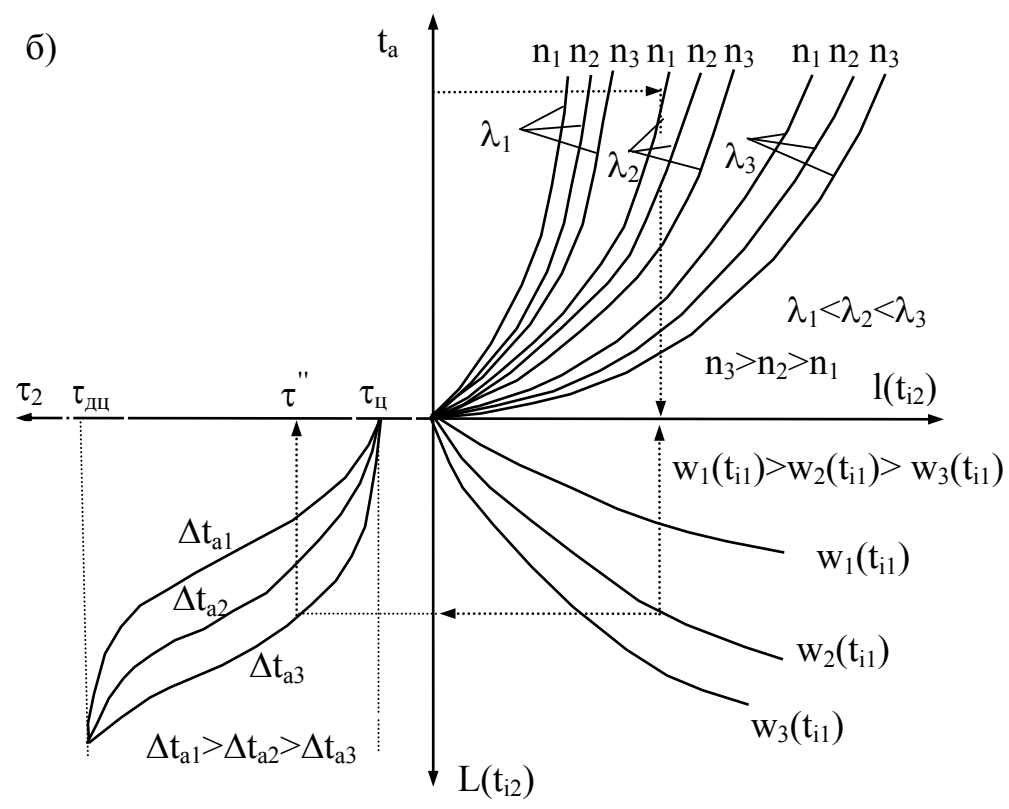
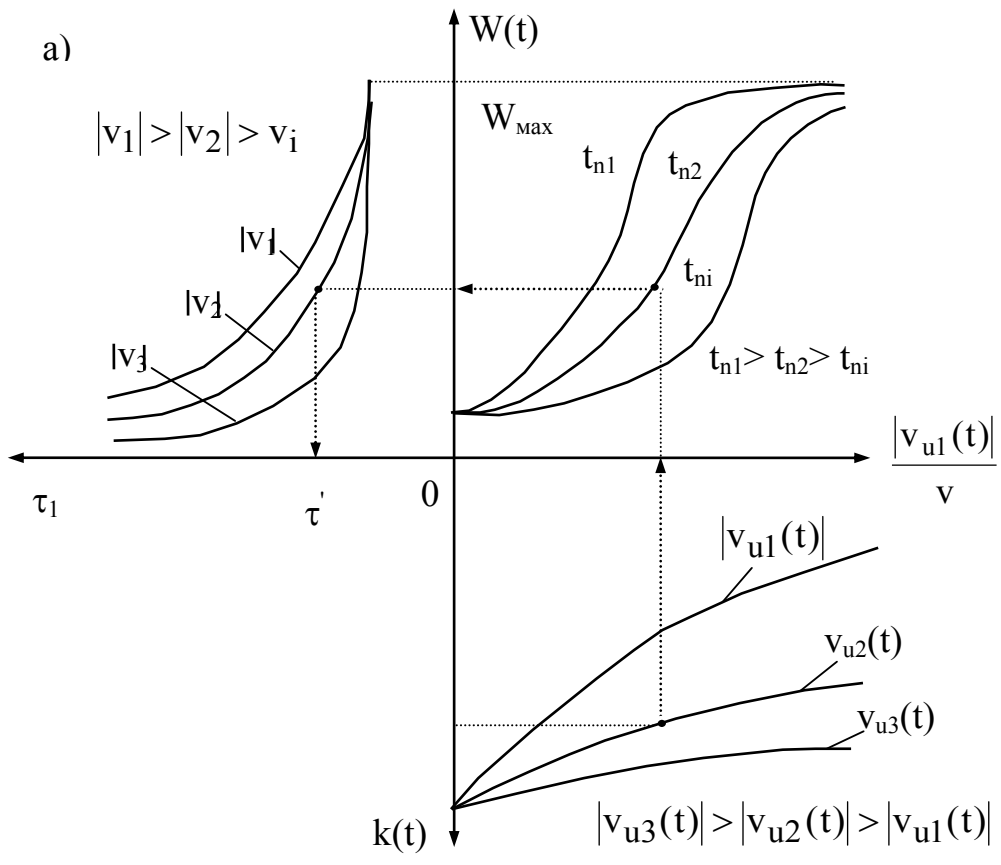


Рисунок 2 - Номограмма для определения $|\mathbf{V}_p(t_{i1})|$

2. Задавая исходные данные Δt_a , t_a , λ_0 , λ_c , $|V_u(t_{i1})|$, $|V_p(t_{i1})|$, $|V_0(t_{i1})|$, по рис. 2б определяем значение τ_2' .

3. Если $\tau_2' < \tau_1^1$, то $|V_p(t_{i1})| := |V_p(t_{i1})| - 1$, $|V_u(t_{i1})| := |V_u(t_{i1})| + 1$, переход к п. 1.

4. Если $\tau_1^1 > \tau_2'$, то $|V_p(t_{i1})| := |V_p(t_{i1})| + 1$, $|V_u(t_{i1})| := |V_u(t_{i1})| - 1$, переход к п. 1.

5. Если $\tau_1^1 = \tau_2'$, то решение найдено.

Направлением совершенствования надежностного синтеза МСП РВ является поиск высокоскоростных методов поиска отображения Z_i , обеспечивающих максимизацию значения $W(t_{i1})$ за ограниченный временной интервал $\Delta t \leq t_n$ и позволяющих достигнуть требуемого значения $K(t_{i2})$ при существенно меньшем уровне вводимой избыточности $|V_p(t_{i1})|$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авиженис А. Отказоустойчивость - свойство, обеспечивающее постоянную работоспособность цифровых систем //ТИИЭР. - 1987. - т. 66, № 10. - С. 5 - 25.

2. С. Кун. Матричные процессоры на СБИС. - М.: Мир, 1991.-672с.

3. Харченко В.С., Благодарный Н.П. Использование частично работоспособных модулей при реконфигурации цифровых систем//Управление и связь. Сб. научн. тр. - Харьков.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1997. - С. 108 - 111.

4. Ю.К. Димитриев. Самодиагностика модульных систем.- Н - ск: Наука, 1993.- 376 с.