

3. Postanovka zadachi rascheta deformacionnoj povrezhdaemosti metallov i splavov / G.M. Zhuravlev, A.E. Gvozdev, N.N. Sergeev, V.I. Zolotuhin, D.A. Provotorov // Proizvodstvo prokata. – 2015. – №10. – S 18-26.

4. Zhuravlev G.M., Dao Tien Toj Ispytanie materiala na szhatie pri povyshennyh temperaturah // Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki. – 2010. – Vyp. 2. – Ch. 1. – S. 66-72.

5. Multiparametric optimization of laser cutting of steel sheets / A.E. Gvozdev, I.V.

Golyshev, I.V. Minayev, A.N. Sergeyev, N.N. Sergeyev, I.V. Tikhonova, D.M. Khonelidze, A.G. Kolmakov // Inorganic Materials: Applied Research. – 2015. – T. 6. – № 4. – P. 305-310.

6. Bystrorezhushhaja stal', dispergirovannaja v kerosine / E.V. Ageev, E.V. Ageeva, E.A. Vorob'ev, M.A. Zubarev // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2014. – № 5 (56). – S. 21-26.

УДК 004.272.3+004.052.2

Мое Мин Вин, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: moe.min.2014@mail.ru)

Тейн Тун Ньюнт, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: htunnyunt@mail.ru)

И. В. Зотов, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: zotovigor@yandex.ru)

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО МУЛЬТИПЛЕКСНОГО МЕЖМОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЯ В МАТРИЧНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ МУЛЬТИКОНТРОЛЛЕРАХ

Отмечено, что одной из ключевых проблем создания логических мультиконтроллеров является обеспечение их устойчивости к отказам. Рассмотрена задача организации оперативного встроенного аппаратного контроля матричных мультиконтроллеров с целью выявления отказов. Изложен новый подход к реализации контроля на основе комбинации самоконтроля и взаимоконтроля, выполняемого в мультиплексном режиме, позволяющий повысить достоверность выявления отказов. Определены формальные правила формирования множеств контролирующих и контролируемых соседей каждого модуля, инвариантные к расположению модуля в пределах топологической структуры мультиконтроллера и к ее размерности. Показано, что в отличие от механизма взаимоконтроля, одно и то же множество контролирующих соседей попеременно используется для проверки двух модулей, в мультиплексном режиме, а результат контроля модуля формируется путем применения мажоритарной операции к признакам, полученным всеми контролирующими соседями, а также самим контролируемым модулем в ходе его самоконтроля. Приведены формулы для определения числа контролирующих соседей у каждого модуля в зависимости от размерности мультиконтроллера. Предложена структурная организация модуля двумерного матричного мультиконтроллера, оборудованного средствами комбинированного мультиплексного межмодульного контроля. Описана конфигурация входов и выходов модуля с указанием способа соединения модулей мультиконтроллера, необходимая для реализации предложенного подхода к организации контроля в двумерных мультиконтроллерах. Выполнен анализ функционирования модуля двумерного мультиконтроллера при реализации процедуры распределенного контроля во взаимодействии с контролирующими и контролируемыми соседями. Показано, какие дополнительные входы и выходы необходимы для осуществления контролируемых процедур в мультиконтроллерах более высокой размерности.

Ключевые слова: матричные логические мультиконтроллеры, надежность, отказоустойчивость, аппаратный контроль, комбинированный мультиплексный межмодульный контроль, мажоритарная операция.

Логические мультиконтроллеры (ЛМК) – встраиваемые параллельные системы логического управления, способные решать задачи управления сложными объектами и процессами, как дискретного, так и непрерывного характера [1]. Одной из ключевых задач создания и эксплуатации ЛМК является задача обеспечения их отказоустойчивости, которая приобретает особую остроту в тех случаях, когда непрерывная корректная работа объекта управления имеет критическое значение. В современных ЛМК решение этой задачи достигается либо введением режима деградации производительности, при котором дефектные (отказавшие) модули исключаются из структуры мультиконтроллера, либо использованием режима живучести, при котором дефектные (отказавшие) модули оперативно заменяются резервными. В обоих режимах происходит автоматическое перераспределение выполняемых программ управления на множестве работоспособных модулей, и мультиконтроллер продолжает функционировать согласно исходному алгоритму с последней пройденной контрольной точки [2].

Оба режима обеспечения отказоустойчивости ЛМК предполагают наличие оперативных данных о распределении отказов в структуре мультиконтроллера. Для получения таких данных используются методы аппаратного самоконтроля [3-6], а также межмодульный аппаратный взаимоконтроль [7-9]. Аппаратный самоконтроль более прост в реализации, однако часто не обеспечивает достаточную достоверность определения отказов из-за ограничений алгоритма самоконтроля и ненадежности контролируемых аппаратных средств. При межмодульном взаимоконтроле каждый мо-

дуль ЛМК одновременно проверяется несколькими соседними модулями в структуре мультиконтроллера и решение о его отказе выносится методом «голосования» с использованием мажоритарной операции. Это позволяет уменьшить зависимость результата контроля от ненадежности контролируемых аппаратных средств, тем самым повышая достоверность выявления отказов.

В данной статье предлагается новый метод организации оперативного аппаратного контроля логических мультиконтроллеров, сочетающий свойства межмодульного взаимоконтроля и традиционного механизма самоконтроля. Метод обеспечивает дальнейшее повышение достоверности выявления отказов в ЛМК по сравнению с межмодульным взаимоконтролем при относительно небольшом увеличении структурной избыточности контролируемых средств.

Идея комбинированного мультиплексного межмодульного контроля мультиконтроллеров

Комбинированный мультиплексный межмодульный контроль является развитием механизма распределенного взаимоконтроля, описанного в работах [5-7]. Его сущность заключается в схемном контроле каждого модуля (контроллера) несколькими его соседями (далее – контролируемые соседи) в топологической структуре мультиконтроллера в комбинации с самоконтролем. Предполагается, что самоконтроль модуля и его контроль со стороны соседей выполняются по одному и тому же алгоритму. В отличие от механизма взаимоконтроля, одно и то же множество контролируемых соседей попеременно используется для проверки двух модулей в мультиплексном режиме.

Результат контроля модуля формируется путем применения мажоритарной операции к значениям (признакам), полученным всеми контролирующими соседями, а также самим контролируемым модулем в ходе его самоконтроля. При такой организации контроля каждый модуль одновременно проверяет себя и нескольких своих соседей (непосредственных или косвенных). С другой стороны, каждый модуль контролируется сразу несколькими соседними модулями и самим собой. Процесс контроля модулей протекает параллельно во времени, при этом сигнал о переходе модуля в неработоспособное состояние одновременно передается всем его непосредственным соседям, что позволяет оперативно ввести запрет на передачу данных через отказавший модуль.

Основным преимуществом комбинированного мультиплексного контроля перед взаимоконтролем является более высокая достоверность контроля, обусловленная увеличением числа контролирующих соседей у каждого модуля. Аналогично взаимоконтролю, комбинированный мультиплексный контроль обеспечивает сохранение конструктивной однородности, распределенности и децентрализованности ЛМК, а, следовательно, и масштабируемости мультиконтроллера при добавлении новых модулей. Он также позволяет косвенно проверять работоспособность самих схем контроля, а также исключает необходимость обмена признаками состояния контролируемых модулей через коммуникационную среду,

что положительно сказывается на ее пропускной способности.

Правила определения множеств контролирующих и контролируемых соседей

Ключевой задачей организации комбинированного мультиплексного межмодульного контроля в ЛМК является назначение для каждого модуля множеств контролирующих и контролируемых соседей.

Первоначально определим правила формирования указанных множеств для случая двумерной матричной топологии.

Пусть $U = \{u_{xy}\}$ – множество модулей мультиконтроллера, где x и y – координаты (индексы) модуля в матрице соответственно по горизонтали и вертикали, отсчитываемые от ее левого нижнего угла, $x = \overline{0, n-1}$, $y = \overline{0, m-1}$, m и n – число строк и столбцов матрицы, соответственно (рис. 1).

Тогда множество контролирующих соседей K_{xy} произвольного модуля u_{xy} , $x \in \{0, 1, \dots, n-1\}$, $y \in \{0, 1, \dots, m-1\}$, будет определяться согласно следующему правилу:

$$K_{xy} = \left\{ \begin{array}{l} u_{x, (y+2) \bmod m}, u_{(x+1) \bmod n, (y+1) \bmod m}, \\ u_{(x+2) \bmod n, y}, \\ u_{x + ((1 - \text{sign}(x)) + (1 - \text{sign}(x-1)))n-2, y}, \\ u_{x + (1 - \text{sign}(x))n-1, y + (1 - \text{sign}(y))m-1}, \\ u_{x, y + ((1 - \text{sign}(y)) + (1 - \text{sign}(y-1)))m-2} \end{array} \right\}. \quad (1)$$

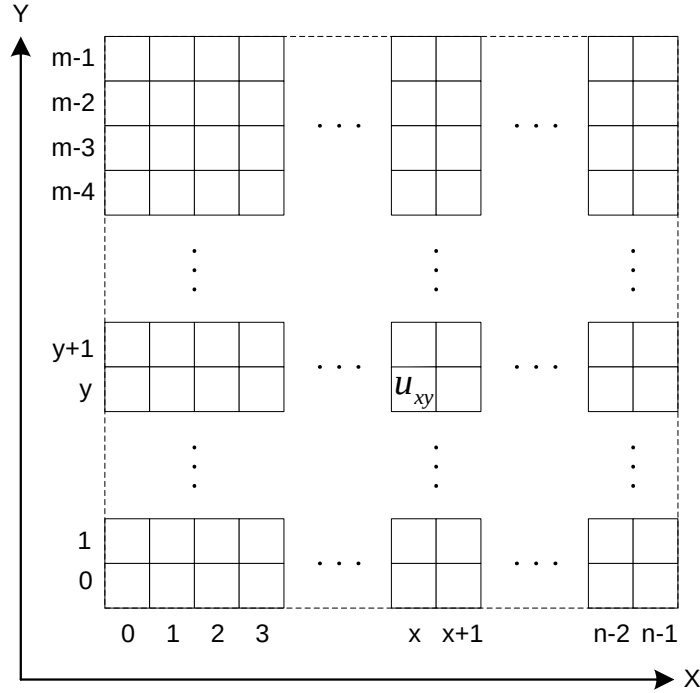


Рис.1. Структурная модель двумерного матричного мультиконтроллера

Учитывая, что модуль u_{xy} осуществляет самоконтроль, полное множество модулей, проверяющих u_{xy} , будет определяться в виде

$$K'_{xy} = K_{xy} \cup \{u_{xy}\}. \quad (2)$$

Рисунок 2 иллюстрирует правило (1) формирования множества K_{xy} для различных случаев расположения контролируемого модуля u_{xy} в матрице мультиконтроллера. На этом рисунке контролируемые соседи выделены серым фоном, пунктиром показаны отсутствующие контролируемые соседи, которые заменяются соответствующими модулями с противоположных сторон матрицы (стрелки показывают варианты такой замены). Из приведенных иллюстраций видно, что предлагаемый подход применим в тех случаях, когда $m \geq 5$ и $n \geq 5$.

Множество модулей C_{xy} , контролируемых модулем u_{xy} , $x \in \{0, 1, \dots, n-1\}$, $y \in \{0, 1, \dots, m-1\}$, формально совпадает с множеством K_{xy} . Однако оно включает два подмножества модулей, C_{xy}^1 и C_{xy}^2 , проверка которых производится в разные моменты времени одними и теми же контролирующими средствами (в мультиплексном режиме):

$$C_{xy}^1 = \{u_{x, (y+2) \bmod m}, u_{(x+1) \bmod n, (y+1) \bmod m}, u_{(x+2) \bmod n, y}\}, \quad (3)$$

$$C_{xy}^2 = \left\{ \begin{array}{l} u_{x + ((1 - \text{sign}(x)) + (1 - \text{sign}(x-1)))n-2, y}, \\ u_{x + (1 - \text{sign}(x))n-1, y + (1 - \text{sign}(y))m-1}, \\ u_{x, y + ((1 - \text{sign}(y)) + (1 - \text{sign}(y-1)))m-2} \end{array} \right\}. \quad (4)$$

Временной интервал проверки модулей множества C_{xy}^1 условно именуется

фазой 1, модули множества C_{xy}^2 контролируются в фазе 2.

Между модулями множеств C_{xy}^1 и C_{xy}^2 устанавливается взаимно-однозначное соответствие:

$$\Phi_{xy} = \begin{bmatrix} u_{x,(y+2) \bmod m} \leftrightarrow u_{x+((1-\text{sign}(x))+ (1-\text{sign}(x-1)))n-2,y} \\ u_{(x+1) \bmod n,(y+1) \bmod m} \leftrightarrow u_{x+(1-\text{sign}(x))n-1,y+(1-\text{sign}(y))m-1} \\ u_{(x+2) \bmod n,y} \leftrightarrow u_{x,y+((1-\text{sign}(y))+ (1-\text{sign}(y-1)))m-2} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Соответствие (5) определяет, какие из контролируемых соседей проверяются одним и тем же блоком контроля модуля u_{xy} (в мультиплексном режиме). Правило формирования множества C_{xy} с учетом его разбиения на подмножества иллюстрируется рисунком 3. Здесь черными точками условно отображены блоки контроля модуля u_{xy} , пунктирные стрелки от

которых показывают, какие из соседей проверяются этими блоками. Цифры рядом с пунктирными стрелками отображают номера фаз контроля соседей.

Сформулированные выше правила (1), (3), (4), (5) легко обобщаются на матричные топологии более высокой размерности.

Например, для трехмерной матрицы они будут иметь следующий вид:

$$K_{xyz} = \left\{ \begin{array}{l} u_{(x+2) \bmod n,y,z}, u_{x,(y+2) \bmod m,z}, u_{x,y,(z+2) \bmod p}, \\ u_{(x+1) \bmod n,(y+1) \bmod m,z}, u_{(x+1) \bmod n,y,(z+1) \bmod p}, \\ u_{x,(y+1) \bmod m,(z+1) \bmod p}, u_{(x+1) \bmod n,(y+1) \bmod m,(z+1) \bmod p}, \\ u_{x+((1-\text{sign}(x))+ (1-\text{sign}(x-1)))n-2,y,z}, u_{x,y+((1-\text{sign}(y))+ (1-\text{sign}(y-1)))m-2,z}, \\ u_{x,y,z+((1-\text{sign}(z))+ (1-\text{sign}(z-1)))p-2}, u_{x+(1-\text{sign}(x))n-1,y+(1-\text{sign}(y))m-1,z}, \\ u_{x+(1-\text{sign}(x))n-1,y,z+(1-\text{sign}(z))p-1}, u_{x,y+(1-\text{sign}(y))m-1,z+(1-\text{sign}(z))p-1}, \\ u_{x+(1-\text{sign}(x))n-1,y+(1-\text{sign}(y))m-1,z+(1-\text{sign}(z))p-1} \end{array} \right\}, \quad (6)$$

$$C_{xyz}^1 = \left\{ \begin{array}{l} u_{(x+2) \bmod n,y,z}, u_{x,(y+2) \bmod m,z}, u_{x,y,(z+2) \bmod p}, \\ u_{(x+1) \bmod n,(y+1) \bmod m,z}, u_{(x+1) \bmod n,y,(z+1) \bmod p}, \\ u_{x,(y+1) \bmod m,(z+1) \bmod p}, u_{(x+1) \bmod n,(y+1) \bmod m,(z+1) \bmod p} \end{array} \right\}, \quad (7)$$

$$C_{xyz}^2 = \left\{ \begin{array}{l} u_{x+((1-\text{sign}(x))+ (1-\text{sign}(x-1)))n-2,y,z}, u_{x,y+((1-\text{sign}(y))+ (1-\text{sign}(y-1)))m-2,z}, \\ u_{x,y,z+((1-\text{sign}(z))+ (1-\text{sign}(z-1)))p-2}, u_{x+(1-\text{sign}(x))n-1,y+(1-\text{sign}(y))m-1,z}, \\ u_{x+(1-\text{sign}(x))n-1,y,z+(1-\text{sign}(z))p-1}, u_{x,y+(1-\text{sign}(y))m-1,z+(1-\text{sign}(z))p-1}, \\ u_{x+(1-\text{sign}(x))n-1,y+(1-\text{sign}(y))m-1,z+(1-\text{sign}(z))p-1} \end{array} \right\}, \quad (8)$$

$$\Phi_{xyz} = \left[\begin{array}{l} u_{(x+2) \bmod n, y, z} \leftrightarrow u_{x, y + ((1 - \text{sign}(y)) + (1 - \text{sign}(y-1)))m-2, z} \\ u_{x, (y+2) \bmod m, z} \leftrightarrow u_{x, y, z + ((1 - \text{sign}(z)) + (1 - \text{sign}(z-1)))p-2} \\ u_{x, y, (z+2) \bmod p} \leftrightarrow u_{x + ((1 - \text{sign}(x)) + (1 - \text{sign}(x-1)))n-2, y, z} \\ u_{(x+1) \bmod n, (y+1) \bmod m, z} \leftrightarrow u_{x + (1 - \text{sign}(x))n-1, y + (1 - \text{sign}(y))m-1, z} \\ u_{(x+1) \bmod n, y, (z+1) \bmod p} \leftrightarrow u_{x + (1 - \text{sign}(x))n-1, y, z + (1 - \text{sign}(z))p-1} \\ u_{x, (y+1) \bmod m, (z+1) \bmod p} \leftrightarrow u_{x, y + (1 - \text{sign}(y))m-1, z + (1 - \text{sign}(z))p-1} \\ u_{(x+1) \bmod n, (y+1) \bmod m, (z+1) \bmod p} \leftrightarrow u_{x + (1 - \text{sign}(x))n-1, y + (1 - \text{sign}(y))m-1, z + (1 - \text{sign}(z))p-1} \end{array} \right], \quad (9)$$

где n, m, p – размерность матрицы в измерениях X, Y и Z соответственно.

Аналогичным образом можно записать выражения для формирования множеств контролирующих и контролируемых соседей в d -мерной матрице $K_{x_1 x_2 \dots x_d}$, $C_{x_1 x_2 \dots x_d}^1$, $C_{x_1 x_2 \dots x_d}^2$, а также установить соответствие $\Phi_{x_1 x_2 \dots x_d}$.

Несложно показать, что

$$|K_{x_1 x_2 \dots x_d}| = 2[d(d-1) + 1], \quad (10)$$

$$|K'_{x_1 x_2 \dots x_d}| = |K_{x_1 x_2 \dots x_d}| + 1 = 2d(d-1) + 3. \quad (11)$$

Таким образом, число контролирующих модулей у каждого контроллера (с учетом его самого) будет нечетным, что позволяет формировать результирующий сигнал об отказе мажоритарной операции над сигналами от всех контролирующих модулей независимо от размерности матрицы.

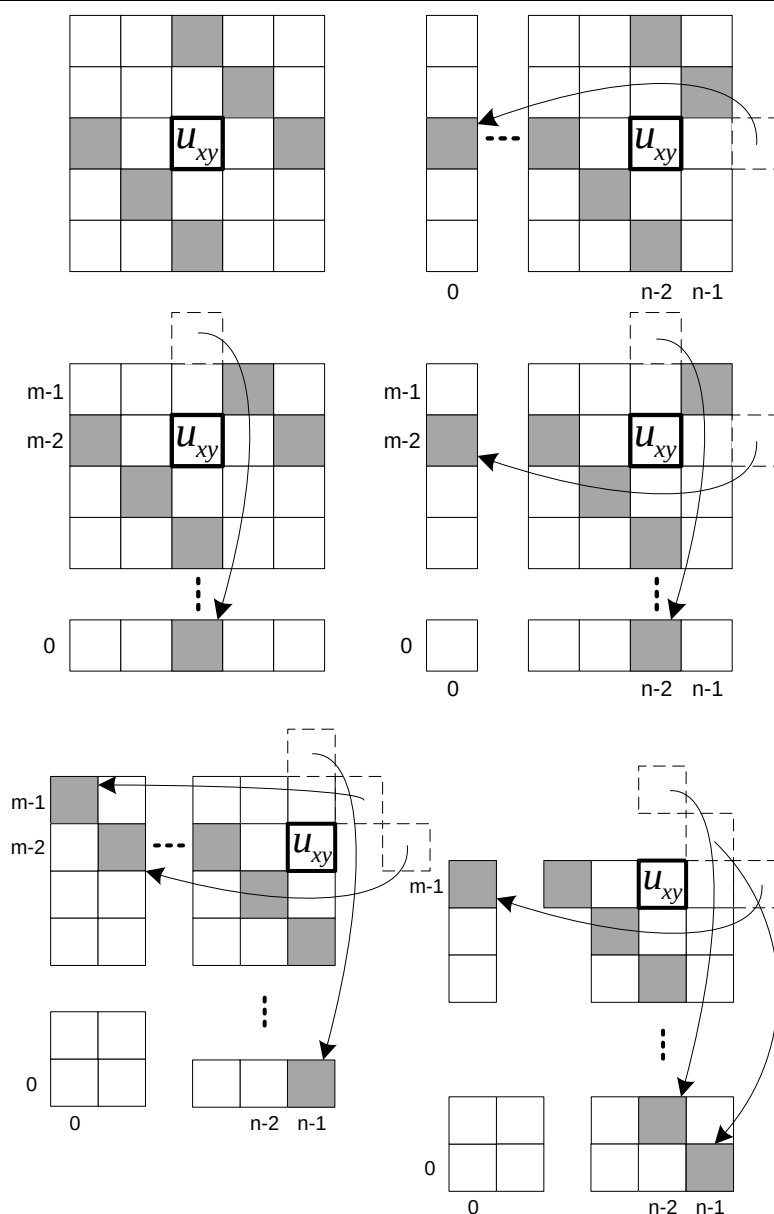


Рис.2. Иллюстрация правила формирования множества контролирующих соседей K_{xy} в двумерной матрице

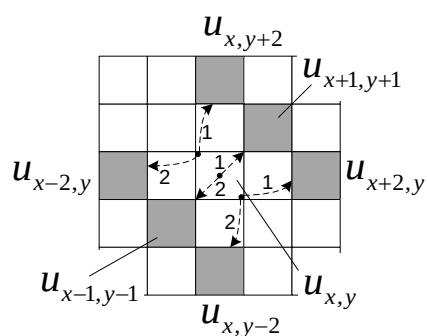


Рис.3. Иллюстрация правила формирования множества контролируемых соседей C_{xy} в двумерной матрице

Заметим, что по сравнению с механизмом взаимоконтроля число контролирующих соседей у каждого модуля увеличивается в 2 раза, что способствует повышению достоверности контроля. Так, в двумерной матрице $|K'_{xy}| = 7$, в трехмерной матрице $|K'_{xyz}| = 15$ и т.д.

Структурная организация средств комбинированного мультиплексного контроля

Структура аппаратных средств комбинированного мультиплексного межмодульного контроля определяется на основе правил (1), (3)-(9). Учитывая однородность мультиконтроллера, структура средств контроля в составе всех модулей будет одинаковой.

На рис.4 представлена структурная организация модуля u_{xy} двумерного матричного ЛМК, оборудованного средствами комбинированного мультиплексного межмодульного контроля (межмодульные связи, необходимые для реализации контроля, помечены обозначениями тех модулей, к которым они подключаются).

В приведенной структуре имеется 3 идентичных блока контроля, каждый из которых включает блок контроля соседа (БКС), мультиплексор МХ, демультимплексор ДХ и триггер фазы (ТФ). Каждый из этих блоков обеспечивает контроль пары соседей, определяемой соответствием (5), в мультиплексном режиме. Так, первый блок (БКС1, МХ1, ДХ1, ТФ1) контролирует модули $u_{x,(y+2) \bmod m}$ и $u_{x+((1-\text{sign}(x))+ (1-\text{sign}(x-1)))n-2,y}$, второй блок (БКС2, МХ2, ДХ2, ТФ2) проверяет модули $u_{(x+1) \bmod n,(y+1) \bmod m}$ и $u_{x+(1-\text{sign}(x))n-1,y+(1-\text{sign}(y))m-1}$, а третий блок (БКС3, МХ3, ДХ3, ТФ3) – модули $u_{(x+2) \bmod n,y}$ и $u_{x,y+((1-\text{sign}(y))+ (1-\text{sign}(y-1)))m-2}$. Модули $u_{x,(y+2) \bmod m}$, $u_{(x+1) \bmod n,(y+1) \bmod m}$ и $u_{(x+2) \bmod n,y}$ проверяются в первой фазе контроля, модули $u_{x+((1-\text{sign}(x))+ (1-\text{sign}(x-1)))n-2,y}$ и $u_{x+(1-\text{sign}(x))n-1,y+(1-\text{sign}(y))m-1}$ и

$u_{x,y+((1-\text{sign}(y))+ (1-\text{sign}(y-1)))m-2}$ – во второй фазе (см. также рис.3). Коммутация фаз обеспечивается мультиплексорами МХ и демультимплексорами ДХ, при этом номер фазы содержится в счетном триггере ТФ, который переключается по импульсам, выдаваемым генератором тактовых импульсов (ГТИ) ядра модуля.

В результате контроля соседей каждый из БКС формирует признаки работоспособности соседей $\varphi_{x'y'}^{xy}$: $\varphi_{x'y'}^{xy} = 1$, если модуль u_{xy} «считает» соседний модуль $u_{x'y'}$ работоспособным, и $\varphi_{x'y'}^{xy} = 0$ иначе. Такие же признаки формируются и для модуля u_{xy} его контролирующими соседями. В дополнение, модуль u_{xy} периодически осуществляет самоконтроль и генерирует признак собственной работоспособности φ_{xy}^{xy} (для этой цели в ядро модуля вводится блок самоконтроля БСК, реализующий такой же алгоритм проверки, как и БКС). Окончательное решение о работоспособности модуля u_{xy} принимается по значению обобщенного признака φ_{xy} , которое вычисляется мажоритарным вентилем # согласно следующей формуле:

$$\varphi_{xy} = \# \left(\begin{array}{l} \varphi_{xy}^{xy}, \varphi_{xy}^{x,(y+2) \bmod m}, \\ \varphi_{xy}^{(x+1) \bmod n,(y+1) \bmod m}, \\ \varphi_{xy}^{(x+2) \bmod n,y}, \\ \varphi_{xy}^{x+((1-\text{sign}(x))+ (1-\text{sign}(x-1)))n-2,y}, \\ \varphi_{xy}^{x+(1-\text{sign}(x))n-1,y+(1-\text{sign}(y))m-1}, \\ \varphi_{xy}^{x,y+((1-\text{sign}(y))+ (1-\text{sign}(y-1)))m-2} \end{array} \right), \quad (12)$$

где # – символ мажоритарной операции; при $\varphi_{xy} = 1$ модуль u_{xy} рассматривается как работоспособный, а при $\varphi_{xy} = 0$ – как отказавший.

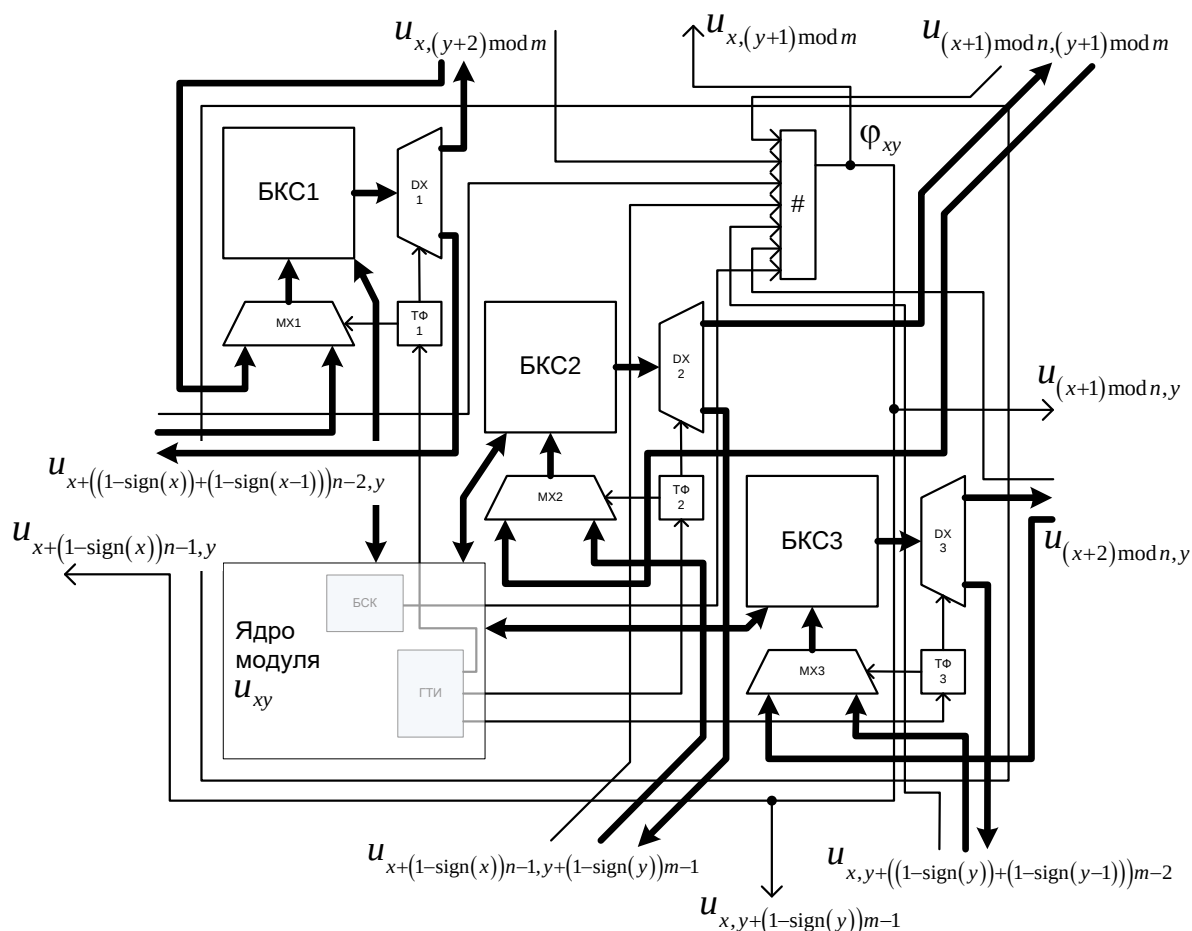


Рис.4. Структурная организация модуля двумерного матричного мультиконтроллера со средствами комбинированного мультиплексного межмодульного контроля

Структурная организация, представленная на рис.4, непосредственно обобщается на мультиконтроллеры более высокой размерности. В общем случае, в каждом модуле $u_{x_1 x_2 \dots x_d}$ d -мерного ЛМК ($d \geq 2$) будет $d(d-1)+1$ параллельно работающих блоков контроля, $|C_{x_1 x_2 \dots x_d}|$ двунаправленных связей для передачи команд контроля контролируемым соседям и получения отклика, $|K_{x_1 x_2 \dots x_d}|$ двунаправленных связей для приема аналогичных команд от контролирующих соседей и передачи им отклика, $|K_{x_1 x_2 \dots x_d}|$ входных связей для приема признаков работоспособности от контролирующих соседей и $2d$ выходных связей для пере-

дачи обобщенного признака работоспособности данного модуля всем непосредственным соседям. Число входов мажоритарного элемента будет определяться формулой (11).

Заключение

Предложенный подход к организации встроенного аппаратного контроля обеспечивает возможность оперативного выявления отказавших модулей в матричных ЛМК произвольной размерности. Использование данных о расположении отказов в матрице позволяет реализовать динамическую реконфигурацию мультиконтроллера с последующим восстановлением его работоспособности без существенных затрат времени на выполнение

контролирующих и ремонтных процедур. При этом обеспечивается более высокая достоверность определения отказов по сравнению с известным механизмом взаимоконтроля, ввиду двукратного увеличения числа контролирующих соседей у каждого модуля ЛМК. В ходе дальнейших исследований предполагается уточнить алгоритмы контроля соседних модулей, а также разработать метод определения множества контрольных точек в алгоритмах логического управления, позволяющий минимизировать вклад контролирующих процедур в общее время выполнения управляющего алгоритма.

Список литературы

1. Емельянов С.Г., Зотов И.В., Титов В.С. Архитектура параллельных логических мультиконтроллеров. – М.: Высшая школа, 2009. – 233 с.
2. Takanami I. Built-in self-reconfiguring systems for fault tolerant mesh-connected processor arrays by direct spare replacement // Proc. IEEE Intl Symp. Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems, 24-26 Oct. 2001. IEEE, 2001. – P. 134–142.
3. Дианов В.Н. Диагностика и надежность автоматических систем. – М.: МГИУ, 2005. – 160 с.
4. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. – СПб.: Питер, 2005. – 478 с.
5. Rajski, J. Tyszer, M. Kassab, and N. Mukherjee. Embedded Deterministic Test // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – 2004. – Vol.23, no. 5. – Pp. 776-792.
6. Sun-Yuan Hsieh, Chi-Ya Kao. The Conditional Diagnosability of k-Ary n-Cubes under the Comparison Diagnosis Model // IEEE Transactions on Computers. 2013. – Vol.62, no. 4. – Pp. 839-843.
7. Бредихин Р.В., Нян Лин, Зотов И.В. Об организации встроенного аппаратного взаимоконтроля в логических мультиконтроллерах // Изв. Вузов. Приборостроение. – 2013. – Т.56, №6. – С. 44-49.
8. Принципы организации встроенного аппаратного межмодульного взаимоконтроля в матричных логических мультиконтроллерах / И.В. Зотов, Р.В. Бредихин, Л.А. Лисицин, Нян Лин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – №1. – С. 202-208.
9. Jamil Samih Al-Azzeh, Michael E. Leonov, Dmitriy E. Skopin, Evgeny A. Titenko, Igor V. Zotov. The Organization of Built-in Hardware-Level Mutual Self-Test in Mesh-Connected VLSI Multiprocessors // International Journal on Information Technology. – 2015. – Vol.3, no. 2. – Pp. 29-33.

Получено 29.04.16

Moe Min Win, Postgraduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: moe.min.2014@mail.ru)

Thein Tun Nyunt, Postgraduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: htunnyunt@mail.ru)

I. V. Zotov, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: zotovigor@yandex.ru)

ARRANGEMENT OF THE INTEGRATED MULTIPLEX INTER-UNIT TESTING IN MESH-CONNECTED LOGICAL MULTICONTROLLERS

The article pays attention to the fact that one of the key challenges when developing logical multicontrollers is ensuring their fault tolerance and considers the task of arranging the operational embedded hardware-level test of