УДК 51-7/ 519.2

МЕТОД МОБИЛЬНОЙ КОММУТАЦИИ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ К ДИСКРЕТНЫМ СИСТЕМАМ, КОНФИГУРИРУЕМЫМ НА КРИСТАЛЛАХ

Рябцев В.Г., Шубович А.А.

Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, e-mail: volgau@volgau.com

В настоящее время в области автоматики и телемеханики создано достаточно много устройств, использующих принципы построения систем полуавтоматической и автоматической блокировок, диспетчерского контроля и автоматической сигнализации [5]. Например, устройства железнодорожной автоматики и телемеханики повышают пропускную способность железных дорог, обеспечивают безопасность движения поездов и оперативное руководство перевозочным процессом, повышают производительность труда железнодорожников. При изготовлении и ремонте данных устройств необходимо обеспечить коммутацию их контактов к выходам автоматизированных диагностических систем [4]. Недостатком известных методов обеспечения коммутации тестируемых изделий к средствам диагностирования является необходимость применения дополнительных коммутирующих приспособлений, что уменьшает частоту и качество диагностирования. Ещё сложнее тестировать системы, конфигурируемые на кристаллах (CSoC), которые имеют ограниченный доступ к компонентам и применяются в средствах телекоммуникации, интернет-приложениях, сетевых решениях, интеллектуальной аппаратуре, системах промышленной автоматики, контроля и управления и многом другом. Поэтому для инженера по диагностированию остается большое поле деятельности для разработки методов и средств коммутации диагностических систем к объектам диагностирования, обеспечивающих высокую мобильность и высокую частоту передачи тестовых воздействий и фиксирования ответных реакций.

Ключевые слова: двоичный вектор, мономиальная матрица, объекты диагностирования, вектор реакции

METHOD FOR THE MOBILE SWITCHING MEANS OF DIAGNOSING DISCRETE SYSTEMS, CONFIGURABLE ON THE CRYSTALS

Ryabtsev V.G., Shubovich A.A.

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, e-mail: volgau@volgau.com

Currently in the field of automation and remote control has created quite a lot of devices using the principles of construction of systems of semi-automatic and automatic locks, Supervisory control and automatic alarm [5]. For example, devices of railway automatics and telemechanics increase the capacity of the Railways, ensure the safety of trains and operational management of the transportation process, improve the productivity of railroad workers. In the manufacture and repair of these devices must ensure that their switching contacts to the outputs of the automated diagnostic systems [4]. A disadvantage of the known methods for providing switching products under test to the means of diagnosis is the need for additional switching devices that reduces the frequency and quality of diagnosis. Harder to test system, configurable on chip (CSoC), which have limited access to components and are used in telecommunications, Internet applications, networking solutions, intelligent equipment, industrial automation, control and management, and more. Therefore for the engineer to diagnose remains great scope for developing methods and means of switching of diagnostic systems to diagnostic objects, which provide high mobility and high frequency of transmission of test inputs and recording the responses.

Keywords: binary vector, monomial matrix, objects of diagnosis, vector of reactions

В области электроники большое значение имеет коммутация данных, под которой понимается их передача, при которой канал передачи данных может использоваться попеременно для обмена информацией между различными пунктами информационной сети. В частности, при коммутации каналов осуществляется соединение оконечного оборудования данных (ООД) двух или более станций данных и обеспечивается монопольное использование канала передачи данных до тех пор, пока соединение не будет разомкнуто. При этом возможно возникновение ситуации, при которой контакты на одном из каналов, называемом логическим, будут меняться в определенной последовательности. Тогда возникает проблема распознания данных сигналов и их изменение на логическом канале для правильного соединения с другим каналом, называемым физическим. Для решения этой проблемы предлагается выполнить операцию идентификации электрических сигналов, представляющих собой вектор воздействий [2, 7]. Этот процесс может быть широко использован при создании больших интегральных схем (БИС), которые содержат встроенную память. В таких устройствах на одном кристалле интегрированы микроконтроллер, память и интерфейсы взаимодействия с внешними компонентами. Преобразования, о которых идет речь, позволяют выполнить однозначную идентификацию бинарных (двоичных) векторов, координаты которых принимают значения 0 или 1. Для выполнения данных преобразований необходимо разработать математическую модель, учитывая, что данные операции осуществляются на высокой частоте.

Рассмотрим линейное векторное пространство L_n с системой координат, определяемой базисными векторами $\vec{e}_1, \vec{e}_2, ..., \vec{e}_n$. Тогда любой вектор $\vec{a} \in L_n$ может быть представлен в виде [1, 3, 6]

$$\vec{a} = a_1\vec{e}_1 + a_2\vec{e}_2 + ... + a_n\vec{e}_n = \sum_{i=1}^{n} a_i\vec{e}_i, \qquad (1)$$

где $a_1, a_2, \ldots, a_n$ – координаты вектора $\vec{a}$ в базисе $\vec{e}_1, \vec{e}_2, ..., \vec{e}_n$.

Линейные однородные преобразования позволяют сформировать вектор $\vec{u} \in L_n$, координаты которого могут быть записаны в виде [1, 3, 6]

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdots \\ u_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{n1} & e_{n2} & \cdots & e_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \cdots \\ a_n \end{pmatrix},$$

или $$U = eA. \qquad (2)$$

Рассмотрим и докажем следующее утверждение.

Теорема 1. Пусть двоичный вектор $\vec{a}$ с базисными координатами, определяемыми вектор-столбцом D, представлен в n-мерном векторном пространстве L_n упорядоченными по возрастанию координатами $A = (a_0, a_1, \ldots, a_{n-1})^T$, $a_i = 2^i$, где $i = \overline{0, n-1}$. Тогда его можно преобразовать в n-мерный вектор тестовых воздействий с базисными координатами, определяемыми вектор-столбцом D^* и координатами A^*, распределенными в произвольном порядке следующим образом:

$$D^* = MD; \; A^* = MA, \qquad (3)$$

где M – мономиальная матрица n-го порядка.

Доказательство. От противного. Предположим, что в указанной матрице M имеется больше одного элемента, отличного от нуля хотя бы в одной из ее строк. Однако координаты двоичного вектора определяются выражением $a_i = 2^i$, где $i = \overline{0, n-1}$. Все данные числа имеют только одну единицу в двоичной системе счисления, а для вычисления всех новых координат применяется аналогичная формула $a_i^* = 2^i$. Получено противоречие. Таким образом, для однозначного соответствия координат векторов и физических контактов ОД требуется использовать мономиальную матрицу n-го порядка.

Пример расчета 1. Вектор воздействий, заданный в векторном пространстве L_8, преобразуется по схеме, изображенной на рис. 1.

8	7	6	5	4	3	2	1	Номера координат
1	0	1	1	0	0	0	1	Исходные значения базисных векторов
128	64	32	16	8	4	2	1	Исходные координаты a_i

⇓ по формулам (3)

8	7	6	5	4	3	2	1	Номера выводов ОД
1	0	0	1	0	0	1	1	Новые значения базисных векторов
32	64	4	1	8	2	128	16	Новые координаты a_i^*

Рис. 1. Схема преобразования вектора в пространстве L_8

Новые координаты для приведенного выше примера образуются в результате умножения матрицы M на вектор-столбец исходных координат:

$$A^* = \begin{pmatrix} a_0^* \\ a_1^* \\ a_2^* \\ a_3^* \\ a_4^* \\ a_5^* \\ a_6^* \\ a_7^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0&0&0&0&1&0&0&0 \\ 0&0&0&0&0&0&0&1 \\ 0&1&0&0&0&0&0&0 \\ 0&0&0&1&0&0&0&0 \\ 1&0&0&0&0&0&0&0 \\ 0&0&1&0&0&0&0&0 \\ 0&0&0&0&0&0&1&0 \\ 0&0&0&0&0&1&0&0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 4 \\ 8 \\ 16 \\ 32 \\ 64 \\ 128 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16 \\ 128 \\ 2 \\ 8 \\ 1 \\ 4 \\ 64 \\ 32 \end{pmatrix}. \qquad (4)$$

Из теоремы 1 можно сформулировать следствия.

Следствие 1.1. Для того чтобы два или более двоичных вектора, суммарная размерность которых равна n, объединённые операцией конкатенации, были правильно переданы на выводы ОД, достаточно, чтобы векторное пространство тестовых воздействий, поступающих на выводы ОД, имело размерность $m \geq n$, а его базисные векторы не соответствовали бы одной и той же координате.

Следствие 1.2. Если векторы из векторного пространства P размерностью n преобразовать при помощи операций, указанных в теореме 1, и по два вектора, взятых из векторных пространств R и S с суммарной размерностью n, преобразовать при помощи операций, указанных в следствии 1.1, то можно получить матрицу тестовых воздействий, в которой первая строка состоит из базисных векторов первого вектора пространства P, вторая – из базисных векторов первых преобразованных векторов, взятых из пространств R и S, третья – из базисных векторов второго преобразованного вектора пространства P и т.д.

Следствие 1.3. Двоичные векторы размерностью s меньше, чем число выводов ОД, можно преобразовать с помощью операций, указанных в теореме 1, и его элементы занести в память тестовых воздействий, но тогда сигналы на остальных $r - s$ выводах ОД будут неопределенные, или им будет присвоено текущее значение соответствующих разрядов буферного блока памяти. Однако применение неопределённых значений сигналов может привести к возникновению необъяснимых отказов ОД или даже к выходу из строя его компонентов. Во избежание этих нежелательных последствий следует перед занесением векторов в память тестовых наборов записать во все разряды буферного блока памяти код нуля. При этом блокируется подача на выводы ОД некорректных воздействий и не выполняется сравнение ответных реакций и эталонных значений по тем выводам, которые не определены в программе теста.

Для описания операции обратной идентификации можно сформулировать и доказать следующее утверждение.

Теорема 2. Пусть базисные векторы реакций ОД представлены в n-мерном векторном пространстве L_n с произвольным порядком распределения координат A^* задаются вектор-столбцом D^*. Тогда часть или все ответные реакции ОД можно преобразовать в m-мерное векторное пространство для $m \leq n$ с упорядоченным по возрастанию порядком распределения координат A и базисными координатами, заданными вектор-столбцом D следующим образом:

$$D = C_m D^*;\ A = C_m A^*, \qquad (5)$$

где C_m – матрица, состоящая из m первых строк матрицы M^{-1}; M^{-1} – матрица, обратная матрице M; $C_m = M^{-1}$ при $m = n$.

Доказательство. Для определения m-мерного векторного пространства достаточно m координат, которые определяются из координат векторного пространства L_n с помощью мономиальной матрицы размера m-го порядка, следовательно, остальные элементы $(n - m)$ столбцов матрицы C_m могут принимать только значение 0. Для обеспечения однозначности преобразований векторов из m-мерного векторного пространства в n-мерное пространство и обратно для $n = m$ необходимо обеспечить соблюдение **у**словия, при котором произведение матриц MC_m является единичной матрицей [1, 3].

Из теоремы 2 можно получить следствие.

Следствие 2.1. При $n = m$ все координаты векторного пространства L_n преобразуются в упорядоченные координаты A и образуется вектор реакций со всех контактов ОД.

Пример расчета 2. Сформировать упорядоченный вектор реакции, зафиксированный на всех контактах **ОД,** приведенных на рис. 1.

Создадим матрицу M^{-1}, обратную матрице M по приведенной на рис. 2 схеме.

Исходные координаты для приведенного выше примера образуются в результате умножения матрицы M^{-1} на вектор-столбец новых координат:

$$A = M^{-1*}A = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0&0&0&0&1&0&0&0 \\ 0&0&1&0&0&0&0&0 \\ 0&0&0&0&0&1&0&0 \\ 0&0&0&1&0&0&0&0 \\ 1&0&0&0&0&0&0&0 \\ 0&0&0&0&0&0&0&1 \\ 0&0&0&0&0&0&1&0 \\ 0&1&0&0&0&0&0&0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 16 \\ 128 \\ 2 \\ 8 \\ 1 \\ 4 \\ 64 \\ 32 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 4 \\ 8 \\ 16 \\ 32 \\ 64 \\ 128 \end{pmatrix}. \qquad (6)$$

$$
(M|E_8)=\left(\begin{array}{cccccccc|cccccccc}
0&0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&1&0&1&0&0&0&0&0&0\\
0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0\\
0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0\\
1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\
0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0\\
0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&1&0\\
0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1
\end{array}\right)\sim
$$

$$
\sim\left(\begin{array}{cccccccc|cccccccc}
1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\
0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0\\
0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0\\
0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0\\
0&0&0&0&1&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1\\
0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&1&0\\
0&0&0&0&0&0&0&1&0&1&0&0&0&0&0&0
\end{array}\right)=(E_8|M^{-1}).
$$

Рис. 2. Схема определения обратной матрицы M^{-1}

Значения базисных векторов определяются следующим равенством:

$$
D=M^{-1*}D=\begin{pmatrix}
0&0&0&0&1&0&0&0\\
0&0&1&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&1&0&0\\
0&0&0&1&0&0&0&0\\
1&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&1\\
0&0&0&0&0&0&1&0\\
0&1&0&0&0&0&0&0
\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\1\\0\\0\\1\\0\\0\\1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\\1\\1\\0\\1\end{pmatrix}. \qquad (7)
$$

Полученные координаты и базисные векторы соответствуют исходным данным на рис. 1.

В качестве основного теоретического результата как важный частный случай можно записать следующее утверждение, а также следствия для практического применения.

Теорема 3. Однозначная идентификация двоичных векторов n-мерного векторного пространства L_n с упорядоченным по возрастанию порядком распределения координат $a_i = 2^i$, где $i=\overline{0,n-1}$ и соответствующих им n терминальных выводов ОД, расположенных в произвольном порядке, возможна тогда и только тогда, когда координаты и базисные векторы преобразуются следующим образом:

$$
D^* = MD \Leftrightarrow D = M^{-1}D^*;
$$
$$
A^* = MA \Leftrightarrow A = M^{-1}A^*, \qquad (8)
$$

где M – мономиальная матрица n-го порядка, которая применяется для преобразования векторов из одного пространства в другое; D – вектор-столбец координат.

Доказательство очевидно, так как это частный случай теорем 1 и 2.

Следствие 3.1. После выполнения поразрядного сравнения ответных реакций ОД и эталонных значений и полученных результатов диагностирования в векторном пространстве L_m можно преобразовать в векторное пространство L_n и в упорядоченном виде передать в компьютер или на экран монитора в удобной для восприятия форме для последующей обработки.

Следствие 3.2. Векторы воздействий, искаженные неисправностями константного типа, возникшими на входных контактах ОД (замыкания контактов на общую шину или шину питания), можно зафиксировать в векторном пространстве L_m, преобразовать в векторное пространство L_n и использовать для формирования соответствующих диагностических сообщений.

Для хранения тестовых векторов в структуре формирователя детермированных тестов предусмотрены запоминающие устройства трех типов: Mb, Mm, Mc.

Запись тестовых наборов в память каналов из буферных блоков *BMb, BMm, BMc* осуществляется согласно выражению

$$\forall s,\quad s=\overline{0,(p-1)}\left[Mb(s):=BMb(s);Mm(s):=BMm(s);MC(s):=BMc(s)\right],$$

где s – код адреса буферных блоков памяти и памяти каналов, который задается регистром RON_k; p – число разрядов данных буферных блоков памяти.

Запись динамического сегмента тестов в память каналов выполняется следующим образом:

$$\forall j,k\quad \left[Mm_j\left(A_q+k\right):=m_i^k\right],\quad i=\overline{0,D_m-1};\quad j=\overline{idn\left(L_m\right),idt\left(L_m+D_m-1\right)};$$

$$\forall j,k\quad \left[Mb_j\left(A_q+k\right):=b_i^k\right],\quad i=\overline{0,D_b-1};\quad j=\overline{idn\left(L_b\right),idt\left(L_b+D_b-1\right)};$$

$$\forall j,k\quad \left[Mc_j\left(A_q+k\right):=c_i^k\right],\quad i=\overline{0,D_c-1};\quad j=\overline{idn\left(L_c\right),idt\left(L_c+D_c-1\right)};$$

$$Mm_j\in RAM_m;\quad m_i^k\in M_k;\quad b_i^k\in B_k;\ Mb_j\in RAM_b;\quad c_i^k\in C_k;\quad Mc_j\in RAM_c,$$

где A_q – адрес начального воздействия; $k=\overline{0,t-1}$ – номер текущего такта диагностирования; t – общее число тестовых наборов; L_m – начальный номер вектора, L_{mi} – длина вектора; *idn* – операция идентификации координат векторов и номеров физических контактов ОД, выполняемая с учетом положений, указанных в теореме 3.

В результате выполнения указанных выше операций формируется прямоугольная матрица тестовых воздействий:

$$RAM=\begin{bmatrix} RAM_m\left(A_q\right) & RAM_m\left(A_q+1\right)\ldots & RAM_m\left(A_q+t-1\right)\\ RAM_b\left(A_q\right) & RAM_b\left(A_q+1\right)\ldots & RAM_b\left(A_q+t-1\right)\\ RAM_c\left(A_q\right) & RAM_c\left(A_q+1\right)\ldots & RAM_c\left(A_q+t-1\right)\end{bmatrix}.$$

Использование кортежа векторов дает возможность представлять многоразрядные шины в виде булевых векторов с последующей их арифметической и логической обработкой.

Результаты теоретического исследования позволяют спроектировать мультипроцессорный векторный преобразователь, обеспечивающий выполнение указанных преобразований за один период сигнала синхронизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект 16-08-00393).

Список литературы

1. Акивис М.А. Тензорное исчисление / М.А. Акивис, В.В. Гольдберг. – М.: Наука, 1969. – 352 с.

2. Борисенко А.А., Рябцев В.Г., Чернышев В.А., Шамарин А.Ф. Метод повышения производительности системы диагностирования цифровых блоков // Опыт разработки и внедрения технических и программных средств СМ ЭВМ и АСВТПС. – Северодонецк: НПО «Импульс», 1986. – С. 142–143.

3. Борисенко А.И. Векторный анализ и начала тензорного исчисления / А.И. Борисенко, И.Е. Тарапов. – М.: Наука, 1978. – 216 с.

4. Кондратьева Л.А. Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики: учебник для техникумов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1983. – 232 с.

5. Патент РФ № 2011133105/08, 05.08.2011. Капустин А.Н. Устройство коммутации // Патент России № 2485679. 2013. Бюл. № 17.

6. Діскант В.І. Збірник задач з лінійної алгебри та аналітичної геометрії / В.І. Діскант, Л.Р. Береза, О.П. Грижук, Л.М. Захаренко. – К.: Вища шк., 2001. – 303 с.

7. Kolpakov I.A., Ryabtsev V.G. Operations of transformation of vectors influences coordinates at diagnosing modern digital system // Proceedings of East-West Design & Test Workshop. Yalta, Alushta, Crimea, Ukraine, September 23-26, 2004. Kharkov: Kharkov National University of Radioelectronics, 2004. – P. 217–219.

References

1. Akivis M.A. Tenzornoe ischislenie / M.A. Akivis, V.V. Goldberg. M.: Nauka, 1969. 352 p.

2. Borisenko A.A., Rjabcev V.G., CHernyshev V.A., SHamarin A.F. Metod povyshenija proizvoditelnosti sistemy diagnostirovanija cifrovyh blokov // Opyt razrabotki i vnedrenija tehnicheskih i programmnyh sredstv SM YeVM i ASVTPS. Severodoneck: NPO «Impuls», 1986. pp. 142–143.

3. Borisenko A.I. Vektornyi analiz i nachala tenzornogo ischislenija / A.I. Borisenko, I.E. Tarapov. M.: Nauka, 1978. 216 p.

4. Kondrateva L.A. *Ustroistva zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemehaniki* [Devices of railway automatics and telemechanics]. uchebnik dlja tehnikumovzh.-d. transp. – M.: Transport, 1983. 232 p.

5. Patent RF no. 2011133105/08, 05.08.2011. Kapustin A.N. *Ustroistvo kommutacii* [The commutation device] // Patent Rossii no. 2485679. 2013. Byul. no. 17.

6. Diskant V.I. Sbornik zadach po lineinoi algebre i analiticheskoi geometrii / V.I. Diskant, L.R. Bereza, O.P. Grizhuk, L.M. Zaharenko. K.: Vyssh shk., 2001. 303 p.

7. Kolpakov I.A., Ryabtsev V.G. Operations of transformation of vectors influences coordinates at diagnosing modern digital system // Proceedings of East-West Design & Test Workshop. Yalta, Alushta, Crimea, Ukraine, September 23–26, 2004. Kharkov: Kharkov National University of Radioelectronics, 2004. pp. 217–219.