

УДК 629.7.05.017

В.С. ХАРЧЕНКО¹, В.В. ТАРАСЕНКО²

¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина*
² *НТ СКБ “ПОЛИСВИТ” ГНПП “Объединение Коммунар”, Украина*

АБСТРАКТНЫЕ МОДЕЛИ И ЭЛЕМЕНТЫ СИНТЕЗА МНОГОВЕРСИОННЫХ АВТОМАТОВ

Разработаны абстрактные модели комбинационных многоверсионных цифровых автоматов (МВЦА). Предложены элементы синтеза МВЦА. Приведены результаты исследования безотказности и достоверности функционирования комбинационных МВЦА.

диверсность, цифровые автоматы, абстрактные модели

Введение

Анализ программно-аппаратных средств современных информационно-управляющих систем показывает, что наряду с микропроцессорами они содержат специализированные цифровые устройства различных типов, функционирование которых можно описать автоматными моделями. К примеру, осуществление платежей «электронными деньгами» через Internet требует, чтобы продавец, получая «деньги» (файлы), достоверно знал, что они настоящие. Невозможность подделки «денежных» файлов должна быть гарантирована банком и стратегией шифрования. Таким образом, банк должен выпускать «денежные» файлы так, чтобы исключить возможность их подделки. Процесс использования «электронных денег» может быть описан автоматными моделями для каждого участника, осуществляющего платежи (покупателя, продавца, банка). Для исключения мошенничества алгоритмы, по которым работают соответствующие автоматы, должны включать процедуры контроля правильности использования денег, какая бы система шифрования не применялась. Следовательно, она должна гарантировать прохождение только предусмотренных событий. Другим примером широкого использования указанных устройств являются электронные системы, в которых цифровые автоматы (ЦА) (комбинационные и последовательностные) применяют совместно с микропроцессорами, когда

необходимо получить экстремальное быстрое действие, высокую пропускную способность. Причинами нарушения функционирования ЦА, реализуемых с использованием программированной логики, являются отказы и сбои аппаратных средств, обусловленные физическими дефектами и дефектами проектирования, которые остаются не обнаруженными после отладки и окончания испытаний [1].

Известные методы резервирования [2] позволяют значительно повысить отказоустойчивость ЦА. Однако, отказы по общей причине, возникающие из-за неисправностей в цепях питания, воздействия сильных электромагнитных помех или же ошибок проектирования, могут вызвать отказ (или сбой) в резервных каналах одновременно, что приведет к отказу системы в целом. Для парирования отказов по общей причине в ЦА в [3] было предложено использовать принцип проектного разнообразия [4], который предполагает «независимую» разработку в сочетании с «различной» реализацией резервных каналов.

Функционирование МВЦА при возникновении различных отказов исследовалось в [5 – 8]. В [5] рассматривается случай, когда отказы в резервных каналах возникают одновременно. В [6] исследуются последовательностные двухверсионные ЦА, анализируется влияние на достоверность функционирования вариантов кодирования состояний и диверсификации логики.

В [7] предложены и проанализированы модели многоверсионных систем. Результаты моделирования двухверсионных комбинационных ЦА анализируются в [8].

Анализ рассмотренных работ показывает, что они в полной мере не дают ответа на вопросы: каким образом синтезировать резервные каналы МВЦА, какие составляющие и в какой степени влияют на их безотказную (или достоверную работу), каким образом исследовать их надежность и осуществлять выбор наилучших?

Целью статьи является разработка абстрактных моделей и элементов методики синтеза комбинационных МВЦА. Кроме того, в работе дана систематизация последовательностных МВЦА и приведены результаты моделирования комбинационных МВЦА.

Результаты исследований

1. Абстрактные модели комбинационных МВЦА. В теории автоматов понятие ЦА используется в качестве математической модели реальных, т.е. реализуемых с помощью конкретной элементной базы, цифровых устройств определенного типа. Основным назначением ЦА является преобразование дискретной информации. В общем случае ЦА имеет конечное количество входов X и выходов Z . Соответствие между входными и выходными сигналами определяется логической функцией F . Логические функции ЦА реализуются с помощью логических элементов и элементов памяти. Если в ЦА нет элементов памяти, то они имеют одно внутреннее состояние, определяемое составом и схемой их элементов. ЦА этого типа называют комбинационными (КЦА), а их работа описывается выражением:

$$KA_0 = \{X, Z, F : X \rightarrow Z\},$$

где X – множество входных сигналов; Z – множество выходных сигналов; F – логическая функция, определяющая связь между входными и выходными сигналами. Если несколько КЦА соединены в локальную сеть, то абстрактная модель такого сетевого автомата представляется в виде:

$$KA_c = \{X, Z, \{KA_{oi}\}_{i=1}^n, M_c\},$$

где $KA_{oi} = \{X_i, Z_i, F : X_i \rightarrow Z_i\}$; $X_i = X_{i1} \# X_{i2}$,
 $X_{i1} \subset X$, $X_{i2} \not\subset X$; $Z_i = Z_{i1} \# Z_{i2}$, $Z_{i1} \subset Z$,
 $Z_{i2} \not\subset Z$; M_c – матрица связей n автоматов KA_{oi} .

Если КЦА имеет в своем составе несколько резервных каналов, выполненных по разным вариантам адекватной аппаратной реализации [7], то такие КЦА называют многоверсионными. Многоверсионность может быть следующих типов: общая, раздельная полная и раздельная неполная. При общей диверсности в структуре МВЦА, резервные каналы выполнены по разным аппаратным версиям, а на выходе имеется восстанавливающий орган, выполняющий функцию обработки их результатов Ψ . У структур с раздельной полной диверсностью между диверсными элементами, выполняющими адекватные функции резервных каналов, находятся восстанавливающие органы. Структуры с раздельной неполной диверсностью имеют резервные каналы, у которых не все соответствующие элементы каналов имеют разные варианты аппаратного исполнения.

Работа МВЦА с общей диверсностью описывается выражением:

$$KA_m = \{X, Z, \{KA_o^j\}_{j=1}^e, \Psi\},$$

где $KA_o^j = \{X, Z^j, F^j : X \rightarrow Z^j\}$; $\Psi : \{Z^j\} \rightarrow Z$.

Если МВЦА имеет два резервных канала, то в соответствии с функцией Ψ осуществляется сравнение выходных сигналов и, в случае их несовпадения, формируется сигнал об ошибке. Если $j \geq 3$, то эта функция описывает операцию «голосования» сигналов Z^j с учетом назначенных весов каждой версии. Кроме того, необходимо отметить, что выполнение указанных действий должно осуществляться с учетом несинхронного появления выходных сигналов Z^j каждой версии аппаратного исполнения.

Многоверсионные сетевые комбинационные автоматы могут быть выполнены с общей или

раздельной диверсностью. В случае общей диверсности абстрактная модель принимает вид:

$$KA_M = \left\{ X, Z, \left\{ KA_{oi}^j \right\}_{j=1}^e, \Psi \right\},$$

где $KA_{oi}^j = \left\{ X, Z^j, \left\{ KA_{oi}^{j\eta} \right\}_{\eta=1}^{n_j}, M_c \right\}; \quad \Psi : \{Z^j\} \rightarrow Z;$

$KA_{oi}^j = \left\{ X_i^j, Z_i^j, F_i^j : X_i^j \rightarrow Z_i^j \right\}; \quad X_i^j = X_{i1}^j \# X_{i2}^j; \quad X_{i2}^j \not\subset X^j;$
 $Z_i^j = Z_{i1}^j \# Z_{i2}^j; \quad Z_{i1}^j \not\subset Z^j; \quad M_c$ – матрица связей n автоматов A_{oi}^j .

В случае раздельной диверсии абстрактная модель КМВЦА принимает вид:

$$KA_M = \left\{ X, Z, \left\{ KA_{oi}^j \right\}_{j=1}^n, M_c \right\},$$

Где $KA_{oi}^j = \left\{ X_i, Z_i^j, \left\{ KA_{oi}^j \right\}_{j=1}^e, \Psi \right\}; \quad \Psi : \{Z_i^j\} \rightarrow Z_i;$

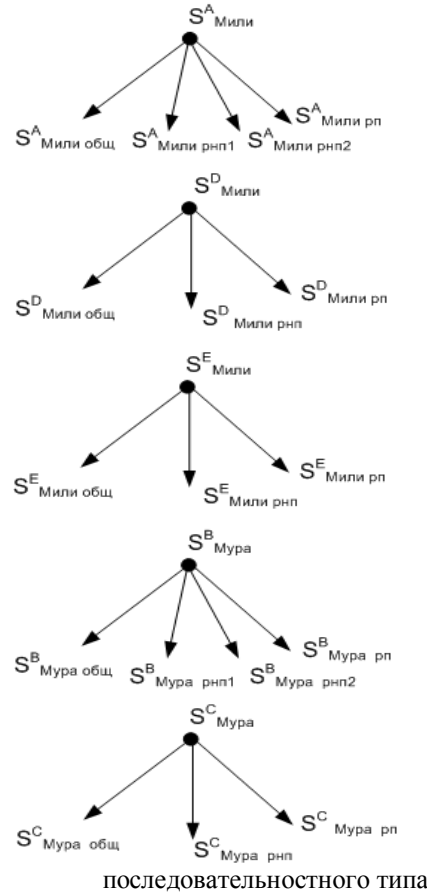
$KA_{oi}^j = \left\{ X_i, Z_i^j, F^j : X \rightarrow Z_i^j \right\}; \quad X_i^j = X_{i1}^j \# X_{i2}^j;$
 $X_{i1}^j \subset X; \quad X_{i2}^j \not\subset X; \quad Z_i^j = Z_{i1}^j \# Z_{i2}^j; \quad Z_{i1}^j \not\subset Z.$

2. Последовательные многоверсионные цифровые автоматы. Согласно классификации ЦА последовательного типа, предложенной в [9], конечные автоматы Мура и Мили делятся на классы: А, В, С, D, Е. Применяя возможные комбинации типов диверсности: общую (общ.), раздельную полную (РП) или раздельную неполную (РНП) в сочетании с классами автоматов Мура и Мили, формируется множество МВЦА (рис. 1).

3. Особенности синтеза и методика моделирования МВЦА. Синтез МВЦА комбинационного типа начинают с формализованного описания логики работы резервных каналов в аналитическом виде, представленной в СДНФ и СКНФ. Полученные выражения упрощают, в результате чего получают тупиковые формы исходных. Далее синтезируют функциональные схемы резервных каналов, используя различный базис логических элементов. В качестве базисных элементов для синтеза выбираем: И, ИЛИ, НЕ; И, НЕ; ИЛИ, НЕ; И-НЕ; ИЛИ-НЕ. Таким образом, множество комбинационных МВЦА определяется сочетанием вариантов использования различных минимальных форм и базисов реализации функций.

Синтез МВЦА последовательного типа предлагается проводить на основе множества, изображенного на рис. 1. В качестве элементов памяти используются триггеры типа J, K или D , а комбинационные части синтезируются так же, как и МВЦА комбинационного типа. При этом возможны различные виды диверсности для отдельных комбинационных блоков (формирователей сигналов возбуждений и выходов).

Рис.1. Множество МВЦА



Применение диверсности при синтезе резервных каналов МВЦА значительно повышает безотказность и достоверность их работы. В качестве меры оценки различия резервных каналов, разработанных по одной спецификации, и для выбора лучших (наиболее различимых) необходимо использовать метрики диверсности [8]. Зная их значения, выбирают из синтезированного множества каналов те, у которых метрики диверсности имеют лучшие значения.

Значения метрик определяются путем имитационного моделирования работы МВЦА при константных отказах логических элементов.

Моделирование проводилось в среде MATLAB Simulink. При этом предварительно формировались модели исследуемых структур, блоки введения отказов и инструментарий подсчета и визуализации количества правильных и неправильных значений логических функций.

4. Результаты моделирования двухверсионных МВЦА. Для выбора лучшей пары резервных каналов для создания МВЦА с наилучшими показателями по безотказности и достоверности функционирования было проведено имитационное моделирование работы 45 двухканальных многоверсионных структур. В качестве резервных каналов было взято 10 версий, выполняющих одну и ту же логическую функцию. При этом было принято допущение об одиночных константных неисправностях. В результате проведенного моделирования была определена структура с наилучшей безотказностью и структура, имеющая наибольшую достоверность функционирования. Результаты моделирования показали, что наилучшие показатели безотказности и достоверности работы имеют разные структуры МВЦА. Следовательно, выбор структуры необходимо делать исходя из предъявляемых требований или по векторному показателю надежность – достоверность.

Выводы

Разработанные абстрактные модели МВЦА позволяют оценить состав их аппаратных средств, исследовать свойства и определить особенности синтеза функциональных схем. Синтез МВЦА должен включать: анализ традиционных этапов синтеза автоматов (комбинационных или последовательностных); определение вариантов и объемов диверсификации каждого из этапов; уточнение совместимости этих вариантов и формирование множества многоверсионных технологий синтеза; оценивание и выбор этих технологий; реализацию автомата в соответствии с ней.

Результаты моделирования показывают, что по безотказности многоверсионные двухканальные

структуры, как правило, уступают одноверсионным двухканальным. По достоверности функционирования лучшие многоверсионные двухканальные структуры превосходят лучшие одноверсионные двухканальные.

Литература

1. Харченко В.С., Тарасенко В.В. Структурная организация и оценка надежности отказоустойчивых цифровых устройств на ПЛИС // Электронное моделирование. – 2002. – № 4. – С. 83-97.
2. Чернышев Ю.А., Аббакумов И.С. Расчет и проектирование устройств ЭВМ с пассивным резервированием. – М.: Энергия, 1979. – 120 с.
3. A. Design Diversity Metric and Analysis of Redundant Systems / S. Mitra, R. Saxena, J. McCluskey // IEEE Transactions on computers. – May 2002. – Vol. 51, no. 5. – P. 498-510.
4. . Avizienis A., Kelly J.P.J. Fault Tolerance by Design Diversity: Concepts and Experiments // IEEE Computer. – August 1984. – P. 67-80.
5. Mitra S., Saxena R., McCluskey J. Common-Mode Failures in Redundant VLSI System: A. Survey // IEEE Trans. Reliability. – Sept. 2000.
6. Mitra S., Saxena R., McCluskey J. Design Diversity For Concurrent Error Detection IN Sequential Logic circuits. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://crc.stanford.edu>.
7. Многоверсионные системы, проекты / Под ред. В.С. Харченко. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003. – 486 с.
8. Тарасенко В.В., Харченко В.С. Моделирование самопроверяющихся комбинационных циф-ровых автоматов с двухверсионной структурой // Моделювання та інформаційні технології. – К.: НАНУ, ИПМЕ, 2005. – Вып. 33. – С. 232-237 .
9. Соловьёв В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических ИС. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 636 с.

Поступила в редакцію 25.02.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Ф. Кривуля, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.