

МЕТОД ВНУТРИКРИСТАЛЬНОГО ИНЪЕКТИРОВАНИЯ СБОЕВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ СБОЕУСТОЙЧИВЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ ТИПА СИСТЕМА-НА-КРИСТАЛЛЕ

Е.С. Лепёшкина, С.А. Чекмарёв

Научный руководитель: доцент, к.т.н. В.Х. Ханов

Сибирский государственный университет науки и технологий

имени академика М.Ф. Решетнева,

Россия, г. Красноярск, пр. им. газ. «Красноярский рабочий», 31, 660037

E-mail: klepka1111.93@mail.ru

На текущий момент развития отечественного космического приборостроения высокую значимость имеет проектирование микропроцессорных систем, сбоеустойчивых к ионизирующему космическому излучению. Аппаратура в космосе подвержена нескольким видам сбоев, наиболее часто из которых встречаются одиночные сбои [1]. Самым уязвимым местом является память микропроцессора, а также системы на данной основе. Сбои происходят как во внутренней памяти микропроцессора (кэш-память и регистровые файлы), так и во внешней памяти. На предотвращение сбоев в памяти направлены основные усилия по обеспечению сбоеустойчивости микропроцессоров.

Существующие методы инъектирования сбоев с применением внутрикристалльного отладчика обладают следующими недостатками: генерация сбоев происходит вне тестируемой системы, что усложняет данный процесс и снижает производительность кампаний по введению сбоев. К недостаткам можно отнести и отсутствие конкретизации для микропроцессоров типа система-на-кристалле. В существующих работах также не раскрывается значимость скорости инъектирования и инъектирования в режиме реального времени. Таким образом, актуальной является разработка метода инъектирования сбоев, предназначенного для микропроцессоров типа система-на-кристалле (СнК) в реальном времени без указанных выше недостатков.

Настоящая работа определяет развитие технологии тестирования сбоеустойчивости с помощью инъектирования одиночных сбоев для микропроцессоров типа система-на-кристалле в реальном времени.

СнК-процессоры состоят из нескольких сложно-функциональных (IP) блоков, включая IP-блок ядра процессора. Блоки взаимодействуют между собой с помощью внутрикристалльной шины. Программные СнК-процессоры, специфицированные с помощью языков описания аппаратуры, например, языка VHDL, являются реконфигурируемыми. Их архитектура позволяет под конкретный проект добавлять или удалять soft IP-блоки при необходимости.

Инъектор сбоев может вносить сбои как во внутреннюю, так и во внешнюю память. Инъектирование во внутреннюю память производится с остановкой процессора, но с минимальными предсказуемыми постоянными задержками, согласованными с временными циклами работы процессора. Инъектирование во внешнюю память производится в реальном режиме работы процессора без его остановки в то время, когда процессор не обращается к внешней памяти. Кроме того, для осуществления инъектирования во внешнюю память доступен и режим с остановкой процессора.

Архитектура системы инъектирования сбоев (СИС) представлена на рисунке 1 [2]. СИС применима для осуществления инъектирования в режимах, как с остановкой процессора, так и без остановки процессора. Тестируемая система состоит из СнК-процессора, реализованного в программируемой логической интегральной схеме типа FPGA, и его внешней памяти. С тестируемой системой связан внешний компьютер. СнК-процессор состоит из процессорного ядра, инъектора сбоев, контроллера внешней памяти, контроллера внешнего интерфейса. Процессорное IP-ядро соединено с OCD через отдельный интерфейс и оба блока подключены к ВКШ. Процессор и инъектор сбоев полностью независимы. Контроллеры внешней памяти и внешнего интерфейса обеспечивают обмен с внешней оперативной памятью и управляющим компьютером, соответственно.

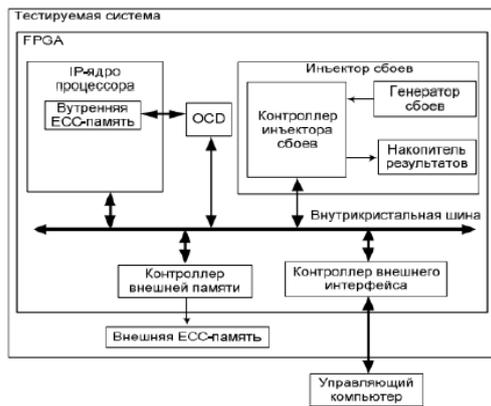


Рис. 1. Концептуальная архитектура FI-метода для SoC-процессоров

Правильно спроектированная система OCD-инъектирования может производить внесение сбоев очень быстро. В ряде работ в качестве дополнительного отличительного параметра OCD-методов рассмотрена скорость инъектирования, в некоторых работах вводится понятие инъектирования в реальном времени (Real Time Fault Injection, RTFI). Вместе с тем в представленных работах [3, 4] не определена необходимость инъектирования в реальном времени и не определен критерий отнесения инъектирования к реальному времени.

Реальное время представляет собой режим работы системы в рамках строгих временных ограничений. Это значит, что система должна успеть отреагировать на событие, произошедшее в системе, в течение времени, критического для этого события. При этом функционал сбоеустойчивости должен справляться со всеми вносимыми сбоями. Если сбои будут вноситься медленно, то работа системы в реальном времени будет нарушена. Необходимо сокращать время инъектирования, что позволит уменьшить время остановки процессора.

Экспериментальные исследования заключались в проведении следующих видов тестирования: верификации самой СИС и демонстрации возможностей разработанного метода инъектирования сбоев. Верификация СИС производилась с целью исследования достоверности разработанных решений, оценки задержек и затрат ресурсов. Тестирование реализации кода Хсяо осуществлялось с помощью программы для программного инъектирования сбоев из библиотеки GRLIB компании AeroFlex Gaisler, являющейся разработчиком SoC-процессора LEON3.

Тестирование подтвердило правильность работы разработанного EDAC-механизма на основе кода Хсяо. Правильность инъектирования осуществлялась сравнением местоположения эффективных ошибок с исходным местоположением сбоев, которые были заранее определены в листе событий. Все адреса эффективных событий совпали с адресами из листа сбоев, что подтвердило правильность инъектирования по местоположению обнаруженных сбоев. Также проведено экспериментальное исследование, подтверждающее, что внутрикристалльное инъектирование сбоев соответствует процессу реального времени, что определяет возможность проведения совместной верификации работающих в реальном времени аппаратуры и бортового программного обеспечения микропроцессорных систем на этапах комплексной отработки и испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипенко П. Одиночные сбои – вызов современных микропроцессоров // Электронные компоненты. – 2009. – №7. – С. 12-15.
2. Чекмарёв, С.А. Способ и система инъекции ошибок для тестирования сбоеустойчивых процессоров бортовых систем космических аппаратов. / С.А. Чекмарёв // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета, СибГАУ. – 2014. – № 4(56). – С. 132–138.
3. André V. Real Time Fault Injection Using Enhanced OCD – A Performance Analysis / V. André, A. Fidalgo, G. Alves, J. Ferreira // Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems, 2006. DFT'06. 21st IEEE International Symposium – 2006. – Pp. 254-264.
4. Fidalgo, A. Real-time fault injection using enhanced on-chip debug infrastructures / A. Fidalgo, M. Gerigota, G. Alves, J. Ferreira // Microprocessors and Microsystems – 2011. – № 25. – Pp. 441-452.