

3. IEC 61508-1:2010. Functional Safety of Electrical / Electronic / Programmable Electronic Safety Related Systems – Part 1: General requirements. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2010.

4. V. Kharchenko, V. Sklyar, Eds, FPGA-based NPP I&C Systems: Development and Safety Assessment. Ukraine. RPC Radiy, National Aerospace University “KhAI”, SSTC on Nuclear and Radiation Safety, 2008, 188 p.

5. M. Drozd, A. Drozd, “Safety-Related Instrumentation and Control Systems and a Problem of the Hidden Faults,” The 10th International Conference on Digital Technologies 2014, Zhilina, Slovak Republic, 2014, pp. 137–140. DOI: 10.1109/DT.2014.6868692

6. A. Drozd, S. Antoshchuk, J. Drozd, K. Zashcholkin, M. Drozd, N. Kuznietsov, M. Al-Dhabi, V. Nikul, “Checkable FPGA Design: Energy Consumption, Throughput and Trustworthiness,” in book: Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications, Studies in Systems, Decision and Control, V. Kharchenko, Y. Kondratenko, J. Kacprzyk (Edits), Vol. 171. Berlin, Heidelberg: Springer International Publishing, pp. 73 – 94, 2018.

7. IEEE Std 754™-2008 (Revision of IEEE Std 7541985) IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic. IEEE 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997, USA, 2008

8. Delphi 10 Seattle: Embarcadero, 2015. <https://www.embarcadero.com/ru/products/delphi>

9. Cyclone II Architecture. Cyclone II Device Handbook Version 3.1. Altera Corporation, 2007. http://www.altera.com/literature/hb/cyc2/cyc2_cii51002.pdf

ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ И МЕТОДА ИХ КОНТРОЛЯ В МАТРИЧНОМ УМНОЖИТЕЛЕ МАНТИСС

Ясмина Мохамад Зейн¹, Косандяк Валентин², д.т.н., проф., Дрозд Александр³
Одесский национальный политехнический университет,

Одесса, Украина,

¹zeinyasmineh@yahoo.com, ²vkosandyak21@gmail.com, ³drozd@ukr net

Документ адресован проблеме оценки как достоверности вычисленных результатов, так и достоверности их проверки по неравенствам на примере приближенной обработки данных в мультипликаторе итеративного массива. Оценка достоверности выполняется на разработанных для этой программы моделях итеративного множителя массивов и результатов проверки методов по неравенствам. Моделирование операции умножения итеративного массива под действием ошибок показывает высокий уровень достоверности результата и достоверность метода, проверяющего результаты по неравенствам

Ключевые слова: итеративный множитель массива, приближительная обработка данных, программная модель, достоверность, проверка результатов по неравенствам

Развитие компьютерных систем и их компонентов характеризуется доминированием приближенных вычислений, которое проявляется, прежде всего, в растущей аппаратной поддержке обработки данных в форматах с плавающей точкой. Персональные компьютеры прошли путь совершенствования от сопроцессоров необязательной поставки, аппаратно поддерживающих операции над мантиссами, до нескольких конвейеров ускоренной обработки в составе центрального процессора и далее нескольких тысяч параллельно работающих конвейеров с плавающей точкой в структуре графического процессора современных компьютеров [1].

Обработка приближенных данных получила особое развитие в системах критического применения, направленных на обеспечение функциональной безопасности энергосетей и электростанций, инфраструктур воздушных и железнодорожных перевозок, химических и оборонных предприятий и других объектов повышенного риска. Исходными данными для таких систем являются результаты измерений, формируемые датчиками различных параметров, контролируемых системами безопасности в критических приложениях [2].

В таких системах к цифровым компонентам предъявляются повышенные требования к достоверности вычисляемых результатов, а также к достоверности методов их контроля. Одним из наиболее важных вопросов является оценка цифровых компонентов и их контроля в условиях действия неисправностей. При этом допускается не только версия возникновения отдельных неисправностей, но и появление кратных отказов, среди которых наиболее вероятным является двукратная неисправность [3].

Данная статья направлена на исследование достоверности результатов, вычисляемых матричным умножителем мантисс под действием одно- и двукратных неисправностей, а также достоверности метода контроля приближенных результатов по неравенствам.

Матричный умножитель выбран для исследований, поскольку он выполняет ключевую операцию приближенных вычислений, которая содержится в самой записи чисел с плавающей точкой, и потому в той или иной форме умножение присутствует во всех действиях над мантиссами, а их результаты наследуют свойства произведения [4].

Матричные устройства традиционно используются в цифровых компонентах систем критического применения. Матричный умножитель содержит матрицу операционных элементов, каждый из которых вычисляет конъюнкцию двух разрядов мантисс сомножителей и добавляет ее в вычисляемое произведение. Умножение выполняется с одинарной точностью, т. е. результат наследует разрядность операнда.

Рассматриваются два варианта выполнения умножения: с вычислением полного произведения и отбрасывания его младшей половины, а также методом сокращения вычислений, что почти вдвое упрощает устройство и повышает его быстродействие [5].

Метод контроля по неравенствам оценивает достоверность результата вычислений, сравнивая его с верхней и нижней границами, которые вычисляются по операндам. При превышении верхней границы или получении результата ниже нижней границы результат определяется недостоверным [6].

Этот метод ориентирован на контроль приближенных вычислений, поскольку учитывает структуру приближенного данного, состоящего из старших верных и младших неверных разрядов, в которых неисправности вызывают ошибки, являющиеся для достоверности результата соответственно существенными и несущественными [7].

Исследование матричного множителя мантисс и метода контроля вычисляемых результатов по неравенствам выполнено на разработанных для этого программных моделях, построенных в свободно распространяемой среде демоверсии Delphi XE6 [8].

Эксперименты проводились на случайных входных последовательностях наборов сомножителей – двоичных кодов нормализованных мантисс – с введением неисправностей замыкания двух произвольных точек в схемах операционных элементов, случайно выбранных в составе матрицы множителя мантисс. В качестве исходных данных в программных моделях задается разрядность матричного множителя мантисс и количество верных разрядов вычисляемого результата.

Моделирование показало, что под действием однократных неисправностей матричный множитель мантисс вычисляет 80% правильных и более 90% достоверных результатов, множество которых увеличивается с уменьшением количества верных разрядов и соответственно возникающих в них существенных ошибок. Двукратные неисправности снижают эти показатели до 61% и 81%, соответственно. Полученные оценки показывают на высокую вероятность получения достоверных результатов даже при кратных неисправностях матричных множителей мантисс.

Контроль по неравенствам матричного множителя мантисс исследовался для случаев выполнения полного и сокращенного умножения с полным и половинным набором старших верных разрядов результата. Для полного набора верных разрядов достоверность метода составила 64,6% и 55,0% соответственно при выполнении полной и сокращенной операции. Уменьшение вдвое количества старших верных разрядов результата увеличивает эти показатели до 89,4% и 88,6%, соответственно.

Таким образом, проведенное моделирование показало высокую достоверность метода контроля по неравенствам, что важно, поскольку изначально сравнение результата с его границами, выполняемое методом, непосредственно не направлено на различение существенных и несущественных ошибок, лежащее в основе положительной оценки достоверности приближенного результата.

ИСТОЧНИКИ

1. M. Guk, Hardware of IBM PC: Encyclopedia, 2nd Edition, SPb: Piter, 2003.
2. E. Bakhmach, V. Kharchenko, A. Siora, V. Sklyar, V. Tokarev, “Design and Qualification of I&C Systems on the Basis of FPGA Technologies,” 7th International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies, Las Vegas, Nevada, 2010, pp. 916–924.
3. V. Kharchenko, A. Siora, V. Sklyar, “Design and Testing Technique of FPGA–Based Critical Systems,” X International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics,” Ukraine, Lviv-Polyana, 2009. pp. 305–314.
4. Goldberg, D.: What Every Computer Scientist Should Know About Floating-Point Arithmetic. ACM Computer Surveys, Vol. 23, 1, 1991, pp. 5–18.

5. Garofalo, V.: Truncated Binary Multipliers with Minimum Mean Square Error: Analytical Characterization, Circuit Implementation and Applications. Ph.D. Dissertation. University of Studies of Naples “Federico II”, Naples, Italy, 2008.

6. J. Drozd, A. Drozd, S. Antoshchuk, “Green IT engineering in the view of resource-based approach,” In book: Green IT Engineering: Concepts, Models, Complex Systems Architectures, Studies in Systems, Decision and Control, V. Kharchenko, Y. Kondratenko, J. Kacprzyk, Eds., Vol. 74. Berlin, Heidelberg: Springer International Publishing, 2017, pp. 43–65.

7. A. Drozd, J. Drozd, S. Antoshchuk, V. Antonyuk, K. Zashcholkin, M. Drozd, O. Titomir, “Green Experiments with FPGA,” in book: Green IT Engineering: Components, Networks and Systems Implementation, V. Kharchenko, Y. Kondratenko, J. Kacprzyk, Eds., Vol. 105. Berlin, Heidelberg: Springer International Publishing, 2017, pp. 219–239.

8. Delphi 10 Seattle: Embarcadero, 2015. <https://www.embarcadero.com/ru/products/Delphi>