

УДК 681.325.57

А.В. Дрозд, д-р. техн. наук, проф.,
Реза Колахи, магистр,
Одес. нац. политехн. ун-т

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСЕГМЕНТНОГО КОНТРОЛЯ В РАБОЧЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ МАТРИЧНОГО ДЕЛИТЕЛЯ МАНТИСС

О.В. Дрозд, Реза Колахи. Використання посегментного контролю в робочому діагностуванні матричного поділювача мантис. Розглянуто питання робочого діагностування поділювача мантис з відновленням залишку, що виконує наближені обчислення. Запропоновано метод посегментного контролю, який забезпечує підвищення достовірності контролю частки, знижуючи відбраковування достовірних результатів обчислень.

A.V. Drozd, Reza Kolahi. Application of segment-serial checking in on-line testing of an iterative array divider of mantissas. The question of on-line testing of the iterative array restoring divider of mantissas that executes approximated calculations. is considered. The segment-serial checking method, which provides an increase of the reliability in the quotient checking by reducing a rejection of the computation reliable results is offered.

Рабочее диагностирование (РД) вычислительных устройств сформировалось, на основании теории самопроверяемых схем, которая определила основное требование к методам РД — обнаруживать неисправности цифровых схем по первой ошибке результата [1]. В рамках данной теории были разработаны методы РД по паритету и по модулю, которые показали высокую эффективность для широкого круга задач. Эти методы обладают высокой обнаруживающей способностью, выявляя практически все характерные неисправности современных матричных арифметических устройств по первой ошибке [2]. Однако настоящей целью РД является не поиск неисправностей, а оценка достоверности результатов вычислений [3]. В случае обработки точных данных, к которым относятся только номера элементов множеств, любая ошибка делает результат недостоверным. Поэтому обнаружение первой ошибки не только выявляет неисправность схемы, но и оценивает достоверность точного результата.

Результат обработки приближенных данных состоит из старших верных и младших неверных разрядов. Ошибки в верных разрядах являются существенными для достоверности результата, а ошибки в неверных разрядах — несущественными, поскольку их величина оказывается ниже уровня абсолютной погрешности вычислений. Несущественные ошибки происходят значительно чаще существенных, что снижает эффективность методов РД с традиционно высокой обнаруживающей способностью, т.к. эти методы не различают эти ошибки и поэтому в основном выявляют несущественные, отбраковывая достоверные результаты [4]. Приближенные данные составляют основную часть чисел, и их доля в компьютерной обработке постоянно растет. Кроме того, расширяется круг задач, для которых отбраковка достоверных результатов и их дальнейший пересчет недопустимо снижает производительность вычислительных устройств. Поэтому методы РД требуют дальнейшего развития в направлении различения существенных и несущественных ошибок. Наибольшие перспективы в решении этой задачи имеют методы РД, оценивающие величину ошибки.

Предлагается метод посегментного контроля, разработанный для РД матричных делителей мантис. Суть метода состоит в последовательной проверке отдельных сегментов бит вычисляемых результатов. Метод ориентирован на РД матричных устройств, отличающихся однородностью элементов и регулярностью связей их структур. Вычисляемый результат разбивается на отдельные сегменты, формируемые одинаковыми элементами матричного устройства. Однородность элементов позволяет унифицировать контроль каждого из сегментов бит результата. Поэтому последовательная проверка сегментов выполняется с использованием единой схемы контроля и средств подключения к ним текущего элемента диагностируемого устройст-

ва. Вероятность обнаружения ошибок сегмента определяется частотой его проверки. Поэтому метод позволяет посегментно задавать распределение вероятностей обнаружения ошибок вычисляемых результатов. Это создает условия для различения существенных и несущественных ошибок при увеличении частоты проверки сегментов в направлении от младших бит результата к старшим.

В матричных устройствах операция деления выполняется, как правило, итерационно по алгоритмам с восстановлением и без восстановления остатка [5].

Матричный делитель с восстановлением остатка содержит матрицу ячеек из $n + 1$ строк, выполняющих итерации $i = 0 \div n$ вычисления разрядов частного. Исходные данные — нормализованные двоичные n -разрядные мантиссы $A\{1 \div n\}$ и $B\{0 \div n\}$ делимого и делителя — дополняются кодом знака в старшей позиции, образуя $(n + 1)$ -разрядные коды $A_0\{0 \div n\} = 0.A\{1 \div n\}$ и $B_0\{0 \div n\} = 0.B\{1 \div n\}$. На итерации i обрабатываются два числа — текущее значение делимого $A_i\{0 \div n\}$ и делитель $B_0\{0 \div n\}$. Вычисляется разность чисел в дополнительном коде по следующей формуле $S_i\{0 \div n\} = A_i\{0 \div n\} - B\{0 \div n\}$. Инверсия знака разности $S_i\{0\}$, вычисляемая на выходе переноса сумматора n -й ячейки строки, является разрядом частного $Q\{i\} = \neg S_i\{0\}$. Результат итерации определяется по n младшим битам первого числа или разности соответственно при нулевом или единичном значении разряда частного: $R_i\{1 \div n\} = A_i\{1 \div n\} \wedge \neg Q\{i\} \vee S_i\{1 \div n\} \wedge Q\{i\}$. Удвоенный результат итерации является текущим значением делимого $A_i\{0 \div n\} = R_i\{1 \div n\} . 0$ для следующей итерации $i > 1$.

Ячейка матрицы обрабатывает в строке один разряд чисел: вычисляет разряд разности на полном двоичном сумматоре и выбирает разряд результата итерации на коммутаторе под управлением вычисленного на этой итерации разряда частного.

Метод посегментного контроля матричного делителя разбивает $(n + 1)$ -разрядное частное на n двухразрядных сегментов $Q\{C, C + 1\}$, $C = 0 \div n - 1$, которые проверяются в определенной последовательности путем сравнения с контрольным сегментом. Исходными данными для контрольного сегмента являются два числа — делимое $A^*\{0 \div n\}$ и делитель $B_0\{0 \div n\}$. Делимое $A^*\{0 \div n\}$ выбирается из текущих значений делимого $A_i\{0 \div n\}$, используемых для выполнения матричного деления на итерации i . Разряды делимого определяются с использованием функции M выбора, реализуемой мультиплексором по формуле:

$$A^*\{j\} = M(A_0\{j\} \div A_n\{j\}, C), j = 0 \div n,$$

где $A_0\{j\} \div A_n\{j\}$ — первый аргумент функции, содержащий пронумерованные от 0 до n j -е разряды текущего значения делимого $A_i\{0 \div n\}$;

C — второй аргумент функции, номер проверяемого сегмента.

Функция M выбирает разряд $A_i\{j\}$ при $C = i$ для $i = 0 \div n - 1$.

Контрольный сегмент включает в себя два разряда частного Q_1^* и Q_2^* , которые вычисляются средствами контроля на двух неполных смежных итерациях деления по формулам:

$$S_1^*\{0 \div n\} = A^*\{0 \div n\} - B\{0 \div n\};$$

$$Q_1^* = \neg S_1^*\{0\};$$

$$R^*\{1 \div n\} = A^*\{1 \div n\} \wedge \neg Q_1^* \vee S_1^*\{1 \div n\} \wedge Q_1^*;$$

$$S_2^*\{0 \div n\} = R^*\{1 \div n\} . 0 - B\{0 \div n\};$$

$$Q_2^* = \neg S_2^*\{0\},$$

где $S_1^*\{0 \div n\}$ и $S_2^*\{0 \div n\}$ — разности чисел соответственно в первой и второй итерациях, выполняемых в контрольном сегменте;

$R^*\{1 \div n\}$ — результат первой итерации, выполняемой в контрольном сегменте.

Разряды Q_1^* и Q_2^* , вычисленные для заданного номера C , сравниваются соответственно с разрядами частного, посчитанными в матричном делителе на итерациях C и $C + 1$. При совпадении разрядов проверяемый сегмент $Q\{C, C + 1\}$ результата считается правильным, в противном случае фиксируется ошибка.

Последовательная проверка всех сегментов, выполняемая в цикле каждые n тактов (операций деления), обеспечивает частоту $F = 2 / n$ контроля разрядов частного $Q\{1\} \div Q\{n-1\}$. Данной частотой определяется вероятность обнаружения ошибок в разрядах результата.

Проверка сегментов старших разрядов частного с большей частотой, достигаемой за счет ее снижения в младших разрядах, обеспечивает повышение вероятности P_{DE} обнаружения существенных ошибок в верных разрядах и понижение вероятности P_{DN} обнаружения несущественных ошибок в неверных разрядах. Увеличение продолжительности цикла проверки на Δ тактов в части контроля верных разрядов повышает вероятность обнаружения существенных ошибок до величины $P_{DE} = (2 + 2\Delta / n_B) / (n + \Delta)$, где n_B — количество верных разрядов результата. Одновременно снижается вероятность обнаружения несущественных ошибок до величины $P_{DN} = 2 / (n + \Delta)$, что устанавливает следующее соотношение вероятностей:

$$P_{DE} / P_{DN} = (1 + \Delta / n_B). \quad (1)$$

Показатель достоверности контроля результатов оценивается для метода РД по следующей формуле [5]

$$D = K_E P_{DE} + (1 - K_E) (1 - P_{DN}), \quad (2)$$

где K_E — вероятность того, что появившаяся ошибка является существенной.

Для полных двуместных операций, к которым относится рассматриваемое деление, $K_E \leq 0,5$. При $K_E = 0,5$ и $\Delta / n_B = k$ формула (2) с учетом (1) преобразуется к виду $D = 0,5 (1 + P_{DE} - P_{DN}) = 0,5 (1 + k P_{DN})$.

Полученная формула показывает, что предложенное изменение частоты проверки разрядов результата обеспечивает выигрыш в достоверности на $0,5 k P_{DN}$. При снижении вероятности K_E выигрыш увеличивается.

Литература

1. Согомонян Е. С., Слабаков Е. В. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. — М.: Радио и связь, 1989. — 208 с.
2. Alzacher N., Nicolaidis M. A CAD Framework for Generating Self-Checking Multipliers Based on Residue Codes // Proceedings. Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition 1999 (DATE 1999), Munich, Germany, 1999. — P. 122 – 129.
3. Дрозд А. В. Базовые концепции функционального диагностирования вычислительных устройств для приближенной обработки данных // Электронное моделирование. Том 25. — 2003. — № 1. — С. 73 — 79.
4. Drozd A., Lobachev M., Drozd J. The problem of on-line testing methods in approximate data processing // Proceedings. IEEE International On-Line Testing Symposium 2006 (IOLTS 2006), Como, Italy, 2006. — P. 251 – 256.
5. Рабинович З. Л., Раманаускас В. А. Типовые операции в вычислительных машинах. — К.: Техника, 1980. — 264 с.

Поступила в редакцию 10 октября 2006 г.