

УДК 004.315

М. САИД МОУАФАК МОНТАХА, М.В. ЛОБАЧЕВ, И.Г. МИЛЕЙКО, А.В. ДРОЗД

*Одесский национальный политехнический университет, Украина**Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Украина*

МЕТОДЫ РАБОЧЕГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ПРИБЛИЖЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В МАТРИЧНЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Проведен анализ оценки достоверности контроля результатов, направленный на повышение достоверности методов рабочего диагностирования в обработке приближенных данных. Для получения высокой достоверности контроля приближенных результатов выделены две области с высокой и низкой вероятностью появления существенной ошибки. Методы рабочего диагностирования должны обеспечивать в этих областях такие же высокие и низкие вероятности обнаружения ошибки. Показана невозможность решения этой задачи традиционными методами рабочего диагностирования. Предложены методы рабочего диагностирования, использующие положения контроля по модулю для повышения достоверности контроля приближенных результатов в обеих выделенных областях. Метод контроля по модулю сокращенных операций сочетает высокую вероятность обнаружения ошибки с высокой вероятностью появления существенной ошибки в сокращенных операциях. Метод контроля по упрощенной операции использует возможности контроля по модулю для ограничения множества входных слов, на которых проверяется результат. Это упрощает контролируруемую операцию и снижает вероятность обнаружения ошибки.

Ключевые слова: *рабочее диагностирование, достоверность контроля результатов, вычислительные устройства, приближенные вычисления, сокращенные операции, контроль по модулю, контроль по упрощенной операции.*

Введение

Развитие компьютерных систем и их компонентов требует постоянного совершенствования методов рабочего диагностирования, обеспечивающих оценку достоверности результатов выполняемых вычислений.

В становлении рабочего диагностирования можно выделить три этапа. На первом, начальном этапе методы рабочего диагностирования заимствовались из теории помехоустойчивого кодирования для передачи сообщений на расстояния и не распространялись на собственные средства, которые на время передачи данных считались абсолютно надежными [1]. Таким образом, достоверность результатов оценивалась неконтролируемыми средствами рабочего диагностирования.

Следующий этап начался с конца шестидесятих лет прошлого столетия, когда стала формироваться теория самопроверяемых схем [2].

В определениях полностью самопроверяемой схемы было зафиксировано сложившееся к тому времени понимание цели рабочего диагностирования – оценка исправности схемы контроля путем поиска в ней неисправности в процессе выполнения основных операций на фактических данных. При этом к методам рабочего диагностирования предъ-

является требование обнаружения неисправности по первой ошибке [3].

Такой подход обеспечивает оценку достоверности вычисляемых результатов только для случая точных данных, когда обнаруженная ошибка одновременно указывает и на наличие неисправности в схеме и на получение на ее выходах недостоверного результата.

К точным данным относятся нумерованные данные, т.е. целые по своей природе, являющиеся номерами элементов различных множеств.

Таким образом, на втором этапе рабочее диагностирование разрабатывалось в рамках точных данных, что не является удивительным, поскольку человек мыслит нумерованными данными, и никакое другое число не может быть записано в полях компьютерных форматов.

Третий этап рабочего диагностирования иницируется существенным совершенствованием элементной базы вычислительной техники, что расширяет круг решаемых задач, обеспечивает значительное усложнение технических решений, распараллеливание вычислений и осознание приближенного характера обрабатываемых данных.

В этих условиях рабочее диагностирование обязано преодолеть ограничения, навязываемые ему частным случаем точных данных, в связи с чем ста-

вится задача проведения ревизии известных и разработки новых методов рабочего диагностирования, направленных на оценку достоверности результатов обработки приближенных данных.

1. Анализ достоверности контроля результатов

Обработка приближенных данных имеет ряд особенностей, оказывающих существенное влияние на рабочее диагностирование вычислительных систем и их компонентов.

Одна из основных особенностей заключается в том, что приближенный результат состоит из старших верных и младших неверных разрядов [4].

Ошибки, вызываемые неисправностями в этих разрядах, являются соответственно существенными и несущественными для достоверности результата, т.е. делают его недостоверным или не оказывают на достоверность результата никакого влияния.

Достоверностью метода рабочего диагностирования является достоверность контроля результатов. Метод рабочего диагностирования достоверен настолько, насколько правильно оценивает результат: на достоверный результат дает положительную оценку, а на недостоверный – отрицательную. Отрицательной оценкой является факт обнаружения ошибки, в то время как настоящим признаком недостоверности результата является существенная ошибка. Поэтому достоверность контроля результатов оценивается из условия обнаружения существенных ошибок (отрицательная оценка) и игнорирования несущественных ошибок (положительная оценка) по следующей формуле [5]

$$D = P_O P_C + (1 - P_O) (1 - P_C), \quad (1)$$

где P_O – вероятность того, что происшедшая ошибка является существенной;

P_C – вероятность обнаружения ошибки.

Традиционные методы рабочего диагностирования, основанные на теории самопроверяемых схем, имеют высокую вероятность обнаружения ошибки. По отношению к ошибкам, вызываемым неисправностями из множества, устанавливаемого в определении самопроверяемой схемы, $P_O = 1$. Тогда из формулы (1) следует $D = P_C$. Для случая точных данных, когда все ошибки являются существенными, т.е. $P_C = 1$, достоверность $D = 1$.

Для оценки достоверности контроля приближенных результатов необходимо оценить вероятность P_C , что может быть выполнено по формуле

$$P_C = n_B / n_P, \quad (2)$$

где n_B – количества верных разрядов результата;

n_P – длина вычисляемого результата.

Такая оценка должна учитывать особенности арифметических операций и их выполнения в приближенных вычислениях над мантиссами чисел с плавающей точкой [6].

Операция умножения имеет ту особенность, что разрядность ее результата равна сумме разрядностей операндов. Согласно теории ошибок, верных разрядов в приближенном результате не больше, чем в операнде с наименьшим количеством верных разрядов. Поэтому все следующие младшие разряды результата относятся к неверным разрядам, а ошибки, которые в них происходят, – к несущественным.

Для случая вычисления полного $2n$ -разрядного произведения двух n -разрядных операндов, состоящих из всех верных разрядов $n_B = n$ и $n_P = 2n$, что, согласно формуле (2), определяет вероятность $P_C = 0,5$.

Сложение мантисс включает в себя операцию денормализации мантисс, выполняемую для выравнивания порядков, и операцию нормализации результата. Выравнивание порядков приводит к сдвигу вправо мантиссы операнда с меньшим порядком, что сопровождается потерей младших разрядов, которые во всех предыдущих результатах относились к верным. Ошибки в этих разрядах становятся несущественными, снижая долю существенных ошибок при каждом выравнивании порядков.

При сдвиге мантиссы операнда на n_D позиций вправо теряется n_D ее младших разрядов. Тогда (n_D / n) -я часть разрядов результатов всех предшествующих денормализации операций переходит из состава верных разрядов в неверные, а ошибки в этих разрядах – из множества существенных в несущественные, отбрасываемые при денормализации.

Следовательно, вероятности P_C для результатов всех предшествующих операций должны быть уточнены умножением на вероятность попадания существенных ошибок в разряды, не отбрасываемые при денормализации операнда, определяемую по следующей формуле

$$P_D = 1 - n_D / n. \quad (3)$$

Нормализация результата выполняется при сложении мантисс различных знаков и появлении в результате старших незначащих разрядов путем сдвига мантиссы результата влево. При этом на высвобождаемые младшие позиции вдвигаются неверные разряды, которые уменьшают количество верных разрядов в операндах, а, следовательно, и результатах всех следующих операций.

Пусть сдвиг мантиссы результата при его нормализации выполняется на n_H позиций. Тогда (n_H / n) -я часть разрядов результатов всех следующих за нормализацией операций переходит из состава верных разрядов в неверные, а ошибки в этих разрядах – из множества существенных в несущест-

венные. Следовательно, вероятности P_C для результатов всех следующих операций должны быть уточнены умножением на вероятность того, что ошибка не попала в добавленные неверные разряды, которая определяется по следующей формуле

$$P_H = 1 - p_H / n. \quad (4)$$

В случае, если исходные данные изначально имели p_H младших неверных разрядов, то вероятности P_C для результатов всех следующих операций также умножаются на P_H . Если исходные данные имеют различные значения p_H , то принимается во внимание наименьшее значение среди операндов каждой операции. Полученные оценки вероятности $P_C < 0,5$ определяют для традиционных методов рабочего диагностирования соответствующую низкую достоверность $D < 0,5$.

Для повышения вероятности P_C , согласно формуле (2), необходимо либо увеличивать количество верных разрядов p_B , либо уменьшать длину p_r вычисляемого результата. Количество p_B верных разрядов, как правило, не подлежит увеличению, поскольку оно определяется количеством верных разрядов исходных данных и выполняемыми вычислительными операциями, что является фиксированным для данного вычислительного процесса. Уменьшение длины p_r вычисляемого результата может быть выполнено в форматах одинарной точности при использовании сокращенных арифметических операций [7, 8]. Однако традиционные методы могут контролировать такие операции только дублированием их выполнения (аппаратно или последовательно во времени). При этом длину вычисляемого результата следует считать как суммарную разрядность основного и дублирующего результатов, что еще больше снижает вероятность P_C .

Таким образом, для повышения достоверности контроля приближенных результатов необходимы новые методы рабочего диагностирования.

Анализ формулы (1) показывает, что высокая достоверность $D > 0,5$ достигается в двух случаях:

- $P_C > 0,5$ и $P_O > 0,5$;
- $P_C < 0,5$ и $P_O < 0,5$.

Поэтому достоверность контроля приближенных результатов может быть повышена, различая две области значений вероятности $P_C > 0,5$ и $P_C < 0,5$.

Учитывая популярность контроля по модулю, предлагается решение данной задачи, используя положения этого метода.

2. Контроль по модулю сокращенных операций

Рабочее диагностирование для $P_C > 0,5$ обеспечивается методом контроля по модулю сокращен-

ных операций, для которых достижима такая вероятность P_C и близкая к единице вероятность P_O .

В качестве сокращенной операции рассматривается умножение мантисс, как операция, обеспечивающая сокращение вычислений и наследующая его в другие операции над мантиссами в силу присутствия умножения в самой записи числа в форматах с плавающей точкой.

На рис. 1. показана матрица конъюнкций произведения двоичных кодов $A\{1 \div n\}$ и $B\{1 \div n\}$ n -разрядных мантисс $A = A\{1 \div n\}2^{-n}$ и $B = B\{1 \div n\}2^{-n}$, по которой вычисляется полное произведение $V_H = V\{1 \div 2n\}2^{-2n}$ (для $n = 8$).

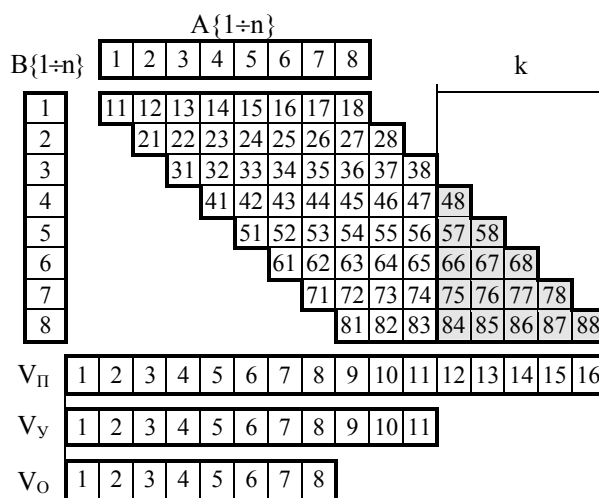


Рис. 1. Вычисление усеченного произведения

В методе сокращенного умножения матрица разбивается на две части – младшую, состоящую из k столбцов, исключаемых из вычислений, и старшую, по которой вычисляется усеченное произведение $V_y = V\{1 \div 2n - k\}2^{-(2n - k)}$.

Старшие n разрядов усеченного произведения составляют округленный результат одинарной точности $V_O = V\{1 \div n\}2^{-n}$. Остальные младшие разряды V_B отбрасываются. Величина $k = n - \log_2 n$ определяется из условия сохранения одинарной точности округленного результата.

Метод сокращенного умножения обеспечивает близкое к двукратному снижению затрат оборудования и времени вычислений матричного умножителя мантисс без потери одинарной точности [7, 8].

При всех верных разрядах операндов вероятность P_C повышается до значения $P_C = n / (n + \log_2 n)$, что с увеличением n стремится к единице.

Контроль по модулю сокращенного умножения основывается на разбиении старшей части матрицы конъюнкций произведения на фрагменты, которые определяются по формуле [9].

$$V_i = A_i B_i \text{ sign} V_i, \quad (5)$$

где A_i (B_i) – множимое (множитель) или его часть, $\text{sign} V_i = 1$, если большинство конъюнкций фрагмента расположено в старшей части матрицы, и $\text{sign} V_i = -1$ в противном случае.

Сумма фрагментов, составляющих старшую часть МКП, определяет усеченное произведение

$$V_y = \sum_{i=1}^{n_k} V_i, \quad (6)$$

где n_k – количество фрагментов.

Минимальное количество фрагментов определяется количеством конъюнкций, прилегающих к линии разбиения матрицы со стороны рассматриваемой части. Для старшей части $n_k = k + 1$, для младшей части $n_k = k$.

С переходом от основных данных к их контрольным кодам формула (4) с учетом формулы (5) преобразуется к виду

$$KV_y = \sum_{i=1}^{k+1} \text{sign} V_i KA_i KB_i$$

где $KA_i = A_i \text{ mod } m$; $KB_i = B_i \text{ mod } m$.

Контрольный код округленного результата определяется как $KV_O = KV_y - KV_B$, где $KV_B = V_B \text{ mod } m$.

Схема контроля по модулю сокращенного умножения, реализующая описанные контрольные вычисления, показана на рис. 2.

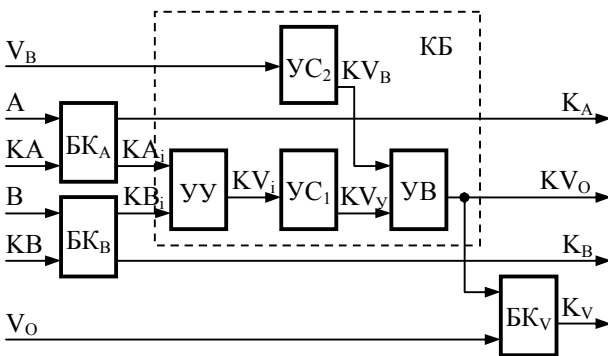


Рис. 2. Схема контроля по модулю сокращенного умножения

Схема контроля содержит блоки контроля операндов и результата BK_A , BK_B и BK_V , а также контрольный блок KB , в состав которого входят узел умножения YY , узлы сложения и свертки UC_1 , UC_2 и узел вычитания UB . Блоки контроля операндов сравнивают по модулю операнды A и B с их входными контрольными кодами KA и KB , формируя при этом коды контроля операндов KA_i и KB_i , кото-

рые поступают на узел умножения YY , формирующий контрольные коды KV_i , $i = 1 \div k + 1$ фрагментов V_i . Эти коды складываются по модулю в узле сложения UC_1 , образуя контрольный код KV_y усеченного произведения V_y . Узел свертки UC_2 принимает младшие отбрасываемые разряды V_B усеченного произведения и формирует по ним контрольный код KV_B . Узел UB вычитает его по модулю из контрольного кода усеченного произведения KV_y , вычисляя контрольный код KV_O . Этот код выдается на выход схемы контроля для сопровождения округленного результата V_O , а также в блок BK_V для сравнения с ним и формирования кода контроля результата K_V .

Блок контроля результата BK_V принадлежит схеме контроля следующей операции, где результат выступает в роли операнда. Поэтому сложность схемы контроля оценивается по блокам контроля операндов и контрольному блоку. Блок контроля сжимает входной код на n бит, что позволяет оценить его сложность в полных сумматорах, сжимающих данные на один бит, как n сумматоров, контрольного блока – $n + k$ сумматоров, а всей схемы контроля – $3n + k$ сумматоров. Это почти на треть больше затрат оборудования в известном контроле по модулю округленного результата как части полного произведения [10]. Однако сокращенная операция почти вдвое уменьшает количество оборудования матричного умножителя (которое находится в квадратичной зависимости от длины операндов), хотя при этом относительная сложность схемы предложенного контроля удваивается.

3. Контроль по упрощенной операции

Рабочее диагностирование для случая $P_C < 0,5$ может быть выполнено с использованием метода контроля по упрощенной операции. Упрощение вычислительной операции осуществляется путем ограничения множества входных слов, на которых выполняется контроль результатов. Такие слова, составляемые их операндов, называются контрольными. Один из способов ограничения множества контрольных слов заключается в подмене входных слов или их частей контрольными кодами по модулю.

Схема контроля по упрощенной операции показана на рис. 3.

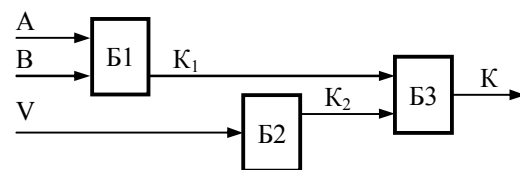


Рис. 3. Схема контроля по упрощенной операции

Схема содержит три блока Б1, Б2 и Б3. Блок Б1 идентифицирует входные контрольные слова, составленные из операндов А и В, и формирует двухразрядный код $K_1 = 00_2$ или $K_1 = 11_2$ при выявлении контрольного слова и $K_1 = 01_2$ или $K_1 = 10_2$ в противном случае. Блок Б2 проверяет результат V операции, анализируя ее как упрощенную, и формирует двухразрядный код $K_2 = 00_2$ или $K_2 = 11_2$ при обнаружении ошибки и $K_2 = 01_2$ или $K_2 = 10_2$ в противном случае. Блок Б3 формирует двухразрядный код контроля $K = 00_2$ или $K = 11_2$ при обнаружении ошибки на контрольном слове и $K = 01_2$ или $K = 10_2$ в противном случае.

Множество контрольных слов определяется наложением на операнды ограничивающих условий.

Например, условие $A \bmod m = B \bmod m$ позволяет контролировать умножение А на В как операцию возведения в квадрат по модулю m. Требуемая вероятность обнаружения ошибки может быть определена по формуле $P_0 = \ln 2 / T$, исходя из величины T естественной временной избыточности в форме пассивного запаса времени контроля [11]. Вероятность P_0 обнаружения ошибки, обеспечиваемая данным методом контроля определяется по формуле $P_0 = P_{B1} \cdot P_{B2}$, где P_{B1} – вероятность появления контрольных слов, а P_{B2} – вероятность обнаружения ошибки в блоке Б2 на этих словах.

Вероятность P_0 , обеспечиваемая методом контроля, приводится к требуемой величине путем подбора ограничивающих условий и логических операций над ними. Например, ограничивающее условие $A \bmod m = 0$, позволяет уменьшить количество контрольных слов и вероятности P_{B1} и P_0 в m раз. Выполнение двух условий $A \bmod m = 0$ и $B \bmod m = 0$ одновременное (операция И), хотя бы одного из них (операция ИЛИ) и только одного из них (операция Исключающее ИЛИ) уменьшает вероятность P_0 соответственно в m^2 , $m^2 / (2m - 1)$ и $m^2 / (2m - 2)$ раз.

Контроль сокращенной операции может быть выполнен по упрощенной операции как контроль полной операции по модулю m [12]. Для сокращенного умножения такое упрощение $V_{II} \bmod m = V_0 \bmod m$ обеспечивается при нулевой по модулю m младшей части матрицы.

Тогда ограничивающее условие, снижающее вероятность P_0 в m раз, получается по разбиению младшей части на k фрагментов и имеет вид

$$\sum_{i=1}^k \text{sign} V_i K A_i K B_i = 0.$$

Сложность схемы контроля по упрощенной операции не превосходит затрат в контроле по модулю.

Заклучение

Оценка достоверности контроля приближенных результатов выделяет две области для ее повышения: с высокой и низкой вероятностями P_C существенной ошибки, что требует применения методов рабочего диагностирования с такой же, т.е. соответственно высокой и низкой вероятностью P_0 обнаружения ошибки.

Традиционные методы рабочего диагностирования, базирующиеся на теории самопроверяемых схем, не вписываются в условия повышения достоверности контроля приближенных результатов, поскольку при низкой вероятности P_C имеют высокую вероятность P_0 обнаружения ошибки.

Предложенные методы рабочего диагностирования повышают достоверность контроля приближенных результатов, по-разному используя положения контроля по модулю. Контроль по модулю сокращенных операций непосредственно проверяет округленный результат. При этом высокая вероятность P_C сокращенных операций сочетается с высокой вероятностью P_0 метода контроля по модулю. Контроль по упрощенной операции использует положения контроля по модулю для ограничения количества входных контрольных слов и соответственно вероятности P_0 обнаружения ошибки в условиях низкой вероятности P_C .

Литература

1. Андронов И.С. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам / И.С. Андронов, Л.М. Функ. – М.: Советское радио, 1971. – 408 с.
2. Anderson D. Design of Totally Self-Checking Circuits for n-out-of-m Codes / D. Anderson, G. Metz // IEEE Transactions on Computers. – 1973, – Vol. C-22, P. 263–269.
3. Metra C. Concurrent Checking of clock signal correctness / C. Metra, M. Favalli, B. Ricco // Proc. IEEE Design & Test Conf. – 1998. – P. 42–48.
4. Демидович Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. – М.: Физматгиз, 1966. – 664 с.
5. Drozd A. The problem of on-line testing methods in approximate data processing / A. Drozd, M. Lobachev, J. Drozd // Proc. 12th IEEE International On-Line Testing Symposium. – Como (Italy). – 2006. – P. 251–256.
6. Мілейко І.Г. Метод оцінки інформаційної надійності в інформаційно-вимірвальних системах / І.Г. Мілейко // Холодильна техніка і технологія. – 2009. – № 4. – С. 75–77.
7. Рабинович З.Л. Типовые операции в вычислительных машинах / З.Л. Рабинович, В.А. Раманукаш. – К.: Техника, 1980. – 264 с.
8. Савельев А.Я. Прикладная теория цифровых автоматов / А.Я. Савельев. – М.: Высш. шк., 1987. – 272 с.

9. Дрозд А.В. Контроль по модулю однотактного умножителя с сокращенным выполнением операции / А.В. Дрозд // Электронное моделирование. Том 20. – 1998. – № 3. – С. 90-98.

10. Граф Ш. Схемы поиска неисправностей / Ш. Граф, М. Гессель. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 144 с.

11. Колахи Р. Использование посегментного контроля в вычислительных устройствах с мат-

ричным параллелизмом / Р. Колахи // Холодильная техника и технология. – 2007. – № 1. – С. 102-104.

12. Саїд М. Робоче діагностування матричного поділювача мантис за спрощеною операцією / М. Саїд // Холодильная техника и технология. – 2009. – № 4. – С. 72-74.

Поступила в редакцию 8.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., директор института С.Г. Антошук, Одесский национальный политехнический университет, Одесса.

МЕТОДИ РОБОЧОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ КОНТРОЛЮ НАБЛИЖЕНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ У МАТРИЧНИХ АРИФМЕТИЧНИХ ПРИСТРОЯХ

М. Саїд Моуафак Монтаха, М.В. Лобачев, І.Г. Мілейко, О.В. Дрозд

Проведено аналіз оцінки достовірності контролю результатів, що спрямований на підвищення достовірності методів робочого діагностування в обробці наближених даних. Для одержання високої достовірності контролю наближених результатів виділено дві області з високою та низькою ймовірністю появи суттєвої помилки. Методи робочого діагностування повинні забезпечувати в цих областях такі ж високі та низькі ймовірності виявлення помилки. Показано неможливість розв'язання цієї задачі традиційними методами робочого діагностування. Запропоновані методи робочого діагностування, що використовують положення контролю за модулем для підвищення достовірності контролю наближених результатів в обох виділених областях. Метод контролю за модулем скороченої операції сполучає високу ймовірність виявлення помилки з високою ймовірністю появи суттєвої помилки у скорочених операціях. Метод контролю за спрощеною операцією використовує можливість контролю за модулем для обмеження множини вхідних слів, на яких перевіряється результат. Це спрощує контрольовану операцію й знижує ймовірність виявлення помилки.

Ключові слова: робоче діагностування, достовірність контролю результатів, обчислювальні пристрої, наближені обчислення, скорочені операції, контроль за модулем, контроль за спрощеною операцією.

ON-LINE TESTING METHODS FOR INCREASE IN RELIABILITY OF CHECKING THE APPROXIMATED RESULTS IN ITERATIVE ARRAY ARITHMETIC DEVICES

M. Said Mouafak Montaha, M.V. Lobachev, I.H. Mileyko, A.V. Drozd

An estimation of reliability in the checking the results, directed to increase reliability of on-line testing methods in processing the approximate data is analyzed. For achieving high reliability of the checking the approximated results two areas with high and low probabilities of occurrence of an essential error are considered. On-line testing methods should provide the same high and low probabilities of error detection in these areas. The impossibility of the decision of this problem by traditional methods of on-line testing is shown. The on-line testing methods using theses of the residue checking for increase in reliability of the checking the approximated results in both considered areas are offered. The residue checking method of the truncated operations combines high probability of error detection with high probability of an essential error occurrence in the truncated operations. The method by the simplified operation uses opportunities of the residue checking to restrict a set of input words, on which the result is checked. It simplifies checked operation and reduces probability of error detection.

Key words: on-line testing, reliability in the checking the results, computing devices, approximated calculations, truncated operations, residue checking, checking by the simplified operation.

Монтаха Маюел Саїд Моуафак – аспірант кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем і мереж Одеського національного політехнічного університету, Одесса, Україна, e-mail: mawel_m_s@hotmail.com.ua.

Лобачев Михайл Вікторович – канд. техн. наук, доцент, зам директора інститута інноваційного послєдипломного образования Одеського національного університету ім. І.І. Мечнікова, Одесса, Україна, e-mail: lobachev@ukr.net.

Мілейко Ігорь Генрихович – старший преподаватель кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем і мереж Одеського національного політехнічного університету, Одесса, Україна, e-mail: mig3@ukr.net.

Дрозд Александр Валентинович – доктор техн. наук, профессор кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем і мереж Одеського національного політехнічного університету, Одесса, Україна, e-mail: drozd@ukr.net.