

УДК 621.325.5

А.В. ДРОЗД¹, С.Г. АНТОЩУК¹, А. РУСИНСКИЙ², КОЛАХИ РЕЗА ДЖАВАД¹¹Одесский национальный политехнический университет, Украина²Университет НьюХэмпшира, США

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ РЕЗУЛЬТАТОВ В ОБРАБОТКЕ ПРИБЛИЖЕННЫХ ДАННЫХ

Рассмотрены особенности рабочего диагностирования вычислительных устройств для обработки приближенных данных. Показано, что естественная структурно-временная избыточность, присущая приближенной обработке данных, снижает вероятность обнаружения существенной ошибки в сегментах результата. Это приводит к снижению достоверности контроля приближенных результатов. Для повышения достоверности предлагается метод посегментного контроля, разбивающий результат на сегменты разрядов и обеспечивающий для них заданные вероятности обнаружения ошибки.

рабочее диагностирование, вычислительные устройства, обработка приближенных данных, существенные и несущественные ошибки, достоверность результатов, пассивный запас времени контроля, посегментный контроль, достоверность контроля результатов

Введение

Ошибка – одно из основных понятий в рабочем диагностировании (РД) вычислительных устройств (ВУ), и от понимания ее сути и роли зависит успешность развития РД. Вместе с тем, в РД разделяется сложившееся в различных сферах человеческой деятельности общее отношение к ошибке как к некоторому негативу, которому необходимо противостоять. Как правило, отношение к ошибке упрощается до уровня борьбы с нею.

Однако, как показано в [1], наш Мир не существует, не развивается и не познается вне ошибки.

Человек переоценивает свои возможности, приписывая себе способность «делать ошибки». Считать, что мы делаем ошибку, например, при измерении какого-либо линейного размера, – свидетельство высокого мнения о себе. Эта ошибка уже сделана и присутствует в наших ограниченных возможностях измерять, в ограниченной точности измерительного инструмента, в самой невозможности измерять точно, поскольку не существует точных пространственно-временных координат точек, между которыми измеряется расстояние. Ошибка – неотъемлемая часть результата измерений, а не на-

ше порождение. Мы не родители ошибок, а их дети.

Ошибки составляют основу нашего Мира и, в частности, действительно породили нас, поскольку развитие нашего рода, как и всего, происходит, благодаря мутациям – ошибкам. Они дают продолжение и защиту роду, наполняя его версиями.

Все существующее в этом Мире имеет параметры, которые заданы с допусками. Их нарушение карается отбраковкой. Допуск – это ошибка, составляющая жизненное пространство изделия или существа по данному параметру. Количественные оценки параметров – числа с погрешностью, т.е. ошибкой, в пределах которой число является достоверным. Ошибка составляет жизненное пространство числа, а Мир является генератором приближенных данных.

Рабочее диагностирование разработано для точных данных, т.е. целых по своей природе, к которым относятся номера элементов множеств. Точные данные лишены жизненного пространства, что существенно ограничивает РД и требует его развития для приближенных данных

1. Постановка проблемы

Рабочее диагностирование ВУ сложилось в рамках модели точных данных, которая все числа отно-

сит к точным, игнорируя их настоящую природу [2]. Такое положение было оформлено в теории самопроверяемых схем, из которой следовало, что РД нацелено на оценку состояния схемы в процессе вычислений путем поиска неисправностей на фактических данных. Таким образом, решение вычислительной задачи было подчинено вспомогательной задаче контроля аппаратуры. Поскольку неисправность схемы выявляется путем обнаружения ошибки в вычисленном результате, то любая ошибка объявляется «вне закона». Поэтому к методам РД предъявляется требование обнаружения неисправности схемы по первой ошибке [3].

Настоящей целью РД является оценка достоверности результатов, вычисляемых на рабочих словах [4].

Приближенный результат состоит из старших верных и младших неверных разрядов, в которых происходят соответственно существенные и несущественные ошибки для достоверности результата [5].

В соответствии с настоящей целью достоверностью метода РД является достоверность контроля результатов, которая оценивается по следующей формуле [6]:

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

где P_O – вероятность обнаружения ошибки; P_C – вероятность того, что обнаруженная ошибка является существенной.

Достоверность D контроля результатов состоит из двух частей – вероятности обнаружения существенной ошибки $P_O \cdot P_C$ и пропуска несущественной ошибки – $(1 - P_O)(1 - P_C)$.

Высокая вероятность P_O обнаружения ошибки традиционными методами РД, такими как контроль по модулю и паритету [7, 8], и низкая вероятность P_C существенной ошибки [9] определяют низкую достоверность контроля приближенных результатов. При вероятности $P_O = 0$ достоверность $D = P_C$.

Однако такая оценка достоверности не учитывает обнаружение ошибок во времени.

Естественная структурно-временная избыточность в форме пассивного запаса времени контроля (ПЗВК) позволяет обнаруживать неисправность в течение некоторого времени – интервала ПЗВК [10].

При вычислении приближенного результата ПЗВК распространяется на каждый неверный разряд как время, в течение которого результат остается достоверным при накоплении ошибок. Такое ПЗВК зависит от веса разряда. Наличие ПЗВК снижает вероятность обнаружения ошибки, необходимую для выявления недостоверного результата.

Существуют и другие составляющие ПЗВК, которые снижают вероятность обнаружения ошибки для отдельных сегментов или всех разрядов результата. Обнаружение ошибки с большей вероятностью происходит до завершения интервала ПЗВК, т.е., результат является достоверным, а ошибка – несущественной. Метод РД, не учитывающий ПЗВК, имеет завышенную вероятность обнаружения ошибки, которая используется для выявления несущественных ошибок и, следовательно, работает на понижение достоверности контроля результатов.

Ставится задача повышения достоверности контроля приближенных результатов методом посегментного контроля.

2. Метод посегментного контроля

Посегментный контроль разбивает результат на сегменты разрядов и обеспечивает для них заданные вероятности обнаружения ошибки.

Вероятность обнаружения ошибки в сегменте $i = 1 \div z$ разрядов результата определяется, исходя из известной оценки времени обнаружения отказа [11], по следующей формуле:

$$P_i = \ln 2 / T_{i \text{ ПЗВК}}, \quad (2)$$

где $T_{i \text{ ПЗВК}}$ – величина ПЗВК, найденная для сегмента i ;

z – количество сегментов результата.

Сегменты результата нумеруются по направлению от старших разрядов к младшим, а для вероятностей обнаружения ошибки в сегментах устанавливается следующая последовательность неравенств:

$$P_1 \geq \dots \geq P_i \geq \dots \geq P_z.$$

Снижение значений вероятностей по мере приближения к младшим разрядам может быть достигнуто введением в контроль различных ограничений.

К ним следует отнести ограничение по времени.

Разделение всего времени контроля между сегментами результата целесообразно планировать на ограниченном временном отрезке T – интервале времени контроля, который далее воспроизводится циклически на протяжении всего процесса РД. Продолжительность интервала T измеряется количеством вычисляемых на нем результатов, что для одноктактных ВУ представляется количеством тактов работы.

Продолжительность интервала T устанавливается, исходя из точности m задания вероятностей P_i обнаружения ошибки в сегментах результата, и для системы счисления с основанием $q = 2$ определяется по следующей формуле: $T = q^m$.

Количество проверок N_i сегмента i , выполняемых на интервале времени T , определяет частоту контроля сегмента по формуле $F_i = N_i / T$.

Вероятность обнаружения ошибки в сегменте результата определяется с учетом частоты F_i проверки сегмента $P_i = F_i P_D$, где P_D – вероятность обнаружения ошибки в разрядах сегмента при его контроле.

Тогда, количество проверок сегмента i , которое необходимо выполнить на интервале T для достижения вероятности P_i , составляет $N_i = T P_i / P_D$, а суммарное количество проверок на интервале T определяется по следующей формуле:

$$N = T P_{SUM} / P_D,$$

$$\text{где } P_{SUM} = \sum_{i=1}^z P_i.$$

Количество одновременно проверяемых сегментов результата

$$N_T = \lfloor P_{SUM} / P_D \rfloor.$$

Из полученной оценки следуют три варианта выполнения контроля сегментов результата с ограничением по времени:

- последовательный контроль, когда в каждый момент времени проверяется только один сегмент;
- последовательно-параллельный контроль, при котором организуется одновременная проверка нескольких, но не всех сегментов результата;
- параллельный контроль, заключающийся в одновременном контроле всех сегментов результата.

Перечисленные варианты имеют место соответственно при $N_T = 1$, $1 < N_T < z$ и $N_T = z$.

На рис. 1 показана схема посегментного контроля с последовательно-параллельной проверкой сегментов результата.

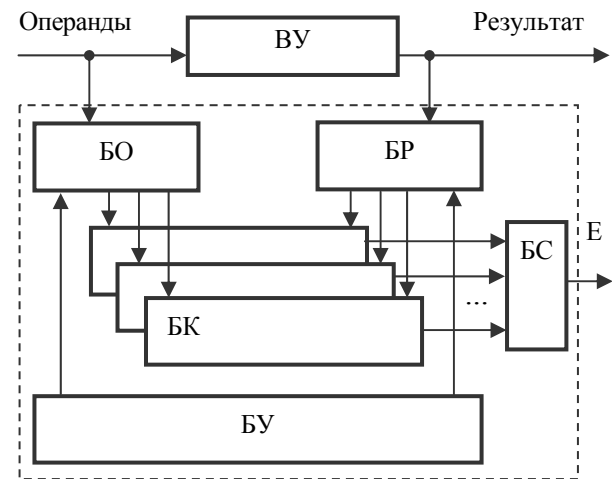


Рис. 1. Схема посегментного контроля

Схема содержит четыре типа блоков: блоки выбора разрядов операнда и результата БО и БР, блок управления выбором сегментов ВУ, блоки контроля БК и блок сжатия БС.

Блоки БО и БР выполняют выбор N_T сегментов по их контрольным точкам, к которым относятся

соответственно разряды операнда, определяющие сегмент результата, и разряды сегмента.

Блоки БК выполняют контроль выбранных сегментов и формируют N_T двухразрядных кодов контроля, которые в блоке БС сжимаются до одного кода Е контроля результата, указывающего на наличие или отсутствие ошибки в результате.

Блок БУ определяет очередность выбора сегментов вычисляемого результата одновременно по всем их контрольным точкам.

Заданная для сегмента вероятность обнаружения ошибки обеспечивается вероятностью P_D обнаружения ошибки в блоках БК и частотой выбора сегмента. Частота может быть установлена в блоке БУ и (или) в блоках БО и БР путем обращения к сегменту в течение определенного количества тактов на интервале T времени контроля.

3. Достоверность контроля результатов

Достоверность контроля сегмента по методу с традиционно высокой вероятностью ошибки $P_O \geq P_i$ составляет

$$D_i = P_i P_C + (1 - P_O)(1 - P_C),$$

что следует из (1), где произведение $P_O P_C$ замещается на $P_i P_C$, поскольку при $P_O > P_i$ ошибка является несущественной и обнаруживается до завершения интервала ПЗВК, когда результат вычисляется достоверным.

При вероятности $P_O = 1$ достоверность контроля сегмента $D_i = P_i P_C$.

Достоверность контроля сегмента посегментным контролем определяется по формуле

$$D_{iПК} = P_i P_C + (1 - P_i)(1 - P_C),$$

а величина повышения достоверности при $P_O = 1$ составляет

$$\Delta D_{iПК} = (1 - P_i)(1 - P_C).$$

Достоверность контроля результата традиционным методом, например, по модулю, и посегментным контролем определяется с учетом относитель-

ной сложности δE_i вычисления сегмента i в схеме устройства по формулам

$$D_{Мод} = \sum_{i=1}^z (\delta E_i D_i),$$

$$D_{ПК} = \sum_{i=1}^z (\delta E_i D_{iПК}),$$

где $\delta E_i = E_i / E_{ДУ}$; E_i и $E_{ДП}$ – сложность схемы вычисления сегмента i и всего вычислительного устройства, соответственно.

Величина повышения достоверности контроля результата определяется как

$$\Delta D_{ПК} = D_{ПК} - D_{Мод} = \sum_{i=1}^z (\delta E_i \Delta D_{iПК}).$$

Для $P_C = 0,5$ достоверность традиционного метода РД определяется в сегменте i результата по формуле $D_i = 0,5(1 - P_O + P_i)$, что при $P_O = 1$ составляет $D_i = 0,5 P_i$. Для посегментного контроля достоверность $D_{iПК} = 0,5$. Выигрыш в достоверности контроля сегмента составляет $\Delta D_{iПК} = 0,5(1 - P_i)$.

Например, 5 тактов ПЗВК, согласно (2), определяют $P_i = 0,14$, $D_i = 0,07$ и $\Delta D_{iПК} = 0,43$, т.е. достоверность повышается в 6 раз.

Заключение

Рабочее диагностирование современных ВУ должно учитывать особенности обработки приближенных данных, которые проявляют погрешность как неотъемлемую часть числа, и поэтому приближенный результат разбивается на две части, содержащие соответственно старшие верные и младшие неверные разряды.

Ошибки, возникающие под действием неисправности в верных и неверных разрядах, являются соответственно существенными и несущественными для достоверности приближенных результатов.

Достоверностью методов РД является достоверность контроля результатов, которая складывается из двух частей – вероятности обнаружения сущес-

твенных ошибок, порождаемых неисправностью схемы, и пропуска несущественных ошибок. Высокая вероятность обнаружения ошибки, характерная для традиционных методов РД, и низкая вероятность появления существенной ошибки, присущая обработке приближенных данных, снижает достоверность контроля результатов. Эта достоверность падает еще ниже при игнорировании действия естественной структурно-временной избыточности в форме ПЗВК на процесс обнаружения ошибок при обработке приближенных данных. Пассивный запас времени контроля снижает вероятность обнаружения существенной ошибки в сегментах результата. При использовании большей вероятности, существенная ошибка переходит в свою противоположность – несущественную ошибку, обнаружение которой снижает достоверность контроля приближенных результатов.

Для повышения достоверности методов рабочего диагностирования предложен посегментный контроль, который обеспечивает в назначаемых сегментах результата заданную вероятность обнаружения ошибки. В соответствии с заданными вероятностями обнаружения ошибки (их суммой и точностью задания) посегментный контроль выполняется с последовательной, последовательно-параллельной или параллельной проверкой сегментов результата. Полученные с учетом ПЗВК оценки достоверности традиционных методов РД и посегментного контроля показывают многократное увеличение достоверности контроля приближенных результатов при правильном учете естественной структурно-временной избыточности. Эффект достигается за счет использования жизненного пространства, предоставляемого ошибкой числовому данному для сохранения достоверности под действием неисправности схемы.

Литература

1. Дрозд А.В. Нетрадиционный взгляд на рабочее диагностирование вычислительных устройств // Проблемы управления. – 2008. – № 2. – С. 45-52.

2. Drozd A., Lobachev M., Rucinski A., Drozd J. On-line testing method for increasing a reliability of the result checking // Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium. – Yerevan, Armenia, 7-10 Sept., 2007. – P. 376-383.

3. Согомоян Е.С., Слабаков Е.В. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. – М.: Радио и связь, 1989. – 208 с

4. Дрозд А. В. Рабочее диагностирование в обработке приближенных данных // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 6 (25). – С. 135-140.

5. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Физматгиз, 1966. – 664 с.

6. Drozd A., Lobachev M., Drozd J. The problem of on-line testing methods in approximate data processing, in Proc. // 12th IEEE International On-Line Testing Symposium. – Como, Italy, 2006. – P. 251 - 256.

7. Noufal I., Nicolaidis M. A CAD Framework for Generating Self-Checking Multipliers Based on Residue Codes // Proc. of IEEE Design, Automation and Test in Europe. – Munich, Germany. – 1999. – P. 122-129.

8. Saposhnikov V., Dmitriev M., Goessel M., Saposhnikov V. Self-dual parity checking – a new method for on-line testing // Proc. IEEE VLSI Test Symp. – 1996. – P. 162-168.

9. Drozd A. On-line Testing of Computing Circuits at Approximate Data Processing // Radioelectronics & Informatics. – 2003. – № 3. – P. 113-116.

10. Романкевич А. М., Валуйский В. Н. Остафин В. А. Структурно-временная избыточность в управляющих схемах. – К.: Вища школа, 1979. – 160 с.

11. Дрозд А.В., Аль-Аззех Р. Функциональное диагностирование сбоеочувствительных вычислительных устройств // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1996. – Вып. 2. – С. 18-20.

Поступила в редакцию 22.01.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет, им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.