

УДК 004.052

СКАНИРУЮЩИЙ КОНТРОЛЬ МНОГОПОТОЧНОЙ ПОРАЗРЯДНОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ СИСТЕМЫ

М. М. Аль-Даби, В. В. Никул, к. т. н. Ю. В. Дрозд, д. т. н. А. В. Дрозд

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

aldhabi@mail.ru, leraniku@yandex.ru, dea_lucis@ukr.net, drozd@ukr.net

Предложен метод сканирующего контроля для рабочего диагностирования многопоточной поразрядной конвейерной системы обработки приближенных данных. Метод обеспечивает высокую достоверность за счет повышения вероятности обнаружения существенных ошибок по сравнению с несущественными. Этот эффект достигается при минимальных потерях времени на контроль.

Ключевые слова: рабочее диагностирование, многопоточная обработка, поразрядный конвейер, сканирующий контроль, существенные и несущественные ошибки

Современные компьютерные системы и их цифровые компоненты строятся конвейерными, секциями которых служат одноклеточные матричные узлы для обработки данных в параллельных кодах. Однако эти коды обрабатываются последовательно от младших разрядов к старшим. В структуре самой быстрой схемы матричного умножителя содержится $2n - 2$ последовательно соединенных операционных элементов (ОЭ), где n – разрядность операнда, т. е. каждый из почти n^2 ОЭ работает только $(2n - 2)$ -ю часть такта, что для $n = 32$ составляет 1,6%, а с переходом на 64-разрядную платформу – меньше процента. Уменьшение доли матричного параллелизма секции вплоть до одного ОЭ обосновывает переход к поразрядной конвейеризации, существенно повышающей соотношение производительность/сложность, а поддержание высокой производительности – к многопоточной организации вычислений. Такое развитие компьютерных систем требует соответствующего совершенствования методов и средств рабочего диагностирования [1]. Таким образом, становится актуальной разработка методов рабочего диагностирования многопоточной поразрядной конвейерной системы.

В основу разработки положен ресурсный подход [2], который анализирует процесс интеграции искусственного мира, создаваемого человеком, в естественный мир. Интеграция происходит путем структурирования ресурсов – моделей, методов и средств – под особенности естественного мира, среди которых наиболее проявленными в компьютерном мире являются параллелизм и приближенность. Человек развивает ресурсы от простого к реальному. Простыми формами являются точные и последовательные в соответствии с изначальными представлениями и возможностями человека, а реальными – параллельные и приближенные, определяемые естественным миром.

Модель числа прошла путь от точного данного, целого по своей природе, к приближенной форме, распараллеленной до двухкомпонентного представления в форматах с плавающей точкой в виде произведения $m \cdot B^E$, где m – мантисса, E – экспонента при фиксированном основании B системы счисления. Модель вычислительной операции, начиная с уровня матричного параллелизма, получила развитие в виде сокращенной формы с одинарной точностью. Модель приближенного числа различает старшие верные и младшие неверные разряды, в которых неисправности схем вызывают ошибки, существенные и несущественные для достоверности числового данного. Достоверность метода рабочего диагностирования, определяемая суммой вероятностей обнаружения существенных и пропуска несущественных ошибок, повышается при лучшем обнаружении существенных ошибок по сравнению с несущественными [3].

Среди методов рабочего диагностирования приближенных вычислений выделяется сканирующий контроль, разработанный для матричных устройств с учетом регулярности их структуры, характерной также для многопоточной поразрядной конвейерной системы [4]. Поэтому ставится задача разработки метода сканирующего контроля с лучшим обнаружением существенных ошибок в результатах, вычисляемых при многопоточной обработке данных с поразрядной конвейеризацией вычислений.

Сканирующий контроль вводит в многопоточную систему дополнительный поразрядный конвейер, который своими входами поочередно подключается ко входам основных конвейеров системы и, работая с ними параллельно, вычисляет контрольные результаты. Они сравниваются с основными результатами, оценивая их достоверность. Проблемность такого решения заключается в том, что для лучшего обнаружения существенных ошибок необходимо старшие разряды результатов проверять чаще младших. При традиционной обработке данных, начиная с младших разрядов, это предполагает выполнение всей операции в дополнительном конвейере для проверки нескольких старших разрядов. На остальных разрядах контроль не выполняется, чтобы понизить частоту их проверки.

Для снижения времени блокировки проверок предлагается метод сканирующего контроля системы поразрядных конвейеров, который проверяет старшие разряды результата с минимальными потерями времени. Выполнение операции в дополнительном конвейере начинается с того такта, который гарантирует отличие основных и контрольных результатов, не превышающее вес младшего из проверяемых разрядов. Сравнение старших разрядов результатов выполняется с точностью до веса этого младшего разряда. В контроле операции сложения последовательных кодов такты подключения дополнительного конвейера к основному и начала сравнения старших разрядов совпадают, поскольку значения основного и контрольного результатов отличаются только на значение разряда переноса из младших разрядов. Для других операций разность Δ номеров тактов необходимо рассчитывать.

Для операции умножения расчет основывается на анализе матрицы конъюнкций произведения, которая разбивается на две части: младшую и старшую. Столбцы младшей части исключаются из вычислений в дополнительном конвейере. По старшей части вычисляется усеченный результат, содержащий старшие проверяемые разряды и разряды с меньшим весом, обработка которых необходима для получения требуемой точности. Количество этих разрядов определяет разность Δ . Искомая разность вычисляется из условия, что младшая часть матрицы не превосходит вес младшего из старших проверяемых разрядов. Расчет показал, что и для полной, и для сокращенной операции умножения разность $\Delta = \log_2 n + 1$ является необходимой и достаточной для того, чтобы старшие разряды основных и контрольных результатов отличались не более, чем на вес их младшего разряда.

Правомерность предложенного метода была подтверждена экспериментально при подготовке лабораторного практикума в рамках выполнения международного образовательного проекта TEMPUS GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR) [5]. Для $n = 4$ контроль системы из четырех конвейерных умножителей, работающих с вероятностью существенной ошибки 0,1, снизил затраты времени до двух раз при достоверности более 80%.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Nicolaidis M., Zorian Y. On-Line Testing for VLSI – a Compendium of Approaches // Electronic Testing: Theory and Application (JETTA).— 1998.— Vol. 12.— P. 7–20.
2. Зеленая ИТ-инженерия. Том 1. Принципы, модели, компоненты / Под ред. Харченко В.С.— Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2014.
3. Drozd A., Lobachev M., Drozd J. The problem of on-line testing methods in approximate data processing // Proc. 12th IEEE International On-Line Testing Symposium.— Italy, Como.— 2006.— P. 251–256.
4. Рабочее диагностирование безопасных информационно-управляющих систем / Под ред. Дрозда А.В., Харченко В.С.— Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2012.
5. Зеленые аппаратные средства и программируемые системы. Практикум / Под ред. Дрозда А.В., Харченко В.С.— Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2015.

M. M. Al-Dhabi, V. V. Nikul, J. V. Drozd, A. V. Drozd
Scan checking of a multithreaded bitwise pipeline system

A method of scan checking for on-line testing of a multithreaded bitwise pipeline system of approximate data processing is offered. The method provides high trustworthiness due to increase of detection probability of essential errors in comparison with unessential ones. This effect is reached with minimum loss of time for checks.

Keywords: *on-line testing, multithreaded data processing, bitwise pipeline, scan checking, essential and inessential errors*