

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММНОГО КОНТРОЛЯ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ "МИНСК-222"

А.К. Олефир

(Красноярск)

Под эффективностью программного контроля понимаются характеристики системы обнаружения и локализации неисправностей в вычислительных устройствах программными методами.

I°. В связи с усложнением электронных вычислительных машин (ЭВМ) и вычислительных систем (ВС) [1] возрастает значение автоматизации поиска неисправностей. Эта задача решается двумя способами: а) программным, б) аппаратным.

Введение аппаратного метода, связанное с дополнительными затратами, продиктовано невозможностью программным путем обнаружить неисправности в ряде устройств (счетчике адресов команд, дешифраторе адреса памяти и др.), участвующих в выполнении команд самой программы контроля (служебных команд). С помощью информационных и управляющих связей между машинами ВС можно в значительной степени решить этот вопрос.

Целью данной работы является оценка эффективности программного контроля для отдельно взятой ЭВМ и ЭВМ, объединенных в ВС. В качестве примера рассмотрена система Минск-222 [2].

Для поиска неисправностей будем применять расширяющуюся тест-программу. Основная идея последней состоит в том, что с помощью некоторого набора команд проверяется новая команда. Далее, из проверенных команд выбирается еще одна команда, которая может быть проверена с помощью уже проверенных команд, и так далее. Известно, что каждой команде соответствует строго определенная последовательность микроопераций. Если выполнение некоторой команды приводит к правильному результату, а выполнение другой команды, отличающейся от предыдущей некото-

рым набором микроопераций, приводит к неправильному результату, то неисправность следует искать в этом дополнительном наборе микроопераций.

Определим базовые команды как минимальный набор команд ЭВМ, с помощью которых можно составить простейшую тест-программу. Устройства машины, участвующие в выполнении этих команд, будем называть базой. Наличие базы не позволяет в ЭВМ полностью автоматизировать поиск неисправных элементов.

Будем называть коэффициентом полноты контроля R отношение максимального числа элементов, обнаруживаемых программой в случае их неисправности, ко всему числу N элементов ЭВМ:

$$R = \frac{N - N_{\text{баз}}}{N},$$

где $N_{\text{баз}}$ - количество базовых элементов в ЭВМ.

Заметим, что в состав базы входят устройства, неисправность которых приводит к останову машины (например, тактирующие цепи, цепи синхронизации и т.п.) и не приводит к останову ее (например, часть счетчика адресов команд).

В дальнейших рассуждениях устройства первого типа не будут упоминаться, однако будут учитываться при подсчете коэффициента полноты контроля.

2⁰. Система "Минск-222" построена как однородная двусторонняя универсальная вычислительная система. Наличие системного устройства [3] позволяет соединять в цепочку ЭВМ Минск-2 (Минск-22), а наличие специальных команд системы - осуществлять взаимодействие ЭВМ. Специальными являются команды настройки, передачи, приема, обобщенного безусловного перехода (ОБП), обобщенного условного перехода (ОУП).

Для дальнейших рассуждений существенным является свойство системы расчленяться на подсистемы с помощью программы.

В вычислительной системе любой известный способ контроля за правильностью вычислений реализуется с помощью машины-партнера.

При установлении неверного результата, полученного на одной из ЭВМ, машина-партнер принимает решение о ходе дальнейших вычислений. При необходимости ремонта i -той ЭВМ выдается команда настройки системы, которая с помощью изменения регистра настройки РН выделяет новую подсистему из $(i-1)$ и i ЭВМ или из i и $(i+1)$ ЭВМ. В этой подсистеме исправная маши-

на проверяет базу неисправной. После восстановления или после того, как будет установлено, что база исправна, она выдаст команду настройки H_0 [2,3], отключившись от выделенной подсистемы. Дальнейшая работа по локализации неисправности проводится в неисправной ЭВМ, выделенной в отдельную подсистему.

3⁰. В качестве служебных команд при составлении основных тестов машины Минск-2 [4] выбраны следующие команды: поразрядное сложение (Пс), условный переход по нулевому результату предыдущей операции (УП-3), безусловный переход (БП-1), команда организации циклов (Ц), команда ввода, останов.

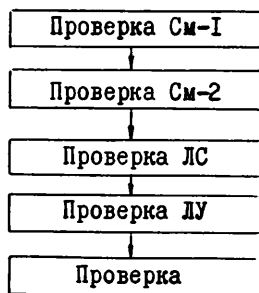
В ряде случаев желательно иметь также команды логического сложения и логического умножения.

В выполнении этих команд участвуют следующие устройства: регистр Р1, сумматор, регистр Р2, регистры индекса (РИн) и дешифратора операций (РДШО). Кроме того, для работы программы необходимо, чтобы магнитное оперативное запоминающее устройство и счетчик адресов команд были исправны. База выбирается из такого минимального набора команд и устройств, из которого можно построить расширяющийся тест, и этот тест будет связующим звеном между базовыми командами и служебными.

При составлении расширяющейся тест-программы необходимы следующие базовые команды: поразрядное сложение (Пс), условный переход (УП-3), безусловный переход (БП-1), ввод, останов.

Тогда база должна состоять из регистра Р1, сумматора без цепей переноса, регистра РДШО, МОЗУ, СЧ АК.

На рисунке представлена блок-схема расширяющейся тест-программы.



Блок I проверяет работу сумматора при разрядном сложении; в МОЗУ засылается 37 констант вида $s = a^i$, где $i = 1, 2, 3, \dots 37$, и над ними производятся последовательно следующие действия:

$$a^1 \oplus 0, 0 \oplus a^1, a^1 \oplus a^1,$$

где \oplus — поразрядное сложение. Правильность действия в каждом разряде контролируется операцией условного перехода УП-З.

Так как поразрядное сложение проверено, работа сумматора с переносами проверяется на следующих действиях (блок 2):

$$a^1 + 0 \oplus a^1 = 0;$$

$$0 + a^1 \oplus a^1 = 0;$$

$$a^1 + a^1 \oplus a^{i+1} = 0.$$

Работа сумматора в более сложных режимах в дальнейшем проверяется основными тестами (тестом АУ-I и тестом АУ-2).

Аналогично работают блоки 3 и 4, проверяющие сумматор на поразрядных операциях логического сложения и логического умножения. Эти команды важны для формирования команд и выделения части результата, полученного на сумматоре, для анализа. После проверки сумматора проверяется команда организации циклов (КЦ).

Здесь от расширяющейся тест-программы можно перейти к основным тестам-программам. Подсчет показывает, что в данном случае коэффициент полноты контроля достигает 0,6.

4⁰. Рассмотрим возможности увеличения полноты контроля в системе "Минск-222". Как известно, обмен информацией между элементарными ЭВМ производится через цепи накопителя на магнитной ленте (НМЛ) (см.[3]). Прием, разворот и выдача кодов производится в регистре Р1, в качестве счетчика передаваемых слов используется регистр адреса НМЛ (РА НМЛ). В выполнении команд системы участвуют регистр Р1, МОЗУ, счетчик адресов команд, регистр РДШО, регистр РА НМЛ, регистр числа (РЧ НМЛ), блок операций системы (БОС), регистр настройки и блок потенциальных шин управления, блок импульсных каналов обмена.

Нетрудно видеть, что перечисленные устройства разделяются на три группы: с первого по четвертое — входящие в базу; пятое и шестое — устройства, участвующие как в выполнении команд системы, так и в выполнении команд элементарной машины; с седьмого по девятое — устройства, участвующие в выполнении команд системы. Если для программы, работающей в элементарной машине, необходимо наличие всей исправной базы, то в данном случае такая необходимость отпадает.

Проверка неисправной ЭВМ состоит в следующем:

Исправная ЭВМ	Неисправная ЭВМ
Настройка	Прием на Рг Q (см. [3])
ОБП	Прием команды "Прием"
Передача	Выполнение команды "Прием"
ОБП	Прием команды "Передача"
Прием	Выполнение команды "Передача"
Анализ	

В работе этой программы участвуют устройства системы и следующие устройства базы: регистр РІ, сумматор, І ячейка МОЗУ, регистр РДШО.

Заметим, что проверяются не команды, а отдельные устройства.

Анализ результатов, полученных в исправной машине, позволяет выделить неисправное устройство базы. Варьируя в командах приема и передачи адрес, можно произвести проверку всех ячеек оперативной памяти.

Счетчик адресов команд проверяется следующим образом:

Исправная ЭВМ	Неисправная ЭВМ
Настройка	Прием на Рг Q (см. [3])
ОБП	Прием команды "Прием"
Передача	а) прием кода б) прием команды "Передача"
ОБП	Прием команды БП-І
Прием кода	Передача кода
Анализ	

Команда а) и б) заносятся последовательно в ячейки МОЗУ:

0001 - 0002

0002 - 0003 и т.д.

Счетчик адресов команд при этом проходит через все состояния.

Из вышеизложенного видно, что, хотя не для всех устройств можно добиться высокой разрешающей способности расширяющейся тест-программы, связь между ЭВМ позволяет найти неисправности в базе. Так как РА НМЛ и РЧ НМЛ проверяются в элементарной машине, то при подсчете коэффициента полноты контроля необходимо учитывать только следующие устройства: блок операций системы (БОС), регистр настройки, блок потенциальных шин управления, блок импульсных каналов обмена, распределитель импульсов центральный (РИЦ).

Подсчет показывает, что коэффициент R для системы "Минск-222" составляет около 0,9.

Дальнейшее увеличение коэффициента полноты контроля можно достичь за счет дублирования отдельных команд и устройств. Например, просматривается выполнение однотипных команд от разных тактирующих устройств. Разумеется, и в этом случае $R \neq 1$.

Итак, в вычислительных системах по сравнению с отдельной ЭВМ повышается роль программных методов обнаружения неисправностей; увеличивается полнота контроля, $R \rightarrow 1$ с помощью дублирования некоторых устройств ЭВМ и ВС.

Л и т е р а т у р а

1. Э.В. Евреинов, Ю.Г. Косарев. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, Изд-во "Наука", Сибирское отделение (в печати).
2. Э.В. Евреинов, Г.П. Лопато. Универсальная вычислительная система "Минск-222". - Вычислительные системы, Новосибирск, Изд-во "Наука", Сибирское отделение, 1966г, вып.23, стр.13-20.
3. Г.П. Лопато, А.Н. Василевский, В.Я. Пыхтин, Б.А. Сидристый, В.Г. Хорошевский. Системное устройство вычислительной системы "Минск-222". - Вычислительные системы, Новосибирск, Изд-во "Наука", Сибирское отделение, 1966, вып.23, стр. 35-68.
4. В.В. Пржиялковский. "Минск-2/22" - базовая машина для однородных универсальных вычислительных систем. - Вычислительные системы, Новосибирск, Изд-во "Наука", Сибирское отделение, 1966 г., вып.23, стр.21-34.