

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ИЗ ДВУХ ЭВМ

А.К. Олефир

§ 1. Характеристики системы и постановка задачи

Проверка ЭВМ с помощью тест-программы является наиболее важным видом контроля машины [1-4], [9], [10], [11], [12]. Наряду с быстродействием эта проверка дает возможность вносить в систему необходимые изменения, создавать определенные режимы работы устройств и т.д. Тест-программы могут быть с успехом применены для локализации неисправностей.

Одним из видов таких программ являются расширяющиеся тест-программы [5], при составлении которых исходят из того, что каждой команде машины соответствует строго определенная последовательность микроопераций. Если выполнение некоторой команды приводит к правильному результату, а выполнение другой команды, отличающейся от предыдущей некоторым набором микроопераций, приводит к неправильному результату, то неисправность следует искать в этом дополнительном наборе микроопераций.

С помощью расширяющейся тест-программы можно локализовать устойчивые неисправности во всех устройствах ЭВМ за исключением базовых [6]. В системе из двух и более машин базовые устройства и базовые команды одной машины контролируются с помощью другой.

Была поставлена задача составления расширяющихся тест-программ и программ для взаимного контроля базовых устройств вычислительной системы, состоящей из большой электронной цифровой машины (именуемой далее ЭВМ-I) и связанной с ней малой машины (ЭВМ-II), которая выполняет обмен информацией между оперативной памятью (ОП-I) ЭВМ-I и внешними устройствами комплекса.

ЭВМ-II построена как универсальная двухадресная машина дискретного действия и включает в себя следующие блоки:

- ОП-II - оперативную память на 239 48-разрядных двоичных чисел;
- АУ - арифметическое устройство, состоящее из 27-разрядного сумматора и схемы управления;
- УУ - устройство управления, включающее в себя регистр команд (РК), блок синхронизации и управляющие регистры;
- Р.об.- регистры обмена, предназначенные для временного хранения текущей информации, поступающей с внешних устройств либо передаваемой на них.

На пульте управления ЭВМ-II имеются клавишные устройства (ДЗУ), на которых можно вручную задавать нужные коды и обращаться к которым можно по команде.

ЭВМ-I является универсальной быстродействующей трехадресной машиной. Слово (команда или число) занимает 45 двоичных разрядов. Связь между обеими машинами осуществляется через ОП-I с помощью кодовых и адресных шин, а также схем управления. Особенностью этой связи, существенно повлиявшей на структуру тест-программ, является то, что управление обменом информацией производится малой машиной с помощью команд обращения к ОП-I (чтение и запись), а также команд останова и пуска ЭВМ-I.

§ 2. Тест-программы для ЭВМ-I

Набор тест-программ для ЭВМ-I состоит из двух частей. Первая часть проверяет базовые устройства ЭВМ-I с помощью ЭВМ-II, вторая часть - объединенный тест - проверяет все остальные устройства и команды, кроме команд обращения к внешним устройствам.

Первая часть состоит из четырех программ.

1. Тест-программа адресов ОП-I. С помощью этой программы переменный код засылается в ячейки ОП-I и вызывается оттуда для сравнения. Программа служит в основном для контроля работы адресной части ОП-I, так как переменный код в ЭВМ-II вырабатывается только в 27 разрядах.

2. Тест-программа ОП-I, использующая коды с ДЗУ. В каждую ячейку ОП-I засылаются и вызываются обратно в ЭВМ-II для сравнения 45-разрядные коды последовательно с ДЗУ-I, ... ДЗУ-4. Эта тест-программа используется для проверки работы разрядов ОП-I, так как работа адресной части проверена с помощью предыдущего теста.

Перепись кодов из ЭВМ-II в ОП-I и обратно производится через блок кодовых формирователей ЭВМ-I. Поэтому описанные выше программы позволяют также зафиксировать неисправности в блоке кодовых формирователей: первая программа - в 27 младших разрядах, вторая программа - во всех 45 разрядах.

3. Тест-программа сумматора ЭВМ-I. При переписи кодов из ЭВМ-II в ЭВМ-I производится циклическое сложение переписываемых кодов с содержимым сумматора ЭВМ-I. Накопленную сумму по команде из ЭВМ-II можно пересылать в ОП-II. Эта возможность использована при составлении тест-программы сумматора ЭВМ-I.

На ДЗУ ЭВМ-II набираются следующие коды:

ДЗУ-I	III ... III
ДЗУ-2	222 ... 222
ДЗУ-3	444 ... 444
ДЗУ-4	777 ... 777

Введем обозначения:

- - циклическое сложение,
- ⊕ - поразрядное сложение,

$[R]$ - содержимое регистра R . Запись ОП $[R]$ обозначает: содержимое регистра R , входящего в устройство ОП.

→ - передача. Слева указывается устройство, из которого передается код, справа - устройство, в которое передается код.

Легко видеть, что:

1. $[ДЗУ - I] \ominus [ДЗУ - I] = [ДЗУ - 2]$;
2. $[ДЗУ - 2] \ominus [ДЗУ - 2] = [ДЗУ - 3]$;
3. $[ДЗУ - 3] \ominus [ДЗУ - I] \ominus [ДЗУ - 2] = [ДЗУ - 4]$;
4. $[ДЗУ - 4] \ominus [ДЗУ - I] = [ДЗУ - I]$ и т.д.

Тест-программа переписывает содержимое ДЗУ в ОП-I, затем

содержимое сумматора ЭВМ-I переписывает в ЭВМ-II и сравнивает с содержимым соответствующего ДЗУ. При несовпадении сравниваемых кодов происходит останов ЭВМ-II.

4. Тест-программа базовых команд ЭВМ-I. В качестве базовых выбраны следующие команды:

а) Поразрядное сложение (сравнение). Если результат поразрядного сложения равен нулю, вырабатывается признак $\omega = 1$, в противном случае $\omega = 0$.

б) Условный переход по признаку ω . Если $\omega = 0$, управление передается по адресу команды, если $\omega = 1$ - по счётчику команд.

Вначале проверяется работа команды поразрядного сложения, для чего в ОП-I засылается эта команда и исходные данные, производится пуск ЭВМ-I и через промежуток времени, необходимый для выполнения поразрядного сложения, полученный результат переписывается в ЭВМ-II для анализа. Варьируя исходные данные, программа проверяет все режимы работы этой команды.

Проверка команды условного перехода производится с помощью уже проверенной команды поразрядного сложения (рис. I).

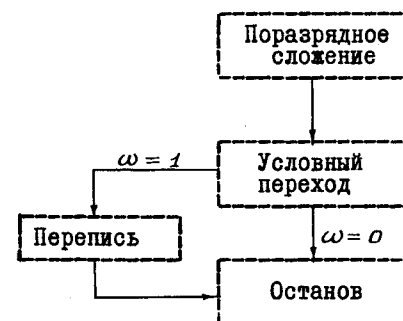


Рис. I.

Этот участок программы выполняется в ЭВМ-I. В качестве команды "перепись" используется команда поразрядного сложения, так как при выполнении этой команды производится запись по третьему адресу результата выполнения операции. Программа в ЭВМ-II засылает в ОП-I исходные данные для поразрядного сложения и производит пуск ЭВМ-I. Исходные данные подбираются таким образом, что в одном случае при поразрядном сложении вырабатывается признак $\omega = 0$ и тогда условный переход "об-

ходит" перепись; в другом случае, при $\omega = 1$, происходит перепись кода из одной ячейки в другую. Для установления правильности работы команды условного перехода программа в ЭВМ-П должна проверить содержимое ячейки ОП-1, куда проводится перепись.

Объединенный тест состоит из 12 контрольных и 12 диагностических блоков. Задачей контрольного блока является проверка правильности выполнения данной группы команд. Если машина работает исправно, все контрольные блоки выполняются последовательно. Если i -ый контрольный блок зафиксировал ошибку, то происходит переход на i -ый диагностический блок. Каждый диагностический блок представляет собой расширяющуюся тест-программу для той группы команд, которая проверяется контрольным блоком.

Диагностические блоки содержат остановы. Каждому останову соответствует определенный набор микроопераций, среди которых находятся неисправные. Это соответствие устанавливается с помощью специальной таблицы, прилагаемой к описанию тест-программы.

На рис. 2 приводится часть блок-схемы объединенного теста.

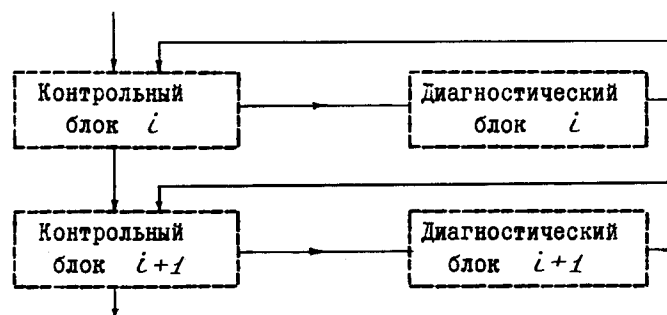


Рис. 2.

Программа объединенного теста построена для локализации устойчивых неисправностей. В реальных условиях, кроме устойчивых неисправностей, имеют место случайные сбои. Случайным сбоем здесь считается такая неисправность, которая, действуя кратковременно, фиксируется контрольным блоком и не фиксируется диагностическим. Другими словами, имеет место выход из контрольного блока на диагностический, но в диагностическом блоке останова не происходит. Чтобы не создавалось ложного представления о правильной работе машины, каждый переход на

диагностический блок фиксируется специальным программным счетчиком. Содержимое счетчика помещается в определенную ячейку ОП-1. По содержимому этой ячейки можно судить о наличии случайных сбоев при работе объединенного теста.

На рис. 3 изображен порядок проверки ЭВМ-1 с помощью описанных выше программ.



Рис. 3.

§ 3. Тест-программы для ЭВМ-П

Набор тест-программ для ЭВМ-П состоит из тестов для проверки базы (тесты 1, 2, 3) и тестов АУ и УУ.

Проверка базы ЭВМ-П затруднена тем, что управление обменом информацией производится самой малой машиной. Поэтому необходимым условием проверки базы является наличие исправно работающих команд переписи кодов ОП-1 → ОП-П и ОП-П → ОП-1.

Далее рассматривается последовательность проверки ЭВМ-П при локализации неисправности.

Вначале проверяется работа индекс-регистра в режиме счетчика (тест 1). Программа состоит из двух частей: одна заносится в ОП-1, другая - в ОП-П. В ЭВМ-П выполняется следующее: индекс-регистр работает в режиме счетчика, и каждое новое состояние счетчика переписывается в ОП-1. После останова программы в ЭВМ-П начинает работать программа в ЭВМ-1, которая вырабатывает такую же последовательность кодов, как и в ЭВМ-П, и сравнивает эти коды с полученными из ЭВМ-П.

Интеграл

$$s_k(t) = \int_0^t p_k(u) du = \frac{\lambda^k}{(k-1)!} \int_0^t u^{k-1} e^{-\lambda u} du \quad (16)$$

есть вероятность того, что длина интервала между m -ой и $(m+k)$ -ой частицами (при любом m) не превосходит t . Интеграл (16) берется в конечном виде (см., например, [5]).

При $k=1$ имеем:

$$s_1(t) = \lambda \int_0^t e^{-\lambda u} du = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (17)$$

Дадим формулам (6) - (17) надежность интерпретацию. Рассмотрим некоторое устройство D , в котором могут возникать неисправности.

Пусть $(0, T)$ есть отрезок времени; N - число отказов (сбоев) в устройстве D за время t ; λ - средняя частота отказов; $\frac{1}{\lambda}$ - средняя продолжительность безотказной работы D (время простоев и ремонта во внимание не принимаем).

Тогда $p_k(t)$ есть распределение вероятностей длин интервалов времени, в течение которых происходит $k-1$ отказов. В частности, $p_1(t)$ есть распределение вероятностей длин бесспорных интервалов. Далее, $s_k(t)$ есть вероятность того, что для появления серии k последовательных отказов в D потребуется не более t единиц времени. Если t фиксировано, то $s_k(t)$ есть не что иное, как вероятность наличия внутри интервала времени t более, чем $k-1$ отказов; в частности, $s_1(t)$ есть вероятность возникновения за время t хотя бы одного отказа.

Предположим, D является одним из элементов комплекса G от которого требуется надежная работа в течение времени t . Если устройство D и отказы в нем таковы, что единственный отказ выводит D из строя, то $s_1(t)$ будет (относительно данного интервала времени t) локальной характеристикой надежности, используемой в вышеизложенном логико-вероятностном методе анализа надежности. При таком подходе интервал времени t (сколь угодно большой) рассматривается как один такт срабатывания эквивалентной логической схемы комплекса G , а величина $s_1(t)$ есть вероятность единицы на входе D эквивалентной схемы. Если же устройство D таково, что для выхода его из строя требуется подряд не менее k внутренних неисправностей, то вероятность единицы на входе D эквивалентной логической схемы комплекса G равна $s_k(t)$.

гистр для вызова следующего примера. В ЭВМ-П выполняются примеры, а результаты для сравнения отсылаются в ОП-И. Программа в ЭВМ-И сравнивает полученные результаты с ответами. Примеры подобраны таким образом, что вначале проверяются управляющие сигналы, затем простейшие действия на сумматоре и в конце - тяжелые режимы для сумматора.

Тест управления построен также по принципу расширяющейся тест-программы, но выполняется без помощи ЭВМ-И. В него включены блоки проверки "Нет 0 сумматора", "Нет 0 сумматора адреса" и работы индекса-регистра в режиме счетчика. Программа выполняется циклически.

Последовательность работы тест-программ при проверке ЭВМ-П показана на рис. 4.

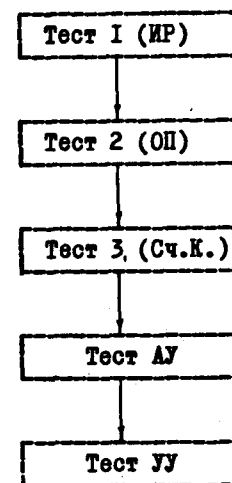


Рис. 4.

Для проверки ОП-П на переменном коде используется тест ОП: переменный код получается с помощью циклического сложения кодов, выбираемых из ДЗУ-1 и ДЗУ-2.

Для удобства проверки ЭВМ-П составлен комплексный тест, состоящий из "шапки" и описанных выше теста арифметического устройства, теста управления и теста ОП.

Программа помещается в ОП-И и с помощью "шапки" тесты последовательно переписываются в ОП-П и затем выполняются.

Описанная система тест-программ позволяет проверить не-

исправную машину по следующей схеме: исправная машина проверяет базу в неисправной машине; если база исправна, то исправная машина способна с помощью расширяющегося теста локализовать собственную неисправность. В это время исправная машина может быть использована для других целей.

Опыт эксплуатации системы тест-программ показал правильность выбранной схемы проверки, однако для дальнейшего увеличения эффективности этих тестов необходимо ввести программную обработку результатов, полученных с помощью тест-программ, а также составить такие тесты, которые позволили бы локализовать не только устойчивые неисправности, но и случайные.

Л и т е р а т у р а

1. Wheely D.I., Robertson I.E. Diagnostic programs for the Iliac. Proc. IRE, Oct. 1953, v. 41.
2. Graney E.P., Maintenance and acceptance tests used on the MIDAC. I. ACM, April 1955, v. 2.
3. Woolner A.D., Test-programs for NEC. Computer I, April 1959, v. 2.
4. Клямко Э.И., Схемный и тестовой контроль автоматических цифровых вычислительных машин. М., "Сов. радио", 1963.
5. Bashkow T.R., Friets I., Karson A., A programming System for Detection and Diagnosis of Machine Malfunctions. I IEEE Trans. on Electr. Comput., 1963, v. 12, N 1.