

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОГРАММНОГО КОНТРОЛЯ ДИСКРЕТНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Г.А.Миронов
(Москва)

Методы программного контроля являются основным средством проверки дискретных автоматических систем. Наряду с такими методами применяют встроенный контроль, весьма эффективный для некоторых систем. Однако и при наличии встроенного контроля, программный контроль в силу универсальности сохраняет свое значение. Можно заметить также, что с повышением надежности элементов существует тенденция сокращения областей применения встроенного контроля при усилении глубины и качества контроля с помощью тестов или испытательных программ.

Будем под элементарным тестом для некоторой дискретной автоматической системы понимать один набор входных сигналов для этой системы и соответствующий ему набор выходных сигналов.

Контролирующий тест представляет собой совокупность элементарных тестов, позволяющих обнаружить факт наличия неисправностей в системе.

Диагностический тест представляет собой совокупность элементарных тестов, позволяющую обнаружить место неисправности.

Контролирующие и диагностические тесты могут быть полными и неполными. Полнота теста устанавливается для классов неисправностей.

Например, полным контролирующим (или диагностическим) тестом по отношению к одиночным отказам является такая совокупность элементарных тестов, которая позволяет обнаружить факт наличия (или место) любого одиночного отказа, возможного в системе.

Уточним понятие входных и выходных сигналов системы.

Входными сигналами системы являются сигналы, воздействующие на систему через её связи с внешней средой, а также состояния всех запоминающих устройств этой системы. Здесь рассматриваются только такие запоминающие устройства, в которых состояния не зависят от времени.

Как сигналы во внешних связях, так и состояния запоминающих устройств могут быть заданы с помощью некоторых (вообще говоря, произвольных) процедур, производимых как вне системы, так и внутри её. Другими словами внешние связи и запоминающие устройства системы доступны и на них всегда можно задать набор для любого элементарного теста.

Выходными сигналами системы являются сигналы во внешних её связях, передающих воздействия системы на внешнюю среду, а также состояния её запоминающих устройств.

При этом полагается, что выходные сигналы доступны и их всегда можно обозреть путем выполнения некоторых процедур.

Таким образом, для проверки системы с помощью контролирующих или диагностических тестов необходимо выполнить некоторую последовательность действий, состоящих из чередующихся операций формирования входных сигналов и обозрения выходных сигналов.

Испытательной программой называется последовательность действий, обеспечивающих выполнение теста. Другими словами испытательной программой называется алгоритм выполнения теста.

Если испытательная программа обеспечивает выполнение контролирующего (диагностического) теста, то она называется контролирующей (диагностической).

В силу сложности современных дискретных автоматических систем (например, электронных цифровых машин) ручное составление тестов для них становится практически невозможным.

Для автоматизации процесса составления теста необходимо иметь эффективные средства анализа сложных автоматических систем, в основу которых могут быть положены модели таких систем. С помощью таких моделей можно описать структуру и процесс функционирования системы с требуемой степенью детализации.

Для построения тестов, отыскивающих неисправности в электронных цифровых машинах (ЭЦМ), достаточно использовать модели таких машин на уровне функциональных элементов [1]*, [2], [3]; универсальная модель такого типа разработана в [2].

Имея модель некоторой системы (ЭЦМ), необходимо разработать методику нахождения полных контролирующего и диагностического тестов.

Получению таких тестов, полных по отношению к явным одиночным отказам, посвящены работы [4 - 11]. Контролирующий тест, полученный с помощью такой модели представляет собой неупорядоченную последовательность элементарных тестов, обнаруживающую явный одиночный отказ любого из элементов системы. Диагностический тест представляет собой совокупность множеств элементарных тестов, каждое из которых соответствует отказу некоторого элемента системы.

Методика получения полных тестов реализуется на ЭЦМ; в [4] разработаны соответствующие алгоритмы и программы. Получаемые наборы элементарных тестов могут быть упорядочены с целью их минимизации.

В силу сложности современных дискретных автоматических систем (например, электронных цифровых машин) зачастую составление теста для всей системы требует большого времени и не позволяет получить испытательную программу высокого качества.

Поэтому на практике сложные системы разбивают на блоки, для которых строятся тесты. Однако нет сколько-нибудь формализованных правил разбиения систем на блоки.

Применительно к электронным цифровым машинам такие правила можно построить, используя понятие "элементарная машинная операция" [12].

* В статье ссылки приведены только на работы, опубликованные в настоящем сборнике.

Блоком будем называть совокупность элементов машины, которые участвуют в образовании результата некоторой элементарной операции машины.

Таким образом, в электронной цифровой машине число блоков не меньше числа элементарных машинных операций. Очевидно, что один и тот же элемент машины может входить в состав нескольких различных блоков.

Входными сигналами блока являются состояния ячеек, в которых размещаются исходные данные для выполнения элементарной операции, а также те сигналы, которые поступают в блок от элементов, реализующих алгоритм выполнения в устройстве управления ЭЦМ.

Выходными сигналами блока является состояние ячейки, в которой формируется результат элементарной операции.

Необходимо заметить, что кроме блоков, реализующих элементарные машинные операции, в ЭЦМ имеются блоки:

- 1) объединяющие элементы, реализующие алгоритм выполнения;
- 2) объединяющие элементы, реализующие выбор ячейки оперативного запоминающего устройства (зоны, строки на магнитных барабанах и других запоминающих устройствах) по заданному её номеру, а также обращение (запись или чтение) к этой ячейке (зоне, строке).

Блоки, осуществляющие выбор ячеек, зон, строк в запоминающих устройствах отражают то обстоятельство, что каждая из элементарных машинных операций определена над некоторым множеством ячеек, зон, строк и служит для выбора конкретных представителей этих множеств.

Таким образом, вся ЭЦМ может быть разбита на блоки по формальным правилам.

Однако проведение такого разбиения вручную весьма трудоемкая операция и может быть выполнена, по-видимому, только для некоторых устройств машины. Процесс разбиения можно автоматизировать. Для этого необходимо иметь технические средства анализа электронной цифровой машины. Удобным средством являются модели электронных цифровых машин. Вполне пригодна упомянутая универсальная модель на уровне функциональных элементов [2].

Для разбиения ЭЦМ на блоки дополнительно к модели строится специальный алгоритм. Исходными данными для него являются:

1) схема конкретной ЭЦМ, закодированная и введенная в машину, на которой выполняется модель с указанием всех элементов, образующих те ячейки запоминающих устройств, относительно которых определены элементарные машинные операции;

2) система элементарных машинных операций для моделируемой ЭЦМ;

3) перечень выходных элементов блока, реализующего алгоритм выполнения, с указанием сигналов на выполнение элементарных операций, которые передаются с помощью этих элементов.

Содержание алгоритма разбиения сводится к следующему.

Для ячейки, в которой формируется результат некоторой элементарной операции, находятся все те элементы схемы ЭЦМ, выходные сигналы которых являются существенными аргументами, при условии, что из элементов, реализующих алгоритм выполнения, поступают сигналы на выполнение этой операции. Все найденные элементы образуют блок. Такая процедура производится для всех элементарных машинных операций.

Результатом работы алгоритма являются множества элементов, образующих блоки.

Так как блоки охватывают всю электронную цифровую машину (учитывая реализующие алгоритмы выполнения и выбор ячеек по номеру), то контроль и диагностика ЭЦМ может быть произведена путем контроля и диагностики всех её блоков последовательно.

Как указано выше, методике построения полных контролируемых и диагностических тестов для явных одиночных отказов посвящены работы [4 - II]. Результатом алгоритмов, построенных в этих работах являются полный контролируемый и диагностический тесты для некоторой схемы, которой может являться любой из полученных при разбиении блоков ЭЦМ.

Применяя упомянутую методику можно построить полные контролируемые и диагностические тесты для каждого из блоков ЭЦМ. Однако такие тесты могут обладать большой избыточностью за счет того, что многие элементы ЭЦМ работают при выполнении различных элементарных операций, а следовательно, будут выходить в различные блоки и многократно проверяться системой полных тестов. Избыточность можно исключить проверяя каждый из элементов только в каком-либо одном из блоков. Тогда тесты для проверки блоков будут неполными, однако для всей ЭЦМ можно получить полный тест.

При наличии полного теста для ЭЦМ (с избыточностью или без неё) необходимо строить испытательные программы. При этом следует добиваться получения высокого качества программ (быстродействие, надежность). Требования к качеству испытательных про -

грамм существенно зависят от того, как работает ЭЦМ - изолированно или в связи с другими ЭЦМ, какие средства могут быть использованы для контроля. Для того, чтобы добиться требуемого качества программ, необходимо весьма тщательно учитывать все особенности каждой команды ЭЦМ и элементарных операций, входящих в неё. Ручное составление сколько-нибудь сложных испытательных программ является поэтому весьма трудоемким делом, которое нужно выполнять для каждой новой машины. Поэтому весьма целесообразно вести работы по построению специализированных программирующих программ^{*)}. Первые попытки в этом направлении приняты в работе [13]. Можно ожидать, что удастся создать программу, которая будет строить системы испытательных программ для произвольных машин, конструкция которых описана с помощью модели и элементарных машинных операций.

Располагая моделью работы ЭЦМ, алгоритмами построения тестов, программирующей программой для построения испытательных программ можно автоматически построить испытательные программы, осуществляющие проверку любой электронной цифровой машины. В результате проверки по таким программам с вероятностью равной единице будут обнаружены все те неисправности, для которых обеспечивается автоматическое построение теста по модели ЭЦМ на уровне функциональных схем. Однако этот класс неисправностей значительно уже класса, содержащего все возможные (хотя бы одиночные) неисправности, которые требуется обнаружить в процессе контроля. Для того, чтобы охватить неисправности этого класса, необходимо проводить контроль во всех тяжелых режимах работы схем ЭЦМ. Основной задачей при этом является выяснение возможных типовых режимов.

Оказывается, что для определения некоторого класса таких режимов достаточно использовать модель ЭЦМ на уровне функциональных схем, задавая некоторую дополнительную информацию. В частности, можно на этой модели получить комбинации входных сигналов блоков, вызывающих максимальную нагрузку отдельных элементов блока или в цепях питания. На той же модели можно найти комбинации входных сигналов блока, вызывающие наибольшую частоту срабатывания отдельных элементов как при выполнении одной эле-

*) Термин "транслятор", употребляемый как синоним "программирующей программы", мы, однако, употреблять не будем, так как класс задач, для которого программирующая программа предназначена, исчерпывается только задачей контроля и диагностики и может не иметь входного языка.

ментарной операции, так и при выполнении последовательности таких операций.

Такой анализ возможен для тех схем ЭЦМ, которые охватываются моделями на уровне функциональных схем. Полученные в результате анализа элементарные тесты или последовательности таких тестов могут быть включены в составленные ранее испытательные программы, благодаря чему их эффективность повышается.

Такие устройства, как ОЗУ, ЗУ на магнитных барабанах и лентах, устройства ввода-вывода, содержат в своем составе ферриты, магнитные головки, фотосчитывающие и другие устройства, режим работы которых существенно зависит от количественных характеристик сигналов, определяемых, в свою очередь, сложными и многоразличными связями деталей и элементов между собой. Для определения тяжелых режимов в таких схемах недостаточно использовать модели на уровне функциональных схем. Нужно использовать либо специальные модели таких устройств, либо проводить специальный инженерный анализ ОЗУ и вообще всех ЗУ различных типов. Результатом такого анализа являются формализованные описания тяжелых режимов для устройств различных классов. Такие формализованные описания представляют собой специальные алгоритмы, создающие тяжелые режимы работы устройств. Для их представления в виде испытательных программ нужно расширять возможности программирующей программы.

Однако даже при проведении весьма тщательного анализа ЭЦМ на предмет выявления тяжелых режимов может оказаться, что полученная система испытательных программ не осуществляет контроль и диагностику с полнотой, равной единице.

Для получения такого идеального контроля необходимо предусмотреть возможность автоматического пополнения системы программ элементарными тестами, или их последовательностями, на которых проявляются неисправности в процессе эксплуатации ЭЦМ некоторого типа. Обнаружение таких тестов и их последовательностей осуществляется либо автоматически (при наличии схемного контроля, при параллельной работе машин и в некоторых других случаях), либо вручную. Как правило, найденные таким способом тесты являются контролирующими. Для обнаружения места неисправностей для таких тестов может быть применен единый диагностический прием, предлагаемый в [14]. Подобные методы изложены и в [15].

Этот прием заключается в том, что при заданной элементарной операции (последовательности операций), имеющей результат, отличный от известного правильного результата, и при заданном

описании схемы, реализующей эту операцию (последовательность операций), можно построить алгоритм, отыскивающий вероятные причины отличия результата от верного. Такой алгоритм может быть эффективно использован также и в ряде других случаев, например, для поиска элемента, в виде неисправности которого проявила случайная обой.

Путем применения всех описанных выше методик и приемов можно получить в основном автоматически составленную, а затем расширенную и улучшенную систему контролирующих и диагностических испытательных программ, обладающую полнотой охвата, близкой к единице.

Ряд проблем программного контроля связан с условиями применения испытательных программ.

Такие программы обычно выполняются в режимах профилактического контроля, который управляется, как правило, вручную, что требует значительного времени на проведение профилактических работ. Для автоматизации процесса проведения профилактики требуется разрабатывать специальные устройства для автоматического управления профконтролем. Такое устройство практически реализовано и используется на машине "Урал-4" [16]. Применение устройства автоматического переключения профилактических режимов позволяет существенно сократить время, требуемое для проведения профилактики, а также повысить качество (главным образом надежность выполнения) испытательных программ.

Испытательные программы применяются не только в процессе эксплуатации ЭЦМ, но и в процессе приемо-сдаточных испытаний. При испытаниях применяют программы двух типов:

1) определяющие быстродействие, емкость запоминающих устройств ЭЦМ и соответствие этих параметров техническим требованиям; 2) определяющие надежность работы ЭЦМ.

Как первые, так и вторые должны составляться с учетом характеристик класса задач, для которого предназначена ЭЦМ. С учетом таких характеристик могут быть построены программы определения быстродействия и емкости запоминающих устройств. Некоторые из таких программ для определения быстродействия получены в [20].

Работа [19] посвящена построению программ испытания на надежность. Испытательные программы, построенные с помощью разработанной методики, позволяют производить контроль в режимах близких к режимам реальной эксплуатации и обеспечивают высокое качество контроля.

Среди проблем, связанных с условиями применения испытательных программ, выделяется также важная задача рациональной организации проверки вычислительной системы, выполняющей некоторый поток заявок на решение задач. Эта задача решается путем статистического моделирования вычислительной системы, как системы массового обслуживания. Некоторые результаты в этом направлении получены в [17].

Важно оценивать также качество того или иного вида контроля при проектировании ЭЦМ или их систем [18].

Успешное решение всех перечисленных проблем позволит существенно повысить надежность работы дискретных автоматических систем.

Л и т е р а т у р а

- I. З.Л. Рабинович. О некоторых методах описания схем с учетом физических характеристик информационных сигналов. Настоящий сборник.
2. Ю.В. Гайкович, Г.А. Миронов. Универсальная модель на уровне функциональных схем. Настоящий сборник.
3. А.К. Олефир. Применение прямого моделирования в диагностических процедурах. Настоящий сборник.
4. Г.А. Миронов, Д.Э. Федотова. Методика построения полных контролирующих и диагностических тестов. Настоящий сборник.
5. А.К. Олефир. О логическом контроле вычислительных устройств. Настоящий сборник.
6. И.Б. Михайлов. Уменьшение времени моделирования неисправностей ЭВМ. Настоящий сборник.
7. А.В. Горбунов. Некоторые вопросы автоматического построения систем диагностических тестов для ЭВМ. Настоящий сборник.
8. З.А. Вадова. Полный тест АУ для машины БЭСМ-6. Настоящий сборник.
9. А.Б. Непомнящий. Синтез тестов для логических сетей. Настоящий сборник.
10. В.С. Панчиков. Об одном методе построения диагностического теста. Настоящий сборник.
- II. А.Ф. Шпагин. Некоторые вопросы диагностики неисправностей в ЭВМ. Настоящий сборник.

12. Н.А. Криницкий, Г.А. Миронов, Г.Д. Фролов. Использование понятия "элементарная машинная операция" для анализа вычислительных систем. Настоящий сборник.
13. Г.А. Миронов, В.П. Битюцкий, И.А. Комиссаров, В.П. Пинчев. О программирующей программе для построения испытательных программ. Настоящий сборник.
14. Г.А. Миронов, В.А. Ермилов, А.И. Шиммарев. Универсальный алгоритм диагностики неисправностей электронных цифровых машин. Настоящий сборник.
15. В.Д. Зарубицын. Некоторые методы построения диагностических программ для универсальных ЦВМ. Настоящий сборник.
16. Ю.В. Гайкович, Г.А. Миронов. К вопросу об автоматизации проведения профилактических работ на ЭЦМ. Настоящий сборник.
17. Р.Д. Жаров. Статистическая модель системы профилактического обслуживания ЦВМ. Настоящий сборник.
18. В.С. Панчиков. Влияние характеристик тестового контроля на эффективность его использования в дискретных устройствах. Настоящий сборник.
19. М.С. Щербинин, Г.А. Миронов. Контрольная задача с пооперационным диагностическим контролем по отказам с учетом случайных сбоев. Настоящий сборник.
20. Г.А. Миронов, В.А. Прокудин. Специальные программы проверки быстродействия ЭЦМ. Настоящий сборник.