

УДК 681.3

М.А.Ш а м а ш о в

СРЕДСТВА ОТЛАДКИ ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ

КАМАК-АППАРАТУРОЙ

(г.Куйбышев)

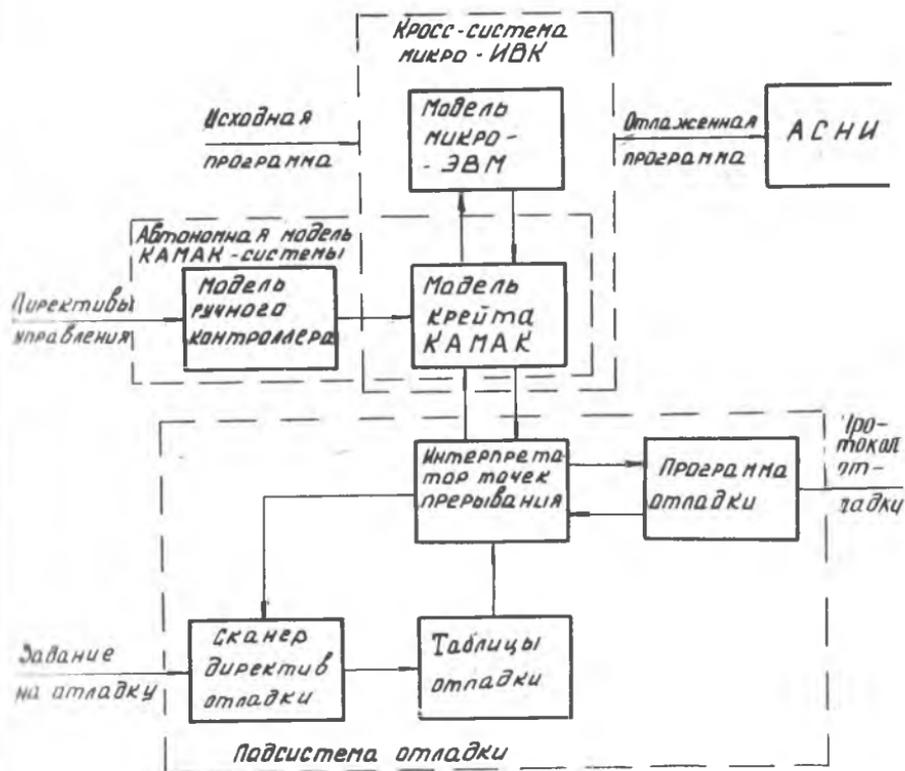
Наличие в автоматизированных системах науч АСНИ) программно-управляемой аппаратуры в стан бует разработки, отладки и тестирования програм (ПО), обслуживающего эту аппаратуру. Задачи авт вания программ для КАМАК-систем решаются с испо КАМАК-программирования различного уровня [1] . з затрат на создание ПО приходится на тестировани что обуславливает необходимость автоматизации э средств отладки, входящих в состав резидентных совых [3] систем программирования мини(микро) явно недостаточно для автоматизации процессов о использующих устройства связи с объектом (УСО) Наиболее существенным является тот факт, что в ки прерывания для отладки ограничиваются фазой процессора, т.е. точка прерывания может быть ус ячейке оперативной памяти, интерпретируемой про да. Под точкой прерывания понимается признак, п вается работа центрального процессора или устро (в кросс-системах работа их моделей) и управлен кету программ отладки [4] .

Если отмеченный выше недостаток средств ных системах в принципе неустраним, то средства паратуры позволяют зад та [4] и, в частности (точнее, моделях эти

В предлагаемой с тестирования КАМАК-проп ЭВМ [3] , входящие в с [7-9].

Как и большинство включает три основные ; программу, проверяющую

ладки в соответствии с директивами; интерпретатор точек прерывания, который должен динамически управлять исполнением программы (имитацией исполнения) и отладкой; группу подпрограмм отладки, непосредственно реализующих отладочные действия.



Р и с. Структурно-функциональная схема подсистемы отладки

Точки прерывания КАМАК-отладчика связаны с обращениями к отдельным КАМАК-устройствам, модели которых включены в состав системы моделирования [4-10]. Установка точки прерывания осуществляется указанием номера устройства N или имени его модели в крейте системы. Прерывания для КАМАК-отладки являются условными. К условным относятся конкретные коды КАМАК-операций, имитация выполне-

ния которых вызывает прерывания, а также цикл прерываний, позволяющий управлять числом прерываний и их последовательностью.

Прерывания для КАМАК-отладки приводят к выполнению команд или действий по отладке, задаваемых пользователем: регистрации и отображению состояния моделируемого устройства, на котором установлена точка прерывания, или вводу информации в эту модель. Возможность ввода информации в моделируемые регистры и триггеры устройств в процессе имитации выполнения программы АСНИ во многом способствует решению задач по моделированию взаимодействия УСО и объекта исследования АСНИ, необходимого для всесторонней отладки ПО на модели [4].

Точки прерывания для отладки устанавливаются с помощью директив, вводимых в пакетном режиме. Эти директивы имеют формат:
// < действие > < точка прерывания > [, < условия прерывания >
[, < система счисления >]

Точки прерывания в директиве задаются указанием номера крейта и номера станции или имени модели модуля в крейте:

$CR=x$, $NM=xx$ или $CR=x$, $MODNM = < имя >$,
где x - десятичная цифра.

В условиях прерывания перечисляют коды КАМАК-операций, имитация выполнения которых заданным устройством будет приводить к прерыванию:

$P = (< список кодов >)$

К условиям прерывания относится и параметр цикла прерываний, имеющий формат $SUC = (P1, P2, P3)$,

где $P2$ - "момент" наступления первого прерывания в данной точке, т.е. число, указывающее, какая по счету операция из указанных в списке кодов приведет к первому прерыванию;

$P3$ - шаг цикла;

$P1$ - верхняя граница цикла.

Таким образом, прерывания осуществляются в "моменты" $P = P2$; $P = P2 + P3$, если $P \leq P1$; ... $P = P2 + iP3$ ($i = 1, 2, \dots$), если $P \leq P1$ и т.п.

В качестве действия указывается либо PR - "отображение состояния", либо IN - ввод информации. После директивы $//IN$ должны следовать данные, которые предполагается ввести в моделируемые регистры по прерыванию в указанной точке. По директиве $//PR$ на

листинг выводится состояние регистров и триггеров моделируемого устройства и связанной с ним магистрали. Эта информация в системе моделирования значительно полнее той, которая отображается на индикаторе магистрали крейта КАМАК, но что самое существенное, эта информация протоколируется.

В директиве может задаваться система счисления, в которой осуществляется ввод или вывод информации. Формат этого параметра $ACS = O/D/B$, где O - восьмеричная, D - десятичная и B - двоичная системы счисления.

Кроме аппарата точек прерывания КАМАК-отладчик поддерживает аппарат ловушек. В отличие от точек прерывания, вызывающих реакцию системы на различные условия для заданных устройств, ловушки приводят к прерываниям, независимо от того, к какому устройству было обращение. В рассматриваемой подсистеме предусмотрено два типа ловушек:

ловушка КАМАК-операций, которая срабатывает после выполнения каждой КАМАК-операции над любым устройством моделируемой системы. По этой ловушке, задаваемой директивой $//CAMTR$, осуществляется отображение состояния устройства и соответствующей ему магистрали, что является аналогом классического метода отладки - полной трассировки. Данная ловушка используется и для сбора статистики о нагрузке КАМАК-системы. По директиве $//NMOD$ осуществляется подсчет "выполнения" различных КАМАК-операций отдельными устройствами и выдача этих данных в виде таблицы после завершения моделирования и отладки;

ловушка прерывания по $X = 0$, срабатывающая после появления аварийного сигнала $X = 0$ на любой из магистралей моделируемой КАМАК-системы. По этой ловушке осуществляется печать сообщения о прерывании по $X = 0$, причине прерывания, и система переходит в интерактивный режим, если такой переход не запрещен директивой $//MASKXO$.

Отметим, что в диалоговый режим система может быть переведена и обычными средствами отладки, входящими в состав кросс-системы программирования [4, 10]. К причинам такого перехода относятся: команда останова ($HALT$) в отлаживаемой программе; прохождение точки программы, заданной пользователем; нечетный адрес в векторе прерывания; ошибки обращения к стековой памяти; нажатие кнопки прерывания на инженерном пульте инструментальной ЭВМ.

Средства интерактивной отладки КАМАК-программ позволяют ото-

принять состояние моделируемых функциональных модулей, контроллеров и магистралей на пультовом терминале (ПТ) и оперативно изменять эти состояния с клавиатуры. Для отображения состояния регистров и триггеров моделируемых устройств используются директивы: $!P < \text{адрес устройства} >$; $!P < \text{номер крейта} >$; $!P < \text{номер крейта} > M$. Адрес устройства может задаваться как в абсолютном виде (например, $\& 164442$), так и перечислением номера крейта, станции и субадреса (1,3,1) или указанием имени модели устройства в крейте системы (2, АЦП-712,2). По директиве $!P < \text{номер крейта} >$ будут распечатываться состояния внутренних регистров крейт-контроллера (регистра управления и состояния, регистра маски и запросов, регистра старшего байта данных), а по директиве $!P < \text{номер крейта} > M$ распечатываются состояния моделируемых шин магистрали крейта с указанным номером.

Для изменения состояния функционального модуля или контроллера используется директива $!C < \text{изменение} >$, где $' < \text{изменение} >$ - восьмеричные числа, вводимые в моделируемые регистры и триггеры устройства, состояние которого распечатывалось на ПТ последним.

Рассмотренная подсистема отладки позволяет автоматизировать трудоемкие задачи диагностики и локализации программных и алгоритмических ошибок в КАМАК-программах.

К программным ошибкам отнесем ошибки, связанные с недопустимыми кодами операций для устройств, неверными субадресами, обращениями к незанятой станции крейта или указанием значения N , превышающим число установочных станций. Все эти ошибки в резидентных системах приводят к выработке сигнала $X = 0$ (команда не выполнена) на магистрали крейта. Контроллер крейта обеспечивает прерывание по значению $X = 0$, но все, что может сделать программа обработки прерывания - это локализовать ошибку, указав адрес команды программы, вызвавшей это прерывание. Модель КАМАК, используя ловушку прерывания по $X = 0$, позволяет не только обнаружить, локализовать ошибку, но и сразу же выявить ее причину. Кроме того, средства отладки КАМАК-программ позволяют оперативно исправить эту ошибку в интерактивном режиме и продолжить отладку с точки прерывания.

Под алгоритмическими ошибками КАМАК-программ здесь понимается нарушение правильной последовательности КАМАК-операций, выполняемых некоторым устройством КАМАК. Правильной последовательностью КАМАК-операций назовем такую последовательность команд к устройст-

му, которая обеспечивает выполнение им целевых функций. Для большинства исследованных КАМАК-устройств можно указать такие правильные последовательности, реализующие, по сути дела, алгоритмы работы с этими устройствами. Нарушение таких последовательностей приводит к ошибкам, поиск, локализация и диагностика которых не поддается автоматизации в рамках резидентных систем отладки; задачи отладки, в этом случае, полностью ложатся на интуицию разработчика.

Поясним природу алгоритмических ошибок на конкретных примерах. Для целого ряда устройств, в том случае, когда Δ -запрос от устройства не деблокирован командой $F(26)$, программный опрос модуля командой $F(8)$ не дает необходимого результата, а, как правило, приводит к заикливанию программы. Программа может заикливаться и при опросе на наличие LAM -требования командой $F'(27)$, если не была задана команда, приводящая к преобразованию в устройстве (открытие входа аналого-цифрового преобразователя командами $F(2)$ или $F(26)$, задание номера канала в релейном мультиплексоре командами $F(17)$ или $F(25)$, разрешение на запись информации от объекта исследования во входной регистр - $F(25)$ и т.п.). К непредсказуемым ошибкам в программе могут привести и такие действия, как чтение результатов преобразования из регистров устройств, если перед командой чтения отсутствовала команда, выдающая такие преобразования; анализ запросов после их сброса; запись информации в выходные регистры до появления разрешения на запись и т.п.

Алгоритмические ошибки легко обнаруживаются, локализуются и идентифицируются на системе моделирования при использовании уже рассмотренной ловушки по каждой КАМАК-операции. По этой ловушке, при задании соответствующей директивы, могут отслеживаться КАМАК-команды к отдельным устройствам, цепочки этих команд накапливаются и сравниваются с эталонными значениями (правильными последовательностями). В случае обнаружения нарушения правильной последовательности команд к устройству система может переходить в интерактивный режим или выдавать предупреждающие сообщения и продолжить имитацию и отладку.

Опыт эксплуатации рассмотренных средств отладки КАМАК-программ показывает, что их использование совместно с моделью КАМАК-системы [4-7] и кросс-системой программирования [3,4,7-9] позволяет исследовать проектируемую аппаратуру КАМАК, сократить

затраты на отладку ПО АСНИ, повысить его качество и надежность, а возможность проведения параллельных разработок уникальных, специализированных устройств в стандарте КАМАК и отладки ПО по их обслуживанию способствует сокращению затрат и сроков проектирования АСНИ в целом.

Л и т е р а т у р а

1. В и н о г р а д о в В.А. Анализ и методы унификации языков программирования КАМАК. - В кн.: I Всесоюзный симпозиум по модульным и информационно-вычислительным системам. Языки, трансляторы и программирование КАМАК. -М.:ИЯИ, 1979, с.3-12.
2. Л и п а е в В.В. Программирование математического обеспечения АСУ. Системотехника, архитектура, технология. -М.:Сов.радио, 1977. - 400 с.
3. К а л е ч и ц В.Е., Л о б о д и н Н.И., Щ у к и н А.Я. Кросс-система программирования ЭВМ "Электроника-60" на ЕС ЭВМ.- В кн.: Методы трансляции.-Ростов-на-Дону: РГУ, 1981, с.52-59.
4. Цифровая имитация автоматизированных систем /А.А.Болтянский, В.А.Виттих, М.А.Кораблин, Г.Н.Куклин, А.А.Сидоров, М.А.Шамашов.-М.:Наука, 1983. - 264 с.
5. К о р а б л и н М.А., Ш а м а ш о в М.А. Моделирование КАМАК-систем.-В кн.:Моделирование дискретных управляющих и вычислительных систем. Тезисы докладов 3 Всесоюзного семинара.-Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981, с.113-115.
6. Ш а м а ш о в М.А. Универсальная цифровая модель КАМАК-систем.-В кн.: 6 Всесоюзная конференция "Информационно-измерительные системы -83". Тезисы докладов.-Куйбышев: КПИИ, 1983, с.249-25С
7. Ш а м а ш о в М.А.Функциональное описание и имитационное моделирование КАМАК-систем.-УСий, 1984, № 2, с.106-111.
8. К о р а б л и н М.А., Ш а м а ш о в М.А. Система автоматизации проектирования математического обеспечения АСНИ.-В кн.:Сбор и обработка информации в научных исследованиях. Тезисы докладов 8 Всесоюзной конференции по теории кодирования и передачи информации.-М.-Куйбышев: Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика" АН СССР, 1981, с.126-130.
9. Ш а м а ш о в М.А. Кросс-система программирования для микроИВК. -В кн.:Технология программирования микропроцессорной техники. Тезисы докладов I Всесоюзной конференции по Р-технологии программирования.-Киев: ИК АН УССР, 1983, с.27-29.