

УДК 681.142.2

ОТЛАДЧИКИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ
ДЛЯ ОДНОРОДНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МИНИМАКС

Ю.И. Колосова

Предлагаются отладчики, предназначенные для динамической отладки параллельных программ в однородной вычислительной системе (ОВС) МИНИМАКС [1].

Параллельная программа (р-программа) представляется в виде совокупности последовательных программ (ветвей), выполняющихся на отдельных ЭВМ ОВС и взаимодействующих между собой. Взаимодействия могут быть групповыми или индивидуальными в зависимости от способов синхронизации и методов доступа к общим данным. Они задаются соответственно с помощью макрооператоров групповых [2] и индивидуальных [3] взаимодействий. Параметры макрооператоров (например, число обмениваемых кодов, номер передающей ветви) в общем случае являются функциями, которые изменяются по мере выполнения р-программы.

Отладчики ориентированы в основном на отладку р-программ, использующих групповые способы взаимодействия. Возможности для проверки правильности задания индивидуальных взаимодействий пока ограничены.

Отладка ведется в режиме диалога на одной мини-ЭВМ "М-6000". Описываемые отладчики получены на основе расширения стандартного отладчика (DEBUG), входящего в систему программного обеспечения мини-ЭВМ "М-6000" [4]. Они позволяют вести проверку, пробное испытание параллельных программ или их частей при непосредственном участии пользователя. Связь с пользователем осуществляется (как и в DEBUG) через устройство стандартного ввода с клавиатуры и стандартного вывода на печать.

ОВС - О Т Л А Д Ч И К - I (DEB1) используется для отладки одной ветви р-программы. Он представляет собой расширение DEBUG

блоками, организующими фиксирование появления макрооператора, моделирование его выполнения в рамках одной ветви и выдачу информации, необходимой пользователю для дальнейшего ведения отладки.

Управляющими директивами DEB1 являются все директивы DEBUG и одна новая - директива ветви K,S,L. Здесь K - имя директивы, S и L - восьмеричные числа, указывающие соответственно относительный номер отлаживаемой ветви и общее число ветвей р-программы.

Значения параметров S и L необходимы DEB1 при моделировании макрооператоров групповых взаимодействий. Однажды введенные значения S и L остаются в силе до тех пор, пока не будет введена другая директива ветви. Данная директива должна быть введена первой или после директивы задания базы.

Выводы на печать в DEB1 могут быть трех видов: стандартное сообщение о контрольной точке, распечатка области памяти и сообщения о макрооператоре группового взаимодействия. Первые два из них аналогичны выводу в DEBUG[5]. Вывод третьего вида содержит заголовок макрооператора и сообщение о конкретных действиях.

Заголовок макрооператора имеет следующий формат: P=A I=B ИМЯ(N2), где A и B - восьмеричные числа, указывающие относительный адрес текущей команды и команды, которая должна выполняться после макрооператора группового взаимодействия (именно этот адрес должен указываться в директиве пуска при необходимости продолжения отладки); ИМЯ - название соответствующего макрооператора группового взаимодействия; N2 - восьмеричное число, указывающее спецификатор макрооператора группового взаимодействия [2].

ПРИМЕР: P = 00103 I = 00112 ВЕХС (00004).

Здесь 00103 - относительный адрес команды, первой из обращения к ВЕХС; 00112 - относительный адрес команды, которая должна выполняться следующей; ВЕХС - имя макрооператора трансляционного обмена; 00004 - спецификатор.

Сообщение о конкретных действиях имеет форматы четырех типов:

I тип - ПЕРЕДАЕТ N=v1 КОДОВ, АДРЕС A=v2

II тип - ВВЕДИТЕ N=v1 КОДОВ, АДРЕС B=v3

III тип - ПЕРЕНОС N=v1 КОДОВ, АДРЕС B=v3

IV тип - P=v4 M=v5

В них v1, v2, v3, v4, v5 - восьмеричные числа, указывающие соответственно количество обмениваемых кодов, относительный адрес

передаваемого массива, относительный адрес принимающего массива, значение переменной F , относительный адрес передачи управления.

Сообщения I и III типов информируют пользователя о том, что произойдет во время выполнения макрооператора в этой ветви при счете r -программы (I тип) или что сделано в процессе отладки (III тип).

Сообщения II и IV типов - управляющие: II тип требует ввода $N=v1$ кодов с адреса $B=v3$ (например, с помощью директивы записи в память); IV тип сообщает, что можно продолжать отладку не только с адреса $I=B$ (указанного в заголовке), но и с $M=v5$.

При появлении любого из макрооператоров группового взаимодействия отладчик DEB1 печатает информацию третьего вида (т.е. заготовок и сообщение о конкретных действиях). Отладчик DEB1 помогает пользователю следить за порядком и правильностью указанных макрооператоров и оперативно принимать решения.

ОВС - О Т Л А Д Ч И К - П (DEBP) используется для отладки r -программы, ветви которой со всей необходимой отладочной информацией помещаются в оперативной памяти. Число ветвей не должно превышать пяти ($L \leq 5$)*). Он представляет собой расширение DEBUG блоками, организующими выполнение макрооператоров групповых взаимодействий и локализуемыми ошибки в заданиях взаимодействий ветвей.

Отладчик DEBP осуществляет поочередное выполнение ветвей r -программы на одной машине до появления в них макрооператора группового взаимодействия. При выходе на такой макрооператор DEBP выдает на терминал вид этого макрооператора (имя и спецификатор) и информацию, необходимую для дальнейшей отладки. Далее DEBP подготавливает к отладке очередную ветвь, если номер текущей ветви s меньше числа всех ветвей ($s < L$). В случае $s=L$ происходит моделирование выполнения заданного взаимодействия, если совокупность макрооператоров группового взаимодействия во всех L ветвях образует допустимую ситуацию, иначе выдается сообщение об ошибке.

Управляющими директивами DEBP являются все директивы DEBUG и две новые - директива задания баз ветвей и директива ветви.

Посредством директивы задания баз ветвей $G, A1, A2, \dots, AL$ (G - имя директивы, $A1$ - база перемещения первой ветви, AL - база перемещения L -й ветви) пользователь сообщает DEBP базы перемещения, полученные при загрузке каждой из L ветвей. Данная директива должна быть первой директивой для DEBP.

*) Ограничение относится к поставляемому варианту DEBP. Однако имеется возможность расширения DEBP для большего числа ветвей [5].

Благодаря заданию баз перемещения пользователь при вводе любой управляющей директивы действует только с относительными адресами.

Директива ветви K, S, L аналогична одноименной директиве для DEB1. Она должна вводиться после выполнения директивы задания баз ветвей. Параметр S указывает номер начальной ветви, с которой пользователю требуется выполнить отладку своей р-программы. Обычно начальной ветвью является первая (K, L, L). В конце обработки директивы ветви отладчик DEBR печатает признак ветви, информирующий пользователя о том, что он может приступить к отладке указанной ветви.

Выводы на печать в DEBR могут быть пяти видов: стандартное сообщение о контрольной точке, распечатка области памяти, сообщение о макрооператоре группового взаимодействия, сообщение о взаимодействии, сообщение об авостной ситуации.

Печать первых двух видов аналогична выводу в DEBUG, третьего - содержит заголовок макрооператора и сообщение о конкретных действиях, четвертого - информирует о смоделированном взаимодействии, пятого - содержит заголовок и сообщение о причине авостной ситуации.

Формат заголовка аналогичен соответствующему в DEB1.

Сообщение о конкретных действиях имеет форматы четырех типов:

I тип - ПЕРЕДАЧА N=v1 A=v2

II тип - ПРИЕМ N=v1 B=v3

III тип - F=v4 M=v5

IV тип - S NE= ZI

Значения параметров v_i ($i = 1, 2, \dots, 5$) аналогичны значениям соответствующих v_i в DEB1.

Сообщения I типа показывают, что отлаживаемая ветвь готова передать N кодов с адреса A; II типа - что отлаживаемая ветвь готова принять N кодов, начиная с адреса B; III типа - указывают значения переменной F в отлаживаемой ветви и адрес передачи управления (M=v5) в случае отрицательных значений F во всех ветвях; IV типа - что номер отлаживаемой ветви не равен ни одному из заданных (ZI) в макрооператоре группового взаимодействия.

Сообщение о смоделированном взаимодействии имеет форматы трех типов:

I тип - ОБМЕН

II тип - $I=I+1$

III тип - на M

Сообщение I типа показывает, что DEBR смоделировал обменное взаимодействие между ветвями. Передаваемая информация перенесена в указанные для приема массивы во всех заданных ветвях.

Сообщения II и III типов показывают, что DEBR смоделировал обобщенный условный переход. Все ветви i ($i = 1, 2, \dots, L$) будут выполняться либо со следующего оператора (II тип), либо с адреса $M(i)$ (III тип).

Сообщение о причине авостной ситуации информирует об ошибках (COshi) в случае:

($i = 1$) - несовпадения названия макрооператоров;

($i = 2$) - несовпадения спецификаторов;

($i = 3$) - превышения номера ветви числа всех ветвей;

($i = 4$) - несовпадения числа обмениваемых кодов в передающей и принимающей ветвях;

($i = 5$) - несовпадения номеров задаваемых ветвей.

При появлении COshi отладчик DEBR переходит в состояние ожидания управляющей директивы. Можно продолжить отладку других ветвей (воспользовавшись директивой ветви), но необходимо учитывать, что в случае COshi взаимодействие не будет смоделировано.

При появлении макрооператора группового взаимодействия отладчик печатает информацию третьего вида (в случае допустимой ситуации), либо пятого вида (при авостной ситуации). Информация четвертого вида выдается в случае выхода всех L ветвей на макрооператор группового взаимодействия и печати у них информации третьего вида. После выдачи информации третьего (четвертого) вида отладчик печатает для очередной (первой) ветви признак этой ветви и переходит в состояние ожидания управляющих директив для отладки этой ветви.

Отладчик DEBR помогает пользователю оперативно выявлять ситуации, связанные с заданием групповых взаимодействий.

Для работы с макрооператорами индивидуальных взаимодействий DEBR обеспечивает минимальные возможности: идентификацию адресов ветвей (с помощью директивы задания баз ветвей) и организацию отладочных работ с указанной ветвью (с помощью директивы ветви). В отладчике пока нет средств (аналогичных средствам для макрооператоров групповых взаимодействий), автоматически выявляющих по-

явление макрооператоров индивидуальных взаимодействий и обрабатывающих их параметры. В связи с этим на пользователя ложится вся трудность по проверке параметров таких макрооператоров.

З а к л ю ч е н и е

Программные блоки, расширяющие DEBUG до DEB1 и DEB2, составляют соответственно 665 и 1566 восьмеричных ячеек оперативной памяти [5]. Эксплуатация отладчиков показала, что их использование не сложнее использования стандартного отладчика.

Отметим, что DEBUG неоднократно подвергался модификации со стороны пользователя с целью получения дополнительной информации об отлаживаемой программе [6,7]. Предложенные блоки можно ввести в такие модификации и тем самым использовать разработанные в модификациях дополнительные управляющие директивы для исследования параллельных программ.

Л и т е р а т у р а

1. ВИНУКОВ В.Г., ДИМИТРИЕВ Ю.К., ЕВРЕИНОВ Э.В., КОСТЕЛЯНСКИЙ В.М., ЛЕХНОВА Г.М., МИРЕНКОВ Н.Н., РЕЗАНОВ В.В., ХОРОШЕВСКИЙ В.Г. Однородная вычислительная система из машины-машина. - В кн.: Вычислительные системы. Вып. 51. Новосибирск, 1972, с. 127-146.
2. КЕРЕБЕЛЬ В.Г., КОЛОСОВА Ю.И., КОРНЕЕВ В.Д., МИРЕНКОВ Н.Н., ПЕРБАКОВ Е.В. Средства программирования системы МИНИМАКС. - В кн.: Вычислительные системы. Вып. 60. Вопросы теории и построения вычислительных систем. Новосибирск, 1974, с. 143-152.
3. КОРНЕЕВ В.Д., КЕРЕБЕЛЬ В.Г., КРЫЛОВ Э.Г. Языки для описания параллельных процессов. Операторы индивидуальных взаимодействий. Отчет Института математики СО АН СССР, 1977.
4. Основная управляющая система. Краткое описание и руководство к пользованию. Северодонецк, 1972.
5. КОЛОСОВА Ю.И. Система отладки параллельных процессов для однородной вычислительной системы МИНИМАКС. Отчет Института математики СО АН СССР, 1977.
6. ГРИНЬКО Н.Д., ШКОЛДИН В.Н. Модифицированная отладочная программа для УВМ М-6000 АСВТ-М. - "Управляющие системы и машины", 1975, № 3, с. 140-142.
7. РОССОШИНСКИЙ Д.А. Мониторная система для отладки прикладных программ в автоматизированной системе управления научным экспериментом. - "Управляющие системы и машины", 1977, № 6, с. 127-192.

Поступила в ред.-изд.отд.

27 января 1977 года