Коварцев А.Н., Логвинов А.Л.

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ПОИСКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ОШИБОК В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Математические модели объектов разнообразной природы (физических или химических явлений, процессов, технических систем) в конечном итоге воплощаются в виде программных продуктов (ПП). Ошибки (в том числе и вычислительного характера), допущенные на этапе разработки математической модели, естественным образом наследуются и в соответствующих программных продуктах. В связи этим можно объединить процедуру обнаружения ошибок в математических моделях с процессом тестирования соответствующего ПП. Последнее позволяет автоматизировать процессы поиска ошибочных ситуаций как в модели, так и в ПП.

В настоящее время известен широкий спектр ошибочных ситуаций, возникающих в ПП по различным причинам. Высокая сложность ПП в значительной степени расширяет спецификацию возникающих в них ошибочных ситуаций [1]. Среди множества типов ошибочных ситуаций выделим ошибки, которые способны вызвать фатальный сбой в системе и привести к зависанию выполнения программы или даже к потере полученных результатов. Природа таких ошибок, как правило, имеет “арифметический” характер и среди них наиболее трудно обнаружимыми являются ошибки типа деления на ноль [2] – "редкие" ошибки.

В настоящее время известно большое количество методов поиска ошибочных ситуаций в ПП. Однако их специализация ограничивается тестированием баз данных, сетевых приложений и использования памяти ЭВМ. Практически отсутствуют методы поиска ошибок вычислительного характера, как правило, возникающие в связи с ошибками, допущенными в исходных для ПП математических моделях. В Самарском государственном аэрокосмическом университете накоплен богатый опыт разработки численных методов поиска в ПП ошибок вычислительного характера.

В первую очередь это относится к методу независимых испытаний [3], основанного на случайном сканировании пространства независимых переменных тестируемого модуля до обнаружения ошибочной ситуации. Программная реализация метода использует встроенный в операционную систему механизм структурной обработки исключений SEH, который позволяет перехватывать прерывания при возникновении ошибочных ситуаций, фиксировать соответствующую информацию в БД, не останавливая процесс поиска ошибок в программе. Данный подход позволяет за один сеанс тестирования программного модуля (ПМ) получить полную информацию о типах и топологии расположения ошибок, содержащихся в ПМ в данный момент времени. В целях повышения эффективности за счет увеличения вероятности обнаружения ошибок в программе метод независимых испытаний снабжен механизмом регулирования разрядной сетки ЭВМ, поскольку, как показано в [2], уменьшение разрядности увеличивает размеры области ошибочных ситуаций, а следовательно и вероятность обнаружения ошибки в программе.

Несмотря на обнадеживающие результаты, полученные для метода независимых испытаний, особенно с использованием корректировки разрядной сетки, он существенно теряет свою эффективность с повышением размерности вектора исходных данных тестируемого модуля. В связи с этим была предпринята попытка разработки детерминированного метода локализации ошибок в программных модулях вычислительного характера [4]. Идея характеристического адаптивного алгоритма поиска «редких» ошибок (см. [4]) основывается на предположении о том, что «редкие» ошибки для математических функций формируются в точках разрыва второго рода, которые можно обнаружить, решая одну из оптимизационных задач:

$$\max_X f_k(X) \cdot \max_X f_k(X), \qquad k = \overline{1,n}$$

где $f_k(X)$ – один из выходных параметров тестируемого модуля, X – вектор исходных данных ПМ. Принципиальной особенностью данной задачи является потенциальная многоэкстремальность оптимизируемых функций, что предполагает использование методов глобальной многоэкстремальной оптимизации функций многих переменных. В работе [4] представлен метод глобального поиска точек разрывов второго рода функции (метод полного дифференциала), содержательная основа которого во многом совпадает с идеей метода многоэкстремальной оптимизации Р.Г. Стронгина.

На основе представленных методов и их модификаций был разработан комплекс программ (КП) для обнаружения ошибочных ситуаций вычислительного характера в ПМ. Комплекс программ предназначен для проведения тестирования программного модуля с целью обнаружения ошибочных ситуаций и оценки его надежности. Кроме этого, КП обеспечивает сбор и хранение информации о формальных параметрах тестируемого модуля, выполняемых им функциях, назначении и областях допустимых значений (как входных, так и выходных параметров ПМ), типе каждого из входных или выходных данных.

Основное окно КП представлено на рисунке 1. Первая вкладка интерфейса пользователя предназначена для регистрации в БД описания тестируемого модуля. При этом указывается базовый язык программирования, с помощью которого разработан модуль, перечисляются все формальные параметры модуля, их назначение, описание типов данных и областей изменения их значений. Результаты описания модуля сохраняются в БД комплекса.

Для запуска процедуры тестирования ПМ комплексу необходимо указать список параметров, используемых как независимые переменные, а также выходные параметры модуля (функции) применительно к которым и реализуется процедура поиска ошибочных ситуаций, в том числе и "редких" ошибок (см. рис. 2).

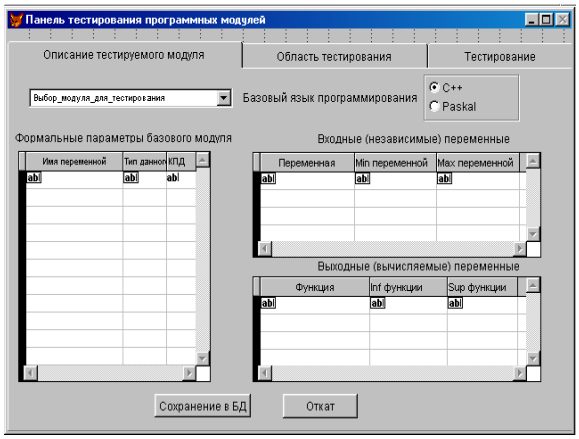


Рис.1.

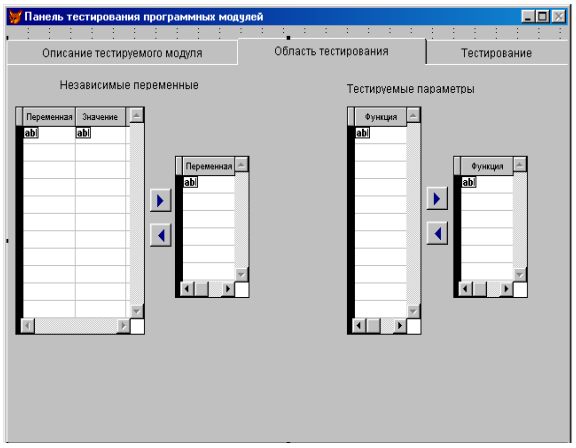


Рис.2.

Панель управления алгоритмами тестирования ПМ представлена третьей вкладкой интерфейса пользователя (см. рис. 3), на которой представлены три способа тестирования ПМ, основанные на методе независимых испытаний и двух вариантах алгоритма поиска "редких" ошибок, основанных на численных методах глобальной многоэкстремальной оптимизации. Последние отличаются способами разбиения пространства поиска ошибочных ситуаций. В одном случае пространство поиска разбивается треугольниками, а процедура деления называется "триангуляцией". В другом случае область поиска разбивается с помощью квадратов. Идеологическая сторона методов глобального поиска ошибочных ситуаций практически одинакова, однако у них несколько отличаются критерии поиска и параметры, связанные с потребной памятью для реализации процедуры поиска ошибок ПМ. Как показали эксперименты, эффективность этих алгоритмов зависит от тестируемого модуля, и невозможно однозначно отдать предпочтение тому или иному методу. Поэтому было принято решение включить в КП тестирования ПМ оба метода.

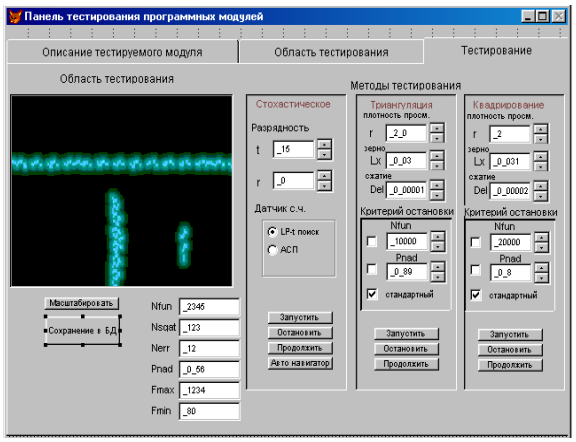


Рис.3

На панели "тестирование" расположены информационные параметры, характеризующие процесс тестирования ПМ: число обращений к тестируемой функции, количество обнаруженных ошибок, оценка надежности тестируемого модуля, максимальное и минимальное значений тестируемой функции и т.д. Для каждого из методов тестирования имеются "органы" управления процессом тестирования (параметры алгоритма тестирования).

Например, для метода независимых испытаний можно выбрать датчик генерации псевдослучайных чисел, определить разрядность вычислений, остановить или запустить процесс тестирования и т.д.

Для наглядности результаты тестирования выводятся в графической форме в окне "область тестирования" (причем ошибочные ситуации обозначены светлыми сливающимися точками).

Визуализация результатов поиска ошибочных ситуаций для методов тестирования, основанных на глобальной оптимизации, отличается тем, что в области тестирования отображается информация ее деления треугольными или прямоугольными сегментами (см. рис. 4). При этом тестер имеет возможность наблюдать за процессом покрытия пространства поиска и при необходимости вмешиваться в работу алгоритма. Для этого предусмотрены параметры r, Lx, Del - определяющие плотность заполнения области тестирования треугольниками или квадратами (r), а также параметры сжатия неперспективных (с точки зрения возникновения ошибочных ситуаций) сегментов алгоритма поиска (Lx, Del) (см. работу [4]).

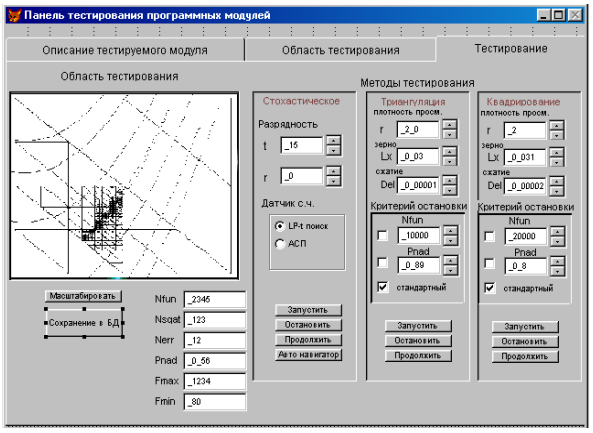


Рис. 4

По результатам тестирования ПМ полученная информация в виде характеристик и графической информации размещается в БД КП. Кроме того, в специальных структурах размещаются данные об обнаруженных ошибочных ситуациях с целью дальнейшей передачи их в стандартные пакеты программ («дебагеры») для выполнения процедуры отладки тестируемого ПМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липаев В.В. Отладка сложных программ.Методы, средства, технология. - М.: Энергратомиздат, 1993.

2. Коварцев А.Н. Автоматизация разработки и тестирования программных средств. - Самар. гос. аэрокосм. ун-т., Самара, 1999.

3. Коварцев А.Н., Логвинов А.Л. Стохастическое тестирование программных модулей. Метод независимых испытаний. // Журнал «телекоммуникационные системы», №4, 2004.

4. Коварцев А.Н., Логвинов А.Л. Повышение эффективности алгоритмов тестирования программных модулей. // Журнал «телекоммуникационные системы», №5, 2004.