

КОНТРОЛЬНАЯ ЗАДАЧА С КООПЕРАЦИОННЫМ ДИАГНОСТИЧЕСКИМ КОНТРОЛЕМ ПО ОТКАЗАМ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНЫХ СБОЕВ

М.С. Щерошкин, Г.А. Мионов
(Москва)

Электронную вычислительную машину, предназначенную для реализации конкретной рабочей программы, в дальнейшем будем называть специализированной вычислительной машиной (СВМ).

Контрольная задача с кооперационным диагностическим контролем была разработана и внедрена при определении параметров надежности специализированной вычислительной машины. Контрольная задача предназначается для комплексного контроля [1] правильности функционирования СВМ и обеспечивает:

- определение факта появления нарушения в работе СВМ;
- определение времени появления нарушения в работе СВМ;
- определение места возникновения неисправности (с точностью до операции), приведшем к нарушению в работе СВМ;
- автоматическую классификацию вида неисправности (сбой, отказ);
- определение влияния сбоя на старшие и младшие разряды;
- набор статистических характеристик по случайным событиям в процессе функционирования СВМ;
- контроль работы СВМ на псевдослучайных числах.

Программа контрольной задачи разбивается на группы последовательно выполняющихся команд. Структура построения контрольной задачи предусматривает минимум двойное повторение каждой группы при одних и тех же операндах всех ее команд. Это обстоятельство позволит применить контроль методом двойного счета (КМДС) в каждой группе. В результате того, что контроль методом двойного счета не всегда улавливает систематические ошибки, в контрольную задачу специально введены отдельные участки программы, проверяемые методом контрольных чисел (МКЧ), то есть тесты для систематических ошибок.

В [2] показано, что полная вероятность обнаружения систематической ошибки при КМДС определяется выражением:

$$P_n = 1 - \frac{M}{\sigma} \left(1 - e^{-\frac{\sigma}{M}} \right), \quad (I)$$

где M - среднее время, в течение которого неисправность не сказывается на работе машины;

σ - длина интервала участка, который повторяется дважды.

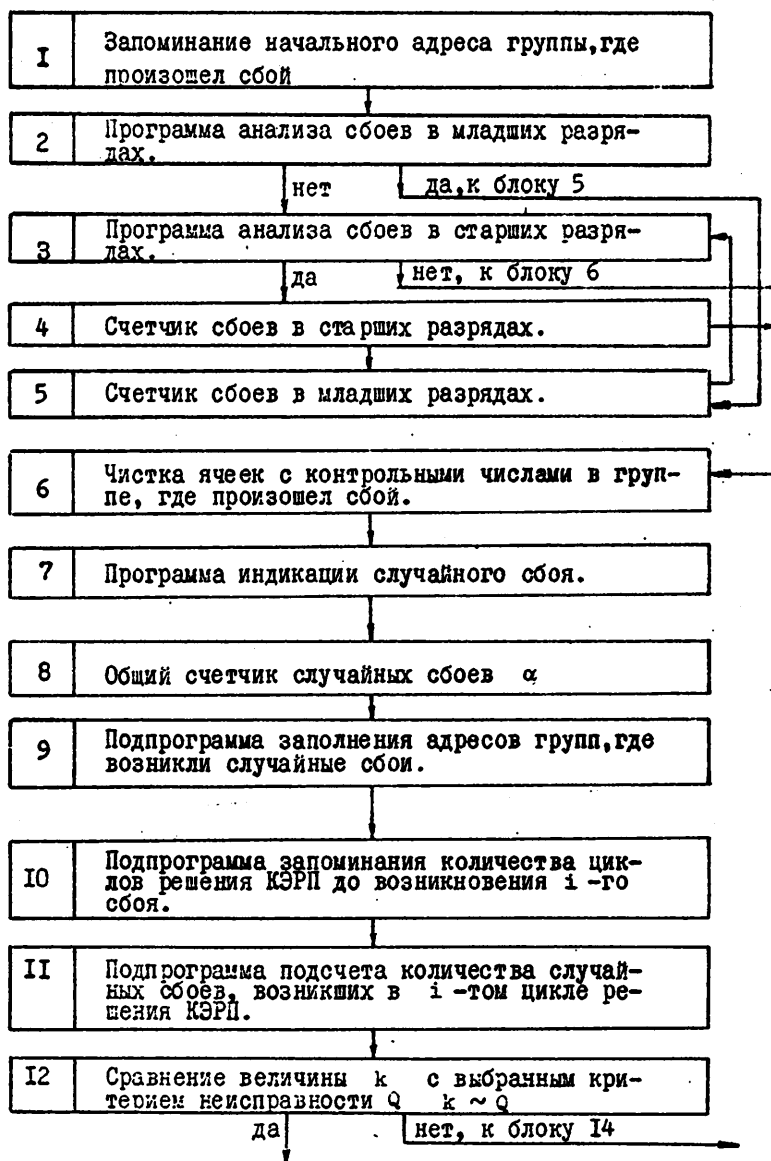
Очевидно, что для увеличения вероятности обнаружения систематической ошибки необходимо увеличивать длину интервала, но это уменьшает разрешающую способность диагностического контроля. Выходом из этого положения является включение участков программы, в которых применен метод контрольных чисел, почти во все группы.

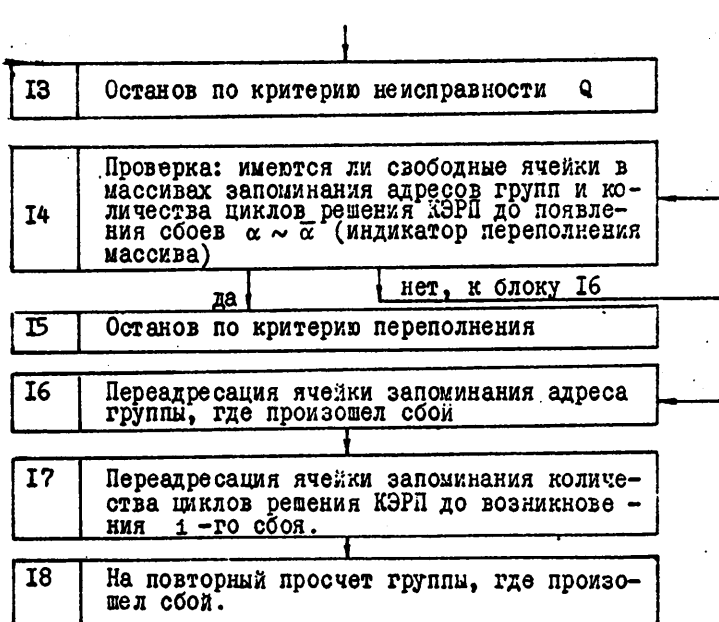
Контрольная задача включает:

- непосредственно рабочую программу;
- программу диспетчер;
- программу анализа случайных сбоев (ПАС).

Требования к рабочим программам контрольных задач, предназначенных для комплексной проверки машины, подробно освещены в [1]. Необходимо только добавить еще одно требование, вытекающее из специфики применения СВМ: рабочая программа контрольной задачи должна создавать режимы работы элементов СВМ эквивалентные режимам, которые возникают при реализации основной рабочей программы. Это обеспечивается структурой групп и числом повторений каждой из них. Программа диспетчер обеспечивает заданное количество повторений каждой группы, подсчет общего количества циклов решения контрольной задачи, проверку содержимого любой ячейки МОЗУ по требованию

с пульта управления. СВМ. Остановимся более подробно на рассмотрении программы анализа случайных сбоев, которая, собственно, и обеспечивает все функции контроля, изложенные в начале. Блок-схема алгоритма программы анализа случайных сбоев приведена ниже:





Блок-схема алгоритма программы анализа случайных сбоев

Программа анализа случайных сбоев выполняется с момента поступления сигнала ошибки, выработанного либо схемным, либо программным путем. После поступления сигнала ошибки программа ПАС прерывает выполнение рабочей программы контрольной задачи с запоминанием начального адреса j -й группы, где возникла ошибка (случайный сбой). Это необходимо для повторного просчета именно j -ой группы, а также для последующего перехода на $(j + 1)$ -ю группу после устранения ошибки или исчезновения причины, вызвавшей случайный сбой. Программа ПАС в первую очередь определяет, на какие разряды (младшие, старшие или все) повлиял случайный сбой, и одновременно записывает единицы в соответствующие счетчики сбоев. Определять влияние случайного сбоя с точностью до одного разряда программным путем практически невозможно, так как вспомогательные операции будут "подавлять" контролируемую. Другими словами, вероятность возникновения сбоя при реализации вспомогательных операций намного превышает вероятность возникновения сбоя на контролируемой операции. В настоящее время разработаны схемные методы контроля СВМ,

обеспечивающие не только обнаружение, но и управление ошибками в одном разряде. При реализации программного контроля на СВМ, которая не имеет указанного схемного контроля, случайный сбой, возникший в начале j -й группы, может повлиять или на все разряды, или на часть их. В большинстве случаев нас интересует, как часто возникший случайный сбой искажает старшие и младшие разряды. Для некоторых алгоритмов сбой в младших разрядах влияет только на точностные характеристики, в то же время сбой в старших разрядах, как правило, приводит к грубым ошибкам.

Необходимо оговориться, что в общем случае опасны сбои в любом разряде.

Индикацию факта появления случайного сбоя обеспечивает подпрограмма индикации сбоя. При этом на пульт управления СВМ или специальный регистр индикации выдается адрес (номер) группы, где произошел сбой. После этого записывается единица в общий счетчик случайных сбоев α , запоминается адрес группы, где произошел сбой, и количество циклов решения контрольной задачи до i -го сбоя ($\gamma - 1$). В том случае, если было заранее установлено допустимое количество сбоев в одном цикле (критерий неисправности Q) или за определенный промежуток времени (что в принципе то же самое, если СВМ имеет счетчик времени), то ПАС прибавляет единицу к содержимому в счетчике случайных сбоев $-K$, возникших в одном цикле решения контрольной задачи или за время Δt

$$k := k + 1$$

После этого содержимое k сравнивается с критерием неисправности Q , объединяющим:

- критерия по допустимой длительности существования одного сбоя $q_1 = f(\tau_c)$;
- критерии по допустимому количеству n случайных сбоев за время Δt , $q_2 = f(\Delta t, n)$.

При сравнении $k = Q$ происходит останов СВМ и выдача на печать последних Q сбоев из массива запоминания адресов группы. Если последние Q сбоев произошли в одной и той же группе, то останов СВМ произошел по критерию q_1 . В том случае, если последние Q сбоев произошли в различных груп-

пах, то останов произошел по критерию q_2 . Из этого следует, что в рассматриваемой программе анализа случайных сбоев целесообразно задавать критерий неисправности Q в виде допустимого количества сбоев за один цикл решения контрольной задачи.

Набор статистических характеристик по случайным сбоям осуществляется контрольной задачей тем, что в "массиве адресов групп" по каждому сбою понимается:

- адрес (номер) группы, где произошел сбой;
- время возникновения сбоя (если имеется схемный счетчик времени).

Поэтому следующим этапом работы программы ПАС является определение переполнения массива запоминания адресов групп (МЗАГ), где произошли сбои. Для этого производится сравнение содержимого общего счетчика случайных сбоев (α) с допустимым количеством сбоев α^S за все время решения контрольной задачи (или за время, прошедшее от момента последнего переполнения массива МЗАГ). Другими словами, величина α^S является критерием переполнения массива МЗАГ.

При $\alpha = \alpha^S$ происходит выдача на печать содержимого массива запоминания адресов групп, где произошли сбои, и количество циклов решения контрольной задачи до появления 1-го сбоя. *)

Если $\alpha = \alpha^S$, то ПАС производит переадресацию ячеек массива МЗАГ и ячеек, в которых запоминается количество циклов решения контрольной задачи ($\gamma - 1$) до появления 1-го сбоя. После этого программа ПАС передает управление на начало той группы, где произошел 1-й сбой.

При отсутствии схемного счетчика времени время возникновения случайного сбоя определяется по формуле

$$T = \gamma t_{\gamma,1} + \sum_{j=1}^{n-1} t_j + \sum_{i=1}^{c-1} N_i \Delta t_i, \quad (2)$$

где γ - количество циклов решения контрольной задачи;

$t_{\gamma,1}$ - время выполнения 1-го цикла;

N_i - количество i -го вида команд, выполненных в данной группе до момента появления сбоя;

*) Это делается, если СВМ не имеет схемного счетчика времени, обеспечивающего автоматическую регистрацию времени появления каждого сбоя.

- Δt_i - время выполнения i -го вида команды;
 t_j - время выполнения j -й группы;
 n^i - количество групп, выполненных в i -м цикле до момента появления сбоя;
 c^j - количество команд, выполненных в j -й группе, до момента появления сбоя.

Время выполнения одного цикла контрольной задачи определяется из соотношения:

$$t_{ц.1} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c N_i \Delta t_i + \sum_{i=1}^{\alpha'} N_i \Delta t_i + k_1 \sum_{i=1}^l N_i \Delta t_i, \quad (3)$$

- где n - количество групп в контрольной задаче;
 c - количество видов команд в j -й группе, то есть сложений, вычитаний, делений и т.п.
 α' - количество видов команд в программе диспетчера;
 l - количество видов команд в программе ПАС;
 k_1 - количество случайных сбоев, возникших в данном цикле.

Подставляя выражение (3) в (2), получаем

$$\begin{aligned}
 T = \gamma \left[\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c N_i \Delta t_i + \sum_{i=1}^{\alpha'} N_i \Delta t_i + k_1 \sum_{i=1}^l N_i \Delta t_i \right] + \\
 + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c N_i \Delta t_i + \sum_{i=1}^{c^j} N_i \Delta t_i.
 \end{aligned} \quad (4)$$

Обозначим:

- время выполнения j -й группы

$$t_j = \sum_{i=1}^c N_i \Delta t_i; \quad (5)$$

- время выполнения программы диспетчера

$$t_{\alpha} = \sum_{i=1}^{\alpha'} N_i \Delta t_i; \quad (6)$$

- время выполнения одного цикла решения контрольной задачи (при условии, что за это время ни одного сбоя не произошло).

$$t^0 = \sum_{j=1}^n t_j + t_{\alpha}; \quad (7)$$

- время выполнения программы ПАС

$$t_c = \sum_{i=1}^1 N_i \Delta t_i ; \quad (8)$$

- время неполностью выполненного (усеченного) цикла, при реализации которого произошел случайный сбой.

$$t_u^y = \sum_{j=1}^{n^1} t_j ; \quad (9)$$

- время неполностью выполненной (усеченной) группы, при реализации которой произошел случайный сбой

$$t_j^y = \sum_{i=1}^{c^j} N_i \Delta t_i ; \quad (10)$$

- количество случайных сбоев, возникших за γ циклов решения контрольной задачи.

$$\alpha = \sum_{i=1}^{\gamma} k_i . \quad (11)$$

Точное значение t_i^y неизвестно, так как при данном программном методе контроля невозможно определить операцию, при выполнении которой произошел сбой. Случайный сбой может произойти при выполнении любой команды j -й группы. Поэтому в среднем время возникновения случайного сбоя внутри j -й группы принимается равным $0,5 t_j^y$. Учитывая (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), получаем окончательное выражение для определения времени появления случайного сбоя.

$$\begin{aligned} T &= \gamma \left(\sum_{j=1}^n t_j + t_{\alpha'} \right) + \alpha t_c + 0,5 t_j^y = \\ &= \gamma t_u^0 + \alpha t_c + t_u^y + 0,5 t_j^y . \end{aligned} \quad (12)$$

Времена t_u^0 , t_j и t_c определяются при разработке программы контрольной задачи и в дальнейшем не изменяются.

Величина α определяется по содержимому счетчика случайных сбоев.

Величина n^1 определяется по содержимому последних q ячеек массива МЗАГ, и по выражению (9) определяется время t_u^y .

Величина γ определяется в программе диспетчер по содержанию счетчика количества осуществленных (просчитанных) циклов решения контрольной задачи. Таким образом, точность определения времени возникновения случайного сбоя составляет $0,5 \text{ t}^y$.

Для пооперационного диагностического поиска используется также специальный режим работы СВМ "поиск неисправности". Для реализации режима "поиск неисправности" в программе контрольной задачи записываются все промежуточные результаты по каждой команде некоторой группы. Эти результаты определяются при разработке программы контрольной задачи путем просчета на вполне определенных тестовых операндах. При остановке СВМ по критерию неисправности оператор вводит в регистр команд адрес первой команды группы, где произошел сбой. Набирается адрес останова по команде, содержащей арифметическую операцию и расположенную примерно в середине группы и производится пуск машины. При останове полученный результат сравнивается с контрольным числом, записанным в программе. При несравнении все действия оператора повторяются, но для первой половины группы, где произошел сбой, т.е. осуществляются поиск неправильно исполненной операции делением группы команд пополам. При сравнении, то есть в первой половине группы все команды выполнялись правильно, вторая половина группы проверяется аналогично.

Сигналом для проведения такого поиска может явиться неверное выполнение теста, включенного в разные группы, когда по этому тесту нельзя получить диагностику с требуемой точностью. Поиск позволяет получить информацию о других командах, выполняющихся неверно.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г.А. Миронов. Испытательные программы для контроля электронных цифровых машин, Изд. "наука", М, 1964 г.
2. Э.И. Клячко. Схемный и тестовый контроль автоматических цифровых вычислительных машин. Изд. "Сов. радио", М., 1963.