

УДК 681.3.019.3

Л. А. КОТЕЛЮК

**КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ЦВМ**

В современных автоматизированных системах управления (АСУ), работающих в реальном масштабе времени, центральным элементом является управляющая ЦВМ, поэтому достоверность ее выходной информации (или достоверность функционирования управляющей ЦВМ) есть одна из важнейших характеристик АСУ в целом, так как любая ошибка в выходной информации может привести к необратимым последствиям.

В отличие от обычно рассматриваемых надежностных характеристик ЦВМ [1, 2], которые не зависят от внешних условий, достоверность функционирования определяется как надежностью ЦВМ, так и внешними условиями ее работы (интенсивностью входящего потока задач, допустимым временем их решения и др.).

1. Цифровые вычислительные машины АСУ обслуживают в реальном времени поток задач на управление объектами, поэто-

му характеристиками достоверности функционирования управляющих ЦВМ могут быть [3] характеристики выходного потока ошибок, т. е. ошибок, не обнаруженных системой контроля и искаживших выходные результаты. Будем считать, что единственным источником ошибок вычислений являются отказы (устойчивые и перемежающиеся) аппаратуры ЦВМ. В [4] принято, что выходной поток ошибок при этом представляет собой разреженный системой контроля поток отказов ЦВМ. Однако если под ошибкой ЦВМ понимать не конкретную ошибочно выполненную операцию (команду программы), а ошибочный результат решения отдельной задачи (программы) из потока задач (программ), то такое определение выходного потока ошибок не будет правильно учитывать все ошибочные решения, полученные на ЦВМ с необнаруженным отказом.

Наиболее удобным и достаточно полно отражающим существо проблем критерием достоверности функционирования ЦВМ будет вероятность получения правильного результата [5, 6], численно для стационарного режима системы равная отношению количества правильно реализованных задач к общему количеству реализованных задач за достаточно большой промежуток времени. Достоинства такого критерия достоверности функционирования ЦВМ обусловлены прежде всего его наглядностью, а также тем, что он позволяет достаточно просто сравнивать различные вычислительные системы между собой и оптимизировать их параметры с учетом обеспечиваемой достоверности. Кроме того, если известны параметры выходного потока (результатов решения задач), то, зная достоверность функционирования ЦВМ, можно определить параметры потока ошибочных решений (например, методами «просеивания» потоков [7]).

2. Рассмотрим общий подход к установлению достоверности результатов вычислений в предположении, что функционирование ЦВМ может быть описано как процесс переходов в пространстве состояний. Для решения поставленной задачи воспользуемся аппаратом теории множеств.

Обозначим через $\{H_1, H_2, \dots, H_r\}$ полное множество состояний ЦВМ. Предположим, что состояния ЦВМ различимы по следующим признакам:

$$a = \begin{cases} 0 & \text{— ЦВМ исправна;} \\ 1 & \text{— ЦВМ в состоянии отказа, отказ не обнаружен;} \\ 2 & \text{— ЦВМ в состоянии отказа, отказ обнаружен;} \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 0 & \text{— запросов на решение задач нет;} \\ 1 & \text{— есть запрос на решение задачи.} \end{cases}$$

Номера i состояний H_i , для которых значения признаков $a = 0$, $b = 0$, объединим в подмножество I_0 . Аналогично в подмножества I_1, I_2, I_3 объединим номера состояний, для которых

сочетания значений признаков будут соответственно: $a = 0, b = 1$; $a = 1, b = 0$; $a = 1, b = 1$.

Будем считать, что процесс переходов ЦВМ из состояния в состояние является эргодическим и известны вектор $\Pi = \{\Pi_i\}$ стационарного распределения вероятностей и вектор $M = \{M_i\}$ средних времен пребывания ЦВМ в каждом из состояний, а также матрица переходных вероятностей $\|p_{ij}\|$.

3. На основании сделанных предположений искомая достоверность D функционирования ЦВМ может быть вычислена следующим образом. За достаточно большой промежуток времени t ЦВМ будет находиться в состоянии H_i в течение времени $t_i = t\Pi_i$, а среднее количество переходов n_i из состояния H_i в соседние состояния будет равно

$$n_i = t_i/M_i = t\Pi_i/M_i.$$

С учетом сделанных выше предположений количество N правильно реализованных за время t задач выразится формулой

$$N = \sum_{i \in I_1} n_i \sum_{j \in I_0} p_{ij} p_{ij} = t \sum_{i \in I_1} (\Pi_i/M_i) \sum_{j \in I_0} p_{ij}.$$

Аналогично, количество задач, реализованных с ошибкой:

$$N_{\text{ош}} = t \sum_{i \in I_3} (\Pi_i/M_i) \sum_{j \in I_2} p_{ij}.$$

При этом достоверность результатов

$$D = \frac{N}{N + N_{\text{ош}}} = \frac{\sum_{i \in I_1} (\Pi_i/M_i) \sum_{j \in I_0} p_{ij}}{\sum_{i \in I_1} (\Pi_i/M_i) \sum_{j \in I_0} p_{ij} + \sum_{i \in I_3} (\Pi_i/M_i) \sum_{j \in I_2} p_{ij}}.$$

Учитывая, что переходы между состояниями, для которых отличаются значения обоих признаков, невозможны, т. е.

$$(\forall i \in I_1) (\forall j \in I_2) [p_{ij} = 0], (\forall i \in I_3) (\forall j \in I_0) [p_{ij} = 0],$$

выражение для D можно записать более компактно:

$$D = \frac{\sum_{i \in I_1} (\Pi_i/M_i) \sum_{j \in I_0} p_{ij}}{\sum_{i \in I_1 \cup I_3} (\Pi_i/M_i) \sum_{j \in I_0 \cup I_2} p_{ij}}. \quad (1)$$

Если процесс ЦВМ в пространстве состояний является марковским или полумарковским, входящие в формулу (1) величины Π_i , M_i , p_{ij} устанавливаем по методике, изложенной в [8] и использованной в [5] при определении достоверности функционирования одного процессора.

При $m = 1$ из выражения (2) как частный случай получается формула для вычисления достоверности функционирования одно-процессорной ЦВМ, совпадающая (с точностью до обозначений) с (1):

$$D = \frac{\sum_{i \in I_{1,0}} (\Pi_i / M_i) \sum_{j \in I_{0,0}} p_{ij}}{\sum_{i \in I_{1,0} \cup I_{0,1}} (\Pi_i / M_i) \sum_{j \in I_{0,0}} p_{ij}}$$

5. При работе в контуре управления МП ЦВМ в каждом цикле управления решает параллельно несколько задач, относящихся к частным процессам общего управляемого процесса. Для этого случая целесообразно ввести обобщенный показатель достоверности вычислений — среднюю достоверность $D_{\text{ср}}$. При определении $D_{\text{ср}}$ следует исходить из того, что различные задачи каждого цикла управления имеют неодинаковый вес (важность). Будем считать, что вес W_k k -й задачи численно равен ее доле в общем алгоритме управления, с учетом характера управляемого частного процесса, степени его влияния на выполнение задачи АСУ в целом и др. Предположим, что

$$(\forall k \in [1, n]) [W_k > 0]; \sum_{k=1}^n W_k = 1, \quad (3)$$

где n — количество частных задач в одном цикле управления.

Средняя достоверность функционирования ЦВМ при сделанных предположениях будет равна взвешенной сумме достоверностей отдельных задач:

$$D_{\text{ср}} = \sum_{k=1}^n W_k D_k, \quad (4)$$

где D_k — достоверность решения k -й задачи.

Различные задачи, как правило, решаются на различных подмножествах процессоров МП ЦВМ, следовательно, для вычисления D_k можно воспользоваться формулами (1) или (2).

При соответствующем выборе весов W_k критерий средней достоверности учитывает требования самого пользователя, т. е. конкретного частного управляемого процесса, по достоверности решения отдельных задач. Он полнее характеризует работу вычислительной системы и ее соответствие требованиям пользователя, чем, например, вероятность безошибочного решения всех задач (произведение достоверностей $\prod_{k=1}^n D_k$), тем более что на практике всегда стремятся к тому, чтобы срыв частного управляемого процесса в одном цикле управления не приводил к срыву работы АСУ в целом.

6. Критерий средней достоверности $D_{\text{ср}}$ при наличии ограничений на достоверности D_k (вызванных, например, ограниченностью ресурсов, т. е. количества процессоров МП ЦВМ или времени

решения) позволяет оптимизировать выбор D_k в целях максимизации средней достоверности.

Если интерпретировать веса W_k как средние издержки (ущерб), которые влечет за собой неверный результат решения k -й задачи, то $D_{\text{ср}}$ будет соответствовать среднему предотвращенному ущербу в одном цикле управления. Действительно, выражение (4) с учетом (3) можно преобразовать следующим образом:

$$D_{\text{ср}} = 1 - \sum_{k=1}^n W_k (1 - D_k). \quad (5)$$

Во многих практических случаях величина недостоверности $(1 - D_k)$ связана показательной зависимостью с количеством x_k ограниченного ресурса, выделенного для реализации k -й задачи

$$1 - D_k = \alpha p^{x_k},$$

где α , p — некоторые постоянные ($\alpha > 0$; $0 < p < 1$).

Можно показать, что при этом минимум суммы в выражении (5), т. е. ущерба, достигается тогда, когда все слагаемые суммы равны, а значит, равны (в среднем по многим циклам управления) ущербы вследствие ошибок в решении каждой k -й задачи. Этот результат соответствует принципу равнопрочности всех элементов сложной системы и дает один из способов практической реализации этого принципа [6].

Полученные расчетные соотношения могут быть использованы в процессе эксплуатации управляющих ЦВМ для оценки обеспечиваемой достоверности функционирования, а также на этапе их разработки при оптимизации структуры и алгоритмов управления вычислительных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. М., «Наука», 1965. 524 с.
2. Надежность в технике. Термины. ГОСТ 13377—67. 13 с.
3. Гуляев В. А. Вопросы оценки надежности цифровых управляющих машин с программным контролем. — Сб. «Теория точности и надежности кибернетических систем». Тр. семинара. Вып. 2. 1968, Киев, 1969, с. 68—79.
4. Гуляев В. А. Об оценке достоверности работы ЭЦВМ с контролем. — «Автоматика и вычислительная техника», 1971, № 2, с. 34—38.
5. Котелюк Л. А., Трусов В. А. Оценка достоверности функционирования процессора с комплексной системой контроля. — «Автоматика и вычислительная техника», 1973, № 4, с. 49—52.
6. Мельников Ю. Н. Достоверность информации в сложных системах. М., «Сов. радио», 1973. 192 с.
7. Климов Г. П. Стохастические системы обслуживания. М., «Наука», 1966. 243 с.
8. Трусов В. А. Надежность систем со скользящим резервированием при обслуживании потока случайных требований. — Сб. «Приборы и системы автоматки». Вып. 19, Харьков, 1971, с. 27—34.

УДК 681. 3. 019. 3

Критерии оценки достоверности функционирования управляющих ЦВМ. Котелюк Л. А. Сб. «Автоматизированные системы управления и приборы автоматики», вып. 35, 1975, с.16—21.

Для случаев обслуживания потока задач и решения всех задач одного цикла управления дается определение достоверности функционирования управляющей ЦВМ и рассматривается общий подход к вычислению значения достоверности через параметры математической модели, описывающей работу ЦВМ в АСУ как процесс переходов в пространстве состояний.

Библиогр. 8.