4. Эйккофф П. Основы идентификации систем управления. - М.: Мир, 1975.

5. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. - М.: Физматгиз, 1958.

УДК 681.142.2

А.В.Баландин, А.А.Сидоров

МОДЕЛЬ И АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ПРОГРАММНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

(г. Куйбышев)

Измерительный эксперимент является надежным средством для получения адекватных оценок характеристик вычислительных систем. В то же время это и самый трудоемкий способ анализа. В этой связи важное значение имеет правильная подготовка эксперимента, чтобы была возможность наиболее полного анализа его результатов. Проблема заключается в том, что потребность в анализе тех или иных характеристик часто возникает в процессе самого анализа и может вызывать необходимость дополнительного эксперимента. Априорно трудно однозначно определить, что будет интересовать исследователя, а что нет. Поэтому эксперимент необходимо строить так, чтобы результаты измерений обеспечили бы потенциальную возможность получения целого класса характеристик.

В работе вводится модель измерительного эксперимента с программными компонентами вычислительных систем, реализуемых последовательными процессорами, и предлагается метод ее анализа.

Для формализации анализа программную компоненту (ПК) удобно представить в виде графа. Обозначим граф ПК через $G=\langle V,D\rangle$, где $V=\{v_A, v_1, v_2, \ldots, v_n\}$ множество вершин, а $D=\{d_1, d_2, \ldots, d_m\}$ - множество направленных дуг, $d_i=(v_j, v_k)$, где $v_j, v_k \in V$. Каждая вершина графа определяет логически выделенную совокупность команд, выполняемых в ПК последовательно. Вершина v_A является особой вершиной. Она не принадлежит ПК, а определяет ее внешнюю среду.

Граф G дает логическое представление структуры ПК, но не оговаривает модель поведения. Конструктивной основой для анализа характеристик посредством измерений является автоматная модель функционирования, интерпретирующая работу ПК в терминах состояний и событий. Такая модель хорошо согласуется с известными методами измерений для анализа вычислительных систем /I/. Будем полагать, что в процессе функционирования ПК управление мгновенно переходит из одной вершины графа G в другую. Пусть две вершины графа связаны более, чем одной дугой, направленной в одну и ту же вершину. Тогда под событием будем понимать мгновенный переход управления из одной вершины графа в другую по заданной дуге. Будем различать базисные и обобщенные события. Базисные события на графе соответствуют дугам. Как и дуги, будем обозначать их через d_i, а все множество базисных событий – через D. Обобщенные события обозначим через e_k, $k=1,2,\ldots,\ell$, и определим как подмножество множества D, $e_k \subset D$, ℓ – количество обобщенных событий, $e_r \cap e_k$ – в общем случае не пусто. Для удобства описания будем представлять обобщенное состояние в виде вектора $e_k=\{e_{ki}\}$, где

$$e_{ki} = \begin{cases} 1, \text{ если } d_i \in e_k, \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Для общности через e_i будем обозначать и базисные, и обобщенные события, где $i=1,2,\ldots,m,m+1,\ldots,m+\ell$.

Теперь введем понятие состояния автомата. Состояние автомата определим парой событий, одно из которых будем называть входным, а другое – выходным, и будем обозначать в виде кортежа $S_j=\langle e_r,e_k\rangle$, $j=1,2,\ldots,p$, где e_r – входное событие, e_k – выходное, а p – общее количество введенных состояний. По аналогии с событиями определим понятие базисного состояния как пару вида $\langle d_r, d_k\rangle$.

Из введенных определений состояний и событий вытекает иерархическое представление автоматной модели ПК, построенной на основе графа G. На самом нижнем уровне поведение ПК представляется как скачки из одного базисного состояния в другое в результате возникновения базисных событий. Каждый следующий уровень иерархии обобщает состояния и события, лежащие на предыдущем уровне, и автомат уже переходит из одного обобщенного состояния в другое при возникновении обобщенных событий. Иерархическая структура автоматной модели ПК отражает иерархию характеристик, оценку которых потенциально может ставить перед собой исследователь.

Будем полагать, что эксперимент с автоматной моделью ПК проводится на отрезке времени $[0,T]$ и представляет собой процесс фиксации возникновения базисных событий. При фиксации запоминается идентификатор события и момент времени его возникновения. Представим моменты времени возникновения событий в течение всего эксперимента в виде вектора $F=\{t_1,t_2,\dots,t_R\}$, у которого компоненты упорядочены так, что $t_i<t_{i+1}$, $i=1,2,\dots,R-1$, $0\leqslant t_j\leqslant T$, $j=1,2,\dots,R$. Идентификацию базисных событий, возникающих в моменты времени $t_j\in F$, зададим с помощью матрицы скачков событий, имеющей вид $E=\{e_i(t_j)\}$, $i=1,2,\dots,m$, $j=1,2,\dots,R$, где

$$e_i(t_j)=\begin{cases}\text{I, если в момент } t_j \text{ произошло событие } d_i\in D,\\ \text{0, в противном случае.}\end{cases}$$

Положим, что измерительный эксперимент с ПК проведен, и получены результаты измерения в виде вектора и матрицы. Рассмотрим теперь метод оценки характеристик ПК на основе полученных результатов.

Реальные характеристики ПК выражаются через абстрактные характеристики автомата, в качестве которых выступают:

общее время пребывания автомата в состоянии S_j – Δt_j;

общее число попаданий автомата в состояние S_j – q_j;

общее количество возникновений события e_i – h_i.

Приведем формальный метод расчета характеристк $\Delta t_j, q_j, h_i$ на основе результатов измерений.

Вначале дополним матрицу E строками, обозначающими скачки обобщенных событий, которые получим из матричного выражения $[e_K(t_j)]=[e_{Ki}][e_i(t_j)]$, $i=1,2,\dots m$, $k=m+1, m+2,\dots,R$, e_{Ki} – компоненты вектора обобщенного события e_K. На основе дополненной матрицы $\dot{E}$ построим матрицу скачков состояний, которую, по аналогии с множеством состояний, будем обозначать через S. Элементы матрицы S определим следующим образом:

$$S_{i1}(t_j)=\begin{cases}\text{I, если в момент } t_j \text{ автомат вошел в состояние } S_i,\\ \text{0, в противном случае}\end{cases}$$

$$S_{i2}(t_j)=\begin{cases}\text{I, если в момент времени } t_j \text{ автомат вышел из состояния } S_i,\\ \text{0, в противном случае,}\end{cases}$$

$S_{i2}(t_j)\geqslant S_{i1}(t_j)$. Автомат выходит из состояния либо по событию, либо по окончании эксперимента. Таким образом, матрица S есть трехмерная матрица размерностью $m \times 2 \times R$. Слой i матрицы S соответствует состоянию автомата S_i и представляет собой двухмерную матрицу, первая строка которой отражает моменты входа автомата в состояние S_i, а вторая - моменты выхода.

Построим матрицу S на основе матрицы E. Выделим i-й слой матрицы S. Найдем в матрице E строку скачков входного события состояния S_i и строку скачков выходного события. Обозначим их условно $e_1(t_j)$ и $e_2(t_j)$ соответственно. Положим $j=1$. Если $e_1(t_1)=0$, то $S_{i1}(t_1)=S_{i2}(t_1)=0$ и переходим к следующему элементу строки $e_1(t_j)$, $j=2$. Если $e_1(t_2)=0$, то $S_{i1}(t_2)=S_{i2}(t_2)=0$. Переходим к элементу $e_1(t_3)$ и так далее, пока не встретим $e_1(t_K)=1$, тогда $S_{i1}(t_K)=1$. После этого переходим к рассмотрению элементов строки $e_2(t_j)$, начиная с элемента $e_2(t_K)$. По строке $e_2(t_j)$, начиная с $j=k$, идем до тех пор, пока не встретим элемент $e_2(t_r)=1$. При этом $S_{i1}(t_j)=S_{i2}(t_j)=0, j=K,K+1,\dots,r-1$ и $r-1 \geq K$, $S_{i2}(t_r)=1$. Вновь переходим к элементам строки $e_1(t_j)$, начиная с $j=r$, если элемент $e_1(t_r)$ ранее не пройден, или $j=r+1$, если пройден. И повторяем все действия так же, как описано выше для $j=1$. Определение элементов $S_{i1}(t_R)$ и $S_{i2}(t_R)$ имеет особенности. Если просмотр строк $e_1(t_j)$ и $e_2(t_j)$ заканчивается в первой строке, то $S_{i1}(t_R)=0$, если во второй, то $S_{i2}(t_R)=1$. Проделав подобные действия для всех S_i, матрица S будет построена полностью.

Выражения для вычисления характеристик автомата, таким образом, примут следующий матричный вид;

$$\Delta T = \{\Delta t_j\}_{j=1,2,\dots,R} = [-1,1]\cdot S F^T,$$

$$Q = \{q_j\}_{j=1,2,\dots,R} = [1,0]\cdot S\{1\}_{j=1,2,\dots,R},$$

$$H = \{h_i\}_{i=1,2,\dots,m} = E\cdot\{1\}^T_{j=1,2,\dots,R}.$$

З а к л ю ч е н и е. Предложенные модель и метод являются универсальными и могут быть использованы для построения автоматизированной системы анализа характеристик ПК на основе измерительного эксперимента.

Библиографический список

I. Феррари Д. Оценка производительности вычислительных систем. - М.: Мир, 1981. - 576 с.