

Е. А. БАРБАШОВ, А. В. ДЕМИН, В. С. КУЛАГИН, А. Б. НАЧКЕБИЯ

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются основные этапы имитационного моделирования при исследовании временных дискретных характеристик систем, определен метод построения имитационной модели, основанный на формализованном описании. Приведен математический аппарат построения имитационной модели на основе кусочно-линейной характеристики.

Ключевые слова: имитационное моделирование, дискретные системы, граф ситуаций.

В настоящее время при разработке сложных технических систем (ТС) широкое применение находят методы и средства имитационного моделирования. Сущность методологии имитационного моделирования ТС состоит в замене исходной системы ее „эквивалентом“ — имитационной математической моделью. Особый интерес представляет исследование временных характеристик дискретных ТС. К таким системам относится, например, оборудование летательных аппаратов (ЛА). Построение имитационной модели для определения временных характеристик дискретной ТС и является предметом исследования в настоящей статье.

Известно [1, 2], что при дискретно-событийном имитационном моделировании состояние ТС меняется в моменты наступления ситуаций. В рассматриваемом здесь случае — это исследование временных характеристик оборудования ЛА на предмет определения его своевременной и правильной реакции на возможные ситуации.

Тем самым имитационное моделирование дискретной ТС с очередью есть не что иное, как моделирование системы путем изменений ее состояния, происходящих в дискретные моменты времени. При этом состояние ТС как модели ситуаций определяется значениями переменных и атрибутами ее компонентов.

Сама постановка задачи об имитационном моделировании ТС порождает создание плана действий, который условно можно разбить на три этапа: модель — алгоритм — программа (триада моделирования), при этом [3]

— на первом этапе создается „эквивалент“ системы, отражающий в математической форме ее важнейшие свойства (законы и связи, присущие компонентам ТС), что позволяет получать предварительную информацию об ее атрибутах и параметрах;

— на втором этапе разрабатывается алгоритм реализации процесса моделирования ТС, при этом определяется последовательность вычислительных и логических операций, которые нужно произвести, чтобы найти искомые величины с заданной точностью;

— на третьем этапе создается программное обеспечение, „переводящее“ модель и алгоритм на доступный компьютеру язык, т.е. можно считать, что программное обеспечение является электронным „эквивалентом“ исследуемой ТС.

В качестве математической основы построения имитационной модели дискретной ТС с очередью целесообразно использовать граф временной реакции компонентов ТС на задаваемые входные ситуации.

Множество возможных состояний ТС представим как $\{c_i\} \& \{r_k\} \geq \{y_i\}$, где $\{c_i\} = C$ — множество возможных ситуаций; $\{r_k\} = R$ — множество возможных реакций компонентов ТС на эти ситуации; $\&$ — операция сочетания c_i и r_k ; $\{y_i\} = Y$ — множество результатов реакций компонентов ТС на ситуации. При этом множество C определим как $C = W \& Q$, где W — множество

задаваемых ситуаций на входе ТС, Q — множество сопутствующих обстоятельств (может быть интерпретировано как помехи), которое является множеством функций от заданных условий (ограничений) на множестве параметров состояний.

Множество $\{d_i\} \in D = \mathfrak{R} \& \Omega$ определяет множество атрибутов ТС, где \mathfrak{R} — оператор временной реакции компонентов ТС, а Ω — оператор формирования множества невременных параметров выходных сигналов компонентов ТС.

Критерий оценки полноты имитационной модели ТС может быть определен как нахождение такого множества возможных состояний системы — $\{C \& R\} \geq Y$, для которого достигается $\max\{y_i\}$ при $y_i < b_i$, где $\{b_i\} \in B$, $i=1, 2, \dots, n$, — заданное множество ограничений.

Для верификации функционирования компонентов ТС выделим $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ — эквивалентное множество возможных состояний компонентов ТС.

Определим $R = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$ как временную реакцию компонентов ТС при изменении состояния на множестве Y . При этом функционирование компонента ТС алгоритмически адекватно его функциональным свойствам. Тем самым алгоритм адекватности изменения дискретной ТС может быть представлен следующим образом:

$R_{1i} \in R_1$ — определяет временную реакцию i -го компонента ТС на изменение состояния на множестве Y и является множеством $\{S_{1i} \& S_{1i+1}\}$;

$R_{2i} \in R_2$ — определяет временную реакцию i -го компонента ТС при переходе из одного состояния в другое и является множеством $\{S_{2i} \& S_{2i+1}\}$;

$R_{3i} \in R_3$ — определяет временную реакцию i -го компонента ТС при переходе из возможного в данный момент времени состояния в другое и является множеством $\{S_{3i} \& S_{3i+1}\}$;

$R_{4i} \in R_4$ — определяет временную реакцию i -го компонента ТС при переходе с границы прежнего состояния на границу нового и является множеством $\{S_{4i} \& S_{4i+1}\}$;

$R_{5i} \in R_5$ — определяет временную реакцию i -го компонента ТС при переходе с новой границы состояния во множество других состояний и является множеством $\{S_{5i} \& S_{5i+1}\}$;

$R_{6i} \in R_6$ — определяет временную реакцию i -го компонента ТС при переходе внутри его граничного состояния и является множеством $\{S_{6i} \& S_{6i+1}\}$.

Тем самым, не умаляя общности рассуждений, правомерно процессы, происходящие в дискретной ТС, отнести к процессам вида марковские цепи. Тогда в соответствии с графом переходов в марковской цепи уравнение, описывающее временную реакцию компонентов ТС, может быть представлено, например для оборудования управления полетом ЛА, следующим образом:

$$R^T(m) = R^T(0) \prod_{j=1}^{m-1} \pi(j); \quad R^T(0) = [1; 0; 0; 0; 0],$$

где $\pi(i)$ — матрица параметров i -го компонента ТС.

На рис. 1 представлена граф-схема временной реакции компонентов ТС на задаваемые входные ситуации для имитационного моделирования комплекса оборудования управления полетом ЛА.

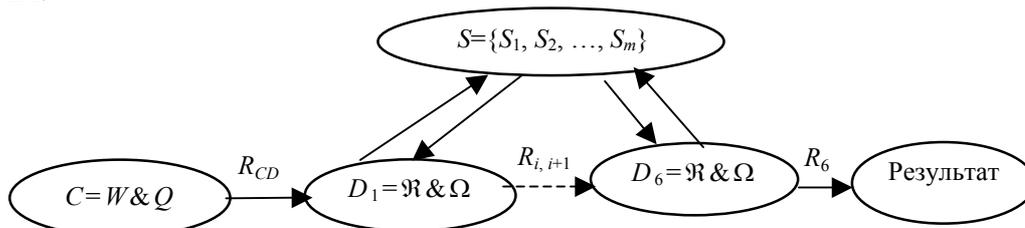


Рис. 1

Поскольку компоненты ТС, как правило, функционально и параметрически различны, то для разработки программного обеспечения имитационного моделирования пара-

метры каждого из компонентов необходимо пронормировать относительно их максимального значения.

На рис. 2 представлен результат имитационного и физического моделирования комплекса оборудования управления полетом ЛА, состоящего из четырех компонентов, в виде графиков временной реакции компонентов ТС на входную ситуацию. Прямые линии соответствуют имитационному моделированию системы, представленной кусочно-линейными характеристиками, а кривые — ее физическому моделированию. По оси абсцисс время t выражено в относительных единицах: t_i/t_{Σ} , где t_i — время реакции i -го компонента, а t_{Σ} — суммарное время реакции ТС; по оси ординат выражена амплитуда реакции R в относительных единицах: R_i/R_{Σ} , где R_i — значение амплитуды реакции i -го компонента, а R_{Σ} — значение суммарной амплитуды реакции ТС. Как видно из графиков, результат имитационного моделирования фактически является оценкой сверху по отношению к реальному значению. Тем самым имитационное моделирование подобных систем позволяет предположить, что на практике работоспособность системы будет не хуже, если реальные параметры компонентов на момент моделирования известны.

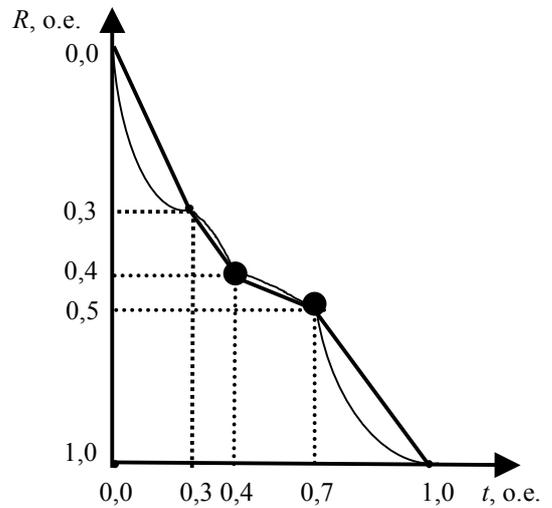


Рис. 2

Предложенный подход позволил разработать программное обеспечение для тестирования оборудования управления полетом ЛА как на предполетном этапе, так и для тренировки летного состава при нештатных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем. Математические основы. М.: Мир, 1978. 312 с.
2. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 646 с.
3. Демин А. В., Копорский Н. С. Имитационное моделирование информационно-измерительных и управляющих систем. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 139 с.

Сведения об авторах

- Евгений Алексеевич Барбашов** — ОАО „КОТЛИН-Новатор“, Санкт-Петербург, главный конструктор
- Анатолий Владимирович Демин** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра информатики и прикладной математики; E-mail: dav_60@mail.ru
- Вячеслав Сергеевич Кулагин** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра электроники
- Александр Бежанович Начкебия** — ЗАО „Теплофизприбор“, Санкт-Петербург, директор

Рекомендована кафедрой информатики и прикладной математики СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию 01.10.08 г.