

УДК 629.78

В. Н. Спиридонов, кандидат технических наук,
доцент кафедры математического моделирования
и информационных систем в экономике
Днепропетровской государственной
финансовой академии
С. А. Разгонов, кандидат технических наук,
доцент кафедры транспортных систем и технологий
Академии таможенной службы Украины

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ В КОНТУРЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Рассматривается выбор метода моделирования и методик решения задач, решаемых с помощью модели и применяемых в контуре автоматизированного управления для одного класса сложных технических объектов. Метод базируется на описании функционирования объекта в пространстве состояний переходными функциями состояния. Обработка результатов моделирования обеспечивает решение ряда задач по управлению объектом.

Розглядається вибір методу моделювання та методик розв'язання задач за допомогою моделі, що застосовуються в контурі автоматизованого управління для одного класу складних технічних об'єктів. Метод базується на описі функціонування об'єкта в просторі станів перехідними функціями стану. Обробка результатів моделювання забезпечує розв'язання декількох задач з управління об'єктом.

The article discusses the choice of method of modeling and techniques for solving problems solved on the model and applied in automatic control circuit for one of classes of complex technical objects. The method is based on the description of system functioning in space of states by transition functions. Processing of the results of modeling provides a number of tasks to manage the object.

Ключевые слова. Верификация программ управления, моделирование сложных систем и технических объектов, сложные технические объекты, устройства управления, математическая модель систем с постоянной структурой.

Введение. В современной технике широко применяется класс сложных технических объектов (ТО), предназначенных для автономного выполнения специальных заданий в течение определенного времени без связи с устройствами управления. Управление такими объектами осуществляется с помощью программ управления, периодически записываемых в программное устройство объекта. К данному классу можно отнести космические аппараты, межпланетные станции, роботов, гибкие производственные системы и другие объекты.

В контуре автоматизированного управления таких объектов используются различные модели. В зависимости от задач, решаемых моделью, применяются и различные методы моделирования, например, описание объекта ориентированным графом [1], сетью Петри [2] или конечным автоматом [3]. Эти методы, эффективные при моделировании сравнительно несложных систем и объектов, становятся неэффективными или вообще неприменимыми при моделировании сложных объектов, пространство состояний которых может достигать астрономических величин. Именно по этой причине разработчики моделей вынуждены существенно упрощать представление объекта в модели, ограничиваясь решением частных задач.

Наличие в контуре управления нескольких моделей влечет за собой сложности в разработке математического и программного обеспечения систем автоматизированного управления таких объектов, их высокую стоимость, большие сроки разработки систем и обучения операторов

© В. Н. Спиридонов, С. А. Разгонов, 2013

управления работе с ними. Кроме того, в зависимости от квалификации специалистов, создающих модель, и их знаний о моделируемом объекте могут быть получены различные по полноте и точности модели одного и того же объекта. Это недопустимо при разработке моделей, особенно в тех случаях, когда модель используется в контуре управления объектом. Поэтому решение проблемы применения в контуре управления сложных ТО одной модели, которая позволяла бы, по крайней мере, решать несколько задач управления объектом, значительно снизило остроту перечисленных выше проблем.

Постановка задачи. Целью статьи является выбор метода моделирования сложного ТО и краткое рассмотрение методик решения задач, решаемых с помощью модели и применяемых в контуре автоматизированного управления для рассматриваемого класса объектов.

Результаты исследования. При выборе метода моделирования для данного класса сложных технических объектов возникает проблема размерности модели. Одним из методов теории систем, позволяющих существенно снизить размерность модели, является применение переходных функций для описания переходов в пространстве состояний системы. В исследовании [4] предложен метод моделирования одного из классов сложных систем – дискретных динамических систем с постоянной структурой. Математическая модель управления системы с постоянной структурой в пространстве состояний представлена таблицей переходных функций и набором переходных функций, описывающих правила переходов элементов системы в пространстве состояний. Использование правил перехода системы вместо описания самих переходов в пространстве состояний системы позволило существенно уменьшить размерность модели и обеспечить возможность её программной реализации.

В статье [5] рассмотрена задача моделирования данного класса сложных технических объектов методом переходных функций. В соответствии с задачей исследования выбрано формализованное пространство состояний элементов объекта, рассмотрены переходные функции элементов и подсистем объекта моделирования в выбранном пространстве состояний.

Одной из важнейших задач обеспечения эффективности и качества управления такими объектами является контроль правильности (верификация) программ управления. Например, ошибки, допущенные операторами при формировании программ управления ТО, могут привести к невыполнению поставленных целевых задач, возникновению нештатных ситуаций по управлению, а в некоторых случаях и потере объекта.

Известным способом верификации программ управления является имитация отработки сформированной программы управления на модели перед передачей её на объект. В труде [6] предложена методика верификации программ управления ТО, представляющая собой методику решения следующих задач:

- верификации программы управления по целевым состояниям ТО;
- верификации программы управления по запрещенным состояниям ТО;
- верификации программы управления на ресурсные ограничения;
- визуальную верификацию программы управления оператором.

Методика верификации программы управления по целевым состояниям предусматривает выполнение следующей последовательности операций:

- решение задачи прогноза состояния для контролируемой программы управления и формирование результатов прогноза;
- для верификации каждой целевой задачи, выполняемой в контролируемой программе управления, задание оператором следующих параметров: имени контролируемой целевой задачи, времени начала и конца выполнения целевой задачи;
- запуск программы верификации;
- программа последовательно сравнивает кортежи состояния элементов ТО, выполняющих целевую задачу в заданные моменты времени по результатам прогноза, с аналогичным кортежем состояний, хранящимся в таблице технологических исходных данных;
- выполняя поэлементное сравнение кортежей, программа формирует сообщение о

результатах контроля: либо о выполнении условий контроля, либо о невыполнении, если обнаруживается факт несовпадения кортежей. При этом указывается время и номера элементов ТО, состояния которых не совпадают.

Решение данной задачи позволяет определить правильность формирования программы управления оператором в части выполнения целевых задач.

Не менее важной является задача верификации программ управления ТО по запрещенным состояниям, поскольку она актуальна для любого элемента ТО на всём этапе его эксплуатации. Решение этой задачи выполняется во время решения задачи прогноза состояний. Это связано с тем, что теоретически возможен переход в пространстве состояний ТО, который может перевести элемент в запрещенное состояние. Функции контроля выполняются в моменты изменения состояний элементов ТО и включаются в соответствующие переходные функции элементов. Функции контроля элементов ТО разделены на две группы:

1 – функции контроля, связанные с особенностями функционирования отдельного элемента;

2 – функции контроля, обусловленные особенностями совместного функционирования элементов.

К запрещенным состояниям отнесены и состояния неработоспособности элементов и подсистем.

Задача верификации программ управления на ресурсные ограничения базируется на расчете прогнозируемого расхода ресурса элементов ТО. Ресурс рассчитывается по изменению состояний функционирования этих элементов. Расчет расхода ресурса позволяет более рационально его использовать, а также определять моменты достижения выработки ресурса по заданным допустимым значениям. Для элементов, имеющих невозполнимый ресурс, связанный с расходом некоторого рабочего тела, например, фотопленки, топлива двигательной установки, по значениям удельного расхода ресурса в единицу времени и времени функционирования элемента рассчитывается расход ресурса и сравнивается с допустимым значением. В случае восполняемого ресурса элементов, например, при зарядке аккумуляторных батарей системы энергопитания, ресурс элементов является переменной по времени величиной и некоторой функцией восполнения ресурса. В этом случае нахождение ресурса элементов в заданных пределах контролируется в каждый момент времени, в котором происходит как расход ресурса, так и его восполнение.

Подобным образом рассматривается ресурс элементов ТО, связанный с их надежностью. В ряде случаев выход ресурса элементов за пределы допустимого говорит о невозможности, начиная с некоторого момента времени, дальнейшего использования этих элементов. Это ограничение также рассматривается как ограничение на управление.

Рассмотренные функции контроля выполняются в момент перехода элементов из одного состояния в другое. Существуют функции контроля, связанные с особенностями функционирования элементов во времени. Они могут определяться условиями подготовки элемента к функционированию, например, его предварительным охлаждением или прогревом, или ограничением длительности непрерывного функционирования. В этом случае функции контроля так же выполняются в моменты изменения соответствующих состояний. Для выполнения данных функций контроля сохраняются текущие времена включения и выключения элементов. Эти данные используются для расчета контролируемого параметра и сравниваются с величинами ограничивающих их значений, хранящихся в специальной таблице технологических исходных данных.

Перечисленные функции контроля реализованы формализованными программными процедурами, инвариантными номеру элемента и числовым данным, и представляют собой реализацию технологических ограничений по управлению объектом.

Задача визуальной верификации программы управления оператором базируется на основе обработки и представления результатов моделирования программы управления. Методической основой решения задачи является достигнутая полнота решения задачи прогноза

состояния объекта: в выходной таблице прогноза представлены все изменения состояний каждого элемента ТО в интервале расчета. Программы обработки и представления результатов моделирования обеспечивают выделение из результатов прогноза состояния существенной информации и представление ее в форме, удобной для восприятия операторами сектора управления. Полученные результаты используются для визуального контроля операторами программы управления. Данный вид контроля предназначен, прежде всего, для нахождения механических ошибок, допущенных операторами при формировании программ управления.

Информация о прогнозируемых состояниях элементов ТО может быть представлена в следующем виде:

- временного графика управления – информации об изменении состояний элементов ТО по командам программы управления;
- циклограммы работы элементов ТО – графического представления функционирования элементов ТО в масштабе времени;
- кортежа состояния бортовых систем – информации о состояниях всех элементов ТО в любой заданный момент времени интервала расчета.

Информация о состояниях объекта обеспечивает решение и других задач и необходима операторам сектора управления во время штатного управления объектом, передаче управления дежурными сменами, анализе нештатных ситуаций, возникших при управлении объектом.

Выводы. Описанный выше метод моделирования и методика верификации программ управления успешно прошли апробацию и нашли применение при управлении нескольких ТО [4, 6]. Для одного из моделируемых объектов пространство состояний составило 8^{99} состояний. Применение метода для данного класса объектов не встретило у разработчиков каких-либо трудностей, связанных с размерностью модели.

Реализация методики обеспечила повышение качества управления ТО за счет следующих факторов:

- предотвращения возможности возникновения нештатных ситуаций по управлению ТО;
- повышения качества формируемых программ управления ТО;
- повышения информационной обеспеченности операторов сектора управления ТО.

Все перечисленные задачи реализованы на основе одной модели сложного технического объекта, применяемой в контуре автоматизированного управления.

Литература

1. Шеховцов А. Н. Построение математической модели распределенных систем / А. Н. Шеховцов, В. Н. Козел // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2003. – №1(23). – С. 87–91.
2. Михаль О. Ф. Моделирование системы нечеткого регулирования средствами нечетких сетей Петри / О. Ф. Михаль, О. Г. Руденко, Зияд Халайбех // Управляющие системы и машины. – 2005. – № 4. – С. 3–7.
3. Дудинкин В. И. Способ отработки программы управления объекта путем имитации объекта моделью конечного автомата / В. И. Дудинкин, В. Д. Романов // Управляющие системы и машины. – 1982. – № 4. – С. 19–22.
4. Спиридонов В. Н. Метод моделирования дискретных динамических систем с постоянной структурой / В. Н. Спиридонов // Проблемы управления и информатики. – 2010. – № 6. – С. 55–62.
5. Спиридонов В. Н. Моделирование сложных технических объектов: состояния и переходные функции / В. Н. Спиридонов // Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки”. – 2010. – № 1 (43). – С. 119–125.
6. Спиридонов В. Н. Методика верификации программ управления космического аппарата на основе прогноза состояния бортовой аппаратуры / В. Н. Спиридонов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 2 (69). – С. 72–78.