

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
2. Способ и устройство быстрого вычисления дискретного вейвлет-преобразования сигнала с произвольным шагом дискретизации масштабных коэффициентов: пат. 2246132 Рос. Федерация. № 2003100794/09; заявл. 09.01.2003; опубл. 20.07.2004, Бюл. № 6. – 3 с.
3. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории. – М.: Техносфера, 2006. – 272 с.
4. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 448 с.
5. Штарк Г.-Г. Применение вейвлетов для ЦОС. – М.: Техносфера, 2007. – 192 с.
6. Чобану М. Многомерные многоскоростные системы обработки сигналов. – М.: Техносфера, 2009. – 480 с.
7. Малый В.В. Развитие теории масштабно-временных сигналов и Wavelet-анализа в интересах совершенствования системы освещения подводной обстановки: дис. ... докт. техн. наук. – СПб.: ВМА, 2006. – 404 с.
8. Сапрыкин В.А. Проблемы аддитивно-мультипликативной симметрии // Военная радиоэлектроника: Опыт использования и проблемы, подготовка специалистов: XX Межвузовская научно-техн. конф. ВМИРЭ. – СПб.: Петродворец, 2002. – С. 3.
9. Бутырский Е.Ю. Определение функции неопределенности сигналов на группах преобразований // Информация и космос. – 2008. – № 3. – 120 с.

Поступила 23.04.2010 г.

УДК 004.94

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ОБЛАСТИ СОСТОЯНИЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В.К. Погребной

Институт «Кибернетический центр» ТПУ
E-mail: vkp@tpu.ru

Выделены условия динамики функционирования объекта управления и на этой основе предложена методика представления модели системы реального времени совокупностью динамических объектов (процессов). Определена область состояний, в которых может пребывать динамическая модель системы реального времени. На примере построения расчётной траектории смены состояний модели, отражающей динамику её функционирования, показана возможность эволюционного поиска варианта модели системы реального времени с улучшенными характеристиками траектории.

Ключевые слова:

Модель системы реального времени, прикладная функция, процесс, модуль, условия динамики, область состояний, траектория смены состояний.

Key words:

Real-time system model, applied function, process, module, dynamic conditions, region of states, pass of state change.

Динамика автономной и совместной работы агрегатов объекта управления (ОУ) определяется техническим регламентом его функционирования и при проектировании системы реального времени (СРВ) по управлению данным объектом воспринимается неизменной. Это означает, что область возможных состояний ОУ и траектории, отражающие динамику функционирования ОУ в границах этой области, принимаются заданными. Известны также правила (алгоритмы) расчёта эффективных траекторий изменения состояний ОУ в границах этой области. Задача заключается в разработке такой СРВ, которая, реализуя данные алгоритмы, способна обеспечить пребывание ОУ на эффективной траектории. При этом условия динамики функционирования ОУ должны соблюдаться неукоснительно.

Состояние ОУ определяется потоком информации с датчиков, а смена состояния осуществляется через исполнительные механизмы агрегатов управ-

ляющими воздействиями, которые вычисляются с помощью технологических алгоритмов, выполняющих основные прикладные функции управления. Такие алгоритмы, реализуя совокупность прикладных функций (ПФ), составляют основную программную нагрузку на вычислительную систему проектируемой СРВ. В [1] предложен способ визуального представления на языке SML моделей алгоритмов ПФ программной нагрузки и их доопределения в соответствии с требованиями SML-технологии, а в [2] подробно изложена методика отображения условий динамики функционирования ОУ на модель программной нагрузки СРВ.

Динамика функционирования модели СРВ при выполнении программной нагрузки на виртуальной машине моделирования (ВММ) [1] во многом определяется динамикой функционирования ОУ. Вместе с тем, модель СРВ, выполняя программную нагрузку и тем самым обеспечивая пребывание ОУ на эффективной траектории, функционирует как

автономная динамическая система в своей области состояний. При этом вид траектории смены состояний СРВ влияет на качество управления объектом. Выбор эффективной траектории, как и в случае с ОУ, может осуществляться после разработки аналитическими методами приемлемого варианта модели СРВ, т. е. после решения задач построения, анализа, оптимизации и эволюции модели [1]. Очевидно, что решение перечисленных задач совместно с задачей выбора эффективной траектории невозможно по причине большой сложности.

Цель данной статьи заключается в определении и анализе области состояний, в которых может пребывать модель СРВ. В последующем это даст возможность осуществлять поиск эффективной траектории смены состояний модели СРВ при выполнении ПФ по управлению объектом. Для достижения этой цели потребовалось выполнить следующее:

- представить модель СРВ, на которой отображены условия динамики ОУ, в виде совокупности динамических объектов (процессов), параллельно функционирующих и взаимодействующих между собой;
- выделить набор основных параметров, определяющих состояние автономного динамического объекта и в целом всей модели СРВ;
- показать возможность введения количественной меры для оценки траектории смены состояний модели СРВ по критерию качества управления;
- определить возможные направления эволюции модели СРВ на основе анализа оценок траекторий.

Две первые задачи направлены на выделение параметров (координат), определяющих пространство вариантов динамической модели системы и

используемых при формировании области состояний модели СРВ. Далее для заданной точки пространства (варианта динамической модели системы) строится траектория функционирования модели СРВ (задача 3) и на основе её анализа принимаются решения по изменению динамической модели СРВ и построению для неё более эффективной траектории (задача 4). Решение перечисленных задач делает возможным, применяя аналитические методы, продолжить эволюцию модели СРВ на основе анализа динамики её функционирования.

Эволюционный поиск варианта динамической модели СРВ

Исследование работы модели СРВ в динамике путём выполнения её на ВММ, как правило, показывает ухудшение характеристик, достигнутых при расчётах в статике. Сформулированный выше подход нацелен на продолжение эволюционного поиска такого варианта модели СРВ, который и при работе в динамике обеспечивает необходимое качество управления. На рис. 1 показана схема выполнения заключительного этапа эволюции модели на основе анализа динамики её функционирования аналитическими методами. Область возможных состояний модели СРВ (область S) определяется в блоке 1 на основе анализа варианта модели системы, полученного с помощью методов SML-технологии на этапах построения, оптимизации и эволюции модели [1]. Цикл эволюции на данном этапе включает поиск траектории эффективного функционирования модели (блок 2), оценку траектории и принятие решений по эволюции модели (блок 3). Многократное выполнение данного цикла приводит к согласованию варианта модели и её траектории, что обеспечивает требуемое качество управления.

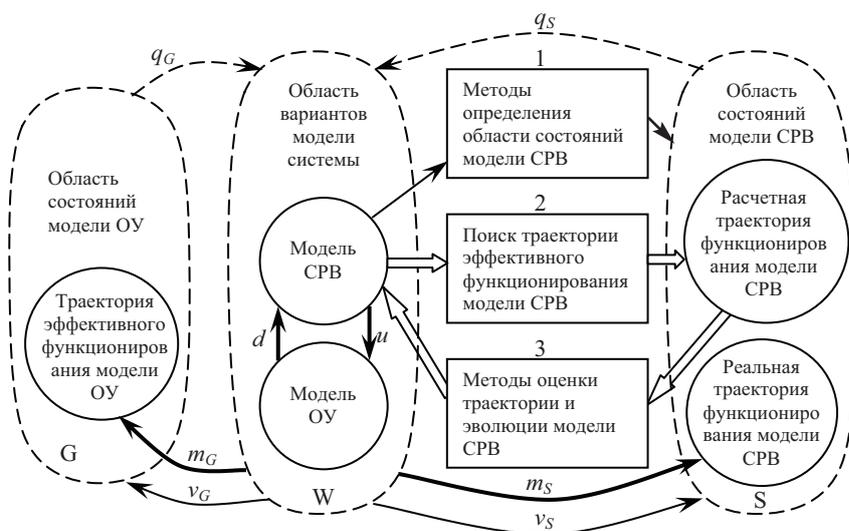


Рис. 1. Схема анализа динамики функционирования модели системы

Цикл эволюции, на схеме выделен двойными дугами, непосредственно предшествует выполнению полученной модели на ВММ, что отображено дугами d , u и m_G , m_S и реальными траекториями в областях состояний G и S . Дуги v_G, v_S показывают возможность переноса некоторых условий динамики ОУ, минуя модель системы, непосредственно на её области состояний. Пунктирные дуги q_G и q_S отражают маловероятное, но возможное изменение варианта модели системы на основе анализа областей состояний G и S . Заметим, что в данной схеме техническая система представлена моделью ОУ (окружающая система) и моделью СРВ (встроенная система).

Модель системы разрабатывается в целях проектирования СРВ, поэтому в данном случае модель ОУ играет вспомогательную роль и вводится для повышения адекватности имитации работы СРВ в модельном представлении. В ходе эволюционного проектирования модель СРВ существенно трансформируется, а модель ОУ, как правило, остаётся неизменной. В объединённой модели системы по существу мы имеем дело с моделью СРВ, у которой основные входы и выходы замкнуты через модель ОУ. Исходя из этого, такая модель СРВ получила название замкнутой. В ряде случаев модель СРВ анализируется автономно от модели ОУ, т. е. имеет место разомкнутый вариант модели. В последующем принимается, что, если для модели не уточняется, является ли она замкнутой или разомкнутой, то имеем дело с разомкнутой моделью СРВ. В соответствии с этим на рис. 1 модель СРВ следует воспринимать как разомкнутую. Дуги d и u отражают связь модели СРВ с моделью ОУ при имитации работы системы путём выполнения общей модели на ВММ. Результат такой имитации отображён в области G в виде траектории эффективного функционирования модели ОУ (дуга m_G) и реальной траектории функционирования модели СРВ в области S (дуга m_S). Близость характеристик реальной траектории и расчётной в области S свидетельствует о том, что в ходе эволюции модели на основе расчётов в статике были адекватно учтены условия динамики функционирования модели системы.

Условия динамики функционирования ОУ

Рассматривается визуальный уровень представления модульной структуры модели СРВ в форме графа потока данных (ГПД), на который отображаются условия динамики функционирования ОУ [2]. Выделим только те условия, которые определяют область вариантов модели СРВ (область W) и области состояний динамической модели системы в целом (области G и S).

Условия начального запуска агрегата. Указываются начальное состояние агрегатов, состояние ресурсных позиций, необходимость синхронизации запуска, последовательность запуска, алгоритмы запуска.

Условия поступления информации с датчиков и от других источников. Будем различать следующие виды поступления: циклическое (Ц-поступление), вероятностное (В-поступление), детерминированное (Д-поступление), условное (У-поступление).

Для Ц-поступления задаётся интервал времени δ , через который поступает входная информация. Величина δ задаётся числом тактов моделирования. Считается, что независимо от момента поступления внутри интервала δ , информация доступна потребителю лишь по окончании каждого интервала δ .

В-поступление имитирует вероятностное поступление информации с датчиков. Наступление события моделируется в каждом такте случайной величиной с заданной вероятностью или простейшим, пуассоновским потоком с заданной интенсивностью.

Д-поступление соответствует ситуации, когда ограниченная последовательность моментов поступления информации задаётся в явном виде либо вычисляется детерминированными методами. При явном задании последовательность моментов считывается с ленты либо генерируется таймером, который запускается по определённым условиям. Формирование последовательности моментов может осуществляться на основе функциональных зависимостей либо алгоритмов, в том числе, с учётом текущих значений параметров. Д-поступление предполагает многократное выполнение операций обработки в соответствии с последовательностью моментов поступления информации.

У-поступление соответствует ситуации, когда информация формируется после проверки выполнения заданного условия. Проверка условия может осуществляться как оборудованием ОУ, так и ПФ в составе программной нагрузки. Относительно программной нагрузки У-поступление, также как и В-поступление, чаще всего воспринимается как прерывание, которое инициируется оборудованием ОУ, либо вычисляется ПФ. В условиях прерывания У-поступление и В-поступление сопровождается указанием допустимого интервала времени на обработку соответствующего прерывания.

Назначение приоритетов. Введение приоритетов позволяет разработчику проекта в значительной мере предопределить динамику функционирования системы. Различаются статические и динамические приоритеты. По условиям назначения приоритеты также делятся на абсолютные и относительные. Последние задают отношение приоритетности для пары информационных входов динамического объекта с использованием операций больше, меньше или равенства. Статические абсолютные и статические относительные приоритеты остаются неизменными на всём интервале моделирования. Динамические абсолютные и динамические относительные приоритеты назначаются на ограниченный интервал времени или фрагмент модели СРВ. Переназначение приоритетов выпол-

няется на основе анализа ситуации, складывающейся в ходе функционирования системы. После отмены динамических приоритетов, установленные ранее статические приоритеты, сохраняют своё действие.

Информационные и управляющие потоки между агрегатами ОУ. Различаются два способа отображения потоков на модель СРВ. В первом из них поток отображается в составе модели алгоритма функционирования ОУ и соответствует структурному управлению [3]. Второй способ соответствует программному управлению и реализуется программной нагрузкой СРВ. Функции, которые реализуют структурное управление также отражаются в модели СРВ, но реализуются оборудованием ОУ. Необходимость отображения на модель СРВ потоков по первому способу обусловлена стремлением повысить адекватность моделирования динамики работы системы в целом.

Условия изменения состава оборудования ОУ. Изменения состава оборудования могут происходить по различным причинам. Здесь рассматриваются только такие ситуации, когда замена агрегатов, их дополнение или исключение происходит в процессе работы системы и предусмотрена регламентом. В этом случае изменяется структура ОУ, но модульная структура модели алгоритма функционирования ОУ остаётся неизменной, т. к. при её разработке учитываются все предусмотренные ранее изменения в структуре ОУ. Такие изменения могут происходить по инициативе управляющих воздействий, полученных программной нагрузкой СРВ на основе анализа ситуации на ОУ, либо предусматриваться структурным управлением в соответствии с алгоритмом функционирования ОУ.

Условия доступа к ресурсам. Рассматриваются разделяемые между агрегатами ресурсы, потребление и использование которых оказывает влияние на динамику функционирования ОУ. Схемы доступа к ресурсам аналогичны схемам, предложенным в [1] и оформляются также в виде скрытых частей ГПД модульной структуры модели алгоритма функционирования ОУ.

Условия обновления выходной информации. В результате срабатывания модуля, как динамического объекта модели СРВ, формируется одно состояние выходной информации. При многократном срабатывании модуля возникает вопрос о числе сохраняемых состояний. В случае сохранения одного состояния, новое состояние, полученное после срабатывания модуля, заменяет предыдущее состояние, т.е. происходит обновление состояния. Вводится три способа обновления:

С-обновление (СО) – обновление текущего состояния на вновь полученное. Момент получения нового состояния и его доступности совпадает с моментом завершения работы модуля;

Ц-обновление (ЦО) – циклическое обновление текущего состояния с заданным циклом срабаты-

вания модуля. Принимается, что новое состояние становится доступным в момент окончания цикла срабатывания модуля и не зависит от момента завершения модуля внутри цикла;

Т-обновление (ТО) – получение состояния за ограниченный интервал времени. Отсчёт интервала времени, начинается с момента поступления информации с требованием на получение состояния.

При необходимости сохранять несколько последних состояний выполняется обновление с присоединением очередного состояния к сохраняемой совокупности. Выделяется четыре способа обновления с присоединением:

Ц-присоединение (ЦП) – циклическое присоединение заданного числа последних состояний;

К-присоединение (КП) – присоединение заданного числа последних состояний;

Т-присоединение (ТП) – присоединение состояний, полученных за последнее заранее заданное число тактов моделирования;

В-присоединение (ВП) – присоединение состояний, полученных в результате срабатываний одного модуля за интервал времени, определяемый заданным числом срабатываний другого модуля. Предполагается, что в ходе функционирования системы совокупность состояний, сохраняемых по Т-присоединению и В-присоединению может быть пустой.

Модель СРВ как совокупность динамических объектов

Модульная структура модели СРВ, после отображения на неё перечисленных выше условий динамики функционирования ОУ, принимается в качестве динамической модели системы. В этой модели каждый модуль функционирует как динамический объект (процесс) и взаимодействует с другими процессами. Выполнение отображения соответствует принятию решений по формированию одного из возможных вариантов динамической модели системы. Вариант модели рассматривается как точка пространства, одну часть координат которого определяют условия динамики функционирования ОУ, а другая часть соответствует условиям динамики, отражающим организацию выполнения модели программной нагрузки на вычислительной системе СРВ. Заданное таким образом пространство даёт возможность осуществлять поиск приемлемого варианта динамической модели СРВ в том числе и формальными методами.

Принятие решений по формированию варианта динамической модели с учётом условий динамики ОУ и условий динамики, порождаемых правилами организации выполнения модели программной нагрузки на вычислительной системе, покажем на примере модульной структуры модели системы, приведённой на рис. 2.

Модель содержит 11 модулей m_j (переходы m_1, m_2, \dots, m_{11}) и 19 данных d_i (позиции d_1, d_2, \dots, d_{19}). Но-

мера модулей проставлены рядом с переходами, а номера данных – в позициях. Модель ОУ на рис. 2 представлена условно одним модулем m_A , который формирует показания датчиков для модели программной нагрузки СРВ (входы $d_1, d_5, d_2, d_{11}, d_{12}, d_{16}$) с учётом управляющих воздействий (выходы d_9, d_{15}, d_{18}). Разрывы дуг (d_9, m_A), (d_{15}, m_A), (d_{18}, m_A) показаны в соответствии с правилами визуального представления модели на языке SML.

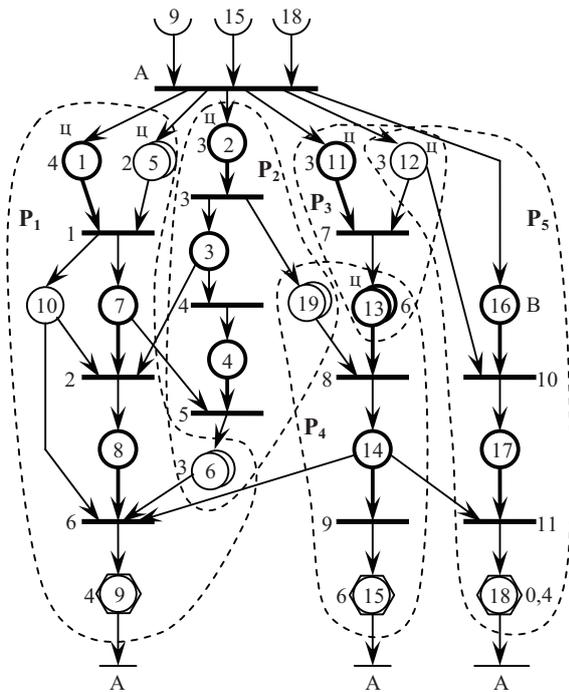


Рис. 2. Модульная структура модели системы

Модульная структура программной нагрузки включает три ПФ. Первая из них с входами d_1, d_2, d_5 формирует управляющее воздействие d_9 с помощью модулей m_1, m_2, \dots, m_6 . Вторая ПФ, представлена модулями m_7, m_8, m_9 , обрабатывает входы d_{11}, d_{12} и формирует управляющее воздействие d_{15} . Обе ПФ работают циклически с циклами поступления входов d_i , значения которых $\delta(d_i)$ выражены числами тактов моделирования и проставлены рядом с входными позициями. Циклы обновления $\mu(d_i)$ проставлены рядом с выходами d_9, d_{15} . Третья ПФ выполняет обработку прерывания, поступающего по входу d_{16} . Вход d_{16} является вероятностным и требует обработку прерывания за время не превышающее 0,4 такта.

Исходное представление о динамическом объекте (процессе) в данном случае тесно связано с понятием ПФ, которая ассоциируется с автономной задачей СРВ. Процесс может включать один или несколько модулей. Число модулей в процессе не является существенным для определения динамического объекта, т. к. при необходимости, например, в целях распараллеливания, модуль может быть разбит на совокупность более мелких модулей. Функционирование процесса как динамиче-

ского объекта в составе динамической модели может осуществляться при соблюдении ряда условий:

- выбор входной позиции запуска для каждого модуля процесса должен осуществляться по единым формальным правилам;
- интервал времени $\tau(p)$, в котором выполняется циклический процесс p не должен превышать цикл поступления входной позиции запуска процесса и цикл обновления выходной позиции;
- для процессов, запуск которых осуществляется по условиям В, Д, У, интервал времени $\tau(p)$ не должен превышать время, установленное для получения выхода;
- все модули процесса p должны быть выполнены в одном интервале времени $\tau(p)$ и при этом все промежуточные данные должны быть получены и обработаны в этом же интервале времени.

Перечисленные условия в основном отражают динамику функционирования ОУ и определяют правила формирования процессов. Другие условия, такие как доступ к ресурсам, организация приоритетов, введение таймеров и их масштабирование, обновление и селекция данных должны учитываться при совместной работе процессов, но непосредственного влияния на формирование их состава не оказывают.

Таким образом, в качестве динамического объекта модели СРВ принимается процесс, содержащий совокупность модулей, имеющих согласованные стратегии по условиям поступления входов, условиям запуска, условиям обновления выходов и выполняющих функционально законченную задачу в пределах установленного интервала времени.

Следуя перечисленным правилам и данному определению, для модульной структуры, приведённой на рис. 2, сформировано 5 процессов, учитывающих условия динамики ОУ. На рис. 2 процессы пронумерованы и выделены пунктирными линиями. Входные позиции запуска модулей и соответствующие дуги выделены жирными линиями. Позиции d_5, d_{19}, d_{13}, d_6 согласно правилам языка SML помечены знаком присоединения состояний. Так, для модуля m_8 за время его срабатывания в интервале $\tau(p_4)=6$ тактов, в позиции d_{19} будет получено 2 состояния, т.к. модуль m_3 работает в интервале времени $\tau(p_2)=3$ такта.

Совокупность модулей процесса может содержать только один модуль, например, модуль m_7 в процессе p_3 . Ранее отмечалось, что в модели СРВ каждый модуль может быть объявлен процессом. Однако в этом случае условия динамики функционирования модуля должны полностью совпадать с условиями, которые были определены для него при функционировании в составе процесса. Таким образом, выделение процессов, как это показано на рис. 2, позволяет установить условия функционирования модуля, независимо от того, рассматривается он как автономный динамический объект или в составе процесса.

Состояния динамического объекта и траектории смены состояний

Представление модели СРВ в виде совокупности динамических объектов, для которых определены условия динамики, позволяет описывать динамику функционирования модели в виде траектории смены состояний [3]. С этой целью для модуля m_j , как динамического объекта, определим его возможные состояния $s_j(t)$ в текущий такт времени моделирования t . Множество состояний $S(t)=\{s_j(t)\}$ по всем модулям $m_j, j=1,2,\dots,n$ описывает состояние модели СРВ в целом. Совокупность последовательно сменяемых состояний $S=\{S(t)\}$ в интервале времени, равным заданному числу циклов моделирования, отражает расчётную траекторию функционирования модели СРВ.

Выделим состояния, в которых может пребывать модуль m_j в текущем такте времени t :

- состояние позиции запуска не сформировано и модуль ожидает появления этого состояния;
- состояние позиции запуска сформировано и модуль ожидает освобождения своего процессора;
- выполнение программы операционного блока модуля [1];
- ожидание продолжения выполнения после прерывания.

Первое состояние является пассивным (П). Последующие три состояния являются активными и условно именуются: жёлтое (Ж), зелёное (З), красное (К). На рис. 3 показаны возможные переходы между соответствующими состояниями модуля. Возможны также некоторые уточнения состояний, связанные, например, с ожиданием доступа к ресурсам или при выходе за пределы интервала $\tau(p)$.

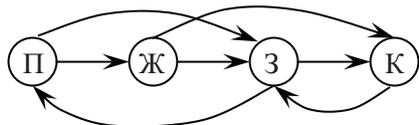


Рис. 3. Состояния модуля и переходы между ними

Функция переходов зависит от текущего состояния модели, состояний входных позиций, приоритетов, интервалов времени $\tau(p)$, времени выполнения модулей $\tau(m_j)$, наступления прерываний. Расчётная траектория функционирования модели СРВ строится с помощью данной функции. Последующий анализ траекторий в соответствии со схемой, приведённой на рис. 1 (цикл эволюции), позволяет согласовать параметры модели СРВ и её траектории так, чтобы получить вариант модели, удовлетворяющий ограничениям реального времени при функционировании в динамике.

Возможность уточнения параметров варианта модели СРВ на основе анализа траектории её функционирования покажем на примере выполне-

ния процесса p_1 (рис. 2) в пределах одного цикла моделирования равного 12 тактам. Процесс p_1 должен выполняться в интервале времени $\tau(p_1)=4$ такта. Время выполнения модуля ограничивается одним тактом, т. е. $\tau(m_1)=\tau(m_2)=\tau(m_6)=1$. Время передачи одного состояния данных $\tau(d)$ между станциями (процессорами) по магистрали М составляет 0,5 такта. В связи с этим такт моделирования уменьшим вдвое и тогда $\tau(p_1)=8, \tau(m)=2, \tau(d)=1$, а цикл моделирования составит 24 такта. На рис. 4 приведено несколько вариантов траекторий выполнения процесса p_1 .

Две траектории, построенные при условии, что модули процесса выполняются на разных станциях показаны на рис. 4, а. В траектории, отмеченной сплошными линиями расположение состояний (З) модулей в интервалах $\tau(p_1)$ оказалось настолько неудачным, что время реакции τ_u составило 22 такта вместо допустимого $\tau_u^*=8$ тактам. Время реакции τ_u оценивается числом тактов от момента поступления входа d_1 для модуля m_1 до момента получения выхода d_9 модулем m_6 . В этой траектории модуль m_2 во время тактов 4–10 пребывает в состоянии (Ж). Пунктирной линией на рис. 4, а в первом интервале $\tau(p_1)$ показан другой вариант траектории, который соответствует допустимому значению $\tau_u^*=8$.

На рис. 4, б, в отличие от рис. 4, а, изменена последовательность выполнения модулей в интервале $\tau(p_1)$. Здесь время реакции τ_u для одной траектории (сплошная линия) составил 14 тактов, а для другой (пунктирная линия) $\tau_u^*=8$. Такой результат удалось получить при условии, что допускалось смещение циклов выполнения модулей.

Траектории на рис. 4, в, построены при условии, что модули m_1, m_2 выполняются на одной станции, а модуль m_6 на другой. Для траектории в первом интервале $\tau(p_1)$ время реакции $\tau_u^*=7$. Траектория во втором интервале $\tau(p_1)$ построена с учётом задержки передачи данного d_8 на 1 такт. Траектория в третьем интервале отражает прерывание выполнения модуля m_2 (в 20-м такте модуль m_2 пребывает в состоянии (К)) и задержку в передаче данного d_8 . Данная траектория недопустима, т. к. не укладывается в интервал $\tau(p_1)$. Попытаться исправить ситуацию можно, например, за счёт перераспределения модулей обработки прерывания на станцию 2, либо повысить приоритет на передачу данного d_8 по магистрали М. В частности, можно рассматривать вариант выполнения модулей процесса p_1 на одной станции.

Приведённые на рис. 4 расчётные траектории, иллюстрируют возможности построения и поиска допустимых траекторий за счёт изменения параметров варианта модели СРВ и условий динамики её функционирования. Сюда относятся перераспределение модулей и данных по станциям, уточнение интервалов $\tau(p)$ и очередности выполнения модулей, изменение приоритетов и условий запуска модулей и другие операции по эволюции модели СРВ.

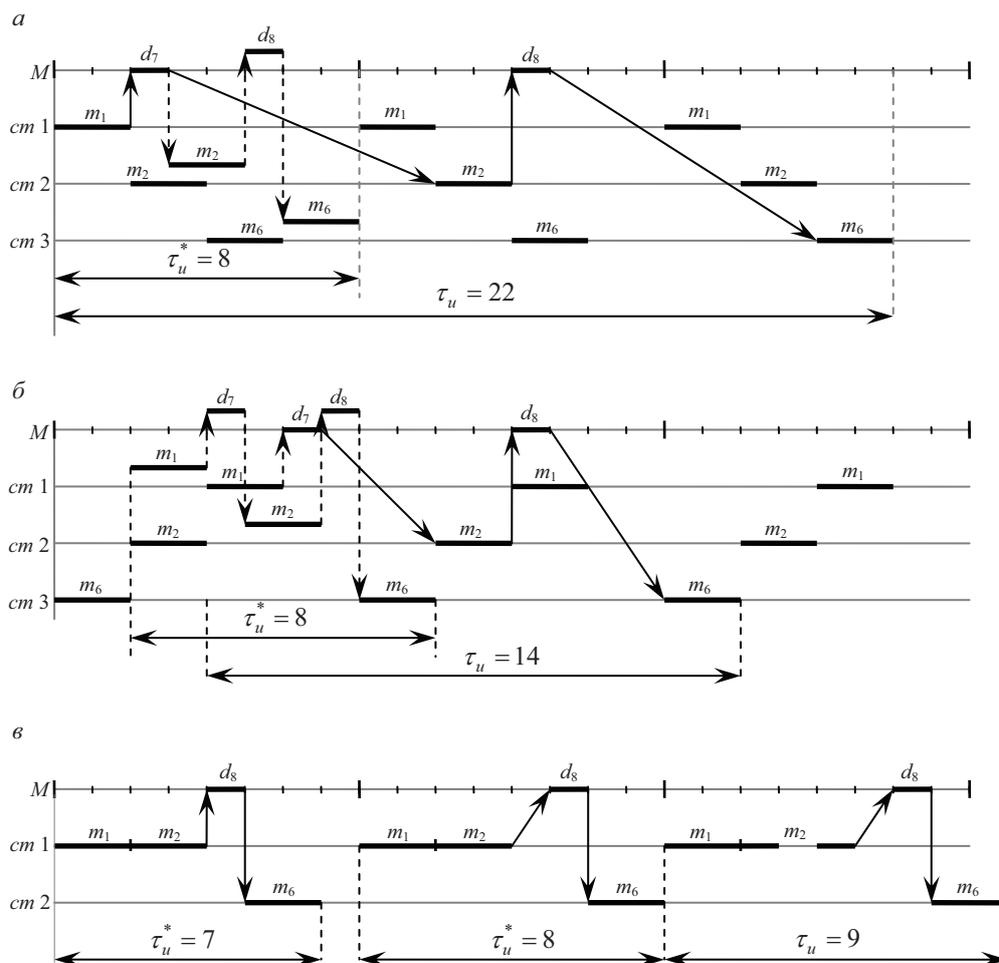


Рис. 4. Варианты траекторий выполнения процесса p_i

Выводы

Введены основные параметры, определяющие область состояний, в которых может пребывать динамическая модель системы реального времени. Показана возможность построения расчётных траекторий функционирования модели в данной области состояний.

Методы анализа расчётных траекторий позволяют оценить работоспособность модели системы реального времени в динамике. На примере показано, что результаты анализа в виде количественной меры оценки траектории по критерию качества управления дают возможность принять решения по трансформации модели и построению соответствующей траектории с улучшенными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Погребной В.К. Визуальный уровень представления алгоритмов функционирования распределенных систем реального времени на языке структурного моделирования // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 5. – С. 140–146.
2. Погребной В.К., Погребной А.В., Погребной Д.В. Отображение условий динамики функционирования объекта управле-

- ния на модель системы реального времени // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 5. – С. 18–22.
3. Альяных И.Н. Моделирование вычислительных систем. – Л.: Машиностроение. 1988. – 223 с.

Поступила 22.04.2010 г.