

ИМИТАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМОЙ

Мостовой Я.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Аннотация

Эффективность и безопасность функционирования космических платформ оптикоэлектронного наблюдения во многом зависит от программного обеспечения (ПО) встроенных в них цифровых вычислительных машин (ЦВМ). Моделирование работы ПО таких ЦВМ совместно с имитационной математической моделью внешней среды – сравнительно новая роль математического моделирования, которая обеспечивает чрезвычайно эффективную среду для отладки ПО. На основе анализа задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла сложных технических систем, показывается возможность и целесообразность использования данной математической модели внешней среды на этапе эксплуатации и проектирования системы.

Ключевые слова: космическая платформа, информация зондирования, жизненный цикл ПО, математическое моделирование, ошибки исходных данных, анализ нештатных ситуаций.

Введение

Характеристики данных дистанционного зондирования Земли зависят от эффективности функционирования системы «аппаратура наблюдения – космическая платформа». На качество и количество полученной информации зондирования влияют не только конструкция и характеристики аппаратуры зондирования, но и характеристики космической платформы, обеспечивающие условия качественной и высокопроизводительной съёмки.

В процессе эволюционного развития автоматические космические аппараты (КА) дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) достигли высокого совершенства. Для увеличения полосы наблюдения до значительной доли межвиткового интервала на этих аппаратах предусмотрены сложные системы навигации и угловой ориентации, позволяющие при соответствующем управлении угловым движением проводить наблюдение заданных целей, лежащих в стороне от трассы полёта, выполнять криволинейные маршруты съёмки, маршруты поперёк трассы и т.п. Такие КА ДЗЗ могут управлять параметрами своей орбиты и положением на ней за счёт бортовой двигательной установки автономно либо по командам с Земли [1].

Свойство эффективно и безопасно функционировать в меняющейся и случайной среде является обязательным для таких КА ДЗЗ. Они приобретают его за счёт использования в своём составе встроенных ЦВМ или сети таких ЦВМ с программным обеспечением, определяющим концептуальный уровень всей системы наблюдения. Можно сказать, что широкое применение встроенных сетей ЦВМ является характерным признаком данного класса космических аппаратов [2, 3].

Разработка бортового программного обеспечения (БПО) встроенных бортовых ЦВМ (БЦВМ) представляет собой сложную задачу. Сложность её составляет не столько необходимость обеспечения параллельной и взаимосвязанной работы частей ПО, обслуживающих взаимосвязанное функционирование множества подсистем КА, сколько необходимость обеспечения

высокой надёжности и безопасности работы бортового ПО и всей системы управления, в том числе и при наличии отказов бортовой аппаратуры КА.

1. Новая роль математического моделирования как средства генерации данных на отладку ПО встроенных в систему ЦВМ

В технологии создания высоконадёжного и безопасного БПО ключевую роль играет математическая имитационная модель внешней по отношению к БПО среды, которую можно представить в виде совокупности моделей объекта управления и математических моделей бортовой аппаратуры, связанной с БЦВМ и управляемой от БПО.

Эта модель является средством генерации потока входных данных на отлаживаемое ПО путём моделирования работы системы управления и аппаратуры наблюдения. Она же воспринимает управляющую информацию, порождённую БПО, и обеспечивает реакцию на неё моделей объекта управления точно таким образом, как на неё реагировала бы реальная система.

Тогда, имитируя (моделируя) информацию, поступающую в ПО от внешней среды, а именно от системы более высокого уровня иерархии (СБВУИ) и аппаратуры сложной технической системы (СТС), можно инициировать внутренний поток взаимодействия процессов управления. При этом автоматически будут учтены принятая логическая синхронизация внутренних сообщений в ПО, инициализация связей между программами ПО, очереди к ресурсам БЦВМ, взаимные задержки программ ПО при их многозадачной работе таким же образом, как это происходит в реальной системе [4].

При этом любые проблемы, выявленные в дружественной среде моделирования, могут быть решены гораздо более эффективно, чем в реальной физической среде функционирования ПО. Поскольку любые переменные в процессе моделирования могут быть зарегистрированы и затем успешно исследованы, то проблема неожиданных взаимодействий частей ПО и, следовательно, подсистем КА,

проблемы неправильной синхронизации и логических ошибок могут быть обнаружены и разрешены сравнительно легко при выборе соответствующей программы такого моделирования.

Это сравнительно новая роль математического моделирования. При проектировании и эксплуатации систем управления КА и аппаратуры наблюдения математическое моделирование широко использовалось и ранее. Однако применяемые при этом модели разнородны для этапов разработки и эксплуатации и не подвергались системному анализу.

Возникает вопрос: нужны ли для отладки ПО точные и адекватные модели объекта управления и бортовой аппаратуры, учитывающие в полной мере динамическую сложность этих элементов системы управления? Такие модели необходимы для исследования точности и других характеристик качества системы управления на стадиях проектирования и эксплуатации, но при отладке ПО эти вопросы, как правило, не исследуются.

При этом, несмотря на общее правило «не использовать в моделях деталей больше, чем это необходимо для поставленной задачи» [5], следует помнить о системном подходе к моделированию и моделям и для отладки ПО использовать достаточно полные модели объекта управления и аппаратуры системы, так как их разработка всё равно необходима для решения ряда задач этапов проектирования и эксплуатации КА ДЗЗ.

Возникает и другой вопрос: в какой мере необходимо использовать ПО встроенных ЦВМ и сами встроенные ЦВМ при моделировании работы системы наблюдения на различных этапах её жизненного цикла: при проектировании, при разработке, при эксплуатации? Возможно ли ограничиваться лишь использованием «моделей встроенного ПО», примерно воспроизводящих алгоритм без деталей его реализации во встроенных ЦВМ, или встроенные ЦВМ с их ПО надо включать в контур моделирования на всех этих этапах?

И, наконец, нужно ли использовать реальную аппаратуру в контуре моделирования, или математические модели обеспечат необходимую достоверность результатов?

Ниже даются ответы на эти вопросы, но перед этим рассмотрим некоторые полезные для дальнейшего изложения обобщения, позволяющие расширить иллюстрацию рассматриваемых положений.

Бортовой комплекс управления КА ДЗЗ совместен с системой управления аппаратурой наблюдения относительно сложным техническим системам.

Возникший в процессе развития техники класс СТС обладает некоторыми характерными чертами, важнейшие из которых:

- 1) наличие множества подсистем, объединённых в многоуровневую иерархическую структуру;
- 2) наличие множества вариантов использования системы с возможным изменением её структуры при реализации того или иного варианта использования;

- 3) возможность функционирования при наличии неопределённости внешней среды и внутреннего состояния системы – вероятны отказы отдельных элементов;

- 4) наличие в составе СТС идентифицируемой в процессе работы модели внешней среды, относительно которой система ориентируется для выполнения целевой функции.

К «классическим» СТС относятся ракеты, космические аппараты, комплексы авиационной техники и их системы управления. К ним можно отнести также системы управления сложными медицинскими и технологическими установками, некоторые АСУ ТП. Математическое моделирование присутствует на всех этапах жизненного цикла СТС и, в частности, КА ДЗЗ – от начала проектирования до завершения эксплуатации. Поэтому можно говорить об опирающейся на моделирование разработке СТС.

2. Задачи математического моделирования на различных этапах жизненного цикла СТС

Можно выделить следующие основные направления использования математического моделирования, отличающиеся требованиями к процессу моделирования и моделям СТС.

1. Моделирование как метод имитации поведения КА ДЗЗ и СТС при выполнении ими целевой задачи традиционно применяется при проектировании СТС:

- для выбора структуры и параметров объектов управления и системы управления,
- для проверки проектных решений в штатных и нештатных ситуациях и получения характеристик динамических процессов,
- для статистических исследований с учётом вероятных разбросов характеристик параметров модели и возмущающих факторов,
- для прогнозирования поведения СТС на будущие времена,
- для идентификации параметров системы по экспериментальным данным.

Модели объекта управления и системы управления в этом случае могут быть различной сложности и ориентированы на решение конкретных задач с той точностью и с тем качеством, которые соответствуют стадии проектирования СТС.

Что касается использования готового БПО встроенных вычислительных средств СТС, то оно, как правило, на проектной стадии отсутствует – разрабатывается параллельно и вполне достаточно использовать предполагаемые алгоритмы (или исследуемые алгоритмы) решения задач СТС, исполняемые на универсальных ЦВМ (см. рис. 1а).

Принципиально важно, что проектные модели не должны получать результат в реальном времени, хотя и имитируют работу СТС в реальном времени.

2. Математическое моделирование широко применяется как средство генерации отладочных заданий в процессе отладки ПО встроенной в СТС ЦВМ, о чём говорилось в предыдущем разделе.

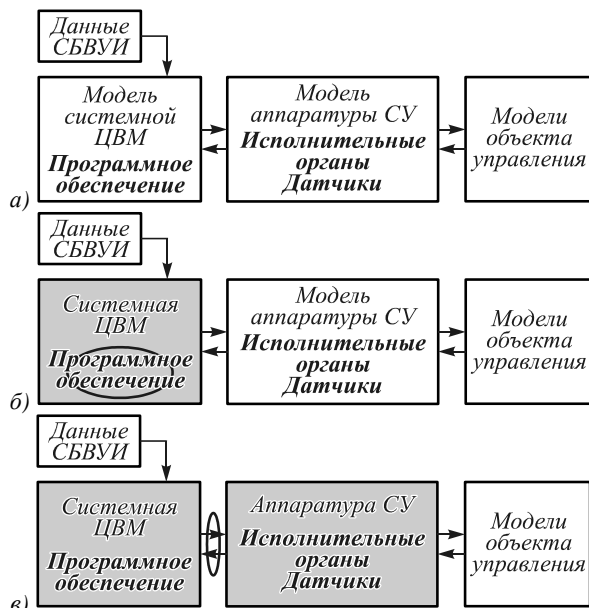


Рис. 1. Схемы математического имитационного моделирования на стадиях проектирования (а), испытаний (б) и эксплуатации (б, в) СТС

Имитация потока внутренних данных и команд ПО должна учитывать наличие в СТС контуров управления с обратной связью, то есть должна включать соответствующие модели объектов управления и модели аппаратуры системы управления.

В данном случае реальная системная ЦВМ или сеть системных ЦВМ, загруженные отлаживаемым ПО, включаются в контур моделирования (рис.1б).

При этом требуется особое структурное построение моделей объекта управления и аппаратуры СТС [3], такое, чтобы структура модели соответствовала структуре реальной системы и каждый вход и выход отлаживаемого ПО обязательно имел ответную часть в структурированной модели внешней среды.

При выполнении этих условий динамическая точность модели аппаратуры СТС и объекта управления для решения задачи отладки ПО отстает на второй план.

Использование реальной аппаратуры СТС для отладки ПО нежелательно, так как неоправданно усложняет процесс моделирования. Более подробно об этом будет сказано ниже.

3. Моделирование работы СТС при испытаниях собранной СТС. Как правило, при таких испытаниях невозможно запустить в реальную работу объект управления по соображениям безопасности. Здесь наличие реальной аппаратуры СТС обязательно, так как целью моделирования работы собранной системы является проверка физических связей между всеми элементами аппаратного комплекса и правильность его функционирования в различных вариантах использования СТС. Это экспериментальная отработка собранной системы, хоть и частичная (объект управления в основном моделируется).

Глубина и точность модели объекта управления в этом случае должна соответствовать поставленной цели испытаний. При этом, так же как и при отладке ПО, комплексным испытаниям с проверкой наличия всех

электрических связей и правильности их функционирования должны предшествовать автономные испытания всех структурных единиц аппаратного комплекса. На рис. 1в выделены связи СТС, подвергающиеся проверке на данном этапе жизненного цикла СТС.

Использование реальной аппаратуры предопределяет необходимость работы в реальном времени, что должно быть обеспечено соответствующим временем работы модели объекта управления. Все сказанное относится и к КА ДЗЗ.

4. Моделирование широко применяется в процессе эксплуатации КА ДЗЗ в двух случаях:

4.1. Для проверки гипотез по причинам нештатных ситуаций. При этом используются доступные реальные данные, полученные по телеметрии в процессе нештатной ситуации.

В большинстве случаев анализа нештатных ситуаций требуется имитация их развития в реальном времени или имитируемом реальном времени. При разборе нештатных ситуаций и определении причин их возникновения большое значение имеет правильное воспроизведение процессов управления в СТС на моменты времени, предшествующие нештатной ситуации, и в момент её проявления, точная привязка ко времени команд управления момент нештатной ситуации.

Эти временные диаграммы работы СУ должны воспроизводиться при анализе. Временная диаграмма работы системы сосредоточена в программном обеспечении её БЦВМ и реализуется при его работе с учётом всех тонкостей организации вычислительного процесса, ожиданий при синхронизации процессов, возможных прерываний и т.п. Поэтому разбор нештатных ситуаций требует воспроизведения работы конкретной версии ПО БЦВМ, а не только моделирования алгоритмов его работы.

4.2. Для проверки данных, закладываемых в систему в процессе её эксплуатации в качестве исходных данных для её работы, на предмет их корректности. Ошибки в этой операции для сложных систем, где объём закладываемых в ПО системы данных велик и сами данные имеют сложную логическую внутреннюю структуру, весьма вероятны и, как показывает практика, приводят к тяжёлым последствиям, особенно для критических систем.

«Проиграть данные», закладываемые в систему, на адекватной модели и убедиться, что система реагирует на них ожидаемым образом, – вот технология, защищающая ПО и СТС от подобных ошибок.

При этом часто необходимо прогнозировать поведение СТС с исследуемыми данными на заданный интервал времени. Только после этой проверки и этого моделирования данные могут быть заложены в реальную систему.

Очевидно, что в этих случаях требования к структурному и параметрическому подобию совокупности математических моделей аппаратуры реальной аппаратуры должны быть высоки. В противном случае при математическом моделировании будет затруднительно вводить даже в модель данные, полученные в реальной нештатной ситуации и приписанные к определённым элементам структуры системы.

Упомянутые задачи, решаемые в реальном времени, требуют воспроизведения детального взаимодействия и синхронизации всех составных частей и подсистем СТС. Эти взаимодействия и синхронизация определяются в СТС программным обеспечением встроенных вычислительных средств.

Поэтому необходимо для решения данных задач эксплуатации СТС при математическом моделировании использовать реальные системные ЦВМ и их реальное ПО с целью отражения в процессе моделирования всех аспектов реального межпрограммного взаимодействия ПО. Именно ошибки такого взаимодействия часто являются источником проблем и ошибок в работе СТС.

Решение задач 4.1 и 4.2 возможно как с применением реальной датчиковой аппаратуры и исполнительных органов в контуре моделирования, так и с использованием математических моделей этих устройств (рис. 1 б, в).

Для решения задач 4.1 и 4.2 использование реального ПО системной ЦВМ со всеми тонкостями взаимодействия и синхронизации его внутренних процессов и потоков при многозадачной работе представляется обязательным.

Использование реальной БЦВМ накладывает однозначное требование на процесс моделирования – моделировать надо в реальном времени.

С одной стороны, это может потребовать доработки БЦВМ под старт-стопный режим [2], если уравнения моделей объекта, датчиков и исполнительных органов будут решаться слишком долго – больше, чем время периода решения задач управления в БЦВМ.

С другой стороны, быстродействие современных ЦВМ позволяет проводить эмуляцию БЦВМ и само моделирование в «моделируемом реальном» времени, которое может оказаться быстрее реального, так как быстродействие БЦВМ СТС по понятным причинам на порядки меньше быстродействия современных универсальных ЦВМ. Это повысит производительность процесса моделирования.

Поэтому альтернативой использованию реальной аппаратуры встроенной системной ЦВМ является использование программного эмулятора системной ЦВМ с загруженным в него реальным ПО системы, что вполне соответствует целям задач 4.1 и 4.2.

3. Реальная аппаратура в контуре моделирования.

Принцип повторяемости результатов при моделировании с целью поиска ошибок

Использование реальной аппаратуры датчиков и исполнительных органов системы управления в процессе моделирования является нецелесообразным по ряду следующих причин.

Во-первых, практиковавшееся ранее использование реальной аппаратуры системы управления при моделировании основывалось на том, что значительная часть «алгоритма» управления реализовывалась на аналоговых приборах, математическое описание, а затем программная реализация которых представляли определённые трудности. В обход этих трудностей и использовались реальные прибо-

ры. В частности, при моделировании систем управления ракет и других летательных аппаратов использовались реальные рулевые машины, усилители – преобразователи, фильтры и т.п. В настоящее время не представляет большого труда реализовать решение на быстродействующих ЦВМ уравнений моделей аппаратуры любой сложности, в том числе нелинейных уравнений рулевых машин.

Во-вторых, моделирование при проведении проектных работ должно предшествовать стыковке и отладке всей системы управления в целом. Поэтому при разработке новых систем всегда целесообразно проводить моделирование без взаимодействия с реальной аппаратурой, отличающейся также новизной. Кроме того, получение такой реальной аппаратуры в сроки проведения проектного моделирования, а также разработки ПО встроенных ЦВМ представляется весьма проблематичным.

В-третьих, существенная часть моделирования – проверка работы СТС в нештатных ситуациях. На реальной аппаратуре трудно имитируются нештатные ситуации в аппаратуре. Моделирование же нештатных ситуаций на математической модели осуществляется достаточно просто.

В-четвёртых, работа с реальной аппаратурой сопряжена с необходимостью поддержания её в работоспособном состоянии в условиях, когда её ресурс штатной работы при проведении моделирования в течение ряда лет превышает многократно. Износ аппаратуры сопровождается «уходом» её параметров, что может снижать точность проведения моделирования в большей степени, чем неточности её математического описания. На этом фоне также значительные трудности вызывает настройка параметров аппаратуры при обязательном учёте её возможных разбросов в процессе моделирования.

В-пятых, математическое чисто цифровое моделирование без аналоговых устройств в контуре моделирования обладает полной повторяемостью результатов при задании одних и тех же исходных данных. Этого нельзя сказать в случае наличия в контуре моделирования аналоговых устройств, на состояние и, следовательно, на результат моделирования которых влияет изменение питающего напряжения, температура среды и т.п.

Повторяемость результатов – очень важное свойство процесса моделирования при поиске ошибок и при анализе нештатных ситуаций, так как базовый метод анализа, поиска и локализации ошибки основан на многократном повторении «подозрительного на ошибку» участка работы СТС с подключением различных диагностических средств. Быстро находятся и локализуются те ошибки или отказы, которые удаётся легко воспроизводить.

В связи со сказанным можно рассматривать применяемое иногда использование при математическом моделировании СТС с целью отладки его ПО реальной электромеханической аппаратуры СТС как некоторую ни экономически, ни технически неоправданную традицию.

В настоящее время нет причин, требующих использования в контуре моделирования реальной ап-

паратуры, с одним исключением: для исполнения реального ПО совместно с моделью внешней среды необходима реальная ЦВМ системы. Но и её вполне можно заменить моделью – эмулятором.

Такой подход сильно упрощает процедуру моделирования и расширяет возможности использования такого программного комплекса моделей на других этапах жизненного цикла ПО и СТС, в том числе вне стен организации разработчика СТС или её системы управления, т.е. в местах эксплуатации.

Использование аппаратных физических имитаторов вместо реальной аппаратуры в большинстве случаев нерационально, так как их разработка, изготовление и эксплуатация сложнее, чем создание цифровой математической модели, также как и её настройка на имитацию штатных и нештатных ситуаций в аппаратуре СТС.

4. Программный комплекс моделирования СТС (ПКМ) для использования на различных этапах жизненного цикла СТС и принципы его создания

Хорошая инструментальная среда для моделирования поведения СТС для всех рассмотренных видов задач различных этапов жизненного цикла СТС должна обладать четырьмя свойствами.

1. Варианты использования моделируемой системы пользователям и разработчикам системы понятны и хорошо моделируются в среде с требуемой точностью.

2. Моделирующая среда обладает повторяемостью результатов при повторяемости входных в систему и ПО системной ЦВМ данных (в противном случае затруднено воспроизведение проявившейся ошибки в процессе её устранения).

3. Результаты моделирования выводятся в удобной, хорошо интерпретируемой форме.

4. Настройка среды моделирования не требует большой трудоёмкости, что обеспечивает необходимую производительность процесса моделирования.

Эти свойства будут выполняться, если не будет использоваться реальная аппаратура СТС, имеющая аналоговые элементы, не обладающие повторяемостью, и требующая настройки параметров, ремонта и т.п.

Рассмотренные задачи, связанные с использованием модели ПО или самого ПО встроенных системных ЦВМ, присутствуют на различных этапах жизненного цикла СТС. Целесообразно подойти к решению этих задач с системных позиций.

Созданную на этапе проектирования модель СТС следует дооснащать более полными имитационными математическими моделями структурных элементов СТС по мере продвижения работ по ним по этапам проектирования.

Начиная с этапа комплексной отладки разрабатываемое БПО должно быть «вставлено» в комплекс созданных моделей вместе со средствами эмуляции системной ЦВМ. При этом реальное БПО должно заменить «модели алгоритмов» ПО, используемые на стадиях, когда само ПО ещё не разработано.

Таким образом, может быть создан программный комплекс моделирования в дальнейшем ПКМ. Структура этого комплекса должна позволять проводить описанную поэтапную его модернизацию.

Задача анализа нештатных ситуаций СТС, задача анализа правильности подготовки исходных данных для работы БПО и СТС требует участия реального БПО, которое к тому же часто и является источником проблем. Эти задачи могут успешно решаться в рамках ПКМ описанной структуры. При этом схема моделирования должна предусматривать использование реальной БЦВМ СУ либо её адекватного эмулятора.

В настоящее время при разработке СТС головным разработчиком широко применяется аутсортинг по отношению к системе управления (СУ). При этом за головным разработчиком остаётся математическая модель объекта управления, которая и поставляется разработчику СУ, а аппаратура системы управления выбирается или создаётся разработчиком системы управления.

В этом случае выбор БЦВМ и разработка программного обеспечения также остаётся за разработчиком СУ. Разделение ответственности головного разработчика СТС и разработчика СУ чаще всего выливается в повторение (дублирование) ряда ответственных операций при эксплуатации СТС и разработчиком СТС, и разработчиком СУ. Для обеспечения этих ответственных работ разработчик СУ должен обеспечить поставку разработчику СТС установленной версии ПО БЦВМ и математические имитационные модели аппаратуры СУ для создания у разработчика СТС полноценного ПКМ.

5. Имитационное математическое моделирование и декомпозиция объекта управления

Модели динамических систем можно написать в замкнутой форме в виде системы дифференциальных и алгебраических уравнений, уравнений в конечных разностях и неравенств и попробовать получить её решение в аналитическом виде. Для этого придётся проделать множество математических преобразований с целью получения соотношений, поддающихся аналитическому решению.

Однако на пути получения таких преобразований и аналитических решений для СТС имеется ряд практических не преодолимых трудностей, связанных с нелинейностью логико-семантических операций в моделях и с большой размерностью полученной системы соотношений.

В этом случае возможно численное решение системы соотношений модели на компьютере. При этом наличие упомянутых трудностей также препятствует проведению промежуточных аналитических преобразований с целью получения наиболее компактных соотношений для численного моделирования. Но это и не требуется.

Имитационное математическое моделирование позволяет получить численное решение математических соотношений, описывающих моделируемую систему, не проводя промежуточных преобразований, а путём воспроизведения в структуре имитационной математической модели структуры объекта управления и моделируемой системы. В частности, структурных частей объекта управления, выявлен-

ных при его декомпозиции, подсистем моделируемой системы, её элементов, объектов и связей между ними. Это сильно упрощает математическое описание системы, но делает его в большинстве случаев более громоздким.

В результате имитационная математическая модель имеет блочную структуру, в которой связи между блоками соответствуют связям реальной системы между элементами её структуры.

В данном подходе модели объекта управления с самого начала должны создаваться, опираясь на принципы декомпозиции. В большинстве случаев такая декомпозиция оправдана и упрощает моделирование и исследование, так как исходная задача разбивается на несколько, решаемых последовательно.

Применительно к системам управления подвижными объектами, к числу которых относятся КА ДЗЗ, ракеты-носители и подобные СТС, принцип декомпозиции реализуется в виде разделения общей задачи управления на две задачи, которые назовём задачами наведения и стабилизации. Такая декомпозиция управления находит отражение в структуре систем управления СТС и, соответственно, в структуре модели объекта управления.

Реализация принципа декомпозиции связана, как правило, с приёмом замены переменных. Поэтому не удивительна та роль, которая отводится поиску рациональных преобразований математических моделей и выражений, позволяющих разделить вектор состояния сложной системы на независимые части.

Менее строгий, но также широко применяемый «инженерный» приём декомпозиции состоит в искусственном упрощении математических моделей, что позволяет ослабить или полностью исключить связи между некоторыми их частями и создать тем самым предпосылки для разделения объекта управления СТС на независимые части.

Но для отладки ПО декомпозиция объекта управления должна удерживать и выделить такие его структурные части, которые выдают в конечном итоге все без исключения сообщения на отлаживаемое ПО, а также принимают и адекватно реагируют на все управляющие и информационные воздействия, исходящие из ПО.

Суть данной декомпозиции для КА ДЗЗ – выделить из общей задачи управления движением линии визирования при наблюдении заданной цели на поверхности Земли две задачи. Задачу наведения – определения движения центра масс КА и программирования углового движения КА относительно его центра масс и задачу стабилизации – отработки найденных программ управления угловым положением в процессе движения КА.

В более общем случае в задачу наведения включается также задача выработки разовых команд, таких как включение корректирующей двигательной установки КА, разделение ступеней РН, отделение полезной нагрузки и т.п.

Системы стабилизации движения строятся и функционируют как замкнутые системы автоматического управления, целью которых является сведе-

ние к нулю отклонений между заданным системой наведения движением и фактическим движением, определяемым измеренными значениями соответствующих параметров движения, а иногда и измеренными значениями действующих возмущений.

Дальнейшее применение принципа декомпозиции связано с использованием так называемого «развязанного управления» – независимого управления многосвязным объектом по отдельным каналам. Строго говоря, главным динамическим свойством объекта управления для развязанного управления является наличие слабых межканальных связей, что соблюдается для КА, ракет, самолетов и других СТС при малых отклонениях от опорного (заданного) движения. При рассмотрении нештатных ситуаций, связанных с большими отклонениями управляемых координат от их опорных номинальных значений, декомпозиция объекта управления и развязанное управление должны применяться осторожно.

Заключение

Моделирование работы ПО совместно с имитационной математической моделью внешней среды – сравнительно новая роль математического моделирования, которая обеспечивает чрезвычайно эффективную среду для отладки ПО.

Поскольку управление современными СТС основывается на использовании встроенных ЦВМ, возникает вопрос: в какой мере необходимо использовать реальное ПО встроенных ЦВМ и сами встроенные ЦВМ при моделировании работы системы наблюдения на других этапах их жизненного цикла? Возможно ли ограничиваться лишь использованием «моделей встроенного ПО», исполняя его алгоритмы на универсальных ЦВМ без деталей его реализации во встроенных ЦВМ, или встроенные ЦВМ с их ПО надо включать в контур моделирования на всех этих этапах?

Ответ на этот вопрос: реальное встроенное в систему ПО обязательно надо использовать не только при его отладке, но и при контроле правильности подготовки данных для работы ПО СТС при её эксплуатации, а также при разборе нештатных ситуаций.

«Проиграть данные», закладываемые в систему, на адекватной модели и убедиться, что система реагирует на них ожидаемым образом – вот технология, защищающая ПО и СТС от подобных ошибок.

Необходимо лишь применять подобное моделирование не эпизодически, а ввести его как обязательную штатную операцию при управлении СТС, что потребует поставки модели внешней среды и реального ПО встроенных ЦВМ эксплуатирующему СТС персоналу.

При разборе нештатных ситуаций большое значение имеет правильное воспроизведение процессов управления в СТС. Временная диаграмма работы системы сосредоточена в ПО её БЦВМ и реализуется при его работе с учётом всех тонкостей синхронизации параллельных процессов, возможных взаимных прерываний и т.п. Поэтому анализ нештатных ситуаций требует подробного в деталях воспроизведения работы конкретной версии ПО на реальной системной ЦВМ.

Литература

1. **Аншаков, Г.П.** Методы и средства управления в высокоинформативном наблюдении из космоса / Г.П. Аншаков, В.П. Макаров, А.И. Мантуров, Я.А. Мостовой // Сборник материалов XIV С-Пб международной конференции по интегрированным навигационным системам. Научный совет РАН по проблемам управления движением и навигации, ЦНИИ Электроприбор. – СПб, 2007.
2. **Аншаков, Г.П.** Безопасное управление сложными техническими системами / Г.П. Аншаков, Я.А. Мостовой // Управление большими системами. Вып. 32. – М.: ИПУ РАН. – 2011. – С.195-204.
3. **Козлов, Д.И.** Управление космическими аппаратами зондирования земли: Компьютерные технологии / Д.И.Козлов, Г.П. Аншаков, Я.А. Мостовой, А.В. Соллогуб. – М.: Машиностроение. – 1998. – 386 с.
4. **Мостовой, Я.А.** Математическая модель внешней среды в жизненном цикле программного обеспечения управления сложными техническими системами / Я.А. Мостовой // Инфокоммуникационные технологии. – Самара. – Т. 9, N 1. – 2011.– С. 15-19.
5. **Ослэндер Д.М.** Управляющие программы для механических систем: объектно ориентированное проектирование систем реального времени / Д.М. Ослэндер, Дж. Р. Риджли, Дж. Д. Ринггенберг; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 413 с.

References

1. **Anshakov, G.P.** The Methods and facility of control in high information cosmos observation / G.P. Anshakov, V.P. Makarov, A.I. Manturov, J.A. Mostovoi // Collection material XIV S-Pb international conference on integrated navigational system. The Scientific advice by RAS on problem of the motion and navigation control, CSRI Electropribor, S-Pb. 2007. – (In Russian).
2. **Anshakov, G.P.** Safe control complex technical system / G.P. Anshakov, J.A. Mostovoi // Large-scale Systems Control. The Issue 32. - M.: IPC RAS, 2011. - P.195-204. – (In Russian).
3. **Kozlov, D.I.** Control cosmic device flexing the land: Computer tehnologii. / D.I.Kozlov, G.P. Anshakov, J.A. Mostovoi, A.V. Sollogub – M.: Machine building, 1998. – 386p. – (In Russian).
4. **Mostovoi, J.A.** The Mathematical model of the external ambience in life cycle of software of control complex technical system / J.A.Mostovoi // Infokommunikacionnye technologies. – Tom 9, N 1. – Samara. – 2011.– P. 15-19. – (In Russian).
5. **Auslander, D.M.** Control software for mechanical systems: object oriented design in a real-time world / D.M. Auslander, J. R. Ridgelyi, J. D. Ringgenberg; trans. with engl. – M.: BINOM. The Laboratory of the knowledges, 2009. – 413 p. – (In Russian).

SIMULATION MATHEMATICAL MODEL OF THE EXTERNAL AMBIENCE IN LIFE CYCLE OF ON-BOARD SOFTWARE OF MANAGEMENT COSMIC PLATFORM

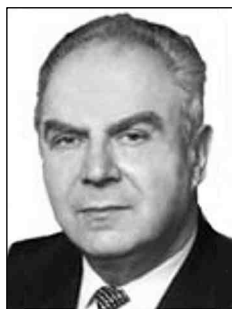
J.A. Mostovoi

S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University)

Abstract

Efficiency and safety of the operating the cosmic platforms optical observations is provided by broad using in their composition built-in computer. Modeling of the work software such computer with simulation mathematical model of the external ambience - relatively new role of mathematical modeling, which provides exceedingly efficient ambience for debugging software. On base of the analysis of the problems, solved on different stage of the life cycle of the complex technical systems, appears the possibility and practicability of the use given mathematical model in step of usages and system designing.

Key words: the cosmic platform, information of the flexing, life cycle software, emergency situation, mathematical modeling, mistakes of the raw datas.

Сведения об авторе

Мостовой Яков Анатольевич доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР. Профессор кафедры ГИИБ Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва. До 2009 г. – главный конструктор ГНПРЦ ЦСКБ-ПРОГРЕСС, г. Самара. Область научных интересов: управление СТС, разработка надёжного и безопасного программного обеспечения для встроенных в СТС ЦВМ.

E-mail: Jakob.Mostovoi@yandex.ru.

Jakob Anatolievich Mostovoi, The Doctor of the technical sciences. The Professor. The Laureate State Reward USSR. The Professor of chair GIIS Samara State Aerospace University. Before 2009 – The main constructor SSPRC CSKB-PROGRESS, Samara. Area scientific interest: control of complex technical system (CTS), development of reliable and secure software for

built-in CTS computer.

Поступила в редакцию 17 апреля 2012 г.