

V. V. Osipov

ABOUT CONNECTION OF POINT REPRESENTATIONS OF FUNCTIONS AND THEIR LAPLACE TRANSFORMS

We consider the Laplace transform inversion method by point representations and connection of point representations of the functions – the originals and their images in some special cases. The constructed models can be used for modeling and design of dynamic systems.

Keywords: method of point representations, point modeling.

© Осипов В. В., 2011

УДК 629.78.051:681.3

В. В. Прудков

ПРОЦЕДУРЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВЕРИФИКАЦИИ ПОДСИСТЕМ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Описаны процедуры автоматизации программного обеспечения для верификации логики функционирования подсистем блока управления перспективных космических аппаратов. Представлены результаты, достигнутые после внедрения этих процедур.

Ключевые слова: блок управления, центральный процессорный модуль, интерфейсный модуль сопряжения, автономная отработка, автоматизация.

Современные тенденции в области космических услуг и технологий требуют от производителей космических аппаратов (КА) и бортовой аппаратуры сокращения сроков и затрат на разработку, квалификацию, изготовление и испытания бортовой аппаратуры и космических аппаратов, а также повышения надежности и качества изготавливаемых изделий при постоянной минимизации их энергомассовых характеристик. При этом необходимо стремиться к достижению существенной экономии ресурсов: людских, финансовых и материальных – при одновременном сокращении сроков разработки космического аппарата.

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), микроконтроллеров, встроенных вычислительных модулей и т. д., требует специальных средств отладки. Создание РЭА осуществляется при постоянном взаимодействии разработчиков программного обеспечения (ПО) и схем, а гибко организованное оборудование, дающее возможность в любой момент времени быстро перекомпоновать испытательную аппаратуру, позволяет проводить работы по отладке РЭА оптимальным образом.

В настоящее время в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» интенсивность проведения отработочных испытаний РЭА космических аппаратов при наземно-экспериментальной отработке и комплектации штатных изделий исключительно высока. Необходимость увеличивать эффективность отработки РЭА и сокращать ее сроки влечет за собой со-

здание унифицированных и автоматизированных рабочих мест наземно-экспериментальной отработки РЭА, к которой и относятся блоки управления (БУ).

Разрабатываемые на предприятии блоки управления, входящие в состав бортового комплекса управления (БКУ) современных и перспективных космических аппаратов, проектируются по модульному принципу. В состав блока управления входят центральный процессорный модуль (ЦПМ) и интерфейсные модули сопряжения (ИМС), или подсистемы. ЦПМ позволяет реализовать программными средствами все логические функции конкретной аппаратуры. ИМС осуществляют управление системами КА. Информационно-логическая связь ЦПМ и ИМС организуется по последовательному периферийному интерфейсу (ППИ). БУ управляется бортовым вычислительным комплексом (БВК) по мультиплексному каналу обмена (МКО) (ГОСТ Р 52070–2003). ЦПМ по МКО принимает команды управления от БВК, декодирует их и выдает слова данных (СД), содержащие команды управления (КУ), в соответствующие подсистемы БУ (ИМС). Также БВК считывает слова данных из ЦПМ, которые содержат телеметрическую информацию.

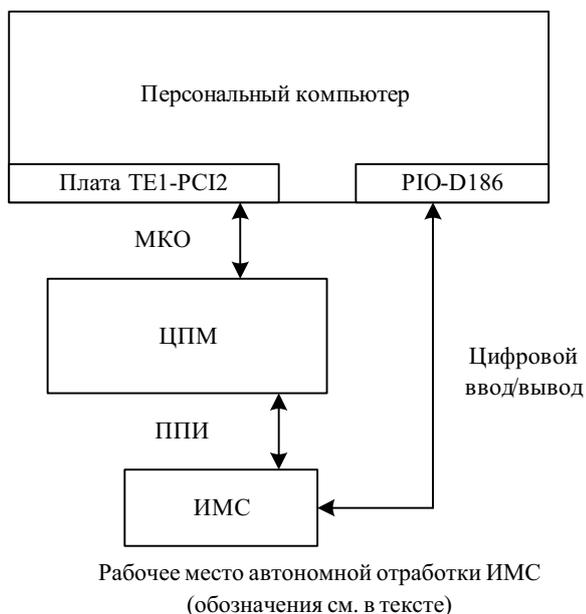
Процесс испытаний РЭА на базе программируемых логических интегральных схем характеризуется определенными особенностями, связанными с разработкой программного продукта: главное внимание сосредоточивается на системотехнических решениях; упрощается схема и конструкция прибора, но при этом усложняется его архитектура; для разработчиков (схемотехников, конструк-

торов, программистов) обеспечиваются особые условия отладки и быстрое изменение ПО испытаний.

Срок активного существования современных космических аппаратов составляет 10–15 лет, и одной из задач по его обеспечению является верификация надежности бортовой РЭА, в частности верификация логики функционирования ИМС, которые представляют собой блоки, состоящие из нескольких плат в виде универсального конструктива. Они выполняют роль связующего звена между бортовым вычислительным комплексом и системами КА.

В ходе верификации логики функционирования ИМС должна быть подтверждена правильность заложенных схемных и технических решений и их соответствие техническому заданию. Данный этап называется лабораторно-отрабочными испытаниями ИМС и заключается в выявлении ошибок при их проектировании, изготовлении, а также ошибок в проектах ПЛИС ИМС.

Для реализации этого этапа было создано рабочее место автономной отработки ИМС [1] на базе лабораторного отрабочного комплекса [2] (см. рисунок).



Рабочее место автономной отработки ИМС состоит из персонального компьютера (ПК), ЦПМ и подключаемых ИМС. Для информационного обмена между ПК и ЦПМ используется плата TE1-PCI2 производства фирмы «Элкус», поддерживающая протокол МКО, для связи ПК и ИМС – плата PIO-D186 с цифровым вводом/выводом.

Аппаратная часть рабочего места реализует структуру и устанавливает информационные связи для различных его элементов. Программное же обеспечение является основным инструментом, который должен поддерживать единое информационно-логическое пространство между аппаратурой контроля и обрабатываемыми подсистемами, обеспечивать гибкую и полную верификацию всех логических функций этих подсистем, а также проводить их автономную отработку в сжатые сроки и с наименьшими трудозатратами.

Для решения этих задач необходимо создание средств автоматизации процесса отработки ИМС. Их введение в

ПО сведет к минимуму человеческий фактор, повышая тем самым надежность этого процесса, а выполнение большинства функций в автоматическом режиме позволит сократить время и трудозатраты на его проведение.

Разработанное ПО, решающее задачи по автономной отработке ИМС, реализует следующие основные процедуры автоматизации:

- генерацию тестов;
- предварительный анализ теста;
- автоматическое изменение данных теста;
- анализ полученных данных на достоверность;
- перевод полученных значений СД в соответствующие физические величины.

Тест представляет собой последовательный набор операций. Он состоит из операций выдачи КУ в ИМС; чтения выданных КУ от ИМС; выдачи команды на исполнение КУ; чтения СД от ИМС, включающего в себя запрос на подготовку данных с конкретной платы и чтение СД от нее; останова исполнения КУ; чтение СД от ИМС после останова исполнения КУ. Количество операций теста для конкретных ИМС может быть сокращено.

Основным этапом любых испытаний РЭА является создание набора тестов, от полноты которых в конечном счете и будет зависеть степень отработки РЭА. Автоматизированная процедура генерации тестов облегчает работу оператора и сводит к нулю возможные ошибки при ручном вводе.

Эта процедура позволяет создавать тесты для любой подсистемы. Для генерации теста оператору необходимо ввести начальные параметры для конкретной подсистемы, например адреса, количество плат ИМС, количество СД, временные задержки и т. д. При изменении любого параметра программное обеспечение строит в реальном времени временную диаграмму выполнения теста. Оператор еще до непосредственного ввода теста может наглядно увидеть его состав с временными задержками между различными операциями. После нажатия кнопки создания теста программное обеспечение выдает набор операций на основании введенных параметров.

Процедура предварительного анализа теста рассматривает составленную последовательность операций с точки зрения ее полноты и правильности. В случае невыполнения этих условий выдаются соответствующие предупреждения, что исключает возможные ошибки, вносимые оператором при корректировке операций теста. Например, при наличии операции выдачи команды на конкретную плату ИМС должны присутствовать операции чтения с этой платы и операция на прекращение исполнения выданной команды. Если хотя бы одной из указанных операций нет, то появляются отрицательные результаты анализа со списком недостающих операций. Данная процедура автоматизирует поиск таких операций при ручном задании тестов и их редактировании, что в свою очередь снижает вероятность неполноты отработки ИМС.

Выполняемый тест ограничен статическими значениями данных, задаваемых оператором. Для быстрого изменения информации в тестах была создана процедура автоматического изменения данных. Ее суть заключается в том, что оператор вводит параметры изменения данных (маску изменяемых КУ, последовательную или слу-

чайную смену КУ в операции «Выдача КУ» и т. д.) и запускает тест. Программа выполняет тест для определенной КУ, после чего меняет данные в тесте для следующей КУ и исполняет его, и так делается для всех КУ, заданных в маске. Таким образом, эта процедура позволяет запускать заданный тест с автоматическим изменением данных на каждом цикле его выполнения, что сокращает время на создание отдельных тестов для каждой КУ.

При проведении испытаний очень часто приходится сталкиваться с большим объемом выходной информации, которую необходимо анализировать. Для человека подобный анализ связан с долгой и рутинной работой, в процессе которой могут возникать ошибки. Процедура анализа полученных данных на основе изучения протокола обмена выявляет ошибки в функционировании ИМС, а затем отображает оператору подробную информацию об этих ошибках. Такими результатами могут быть отсутствие соответствующего бита в СД по выданной команде; появление дополнительных битов в СД по команде, по которой они не должны появляться; отсутствие различных признаков подсистем в СД и т. д.

Разработчики ИМС закладывают в свои приборы СД, содержащие коды значений различных параметров, таких как температура, напряжение, сопротивление и т. д. В ходе автономной отработки ИМС оператору необходимо переводить получаемые коды в соответствующие физические величины для дальнейшего анализа этих данных. Процедура автоматического перевода является настраиваемой в зависимости от обрабатываемого ИМС. В качестве настроек могут быть указаны цена младшего разряда для кода, различные коэффициенты формул пересчета и т. д. Эта процедура позволяет сократить время, затрачиваемое оператором на перевод кодов значений СД, считываемых от ИМС.

Таким образом, разработанное ПО полностью решает поставленные задачи автономной отработки ИМС и позволяет:

- автоматизировать процесс автономной отработки ИМС до 90 %, оставляя оператору только выполнение и анализ специфических проверок;
- сократить время, затрачиваемое на отработку конкретного ИМС, с нескольких недель до 1–2 рабочих дней;
- проводить одновременную отработку одного рабочего места, в состав которого могут входить до восьми

ИМС, соединенных между собой межблочными разъемами и подключенных к ЦПМ;

- проверять работоспособность ИМС при возникновении нештатных ситуаций путем их моделирования;
- автономно обрабатывать каждый комплект ИМС (основной/резервный), подключаемый к каждому комплекту ЦПМ (основному/резервному);
- обрабатывать БУ в сборе с использованием в качестве соединения ИМС штатных кабелей;
- использовать рабочее место автономной отработки ИМС на любом этапе испытаний РЭА благодаря его гибкости и универсальности.

С помощью данного программного обеспечения проведена автономная отработка ИМС блоков управления космических аппаратов «Муссон», «Глонасс-К», «Амос-5», «Луч-5». В ходе испытаний была подтверждена правильность построения программного обеспечения, а также подхода, связанного с созданием автоматизированных процедур. Таким образом, разработанное ПО доказало свою надежность, универсальность и простоту, благодаря чему оно будет использоваться для отработки ИМС блоков управления перспективных КА, а процедуры автоматизации могут применяться в ПО отработки РЭА со встроенным вычислителем, имеющей мультиплексный канал обмена.

Библиографические ссылки

1. Прудков В. В. Рабочее место автономной отработки интерфейсных модулей сопряжения блока управления перспективных КА // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : материалы VII Междунар. заоч. науч. конф. / Озер. техн. ин-т Моск. инж.-физ. ин-та. Курск, 2010. С. 150–152.
2. Пичкалев А. В. Испытания радиоэлектронной аппаратуры на лабораторном отработочном комплексе // Решетневские чтения : материалы XII Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008. С. 158–159.
3. Прудков В. В. Особенности построения программного обеспечения автономной отработки подсистем блока управления перспективных КА // Решетневские чтения : материалы XIII Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. С. 531–532.

V. V. Prudkov

PROCEDURES OF AUTOMATION OF PROCESS OF VERIFICATION OF SUBSYSTEMS BLOCK OF MANAGEMENT OF SPACE VEHICLES

Procedures of automation of the software for verification of logic of functioning of subsystems of the block of management perspective space vehicles are described. Results reached by introduction of these procedures are described.

Keywords: management block, central-processor module, interfacing of the management block, independent working off, automation.

© Прудков В. В., 2011