

УДК.004.942

Программно-математическая модель прибора GTS-2, установленного на РС МКС

Воронин Ф.А., инженер

Россия, 141070, г. Королев, ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева

Карташев С.В., инженер

Россия, 141070, г. Королев, ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева

Харчиков М.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»*

Научный руководитель: Дунаева И.В., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru*

Введение

Для обеспечения проведения научных исследований на Российском сегменте Международной космической станции (РС МКС) в РКК «Энергия» ведутся работы по созданию информационно-управляющей системы (ИУС) и комплекса целевых нагрузок. ИУС представляет собой набор компьютеров, объединенных интерфейсами Ethernet, CAN, MIL-STD-1553, RS422 и предоставляющих данные интерфейсы для подключения научной аппаратуры (НА). Компьютеры ИУС обеспечивают автоматическое управление НА, предоставляют необходимую информацию для ее работы (данные навигации МКС, точное время), реализуют средства для управления и контроля НА из Центра управления полетами (ЦУП-М).

Создание ИУС и его программного обеспечения (ПО) базируется на концепции комплексной организации разработки, отработки и испытаний автоматизированных систем управления на РС МКС. Основой этой концепции является использование наземного комплекса имитационного моделирования. В состав стенда имитационного моделирования входят бортовые управляющие компьютеры ИУС, средства проведения испытаний и Моделирующая система реального времени (МСРВ), включающая в себя математические модели НА и обеспечивающая имитацию их штатного и нештатного функционирования.

Одним из научных экспериментов, проводимых на РС МКС, является эксперимент «Дальность». Целью данного эксперимента является высокоточное определение параметров орбитального движения МКС с использованием сигналов системы точного времени GTS-2.

В данной статье рассмотрена структура, состав и принципы разработки имитационных моделей приборов научной аппаратуры для наземного комплекса отработки (НКО) ИУС на примере разработки модели GTS-2.

Принципы построения бортового и модельного ПО ИУС

При создании программных средств компьютеров ИУС и МСРВ учитывались опыт (подходы, методы, средства) разработки и отработки ПО бортовых комплексов управления модулей РС МКС, работающих с операционными системами реального времени (модульный подход, диспетчеризация вычислительного процесса, наличие в составе программного обеспечения компонентов, обеспечивающих управление и контроль ИУС на всех этапах разработки и сопровождения: ПО верхнего уровня, программно-временного управления, сбора и формирования цифровой телеметрии и др.).

Также при проектировании архитектуры ПО учитывались особенность работы с научной аппаратурой: программные средства, обеспечивающие ее функционирование, разрабатывается и интегрируется/удаляется по мере ее появления.

Помимо перечисленных, при разработке ПО ИУС и моделей научной аппаратуры, используются следующие единые принципы:

1. Компонентный подход. ПО ИУС разбито на программные компоненты (ПК) по функциональному назначению. Кроме того, описаны протоколы взаимодействия ПК друг с другом. Это позволяет минимизировать влияние изменений в одном компоненте на другие, что упрощает процесс отладки, обнаружения и устранения ошибок.
2. Кроссплатформенность. ПО ИУС абстрагировано от операционной системы (ОС). Реализация кроссплатформенности позволяет организовать АРМ на рабочем месте разработчиков, работающих преимущественно под ОС Windows, а не QNX, использующейся в бортовых компьютерах МСРВ.
3. Унификация механизма взаимодействия между компонентами. Взаимодействия между ПК должно быть минимизировано. Модули должны взаимодействовать через строго определенный интерфейс и не знать деталей реализации друг друга (в том числе, в одном ли адресном пространстве они находятся, или разнесены на разные компьютеры).

4. Гибкая диспетчеризация вычислительного процесса. Для реализации работы ПО в режиме реального времени и/или решения задач управления, требующей жесткой синхронности работы, реализуется механизм диспетчеризации вычислительного процесса. Диспетчер синхронизирует вычислительный процесс на основе заранее определенного на этапе разработки инициализационного файла, в котором прописаны порядок и частотность вызова различных компонентов.
5. Гибкий механизм настройки вычислительного процесса. Для начальной настройки ПО используются конфигурационные файлы в стандартном формате YAML. Это позволяет на этапе разработки менять конфигурацию вычислительного процесса в зависимости от поставленных задач.
6. Унификация обмена по различным интерфейсам. Будет рассмотрена ниже.
7. Использование стандартных библиотек (STL, boost, YAML, gmock).

Состав программных средств компьютеров ИУС и МСРВ:

- базовое ПО (одинаковое для всех компьютеров);
- стандартные программные интерфейсы для работы с функциональным ПО;
- функциональное ПО (ПО для работы с научной аппаратурой и др.), поставляемое для каждого научного эксперимента.

Структура базового ПО («ядра») ИУС представлена на рисунке **Ошибка! Источник ссылки не найден..** Ядро состоит из системного и сервисного ПО.

Системное ПО предоставляет стандартные механизмы для организации вычислительного процесса. Кроме средств обеспечения вычислительного процесса, системное ПО содержит ПК обмена (программы обмена) – это специальные нетактируемые компоненты (драйверы), которые обеспечивают обмен по различным стандартным интерфейсам – CAN, Ethernet, RS-422, MIL1553.

Сервисное ПО ИУС реализует стандартные механизмы управления ПО ИУС – выполнение команд, сбор цифровой телеметрии, маршрутизацию данных, выдачу баллистико-навигационных данных. Команды (управляющая информация) и телеметрическая информация описываются разработчиком конкретного ПК в формате YAML. Затем, на основе этих YAML-файлов специальной утилитой формируются исходные тексты ПО ИУС. Это позволяет легко расширять набор команд и телеметрии, и быть уверенным в том, что описание управляющей информации и телеметрии соответствует её реализации.

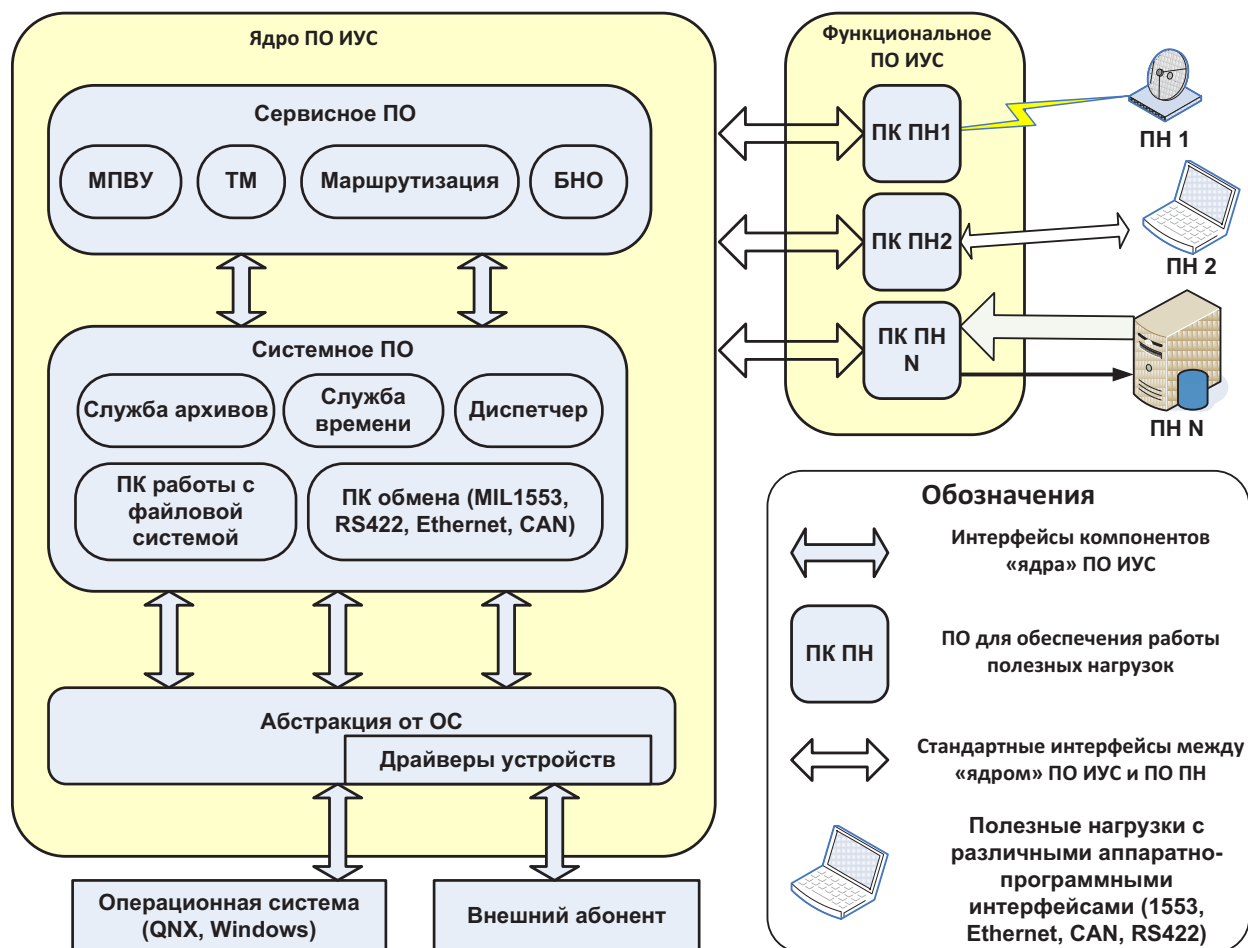


Рис. 1. Структура базового ПО ИУС

Одной из особенностей ПО ИУС является обеспечение унифицированного обмена по различным интерфейсам. Принцип унификации представлен на рисунке **Ошибка!**
Источник ссылки не найден.:

1. В конфигурационных файлах задается таблица маршрутизации;
2. От программ обмена данные поступают в компонент маршрутизации. Маршрутизатор оперирует высокоуровневыми протоколами обмена, включающими имя данных и сами данные;
3. С использованием настроек в ini-файле данные направляются определенному абоненту;
4. Аналогичным образом данные передаются от абонента в программу обмена.

Программный компонент маршрутизации позволяет штатным образом кодировать/декодировать все стандартные протоколы обмена данными на РС МКС. Разработчик ПК не должен знать, по какому протоколу пришли данные (его интересует содержимое пакета, а не транспортные обертки).

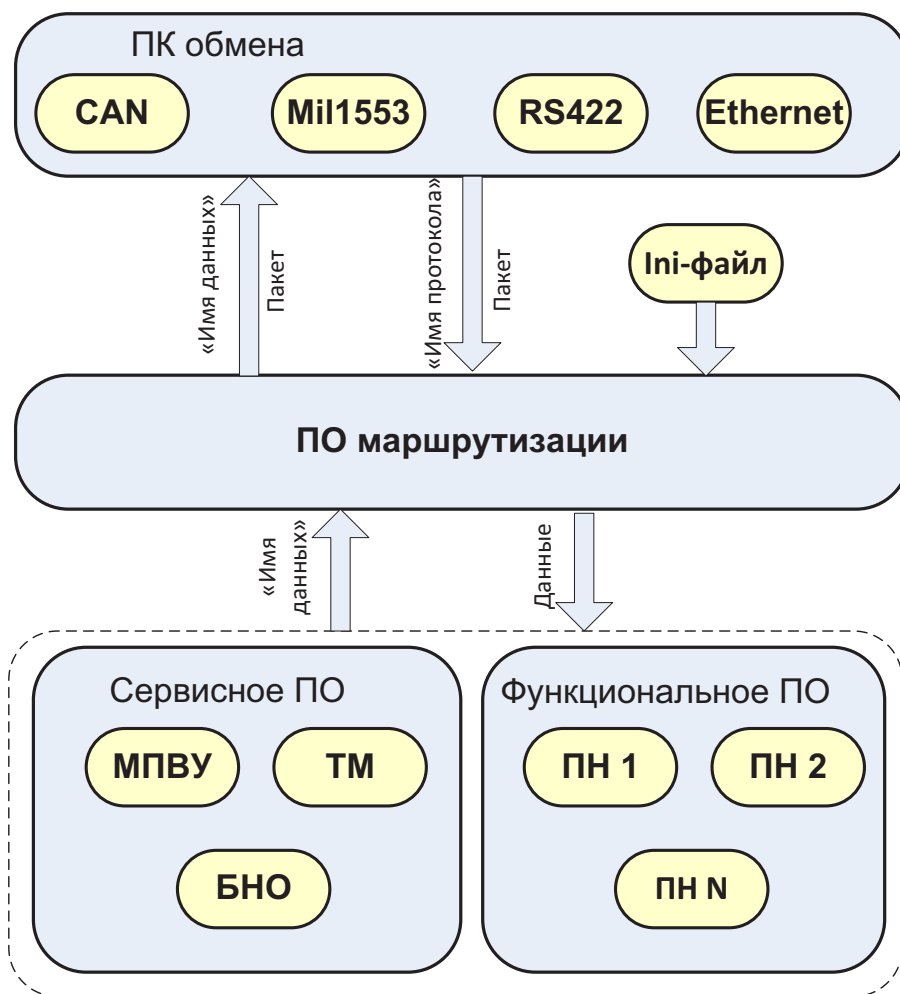


Рис. 2. Унификация программ обмена

Такая концепция разработки ПО ИУС и моделей позволяет легко:

1. Расширять возможности программных средств за счет добавления новых ПК;
2. Произвольным образом изменять маршрутизацию данных без перекомпиляции ПО;
3. Быстро создавать (реконфигурировать) ПО для новых компьютеров;
4. Создавать имитаторы, тренажеры;
5. Уменьшить время на отработку и отладку ПО, т.к. на все компьютеры ИУС используют одно и то же ядро;
6. Существенно удешевить процесс разработки и отработки ПО.

Аппаратура GTS-2

Основными задачами эксперимента являются:

- Прием стабильного радиосигнала от аппаратуры GTS-2 на наземную станцию, установленную на территории Штутгартского университета, которая должна быть оснащена доработанным ПМО приема информационного сигнала с борта РС МКС,

позволяющим интерпретировать разность времен приема и излучения сигнала от НА GTS-2 как наклонную дальность КА в момент излучения;

- Экспериментальное подтверждение разработанных аналитико-численных алгоритмов обработки измерений аппаратуры GTS-2;
- Экспериментальное подтверждение разрабатываемой методики высокоточного определения орбиты МКС;
- Экспериментальное подтверждение достигаемой точности определения орбиты МКС с использованием обработки измерений аппаратуры GTS-2 при приеме сигнала на одну наземную станцию;
- Экспериментальное определение условий устойчивого приема радиосигнала от аппаратуры GTS-2, конфигурация станции, угол места над местным горизонтом, длительность приема и т.п.

Аппаратура GTS-2 установлена на служебном модуле РС МКС. Она включает в себя:

- блок электроники GTS-2, обеспечивающий функционирование всего прибора в целом;
- передатчик, работающий на частоте 400 МГц (для передачи информации);
- передатчик, работающий на частоте 1400 МГц (также для передачи информации).

Блок электроники GTS-2 соединен с прибором из состава ИУС СМ – ТВМ1-Н СМ – по двум стандартным цифровым интерфейсам: CAN и Ethernet.

GTS-2 передает сигнал точного времени UTC станции через внешнюю антенну с широкой диаграммой направленности для синхронизации часов на Земле. Орбита станции позволяет сигналу охватывать ежедневно практически весь земной шар. Его можно получить в любом месте несколько раз в день. GTS-2 также транслирует текущее местоположение МКС, поэтому часы GTS-2 также определяют местный часовой пояс, в котором они находятся.

Программная модель GTS-2

В рамках концепции разработки и отработки ПО ИУС, все математические модели интегрируются в МСРВ.

Для реализации математической модели GTS-2 был разработан ПК SimGts2. Для имитации работы аппаратуры описаны необходимые команды и телеметрия.

На уровне конфигурационного файла (таблицы маршрутизации) обмен по CAN заменяется на Ethernet, т.к. МСРВ в настоящий момент не имеет платы CAN.

Модель GTS-2 полностью реализует программно-логический интерфейс с ТВМ1-Н.

Все команды (от ТВМ1-Н), которые поступают в GTS-2, называются «форматами». Форматы разделяются на входящие и исходящие.

Входящие форматы:

- Информация о времени и действии, которое необходимо выполнить по его достижении;
- Информация о времени включения или выключения одного из передатчиков;
- Прием орбитальных данных заданного формата;
- Данные, которые поступают с Земли или с борта;

Исходящие форматы:

- Данные, которые поступают с Земли или с борта;
- Время и статус. GTS-2 отправляет своё время, и статус работы основных компонентов.
- Запрос орбитальных данных. Если орбитальные данные не поступают спустя заданное время, GTS отправляет запрос на их получение;
- Запрос времени для синхронизации.

Данные отправляются и принимаются в виде бинарных пакетов. Пакет данных кодируется в соответствии с международным транспортным протоколом CCSDS штатными средствами ПК маршрутизации ПО ИУС.

Схема информационного обмена между моделью GTS-2 в составе МСРВ с внешними абонентами приведена на рисунке.

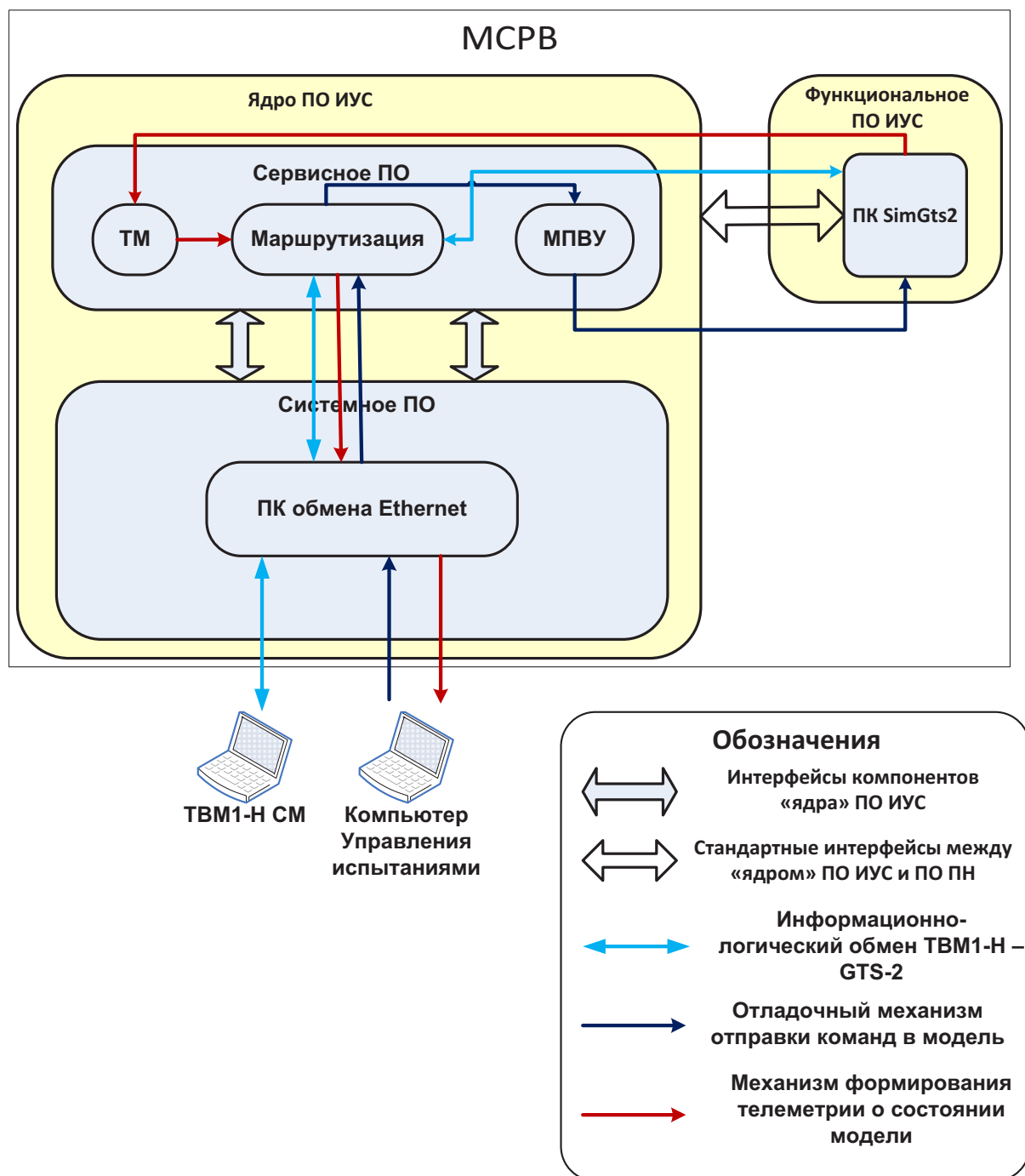


Рис. 3. Схема информационного обмена между моделью GTS-2 и внешними абонентами

На рисунке представлены МСПВ с взаимодействующими функциональными ПК, компьютер ИУС СМ TBM1-H и компьютер управления испытаниями. С точки зрения TBM1-H, МСПВ – полностью имитирует GTS-2 (за исключением физического протокола CAN). Также представлен компьютер управления испытаниями, который предоставляет средства для выдачи технологических команд в модель и отображения статуса телеметрии.

Форматы GTS-2 поступают в ПК обмена, затем в маршрутизацию, потом – в ПК SimGts2. SimGts2 обрабатывает входящие данные, и аналогичным образом отправляет ответ в маршрутизацию, а затем – в ПК обмена. Также на рисунке показан штатный (с точки зрения ядра ПО ИУС) обмен командами и телеметрической информацией.

Заключение

В статье рассмотрены основные принципы построения ПО ИУС и моделей НА, описаны задачи и параметры работы как аппаратуры GTS-2, так и программно-математической модели GTS-2. В статье детально рассмотрен процесс разработки и интеграции модели GTS-2 на основе ядра ИУС в состав МСРВ.

В настоящее время научная аппаратура GTS-2 успешно функционирует в составе РС МКС.

Список литературы

1. Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 336 с.
2. Микрин Е.А., Марков А.В., Сорокин И.В., Гусев С.И., Путан Д.Б., Дунаева И.В. Применение новых информационных технологий для повышения эффективности целевого использования российского сегмента МКС: доклад. Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXVI академических чтений по космонавтике. М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2012. С. 489-495.
3. Скороход С.А., Карташев С.В. Разработка новых средств интеграции и отработки ПО ИУС РС МКС: доклад. Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXVI академических чтений по космонавтике. - М.: Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2012. С. 471-474.