

Бортовая вычислительная система микроспутника «Союз-Сат-О» и ее программное обеспечение

Onboard computer system microsatellite «Soyuz-Sat-O» and its software

Ключевые слова: микроспутник – microsatellite; бортовая вычислительная система – onboard computer system; информационно-вычислительное ядро – information-processing core; программное обеспечение – software.

Представлены состав и структура экспериментального образца бортовой вычислительной системы (БВС) микроспутника «Союз-Сат-О». Микроспутник разрабатывается в рамках создаваемой многофункциональной космической системы союзного государства в интересах решения социально-экономических, оборонных и научных задач для обеспечения эффективного развития и совместного использования космического потенциала России и Республики Беларусь. Дано общее описание целевых задач, решаемых БВС, и ее программного обеспечения.

Presents the composition and structure of the prototype on-board computer system microsatellite «Soyuz-Sat-O». Microsatellite developed as part of a multifunctional space system created by the union state in order to address the socio-economic, defense and scientific tasks to ensure the effective development and sharing of space capabilities of Russia and Belarus. We give a general description of the targets that can be solved in the on-board computer system and its software.

ВВЕДЕНИЕ

Научно-техническая программа союзного государства «Космос-НТ», разработанная Федеральным космическим агентством России и Национальной академией наук Республики Беларусь, имеет целью разработку передовых космических технологий и создание не имеющих аналогов экспериментальных образцов наземных и орбитальных космических средств и их элементной базы. Для ее достижения должны быть решены задачи по

МИНАКОВ / MINAKOV E.

Евгений Петрович

(minakov@rtc.ru)

доктор технических наук, профессор кафедры моделирования и применения космических систем и комплексов

Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

БАСЫРОВ / BASYROV A.

Александр Геннадьевич

(alexanderbas@mail.ru)

кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры электронной вычислительной техники

Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

разработке, изготовлению и отработке экспериментального образца перспективного микроспутника (МС) «Союз-Сат-О», а также более 25 экспериментальных образцов аппаратуры специальных и обеспечивающих систем с улучшенными характеристиками, включая его бортовую вычислительную систему (БВС) [1].

Микроспутник «Союз-Сат-О» предназначен для решения задач мониторинга аварийных ситуаций и последствий аварий, оперативной оценки объектов сельского хозяйства, мониторинга экологической ситуации в различных районах земного шара, обеспечения ретрансляции, связи и телевидения и т.д. Состав, массовые характеристики и потребляемая мощность МС представлены в таблице. Его бортовой комплекс управления (БКУ) обеспечивает решение задач приема с наземного комплекса управления (НКУ) командно-программной информации, передачи на НКУ телеметрической информации, управления бортовыми системами МС, ориентации МС, проведения навигационных измерений и решения навигационно-баллистических задач, передачи на НКУ бортовой шкалы времени, распределения энергопитания и некоторых других. В состав БКУ МС входят БВС, бортовая командно-

Состав и характеристики МС

Бортовые системы	Масса систем, кг	Потребляемая мощность в рабочем режиме, Вт
Полезная нагрузка:		
– многозональная съемочная аппаратура высокого разрешения	22	40
– многозональная съемочная аппаратура среднего разрешения	16	30
– бортовая информационная система	6,5	60
БКУ	12,2	25
Система энергоснабжения	30	5
Система обеспечения терморегулирования	4	20
Корректирующая двигательная установка	10	100
Антенно-фидерное устройство	3	–
Бортовая кабельная сеть	3	–
Конструкция	27	–
Конструктивный запас	2,3	–
МС в целом	130	280

измерительная система, система управления движением и навигации, интерфейсы и контроллеры бортовых систем.

Бортовая вычислительная система является информационно-вычислительным ядром высокоинтегрированного БКУ МС [2] и обеспечивает комплексное решение задач бортовой аппаратуры информационно-управляющей радиосистемы, информационно-телеметрической системы, управления функционированием бортового целевого оборудования, управления движением и навигации, управления электропитанием и температурными режимами микроспутника.

СОСТАВ И СТРУКТУРА БВС

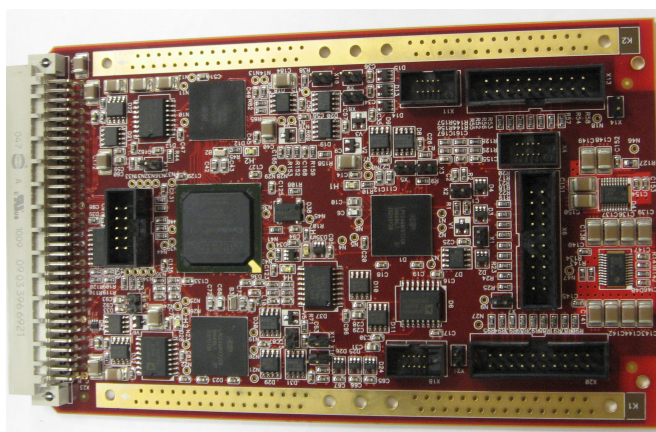
Основу БВС БКУ МС «Союз-Сат-О» составляют три вычислительных модуля, связанных между собой через магистраль типа CAN [3]. Каждый из них реализован на микроконтроллере серии LPC2000 фирмы Philips, представляющем собой 32-разрядный микроконтроллер архитектуры ARM7. Коммутация потоков данных от подсистем БКУ на выбранный вычислительный модуль, а также проверка форматов сообщений (протоколов) осуществляется аппаратным устройством на основе микросхемы ПЛИС серии Cyclon фирмы Altera. Микросхема ПЛИС связана с каждым из вычислительных модулей. Для

задания конфигурации ПЛИС к ней подключается внешнее загрузочное постоянное запоминающее устройство.

Управление вычислительным процессом осуществляется посредством диспетчера задач, который анализирует внешние сигналы, входные данные и при наличии заданных условий запускает программные модули целевых задач БКУ на выбранных вычислительных модулях. В перспективе в БВС может быть применена операционная система МСВС. Быстродействие каждого из трех вычислительных модулей составляет около 24 000 000 коротких операций в секунду. Кроме того, ПЛИС Altera позволяет на ее основе реализовать дополнительный, специализированный 32-разрядный вычислительный модуль с быстродействием до 50 000 000 коротких операций в секунду.

Энергопотребление БВС не превышает 10 Вт, расширенные возможности управления потреблением, реализованные в микроконтроллерах LPC2000, позволяют достичь среднего потребления на уровне 1–5 Вт. Размеры платы БВС составляют 150×200 мм. Текущие размеры платы определяются, в первую очередь, потребностью обеспечить удобство отладки и комплексной отработки БВС и могут быть доведены до 100×100 мм.

Вычислительный модуль БВС реализован на микросхеме LPC2992, которая имеет в своем составе:



Плата БВС БКУ МС

- 32-разрядный процессор с производительностью до 60 MIPS на операциях внутри кристалла;
- оперативное запоминающее устройство объемом 16 К 32-разрядных слов;
- перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство объемом 256 К 32-разрядных слов, обеспечивающее внутрисхемное программирование и количество циклов записи не менее 100 000;
- набор канальных интерфейсов (магистрالی RS-232, CAN, I2C, SPI);
- десятиразрядный аналого-цифровой преобразователь;
- формирователь широтно-импульсного сигнала;
- входы и выходы общего назначения;
- таймеры разного назначения.

Особенностью вычислительного модуля является наличие внешней процессорной шины для подключения расширенной подсистемы памяти, а именно — дополнительной оперативной памяти объемом 512 К 32-разрядных слов, выполненной на базе двух микросхем K6X8016T3B фирмы Samsung, и перепрограммируемой памяти объемом 4 М 16-разрядных слов, выполненной на базе одной микросхемы AM29LV160DT фирмы AMD. Программный код может исполняться из внутренней и внешней памяти модуля, а также приниматься по интерфейсу отладки и программирования. Для выбора места расположения стартового кода предназначены джамперы типа SWD1-3.

Обмен информацией между БВС и другими компонентами БКУ МС, а также целевой аппаратурой осуществляется на основе стандартных протоколов. Структура БВС включает в себя вычислительные модули, модуль внешних интерфейсов, модули памяти, модуль тактирования и синхронизации, модуль вторичных источников питания. Надежность бортового образца харак-

теризуется вероятностью сохранения работоспособности в процессе выведения МС не менее 0,99 и вероятностью безотказной работы при его орбитальном полете в течение срока активного существования не менее 0,9 при доверительной вероятности 0,8.

СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ (ПО) ЭО БВС

Экспериментальный образец (ЭО) БВС обеспечивает решение следующих *целевых задач*:

- 1) преобразования навигационного формата TLE;
- 2) расчета моментов включения аппаратуры по рассчитываемым БКУ координатам положения МС;
- 3) прогноза текущих навигационных параметров;
- 4) расчета углов разворота МС;
- 5) формирования телеметрических кадров;
- 6) самодиагностики БВС.

В состав ПО ЭО БВС входят следующие основные компоненты:

- 1) диспетчер задач;
- 2) модули целевых задач;
- 3) модуль управления каналами обмена информацией (модуль ввода/вывода);
- 4) модуль встроенного контроля;
- 5) модуль конфигурирования;
- 6) модуль взаимодействия с технологической аппаратурой.

Центральным модулем ПО является диспетчер задач, предназначенный для управления ходом вычислительного процесса. В настоящее время принята организация процесса с фиксированным (статическим) разделением целевых задач по вычислительным модулям. При этом внутри каждого вычислительного модуля порядок решения задач и их приоритет являются статическими и неизменными. Таким образом, в каждом вычислительном модуле существует собственный экземпляр диспетчера, конфигурированный под конкретный модуль, с собственным набором целевых задач. Ведущим является основной вычислительный модуль, выполняющий синхронизацию процессов путем послыки синхронизирующих сообщений по SPI интерфейсу.

Каждый диспетчер задач может управлять выполнением до 16 целевых задач (задач потребителя). При этом обеспечивается решение целевых задач в двух очередях — запускаемых с частотой 10 Гц (медленные задачи) и с частотой 100 Гц (быстрые задачи). Потенциально диспетчер задач способен выполнять динамическое распределение задач по вычислительным модулям и изменение

приоритета задач в очереди на решение, однако в данном случае запас по производительности модулей позволяет не заниматься оптимизацией загрузки.

Все целевые задачи построены одинаково. Каждая задача имеет три основных стартовых точки, получающие управление от диспетчера задач: инициализация, работа, завершение, являясь полностью автономным модулем, запускаемым диспетчером, и использует ресурсы системы только через обращения к модулю управления каналами (ввод/вывод), что позволяет производить отработку алгоритмов, не привязываясь к конкретной аппаратуре. Все задачи, включенные в очередь, должны быть полностью решены до следующего по времени запуска очереди на решение. В случае наложения происходит «отрубание» хвоста и повторный запуск очереди с точки отката. Задача встроенного контроля включена в общую очередь задач и позволяет собирать информацию о состоянии БВС, а также выполнять тестирование ее составных частей.

Модуль конфигурирования предназначен для формирования рабочей конфигурации БВС непосредственно после старта. Он выполняет распределение задач по вычислительным модулям, выбор конфигурации ПЛИС, определение приоритетов задач. Программное обеспечение разработано по модульному принципу с использованием языка высокого уровня «Си». Модульная архитектура ПО с формализованными связями обеспечивает возможности дальнейшего совершенствования, в том числе — построение на базе специализированной операционной системы, например — МСВС или ОС2000.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе создания ЭО БВС и соответствующего ПО были получены следующие патентоспособные решения:

1) метод определения параметров движения МС между узлами интегрирования системы дифференциальных уравнений движения решением задачи Эйлера — Ламберта;

2) метод прогнозирования движения МС по данным аппаратуры спутниковой навигации «ГЛОНАСС».

Первый из указанных методов включен в соответствующий алгоритм, закладываемый в ЭО БВС МС.

Одной из серьезнейших задач, возникших в ходе создания БВС, явилась задача повышения ее радиационной стойкости. Для этого также было предложено два неординарных решения:

1) повышение радиационной стойкости БВС за счет ее выключения при пролете МС зон повышенной радиации;

2) обоснование параметров движения МС, при которых обеспечивается «облет» зон повышенной радиации.

Первое решение основывается на циклограмме расчета временных меток управления снятием и подачей напряжения на БВС при пролете зон повышенной радиации. Второе решение требует выведения МС на геосолнечносинхронную орбиту, что в свою очередь, требует его запуска с космодромов, расположенных в районе экватора Земли, и может быть реализовано соответствующим выбором средств выведения МС и моментов их старта.

Эти и некоторые другие наработки позволяют сформулировать предложения по проведению космических экспериментов, к основным из которых можно отнести:

1) оценивание характеристик показателей качества прогноза движения МС по данным космической навигационной системы «ГЛОНАСС» в автономном режиме;

2) уточнение параметров циклограммы работы БВС МС в условиях движения в зонах повышенной радиации;

3) оценивание эффективности работы БВС МС в различных режимах функционирования.

Литература

1. Меньшиков В.А., Макаров М.И., Пушкарский С.В. Многофункциональная космическая система союзного государства. — М.: НИИ КС, 2007.
2. Каргу Д.Л., Кремез Г.В., Минаков Е.П., Николаев П.В., Федоров С.А. Малогабаритный бортовой комплекс управления космическим аппаратом // Изв. вузов. — Приборостроение. — 2009. — Т. 52. — № 4. — С. 66–69.
3. Захаров И.В., Кремез Г.В., Фатеев В.Ф., Швецов А.С., Шпак А.В. Многопроцессорная перестраиваемая бортовая вычислительная система малого космического аппарата // Изв. вузов. — Приборостроение. — 2007. — Т. 50. — № 6. — С. 49–52.