



УДК 629.78

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.310.312

СИСТЕМА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ «ИНТЕР» ПЛАТФОРМЫ «СИНЕРГИЯ»

“INTER” TELEMETRY CONTROL SYSTEM BASED ON “SYNERGY” PLATFORM

МАЛЫГИН ДЕНИС ВЛАДИМИРОВИЧ

ООО «Лаборатория проектирования сверхмалых космических аппаратов «Астрономикон»

MALYGIN DENIS V.

“Nanosatellite design laboratory “Astronomikon” Limited Liability Company

В работе представлен анализ наукоемкой продукции — малых космических аппаратов, в частности наноспутников. Представлена технология построения и архитектура системы телеметрического контроля «Гидра» многоцелевой платформы «Синергия» блочно-модульного типа.

Ключевые слова: малый космический аппарат; наноспутник; пикоспутник; платформа; cubesat; система телеметрического контроля; CCSDS; оптическая линия связи; сетевой коммутатор; бортовая кабельная сеть.

The paper considers the economic analysis of high-tech products — nanosatellites. A technology of design and architecture “Inter” telemetry control system of “Synergy” multi-purpose block-modular platform for assembling nanosatellites has been presented.

Keywords: small spacecraft; nanosatellite; pikosatellite; platform; cubesat; telemetry control system; CCSDS; optical communication line; network switch; on-board cable network.

На протяжении последних 15 лет летные испытания прошли несколько сотен сверхмалых космических аппаратов (СМКА) класса «наноспутник». Многие из них успешно эксплуатируются [1]. Одной из важнейших проблем проектирования является достижение оптимального (или рационального) соотношения показателей качества, стоимости и эффективности работы в среде функционирования КА [2]. Изготовление таких изделий ведут небольшие группы исследователей, а также коммерческие фирмы [3]. Принципиально новый подход к идеологии построения отечественных СМКА научного и социально-экономического назначения предлагается на базе платформы «Синергия», разработку которой ведут специалисты ООО «Лаборатория «Астрономикон». Основными подсистемами, входящими в состав данного устройства, являются:

- бортовой комплекс управления «Гидра» — миниатюрный одноплатный компьютер для управления КА как единым комплексом;
- бортовой радиотехнический комплекс «Полиморф» — программно-перестраиваемая радиосистема, обеспечивающая полнодуплексным каналом связи КА в диапазоне от 30 МГц до 6 ГГц;
- система телеметрического контроля «Интер» — системный коммутатор для подключения разнообразной периферии к КА при помощи разнообразных интерфейсов, в том числе оптико-волоконных, а также формирования пакета данных состоянии аппаратуры по стандарту CCSDS;

- система ориентации и стабилизации «Вортекс» — компактный набор силовых драйверов для управления различными электроприводами для обеспечения заданного положения КА в пространстве при помощи набора алгоритмов на базе различных регуляторов.

Отметим, что электронная компонентная база (ЭКБ), применяемая при разработке СМКА, используется, как правило, класса *Commercial* и *Industrial*, крайне редко применяют ЭКБ класса *Military* и *Space*. При этом следует обратить особое внимание на тот факт, что аппаратного резервирования в наноспутниках в большинстве случаев не предусмотрено по причине малых размеров и массы. Однако некоторые разработчики для различных миссий реализуют собственные схемы по повышению надежности и отказоустойчивости [4, 5, 6]. Эксплуатируемые в настоящее время СМКА имеют следующие характеристики:

- точность ориентации КА составляет порядка 1° с применением солнечного датчика и около $3-5'$ с использованием звездного датчика;
- скорость разворота для КА размером $3U$ и массой 5 кг составляет порядка $2^\circ/\text{сек}$ с применением двигателей-маховиков и магнитных исполнительных органов;
- стойкость к накопленной дозе составляет порядка 30 крад.;
- диапазон рабочих температур $-40...+80^\circ\text{C}$.

К наноспутникам по большей части не предъявляется жестких требований, что обусловлено орбитой КА, т.е. с их малым сроком

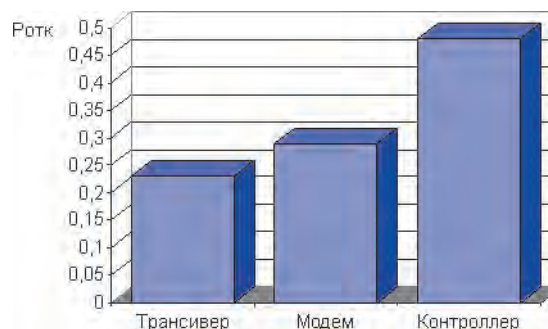
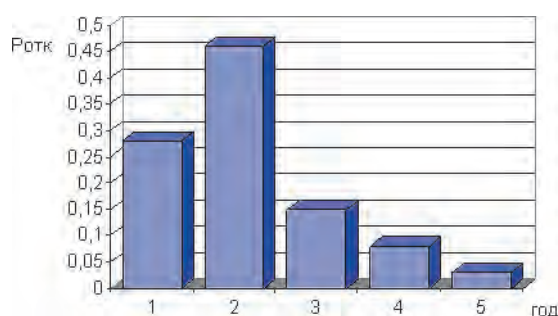


Рис. 1. Анализ функционирования элементной базы СМКА



активного существования и низким воздействием на аппаратуру факторов космического пространства [7], таких как:

- глубокий вакуум;
- ускорения, перегрузки, микроудары;
- тепловое воздействие и, как следствие, тепловые удары;
- радиационное воздействие: быстрые протоны, тяжелые частицы, ионное излучение и, как следствие, накопленная доза.

Таким образом, радиация, и в частности накопленная доза, является основной причиной выхода из строя СМКА, как правило, на второй год функционирования (рис. 1) [8].

Таким образом, для повышения отказоустойчивости СМКА необходимо подобрать оптимальное сочетание элементной базы разных классов для расширения функционала аппарата, с одной стороны, но при этом не повышать стоимости конечного изделия — с другой [9]. Одним из таких устройств является отмеченная ранее СТК «Интер».

Система телеметрического контроля «Интер» относится к области конструкции и компоновке изделий цифровой вычислительной (микропроцессорной) техники, преимущественно к высокоскоростным коммуникационным системам для высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем с распределенной обработкой информации и локальных вычислительных сетям, изготавливаемым групповым или штучным способом, и может быть использована, в частности, при разработке компактных многопроцессорных вычислительных систем с распределенной архитектурой и бортовых локальных сетей различных автономных мобильных объектов (например наноспутников (СМКА), беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), дронов и т. п.), а также при проектировании и изготовлении систем управления различных средств автоматизации в качестве пакетного инфотелекоммутиатора (свитч и/или хаб).

СТК «Интер» предназначено для построения инфотелекоммуникационных сетей целого семейства разнообразных мобильных автономных объектов (АМО). Под АМО подразумеваются мехатронные объекты, которые:

- регулируют параметры входящих в них подсистем для успешного выполнения поставленных задач;
- постоянно меняют свое местоположение в пространстве, основываясь на заданном алгоритме либо под управлением оператора;
- работают в условиях перманентного изменения характеристик окружающей среды.

Потенциальное применение СТК «Интер» в следующих направлениях:

- СМКА;
- БПЛА;
- робототехника и автоматика;
- образовательные стенды.

Таким образом, СТК «Интер» выполняет роль центрального коммутатора всей периферии и подсистем СМКА в единое целое, при этом потенциально возможно выполнение следующих функций:

- генерировать и передавать различные типы пакетов;
- настраивать различные профили работы сети *SpaceWire* и *Ethernet*;
- парировать отказы и сбои в сети с различным уровнем битовых ошибок (*BER*) в каналах;
- собирать статистику по передаче данных;

- исследовать различные характеристики работы сети, такие как задержки передачи данных, максимальные длины пути, загрузка сети и т. п.

Рассмотрим потенциальное применение СТК «Интер» в процессе управления АМО на примере БПЛА. Упрощенная схема деления автоматического беспилотного летательного аппарата представляет собой систему сенсоров, активаторов и управляющего устройства. Для успешного выполнения задач необходимо, чтобы управляющие сигналы соответствовали определенным показаниям КИП, таким образом, разработчик управляющей системы должен найти и описать функциональную зависимость между входным измерительным сигналом и выходным сигналом воздействия. Кроме того, существуют воздействия, предсказать которые возможно только с некоторой долей вероятности, но влияние которых имеют катастрофические последствия для БПЛА. Таким образом, для формирования единого комплекса из различных разрозненных элементов предлагается применить СТК «Интер», что обеспечит:

- сокращение времени проектирования и тестирования бортовой сети;
- сокращение ошибок в силу человеческого фактора на всех этапах проектирования бортовой сети;
- повышение надежности, отказоустойчивости;
- повышение модульности и масштабируемости бортовой сети;
- мониторинг как отдельных подсистем, так и всей сети;
- прокладку различных маршрутов для потоков данных;
- восстановление сети после сбоев;
- регистрацию новых устройств/приложений.

Применение СТК «Интер» в робототехнике. В общем определении под роботом (робототехническим комплексом — далее РТК) подразумевается средство автоматизации, предназначенное для целенаправленного воздействия на объекты с помощью различных инструментов, имеющих собственные системы восприятия внешней обстановки и автоматического планирования своей деятельности.

Для автономных РТК, способных двигаться без участия операторов в неполно заданной или неопределенной среде, СТК «Интер» потенциально позволит решать ряд взаимосвязанных задач:

- формирование гибкой конфигурации оборудования из разрозненных элементов — настройка параметров работы сети устройств в зависимости от требований;
- построение полнодуплексных соединений передачи данных;
- обеспечение защиты данных — таймеры жизни пакетов, повторная передача;
- работа с различными типами пользовательских данных — информационные сообщения, команды управления, системные коды;
- поддержание качества сервиса — гарантированная/негарантированная доставка, приоритеты, планирование;
- формирование различных профилей реализации для разработчиков — широкий спектр опционов и инструментов.

СТК «Интер» допустимо применять в качестве образовательного инструмента, то есть:

- формировать учебные наборы для проведения практических занятий и проектной деятельности;
- разрабатывать исследовательские и лабораторные стенды для практикумов по основным естественно-научным дисциплинам.

Тематика для таких стендов — это процессы передачи и обработки данных, работы с различными операционными



системами (реального времени, общего назначения), построения систем технического зрения, обработка данных с КИП, автоматизация процессов. Таким образом, СТК «Интер» предполагает разработку различных изделий с открытой архитектурой аппаратной части, что позволит сформировать уникальную образовательную экосистему для отработки тех или иных решений в области построения различных инфотелекоммуникационных сетей, в том числе для работы с искусственными нейронными сетями, генетическим алгоритмами, роевым интеллектом и т. п.

Ключевыми составными частями СТК «Интер» являются:

- бортовая цифровая вычислительная машина (БЦВМ), решающая основные задачи управления и обеспечивающая информационное взаимодействие с другими компонентами;
- КИП, в состав которых по умолчанию входит продублированная малогабаритная инерциальная навигационная система (ИНС), построенная на базе микроэлектромеханических датчиков (МЭМС-гироскоп, МЭМС-акселерометр, МЭМС-магнитометр) по принципу бесплатформенной ИНС; инфракрасный датчик (ИК) в виде цифрового термометра и датчик освещенности в виде цифрового детектора RGBW-диапазона с ИК-фильтром;
- СЭО, обеспечивающая коммутацию электропитания и электрическое взаимодействие со смежными элементами;
- БКС в виде набора различных коммуникационных разъемов.

БЦВМ представляет собой специализированную микросхему контроллера внешней памяти и периферии со встроенным вспомогательным микроконтроллерным ядром, которая предназначена для использования в системах специального назначения в целях измерения, контроля, управления и диагностики. БЦВМ может использоваться в двух основных режимах либо одновременно в обоих.

Первый режим работы — микроконтроллер. В данном режиме микросхема работает под управлением встроенного микропроцессорного ядра.

Второй режим работы — контроллер периферии. В данном режиме БЦВМ подключается по параллельной шине к ведущему процессору и позволяет использовать свои встроенные периферийные блоки как периферию для ведущего процессора. В данном режиме может также использоваться и встроенное процессорное ядро.

При этом СТК «Интер» позволяет работать со следующими КИП платформы «Синергия»:

- цифровой температурный датчик (t , °C) — КИП-Т;
- цифровой инфракрасный датчик (ИК, нм) — КИП-С;
- МЭМС трехосевой акселерометр (A , m/c^2) — КИП-А;
- МЭМС трехосевой гироскоп (G , m/c^2) — КИП-Г;
- МЭМС трехосевой магнитометр (M , Тл) — КИП-М;

- цифровой датчик радиации (R , Крад) — КИП-Р;
- цифровой спектрометр (Сп, нм) — КИП-Сп;
- цифровой регистратор излучений (И, Гр/эВ) — КИП-И;
- цифровой датчик координат *GPS*/ГЛОНАС (*GPS*/Г) — КИП-НАП;
- цифровой звездный датчик (Z , нм) — КИП-З.

То есть измерять параметры окружающей и внутренней среды:

- температура;
- ускорение;
- угловая скорость;
- напряженность магнитного поля Земли;
- направление вектора магнитного поля Земли;
- плотность потока заряженных частиц;
- интенсивность теплового потока в инфракрасном диапазоне.

Для обеспечения энергетикой как самого устройства, так и внешних потребителей в составе СТК «Интер» предусмотрена встроенная СЭО для распределения и аккумуляции энергетических потоков с соответствующими параметрами:

- шина на 3,3 В / 3 А;
- шина на 5 В / 1,5 А;
- шина заряда АКБ и питания от внешнего источника на 1,8–5,5 В;
- шина заряда АКБ и питания от солнечных батарей (СБ) от 0,25 В;
- измерение тока и напряжения по всем шинам.

Для стабильной работы, отказоустойчивости и надежности функционирования СТК «Интер» содержит по умолчанию в своем составе энергетическую ячейку на два или четыре Li-Po (Li-Ion) аккумулятора емкостью 1600 или 3200 мАч с защитным наполнителем или без него.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.nanosats.eu>.
2. <http://www.amsat.org>.
3. <http://www.astronomikon.ru>.
4. <http://www.ssau.ru/files/science/conferences/vsudnla2016/2p63-67.pdf>.
5. <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=23603829>.
6. <http://www.elibrary.ru/item.asp?id=25004710>.
7. http://www.csmonolit.ru/netcat_files/19/136/h_da6fb5fa76d77e-0da465542e5a2b2926.
8. Малыгин Д. В. и др. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Элементная база СМКА» № 2013620023 от 9 января 2013 г.
9. Малыгин Д. В. Многоцелевая платформа «Синергия» блочно-модульного типа для сборки наноспутников // Изв. вузов. Приборостроение, 2018. — Т. 61. — № 8. — С. 692–700.

ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
www.technosphere.ru

ЭЛЕКТРОНИКА НАНОИНДУСТРИЯ ФОТОНИКА ПЕРВАЯ МИЛЯ Аналитика СТАНКОИНСТРУМЕНТ

Цифровая экономика