

Управление движением и навигация летательных аппаратов

УДК 629.78

Агафонова С. Е.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОТОКОЛА CUBESAT SPACE PROTOCOL ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НАНОСПУТНИКОМ

Протокол CubeSat Space Protocol (CSP) предназначен для объединения в единую сеть небольшого количества встраиваемых устройств на борту спутников формата CubeSat.

Идея разработки протокола была предложена группой студентов Ольборгского университета (Дания) в 2008 году. В 2009 году главный разработчик начал работать в компании GomSpace, занимающейся производством электроники для спутников CubeSat, и протокол CSP стал интегрирован в продукты GomSpace [1].

Протокол CSP – это упрощённая форма модели OSI (Open System Interconnection), аналогичная стеку протоколов TCP/IP. Стек протоколов CSP включает четыре уровня: физический (Drivers), канальный (MAC interfaces), сетевой (Network Router) и транспортный (Transport Layer).

Первоначально реализация протокола была на языке C для микроконтроллеров ARM и AVR фирмы Atmel, в настоящее время протокол портировали для запуска в операционных системах FreeRTOS, POSIX и других UNIX-подобных системах.

На физическом уровне поддерживаются интерфейсы: CAN (Control Area Network), I²C (Inter-Integrated Circuit), RS-232 и беспроводной интерфейс Spacelink.

На канальном уровне программное обеспечение определяет формат кадров, которые адаптированы к передаче данных. Во время инициализации протокола CSP каждый интерфейс устройства добавляется в специальный список, который доступен маршрутизатору сети, это избавляет от реализации транслирования CSP-адресов в MAC-адреса.

Основная часть реализации протокола CSP относится к сетевому уровню. Маршрутизация сообщений выполняется на основе 32-битного заголовка сообщения, содержащего адрес устройства, номер порта отправителя и получателя сообщения. Реализация автоматической маршрутизации отсутствует, поэтому для всех устройств, участвующих в обмене данными, требуется программирование таблицы маршрутизации, это в свою очередь требует выбора топологии сети.

Транспортный уровень предоставляет два протокола, отличающихся по уровню надёжности связи: UDP (Unreliable Datagram Protocol) и RDP (Reliable Datagram Protocol).

Следует отметить, что при использовании протокола CSP дейтаграммы обслуживаются целиком, то есть дейтаграмма – это определённый блок данных заданного размера и структуры. Этот блок данных поступает на стороне отправителя на транспортный уровень как единая дейтаграмма и выходит из транспортного уровня на стороне получателя также как единая дейтаграмма.

Протокол UDP обеспечивает ненадежную связь, дейтаграммы могут прибыть в другом порядке, могут дублироваться или не дойти до адресата. Однако этот протокол часто используется на практике, когда предпочтительнее несколько раз отправить или удалить пакет, чем ожидать установления соединения.

Протокол RDP реализует надёжный протокол передачи в соответствии со стандартами RFC 908 и RFC 1151. Использование протокола целесообразно при высокой скорости передачи файлов, когда подтверждение приёма-передачи данных должно выполняться автоматически.

В настоящее время существует две версии протокола CSP. До ноября 2010 года использовалась версия 0.9, в которой поддерживается до 16 узлов сети и 32 порта подключения для каждого устройства. Адрес узла 15 зарезервирован для широковещательного трафика. Диапазон портов разделён на три сегмента. Порты с 0 по 7 используются для общих сервисов, таких как проверка связи и запрос состояния устройства, которые реализованы в обработчике службы CSP. Порты от 8 до 15 используются для специфических сервисов (команд) подсистем. Остальные порты, от 16 до 31, - это динамически назначаемые порты для исходящих соединений.

В ноябре 2010 года заголовок был доработан с целью поддержки большего количества узлов сети и портов подключения, в результате вышла новая версия протокола CSP – версия 1.0. Структура заголовка пакета CSP версии 1.0 приведена в таблице 1. В последней версии протокола поддерживается до 32 узлов сети и 64 порта подключения. Адрес узла 31 зарезервирован для широковещательного трафика.

Протокол CSP позволяет использовать несколько различных топологий сети, однако наиболее распространённым случаем является топология, когда сеть состоит из сегмента спутника и сегмента наземной станции. Топология сети спутника – общая шина I²C, к которой подключаются встраиваемые бортовые подсистемы. Наземный сегмент, как правило, включает приёмопередатчик, подключённый через интерфейс USB к персональному компьютеру.

Таблица 1 – Структура заголовка пакета CSP версии 1.0

Диапазон номеров бит	Описание
b31-b30	Приоритет выполнения пакета: 0 – наивысший, 1 – высокий, 2 – нормальный, 3 – низкий
b29-b25	Адрес отправителя в диапазоне от 0 до 31
b24-b20	Адрес получателя в диапазоне от 0 до 31
b19-b14	Номер порта получателя в диапазоне от 0 до 63
b13-b8	Номер порта отправителя в диапазоне от 0 до 63
b7-b4	Зарезервировано
b3	Флаг проверки подлинности сообщения с помощью HMAC. При установленном флаге в качестве алгоритма хеширования используется американский стандарт SHA-1
b2	Флаг использования блочного алгоритма шифрования XTEA в режиме CTR
b1	Флаг использования протокола RDP
b0	Флаг использования контрольной суммы CRC32
b32	Данные пакета (от 0 до 65535 байт)

Обмен по шине осуществляется, как правило, в режиме Master-Slave. Большинство бортовых подсистем сконфигурированы как Slave-устройства, отвечающие на запросы Master-устройства – бортового компьютера. Весь обмен с подсистемами идёт через бортовой компьютер, который трансформирует запросы, используя протоколы соответствующих подсистем. Однако, некоторые устройства могут быть сконфигурированы в режиме Master и самостоятельно отвечать на запросы. К таким устройствам относятся, например, подсистема электропитания и нанокамера. Кроме того, может использоваться и режим мульти-мастер, когда несколько подсистем сконфигурированы как Master-устройства.

Протокол и реализация активно поддерживаются студентами Ольборгского университета и компанией GomSpace. Исходный код доступен под лицензией LGPL (GNU Lesser General Public License) и размещается на web-сервисе GitHub. Исходный код содержит реализацию протокола CSP, а также API типовых подсистем наноспутника, позволяющего запрашивать текущее состояние (телеметрию), а также выполнять команды управления.

Конкретный перечень команд управления зависит от типа встраиваемой системы. В таблице 2 перечислены доступные команды протокола CSP для подсистемы питания.

Таблица 2 – Доступные команды протокола CSP подсистемы питания

Номер порта	Назначение команды	Данные запроса	Данные ответа
1	Проверка соединения	Любой пакет размером один байт	Данные запроса размером один байт
4	Перезагрузка подсистемы	Последовательность четырёх байт: «0x80 0x07 0x80 0x07»	Нет ответа

Таблица 2 (продолжение)

8	Запрос служебной информации	Пустой пакет	В ответ передаётся 43 байта данных, которые содержат значения 12 параметров, характеризующих состояние подсистемы электропитания, в том числе передаются входные напряжения фотоэлектрических преобразователей и их температура.
14	Запрос версии	Пустой пакет	В ответ передаётся 30 байт информации о версии: строка в кодировке ASCII, содержащая информацию о типе, версии, а также дата и время компиляции
11	Установка напряжения питания	Передаётся три значения входного напряжения, которые требуется установить для фотоэлектрических преобразователей в диапазоне от 4000 мВ до 5000 мВ.	Нет ответа
12	Установка режима слежения солнечных элементов питания	Если передаётся значение 0: используются аппаратные настройки по-умолчанию. Если передаётся значение 1: выполняется слежение за максимальной мощностью. Если передаётся значение 2: устанавливается значение напряжения питания в соответствии с данными запроса порта 11, значение по-умолчанию: 4В.	Нет ответа
9	Установка каналов выходного напряжения	Передаётся значение размером 1 байт, в котором указаны битовые маски каналов: 3.3V3, 3.3V2, 3.3V1, 5V3, 5V2, 5V1	Нет ответа
10	Включение/выключение одного канала выходного напряжения	Передаётся три значения: номер канала (от 0 до 5), команда (включить - 1, выключить - 0) и задержка в секундах (от 0 до 65535)	Нет ответа
13	Включение, выключение автоматического режима отопительной батареи	Если передаётся значение 0: автоматический режим слежения выключен. Если передаётся значение 1: автоматический режим слежения включён.	Нет ответа Чтобы получить текущее значение параметра, необходимо передать значение, отличное от 1 и 0.

По мнению автора, наличие команд управления без ответа снижает надёжность системы управления наноспутником, так как может привести к рассинхронизации параметров управления.

Подробная спецификация команд для нанокамеры и форматы данных согласовываются с заказчиком до поставки. Функции, указанные ниже, являются примерами опций, предусмотренных для заказчика:

- получение разрешения изображения;
- получение цветового режима;
- передача изображения в виде миниатюр;
- передача полного изображения;
- передача стандартного изображения в памяти нанокамеры;
- преобразование цветового пространства;
- сжатие JPEG;
- получение информации от датчика температуры;
- получение информации об использовании памяти;
- получение информации о списке сохранённых изображений.

В общем, можно заключить, что покупка готового решения или интегрированного модуля с ПО – это приобретение «чёрного ящика» с ограниченными возможностями и иногда с устаревшей элементной базой [2].

По мнению автора, целесообразно проектировать собственные модули, возможно на основе покупных коммерческих элементов, а также использовать спецификации отечественных разработчиков, например, ООО «Спутникс» [3].

Библиографический список

- 1 GomSpace [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gomspace.com/>, свободный.
- 2 Саечников, В.А. Разработка базового модуля бортовых систем университетского наноспутника [Текст]/ В.А. Саечников, А.А. Спиридонов // Гелиографические исследования. – 2014. – №8. – С. 6-9.
- 3 ООО «Спутникс» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sputnix.ru/>, свободный.