

Некоторые вопросы реализации концепции интернета вещей на основе сверхмалых космических аппаратов

С.Д.Ивлев

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
serejaivlev@gmail.com

Д.Ю.Полукаров

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
plkw@mail.ru

Аннотация — Рассмотрены вопросы построения спутниковой сети для целей интернета вещей с применением новейших технологий миниатюризации в разработке космических аппаратов. Проведены предварительные расчеты, описаны принципы передачи данных, требования к космической и наземной системам, а также критически значимые параметры космических аппаратов.

Ключевые слова — интернет вещей, телекоммуникация, радиопередача, космический аппарат, группировка космических аппаратов

I. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наблюдается сильно выраженная тенденция перехода к созданию крупных группировок космических аппаратов. Крупные, многотонные космические аппараты, традиционные применяемые для предоставления услуг связи имеют высокую стоимость, ограниченное покрытие площади, а также дороги в запуске, так как одним ракетоносителем выводится на орбиту не более трёх крупных аппаратов. Для решения данной проблемы всё чаще предлагают использовать глобальные спутниковые группировки. В отличие от традиционного подхода, такие группировки включают в себя не до десятка спутников, а от многих сотен до несколько десятков тысяч самостоятельно действующих космических аппаратов, размещенные на низкой околоземной орбите. В последнее время активно развиваются и прорабатываются такие системы, как Starlink[1], OneWeb[2], Kuiper[3]. Такие проекты направлены на предоставление пользователям широкополосного доступа в интернет на комфортной скорости, при этом пользователи не являются привязанными к инфраструктуре – пользовательские терминалы можно устанавливать как в отдаленных или труднодоступных регионах, так и при необходимости в мобильности. Существуют и другие направления космической телекоммуникации – сеть Iridium предназначена для передачи телефонных сигналов и данных с удаленных и недоступных мест. В отличие от широкополосного доступа в интернет, аппаратуру для сбора данных с наземных малых терминалов возможно разместить даже на сверхмалом космическом аппарате. 27 июня с космодрома Восточный был осуществлён запуск шести спутников формата TinySat, имеющий размер 5x5x5см, и предназначенный для целей проверки и тестирования новой платформы. В дальнейшем статья посвящена возможности организации сети на основе большого числа аппаратов такого класса.

Космические аппараты сверхмалого класса в большинстве случаев являются попутной полезной нагрузкой. Чаще всего это приводит к тому, что у

разработчиков спутников нет возможности выбора целевой орбиты спутника.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ

Сеть передачи данных должна позволять использовать в качестве наземных терминалов миниатюрные модули, а также пакет поддержки, который позволит пользователям как легко интегрировать готовое решение в свое устройство, так и разработать собственный терминал и подключить его к сети.

Сеть не обязана предоставлять высокую скорость передачи данных для конечных пользователей. Пусть существуют два типа пользователей: с малым количеством информации, достаточным для мониторинга, и более частой передачей, для получения динамического изменения данных. Определим для первой группы пользователей пакет данных в 256 байт раз в час, а для второй – 256 байт раз в 5 минут. Пусть сеть состоит из 100 тыс. абонентов, из которых 80 тыс. являются абонентами 1-й группы, а 20 тыс. – второй. Тогда средняя необходимая пропускная способность W составит

$$W = \sum_{i=1}^{n=2} \frac{n_i * l_i}{t_i} = 22757 \text{ Б/с}, \quad (1)$$

где n – кол-во абонентов, l – длина пакета в байтах, t – период в секундах.

Сеть должна строиться на основе малых спутников, запускаемых в качестве попутной полезной нагрузки.

Сеть должна использовать радиочастоты, принятые для свободного гражданского оборота в большинстве стран мира.

Сеть допускает не мгновенную пересылку сообщений на сервер. Ввиду ограниченности наземной архитектуры и неопределенного расположения аппаратов на орбите, не всегда обеспечивается прямая видимость между терминалом-спутником-сервером. Однако максимальная задержка должна быть установлена в пределах не более одного часа.

Бортовое радиоэлектронное оборудование должно располагаться внутри космической платформы TinySat размером не более 5x5x10 см.

III. ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ

Для условий полярной орбиты высотой 500 км и максимального времени задержки в 1 час был построен график зависимости необходимого числа орбитальных плоскостей от угла апертуры приёмной антенны.

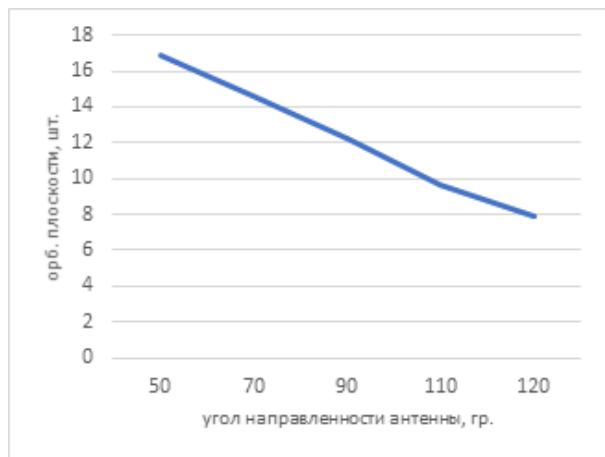


Рис. 1 — Количество орбитальных плоскостей в зависимости от направленности антенны

Минимальное количество плоскостей составляет 8, и достигается при угле направленности антенны 120°, эти параметры были взяты для дальнейших расчетов. В каждой из орбитальных плоскостей планируется разместить три спутника с резервом еще в один.

Для применения в сети планируется использовать безлицензионный диапазон 435-438 МГц, предназначенный для организации радиосвязи с космическими аппаратами. Ввиду специфичных требований к системе для пользовательской системы следует сделать выбор технологии модуляции LoRa, предоставляющей возможность передавать на большие расстояния и с большой надежностью небольшие объёмы данных[4]. Из-за необходимости осуществлять приём сразу с нескольких пользовательских станций необходимо использовать многоканальный приёмник. К примеру, E549V04A предоставляет нужные функции, и в режиме приёма потребляет 300 мВт в режиме трехканального приёма. При этом, задача компенсации доплеровского смещения лежит на наземном терминале, поскольку приёмная аппаратура спутника не может подстраиваться сразу под несколько абонентов в разных местах.

Объём бортового хранилища необходимо определить исходя из пропускной способности сети за один час работы, как максимальное время нахождения пакета в буферизованном состоянии, в расчете на один спутник группировки. Учитывая неравномерность загрузки и расположения на орбите спутников, примем коэффициент запаса равным трём:

$$S = \frac{W * T}{N} * 3 = 3337 \text{ кБ}, \quad (2)$$

где W – пропускная способность, Б/с; N – кол-во спутников; T – предельное время доставки, с.

Для передачи полученных данных на сервер спутник необходимо укомплектовать высокоскоростным передатчиком. Приняв среднее время пролёта спутника над станцией в 10 минут, а объём хранилища 333 кБ, необходимая средняя скорость составляет 6 кБ/с. Для таких параметров уместно использовать радиопередатчик частотой 2.4 ГГц и технологию модуляции FLRC, которая является компромиссом[5] для систем, требующих передачи значительного объёма данных на большие расстояния. При среднем потреблении подобных систем спутников CubeSat в 10 Вт[6] получим потребление энергии 6000 Вт*с потребления, что вместе с потреблением приёмной системы требуют средневитковую мощность около 2.5 Вт при условии нахождения на солнце 60% времени, и, в

случае применения ячейки литий ионного аккумулятора, его ёмкость должна быть не менее 550 мАч, не считая потребления прочих систем.

Пользовательскую станцию следует изготовить из коммерчески доступных интегрированных трансиверов, например, E22-400M30S, основанный на микросхеме SX1262 и выходной мощностью до 1 Вт. Радиомодуль необходимо укомплектовать микроконтроллером, осуществляющим компенсацию доплеровского смещения и авторизацию в сети.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной статье описаны различные вопросы построения спутниковой сети на основе малых космических аппаратов. С высокой вероятностью можно сказать, что ввиду дальнейшего развития области микроэлектроники и приборостроения, в ближайшем будущем возможно построение сети, предназначенной для целей интернета вещей. Такая система будет предназначена не для работы с крупными городами, где действуют наземные сети приёма данных, например LoraWAN[7], а для мониторинга двигающихся или отдаленных объектов – например приземлившихся аэростатов, грузовиков, кораблей. Такая система сможет создать конкуренцию компаниям, уже предоставляющим такие услуги, как Iridium и Fossa Systems.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Starlink [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.starlink.com/> (14.11.2023)
- [2] Eutelsat OneWeb [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://oneweb.net/> (14.11.2023)
- [3] Project Kuiper [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.aboutamazon.com/what-we-do/devices-services/project-kuiper> (14.11.2023)
- [4] AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.frugalprototype.com/wp-content/uploads/2016/08/an1200.22.pdf> (14.11.2023)
- [5] High range with LoRa® on worldwide 2.4 GHz band [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://wireless-solutions.de/blog/2020/07/24/im282a-high-range-with-lora-on-worldwide-2-4-ghz-band/> (14.11.2023)
- [6] Endurosat S-band-transmitter [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.endurosat.com/cubesat-store/cubesat-communication-modules/s-band-transmitter/> (14.11.2023)
- [7] Lora Alliance [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://lora-alliance.org/> (14.11.2023)