

СПУТНИКОВАЯ НИЗКООРБИТАЛЬНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

**¹Ильченко М.Е., ¹Нарытник Т.Н.,
²Присяжный В.И., ²Капштык С.В., ³Матвиенко С.А.**

*¹Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»
²Национальный центр управления и испытания космических средств
Государственное космическое агентство Украины
³Научно-производственный комплекс «Курс»*

Satellite LEO computing network of the internet of things

The issues of development of a LEO Telecommunications Satellite System for the Internet of Things Services are considered. To build a Satellite Telecommunications System, the Architecture of a “Distributed Satellite” was chosen, which allows the use of Nanosatellite / CubSat form factor spacecraft. The implementation of the “Fog Computing” and “Edge Computing” concept for processing of Internet of Things unit information is a promising direction in the development of Telecommunications Systems designed for the Internet of Things. It was proposed to include into each “Distributed Satellite” a separate Satellite-Computer, and to develop the Orbital Distributed Computer Network on the basis of Satellite-Computers.

Рассмотрены вопросы построения низкоорбитальной телекоммуникационной спутниковой системы для предоставления услуг Интернета Вещей. Для построения спутниковой телекоммуникационной системы выбрана архитектура «распределенного спутника», которая позволяет применять космические аппараты форм-фактора нано-спутник/куб-сат. Перспективным направлением развития телекоммуникационных систем, предназначенных для Интернета Вещей, является реализация концепции «туманных вычислений» и «граничных вычислений» для обработки информации устройств Интернета Вещей. Предложено включение в состав каждого «распределенного спутника» отдельно спутника-вычислителя, и построение на основе спутников-вычислителей орбитальной распределенной вычислительной сети.

Введение. По прогнозам экспертов, в 2020 году Интернет вещей (IoT) станет основой инфраструктуры практически во всех областях деятельности [1]. Ожидается, что в 2022 году объем мирового рынка IoT и связанных с ним технологий достигнет 1,2трлн. дол. США с средним ростом 13,6% [2]. В 2023 году количество подключений устройств IoT к сотовым сетям составит 3,5 млрд. [2]. Развитие IoT неразрывно связано с ростом спроса на пропускную способность телекоммуникационных систем. Сегмент малых космических аппаратов все более привлекает внимание разработчиков спутниковых систем связи. В ближайшие десять лет ожидается запуск 2800 нано/микро-спутников (массой 1-50 кг) [3]. В

2019 году прогнозируется, что количество запущенных космических аппаратов в этом сегменте рынка составит 294÷393.

«Туманные» и «граничные вычисления» рассматриваются как метод повышения эффективности систем IoT [4]. В этом случае обработка информации осуществляется на нижних и промежуточных иерархических уровнях информационной системы. Это позволяет оптимизировать трафика устройств IoT в системе связи. При «туманных» и «граничных вычислениях» на верхние уровни передаются результаты обработки информации, что сокращает объем и повышает «ценность» этой информации. Система связи, поддерживающая концепцию «туманных» и «граничных вычислений», должна обладать вычислительными мощностями для обработки информации IoT, расположенными ближе к границе сети.

Низкоорбитальная (LEO) система спутниковой связи для IoT должна учитывать эти особенности, т.е. предоставить вычислительные мощности для «туманных» и «граничных вычислений». В LEO системе спутниковой связи, на основе архитектуры «распределенного спутника» (см.рис.1) [5], размещение вычислительных мощностей решается включением спутника-вычислителя в состав «распределенного спутника».

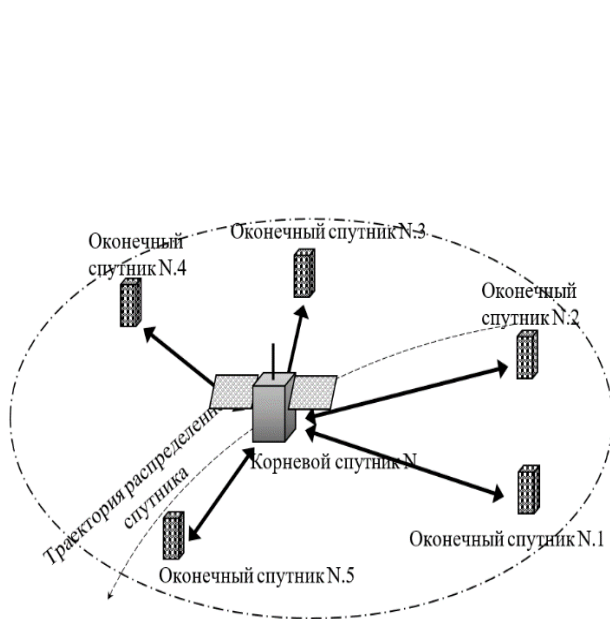


Рис.1 Архитектура «распределенного спутника». Централизованная конфигурация.

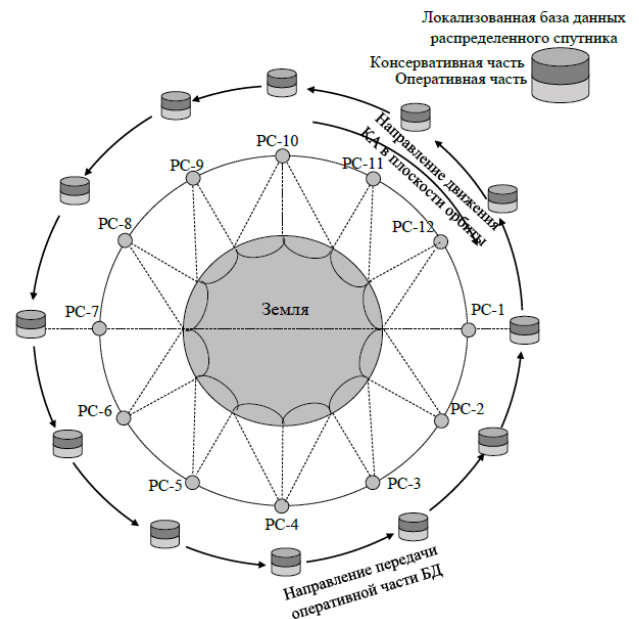


Рис.2. Распределенная база данных одной орбитальной плоскости низкоорбитальной системы IoT.

Спутник-вычислитель построен на платформе куб-сата. Его полезной нагрузкой является вычислительный модуль. Архитектура «распределенного спутника» позволяет перенаправить мощность бортовой системы энергоснабжения на полезную нагрузку – вычислительный модуль.

Вычислительный модуль куб-сата оборудован собственным процессором и памятью. Производительность вычислительного ядра модуля (вычислительная мощность) определяется на основе компромисса между следующими показателями:

- массово-габаритные показатели, потребляемая мощность, тепловыделение;
- количество устройств IoT в зоне обслуживания «распределенного спутника», объем и особенности трафика;
- сложность алгоритмов обработки информации IoT, объем программного обеспечения, ограничения по времени обработки информации IoT.

Спутники-вычислители формируют на орбите распределенную вычислительную сеть IoT. Устройства IoT на поверхности Земли используют спутник-вычислитель «распределенного спутника», предоставляющего услуги в районе нахождения устройства IoT в данный момент времени.

В памяти вычислительного модуля спутника-вычислителя хранится база данных, содержащая следующую информацию:

- данные по устройствам IoT (MAC и IP адреса, тип и метод адресации, конструктивные константы и коэффициенты), координаты устройств IoT (для стационарных устройств) и районы для мобильных устройств IoT, прочие данные;
- программное обеспечение IoT;
- результаты обработки информации IoT в реальном масштабе времени;
- прочая информация.

База данных учитывает локализацию устройств IoT на поверхности Земли, состоит из совокупности локализованных баз данных и делится на две части: консервативная и оперативная часть. Консервативная часть содержит информацию с длительным сроком хранения, актуальность которой превышает орбитальный период. Оперативная часть содержит результаты обработки информации IoT в режиме реального времени.

В LEO спутниковых системах, в зависимости от угла места антенны земной станции и высоты орбиты время «видимости» спутника составляет от единиц до 15-20 минут. После этого спутник «выходит» из зоны видимости земной станции и в зону видимости «входит» следующий спутник. Для обеспечения непрерывности обслуживания устройств IoT необходимо обеспечить передачу результатов предыдущих операций от «уходящего» к «приходящему» спутнику-вычислителю, т.е. локализовать оперативную часть базы данных. Для локализации базы данных «распределенные спутники» по линиям связи между спутниками производят передачу/обмен информацией о результатах обработки текущих запросов от устройств IoT в привязке к месту их размещения. На рис.2 показана

схема передачи информации в одной орбитальной плоскости для поддержания локализованной базы данных. Как видно из рис.2, информация передается в направлении, противоположном направлению движения спутников в орбитальной плоскости.

Важным достоинством распределенных вычислительных сетей является способность оперативно наращивать вычислительные мощности при возникновении пиковых нагрузок за счет перераспределения вычислительной нагрузки на не загруженные вычислительные модули. Орбитальная распределенная вычислительная сеть использует это свойство для предоставления услуг в районах с высокой плотностью устройств IoT. Когда нагрузка на спутник-вычислитель приближается к предельной, ее часть передается на спутники-вычислители других «распределенных спутников». Перераспределение вычислительной нагрузки производится с учетом особенностей трафика устройств IoT.

Выводы.

1. Спутниковая орбитальная распределенная вычислительная сеть является составной частью низкоорбитальной спутниковой системы связи для предоставления услуг IoT, отражающая особенности IoT и реализующая концепции «туманных вычислений» и «граничных вычислений».

2. Архитектура «распределенного спутника» позволяет оперативно наращивать вычислительные возможности космического сегмента системы и обеспечивать перераспределение вычислительной нагрузки, что позволяет использовать вычислительные средства с ограниченной вычислительной производительностью, и тем самым снизить стоимость таких устройств.

Литература

1. Никитин А.А. Интернет вещей – один из глобальных трендов //Электросвязь– 2018 - №1. с.30-39. Электросвязь [Электронный ресурс]: Научно-технический журнал .— М. : ИНФО-ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ, 1933 .— 2018 .— №1 .— 80 с. : ил. — Режим доступа: <https://rucont.ru/efd/606018>
2. 2018 Roundup of Internet of Things. Forecasts and Market Estimates / Louis Columbus / <https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2018/12/13/2018-roundup-of-internet-of-things-forecasts-and-market-estimates/#4537a2537d83>
3. 2800 microsattellites to launch over next five years: SpaceWorks// <http://satelliteprome.com/news/2800-microsatellites-to-launch-over-next-five-years-spaceworks/>
4. Профферансов Д.Ю., Сафонова И.Е. К вопросу о туманных вычислениях и интернете вещей // Образовательные ресурсы и технологии – 2017 - №4 (21) с.30-39.
5. Ильченко М.Е., Нарытник Т.Н., Рассомакин Б.М., Присяжный В.И., Капштык С.В. Создание архитектуры «распределенного спутника» для низкоорбитальных информационно-телекоммуникационных систем на основе группировки микро- и наноспутников // Авиационно-космическая техника и технология - 2018, № 2(146) с.33-43.