

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СПУТНИКОВОЙ СЕТИ КОММУТАЦИИ ПАКЕТОВ КЛАСТЕРНОГО ТИПА

Лабуткина Т.В., Саенко И.А.

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

*E-mail: tvlabut@ukr.net*

### **Simulation model of a satellite cluster type network of packet switching**

A simplified simulation model of a switching packets network of spacecrafts interacting clusters has been developed. A communication network of a hierarchical structure is modeled: an elementary structural unit is a cluster communication network; integrated structure is a communications network based on networks of cluster groups connected by communication lines between some spacecraft. When modeling, the types of cluster internal loads, network-wide loads and the loads of different users are different.

Все больше актуальных задач спутниковой связи, дистанционного зондирования Земли и наблюдения околоземного пространства требуют использования кластерных групп космических аппаратов [1-4]. В данной работе принято следующее определение кластера. Космические аппараты кластерной группы связаны решением общих функциональных задач, разбитых на подзадачи, реализуемые каждым из них. При организации функционирования кластера космических аппаратов он предполагается единой сложной системой. Для космических аппаратов кластера поддерживается их местоположение в относительно «компактной» группе. Управление кластером (централизованное или распределенное, в том числе – и на основе мультиагентных технологий) может быть автономным или полуавтономным. Между космическими аппаратами кластера поддерживаются коммуникации. Частный случай кластерной группировки космических аппаратов – «распределенные» космические аппараты [1,2]. Появляются проекты спутниковых систем на основе взаимодействующих кластерных группировок (при этом сети связи кластеров объединены в интегрированную сеть на основе коммуникаций между космическими аппаратами, входящими в различные кластеры). Перспективным вариантом сетей связи активно взаимодействующих космическими аппаратов являются сети с техникой коммутации пакетов. Для обеспечения начальных этапов анализа проектных решений по созданию систем взаимодействующих кластеров космических аппаратов разработана упрощенная имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов кластерного типа.

Предложенная имитационная модель реализует систему, для которой сохраняются следующие положения. Кластер космических аппаратов – элементарная структурная единица. Сеть связи кластера может быть создана на основе технологий «ненаправленной» или «направленной» связи. «Направленная» связь – программно-управляемые линии оптической связи или лучи фазированной антенной решетки. В общем случае космический аппарат устанавливает направленные линии с использованием устройств шести типов,

каждое из которых применимо в одном из секторов с осью симметрии, совпадающей с осью барицентрической орбитальной системы координат космического аппарата и развернутым в положительном или отрицательном направлении этой оси. Космический аппарат кластера поддерживает у себя глобальную информацию о текущем состоянии интегрированной сети (о топологии сети и о загруженности ее узлов). Топология сети рассчитывается на борту каждого космического аппарата на основе моделирования движения всех космических аппаратов взаимодействующих кластеров с использованием относительно несложных моделей орбитального движения. Обновляемая информация об эфемеридах передается в сеть и распространяется управляющими пакетами на основе волнового алгоритма. Альтернативным решением является обновление информации путем ее трансляции из специальной служебной системы (или сегмента единой системы) на основе технологий, аналогичных технологиям трансляции информации навигационных систем [5]. Накопитель узла разбит на уровни заполнения (объем накопителя и его уровни могут измеряться, например, в единицах измерения объема информации; объем одного уровня разбиения накопителя одинаков для всех узлов сети). При управлении функционированием сети учитывается информация о загруженности накопителя видами нагрузки различного типа (эти типы будут перечислены далее) и об общей загруженности накопителя. Потоки информации относительно загруженности узлов распространяются по сети волновым алгоритмом на основе высшего уровня приоритетности. Нагрузка, создаваемая потоком данных в накопителях узлов (в космических аппаратах) кластера, с точки зрения его включения в систему кластеров разбита на три вида. Во-первых, это внутрикластерная нагрузка. Во-вторых, это проходящая через кластер общесетевая нагрузка (управляющая нагрузка или нагрузка коммуникации кластеров через сеть). В-третьих, это потоки «чужой нагрузки» – «избыточной» внутрикластерной нагрузки близких кластеров (если сеть кластера перегружена, а нагрузка близких кластеров невысокая, часть его внутрикластерной нагрузки будет проходить через сети этих кластеров, станет для них «чужой нагрузкой»). Уровень приоритетности чужой нагрузки ниже других видов внутрикластерной нагрузки. Пакеты данных внутрикластерной нагрузки и пакеты общесетевой нагрузки разделены по уровням приоритетности (в том числе, выделяется нагрузка управления сетевыми процессами, нагрузка управления взаимодействием космических аппаратов одного или различных кластеров, нагрузка, создаваемая большими объемами информации невысокой текущей актуальности). Задаются правила назначения сквозной иерархии уровней приоритетности внутрикластерной и общесетевой нагрузок. Иерархическая система разбиения нагрузки по уровням приоритетности может включать в себя учет видов пользовательской нагрузки разного уровня приоритетности.

Моделируются кластерные системы, построенных на основе кластеров постоянного или скользящего состава. В том числе – сеть связи кольцеобразно объединенных групп кластеров в охватывающей их трубковидной зоне. Орбиты космических аппаратов охватывающая трубковидная зона прецессируют,

коррекция орбит по значению долготы восходящего узла обеспечивает поддержание орбит в трубковидной зоне. Частный случай – группировка кластеров скользящего состава в трубковидной зоне (космические аппараты относительно симметрично разнесены на нескольких орбитах разных высот, набегающее рассогласование из-за разности высот не корректируется, и космические аппараты «переходят» из одного кластера в другой). Также моделируются системы кластеров скользящего состава на основе спутниковых группировок глобально охвата земной поверхности в заданной области широт. В этом случае набегающие рассогласования по долготе восходящего узла и вдоль орбиты не корректируются. Космические аппараты «переходят» из одного кластера в другой. Представляемая имитационная модель спутниковой сети базируется на принципах имитационного моделирования нагрузки спутниковой сети коммутации пакетов, описанная в работе [6]. Изменение состояние загруженности узлов сети моделируется как процесс размножение и гибели (под состоянием загруженности узла понимается число заполненных уровней его накопителя). Изменения состояния заполнения накопителя в большую или меньшую сторону, вызванные каждым видом нагрузки, моделируется для узла независимо, но учитывается, что параметры потоков переходов узлов в состояние большей или меньшей загруженности, вызванные каждым видом нагрузки, зависят от общих характеристик сети, и это «сшивает» модель процесса переходов между состояниями.

#### Література

1. Капштик С.В. Низькорбітальна супутникова система ширококутового доступу для інтернету речей. / С.В. Капштик, М.Ю. Ільченко, Т.М. Наритник, В.І. Присяжний, С.А. Матвієнко // 18 Українська конференція з космічних досліджень, Київ, Україна, 17-20 вересня 2018. – С. 126.
2. Ільченко М.Е. Концепція створення архітектури «розподіленого супутника» для низькоорбітальних інформаційних і телекомунікаційних систем на основі групування мікро- і нано- супутників. / М.Е. Ільченко, Т.Н. Наритник, Б.М. Рассамкін, В.І. Присяжний, С.В. Капштык // Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій», 16-18 квітня 2018, Київ, Україна. – <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/131323>.
3. Саллогуб А.В. Интеллектуальная система распределенного управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов в задачах дистанционного зондирования Земли/ А.В. Саллогуб, П.О. Скобелев, Е.В. Симонова, М.Е. Степанов, А.А. Жилиев, // Информационно-управляющие системы, № 1, 2013. – С. 16-26.
4. Лабуткина Т.В. Сети космических аппаратов наблюдения Земли и околоземного пространства на основе взаимодействующих кластеров/ Т.В. Лабуткина, И.А. Саенко, Н.М. Сотничек, А.В. Дымченко// 18 Українська конференція з космічних досліджень, Київ, Україна, 17-20 вересня 2018. – С. 133.
5. Лабуткин Т.В. Концепция спутниковой сети коммутации пакетов с наземным, авиационным и космическим пользовательскими сегментами. / Т.В. Лабуткина, А.В. Бабанина, Н.М. Сотничек, И.А. Саенко, А.В. Дымченко // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 2017. – Т. XXII. – С. 66-84. ISSN 2524-0188 Print , ISSN 2524-0196 OnLine).
6. Лабуткина Т.В. Имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов с разновысотными орбитальными сегментами / Т.В. Лабуткина, В.А. Ларин, В.В. Беликов, А.В. Борщева, А.А. Тихонова, Д.И. Деревяшкин. // Науково-технічний журнал «Радіоелектронні і комп'ютерні системи». № 1 (75), 2016. С. 66-83.