

В. Н. Бойкачев², С. Б. Пичугин¹¹ ОАО «РКК «Энергия», ² АНО «НТИЦ «Техком»»

ПЕРСПЕКТИВЫ БОРТОВОЙ ПАКЕТНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Рассмотрена спутниковая низкоорбитальная система связи с межспутниковыми трактами. Указаны и проработаны проблемы доставки пакета при отказах спутников в сети.

Ключевые слова: низкоорбитальная спутниковая система, спутниковая система связи, бортовая пакетная маршрутизация, межспутниковый тракт, коммутационный элемент, головной бит пакета, ячеистая сфера.

Введение

В настоящее время, с одной стороны, все более возрастает потребность в обеспечении абонентов не просто речевой, а мультимедийной связью, причем в любой точке земного шара, а порой и на околоземных орбитах. При этом такие абоненты могут быть не только фиксированными, но и высокоскоростными мобильными. С другой стороны, в ближайшей перспективе возможности технического развития, в том числе космических технологий, вполне способны обеспечить потребности высокоскоростных мобильных абонентов в мультимедийной связи независимо от того, где находится абонент. Одним из аспектов обеспечения такой связи является маршрутизация пакетов мультимедийных сообщений в низкоорбитальных спутниковых сетях связи с межспутниковыми трактами. Рассмотрим основные черты таких сетей в сравнении с существующими аналогами.

Существующие аналоги

На сегодняшний день наиболее совершенным существующим аналогом – сетью связи на базе низкоорбитальных спутников – является сеть Иридиум. Ее спутники, несмотря на наличие межспутниковых трактов, не обеспечивают маршрутизацию абонентских сообщений на борту спутников. Соответственно, схематически связь ее абонентов проиллюстрирована на рис. 1.

Как следует из рис. 1, связь абонента сети Иридиум 1 или 5 возможна, если он и наземная станция 3 или 7 находятся в прямой видимости одного и того же спутника 2 или 6.

Вызывающий абонент 1 набирает номер вызываемого абонента 4 или 5 (фиксированного или мобильного) и через спутник 2 системы Иридиум транслирует номер вызываемого абонента наземной станции 3. Наземная станция 3 помимо

трансляции номера вызываемого абонента выполняет также функцию хранения данных о местонахождении абонента 1, чтобы установить связь в его направлении (обратный канал) через спутник над заданным районом. Канал в направлении вызываемого абонента 4 или 5 (прямой канал) устанавливается ею через наземную сеть связи, для чего используется номер вызываемого абонента. Когда произойдет смена спутника над заданным районом, станция 3 переключит связь с предыдущего спутника на сменивший его. На противоположной стороне либо абонент 4 возьмет трубку, либо наземная станция 7, обратившись к своей базе данных и найдя в ней номер вызываемого абонента, выдаст посылку вызова через спутник, проходящий

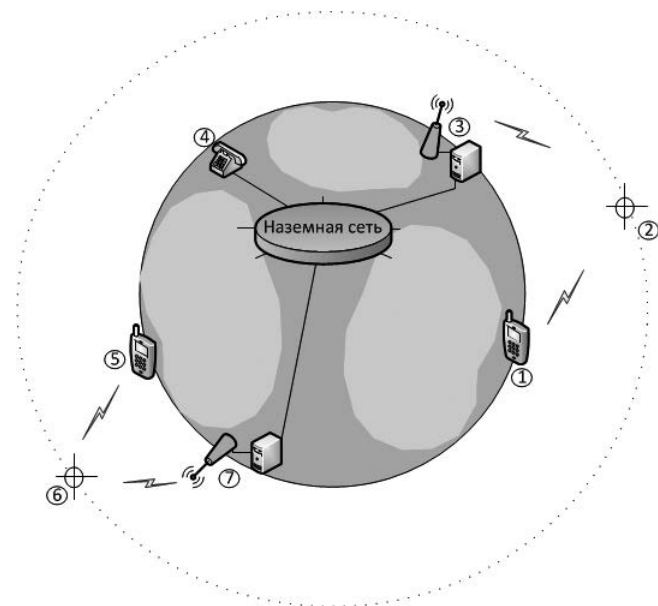


Рисунок 1. Установление соединения в сети без межспутниковых трактов (мобильный абонент – мобильный абонент либо мобильный абонент – фиксированный абонент)

над районом этого абонента. Вызываемый абонент ответит на вызов и соединение установится. При этом в разговоре помимо абонентов будут задействованы две наземные станции и наземная сеть связи.

Перспективный метод маршрутизации сообщений в низкоорбитальной сети

Перспективная сеть, в которой речь или данные абонента предполагается транслировать через межспутниковые тракты, предполагает иную схему работы, приводимую ниже. Разговор (обмен мультимедийными данными) в такой сети осуществляется в форме пакетов, а цикл разговора состоит из двух этапов: этап запроса разговора и этап разговора и последующего разъединения. Прохождение вызова на этапе запроса разговора показано на рис. 2.

При этом вызывающий абонент 1, зная только номер вызываемого абонента, а не его местонахождение, вынужден обратиться к наземной станции 2, которая сообщает ему данные о районе, в котором, по ее сведениям, располагается вызываемый абонент (номер района). Затем вызывающий абонент для вызова и разговора с вызываемым абонентом в заголовки своих пакетов копирует эти полученные данные о географическом местоположении вызываемого абонента. Пакет путешествует от отправителя к получателю по сети от одного спутника к другому, при этом решение, кому перенаправить пакет, каждый очередной спутник принимает на основе координатной информации, записанной в заголовке

пакета. Наземная станция, как можно предположить, обновляет данные о местоположении абонентов, основываясь на их уведомлениях, которые абоненты отсылают ей, перемещаясь от одного района к другому. Факт смены района абонентские станции определяют самостоятельно, на основе сигналов, принимаемых от спутников сети.

На втором этапе – этапе разговора и последующего разъединения – взаимодействие абонентов и сети с межспутниковыми трактами иллюстрируется на рис. 3.

Как видно из рис. 2 и 3, на этих этапах наземная сеть связи не задействуется.

Идея создания низкоорбитальной спутниковой сети, в которой каждый пакет сообщения коммутируется на борту спутника, изложен в [1] и [2]. В основу бортовой пакетной маршрутизации положен принцип так называемой «триггерной» коммутации.

Бортовой коммутатор спутника в такой системе строится на основе коммутационных элементов с двумя входами и двумя выходами каждый. Коммутационный элемент реагирует на состояние «0» или «1» головного бита входящего пакета и коммутирует соответственно оставшуюся часть пакета на одноименный или противоположный выход, как показано на рис. 4.

В обобщенном виде спутник такой системы можно представить в виде коммутатора с восемью приема-передающими входами, как показано на рис. 5.

Мультимедийный пакет абонента, попадая на один из восьми входов, проходит сквозь ряд

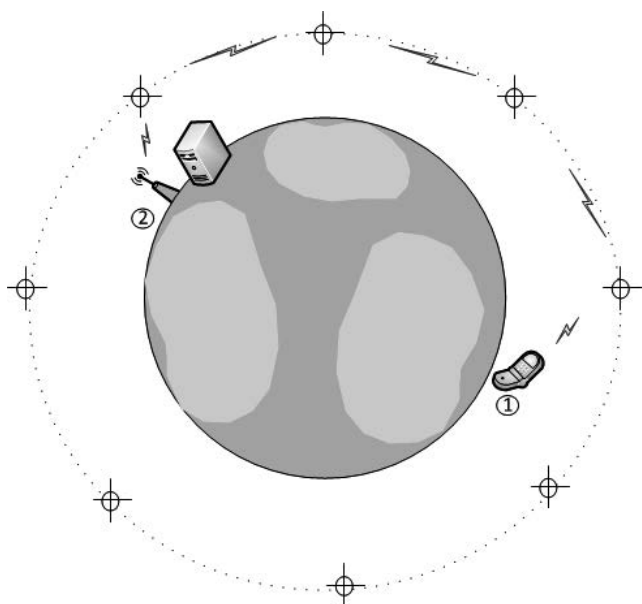


Рисунок 2. Общение вызывающего абонента и наземной станции в сети с межспутниковыми трактами на этапе запроса разговора

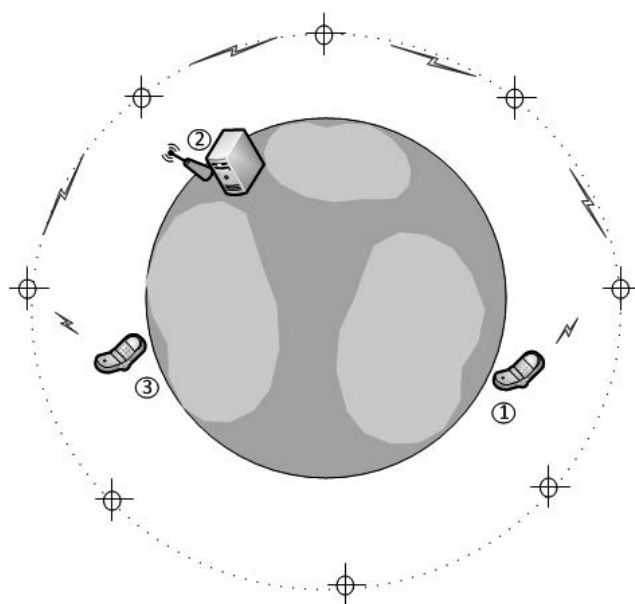


Рисунок 3. Общение вызывающего и вызываемого абонентов в сети с межспутниковыми трактами на этапе разговора

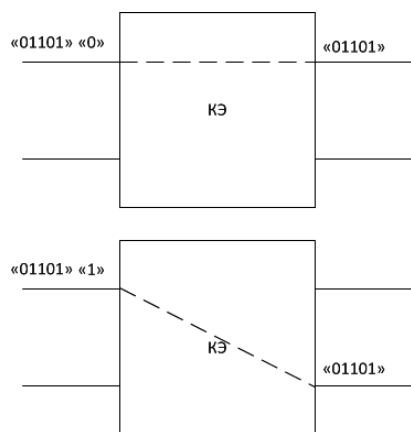


Рисунок 4. Схема работы коммутационного элемента

каскадов коммутатора, используя на каждом последующем каскаде очередной головной бит пакета. В конечном счете оставшаяся часть пакета оказывается на одном из восьми выходов коммутатора. Поэтому если тракт на соседний спутник сделал отказ или оказался перегружен, то такая схема коммутатора позволяет оперативно перенаправить соответствующие пакеты в обход.

Бортовые коммутаторы спутников, как указывалось ранее, общаются между собой через межспутниковые тракты, то есть через уже упомянутые входы и выходы. Спутники и их тракты формируют ячеистую сферу над земной поверхностью, структура которой приведена на рис. 6.

Как показывают расчеты, оптимальной является ячеистая структура сферы с гексагональным расположением в ней спутников. Именно такая структура приведена на данном рисунке. Достоинством такой структуры является оптимальный баланс между числом спутников и ее устойчивостью

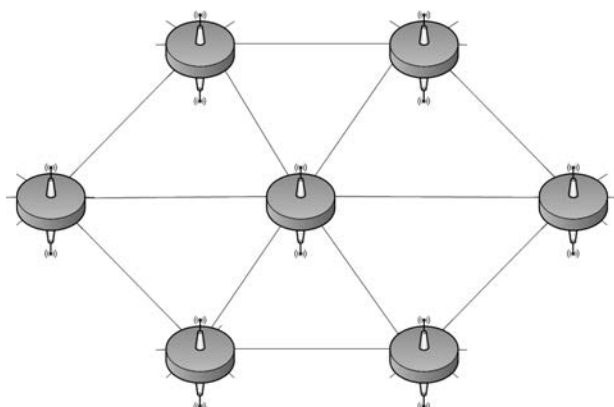


Рисунок 6. Распределение спутников в низкоорбитальной сети связи над земной поверхностью

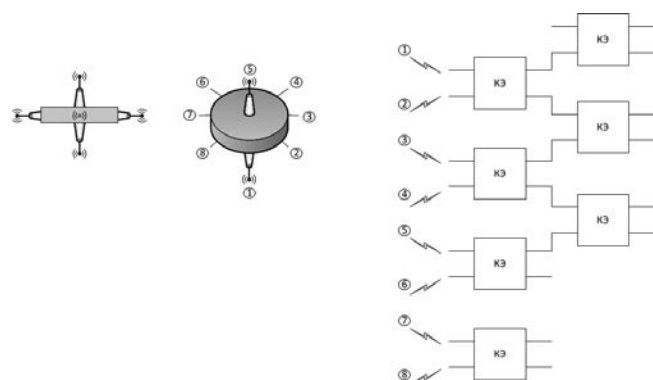


Рисунок 5. Схема построения бортового коммутатора спутника

к перегрузкам трактов и отказам бортовых коммутаторов. Такая сеть имеет возможность переориентировать в ней трассы пакета до тех пор, пока доля отказов в ней не достигнет весьма значительного порога, как показано на рис. 7.

Выводы

1. Назрела потребность в создании сети с возможностью обмена мультимедийными сообщениями в ней. На сегодняшнем этапе развития космической техники низкоорбитальная сеть связи с межспутниковыми трактами реализуема.
2. Структура сети предполагает создание ячеистой гексагональной сферы из спутников и трактов между ними.
3. Бортовой коммутатор спутника такой сети, построенный на базе коммутационных элементов, работающих по триггерному принципу, способен оперативно реагировать на отказы спутников и перегрузки трактов в сети.

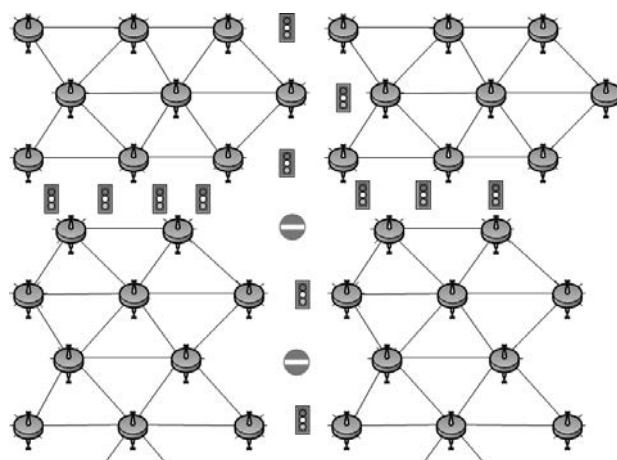


Рисунок 7. Отказы и перегрузки в сети с межспутниковыми трактами не приводят к полной потере связи в сети за счет обхода отказавших участков

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ № 2001532. Способ определения маршрута ретрансляции пакета сообщения и устройство для его осуществления / Пичугин С.Б., опубликовано 15.10.1993.
2. Патент РФ № 2097926. Спутниковый ретранслятор «Акса́й» / Пичугин С.Б., опубликовано 27.11.1997.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бойкачев Владислав Наумович, к.т.н., директор, АНО «НТИЦ Техком», Москва, Варшавское ш., д. 125, стр. 1, тел.: 8 (495) 777-06-24, e-mail: techcom.space@gmail.com.

Пичугин Сергей Борисович, к.т.н., ведущий научный сотрудник, ОАО «РКК «Энергия», Московская обл., Королев, ул. Грабина, д. 4, тел.: 8 (495) 513-66-19, e-mail: sergey.pichugin@rsce.ru.

*For citation: Radiopromyshlennost. – 2016. – № 3. – P. 71–74.
V. Boykachev, S. Pichugin*

PERSPECTIVES OF ON-BOARD PACKET ROUTING IN LOW-ORBIT COMMUNICATION NETWORKS

We have reviewed low-orbit satellite communication system with inter-satellite paths. The issues related to packet delivery arising from failures of the satellites in the network have been identified and analyzed.

Keywords: low-orbit satellite system, satellite communication system, on-board packet routing, inter-satellite path, communication element, head bit packet, mesh sphere.

REFERENCES

1. Patent RF № 2001532. Sposob opredeleniya marshruta retranslyatsii paketa soobshcheniya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [The method for determining the route relay the packet with the message and device for its realization] / Pichugin S. B., opublikovano 15.10.1993.
2. Patent RF № 2097926. Sputnikovyy retranslyator «Aksay» [Satellite retranslator «Aksay»] / Pichugin S. B., opublikovano 27.11.1997.

AUTHORS

Boykachev Vladislav, PhD, Director of Autonomous Non-Profit Society «Science and Techno Innovative Center «Techcom»», bldn.1, 125, Varshavskoye Shosse, Moscow, tel.: +7 (495) 777-06-24, e-mail: techcom.space@gmail.com.

Pichugin Sergey, Ph.D., Leading Scientist «Rocket and Space Corporation «Energia»», 4, Grabina str., Korolev, tel.: +7 (495) 513-66-19, e-mail: sergey.pichugin@rsce.ru.