

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МНОГОСПУТНИКОВЫХ СЕТЕВЫХ СИСТЕМ

д.т.н., проф. В.К. Волосюк, Е.С. Козелкова

Рассмотрены особенности функционирования и принципов построения многоспутниковых сетевых систем.

Введение. Организация сети передачи данных, с использованием спутниковых каналов связи, осуществляется при помощи динамического плана организации связи с учетом тестирования магистральной линии. На основе полученной информации формируются маршрутные таблицы по критерию минимизации транзитной ретрансляции. При этом на перегруженные участки сети выделяются дополнительные магистральные каналы за счет менее загруженных, с учетом распределения ресурса магистральных линий связи по критерию «кратчайшего» с минимальной загрузкой. Однако аналитический обзор литературы свидетельствует о недостаточной изученности вопроса, который определяет пути повышения эффективности многоспутниковых систем передачи информации (СПИ) и, прежде всего, многоспутниковых низкоорбитальных сетевых систем (МНСС).

Цель статьи. Провести исследования, связанные с принципом построения и особенностями функционирования многоспутниковых телекоммуникационных систем.

Решение задач оптимального построения сетей передачи данных зависит от состава и принципов построения орбитальной группировки и наземного комплекса. Поэтому, прежде всего, необходимо рассмотреть структурные элементы, входящие в состав многоспутниковой системы, и исследовать особенности ее функционирования.

Многоспутниковая система передачи информации включает основные элементы:

- орбитальную группировку космических аппаратов (КА) – узлов сети;
- наземный комплекс управления;
- аппаратуру абонентов сети.

Орбитальная группировка КА-узлов сети состоит из нескольких де-

сятков до нескольких сотен космических аппаратов, расположенных на круговых орбитах $700 \div 1500$ км в разных орбитальных плоскостях. При этом эта группировка является основным элементом сети и во многом определяет как ее эффективность, так и стоимость. Она характеризуется степенью покрытия обслуживаемого пространства, определяемой минимальным количеством одновременно наблюдаемых космических аппаратов в любой точке Земли, вероятностью k – связности P_k , т.е. наличием k путей между двумя абонентами, и коэффициентом оперативной готовности.

Каждый КА-узел сети оснащается одним или несколькими комплектами приемно-передающей аппаратуры и антенных систем, сетевым процессором, буферным запоминающим устройством. Выделяют 4 уровня функциональных возможностей спутников-ретрансляторов:

- КА-шлюз;
- КА-маршрутизатор;
- КА-мост;
- КА-коммутатор.

На наземный комплекс управления возлагаются такие основные задачи: контроль состояния, общего управления орбитальной группировкой, организация информационного обмена, коррекция орбит и реконфигурации системы, при обнаружении нарушений в режимах функционирования. При этом наземный комплекс управления представляет собой высокоорганизованную структуру, обеспечивающую контроль за динамично меняющейся топологией и состоянием всей многоспутниковой системы.

Он состоит из Центра управления сетью (ЦУС) и несколько территориально рассредоточенных командно-измерительных систем (КИС). На ЦУС возлагаются задачи анализа состояния сети и каждого отдельного КА-узла по телеметрической и баллистической информации, поступающей от КИС, выработка управляющих воздействий, и доведение этих воздействий через КИС до КА в виде разовых команд (РК) и временных программ (ВП).

Командно-измерительные системы проводят сеансы управления КА-узлами, в ходе которых осуществляется измерение параметров движения, съем телеметрической информации и закладка на борт КА-узлов РК и ВП.

Управление КА-узлами осуществляется как при их пролете в зоне видимости КИС, так и с ретрансляцией по межспутниковым каналам. Благодаря такой организации управления, наземный и бортовой комплексы объединяются в "интеллектуальную" сеть, обеспечивающую не-

прерывное и глобальное управление МНСС.

Абонентами сети являются стационарные и подвижные объекты, оснащенные соответствующей приемно-передающей аппаратурой и средствами обработки информации, которые владеют альманахом системы (т.е. информацией о местоположении КА-узлов и других абонентов сети) в любой момент времени.

В МНСС могут использоваться следующие методы передачи информации между абонентами:

- непосредственная ретрансляция сообщения получателю – в случае, если и источник информации, и получатель находятся в пределах зоны видимости одного КА-узла;

- связь через промежуточные наземные ретрансляционные станции, называемые базовыми, при которой каждое сообщение, поступившее в КА-узел, обязательно передается на базовую станцию, определяющую дальнейший маршрут следования сообщения;

- электронная почта (ретрансляция с переносом в запоминающее устройство КА). В данном случае сообщение принимается КА-узлом от источника информации, сохраняется в его запоминающем устройстве и сбрасывается потребителю во время пролета в зоне видимости;

- связь с использованием межспутниковых каналов.

В случае большого трафика целесообразна организация магистральных каналов. При этом резкое увеличение пропускной способности достигается путем пяти-шести кратного увеличения объема приемно-передающей аппаратуры на борту КА-узла, что в свою очередь приводит к необходимости устранения взаимного влияния магистральных каналов друг на друга, а также взаимных помех пакетов внутри магистральных каналов.

Особенности функционирования СС, прежде всего динамика и переменная топология сети, приводят при проектировании этих систем к ряду проблем, не характерных для обычных систем передачи информации (СПИ) и других сетевых систем. К ним относятся:

- реализация пакетной передачи информационных сообщений;
- организация множественного доступа абонентов к сети;
- определение маршрутов для передачи информации по сети;
- организация каналов по выбранному маршруту.

В системах со случайным множественным доступом возникает проблема взаимных помех при столкновении пакетов и разделении информации от различных источников. Она решается путем частотного, кодового и частотно-кодowego разделения каналов. В первом случае каждому радиоканалу выделяется своя несущая частота, во втором – свой код,

а в третьем и частота и код. При этом используют два варианта закрепления частот (кодов) за абонентами и узлами сети: за передатчиками и за приемниками. Каждый из этих вариантов имеет свои достоинства и недостатки, а окончательный выбор зависит от организационного построения сети.

Закрепление частот и кодов за передатчиками наилучшим образом удовлетворяет требованиям широкоэвещательной (циркулярной) передачи, поскольку излучаемый сигнал принимается и переизлучается всеми свободными узлами сети. При этом желательно иметь мощный передатчик и всенаправленную антенну. Существенным недостатком такого способа закрепления кодов является необходимость иметь большое число каналов обработки в каждом приемном устройстве, равное числу абонентов и узлов сети.

Закрепление частот и кодов за приемными устройствами позволяет значительно упростить аппаратную реализацию приемника, но требует знания каждым узлом альманаха сети и наличия направленных передающих антенн. Повышение универсальности в данном случае достигается присвоением каждому абоненту нескольких частот (кодов) для работы в различных режимах функционирования сети (мирное/военное время) и обеспечения приоритетности в обслуживании абонентов, а также выделения одной частоты (кода) всем абонентам и узлам для передачи циркулярных сообщений.

Определение маршрута для каждого пакета является сложной и ответственной операцией и может осуществляться либо бортовыми комплексами управления, либо наземным комплексом и абонентами. В первом случае каждый КА-узел должен знать альманах всей системы и иметь мощный вычислительный комплекс для прокладки маршрута и определения очередного узла ретрансляции. Достоинством такого способа является возможность гибкого реагирования на задержки, сбои и изменение топологии сети.

Если определение маршрута осуществляется наземными средствами, то преамбула содержит основной и запасной маршруты на все возможные сбои и отказы узлов, что значительно увеличивает объем преамбулы. Кроме того, каждому абоненту периодически должен доводиться обновленный альманах всей системы.

Организация канала по маршруту передачи информации может осуществляться двумя способами: путем коммутации каналов или путем коммутации пакетов.

Первый способ состоит в создании канала "от конца до конца", с последующей передачей сообщения по всему маршруту без разбиения

на пакеты. Недостатком такого способа является невозможность использования задействованных КА-узлов другими абонентами, как во время прокладки маршрута, так и во время передачи сообщения, а высокая динамика топологии сети быстро разрушает построенный канал.

Коммутация пакетов имеет две основные разновидности:

- коммутация пакетов, при которой отдельные пакеты по сети передаются независимо по различным путям и "сшиваются" в сообщение непосредственно у абонента - получателя информации;
- коммутация виртуальных каналов, при которой все пакеты одного сообщения достигают получателя по одному маршруту, определяемому на этапе установления виртуального канала.

Принципиальное отличие коммутации каналов от коммутации виртуальных каналов заключается в следующем:

- в первом случае канал недоступен для других абонентов, даже если в некоторый момент времени по нему ничего не передается,
- во втором случае имеет место статистическое разделение каналов или по одному виртуальному каналу, или по отдельным его участкам могут передаваться информационные пакеты различных абонентов.

Коммутация пакетов обладает рядом достоинств. Это эффективное использование пропускной способности сети, высокие надежность и живучесть, связанные с возможностью использования альтернативных маршрутов при выходе из строя отдельных узлов сети или столкновении пакетов. Однако реализация преимуществ этого метода достигается только при соответствующем управлении информационными потоками, которое позволяет обеспечить оптимизацию маршрутов и равномерное распределение нагрузки на сеть.

В целом низкоорбитальные сетевые системы передачи информации характеризуются значительно более высокой сложностью и уровнем организации, чем существующие космические системы передачи информации, использующие спутники-ретрансляторы на геостационарных и высокоэллиптических орбитах.

Основными особенностями МНСС, существующими с точки зрения их анализа и синтеза, являются:

1. Сложность структуры сети. Информация передается пакетами через спутники – узлы сети. Радиоканалы между источниками информации и КА-узлом, между КА-узлами и между КА-узлом и потребителем информации сами представляют собой сложные СПИ;

2. Динамичность топологии сети, поэтому бесспорные достоинства низкоорбитальной сети имеют и обратную сторону:

- сложность маршрутизации;

- большая чувствительность состояния к воздействию помех;
 - наличие доплеровских смещений несущих частот;
3. Наличие внутрисистемных помех, обусловленных одновременной работой средств в одном диапазоне частот;
 4. Необходимость распределенного комплекса управления системой, имеющего наземный и бортовой сегменты, а также резервирование информационного ресурса радиоканалов для передачи сигналов управления бортовой аппаратурой спутников-ретрансляторов.

Вывод. Сложность процессов, происходящих в сетевых спутниковых системах, и высокая стоимость их реализации приводят к тому, что эвристические подходы при проектировании таких систем оказываются неэффективными и широкое распространение получают методы математического моделирования. На моделях различного уровня могут быть исследованы процессы, происходящие как в отдельных каналах информации, так и в системе в целом. При этом первым этапом исследования является выбор и обоснование показателей эффективности функционирования многоспутниковых сетевых телекоммуникационных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ариков М.Н., Присяжнюк С.Н., Шарифов Р.А. *Контроль и управление в сетях передачи данных с коммутацией пакетов.* – Ташкент: ФАН, 1988. – 160 с.
2. Горностаев Ю.М., Соколов В.В., Невдяев Л.М. *Перспективные спутниковые системы связи.* – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 132 с.
3. Кравец В.Г., Любинский В.Е. *Основы управления космическими полетами.* – М.: Машиностроение, 1983. – 224 с.
4. Лаукс Я., Осокина Н.Н. *Теория телетрафика.* – Рига: Российский политехнический институт им. А.Я. Пльше, 1983. – 123 с.
5. Можяев Г.В. *Синтез орбитальных структур спутниковых систем.* – М.: Эко-трендз, 1998. – 216 с.

Поступила 12.11.2004

ВОЛОСЮК Валерий Константинович, доктор технических наук, профессор. Область научных интересов – дистанционные аэрокосмические исследования.

КОЗЕЛКОВА Екатерина Сергеевна, аспирантка Национального аэрокосмического университета «ХАИ». Область научных интересов – дистанционные аэрокосмические исследования.