

МОДЕЛИ КВИТИРОВАНИЯ И СИГНАЛЬНО - КODOVЫХ КОНСТРУКЦИЙ В МНОГОСПУТНИКОВЫХ СЕТЕВЫХ ПОТОКАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

к.т.н. С.В. Козелков, В.Ф. Столбов
(представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко)

Предлагается модель квитирования в МНСС информационного обмена.

Для повышения эффективности функционирования многоспутниковых низкоорбитальных сетевых систем (МНСС) необходима разработка перспективных вариантов построения сети с точки зрения достоверности и времени доставки сообщений. Основными характеристиками МНСС как и любой системы передачи информации являются вероятность ошибки одного бита информации $P_б$, а также время доставки сообщения $T_д$ от источника к потребителю, определяемые построением сети на физическом, канальном, сетевом и транспортном уровне. Вероятность ошибки одного бита информации зависит от вида и мощности помех и шумов в дискретных каналах межузловых радиолиний, вида и параметров сигнала и помехоустойчивого кода, способами их обработки в узлах и конечных пунктах, а также организацией квитирования между узлами и абонентами сети. Время доставки сообщения без учета столкновения пакетов и ожидания в очередях зависит от количества пакетов и их длительности, расстояния между узлами сети, вида квитирования и количества узлов, через которое проходят пакет и квитанции, а также от времени обработки пакета и квитанций в каждом узле.

Сложность и многомерность задачи выбора варианта построения сети не позволяет решить ее аналитическими методами, а оптимизация характеристик сети на каждом из уровней в отдельности не обеспечивает оптимальности системы в целом. Поэтому целесообразно объем выборки ограничить небольшим числом наиболее предпочтительных вариантов, а при окончательном выборе использовать такой подход, при котором достигается минимальное время доставки сообщения с заданной достоверностью при выполнении ограничений на сложность аппаратурной реализации:

$$T_д(s) = \min_{s \in S} T_д; P_б \leq P_{б доп}; C(s) \leq C_{доп},$$

где s - вектор, характеризующий вариант построения сети, принадлежащий множеству всех возможных вариантов S ; $C(s)$ и $C_{доп}$ - сложность реализации варианта и допустимая сложность соответственно.

Решение этой задачи состоит из следующей последовательности этапов анализа и синтеза:

- выбор типа сигнала для межузловых радиолиний на основе задач, решаемых системой, и анализа условий функционирования;
- определение вида помех, которые могут воздействовать на сиг-

нал и их параметров;

- определение характера ошибок, возникающих в дискретном канале при воздействии на сигнал помех;
- выбор схем помехоустойчивого кодирования, эффективно противодействующих этим ошибкам;
- выбор вариантов подтверждения и обратной связи;
- определение зависимостей целевой функции от параметров системы и помех для всех выбранных вариантов;
- окончательный выбор варианта построения сети, обеспечивающего максимальное значение целевой функции и выполнение всех ограничений.

При этом представляется целесообразным провести сравнительный анализ и выработать рекомендации по выбору сигналов для радиолинии космической сети. Сигналы радиоканалов МНСС должны удовлетворять следующим требованиям: обеспечение случайного множественного доступа абонентов и «КА-узлов» к абонентам и друг другу; унификация всей приемопередающей аппаратуры и работа в одном диапазоне частот; обеспечение идентификации абонентов и узлов; минимальный уровень взаимных помех; большой ансамбль сигналов; простота реализации устройств формирования, поиска и обработки сигналов; высокая защищенность радиолиний от преднамеренного помехового воздействия, имитации и несанкционированного доступа к информации.

Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяют сложные фазоманипулированные шумоподобные сигналы (ФМ ШПС) [1], формируемые на основе линейных и нелинейных псевдослучайных последовательностей [2]. При этом достижение большей части вышеперечисленных требований обеспечивается за счет кодового или частотно - кодового разделений радиоканалов с закреплением частот и кодов за приемниками. При выборе псевдослучайных последовательностей (ПСП) для формирования сложных сигналов необходимо учитывать следующие требования: *большой объем ансамбля* - для обеспечения каждого абонента и каждого узла сети одним или несколькими кодами; *оптимальные или близкие к ним авто- и взаимокорреляционные функции* - для обеспечения минимума взаимных помех; *высокая структурная скрытность* - для предотвращения несанкционированного доступа к информации и сети.

Первым двум требованиям могут удовлетворять линейные ПСП, например, последовательности Голда, а последнему требованию - только нелинейные последовательности.

В межузловых радиолиниях могут использоваться как двоичные, так и **M** - ичные сигналы, причем в последнем случае межузловая скорость передачи пакетов выше, но объем ансамбля сигналов увеличивается в **n** раз.

В двоичных каналах один символ информации, например "0", передается сигналом **S₀**, а второй символ, например, "1" - его инверсией. Тогда сигнал на выходе передатчика может быть представлен в виде

$$\mathbf{S}(t) = \mathbf{A} \cdot \dot{\mathbf{a}}(t) \cdot \mathbf{b}(t) \cdot \cos(2\pi ft + \Theta), \quad (1)$$

где **A** - амплитуда сигнала; **b(t)** - биполярная последовательность символов информации; **a(t)** - расширяющая спектр ПСП.

Сигнал (1) имеет значительно большую ширину спектра, чем необ-

ходимо для передачи информации, так как полоса частот сигнала $\mathbf{a}(t)$ значительно больше полосы сигнала $\mathbf{b}(t)$. Если форма импульсов сигналов $\mathbf{a}(t)$ и $\mathbf{b}(t)$ прямоугольна, то определяемый выражением (1) сигнал математически эквивалентен двоичной фазовой манипуляции (ФМн). Поэтому, несмотря на то, что сигнал (1) представлен в форме амплитудной модуляции, его относят к категории сигналов со спектром, расширенным путем двоичной ФМн при помощи ПСП.

Информационный сигнал $\mathbf{b}(t)$, состоящий из положительных и отрицательных прямоугольных импульсов, можно записать в виде:

$$\mathbf{b}(t) = \sum_n b_n p_t(t - nT),$$

где $p_t(t)$ - прямоугольный импульс длительностью T ; суммирование проходит по всем номерам n , относящимся ко всем двоичным сигналам пакета.

Двоичные информационные символы принадлежат последовательности $(b_n) = \dots, b_{-1}, b_0, b_1, b_2, \dots$. Двоичные числа b_n принимают значения $+1$ или -1 в зависимости от того, какой двоичный сигнал должен быть передан на n -й временной позиции. Расширяющий спектр сигнал также состоит из последовательности положительных и отрицательных импульсов

$$\mathbf{a}(t) = \sum_i a_i \psi(t - iT_c),$$

где $\psi(t)$ - прямоугольный импульс длительностью T_c ; $(a_i) = \dots, a_{-1}, a_0, a_1, a_2, \dots$ - псевдослучайная последовательность чисел, принимающих значения ± 1 .

В двоичных каналах в силу противоположности сигналов и любых их сегментов для передачи одного информационного символа может быть использовано любое число символов ПСП, меньшее или большее полного периода ПСП, если энергия такого сегмента обеспечивает требуемую помехоустойчивость. В M -ичных каналах для передачи каждого символа из алфавита $0, \dots, M-1$ используется свой сигнал: S_0, \dots, S_{M-1} . Для формирования этих сигналов подбираются M ортогональных или квазиортогональных последовательностей $\mathbf{a}_0(t), \dots, \mathbf{a}_{M-1}(t)$. Для квазиортогональных сигналов характерно наличие боковых пиков в автокорреляционных функциях, которые увеличиваются при уменьшении длины сегмента используемой ПСП. В связи с этим, для передачи одного информационного символа необходимо использовать не менее одного полного периода ПСП длиной 255 символов.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ и разработанные рекомендации по выбору сигналов для радиолинии космической сети позволили определить модели квитирования сигнально - кодовых конструкций многоспутниковых потоков передачи информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
2. Адресные системы управления и связи / Под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1993. – 384 с.

Поступила в редколлегию 22.10.2001