

УДК 623.624.9 DOI 10.30894/issn2409-0239.2020.7.4.51.55

Адаптация радиолинии КИС по скорости передачи информации в условиях помех

А. В. Круглов, *д. т. н., профессор, contact@spacecorp.ru*
АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

О. И. Хомов, *аспирант, contact@spacecorp.ru*
АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. В современных командно-измерительных системах широкое распространение получили фазоманипулированные сигналы, которые при относительно простых способах формирования обладают низким уровнем боковых лепестков автокорреляционной функции. Также в последние годы выполнен ряд исследований по реализации принципа построения командно-измерительных систем, основанного на адаптации алгоритмов обработки к свойствам полезных сигналов и помех.

На основании этого принципа разработан алгоритм адаптации радиолинии КИС, позволяющий производить выбор информационных каналов по результатам их анализа на различных скоростях и автоматически подключать выбранный канал, что является актуальной задачей для управления низкоорбитальными космическими аппаратами.

В статье предложена схема приемника с параллельным приемом нескольких информационных каналов с разной скоростью передачи информации. Проведенный анализ автокорреляционных и взаимокорреляционных функций позволил сделать вывод, что полученные данные не противоречат предположениям о возможности реализации адаптивного приемника с выбором информационного канала по скорости.

Показано, что применение такого приемного устройства с алгоритмом выбора и переключения информационных каналов по скорости приема обеспечивает значительный выигрыш по времени передачи информации в сравнении с традиционным приемом и переключением скоростей по командам в условиях сложной помеховой обстановки.

Ключевые слова: приемник, канал, радиолиния, помеха, сигнал

Adaptation of the CMS Radio Link According to the Information Rate in the Presence of Interference

A. V. Kruglov, *Dr. Sci. (Engineering), Prof., contact@spacecorp.ru*
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

O. I. Khomov, *postgraduate student, contact@spacecorp.ru*
Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

Abstract. In modern command and measurement systems (CMS), phase-shift keyed signals are widespread, which, with relatively simple methods of formation, have a low level of side lobes of the autocorrelation function (ACF). Also, in recent years, a number of studies have been carried out on the implementation of the principle of constructing the CMS, based on the adaptation of processing algorithms to the properties of useful signals and interference.

On the basis of this principle, an algorithm for adapting the CMS radio link has been developed, which makes it possible to analyze information channels at various speeds and automatically connect the selected channel, which is an urgent task for controlling low-orbit spacecraft.

The article proposes a receiver scheme with parallel reception of several information channels with different information transfer rates. The analysis of autocorrelation and cross-correlation functions made it possible to conclude that the data obtained do not contradict the assumptions about the possibility of implementing an adaptive receiver with the choice of an information channel in terms of speed.

It is shown that the use of such a receiving device with an algorithm for selecting and switching information channels according to the reception rate provides a significant gain in information transmission time in comparison with traditional reception and switching of speeds by commands in conditions of complex interference stop.

Keywords: receiver, channel, radio link, interference, signal

Введение

В настоящее время космические радиолинии подвержены воздействию различных типов помех. Воздействие большого количества помех может уменьшить скорость передачи информации и вызвать затруднения в приеме и выделении из сигнала информации радиоэлектронными средствами. Под действием помех радиосистемы перестают быть источником информации, несмотря на их исправность. Можно выделить несколько основных способов борьбы с помехами [1]:

- увеличение энергетического потенциала радиолинии (мощности передатчика, коэффициента усиления антенны);
- снижение уровня собственных шумов приемника;
- снижение уровня внешних помех на входе приемника за счет их компенсации;
- применение совместной обработки помехи и сигнала, основанной на определении различий между полезным сигналом и помехой;
- повышение отношения сигнал/помеха за счет использования помехоустойчивых методов модуляции и кодирования.

Развитие технических решений, обеспечивающих защиту от помех, идет в направлении комплексного применения указанных выше и других методов, однако реализация таких решений требует определенного усложнения аппаратуры.

Одночастотная гармоническая помеха вырезается в относительно узкой полосе частот, а полезная информация полностью восстанавливается по «неповрежденным» участкам спектра. Любая сосредоточенная в спектре помеха на выходе корреляционного приемника преобразуется с использованием псевдошумовых сигналов (ПШС) в широкополосную и эффективно подавляется.

Эффективность работы приемника в условиях помех зависит от выбора вида модуляции, кодирования и методов обработки сигнала в приемнике. Вопросы кодирования и перемежения символов являются самостоятельными направлениями исследований, поэтому остановимся подробнее лишь на проблемах приема выбранных сигналов в условиях помех.

В современных командно-измерительных системах (КИС) широкое распространение получили псевдошумовые сигналы (ПШС), которые при относительно простых способах формирования обладают низким уровнем боковых лепестков (УБЛ) автокорреляционной функции (АКФ). Также в последние годы выполнен ряд исследований по реализации принципа построения КИС, основанного на адаптации алгоритмов обработки к свойствам полезных сигналов и помех [2].

На основании этого принципа разработан алгоритм адаптации радиолинии КИС, позволяющий производить выбор информационных каналов по результатам их анализа на различных скоростях и автоматически подключать выбранный канал, что очень актуально для управления низкоорбитальных КА.

Современное развитие элементной базы и вычислительной техники с применением рекомендации CCSDS [3] (Consultative Committee for Space Data Systems — Консультативного комитета по космическим системам передачи данных) позволят улучшить и повысить помехоустойчивость и сократить время вхождения в связь в командных радиолиниях с ПШС.

Основные принципы работы адаптивного приемника с параллельным приемом нескольких информационных каналов с разной скоростью передачи информации

Как отмечается в [4], «для радиоканалов со сложными сигналами с расширением спектра характерно совместное действие шумовых и структурных помех. В многоканальных системах структурные помехи обусловлены взаимным влиянием каналов, объединяемых в одной радиолинии, а в многоспутниковых системах — взаимным влиянием межспутниковых радиоканалов, работающих в выделенном частотном диапазоне. Кроме того, на радиоканалы со сложными сигналами возможно воздействие преднамеренных структурных помех. Действие шумовых структурных помех является

наиболее сложным для оценки показателей помехоустойчивости передачи информации и синтеза оптимальной обработки принимаемых сигналов».

Помехоустойчивость приема сигнала для широкополосных сигналов (ШПС) определяется базой сигнала, равной отношению полосы информационного сигнала к полосе широкополосного сигнала.

Уровень помех на входе приемника может в несколько раз превышать полезный сигнал. Это может быть результатом действия как шумов естественного происхождения, преднамеренных помех, так и собственных шумов приемника. В связи с этим возникает необходимость создания надежных систем связи, которые могли бы с заданной вероятностью передавать информацию в условиях помех [5]. В качестве такой системы может быть использован корреляционный приемник на основе псевдослучайных последовательностей.

На практике при обнаружении сигнала используется последовательно-параллельная процедура обработки. На рис. 1 приведена структурная схема приемника, осуществляющего параллельный прием сигналов на разных информационных скоростях и автоматическое подключение нужного канала.

Рассмотрим принцип работы разрабатываемого приемника. На вход приемного тракта бортовой аппаратуры поступает командно-программная

информация (КПИ). Приемник осуществляет выбор сигнала на нескольких используемых информационных скоростях. Входная смесь сигнала и помехи $y(t)$ поступает в m параллельных рабочих каналов (рис. 1), каждый из них настроен на свою тактовую частоту приема.

Полученные отсчеты с корреляционных приемников поступают на схему выбора максимума (СВМ), где сравниваются с порогом. В результате сравнения выдается решение, какой из m сигналов был передан. Решение будет приниматься по максимальным уровням выходного сигнала в одном из выделяемых каналов. Блок подключения выбранного канала (БПК) автоматически подключает один из m -каналов с выбранной скоростью информации для выделения нужных нам данных.

Предложенный способ приема информации позволяет адаптировать линию по скорости передачи информации. Бортовой приемник анализирует все m -каналов и выбирает канал, на котором работает наземная станция. Факт приема сигнала отражается в квитационном сигнале.

На этом экономится время переключения скорости передачи командно-программной информации КПИ. Если КПИ на высокой скорости не принимается в БА, то НС переходит на более низкую скорость автоматически без команд.

Алгоритм выбора информационного канала

В радиолиниях КИС могут применяться различные скорости передачи КПИ, например 1 Кбит/с, 8 Кбит/с, 16 Кбит/с, 32 Кбит/с, 128 Кбит/с, 256 Кбит/с. Внешняя помеховая обстановка, которая воздействует на эту радиолинию КИС, требует оперативности к объему доставки информации на борт КА.

В качестве примера КПИ в табл. 1 представлена структура передаваемой информации в соответствии с рекомендациями CCSDS [6].

В соответствии с табл. 1 каждому блоку КПИ предшествует стартовая последовательность, которая передается на той же тактовой частоте, что и информация. По выделению стартовой последовательности можно судить о скорости передаваемой

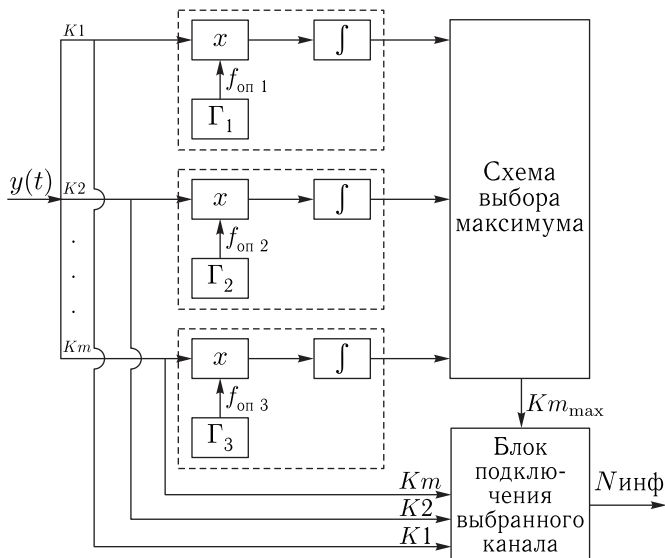


Рис. 1. Функциональная схема параллельного приема сигналов с разными информационными скоростями и автоматическим подключением нужного канала

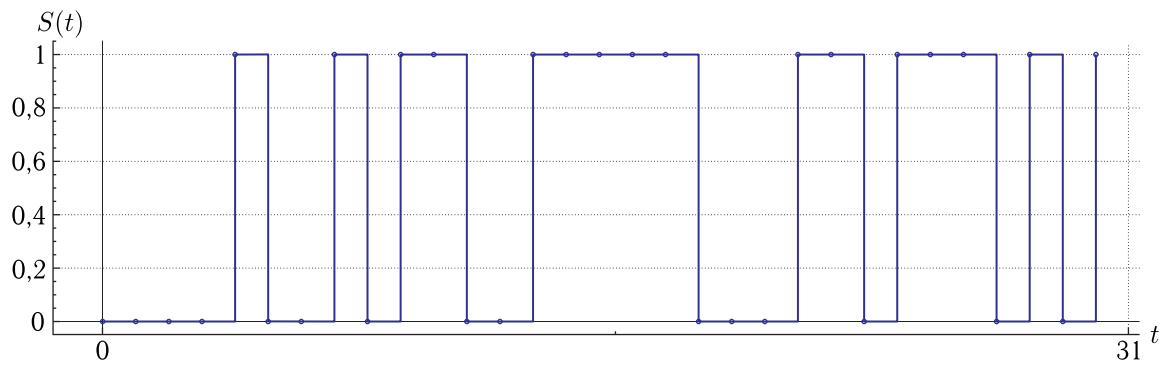
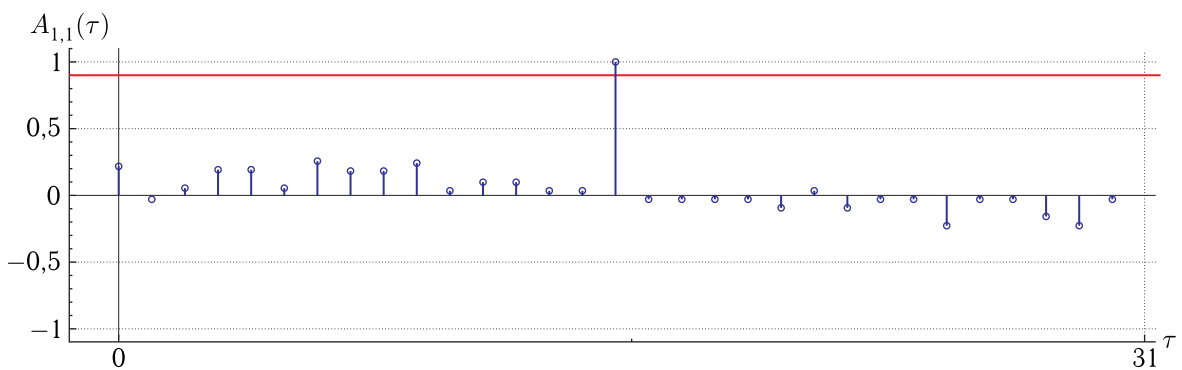
Рис. 2. M -последовательность

Рис. 3. Автокорреляционная функция для тактовой частоты 1 кГц в первом канале (К1)

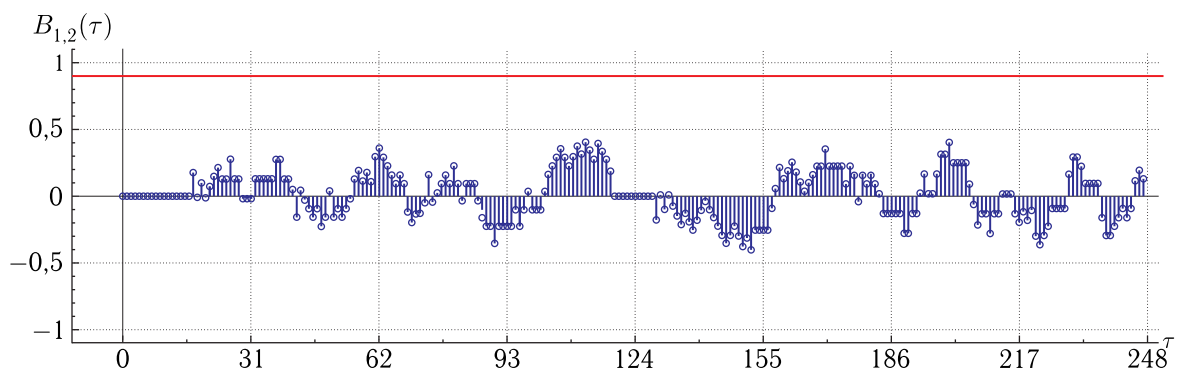


Рис. 4. Взаимокорреляционная функция для тактовой частоты 8 кГц во втором канале (К2)

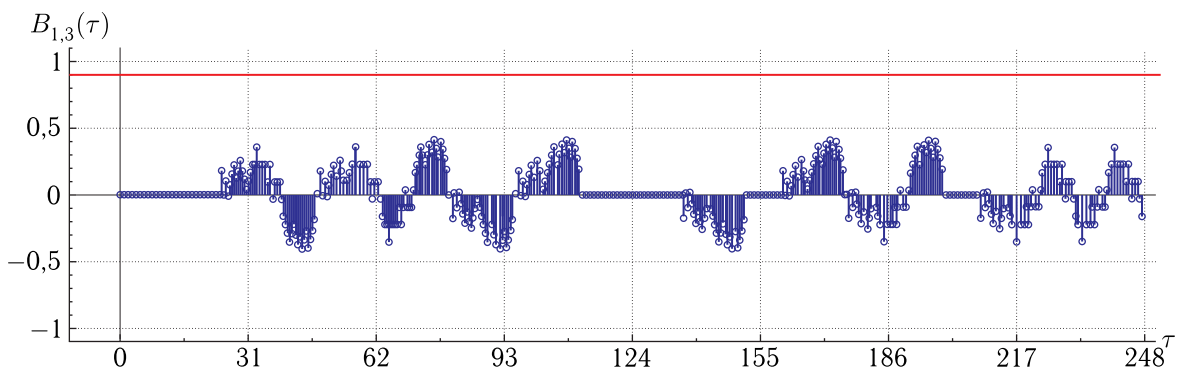


Рис. 5. Взаимокорреляционная функция для тактовой частоты 16 кГц в третьем канале (К3)

Таблица 1. Компоненты блока передачи информации

Блок передачи командного звена		
Стартовая последовательность	Закодированные данные	Завершающая последовательность
31 символ	Кодовый блок	Длина одного кодового блока

информации. В качестве примера выбрана стартовая последовательность, представляющая собой M -последовательность (рис. 2) с периодом $M = 2^5 - 1 = 31$ с соответствующим порождающим полиномом 5-й степени, которые приведены в табл. 2. Решение о выборе канала и, следовательно, скорости передачи информации можно сделать по выделению стартовой последовательности.

Таблица 2. M -последовательность

M -последовательность	Порождающий полином $h(x)$
0000100101100111110001101110101	$h(x) = x^5 + x^2 + 1$

С помощью программы, написанной на языке программирования C++, были рассчитаны и построены графики для корреляционных функций. Графики, полученные с помощью этой программы, представлены на рис. 2–5.

Анализ функций авто- и взаимокорреляции показывает, что максимальный уровень боковых лепестков АКФ-последовательности (рис. 3) не превышает уровня 0,3 относительно нормированного уровня 1. На рис. 4 и 5 показано, что выбросы взаимокорреляционных функций стартовой последовательности на скоростях 8 и 16 кГц не превышают величину 0,48 от нормированного значения, что даст возможность выделить канал с нужной скоростью передачи.

Заключение

Проведенный анализ автокорреляционных и взаимокорреляционных функций позволил сделать вывод, что полученные данные не противоречат предположениям о возможности реализации адап-

тивного приемника с выбором информационного канала по скорости.

Применение такого приемного устройства с возможностью адаптации радиолинии КИС к воздействию помех по скорости передачи информации в условиях помех обеспечивает значительный выигрыш по времени передачи информации в сравнении с традиционным приемом и переключением скоростей по командам.

Список литературы

1. Невдяев Л. CDMA: Борьба с помехами. Текст: электронный // Сети/Network world: электронный журнал. 2000. № 10. <https://www.osp.ru/nets/2000/10/141420> (Дата обращения 18.11.2020).
2. Формирование обобщенных данных. Экспериментальная спецификация CCSDS 551.1-0-1. Текст: электронный // Научные исследования и разработки в области стандартов космических систем связи. Оранжевая книга. 2015, вып. 1. 48 с. [https://public.ccsds.org/Pubs/551x101e1\(R\).pdf](https://public.ccsds.org/Pubs/551x101e1(R).pdf) (Дата обращения 18.11.2020).
3. Дронов А. Н., Леонов М. С., Круглов А. В. и др. Алгоритмы синтеза и обработки сигналов, обладающих свойством симметрии в спутниковых системах передачи информации // Цифровая обработка сигналов помехоустойчивых космических радиолиний. Модели, алгоритмы и технические средства. Сборник статей. М.: Радиотехника, 2007. 96 с.
4. Мальцев Г. Н., Травкин В. С. Оптимальный прием сложных фазоманипулированных сигналов в спутниковых радиоканалах в условиях внутрисистемных структурных помех // Информационно-управляющие системы, 2006, № 5 (24). С. 36–42.
5. Ларьков И. В. Исследование параметров корреляционного приемника псевдослучайных сигналов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XV Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 23–24 апреля 2015 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого; под общ. ред. А. А. Бойко. Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. С. 273–276.
6. Telecommand Part 1 Channel service. Recommendation for Space Data System Standards CCSDS 201.0-B-3. Текст: электронный // Blue Book. Washington, DC: CCSDS. 2000. 42 p. <https://public.ccsds.org/Pubs/201x0b3s.pdf> (Дата обращения 18.11.2020).