

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

УДК 621.391.8

DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-2-0-1

Белов С.П.¹
Белов А.С.²
Белов А.С.²
Корниенко С.В.²
Кузурман И.И.²

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К АДАПТИВНОМУ ИЗМЕНЕНИЮ УРОВНЕЙ СТРУКТУРНОЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СКРЫТНОСТИ СПУТНИКОВЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

¹) Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая, д. 116а, г. Белгород, 308023, Россия

²) Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: belovssergei@gmail.com, belov_as@bsu.edu.ru, belov_a@bsu.edu.ru, kornienkos89@mail.ru, kuzurman31@mail.ru

Аннотация

В настоящее время существует достаточно большое количество различных методов, использование которых позволяет в той или иной степени решить задачу обеспечения заданного уровня помехозащищенности спутниковых телекоммуникационных систем. В тоже время проведенный анализ показал, что наиболее перспективным методом, позволяющим реализовать требуемый уровень помехозащищенности указанных систем, с учетом изменения помеховой обстановки, является адаптивный метод.

В связи с этим в докладе наиболее детально рассмотрены особенности применения адаптивного метода изменения уровня структурной и энергетической скрытности указанных систем в различных условиях их функционирования, основанного на использовании специализированных процессоров.

Ключевые слова: степень защищенности передачи информации; спутниковые телекоммуникационные системы; энергетическая и структурная скрытность.

UDC 621.391.8

Belov S.P.¹
Belov A.S.²
Belov A.S.²
Kornienko S.V.²
Kuzurman I.I.²

ON ONE APPROACH TO ADAPTIVE CHANGE OF STRUCTURAL AND ENERGY SECURITY LEVELS OF SATELLITE TELECOMMUNICATION SYSTEMS

¹) Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod, 308023, Russia

²) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: belovssergei@gmail.com, belov_as@bsu.edu.ru, belov_a@bsu.edu.ru, kornienkos89@mail.ru, kuzurman31@mail.ru

Abstract

Currently, there are a fairly large number of different methods, the use of which allows to one degree or another to solve the problem of ensuring a given level of noise immunity of satellite telecommunication systems. At the same time, the analysis showed that the most promising method to implement the required level of noise immunity of these systems, taking into account changes in the noise environment, is the adaptive method.

In this regard, the report examined in more detail the features of using the adaptive method of changing the level of structural and energy secrecy of these systems in different conditions of their functioning, based on the use of specialized processors.

Keywords: degree of security of information transmission; satellite telecommunication systems; energy and structural secrecy.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития общества характеризуется непрерывным увеличением удаленного взаимодействия между абонентами и запросов пользователей о предоставлении различного вида мультисервисных услуг с требуемым качеством независимо от места их нахождения, который в настоящее время в основном реализуется на основе использования систем беспроводной связи, одним из видов которых являются спутниковые телекоммуникационные системы. Значимость этих систем для передачи информации между территориально распределенными абонентами существенно возросла после принятия соответствующих решений по освоению территорий Арктических широт.

Однако интенсивное увеличение количества различного вида технических устройств, используемых в последние годы для генерации различного типа преднамеренных помех в спутниковых каналах связи или несанкционированного доступа к передаваемой по ним информации создает значительные трудности для обеспечения удаленного информационного обмена между территориально распределенными абонентами с требуемым уровнем его помехозащищенности. Под помехозащищенностью, в общем случае, согласно [1], будем понимать совокупность помехоустойчивости, энергетической и структурной скрытности спутниковой телекоммуникационной системы, достаточных для обеспечения требуемого уровня достоверности информационного обмена в условиях случайных и преднамеренных помех, включая несанкционированный доступ к передаваемой информации.

В [1-6] показано, что для обеспечения требуемого уровня помехозащищенности, передаваемой по беспроводным каналам связи различного вида информации в условиях наличия в канале связи преднамеренных помех, а также несанкционированного доступа к ней необходимо использовать в качестве переносчиков информации комбинированные каналные сигналы с большой базой, под которой, согласно [1-3], понимается произведение эффективного значения длительности сигнала на эффективное значение ширины его спектра. В математическом виде указанная величина может быть представлена следующим образом:

$$B = T_c \cdot \Delta F \quad (1)$$

где T_c – эффективное значение длительности сигнала, а ΔF – эффективное значение ширины его спектра.

Применение такого класса канальных сигналов в качестве переносчиков информации в спутниковых телекоммуникационных системах позволяет обеспечить соответствующий уровень ее помехозащищенности в указанных выше условиях.

Это обусловлено тем, что канальные сигналы с большой базой позволяют обеспечить высокий уровень энергетической и структурной скрытности, являющихся важнейшими характеристиками сигнала и телекоммуникационной системы [1], и как следствие, обеспечить требуемый уровень достоверности передаваемой по каналам связи различного вида информации в условиях преднамеренных помех и несанкционированного доступа к ней.

Действительно, энергетическая скрытность характеризует способность спутниковой телекоммуникационной системы противостоять мерам, направленным на обнаружение сигнала устройствами несанкционированного доступа.

В то время как структурная скрытность характеризует способность телекоммуникационной системы противостоять мерам, направленным на раскрытие сигнала, т.е. распознавание его формы, способов его кодирования и модуляции. Таким образом, увеличение структурной скрытности может быть достигнуто путем формирования комбинированных канальных сигналов,

обладающих большим объемом слабокоррелированных форм с возможностью достаточно частого их изменения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В связи с этим в процессе проведения научных исследований по поиску путей обеспечения требуемого уровня достоверности передаваемой с использованием спутниковых телекоммуникационных систем информации в условиях различного вида преднамеренных помех и несанкционированного доступа к ней был разработан класс комбинированных широкополосных шумоподобных канальных сигналов, обладающий высоким уровнем структурной и энергетической скрытности. В основе формирования указанного класса комбинированных широкополосных шумоподобных канальных сигналов лежит использование частотно-временной матрицы, каждый элемент которой является линейно-модулированным импульсом с различным значением скорости изменения частоты (ЧВМ-ЛЧМ сигнал). В математическом виде такой класс сигналов записывается следующим образом:

$$S(t) = \begin{cases} S_0 \cdot \sum_{l=1}^L \text{rect}\{t - (l-1) \cdot \tau_u\} \cdot \exp\left(j \cdot \left(\omega_0 \cdot (t - (l-1) \cdot \tau_u) + (N_k - N_n) \cdot \frac{\mu (t - (l-1) \cdot \tau_u)^2}{2} \right)\right) & \text{при } 0 < t < L \cdot \tau_u \\ 0 & \text{при других } t \end{cases} \quad (2)$$

где: S_0 – амплитуда огибающей сигнала, в дальнейшем постоянная величина, равная 1; L – число элементов числовой последовательности; ω_0 – несущая частота сигнала; N_k – число числовой последовательности от 1 до L ; μ – крутизна модуляционной характеристики ЛЧМ радиоимпульса (скорость изменения частоты), связанная с девиацией частоты ΔF_j и длительностью элемента числовой последовательности τ_u соотношением $\mu = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta F_j}{\tau_u}$; N_n – постоянное число, $\text{rect}(x)$ – прямоугольная «срезающая» функция, задаваемая выражением:

$$\text{rect}\{t - (l-1) \cdot \tau_u\} = \begin{cases} 1 & \text{при } (k-1) \cdot \tau_u \leq t \leq k \cdot \tau_u, \\ 0 & \text{при } (k-1) \cdot \tau_u > t > k \cdot \tau_u. \end{cases}$$

В дальнейшем будем полагать, что $N_n = (L+1)/2$ приводит к симметричному расположению спектра ЧВМ-ЛЧМ сигнала относительно несущей частоты ω_0 . Необходимо отметить, что возможны различные варианты формирования числовой последовательности N_k и модулирующих функций в целом [1].

Полученный таким образом ЧВМ-ЛЧМ сигнал будет иметь длительность, равную $T_c = L \cdot \tau_u$, а ширина занимаемой им полосы частот может быть определена из следующего выражения $\Delta F_c = (L-1) \cdot \Delta F_j$.

Отсюда величина базы такого сигнала может быть в математическом виде записана следующим образом:

$$B_c = L \cdot \tau_u \cdot (L-1) \cdot \Delta F_j. \quad (3)$$

Число различных перестановок элементов таким образом сформированной квадратной матрицы размером L будет равно:

$$N = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot L = L! \quad (4)$$

Однако разработка новых классов комбинированных канальных сигналов с большой базой и большим объемом слабокоррелированных форм с возможностью достаточно частого их изменения, применение которых позволяет обеспечить требуемый уровень достоверности передаваемой с использованием спутниковых телекоммуникационных систем информации в условиях различного вида преднамеренных помех и несанкционированного доступа к ней еще не позволяет говорить о наилучшем решении указанной задачи, так как в такой постановке не учитывается ряд очень существенных параметров, к которым в первую очередь относится эффективное использование частотно-временных ресурсов существующих каналов связи, а также наземного и ретрансляционного приемно-передающего оборудования спутниковых телекоммуникационных систем.

В связи с этим, в статье предлагается для решения этой задачи рассмотреть эффективность существующих методов управления уровнем помехозащищенности спутниковых телекоммуникационных систем, обратив особое внимание на адаптивный метод изменения уровня помехозащищенности указанных систем в различных условиях их функционирования, основанного на использовании специализированных процессоров.

В настоящее время существует уже сформировавшаяся классификация методов управления уровнем помехозащищенности телекоммуникационных систем, среди которых, с учетом специфики излагаемого материала необходимо выделить в первую очередь энергетические, пространственные и сигнальные методы [1,6-9].

Применение энергетического метода повышения помехозащищенности спутниковых телекоммуникационных систем ограничено некоторым пороговым уровнем отношения сигнал/шум, выше которого уже не будут выполняться требования к энергетической скрытности.

Применение пространственного метода повышения помехозащищенности спутниковых телекоммуникационных систем оказывается достаточно эффективным в случае, если антенно-фидерные устройства средств постановки преднамеренных помех или несанкционированного доступа к передаваемой по каналам связи информации не находятся в «створе» телесных углов антенных устройств спутниковых телекоммуникационных систем передающей и принимаемой стороны.

Наиболее эффективным методом повышения помехозащищенности спутниковых телекоммуникационных систем можно считать сигнальный метод, так как в этом случае обеспечение заданных требований по указанному критерию достигается путем применения определенных классов канальных сигналов.

Кроме этого, в [10] представлены результаты исследований повышения помехозащищенности спутниковых телекоммуникационных систем на основе применения комплексирования пространственного и сигнального методов.

Однако наибольшую эффективность при решении проблемы повышения помехозащищенности спутниковых телекоммуникационных систем можно обеспечить при использовании адаптивного метода с использованием специализированных процессоров. Применение такого подхода обеспечивает возможность на основании обработки всех данных об уровне и разнообразии различного вида преднамеренных помех предложить оптимальные виды модуляции, помехоустойчивого кодирования, диаграмм направленности приемно-передающих антенных систем, а также уровни мощности выходных каскадов передающих устройств спутниковых телекоммуникационных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа большого числа литературных источников было установлено, что для обеспечения требуемого уровня структурной и энергетической скрытности передаваемой, с использованием спутниковых телекоммуникационных систем, различного вида информации, в условиях наличия в канале связи преднамеренных помех, а также систем несанкционированного доступа к ней, необходимо использовать в качестве переносчиков информации комбинированные широкополосные шумоподобные канальные сигналы с большой базой.

Представленный в статье один из таких классов сигналов в полной мере удовлетворяет сформулированным выше требованиям.

В тоже время в статье отмечается, что решение задачи обеспечения требуемого уровня помехозащищенности передаваемой, с использованием спутниковых телекоммуникационных систем, различного вида информации, в условиях наличия в канале связи преднамеренных помех, а также систем несанкционированного доступа к ней не обеспечивает в полной мере эффективное функционирование указанных систем.

В связи с этим в статье на основе анализа широко используемых методов управления уровнем структурной и энергетической скрытности телекоммуникационных спутниковых систем было предложено для наибольшей эффективности функционирования спутниковых телекоммуникационных систем при решении проблемы повышения их помехозащищенности использовать адаптивный метод на основе применения специализированных процессоров.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-07-00356а

Список литературы

1. Тузов, Г.И. Статистическая теория приема сложных сигналов [Текст] – М.: Сов. Радио, 1977. – 400 с.
2. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации [Текст] / В.Б. Пестряков, В.П. Афанасьев, В.Л. Гурвич и др.: под ред. В.Б. Пестрякова – М.: Сов. Радио, 1973. – 424 с.
3. Варакин, Л.Е. Теория систем сигналов [Текст]. – М.: Сов. Радио, 1978. – 304 с.
4. Скляр, Бернард Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение [Текст]. Изд. 2-е испр.: Пер. с англ. – М.: издательский дом «Вильямс», 2003 – 1104 с.
5. Гантмахер, В. Е., Быстров, Н. Е., Чеботарев, Д. В. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка [Текст]. – СПб.: Наука и техника, 2005 – 400 с.
6. Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляции несущей псевдослучайной последовательностью [Текст] / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев. – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с.
7. Кузовников, А.В. Исследование методов построения помехоустойчивых систем связи с использованием вейвлет-модулированных сигналов // Радиотехника и электроника. – М., 2014, Том 59, №1. С. 67-77.
8. Черноусов А.В., Кузовников А.В., Сомов В.Г. Принципы организации адаптивной системы широкополосной связи с использованием вейвлет-модулирующих функций // Электросвязь. 2014, № 12: С. 14-17.
9. Боев, Н.М. Способы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровых систем связи беспилотных летательных аппаратов // Радиофизика, радиотехника, связь. Труды МФТИ – М., 2014, Том 6, №2. С. 162-166.
10. Кожевников. Е.А. О повышении помехозащищенности спутниковых линий связи комплексированием сигнальных и пространственных методов // Сборник статей по материалам V международной научно-практической конференции. – Новосибирск – 2013, октябрь, №5(5). С. 30-34.

References

1. Aces, G.I. Statistical theory of the reception of complex signals [Text] – М.: Sov. Radio, 1977 – 400 p.
2. Noise-like signals in information transmission systems [Text] / V. B. Pestryakov, V.P. Afanasyev, V.L. Gurvich et al.: Ed. V.B. Pestryakova – М.: Sov. Radio, 1973. – 424 p.
3. Varakin, L.E. Theory of signal systems [Text]. – М.: Sov. Radio, 1978.- 304 p.

4. Sklyar, Bernard Digital Communications. Theoretical foundations and practical application [Text]. Ed. 2nd rev.: Per. from English – M.: publishing house "Williams", 2003 – 1104 p.
5. Gantmakher, V. E., Bystrov, N. E., Chebotarev, D. V. Noise-like signals. Analysis, synthesis, processing [Text]. – St. Petersburg: Science and Technology, 2005 – 400 p.
6. Borisov, V.I. Interference immunity of radio communication systems with the expansion of the spectrum of modulation signals of a carrier by a pseudorandom sequence [Text] / V.I. Borisov, V.M. Zinchuk, A.E. Limarev. – M.: Radio and Communications, 2003. – 640 p.
7. Kuzovnikov, A.V. Study of methods for constructing noise-immune communication systems using wavelet-modulated signals // Radio Engineering and Electronics. – M., 2014, Volume 59, No. 1. PP. 67-77.
8. Chernousov A.V., Kuzovnikov A.V., Somov V.G. The principles of organizing an adaptive broadband system using wavelet modulating functions // Telecommunication. 2014, No. 12. PP. 14-17.
9. Boev, N.M. Ways to increase the energy and spectral efficiency of digital communication systems of unmanned aerial vehicles // Radiophysics, radio engineering, communications. Proceedings of MIPT – M., 2014, Volume 6, No. 2. PP. 162-166.
10. Tanners. E.A. On increasing the noise immunity of satellite communication lines by combining signal and spatial methods // Collection of articles on the materials of the V international scientific and practical conference. – Novosibirsk – 2013, October, No. 5 (5). PP. 30-34.

Белов Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации и технологии защиты информации Белгородского университета кооперации, экономики и права

Белов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета

Белов Андрей Сергеевич, аспирант Белгородского государственного национального исследовательского университета

Корниенко Степан Владимирович, студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета

Кузурман Игорь Игоревич, студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета

Belov Sergey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Organization and Technology of Information Protection, Belgorod University of Cooperation

Belov Alexander Sergeevich, Candidate of Technical sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

Belov Andrei Sergeevich, postgraduate student, Belgorod State National Research University

Kornienko Stepan Vladimirovich, student of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University

Kuzurman Igor Igorevich, student of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University