

**ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ МАНИПУЛЯЦИЕЙ ФАЗОВЫХ СООТНОШЕНИЙ  
СПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ ШУМОВОГО СИГНАЛА**

*Радзимовский Б.К.*

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.  
[albrona@ukr.net](mailto:albrona@ukr.net)*

**ПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЇ МАНИПУЛЯЦІЄЮ ФАЗОВИХ СПІВВІДНОШЕНЬ  
СПЕКТРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ ШУМОВОГО СИГНАЛУ**

*Радзімовський Б.К.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,  
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.  
[albrona@ukr.net](mailto:albrona@ukr.net)*

**INFORMATION TRANSMISSION BY PHASE RELATIONS MANIPULATION  
OF SPECTRAL COMPONENTS OF NOISE SIGNAL**

*Radzimovskiy B.K.*

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,  
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine.  
[albrona@ukr.net](mailto:albrona@ukr.net)*

**Аннотация.** Предложен новый подход к разработке методов передачи информации в системах конфиденциальной связи на основе использования шумового носителя. В предлагаемом методе для передачи информации используется манипуляция фазовых соотношений спектральных компонент шумового (стохастического) сигнала. При определении фазовых соотношений вычисляются автокорреляционные функции третьего порядка (двумерные статистики третьего порядка) и проводится биспектральный анализ, позволяющий в отличие от энергетического спектра сохранить информацию о фазовом спектре и тем самым восстановить форму принятого стохастического сигнала. Вычислена биспектральная плотность, получены биамплитудный и бифазовый спектры анализируемого шумового сигнала, как в числовом, так и в графическом виде. Показано, что изменение формы шумового сигнала по определенному правилу приводит к известному фазовому соотношению спектральных компонент, а это позволяет правильно восстановить принятый сигнал.

**Ключевые слова:** шумовой носитель, автокорреляционные функции третьего порядка, биспектральная плотность, биамплитудный спектр, бифазовый спектр.

**Анотація.** Запропоновано новий підхід до розробки методів передачі інформації у системах конфіденційного зв'язку на основі використання шумового носія. У запропонованому методі для передачі інформації використовується маніпуляція фазових співвідношень спектральних компонентів шумового (стохастичного) сигналу. При визначенні фазових співвідношень обчислюються автокореляційні функції третього порядку (двовимірні статистики третього порядку) і проводиться біспектральний аналіз, що дозволяє на відміну від енергетичного спектра зберегти інформацію про фазовий спектр і тим самим відновити форму прийнятого стохастичного сигналу. Обчислена біспектральна щільність, отримані біамплітудний та бифазовий спектри аналізованого шумового сигналу, як у числовому, так і в графічному виді. Показано, що зміна форми шумового сигналу за певним правилом приводить до відомого фазового співвідношення спектральних компонентів, а це дозволяє правильно відновити прийнятий сигнал.

**Ключові слова:** шумовий носій, автокореляційні функції третього порядку, біспектральна щільність, біамплітудний спектр, бифазовий спектр.

**Abstract.** A new approach is proposed to the methods development for the information transmission in confidential communication systems of a noise carrier. The manipulation of the phase relations of the spectral components of the noise (stochastic) signal is used in the proposed

method for transfer information. Third-order autocorrelation functions (two-dimensional third-order statistics) are calculated in the determination of phase relations. Bispectral analysis is performed, which, unlike the energy spectrum, preserves information on the phase spectrum and thereby restores the form of the received stochastic signal. The bispectral density is calculated, the bi-amplitude and biphasic spectra of the analyzed noise signal are obtained in numerical and graphical form. It is shown that the change in the shape of the noise signal by a certain rule leads to a well-known phase relations of the spectral components, and this allows us to reconstruct the received signal correctly. Key words: noise carrier, third-order autocorrelation functions, bispectral density, bi-amplitude spectrum, biphasic spectrum.

**Key words:** noise carrier, third-order autocorrelation functions, bispectral density, bi-amplitude spectrum, biphasic spectrum.

Бурное развитие радиотехнических и телекоммуникационных систем требует постоянного совершенствования создаваемых технических средств, расширения их возможностей и улучшения качественных характеристик. Основные тактические характеристики радиотехнических устройств и средств телекоммуникаций, такие как скрытность, помехоустойчивость, скорость передачи, достоверность, точность, быстродействие и разрешающая способность приема для традиционно используемых детерминированных сигналов приближаются к предельным значениям, и дальнейшее их улучшение становится научно-технической проблемой [1].

Одним из возможных путей решения этой проблемы есть усложнение структуры сложных сигналов. В противоположность простым сигналам, расширение спектра которых может быть достигнуто только уменьшением длительности импульса, сложность структуры импульса во время формирования шумоподобных сигналов позволяет управлять их полосой независимо от длительности самого импульса, при этом база сигнала  $B = \Delta F T$  (где  $\Delta F$  – полоса частот сигнала,  $T$  – его длительность) намного больше единицы. Применение шумоподобных сигналов в системах передачи информации в условиях различного рода помех позволило повысить их помехоустойчивость и скрытность, обеспечить высокую достоверность передачи при соотношении сигнал/шум меньше единицы, а также обеспечить электромагнитную совместимость совместно работающих радиоэлектронных средств за счет передачи сигналов с очень низкой спектральной плотностью [1].

Поиск шумоподобных сигналов, которые имеют повышенную информационную емкость, является актуальной задачей во время разработки новых информационных технологий, средств радиосвязи и телекоммуникаций. Подобные сигналы должны иметь улучшенные статистические и спектральные свойства, иметь большой набор длин, образовывать множества (ансамбли) сигналов больших объемов и генерироваться нелинейными устройствами, что значительно затруднит их предсказуемость и распознавание. Проблема синтеза больших ансамблей нелинейных шумоподобных сигналов с улучшенными авто- и взаимокорреляционными, а также структурными свойствами до сих пор остается нерешенной.

В статьях [2, 3] автором предложен нелинейный метод синтеза больших ансамблей шумоподобных сигналов на основе суммы центрированных хаотических колебаний и приведен анализ статистических свойств таких сигналов с точки зрения передачи их по каналу связи. Но на протяжении последнего десятилетия значительно активизировались исследования и в направлении использования истинно шумовых (стохастических) сигналов как переносчика информации [4].

**Целью статьи** является разработка метода передачи цифровой информации манипуляцией фазовых соотношений спектральных компонент шумового сигнала.

Суть метода состоит в дополнительной обработке стохастического сигнала  $x_n$  на передаче. Сначала шумовой сигнал, например, от физического генератора, подвергается дискретизации и центрированию, затем необходимый для передачи единичного элемента (бита) блок отсчетных значений запоминается и обрабатывается следующим образом. Некоторые отсчетные значения шумового сигнала по известному на приеме правилу

вырезаются и переставляются на другие участки блока, тем самым изменяется форма шумового сигнала в блоке. Но такое изменение формы шумового сигнала в блоке не приводит к изменению статистических свойств сигнала в канале связи.

Очевидно, что математическое ожидание сигнала  $m = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n$  и дисперсия

$D = \frac{1}{N} \sum (x_n - m)^2$  не изменяются при таком преобразовании. Сохраняет свою форму и

плотность вероятности, а также остаются неизменными:

– асимметрия

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{\frac{3}{2}}}, \quad (1)$$

где  $\mu_3$  – третий центральный момент;  $\mu_2 = D$  дисперсия;

– эксцесс

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3, \quad (2)$$

где  $\mu_4$  – четвертый центральный момент.

Для наглядности представим плотность вероятности исходного сигнала до и после его преобразования (рис. 1,а), выделим перемещаемую часть значений сигнала (рис. 1,б) и оценим асимметрию и эксцесс. Если, например, до преобразования  $\gamma_1 = -0,009$ , а  $\gamma_2 = -0,018$ , то в процессе исследования убеждаемся, что и после преобразования их значения остаются теми же. Отсюда, меняя по определенному правилу местами отсчетные значения стохастического сигнала в блоке, мы получаем возможность передачи как бита со значением 1, так и бита с противоположным значением -1 при передаче бинарного сигнала, что не исключает передачу, таким образом, и многозначных сигналов.

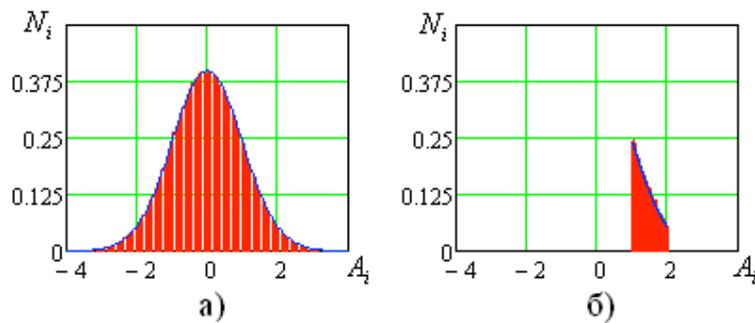


Рисунок 1 – Плотность вероятности до и после преобразования (а), перемещаемая часть (б)

На приемной стороне предлагается использование корреляционных функций третьего порядка и проведение биспектрального анализа [5], что позволит сохранить информацию о фазовом спектре и тем самым восстановить форму принятого стохастического сигнала. Как видим, оценка на приеме спектральной плотности третьего порядка (биспектральной плотности) позволит, в отличие от оценки энергетического спектра, определить фазовые соотношения спектральных компонент. А наличие фазовых соотношений спектральных компонент дает возможность правильного восстановления принятого сигнала.

Для вещественного стационарного одномерного процесса  $x_n$  в виде дискретной последовательности  $n = 0, 1, 2, 3, \dots, N - 1$  отсчетов в блоке вычислим тройную

автокорреляционную функцию  $R_n(i, k)$  (двумерную статистику третьего порядка):

$$R_n(i, k) = \sum_{n=0}^{N-1} [x(n)][x(n+i)][x(n+k)], \quad (3)$$

где независимые сдвиги исходного процесса  $i$  и  $k$  принимают целочисленные значения до значений  $I-1$  и  $K-1$  соответственно.

Вычислим биспектр (биспектральную плотность)  $S_n(p, l)$  процесса как двумерное дискретное преобразование Фурье тройной автокорреляционной функции  $R_n(i, k)$ , который в отличие от спектральной плотности описывается комплексной функцией двух независимых частот [5].

$$S_n(p, l) = \sum_i \sum_k R_n(i, k) \exp[-j2\pi(ip + kl)], \quad (4)$$

где биспектр  $S_n(p, l) = |S_n(p, l)| \exp[j\lambda_n(p, l)]$  – комплексная функция двух частотных переменных.

Таким образом, получаем  $|S_n(p, l)|$  и  $\lambda_n(p, l)$  соответственно биамплитудный и бифазовый спектр анализируемого процесса в блоке, где  $p$  и  $l$  – индексы отсчетов независимых частот.

Рассмотрим график поверхности корреляционной функции третьего порядка (рис. 2,а) и бифазовый спектр (рис. 2,б) анализируемого процесса в блоке до преобразования, где разными тонами обозначены значения фаз биспектральной плотности. При этом имеем определенные фазовые соотношения спектральных компонент исходного шумового сигнала.

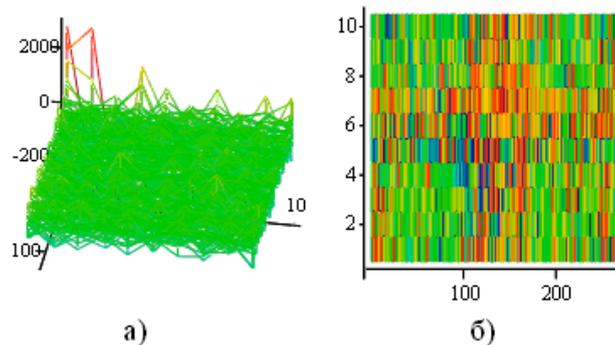


Рисунок 2 – Корреляционная функция третьего порядка (а) и бифазовый спектр до преобразования (б)

После предлагаемого в работе преобразования происходит изменение поверхности корреляционной функции третьего порядка (рис. 3,а) и соответственно изменяются фазовые соотношения спектральных компонент преобразованного шумового сигнала, что наглядно видно из рисунка (рис. 3,б).

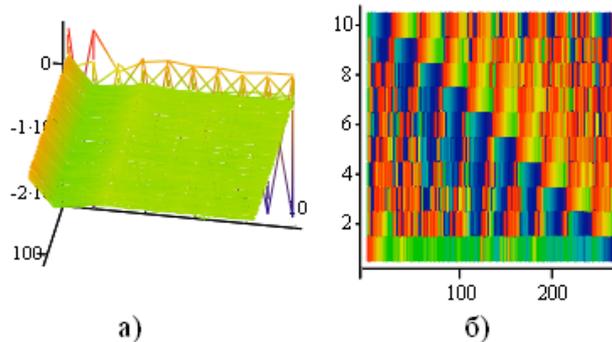


Рисунок 3 – Корреляционная функция третьего порядка (а) и бифазовый спектр после преобразования (б)

Проведенные исследования и анализ показали, что изменения фазовых соотношений спектральных компонент шумового сигнала надежно фиксируются получателем информации, и предлагаемый метод передачи позволяет правильно восстановить принятый сигнал в системах конфиденциальной связи. Метод передачи, который рассмотрен в статье, позволяет простыми техническими средствами решать проблему обеспечения, как надежности, так и скрытности передаваемой информации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / Ипатов В.П.; пер. с англ. – М.: Техносфера, 2007. – 487 с.
2. Радзимовский Б.К. Бинарные последовательности на основе систем с динамическим хаосом / Б.К. Радзимовский // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2012. – № 2. – С. 82–86.
3. Радзімовський Б.К. Статистичні властивості телекомунікаційних сигналів на основі хаотичних коливань / Б.К. Радзімовський // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2015. – № 1. – С. 48–55.
4. Наритник Т.М. Методы передачи информации стохастическими сигналами / Т.М. Наритник, Р.М. Дідковський // Цифрові технології. – 2014. – № 15. – С. 7–27.
5. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях; под ред. В.Ф. Кравченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 544 с.

REFERENCES:

1. Ipatov V.P. (2007). Shirokopolosnie sistemi I kodovoe razdelenie signalov. Principi I prilogeniya. [Broadband systems, and code division signals. Principles and applications]. – M.: Texnocfera. – 487 p.
2. Radzimovskiy B.K. Binarnie posledovatelnosti na osnovе system с dinamicheckim хаосом / B.K. Radzimovskiy // Zbornik naukovix prac. im. O.S.Popova. – 2012. – № 2. – С. 82-86.
3. Radzimovskiy B.K. Statystychni vlastyvosti telekomunikacijnyh sygnaliv na osnovi haotychnyh kolyvan' / B.K. Radzimovskiy // Zbirnyk naukovykh prac' ONAZ im. O. S. Popova. – 2015. – № 1. – P. 48–55.
4. Narytnyk T.M. Metody peredachi informacii' stohastychnymy sygnalamy / T.M. Narytnyk, R.M. Didkovskiy // Cyfrovi tehnologii'. – 2014. – № 15. – P. 7–27.
5. Cifrovaja obrabotka signalov i izobrazhenij v radiofizicheskih prilozhenijah; pod red. V.F. Kravchenko. – M.: FIZMATLIT, 2007. – 544 p.