УДК 691.321.25

МЕТОД СИНТЕЗА ШУМОВОГО СИГНАЛА ГАУССОВА ТИПА НА ОСНОВЕ СИСТЕМ С ДИНАМИЧЕСКИМ ХАОСОМ

Н.В. Захарченко
Доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе**
Контактный тел.: (048) 731-73-55
Б.К. Радзимовский
Инженер*
Контактный тел.: (048) 788-35-82
В.В. Корчинский
Кандидат технических наук, доцент*
Контактный тел.: (048) 788-35-82
E-mail: vladkorchin@rambler.ua
*Кафедра информационной безопасности и передачи данных**
**Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова
ул. Кузнечная, 1, г. Одесса, Украина, 65029

Отримано дискретне представлення шумового сигналу гаусова типу на основі систем з динамічним хаосом. Розглянуті статистичні характеристики і наведено алгоритм синтезу шумового сигналу для використання його в конфіденційних системах передачі з метою підвищення завадостійкості і скритності переданих сигналів

Ключові слова: шумовий сигнал, динамічний хаос

Получено дискретное представление шумового сигнала гауссова типа на основе систем с динамическим хаосом. Рассмотрены статистические характеристики и приведен алгоритм синтеза шумового сигнала для использования его в конфиденциальных системах передачи с целью повышения помехоустойчивости и скрытности передаваемых сигналов

Ключевые слова: шумовой сигнал, динамический хаос

The discrete representation of the Gaussian noise signal in the dynamic chaos systems was achieved. To improve noise immunity and secrecy of the transmitted signals the statistical characteristics were discussed and noise signal synthesis algorithm for use in confidential communication systems was shown

Keywords: noise signal, dynamic chaos

1. Введение

Развитие современных высокоскоростных телекоммуникационных технологий основано на использовании широкополосных сигналов с большой информационной емкостью [1]. Шумовой сигнал гауссова типа обладает наибольшей информационной емкостью по сравнению со всеми другими типами широкополосных сигналов.

Поэтому поиск и исследование методов синтеза такого сигнала, предназначенного для использования в конфиденциальных системах связи с целью повышения помехоустойчивости и скрытности (энергетической, структурной и информационной) передаваемой информации является актуальной проблемой.

В [2, 3] показана перспективность использования широкополосных сигналов на основе динамического хаоса для современных систем, обладающих повышенной информационной емкостью, высокой помехозащищенностью и обеспечивающих конфиденциальность передаваемого сообщения. Появляется возможность формирования сложных широкополосных хаотических сигналов со сплошным спектром в заданном диапазоне частот с помощью простых по структуре генераторов, в которых управление хаотическими режимами осуществляется путем малых изменений их параметров.

Однако в литературе недостаточно исследована возможность формирования шумового сигнала гауссова типа на основе дискретных систем с динамическим хаосом. Поэтому целью статьи является разработка метода синтеза такого сигнала на основе дискретных отображений в генераторах хаоса.

2. Синтез шумового сигнала

Свойства дискретных генераторов хаоса определяются видом функции отображения и значениями управляющих параметров, например, можно генерировать хаотическое колебание x_n в соответствии с некоторым разностным уравнением

$$x_{n+1} = f(x_0; x_n; a) \tag{1}$$

где $f(\cdot)$ нелинейная функция отображения; a – управляющий параметр, x_0, x_n, x_{n+1} – начальное, текущее и последующее значения соответственно.

Рассмотрим несколько дискретных отображений в генераторах хаоса [4]:

1) степенное

$$x_{n+1} = a(1 - |1 - 2x_n|^l), \tag{2}$$

где $x_0 = 0{,}8$, $a = 0{,}9$, $l = 0{,}8$;

2) логистическое

$$x_{n+1} = ax_n(1-x_n), \qquad (3)$$

где $x_0 = 0{,}9$, $a = 3{,}9$;

3) кубическое

$$x_{n+1} = (1-4a)x_n + 4ax_n^3, \qquad (4)$$

где $x_0 = 0{,}5$, $a = 0{,}92$;

4) сдвига

$$x_{n+1} = ax_n \bmod 1, \qquad (5)$$

где $x_0 = 0{,}8$, $a = 3{,}0$;

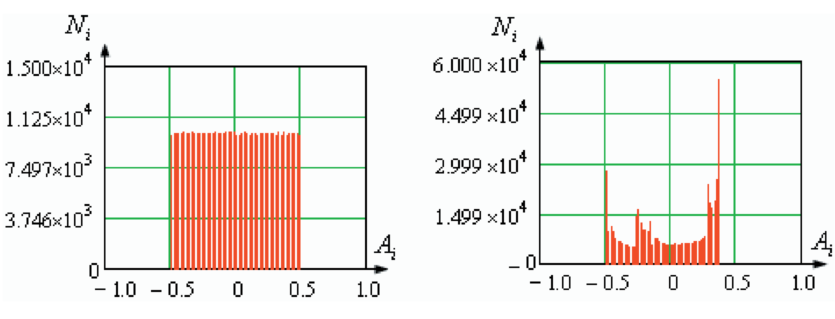
5) логистическое

$$x_{n+1} = ax_n(1-x_n), \qquad (6)$$

где $x_0 = 0{,}5$, $a = 3{,}9$.

На выходах приведенных генераторов получаем непериодические хаотические последовательности заданной длины, например, $N = 500000$ значений. Математическое ожидание последовательности $m = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x_n$, дисперсия $D = \frac{1}{N}\sum (x_n - m)^2$. Так как хаотический сигнал в общем случае имеет ненулевое математическое ожидание, то будем использовать центрированный $\overline{x}_n = x_n - m$ и нормированный максимальными значениями ±0.5 хаотический процесс.

Заметим, что каждое из приведенных отображений характеризуется разными распределениями вероятности амплитудных значений, например, на рис. 1 показаны гистограммы распределения нормированных центрированных хаотических процессов сдвига $a = 3{,}9$; $x_0 = 0{,}9$ и логистического $a = 3{,}9$; $x_0 = 0{,}9$ отображений.



а) б)

Рис. 1. Гистограммы распределения $N_i(A_i)$ центрированных хаотических процессов сдвига: (0) и логистического (1) для длины реализации 500000 и числа интервалов разбиения 50

Коэффициенты корреляции r_{ij} между хаотическими процессами $\overline{x}_n$ приведены в табл. 1.

Анализ таблицы показывает, что центрированные последовательности $\overline{x}_n$ слабо коррелированны, а так как их дисперсии D ограничены, то согласно центральной предельной теореме в сочетании со свойствами хаотического сигнала как случайного процесса, их сумма должна быть распределена по гауссову закону.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции r_{ij} между процессами $\overline{x}_n$.

№	r_{ij}			
i \ j	2	3	4	5
1	-1,606 · 10⁻³	-1,197 · 10⁻³	7,859 · 10⁻⁵	1,460 · 10⁻³
2		-4,041 · 10⁻³	1,113 · 10⁻³	2,159 · 10⁻⁴
3			1,941 · 10⁻⁵	2,443 · 10⁻³
4				-8,682 · 10⁻⁴

Сформируем новую реализацию $\overline{y}_n$ путем суммирования одноименных членов рассмотренных последовательностей $\overline{x}_n$ и осуществим нормировку значений гистограммы с тем, чтобы она правильно аппроксимировала плотность вероятности.

На рис. 2, а показана гистограмма распределения $N_i(A_i)$ последовательности $\overline{y}_n$, где сплошной линией обозначена плотность вероятности гауссова закона. Отличие полученного распределения от нормальной плотности вероятности определим по коэффициентам асимметрии

$$\gamma_1 = \frac{\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\overline{y}_n^{\,3}}{\left(\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\overline{y}_n^{\,2}\right)^{\frac{3}{2}}} = -0{,}047 \qquad (7)$$

и эксцесса

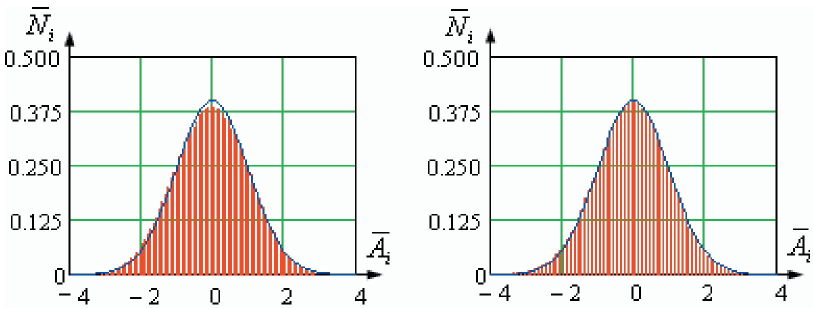
$$\gamma_2 = \frac{\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\overline{y}_n^{\,4}}{\left(\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\overline{y}_n^{\,2}\right)^{\frac{3}{2}}} - 3 = -0{,}28 \qquad (8)$$

Для более точного соответствия распределения нормальной плотности вероятности последовательность $\overline{y}_n$ перемешаем путем сдвига и последующего суммирования, например, пятикратного, при этом получаем для новой последовательности $\overline{z}_n$ коэффициент асимметрии $\gamma_1 = 0{,}056$, а коэффициент эксцесса $\gamma_2 = 0{,}025$. Гистограмма распределения $N_i(A_i)$ последовательности $\overline{z}_n$ и ее соответствие нормальной плотности вероятности показаны на рис. 2, б.

где m – временной сдвиг при единичном временном интервале. Для наглядности используем нормированную автокорреляционную функцию (АКФ)

$$r(m) = \frac{R(m)}{R(0)}, \qquad (10)$$

график АКФ приведен на рис.3, а. Из рисунка видно, что АКФ сигнала $\overline{z}_n$ является непериодической и стремится к нулю за достаточно малый промежуток времени.



а) б)

Рис. 2. Гистограммы распределения $\bar{N}_i(\bar{A}_i)$ нормированных центрированных хаотических процессов до (0) и после (1)перемешивания для длины реализации 500000 и числа интервалов разбиения 50

Определим автокорреляционную функцию полученного сигнала $\bar{z}_n$ следующим образом:

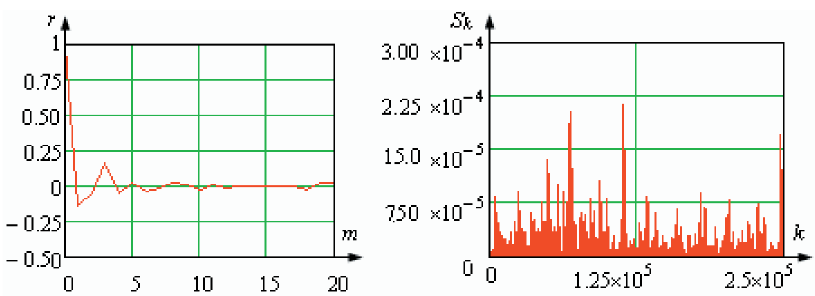
$$R(m) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} \bar{z}_n \times \bar{z}_{n+m}\,, \qquad (9)$$

Чтобы более полно судить о свойствах сигнала $\bar{z}_n$ рассмотрим распределение энергии по частотам. Односторонний спектр мощности, вычисленный по формуле [4].

$$S(k) = [\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} \bar{z}_n \cos(\frac{2\pi kn}{N})]^2 + +[\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} \bar{z}_n \sin(\frac{2\pi kn}{N})]^2, \qquad (11)$$

где k – аналог частоты f, представлен на рис. 3, б. Полученный спектр является сплошным, непрерывным и спектральная плотность мощности распределена по всему частотному диапазону.

Таким образом, анализ гистограммы распределения, АКФ и спектра синтезированного сигнала $\bar{z}_n$ показывает, что получено дискретное представление шумового сигнала гауссова типа.



а) б)

Рис. 3. Нормированная автокорреляционная функция (0) и односторонний спектр (1) сигнала $\bar{z}_n$ для длины реализации 500000

3. Вывод

В работе разработан метод синтеза дискретного шумового сигнала $\bar{z}_n$ гауссова типа, обеспечивающий воспроизводимость и требуемую длину последовательности.

Применение такого сигнала повышает помехоустойчивость, структурную и информационную скрытность передаваемой информации в системах конфиденциальной связи.

Литература

1. Залогин, Н. Н. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах / Н. Н. Залогин, В. В. Кислов. – М.: Радиотехника, 2006. – 208 с.
2. Капранов, М. В. Регулярная и хаотическая динамика нелинейных систем с дискретным временем / М. В. Капранов, А. И. Томашевский. - М.: Издательский дом МЭИ, 2010. - 256 с.
3. Захарченко, Н. В. Многопользовательский доступ в системах передачи с хаотическими сигналами / Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 5/9(53). – С. 26–29.
4. Генераторы хаотических колебаний / Б.И. Шахтарин, П.И. Кобылкина, Ю.А. Сидоркина и др. – М.: Гелиос АРВ, 2007. – 248 с.