

---

## **АЛГОРИТЪМ ЗА ОБРАБОТКА НА ХАОТИЧНИ СИГНАЛИ С ВЪВЕДЕНА В НАЧАЛНИТЕ УСЛОВИЯ ИНФОРМАЦИЯ**

**Галина Чернева**  
[cherneva@vtu.bg](mailto:cherneva@vtu.bg)

**ВТУ "Тодор Каблешков"**  
**София, 1574, ул. "Гео Милев" 158**  
**БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** комуникационни системи с динамичен хаос, хаотични сигнали, предаване на информация

**Резюме:** Съвременното развитие на комуникационните системи налага разработването на нови типове сигнали и алтернативни методи за предаване на информация. Тези търсения се осъществяват успешно чрез теорията на детерминирания хаос [1,2].

Привлекателността на динамичния хаос по отношение на неговото прилагане в системите за предаване на информация се дължи на свойства на хаотичните колебания, определени от самата им природа и специфика. Благодарение на тях са възможни и разнообразни начини за въвеждане на информацията в хаотичните колебания при използването им в комуникационните системи за връзка.

Една от характерните особености на хаотичните процеси е силната им чувствителност към началните условия. Това свойство може да се използва както за въвеждане на предаваното информационно съобщение в началните условия, така и за реализиране на голямо количество различни хаотични процеси в един източник на хаос.

Въз основа на изложеното, в настоящата работа е предложена структурна схема и алгоритъм на обработка на приетия сигнал на комуникационна система, в предавателя на която се формират различни дискретни хаотични сигнали, в зависимост от предавания информационен символ. Процесите в хаотичния генератор се реализират чрез една и съща нелинейна функция, но при различни начални условия. Извличането на информацията в приемника се извършва на базата на кохерентна корелационна обработка на приетия сигнал. В работата са анализирани предимствата и недостатъците на предложената схема и са направени изводи относно условията, на които трябва да отговарят хаотичните процеси.

### **ДЕФИНИРАНЕ НА ПРОБЛЕМА**

Благодарение на съвременното развитие на микроелектрониката и интегралната схемотехника става възможно реализирането на редица нелинейни динамични системи (НДС) – непрекъснати и дискретни. Това улеснява приложението им в комуникационните системи, където чрез хаотичните сигнали се осъществяват нови, алтернативни методи за предаване на информация.

Наред с удобната реализация на дискретни НДС на базата на цифрови сигнални процесори, по-лесно е осъществимо и възпроизвеждането на различни начални условия на хаотичните процеси в тях. Това прави особено привлекателно приложението на дискретни НДС в цифровите комуникации.

В литературата предимно са изследвани няколко метода на линейно или нелинейно наслагване на информационните колебания върху хаотичните [1,2,3]: хаотична маскировка, нелинейно подвключване, хаотичното превключване. По-малко разработки [4,5] са свързани с въвеждане на предаваното информационно съобщение в началните условия на хаотичния процес. А, както е известно [1,2], в един източник на хаос могат да се реализират различни хаотични процеси именно чрез промяна на началните условия.

В настоящата работа са разгледани структурна схема и алгоритъм за обработка на хаотични сигнали, генерирани от дискретна НДС в предавателя. Предаваната дискретна информация се въвежда в началните условия на хаотичния процес. Анализирани са предимствата и недостатъците на предложената схема и са направени изводи относно условията, на които трябва да отговарят хаотичните процеси.

### СЪЩНОСТ НА АЛГОРИТЪМА НА ОБРАБОТКА НА ПРИЕТИЯ СИГНАЛ

Хаотичните процеси, генерирани от дискретни нелинейни динамични системи (НДС), се описват с диференчно уравнение от вида [1,2]:

$$(1) \quad x_{k+1} = F[x_k, a, x(0)],$$

където  $k = 0, 1, 2, \dots$  са дискрети време;

$F[\cdot]$  е нелинейна функция;

$x_k$  е стойност в  $k$ -ия момент от време;

$a$  е параметър;

$x(0)$  е начално условие на процеса.

Благодарение на голямата чувствителност към началните условия, чрез промяна на  $x(0)$ , при една и съща нелинейна функция и неизменна стойност на параметъра  $a$ , могат да се реализират различни хаотични последователности (1) с дължина  $n$ .

При подходящ избор на началните условия може да се постигне ортогоналност на генерираните в предавателя хаотични последователности. Това е задължително условие, на което те трябва да отговарят, за да се използват за предаване на отделните информационни символи. Следователно взаимнокорелационната функция на две хаотични последователности  $\{x_i\}$  и  $\{x_j\}$ , трябва да отговаря на условието:

$$(2) \quad R_{ij}(n) = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} (x_i(k) - \langle x_i \rangle)(x_j(k) - \langle x_j \rangle) = 0. \quad i \neq j$$

или

$$(3) \quad R_{ij}(n) = \left| \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} (x_i(k) - \langle x_i \rangle)(x_j(k) - \langle x_j \rangle) \right| \leq \varepsilon,$$

където  $\varepsilon$  е допустимата за дадените условия взаимна корелация на съответните хаотични последователности;

$$(4) \quad \langle x \rangle = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$$

е средната стойност.

При наличие на аналогичен генератор на хаотични последователности в приемника (т.е. със същата нелинейна функция  $F[\cdot]$ ) и предварително заложили  $n$  на брой начални условия  $\tilde{x}_i(0)$ , в приемника на комуникационната система може да се осъществи кохерентна корелационна обработка на приетия сигнал.

Взимането на решение, че е предадена последователност  $\{x_i\}$ , се реализира на база на оценката:

$$(5) \quad i: y_i = \max\{y_i\},$$

където

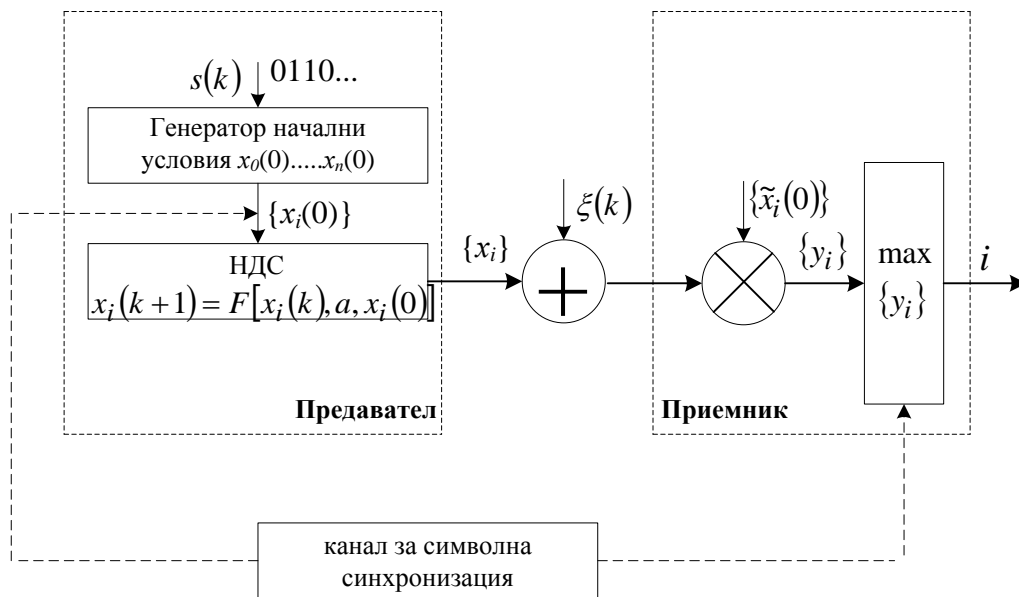
$$(6) \quad y_i: \frac{1}{\sigma^2} \sum_{m=k-n+1}^k (x_i(m) + \xi(k)) \tilde{x}_i(m) = \frac{E_i}{\sigma^2}.$$

Оценката в (6) се прави на база енергията на предавания  $i$ -ти дискретен сигнал, определена като:

$$(7) \quad E_i = \sum_{m=1}^n (x_i(m))^2 = \sum_{m=1}^n x_i(m) \tilde{x}_i(m),$$

където  $\sigma^2$  е дисперсия на адитивното смущение  $\xi(k)$  в канала за връзка.

На база на изложения алгоритъм на обработка на приетия сигнал е формирана структурната схема, показана на фиг.1.



Фиг.1. Структурна схема на комуникационната система

В зависимост от постъпващия дискретен информационен сигнал  $s(k)$  в предавателя се генерират начални условия  $\{x_i(0)\}$ . Те участват във формирането на дискретен хаотичен сигнал  $\{x_i\}$  с дължина  $n$ , при определена нелинейна функция  $F[\cdot]$  и параметър  $a = const$ . Той се предава в канала за връзка, където е подложен на въздействието на адитивно смущение  $\xi(k)$ .

Генераторът на хаотични сигнали в приемника използва същата функционална зависимост  $F[\cdot]$  и начални условия  $\tilde{x}_i(0)$ , при което формираната последователност има вида:

$$(8) \quad \{\tilde{x}_i\}: \tilde{x}_i(k+1) = F[x_i(k), b, \tilde{x}_i(0)], \quad i = 0..n,$$

където  $b$  е параметър.

Блокът за сравнение взема решение, че е предадена  $i$ -та последователност в зависимост от това на кой от изходите на многоканалния корелатор се е появила максимална стойност на произведението, дадено с (6).

За правилното функциониране на схемата от фиг.1, едновременно със синхронизирането на хаотичните процеси в предавателя и приемника, е необходим допълнителен канал за символна синхронизация. Ако той липсва, кохерентният приемник може да обработва хаотичен сигнал, отместен във времето относно генерираното в него хаотично колебание.

Съгласно зависимост (7), за да се увеличи енергията на предаваните сигнали, трябва да се реализира по-голяма дължина на хаотичната последователност. Тогава ще е възможно достоверно приемане на информацията при по-високо ниво на смущенията. Но увеличаването на дължината  $n$  над определена стойност практически не е възможно. Причина за това е физическата природа на хаотичните процеси, свързана с експоненциалната разходимост на траекториите им при малка разлика в началните условия.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разгледаната схема и алгоритъм на обработка на дискретни хаотични сигнали е лесно реализуема и приложима в системите с кодово разделение на каналите (CDMA). Хаотичните последователности, образувани в дискретна НДС при различни начални условия са добра алтернатива на ортогоналните псевдослучайни последователности, които се използват в CDMA системите. Съществени недостатъци, обаче, са силната зависимост от точността на възпроизвеждане на началните условия, както и наличието на допълнителен канал за символна синхронизация, което намалява конфиденциалността на връзката.

## **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Celikovsky, S., Chen, G. Secure Synchronization of a Class of Chaotic Systems from a Nonlinear Observer Approach, IEEE Transactions on Automatic Control 50, 1, 2005.
- [2] Kocarev, L., Parlitz, U.: General Afor Chaotic Synchronization with Applications to Communication, Physical Review Letters 74, 1995.
- [3] Pecora, L. M., Carroll, T. L.: Synchronization in Chaotic Systems, Phys. Review. Letters 64, 8, 1990.
- [4] Cuomo, K. M., Oppenheim, A. V.: Circuit Implementation of Synchronized Chaos with Applications to Communications, Phys. Rev. Lett 71, pp. 65-68, 1993.
- [5] Tenny, R., Tsimring, L. S., Abarbanel, H. D. I., Larson, L. E.: Security of Chaos-based Communication and Encryption. Digital Communications Using Chaos and Nonlinear Dynamics (Institute for Nonlinear Science). Springer, 2006, pp. 191–229.

# A PROCEDURE FOR PROCESSING OF CHAOTIC SIGNALS WITH AN INTRODUCE INFORMATION IN THE INITIAL CONDITIONS

**Galina Cherneva**

[cherneva@vtu.bg](mailto:cherneva@vtu.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport,  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
BULGARIA*

**Key words:** *communication systems with a dynamic chaos, chaotic signals, transmission of information*

**Abstract:** *The contemporary development of communication systems requires the development of new types of signals and alternative methods for information transmission. These searches are performed successfully by the theory of the determined chaos [1,2].*

*The attraction of dynamic chaos, in terms of its application in the systems for data transmission, due to the properties of chaotic oscillations which determined by their nature and specificity. Thanks to them are possible and various ways of entering information in the chaotic fluctuations when used in communication systems for connection.*

*One of the characteristics of chaotic processes is their strong sensitivity to initial conditions. This property can be used for introducing the transmission information message in the initial conditions, and to realize the large number of different chaotic processes in a source of chaos.*

*On the basis of the above, in this work is proposed a structural scheme and an algorithm for processing of the received signal of the communication system. In the transmitter are formed different discrete chaotic signals, according to the transmission information symbol. The processes in the chaotic oscillator are implemented by the same non-linear function, but with different initial conditions. Extracting the information in the receiver is based on a coherent correlation processing of the received signal. In the paper are analyzed the advantages and disadvantages of the proposed scheme and are make conclusions for the conditions wich shoud be to respond the chaotic processes.*