

# Зв'язок, радіотехніка, радіолокація, електроніка

УДК 621.391

К.С. Васюта, А.А. Грызо, Ф.Ф. Зоц

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В работе анализируются возможности традиционной корреляционной обработки при обнаружении когерентного хаотического сигнала на фоне шумов и пассивной помехи. Показано, что при обнаружении и обработке когерентных хаотических сигналов применима традиционная корреляционная обработка. Наличие флуктуаций параметров сигнала (искажений его формы) из-за распространения в неоднородной атмосфере и переотражения от цели существенно снижает качество такой обработки. Повышение качества обработки возможно путем применения нетрадиционных методов, учитывающих специфическую структуру хаотических сигналов через их динамические инварианты.

**Ключевые слова:** корреляционная обработка, хаотический сигнал, селекция движущихся целей.

### Введение

**Постановка задачи.** При построении радиолокационных систем, работающих в режиме повышенной скрытности (Low Probability of Intercept radar) [1], актуальной является задача обеспечения их работы под “шум”.

Одно из решений проблемы обеспечения скрытности дает применение шумоподобных сигналов, формируемых нелинейными динамическими системами, демонстрирующими хаотическое поведение. Такие сигналы неотличимы от шума при визуальном анализе и обладают набором специфических свойств, делающих их привлекательными с точки зрения построения радиотехнических систем повышенной скрытности работы [2].

Хаотические сигналы (процессы, последовательности) представляют собой нерегулярные колебания, обладающие сплошным спектром мощности и быстро спадающей автокорреляционной функцией. Это ставит их потенциально в один ряд с шумоподобными сигналами, широко применяемыми в современной радиотехнике.

Возможность применения хаотических сигналов в радиолокации еще недостаточно изучена. Поэтому ниже рассматриваются особенности обнаружения и обработки таких сигналов традиционными методами без учета их специальной структуры.

**Целью работы** является решение задачи обнаружения хаотического сигнала на фоне белого шума и селекции движущихся целей корреляционным методом.

### Изложение основного материала

Рассмотрим обнаружение одиночного хаотического радиопульса (рис. 1) на примере простейшего одноканального корреляционного обнаружителя (рис. 2). Для формирования зондирующего сиг-

нала  $x(t)$  применим хаотическую последовательность, сформированную полиномом Чебышева 1-го рода 3-го порядка:

$$x_{t+1} = 4(x_t)^3 - 3x_t, \quad (1)$$

где  $t = 0, 1, 2, \dots, n$ .

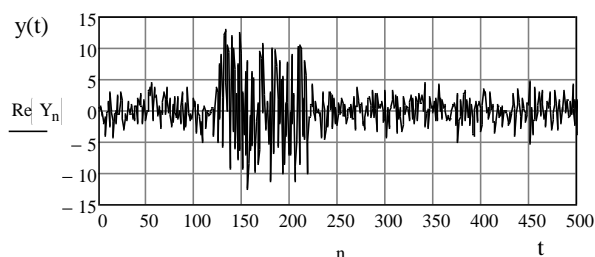


Рис. 1. Временная реализация входного сигнала  $y(t)$

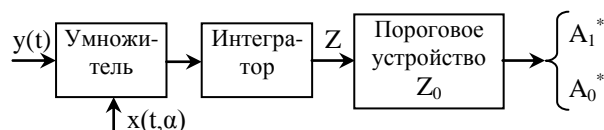


Рис. 2. Структурная схема простейшего корреляционного обнаружителя

Принимаемое колебание  $y(t)$  (рис. 1) представляет собой аддитивную смесь белого шума  $n(t)$  и полезного сигнала  $x(t, \alpha)$  с информационным параметром  $\alpha$ :

$$y(t) = n(t) + x(t, \alpha) \quad (2)$$

Численное моделирование алгоритма обнаружения, представленного на рис. 2, для идеализированного случая отсутствия флуктуационных искажений отраженного сигнала показало, что полезный сигнал  $x(t, \alpha)$  на выходе интегратора корреляционного обнаружителя успешно накапливается (рис. 3). Это говорит о том, что для решения радиолокационных задач, при известном ожидаемом сигнале, тра-

диционные методы позволяют легко обнаруживать хаотические сигналы.

Далее рассмотрим возможность обнаружения хаотических сигналов на фоне пассивных помех.

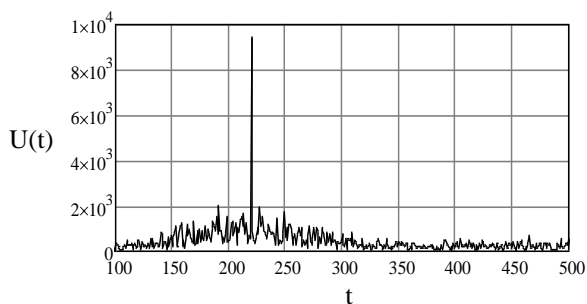


Рис. 3. Хаотический сигнал на выходе интегратора

Известно, что при обнаружении сигнала, отраженного от локационной цели необходимо учитывать время – частотные параметры сигнала (время запаздывания  $t_3$  и доплеровский сдвиг частоты  $F_D$ ).

Пусть принимаемая реализация  $Y(t)$  является суммой комплексных амплитуд отраженного сигнала и помехи:

$$Y(t) = U(t - t_{30})e^{-j2\pi F_{D0}t} + N(t), \quad (3)$$

где  $t_{30}$  и  $F_{D0}$  – истинные значения запаздывания и доплеровской частоты;  $U(t)$  – комплексная амплитуда зондирующего сигнала. Комплексная амплитуда ожидаемого сигнала  $X(t)$  с учетом запаздывания  $t_3$  и доплеровской поправки частоты  $F_D$  имеет вид:

$$X(t) = U(t - t_3)e^{-j2\pi F_D t}. \quad (4)$$

Тогда корреляционный интеграл  $Z$ , описывающий алгоритм оптимальной обработки когерентного сигнала будет являться функцией двух переменных:

$$Z(t_3, F_D) = \frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} U(t)U^*(t - t_3)e^{j2\pi F_D t} dt \right|. \quad (5)$$

Для обнаружения хаотического сигнала отраженного от цели в диапазоне значений  $t_3$  и  $F_D$  и решения задачи селекции движущихся целей воспользуемся многоканальной корреляционной схемой обнаружения сигналов с различными значениями времени запаздывания и доплеровской частоты (рис. 4.) [3]. Элементами схемы являются корреляторы с квадратурными каналами (ККК) [4], которые реализуют следующий алгоритм:

$$Z_{ij}(t_{3i}, F_{Dj}) = \frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} U(t)U^*(t - t_{3i})e^{j2\pi F_{Dj}t} dt \right|. \quad (6)$$

Для принятия решение о наличии цели, необходимо для каждой пары ожидаемых значений  $t_{3i}$  и  $F_{Dj}$  сравнить величину  $Z = Z_{ij}(t_{3i}, F_{Dj})$  с некоторым порогом.

На рис. 5 иллюстрируется результат накопления хаотического сигнала, отраженного от неподвижного объекта с  $F_D = 0$  и от подвижного с  $F_D \neq 0$ .

Учитывая то, что каждый канал схемы обработки по частоте Доплера накапливает сигнал для заданного значения  $F_D$ , то для реализации селекции движущихся целей необходимо закрыть выход канала соответствующий  $F_D=0$ .

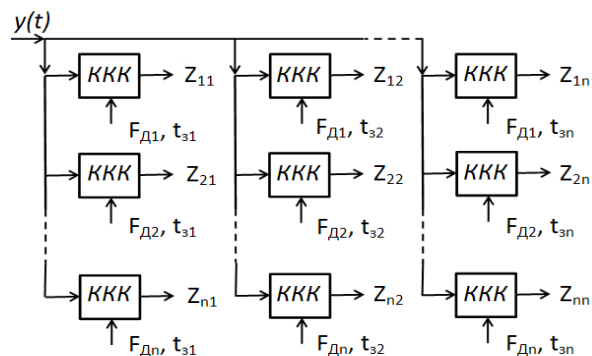


Рис. 4. Многоканальная корреляционная схема обработки хаотического сигнала с различными значениями времени запаздывания и доплеровской частоты

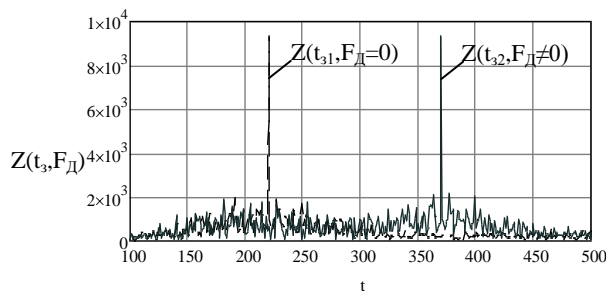


Рис. 5. Хаотический сигнал на выходе многоканальной схемы корреляционной обработки

На рис. 6 представлена модель временной реализации, состоящей из смеси хаотического сигнала, отраженного от местного предмета (МП) (пассивная помеха) и от трех целей, движущихся с различными скоростями. При этом цель №1 находится на фоне местных предметов (серым цветом отображен сигнал, отраженный от местного предмета, а черным – от целей).

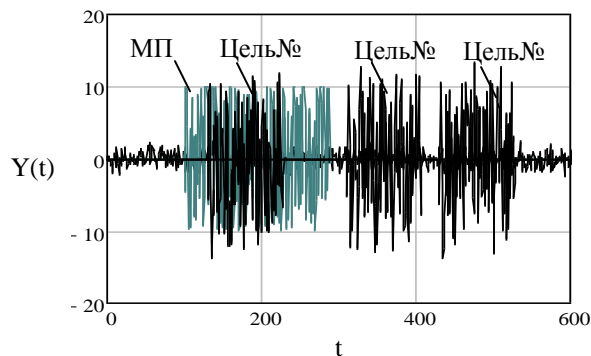


Рис. 6. Входная реализация хаотического сигнала, отраженного от МП и от целей при  $q = 10$

На рис. 7 иллюстрируется накопление сигнала (рис. 6) на выходе коррелятора (рис. 4). Из рисунка вид-

но, что сигналы, отраженные от движущихся целей обнаруживаются традиционным алгоритмом (6), а сигнал, отраженный от местного предмета подавляется.

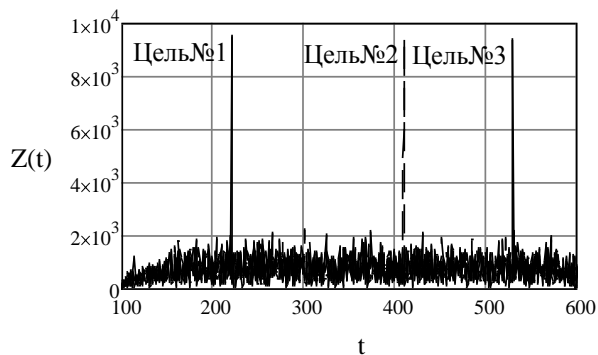


Рис. 7. Хаотический сигнал на выходе многоканальной схемы корреляционной обработки

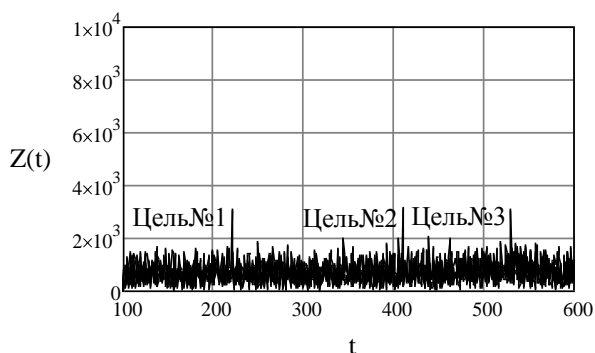


Рис. 8. Хаотический сигнал на выходе многоканальной схемы корреляционной обработки при наличии флуктуаций его параметров

Приведенные результаты получены численным моделированием для идеализированных условий приема когерентного хаотического сигнала без учета его искажений (флуктуационных ошибок).

В реальных условиях сигнально-помеховой обстановки будут возникать существенные искажения формы принимаемого радиолокационного сигнала. На рис. 8 показано обнаружение хаотического сигнала алгоритмом (6) при наличии флуктуаций его

параметров. Из сравнения рисунков 7, 8 видно, что искажения формы хаотического сигнала приводит к значительному снижению качества его обнаружения. Поэтому для обработки хаотических сигналов следует применять нетрадиционные методы, учитывающие их специфические свойства через динамические инварианты: показатели Ляпунова, корреляционную размерность и т.д.

## Выводы

Таким образом, имитационное моделирование показало, что при обнаружении хаотических сигналов на фоне пассивных помех применима традиционная корреляционная обработка. Однако при наличии флуктуаций параметров сигнала (искажения его формы) из-за распространения в неоднородной атмосфере и переотражения от цели качество такой обработки существенно снижается. Поэтому для обнаружения хаотических сигналов необходимо применять не традиционные методы, учитывающие их специфическую структуру через динамические инварианты. Эти методы приема и обработки хаотических сигналов при решении задач радиолокации будут изложены авторами в последующих работах.

## Список литературы

1. Pace P.E. *Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar* / P.E. Pace. – Second Edition. – London: Artech house, 2009. – 862 p.
2. Васюта К.С. Анализ корреляционных свойств хаотических радиосигналов / К.С. Васюта, А.А. Мальшиев, Ф.Ф. Зоц // Системи обробки інформації. – 2012. – С. 22-25.
3. Теоретические основы радиолокации: учеб. пособ. для вузов / [И. Н. Бусыгин, В. Н. Голиков и др.]; под общ. ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
4. Локационная системотехника / [В.Б. Алмазов, Г.С. Богословский, П.А. Брандис и др.]; под общ. ред. В.Б. Алмазова. – Х.: ВИРТА, 1993. – 620 с.

Поступила в редколлегию 6.03.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.М. Седышев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## КОРЕЛЯЦІЙНА ОБРОБКА ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ

К.С. Васюта, А.А. Гризо, Ф.Ф. Зоц

У роботі аналізуються можливості традиційної кореляційної обробки при виявленні когерентного хаотичного сигналу на фоні шумів і пасивної перешкоди. Показано, що при виявленні і обробці когерентних хаотичних сигналів можливе застосування традиційної кореляційної обробки. Наявність флуктуацій параметрів сигналу (спотворень його форми) через розповсюдження в неоднорідній атмосфері і перевідбиття від цілі істотно знижує якість такої обробки. Підвищення якості обробки можливе шляхом застосування нетрадиційних методів, що враховують специфічну структуру хаотичних сигналів через їх динамічні інваріанти.

**Ключові слова:** кореляційна обробка, хаотичний сигнал, селекція рухомих цілей.

## CORRELATION PROCESSING OF CHAOTIC SIGNALS

C.S. Vasuta, A.A. Grizo, F.F. Zots

Possibilities of traditional correlation processing at a detecting coherent chaotic signal on a background noises and jamming are analyzed in the work. It is shown that at a detecting and processing of coherent chaotic signals traditional correlation processing is applicable. The presence of fluctuations parameters of signal (distortions of his form) from distribution in heterogeneous atmosphere and feather of reflection of from target substantially reduces quality of such processing. Upgrading of processing is possible by application of unconventional methods, taking into account the specific structure of chaotic signals through their dynamic invariants.

**Keywords:** correlation processing, chaotic signal, selection of the moving purposes.