

УДК 621.391

К.С. Васюта

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ФОРМИРОВАНИЕ ОТВЕТНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ ПОМЕХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СУРРОГАТНЫХ СИГНАЛОВ

В работе впервые предложено для формирования ответных имитационных помех радиотехническим системам применение метода формирования суррогатных сигналов. Такой метод позволяет сформировать помехи для сигналов произвольной «формы» не опираясь на его время - частотные характеристики и любую другую априорную информацию о свойствах сигнала. Предложенный метод основан на анализе образа сигнала в фазовом пространстве и формирования на его основе суррогата (клона) сигнала, сохраняя при этом корреляционные, спектральные и динамические свойства сигнала. Данный подход позволяет существенно снизить помехозащищенность многих радиотехнических комплексов и систем, так как сложная форма их сигнала больше не может ограничивать возможности средств радиоэлектронной борьбы.

**Ключевые слова:** имитационные помехи, суррогатные сигналы, радиоэлектронная борьба.

### Введение

В настоящее время руководство вооруженных сил высокоразвитых государств предпринимает значительные усилия, направленные на поддержание на необходимом уровне существующих и обеспечение дальнейших разработок перспективных систем и средств разведки и РЭБ. Одним из таких направлений является развитие методов формирования дезинформирующих (имитирующих) помех с высокой точностью воспроизводящих сигналы радиотехнических систем противника.

Для дезинформации радиотехнических систем обнаружения целей, наведения на них средств поражения разного класса применяют имитационные (имитирующие) помехи. Такие помехи создаются с целью введения аномальных ошибок в системы обнаружения и наведения средств поражения. Введение аномальных ошибок в радиотехнические системы противника достигается введением ложного информационного параметра  $\lambda_{\text{п}}(t)$  в сигнал, который принимается противником и, который, отличен от

истинного значения  $\lambda_{\text{с}}(t)$ . Изменение закона формирования  $\lambda_{\text{п}}(t)$  позволяет увести следящую систему противника от истинного значения измеряемого параметра (сформировать уводящую помеху) или перенацелить систему противника (сформировать перенацеливающую помеху) [1].

В работах [2, 3] приведены методы формирования имитирующих помех (ложных сигналов) уводящих по дальности, скорости и угловым координатам. Эти методы имеют сложную техническую реализацию и разработаны лишь для имитации сигналов радиотехнических систем, использующих простые гармонические несущие. В то же время активное развитие радиолокационных систем, работающих в режиме повышенной скрытности (Low Probability of Intercept radar) [4, 5], таких как: F/A-22 Raptor's AN/APG-77, в B-2 AN/APQ-181, Patriot's AN/MPQ-53, и SA-10 Grumble's Tombstone и применяющих сложные коды для дискретно-частотной и дискретно-фазовой модуляции сигналов (рис. 1) порождает необходимость развития методов формирования имитирующих помех таким сигналам.

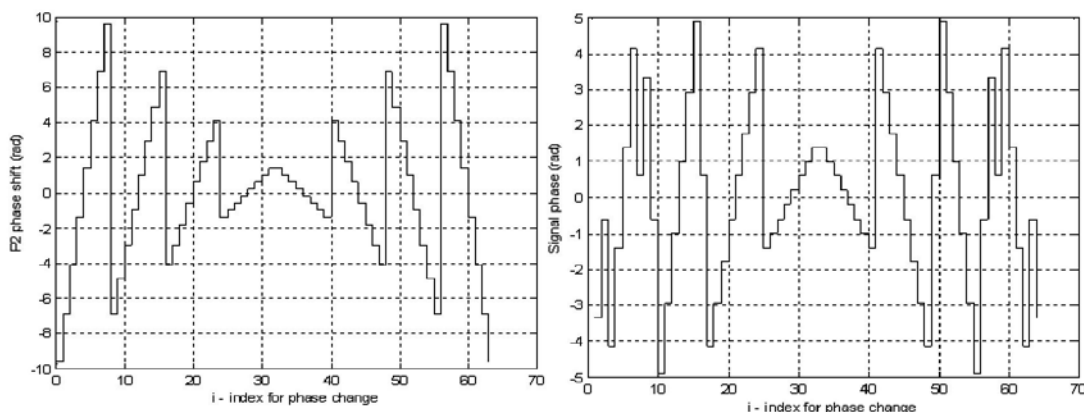


Рис. 1. Законы модуляции дискретно-частотно модулированных сигналов

Таким образом, целью данной работы является синтез метода формирования имитирующих помех для сигналов любой «формы» путем применения технологии формирования суррогатных сигналов.

### Результаты исследований

Понятие «суррогатных данных», введено Theiler и др. [6] в 1992 году для проверки статистических гипотез в случае, когда исходных данных недостаточно для принятия решения. Подробно особенности применения «суррогатных данных» (суррогатных сигналов) описано в [7].

Для рассматриваемой нами задачи формирования «клона» (суррогатного сигнала), т.е. имитирующей помехи с введением ложного информационного параметра обратимся к алгоритмам формирования суррогатов траектории аттрактора (attractor trajectory surrogates – ATS) [8]. Эти суррогаты имитируют не только визуальные, спектральные, корреляционные свойства сигналов, но и сохраняют его нелинейные свойства путем переноса области анализа сигнала в фазовое пространство, где анализируется не сам сигнал, а его образ.

Быстрый алгоритм формирования ATS может быть описан следующим образом [7]:

1. Подвергнем множество отсчетов наблюдаемого сигнала  $\xi_k \in (\xi_{\min}, \xi_{\max})$  равномерному квантованию дискретным множеством уровней  $\{\xi^{(1)}, \dots, \xi^{(m)}\}$  с интервалом между соседними уровнями квантования  $\Delta_i = \xi^{(i+1)} - \xi^{(i)} = \text{const}$ .

2. Из множества  $\{\xi_k\}$  выделим подмножества  $\{\xi_{\Delta_i}\}$ , принадлежащие интервалам  $\{\Delta_i\}_{i=1}^I$ .

3. Случайным образом перемешиваем (переставим) элементы подмножеств  $\xi_{\Delta_i}$ . Максимально возможное число перестановок  $I_1!$ , где  $I_1$  число элементов в интервале  $\Delta_i$  (размерность вектора  $\xi_{\Delta_i}$ ).

Операторы перестановки выполняют взаимно однозначное отображение подмножеств, принадлежащих интервалам  $\{\Delta_i\}_{i=1}^I$ , на себя. Подмножества до и после перемешивания состоят из одних и тех же элементов, но отличаются порядком их следования, т.е. выполняется пере присваивание номеров элементов временного ряда, составляющих все возможные пары каждого из подмножеств  $\Delta_i$ .

4. Объединяем перемешанные таким образом элементы подмножеств и получаем первую реализацию  $\{\xi_n^1\}$  суррогатного сигнала, сохраняющей (имитирующей) свойства аттрактора сигнальной составляющей наблюдения.

5. Повторяем эту процедуру начиная с шага 3 пока не получим необходимый ансамбль суррогатных сигналов  $\{\xi_n^k\}_{k=1}^B$ .

Максимальная мощность  $I_1!$  множества суррогатных сигналов зависит от длины исходного наблюдения  $N$ , от числа уровней квантования  $I$  и может значительно превышать минимально необходимую мощность  $B$ , т.е.  $I! \gg B$ .

Для формирования имитирующей помехи внесим в сформированный  $k$  суррогатный сигнал ложный информационный параметр  $\lambda_{\Pi}(t)$  (время запаздывания -  $t_3$  ложн, доплеровское смещение частоты  $F_{\text{Д ложн}}$ ).

На рис. 2 приведены результаты имитационного моделирования метода формирования имитирующей помехи  $ss_{\Pi}(t)$  (имитирующей сложный зондирующий радиолокационный сигнал), уводящей по дальности и по скорости, с введением ложного времени запаздывания  $\tau_3$  и доплеровского смещения частоты  $F_{\text{Д}}$  в суррогатный помеховый сигнал.

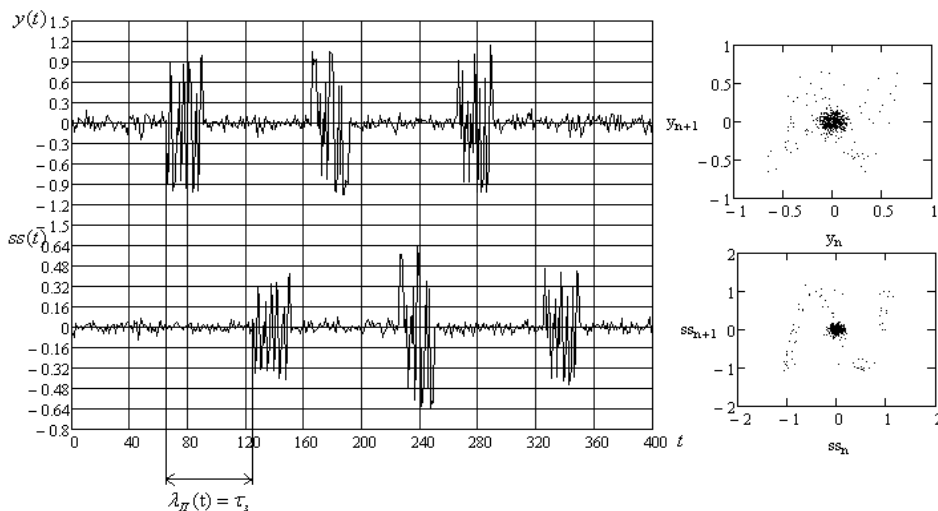


Рис. 2. Временные реализации и соответствующие им фазовые портреты зондирующих хаотических радио импульсов (вверху) и имитационной помехи (внизу)

Из рисунка видно, что применение технологии формирования суррогатных сигналов позволяет сформировать «клон» сигнала радиотехнической системы и внести в него ложные параметры с необходимыми значениями. Эта технология позволяет сохранить все свойства и параметры наблюдаемого сигнала произвольной «формы», усреднить шум наблюдения, что хорошо видно из сравнения фазовых портретов. «Форма» радиолокационных импульсов при формировании ансамбля суррогатных сигналов сохраняется.

С целью формирования помехи, уводящей по скорости для сложного широкополосного сигнала необходимо вносить доплеровское смещение частоты  $F_D$  для каждой составляющей спектра сигнала.

Значения  $\tau_3$  и  $F_D$  могут быть рассчитаны для заданных ложных трасс сопровождения целей заранее и введены в алгоритм формирования помех.

Такой подход применим для формирования ансамбля суррогатных сигналов с разными значениями ложных параметров и позволяет сформировать ансамбль имитирующих помех, что в свою очередь позволит создавать многопрограммные и многоканальные станции активных помех каналам дальности и скорости. Применение таких помех может привести к перегрузкам работы спецвычислителя вторичной обработки радиолокационной информации.

Кроме того, предложенный метод позволяет сформировать более простой класс помех: ответных импульсных и несинхронных импульсных.

Подробные аналитические исследования эффективности влияния таких помех на качество функционирования радиотехнических систем затруднительны и результаты исследований в этой области не всегда доступны. Поэтому судить об эффективности влияния ответных имитационных помех лучше всего по результатам имитационного моделирования.

На рис. 3 иллюстрируется на имитационной модели постановка имитирующих помех РЛС (ложных целей), применяющей сложные радиолокационные сигналы.

Из рисунка видно, что такой подход может значительно затруднять процесс автосопровождения, наведения и целеуказания воздушных целей бортовыми прицельными навигационными комплексами, а в некоторых случаях вызывать перегрузку приемных устройств, спец вычислителей и срывать их функционирование.

На рис. 4 приведена структурная схема одного канала станции формирования ответных имитационных помех с применением технологии (метода) формирования суррогатных сигналов.

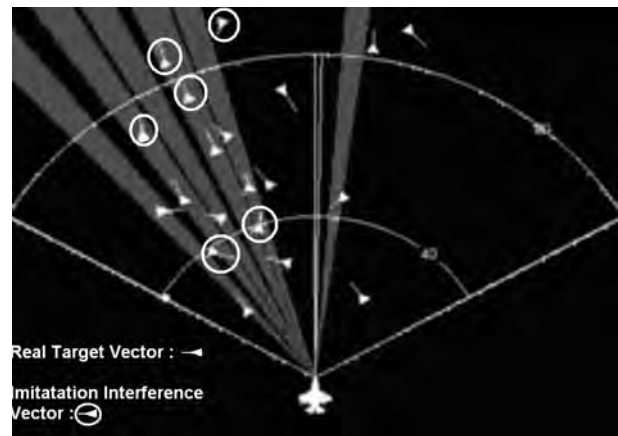


Рис. 3. Имитационное моделирование создания имитирующих помех РЛС, применяющей сложные сигналы

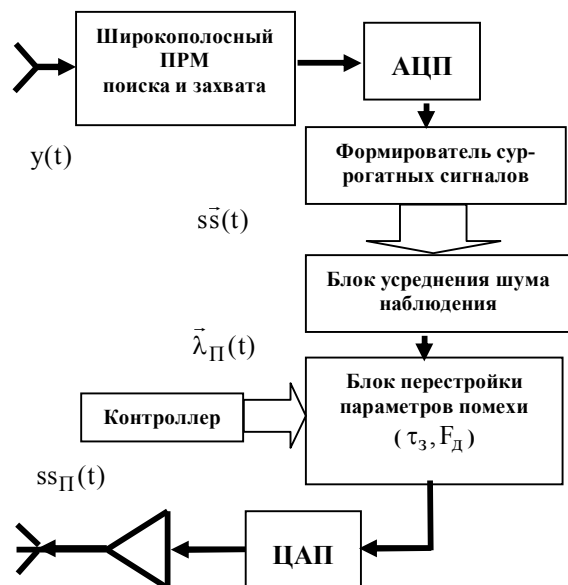


Рис. 4. Структурная схема станции формирования ответных имитационных помех с применением суррогатных сигналов.

Принцип действия метода формирования ответных имитационных помех с применением суррогатных сигналов заключается в следующем: широкополосным приемником принимается аддитивная смесь сигнала радиотехнической системы и шума наблюдения  $y(t)$ , которая далее подвергается аналогово-цифровому преобразованию в АЦП и поступает в формирователь ансамбля суррогатных сигналов. В блоке формирователя суррогатных сигналов формируется ансамбль  $s\bar{s}(t)$ , который далее подвергается усреднению с целью компенсации шума наблюдения. Далее в усредненный суррогатный сигнал вводится ложный информационный параметр  $\lambda_{\Pi}(t)$  и после цифро-аналогового преобразования и усиления сформированная имитирующая помеха  $ss_{\Pi}(t)$  излучается в заданном направлении.

## Выводы

Таким образом, для дезинформации радиотехнических систем обнаружения целей, наведения на них средств поражения разного класса можно применять имитирующие помехи, полученные методом формирования суррогатных сигналов. Такой метод позволяет сформировать помехи для сигналов произвольной формы, так как не опирается на время-частотные характеристики сигнала и производит анализ сигналов и формирование его «клонов» (суррогатов) в области фазовых пространств (образов сигналов). Предложенный метод позволяет сформировать более простой класс ответных импульсных и несинхронных импульсных помех.

Это в свою очередь позволяет создавать многопрограммные и многоканальные станции активных помех, не опираясь на априорную информацию о свойствах и характеристиках сигналов радиотехнических систем.

Другими словами применение суррогатных сигналов и методов цифровой обработки для формирования активных имитирующих помех позволяет существенно снизить помехозащищенность многих радиотехнических комплексов и систем, так как сложная форма их сигнала не ограничивает возможности изложенного метода формирования имитирующих помех. Оперативность и простота имитации в данном случае достигается тем, что имитирующие сигналы могут излучаться в ответ как однократным, так и многократными помехами.

## Список литературы

1. Михайлов А.В. Подавляющее информационное превосходство / А.В. Михайлов // Воздушно-космическая оборона. Информационно-аналитическое издание. – 2010. – Т. 7. – С. 20–25.

2. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я.Д. Ширман, С.П. Леценко [и др.] // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 1996. – Т. 11. – С. 14-25.

3. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / [В.Д. Добыкин, А.И. Куприянов, В.Г. Пономарев и др.]; / под. общ. ред. А.И. Куприянова. – М.: ЗАО “Вузовская книга”, 2007. – 463 с: ил., библиограф. 119 назв.

4. Pace P.E. Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar / P.E. Pace. – Second Edition. – London: Artech house, 2009. – 862 p.

5. Hou Jiangang, Tao Ran, Shan Tao, and Qi Lin. 2004. A novel LPI radar signal based on hyperbolic frequency hopping combined with barker phase code. 2004 7<sup>th</sup> International Conference on Signal Processing Proceedings (IEEE Cat.no.04TH8739) (2004): 2070; 2070-3 vol.3; 3o.3.

6. Theiler, J.S. Testing for nonlinearity in time series: The method of surrogate data / Theiler, J. S. Eubank, A. Longtin, B. Galdrikian, J.D. Farmer // Physica D. – 1992. – 58. – P. 77-94.

7. Новый подход к непараметрическому обнаружению хаотических сигналов на фоне белого шума с использованием "нелинейной динамической статистики" / П. Ю. Костенко, К. С. Васюта, А. Н. Барсуков [и др.] // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХВПС, 2010. – Вип. 3 (25). – С. 108–116.

8. Kanzler Ludwig. Very Fast and Correctly Sized Estimation of the BDS Statistic / Ludwig Kanzler // Christ Church and Department of Economics University of Oxford. – 1999. – 95 p.

Поступила в редколлегию 17.04.2013

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

## ФОРМУВАННЯ ІМІТАЦІЙНИХ ПЕРЕШКОД У ВІДПОВІДЬ РАДІОТЕХНІЧНИМ СИСТЕМАМ З ВИКОРИСТАННЯМ СУРОГАТНИХ СИГНАЛІВ

К.С. Васюта

У роботі вперше запропоновано для формування імітаційних перешкод у відповідь радіотехнічним системам застосування методу формування суррогатних сигналів. Такий метод дозволяє сформувати перешкоди для сигналів вільної "форми" не спираючись на його частотно - часові характеристики і будь-яку іншу априорну інформацію про властивості сигналу. Запропонований метод заснований на аналізі образу сигналу в фазовому просторі та формування на його основі сурогату (клон) сигналу, зберігаючи при цьому кореляційні, спектральні і динамічні властивості сигналу. Даний підхід дозволяє істотно знизити перешкодозахищеність багатьох радіотехнічних комплексів і систем, так як складна форма їх сигналу більше не може обмежувати можливості засобів радіоелектронної боротьби.

**Ключові слова:** імітаційні перешкоди, суррогатні сигнали, радіоелектронна боротьба.

## FORMATION OF RESPONSE SIMULATION INTERFERENCE FOR RADIO ENGINEERING SYSTEMS WITH APPLICATION SURROGATE SIGNALS

K.S. Vasyta

For the first time proposed for the formation of reciprocal interference radio system simulation application of the method formation of surrogate signals. This method allows generating interference for signals of arbitrary 'form' is not based on his time - frequency characteristics, and any other apriority information about the properties of the signal. The proposed method is based on analysis of the image signal in the phase space and forming at its base a surrogate (clone) signal while maintaining the correlation, spectral and dynamical properties of the signal. This approach can significantly reduce the noise immunity of many radio systems and systems as well as a complex form the signal can no longer restrict the ability of electronic warfare.

**Keywords:** simulation interference surrogate signals, electronic warfare.