

УДК 621.391

К.С. Васюта, С.В. Озеров, А.Н. Королюк, Д.С. Комин

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

ОЦЕНКА СКРЫТНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ BDS-СТАТИСТИКИ

В работе проведена оценка скрытности функционирования радиотехнических систем передачи информации военного назначения при помощи BDS-статистики. Показаны причины недостаточной скрытности функционирования рассматриваемых систем. Приведены графики характеризующие зависимость значений BDS-статистики от отношения сигнал / шум на входе непараметрического обнаружителя.

Ключевые слова: радиотехнические системы передачи информации, скрытность, BDS-статистика, гармонические несущие.

Введение

В современной теории военного противоборства все большее значение придается внедрению новых систем управления, основанных на сетевых принципах, при этом основой такой системы управления является радиотехническая система передачи информации (РТС ПИ). Основным требованием, предъявляемым к современным РТС ПИ военного назначения, является их повышенная помехозащищенность, которая характеризуется успешным противодействием системы деструктивному воздействию со стороны противника. Под основой современного деструктивного воздействия на РТС ПИ [1] следует понимать применение средств радиотехнической разведки (РТР) и радиоэлектронного подавления (РЭП). Анализ литературы [2, 3] показывает, что одним из подходов повышения помехозащищенности РТС ПИ является применение сложных (широкополосных) сигналов. Однако развитие нелинейных методов обнаружения [например BDS-статистика] требует оценки скрытности сложных сигналов с позиции применения к ним нелинейных методов анализа наблюдений. Таким образом, **целью работы** является анализ скрытности современных РТС ПИ военного назначения при помощи BDS-статистики с позиции радиоразведки.

Основная часть

Традиционные энергетические методы обнаружения сигналов [4], опираются только на энергетические показатели сигнала, а именно на базу сигнала и отношение сигнал / шум на входе разведприемника. Для более адекватной оценки скрытности сигнала необходимо переходить в другую область анализа – анализировать "образ" сигнала в фазовом пространстве, т.е. оценивать структуру сигнала.

В работе [5] было предложено для оценки структурной скрытности сложных и хаотических сигналов применять BDS-статистику – непараметрическую статистику, которая учитывает дополни-

тельные свойства сигналов и не опирается на вид распределения шума наблюдения (помехи).

BDS-статистика базируется на статистических свойствах корреляционной размерности процесса в фазовом (псевдофазовом) пространстве, которая в свою очередь определяется корреляционным интегралом [5]. Его вычисления позволяют определить вероятность появления пар точек в псевдофазовом пространстве, находящиеся друг от друга на расстояниях, не превышающих $\varepsilon = 0.25\sigma$, где σ – дисперсия процесса [5]. Корреляционный интеграл определяется выражением:

$$C_{m,N}(\varepsilon) = \frac{2}{(N-m+1)(N-m)} \cdot \sum_{s=m}^N \sum_{t=s+1}^N \prod_{j=0}^{m-1} I_{\varepsilon}(\xi_{s-j}, \xi_{t-j}), \quad (1)$$

где $I_{\varepsilon}(\xi_i, \xi_j) = 1$ при $|\xi_i - \xi_j| \leq \varepsilon$ (иначе – 0) – функция Хевисайда для всех пар значений i и j , где $0 \leq i \leq N$ и $0 \leq j \leq N$; m – размерность пространства вложения (псевдофазового пространства); N – количество элементов временного ряда $\{\xi_i\}_{i=1}^N$ [5].

Брок, Детчер и Шейнкман показали, что $C_{m,N}(\varepsilon) \Rightarrow C_{1,N}(\varepsilon)^m$ с вероятностью 100% при $N \rightarrow \infty$, а $(C_{m,N}(\varepsilon) - C_{1,N}(\varepsilon)^m) \cdot \sqrt{N}$ является случайной асимптотически нормально распределенной величиной с нулевым средним и дисперсией, $\sigma_{m,N}^2(\varepsilon)$ которая определяется как [5]:

$$C_{m,N}^2(\varepsilon) = 4 \left\{ \begin{aligned} &R_{1,N}^m + 2 \sum_{j=1}^{m-1} R_{1,N}^{m-j} C_{1,N}^{2j} + \\ &+ (m-1)^2 C_{1,N}^{2m} - m^2 R_{1,N} C_{1,N}^{2m-2} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где

$$R_{1,N} = \frac{\sum_{t=1}^N \left[\sum_{s=1}^N I_{\varepsilon}(\xi_t, \xi_s) \right]^2 - 3 \sum_{s=1}^N \sum_{t=s+1}^N I_{\varepsilon}(\xi_s, \xi_t) + 2N}{N(N-1)(N-2)}. \quad (3)$$

BDS-статистика определяется следующим выражением [5]:

$$w_{m,N}(\varepsilon) = \sqrt{N-m} \frac{C_{m,N}(\varepsilon) - C_{1,N-m}(\varepsilon)^m}{\sigma_{m,N}(\varepsilon)} \quad (4)$$

и также является нормально распределенной случайной величиной при условии, что оценка $\sigma_{m,N}(\varepsilon)$ близка к ее теоретическому значению.

В контексте анализа скрытности функционирования РТС ПИ военного назначения рассмотрим средства радиосвязи (а соответственно и сигналы) применяемые в данных системах. Следует отметить, что рассмотрены, будут лишь недавно принятые и принимаемые на вооружение отечественных Вооруженных Сил цифровые средства радиосвязи нового поколения, а именно: радиостанция Р-1150, радиорелейная станция Р-450, радиостанция Р-030.

Радиостанция Р-1150. Коротковолновая радиостанция Р-1150 (рис. 1) предназначена для обеспечения

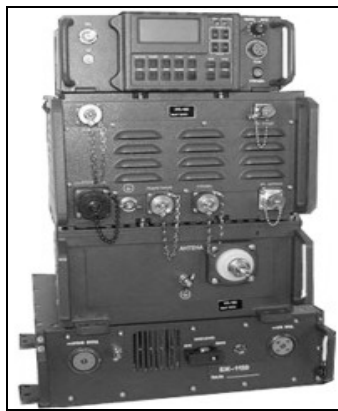


Рис. 1. Радиостанция Р-1150

Радиорелейная станция

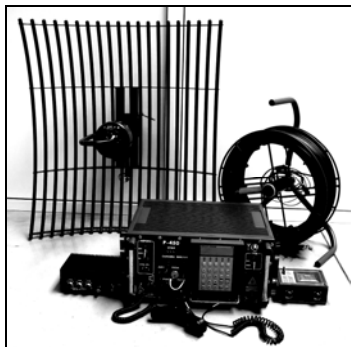


Рис. 2. Радиорелейная станция Р-450

Радиостанция Р-030.



Рис. 3. Радиостанция Р-030

цифровой связью при стационарном и полевом размещении пунктов управления, позволяет устанавливать связь на дальность до 350 км.

В Р-1150 применяются следующие виды модуляции [6]: А1А, J3E, В8E, А3E, F3E (F1B в режиме FSK модема).

Р-450. Радиорелейная станция (рис. 2) предназначена для создания высокоскоростных радиорелейных линий со скоростью передачи данных до 8 Мбит/с. Используется в стационарных и полевых объектах. В радиостанции применяются такие виды модуляции [7]: STANAG 4212, CP-FSK2r, QAM (OPSK).

Ультракотковолновая радиостанция Р-030 (рис. 3) предназначена для обеспечения радиосвязи в стационарных и полевых условиях в составе танков, бронетранспортеров, боевых машин на колесном и гусеничном ходу [8].

Радиостанция обеспечивает возможность передачи и приема голосовой информации и данных (цифровой информации) при работе на фиксированных частотах и в помехозащищенном режиме (ППРЧ). Виды модуляции: F1; F3E.

Подводя итог вышесказанного по средствам радиосвязи, отметим, что в основе всех видов модуляции, которые обеспечивают данные радиостанции, лежат "классические" – амплитудная, частотная и фазовая виды модуляции, которые характеризуются ограниченной скрытностью. Это обстоятельство объясняется тем, что модулированные таким образом радиосигналы обладают структурированным аттрактором (рис. 4), линейное строение которого нетрудно обнаруживается, так как он легко отличим от аттракторов соответствующих случайным процессам с независимыми значениями.

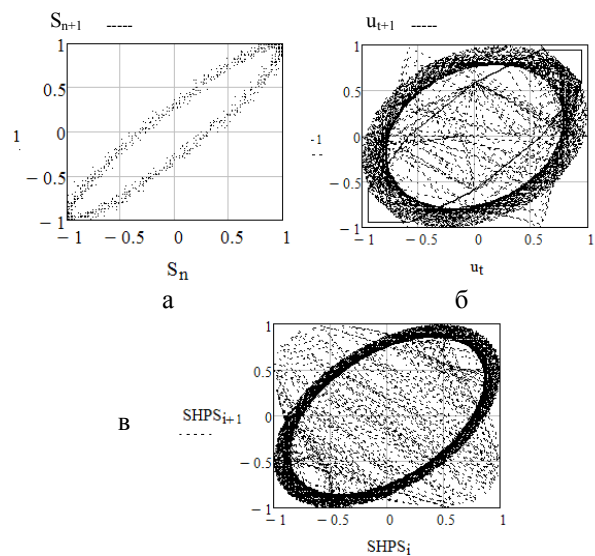


Рис. 4. Фазовый портрет амплитудно-модулированного сигнала – а; частотно-модулированного сигнала – б; фазомодулированного сигнала – в

Проведем анализ структурной скрытности приведенных выше сигналов с помощью BDS-статистики. Для сравнения дополнительно проведем оценку скрытности хаотического сигнала сформированного полиномом Чебышева первого рода 3-го порядка:

$$x_{n+1} = 4(x_n)^3 - 3x_n \quad (5)$$

На рис. 5 приведено семейство кривых, характеризующих зависимость значений BDS-статистики от отношения сигнал/шум на входе непараметрического обнаружителя. Расчет зависимостей выполнялся подсчетом относительного числа случаев появления BDS-статистик (выражение 4) за пределом доверительного интервала z_0 к общему числу ($K=100$) сформированных статистик. Выпадение статистик за пределы доверительного интервала указывает на существование зависимостей в наблю-

даемых данных и в рассматриваемом случае позволяет проводить правильную классификацию наблюдаемого сигнала как регулярного (рукотворного) процесса с некоторой вероятностью.

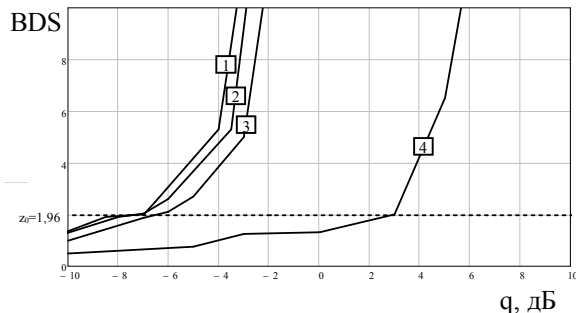


Рис. 5. Зависимость значений BDS-статистики от отношения сигнал/шум (сигналы: 1 – амплитудно-модулированный; 2 – частотно-модулированный; 3 – фазомодулированный; 4 хаотический)

Из анализа рисунка следует, что уже при отрицательном отношении сигнал/шум (-7 дБ – амплитудно-модулированный, частотно-модулированный сигнал, -6 дБ – фазомодулированный сигнал) значение BDS-теста для гармонических сигналов превышает z_0 , что позволяет классифицировать данные сигналы от шума наблюдения, в то же время для хаотического сигнала значение BDS-теста превышает z_0 при отношении сигнал/шум 3 дБ.

Таким образом, использование BDS-статистики позволяет пересмотреть подходы к анализу и обеспечению скрытности РТС ПИ военного назначения, поскольку учитывается дополнительная информация о “форме” сигнала, содержащаяся в его аттракторе численно определяемая “корреляционным интегралом” (корреляционной размерностью).

Выводы

Проведенный анализ скрытности функционирования РТС ПИ военного назначения показывает:

– стоящие на вооружении современные средства радиосвязи не обеспечивают скрытность функциони-

рования РТС ПИ в полной мере, так как используют гармонические несущие для передачи информации;

– гармонические несущие обладают структурированным аттрактором, линейное строение которого нетрудно обнаруживается путем применения непараметрических методов анализа (BDS-статистика);

– применение BDS-статистики позволяет обнаружить гармонические сигналы уже при отрицательных значениях отношений сигнал/шум в Дб (спрятанных под шум) на входе приемника.

Для повышения скрытности функционирования РТС ПИ военного назначения целесообразно применять хаотические несущие, структурная скрытность которых в 8 раз превышает структурную скрытность гармонических сигналов.

Список литературы

1. Макаренко С.И. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты / С.И. Макаренко, М.С. Иванов, С.А. Попов – СПб.: Свое издательство, 2013. – 166 с.: ил.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. / Б. Скляр. – М.: Издательский дом Вильямс, 2003 – 1104 с.
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985 – 384 с.
4. Радзиевский В.Г. Теоретические основы радиоэлектронной разведки / В.Г. Радзиевский, А.А. Сирота. 2-е изд., доп. – М.: Радиотехника, 2004. – 431 с.
5. Непараметрический BDS-обнаружитель хаотических сигналов на фоне белого шума / П.Ю. Костенко, К.С. Васюта, А.Н. Барсуков и др. // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2011. – Т. 54, № 1. – С. 23-31.
6. Радиостанция КВ диапазона P-1150 – [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://uos.ua/produktsiya/svyazi-asu/41-radiostantsiya-kv-diapazona-r-1150>.
7. Краснер С.Ю. Станція радіорелейна P-450. Посібник по експлуатації / С.Ю. Краснер. – 2007. – 56 с.
8. Лутов О.О. Радіостанція УКХ перевізна 30 Вт. Посібник по експлуатації / О.О. Лутов. – 2007. – 116 с.

Поступила в редколлегию 23.04.2013

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

ОЦІНКА СКРИТНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ BDS-СТАТИСТИКИ

К.С. Васюта, С.В. Озеров, О.М. Корольюк, Д.С. Комін

У роботі проведена оцінка скритності функціонування радіотехнічних систем передачі інформації військового призначення за допомогою BDS-статистики. Показано причини недостатньої скритності функціонування розглянутих систем. Наведені графіки характеризують залежність значень BDS-статистики від ставлення сигнал / шум на вході непараметричного виявляча.

Ключові слова: радіотехнічні системи передачі інформації, скритність, BDS-статистика, гармонійні несучі.

EVALUATION OF STEALTH FUNCTIONING THE MILITARY RADIO SYSTEMS TRANSMISSION INFORMATION USING BDS-STATISTICS

K.S. Vasyta, S.V. Ozerov, A.N. Korolyuk, D.S. Komin

In this paper assessed the stealth functioning of military radio data transmission systems. The reasons for the lack of stealth operation systems under consideration are showed. The graphs describing the dependence of the values BDS-statistics on the signal / noise ratio at the input of the non-parametric detector are presented.

Keywords: radio data transmission system, stealth, BDS-statistics, harmonic carriers.