

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛУКТУАЦИЙ
ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЦЕЛЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ПОГОДНЫХ
УСЛОВИЯХ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ТРАКТА
МЕЖДУПЕРИОДНОЙ ОБРАБОТКИ

АУНГ БО БО ТУН, МЬИНТ МАУНГ МАУНГ У

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: aungb822@gmail.com

Аннотация. Представлена методика и результаты расчета междупериодных корреляционных свойств отраженных сигналов от различных воздушных объектов. С учетом этих корреляционных свойств смоделированы входные воздействия для устройств междупериодной обработки радиолокационного сигнала.

Abstract. The method and results of calculating the inter-period correlation properties of reflected signals from various air objects are presented. Taking into account these correlation properties, input effects for inter-period radar signal processing devices were modeled.

Ключевые слова: отраженный сигнал, энергетический спектр, корреляционная функция, коэффициент корреляции

Введение

Характеристик междупериодных флуктуаций отраженного сигнала (ОС) учитываются при проектировании радиолокационных приемников, при моделировании адекватных входных воздействий, для расчета потенциальной эффективности обработки отраженного сигнала от различных классов целей в различных погодных условиях и зависят от множества факторов. Основными такими факторами являются тип, курс цели и погодные условия [1, 2]. Существуют различные методы получения флуктуационных характеристик ОС. Самым достоверным методом является экспериментальный, но он требует значительных материальных затрат. Теоретические расчеты несут минимальные материальные затраты, но имеют низкую точность. Использование метода компьютерного моделирования приносит более точные результаты чем теоретические расчеты и требует значительно меньших материальных затрат чем эксперимент. Так же существуют различные уже готовые модели, с помощью которых возможно получить данные для оценки корреляционных свойств междупериодных флуктуаций отраженного сигнала. Такой моделью является программа BACK SCATTERING SIMULATION [3], далее – BSS.

Способ

Рассмотрим корреляционные свойства последовательности отраженных сигналов от различных целей при различных погодных условиях с помощью программы BSS, которая позволяет получить комплексные междупериодные значения амплитуд флуктуирующего сигнала с учетом характеристик радиолокационной станции, параметров движения цели и погодных условий.

Для оценки междупериодных корреляционных свойств отраженного сигнала путем моделирования для каждого типа воздушного объекта генерировалось 25.000 комплексных амплитуд. Моделирование проводилось для радиолокатора со следующими характеристиками: частота зондирования 500 Гц, длительность зондирующего сигнала 3 мкс, длина волны 10 см.

Каждый массив полученных значений рассматривался как стационарный случайный процесс [1, 4]. С учетом стационарности этот массив разделялся на 250 интервалов по 100 значений. На каждом интервале f_m осуществлялись оценки энергетического спектра флуктуаций пачки отраженных сигналов:

$$\hat{S}_n^k = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} f_m^k e^{-j2\pi \frac{mn}{N}}$$
, где k – номер интервала; N – число отсчетов энергетического спектра флуктуаций.

Оценка энергетического спектра междупериодных флуктуаций определяется как среднее арифметическое значение энергетических спектров всех интервалов: $\hat{S} = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \hat{S}^k$, где \hat{S}^k – мгновенный энергетический спектр флуктуаций ОС. Корреляционная функция флуктуаций ОС рассчитывается с

помощью выражения: $\hat{R}_n = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \hat{S}_m^k e^{j2\pi \frac{mn}{N}}$.

На рисунке 2, а показаны энергетические спектры флуктуаций отраженного сигнала от различных типов целей при нормальных погодных условиях (спокойная атмосфера, среднеквадратическое отклонение скорости ветра менее 0,5 м/с [3]).

С помощью представленной выше методики были получены характеристики междупериодных флуктуаций отраженного сигнала в турбулентных погодных условиях (грозовая турбулентность, среднеквадратическое отклонение скорости ветра более 4 м/с [3]), рисунки 1 и 2. Аналогичные расчеты были проведены для нормальных погодных условий.

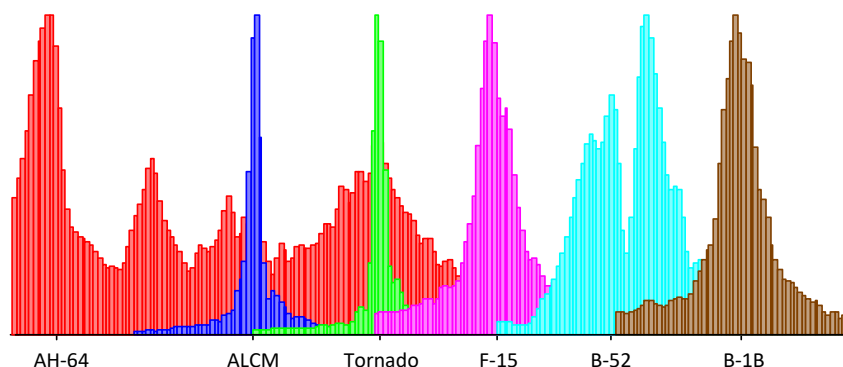


Рис. 1. Энергетические спектры междупериодных флуктуаций ОС:

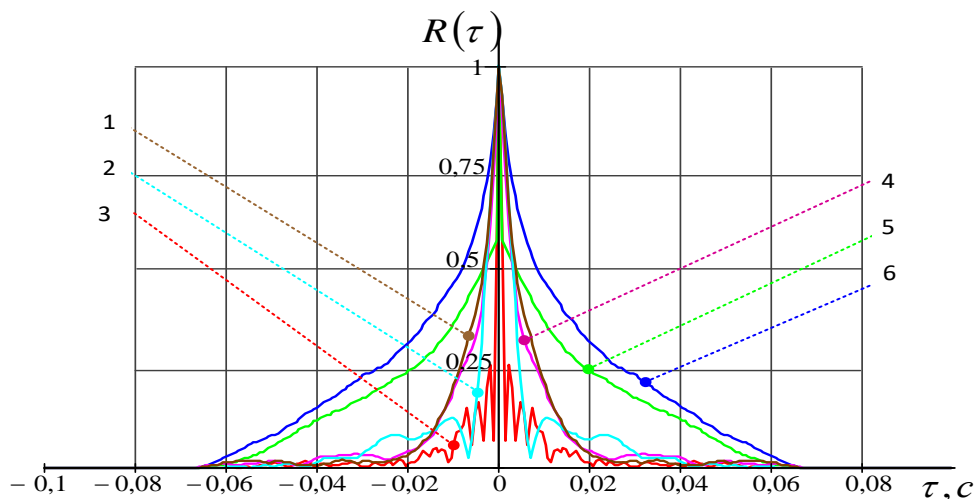


Рис. 2. Корреляционные функции междупериодных флуктуаций ОС от различных целей:

1 – крылатая ракета ALCM; 2 – тактический истребитель Tornado; 3 – тактический истребитель F-15; 4 – стратегический бомбардировщик B-1B; 5 – стратегический бомбардировщик B-52; 6 – вертолет AH-64

Полуширина основного лепестка корреляционной функции определяет время корреляции: $\tau_c = \sum_{k=0}^{N-1} R_{\Pi}(k)$. При аппроксимации корреляционной функции флуктуаций отраженного сигнала

экспоненциальной огибающей коэффициент корреляции определяется выражением $r_c = e^{-T_n/\tau_c}$, где T_{Π} – период повторения зондирующего сигнала.

Используя приведенную выше методику расчета корреляционных характеристик флуктуаций отраженного сигнала, получим данные для различных типов целей, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Корреляционные характеристики междупериодных флуктуаций отраженного сигнала

Тип цели	Ширина лепестка ЭС (Δf_c), Гц		Коэфф. корреляции (r_c)		Время коррел. (τ_c), с	
	норм. атм.	турбул. атм.	норм. атм.	турбул. атм.	норм. атм.	турбул. атм.
АН-64	17,40	52,45	0,933	0,811	0,029	0,009
ALCM	6,45	8,26	0,975	0,967	0,078	0,061
Tornado	6,70	17,33	0,974	0,933	0,075	0,029
F-15	9,58	16,82	0,962	0,935	0,052	0,029
B-52	7,84	28,56	0,969	0,892	0,064	0,017
B-1B	9,58	16,82	0,962	0,935	0,052	0,029

Действительно, из таблицы 1 видно, что корреляционные характеристики последовательности отраженных сигналов значительно отличаются друг от друга в зависимости от типа цели и погодных условий. Использование данных, приведенных в таблице 1, позволяет моделировать входные воздействия для устройств междупериодной обработки (МПО) для конкретных типов целей в нормальных и турбулентных погодных условиях. Использование таких входных воздействий позволит проверить работоспособность тракта МПО, оценить эффективность отдельных элементов тракта и сравнить ее с потенциальной. Потенциальную эффективность некоторых устройств МПО также возможно рассчитать [1, 5] с помощью корреляционных характеристик из таблицы 1. Алгоритм формирования междупериодной последовательности ОС ($x(kT_{\Pi})$) описывается выражениями (1), (2) и (3) [6], $x(kT_{\Pi})$ - значения элементов вектора $\mathbf{x} = [x(0) \ x(T_{\Pi}) \ \dots \ x(NT_{\Pi})]^T$.

$$\mathbf{x} = \mathbf{R}_{\Phi} \mathbf{h} \tag{1}$$

где \mathbf{R}_{Φ} - корреляционная матрица формирующего фильтра, которая находится с помощью преобразования Холецкого от корреляционной матрицы сигнала; $\mathbf{h} = [h(0) \ h(T_{\Pi}) \ \dots \ h(NT_{\Pi})]^T$ - вектор, элементами которого являются комплексные значения белого шума с единичной дисперсией.

Корреляционной матрицы сигнала \mathbf{R}_c описывается выражением:

$$\mathbf{R}_c = \begin{bmatrix} r_c(0) & r_c(T_{\Pi}) & \dots & r_c(NT_{\Pi}) \\ r_c(T_{\Pi}) & r_c(0) & \dots & r_c[(N-1)T_{\Pi}] \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_c(NT_{\Pi}) & r_c[(N-1)T_{\Pi}] & \dots & r_c(0) \end{bmatrix}; \tag{2}$$

где $r_c(kT_{\Pi})$ - корреляционная функция ОС, учитывающая мощность сигнала (σ_c^2), времени корреляции (τ_c) и частоту Доплера (F_{dc}) ОС, выражение:

$$r_c(kT_{\Pi}) = 2\sigma_c^2 e^{-\frac{kT_{\Pi}}{\tau_c}} e^{j2\pi F_{dc}kT_{\Pi}} \tag{3}$$

Результаты моделирования входного воздействия показаны на рисунке 3, характеристики этих же стационарных случайных процессов (ССП) представлены в табл. 2.

Таблица 2. Корреляционные характеристики междупериодных флуктуаций сигнала

№ ССП	Ширина лепестка ЭС (Δf_c), Гц	Коэфф. корреляции (r_c)	Время коррел. (τ_c), с
1	12,86	0,95	0,038
2	9,76	0,96	0,051
3	7,68	0,97	0,065
4	5,21	0,98	0,095

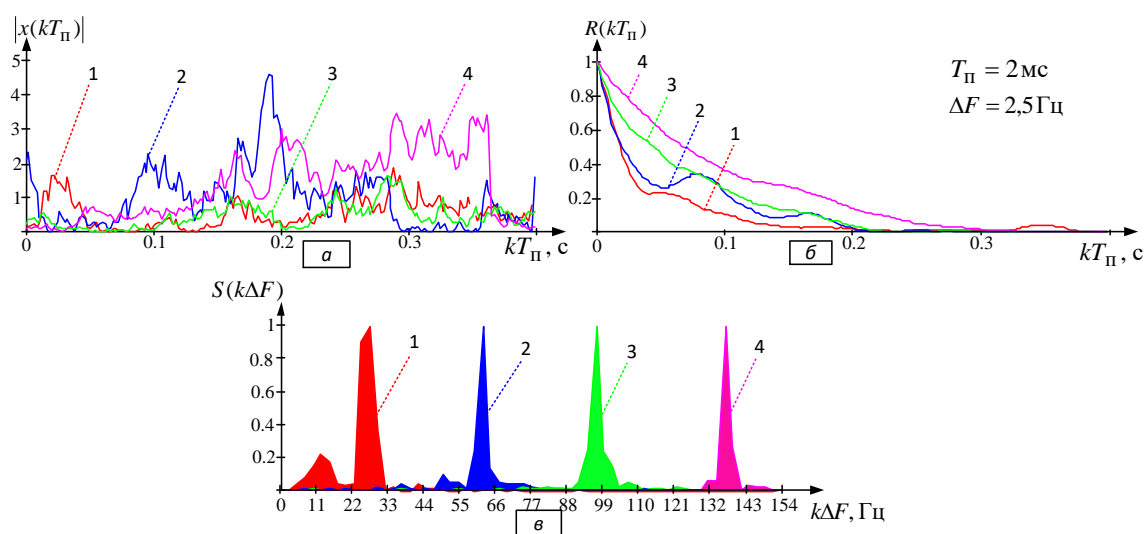


Рис. 3. Результаты моделирования входного воздействия:

- а – модуль комплексных амплитуд сигнала; б – нормированная корреляционная функция сигнала;
в – нормированный энергетический спектр сигнала

Заключение

Таким образом, предложенная выше методика позволит рассчитывать корреляционные характеристики междупериодных флуктуаций ОС для различных типов целей в различных погодных условиях и из полученных данных формировать входные воздействия для тракта МПО. Также полученные данные возможно использовать при проектировании устройств МПО и расчета их потенциальной эффективности в конкретной обстановке.

Список использованных источников

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справ. / Я. Д. Ширман [и др.]; под ред. Я. Д. Ширмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
2. Габец, С. А., Седышев, С. Ю. Характеристики обнаружения радиолокационного приемника, учитывающего корреляционные свойства отраженного сигнала / С. А. Габец, // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2014. – № 1 (42). – С. 81–87.
3. Shirman, Y. D. Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Recognition, Detection, and Tracking / Y. D. Shirman, S. A. Gorshkov, S. Yu. Sedyshev. – Boston – London: Artech House, Inc., 2002. – 294 p.
4. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: учеб. для студ. вузов / Е. С. Вентцель. – 10-е изд., стер. – М.: Академия, 2005. – 576 с.
5. Латушкин, В. В. Основы радиолокации. Модели сигналов и помех: конспект лекций / В. В. Латушкин, С. А. Горшков, С. Ю. Седышев. – Минск: ВА РБ, 2005. – Ч. 2. – 172 с.
6. Быков, В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике / В. В. Быков. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 330 с.