

УДК 621.396.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДИСКРЕТНОЙ ЧАСТОТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ «УЭЛЧ-16»

Мрачковский О.Д., Добриков А.В.

Дискретные частотные сигналы являются собой последовательность элементов (элементарных сигналов), смещенных во времени и по частоте. Свойства дискретных частотных сигналов позволяют использовать их во многих радиотехнических системах. Это объясняется, во-первых, тем, что они позволяют достаточно просто реализовать большую базу B сигнала, во-вторых, они позволяют получить лучшую помехоустойчивость относительно некоторых видов организованных помех [1].

Существуют числовые последовательности, которые происходят из матриц построенных на основе теоремы Уэлча [2]. Использование данного ряда чисел в качестве частотных кодирующих последовательностей для дискретных частотных сигналов может быть полезным для уменьшения уровня боковых выбросов функции неопределенности.

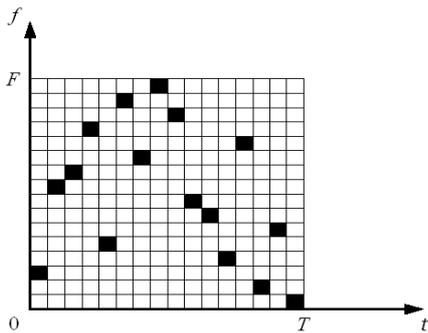


Рис.1. Распределение энергии последовательности «Уэлч-16»

Рассмотрим кодирующую последовательность чисел образованную матрицей «Уэлч-16» [3]:

{3, 9, 10, 13, 5, 15, 11, 16, 14, 8, 7, 4, 12, 2, 6, 1}

Для данной кодирующей последовательности распределение энергии на частотно-временной плоскости (f, t) показано на рис.1.

Взаимная функция неопределенности дискретных частотных сигналов первого порядка имеет вид [1]:

$$R_{jk}(\tau, \Omega) = \sum_{\nu=1}^N \sum_{\mu=1}^N \rho R_Z[\tau - (\nu - \mu)\Delta t, \Omega + (\gamma_{j\nu} - \gamma_{k\mu})\Delta\omega] e^{i\varepsilon_Z(\tau, \Omega)}$$

где $\Delta\omega$ - сдвиг по частоте между элементами сигнала; Δt - длительность одного элемента; $\gamma_{j\nu}$ - функция, которая определяет закон частотной манипуляции дискретного частотного сигнала; нормирующий множитель

$\rho = \sqrt{\frac{E_{j\nu} E_{k\mu}}{E_j E_\mu}}$; в котором E_j, E_k - энергии j -го и k -го сигналов; $E_{j\nu},$

$E_{k\mu}$ - энергии ν -го элемента j -го сигнала и μ -го элемента k -го сигнала; индекс $Z = j\nu, k\mu$ - некоторая комбинация индексов j, ν, k, μ , причем

$\nu, \mu = \overline{1, N}$, $j, k = \overline{1, J}$, где N – количество элементов сигнала и количество числовых позиций, а J – объем системы сигналов; взаимная функция неопределенности элементов с индексом Z

$$R_Z(\tau, \Omega) = \frac{1}{2\sqrt{E_{j\nu}E_{k\mu}}} \int_{-\infty}^{\infty} U_{j\nu}(t) \dot{U}_{k\mu}(t - \tau) e^{i\Omega t} dt;$$

фазовый множитель

$$\varepsilon_Z(\tau, \Omega) = (\gamma_{k\mu} - 1)\Delta\omega\tau + (\nu - 1)\Delta t\Omega - (\nu - \mu)(\gamma_{k\mu} - 1)\Delta\omega\Delta t;$$

В среде MATLAB была составлена программа, которая позволяет реализовать описанную выше функцию неопределенности (ФН) дискретных частотных сигналов, при этом в качестве закона частотной манипуляции используется кодирующая частотная последовательность образованная матрицей «Уэлч-16», где выбрана

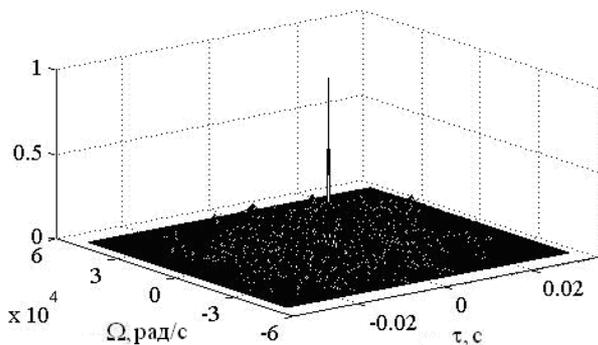


Рис. 2. ФН последовательности «Уэлч-16»

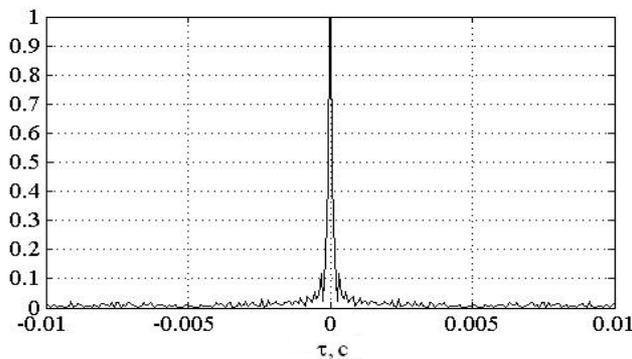


Рис. 3. АКФ сигнала

дальше наблюдается постепенное снижение до уровня 0.02 (-34 дБ).

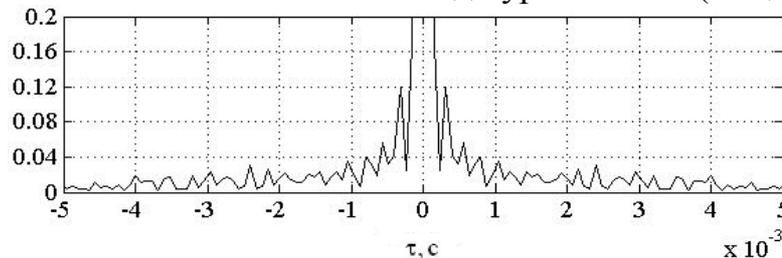


Рис. 4. Уровень боковых лепестков АКФ сигнала.

На рис. 5. представлен срез тела неопределенности вдоль оси $\tau = 0$ – частотная корреляционная функция (ЧКФ) сигнала.

длительность одного элемента $\Delta t = 0.002$ с, сдвиг по частоте между элементами сигнала $\Delta\omega = 1000\pi$ рад/с. В результате выполнения программы была получена функция неопределенности для последовательности «Уэлч-16», которая изображена на рис. 2.

Автокорреляционная функция (АКФ) сигнала, то есть срез тела неопределенности вдоль оси $\Omega = 0$ показан на рис. 3. Рассмотрим уровень боковых выбросов АКФ сигнала, изображенных на рис. 4 при увеличенном масштабе. Первые боковые выбросы находятся на уровне 0.12 (-18.4 дБ), вторые на уровне 0.06 (-24.4 дБ),

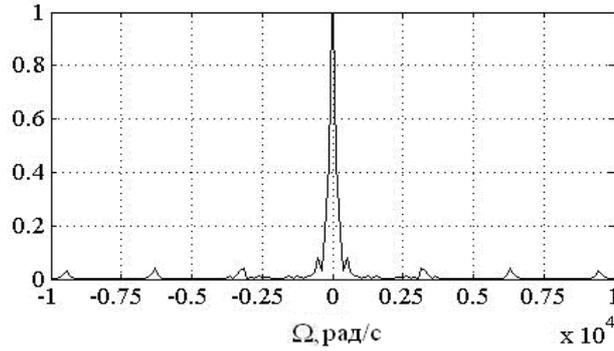


Рис. 5. ЧКФ сигнала

Уровень боковых выбросов ЧКФ сигнала изображен на рис. 6 с увеличенным масштабом. Первые боковые выбросы находятся на уровне 0.08 (-22 дБ), вторые на уровне 0.041 (-27.7 дБ), далее наблюдается постепенное уменьшение уровней боковых выбросов.

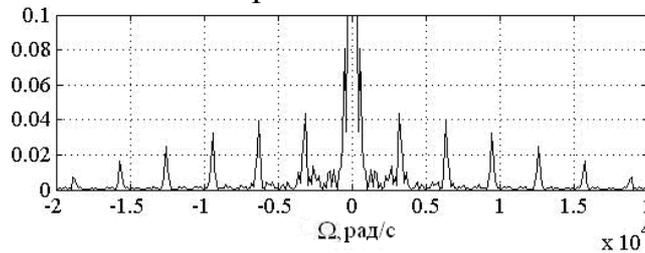


Рис. 6. Уровень боковых лепестков ЧКФ сигнала.

На рис. 7, 8, 9, показаны взаимные корреляционные функции (ВКФ) сигнала на уровнях -1 дБ (0.9), -3 дБ (0.707) и -6 дБ (0.5). Они характеризуются увеличением уровня боковых выбросов в сравнении с АКФ сигнала.

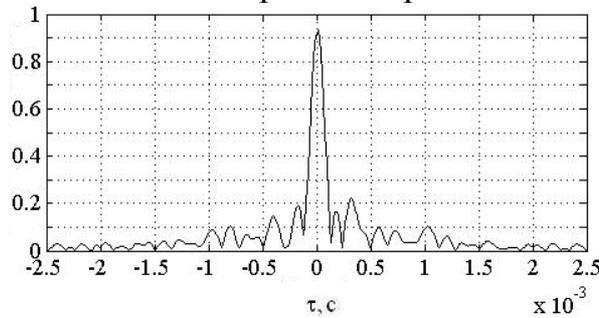


Рис. 7. Разрез ФН при $\Omega = 50$ рад/с (ВКФ на уровне 0.9 от максимума).

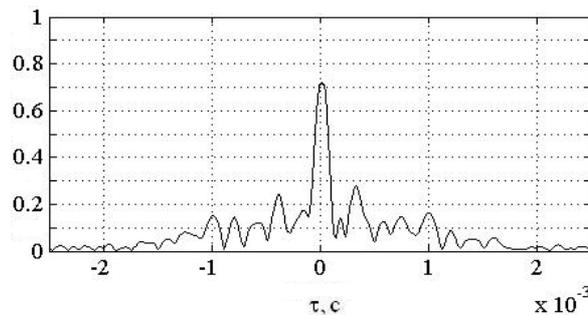


Рис. 8. Разрез ФН при $\Omega = 90$ рад/с (ВКФ на уровне 0.707 от максимума).

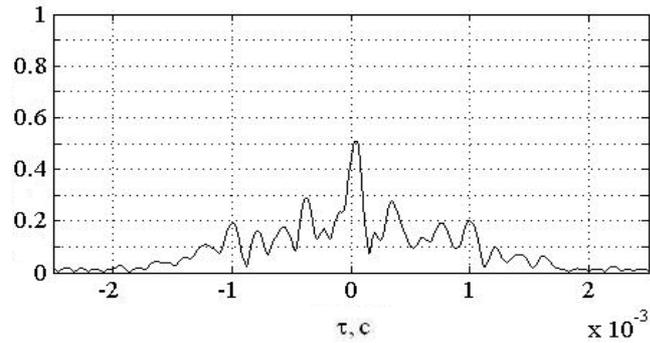


Рис. 9. Разрез ФН при $\Omega = 125$ рад/с (ВКФ на уровне 0.5 от максимума).

На рис. 10 показаны изокорреляты функции неопределенности, или диаграммы неопределенности на уровнях -1 дБ (0.9), -3 дБ (0.707), -6 дБ (0.5), то есть в области сильной корреляции.

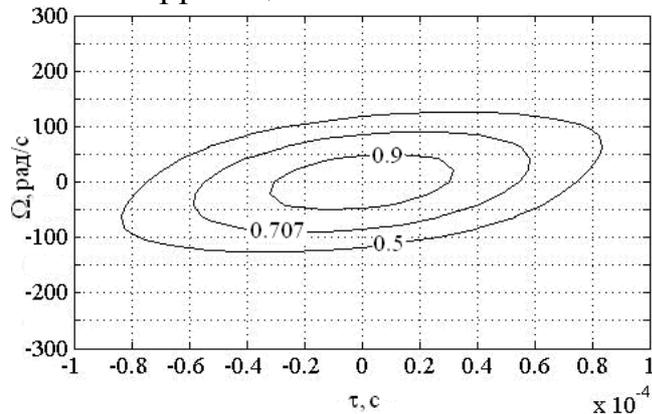


Рис. 10. Изокорреляты ФН в области сильной корреляции

Разрешающая способность дискретного частотного (ДЧ) сигнала в области сильной корреляции по дальности ($\Delta\tau$) и по скорости ($\Delta\Omega$) представлена в таблице, для уровней -1 дБ (0.9), -3 дБ (0.707), -6 дБ (0.5), где T – длительность ДЧ сигнала [1]: $T = N \cdot \Delta t$; W – ширина спектра ДЧ сигнала, которая определяется по формуле [1]: $W = N \cdot \Delta\omega$.

Таблица

Уровни	0.9 (-1 дБ)	0.707 (-3 дБ)	0.5 (-6 дБ)
Потенциальная разрешающая способность по дальности $\Delta\tau$	$0.34 \frac{1}{W}$	$0.17 \frac{1}{W}$	$0.12 \frac{1}{W}$
Потенциальная разрешающая способность по скорости $\Delta\Omega$	$0.31 \frac{1}{T}$	$0.175 \frac{1}{T}$	$0.125 \frac{1}{T}$

Как видно из табл. 1, потенциальная разрешающая способность по дальности и по скорости улучшилась по сравнению с псевдошумовым сигналом. Результаты исследования функции неопределенности в области слабой корреляции представлены на рис. 11 в виде изокоррелятов на уровнях -10 дБ (0.3) и -20 дБ (0.1).

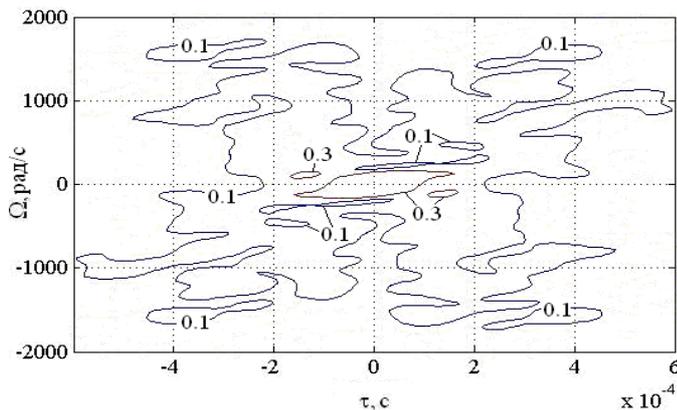


Рис. 11. Изокорреляты ФН в области слабой корреляции.

Рис. 11 иллюстрирует местоположение боковых выбросов ФН кодовой последовательности Уэлч-16 в области слабой корреляции. Судя по последним публикациям [3], кодовые последовательности Уэлча находятся под пристальным вниманием теоретиков и разработчиков.

Литература

1. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. – М.: Советское радио, 1974. – 304 с.
2. Costas J. A study of a class of detection waveforms having nearly ideal range-Doppler ambiguity properties//Proceedings of the IEEE, pp 996-1009, Vol72, No 8, August 1984.
3. Jerome A. LeMieux, Franklin M. Analysis of FSK/PSK modulated radar signals using Costas arrays and complementary Welty codes.//IEEE International Radar Conference, 1990.

Мрачковський О.Д., Добріков О.В. Дослідження функції невизначеності дискретної частотної послідовності «Уелч-16». Розглянута функція невизначеності дискретного частотного сигналу, в якому використаний ряд чисел «Уелч-16» в якості частотної кодувочої послідовності.

Ключові слова: функція невизначеності, дискретний частотний сигнал.

Мрачковский О.Д., Добриков А.В. Исследование функции неопределенности дискретной частотной последовательности «Уелч-16». Рассмотрена функция неопределенности дискретного частотного сигнала, в котором используется ряд чисел «Уелч-16» в качестве частотной кодирующей последовательности.

Ключевые слова: функция неопределенности, дискретный частотный сигнал.

Mrachkovsky O.D., Dobrikov A.V. Research of ambiguity function of discrete frequency sequence «Welch-16». Ambiguity function of a discrete frequency signal in which the number sequence «Welch-16» as frequency coding sequence is used is considered.

Key words: ambiguity function, discrete frequency signal.

УДК 621.396.26

ІНТЕРПОЛЯЦІЙНО-ФІЛЬТРОВИЙ АЛГОРИТМ ДЕКОДУВАННЯ ЗГОРТАЛЬНИХ КОДІВ

Шпилька О.О., Жук С.Я.

В цифровому зв'язку, для корекції помилок, які виникли під час передачі і прийняті рішення про переданий символ, широко застосовуються згортальні коди [1]. У випадку марківського джерела інформації і передавання повідомлень через канал без пам'яті для їх декодування використовується так званий „forward-backward” алгоритм [2]. Він розраховує апостеріорні ймовірності для кожного переданого інформаційного символу з урахуванням усіх отриманих на розглянутому інтервалі спостереження. Оцінка переданого символу знаходиться по критерію максимуму апостері-