

А.Б.Безуглов, В.И.Веремьёв, Ли Бин Бинь

НОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА ПОСЛЕ СВЕРТКИ

НИИ "Прогноз"

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»

27 НИИ ЭТ (КНР)

При создании радиолокационных дистанционных систем мониторинга для повышения эффективности их функционирования требуется исследование новых методов обработки сигнальной информации на всех уровнях. В представленном материале рассматриваются новые алгоритмы последетекторной обработки радиолокационных сигналов, позволяющих повысить качество обрабатываемой информации при одновременном уменьшении вычислительных затрат на обработку.

Традиционная согласованная обработка после осуществления операции свертки пачки сигналов заключается в вычислении спектра отсчетов свернутого сигнала с одной дальности и поиска максимального значения каждой спектральной компоненты.

$$U_{out} = \max_{i=1, \dots, N} (S(\tau, i)), \quad (1)$$

$$S(\tau, i) = \text{FFT}_{k=1, \dots, N} (u(\tau, k)),$$

где N – число спектральных компонент, равное, как правило, числу пачек сигнала, i – номер спектральной компоненты, τ – задержка сигнала, k – номер пачки.

Взамен описанного выше согласованного алгоритма предлагается в качестве выходной статистики использовать взаимно-корреляционную функцию (ВКФ) отсчетов с одной дальности с соседних периодов сигнала.

$$U_{out} = \left| \sum_{i=1}^{N-1} u_i \cdot u_{i-1}^* \right|, \quad (2)$$

$$\text{Re}(U_{out}) = \sum_{i=1}^{N-1} \text{Re}(u_i) \cdot \text{Re}(u_{i-1}) - \text{Im}(u_i) \cdot \text{Im}(u_{i-1}),$$

$$\text{Im}(U_{out}) = \sum_{i=1}^{N-1} \text{Re}(u_i) \cdot \text{Im}(u_{i-1}) + \text{Im}(u_i) \cdot \text{Re}(u_{i-1}),$$

где i – номер пачки.

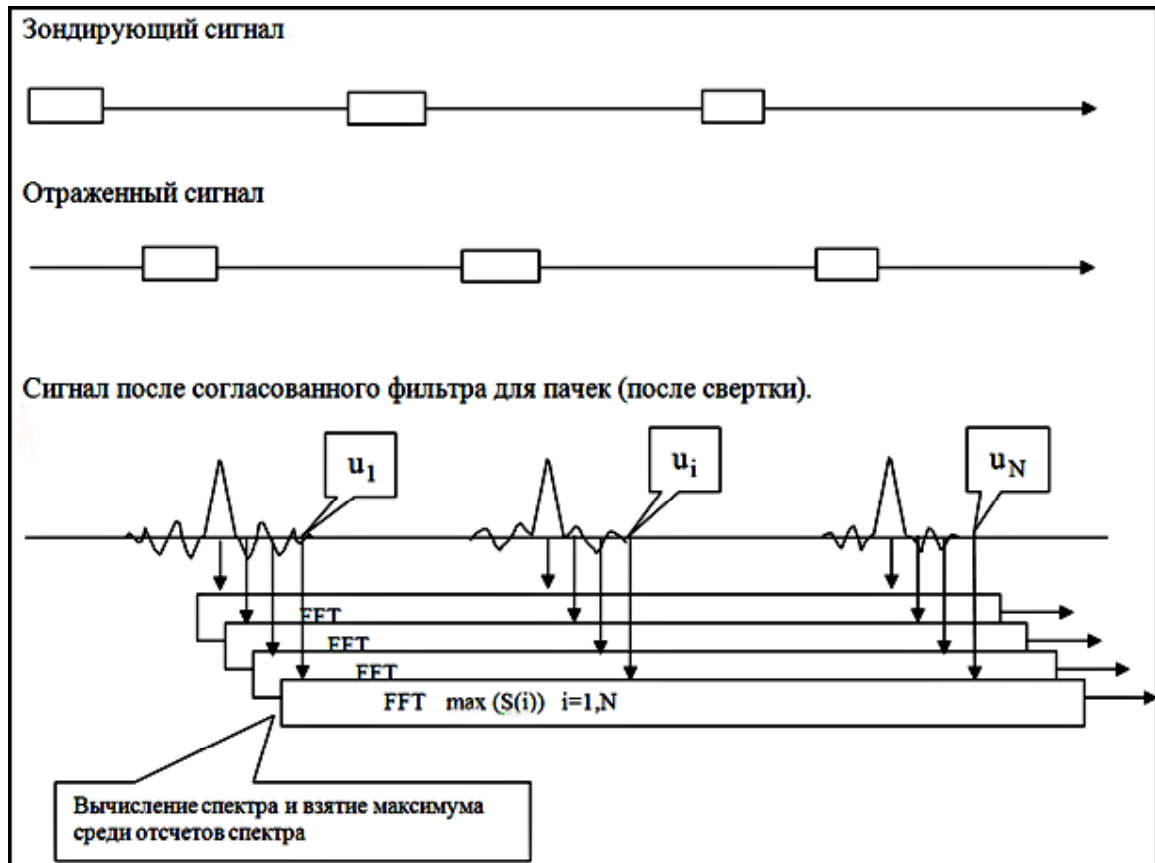


Рис. 1

При реализации на ПЛИС этого алгоритма из-за увеличения разрядности данных неприятной является операция умножения. Поэтому предлагается заменить операцию “умножение” на операцию “логическое умножение”. Это достигается тем, что вместо значения отклика на предыдущем периоде при перемножении мы используем только знак этого значения.

$$U_{out} = \left| \sum_{i=1}^{N-1} u_i \cdot \text{sign}(u_{i-1}^*) \right|, \quad (3)$$

$$\text{Re}(U_{out}) = \sum_{i=1}^{N-1} \text{Re}(u_i) \cdot \text{sign}(\text{Re}(u_{i-1})) - \text{Im}(u_i) \cdot \text{sign}(\text{Im}(u_{i-1})),$$

$$\text{Im}(U_{out}) = \sum_{i=1}^{N-1} \text{Re}(u_i) \cdot \text{sign}(\text{Im}(u_{i-1})) + \text{Im}(u_i) \cdot \text{sign}(\text{Re}(u_{i-1})).$$

Для определения свойств нового алгоритма статистическим методом проанализируем его характеристики обнаружения и сравним их с характеристиками обнаружения при согласованной обработке.

Для оценки эффективности рассмотренных выше алгоритмов также рассматривались характеристики обнаружения для некогерентного накопления при линейном детекторе. Расчетная формула для алгоритма некогерентного накопления

$$U_{out} = \sum_{i=1}^N |u_i|. \quad (4)$$

Характеристики строились для алгоритма обнаружения синусоидального комплексного сигнала постоянной амплитуды со случайно начальной фазой и случайной частотой. Число отсчетов $N=64$. Вероятности ложной тревоги 0.01.

На рис. 2 приведены характеристики обнаружения, полученные в результате анализа, соответствующие следующим алгоритмам обработки:

1. Дискретное преобразование Фурье и поиск максимума среди модулей отсчетов спектра (1).
2. Модуль первого отсчета ВКФ сигнала (2).
3. Модуль первого отсчета ВКФ при упрощенной формуле (3).
4. Некогерентное накопление отсчетов сигнала (4).

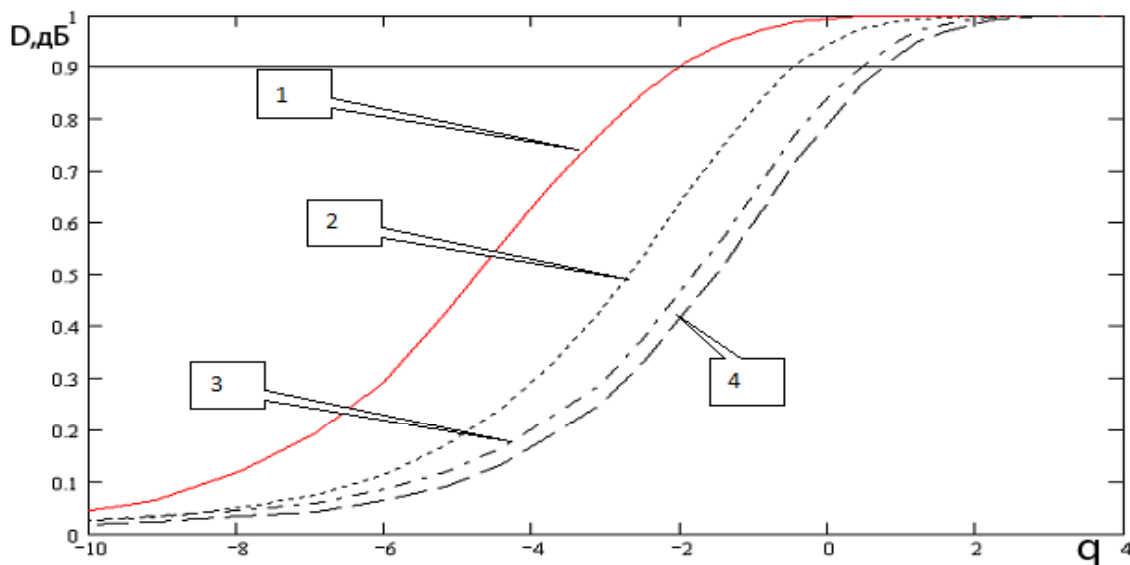


Рис. 2

Предложенные новые статистики уступают в характеристиках обнаружения согласованной обработке, но превосходят характеристики обнаружения при некогерентном накоплении при сравнимых вычислительных затратах.

Использование согласованной обработки пачек когерентного сигнала с непериодическим расположением пачек приводит к снижению уровня бокового лепестка ВКФ суммарного сигнала. При некогерентном накоплении сигнала зависимость уровня бокового лепестка ВКФ от количества пачек незначительна.

На рис.3 приведен график ВКФ сложного сигнала при выходной статистике:

1- согласованная обработка (1);

2 модуль первого отсчета ВКФ при упрощенной формуле (3).

Сигнал состоит из 64 пачек по 128 фазоманипулированных квантов.

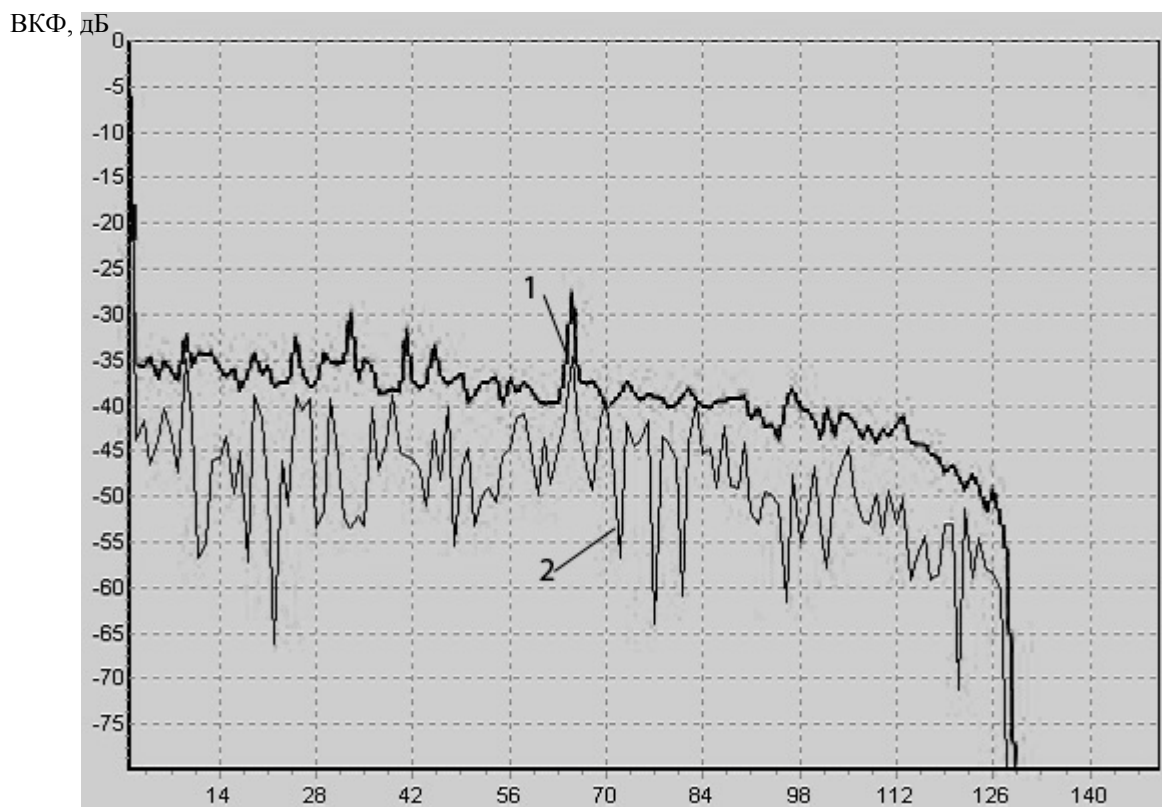


Рис. 3

Из рисунка видно, что статистика «взаимнокорреляционная функции сигнала при упрощенной формуле», в силу своей нелинейности,

дает для одиночного сигнала существенно меньший уровень бокового лепестка ВКФ.

Выводы. Статистика «взаимно-корреляционная функция сигнала при упрощенной формуле» имеет характеристики обнаружения не хуже, чем при некогерентном накоплении, дает наименьший среди рассмотренных алгоритмов уровень боковых лепестков ВКФ, и ее алгоритм сравнительно просто реализуется на ПЛИС.