

# ОБРАБОТКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ НА ПЛИС

**С. А. Пырко**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Ю. В. Крышнев

Повышение характеристик радиолокационных станций неразрывно связано с применением сложных зондирующих сигналов. В радиолокации в качестве зондирующего сигнала в основном используют сигналы с амплитудной модуляцией (АМ),

фазовой модуляцией (ФМ) и линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ). Перечисленные сигналы обладают как плюсами, так и минусами: одни сложны в обработке и требуют больших аппаратных затрат, но дают хорошие характеристики при обнаружении сигнала; другие менее требовательны к ресурсам, но, в свою очередь, обладают несовершенными характеристиками. Использование сигналов совместно позволяет существенно повысить характеристики станции как в быстродействии поиска целей, так и в точности сопровождения их.

Наличие помех, в особенности умышленных активных помех, заставляет все больше усложнять типы зондирующего сигнала и совершенствовать способы их обработки.

Применение сложных фазоманипулированных сигналов способствует повышению энергетического потенциала, помехоустойчивости, скрытности и электромагнитной совместимости радиолокационных систем. Применение фазоманипулированных сигналов позволит определить положение и параметры отраженного сигнала даже на уровне шумов [1].

Среди фазоманипулированных сигналов наибольшее распространение получили сигналы, полученные на основании кодов Баркера, M-последовательностей (коды Хаффмена), многофазных кодов Фрэнка.

Проанализируем характеристики M-последовательностей. Для анализа возьмем две последовательности с разной длиной базы [2]. Одним из методов анализа является корреляционный анализ, который используется при необходимости оценить временные свойства сигнала без применения спектрального анализа, например, для оценки временной связи (корреляции) одного сигнала с другим.

Автокорреляционная функция фазоманипулированного сигнала состоит из основного пика и боковых лепестков, распределенных на всей длительности (рис. 1). У сигналов с хорошими корреляционными свойствами уровень боковых лепестков очень мал.

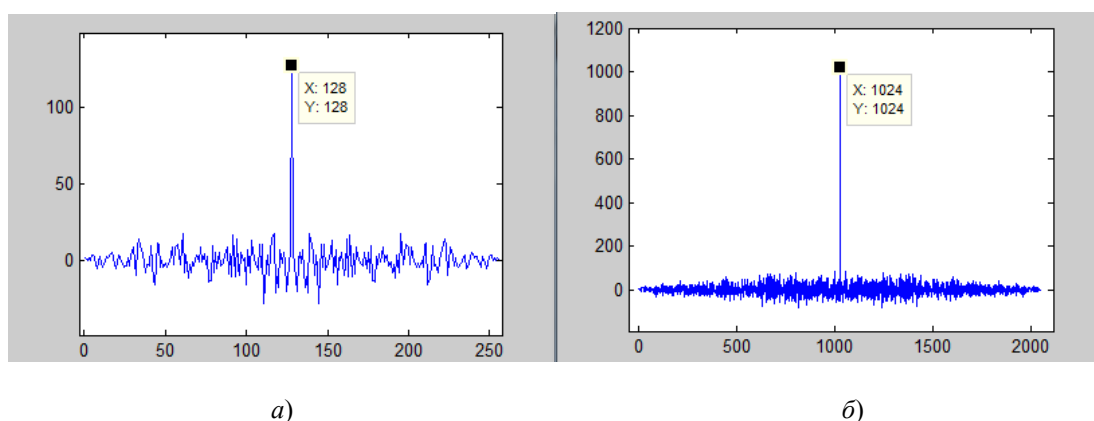


Рис. 1. Автокорреляционная функция фазоманипулированного сигнала:  
а – с длиной M-последовательности 128; б – с длиной M-последовательности 1024

Воспользуемся свойствами фазоманипулированного сигнала и проанализируем способность обнаружения отраженного сигнала от цели на уровне шумов. Амплитуда отраженного сигнала в определенной степени характеризует размер цели. Время запаздывания относительно начала излучения зондирующего сигнала используется для измерения дальности, а изменение частоты зондирующего сигнала (эффект Доплера) несет информацию о скорости цели.

Зададим сигнал, отраженный от цели и перенесенный на промежуточную частоту, значение которой определяется из параметров радиолокационной станции (рис. 2, а). Исследуемый объект обладает скоростью и положением по дальности, которые неизвестны. Корреляционным методом произведем обработку отраженного сигнала. Оценку временной задержки произведем через расчет нескольких взаимных корреляций на длительности оцифрованного сигнала; аналогичные операции произведем и для определения скорости объекта, только будем изменять частоту автокорреляционной функции. Это связано с изменением частоты, которая отличается от частоты зондирующего сигнала в связи с доплеровским эффектом. В результате была получена плоскость «дальность–скорость» (рис. 2, б), на которой отчетливо видно положение объекта по дальности, а также значение его радиальной скорости.

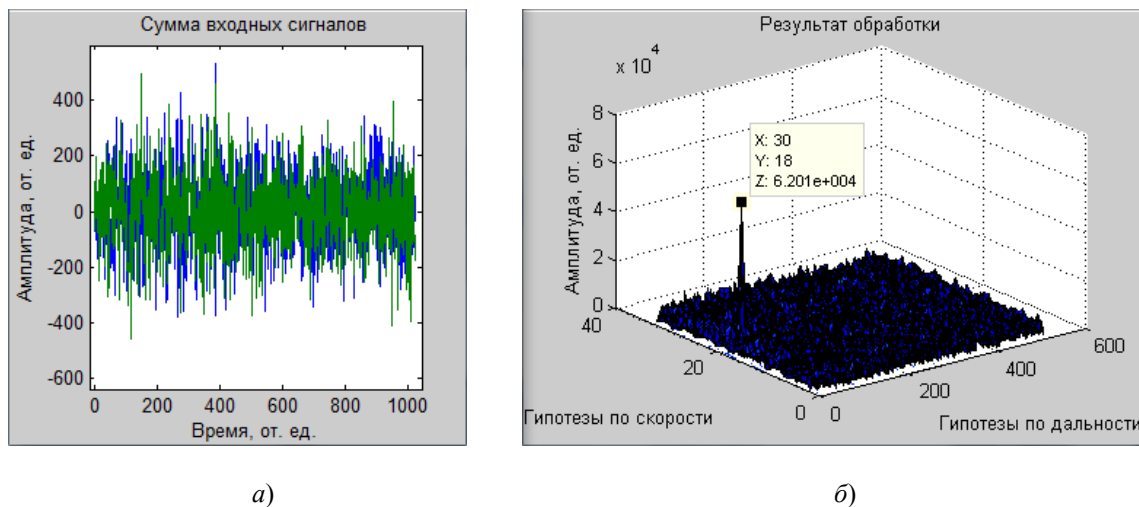


Рис. 2. Обработка отраженного сигнала корреляционным методом:  
а – отраженный от цели сигнал; б – результат корреляционной обработки

Благодаря хорошим автокорреляционным свойствам фазоманипулированного сигнала, удалось распознать положение отраженного сигнала, когда шум превышает значения сигнала. Применение сигналов с большей базой М-последовательности позволит добиться еще лучших характеристик, однако это требует большего быстродействия от вычислительной системы.

Наиболее удобной элементной базой для решения задач обработки радиолокационных сигналов являются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Для практической реализации «коррелятора» обработки радиолокационных сигналов воспользуемся модулем спецвычислителя АМС–СВ ЗАО «Цифроник» на базе ПЛИС фирмы *Xilinx* серии *Virtex-4* семейств *FX* (*XC4VFX100*) и *SX* (*XC4VSX55*) [3]. Наличие двух ПЛИС позволит оптимально распределить задачу обработки и выдачу результата. ПЛИС семейства *FX* с процессором PPC405 будем использовать как управляющую машину, которая будет принимать функциональное управление по сети *Ethernet* и управлять работой «коррелятора», а также выдавать результаты корреляционной обработки. Семейство чипов *SX* фирмы *Xilinx* было создано в основном для задач цифровой обработки сигналов (ЦОС), так как содержит большое число аппаратных умножителей и блочной памяти на кристалле. На ресурсах ПЛИС *XC4VSX55* и будет реализован «коррелятор».

Выдвинем основные требования к «коррелятору»: максимальное число гипотез по дальности – 1024, максимальное число гипотез по скорости – 1024, максимальное число лучей – 10, максимальная длина М-последовательности – 4095. Исходя из этих требуемых параметров, разработаем структуру коррелятора (рис. 3).

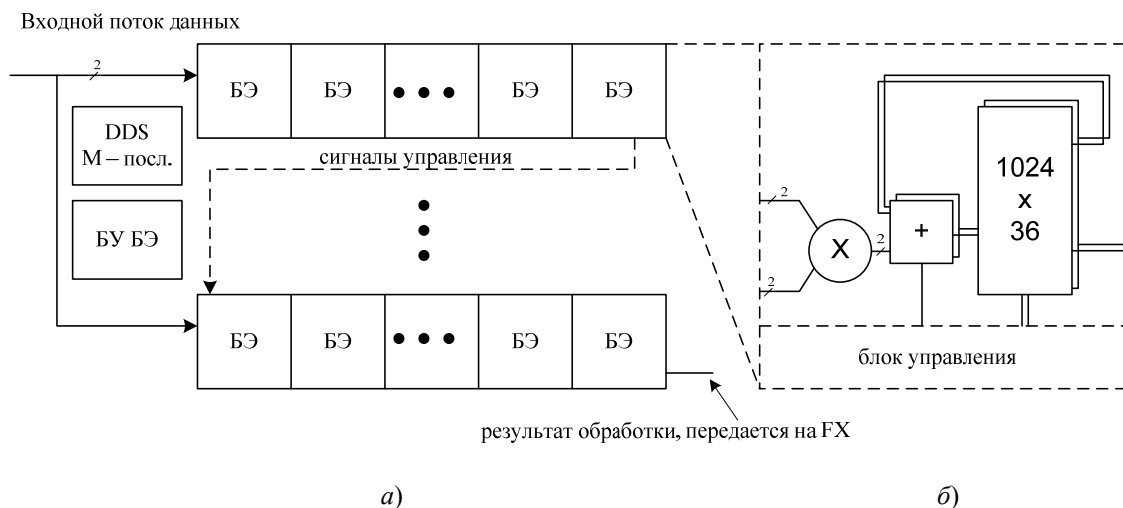


Рис. 3. Устройство коррелятора:  
а – структура коррелятора; б – структура базового элемента

Структура «коррелятора» представляет собой 60 базовых элементов (БЭ) распределенных в виде матрицы размерностью 5 линеек по 12 БЭ в каждой. Такая структура позволяет полностью задействовать все БЭ при изменяемых параметрах обработки. Структура БЭ состоит из комплексного умножителя, двух сумматоров и памяти, предназначенной для хранения плоскости «дальность–скорость». Блок управления БЭ (БУ БЭ) производит распределение входного потока по БЭ, привязку БЭ как к лучам, так и гипотезам по дальности и скорости.

Обработка входного массива производится в реальном времени: «коррелятор» начинает расчет, как только получает первую выборку сигнала. Такой способ обработки сигнала позволяет получить плоскость «дальность–скорость» к окончанию строка оцифровки.

Основные ресурсы ПЛИС SX на реализацию «коррелятора»: модули XtremeDSP (DSP48)–241, блочная память (BRAM)–257, логические ячейки (4 input LUTs)–40317. Частота работы «коррелятора» составляет 200 МГц.

Разработка математической модели позволила адаптировать теорию обработки радиолокационных сигналов к конкретной аппаратной платформе с учетом их свойств и параметров, а также оптимизировать алгоритм, что в дальнейшем привело к упрощению реализации «коррелятора» на ПЛИС.

#### Литература

1. Свистов, В. М. Радиолокационные сигналы и их обработка / В. М. Свистов. – М. : Совет. радио, 1977. – 448 с.
2. Борисов, В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В. И. Борисов [и др.]. – М. : Радио и связь, 2000. – 384 с.
3. URL. – Режим доступа: <http://www.cifronik.ru/AMS-SVopis.html>.