

Режим сверхразрешения СКИ РЛС.

А.В. Кочетов, К.Г. Лукашов, П.С. Панфилов

АО «НПП «Радар ммс», Санкт-Петербург, Новосельковская,37, radar@radar-mms.com.

Рассмотрены вопросы обработки сигналов суммарно-разностного канала антенной системы СКИ РЛС. Показано, что применение взаимного преобразования Гильберта сигналов суммарно-разностного канала антенной системы СКИ РЛС позволяет реализовать режим сверхразрешения по углу.

Применение сверхширокополосных сигналов в современных радиолокаторах позволяет получить высокое разрешение по дальности. В тоже время, разрешение по углу остается весьма низким и зависит от физической или синтезированной апертуры антенной системы. Исходное радиолокационное изображение цели на таком радиолокаторе напоминает “слоеный пирог”, где каждый слой – это отражение от “блестящих точек” составляющих радиолокационный портрет цели.

Низкое разрешение по углу дает на изображении широкие отметки, которые на большом удалении затрудняют определение координат положения блестящих точек, идентификацию цели и построение радиолокационного портрета для автоматического распознавания.

С другой стороны, СКИ РЛС имеет высокое разрешение по дальности, поэтому для построения радиолокационного портрета цели, состоящей из множества блестящих точек, и ее распознавания достаточно указать центры рассеяния одиночных или неразрешаемых групповых отметок, находящихся на одной дальности.

Для реализации режима сверхразрешения в СКИ РЛС необходимо иметь сигналы суммарного и разностного каналов антенной системы. Такие сигналы могут быть получены непосредственно на выходе антенной системы СКИ РЛС – построением специальной диаграммо-образующей схемы.

С другой стороны, сигналы суммарного и разностного каналов могут быть получены при математической обработке, если на вход устройства отображения и индикации поступает информация с каждого антенного элемента приемной антенной решетки СКИ РЛС. Этот режим может быть реализован в СКИ РЛС с электрическим движением луча.

Суммарная диаграмма направленности антенной системы уже, чем разностная, поэтому применение нелинейного преобразования в виде простого вычитания модуля разностной диаграммы направленности из модуля суммарной приводит к появлению “боковых” лепестков. Уровень вновь появившихся “боковых” лепестков сопоставим с уровнем основного обуженного луча.

Для того чтобы реализовать режим сверхразрешения способом вычитания, разностная диаграмма направленности антенной решетки должна повторять форму суммарной. Для этой цели можно воспользоваться взаимным преобразованием Гильберта для сигналов суммарной и разностной диаграмм и построить разностную диаграмму, форма которой будет повторять суммарную.

Предпосылкой, для реализации режима сверхразрешения в СКИ РЛС является то, что фазовая диаграмма направленности приемной антенной решетки для суммарного канала отличается от фазовой диаграммы направленности для разностного канала на величину $\pi/2$. Эта разность фаз не зависит от рабочей частоты. Поэтому все спектральные компоненты сигналов СКИ РЛС, принимаемые антенной решеткой, в суммарном и разностном каналах имеют одинаковый фазовый сдвиг.

Последнее важное обстоятельство позволяет применить взаимное преобразование Гильберта [1] к сигналам на выходе суммарного и разностного каналов СКИ РЛС.

На рис. 1 приведена блок-схема взаимного преобразования Гильберта к сигналам суммарного и разностного каналов антенной системы СКИ РЛС.

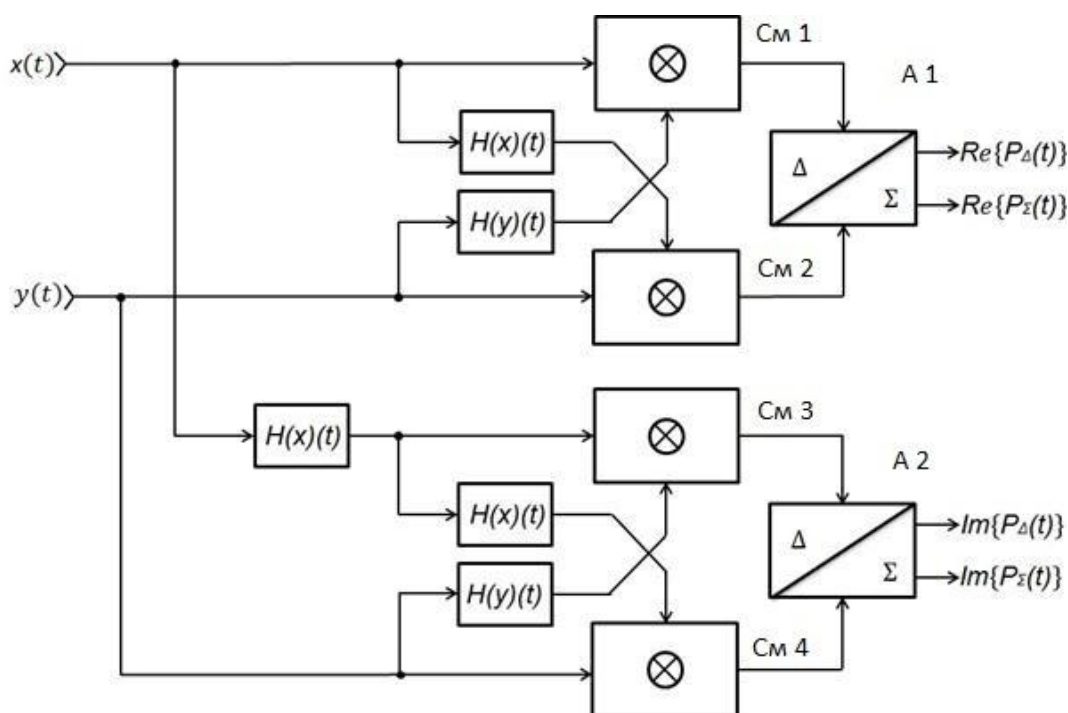


Рис. 1. Квадратурная обработка сигналов суммарного и разностного каналов СКИ РЛС.

Сигнал с выхода суммарного канала $x(t)$ и сигнал с выхода разностного канала $y(t)$ поступают на один из входов смесителей См1 - См4. На второй вход смесителей поступают сигналы прошедших через схему преобразования Гильберта, которая, в частности, может быть реализована математически в процессе постобработки принятых сигналов. Выходы смесителей нагружены на сумматор-вычитатель А1 и А2, на выходе которых получают сигналы суммы или разности сигналов смесителей См1 - См4.

Такая схема обработки сигналов представляет собой идеальный квадратурный смеситель, в котором вместо квадратурного сдвига на монохромной частоте гетеродина, производится квадратурный сдвиг всех спектральных компонент суммарного и разностного сигналов антенной системы СКИ РЛС. При этом разностная компонента сигналов смесителей на выходе А1 и А2 представляет собой сигнал видеочастоты, спектр которого располагается вблизи нулевой частоты, а суммарная компонента сигналов смесителей на выходе А1 и А2 представляет собой сигнал радиочастоты спектр которого располагается на второй гармонике.

Вместе с тем, перемножение сигналов суммарной и разностной диаграмм направленности с использованием преобразования Гильберта, позволяет использовать фильтрующее свойство этого преобразования: сигналы, сопряженные по Гильберту, усиливают сигнал на выходе квадратурного смесителя, а сигналы не сопряженные – ослабляют этот сигнал или сводят его к нулю.

Как видим на рис. 1 на верхней части схемы формируется действительная компонента преобразованного сигнала, а на нижней части схемы – мнимая компонента преобразованного сигнала, причем последняя получается предварительным преобразованием Гильберта (квадратурным сдвигом) входного сигнала.

Таким образом, на выходе схемы квадратурного смесителя можно получить модуль сигнала разностной диаграммы направленности, повторяющий форму модуля сигнала исходной суммарной диаграммы направленности приемной антенной решеткой.

Для практической реализации режима сверхразрешения СКИ РЛС по угловой координате в лабораторных условиях были получены записи сигналов СКИ РЛС в режиме сканирования по азимуту.

Лабораторный макет СКИ РЛС [2] содержал 4-х элементную передающую антенную решетку и 8-и элементную приемную антенную решетку, выполненную из двух 4-х элементных. Одна из приемных 4-х элементных подрешеток выполняла функцию суммарного канала, другая – разностного. Режим коммутации элементов приемной антенной решетки был настроен таким образом, чтобы в записи азимутальной развертки (скана) присутствовали сигналы обеих подрешеток.

На рис. 2 представлены записи сигналов на выходе суммарного и разностного каналов антенной решетки СКИ РЛС, обработанные в среде MathCad. Суммарный канал представлен на записи слева, разностный – справа.

При работе СКИ РЛС реальное разрешение по дальности составляло менее 1 м. Поэтому, для записи сигналов использовался режим удвоенной частоты дискретизации АЦП. Частота дискретизации АЦП составляла 500 МГц.

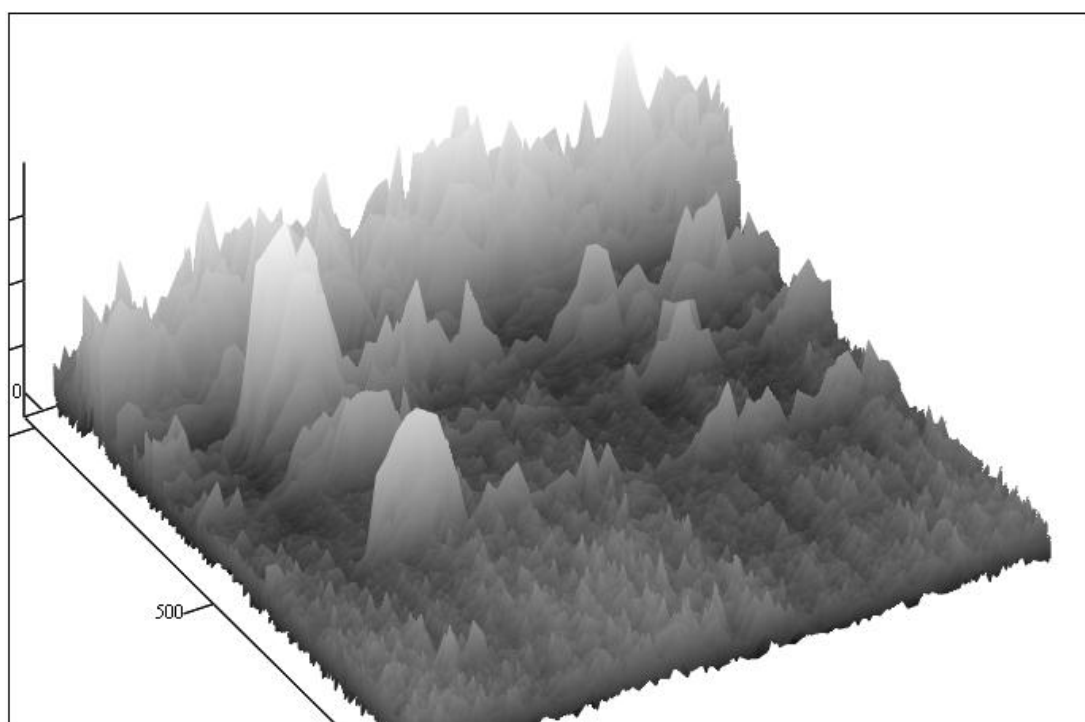


Рис. 2. Записи сигналов суммарного и разностного каналов СКИ РЛС.

На рис. 3 показана исходная радарограмма сигнала суммарного канала СКИ РЛС и радарограмма в режиме сверхразрешения. На рис. 4 представлена азимутальная развертка по одиночной цели, находящейся на условной дальности 1190.

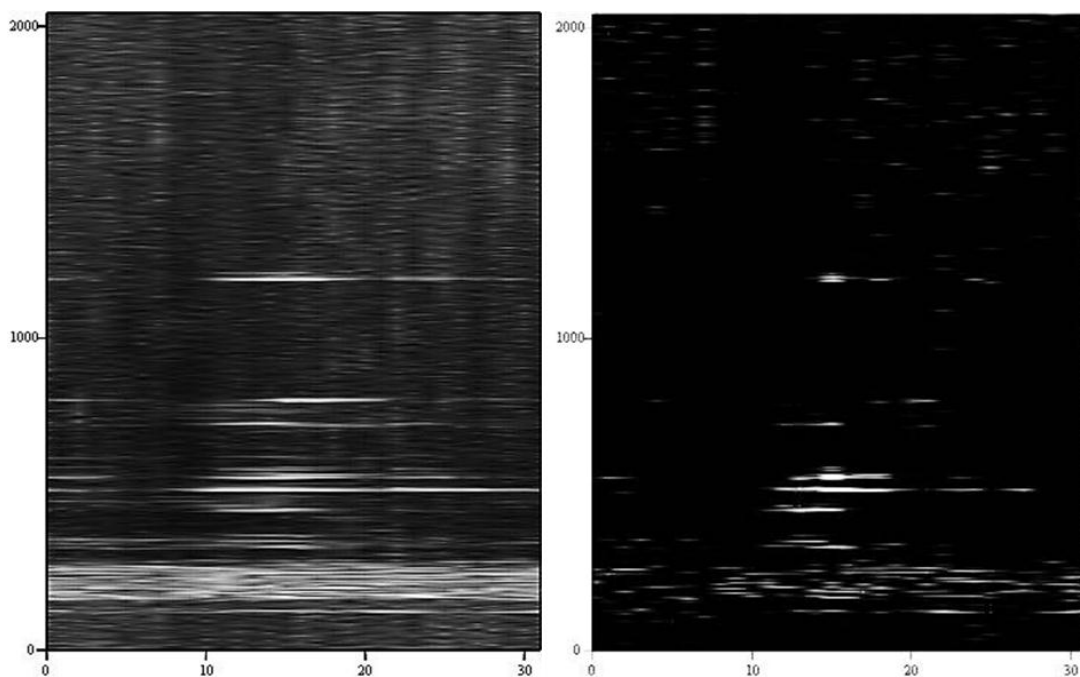


Рис. 3. Радарограммы суммарного канала СКИ РЛС и в режиме сверхразрешения

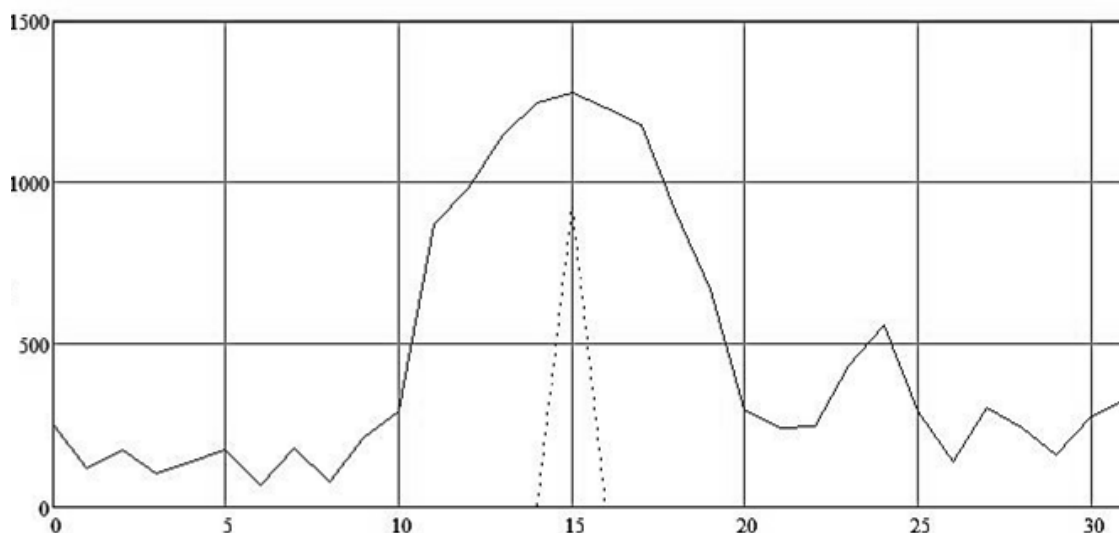
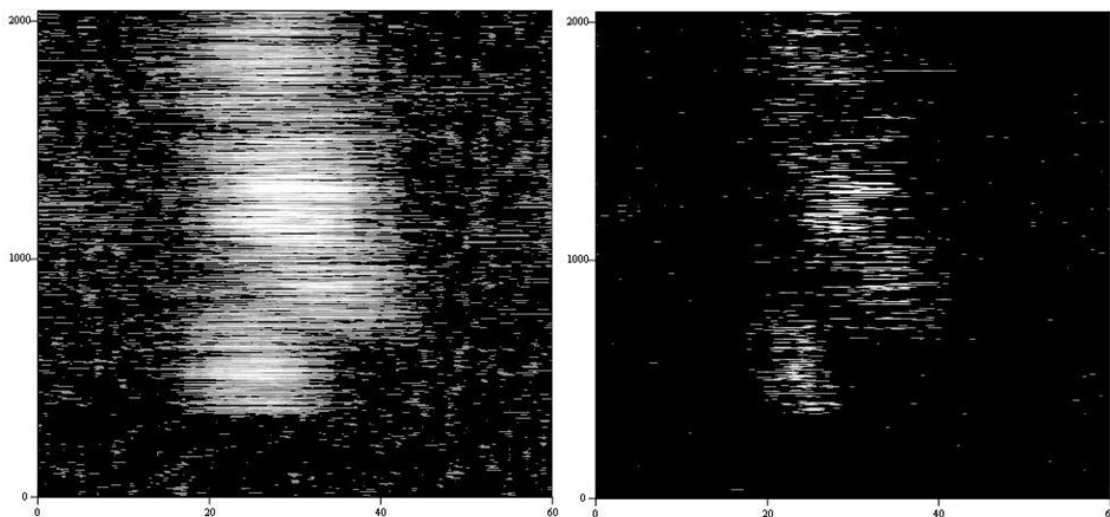


Рис. 4. Азимутальная развертка по одиночной цели, находящейся на дальности 1190

Результаты обработки лабораторных записей показывают существенное сужение луча макета СКИ РЛС. Отметка одиночной цели на дальности 1190 вместо 18 град. стала менее 3 град.

Для проверки работы предложенного алгоритма по протяженной цели в полигонных условиях на мобильной экспериментальной лаборатории МЭЛ СКИ были получены записи сигналов по острову, находящемуся в озере на удалении около 2 км. Поверхность острова – гранит, покрыт растительностью – лес смешанного типа с преобладанием хвойных пород. Результаты обработки представлены на рис. 5.



**Рис. 5. Радарограмма острова, находящегося в озере.
Слева – исходная радарограмма, справа – радарограмма после обработки по предложенному алгоритму.**

Результаты обработки, представленные на рис. 5, показывают существенное сужение луча антенной системы СКИ РЛС. На рис. 5 слева обозначились контуры острова и небольшого залива на нем, произошла локализация положения блестящих точек на радарограмме. Введение пороговой обработки разностного сигнала алгоритма обужения луча позволяет локализовать положение блестящих точек с высокой точностью.

Предложенный алгоритм суммарно-разностного обужения луча имеет сравнительную простоту обработки сигнала РЛС СКИ, приводит к существенному сужению отметок цели на радиолокационном изображении, дает хорошие результаты при работе по распределенным целям.

Режим сверхразрешения СКИ РЛС не дает реального разрешения двух целей, находящихся на одной дальности, однако, позволяет произвести локализацию положения центров рассеяния блестящих точек, составляющих распределенную цель. При высоком разрешении по дальности СКИ РЛС локализация центров рассеяния блестящих точек распределенной цели дает представление о форме объекта в целом и позволяет провести его идентификацию.

Литература

1. Анцев Г.В., Кочетов А.В., Лукашов К.Г. и др. Поляризационная обработка сигналов радиолокатора подповерхностного зондирования // V Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике. – Муром: Изд.- полиграфический центр МИ ВлГУ, 2015.
2. Кочетов А.В., Лукашов К.Г., Панфилов П.С. и др. Передающая и приемная антенная решетка с электрическим сканированием для сверхкороткоимпульсной РЛС // V Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике. – Муром: Изд.- полиграфический центр МИ ВлГУ, 2015.