

Моделирование переменной фазы ЛЧМ импульсов в процессе когерентного накопления по азимуту

О.Е. Цветков

ЗАО «Аэрокон», 140187, г. Жуковский, Московская обл., ул. Гагарина, 1, e-mail: al.vetckov@yandex.ru

В докладе рассматривается способ снижения шумов дискретизации, вызванных сигналами рекуррентных дальностей в радиолокаторе с синтезированием апертуры антенны (РСА), который работает в режиме обзора земной поверхности. Анализируется межпериодное изменение модуляции зондирующих импульсов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Предложен простой способ фазовой манипуляции (изменения начальной фазы импульса) на 180° . В результате сигналы ближайших рекуррентных дальностей («через» период повторения) в режиме прожекторного обзора после азимутальной фокусировки «концентрируются» за пределами информационного кадра основного лепестка диаграммы направленности антенны.

In this report it is considered way of the reduction noise to sampling, caused signal of recurrence range in mapping mode of synthetic aperture radar (SAR). It is analyzed inter period change to inflexions probing pulses with linear frequency modulation (chirp-signal). The simple method to phase manipulate (change the initial phase of the pulse) on 180° is offered. As a result signals of nearest recurrence range ("through" period of the pulse repetition) in spot mode after the azimuth focusing the false images "concentrate" outside the information frame of the main beam of the antenna pattern.

В импульсных РСА периодическая структура зондирующих сигналов приводит к появлению помех от соседних зон неоднозначности по дальности [1]. Одним из распространенных методов снижения уровня таких ложных сигналов является повышение пространственной селекции зоны съемки, что связано с увеличением габаритов антенны. Вместе с тем другое возможное направление решения задачи снижения помех от «рекуррентных» периодов дальности заключается в изменении структуры сигнала, в частности, в межпериодное изменение модуляции зондирующих импульсов [2,3].

Для подавления сигналов неоднозначности в данной работе предлагается изменять фазу излучаемого ЛЧМ сигнала от импульса к импульсу на 0 и 180 градусов. Таким образом получаем следующие два варианта излучаемых импульсов с комплексными огибающими:

$$\dot{s}_0(t) = \exp\left[j\pi \frac{\Delta F}{\tau_i} t^2\right], \quad |t| \leq \frac{\tau_i}{2}, \quad \dot{s}_{180}(t) = \exp\left[j\pi \frac{\Delta F}{\tau_i} t^2 + j \cdot \pi\right], \quad |t| \leq \frac{\tau_i}{2},$$

где τ_i – длительность излучаемого импульса,

ΔF – ширина спектра.

Пример квадратурных составляющих двух ЛЧМ сигналов с разными фазами представлен на рис. 1. Такой вариант излучения можно назвать фазовой манипуляцией между импульсами.

Конечно, конкретная начальная фаза никак не влияет на результат сжатия по дальности (времени задержки). Однако мешающие отражения, поступающие через «рекуррентные» дальности будут иметь фазовые скачки на 180 градусов от одного периода повторения к другому. В канале «основной дальности» при сжатии по задержке разница фаз компенсируется выбором фазы опорных импульсов, что обеспечит когерентность азимутального сжатия. Но сигналы мешающих отражений при азимутальном сжатии уже не обладают свойством строгой когерентности и в результате могут быть подавлены.

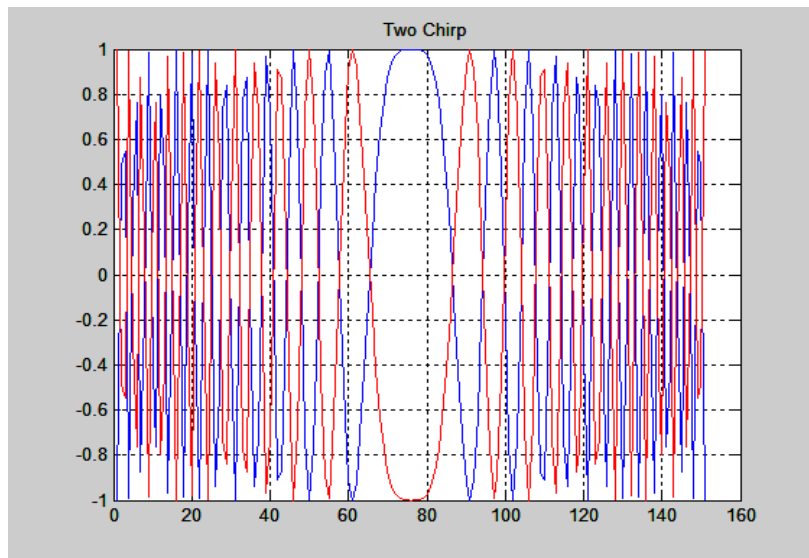


Рис. 1. Квадратуры двух импульсов при фазовом сдвиге 180 градусов.

Однако, как показывает моделирование, механизм подавления имеет достаточно тонкие аспекты. Рассмотрим для примера ЛЧМ импульсы с $\tau_i = 1$ мкс, $\Delta F = 100$ МГц.

Для простоты расчетов примем количество накапливаемых импульсов 128. Азимутальное сжатие имитируется простой процедурой БПФ, т.е. считаем, что операция демодуляции проведена корректно. Вид матриц квадратур сигнала одиночного точечного отражателя без изменения фазы от импульса к импульсу и с изменением иллюстрируется рис. 2 и 3 соответственно.

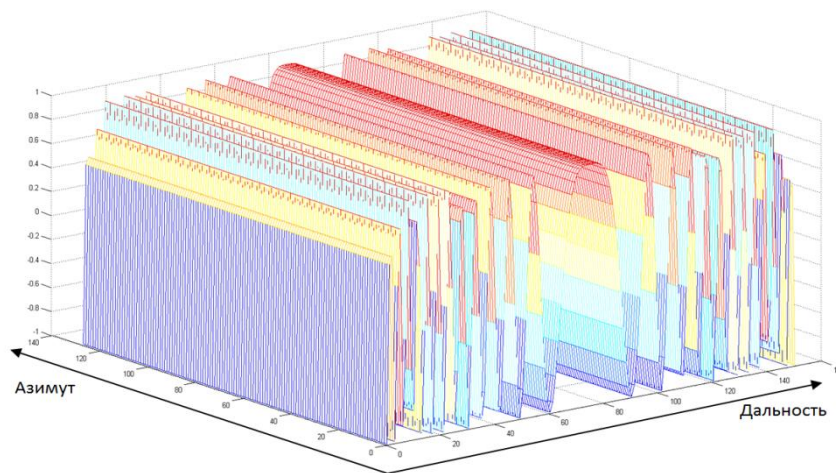


Рис. 2. Матрица квадратур двумерного сигнала без изменения фазы импульсов.

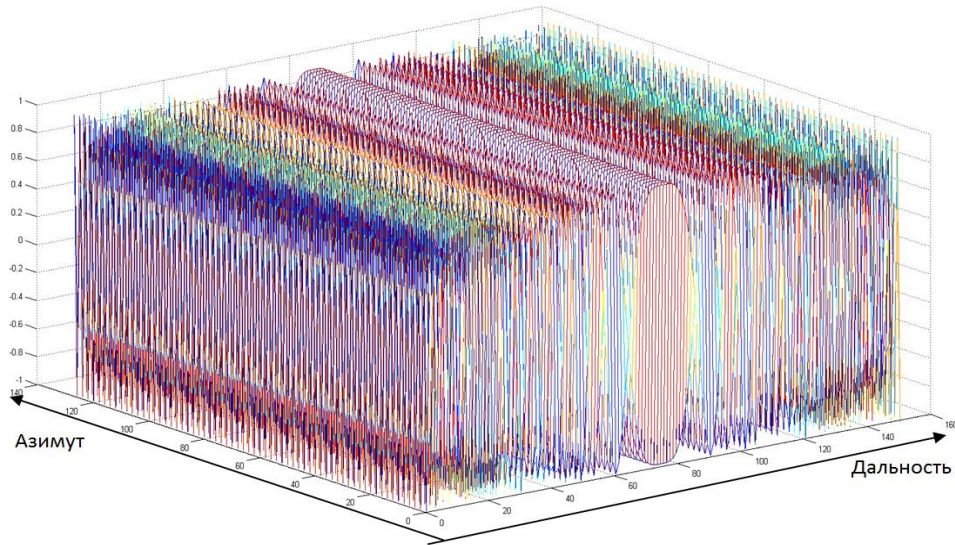


Рис. 3. Матрица квадратур двумерного сигнала с изменением фазы импульсов.

Модули результатов сжатия по дальности идентичны для обоих случаев и представлены на рис. 4.

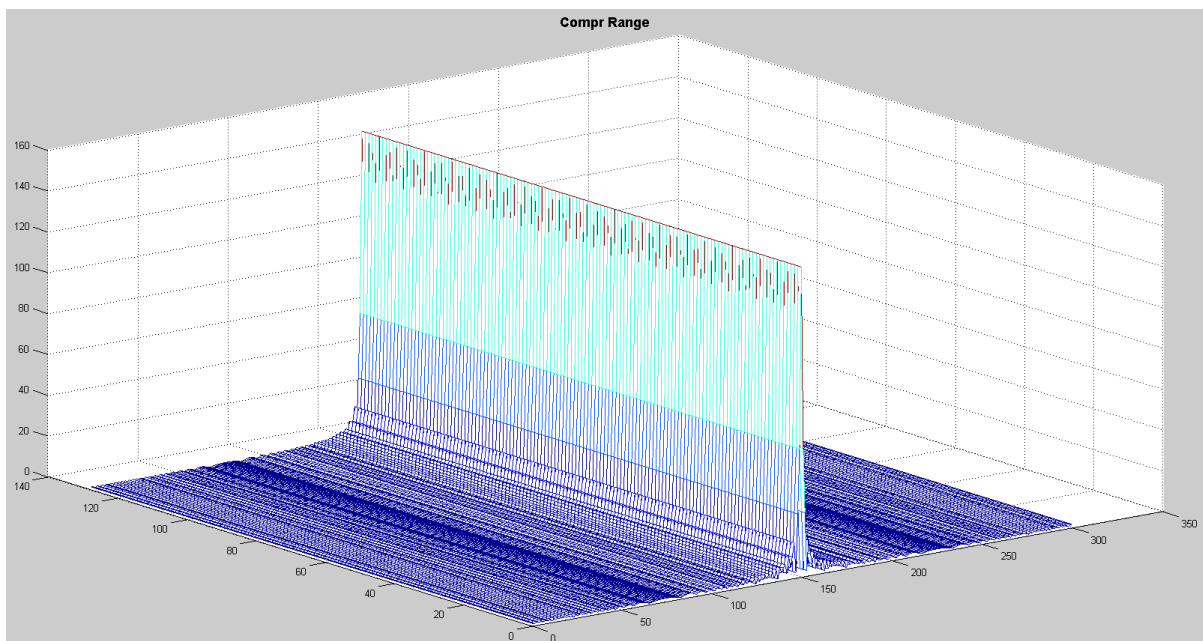


Рис. 4. Модуль результата сжатия по дальности.

Последующие азимутальное сжатие не приводит к изменению амплитуд пиков, но существенно изменяется их положение в сетке доплеровских фильтров (отсчетов по азимуту). На рис. 5 и 6 представлены двумерные нормированные импульсные отклики для обоих случаев.

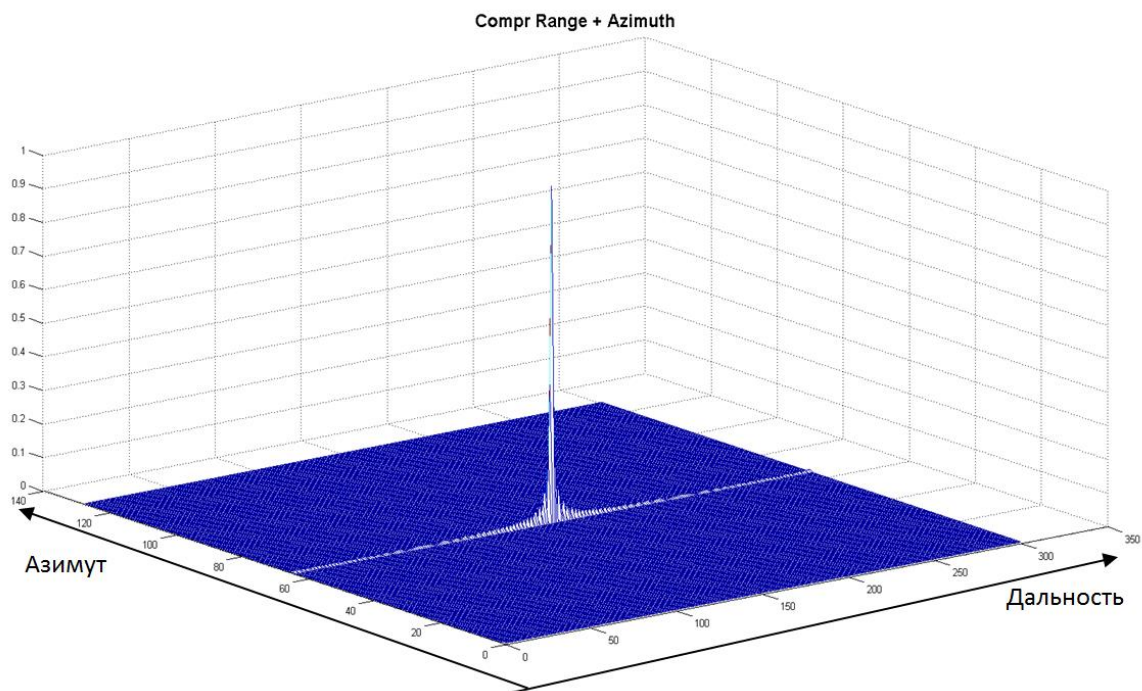


Рис. 5. Двумерный отклик при отсутствии изменения фазы между импульсами.

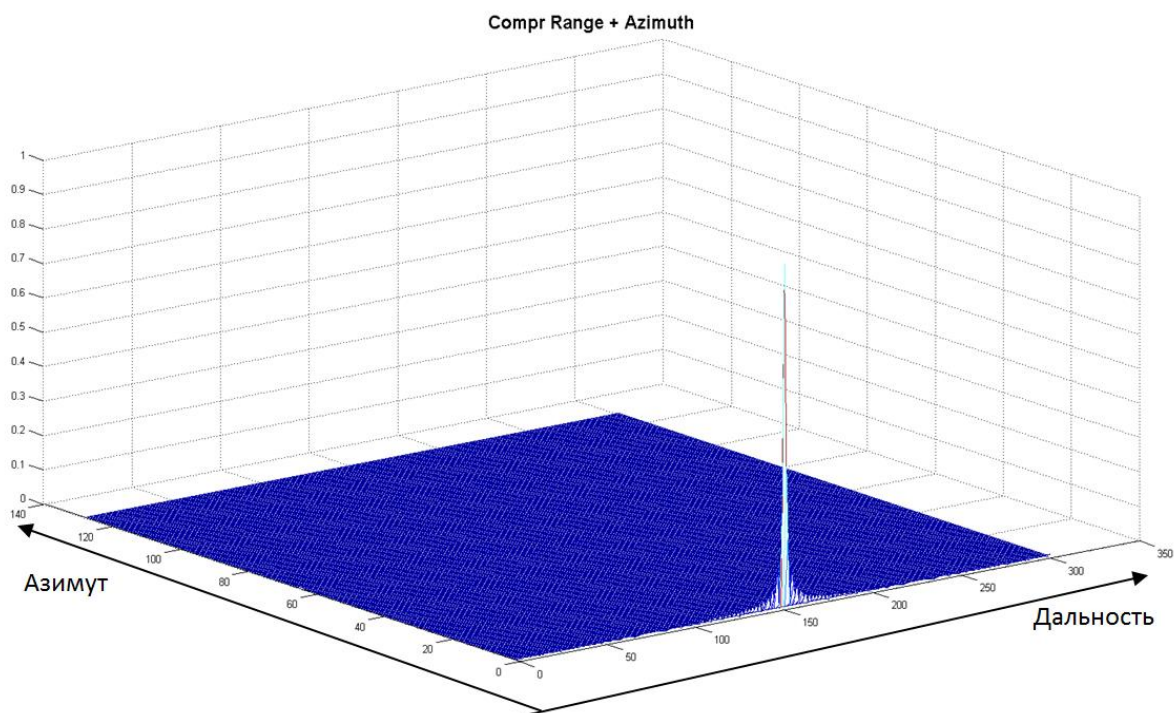


Рис. 6. Двумерный отклик при фазовой манипуляции между импульсами.

Отклик основного канала находится, как и положено, в центре.

Анализ показывает, что изменение фазы между импульсами приводит к смещению азимутального положения на половину частоты повторения, что вполне объяснимо с точки зрения особенной операции ДПФ. Дело в том, что изменение фазы на 0 и 180 градусов между импульсами в дискретном виде эквивалентно умножению сигнала без

фазовых скачков по координате азимута на комплексную экспоненту: $\exp(j \cdot \pi \cdot k)$, где k – азимутальный отсчет. Дискретная функция $\exp(j \cdot \pi \cdot k)$ есть не что иное, как комплексная гармоника с частотой, равной половине частоты повторения. В результате имеем сдвиг на «край» кадра.

Конечно, отсечение азимутального размера в половину при отображении РЛИ теоретически ликвидирует отклики мешающих отражений. Тем не менее, остаточные боковые лепестки могут присутствовать на краях в зависимости от конкретных параметров обработки.

По результатам проведенного моделирования можно сделать вывод о том, что при фазовой манипуляции излучаемых импульсов и отсечении половины азимутальной ширины кадра РЛИ возможно существенное подавление сигналов мешающих отражений.

Литература

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под общей ред. В.С. Вербы – М.: Радиотехника, 2010.
2. Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. – Л.: Гидрометеиздат, 1988.
3. Sosulin Yu.G., Kostrova T.G., Kostrov V.V. Suppression of Second Scan Stroke Echo Signals in Pulsed Surveillance Radar. // Proc. German Radar Symp., Bonn, Germany. September 3–5, 2002.