

Влияние формирования стробов дальности на результат обработки дополнительных сигналов

Д.Н. Кривченков

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЯЗАНСКИЙ ПРИБОРНЫЙ ЗАВОД» г. Рязань, ул. Семинарская, д. 32
trave@mail.ru

Рассматривается влияние сдвига принятого сигнала относительно формируемых стробов дальности на результат согласованной обработки сигналов с фазовой кодовой манипуляцией. Приводится сравнение результатов обработки сигналов с кодированием, в соответствии с дополнительными последовательностями и кодом Баркера 13.

The effect, that appearing when received phase-code signals are accumulated in the radar digital receiver, in other words when the range elements are being formed, is considered. The results of processing complementary signals and Barker 13 signals are compared.

Использование сигналов с большой базой в радиолокации является обычной практикой, позволяющей улучшить распознавание отраженного сигнала от цели на фоне помех. Часто в РЛС в качестве зондирующих сигналов используются дискретные сигналы с фазовой кодовой манипуляцией (ФКМ сигналы). Наиболее распространено фазовое кодирование бинарным кодом, представляющим последовательность 1 и -1, которым соответствует фазовый сдвиг на 0 и π радиан [1].

При приеме и обработке таких сигналов, перед согласованной фильтрацией, производят формирование стробов дальности из отсчетов оцифрованного сигнала. При этом M отсчетов, следующих друг за другом, суммируются, образуя один строб (отсчет, соответствующий одному элементу дальности). Данная мера позволяет произвести накопление сигнала и уменьшить влияние шумов в \sqrt{M} раз.

Однако задержанный отраженный сигнал не всегда согласован с формирователем строга дальности, при этом возникают ситуации, когда отсчеты сигнала от двух соседних элементов кода попадают в один строб, вследствие чего дальнейшая обработка сигнала, строго говоря, не будет согласованной.

Цель данной работы: исследовать влияние формирователя элементов дальности на результат обработки дополнительных сигналов, излучаемых через период зондирования, и сравнить с влиянием на результат обработки сигнала, закодированного кодом Баркера 13.

На рис. 1 показаны условно отсчеты, соответствующие трем элементам кода зондирующего сигнала и строга дальности, сформированные по четырем отсчетам. При этом, на рис. 1,а, отраженный сигнал полностью согласован с формирователем элемента дальности, и строга полностью соответствуют принятому сигналу. А на рис.1,б, принятый сигнал сдвинут относительно формируемого строга, в результате элементы дальности искажены. Данный эффект повлияет на результат корреляционной обработки. Фигурные скобки на рисунке объединяют отсчеты, суммируемые для получения одного элемента дальности. Очевидно, что максимальное рассогласование достигается при сдвиге сигнала относительно строга на $M/2$, данный случай изображен на рис. 1,б.

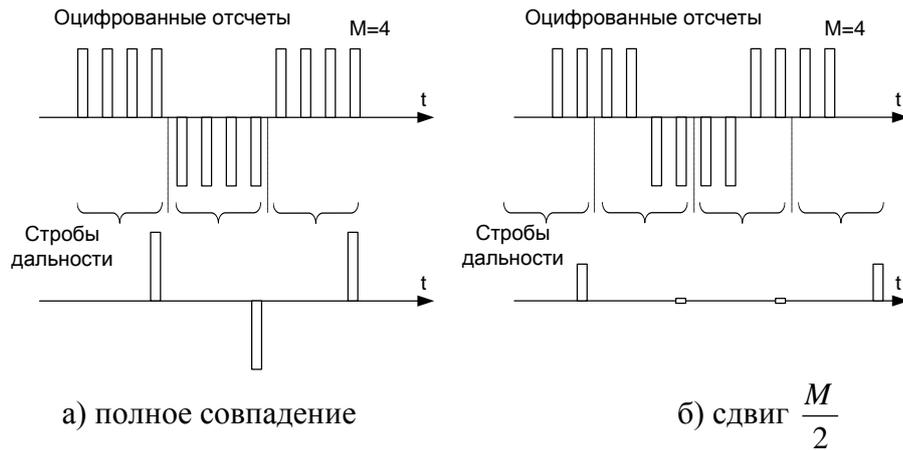


Рис. 1.

Для примера рассмотрим обработку сигнала закодированного кодам Баркера 13, для двух суммирований $M = 2$ и построим диаграммы результатов корреляционной обработки для нулевого сдвига рис. 2,а и для сдвига $M/2=1$ рис. 2,б. Из рисунка видно, что сдвиг приводит к «размазыванию» сжатого сигнала. Уровень основного пика падает в 2 раза, а его ширина увеличивается также в 2 раза. Боковые лепестки изменили свою форму, но их интегральный уровень не изменился. Однако теперь боковые лепестки имеют равномерную величину и не чередуются, как при согласованной обработке.

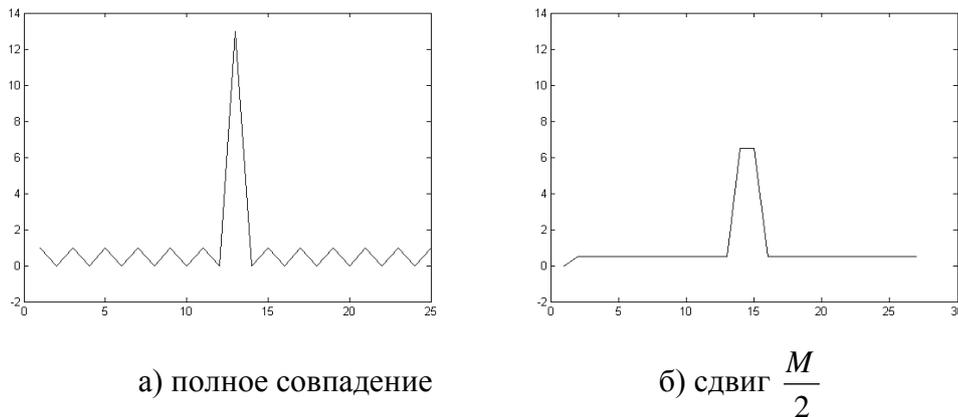


Рис. 2.

Теперь рассмотрим влияние сдвига отраженного сигнала на результат обработки двух дополнительных сигналов.

Два сигнала одинаковой длины, и имеющих все боковые лепестки равные по модулю, но противоположные по знаку, как и кодирующие последовательности, называют дополнительными.

Если последовательности $\{a_n^+\}$ и $\{a_n^-\}$ являются дополнительными, то

$$R_m^\Sigma = R_m^+ + R_m^- = \begin{cases} 2, & \text{при } m = 0 \\ 0, & \text{при } m = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm (N - 1) \end{cases}, \quad (1)$$

где R_m^Σ - суммарная автокорреляционная функция (АКФ),

$R_m^+ = \frac{1}{N} \sum_{n=m+1}^N a_n^+ \cdot a_{n-m}^+$ - АКФ последовательности $\{a_n^+\}$, $R_m^- = \frac{1}{N} \sum_{n=m+1}^N a_n^- \cdot a_{n-m}^-$ - АКФ последовательности $\{a_n^-\}$ [2, 3].

Используя два дополнительных сигнала, после согласованной обработки каждого из них, будет получено две АКФ сдвинутых в области задержек на величину, соответствующую дальности до цели. Суммируя их, будет получен удвоенный основной пик, а боковые лепестки взаимно компенсируются. При этом уровень боковых лепестков будет равен нулю, а, следовательно, не будет ложных целей, являющихся следствием согласованной обработки, не будет затенения слабых целей боковыми лепестками мощных. Другими словами, используя два дополнительных сигнала можно получить максимальное достижимое разрешение по дальности, при обзоре земной поверхности (поскольку отражение от земли статично, то есть, нет череспериодного доплеровского сдвига) [4].

Суммирование оцифрованных отсчетов, создание стробов дальности, будет одинаково влиять на сигналы принятые в соседних периодах зондирования, т.к. цель не изменяет своего положения, и отражение от нее одинокого распределяется по стробам. Но поскольку, кодирующие последовательности, применяемые для формирования двух дополнительных сигналов различны, то ответ на вопрос, как повлияют сдвиги отраженного сигнала относительно строба дальности на суммарный результат сжатия двух дополнительных сигналов, не так очевиден.

Поэтому, предлагается рассмотреть обработку, заключающуюся в выполнении выражения (1), двух дополнительных сигналов длиной 16, т.к. их база близка к базе кода Баркера 13, при количестве отсчетов на строб дальности $M = 2$. В качестве кодирующих последовательностей возьмем:

1, -1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, 1 и -1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, 1.

Как и в предыдущем примере, выполним обработку для нулевого сдвига, и для сдвига $M/2 = 1$. Результат приведен на рис. 3.

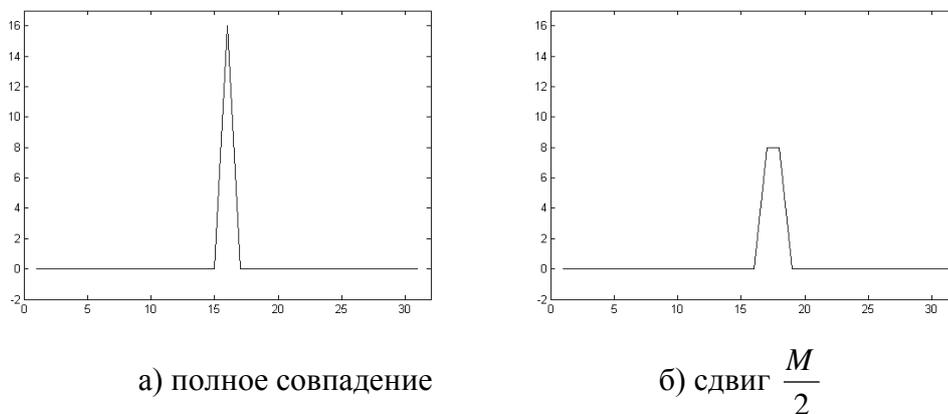


Рис. 3.

Из рисунка видно, что при несовпадении принятого сигнала и строба рис. 3,б результат согласованной обработки дополнительных сигналов имеет смазанный основной пик, уровень которого упал в 2 раза (-6дБ), а ширина удвоилась. При этом очень важно, что боковые лепестки равны нулю, также как и при полном совпадении, рис. 3,а.

Отметим, что увеличение M приведет к тому, что возникнет градация значений сдвига, приводящая к постепенному уменьшению уровня основного пика, по мере роста сдвига от 0 до $M/2$. При этом боковые лепестки результата обработки дополнительных сигналов будут сохраняться на нулевом уровне, а боковые лепестки кода Баркера 13 постепенно смазываться. Таким образом, случай $M/2$ является наихудшим, экстремальным.

Из вышесказанного, можно сделать **вывод**, что формирование элементов дальности, как суммы оцифрованных отсчетов, приводит к зависимости уровня принятого сигнала от того, как отсчеты суммируются (попадают ли они в строб). При этом уровень полезного сигнала – основной пик изменяет свою амплитуду (в худшем случае падает на 6 дБ). Боковые лепестки результата обработки дополнительных сигналов при этом остаются нулевыми, что очень важно для однозначного определения целей и формирования радиолокационного изображения поверхности земли с высокой четкостью.

Литература

1. Справочник по радиолокации. Под ред. М. Скольника, Нью-Йорк, 1970: Пер. с англ. (в четырех томах) / Под общей ред. К.Н. Трофимова; Том 3. Радиолокационные устройства и системы / Под ред. А.С. Винницкого. – М.: Сов. Радио, 1978, 528 с., с ил. – С. 419-420.
2. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. М.: Советское радио, 1970, 376 стр., - С. 250.
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985, 384 стр. - С. 72
4. Кривченков Д.Н. Методы повышения разрешающей способности по дальности вертолетной РЛС // Радиолокационные системы специального и гражданского назначения. 2010-2012 / Под ред. Ю.И. Белого. – М.: Радиотехника, 2011. – 920 с.: ил. С. 395-402.