

Милованов М.А., Рымов А.И., Шушляников В.В.  
 ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»  
 г. Воронеж, Краснознаменная 153  
 shushlyannikov.valera@mail.ru

### Применение троичной импульсной последовательности в бортовой радиолокационной станции для улучшения разрешающей способности по дальности

Для повышения качества работы бортовой радиолокационной станции необходимо улучшать ее разрешающую способность. Разрешающая способность бывает по дальности скорости и угловым координатам. Наиболее перспективной является разрешающая способность по дальности. потому что именно она позволяет различит две цели находящиеся на одном азимуте. Разрешающая способность по дальности – численно характеризуется минимальным расстоянием между двумя неподвижными целями, расположенными в радиальном направлении относительно радиолокационной станции, сигналы которых еще фиксируются станцией раздельно [1]. При меньшем расстоянии между целями их раздельное радиолокационное наблюдение становится невозможным. Рассмотрим формулу:

$$\delta D = \frac{c\tau_{\text{эф}}}{2} = \frac{c}{2\Delta f_{c \text{ эф}}} \quad (1)$$

$\delta D$  - разрешающая способность по дальности

$c$  – скорость света

$\tau_{\text{эф}}$  - задержка импульса

$\Delta f_{c \text{ эф}}$  - спектр сигнала

Из нее следуют два способа повышения разрешения по дальности: уменьшение длительности импульса. Данный способ использовать нежелательно, так как с уменьшением длительности импульса уменьшается энергетика сигнала. И второй способ расширение спектра сигнала. Расширить спектр сигнала возможно с помощью использования сложных сигналов.

Для улучшения разрешения по дальности целесообразно использовать сложные сигналы, которые в общем можно разделить на три группы [1]:

В группу I входят последовательности импульсов с постоянной несущей частотой.

В группу II входят бинарные фазовые коды и многофазные коды.

В группу III входят дискретные частотные последовательности.

Особое место среди сложных сигналов занимают последовательности Баркера которые относятся ко второй группе.

Главная привлекательная особенность последовательности Баркера заключается в том, что они имеют оптимальные импульсную и периодическую автокорреляционные функции и единичный пик-фактор. Главный недостаток последовательности Баркера заключается в том, что их всего 7 и длина самой длинной из последовательностей Баркера равна 13. Увеличить длительность кодовой последовательности позволяет применение троичных импульсных последовательностей, алфавит которых отличается от алфавита ПБ только нулевым символом.

В настоящее время имеется обширная библиотека троичных последовательностей, импульсная автокорреляционная функция, которых не хуже, чем у последовательности Баркера.

Наиболее простым является методом формирования троичной импульсной последовательности на основе совмещённые таблицы разностей и произведений. В статье [2] описан рекуррентный алгоритм синтеза массивов пар троичных последовательностей.

Пусть  $\hat{Y}$ ,  $\hat{V}_1$ ,  $\hat{V}_2$  троичные импульсные последовательности каждая из которых задана в алфавите  $\{0, \pm 1\}$ :

$$\begin{aligned} \hat{Y} = \{y_i\} = \{0, \pm 1\}, \quad i = \overline{0, \hat{N}_Y - 1}, \quad \hat{V}_1 = v_{1,j} = y_i, \\ i = j = \overline{0, n-1}, \quad \hat{V}_2 = v_{2,j} = y_{n+j}, \quad j = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (2)$$

Импульсная автокорреляционная функция троичной импульсной последовательности  $\hat{Y}$ , выражается через сумму импульсной автокорреляционной функции и импульсной взаимной корреляционной функции сегментов  $\hat{V}_1, \hat{V}_2$  следующим соотношением:

$$\hat{r}_{\hat{Y}}(\tau) = \hat{r}_{\hat{V}_1}(\tau) + \hat{r}_{\hat{V}_2}(\tau) + \hat{r}_{\hat{V}_1, \hat{V}_2}(\tau) + \hat{r}_{\hat{V}_2, \hat{V}_1}(\tau). \quad (3)$$

По данному алгоритму получили троичную импульсную последовательность.

$$[-1 \ 0 \ 0 \ 1 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ -1 \ 0 \ -1 \ 0]. \quad (4)$$

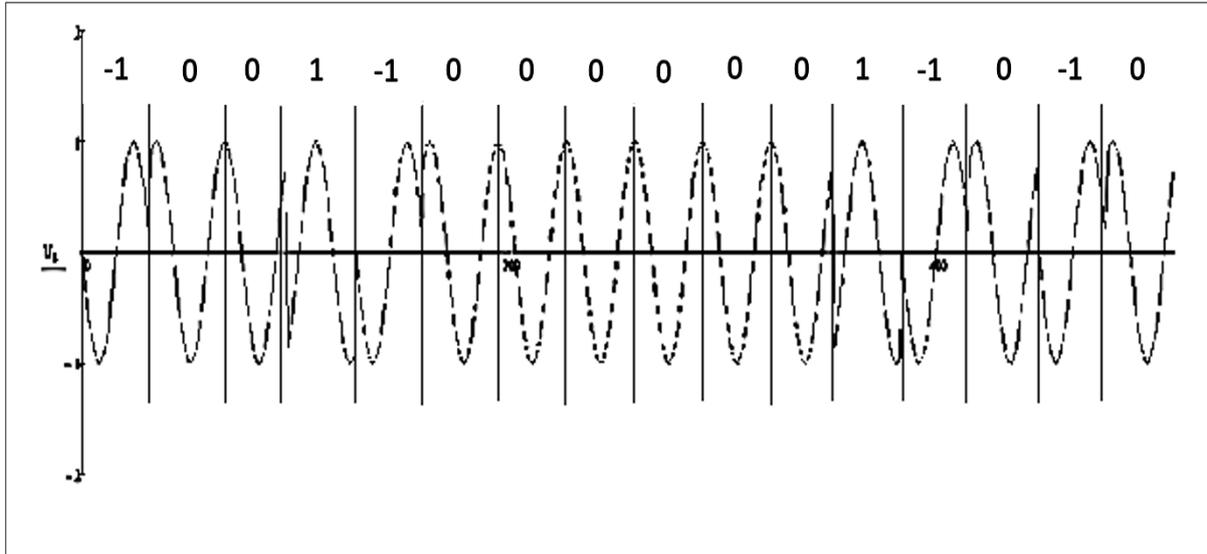


Рис1 Изменение фазы сигнала согласно шестнадцатиразрядной троичной импульсной последовательности

Для оценки свойств данного радиолокационного сигнала необходимо рассмотреть тело неопределенности по формуле:

$$\psi(\tau, \nu) = \left| \frac{\sum_{k=0}^{N-1} S(\tau_{\min} + kdt) \overline{S(\tau_{\min} + kdt - \tau)} \exp(2\pi i \nu (\tau_{\min} + kdt))}{\sum_{k=0}^{N-1} (S(\tau_{\min} + kdt) \overline{S(\tau_{\min} + kdt)})} \right|, \quad (5)$$

где  $S$  – фазоманипулированный сигнал

$\tau_{\min}$  - минимальное время задержки;

$\tau$  - время задержки;

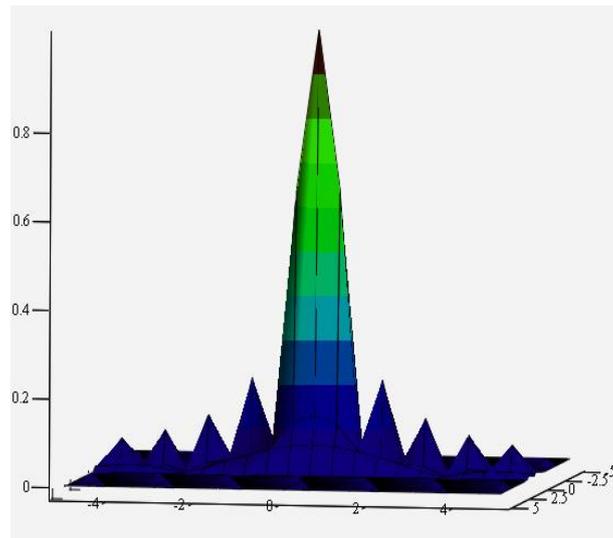
$k$ - переменная итерация

$dt$  - дифференциал

$N$  - количество итераций

$\nu$  - частота

Проведенное моделирование в среде Mathcad позволило получить тело неопределенности.



Сравнив полученное тела неопределенности с телом неопределенности последовательности Баркера по уровню 0,5 мы можем сделать выводы о том, что наиболее перспективными сигналами является троичной импульсной последовательности, которые позволяют улучшить разрешающую способность бортовой радиолокационной станции в 9 раз. Так же необходимо учитывать еще одно важное свойство троичной импульсной последовательности – сложность кодовой последовательности путем деления фазы не на 180 градусов, а на 120 градусов. Это дает возможность стать БРЛС более устойчивой к действию на нее преднамеренных помех.

Анализ тела функции-неопределенности троичной импульсной последовательности позволяет сделать вывод о том, что при некотором ухудшении структуры функции неопределенности получи лучшую разрешающую способность по дальности.

Например, если использовать пачку немодулированных импульсов, то разрешение такого сигнала составит 150 метров.

Если использовать тринадцати разрядный код Баркера такого же импульса разрешение по дальности будет 11,5 метров.

Если использовать троичные импульсные последовательности шестнадцати разряда кода можно получить разрешение по дальности 9,3 метра. Таким образом мы получаем выигрыш в разрешение по сравнению с кодом Баркера на 2,2 метр. При этом наилучшее разрешение будет ограничиваться только размером минимально возможного элемента сигнала

### Литература

1. Дудник П.И. Авиационные радиолокационные комплексы и системы. ВВИА имени профессора Н.Е Жуковского, 2006г. 1112 с.
2. В.Е. Гантмахер - Синтез троичных импульсных последовательностей, подобных последовательностям Баркера 2011г 21 с
3. В.Е. Гантмахер ,Н. Е. Быстов, Д. В. Чеботарев-Шумоподобные сигналы, анализ ,синтез, обработка.2005г 312с