

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

В.И. Костылев

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Учебное пособие для вузов

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2012

Выбор сигнала, используемого в радиолокационной системе, играет важную роль: если выбор сделан правильно, то система может разрешить две близкие по скорости и дальности цели. В связи с этим часто бывает необходимо исследовать форму сигнала и определить разрешение и неопределенность по дальности и скорости. В радиолокационных системах дальность измеряется по задержке сигнала, а скорость – по доплеровскому сдвигу частоты. Таким образом, дальность и скорость взаимозаменяемы с задержкой сигнала и доплеровским сдвигом частоты.

В данном учебном пособии показано, как с помощью встроенных средств MATLAB провести анализ формы сигнала с использованием функции неопределенности для основных типов сигналов, таких как прямоугольный импульс и сигнал с линейной частотной модуляцией.

Рассматривая график, нетрудно заметить, что только 10 % всех задержек имеют ненулевой отклик, и они сосредоточены в узкой полосе вблизи нулевой задержки. Это вызвано тем, что коэффициент заполнения сигнала равен 0.1. В самом деле, команда

```
dc_rect = dutycycle(hrect.PulseWidth,hrect.PRF)
```

влечёт отклик

```
dc_rect =  
0.1000
```

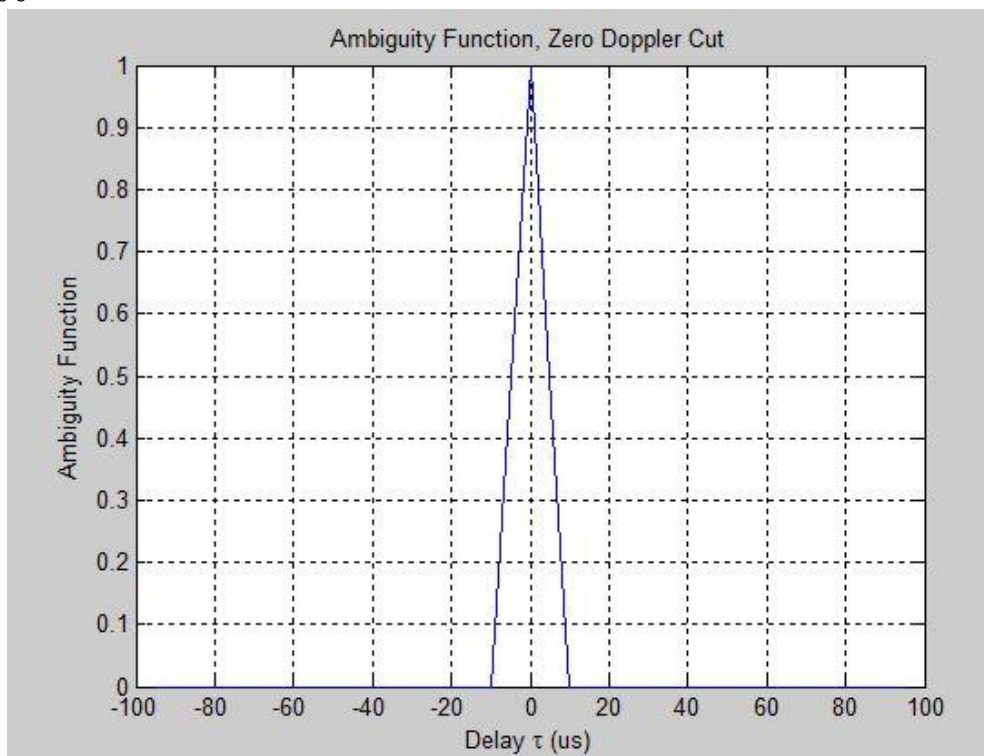


Рис. 2. АКФ прямоугольного импульса

При исследовании разрешающей способности сигнала обычно рассматриваются сечения при нулевой задержке и нулевом доплеровском сдвиге частоты функции неопределенности.

Сечение при нулевом доплеровском сдвиге функции неопределенности представляет собой автокорреляционную функцию [1] (АКФ) прямоугольного импульса. Это сечение можно изобразить (см. рис. 2) с помощью следующей команды:

```
ambgfun(x,hrect.SampleRate,hrect.PRF,'Cut','Doppler');
```

Сечение при нулевом доплеровском сдвиге неопределенности представляет собой отклик согласованного фильтра на сигнал от неподвижной цели. Из графика видно, что первый нулевой отклик появляется через 10 микросекунд – это значит, что такой сигнал может разрешить две цели не раньше, чем через 10 микросекунд, или через 1500 м. Следовательно, что такой отклик соответствует техническим требованиям к системе.

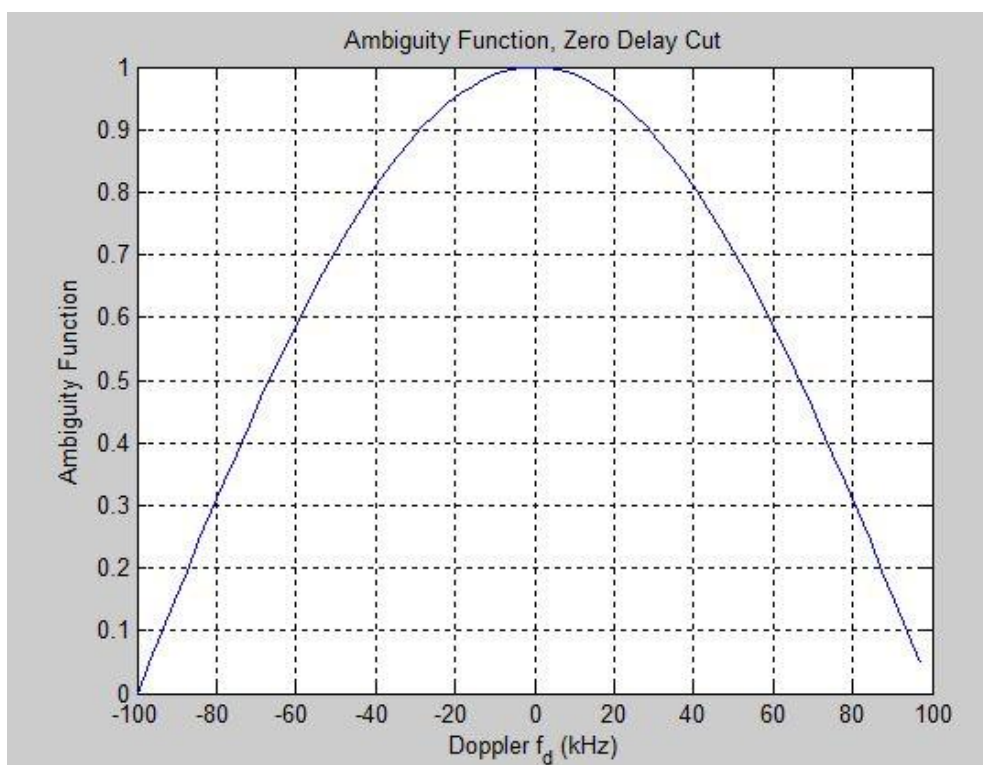


Рис. 3. Отклик на нулевую задержку

График сечения при нулевой задержке может быть построен с помощью аналогичной команды:

```
ambgfun(x,hrect.SampleRate,hrect.PRF,'Cut','Delay');
```

Заметим, что отклик согласованного фильтра на нулевую задержку достаточно широкий. Первый нуль не наблюдается вплоть до границы, которая соответствует доплеровскому сдвигу частоты 100 кГц. Таким образом, если две цели расположены на одинаковой дальности, то необходим сдвиг доплеровской частоты в 100 кГц, чтобы их различить. Предположим, что частота радиолокационной системы 1 ГГц, в соответствии со сделанными выше расчетами такой сдвиг частоты соответствует разнице в скорости целей, равной 30 км/с. Так как это очень большое значение скорости, можно говорить, что данная система не может различить две цели, используя доплеровский сдвиг частоты.

```
fc = 1e9;
```

```
deltav_rect = dop2speed(100e3,c/fc)
```

```
deltav_rect =  
30000
```

Можно сделать еще одно ценное замечание, относящееся к прямоугольному импульсу. Для такого сигнала разрешение по дальности определяется длительностью импульса. Значит, для достижения хорошей разрешающей способности необходимо выбрать импульс с малой длительностью. В то же время системой должен быть излучен сигнал с большой энер-

гией, чтобы отраженный сигнал можно было надежно принять. Значит, узкий импульс должен иметь очень большую амплитуду, а создание таких мощных импульсов в реальных системах обходится недешево.

2. Импульс с линейной частотной модуляцией

Как можно заметить из предыдущего раздела, разрешающая способность по доплеровскому сдвигу для прямоугольного импульса достаточно слабая. На самом деле, разрешающая способность по доплеровскому сдвигу для прямоугольного импульса имеет обратную зависимость от длительности импульса. Напомним, что разрешающая способность по дальности имеет прямую зависимость от длительности импульса. Очевидно, что имеется обратная взаимосвязь между разрешающими способностями по дальности и по доплеровскому сдвигу, и это – основная трудность. Следовательно, необходимо выбрать такой сигнал, у которого нет такой зависимости; при этом появится возможность улучшить разрешающую способность в обеих областях одновременно.

Сигнал с линейной частотной модуляцией именно таков. Разрешающая способность по дальности для такого сигнала не зависит от длительности импульса. Она зависит от полосы частот, которую занимает импульс.

При такой зависимости разрешающей способности системой могут генерироваться импульсы большой длительности. Значит, требование большой мощности передатчика отпадает. Между тем, с увеличением длительности импульса увеличивается разрешающая способность по доплеровскому сдвигу частоты. Такое увеличение возможно благодаря тому, что разрешающая способность сигнала с линейной частотной модуляцией по-прежнему имеет обратную зависимость от длительности импульса.

Поэтому исследуем сигнал с линейной частотной модуляцией более подробно. Такой сигнал, обеспечивающий необходимую разрешающую способность по дальности, может быть получен следующим образом:

```
hlfm = phased.LinearFMWaveform('SampleRate',fs,'SweepBandwidth',bw,...
    'PRF',prf,'PulseWidth',5/bw)
```

В этом случае отклик компьютера таков:

```
hlfm =
```

```
System: phased.LinearFMWaveform
```

```
Properties:
```

```
    SampleRate: 200000
```

```
    PulseWidth: 5e-05
```

```
    PRF: 10000
```

```
    SweepBandwidth: 100000
```

```
    SweepDirection: 'Up'
```

```
    SweepInterval: 'Positive'
```