

УДК 629.735.066 (045)

С.Л. Квасюк

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИЯВЛЕННЯ ВУЗЬКОСМУГОВОГО СИГНАЛУ ІЗ ЗАВАДОЮ В ЧАСТОТІ

Національний авіаційний університет, e-mail: [KvSerg555@ukr.net](mailto:KvSerg555@ukr.net)

*Побудовані характеристики виявлення вузькосмугового сигналу за допомогою власно створеної математичної моделі та проведено порівняльний аналіз характеристик виявлення сигналу без завади в частоті та із завадою в частоті.*

**Ключові слова:** радіолокація, сигнал, завада, характеристика, виявлення, ймовірність, правильне виявлення, хибна тривога.

### Вступ

При вирішенні задач сучасної радіолокації важливу роль відіграє питання виявлення сигналів та характеристики виявлення. Також вони можуть бути корисними при розв'язанні задач, які стоять перед сучасною медициною, зокрема при доплерівському вимірюванні швидкості кровотоку людини. Виявленням називається процес прийняття рішення щодо наявності цілі (об'єкта) з допустимою ймовірністю помилкового рішення. Виділяють два типи помилкових рішень:

1) Хибна тривога, коли при відсутності в елементі дозволу цілі приймається рішення про її наявність (відповідна ймовірність називається ймовірністю хибної тривоги).

2) Пропуск цілі, коли за наявності цілі приймається рішення про її відсутність (відповідна ймовірність називається ймовірністю пропуску цілі). Два інших рішення є істинними: правильне виявлення, коли за наявності цілі приймається рішення про її наявність (ймовірність називається ймовірністю правильного виявлення, вона зазвичай позначається літерою  $D$ ); правильне виявлення, коли при відсутності цілі приймається рішення про її відсутність (ймовірність називається ймовірністю правильного виявлення, вона зазвичай позначається різницею  $1 - F$ ).

Основними якісними показниками радіолокаційного виявлення є умовні ймовірності правильного виявлення та хибної тривоги.

Які б завдання і цілі не стояли перед РЛС чи будь-яким іншим пристроєм що використовує принцип радіолокації, у всіх випадках бажано чим найрідше приймати помилкові рішення, важливим при цьому є ймовірність правильного виявлення сигналу. В реальній обстановці поряд з корисним сигналом наявні шуми, а також в багатьох випадках присутні завади в самій частоті сигналу.

З радіолокації відомий метод виявлення сигналу, який задовольняє критерій оптимальності. Згідно цього критерію раціонально використовувати вимогу максимуму ймовірності правильного виявлення сигналу при фіксованій ймовірності хибного виявлення. Цей критерій оптимальності має назву Неймана-Пірсона.

### Аналіз досліджень і публікацій

Питання виявлення сигналів та їх характеристик виявлення добре розглянуте в учбовому посібнику А. А. Коростелева, Н. Ф. Ключова [1]. Також слід виділити наукові роботи Білоцерковського Г.Б. [3], Ширмана Я. Д. [4] та Фінкельштейна М.І. [5]. Загальною проблемою, яку можна виділити оглянувши літературу на дану тематику, є застарілість літератури. Тому стоїть питання нових досліджень, застосування більш нових моделей та пристосування до сучасних реалій, де виявлення сигналів та покращення його характеристик застосовується у таких сферах як медицина, зокрема доплерівська ехографія.

### Постановка задачі

Характеристики виявлення сигналу є важливим напрямком у сфері радіолокації та медицини, де ставиться питання точного та гарантованого виявлення сигналу (наприклад, сигналу, що відбивається від кровотоку та йде на прилад доплерівського вимірювача швидкості кровотоку людини). Тому поставлена задача побудувати характеристики виявлення вузькосмугового сигналу шляхом комп'ютерного моделювання, проаналізувати та побудувати характеристики виявлення сигналу із завадою в частоті та без завади в частоті.

### Виклад основного матеріалу

Модель сигналу на фоні білого шуму, низькочастотного шуму та завади в самій частоті:

$$\begin{aligned} \text{Sig\_Osn} = & A \times (\cos(2 \times \pi \times (f_0 + 0.3 \times \text{randn}(1, N)) \times \frac{t}{N} + \varphi) + i \times \sin(2 \times \pi \times (f_0 + 0.3 \times \text{randn}(1, N)) \times \frac{t}{N} + \varphi)) + \\ & + \text{randn}(1, N) + i \times \text{randn}(1, N) + 10 \times (\cos(2 \times \pi \times f_{\_d1} \times \frac{t}{N} + \varphi_{\_d1}) + i \times \sin(2 \times \pi \times f_{\_d1} \times \frac{t}{N} + \varphi_{\_d1})) + \\ & + 8 \times (\cos(2 \times \pi \times f_{\_d2} \times \frac{t}{N} + \varphi_{\_d2}) + i \times \sin(2 \times \pi \times f_{\_d2} \times \frac{t}{N} + \varphi_{\_d2})) + \\ & + 5 \times (\cos(2 \times \pi \times f_{\_d3} \times \frac{t}{N} + \varphi_{\_d3}) + i \times \sin(2 \times \pi \times f_{\_d3} \times \frac{t}{N} + \varphi_{\_d3})) \end{aligned} \quad (1)$$

де  $f_0$  – частота Доплера;  $A$  – амплітуда корисного сигналу;  $\varphi = 2 \times \pi \times \text{rand}$  – фаза корисного сигналу;  $N$  – об'єм виборки;  $t$  – час;  $f_0 + 0.3 \times \text{randn}(1, N)$  – шум всередині частоти;  $\varphi_{\_d1} = 2 \times \pi \times \text{rand}$ ;  $\varphi_{\_d2} = 2 \times \pi \times \text{rand}$ ;  $\varphi_{\_d3} = 2 \times \pi \times \text{rand}$ ;  $\varphi_{\_d1}$ ,  $\varphi_{\_d2}$ ,  $\varphi_{\_d3}$  – випадкові початкові фази низькочастотних шумових складових НЧШ;  $f_{\_d1}$ ,  $f_{\_d2}$ ,  $f_{\_d3}$  – частоти НЧШ.

Для визначення ймовірності правильного виявлення сигналу та побудови характеристик виявлення потрібно задати фіксоване значення ймовірності хибної тривоги  $F_{\text{хт}}$ . Прийнемо значення  $F_{\text{хт}} = 10^{-3}$ . Тобто програмно підбираємо число, щоб виконувалась умова наявності як мінімум 30 виявлень з 30000.

Вичислюємо поріг, тобто таке значення вище якого сигнал є, а менше якого – немає. Частота корисного сигналу  $f_0=70$ , отже будемо порівнювати 71 гармоніку.

Програма написана у програмному середовищі Matlab2006.

Перша частина програми:

```
N=256;
t=0:N-1;
f0=70; fd1=0.5; fd2=2.2; fd3=5.1;
V=0
for q=1:30000
Faza=2*pi*rand;
Faza_d1=2*pi*rand;
Faza_d2=2*pi*rand;
Faza_d3=2*pi*rand;

Sig_Osnovnoy=0*(cos(2*pi*(f0+0.3*randn(1,N)).*t/N+Faza)+i*sin(2*pi*(f0+0.3*randn(1,N)).*t/N+Faza))+randn(1,N)+i*randn(1,N)+10*(cos(2*pi*fd1*t/N+Faza_d1)+i*sin(2*pi*fd1*t/N+Faza_d1))+8*(cos(2*pi*fd2*t/N+Faza_d2)+i*sin(2*pi*fd2*t/N+Faza_d2))+5*(cos(2*pi*fd3*t/N+Faza_d3)+i*sin(2*pi*fd3*t/N+Faza_d3));
Sp=abs(fft(Sig_Osnovnoy));
if Sp(71)>70
V=V+1;
end
end
V
```

Друга частина програми:

```
for q=1:1000
Faza=2*pi*rand;
Faza_d1=2*pi*rand;
Faza_d2=2*pi*rand;
Faza_d3=2*pi*rand;

Sig_Osnovnoy=0.1*(cos(2*pi*(f0+0.3*randn(1,N)).*t/N+Faza)+i*sin(2*pi*(f0+0.3*randn(1,N)).*t/N+Faza))+randn(1,N)+i*randn(1,N)+10*(cos(2*pi*fd1*t/N+Faza_d1)+i*sin(2*pi*fd1*t/N+Faza_d1))+8*(cos(2*pi*fd2*t/N+Faza_d2)+i*sin(2*pi*fd2*t/N+Faza_d2))+5*(cos(2*pi*fd3*t/N+Faza_d3)+i*sin(2*pi*fd3*t/N+Faza_d3));
Sp=abs(fft(Sig_Osnovnoy));
if Sp(71)>70
V=V+1;
end
end
V
D=V/1000
```

$V=29$ , менше 30, отже значення 70 підходить. Тобто поріг дорівнює 70, що задовольняє  $F_{\text{хт}}=10^{-3}$ .

Після цього складаємо програму для побудови характеристик виявлення. Характеристикою буде залежність ймовірності правильного виявлення сигналу від амплітуди корисного сигналу.

Підставляючи у формулу (1) різні значення амплітуди сигналу  $A$ , отримуємо значення ймовірності правильного виявлення  $D_{\text{пв}}$ , підраховуючи скільки разів сигнал був виявлений  $V$ , при заданій кількості вимірювань  $q$ :

$$D_{\text{пв}} = \frac{V}{q} \quad (2)$$

Після цього будуюмо характеристики виявлення. Характеристикою буде графічна залежність масивів ймовірності правильного виявлення сигналу від амплітуди корисного сигналу.

Отримуємо масив значень:

$A=[0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7]$ ;  $D=[0.007, 0.023, 0.174, 0.437, 0.74, 0.91, 0.98]$ ;

Отримано характеристику виявлення вузькосмугового сигналу із завадою в частоті (Рис.1).

Для порівняння побудуємо характеристику виявлення для сигналу без завади у частоті.

Змінівши формулу (1) та забравши значення шуму в частоті, модель сигналу матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
Sig\_Osn = & A \times (\cos(2 \times \pi \times f_0) \times \frac{t}{N} + \varphi) + i \times \sin(2 \times \pi \times (f_0) \times \frac{t}{N} + \varphi) + \\
& + randn(1, N) + i \times randn(1, N) + 10 \times (\cos(2 \times \pi \times f\_d1 \times \frac{t}{N} + \varphi\_d1) + i \times \sin(2 \times \pi \times f\_d1 \times \frac{t}{N} + \varphi\_d1)) + \\
& + 8 \times (\cos(2 \times \pi \times f\_d2 \times \frac{t}{N} + \varphi\_d2) + i \times \sin(2 \times \pi \times f\_d2 \times \frac{t}{N} + \varphi\_d2)) + \\
& + 5 \times (\cos(2 \times \pi \times f\_d3 \times \frac{t}{N} + \varphi\_d3) + i \times \sin(2 \times \pi \times f\_d3 \times \frac{t}{N} + \varphi\_d3))
\end{aligned} \quad (2)$$

Аналогічно випадку для сигналу із завадою у частоті розраховуємо значення ймовірностей правильного виявлення відповідно до значень амплітуд корисного сигналу.

Отримуємо масив значень:

$A=[0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7]$ ;

$D=[0.018, 0.196, 0.684, 0.966, 0.99, 0.999, 0.9999]$ ;

Отримано характеристику виявлення вузькосмугового сигналу без завади в частоті (Рис.2).

Вивівши два графіки на один рисунок можемо проаналізувати та порівняти характеристики для різних випадків (Рис. 3).

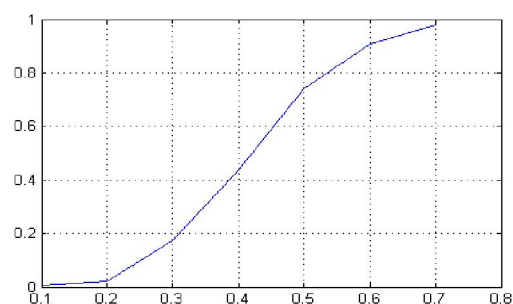


Рис. 1 Характеристика виявлення сигналу із завадою в частоті

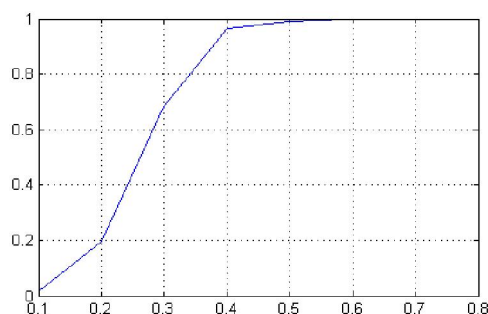


Рис. 2 Характеристика виявлення сигналу без завади в частоті

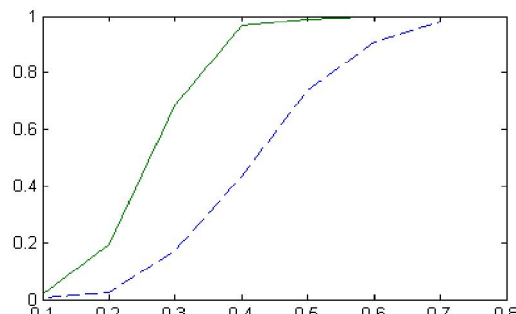


Рис. 3 Характеристики виявлення сигналу із завадою в частоті та без завади

На рис. 3 зображені характеристики виявлення вузькосмугового сигналу із завадою у частоті (пунктиром) та без завади (лінія). З графіків бачимо, що із зростанням амплітуди корисного сигналу ймовірність правильного виявлення зростає. Також бачимо, що для випадку, коли присутні шуми у самій частоті характеристика виявлення сигналу буде гірша ніж у випадку без шуму. При однакових амплітудах корисного сигналу ймовірність правильного виявлення буде вища у випадку, коли завади у частоті сигналу відсутні.

### Висновки

Шляхом комп'ютерного моделювання побудовані характеристики виявлення вузькосмугового сигналу. Розглянуто два варіанти сигналів, з завадою в частоті, та без завади. Проаналізовано графічні залежності та зроблено висновок, що характеристика виявлення сигналу в реальній обстановці (з завадою в частоті) гірша за характеристику виявлення ідеального сигналу (без завади). Отримані характеристики можуть мати призначення при аналізі проблем, які стоять перед радіолокацією та медициною і будуть корисними в майбутніх дослідженнях та статтях.

### Список літературних джерел

1. Коростелев А.А., Ключев Н.Ф., Мельник Ю.А. Теоретические основы радиолокации. Учебн. Пособие для вузов, М., "Сов. радио", 1978. – 608 с.
2. Продеус А.Н., Лущик У.Б., Найда С.А. Спектрально-временной анализ сигналов доплеровской эхографии. Часть 1. О повышении эффективности измерений параметров кровотока. - Электроника и связь, №24, 2004, с.47-54.
3. Білоцерковський Б.Г. Основи радіолокації і радіолокаційні пристрої. М., "Сов. радио", 1975, – 336 с.
4. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. М., "Сов. радио", 1970. – 560 с.
5. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. Ученик для вузов. М., "Радио и связь", 1983. – 536с.