

УДК 629.735.066 (045)

¹В. М. Шутко, д-р техн. наук.,
²Ю. М. Барабанов, канд. техн. наук.,
³С. Л. Квасюк, асп.

ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИЯВЛЕННЯ ВУЗЬКОСМУГОВОГО СИГНАЛУ ІЗ ЗАВАДОЮ В ЧАСТОТІ

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail:

¹vnshutko@ukr.net, ²brbnv@i.ua, ³KvSerg555@ukr.net

Застосовано новий метод несиметричних вікон для покращення характеристики виявлення вузькосмугового сигналу на фоні білого шуму та шуму в частоті. Розглянуто різні варіанти сигналу із шумами.

Ключові слова: характеристика, виявлення, сигнал, завада, вікно, частота, спектр, Фур'є.

Вступ. Важливу роль у вирішенні завдань сучасної радіолокації відіграють питання виявлення сигналів та характеристики виявлення. Виявленням називається процес прийняття рішення щодо наявності цілі (об'єкта) з допустимою ймовірністю помилкового рішення. Виділяють два типи помилкових рішень:

1) хибну тривогу, коли елемент не має 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 інші рішення є істинними:

– правильне виявлення, коли за наявності цілі приймається рішення про її наявність (ймовірність називається ймовірністю правильного виявлення; її зазвичай позначають літерою D);

– правильне невиявлення, коли за відсутності цілі приймається рішення про її відсутність (ймовірність називається ймовірністю правильного невиявлення, її зазвичай позначають різницею $1 - F$).

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

Які б завдання і цілі не стояли перед радіолокаційною системою 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 реальності поряд з корисним сигналом наявні шуми, а також наявні завади здебільшого в самій частоті сигналу.

Спектральний аналіз – важлива галузь прикладної математики, присвячена виділенню із спостережуваних явищ або процесів періодичних компонент, тобто складових, що правильно змінюються з часом. Це один із методів оброблення сигналів, який дозволяє охарактеризувати частотний склад вимірюваного сигналу. Перетворення Фур'є є математичною основою, яка зв'язує часовий або просторовий сигнал (або деяку модель цього сигналу) з його поданням в частотній області.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання виявлення сигналів та їх характеристик виявлення ґрунтовно розглянуто в навчальному посібнику [1], а також у працях [3; 4]. Питання спектрального аналізу добре розглянуто в праці [5]. Актуальним є питання покращення характеристик виявлення сигналів, застосування моделей більш пристосованих до сучасних реалій з перепадами шумів та більш якісного виділення сигналу.

Постановка завдання. Характеристики виявлення сигналу є важливими у сфері радіолокації та навігації, зокрема для точного та гарантованого виявлення сигналу (наприклад, доплерівського сигналу, що використовується у сучасних когерентних бортових метеолокаторах). Мета роботи – покращити характеристики виявлення вузькосмугового сигналу застосуванням спектральних вікон – несиметричних спектральних вікон, а також математично змодельовати та побудувати ці характеристики.

Виклад основного матеріалу. Модель доплерівського вузькосмугового сигналу на фоні шумів та із завадою в частоті:

$$\text{Sig_1} = A \left(\cos\left(2\pi\left(f_0 + 0,5 \times \text{randn}(1, N)\right) \frac{t}{N} + \varphi\right) + i \sin\left(2\pi\left(f_0 + 0,5 \times \text{randn}(1, N)\right) \frac{t}{N} + \varphi\right) + \text{randn}(1, N) + i \text{randn}(1, N) \right) \quad (1)$$

де f_0 – частота Доплера; A – амплітуда корисного сигналу; $\varphi = 2\pi \text{rand}$ – фаза корисного сигналу; N – обсяг вибірки; t – час; $f_0 + 0,5 \text{randn}(1, N)$ – шум всередині частоти.

Визначимо формулу для несиметричної віконної функції:

$$\text{Okn} = \cos\left(2\pi 0,5 \frac{t}{N}\right) + 1, \quad (2)$$

де 0,5 – значення частоти.

Маючи основні формули (1) та (2), складаємо першу частину програми для порівняння спектрів сигналів. Програму написано у програмному середовищі Matlab2006.

Перша частина програми:

```
N=256;
t=0:N-1;
f0=70;
Faza=2*pi*rand;
Okn=cos(2*pi*0.5*t/N)+1;
Sig_1=1*(cos(2*pi*(f0+0.5*randn(1,N)).*t/N+Faza)+i*sin(2*pi*(f0+0.5*randn(1,N)).*t/N+Faza))+randn(1,N)+i*randn(1,N);
plot(t,abs(fft(Sig_1)), 'r')
hold on
plot(t,abs(fft(Sig_1.*Okn)), '--')
```

Виконавши швидке перетворення Фур'є від сигналу Sig_1 і від сигналу, поелементно перемноженого з вікном Okn, отримуємо два спектри, зображені на рис. 1.

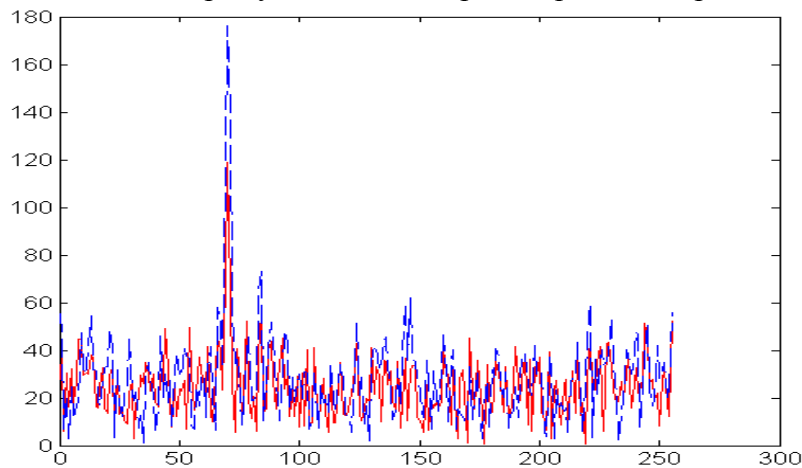


Рис. 1. Спектри сигналів, отримані за допомогою віконної функції та без неї

Лінією зображено спектр сигналу на фоні шумів та із завадою в частоті, пунктиром – спектр сигналу на фоні шумів та із завадою в частоті перемноженого на віконну функцію.

Створюємо модель для побудови характеристик виявлення сигналу. Для визначення імовірності правильного виявлення сигналу та побудови характеристик виявлення потрібно задати фіксоване значення імовірності хибної тривоги $F_{x, \tau}$. Припускаємо значення $F_{x, \tau} = 10^{-3}$. Тобто програмно підбираємо число, щоб виконувалась умова наявності – як мінімум 30 виявлень з 30000.

Вичислимо поріг, тобто таке значення, вище від якого сигнал є, а якщо менше, – немає. Частота корисного сигналу $f_0 = 70$. Отже, будемо порівнювати 71 гармоніку. Нехай амплітуда сигналу дорівнює нулю, тобто враховуємо тільки шуми.

Друга частина програми:

```

Okn=cos(2*pi*0.5*t/N)+1;
v=0;
w=0;
for q=1:30000
Faza=2*pi*rand;
Sig_1=0.0*(cos(2*pi*(f0+0.5*randn(1,N)).*t/N+Faza)+i*sin(2*pi*(f0+0.5*randn(1,N)).*t/N+
Faza))+randn(1,N)+i*randn(1,N);
KL=abs(fft(Sig_1));
NOV=abs(fft(Sig_1.*Okn));
if KL(71)>60
v=v+1;
end
if NOV(71)>74
w=w+1;
end
end

```

Програмно підбираємо значення 60 та 74 відповідно для KL (класичний метод, швидке перетворення Фур'є) та NOV (новий метод, застосування несиметричного вікна). Тобто поріг дорівнює 60 та 74, що задовольняє $F_{x, \tau} = 10^{-3}$.

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

Підставляючи у формулу (1) різні значення амплітуди сигналу A , отримуємо значення імовірності правильного виявлення $D_{п. в.}$, визначаючи кількість виявлення сигналів V за заданої кількості вимірювань q (класичний метод):

$$D_{п. в.} = \frac{V}{q}. \quad (3)$$

Аналогічно для сигналу, помноженого на вікно, отримуємо вираз для імовірності правильного виявлення $D_{п. в. NOV}$ (новий метод):

$$D_{п. в. NOV} = \frac{W}{q}. \quad (4)$$

Маючи основні формули (3) і (4), складаємо третю частину програми.

Третя частина програми:

```

for q=1:1000
  Faza=2*pi*rand;
  Sig_1=0.1*(cos(2*pi*(f0+0.5*randn(1,N)).*t/N+Faza)+i*sin(2*pi*(f0+0.5*randn(1,N)).*t/N+
  Faza))+randn(1,N)+i*randn(1,N);
  KL=abs(fft(Sig_1));
  NOV=abs(fft(Sig_1.*Okn));
  if KL(71)>60
    v=v+1;
  end
  if NOV(71)>74
    w=w+1;
  end
end
end
v
D=v/1000

```

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

Отримуємо масив значень:

```

A = [0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8];
D = [0.002,0.01,0.05,0.166,0.35,0.6,0.796,0.92];

```

Будуємо графік:

```
plot(A,D), grid
```

Отримуємо характеристику виявлення вузькосмугового сигналу із завадою в частоті за класичним методом (рис. 2).

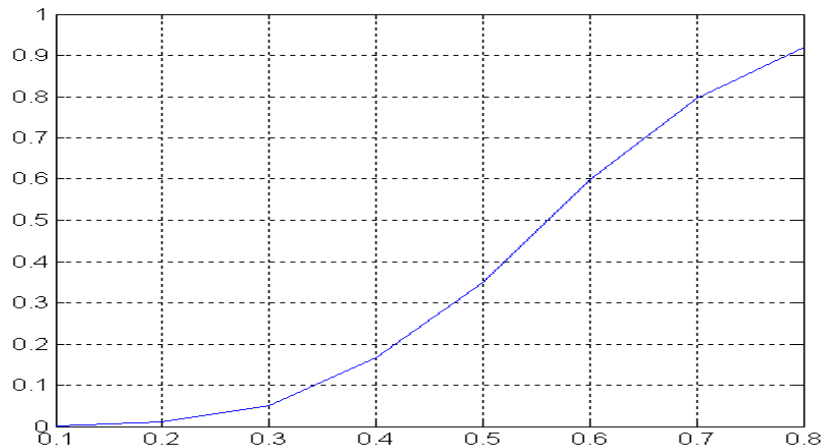


Рис. 2. Характеристика виявлення сигналу із завадою в частоті за класичним методом

Аналогічно розраховуємо імовірності правильного виявлення сигналу за новим методом:

```

w
D=w/1000

```

Отримуємо масив значень:

```

A=[0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8];
D=[0.002,0.021,0.139,0.4,0.71,0.923,0.985,0.998];

```

Будуємо графік:

$plot(A,D), grid$

Отримано характеристику виявлення вузькосмугового сигналу із завадою в частоті за новим методом (рис. 3).

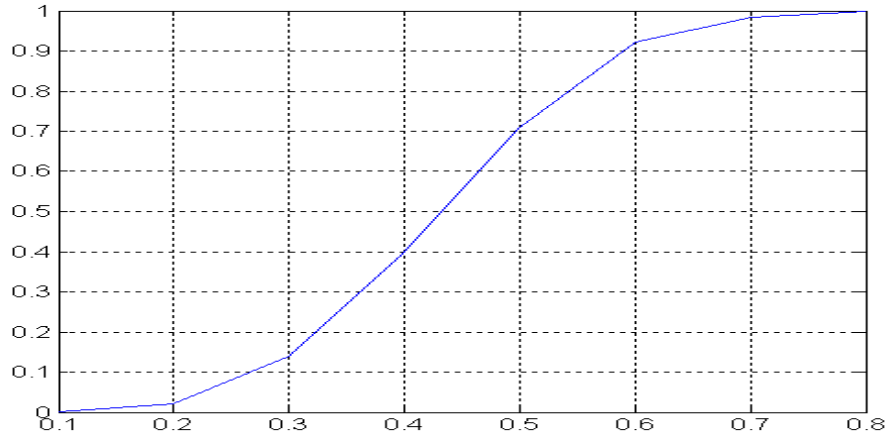


Рис. 3. Характеристика виявлення сигналу із завадою в частоті за новим методом

Вивівши два графіки на один рисунок, можемо проаналізувати та порівняти характеристики для різних методів (рис. 4).

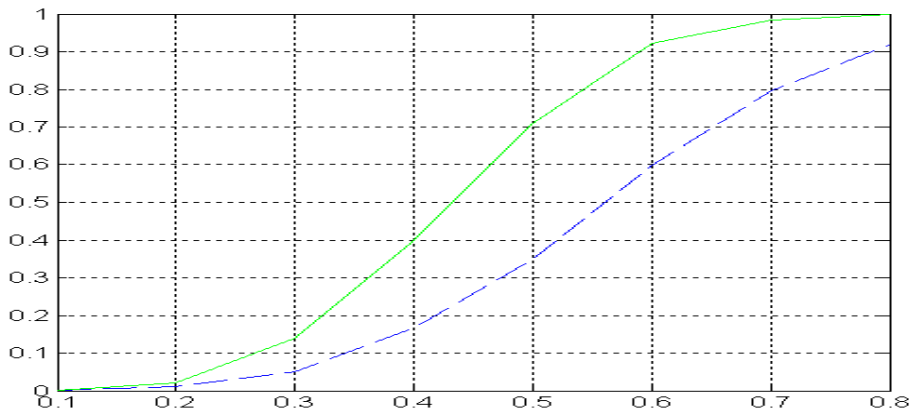


Рис. 4. Характеристики виявлення сигналу із завадою в частоті за двома методами

Побудуємо графічну залежність, порівнявши з характеристикою виявлення сигналу без завади в частоті (рис. 5).

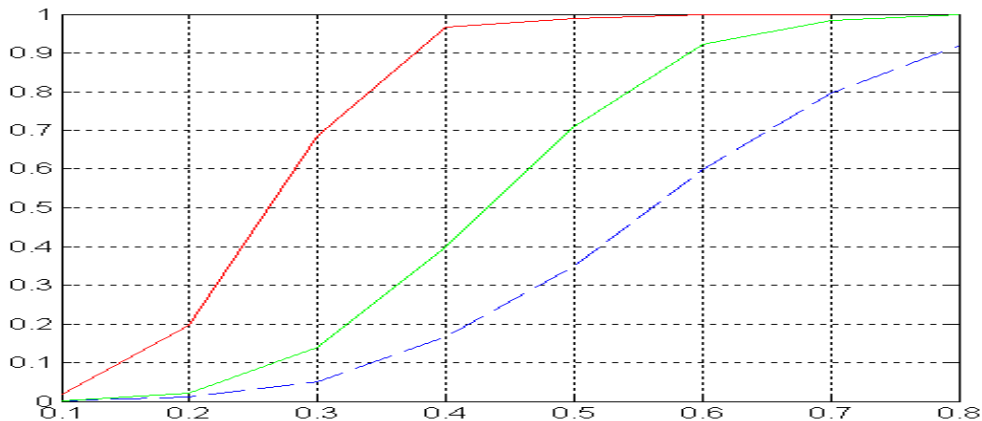


Рис. 5. Характеристики виявлення сигналу із завадою в частоті за двома методами та характеристика без завади в частоті (червоним кольором)

Висновки. Емпірично підібрано і застосовано новий метод несиметричних вікон для покращення характеристики виявлення вузькосмугового сигналу на фоні шумів та шуму в частоті. Шляхом комп'ютерного моделювання побудовано характеристики виявлення вузькосмугового сигналу за різними методами. Розглянуто два варіанти сигналів – із завадою в частоті та без завади. Проаналізовано графічні залежності та зроблено висновок, що характеристика виявлення для сигналу отримана внаслідок перемноження віконної функції на сигнал краща від характеристики виявлення за класичним методом і більше наближена до ідеальної характеристики без завади в частоті. Отримані характеристики можуть призначатися для аналізу проблем радіолокації, навігації та медицини і будуть корисними для подальших досліджень. Пропонований метод не є оптимальним, але він стійкий за різних імовірностей розподілу завад у частоті і не потребує великих обчислювальних ресурсів.

Список літератури

1. *Коростелев А. А.* Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие для вузов / А. А. Коростелев, Н. Ф. Ключев, Ю. А. Мельник – М.: Сов. радио, 1978. – 608 с.
2. *Продеус А. Н.* Спектрально-временной анализ сигналов доплеровской эхографии / А. Н. Продеус, У. Б. Лущик, С. А. Найда Ч. 1. / О повышении эффективности измерений параметров кровотока // Электроника и связь. – №24. – 2004. – С. 47 – 54.
3. *Білоцерковський Б. Г.* Основы радиолокации и радиолокационные устройства / Б. Г. Білоцерковський – М.: Сов. радио, 1975. – 336 с.
4. *Ширман Я. Д.* Теоретические основы радиолокации / Я. Д. Ширман – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
5. *Марпл-мл. С. Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения / С. Л. Марпл-мл. – М.: Мир, 1990. – 265 с.

В. Н. Шутко, Ю. Н. Барабанов, С. Л. Квасюк

Улучшение характеристики обнаружения узкополосного сигнала с помехой в частоте

Применен новый метод несимметричных окон для улучшения характеристики обнаружения узкополосного сигнала на фоне белого шума и шума в частоте. Рассмотрены различные варианты сигнала с шумами.

V. N. Shutko, Yu. M. Barabanov, S. L. Kvasyuk

Improvement of description of finding out a narrow-band signal with a hindrance in frequency

Applied a new method for asymmetrical windows to improve performance narrowband signal detection against a background of white noise and noise frequency. Different versions of the signal from noise.