

УДК 621.396.96

І.І. Сачук

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОД ПОКРАЩЕННЯ ДВОВИМІРНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЛІТАКІВ НА ОСНОВІ ЧАСОВО-ЧАСТОТНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ГАБОРА ТА ВІГНЕРА-ВІЛЛЯ

Розроблено метод покращення двовимірних радіозображень на основі комбінації часово-частотних перетворень Габора та Вігнера-Вілля. Підвищена роздільна здатність перетворення Вігнера-Вілля підвищує детальність відтворення двовимірного радіолокаційного зображення, подання ж цього перетворення з перетворенням Габора дозволяє позбутись комбінаційних перехідних елементів зображення, притаманних нелінійним часово-частотним перетворенням. Наведено результати аналізу покращення двовимірних радіозображень літака Цесна-172 з використанням експериментальних даних.

**Ключові слова:** радіолокаційне розпізнавання, радіозображення, ширококутовий радіолокаційний сигнал, часово-частотний аналіз, перетворення Габора, перетворення Вігнера-Вілля.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Селекція повітряних об'єктів за ступенем небезпеки та селекція хибних та відволікаючих цілей є вкрай необхідною функцією сучасних радіолокаційних та інформаційних систем зенітних ракетних військ. Це обумовлено швидкоплинністю сучасного протиповітряного бою в умовах великої кількості та розмаїття повітряних об'єктів, які, у свою чергу, становлять різні ступені небезпеки. Не урахування цього призводить до витрат ракет на хибні, відволікаючі та малозначущі цілі, що може виявитись достатньо коштовним.

Двовимірні радіолокаційні зображення повітряних об'єктів містять інформацію про просторове розташування характерних їх елементів [1, 2]. Аналіз таких зображень може надати можливість надійної класифікації повітряних об'єктів з метою їх селекції. На відміну від зображень у оптичному або інфрачервоному діапазонах радіолокаційні зображення не залежать від погодних умов.

У [3] розроблено метод отримання двовимірних радіолокаційних зображень на основі часово-частотного перетворення Габора. Відповідні двовимірні зображення не завжди мають детальність, що дозволяє упізнати характерні елементи літака та літак в цілому. Вони також є достатньо чутливими до зміни кутової швидкості обертання літака навколо вертикальної вісі. Навіть невеликі зміни у кутівій швидкості призводять до розмиття зображення та погіршення упізнаваності літака.

Для покращення детальності відтворення двовимірного радіолокаційного зображення доцільно використовувати часово-частотні перетворення, які мають підвищену роздільну здатність. При цьому перетворення не повинні мати комбінаційних перехідних елементів зображення, притаманних усім

нелінійним часово-частотним перетворенням. Режим отримання та виведення на індикаторні пристрої у реальному часі інформації є одним з основних режимів роботи сучасних багатofункціональних РЛС [4]. Отже, актуальною є задача покращення якості двовимірних зображень літаків.

**Мета статті.** У статті розробляється метод покращення якості двовимірних радіолокаційних зображень літака Цесна-172 на основі комбінації часово-частотних перетворень Габора та Вігнера-Вілля.

### Метод отримання двовимірних радіозображень з використанням перетворення Вігнера-Вілля

Перетворення Вігнера-Вілля відноситься до квадратичних часово-частотних перетворень та визначається таким виразом [2]:

$$P_V(f, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s\left(\tau + \frac{t}{2}\right) s^*\left(\tau - \frac{t}{2}\right) \exp\{-j2\pi ft\} dt, \quad (1)$$

де  $P_V(f, t)$  – спектральна функція перетворення Вігнера-Вілля сигналу  $s(t)$ .

Суттєвим недоліком усіх квадратичних перетворень є наявність паразитних членів на комбінаційних частотах у спектральній області. Особливістю паразитних членів є те, що вони швидко осцилюють. Існує багато різновидів квадратичного перетворення виду (1), які використовують цей факт для фільтрації та видалення паразитних частот з результуючого часово-частотного перетворення.

У роботі придушення комбінаційних частот здійснюється за допомогою спектрограм Фур'є, які визначаються як квадрат перетворення Габора [2]:

$$P_S f(f, \tau) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \exp\left\{-\frac{(t-\tau)^2}{2\sigma^2}\right\} \exp\{-j2\pi ft\} dt \right|^2, \quad (2)$$

де  $\sigma$  – параметр, що визначає ширину гаусівського вікна зважування.

Результуюче часово-частотне перетворення отримаємо помноживши перетворення Вігнера-Вілля  $P_v(f, \tau)$  та перетворення Габора  $P_g f(f, \tau)$ . Результатом застосування такої комбінації перетворень є вилучення паразитних спектральних компонент з двовимірного зображення. Послідовність двовимірних зображень літака Цесна-172 для 0-вої секунди польоту, які отримані у [5] за допомогою перетворення Габора, приведена на рис. 1.

Отримані зображення дозволяють встановити розміри та орієнтацію літака, однак є достатньо розпливчастими. Дійсно, згідно з рис. 1 контур літака проглядається достатньо добре, а отже його розмір однозначно визначається масштабом радіальної дальності. Враховуючі, що відліки радіальної дальності слідує приблизно через кожні 30 см, радіальна протяжність зображення становить біля 12 м. Можна порівняти ці дані з реальними розмірами літака (довжина біля 8 метрів, ширина біля 10 метрів). Радіозображення дозволяє однозначно віднести літак до класу легкомоторних пропелерних літаків [5]. Однак, радіозображення може не відповідати положенню літака у просторі. Залежно від напрямку обертального руху при маневруванні зображення може стати дзеркальним за поперечною дальністю (по горизонталі).

### Результати використання комбінації перетворень Габора та Вігнера-Вілля

Послідовність двовимірних зображень літака Цесна-172 для 0-вої секунди польоту, які отримані за допомогою комбінації перетворень Габора та Вігнера-Вілля, приведена на рис. 2.

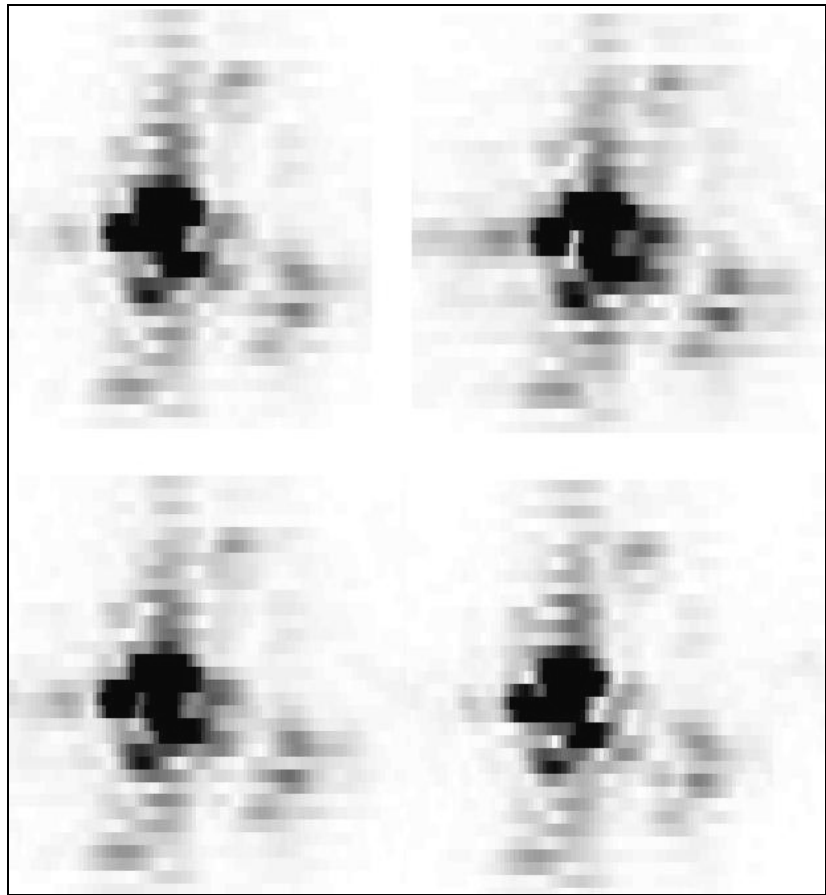


Рис. 1. Послідовність двовимірних радіозображень літака Цесна-172, отримана як результат перетворення Габора

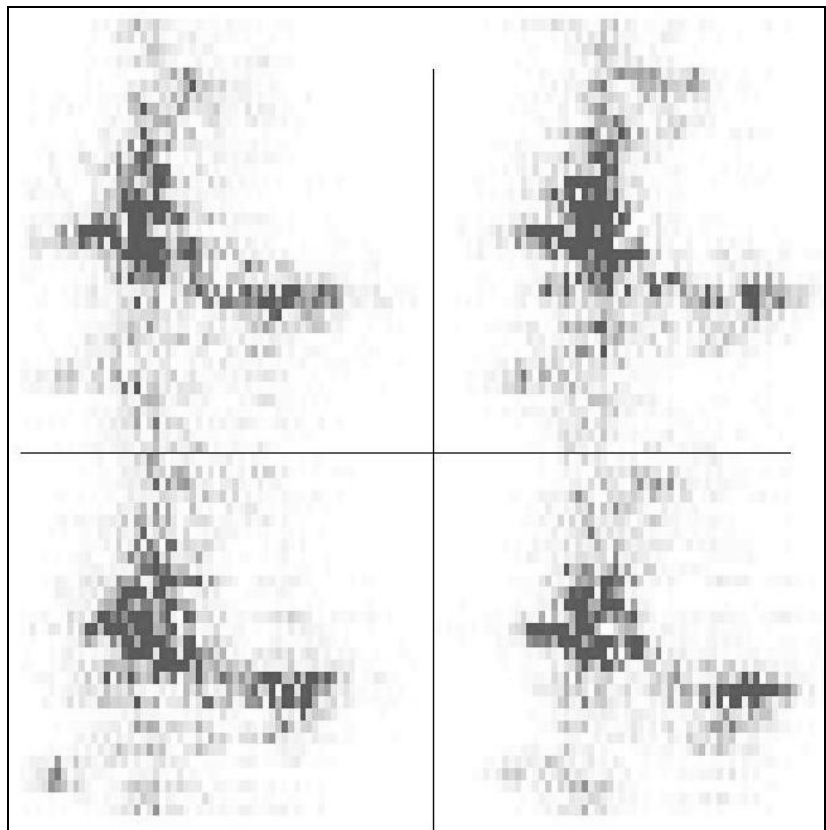


Рис. 2. Послідовність двовимірних радіозображень літака Цесна-172, отримана як результат

За рахунок підвищеної роздільної здатності, притаманній перетворенню Вігнера-Вілля, двовимірне зображення стає більш деталізованим, проте суттєвої якості покращення зображення у цілому не відбувається. Отримані зображення, як і випадку використання перетворень Габора, дозволяють встановити лише розміри та орієнтацію літака. Отже, використання комбінації часово-частотних перетворень не підвищує інформативності отриманих двовимірних зображень

## Висновки

Двовимірні радіолокаційні зображення повітряних об'єктів містять інформацію про просторове розташування їх характерних елементів. Аналіз таких зображень надає можливість надійної класифікації повітряних об'єктів з метою їх селекції. На відміну від зображень у оптичному або інфрачервоному діапазонах радіолокаційні зображення не залежать від погодних умов.

Двовимірні зображення, отримані за допомогою перетворення Габора, дозволяють встановити розміри та орієнтацію літака, однак є достатньо розпливчастими.

Для покращення детальності відтворення двовимірного радіолокаційного зображення пропонується використовувати перетворення Вігнера-Вілля може, яке має підвищену роздільну здатність. Як усі нелінійні часово-частотні перетворення, перетворення Вігнера-Вілля має комбінаційні перешкодові елементи зображення.

Для позбавлення цих комбінаційних перешкодових елементів зображення запропоновано поєднання перетворення Вігнера-Вілля з перетворенням Габора.

За допомогою комбінації перетворень Габора та Вігнера-Вілля отримані двовимірні зображення літака Цесна-172, які мають суттєво краще розділення, проте не призводять до практичного покращення якості (інформативності) зображення.

Отже, для підвищення якості зображень доцільно використовувати сигнали з більшою шириною спектру та підвищувати лінійність приймального тракту, а також забезпечувати ефективне усунення помилки, що обумовлена радіальним зміщенням літака.

## Список літератури

1. Steinberg B.D. *Microwave imaging of aircraft* / B.D. Steinberg // *Proc. of the IEEE*. – 1988. – Vol. 76, No.12. – P. 1578-1592.
2. *Unmanned Systems [Електронний ресурс]*. – Режим доступу до матеріалу сайту: <http://www.es.northropgrumman.com/solutions/apg68/assets/APG68.pdf>.
3. *Computer simulation of aerial target radar scattering, recognition, detection, and tracking* / Ya.D. Shirman, S.A. Gorshkov, S.P. Leshchenko, et al. – Boston-London: Artech House, 2002. – 294 p.
4. Merirl I. Skolnik. *Radar handbook*. McGraw-Hill Companies, 2008.
5. Орленко В.М. Метод отримання двовимірних радіолокаційних зображень літаків на основі часово-частотного перетворення Габора / В.М. Орленко // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2012. – № 2(8). – С. 73-78.

Надійшла до редколегії 1.10.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ ДВУХМЕРНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ САМОЛЕТОВ НА ОСНОВЕ ВРЕМЯ-ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ГАБОРА И ВИГНЕРА-ВИЛЛЯ

И.И. Сачук

*Разработан метод улучшения двумерных изображений на основе время-частотных преобразований Габора и Вигнера-Вилля. Повышенная разрешающая способность преобразования Вигнера-Вилля улучшает детальность восстановления двухмерного радиолокационного изображения, объединение этого преобразования с преобразованием Габора позволяет избавиться от комбинационных мешающих элементов изображения, свойственных нелинейным время-частотным преобразованиям. Приведены результаты анализа улучшения двумерных радиоизображений самолета Цесна-172 с использованием экспериментальных данных.*

**Ключевые слова:** радиолокационное распознавание, радиоизображение, широкополосный радиолокационный сигнал, время-частотный анализ, преобразование Габора, преобразование Вигнера-Вилля

## METHOD FOR IMPROVEMENT OF TWO-DIMENSIONAL RADAR IMAGING OF AIRCRAFT BASED ON GABOR AND WIGNER-VILLE TIME-FREQUENCY TRANSFORM

I.I. Sachuk

*The method for improving two-dimensional radar images based on the Gabor and Wigner-Ville time-frequency transforms has been developed. The increased resolution capability of Wigner-Ville transform improves details of the two-dimensional radar image, its combination with the Gabor transform provides removal of spurious combination elements associated with non-linear nature of the quadratic transform. Examples are given regarding analysis of the two-dimensional radar image improvement level based on experimental radar returns records of Cessna-172 aircraft.*

**Keywords:** radar recognition, radar imaging, wideband radar signal, Gabor time-frequency transform, Wigner-Ville time-frequency transform.