

Розрахунок часу отримання зображення надвисокого розрізнення за допомогою радіолокаційних станцій з синтезованою апертурою

О. О. Слюсарчук

Науково-дослідний інститут Міністерства оборони України
Corresponding author. E-mail: saa2812@ukr.net

Paper received 25.06.18; Accepted for publication 30.06.18.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-171VI19-13>

Анотація. У статті запропонований порядок виконання додаткових алгоритмів для розрахунку часу отримання радіолокаційного зображення надвисокого розрізнення, яке може бути отримано за допомогою радіолокаційних станцій з синтезованою апертурою. Також у статті наведено розрахунки часу отримання радіолокаційного зображення надвисокого розрізнення, яке може бути отримане за допомогою радіолокаційних станцій з синтезованою апертурою для ділянок місцевості 30x30 км, 3x3 км, та 1x1 км з розрізненою здатністю 0,3 м, 0,5 м та 1 м відповідно.

Ключові слова: радіолокація, надвисоке розрізнення, додаткові алгоритми, синтезована апертура.

Задача досягнення розрізняювальної здатності радіолокаційних станцій (РЛС) до рівня достатнього для розпізнавання цілей є актуальною на теперішній час, незважаючи на значні досягнення в цьому питанні.

З точки зору видового огляду розрізнення $0,2 \div 0,3$ метра є достатнім для вирішення практично всіх актуальних задач [1].

Проблема отримання надвисокого розрізнення в смуговій РЛС із синтезуванням апертури (РСА) підвищеної дальності дії в загальному сенсі вимагає подолання обмеження на добуток розрізняювальних координат (сферичності фронту хвилі зонduючого сигналу). Теоретичне вирішення цієї проблеми викладено в [2]. Сутність полягає в штучному створенні плоского фронту хвилі зонduючого сигналу. Для цього відбиті широкопasmові сигнали після стиснення в приймачі піддають дискретизації, вимірюють та запам'ятовують в процесі руху носія РСА на траєкторії синтезування. Тобто в процесі руху фіксуються відбиті сигнали від кільцевого сектору висотою, що дорівнює розрізненню за похилою дальністю $0,5\delta r$ (рис. 1).

Далі сигнали кожного каналу похилої дальності за допомогою цифрових фільтрів розділяють на сигнали від менших по розміру кільцевих підсекторів, запам'ятовують та компонують таким чином, щоб штучно сформувати відбитий сигнал від ділянки поверхні прямокутної форми.

В той же час питання: "Скільки часу буде займати процес додаткової обробки відбитого сигналу в загальному часі необхідному для отримання радіолокаційного зображення?" – не досліджено.

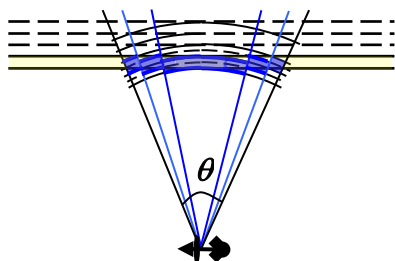


Рис. 1. Пояснення ідеї штучного створення плоского фронту хвилі

Метою даної статті є оцінка часу, який необхідно сучасній ЕОМ для виконання додаткових алгоритмів обробки при синтезуванні апертури, які дозволяють зняти структурне обмеження на дальність дії РСА надвисокого розрізнення.

Для штучного формування плоского фронту хвилі зонduючого сигналу прийняті сигнали, які записані в оперативну пам'ять, піддають фільтрації програмним методом. Число фільтрів N_j в кожному каналі i за похилою дальністю дорівнює [2]:

$$N_j = \frac{R_i \theta_0^2}{4\delta r}, \quad (1)$$

R_i – відстань до каналу похилої дальності;

θ_0 – ширина діаграми спрямованості антени РСА в горизонтальній площині;

δr – розрізняювальна здатність за похилою дальністю.

Вимоги до параметрів фільтрів можна визначити наступним чином.

При обробці траєкторних сигналів в процесі синтезування апертури в смуговій РСА за допомогою узгодженого фільтра здійснюється когерентне підсумування відбитих сигналів від кожного елемента розрізнення на інтервалі синтезування в кожному каналі похилої дальності. Тому коли здійснюють попереднє розділення відбитого сигналу на складові, то фільтри розділення повинні мати строго лінійну фазову характеристику. Тобто в процесі фільтрації фази складових вимірюваного сигналу не повинні змінюватись. Це робить однозначним вибір типу цифрового фільтра, а саме, необхідно використовувати цифровий фільтр з імпульсними характеристиками кінцевої довжини, які дозволять конструювати фільтри з лінійною фазовою характеристикою (постійною груповою затримкою).

З міркувань мінімальних втрат в розрізненні за шляховою дальністю основною вимогою до фільтрів розділення є вимога мінімальної ширини перехідної смуги селективного фільтра.

Аналіз відомих результатів розрахунку цифрових фільтрів [3] дозволяє визначити достатньо високі, але реальні вимоги до ширини перехідної смуги фільтрів

$$\Delta F \leq (0,05 \div 0,15) \Delta f_\phi \quad (2)$$

де Δf_ϕ – ширина смуги пропускання ідеального фільтра, тобто фільтра, у якого частота зрізу F_p дорівнює частоті режекції F_s .

Такий вибір ширини перехідної смуги фільтрів розділення розширює діаграму спрямованості синтезованої апертури на 10÷20%. Більше розширення не доцільне, оскільки є ще низка чинників, що розширюють діаграму спрямованості синтезованої аперту-

ри.

Відомо [3], що з усіх методів розрахунку та побудови цифрових фільтрів з лінійною фазовою характеристикою чебишевські рішення за методом проектування оптимальних фільтрів з мінімаксною помилкою дозволяють отримати ширину перехідної смуги фільтра зазвичай значно меншу, чим для інших оптималь-

$$N_{\Sigma} = \frac{R_o \theta_o^2}{4\delta r} + \frac{(R_o + \delta r) \theta_o^2}{4\delta r} + \frac{(R_o + 2\delta r) \theta_o^2}{4\delta r} + \dots + \frac{(R_o + \Delta R - \delta r) \theta_o^2}{4\delta r} \quad (3)$$

де R_o - дальність до початку смуги огляду.

Співвідношення (3) є арифметичної прогресією, сума якої є

$$N_{\Sigma} = 0,5 \frac{\Delta R}{\delta r} \cdot \frac{\theta_o^2}{4} \left(\frac{2R_o}{\delta r} + \frac{\Delta R}{\delta r} - 1 \right) \quad (4)$$

Визначення часу, який потрібен для обчислення додаткових алгоритмів обробки, а саме цифрового розділення сигналів та їх компонування потребує розрахунку кількості відліків імпульсної характеристики кожного фільтра. Тобто визначення кількості арифметичних машинних операцій та необхідного часу для їх виконання.

Для визначення часу виконання додаткових алгоритмів необхідно наступне:

1. Визначитись із кількістю каналів похилої дальності в смузі огляду

$$N_{\Delta R} = \frac{2\Delta R}{\delta r} \quad (5)$$

2. Визначити середню кількість відліків в першому та останньому каналі похилої дальності $\bar{N}_{R_{min}}$, $\bar{N}_{R_{max}}$ і середню кількість відліків на канал похилої дальності

$$\bar{N}_{R_i} = \frac{\bar{N}_{R_{min}} + \bar{N}_{R_{max}}}{2} \quad (6)$$

3. Визначити загальну кількість фільтрів при смузі огляду ΔR

$$N_{\phi, \Delta R} = \frac{\bar{N}_{j_{min}} + \bar{N}_{j_{max}}}{2} N_{\Delta R} \quad (7)$$

4. Спираючись на структуру селективного КІХ-фільтру (рис.2) визначається кількість операцій множення, додавання, пересилки даних та підраховується час їх виконання за допомогою сучасної обчислювальної техніки, яка доступна для використання.

КІХ-фільтри будуються за прямою канонічною

$$\bar{N}_{Так. \phi. Cm.} = N_{\Delta R} \bar{N}_j (5\bar{N}_{від. ixф} + 2) + N_{\Delta R} \bar{N}_j = N_{\Delta R} \bar{N}_j (5\bar{N}_{від. ixф} + 3) \quad (10)$$

тактів для штучного формування плоского фронту хвилі одного зондувального імпульсу.

Графіки необхідного часу на виконання додаткових алгоритмів обробки в залежності від величини розрізнення, площі ділянки огляду та дальності для смуги огляду наведені на рис. 3.

Аналіз наведених залежностей дозволяє зробити наступні висновки:

1. Більш-менш прийнятним часом на виконання додаткової обробки в РСА надвисокого розрізнення підвищеної дальності дії можна вважати час на обробку кадрів 3x3 км при розрізненні $\delta(r) = \delta(x) = 0,5$ м та кадрів 1x1 км при розрізненні $\delta(r) = \delta(x) = 0,3$ м. Цей час складає декілька хвилин.

них фільтрів з тими ж значеннями кількості відліків імпульсної характеристики N , амплітудними пульсаціями в смугах пропускання δ_1 і не пропускання δ_2 .

Загальна кількість фільтрів для огляду смуги похилої дальності ΔR

схемою, тобто

$$y(n) = h_0 x(n) + h_1 x(n-1) + \dots + h_{N_{ik}} x(n - N_{ik} + 1) \quad (8)$$

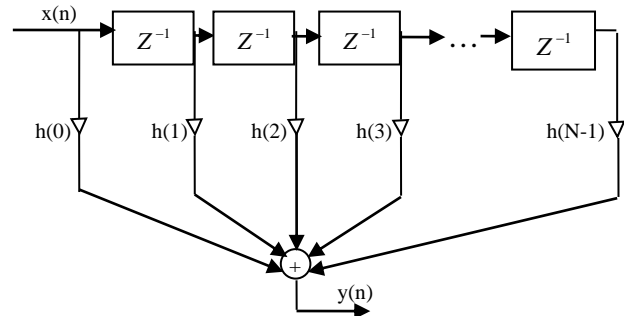


Рис. 2. Прямая форма фільтра з кінцевою імпульсною

При оцінці часу будемо рахувати, що операції складання та пересилки даних із оперативних пристроїв пам'яті складають 1 такт, а операція множення займає 3-4 такти у випадку множення чисел з фіксованою комою. Тобто для отримання одного відліку в окремому фільтрі потрібно виконати N операцій множення, N операцій складання, одну операцію віднімання та дві операції пересилки.

Таким чином для отримання одного відліку КІХ-фільтру необхідно $4\bar{N}_{від. ixф} + \bar{N}_{від. ixф} + 2$ такта. Кількість тактів ЕОМ необхідних для отримання 1-го відліку в усіх каналах за похилою дальністю в смузі огляду

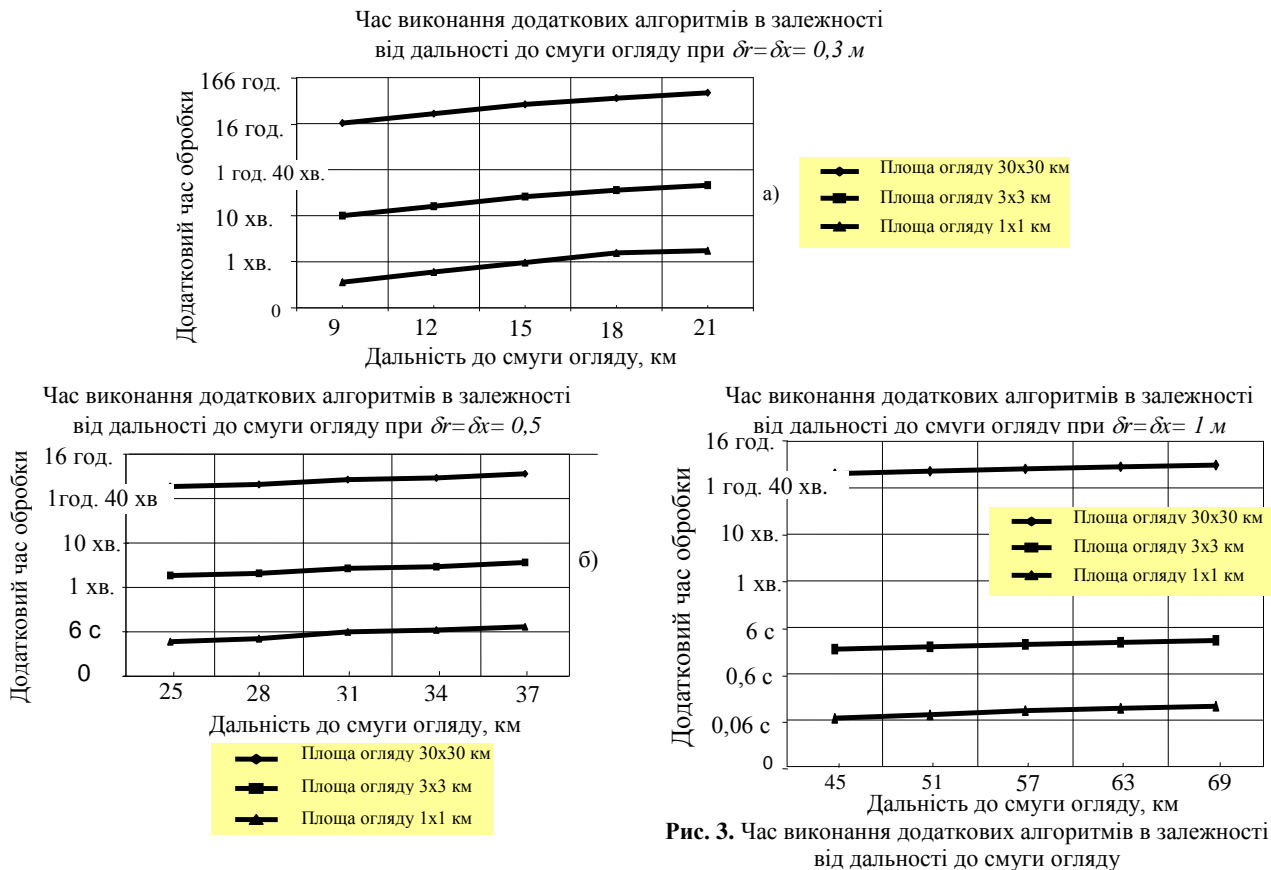
$$\bar{N}_{Так. \phi. Cm.} = N_{\Delta R} \bar{N}_j (5\bar{N}_{від. ixф} + 2) \quad (9)$$

Це без врахування алгоритму компоновки.

Алгоритм компоновки включає в себе вибірку та сумування \bar{N}_j комплексних чисел та пересилку результатів компоновки. Тобто додаткові алгоритми потребують як мінімум

2. Технологія ведення огляду об'єктів повинна передбачити отримання оперативного аналізу радіолокаційного зображення смуги огляду з розрізнувальною здатністю 1-2 м в реальному масштабі часу. При такому розрізненні не потрібні додаткові алгоритми обробки. Подальший вибір відносно невеликих ділянок місцевості для отримання більш якісного зображення об'єктів, які на них розташовані, їх розпізнавання та визначення стану.

В подальших дослідженнях доцільно уточнити діапазони дальності дії РСА на яких не потрібні додаткові алгоритми залежності в залежності від довжини хвилі зондувального сигналу та розрізнувальної здатності.



ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов Б.М. Сучасний стан авіаційних радіолокаційних станцій з синтезованою апертурою та напрямки їх удосконалення/Б. Федотов, С. Станкевич//Труди університету.-2009.- №2 (92)- С. 128-140.
2. Патент №92116. Україна. МПК G01S 13/90. Спосіб синтезування апертури РЛС бокового огляду і пристрій для його здійснення / Федотов Б. М., Станкевич С. А., Пономаренко С. О. Власник патенту Державний науководослідний інститут авіації; – № а 2009 07223; заявл. 10.07.09; опубл. 27.09.10, Бюл. №18.
3. Л. Рабинер, Б. Гоулд. Теория и применение цифровой обработки сигналов / перевод с англ. /под ред. Ю. Н. Александрова. М.: «Мир», 1978.
4. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны/[Антипов В. Н., Горяинов В. Т., Кулин А. Н. и др.]; под ред. В. Т. Горяинова. – [производственное издание].-М.: Радио и связь, 1988 – 304 с.

REFERENCES

1. Fedotov B.M/ Current state of aviation radar stations with synthesized aperture and directions for their improvement / B. Fedotov, S. Stankevich // Proceedings of the University.- 2009.- №2 (92) - P. 128-140.
2. Patent No. 92116. Ukraine. IPC G01S 13/90. The method of aperture radar side-view and the device for its realization / Fedotov B. M., Stankevich S. A., Ponomarenko S. O. The owner of the patent State Aviation Research Institute; - No. 2009 07223; stated. 10.07.09; has published September 27, 10, Bull. No. 18
3. L. Rabiner, B. Gould. Theory and application of digital signal processing / translation from English. / Ed. YN Alexandrova. M.: "The World", 1978.
4. Radar stations with digital synthesis of antenna aperture / [Antipov VN, Goryainov VT, Kulin AN, etc.]; Ed. VT Goryainova. - [Production Edition] .- M.: Radio and Communication, 1988 - 304 p.

The calculation time for obtaining the image of ultrahigh distinction with the help of radar stations with synthesized aperture
O. O. Sliusarchuk

Abstract. The article proposes the order of the implementation of additional algorithms for calculating the time of obtaining a radar image of ultrahigh distinction, which can be obtained using radar stations with a synthesized aperture. Also in the article calculations of the time of obtaining a radar image of ultrahigh distinction, which can be obtained using radar stations with synthesized aperture for areas of 30x30 km, 3x3 km, and 1x1 km with a resolution of 0.3 m, 0.5 m and 1 m in accordance.

Keywords: radar, ultrahigh distinction, additional algorithms, synthesized aperture.

Расчет времени получения изображения сверхвысокого разрешения с помощью радиолокационных станций с синтезированной апертурой
А. А. Слюсарчук

Аннотация. В статье предложен порядок выполнения дополнительных алгоритмов для расчета времени получения радиолокационного изображения сверхвысокого разрешения, которое может быть получено с помощью радиолокационных станций с синтезированной апертурой. Также в статье приведены расчеты времени получения радиолокационного изображения сверхвысокого разрешения, которое может быть получено с помощью радиолокационных станций с синтезированной апертурой для участков местности 30x30 км, 3x3 км, и 1x1 км с разрешающей способностью 0,3 м, 0,5 м и 1 м в соответствии.

Ключевые слова: радиолокация, сверхвысокого разрешения, дополнительные алгоритмы, синтезированная апертура.