

УДК 530.1.537.86+621.396.96

Р.Е. Пащенко, М.М. Петрушенко, О.І. Вовк

## ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ РЛС З ВИКОРИСТАННЯМ ФРАКТАЛЬНОСТІ ЛУНА-СИГНАЛІВ

*Розглядається можливість підвищення інформаційних можливостей радіолокаційних станцій з використанням фрактальності луна-сигналів. Розроблені пропозиції з експериментального дослідження фрактальних луна-сигналів, а також розміщення пристроїв обробки цих сигналів у складі РЛС.*

### Постановка проблеми та аналіз літератури

На роботу багатьох радіолокаційних пристроїв великий суттєво впливають відображення від поверхнево-розподілених (від земної і морської поверхні) та об'ємно-розподілених (грозових хмар, дощу, граду, снігу) об'єктів. Вони здійснюють маскуючу дію при виявленні і супроводі локаційними засобами низьколетючих, наземних або надводних об'єктів, що рухаються. При дослідженні такого впливу, залежно від співвідношення довжини хвилі випромінювання і розміру нерівності природного утворення, вводяться різні математичні моделі поверхонь, які замінюють реальні об'єкти природи.

Останнім часом для опису нерівних структур використовують фрактали. Як свідчать дослідження [1, 2], реальні природні утворення мають фрактальну структуру. При цьому відбитий радіолокаційний сигнал має фрактальні властивості. У [3] хвиля, яка взаємодіє з фрактальною поверхнею, одержала назву дифрактала.

Методи фрактального аналізу знаходять усе більше застосування в різних радіотехнічних системах: радіолокації, радіонавігації, системах зв'язку [4, 5]. Ці методи ґрунтуються на теорії фракталів, яка замість цілочислових (евклідових) мір розглядає дробові і базується на нових кількісних показниках у вигляді дробової розмірності  $D$ , невластивої для класичних радіотехнічних систем. Фрактальна (дробова) розмірність  $D$  не тільки характеризує топологію виявлюваних і розпізнаваних об'єктів, але й відбиває процеси еволюції динамічних систем і пов'язані з ними властивості [6].

Якщо класичні методи використовують для виявлення цілей умову перевищення узагальненим функціоналом деякого заданого порога (у тому числі адаптивного) [7], то розглянуті фрактальні методи ґрунтуються на іншому підході, а саме на вимірюванні та оцінюванні дробової фрактальної розмірності виявлюваних і розпізнаваних об'єктів.

**Мета статті** – розглянути можливість використання теорії фракталів для підвищення інформаційних можливостей радіолокаційних станцій, а також пропозиції з експериментального дослідження фрактальних луна-сигналів і розміщення пристроїв обробки цих сигналів у складі РЛС.

### Основний матеріал

**Фрактальність радіолокаційних об'єктів спостереження.** Отриману в результаті роботи РЛС інформацію умовно розділяють на траєкторну і сигнальну. Перша дозволяє визначити параметри руху об'єкта, побудувати траєкторію польоту, друга являє собою сукупність даних про фізичні (розмір, форма і т.д.) та електродинамічні (відбиваючі) властивості об'єкта, його орієнтацію в просторі, а також фізичні явища, які супроводжують його рух. Таким чином, при розгляданні природи об'єктів, що розсіюють випромінювання РЛС, необхідно правильно описувати їх фізичні й електродинамічні властивості.

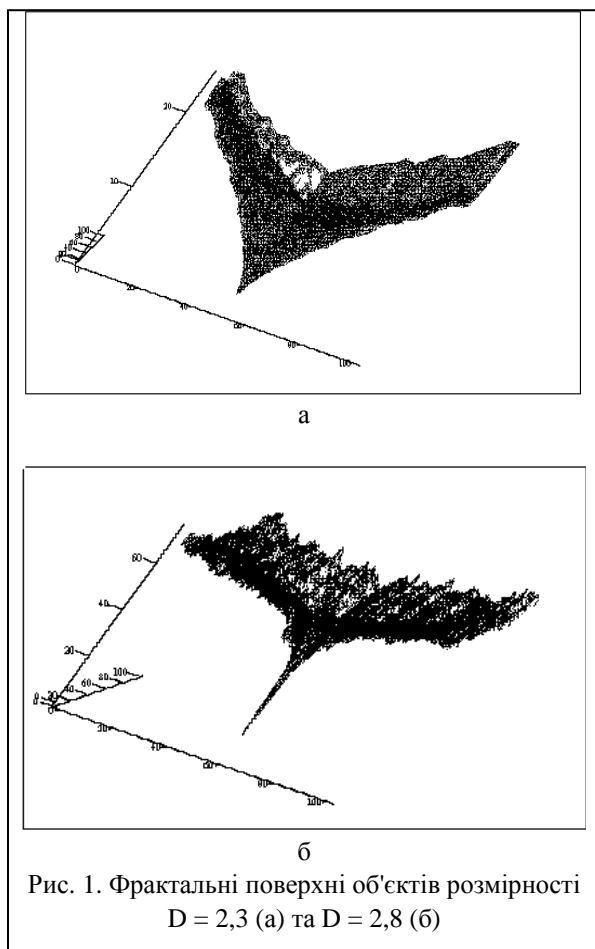
Останнім часом при такому описанні використовують фрактальний підхід. Особливістю даного підходу є урахування фізичного розходження реальних об'єктів шляхом уведення визначеного показника, що описує їх складність – фрактальної розмірності (ФР). Фрактальну розмірність різних об'єктів природного і штучного походження зручно вимірювати за зміною деякого параметра при різних масштабах. На практиці величину  $D$  вимірюють за нахилом логарифмічної залежності  $S = S(\delta)$ , де  $S$  – вимірюване значення (довжина лінії, периметр або площа об'єкта);  $\delta$  – крок вимірювання або розмір скануючого вікна [4].

Для фрактального об'єкта величина  $D$  визначається з виразу

$$S(\delta) = k\delta^{-D}, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності (масштабування).

На рис. 1,а,б наведені результати моделювання



поверхні об'єктів при різних значеннях ФР. Розрахунки проводилися при використанні випадково орієнтованих поверхонь за допомогою функції Вейерштрасса-Мандельброта [1].

При значеннях ФР поверхні, близьких до  $D = 2,0$  (рис. 1, а), об'єкт характеризується незначною кількістю нерівностей і його форма наближається до форми простих геометричних фігур. При великих значеннях ФР збільшується кількість нерівностей, форма об'єкта стає більш складною (рис. 1, б).

Реальний простір, у якому відбувається пошук об'єктів РЛС, можна розглядати як сукупність об'єктів різної ФР, розпізнавання яких, тобто віднесення до одного з класів або типів, можна проводити за величиною ФР. При цьому необхідно мати на увазі, що фрактальні характеристики не містять інформацію про конкретний вигляд об'єкта, а є показником його складності, тому найбільшу ефективність такий алгоритм може дати при вирішенні завдань, пов'язаних з виявленням підозрілих областей при радіолокаційному зондуванні [4].

**Фрактальність луна-сигналів.** Як відомо, вторинне випромінювання радіохвиль, використовуване активною радіолокацією з пасивною відповіддю,

несе в собі сукупну інформацію, що міститься в параметрах прийнятого сигналу, який називається відбитим (розсіяним) або луна-сигналом. Такими параметрами є амплітуда, частота, фаза, час запізнювання, поляризація. Значення цих параметрів визначаються геометричними характеристиками об'єктів спостереження, матеріалами з яких вони виготовлені, законом руху, параметрами приймально-передавальної апаратури й умовами поширення радіохвиль [8].

Реальний луна-сигнал внаслідок великої кількості випадкових факторів має флуктуації в часі. При класичному підході ці флуктуації описують шляхом розгляду луна-сигналів як суми великої кількості сигналів, що відбиваються незалежними елементарними центрами розсіювання, які випадково розподілені на поверхні або в просторі. Положення таких центрів випадкове, тому результуючий луна-сигнал має флуктуації, які можна пояснити зміною амплітуди, фази, частоти елементарних сигналів. Амплітуда і фаза кожного елементарного сигналу будуть змінюватися, наприклад, якщо РЛС рухається рівномірно щодо відбиваючої поверхні або елементарні центри розсіювання переміщуються й обертаються під дією вітру. Це відбувається внаслідок модуляції випромінюваних коливань, зміни відстані до відбивача, зміни коефіцієнта підсилення антени в напрямку на даний центр розсіювання, величини ефективного площі відбивача при зміні напрямку випромінювання і прийому. Отже, для правильного функціонального представлення луна-сигналів необхідно враховувати велику кількість факторів, їх випадковий характер. При цьому результуючий луна-сигнал не є монохроматичним, його спектр частот відповідає спектрові радіальних складових швидкостей елементарних відбивачів, биття між складовими якого виявляється у вигляді флуктуацій результуючого луна-сигналу.

Якщо використовувати фрактальну модель представлення об'єктів, то необхідно і процес розсіювання випромінювання РЛС розглядати як взаємодію хвиль із фрактальною поверхнею. При цьому флуктуації луна-сигналів пропонується функціонально описувати за допомогою відомих фрактальних періодичних функцій.

Розглянемо використання для моделювання флуктуацій луна-сигналів модифікованої функції Вейерштрасса [1]

$$u(t) = C \sum_{n=0}^{N-1} a^n \sin(Kb^n t + \varphi_n), \quad (2)$$

де  $C = \sqrt{2(1-a^2)/(1-a^{2N})}$  – коефіцієнт контролю амплітуди;

$N$  – кількість гармонік;

$a$  – коефіцієнт масштабу нерівностей ( $0 \leq a < 1$ );

$K$  – основне просторове хвильове число;

$b > 1$  – параметр просторово-частотного масштабування;

$\varphi_n$  – довільна початкова фаза.

Для точного опису форми флуктуації використовується ФР у вигляді  $D = 1 + a$ .

На рис. 2 представлені результати моделювання з використанням виразу (2) при таких початкових умовах:  $a = 0$ ,  $b = 3$ ,  $K = 2$ ,  $\varphi_n = 0$ ,  $N = 3$ , тобто ФР дорівнює  $D = 1,0$

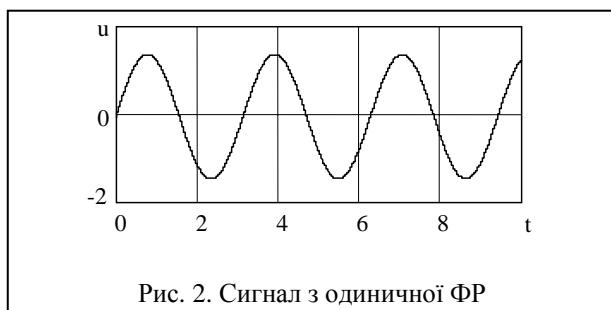


Рис. 2. Сигнал з одиничної ФР

Як видно з рисунка, якщо фрактальна розмірність дорівнює одиниці, то функція є гладкою і простим гармонічним сигналом.

Збільшуючи величину ФР в інтервалі від 1 до 2 при тих же початкових умовах (рис. 3, а відповідає  $D = 1,3$ , а рис. 3, б –  $D = 1,9$ ), можна одержати різні фрактальні функції, що описують міру флуктуації луна-сигналу.

Таким чином, якщо розглядати луна-сигнал як фрактальну функцію, то для його оцінювання крім спектрально-кореляційної теорії можна використовувати теорію фракталів для аналізу фрактальної розмірності луна-сигналів. Оцінювання фрактальної розмірності луна-сигналу може бути використане як додаткова ознака при визначенні типу поверхні (об'єкта).

Для оцінювання фрактальності сигналів, що приймаються РЛС, необхідно мати прилади для їх відповідної обробки. Як прилад для автоматичного визначення фрактальної розмірності невідомого сигналу може бути використаний багатоканальний вимірник ФР, розглянутий у [9].

**Пропозиції з експериментального дослідження фрактальних луна-сигналів.** Проведення експериментальних досліджень фрактальних луна-сигналів можна виконати на базі існуючих РЛС. При цьому доцільно досліджувати роботу станцій при

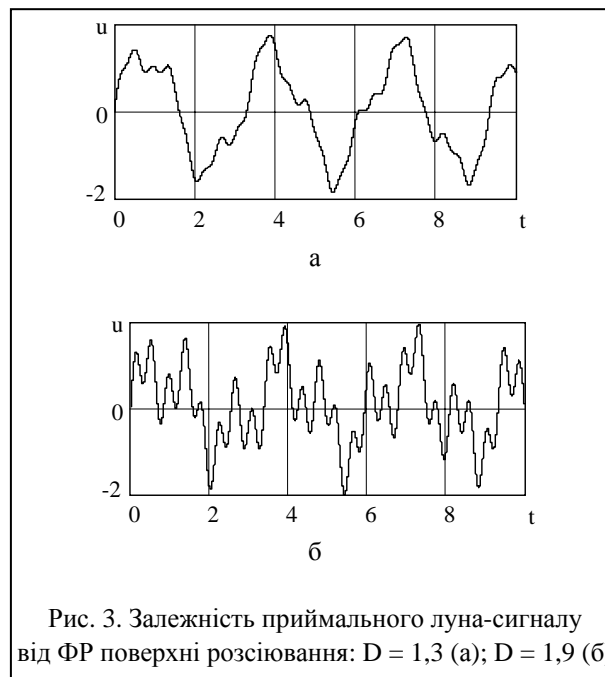


Рис. 3. Залежність приймального луна-сигналу від ФР поверхні розсіювання:  $D = 1,3$  (а);  $D = 1,9$  (б)

наявності відбиттів від природних об'єктів, що впливають на інформаційні можливості радіолокаторів і мають фрактальні характеристики.

Сьогодні могутнім вимірювальним засобом може стати звичайна ПЕОМ, узгодження з якою джерел луна-сигналів проводиться з використанням спеціально розроблених плат введення-виведення. Такі плати (пристрої) забезпечують аналогово-цифрове перетворення сигналів з необхідною частотою дискретизації, роздільною здатністю, чутливістю, похибкою і з необхідним часом перетворення. При цьому можливе забезпечення одночасної роботи декількох незалежних каналів перетворення із зовнішньою (за сигналами керування РЛС) синхронізацією збору даних. Для таких пристроїв розроблене потужне програмне забезпечення, яке дозволяє працювати в режимах запам'ятовуючого осцилографа, цифрового вольтметра, аналізатора спектра, реєстратора перехідних процесів, функціонального генератора.

Для забезпечення алгоритмів збору даних можливе власне програмування засобами мов різного рівня, а також при необхідності використання таких пакетів, як MathCAD або MatLAB.

Для підключення ПЕОМ до відповідних каналів станції можна використовувати, наприклад, аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) фірми Advantech для шини PCI або високопродуктивні вимірювальні пристрої фірми TiePie engineering. На рис. 4 наведена структурна схема збору локаційної інформації за допомогою ПЕОМ.

При експериментальному дослідженні луна-

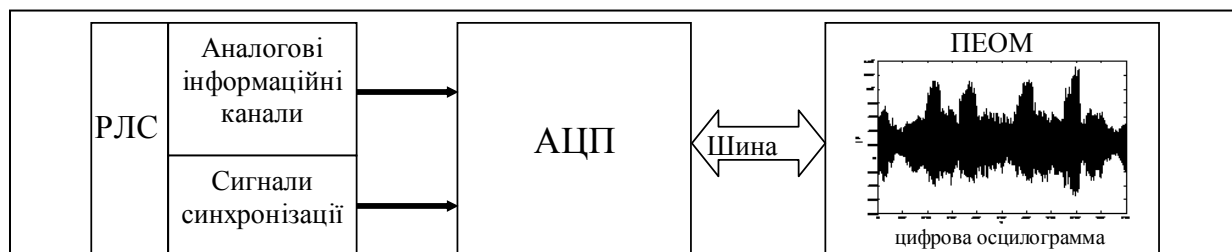


Рис. 4. Структурна схема збору локаційної інформації через шину PCI за допомогою ПЕОМ

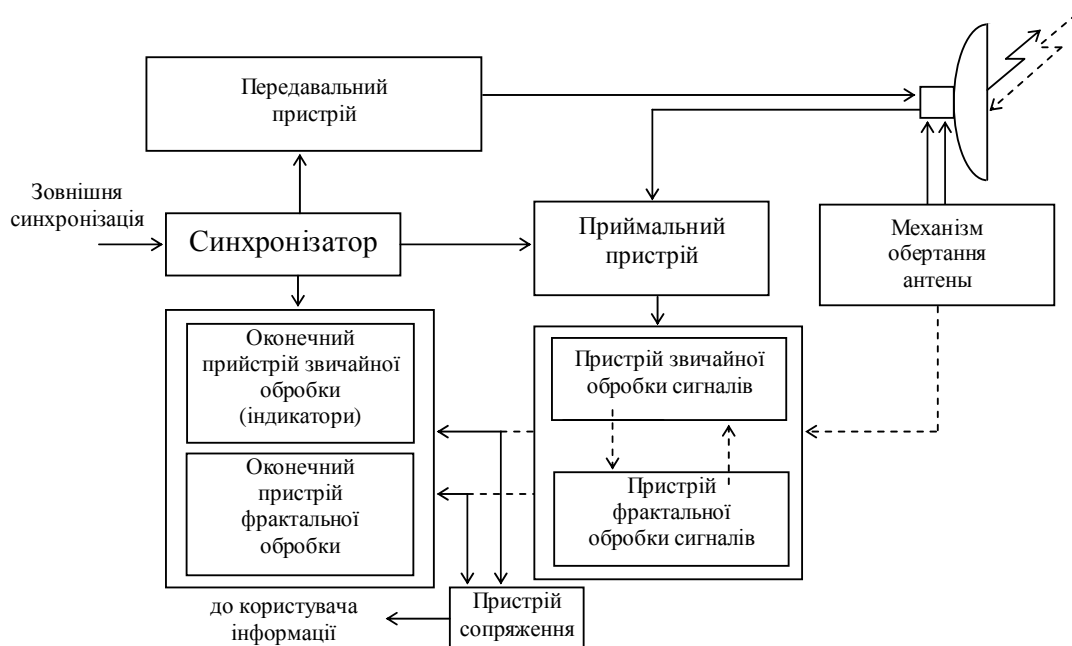


Рис. 5. Структурна схема РЛС із фрактальною обробкою сигналів

сигналів необхідно насамперед забезпечити підключення вимірювальних засобів до тих каналів станції, у яких втрата інформації через обробку прийнятого випромінювання незначна, інакше необхідні для аналізу флуктуації прийнятих сигналів не будуть зафіксовані, що приведе до похибок у наступних розрахунках і аналізі. Неправильний вибір частоти дискретизації і роздільної здатності узгоджувачів приведе до аналогічної ситуації.

У результаті проведення експериментальних досліджень необхідно:

одержати фрактальні характеристики різноманітних поверхнево- й об'ємно-розподілених об'єктів;

одержати фрактальні характеристики штучних об'єктів при наявності і відсутності поверхнево- й об'ємно-розподілених утворень;

оцінити вплив різноманітних умов (задані технічні характеристики РЛС, точність знімання інформації і т.д.) на фрактальні характеристики об'єктів дослідження;

за допомогою поля фрактальних розмірностей (ПФР) зовнішнього середовища (розрахунок розмірностей за кутовими координатами) перевірити можливість виявлення нових об'єктів на фоні різних підстилаючих поверхонь;

одержати ПФР сукупності просторово- й об'ємно-розподілених об'єктів, досліджувати залежність сумарного ПФР від ступеня перекриття об'єктів.

Таким чином, проведення експериментальних досліджень (набір статистичних даних) дозволить створити базу даних, яка містить інформацію про фрактальні властивості різноманітних класів об'єктів, та використовувати її при фрактальному виявленні і розпізнаванні.

**Пропозиції щодо розміщення пристроїв обробки фрактальних луна-сигналів у складі РЛС.** Пристрої обробки фрактальних луна-сигналів повинні являти собою функціонально завершені елементи в трактах обробки прийнятих сигналів РЛС, що дозволять здійснювати фрактальний аналіз сиг-

налів зі швидкістю, яка забезпечує ефективне використання отриманої з їх допомогою інформації для виявлення цілей і визначення їх координат.

Як відомо, відбиті сигнали, прийняті антеною РЛС, подаються на вхід приймача, який здійснює їх частотну селекцію і посилення. Наступний етап обробки цих сигналів (подавлення завад, стиск імпульсів і т.д.) відбувається в спеціальних пристроях обробки, з яких вони потім надходять на індикаторні або інші вихідні пристрої та пристрої сполучення. Місце пристроїв обробки фрактальних луна-сигналів при такій побудові РЛС наведено на рис. 5.

На вхід пристроїв фрактальної обробки сигналів необхідно подавати аналогові сигнали, що не пройшли фільтрацію в трактах подавлення завад, для одержання достовірних даних про флуктуації прийнятого сигналу. Синхронізація пристроїв фрактальної обробки проводиться від синхронізуючих джерел звичайного приймача сигналів. Індикація в каналах фрактальної обробки, як і сама обробка, здійснюється паралельно існуючому каналу, зв'язок між каналами реалізується в пристроях обробки.

Необхідно відзначити, що розміщення фрактального каналу обробки в існуючих РЛС не пов'язане з кардинальною зміною схем їх побудови, а спрямовано лише на використання інформаційних каналів станцій для одержання додаткової інформації про об'єкти спостереження. Конструктивно фрактальний канал складається з трьох вузлів (блоків), перший з яких аналізує прийняті флуктуації луна-сигналів (вимірює фрактальну розмірність); другий – відображає результат аналізу; третій – кодує отриману за допомогою фрактального каналу інформацію і передає її користувачам.

Таким чином, застосування фрактальної обробки сигналів дозволяє створити додатковий інформаційний канал в існуючих РЛС і підвищити ефективність їх функціонування.

### Висновки

1. Ступінь флуктуацій луна-сигналу може бути описана за допомогою фрактальних функцій, що дозволяє використовувати фрактальну розмірність при аналізі відбитого сигналу.

2. Оцінка фрактальної розмірності луна-сигналу може бути використана як додаткова ознака при визначенні типу поверхні (об'єкта).

3. Застосування фрактальної обробки сигналів дозволяє створити додатковий інформаційний канал в існуючих РЛС і підвищити ефективність їх функціонування.

4. Доцільно провести серію експериментальних досліджень з оцінювання фрактальних характеристик різноманітних поверхнево- й об'ємно-розподілених природних і штучних об'єктів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Федер Е. Фракталы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
3. Berry M.V. Diffractals // J. Phys. A. – 1979. – V. 12, № 6. – P. 781 – 797.
4. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. – М.: Логос, 2002. – 664 с.
5. Пашенко Р.Э. Основы теории формирования фрактальных сигналов. – Х.: ХООО НЭО "Экоперспектива", 2005. – 296 с.
6. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 360 с.
7. Теория обнаружения сигналов / П.С. Акимов, П.А. Бакут, В.А. Богданович и др.: Под ред. П.А. Бакута. – М.: Радио и связь, 1984. – 440 с.
8. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торочин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник та ін. – К.: МО України. – Х.: ХВУ, 2003. – 368 с.
9. Пашенко Р.Э. Применение опорных фрактальных сигналов для определения фрактальной размерности отраженного сигнала // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. – № 2(8). – С. 30 – 32.

Надійшла 02.12.2005

Рецензент: д-р техн. наук професор В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил.