

## ВИДІЛЕННЯ ФРАКТАЛЬНОГО СПЕКТРА КІРЛІАН-ЗОБРАЖЕНЬ

(Представлено д.т.н., проф. Манойловим В.П.)

*У статті представлений алгоритм побудови фрактального спектра зображень, отриманих за допомогою ефекту Кірліан. Показано, що кірліан-зображення, отримані різними способами, відрізняються, але в межах одного способу можливо виділити загальні ознаки. Відповідно до способів отримання вводиться нова класифікація кірліан-зображень, і для кожного виду вводиться поняття фрактального спектра і наводяться алгоритми його обчислення.*

**Постановка проблеми.** Ефектом Кірліан називається вимушене світіння газового проміжку навколо деякого об'єкта, внесеного у високочастотне електричне поле з напруженістю близько 15...35 кВ/см. Метод діагностики стану піддослідного об'єкта, заснований на реєстрації та аналізі форми світіння, має назву метод газорозрядної візуалізації (ГРВ) [1]. У загальному випадку зображення газового розряду (або кірліан-зображення) являє собою складну геометричну фігуру, яку неможливо описати в термінах евклідової геометрії. Описують його в термінах фрактальної геометрії, для аналізу його форми використовуються алгоритми обробки фрактальних зображень. Розрізняють статичні та динамічні кірліан-зображення. Статичні являють собою фотознімки газового розряду, динамічні – відеозапис процесу розряду [2].

На формі кірліан-зображення неявно відбиваються процеси, що відбуваються в приповерхневому шарі піддослідних об'єктів. Для діагностики стану об'єкта існує доволі багато параметрів, які кількісно відображають характеристики кірліан-зображення (фрактальна розмірність, коефіцієнт неоднорідності та інші [1]–[4]), але всі вони характеризують фрактальність одним числом, яке може змінюватися в межах  $\pm 10...12\%$  навіть для одного й того самого об'єкта в окремих дослідах. Для різних об'єктів однієї природи і в однаковому стані розкид параметрів може досягати  $\pm 15\%$ . Це пов'язано з тим, що процес розвитку газового розряду носить імовірнісний характер і саме зображення є випадковою фігурою. З метою зменшення похибки кількісного опису кірліан-зображення було поставлене завдання знайти такий параметр, що характеризує саме фрактальність зображення, який допускав би значно менший розкид значень.

Форма кірліан-зображень у першому наближенні повторює форму піддослідного об'єкта. Найчастіше об'єктами традиційних досліджень стають пальці рук людини. Таке зображення являє собою темне коло (відбиток пальця) з короною газового розряду навколо нього. Такі ж закономірності проявляються на кірліан-зображеннях крапель рідин, на прикладі зображень яких вводиться поняття фрактального спектра і будується алгоритм його обчислення.

**Загальні передумови для введення поняття фрактального спектра.** На даний час існує два підходи до реєстрації кірліан-зображень. Один з них розвивається ще з 60-х років ХХ століття [5] – він ґрунтується на використанні фото- або рентгенівської плівки. Плівка кладеться на діелектричний електрод, на якому формується зображення, а від піддослідного об'єкта може відокремлюватися тонким склом. Для візуалізації цей випадок дозволяє використання одиничного імпульсу напруги і повністю позбавлений похибок фокусування. Проте для безпосереднього кількісного аналізу отриманого кірліан-зображення даний спосіб непридатний. Перед обробкою плівка сканується і переводиться в цифрове зображення.

Другий спосіб реєстрації ґрунтується на використанні сучасної цифрової фото- та відеотехніки. Проте її використання не дозволяє проводити візуалізацію на одиничному імпульсі, оскільки синхронізація фототехніки з ним – доволі важка технічна задача. Виходом є застосування пачок імпульсів, що істотно збільшує час впливу на піддослідний об'єкт і в деяких випадках може викликати необоротні деструктивні зміни в ньому. Крім того, результат (або якість зображення) у даному випадку може суттєво погіршитись унаслідок похибки фокусування [6].

Якщо порівняти типові приклади кірліан-зображень, зареєстровані цими способами (рис. 1), неможливо не помітити суттєві відмінності. Так, на рис. 1, а (кірліан-зображення, зареєстроване на фотоплівці, негатив) видно, що воно складається з окремих стримерів розряду, причому стримери починаються з деяким інтервалом (хоча внутрішнє кільце може бути й замкненим, але таке явище характерне для об'єктів з великою провідністю). На рис. 1, б (кірліан-зображення, зафіксоване за допомогою цифрового фотоапарата) чітко видно розрізану фрактальну границю зображення, але воно має істотно більшу площу внаслідок накладання великої кількості розрядних стримерів.

У першому випадку області розряду є окремими ділянками зображення, в другому область розряду – суцільне широке кільце. Очевидно, що в першому випадку має сенс аналізувати зображення фрагментами, а в другому – за характером зовнішньої границі.



Рис. 1. Приклад кірліан-зображення розчину  $\text{NaCl}$  з масовою концентрацією 2,5 %: а – зафіксоване на фотоплівці, б – зняте цифровим фотоапаратом

Відповідно до особливостей зображень, отриманих різними способами, можливо умовно поділити кірліан-зображення на зображення першого та другого роду. Кірліан-зображеннями першого роду (в подальшому КЗ-1) будемо називати кірліан-зображення, що були зареєстровані на фотоплівці з використанням одиничного імпульсу і складаються з окремих фрагментів. Кірліан-зображеннями другого роду (КЗ-2) будемо називати такі зображення, що мають широке розрядне кільце і не утворюють набору фрагментів.

У КЗ-1 розрядні стримери мають подібну форму, і тому фрактальна розмірність [3], [7] їх буде практично однаковою внаслідок ідентичності перебігу процесу [8], що підтверджується автором експериментально з похибкою не більше 2 %. Тому основним носієм інформації для КЗ-1 є характер і щільність стримерів.

Для КЗ-2 такого не спостерігається. Навіть у випадку окремих проб однієї й тієї самої рідини розкид значень фрактальної розмірності та коефіцієнта неоднорідності може досягати 10...12 %.

КЗ-1 та КЗ-2 можна розглядати як дискретний та неперервний сигнали. Відомо, що будь-які сигнали можна аналізувати за їх спектрами, тобто сукупністю всіх значень. Наприклад, широко застосовуються частотні та амплітудні спектри радіосигналів [9], кольорові спектри зображень та спектри зв'язності їх фрагментів [10].

Для КЗ-1 назвемо фрактальним спектром розподіл площ окремих фрагментів, для КЗ-2 – розподіл радіусів.

**Предобробка кірліан-зображень.** В обох згаданих вище випадках кірліан-зображення є кольоровими. Спробуємо дати відповідь на питання: чи несе колір важливу діагностичну інформацію? Розглянувши фізику процесу, можна дійти висновку, що колір характеризує щільність розрядного струму, яка зменшується в міру віддалення від об'єкта. Чим більша щільність розрядного струму (а відповідно, вищий ступінь іонізації газу), тим більш світлим, близьким до білого є колір відповідної ділянки. Інформація закладена у формі, тому кольором можна знехтувати. Крім того, сучасні засоби відображення та обробки повнокольорових (тобто таких, кольоровий спектр яких близький до того, що людина бачить оком) зображень використовують переважно зображення, представлені у вигляді трьох "каналів" – найчастіше вони кодують насиченості червоної, зеленої та синьої складових (модель RGB). Цифрова обробка поданих таким чином зображень потребує обчислень по всіх трьох каналах. Більш ефективним у даному випадку вбачається використання представлення зображення у вигляді 256-ти відтінків сірого. Тоді будь-яке кірліан-зображення можна представити як прямокутну матрицю, кожен елемент якої (піксел) – це ціле число від 0 (абсолютно чорний колір) до 255 (абсолютно білий колір).

Переведення кольорового зображення до такого виду ґрунтується на яскравості, яка вводиться як середньозважена сума:

$$J = \alpha R + \beta G + \gamma B, \quad (1)$$

де  $\alpha, \beta, \gamma$  – вагові коефіцієнти, а  $R, G, B$  – відповідно насиченості червоної, зеленої та синьої складових піксела. В загальному випадку вагові коефіцієнти визначаються залежно від того, що потрібно вважати "білим", таким чином, щоб для нього  $J$  дорівнювало 255. Якщо вважати білим колір {255; 255; 255}, то очевидно, що  $\alpha = \beta = \gamma = \frac{1}{3}$ , але насправді людське око по-різному чутливе до різних складових кольору (доведено [10], що найкраще сприймається зелений колір, дещо гірше – червоний і синій).

З іншого боку, повний кольоровий спектр можна представити як тривимірний простір (куб), по осях координат якого відкладені насиченості відповідного кольору. Яскравість кольору певної точки можна уявити як довжину вектора, що з'єднує початок координат і дану точку. Тоді:

$$J = k\sqrt{R^2 + G^2 + B^2}, \quad (2)$$

де  $k$  – ваговий коефіцієнт, який враховує те, що довжина вектора може бути більше 255.

Прийнявши за білий колір точку, протилежну початку координат (з координатами {255; 255; 255}), отримаємо:

$$k = \frac{255}{\sqrt{3 \cdot 255^2}} = 0,577. \quad (3)$$

Таким чином, предобробкою зображення буде переведення його з 24-бітної форми у 8-бітну.

**Виділення фрактального спектра кірліан-зображення першого роду.** Для КЗ-1 фрактальний спектр – це сукупність площ усіх фрагментів. Очевидно, що він є дискретним, оскільки всі площі виражаються в пікселях. Тому його спектр повинен бути лінійчастим, тобто представляти набір ліній, які будуть показувати, скільки фрагментів мають площу, що дорівнює рівно  $S_i$ .

Для визначення площі фрагмента його потрібно спочатку розпізнати, тобто виділити із зображення. Просте відділення зображення від фону [11] не дає можливості розрізнити окремі фрагменти. Таку можливість дає тільки аналіз зв'язності пікселів. Назвемо зв'язністю піксела кількість можливих переходів до сусідніх пікселів. Очевидно, що максимальна зв'язність дорівнює 8, тобто від одного піксела можна перейти до восьми інших, до чотирьох з яких перехід відбувається зміщенням по одній координаті, а до чотирьох – по двох. Тоді, якщо всі незафарбовані піксели позначити як 0 (фон), то зв'язністю піксела буде кількість його зафарбованих сусідів. Якщо зв'язність дорівнює 8, то даний піксела лежить всередині фрагмента, а якщо зв'язність менше 8, то даний піксела належить границі зображення.

Алгоритм побудови фрактального спектра можна описати таким чином:

1. Прийняти початкове число фрагментів за 0; присвоїти лічильнику площі  $S$  0.
2. Створити відкритий масив  $S$  з двох рядків, перший буде показувати площу фрагмента, другий – кількість фрагментів даної площі.
3. Створити нульову матрицю  $I_1$  з розмірами  $\{x_{\max}, y_{\max}\}$ , такими як у початкового зображення (матриці)  $I_0$ . Створити матриці  $I_2 = I_3 = I_1$ . Перша матриця буде показувати зв'язність пікселів, друга – знайдені фрагменти, третя – нові фрагменти.
4. Для всіх зафарбованих пікселів зображення заповнити матрицю  $I_1$  методом рядкового (або постовпчикowego) сканування таким чином:
  - 4.1. Якщо піксел  $\{x, y\}$  не належить фону, то: перевірити, чи належать фону його сусідні піксели; підрахувати кількість сусідів, що не належать фону; дану кількість присвоїти елементу  $I_1\{x, y\}$ ; перейти до наступного піксела.
  - 4.2. Якщо піксел  $\{x, y\}$  не належить фону, то просто перейти до наступного піксела.
5. Методом рядкового (або постовпчикowego) сканування матриці  $I_1$  знайти перший ненульовий елемент, який одночасно у матриці  $I_2$  є нульовим; запам'ятати його координати  $\{x_1, y_1\}$ ; записати його в матриці  $I_2$  та  $I_3$ .
6. Перейти до наступного зафарбованого елемента обходом контуру за годинниковою стрілкою.
  - 6.1. Якщо він є ненульовим у матриці  $I_2$ , записати його в матриці  $I_2$  та  $I_3$ ; перейти до п. 6.
  - 6.2. Якщо він є нульовим у матриці  $I_2$ , перевірити, чи співпадають його координати з  $\{x_1, y_1\}$ ; якщо так, перейти до п. 7, якщо ні – перейти до п. 6.
7. Методом рядкового сканування матриці  $I_3$  підрахувати кількість всіх елементів, що лежать між ненульовими; отримане число буде площею фрагмента; по закінченні знайти в масиві  $S$  відповідне число, збільшити відповідну кількість фрагментів на 1; якщо такого числа в масиві  $S$  немає, додати його в кінець масиву і присвоїти числу фрагментів 1; обнулити матрицю  $I_3$ .
8. Якщо не досягнутий кінець зображення, перейти до п. 5, якщо досягнутий – відсортувати масив  $S$ . Отриманий масив і буде дискретним фрактальним спектром.

**Виділення фрактального спектра кірліан-зображення другого роду.** Для КЗ-2 фрактальний спектр – це сукупність радіусів фігури вздовж усіх променів з певним кроком кута  $\Delta\varphi$ . Очевидно, що він також є дискретним, але ймовірність того, що буде отриманий нульовий радіус, прямує до нуля. Для

того, щоб випадково не врахувати один піксел двічі, не будемо відкладати промінь з центру зображення, а обчислювати відстань від граничного піксела до центру.

Алгоритм побудови фрактального спектра для КЗ-2 можна описати таким чином:

1. Визначити границю зображення (це еквівалентно створенню матриці  $I_1$  з розмірами вихідного зображення).
2. Визначити центр зображення з координатами  $\{x_0, y_0\}$ .
3. Створити відкритий масив  $S$  (призначення його тако ж, як і в попередньому алгоритмі).
4. Для кожного граничного піксела, починаючи з деякого  $\{x_{01}, y_{01}\}$ , обчислити радіус (для зручності його краще одразу після обчислення округлювати до найближчого цілого):

$$r = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}, \tag{4}$$

де  $\{x_1, y_1\}$  – координати поточного піксела.

5. Знайти в масиві  $S$  відповідний радіус, якщо такий є – збільшити лічильник радіуса на 1, якщо такого немає – додати в кінець масиву новий радіус, присвоївши лічильнику 1.
6. Обходом контуру за годинниковою стрілкою знайти наступний граничний піксел; якщо його координати не співпадають з  $\{x_{01}, y_{01}\}$ , то перейти до п. 4, якщо співпадають – відсутувати масив  $S$ . Отриманий масив буде фрактальним спектром КЗ-2.

**Порівняння спектрів.** Отримані фрактальні спектри є дискретними наборами. Якщо мати для кожного об'єкта пару спектрів – еталонний, тобто отриманий внаслідок дослідження об'єкта з верифікованим станом, і дослідний, тобто отриманий з об'єкта подібної природи, але у невідомому стані, то такі спектри зручно порівнювати за коефіцієнтом кореляції [9]:

$$K_r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}}, \tag{5}$$

де  $x_i, y_i$  – значення отриманого та еталонного спектрів, а  $\bar{x}, \bar{y}$  – середні (медіанні) значення цих спектрів.

Тоді в міру віддалення значення коефіцієнта кореляції від одиниці можна з упевненістю говорити про статистичні відмінності в характері відповідних кірліан-зображень.

Ще одним варіантом порівняння може бути інтегральна функція відхилення спектрів:

$$R = \int (S_1(s) - S_2(s)) ds - \tag{6}$$

для КЗ-1 або

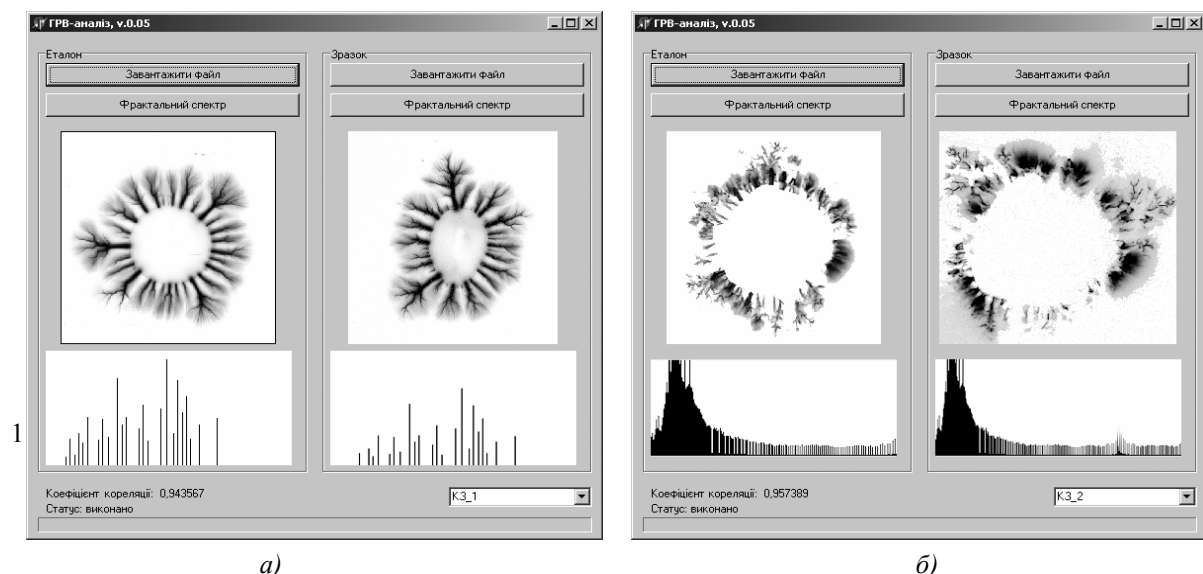
$$R = \int (S_1(r) - S_2(r)) dr - \tag{7}$$

для КЗ-2.

Слід зазначити, що наведена методика нечутлива до кількості фракталів на зображенні та їх взаємного розміщення, оскільки сума або суперпозиція геометричних фракталів однієї розмірності також є геометричним фракталом тієї ж розмірності [7], [8].

Для однорідних за своєю природою об'єктів фрактальні спектри співпадають у межах нормального закону розподілу.

**Висновки.** Апробація наведеної методики проводилась на фотознімках газових розрядів, отриманих при газорозрядній візуалізації крапель водних розчинів  $NaCl$ , зареєстрованих на фотоплівці, та цифровим фотоапаратом. Зразки вихідних зображень з відповідними спектрами наведені на рис. 2. В результаті застосування даної методики обробки кірліан-зображень похибка їх кількісного опису зменшилась майже вдвічі. Методика чітко розрізняє об'єкти з однаковою до другого знаку після коми фрактальною розмірністю.



Розміри вихідних зображень – 800×800 пікселів. Обробка зображення проводилась на ПК з 256 Мб ОЗП і з процесором типу Celeron M з тактовою частотою 1,73 ГГц та 1 Мб кеш-пам'яті. Алгоритм обробки був реалізований у середовищі Borland Delphi 6. Середній час обробки склав 1,2 с.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Коротков К.Г.* Основы ГРВ-биоэлектрографии / *К.Г. Коротков.* – СПб. : СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 360 с.
2. *Крыжановский Э.В.* Исследование жидкофазных объектов методом газоразрядной визуализации : дисс. ... канд. техн. наук / *Э.В. Крыжановский.* – СПб., 2004. – 103 с.
3. *Коломієць Р.О.* Загальні принципи дослідження біоб'єктів за допомогою методу газорозрядної візуалізації / *Р.О. Коломієць* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2005. – № IV (35). – С. 61–66.
4. *Коломієць Р.О.* Узагальнений інформаційний параметр ГРВ-зображень / *Р.О. Коломієць, Р.А. Рудницький* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2007. – № 2. – С. 77–81.
5. *Коротков К.Г.* Исследование физических процессов, протекающих при газоразрядной визуализации различных объектов : дисс. канд. физ.-мат. наук. – 01.04.04 ; Утв. 01.06.83 / *К.Г. Коротков.* – Л., 1982. – 227 с., ил.
6. *Коломієць Р.О.* Аналіз похибок оптичних систем та дискретизації зображення при реєстрації ГРВ-зображень сукупної польової структури біологічних об'єктів в статті / *Р.О. Коломієць, В.П. Манойлов, В.А. Рудницький* // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – № 1. – С. 25–29.
7. *Бецкий О.В.* Фракталы в биологии и медицине / *О.В. Бецкий, Н.Н. Лебедева* // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – № 10–11. – С. 49–59.
8. *Смирнов Б.М.* Физика фрактальных кластеров / *Б.М. Смирнов.* – М. : Наука, 1991. – 136 с.
9. *Баскаков С.И.* Радиотехнические цепи и сигналы / *С.И. Баскаков.* – М. : Высшая школа, 2000. – 462 с.
10. *Глушаков С.В.* Компьютерная графика : учеб. курс / *С.В. Глушаков, Г.А. Киабе.* – Х. : Фолио, 2001. – 500 с.
11. *Коломієць Р.О.* Цифрова обробка ГРВ-зображень аурі біологічних об'єктів / *Р.О. Коломієць* // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем / Технічні науки : збірник наукових праць. – ЖВІРЕ, 2006. – Вип. 10. – С. 220–224.

КОЛОМІЄЦЬ Роман Олександрович – старший викладач кафедри „Радіотехніка і телекомунікації” Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- застосування методу ГРВ в медицині та інших галузях;
- фізика живого.

Подано 19.01.2010

**Коломієць Р.О.** Виділення фрактального спектра кірліан-зображень  
**Коломієц Р.А.** Выделение фрактального спектра кирлиан-изображений  
**Kolomiyetz R.A.** Fractal Spectrum of Kirlian-images

УДК 004.932:615.844

**Выделение фрактального спектра кирлиан-изображений / Р.А. Коломієц**

Представлен алгоритм построения фрактального спектра изображений, полученных с помощью эффекта Кирлиан. Показано, что кирлиан-изображения, полученные разными способами, отличаются, но в пределах одного способа возможно выделить общие признаки. В соответствии со способами получения вводится новая классификация кирлиан-изображений, и для каждого вида из них вводится понятие фрактального спектра и приводятся алгоритмы его вычисления.

УДК 004.932:615.844

**Fractal Spectrum of Kirlian-images / R.A. Kolomiyetz** The algorithm of construction of fractal spectrum of images is presented in the article, Kirlian got by an effect. It is rotined that kirlian-images, got in number of different ways, differ, but within the limits of one method it is possible to select general signs. In accordance with the methods of receipt new classification of kirlian-images is entered, and for every kind from them the concept of fractal spectrum is entered and the algorithms of his calculation are pointed.