

Р.О. Коломієць, аспір.
В.А. Рудницький, к.ф.-м.н.

Житомирський державний технологічний університет

УЗАГАЛЬНЕНИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПАРАМЕТР ГРВ-ЗОБРАЖЕНЬ

(Представлено д.т.н. Манойловим В.П.)

Представлена спроба узагальнити частину загальноприйнятих інформаційних параметрів ГРВ-зображень в один з метою спрощення діагностики методом газорозрядної візуалізації без втрати інформаційної цінності.

Постановка проблеми. ГРВ-зображення – складна просторова фігура, утворена внаслідок електричного пробую газового проміжку між біологічним об'єктом (далі БО) та діелектричним електродом при поміщенні БО у високочастотне електричне поле з високою напруженістю (порядку 20...25 кВ/см). ГРВ-зображення (назва утворена від методу отримання – газорозрядної візуалізації) несе в собі узагальнену інформацію про стан БО в цілому [1, 2]. Фактично, це – картина сукупної польової структури біооб'єкта.

Для опису ГРВ-зображень використовуються багато інформаційних параметрів. Умовно їх можна поділити на дві групи:

- 1) параметри, що характеризують власне газовий розряд – до них належать розрядний струм, площа, яскравісний та кольоровий спектри світіння, кількість, довжина і розгалуженість розрядних треків;
- 2) параметри, які неможливо виміряти безпосередньо, тільки обчислити, виходячи з геометричних параметрів, – показник розрізаності, фрактальна розмірність, ентропія.

Всі інформаційні параметри можливо розглядати як в статистиці (тобто їх миттєві значення в певний момент часу), так і в динаміці (протягом деякого часового інтервалу). Але найпростіше розглянути їх “квазидинамічні” властивості. Пояснимо термін. Справа в тому, що розрядні процеси протікають доволі швидко, середній час життя електронної лавини при поверхневому розряді зворотно пропорційний частоті прикладеного поля, а вона, як правило, менше 1...10 кГц не буває (це пов'язано з так званім поверхневим ефектом, внаслідок якого зі збільшенням частоти зменшується глибина проникнення електричного поля в об'єкт, тому в даному випадку струм протікає по поверхні БО, не проникаючи в глибинні шари. Це – допоміжна міра безпеки для запобігання виникнення деструктивних процесів у БО під впливом постійного електричного струму). Те, що реєструється на носії зображення, є суперпозицією окремих електронних лавин, які викликають локальну іонізацію газу – розрядні стримери. Час життя стримерів значно більший, ніж час життя окремої електронної лавини [3], але також малий (не більше 0,01...0,05 с). Джерелом світіння є іонізований газ (повітря) – нерівноважна плазма. Колір світіння напряму пов'язаний з хімічним складом газу [3, 4], яскравість – з величиною розрядного струму [4], а він, в свою чергу, залежить від емісійних властивостей об'єкта. Від них же залежать площа та просторова неоднорідність світіння. Таким чином, результуюча картина – сума миттєвих значень параметрів (статичних) протягом деякого часу (в динаміці), але при цьому неможливо чітко зіставити окремі миттєві значення інформаційних параметрів з певними моментами часу – картина не є ні повністю статичною, ні абсолютно динамічною.

Параметри другої групи дещо абстрагуються від фізики процесу і дозволяють порівнювати різні ГРВ-зображення з точки зору закладеної в неї інформації. Саме вони і використовуються в медичній діагностиці. Предметом статті є ілюстрація можливості об'єднати їх в один – узагальнений – з метою спрощення діагностики без втрати інформаційної цінності.

Показник неоднорідності зображення (або коефіцієнт розрізаності). Важливою характеристикою ГРВ-зображення є показник його розрізаності, або коефіцієнт форми, – параметр, що характеризує міру відхилення форми ГРВ-зображення від форми реального об'єкта. Як правило, об'єкт (найчастіше, це пальці рук або краплі рідин) у площині візуалізації має округлу форму. З елементарної геометрії відомо, що при заданій площі мінімальний периметр має коло, тому саме ця фігура прийнята за еталон при подальших викладках. Площа кола пов'язана з його радіусом співвідношенням $S = \pi R^2$, а його периметр – $L = 2\pi R$. Якщо позначити площу ГРВ-зображення як S^* , а довжину його границі як L^* , то коефіцієнт форми можна визначити так

$$K_F = \frac{L^{*2}}{4\pi S^*}. \quad (1)$$

Коефіцієнт безрозмірний; і чим він більший, тим більше кутів, нерівностей та незв'язаних фрагментів має ГРВ-зображення – тим сильніше воно відрізняється від кола.

Фрактальна розмірність. Особливістю ГРВ-зображення є його фрактальна розмірність. Форма ГРВ-зображення є доволі хаотичною, що унеможливило опис її за допомогою понять елементарної геометрії. Довжина звичайної гладкої лінії визначається як $L(r) = Na$, де N – кількість відрізків (кроків); a – довжина кроку (міра). При $a \rightarrow 0$ отримуємо звичайну евклідову довжину лінії $L \equiv L_{евкл}$. У випадку фрактальної кривої добуток $Na \rightarrow \infty$ при $a \rightarrow 0$ (N зростає набагато швидше, ніж зменшується a), причому це асимптотичне прямування відбувається за степеневим законом від a . Існує [5] критичний показник $D > 1$, при якому добуток Na^D залишається обмеженим зверху. Тоді для фрактала довжина лінії представляється як $L = Na^D$, де D – розмірність фрактальної кривої. Останній вираз еквівалентний такому:

$$D = \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\ln(N)}{\ln(a^{-1})}. \tag{2}$$

Це визначення розмірності за Хаусдорфом [5, 6]. Щодо обчислення цього показника стосовно ГРВ-грам, то в даному випадку $N = L^*$, а a – характерний розмір піксела – визначається як відношення одиниці до роздільної здатності реєструючого пристрою та є сталою величиною.

Ентропія. Першим етапом при обчисленні ентропії є ручне вказування приблизного центру ГРВ-зображення, потім з кроком 1ϵ по колу відкладаються промені. Будується функція $R(\varphi)$, де φ – кут, а R – відстань від центру до останнього піксела, що належить одночасно і зображенню, і променю, та розраховується як

$$R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}, \tag{3}$$

де (x_0, y_0) – координати центру, а (x, y) – останній піксел зображення, що лежить на промені. Інтегральна функція [1, 2]

$$Q = \int_0^{2\pi} R(\varphi) d\varphi = \sum_{\varphi=0}^{359} R(\varphi) \tag{4}$$

в даному випадку представляється як проста сума всіх значень $R(\varphi)$ при зміні φ від 0ϵ до 359ϵ . Потім будується функція

$$r(\varphi) = \frac{2\pi R(\varphi)}{Q} \tag{5}$$

і знаходяться її мінімальне та максимальне значення r_{\min} і r_{\max} . Проміжок $[r_{\min}; r_{\max}]$ розбивається на 1000 рівних частин і для кожної обчислюється значення $G(r)$ – функції розподілу щільності значень $r(\varphi)$ в інтервалі $[r_{\min}; r_{\max}]$. Потім обчислюється нормована функція

$$g(r) = \frac{G(r)}{\int G(r) dr}, \int G(r) dr = \sum_{j=1}^{1000} G_j(r), \tag{6}$$

а ентропія ГРВ-грами представляється за аналогією з термодинамічною ентропією:

$$\varepsilon = - \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} g(r) \ln[g(r)] dr = \sum_{i=1}^{1000} g_i \cdot \ln(g_i). \tag{7}$$

Значення ГРВ-ентропії, перш за все, практичне: воно дозволяє класифікувати ГРВ-грами за рівнем “розбалансу”, а саме: для сильно розбалансованих ГРВ-грам, які відповідають нестабільному стану БО, функція $R(\varphi)$ випадкова, що призводить до високого значення ентропії, тоді як рівні “спокійні” ГРВ-грами, що відповідають низькому рівню невизначеності функції $R(\varphi)$, мають низьке значення ентропії.

Узагальнений інформаційний параметр. Всі перелічені вище інформаційні параметри ГРВ-зображень сукупної польової структури БО неявно пов’язані між собою. У “розбалансованих” ГРВ-грам одночасно і коефіцієнт розрізаності, і фрактальна розмірність є більшими, порівняно з менш “розбалансованими”, тобто такими, що мають менше значення ентропії. Але коефіцієнт розрізаності може коливатися в доволі широких межах (4...12), ентропія також змінюється в широких межах, а фрактальна розмірність, як правило, знаходиться в межах 1,1...2. Тому, враховуючи, що маємо справу з геометричним об’єктом, узагальнений інформаційний параметр можна ввести у вигляді:

$$A = \left(\frac{\varepsilon}{K_F} \right)^D. \quad (8)$$

Введення такого параметра дозволяє суттєво спростити прийняття діагностичного рішення.

Висновки. Узагальнений інформаційний параметр ГРВ-зображень спрощує прийняття діагностичного висновку про стан досліджуваного об'єкта. Якщо його значення знаходяться в межах 1...2 – об'єкт в нормі, ніяких патологічних змін в ньому не відбувається. Значення $A < 1$ характерні тільки для небіологічних об'єктів. Значення $A > 2$ свідчить про розвиток патологічних процесів в БО, що супроводжуються різким зростанням ентропії, коефіцієнта форми та фрактальної розмірності ГРВ-зображення сукупної польової структури БО.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Коротков К.Г.* Основы ГРВ-биоэлектрографии. – С.-Пб.: С.-Пб.ГИТМО (ТУ), 2001. – 360 с.
2. *Коломісць Р.О.* Загальні принципи дослідження біооб'єктів за допомогою методу газорозрядної візуалізації // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2005. – № IV(35) – С. 61–66.
3. *Грановский В.Л.* Электрический ток в газах. – М.: Наука, 1971. – 560 с.
4. *Райзер Ю.П.* Основы современной физики газоразрядных процессов. – М.: Наука, 1980. – 416 с.
5. *Смирнов Б.М.* Физика фрактальных кластеров. – М.: Наука, 1991. – 136 с.
6. *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н.* Фракталы в биологии и медицине // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – № 10–11. – С. 49–59.

КОЛОМІСЦЬ Роман Олександрович – аспірант кафедри “Електронні апарати” Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

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

РУДНИЦЬКИЙ Валентин Анатолійович – доцент кафедри фізики Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- фізика плазми;
- плазмові технології.

Подано 16.06.2006