

Д. М. Самойленко, О. В. Мірошніченко, Д. Д. Попов
Миколаївська філія Європейського університету

ВИКОРИСТАННЯ ФРАКТАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ГОЛОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

У статті вивчається актуальність дослідження фракталів як самостійних об'єктів, авторами також аналізуються перспективи застосування голографічної методики фрактальних зображень в якості елементів захисту поліграфічної продукції.

The article examines the relevance of the study of fractals as independent objects, the authors also analyzed the prospects of application of the holographic technique of fractal image as an element of protection of printed products.

Вступ

Дослідження фракталів, як самостійних об'єктів, бере початок з середини ХХ сторіччя і до сьогодні залишається актуальним в багатьох аспектах. Окрім виникнення нового розділу математики «фрактальна геометрія» [1], фрактали знайшли використання у фізиці [2], топології [3], комп'ютерній графіці [4], стисненні зображень [5-6] та багатьох інших галузях знань. Врешті решт, фрактали є красивими об'єктами і мають естетичну цінність [7-8].

З точки зору використання фракталів в якості захисних об'єктів відкривається низка нових можливостей. По-перше, фрактали є об'єктами з нескінченною деталізацією, тобто мають нескінченний запас по роздільній здатності друку зазначених зображень, а відтак не потребуватимуть заміни при оновленні технологій друку, в тому числі і голографічного.

По-друге, побудова фрактальних зображень, як границь стійкості певного перетворення, передбачає знання як самого перетворення, так і констант, що в нього входять. Величини констант та алгоритм перетворення, в даному разі, можуть грати роль паролю. Числові величини констант, формально, дозволяють їх автоматично перебирати з метою зламу, в той час як алгоритм перетворення підбиранню не підлягає. Зазначене робить фрактальні зображення надійно захищеними від зловмисників.

По-третє, фрактальні зображення можуть бути як кольоровими, так і чорно-білими. Причому методика присвоєння кольору точкам фрактальних зображень також визначається розробником програми, яка будує зазначені зображення. Введення кольору дозволяє додатково захистити зображення від підроблення.

Основна частина

Термін «фрактал» не має єдиного загальноприйнятого чіткого визначення. Як правило, фракталами називають фігуру, що має властивості самоподібності чи нетривіальності або має дробову розмірність.

Отже, фрактал – це фігура. Причому фігура ця може бути плоскою, об'ємною, чи лінійною. Можна казати і про фігури в просторах більшої

розмірності, але це становить інтерес швидше в математиці, ніж в області поставлених задач створення захисних зображень.

Самоподібність фракталу, дробовість його розмірності та нетривіальність його структури – є спорідненими вимогами. Очевидно, що скінченний (за формою) об'єкт не може мати дробову розмірність. При певній деталізації об'єкт буде описаний повністю, тобто займе фіксований об'єм і його розмірність перестане змінюватись. Тобто форма об'єкта дробової розмірності вимагає нескінченної деталізації, що і означає властивість нетривіальності структури. Єдине, що слід зауважити, це можливість виникнення цілої розмірності навіть для об'єктів нетривіальної форми. Типовим прикладом є «клубок ниток» в якому одномірна нитка створює тривимірну конструкцію. Розмірність такого клубка – рівно 2. Для урахування таких винятків додають вимогу відмінності топологічної та фрактальної (хаусдорфовської) розмірності об'єктів.

Нескінченна деталізація об'єкта можлива за двох умов: або в об'єкт вкладено нескінченну кількість інформації, або якийсь інформаційний блок повторюється нескінченну кількість разів. Зрозуміло, що об'єкти з нескінченним вмістом інформації неможливо побудувати за скінченний час, тому для реалізації вимоги нетривіальності в об'єкті має повторюватись одна і та ж структура, що і робить об'єкт самоподібним – кожна його частина містить безліч подібних частин.

У підсумку фрактал об'єднує у собі властивості скінченних та нескінченних утворень. Скінченність фракталу дозволяє виготовити його зображення, обмежене у просторі. Нескінченність реалізує можливість порівнювати різні зображення з довільною точністю, знімаючи принципів обмеження на ступінь захисту на зразок довжини захисного паролю чи можливості виготовлення „один до одного” за допомогою копіювання.

Окремо зауважимо вимоги до захисних властивостей голографічних зображень у застосуванні до поліграфічної продукції. В розрізі зазначеного можна виділити два аспекти захисту продукції.

За першим аспектом, під захистом можна розуміти неможливість несанкціонованого доступу до вмісту поліграфічної продукції, до цінності авторського здобутку. В другому разі, захист передбачає однозначну ідентифікацію оригінального твору, тобто, іншими словами, захист упереджує свідоме придбання підробленої продукції або дозволяє однозначно засвідчити оригінальність походження твору.

Захист, у зрізі першого аспекту, реалізується обмеженням одночасного доступу до продукції та копіювальних засобів. Використання фрактальних зображень, очевидно, має призначення захисту у розумінні розрізнення оригінальних та підроблених виробів.

Побудова фрактальних зображень, в рамках даної роботи, здійснюється шляхом встановлення границі збіжності ітеративного перетворення

$$X_{k+1} = X_k^n + C, \quad (1)$$

де X – комплексна змінна, C – певна комплексна константа. Ступінь перетворення n може обиратись довільним, проте, найкращі результати досягаються при цілих величинах n , оскільки для дробових ступенів використовуються наближені методи розрахунку, внаслідок чого фрактальні

зображення можуть по-різному відтворюватись на різних ЕОМ з різною точністю математичних розрахунків.

Константа C грає роль числового пароля. Як комплексне число вона складається з дійсної та уявної частини, тобто пароль складається з двох числових величин.

На рис. 1. наведено фрактальне зображення, отримане без моделювання кольору, для $n = 2$ та $C = (0.24, 0.50)$. Як видно, зображення цілісне, проте його границя надзвичайно структурована.

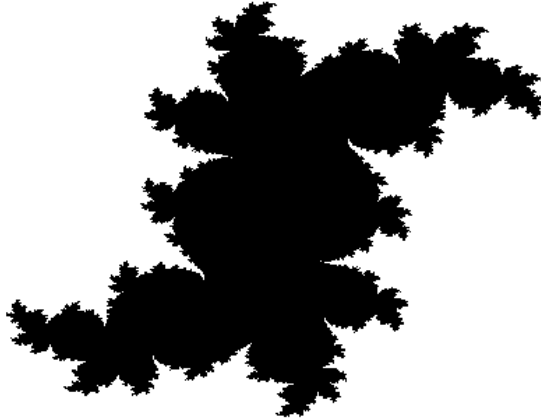


Рис. 1. Межа стійкості перетворення (1) при $n = 2$ та $C = (0.24, 0.50)$ в комплексній площині

На рис. 2. наведено фрактальні зображення для $n = 2$, $C_1 = (0.38, 0.18)$ та $C_2 = (0.381, 0.18)$. Зображення на рис. 2, навпаки, досить розріджені. Наведені поруч зображення навіть «на око» дозволяють відрізнити одне від іншого, в той час як відмінність в константі для них введена лише в дійсній складовій на рівні доданка 0.001. Зазначене свідчить про надзвичайну крипостійкість зображень до підбору кодів.

Вибір голографічної методики побудови фрактальних зображень в порівнянні з методикою «плоского» друку обумовлений кількома чинниками. Перш за все, голограми чутливі до щонайменших пошкоджень. Дифракційна ґратка в голограмі має характерні розміри, що відповідають довжини хвилі запису (близько 0,5 мкм), відповідно пошкодження з подібним ступенем впливу суттєво змінять відновлене зображення. Подібні спотворення можуть виникати навіть внаслідок зміни термічних умов, що дозволяє, за бажанням, відстежувати дотримання умов зберігання поліграфічної продукції, що захищається.

По-друге, голограми можуть бути записані як на поверхні, так і в об'ємі певної пластинки, в той час як друковані образи наносяться лише на поверхню. Записана в об'ємі інформація, з одного боку, автоматично захищається самою пластинкою та, з іншого боку, значно ускладнює копіювання чи інше відтворення.

По-третє, голограми формуються безконтактним способом. Поліграфічні методи нанесення зображень, в більшості випадків, передбачають контакт друкарського обладнання з носієм зображення. Фотолітографічне формування зображень, як виняткове безконтактне, все одно передбачає контакт кінцевого

зображення з хімічними реактивами та промивками. Очевидно, що контактні способи створюють додаткові обмеження на якість кінцевого продукту, в порівнянні з безконтактними.

Врешті, голограми дозволяють записувати інформацію, яку не сприймає око людини чи приймальні фотореєстратори поширених скануючих пристроїв. В силу принципу суперпозиції оптичних полів, зображення, записані різними хвилями запису з різними довжинами, не будуть спотворювати одне інше. Це дозволяє внести до голограми інформацію в ультрафіолетовій чи інфрачервоній області. Більш детальний аналіз чутливості приймачів світла, що використовуються у засобах відтворення зображень (сканерах, ксерографах тощо) дозволить дати рекомендації з максимального захисту прихованих образів.

Побудова голограми фрактального зображення, тобто перенесення зображення від оригіналу до фоточутливої речовини, супроводжується перетворенням світла за дифракційним інтегралом Кірхгофа. Внаслідок самоподібності фракталів та лінійності дифракційного інтегралу кожна самоподібна конструкція у фракталі, що відрізнятиметься лише масштабом, матиме у просторовому спектрі, відповідно, лише кратні частоти.

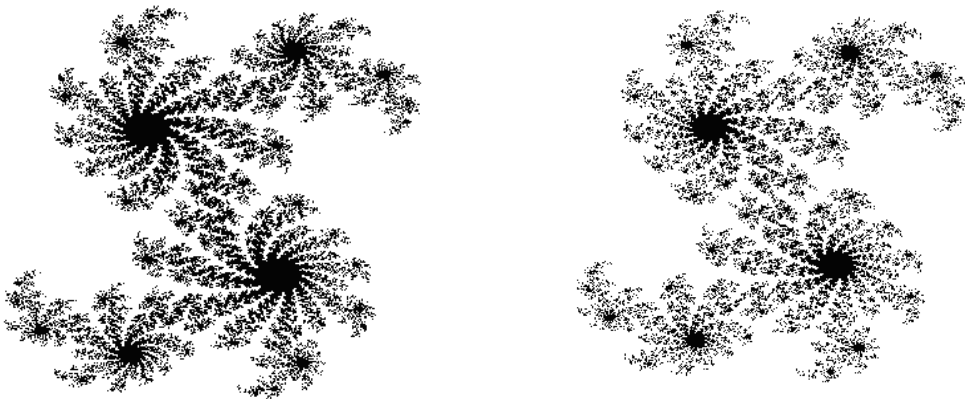


Рис. 2. Межі стійкості перетворення (1) при $n = 2$ та $C = (0.38, 0.18)$ (ліворуч) та при $n = 2$ та $C = (0.381, 0.18)$ в комплексній площині

Відповідно, самоподібність фракталів призводить до дискретизації їх просторових спектрів. Оскільки деталізація фракталів нескінченна, мова іде про нескінченну зліченну множину з потужністю натурального ряду.

Дискретність просторового спектру фрактальних зображень, з одного боку, висуває вимоги до високої пропускну здатності оптичної системи формування інформаційного світлового потоку, тобто максимального її «кута зору» та світлосили. З іншого боку, дискретизація просторового спектру додатково дозволяє ідентифікувати оригінальність зображення за його спектральним аналізом. Так, поява спектральних складових, що не відповідають спектру записаного образу, свідчатиме про невідповідність досліджуваного зразка оригінальному.

Висновки

Запропоновано використання голографічних записів фрактальних об'єктів для захисту поліграфічної продукції. Розглянуто переваги фрактальних образів з точки зору посилення захисних властивостей.

Показана висока криптостійкість фрактальних зображень як при їх формуванні, так і при записі. Наведено методики посилення ступеня захисту при використанні зазначених об'єктів.

Зазначено можливість аналізу оригінальності голограм фрактальних об'єктів за просторовим спектром та вимоги до оптичних систем запису.

Перспективи подальших досліджень вбачаються у аналізі фотоелектричних елементів відтворювальних пристроїв з метою максимальної реалізації захисних властивостей голограм та розвинення систем дослідження просторових спектрів фракталів.

1. Мандельброт Б. *Фрактальная геометрия природы*. – М.: «Институт компьютерных исследований», 2002. – 656 с.

2. *Фракталы в физике*. “Труды 6-го международного симпозиума по фракталам в физике”. – М.: “Мир”, 1988.

3. Фоменко А. Т. *Наглядная геометрия и топология: Математические образы в реальном мире*. – М.: Изд-во Моск. ун-та, Изд-во “ЧеРо”, 1998. – 416 с.

4. Дональд Роджерс. *Алгоритмические основы машинной графики*. – М.: Мир, 1989. – 512 с.

5. Yuval Fisher. *Fractal Image Compression*. – IEEE SIGGraph Course Notes, 1992. – 345 p.

6. С. Уэлстид. *Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии*. Учебное пособ. – М.: Издательство “Триумф”, 2003 – 320 с.

7. Пайтген Х.-О., Рихтер П. Х. *Красота фракталов*. – М.: “Мир”, 1993. – 206 с.

8. Федер Е. *Фракталы*. – М.: “Мир”, 1991. – 254 с.