УДК 004.056.5

І. Дронюк, Є. Рибалко
Національний університет “Львівська політехніка”
кафедра автоматизованих систем управління

МЕТОД ЗАХИСТУ ДОКУМЕНТІВ НА ОСНОВІ ФРАКТАЛІВ

Запропоновано метод захисту друкованої продукції, який ґрунтується на основі фракталів. Подано алгоритми побудови захисних елементів на основі теорії фракталів та приклади застосування для захисту документів.

Ключові *слова: фрактали, захист документів, гільйоші.*

The method of printing security, which is based on fractals. There are presented security elements algorithms based on fractal theory and application examples for document security.

Key words: fractals, document security, guilloche.

Вступ

Фрактали належать до самоподібних структур, у яких зображення не залежить від масштабу. Тобто у простішому вигляді кожна невелика частина фракталу містить інформацію про весь фрактал. Існує багато різних математичних моделей фракталів. В основі цих моделей є рекурсивні функції.

Сьогодні фрактали і фрактальні методи застосовуються в багатьох галузях інформатики і на стику з іншими науками. Стосовно комп'ютерної графіки, фрактальна геометрія є незамінна при генерації складних неевклідових об'єктів, образи яких дуже схожі на природні, а також для генерації природних об'єктів у тримірній графіці: ландшафтів, дерев, хмар, снігу, берегових рельєфів, текстур тощо.

Фрактали успішно застосовують під час стиснення зображень і відео, оскільки ґрунтуються на самоподібності елементів. Спеціальні рівняння перетворень дають змогу переносити, повертати і змінювати масштаб ділянок зображення так, щоб ці ділянки були компонувальними для всього зображення. За допомогою фракталів на основі ітерацій можна стискати великі растрові зображення.

1. Постановка проблеми

Проблема захисту бланків цінних паперів від підробки є актуальним завданням. Виникає необхідність постійного вдосконалення наявних методів захисту поліграфічної продукції та розробки нових методів захисту. Сьогодні для створення захисних сіток та гільйошних елементів використовується апарат кривих Без’є. У роботі пропонується замість кривих Без’є використати фрактальний метод заповнення фону документа для захисту інформації. Перевагою цього методу є можливість завдяки самоподібності фракталів здійснювати зменшення чи збільшення зображень.

Щоб забезпечити найвищу поліграфічну якість документів, є необхідність у розробленні спеціалізованого програмного забезпечення. Сьогодні існують прикладні розробки, які ґрунтуються на використанні мови програмування PostScript, яка стала стандартом у видавничій справі.

Мова PostScript – це мова програмування, відома як мова опису сторінок для друку, оскільки її зазвичай використовують для опису того, як повинна бути надрукована сторінка. Сценарій (script)– це послідовність команд мовою PostScript. Сценарій передається на вивідний пристрій, де вбудований інтерпретатор мови PostScript виконує кожну команду почергово [1].

Важливою властивістю мови PostScript є його апаратна незалежність, тобто певний сценарій може бути відісланий на різноманітні пристрої, при цьому буде візуалізовано документ з найвищим можливим розширенням.

2. Створення інформаційної технології захисту документів на основі геометричних фракталів

2.1. Нерегулярні самоподібні структури фрактали для захисту документів

Розрізняють три типи самоподібності у фракталах: геометричні фрактали, алгебраїчні фрактали, стохастичні фрактали.

Для геометричних фракталів є характерною точна самоподібність. Фрактал виглядає однаково при різних збільшеннях. Точна самоподібність характерна для фракталів, що були згенеровані за допомогою ітераційних функцій, що мають фіксоване правило геометричних заміщень.

Побудова геометричних фракталів починається з побудови двох фігур – ініціатора та генератора. Останній є ламаною, що складається з *N* рівних відрізків довжиною *r*. На початку кожного етапу будуємо деяку ламану ініціатора, і етап полягає у заміні кожної прямої ділянки копією генератора, яка є зменшеною та суміщеною так, щоб її кінцеві точки збіглися з кінцевими точками відрізка, що заміняється. Прикладами геометричних фракталів є: крива Коха; крива Леві; крива Гільберта; трикутник Серпінського; фрактал Хартера-Хейтуея.

Розглянемо загальний алгоритм побудови геометричних фракталів. На рис. 1 подано графічне представлення такого алгоритму.

Рис. 1. Загальний алгоритм побудови геометричних фракталів

Цей алгоритм демонструє процес генерування геометричного фракталу. Фрактал характеризується розмірністю Хаусдорфа *D*, або фрактальною розмірністю [2], яка обчислюється за формулою

$$D = \frac{\ln N}{\ln \frac{1}{r}}$$

де *N* – кількість відрізків, *r* – довжина відрізка.

Фрактальна крива, яку описав шведський математик Хельге фон Кох.

$$N = 4; \quad r = 0{,}333; \quad D = 1{,}26$$

Під час побудови цього фракталу ініціатором є одиничний відрізок, генератор – відрізок, що поділений на три частини, і середня частина замінена на рівносторонній трикутник без основи. Принцип побудови **кривої Коха** поданий на рис. 2.

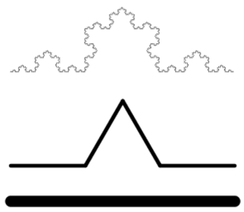


Рис. 2. Побудова кривої Коха,
кількість ітерацій n=5

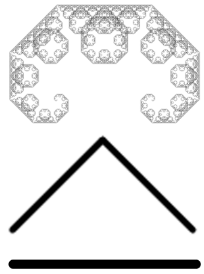


Рис. 3. Побудова кривої Леві,
кількість ітерацій n=15

Рис. 4. Побудова кривої Хартера-Хейтуя
кількість ітерацій n=15

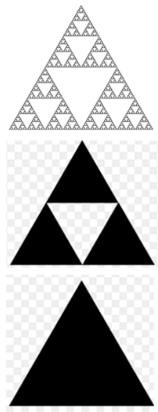


Рис. 5. Побудова трикутника Серпінського

Побудова відбувається за таким алгоритмом. Спочатку створюємо відрізок-основу, який є ініціатором. Надалі заміняємо відрізок-ініціатор фігурою-генератором. Продовжуємо побудову кривої, вважаючи, що кожна ділянка генератора на попередньому етапі є ініціатором на поточному етапі. Три копії кривої Коха, що побудовані на сторонах рівностороннього трикутника, утворюють замкнену криву – сніжинку Коха.

Інший фрактал був запропонований французьким математиком Полем Леві.

$$N = 2; \quad r = 1/\sqrt{2}; \quad D = 1{,}934$$

Принцип побудови **фракталу Леві** зображений на рис. 3.

Реалізація мовою Post Script кривої Леві виглядає так. Ініціатором у цьому випадку є одиничний відрізок. Для того, щоб створити його за допомогою PostScript, спочатку створюємо початкову криву, для якої обмальовуємо контур, код реалізації поданий нижче:

newpath
0 0 moveto
100 0 lineto
stroke

У наступному кроці здійснюємо побудову генератора. Генератор дя кривої Леві – це два відрізки, що розташовані під кутом 90°. Відомо, що кількість відрізків $N = 2$, величина $r = 1/\sqrt{2}$. Тобто промальовуємо ініціатор N кількість разів. При цьому враховується повернення системи координат на 45^0, промальовування ініціатора, повернення системи координат у кінець промальованого відрізка, а потім повернення системи на -90° – і знову промальовування ініціатора. Назвемо створений таким чином ініціатор як деяку функцію “levi”. Тоді створення генератора буде виглядати наступним чином:

45 rotate levi
100 0 translate
90 neg rotate levi

Надалі, щоб зобразити криву після певної кількості ітерацій, потрібно створити рекурсивну функцію, яка буде зчитувати кількість ітерацій, і відповідно – буде повторювати дії задану кількість разів, причому при кожній ітерації масштаб буде змінюватися у r = 1/√2 разів.

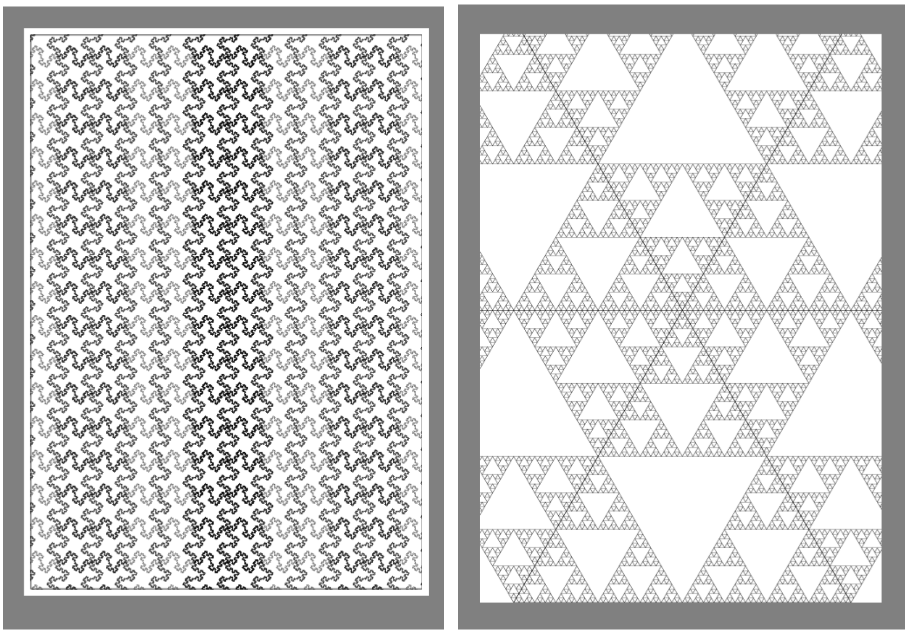
Крива дракона, або ж фрактал Хартера-Хейтуея був описаний Мартіном Гарднером. Зображення ініціатора, генератора, а також власне кривої дракона можна побачити на рис. 4.

Фрактал, який назвали **трикутником Серпінського**, був запропонований польським математиком Вацлавом Серпінським, див. рис. 5:

$$N = 3; \quad r = ½; \quad D = 1{,}585$$

Є декілька можливих методів побудови цього фракталу – на основі трикутника Паскаля, за допомогою вирізання трикутника, вершини якого є центрами сторін ініціатора.

Розглянемо приклад побудови на основі створення аналогічних трикутників меншого розміру, одна з вершин таких трикутників збігатиметься з вершинами ініціатора. Принцип побудови трикутника Серпінського подано на рис. 6б.



а *б*

Рис. 6. Захисні сітки на основі геометричних фракталів
(а – на основі кривої Мінковського, б – на основі трикутника Серпінського)

Ще один геометричний фрактал, названий **фракталом Мінковського**, запропонував німецький математик Герман Мінковський. Зображено фрактал на рис. 6, а. Генератор складається з восьми рівних частин. Коефіцієнт подібності – 1/4. Отже, обчислюємо величину D:

$$N = 8; \; r = ¼; \; D = 1{,}5.$$

Змінюючи лише деякі характеристики, можна створити величезну кількість різноманітних фігур. Вважаємо, що використання методу побудови фракталів для захисту документів є перспективним. Під час використання зображень фракталів з великою кількістю ітерацій, найменші частини є настільки дрібними, що відтворити їх за допомогою звичайного копіювання – неможливо. Тобто можна стверджувати, що фрактальна сітка може забезпечувати три ступені захисту завдяки: 1) складності фрактального візерунку, відтворення якого вимагає значної кількості часу, кваліфікованих кадрів, що відповідно призводить до підвищення собівартості підробки; 2) використанню спеціальних способів друку, при яких відсутні розриви фрактальних елементів та накладання фарб навіть на найдрібніших елементах сітки; 3) фрактальна сітка є елементом захисту завдяки дрібним елементам та тонким лініям, що розташовані близько одна до одної.

Розглянемо алгоритм побудови геометричного фракталу Мінковського на PostScript. Ініціатором є одиничний відрізок, генератором – ламана, що складається з восьми рівних частин, див. рис. 7.

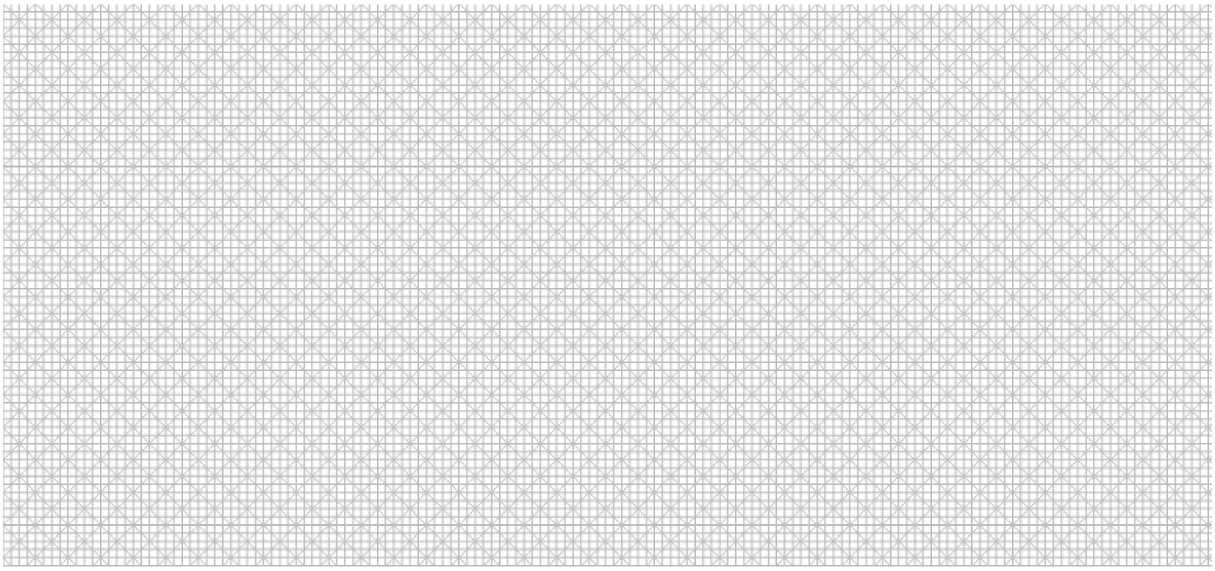


Рис. 7. Захисні сітки на основі кривої Мінковського

2.2. Створення фонового зображення на основі фракталу, генератором якого є інший фрактал

Побудова такого геометричного фракталу починається з відрізка-ініціатора, далі відбувається побудова генератора і безпосередня побудова фракталу згідно певного правила. Був запропонований метод заміни генератора на попередньо створений фрактал. Тобто побудова фракталу відбувається як у попередньому випадку, але його елементами є не відрізки, що розташовані під певним кутом, чи прості геометричні фігури, такі як трикутник (у трикутнику Серпінського), а інші геометричні фрактали. На рис. 8 зображені приклади створення фракталу Коха на основі іншого фракталу.

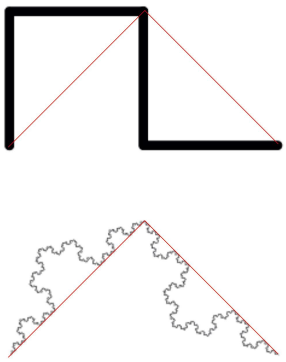


Рис. 8. Побудова фракталу на основі іншого фракталу

У першому випадку малювання другого кроку побудови відбувається за допомогою фігури, що є аналогічною до фігури на першому кроці, змінюється лише кут повороту, масштаб та розташування. У другому випадку фігура-генератор замінюється на фігуру, яка складається з двох кривих Коха, що розташовані під кутом 90°. Збільшивши кількість ітерацій, отримаємо фігуру, що зображена на рис. 9 справа, у лівій частині рисунку поданий фрактал Хартера-Хейтуея для порівняння.

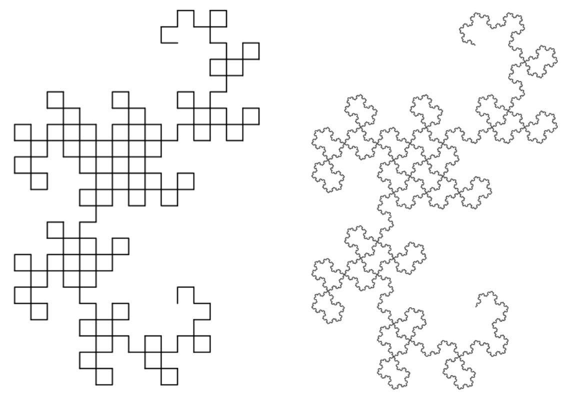


Рис. 9. Фрактал Хартера-Хейтуея та фрактал Хартера-Хейтуея, що побудований на основі кривої Коха

Аналогічно можна здійснювати побудову інших геометричних фракталів. Фрактал є складною фігурою, але застосування цього методу допомагає зробити його структуру ще складнішою. Відповідно фрактальна сітка забезпечить вищий рівень захисту документів.

Поєднання різних видів фракталів дозволяє створювати нові, надзвичайно складні фігури, застосування яких у фонових зображеннях документів забезпечить надійний захист від фальсифікацій, а також допоможе створити велику кількість варіантів фонових сіток (рис. 10).

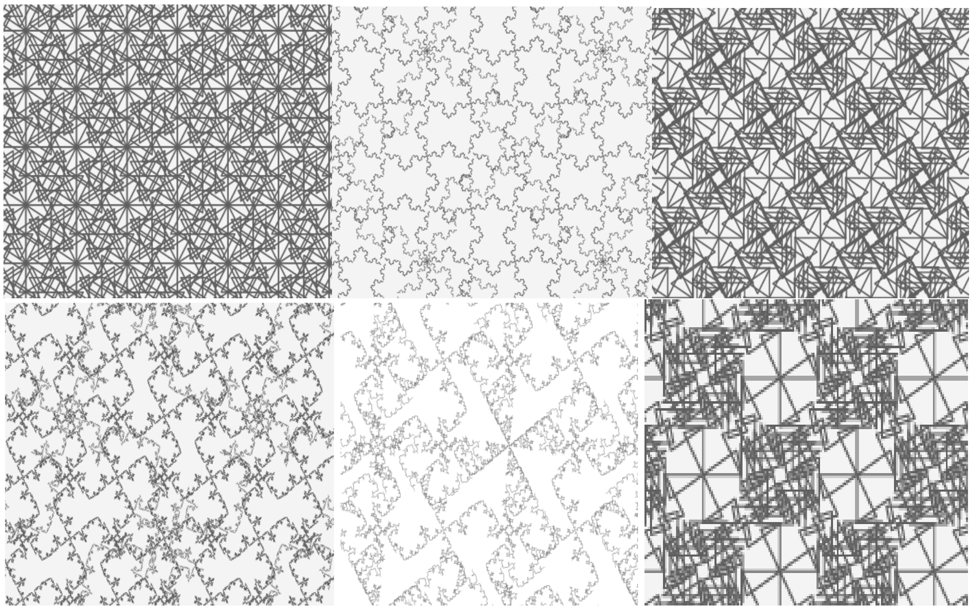


Рис. 10. Фонові сітки з використанням фракталів, що побудовані на основі інших фракталів

3. Висновки

Створено інформаційну технологію захисту документів. Суть цієї технології полягає у розробленні елементів поліграфічного захисту, а саме: захисних сіток на основі геометричних фракталів. Ця технологія реалізується на етапі дизайну.

Заповнення площини документа елементами захисту реалізовано за допомогою мови програмування PostScript, що забезпечує векторний формат, апаратну незалежність та високу поліграфічну якість. Створено зразки фонових зображень відповідно до розробленого методу.

Розроблений метод у поєднанні з іншими технологіями технологічного, поліграфічного та фізико-хімічного захисту запропоновано використати для захисту бланків документів суворої звітності.

1. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства / Перевод с немецкого — М.: МГУП, 2003. – 1280 с. 2. Мандельброт Б. Фракталы, случай и финансы / Б. Мандельброт. — Москва-Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2004. — 256 с.