

ПРОЦЕСИ

УДК 004.056.5: 655.25

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ МУАРУ НА ОСНОВІ КРАТНИХ ПЕРІОДИЧНИХ РЕШІТОК ДЛЯ ЗАХИСТУ ДОКУМЕНТІВ

М.А. Назаркевич, О.А. Троян

Розроблений метод захисту побудований на основі утворення муару та забезпечує надійний та ефективний захист друкованих документів. Побудовано математичну модель формування муару на основі кратних періодичних решіток. Утворення муару на підробленому документі дозволяє виявити сфальсифікований документ. Розроблений метод є ефективним і складним для підроблення, оскільки приховане зображення стає візуально видимим у процесі створення копії документу.

Ключові слова: муар захисні елементи, оптичні ефекти, захищена поліграфія, векторна графіка.

Вступ. Муар виникає при цифровому фотографуванні оригіналів, які є надруковані поліграфічним способом, чи при повторному скануванні вже оцифрованих зображень. Це явище, яке зовсім не є бажаним при поліграфічному відтворенні. Із муаром при додрукарському опрацюванні документів борються, стараючись уникнути, або ж звести його до мінімального виду. Це явище оптичне, що виникає при накладанні двох періодичних решіток із різною частотою повторення. Муар – візерунок, створений при накладанні двох періодичних структур. Також муар виникає через неправильне встановлення кутів нахилу при сепарованому виведенні плівок у процесах формування документа в кольорі. Візьмемо дві періодичні структури, які сформовані з паралельних ліній товщиною 0,25пт і рівновіддалені одна від одної на таку ж відстань. Формуватимемо муар шляхом повороту верхньої структури на певний кут нахилу. На рис. 1 показано муар, який утворюється при накладанні двох структур, які сформовані паралельними рівновіддаленими лініями.

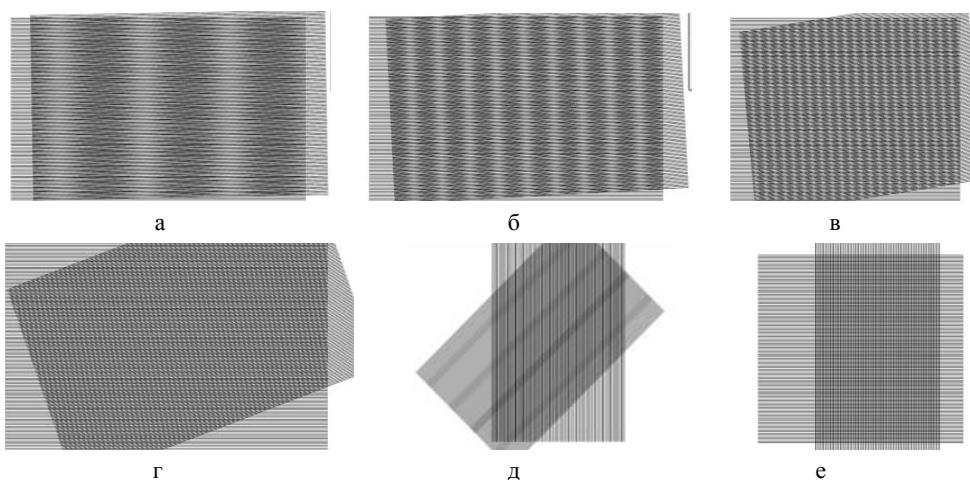


Рис. 1. Муарові решітки утворенні при повороті періодичних структур в а - 1° , б- 3° , в - 7° , г- 20° , д- 45° , е- 90°

На рис. 1а спостерігається муар у вигляді трьох темних ділянок при зміщенні двох структур на 1° . На рис. 1б спостерігається муар у вигляді десяти темних ділянок при зміщенні двох структур на 3° , а при зміщенні на 7° - двадцять одна темна ділянка. На рис. 1г, 1д і 1е частота муару різко збільшується. У цій статті вирішуємо задачу побудови математичної моделі муару на основі кратних періодичних решіток. І на основі цієї моделі побудуємо захист документів.

На рис. 2 показано муар, який утворюється при накладанні двох решіток, які сформовані крапками, що наближені до поліграфічного растру. Адже при друкуванні документів зображення утворюється шляхом перетворення в крапки, які рівновіддалені одна від одної при амплітудній модуляції чи нерівновіддалені одна від одної при раструванні стохастичним методом. Останній випадок не розглядається, оскільки муар не спостерігається при такому раструванні.

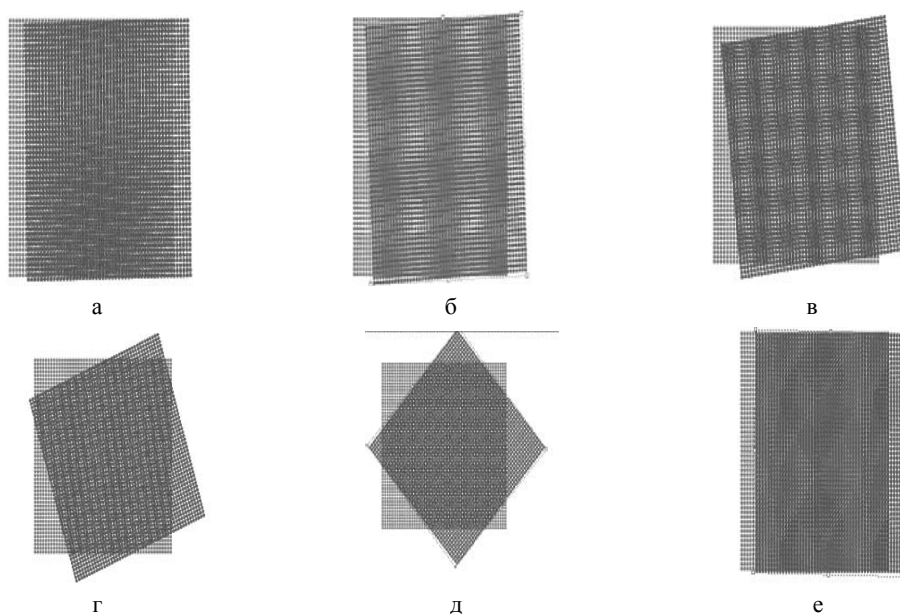


Рис. 2. Муарові решітки утворенні при повороті періодичних структур в а - 1° , б- 3° , в - 7° , г- 20° , д- 45° , е- 90°

На рис.2а муар є малопомітний оскільки кут нахилу лише на 1° . На рис.2б спостерігається муар у вигляді трьох темних ділянок при зміщенні двох структур на 3° , а при зміщенні на 7° - шістьох темних ділянок. Розрізняють декілька видів розеток муару, які показані на рис. 2г, 2д і 2е.

Постановка проблеми. Документ, який потребує захисту, міститиме велику кількість тонких ліній. При цьому будуються тонкі паралельні лінії товщиною до 0,25 мм, що значно утруднює копіювання на офісній чи сканерній техніці. При копіюванні такого документу створюється муарова решітка, що спотворює вигляд документа та призводить до викривлення форми, чи й повної втрати елементів зображення на копії. Метод захисту, який побудований на виявленні ефекту муару, дозволяє візуально легко відрізнити фальшиву копію від оригіналу. У зв'язку з цим

друковані документи повинні мати захисні елементи, виконані тонкими лініями з меншою оптичною роздільною здатністю повторень, величина яких буде меншою за базову роздільну здатність копіювальної або скануючої техніки.

Технологія захисту передбачає, що документ буде надрукований поліграфічним способом із захисними елементами. Коли зловмисник намагатиметься сфальсифікувати документ на захисних елементах утвориться муар – поява решітки.

Суть даної моделі полягає у створенні електронного документу із нанесенням захисних елементів які будуть надруковані поліграфічним способом. Захисні елементи створені векторним методом та виведені на основі технології pdf. При спробі оцифрування документа та його фальсифікації утвориться муар, математична модель якого отримується у даному дослідженні.

В загальному випадку періодичні структури можуть бути ідентичними та різними. Математична модель формування муару для ідентичної структури побудована в [1]. Неідентичні структури можуть бути побудовані кратними один одному.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При побудові технології захисту документів з формуванням муару на основі кратних періодичних решіток використано праці Emin Gabrielyan. В [2] розроблено модель муару шляхом побудови тонких кругових або кривих ліній, які при копіюванні утворюють муар, таким чином захищають документи від фальсифікації.

Мета статті. Отже, побудова математичної моделі муару на основі кратних періодичних решіток є актуальною задачею для формування методу захисту друкованих документів. Така технологія дозволить захистити документ надійніше та ефективніше.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виклад основного матеріалу дослідження. Муарові лінії створюються від перетину базового та допоміжного шару, що показано на рис. 3 [3].

На рис. 3 базовий шар містить лінії, які рівновіддалені з періодом T_r і знаходяться під кутом α_r до початку відліку системи координат. Допоміжний шар матиме період повторення ліній T_b і з нахилом α_b . При накладанні базового та допоміжного шару створюється муарна решітка, яка показана пунктирною лінією. На рисунку показано, що вузли муарної решітки матимуть довжину l та знаходитимуться під кутом α_m . Проекції на вісь ординат базового та допоміжного шару P_b та P_r .

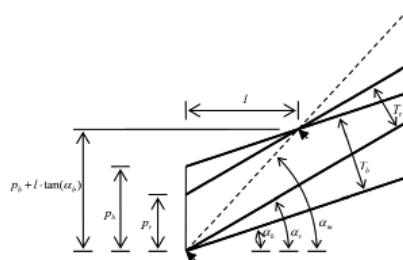


Рис. 3. Схема утворення муарових ліній, які залежать від кута нахилу α базового та допоміжного шарів

З описаного рисунку випливає, що

$$\begin{cases} \tan \alpha_m = \frac{p_b + l \cdot \tan \alpha_b}{l} \\ \tan \alpha_r = \frac{p_b - p_r + l \cdot \tan \alpha_b}{l} \end{cases} \quad (1)$$

Отже

$$\tan \alpha_m = \frac{p_b \cdot \tan \alpha_r - p_r \cdot \tan \alpha_b}{p_b - p_r}. \quad (2)$$

З тригонометричних відношень маємо: $T_b = p_b \cdot \cos \alpha_b$, $T_r = p_r \cdot \cos \alpha_r$, $T_m = p_m \cdot \cos \alpha_m$.

Підставивши в (2) одержуємо

$$\alpha_m = \arctan \left(\frac{T_b \cdot \sin \alpha_r - T_r \cdot \sin \alpha_b}{T_b \cos \alpha_r - T_r \cos \alpha_b} \right) \quad (3)$$

Після певних перетворень отримуємо:

$$T_m = \frac{T_b \cdot T_r}{\sqrt{T_b^2 + T_r^2 - 2 \cdot T_b \cdot T_r \cdot \cos(\alpha_r - \alpha_b)}} \quad (4)$$

Розглянемо часткові випадки формування муарних решіток.

Випадок 1. Допоміжний шар має період у k -разів менший за період базового шару, отже $T_b = kT_r$.

Якщо одна з решіток має період в k -раз більший за іншу решітку, то дослідимо модель формування муару базового та допоміжного шару. Розглянемо випадок коли одна з сіток має період у два рази більший за базовий шар. Сітки будемо повертати під різними кутами, першу сітку повертатимемо на кут α_r , а другу на α_b .

З (4) отримаємо:

$$T_m = \frac{kT_r^2}{\sqrt{k^2 T_r^2 + T_r^2 - 2 \cdot kT_r^2 \cdot \cos(\alpha_r - \alpha_b)}}. \quad (5)$$

Після перетворень випливає:

$$T_m = \frac{kT_r}{\sqrt{k^2 + 1 - 2k \cos(\alpha_r - \alpha_b)}}. \quad (6)$$

Побудуємо залежності кута повороту базового та допоміжного шару решіток, періоду допоміжного шару від періоду зміни муарної решітки T_m . Отримані залежності представлено на рис. 4. Дослідження проводилось для чотирьох випадків, у яких період базового шару був у один, два, чотири та вісім разів більший за допоміжний. Відповідно отримано чотири рисунки змін залежності періоду муарної решітки T_m від кута нахилу α_b та періоду допоміжного шару T_r .

Розглянемо випадок коли періоди базового та допоміжного шару однаковий (рис. 4.a). з рисунку випливає, що період муару різко збільшується при малих кутах повороту між базовим та допоміжним шарами. Проведено дослідження і виявлено, що період муарної решітки T_m змінюється при куті повороту від -20° до $+20^\circ$, що на рис.4.a показано різке збільшення T_m .

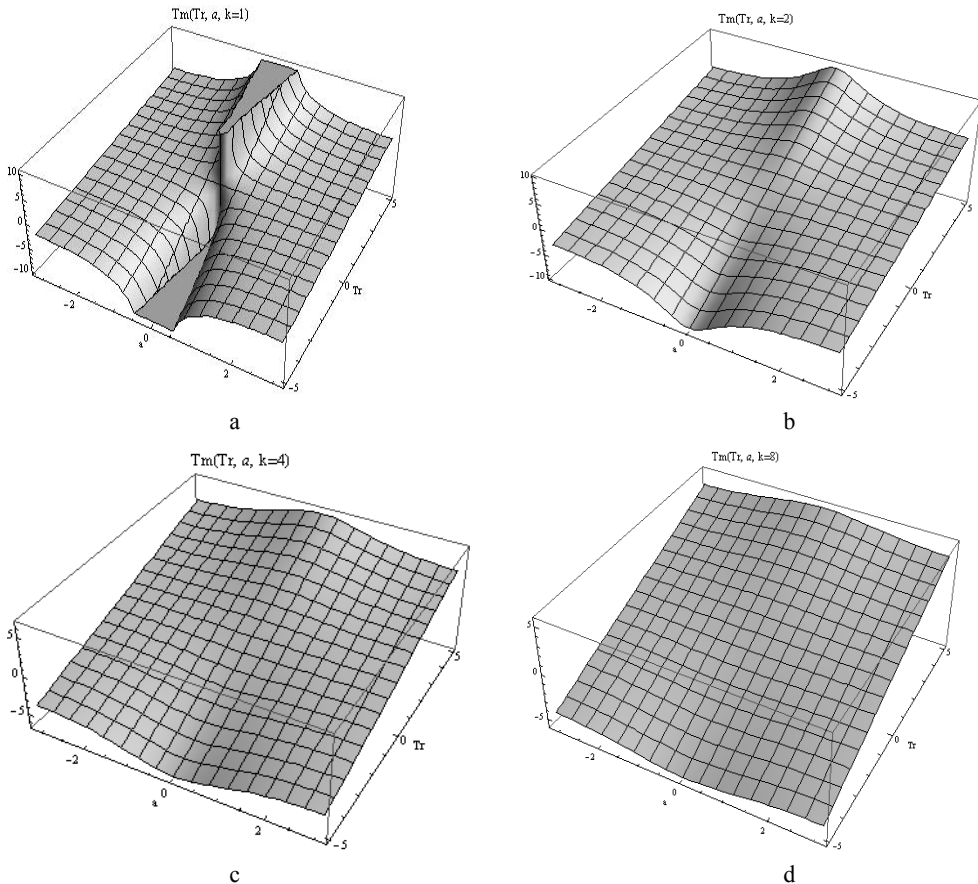


Рис. 4. Залежність періоду зміни муарної решітки T_m від кута нахилу решітки базового шару α , та періоду базового шару $T_r \in [0,01]$, коли $k=1$, - a; $k=2$, - b; $k=4$, - c; $k=8$, - d.

На рис. 4.b показано випадок, коли допоміжний шар має в два рази менший період за базовий. Графік залежності має більш плавний характер. Отже кути повороту між базовим та допоміжним шаром менше впливають на формування періоду муарної решітки. На рис 4.c та 4.d показані випадки ще більшої зміни між періодом базового та допоміжного шару. З графічних представлень випливає, що період муарної решітки стає меншим.

Випадок 2. Товщина ліній базового шару на більша за товщину допоміжного шару, отже . (див. рис. 5).

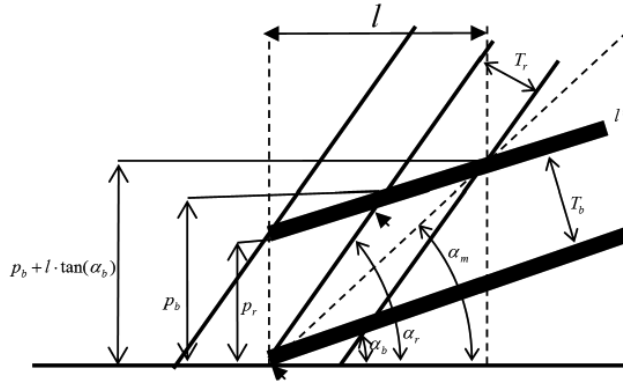


Рис. 5. Схема утворення муарових ліній, які залежать від кута нахилу α базового та допоміжного шарів.

З формули (1),(2) та

$$T_b = p_b \cdot \cos \alpha_b - l^*,$$

$$T_r = p_r \cdot \cos \alpha_r,$$

$$T_m = p_m \cdot \cos \alpha_m,$$

впливає:

$$\tan \alpha_m = \frac{(T_b + l^*) \cdot \sin \alpha_r - T_r \cdot \sin \alpha_b}{(T_b + l^*) \cdot \cos \alpha_r - T_r \cdot \cos \alpha_b} \tag{7}$$

Відомо [3], що

$$p_m = \frac{p_b \cdot p_r}{p_b - p_r}.$$

Звідси

$$T_m = \frac{(T_b + l^*) \cdot T_r \cdot \cos \alpha_m}{(T_b + l^*) \cdot \cos \alpha_r - T_r \cdot \cos \alpha_b}. \tag{9}$$

Також відомо, що

$$\cos \alpha_m = \frac{1}{\sqrt{1 + g^2 \alpha_m}}$$

Підставивши в (7) отримуємо

$$\cos \alpha_m = \sqrt{\frac{(T_b + l^*) - T_r}{(T_b + l^*)(\cos \alpha_r - \sin \alpha_r) - T_b}}$$

Звідси впливає, що

$$T_m = \frac{(T_b + l^*) \cdot T_r \cdot \sqrt{\frac{(T_b + l^*) - T_r}{(T_b + l^*)(\cos \alpha_r - \sin \alpha_r) - T_b}}}{(T_b + l^*) \cdot \cos \alpha_r - T_r} \tag{10}$$

З виведених математичних залежностей побудовано графіки залежності періоду зміни муарної решітки T_m від кута нахилу решітки базового шару α_b та періоду базового шару при значеннях $l^*=0.01$, $l^*=1$, $l^*=5$, $l^*=10$, див. рис. 6. З побудованих графіків формуємо дані про муарові решітки, які в майбутньому використовуватимемо при побудові системи захисту документів.

Висновки. Побудовано математичну модель формування муару двох шарів для випадку, коли допоміжний шар має період у k -разів менший за період базового шару, отже $T_b = kT_r$, і на її основі сформовано залежності періоду зміни муарної решітки T_m від кута нахилу решітки базового шару α_b та періоду базового шару $T_r \in [0,01]$. Побудовано математичну модель формування муару двох шарів для випадку, коли товщина ліній базового шару на більша за товщину допоміжного шару, отже і на її основі сформовано залежності періоду зміни муарної решітки T_m від кута нахилу решітки базового шару α_b та періоду базового шару.

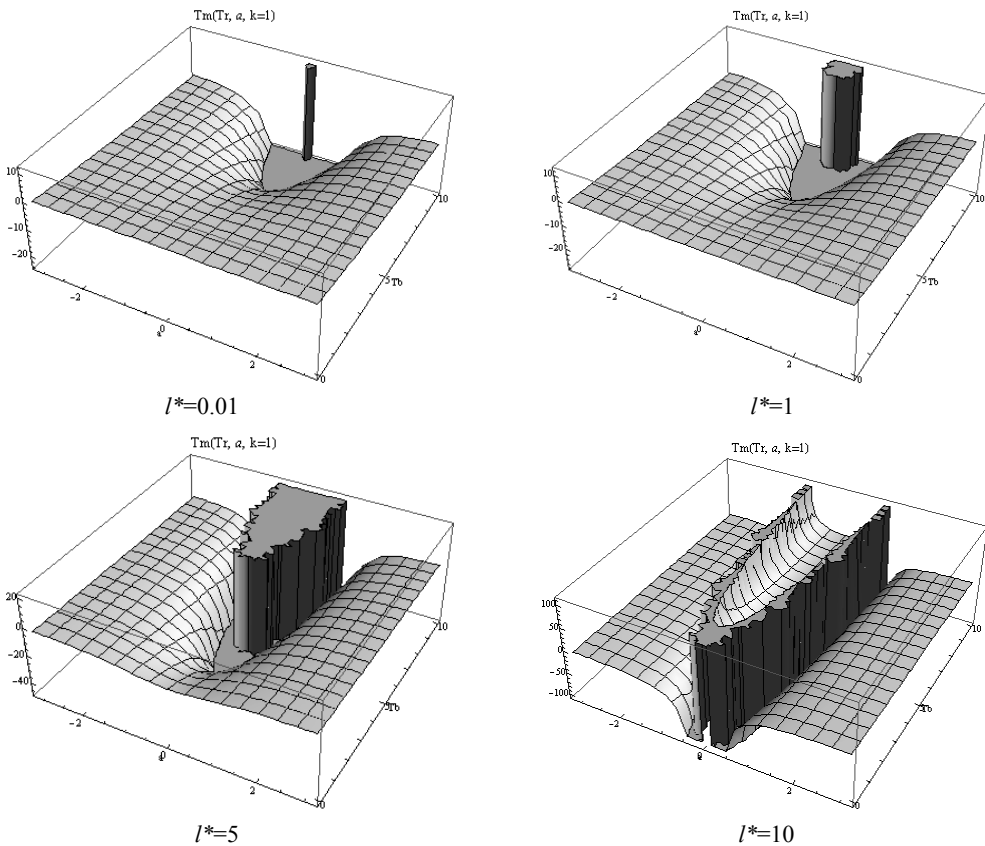


Рис. 6. Залежність періоду зміни муарної решітки T_m від кута нахилу решітки базового шару α_b та періоду базового шару

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом № Ф62/75-2015.

Список використаних джерел

1. Дронюк І.М. Метод створення мультимедійних документів, захищених елементами на основі ефекту «муар»// М. А. Назаркевич, Троян О./ У мат.ХІV-ої міжнародного наукового семінару «Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці, освіті» 29 червня -03 липня 2015р.,Київ-Світязь//К.: СІК ГРУП УКРАЇНА, 2015.-С.207-209.
2. Emin Gabrielyan The basics of line moiré patterns and optical speedup [Електронний ресурс] / Emin Gabrielyan. — Режим доступу : <https://docs.switzernet.com/people/emin-gabrielyan/070306-paper-moire-basics/paper-eps.pdf>
3. Isaac Amidror The Theory of the Moiré Phenomenon. - Kluwer Academic Publisher, 2000.

References

1. Dronyuk I.M. (2015) The method of creating multimedia documents, secure elements based on the effect of “moiré” // MA Nazarkevych, Troyan A. / In mat. XIVth international scientific seminar “Current problems in management science, economics, education” 29 June -03 July 2015., Kyiv-Svitiaz // K. : JUICE GROUP UKRAINE.-S.207-209. (in Ukrainian)
2. Emin Gabrielyan The basics of line moiré patterns and optical speedup [Електронний ресурс] / Emin Gabrielyan. — Режим доступу : <https://docs.switzernet.com/people/emin-gabrielyan/070306-paper-moire-basics/paper-eps.pdf>
3. Isaac Amidror (2000), The Theory of the Moiré Phenomenon. - Kluwer Academic Publisher.

MATHEMATICAL MODEL OF MOIRE FORMATION BASED ON PERIODIC MULTIPLE LATTICES TO PROTECT DOCUMENTS

M. A. Nazarkevych, O.A. Troyan

The method based on moiré patterns provides a reliable and effective protection of printed documents from forgery. The mathematical model is based of moiré effect for multiple periodic lattices. It allows the formation of moire to detect falsified documents. The method of protection is effective and difficult to falsification as a latent image is visually visible in the process of creating copies of the document.

Key word moire patterns, optical effects, protected printing, vector graphics.

*Стаття надійшла до редакції 02.03.2015
Received 02.03.2015*