

УДК 620.179.680

О.В. Горда

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ЛОКАЛІЗАЦІЯ ДЕФЕКТУ ТИПУ «ТРИЩИНА» НА РЕШІТЧАСТИХ, ФРАКТАЛЬНИХ ТА ОРНАМЕНТАЛЬНИХ 2-D СТРУКТУРАХ

Запропоновано метод визначення розташування дефекту типу «тріщина» на регулярних поверхнях об'єктів будівництва за їх візуальним зображенням. Досліджена можливість застосування методу для решітчастих, фрактальних та орнаментальних 2-D структур.

Ключові слова: решітчаста структура, паралелограм, функція кольору, тріщина

Постановка проблеми

Перспективним методом неруйнівного контролю об'єктів будівництва є дослідження їх візуальних зображень, отриманих за допомогою оптичних засобів, наприклад, web-камер. Першочерговою і важливою процедурою при розв'язанні цієї задачі є локалізації дефекту на зображенні. Розв'язання задачі може значно ускладнюватись наявністю фактури на поверхні об'єкта дослідження, яка буде утворювати регулярний шум, тому такі випадки потребують розробки спеціальних методів ефективного виявлення перешкод та відшукування дефекту.

Аналіз досліджень

Традиційно, будівельними 2-D структурами є цегляна кладка або монолітний балочний бетонний каркас споруд. Структури, які на зображенні у загальному випадку утворюють паралелограми називаються решітчастими. Відзначимо, що кути при відповідних вершинах є однаковими для всіх паралелограмів (рис. 1):

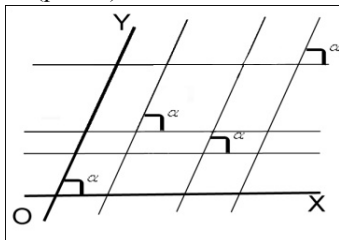


Рис. 1. Приклад решітчастої структури

Решітчаста структура утворюється сукупністю паралельних ліній, причому будемо розглядати загальний випадок, коли крок між цими лініями довільний. Введемо для такої структури поняття орієнтації. Пара векторів \overline{OX} та \overline{OY} – задає орієнтацію решітчастої структури

$E: Or(E) = (\overline{OX}; \overline{OY})$. Дві структури E та V однаково орієнтовані, якщо: $Or(E) = Or(V)$ або, що означає $\{\overline{OX}_E \updownarrow \overline{OX}_V; \overline{OY}_E \updownarrow \overline{OY}_V\}$.

Для визначення орієнтації $Or(E)$ можна запропонувати два підходи:

1. Метод порівняння кутів;
2. Проекційний метод.

Сутність методу порівняння кутів полягає у такому:

- фіксується довільний напрямок \vec{l} у довільній точці $(\cdot)M$;
- із системи лінійних рівнянь визначаються точки перетину прямої, проведеної у напрямку \vec{l} з лініями, що утворюють решітку і найближчими до точки $(\cdot)M$: $(\cdot)M_1, (\cdot)M_2, (\cdot)M_3, (\cdot)M_4, (\cdot)M_5$ (рис.2).

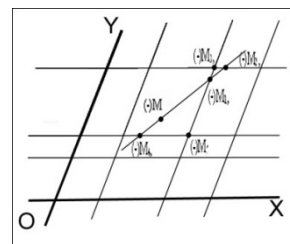


Рис.2. Визначення опорних точок решітки методом порівняння кутів

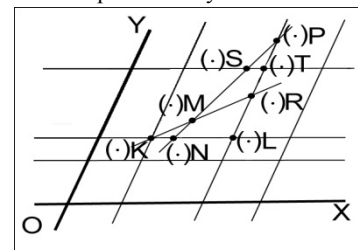


Рис.3. Визначення опорних точок решітки проекційним методом

3) $\overline{M_3M_2} = \overline{OX_E}$, $\overline{M_5M_1} = \overline{OY_E}$;
 $crit\{\angle M_2M_3M_1 = \pi - \angle M_1M_5M_4\}$;

4) Зміщуючи точку $(\cdot)M$ на величину $l > |M_5 - M_4|$ у напрямку $\overline{M_5M_4}$ для суміжного паралелограма (з номером N) отримаємо:

$$\left\{ \overline{M_3M_2} \uparrow \uparrow \overline{M_3^N M_2^N} \right\} \wedge \left\{ \overline{M_5M_1} \uparrow \uparrow \overline{M_5^N M_1^N} \right\}.$$

Сутність проекційного методу полягає у такому:

1. Фіксуємо довільну точку $(\cdot)M$.
2. За допомогою вписаного кола з центром в обраній точці визначаємо точку дотику до елемента решітки $(\cdot)N$.
3. Визначаємо точки $(\cdot)L$ і $(\cdot)K$ наступним чином:

$$\forall \varepsilon \exists x \in O_\varepsilon^1[(\cdot)L], \left\{ col(x) \neq col(y) \in O_\varepsilon^1[(\cdot)M] \right\} \text{ і}$$

$$\forall \varepsilon \exists x \in O_\varepsilon^1[(\cdot)K], \text{ що}$$

$$\left\{ col(x) \neq col(y) \in O_\varepsilon^1[(\cdot)M] \right\},$$

де $O_\varepsilon^1[\cdot]$ – півокіл точки, вибраної у напрямку \overline{NM}
 $col(\cdot)$ – функція визначення кольору точки.

- 1) Точка $(\cdot)N \in \overline{KL}$.
- 2) Із системи лінійних рівнянь знаходимо координати точки $(\cdot)P$, виконуючи такі кроки:
 - розв'язуючи систему $KM \times LM$, визначаємо точку $(\cdot)R$;
 - із системи $LR \times MN$ знаходимо точку $(\cdot)P$.

Якщо система $LR \times MN$ не буде мати розв'язку, то це означає, що $\overline{PN} \parallel \overline{RL}$, а отже визначена пряма, на яку буде проектуватись відрізок, відтворений за кольором, що відповідає точці $(\cdot)K$.

Якщо система $LR \times MN$ має розв'язок, то визначаємо коефіцієнти прямої l :

$$\text{точка } (\cdot)N \in l \text{ і } l \parallel \overline{RL}.$$

- 3) В точці $(\cdot)K$, $\parallel l$ відтворюємо за кольором (попередній абзац) відрізок \overline{KS} і точку $(\cdot)S$.
- 4) В точці $(\cdot)S$, $\parallel \overline{KL}$ відтворюємо точку $(\cdot)T$.
- 5) $crit\{(\cdot)T \in LR \times \{S, \parallel \overline{KL}\}\}$.

Визначивши орієнтацію решітчастої структури на зображенні дефекту, перейдемо до дослідження зображення. Для цього застосуємо наступний метод.

Визначимо початковий елемент решітчастої структури (рис. 4):

- $\forall (\cdot)M$ будемо вважати вибраною, якщо $(\cdot)M \notin \partial\Gamma$, де $\partial\Gamma$ - границя елемента Γ , тобто $\forall \varepsilon \forall x \in O_\varepsilon[(\cdot)M] col(x) = col((\cdot)M)$;
- якщо $(\cdot)M \in \partial\Gamma$, то далі можливо виконати наступну процедуру: із співвідношення $\left\{ (\cdot)M - (\cdot)T \right\}^2 = \varepsilon^2 \cap \{\partial\Gamma\}$ визначаємо $(\cdot)T_1, (\cdot)T_2$

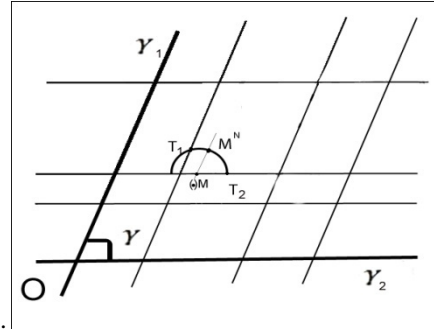


Рис.4. Визначення початкового елемента решітки

- нова точка початкового наближення $(\cdot)M^N$ визначається з умови: $\left\{ \overline{MM^N}, \overline{T_1T_2} = \gamma \right\} \cap$
 $\cdot \cap \left\{ (\cdot)M^N \in \overline{MM^N} \right\} \cap \left\{ (\cdot)M^N \in O_\varepsilon[(\cdot)M] \right\}$.

Визначений таким чином напрямок $\overline{MM^N}$ використовується для локалізації $(\cdot)M^N$.

Локалізація $(\cdot)M^N$ виконується у такому порядку.

1. Будемо функцію зміни кольору вздовж променя $\overline{MM^N}$ (рис. 5).

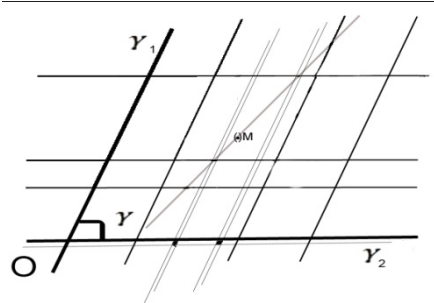


Рис.5. Промінь визначення зміни кольору

2. Визначаємо колір $col(\partial)$ як той, що на промені $\overline{MM^N}$ має меншу довжину.
3. Початкове положення $(\cdot)M$ доцільно вибирати у центрі зображення, тоді довжина відрізка променя, на якому будують функцію зміни кольору L_C задовольняє умові: $L_C \leq \frac{\sqrt{(W^2 + L^2)}}{2}$,
де W – ширина зображення;
 L – довжина зображення.

Таким чином визначена початкова точка $(.)M$ процесу відтворення паралелограма, що породжує решітчасту структуру, ліній розмежування решітчастої структури і орієнтація $Or(E)$ цієї структури.

Розглянемо процедуру відтворення структури породжуючих паралелограмів:

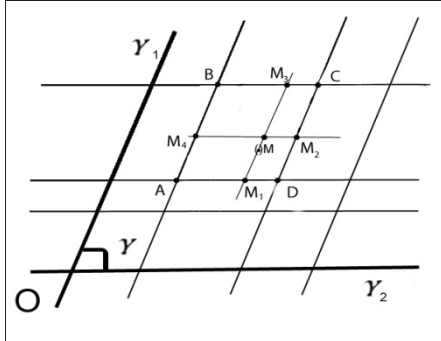


Рис.6. Відтворення структури решітки

1. З $(.)M$ в напрямках γ_1, γ_2 проводимо паралельні лінії і визначаємо точки їх перетину з лініями решітки $(.)M_1, (.)M_2, (.)M_3, (.)M_4, (.)A, (.)B, (.)C, (.)D$.

2. Уточнення границь паралелограма будемо здійснювати, виходячи з таких міркувань: нова координата у напрямку γ_2 точок $(.)B (.)C$ (позначимо $(.)B_{\gamma_2}^N, (.)C_{\gamma_2}^N$) визначається із

співвідношень ($Intcol$ – колір в середині області):

$$(.)B_{\gamma_2}^N = (.)C_{\gamma_2}^N = \max_{\gamma_2} \{ (.)B_{\gamma_2}^N, (.)C_{\gamma_2}^N, x \in Intcol \};$$

$$(.)A_{\gamma_2}^N = (.)D_{\gamma_2}^N = \max_{\gamma_2} \{ (.)A_{\gamma_2}^N, (.)D_{\gamma_2}^N, x \in Intcol \};$$

$$(.)B_{\gamma_1}^N = (.)C_{\gamma_1}^N = \max_{\gamma_1} \{ (.)B_{\gamma_1}^N, (.)C_{\gamma_1}^N, x \in Intcol \};$$

$$(.)A_{\gamma_1}^N = (.)D_{\gamma_1}^N = \max_{\gamma_1} \{ (.)A_{\gamma_1}^N, (.)D_{\gamma_1}^N, x \in Intcol \}$$

де $A^N B^N C^N D^N$ – вершини породжуючого паралелограма.

3. У напрямках $\overline{MM_1}, \overline{MM_2}, \overline{MM_3}, \overline{MM_4}$ з урахуванням значень $col(\partial), Intcol$ визначаємо нові точки породжуючих паралелограмів.

4. Повторюємо п.1-п.3 до тих пір, поки не відновимо породжуючі паралелограми на всьому зображенні за критерієм:

$$Crit_{stop} \equiv \left| \frac{\sum S_{\text{вірних}} + \sum S_{\text{розмежувань}}}{S_{\text{зображення}}} - 1 \right| \rightarrow \min.$$

У результаті виконання зазначених вище процедур визначаємо на зображенні області розташування елементів, що породжують решітчасту структуру.

Далі більш детально розглянемо процедуру перевірки справедливості твердження: $x \in Intcol$. Для уточнення значень $Intcol$ розглянемо два принципово різних випадки проходження тріщини через породжуючий решітчасту структуру паралелограм (рис. 7 та 8).

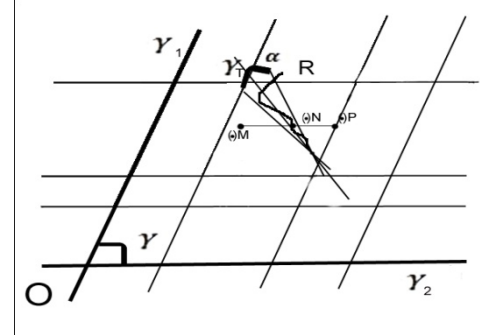


Рис.7. Розташування дефекту із заходом на основний елемент

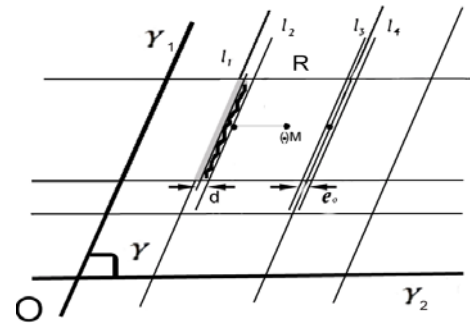


Рис.8. Розташування дефекту на межі

У випадку розташування тріщини, що показано на рис.7, при визначенні місця положення сторони паралелограма наявний перетин кривої R , що визначає тріщину з відрізком у напрямку $\overline{MP} \equiv (.)N$. Кут α – атаки тріщини, утворений двома декрементними прямими. Його бісектриса $\underline{\gamma_T}$ утворює кут з γ_2 : $\angle \gamma_T \gamma_2 \neq \gamma$.

Визначення даної ознаки реалізується таким чином:

1. Просуваючись вздовж кривої R від $(.)N$, визначаємо вершину тріщини.
2. Визначаємо сектор і кут атаки тріщини α .
3. Просуваючись вздовж напрямку \overline{MP} за $(.)N$, визначаємо $(.)P$, через яку проходить ребро породжуючого решітчасту структуру паралелограма паралельно $\underline{\gamma_1}$, або визначаємо наступний дефект.

Зазначимо, що цей алгоритм також локалізує тріщину в межах сектора.

Ознакою ребра паралелограма породжуючого решітчасту структуру є локалізація відрізка прямої паралельно $\underline{\gamma_1}$ (або $\underline{\gamma_2}$) в межах не більш ϵ_0 і не менш ϵ_{0min} , що обумовлено технологічними

процесами будівництва (рис.8). N_j , то l – ребро, якщо $\{\forall \varepsilon \in \varepsilon_{0\min} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0 \exists l_3, l_4 (l_3 \parallel l_4 \parallel \gamma_1), \varepsilon_{0\min} \leq mes(l, l_4) \leq \varepsilon : l_3 \succ l \succ l_4\}$.

У випадку, що показаний на рис. 8, при визначенні місця положення сторони паралелограма ознака ребра породжувачого паралелограма є критерієм ребра решітчастої структури.

Введемо означення: $Intcol(\Gamma)$ – границя області $Intcol$. Тоді:

$$\{(\cdot)M^N \in \overline{MM^N}\} \cap \{(\cdot)M^N \in O_\varepsilon[(\cdot)M]\}$$

1. $R \not\subset Intcol(\Gamma): \{\exists \varepsilon_{\min} \geq \varepsilon_0, \exists l_1, l_2,$

$$((l_1 \parallel l_2 \parallel \gamma_1), mes(l_1, l_2) = \varepsilon_{\min} : l_1 \prec R \prec l_2 \}$$

і в області з відніманням смуги $l_1 l_2$ продовжимо локалізацію ребра решітчастої структури.

2. $R \subset Intcol(\Gamma): \{\exists \varepsilon_{\min} \geq \varepsilon_0, \exists l_1, l_2, (l_1 \parallel l_2 \parallel \gamma_1) \}$

$$\cap \{mes(l_1, l_2) = \varepsilon_{\min}\} \cap \{l_1 \prec R \prec l_2\} \cap$$

$$\cap \{\exists l_5 \parallel l_6 \parallel \gamma_1\} \cap \{l_5 \prec l_1 \prec l_2 \prec l_6\} \cap$$

$$\cap \{\{Coll_5 l_1 = Col \partial Col\} \cap \{l_1 l_2 \supseteq R\} \cap$$

$$\cap \{Coll_2 l_6 = Col \text{int} Col\}\}$$

Таким чином, пряма l_2 повинна бути зміщена паралельно γ_1 на величину $d = \varepsilon_{\min}$ вздовж γ_2 для визначення місця положення сторони породжувачого паралелограма.

Значимо, що цей алгоритм також локалізує тріщину типу сколу як вздовж ребра породжувачого паралелограма в межах смуги, так і внутрішню тріщину, для якої $\angle \gamma_T \gamma_2 = \underline{\gamma}$.

Розділяючому кольору структури ∂Col відповідає розділяюча решітчаста структура, що утворюється із зображення відніманням усіх областей відтворених породжувачих паралелограмів. Вивчимо структуру ∂Col з точки зору локалізації в ній тріщин.

Структура ∂Col характеризується замкненістю, зв'язністю, кольоровістю, градієнтом кольоровості вздовж і поперек утворюючих її смуг.

Порушення зв'язності ∂Col можливо у випадку наявності порожнин і зламів, що дає змогу локалізувати дефекти структури.

Під ядром зв'язності решітчастої структури ∂Col розуміється структура у вигляді максимального об'єднання інцидентних смуг з кольором $Col \partial Col$.

Для об'єктів будівництва порушення зв'язності ∂Col спостерігається у випадках, коли зображення містить:

- більш одного об'єкта дослідження;

- край об'єкта дослідження;

- краї тріщини об'єкта дослідження.

Для ядра зв'язності розмежовуючої структури колір визначений як $Col \partial Col$.

Необхідною умовою для виявлення тріщини, що перетинає зону розмежування є таке:

$\{\exists$ зв'язана замкнена множина $M: \{\forall (\cdot)m: \{m \in \partial Col\} \cap \{Col(\cdot)m \neq Col \partial Col\} \cap$

$$\cap \{\{\underbrace{\min M}_{\gamma_1} \equiv (m: coord(m) = \min)\} \cap$$

$$\cap \{\{\underbrace{\max M}_{\gamma_1} \equiv (m: coord(m) = \max)\} \cap$$

$$\cap \{\{\underbrace{\min M}_{\gamma_2} \equiv (m: coord(m) = \min)\} \cap$$

$$\cap \{\{\underbrace{\max M}_{\gamma_2} \equiv (m: coord(m) = \max)\} \cap$$

$$\cap \{\{\{Col(\underbrace{\min M}_{\gamma_1})\} \neq Col \partial Col\} \cap$$

$$\cap \{\{Col(\underbrace{\max M}_{\gamma_1})\} \neq Col \partial Col\} \cup$$

$$\cup \{\{\{Col(\underbrace{\min M}_{\gamma_2})\} \neq Col \partial Col\} \cap$$

$$\cap \{\{Col(\underbrace{\max M}_{\gamma_2})\} \neq Col \partial Col\} \cap$$

$$\{\forall (\cdot)m \in M: \{m \in \Gamma \partial Col\} \cap$$

$$\cap \{\neg \exists \frac{d(Col \partial Col)}{d\gamma_1}\} \cap \{\neg \exists \frac{d(Col \partial Col)}{d\gamma_2}\} \}.$$

Ця точка локального дефекту типу тріщина розділяючої решітчастої структури.

Виконання умови

$$\{\{Col(\underbrace{\min M}_{\gamma_1, \gamma_2})\} = Col \partial Col\} \cap$$

$$\{\{Col(\underbrace{\max M}_{\gamma_1, \gamma_2})\} = Col \partial Col\} \}$$

характеризує тріщину вздовж розділяючої решітчастої структури, або у разі виконання

$$\{\{Col(\underbrace{\min M}_{\gamma_1, \gamma_2})\} \neq Col \partial Col\} \cup$$

$$\cup \{\{Col(\underbrace{\max M}_{\gamma_1, \gamma_2})\} \neq Col \partial Col\} \},$$

характеризує надрив розділяючої решітчастої структури з тієї сторони, де виконується одна із внутрішніх умов.

Під поперечним напрямком ланки розділяючої решітчастої структури розуміється напрямок соосний одному із векторів структури $Or(E)$, вздовж

якого ланка має меншу довжину, ніж довжина вздовж альтернативного напрямку із структури $Or(E)$.

Існування внутрішньої тріщини в елементі (ланці) розділяючої решітчастої структури визначається тими ж способами, що і для твірних паралелограмів.

Існування тріщини, що проходить із розділяючої решітчастої структури в твірний паралелограм визначається наступним чином.

1. Локалізуємо дефект в розділяючій решітчастій структурі методами раніше визначеними. Нехай це буде $(\cdot)M$.

2. Будуємо півокіл $O_\varepsilon^{\gamma_1}[(\cdot)M]$,

де γ_1 задає напрям в твірний паралелограм.

$\varepsilon = \frac{\ell}{2}$, де ℓ довжина суміжного елемента розділяючої решітчастої структури.

3. В $O_\varepsilon^{\gamma_1}[(\cdot)M]$ визначаємо $grad(IntCol)$.

4. Якщо $grad(IntCol)$ як функція у точці $(\cdot)M$ - має розрив, невизначеність або особливість 2-го порядку;
- при $\varepsilon \rightarrow 0$ множина особливих точок.

$O_\varepsilon^{\gamma_1}[(\cdot)M]$ збігається до $(\cdot)M$, то наявний перехід тріщини в $(\cdot)M$ в заданий твірний паралелепіпед.

Аналогічно визначається тріщина, що переходить із $IntCol$ в ∂Col . При цьому: $\varepsilon = \frac{1}{2}$ (ширина елемента розділяючої решітчастої структури в $(\cdot)M$).

Слід зазначити, що посилення можливостей встановлення та розпізнання решітчастої структури наведених алгоритмів можливо за рахунок поліхромності зображення дефекту типу «тріщина» шляхом застосування цих алгоритмів до базових кольорів зображення.

Цей метод локалізації дефекту типу «тріщина» решітчастої структури має природне узагальнення на фрактальні структури – структури отримані заповненням області плоского зображення множиною елементів самоподібних базовим елементам:

$$I = \bigcup_{i=1}^{K_1} B_i \bigcup_{j=1}^{K_2} Z_j \cup \partial Col \quad B_i = \bigcup_{j=1}^{n_i} b_{ij} \quad \forall b_{ij}$$

є результат переносу, повороту, масштабування базового елемента $b_{i1} \forall j b_{ij} \in b_{i1}$,

K_1 - кількість породжуючих елементів;

K_2 - множина замикаючих елементів,

$\forall i, j \quad i \neq j \Rightarrow B_i \cap B_j, b_{ik} \cap b_{il} = 0$.

Кожний породжуючий елемент має границю Γb_{i1} у вигляді замкненої кривої,

де b_{i1} - однозв'язний, не містить полостей;

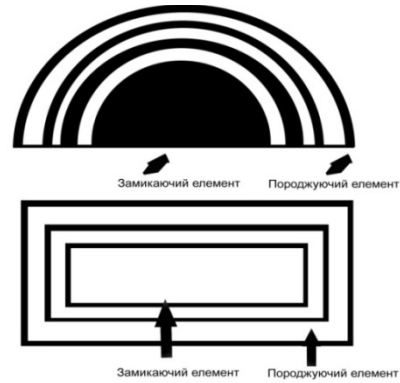


Рис. 9. Приклад фрактальних структур

$\forall b_{ij}$ - породжуючий B_i ;

Γb_{ij} - породжує геодезичну криволінійну систему координат на b_{ij} ;

I - має K_2 замикаючих елементів Z_j .

$Color(Z_j) = \{ \{ color b_{ik} \mid \exists i, k, t, t-1 : \dots G_{t-1}(b_{ij}), \partial Col, G_t(b_{ij}), \partial Col, Z_j \} \wedge \{ color \partial Col \mid \exists i, k, t, t-1 : \dots G_{t-1}(b_{ij}), \partial Col, G_t(b_{ij}), Z_j \} \}$,

тобто колір замикаючих елементів Z_j визначається в процесі укладання.

Для фрактально породженої структури елементами класів B_i визначається розділяюча структура ∂Col як частина зображення

$$\Gamma \bigcup_{i=1}^{K_1} B_i \bigcup_{j=1}^{K_2} Z_j.$$

Таким чином, ∂Col – однозв'язна, одноколірна область, що у просторі криволінійних координат утворює структуру гомотопічну решітчастій структурі.

Для кожної b_{ij} інваріантним відносно масштабування і повороту є центр ваги, що дає можливість побудувати ефективний алгоритм суміщення і класифікації.

Наступним важливим моментом для побудови ефективного алгоритму локалізації є те, що область зображення містить скінченне число елементів, таким чином, забезпечується збіжність процедури локалізації і незалежність від необхідності апріорних даних для всіх b_{i1} :

1. Виберемо будь-який породжуваний елемент b_{i1} .

2. Локалізуємо b_{i1} на I .
3. Факторизуємо пограничний шар по ∂Col .
4. Індуктивно за суміжністю – сумістивши центри ваги базової фігури і фігури, що досліджується, масштабуванням і поворотом визначаємо їх належність до одного класу.
5. Ті елементи що не гомотопічні породжуваному елементу b_{i1} породжують нові базові елементи.
6. Через скінченність елементів в зображенні процедура збігається.

У результаті для фрактальних структур, як і для решітчастих, основним є визначення

$$IntCol_i \text{ і } \partial Col_i$$

У припущенні, що $IntCol_i$ не містить порожнин алгоритм локалізації має вид:

1. Виберемо $(\cdot)M$ як центр I .
2. Утворимо $O_\varepsilon[(\cdot)M]$.
3. Якщо $\dim col O_\varepsilon[(\cdot)M] \neq 1$, то зменшимо ε доти поки $\dim col O_\varepsilon[(\cdot)M] = 1$.
4. Якщо п.3 не виконується, то фіксуємо довільний напрям і далі вздовж його пересуваємо $(\cdot)M$ на 2ε .
5. Процедура п.2-п.3 повторюється.
6. Процедура п.2-п.5 збігається в силу властивостей сукупності I .
7. Далі здійснюємо процедуру замикання по кольору. Із фіксованої $(\cdot)M$ будуємо фігуру – контур, рамки зображення можуть задавати напрямок обходу, методом приєднання точок

$$X \in O_{\varepsilon i}[(\cdot)X], col(\cdot)X = col(\cdot)M.$$

Процедура замикання по кольору має таке завершення:

- контур замкнувся і $\forall (\cdot)X$ всередині контуру $col(\cdot)X = col(\cdot)M \Rightarrow colIntCel = col(\cdot)M$;
- контур замкнувся і $\exists (\cdot)X$ всередині контуру $col(\cdot)X \neq col(\cdot)M \Rightarrow col \partial Col = col(\cdot)M$;
- контур не замкнувся, існують варіанти, показані на рис.10:

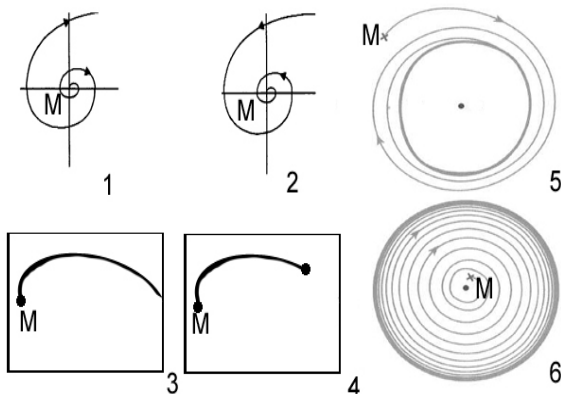


Рис. 10. Типи контурів:

- 1- відповідає визначенню $IntCol$ або гвинтовій структурі як фрактал;
- 2- однорідна область що відповідає гвинтовій структурі як фрактал;
- 3- сепаратриса області зображення;
- 4- визначення тріщини;
- 5- визначення полості;
- 6- відповідає визначенню $IntCol$.

Висновки

У висновку дослідження локалізації фрактальних структур зазначимо, що локалізація здійснюється на відновленій (структурованій) області зображення і власне області зображення за рахунок визначення місця локалізації аномалій кольору, градієнту кольору, неперервності на $I_{вихідне} / I$ методами наведеними для решітчастих структур.

На орнаментальних 2d-структурах – мозаїки, паркети, бордюри, розети,— досліджена вище процедура локалізації має ще більшу роздільну здатність. Зазначимо:

- бордюри допускають перетворення послідовного переносу вздовж прямої базового фрагмента і його дзеркального відображення;
- розети допускають групу перетворення поворотів базового фрагмента відносно фіксованого центра і його дзеркального відображення;
- для відновлення сітчастих паркетів додатково існують 17 груп симетрії і вичерпно-повні 5 типів сіток U, D, Q, T, S;
- для відновлення симетричних орнаментів додатково використовуються групи симетрій, для поліхромних – групи симетрій кольорів;
- для відновлення рекурсивних орнаментів додатково використовуються знання рекурсії.

Для локалізації дефекту типу «тріщина» на орнаментальних структурах застосовні усі методи розглянуті для решітчастих та фрактальних структур, додаткові можливості локалізації з'являються за рахунок локалізації порушень групової яскравості на $I_{ic} I_{вихідне} / I$.

Список літератури

1. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2001.
2. Претт У. Цифровая обработка изображений.– Кн. 2. – М.: Мир, 1982.

Стаття надійшла до редколегії: 20.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, професор С.В. Цюцюра, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ