

ВПЛИВ ШУМУ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ КАНАВОК КАЛІБРУВАЛЬНОГО ЕТАЛОНУ ЧУТЛИВОСТІ

Model of noise introduced by scanner at scanning of X-ray image has been selected; the noise parameters have been estimated. The efficiency of this parameters consideration at construction of filters for noise influence reduction at determining the groove depth of standart by its image has been shown.

Вибрано модель шуму, який вносить сканер під час сканування рентгенографічного зображення, оцінено параметри шуму. Показана ефективність врахування цих параметрів при побудові фільтрів для зменшення впливу шуму на визначення глибини канавок калібрувального еталону за його зображенням.

Визначення глибини канавок за зображенням еталону чутливості – це задача вимірювання, тому необхідно дослідити фактори, які впливають на похибку вимірювання, по можливості зменшити цю похибку. Вхідним об'єктом для аналізу є рентгенплівка зі зображенням зварного шва та еталону. Вважаємо, що для рентгенконтролю була використана рентгенплівка високої якості з задовільною зернистістю і зісканована на сканерах класу вище 2.5D, тобто виконані вимоги міжнародних стандартів [3], що ставлять до цифрових радіографічних плівкових систем.

Під час сканування рентгензнімків вносяться додаткові спотворення – шуми. На зображенні канавкового еталону необхідно розпізнати зміну градацій сірого, що відповідають зміні глибини канавки 0,1 мм (еталон № 1) [2]. Така зміна глибини еквівалентна декільком одиницям зміни градацій сірого на зображенні. Візуально важко відрізнити яскравості різних канавок. Наявність шуму значно впливає на визначення значень градацій сірого канавок, і результати вимірювань градацій сірого в одній і тій самій точці під час першого і наступних сканувань будуть різні. Тому необхідно дослідити природу шуму, його вплив на результати вимірювань, можливість зменшення впливу рівня шуму на вимірювання.

Дослідження шуму на зісканованому зображенні. Для ефективного й автоматизованого аналізу фотоплівки з результатами контролю рентгенплівку зіскановують, представляючи її цифровим зображенням. Під час сканування фотоплівок отримуємо зашумлене зображення з рівнем шуму, який є більш критичним параметром, ніж під час роботи з непрозорим оригіналом. Особливо важливо врахувати шум при вимірюванні глибини дефектів, оскільки глибина дефектів на зображенні відображається ступенем почорніння (відповідною яскравістю). Шум може бути визначений як флуктуації яскравості на зображенні, які не зв'язані зі змінами радіаційного поглинання. Так певні однорідні ділянки на зображенні представлені як неоднорідні (зашумлені). Необхідно оптимально підібрати параметри фільтрів, щоб знизити рівень впливу шумів і не спотворити інформацію. Очевидно, що фільтри мають бути адаптивними, щоб врахувати параметри шуму в певному околі. Тому необхідно дослідити природу шуму, ефективно вибрати модель шуму.

Основою кожного сканера є скануючий блок, який складається з джерела світла, фотоелементів і оптичної системи. Важлива характеристика сканера – якість зісканованих зображень. Кожний елемент скануючої системи робить свій внесок у загальний рівень шуму на зображенні. Визначення рівня шуму і зв'язане з ним поняття сигнал-шум – показник того, наскільки добре передає деталі зображення, отримане під час сканування. Характеристики шуму враховуються при обробці зображень (компресії, пониженні впливу шуму, інтерполяції та ін.).

Вимірювання величини шуму проводять на еталонах, використовуючи серію кадрів одного і того ж зображення. Характеристики шуму визначають і за одним зображенням [3, 4]. Такий підхід до оцінки шуму ефективний при обробці зображень рентгенконтролю зварних швів, оскільки еталон, який наявний на кожному зображенні, не є однорідним, а має отвори і канавки, крім того, рентгенплівка неоднорідно засвітлена. Сканувати декілька разів рентгенплівку при дефектоскопії виробу також не видається можливим.

Тому розглянемо методику визначення параметрів шуму зображення, отриманого однократним скануванням рентгенплівки при дефектоскопії зварного шва, на основі аналізу зображення канавкового еталону.

Модель шуму. Щоб краще врахувати характеристики шуму в алгоритмах обробки, необхідно використати якнайточнішу модель шуму. Модель спостереження для зісканованої рентгенплівки, яка містить сигнально залежний шум, можна записати у такому вигляді [4]:

$$z(x) = y(x) + \sigma(y(x))\xi(x), \quad (1)$$

де $x \in X$ – позиція пікселя в області X ; z – отримані дані; y – ідеальні (невідомі) дані; $\xi : X \rightarrow R$ – незалежний випадковий шум з 0 середнім і середньоквадратичним відхиленням рівним 1; $\sigma : R \rightarrow R^+$ – функція від y , що моделює стандартне відхилення шумових компонент.

У запропонованій моделі [4] шумова складова складається з двох незалежних частин – Пуассонівської сигнально-залежної компоненти η_p та сигнально-незалежної частини, розподіленої за нормальним законом η_g .

$$\sigma(y(x))\xi(x) = \eta_p(y(x)) + \eta_g(x). \quad (2)$$

У роботі [4] доведено, що повне відхилення z в формулі (1) набуває вигляду

$$\sigma^2(y(x)) = y(x)/\chi + b, \quad (3)$$

де $\chi > 0$ і $b > 0$ – параметри Пуассонівського і нормального законів розподілу.

Якщо $a = \chi^{-1}$, то характеристика шуму – середньоквадратичне відхилення – визначається як

$$\sigma(y(x)) = \sqrt{ay(x) + b}. \quad (4)$$

Вибираючи вищеописану модель шуму на зісканованому зображенні, дослідимо характеристики шуму на конкретних зображеннях канавкового еталону. Оскільки σ залежить від яскравості $y(x)$, використаємо алгоритми визначення параметрів шуму за одним зображенням [4, 5], з деякими модифікаціями, враховуючи специфіку зображення канавкового еталону.

Опис алгоритму. Необхідно оцінити функцію $\sigma : R \rightarrow R^+$ згідно з моделлю (1) зашумленого зображення z . Таку оцінку легко зробити, коли ідеальне зображення y має постійну величину яскравості. У реальних умовах цього досягти важко і допускається, що зображення складається з попередньо згладжених ділянок. Алгоритм можна описати такими кроками.

1. Групуємо подібні піксели зображення, використовуючи алгоритм сегментації К-середніх [6], та використовуємо умови оптимального вибору кількості класів (k_i), що базуються на перетвореннях Радона [5].

2. Для кожного i -го сегмента знаходиться середнє значення градації сірого та дисперсії (μ_i, σ_i^2). Вважаємо, що μ_i на кожному сегменті відповідає ідеально-

му значенню $y(x) = \text{const} = \mu_i$.

Використовуючи вираз (3) для апроксимації σ^2 , отримуємо значення σ для заданих з певним кроком u .

Застосовуючи вищенаведений алгоритм до вхідного зображення канавкового еталону (рис. 1), отримуємо відсегментоване зображення з оптимальною кількістю класів $k_i=7$ (рис. 2). У табл. 1 наведені відповідні значення середніх рівнів градацій сірого для кожного сегмента та відповідні значення середньоквадратичних відхилень.

Таблиця 1. Параметри μ та σ для кожного класу сегментованого зображення

	1	2	3	4	5	6	7
μ	0,1199	0,1911	0,2475	0,3069	0,3696	0,4226	0,4960
σ	0,0139	0,0189	0,0188	0,0196	0,0198	0,0213	0,0284

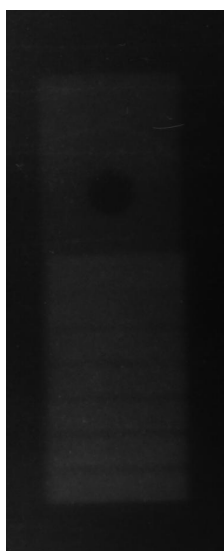


Рис. 1. Зображення канавкового еталону.

Рис. 2. Сегментоване зображення канавкового еталону.

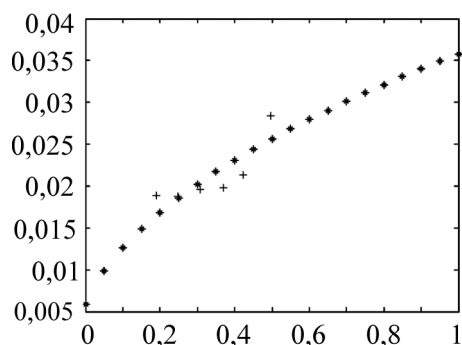


Рис. 3. Залежність середньоквадратичного відхилення σ від значення градацій сірого.

Враховуючи аналітичний вираз (3) для наближення σ^2 , апроксимуємо дані з табл. 1 методом найменших квадратів і отримаємо параметрами a і b . Знаходимо проміжні значення σ (4), для нормованого інтервалу градацій сірого $[0,1]$ (на рис. 3 показано “*”). Наближувані значення показані “+” на графіку (рис. 3).

Так визначили, який буде параметр шуму $\sigma(I)$ для певної I -ї градації сірого на зображенні ($I = \mu \cdot 256$).

Білатеральна фільтрація. Визначивши параметри шуму, які залежать від градацій сірого, використаємо фільтри, що враховують цю залежність. Це, в основному, анізотропні фільтри (Канні, Сюзан, білатеральні). Одними з найбільш швидкодіючих і простих у використанні є білатеральні фільтри [8], що зберігають границі об'єктів, враховують $c(\xi, x)$ – геометричну близькість центра околу фільтра x і ближньої точки ξ , та $s(f(\xi), f(x))$ – фотометричну близькість між пікселем околу ξ і центром x . Такий комбінований фільтр може бути заданий формулою [8]

$$h(x) = k^{-1}(x) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) c(\xi, x) s(f(\xi), f(x)) d\xi \quad (5)$$

з нормалізацією

$$k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} c(\xi, x) s(f(\xi), f(x)) d\xi,$$

де $c(\xi, x) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{d(\xi, x)}{\sigma_d} \right)^2}$, $d(\xi, x) = d(\xi - x) = \|\xi - x\|$,

а функція подібності має вигляд

$$s(\xi, x) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\delta(f(\xi), f(x))}{\sigma_r} \right)^2},$$

де $\delta(\phi, f) = \delta(\phi - f) = \|\phi - f\|$ – різниця між двома інтенсивностями; σ_d – середньоквадратичне відхилення у просторовій області; σ_r – середньоквадратичне відхилення, залежне від інтенсивності.

Щоб оцінити ефективність застосування білатеральної фільтрації, використаємо показник співвідношення сигнал/шум (SNR):

$$SNR = 20 \log \left(\frac{mean(I)}{std(I)} \right),$$

де I – інтенсивності досліджуваного зображення; $mean(I)$ – середнє значення інтенсивності зображення; $std(I)$ – середньоквадратичне відхилення.

Визначимо SNR для вхідного зображення (рис. 1); усередненого зображення, отриманого з двадцятикратного зісканування вхідного зображення; вхідного зображення, обробленого білатеральним та медіанним фільтрами з вікном 3×3 . Результати обчислень наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Значення SNR для різних методів фільтрації

	Вхідне зображення	Усереднення 20 кадрів	Медіанний фільтр	Білатеральний фільтр
SNR	9,6101	9,649	9,6763	9,6958

Аналізуючи показник SNR (таб.2), можна зробити висновок що білатеральний фільтр усуває шум краще і враховує його залежність від інтенсивності.

Аналіз ефективності використання фільтрації для визначення глибини канавок. Оскільки канавковий еталон, який ми обробляємо, визначає 4-й клас чутливості контролю, тому оцінюватимемо глибину перших чотирьох канавок. Для оцінки ефективності використання білатеральної фільтрації, обчислюючи па-

раметри глибини канавок за розробленою нами методикою [1], за еталонне зображення приймемо усереднене зображення, отримане при 20-кратному зчитуванні одного і того ж канавкового еталону, де шум зменшено завдяки усередненню. Будемо оцінювати глибину канавок (H_i) на різних зображеннях: вхідних (H_i^{inp}), оброблених білатеральним фільтром (H_i^{blf}) та на усередненому зображенні (H_i^{mean}). Результати обчислень показані на рис. 4, де “+” позначені глибини канавок на вхідних зображеннях, “*” – на зображеннях, оброблених білатеральним фільтром. Лініями відзначені межі змін глибин канавок для вхідних зображень (перервна) та цих же зображень, оброблених білатеральним фільтром (суцільна). Щоб точніше оцінити обчислені глибини, канавок зведемо отримані результати в табл. 3. Рис. 4 та табл. 3 демонструють, що діапазон зміни глибин канавок для 20-ти зображень вузький в зображеннях, оброблених білатеральним фільтром.

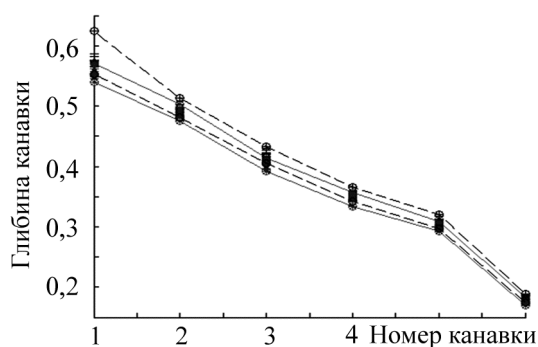


Рис. 4. Глибини канавок за вхідними зображеннями (“+”), за зображеннями обробленими білатеральними фільтрами (“*”).

Таблиця 3. Граничні значення глибин канавок, визначенні за зображеннями

Номер канавки	Глибина канавки				
	Мінімальна за вхідними зображеннями (H_{\min}^{inp})	Мінімальна, за обробленими фільтром зображеннями (H_{\min}^{blf})	За усередненим зображенням (H^{mean})	Максимальна за обробленими фільтром зображеннями (H_{\max}^{blf})	Максимальна за вхідними зображеннями (H_{\max}^{inp})
1	0,5531	0,5403	0,5698	0,5714	0,6241
2	0,4814	0,4754	0,4916	0,5026	0,5136
3	0,4051	0,3914	0,4173	0,4141	0,4325
4	0,3423	0,3338	0,3532	0,3566	0,3654

Нижня оцінка глибин канавок, визначена за вхідним зображенням, майже збігається з оцінкою глибин канавок, визначених за зображеннями, обробленими білатеральним фільтром, а верхні оцінки для всіх канавок нижчі. Значення величин глибин канавок для всіх 20-ти вхідних зображень, оброблених білатеральним фільтром, ближчі до прийнятих нами еталонних глибин канавок, визначених за усередненим зображенням.

ВИСНОВКИ

Запропонована нами методика визначення глибини канавок, яка описана в роботі [1], повинна враховувати фактор шуму, попередньо встановивши його па-

раметри на вхідному зображенні. У процесі визначення глибини канавок калібрувального еталону чутливості за його рентгенографічним зображенням використано фільтрацію з відповідним попередньо оціненим параметром стандартного відхилення шумових компонент, що дало змогу за одним зображенням точніше визначити глибини канавок і тим самим зменшити похибки вимірювань.

1. Воробель Р. А., Опыр Н. В., Бернык З. А., Берегуляк О. Р. Компьютерная технология определения чувствительности рентгенографического контроля по изображению канавочного эталона // Дефектоскопия. – 2009. – № 5. – С. 8189.
2. ГОСТ 7512-82. ДС Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. Введ. 01.01.84. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 32 с.
3. ДСТУ EN 14096-1:2006 Неруйнівний контроль. Оцінювання цифрових радіографічних плівкових систем. Ч. 1. Визначення, кількісні виміри параметрів якості зображення, стандартна контрольна плівка та контроль якості.
4. Foi, A. Trimeche, M. Katkovnik, V. Egiazarian, K. Practical Poissonian-Gaussian noise modeling and fitting for single-image raw-data Image Processing // IEEE Transaction. – 2008. – 7, № 10. – P. 1737–1754.
5. Liu C., Freeman W.T., Szeliski R., and Kang S.B, Noise Estimation from a Single Image // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2006. – P. 210–217.
6. Kanungo T., Mount D. M., Netanyahu N. S., Piatko C. D., Silverman R., Wu, A. Y. An efficient k-means clustering algorithm: Analysis and implementation // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2002. – 24. – P. 881–892.
7. Jimin Liang, Abidi B. R., Abidi M. A. Automatic X-ray image segmentation for threat detection Computational Intelligence and Multimedia Applications // ICCIMA 2003. Proceedings. Fifth International Conference.– 2003. – P. 396–401.
8. Tomasi C. and Manduchi R. Bilateral Filtering for Gray and Colour Images // IEEE Int’l Conf. Computer Vision. – 1998. – P. 439–446.