

Д. Пелешко<sup>1</sup>, А. Клювак<sup>1</sup>, А. Ковальчук<sup>1</sup>, І. Ізонін<sup>1</sup>, М. Голубінська<sup>2</sup>  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
<sup>1</sup>кафедра інформаційних технологій видавничої справи,  
<sup>2</sup>кафедра прикладної лінгвістики

## МОДЕЛЬ УТВОРЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ СПОТВОРЕНЬ ЗОБРАЖЕННЯ

© Пелешко Д., Клювак А., Ковальчук А., Ізонін І., Голубінська М., 2013

Проаналізовано фізичний процес виникнення змазу. Побудовано модель утворення локального спотворення, яке виникає внаслідок руху об'єкта уваги або пристрою реєстрації. Досліджено механізм формування буферної зони між рухомих передньоплановим об'єктом та нерухомих фоном, тобто перехідної зони між зонами повного змазу та неспотвореною зоною.

**Ключові слова:** методи усунення спотворень, функція розсіювання точки, модель локального спотворення.

**Physical process of blurring emergence has been analyzed. Model of local distortion formation, which emerges as a result of movement of an object of attention or a registration device, has been built. Mechanism of buffer area formation between moving object of forefront and immovable background, i.e. transition area between an area of full blurring and non-distorted area, has been studied.**

**Key words:** methods of distortion elimination, point spread function, model of local distortion.

### Вступ

*Змазами* називатимемо такий тип спотворення, який виникає внаслідок динамічних змін об'єктів уваги чи фону під час експонування кадру.

Відомі методи усунення змазів ґрунтуються на математичній моделі змазу, що оснований на природі й особливостях спотворення та описує зміни, що відбуваються із кольорами точок зображення при змазі. Розглядаючи тут поняття змазу, маємо на увазі глобальне спотворення, а не локальне, яке є його складнішою формою.

Хоч існує декілька достатньо ефективних алгоритмів реконструкції зображень, спотворених змазом, не існує способу відтворити таке зображення з нульовими втратами інформативності. Величина цих втрат є мірою ефективності алгоритму реконструкції.

Для того, щоб зрозуміти причину цих втрат, насамперед потрібно перевірити правильність вибраної моделі змазу зображення. Типово ця перевірка повинна здійснюватись процедурою моделювання змазу на неспотвореному зображенні. Для цього зображення штучно спотворюється деяким рухом (переміщенням) з наперед відомими параметрами (траєкторією та рівномірністю). Надалі за наперед визначеною метрикою проводиться порівняння із зображенням, спотвореним природно – під час експонування рухомого об'єкта пристроєм зі світлочутливою матрицею.

### Аналіз методів усунення спотворень

Методи реконструкції спотворених зображень, побудовані на основі деконволюційного перетворення, є одними із найвживаніших на практиці.

У науковій літературі алгоритми деконволюції прийнято поділяти на алгоритми сліпої та не сліпої деконволюції. Частина методів мають апріорну природу, деякі з них передбачають використання спеціального апаратного забезпечення.

Незалежно від типу, для усіх алгоритмів характерним є використання ядра розмиття, тобто ФРТ. Ядро розмиття являє собою ФРТ, яка спричинила розмиття (спотворення) зображення.

Спотворення сигналу від впливом певного ядра розмиття означає, що кожна точка спотвореного зображення є результатом операції згортки. Операцію згортки можна представити так [1]:

$$d_i = \sum_j h_{i,j} c_j, \quad (1)$$

де  $h_{i,j}$  – дискретна функція розсіяння точки є масивом (матрицю), кожен елемент якого визначає пропорцію світла з точки  $j$ , яка наявна в точці  $i$ ;  $d$  – значення функції інтенсивності в точці  $i$  після операції згортки;  $c$  – первісне значення функції інтенсивності в точці  $i$ , тобто таке, яке існувало до операції згортки.

Зазвичай усунення спотворення зображення, спричиненого згорткою, здійснюється одним із методів деконволюції. Усі алгоритми, побудовані на її основі, ґрунтуються на використанні бієктивних гомоморфізмів, тобто такої ФРТ, яка б виконала зворотне перетворення до первісного зображення.

Алгоритми не сліпої деконволюції [5] передбачають наявність заданої функції розгортки. Тобто роблять припущення про характер спотворення і на його підставі будується функція обробки зображення.

Сліпа деконволюція [4, 5] ґрунтується на припущенні про невідоме ядро розмиття, оскільки спотворення може бути спричиненим різними факторами і з різним впливом. Тому при сліпій деконволюції ядро розмиття визначається в процесі роботи алгоритму.

До алгоритмів не сліпої деконволюції належать такі:

*Алгоритм Річардсона–Люсі* [4]. Є одним із найстарших алгоритмів (запропонований в 1974 р). Ітеративний алгоритм відтворення розмитого зображення за відомим ядром розмиття. В основу алгоритму покладено припущення, що точка неспотвореного зображення розподіляється за розподілом Пуассона.

Зважаючи на це припущення, на кожному кроці ітерації кожену точку спотвореного зображення розраховують на основі попереднього власного значення, значення інших точок зображення з попереднього кроку ітерації, значень точок первісного спотвореного зображення та відомого ядра розмиття за такою формулою [4]:

$$c_j^{t+1} = c_j^t \sum_i \frac{d_i}{c_i} h_{i,j}, \quad (2)$$

де

$$c_i = \sum_j c_j^t h_{i,j}. \quad (3)$$

Ітерації повторюються до отримання найімовірнішого за визначеним критерієм деконволюваного зображення.

Недоліками алгоритму Річардсона–Люсі є необхідність знати наперед дискретну функцію розсіяння точки. Якщо спотворення спричинено декількома невідомими факторами, цей алгоритм стає непридатним для відтворення зображення.

*Фільтр Тихонова* є згладжувальною фільтрацією методом найменших квадратів зі зв'язком. В його основу покладено формулювання задачі в матричному вигляді з розв'язанням надалі оптимізаційної задачі.

*Фільтр Вінера* полягає у знаходженні такої оцінки  $f$ , за якої середньоквадратичні відхилення значень шуму були мінімальними.

*Алгоритм Донателлі* передбачає використання для деконволюції часткових диференціальних рівнянь із противідбивною системою обмежень (antireflective boundary conditions). Особливість алгоритму полягає у такому усуненні артефактів деконволюції (ringing effects), яке здійснюється подальшим розмиттям зображення несиметричною дискретною функцією розсіяння точки.

*Алгоритм Христіансенсена–Ханке* є подальшим сумісним розвитком алгоритму Донателлі та фільтрації Тихонова. Він також ґрунтується на використанні противідбивної системи обмежень.

Завдяки використанню елементів тихоновської фільтрації він демонструє трохи кращі за алгоритм Донателлі результати. Проте його недоліком є також необхідність попереднього визначення ФРТ.

*Алгоритм Нееламані* є одним із видів вейвлетної деконволюції. Алгоритм визначається попереднім перетворенням Фур'є вхідного зображення, з подальшим використанням вейвлетного перетворення для усунення шумів.

До алгоритмів сліпої деконволюції належать такі алгоритми:

*Алгоритм Рав-Аха* [2]. Ґрунтується на використанні двох зображень, розмитих однаковим ядром розмиття.

*Алгоритм Юана* [2]. Ґрунтується на використанні двох зображень, одне з яких розмите, а інше містить лише шуми, властиві обидвом зображенням з однаковим ядром розмиття.

*Алгоритм Бен-Езри-Наяра* [3]. Для обчислення ядра розмиття передбачає використання в процесі реєстрації зображення відеоряду із зображенням того самого кадру. Дає змогу отримати дуже якісний вихідний кадр, але через необхідність одночасного фотографування та відеознімання має обмежене прикладне застосування.

*Алгоритм Раскара* [3] є апаратозалежним алгоритмом. У процесі реєстрації затвор камери повинен відкриватись і закриватись з великою частотою для мінімізації втрати дуже дрібних елементів зображення, тобто таких, які є співмірними з розміром зерна роздільної здатності камери.

*Алгоритм Шана* [3] є класичним ітеративним алгоритмом сліпої деконволюції. Ґрунтується на обробці лише одного кадру. На кожному кроці ітерації оновлюється значення ядра розмиття та оброблюваний кадр. Відрізняється від інших алгоритмів тим, що одночасно відбувається очищення кадру від шумів вихідного зображення. *Алгоритм Шана* вважається одним із найефективніших алгоритмів. Найбільша ефективність алгоритму проявляється в очищенні кадрів від розмиття, спричиненого рухом камери, або об'єкта, який реєструється.

### Постановка задачі

Основне завдання полягає у розробленні моделі утворення локальних спотворень, яка забезпечує розроблення реконструктивних алгоритмів усунення змазів, що виникають внаслідок руху об'єкта уваги чи пристрою реєстрації.

### Модель утворення локальних спотворень зображення

Сутність змазу, подібно до спотворення від розфокусування оптичної системи, полягає в тому, що інформація про колір кожної точки перерозподіляється по усьому зображенню за деяким законом. Різниця між різними видами спотворень полягає саме у законі, за яким відбувається цей перерозподіл. Цей закон визначається ФРТ.

Для спрощення викладу моделі утворення локальних спотворень розглянемо спочатку одновимірний випадок. Тобто розглянемо дію деякої ФРТ на звичайному векторі  $\{c_i | i = 1..4\}$ , елементами якого є значення пікселів заданого зображення.

У випадку будь-якого змазу значення функції інтенсивності у точці зони змазу отримує деякий приріст кольору. Зокрема, у разі горизонтального змазу на один піксел внаслідок спотворення значення кожного пікселя додається зі значенням попереднього за координатою (лівого) пікселя та ділиться на два:  $c'_i = (c_i + c_{i-1}) / 2$ . Ця формула впливає з таких міркувань. Оскільки лівий піксел насувається під час руху на заданий, то за час експонування обидва значення рівномірно встигли відтворитись у цій позиції.

В результаті отримуємо нове спотворене зображення:

$$\frac{(c_1 + c_0)}{2} \left| \frac{(c_2 + c_1)}{2} \right| \left| \frac{(c_3 + c_2)}{2} \right| \left| \frac{(c_4 + c_3)}{2} \right|.$$

Це є моделлю утворення ідеального спотворення.

Наведений вище аналіз змазу стосувався загального випадку, тобто без огляду на його тип. Класифікація передбачає існування глобального (повного) та локального (часткового) змазів. Останній є складнішим випадком за перший тип змазу. Тому зупинимось детальніше на моделі

утворення саме локального змазу, тобто на такому змазі, який охоплює не усе зображення, а лише його частину. При цьому решта зображення лишається неспотвореним.

На відміну від повного змазу, який утворюється під час руху камери і за нерухомого фону, частковий має різні механізми утворення. Відповідно до цього треба було б розглядати різні моделі спотворень.

Існує декілька типів локальних змазів. Зокрема такий тип, який утворюється, коли нерухома камера, що експонує кадр, в якому, своєю чергою, наявний об'єкт, що в цей момент швидко рухається відносно власного фону.

Схема утворення такої розмитої ділянки є такою. У момент  $t_n$  затвор закривається. За цей проміжок часу рухомий об'єкт перемістився на деяку відстань, яку, враховуючи дискретну природу цифрової фотографії, можна оцінити скінченною кількістю пікселів  $m$ . Це дає можливість проміжок часу  $\Delta t = t_n - t_0$  розділити на  $m$  рівних відрізків. Протягом кожного з цих відрізків часу кожен піксел рухомого об'єкта залишав відбиток власного значення функції інтенсивності в іншій точці зображення, накладаючи власне значення функції інтенсивності на той, який існував у цій точці позиції раніше. У результаті значення функції інтенсивності у внутрішніх пікселях об'єкта накладаються на значення інших пікселів цього ж об'єкта і виникає класична задача деконволюції.

На краях зони розмиття ситуація є дещо іншою. Краї можна визначити як область вздовж периметра об'єкта по обидві сторони в напрямку руху шириною  $m$  точок (буферна зона). У цій зоні відбувається змішування значень функції інтенсивності рухомого об'єкта зі значеннями функції інтенсивності пікселів нерухомого фону. Оскільки час експонування дискретизовано на  $m$  періодів, то можна вважати, що за одиницю часу  $\tau = 1/m$  значення функції інтенсивності кожної точки буферної зони формується за рахунок  $\tau$ -ї частини значення кольору рухомого об'єкта та  $(1-\tau)$ -ї частини решти значення, яке, своєю чергою, утворюється в результаті адитивного накладання у тій самій пропорції значень функції інтенсивності, що належать об'єкту та фону, над яким цей об'єкт рухався.

Для граничного пікселя об'єкта значення функції інтенсивності визначатиметься за описаним співвідношенням. Для наступного пікселя об'єкта його значення функції інтенсивності  $c(x_i, y_i)$  визначатиметься як результат скалярного добутку векторів  $\mathbf{v} = (\tau, \tau, (1-2\tau))$  і  $\mathbf{F}_i = (f(x_i, y_i), f(x_{i-1}, y_i), f_\Phi(x_i, y_i))$ :

$$c(x_i, y_i) = \mathbf{v} \times \mathbf{F}_i, \quad (4)$$

де  $f_\Phi(x_i, y_i)$ ,  $f(x_i, y_i)$ ,  $f(x_{i-1}, y_i)$  – значення функції інтенсивності відповідно фону, у заданому та у граничному пікселях. За подібною схемою визначатимуться значення функції інтенсивності у кожній точці буферної зони. Останній піксел буферної зони матиме значення функції інтенсивності, яке лише на величину  $\tau$  складатиметься зі значення кольору фону.

Описаний підхід формування значень функції інтенсивності у пікселях буферної зони називатимемо операцією зважування значень функції інтенсивності, а сам вектор  $\mathbf{v}$  – оператором зважування. Треба зазначити, що вказані вище параметри оператора  $\mathbf{v}$  можливі лише за умови рівномірного руху. У випадку нерівномірного руху ці параметри будуть іншими і формуватимуться за правилом: що менший час перебував піксел об'єкта в заданій позиції, то меншою буде його частка значення функції інтенсивності в результуючому значенні. Проте закономірність, отримана для випадку рівномірного руху, зберігатиметься і для  $j$ -го пікселя буферної зони і може бути записана так:

$$c_j = a_j f_j + (1 - a_j) b_j, \quad a_j = \sum_{i=1}^j h_i, \quad (5)$$

де  $j \in [0; m]$ ;  $h_i$  –  $i$ -те ненульове значення дискретної функції розсіяння точки  $h$ ;  $b_j$  – значення функції інтенсивності фону в цій точці;  $f_j$  – інтегральне значення функції інтенсивності у пікселях рухомого об'єкта, які перебували в заданій позиції під час руху об'єкта.

Інакше кажучи, конфігурація та розмірність матриці ФРТ залежать від швидкості, рівномірності, траєкторії руху та від часу експонування кадру. Розміщення ненульових елементів матриці ФРТ повторює траєкторію руху об'єкта за той час, поки світлочутлива матриця

експонувала заданий кадр. Значення елементів матриці пропорційні до швидкості руху об'єкта у проміжок часу від  $t_n$  до  $t_{n+1}$ , який дорівнює  $1/m$  часу експонування кадру, де  $m$  – кількість ненульових елементів матриці. Відповідно, за рівномірного руху ненульові елементи матриці будуть приблизно рівними між собою, а при прямолінійному вибудованими в лінію. Строгий горизонтальний рух породжує вектор рядок, а строго вертикальний – вектор-стовпець.

Звідси можна зробити висновок, що досліджувана буферна зона повторює конфігурацію ФРТ: якщо ФРТ є вектор-стовпцем розмірністю 5 елементів, то буферна зона матиме ширину 5 точок строго зверху та знизу зображення рухомого предмета.

Наближеним прикладом буферної зони може слугувати ділянка зображення з рис. 1. Цей приклад є не зовсім коректним, оскільки згадане зображення є прикладом повного, а не часткового змазу. Незважаючи на це, ділянка сформована за правилом для буферної зони при частковому змазі з причини специфіки зображення шахової дошки: чорна клітинка дошки рівномірним значенням функції інтенсивності насувається, переміщуючись, на попередній відбиток білої клітинки теж рівномірного кольору. Тому клітинку, зафарбовану в чорний колір, можна розглядати як передньоплановий рівномірно зафарбований рухомий об'єкт, а білу – як нерухомий фон, також рівномірного кольору.

Коректніший приклад, який повністю ілюструє ідею буферної зони, можна взяти з природного зображення (рис. 1). Наближене виокремлення обох буферних зон наведено на рис. 2.



*Рис. 1. Наближене виокремлення буферних зон часткового спотворення рухом з попереднього зображення*



*Рис. 2. Природне зображення, частково спотворене рухом*

### **Висновки**

Проаналізовано фізичний процес виникнення локального змазу та детальний механізм формування спотвореного частковим рухом зображення. Досліджено механізм формування

буферної зони між рухомих передньоплановим об'єктом та нерухомих фоном, тобто перехідної зони між зонами повного змазу та неспотвореною зоною.

Отримана методологія визначення буферної зони може бути основою розроблення ефективних деконволюційних методів усунення глобальних та локальних спотворень, які виникають внаслідок руху об'єкта чи пристрою реєстрації.

1. *Дискретне перетворення Фур'є*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу :[http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B5\\_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F\\_%D0%A4%D1%83%D1%80%27%D1%94](http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B5_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%A4%D1%83%D1%80%27%D1%94). 2. Oliveira, João P., Mário AT Figueiredo, José M. Bioucas-Dias. *Blind estimation of motion blur parameters for image deconvolution* // *Pattern Recognition and Image Analysis*. Springer Berlin Heidelberg, 2007. 604-611. 3. Molina, Rafael, Javier Mateos, Aggelos K. Katsaggelos. *Blind deconvolution using a variational approach to parameter, image, and blur estimation* // *Image Processing, IEEE Transactions on* 15.12 (2006): 3715-3727. 4. Lucy, L. B. *An iterative technique for the rectification of observed distributions* // *Astronomical Journal* 79 (6), 1974, p 745–754. 5. Vaseghi S.V. *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction* / Saeed V. Vaseghi. – 3rd ed, John Wiley & Sons Ltd, 2006. – 453 p.

УДК 681.142.2; 622.02.658.284; 621. 325

А. Ковальчук<sup>1</sup>, І. Цмоць<sup>2</sup>, М. Ступень<sup>2</sup>

Національний університет “Львівська політехніка”,

<sup>1</sup> кафедра інформаційних технологій видавничої справи,

<sup>2</sup> кафедра автоматизованих систем управління

## ВИКОРИСТАННЯ КВАТЕРНАРНИХ ДРОБІВО-ЛІНІЙНИХ ФРАКТАЛЬНИХ ФОРМ ПРИ ШИФРУВАННЯ – ДЕШИФРУВАННІ ЗОБРАЖЕНЬ З ЕЛЕМЕНТАМИ АЛГОРИТМУ RSA

© Ковальчук А., Цмоць І., Ступень М., 2013

Запропоновано використання кватернарних дробово-лінійних форм з використанням елементів стандартного алгоритму RSA під час шифрування і дешифрування двовимірних зображень, як стійкого до несанкціонованого доступу до зображень з чітко виокремленими контурами.

**Ключові слова:** кватернарна форма, зображення, контур, стійкість шифрування.

**An application of the kvaternarn fractional-linear form with using the standard elements of the RSA algorithm for encryption and decryption of two-dimensional images is resistant to unauthorized access to images clearly distinguished contours.**

**Key words:** kvaternarna shape, image, contour, firmness encryption.

### Вступ

Проблему підвищення якості систем захисту інформації можна розглядати з позиції економіки, науки і техніки, які зумовили бурхливий розвиток обчислювальної техніки, інформатики, мікроелектроніки, телекомунікацій тощо. Значний внесок у розвиток методів захисту інформації зробили такі вітчизняні й закордонні науковці: І.Д. Горбенко, А.А. Молдован, В.М. Рудницький, В.Ф. Шаньгін, Б. Шнайдер та інші.

Одним із найбільш поширених і стійких алгоритмів шифрування інформації є алгоритм RSA [1]. Він належить до найвживанішої групи алгоритмів з відкритим ключем. Безпека алгоритму RSA основана на ресурсозатратній факторизації великих натуральних чисел. При цьому відкритий і закритий ключі є