

Пупиллометрия в качестве метода экспресс-диагностики наркотической интоксикации: автореф. дис. ... канд. мед. наук: спец. 14.00.20 "Токсикология", 14.00.45 "Наркология" / А.Л. Куцало. – Санкт-Петербург, 2004. – 20 с. 3. Зотов М.В. Дисфункции когнитивного контроля у лиц с суицидальным поведением: данные регистрации движений глаз / М. В. Зотов, В.М. Петрукович // Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы / под ред. В.А. Барбаницикова. – М.: Изд-во ИП РАН, 2010. – С. 384–390. 4. Соломка С.Л., Бушуева Н.Н. Пупиллографические показатели у пациентов с астеновегетативным синдромом // Проблемы экологической та медичної генетики і клінічної імунології: зб. наук. праць. – Вип.4(50). – 2003. – С. 364–366. 5. Bertinotti L.U.C.A., Pietrini U.M.B.E., Del Rosso A.N.G.E., Casale R.O.B.E., Colangelo N.I.C.O., Zoppi M.A.S.S., Matucci-Cerinic M.A.R.C. The Use of Pupillometry in Joint and Connective Tissue Diseases // Ann NY Acad Sci. – 2002. – V. 966, № 1. – P. 446–455. 6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 7. С. Литвин, К. Ручкін. Метод хафа в задачах розпізнавання окружностей // Державний університет інформатики і штучного інтелекту, кафедра програмного забезпечення інтелектуальних систем.

УДК 681.142.2; 622.02.658.284; 621. 325

Д. Пелешко¹, А. Ключак¹, І. Ізонін¹, Ю. Іванов¹, М. Голубінська²
Національний університет "Львівська політехніка",
¹кафедра інформаційних технологій видавничої справи,
²кафедра прикладної лінгвістики

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАЦІЇ ДЕКОНВОЛЮЦІЇ У РЕКОНСТРУКТИВНИХ МЕТОДАХ УСУНЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ СПОТВОРЕНЬ

© Пелешко Д., Ключак А., Ізонін І., Іванов Ю., Голубінська М., 2013

Проаналізовано фізичний процес виникнення змазу. Експериментально підтверджено тезу про те, що формування змазу зображення адекватно описується моделлю на основі конволюції, тобто згортки. Показано, що ядро розмиття, або дискретна функція розсіяння точки, містить в собі інформацію про траєкторію та рівномірність руху, який призвів до спотворення зображення. Визначено, що кількість екстремумів усереднених нормалізованих величин значень стовпців фур'є-образу зображення, спотвореного штучним змазом, корелює з параметрами цього змазу.

Ключові слова: спотворення, деконволюція, функція розсіяння точки, зона спотворення, реконструкція зображень.

Physical process of blurring emergence has been analyzed. Through conducted experiments it has been proved that image blurring formation is adequately described by the model based on convolution, i. e. wrapping. It is shown that blurring center or discrete function of point scattering comprises information about trajectory and uniformity of motion, which has caused an image distortion. It is determined that extremum number of averaged normalized column values of Fourier image distorted by artificial blurring correlates with parameters of blurring.

Key words: distortion, deconvolution, point spread function, distortion area, image reconstruction.

Вступ

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

Під час дослідження зображень, розмитих штучно чи природним способом, найбільшу увагу треба приділяти дослідженню спектральних особливостей зображень. Це визначає побудову і використання метрик, отриманих на основі спектральних характеристик зображення-сигналу. Такий підхід забезпечує краще розуміння природи та механізму формування природного змазу, а відтак уможливорює удосконалення реконструктивних технологій.

Формалізація процесу спотворення зображення внаслідок руху зводиться до побудови математичної моделі змазу, яка, своєю чергою, подібно до випадку спотворення, що виникло внаслідок розфокусування, визначається операцією згортки (конволюції). Формальне визначення цієї операції є таким. Нехай задано деяке дискретизоване зображення $f(x, y)$ розміром $M \times N$, яке зазнає спотворення з ядром розмиття $h(x, y)$ з розмірністю $m \times n$. Це ядро називається *функцією розсіяння точки* (ФРТ, англ. PSF – Point Spread Function) [4]. Додатково світлочутлива матриця накладає випадково розподілений адитивний шум $n(x, y)$. Тоді результуюче зображення $g(x, y)$ зі спотворенням, яке виникло внаслідок руху камери, визначатиметься за такою формулою:

$$g(x, y) = h(x, y) \otimes f(x, y) + n(x, y), \quad (1)$$

де знак \otimes означає операцію згортки.

Шум $n(x, y)$ є невід'ємною частиною сучасних матриць, що проявляється у випадкових відхиленнях значень функції інтенсивності точки зображення від реального значення кольору.

Причини шуму в цифрових сенсорах можуть бути найрізноманітнішими, але основні – це темпові струми в комірках матриці та теплові коливання. До інших причин належать розтікання заряду, рикошети фотонів та їх перелітання світлочутливої зони матриць. Існують також фактори, які впливають на величину шуму. Згідно з ISO до них належать: тип матриці, розмір пікселя, температура, електромагнітні наведення тощо.

Здебільшого шум є гауссовим, параметрами якого є середнє значення та дисперсія, що характеризують значення, яке найчастіше відзначається, та відхилення від нього інших значень. Шум є адитивним і не корелює із зображенням. Він не залежить від розміщення пікселя, тобто є суто випадковим. Саме ця стохастика ускладнює процедури розроблення реконструктивних алгоритмів для зображень, оскільки незалежно від того, який тип спотворення розглядається, шум більшою чи меншою мірою наявний завжди.

Постановка задачі

Основною метою роботи є визначення характеристик цифрового зображення для використання деконволюційних операцій у реконструктивних методах усунення локальних спотворень. Тип локального спотворення визначається рухом об'єкта уваги або пристрою реєстрації.

Функція розсіяння точки

Спотворення, яке відбувається із зображенням, визначається значенням ФРТ $h(x, y)$. Ця функція визначає, яке перетворення відбулося з кожним пікселем зображення. У процесі спотворення кожен піксел початкового зображення перетворюється у випадку розфокусування на пляму, а у випадку простого змазу на відрізок. Цей самий процес може мати інше представлення: значення функції інтенсивності кожного пікселя спотвореного зображення є інтегральною характеристикою значень пікселів деякого околу цього пікселя в неспотвореному зображенні. У результаті цих представлень утворюється спотворене зображення. Закон, за яким спотворюється кожен піксел, визначається функцією розсіяння точки.

Функцію ФРТ у дискретному випадку можна представити матрицею-оператором. Її розмірність, як правило, менша за розмірність усього зображення і є важливою характеристикою спотворення. Саме її дія на значення функції інтенсивності зображення визначає операцію згортки або конволюції, яка у (1) позначалась символом \otimes . При цьому деяка область початкового зображення згортається в один піксел.

У дискретному випадку операція конволюції, наведена у (1), у розгорнутому вигляді записується так [3]:

$$g(x, y) = h(x, y) \otimes f(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b h(i, j) f(x+i, y+j), \quad (2)$$

де $a = (m - 1) / 2$, $b = (n - 1) / 2$.

З сутності самої операції згортки та з (2) випливає, що усі значення матриці ФРТ в сумі дають одиницю. Це означає, що фізичний зміст елементів матриці ФРТ полягає у такому їх визначенні, коли кожен з них виражає пропорцію світла заданої точки, яка спостерігається в інших координатах. Очевидно, за будь-якого конвулятивного спотворення зображення значення функції інтенсивності кожної точки розподіляється по різних координатах без остачі.

Існують типові функції спотворення. Сама назва “функція розсіяння точки” говорить про те, що сама функція представлена матрицею, яка своєю структурою повторює характер спотворення.

Якщо при розфокуванні зображення кожна точка перетворюється на пляму, то усі ненульові елементи матриці ФРТ розміщуються у формі кулястої плями з радіусом розсіювання кожної точки.

У випадку спотворення рухом, тобто змазу, усі ненульові елементи згаданої матриці розташовуються вздовж траєкторії руху спотворення. Це зумовлено тим, що кожна точка розмазується по цій траєкторії під час експонування.

ФРТ представляють у вигляді бінаризованої матриці й визначають її як функцію Хевісайда двох змінних або як дискретну функцію, що складається з двох крокових функцій Хевісайда [2]:

$$h = u(0) - u(a), \quad (3)$$

де a – довжина зони змазу, тобто довжина траєкторії спотворювального руху за час експонування кадру в пікселях.

Також ФРТ можна подати як суму дельта-функцій Дірака, оскільки дельта-функція Дірака є первісною функції Хевісайда [2]:

$$h = \sum_{k=0}^a \delta(k). \quad (4)$$

Операція згортки довільної функції функцією Дірака є зсувом оброблюваної функції на величину параметра функції Дірака. Враховуючи це, чисту операцію згортки зображення (1) можна записати так [1]:

$$h = \sum_{k=0}^a \delta(k) \otimes f = \frac{1}{a+1} (f(x, y) + f(x+1, y) + \dots + f(x+a, y)) = \frac{1}{a+1} \sum_{k=0}^a f(x+k, y). \quad (5)$$

У формулі (5) шум n з (1) ігнорується, а відображається тільки чиста операція конволюції.

Необхідність домножити суму в формулі (5) на коефіцієнт $\frac{1}{a+1}$ пояснюється тим, що за конволюції значення функції інтенсивності зображення перемішуються. Проте сумарно вони не повинні зростати. Тому, підсумовані за (5), вони повинні бути також нормованими, тобто приведеними назад до свого порядку величини діленням на кількість доданків.

Частотна характеристика змазів

Найцікавішими для дослідження змазаних зображень є їх частотні характеристики, оскільки саме у цих характеристиках найбільшою мірою проявляється характер та параметри спотворення. Для дослідження частотних характеристик сигналів використовується перетворення Фур'є [1].

Перетворення Фур'є є інтегральним перетворенням однієї комплекснозначної функції дійсної змінної на іншу. Це перетворення розкладає таку функцію на осциляторні (коливні) функції.

Перетворення Фур'є функції математично визначається як комплексна функція, задана інтегралом [1]:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt. \quad (6)$$

Перетворення Фур'є застосовуються для отримання частотного спектра неперіодичної функції, наприклад, електричного сигналу, тобто для подання сигналу у вигляді суми гармонічних

коливань. Результатом перетворення є набір періодичних функцій. Тобто це фундаментальний інструмент для того, аби представити деякий сигнал з невизначеною періодичністю і часто незрозумілою природою як набір функцій з чітко визначеною періодичністю. Це допомагає зрозуміти суть явища, яке породжує досліджуваний неперіодичний сигнал. Тому область використання перетворення Фур'є є дуже широкою: від пошуку радіосигналів позаземних цивілізацій до досліджень мовних сигналів.

Оскільки дискретне перетворення Фур'є є лінійним перетворенням, то дискретне перетворення Фур'є суми елементів дорівнює сумі дискретних перетворень Фур'є цих елементів. Тоді перетворення Фур'є конвульованого зображення матиме вигляд [1]:

$$\mathbf{F}\{g\} \sim \mathbf{F}\left\{\sum_{k=0}^a f(x+k, y)\right\} = \sum_{k=0}^a \mathbf{F}\{f(x+k, y)\}. \quad (7)$$

У процесі використання (5) та (7) для операції підсумовування використовують набір зображень. У цьому наборі усі зображення є однаковими, оскільки розглядається повний змаз, спричинений рухом камери, а самі зображення відрізняються тільки деяким зміщенням k . Якщо винести це k з самого зображення f , то можна, використовуючи правило кругового зсуву, отримати таке дискретне перетворення Фур'є одиничного первісного зображення, з якого складається змазане зображення [1]:

$$\mathbf{F}\{f(x+k, y)\} = e^{-j\frac{2\pi k}{N}} \mathbf{F}\{f(x, y)\}, \quad (8)$$

де N – повна довжина (добуток розмірностей) зображення.

Підставивши (8) в (7) та нехтуючи поправковим коефіцієнтом $\frac{1}{a+1}$, можемо остаточно подати спектр спотвореного рухом камери зображення через дискретне перетворення Фур'є [1]:

$$F(g) = \sum_{k=0}^a e^{-j\frac{2\pi k}{N}} \mathbf{F}\{f(x, t)\}. \quad (9)$$

Оскільки шум має випадкову природу, то у формулі (9), яка виражає частотні характеристики зображення, він проігнорований.

За допомогою (9) можна показати зв'язок, який існує між фур'є-перетворенням неспотвореного зображення f та фур'є-перетворенням зображення g , спотвореного повним змазом. У результатуючому представленні ця різниця виражається сумою експоненційних функцій $e^{-j\frac{2\pi k}{N}}$. На рис. 1 ліворуч [1] наведено графік суми експоненційних функцій, а в правій частині зображення, яке є візуальним представленням, побудованим на основі цього графіка. Графік і зображення виражають частотні особливості, які накладаються на неспотворене зображення, якщо над ним виконати операцію згортки, тобто це виділена конволюція в чистому вигляді.

Перевірка адекватності моделі змазу на основі операції згортки (конволюції) повинна здійснюватись на двох типах зображень: зображень, спотворених природно, тобто рухом камери, та зображень, штучно спотворених операцією згортки. В ідеальному випадку перевірки спотворення повинні реалізовуватись за допомогою ядер розмиття, які максимально подібні між собою.

На початку над вибраним зображенням проводиться операція конволюції з відомим ядром розмиття. Ядро розмиття вибирають так, щоб імітувати рух камери. Це означає, що у випадку повного змазу по усій площині зображення ядро розмиття представлятиме один з найпростіших спотворювальних рухів. Якщо це рівномірний строго горизонтальний рух довжиною 10 точок, то ядро розмиття буде вектор-рядком розмірністю 10 елементів, кожен з яких матиме значення 0,1. Такий підхід до побудови ядра розмиття прийнятий лише через простоту реалізації, оскільки характер руху для визначення сутності змазу не є принциповим.

На рис. 2 наведено приклад неспотвореного зображення та зображення, розмитого штучно з використанням описаного вище ядра розмиття, яке імітує горизонтальний змаз.

Дослідження цих зображень ґрунтується на використанні перетворення Фур'є.

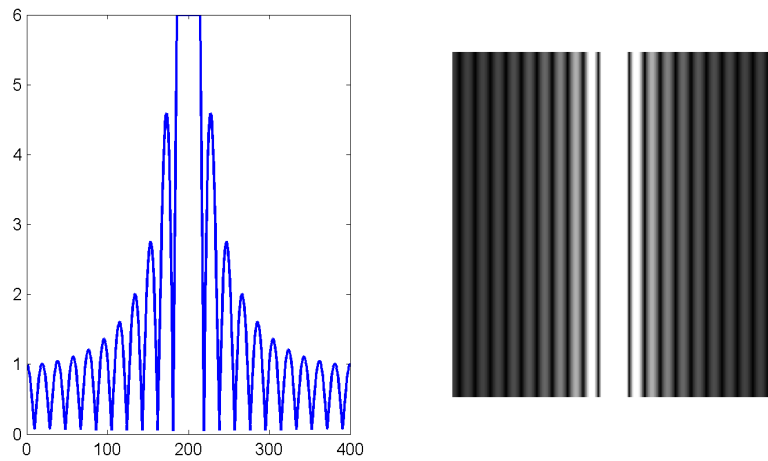


Рис. 1. Сума експоненційних функцій. Графік та синтезоване зображення на його основі

Формула (6) оперує з неперервними функціями. Відповідно результатом перетворення Фур'є є неперервні осциляторні функції. Використати їх безпосередньо стосовно цифрового зображення, яке є матрицею дискретних значень функції інтенсивності, не можна. Для цього випадку пропонується використовувати різновид перетворення Фур'є, яке називається дискретним перетворенням Фур'є (ДПФ) [1].



Рис. 2. Оригінальне зображення та результат його штучного спотворення

Дискретне перетворення Фур'є за сутністю є звичайним перетворенням Фур'є, але для випадку дискретних величин. Якщо неперервне перетворення Фур'є на вході приймає неперервну функцію, а на виході повертає набір комплексних неперервних функцій, то дискретне перетворення Фур'є на вході приймає послідовність простих або комплексних чисел, а на виході повертає набір комплексних значень тієї самої довжини N . Розраховується ця послідовність за формулою (10) [5].

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-2i\pi k \frac{n}{N}}. \quad (10)$$

На практиці дуже часто використовується інший різновид цього перетворення, а саме швидке дискретне перетворення Фур'є. Швидке перетворення Фур'є дає змогу досягнути того самого результату з використанням значно менших обчислювальних ресурсів. Якщо складність обчислення дискретного перетворення Фур'є звичайним способом оцінюється у $O(N^2)$, то швидке перетворення лише у $O(N \log N)$.

Саме тому для дослідження відмінностей між вихідним та штучно спотвореним зображеннями використовувалось швидке дискретне перетворення Фур'є.

Порівняльні результати подано на рис. 3.

Праве зображення рис. 3 стосується вихідного зображення, а ліве – результату штучного розмиття ядром горизонтального руху.

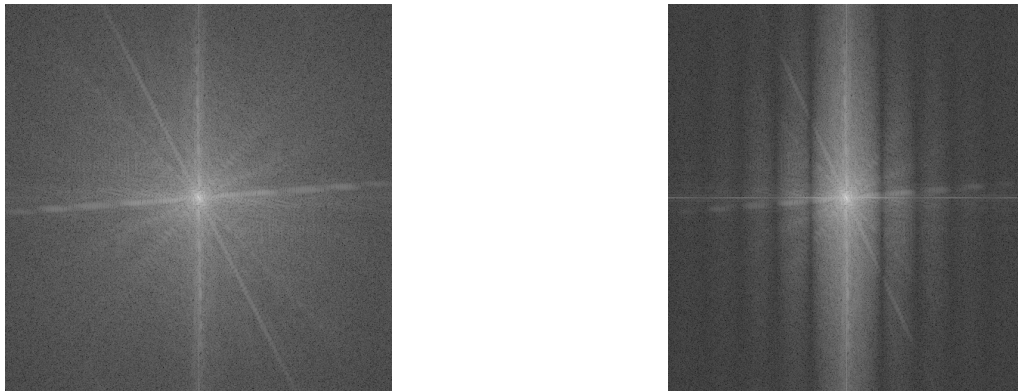


Рис. 3. Візуалізація результатів дискретного перетворення Фур'є до і після штучного спотворення горизонтальним ядром розмиття

У результаті досліджень амплітудного спектра в логарифмічній шкалі виявлено, що природне зображення не має чіткої закономірності повторень у своєму спектрі. Усі його складові, як дійсна, так і уявна частини, мають хаотичний характер, подібний до шуму. Це саме і характерно для природних зображень.

Натомість у спотвореному зображенні з'являється деяка систематичність, яка проявляється у вертикальних періодичних лініях. Ці лінії однаково наявні у дійсній та в уявній частині фур'є-образу зображення. Якщо почленно додати дійсну та уявну частини та знайти їх середні значення у кожному стовпці зображення, то на графіку ця послідовність матиме вигляд, наведений на рис. 4 [3].

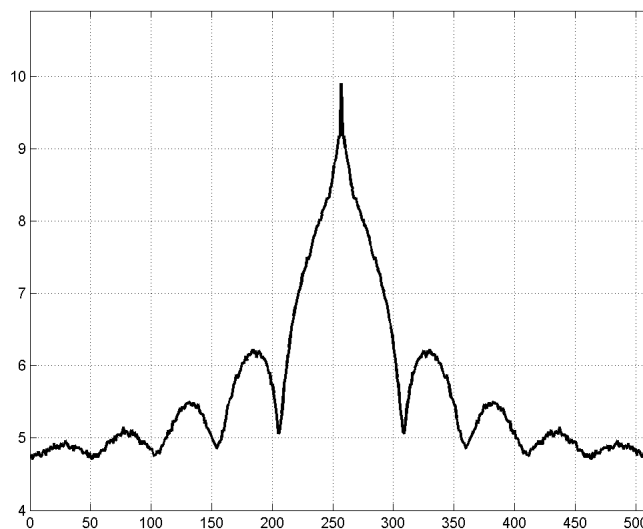


Рис. 4. Усереднені нормалізовані величини значення стовпців фур'є-образу зображення, спотвореного штучним горизонтальним змазом

Для порівняння ту саму характеристику, але для випадку неспотвореного зображення (праве зображення з рис. 3) наведено на рис. 5.

Головна відмінність графіків, наведених на рис. 4 і 5, полягає у наявності на графіку спотвореного зображення (8) періодичних екстремумів. У природного неспотвореного зображення таких екстремумів немає. Це дає нам підстави сформулювати два твердження.

Твердження 1.1.

Кількість екстремумів усереднених нормалізованих величин значень стовпців фур'є-образу зображення, спотвореного штучним змазом, корелює з параметрами цього змазу.

Для підтвердження твердження 1.1 розглянемо числові параметри досліджуваного зображення і горизонтального штучного змазу. Наведені на рис. 4 результати стосуються штучного горизонтального змазу на 10 пікселів. Кількість екстремумів дорівнює 9. Центральний екстремум

має подвійну товщину, можна вважати, що вона дорівнює сумі десятих екстремумів. Цю закономірність можна пояснити повторами значень функції інтенсивності при накладанні кольору в процесі змазування на сусідні точки. Саме тому кількість екстремумів дуже близька до довжини змазу. В ідеальному варіанті вони є рівними між собою: адже кожна точка накладається на 10 інших точок.

Подібний експеримент повторено ще на 20 зображеннях. Окремо розглянуто випадок вертикального змазу. Усі експерименти дали результати, подібні до описаних. Отже, на основі результатів практичних експериментів підтверджено тезис про кореляцію кількості екстремумів з характеристиками штучного змазу.

Затухання на краях графіка, наведеного на рис. 4, виникають внаслідок сортування результатів перетворення Фур'є.

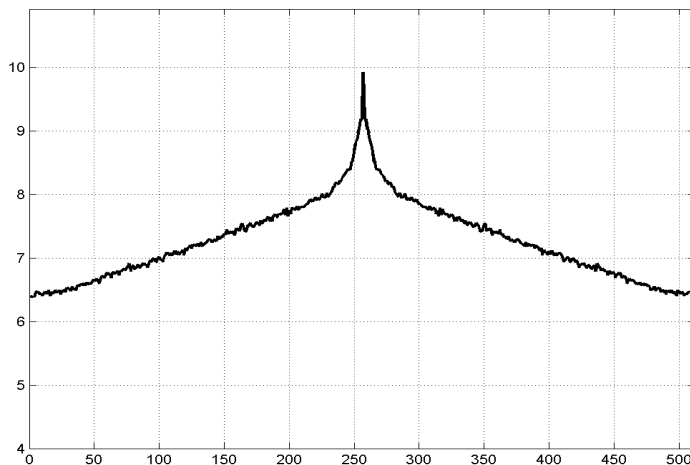


Рис. 5. Усереднені нормалізовані величини значень стовпців фур'є-образу природного неспотвореного зображення

Твердження 1.2

Кількість та частота екстремумів усереднених нормалізованих величини значень фур'є-образу зображення, спотвореного штучним змазом, інваріантна до зміни параметрів цього змазу.

Сформульоване твердження визначає, що існують характерні особливості змазу, незалежні від зміни параметрів оператора розмиття. Для перевірки цього висновку виконано ще декілька експериментів з тим самим початковим зображенням, але різними параметрами змазу. Рис. 6 та 7 ілюструють результати цих експериментів для випадку штучного горизонтального змазу.

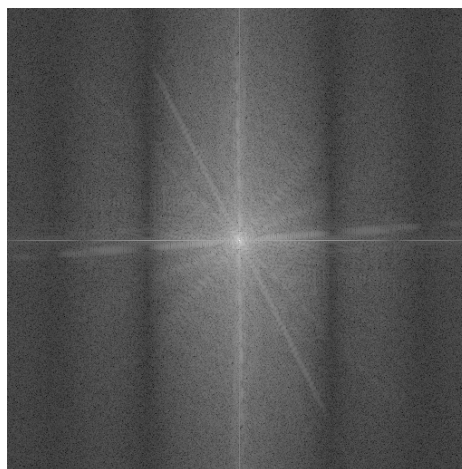
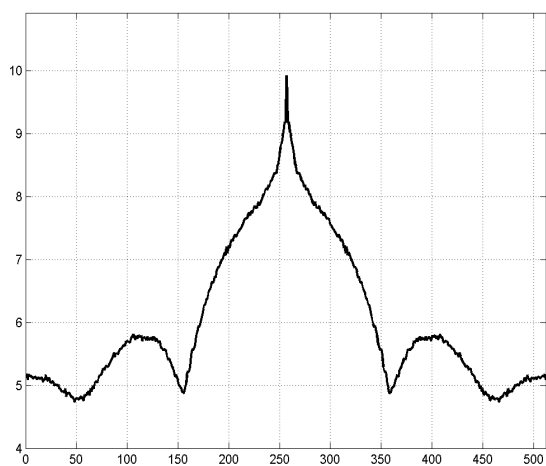


Рис. 6. Візуалізація результатів перетворення Фур'є для зображення зі штучним горизонтальним змазом на 5 пікселів

На кожному з цих рисунків права частина містить зображення відсортованого спектра, обчисленого подібно до результату, наведеного на рис. 3. А ліва частина відповідно є графіком, складеним із середніх значень стовпців зображення правої частини, тобто є своєрідним зрізом цього зображення, визначеним подібно до наведеного на рис. 4.

Наведені графіки експериментальних досліджень наочно підтверджують правильність твердження про інваріантність.

Тенденція з чергуванням додатних та від'ємних локальних екстремумів з центральним глобальним екстремумом характерна і подібна до випадку експонентної моделі, графік якої наведено на рис. 1. Це означає, що цю особливість спектра зображення можна прийняти як один з критеріїв розпізнавання змазу зображення.

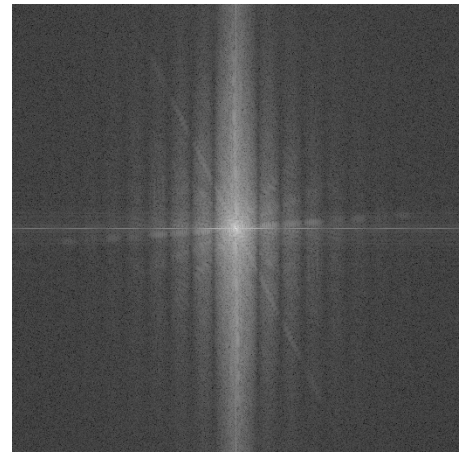
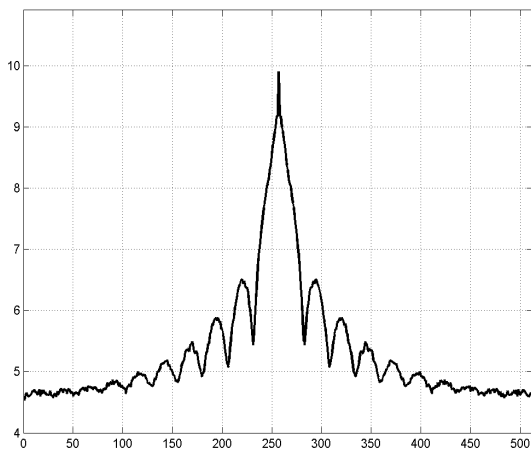


Рис. 7. Візуалізація результатів перетворення Фур'є для зображення зі штучним горизонтальним змазом на 20 пікселів

Остаточна перевірка адекватності моделі змазу полягає у порівнянні даних, отриманих під час дослідження штучно спотворених зображень, із відповідними даними для зображень з природним змазом.

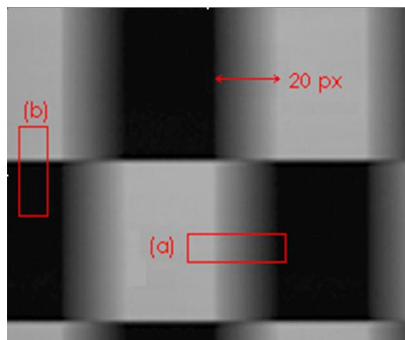


Рис. 8. Приклад зображення з природним горизонтальним змазом

Для цього використано бібліотеку зображень та методологію, наведені в [3]. Для отримання природного змазу заздалегідь відомими параметрами та визначеним характером змазу автори сконструювали спеціальний пристрій, що являє собою рухома камеру на рейці. Рухома камера, рухаючись рівномірно та прямолінійно, знімає шахову дошку з доволі значним часом експонування. Так отримують зображення, спотворене повним змазом під впливом рівномірного прямолінійного руху. Тобто отримується змаз з тими самими формальними параметрами, що в описаних вище експериментах. Отримане у такий спосіб зображення наведено на рис. 8 [3].

Характер змазу відповідає очікуваному, що можна побачити наочно із самого зображення. Через специфіку зображення шахової дошки, яка полягає у використанні лише двох кольорів (чорний – мінімальна яскравість та білий – максимальна яскравість), що займають протилежні позиції на шкалі яскравості, напрямки зсувів, їх довжина та рівномірність спотворювального руху є видимими за флуктуаціями яскравості на спотвореному зображенні. Про горизонтальність руху свідчить характер перепаду яскравості зображення на ділянках *a* та *b*. На ділянці *b*, вертикально орієнтованій, зміна яскравості є дуже різкою, подібно до такої, що на первісному зображенні. Це свідчить про відсутність руху в горизонтальному напрямі. Водночас перепад яскравості на ділянці *a*, горизонтально орієнтованій, чітко помітний, й більше, якщо побудувати графік середньої величини яскравості за стовпцями зображення на цій ділянці, то з нього можна побачити, що зміна яскравості відбувається майже за лінійним законом. Це дає підстави стверджувати, що спотворювальний рух був не лише

прямолінійним у горизонтальному напрямі, але й рівномірним. Про довжину ж цього руху (тобто відстані, що пройшла кожна точка зображення за час експонування цього кадру) можна зробити висновки за шириною ділянки зображення (смуги), на якій спостерігався перепад яскравості зображення. Тобто там, де значення функції інтенсивності не є чисто білого чи чорного кольору, є сумішшю цих кольорів. У наведеному прикладі ширина цієї ділянки, поміченої червоною стрілкою, становить 50 точок. Це і є довжина траєкторії спотворювального руху.

Усі проведені досліджені й наведені вище їх результати зі штучно спотвореними зображеннями проводились і з природним зображенням із чітко визначеним змазом, яке наведене на рис. 8. Результати цих досліджень, зокрема це графік частот та його зображення, отримані подібно до наведених на рис. 6, 7, подано на рис. 9.

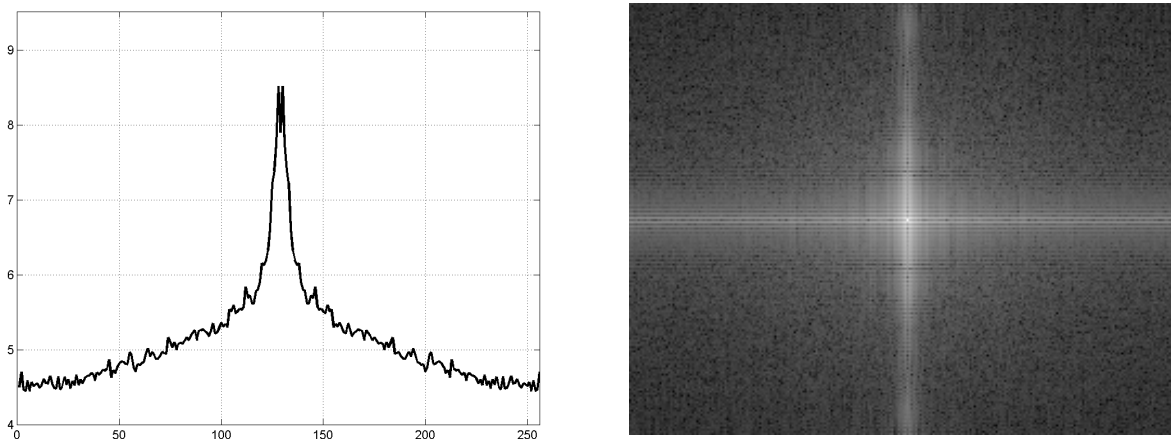


Рис. 9. Візуалізація результатів перетворення Фур'є для зображення з природним змазом

Наведені результати дають підстави стверджувати, що природне зображення містить набагато більше шуму, аніж те, розмиття на якому отримано штучно. Про це свідчить більша кількість дрібних екстремумів на графіку з рис. 9. Очевидно, що на природному зображенні картина не така чітка і однозначна, як на зображенні зі штучним розмиттям. Проте і тут можна виділити ознаки, характерні для випадку горизонтального змазу. З піксельного аналізу самого зображення визначено, що довжина змазу становить 20 пікселів, тоді як на наведеному на рис. 9 графіку можна виділити 18 регулярних екстремумів, що достатньо близько до параметра реального змазу. Ці піки подібно проглядаються і на синтезованому зображенні, наведеному на рис. 9.

Оскільки у випадках штучного і природного спотворень проявляються однакові спектральні характеристики, можна зробити висновок про адекватне представлення моделі змазу на основі операції згортки. Звідси випливає, що реконструктивні алгоритми, основані на операції деконволюції, можуть реалізувати усунення змазу на природних зображеннях.

Деяка відмінність між штучним та природним змазами пояснюється шумом світлочутливої матриці. Таке змішування максимально наближається за остаточним результатом до природного випадку. Як засвідчують практичні дослідження, навіть незначна домішка шуму істотно погіршує результати реконструкції зображення. Шум внаслідок його випадкової природи не надто сприймає людське око на цілісному зображенні. Але в разі виконання реконструктивних алгоритмів на основі операції оберненої згортки він вносить суттєві додаткові спотворення до відновленого зображення.

Дослідження природи змазу в роботі для простоти викладу проводилось з використанням рівномірного прямолінійного горизонтального спотворення. Спотворення реальних природних зображень відбувається значно складнішими траєкторіями. Такі траєкторії не мають настільки чітких відображень в спектрі зображення. Тому описаний вище спосіб детектування наявності та параметрів змазу не можна без додаткових модифікацій використовувати для усіх випадків спотворень.

Висновки

Проаналізовано фізичний процес виникнення змазу. Виконанням експериментів підтверджено тезу про те, що формування змазу зображення адекватно описується моделлю на основі конволюції, тобто згортки.

Показано, що ядро розмиття, або дискретна функція розсіяння точки, містить інформацію про траєкторію та рівномірність руху, який призвів до спотворення зображення.

Виявлено, що різницю між фур'є-образами спотвореного повним змазом зображенням і неспотвореним зображенням становить сума експоненційних функцій. На основі цього сформульовано твердження, що кількість екстремумів усереднених нормалізованих величин значень стовпців фур'є-образу зображення, спотвореного штучним змазом, корелює з параметрами цього змазу.

Доведено, що кількість та частота екстремумів усереднених нормалізованих величини значень фур'є-образу зображення, спотвореного штучним змазом, інваріантна до зміни параметрів цього змазу.

1. *Schuon S. The Nature of Motion Blur*, режим доступу: http://ai.stanford.edu/~schuon/deblur/download/schuon_nature_of_motion_blur.pdf 2. *Васьков С. Т. Быстрая цифровая реконструкция сигналов и изображений по критерию минимума энергии / С. Т. Васьков, В. М. Ефимов, А. Л. Резник // Автометрия. – 2003. – № 4. – Т. 39. – С. 14–20.* 3. *Владимир Южиков, Blind Deconvolution – автоматическое восстановление смазанных изображений. Режим доступу: <http://habrahabr.ru/post/175717/>.* 4. *Клювак А.В. Оцінка дискретної функції розсіяння точки спотвореного рухом зображення / А.В. Клювак, Д.Д. Пелешко // Комп'ютерні технології: наукові праці. – Миколаїв, 2011. – Т. 173, № 161. – С.64–67.* 5. *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.*

УДК 004.738.5

В. Висоцька¹, Л.В. Чирун¹, Л. Чирун²

Національний університет “Львівська політехніка”,
¹кафедра інформаційних систем та мереж,
²кафедра програмного забезпечення

АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРИ ТА СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОЇ КОНТЕНТ-КОМЕРЦІЇ

© *Висоцька В., Чирун Л.В., Чирун Л., 2013*

Проаналізовано основні проблеми електронної комерції та функціональних сервісів управління контентом. Запропоновано модель життєвого циклу контенту в системах електронної комерції. Модель дає можливість створити засоби опрацювання інформаційних ресурсів у системах електронної контент-комерції та реалізувати підсистеми формування, управління та супроводу комерційного контенту.

Ключові слова: інформаційний ресурс, контент, система управління контентом, життєвий цикл контенту, система електронної контент-комерції.

In the given paper the main problems of e-commerce and content function management services are analyzed. Content lifecycle model in electronic commerce systems is proposed. The model gives an opportunity to create an instrument of information resources processing in electronic commerce systems and to implement the subsystem of commercial content formation, management and support.

Key words: information resources, content, content management system, content lifecycle, electronic content commerce system.

Вступ. Загальна постановка проблеми

Базова інфраструктура систем електронної контент-комерції (СЕКК) розширена за рахунок більшої динамічності застосувань (інтерактивні можливості): простих форм запитів і форматування контенту на основі JavaScript для браузера; API для Web-сервера (NSAPI і ISAPI), що дозволяють