

Conclusions

In this paper the structure of inductive technology of system-information-analytical researches from the standpoint of informative-logical relationships of its subsystems and blocks was considered. Whole technological process of IT SIAR of search-type, from problem statement up to choosing of the final result, was described.

1. Osypenko V.V. *Inductive technologies of system-analytical research as an effective tools in complex innovative projects* // V.V. Osypenko, In: *Inductive modeling of complex systems*. — K.: ISECTS. 2012 —No. 4. — Pp. 11—20. 2. Osypenko V.V. *The Results Estimation in the Integrated System-Analytical investigations Technologies* / V.V. Osypenko // *USiM*. — 2012. — № 1. — Pp. 26 — 31. [In Russian]. 2. Osypenko V.V. *System of criteria in inductive procedures of system- information-analytical researches* / V.V. Osypenko // *System technologies*. —No. 6 (71). — Dnipropetrovs'k. — 2011. — Pp. 106—113. [In Ukraine].

УДК 01.05.02; 05.13.06; 05.13.21

Д. Пелешко¹, О. Маковейчук², А. Ковальчук¹, А. Клювак¹

¹Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційних технологій видавничої справи,

²Національний транспортний університет

УСУНЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЧАСТКОВИХ СПОТВОРЕНЬ ДЛЯ ВІДТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ПІДХОДУ

© Пелешко Д., Маковейчук О., Ковальчук А., Клювак А., 2013

Запропоновано метод реконструкції зображення, частково спотвореного рухом. Характер спотворення – змаз фону з неспотвореним переднім планом. Для реконструкції використовуються алгоритми автоматизованого пошуку спотвореної ділянки, диференціювання та інтегрування зображення, математичної морфології та деконволюції.

Ключові слова: зображення, передній план, морфологія, деконволюція.

Reconstructive method for images, distorted by partial motion blur with unblurred inclusions, is proposed. It involves the algorithms of automated blur detection, images differentiation and integration, mathematical morphology and deblurring.

Key words: image, foreground, morphology, deconvolution.

Постановка проблеми

У галузі цифрової обробки зображення багато уваги приділяється деконволюції розмитих рухом зображень. Здебільшого йдеться про обробку рівномірно спотворених зображень, тобто таких, на кожній ділянці яких відбулось спотворення однакової природи. Характер спотворення зображення визначається значенням функції розсіяння точки (ФРТ). Для рівномірно спотворених зображень значення ФРТ однаково для усього зображення. Такі зображення покращуються одним із давно відомих способів (віннерівська фільтрація, метод Люсі-Річардсона тощо). Однак жоден з цих методів не можна застосувати, якщо спотворення часткове, оскільки одночасна обробка всього зображення, на якому є спотворені та неспотворені ділянки, призведе, зрозуміло, до ще більшого спотворення зображення. Такі зображення з частковим спотворенням (надалі розглядатимемо

тільки один з його видів – спотворення рухом) можуть бути декількох видів і спричиняються різними обставинами експонування кадру. Кожен з них потребує специфічного підходу. В цій роботі запропоновано комплексний підхід до відтворення зображення, на якому неспотворена ділянка оточена спотвореним фоном. Такий тип спотворення виникає внаслідок слідкування об'єктивом камери за об'єктом, що швидко рухається. В цьому випадку об'єкт виглядатиме цілісним і неспотвореним, оскільки він під час експонування не рухався відносно об'єктива, а решта зображення буде розмита за єдиною траєкторією, оскільки нерухомий щодо землі об'єкт рухався відносно камери. Прикладом такого природного зображення може бути зображення на рис. 1, на прикладі якого і продемонстровано надалі роботу методу. Це зображення природне і не є результатом штучного спотворення [1].



Рис. 1. Початкове спотворене зображення

Виклад основного матеріалу

Реконструкція зображення такого типу, як на рис. 1, передбачає виконання декількох кроків.

I. Оцінка ФРТ спотвореної ділянки зображення.

Може проводитись, зокрема, за допомогою методу, описаного в [2]. Коротко суть методу полягає у тому, що досліджуються усі можливі краї перепадів величин кольорів точок. При цьому перебираються усі можливі варіанти порогового значення, за яким формують маски країв зон з різними кольорами. Статистично найзначущіший варіант має відповідати траєкторії спотворювального руху. Після визначення траєкторії руху оцінюють значення елементів матриці ФРТ, узагальнивши різницю кольорів точок уздовж обчисленої траєкторії. Результатом роботи алгоритму є матриця.

Прохід робиться по усьому зображенні без розділення спотвореної і неспотвореної ділянок, оскільки в неспотвореному зображенні рідко відзначається перенесення кольорів точок по паралельних траєкторіях, а отже, статистика країв перепадів кольорів цієї ділянки буде значно менш упорядкована і не спотворюватиме закономірностей спотвореної ділянки.

II. Виокремлення неспотвореної ділянки зображення

Знаючи ФРТ спотвореної ділянки зображення, можна виділити маску неспотвореної ділянки.

Із сутності такого типу спотворення, як спотворення рухом, випливає, що кожна точка спотвореної ділянки, повторюючи рух по певній траєкторії, вносить частинки свого кольору в інші точки, які лежать на цій траєкторії. Тобто відбувається накладення в кожній точці розмитого зображення кольорів усіх точок, розміщених на відстані довжини траєкторії руху від заданої точки. З іншого боку, кожна точка ніби розмазується по інших точках – сусідах на траєкторії. З цього випливає, що з кожної точки в обидві сторони по ходу руху спостерігатиметься порівняно менший перепад величини кольору, аніж в усіх інших напрямках. Адже точка “вклала” частину себе у цих сусідів, але прямо не причетна до сусідів з інших сторін. Простіше кажучи, якщо відбувався горизонтальний рух, то від кожної точки вправо і вліво буде порівняно менший перепад значення кольору, аніж зверху і знизу. Ця закономірність використовується для виділення неспотвореної зони.

Таке виокремлення є бінаризацією зображення за певним пороговим значенням, для якого треба попередньо підготувати вхідний матеріал – матрицю стандартних відхилень кольорів сусідніх по траєкторії точок.

Сусідніми по траєкторії для заданої точки є усі точки, яким відповідають ненульові елементи матриці ФРТ, прикладеної своїм першим ненульовим елементом до заданої точки. До питання обчислення стандартних відхилень серед сусідів по траєкторії можна підійти двоюко залежно від характеру траєкторії руху:

- Траєкторія руху може бути прямолінійною. Тоді достатньо прослідкувати перепади всього на один крок по обидва напрями від оброблюваної точки. В цьому випадку недоцільно проходити по усьому шляху, оскільки по усій його довжині зміщення від кожної точки до наступної буде однакове. У такому разі можна взяти матрицю ФРС, з якої відкинута усі рядки і стовпці після третього, в ролі апертури заданої операції. Така матриця розмірністю 3×3 потрібна для того, щоб від кожної точки зробити по одному кроку в обох напрямках.

- Якщо виявлена траєкторія має складнішу конфігурацію, що трапляється найчастіше, проводити обчислення стандартного відхилення для кожної точки треба серед усіх точок, які належать траєкторії руху.

Це обчислення здійснюють для кожного кольорового каналу (червоний, синій, зелений) окремо. Після отримання цього результату для кожної точки шукають максимальне значення серед значень кольорового каналу і з цих максимальних значень формується матриця розмірністю зображення. Результат видно на рис. 2. Далі ця матриця нормалізується так, щоб кожне її значення перебувало в діапазоні $[0..1]$. Для такої нормалізованої матриці можна наочніше представити значення порогу T , по якому відбувається формування маски неспотвореної ділянки: до маски неспотвореної ділянки належать елементи цієї матриці, значення яких більше за порогове значення.



Рис. 2. Представлення стандартних відхилень кольорів точок серед найближчих сусідів по траєкторії

Загалом є декілька підходів до визначення порогового значення бінаризації. Одним із найпоширеніших є обчислення порогового значення бінаризації методом Отса. Це метод полягає у виділенні такого порогового значення бінаризації, за якого гістограма зображення ділиться на два класи рівнів яскравості, причому так, що максимізується відношення дисперсії між цими класами до загальної

дисперсії усього зображення (чи вже виділеної матриці, як у нашому випадку). У цьому випадку поріг бінаризації дорівнював 0,075. Результатом цієї бінаризації є маска, зображена на рис. 3.

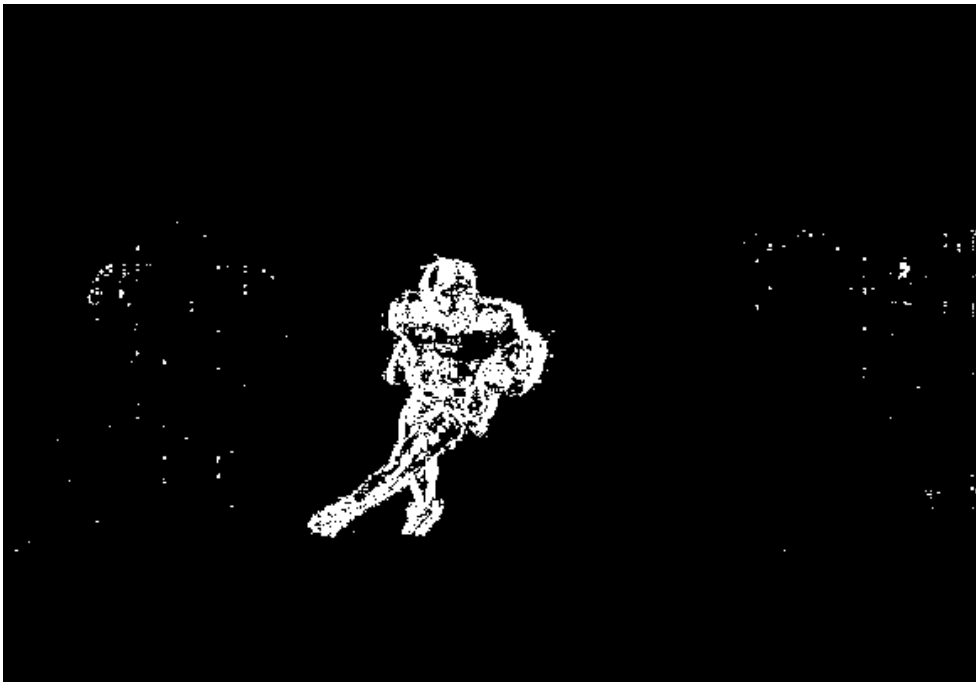


Рис. 3. Початковий стан маски неспотвореної ділянки

II.a Обробка отриманої на етапі бінаризації маски з метою створення точного замкнутого контуру неспотвореної ділянки зображення.

Майже будь-яка бінаризація ідеально не виділятиме бажану область зображення суцільною нерозривною зоною: тут будуть сторонні блоки, порожнини всередині заданої зони, розриви контуру тощо. Це неминуче з декількох причин: кожне природне зображення містить шум камери; методи бінаризації та їх критерії здебільшого мають узагальнювальний, статистичний характер. Зрештою, усе це видно на прикладі рис. 3. Для того, аби можна було далі проводити реконструкцію зображення, потрібно виділити неспотворене зображення дуже точно. Тому наступний етап обробки бінарної маски передбачає її покращення.

Його виконують за декілька етапів.

- Морфологічне закриття.
- Морфологічне відкриття.
- Заповнення внутрішніх порожнин.
- Медіанна фільтрація.

Питання математичної морфології детальніше викладено в [3]. Результати виконання цих етапів наведено на рис. 4.

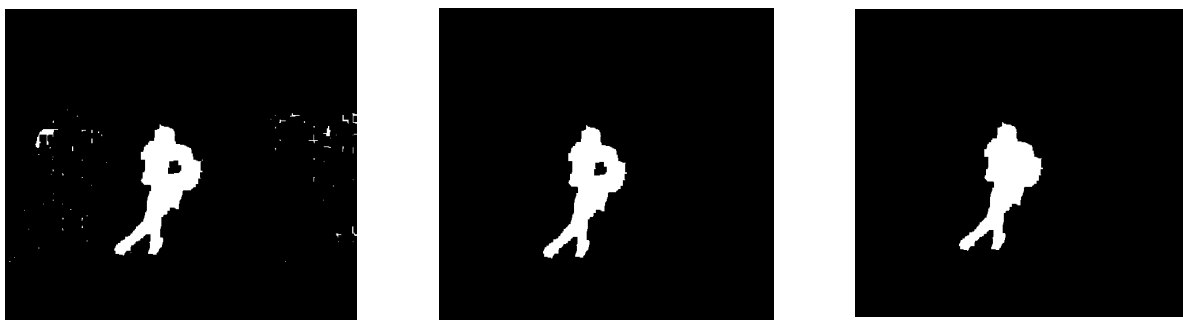


Рис. 4. Стани маски після проведення окремих етапів морфологічної обробки

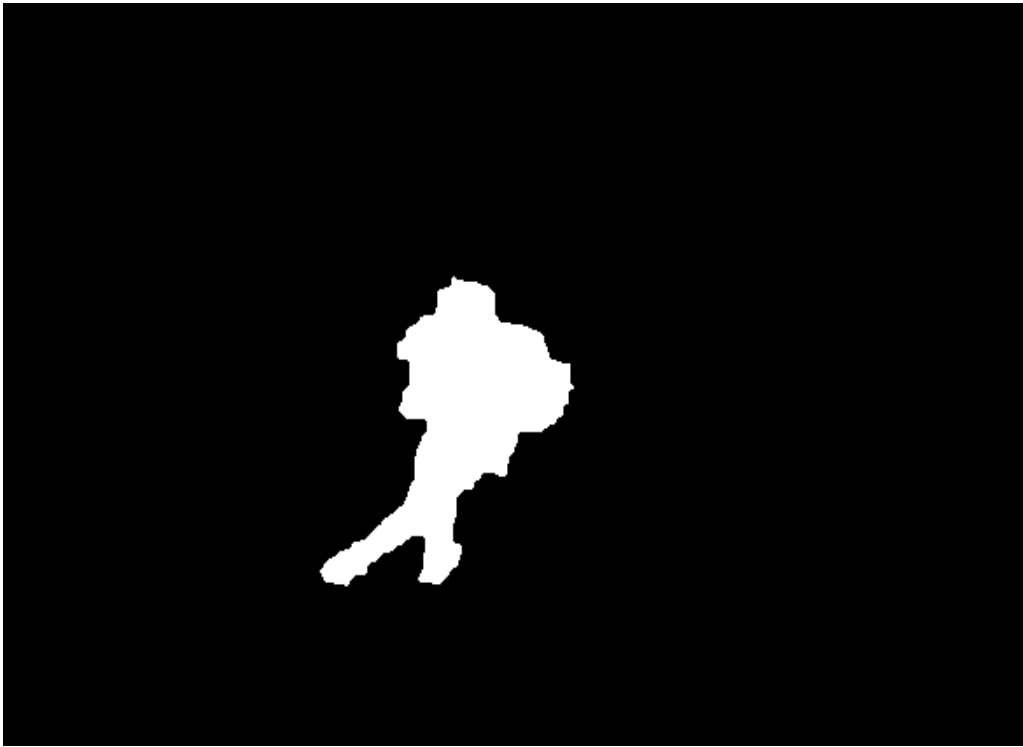


Рис. 5. Стан маски після проведення морфологічної обробки

Після отримання маски неспотвореного зображення можна одержати саме неспотворене зображення, наклавши маску на зображення (рис. 6).



Рис. 6. Результат виокремлення неспотвореної ділянки зображення

III. Вилучення із зображення неспотвореної області

Для того, аби провести деконволюцію зображення, потрібно відділити спотворену і неспотворену ділянки зображення, адже обробка їх разом призведе до її взаємного змішування та до ще більшого спотворення. На попередньому етапі виокремлено неспотворену ділянку саме для цього.

Але найбільша проблема часткових змазувань зображення полягає в тому, що неможливо просто забрати неспотворену ділянку, адже зображення за нею із зрозумілих причин невідоме. Так само не можна просто заповнити вивільнену ділянку чорним кольором, оскільки під час подальшої деконволюції ця чорна пляма в центрі спотворить все зображення.

Потрібно застосувати такий метод, за яким отримане зображення буде максимально наближене до зображення, яким би воно було в разі повного, а не часткового змазування. В такому зображенні статистика градієнтів не має бути різко порушеною в області вилученої ділянки. Для такого зображення вилучену ділянку потрібно спробувати реконструювати, використавши статистику решти зображення. Такою статистикою є статистика градієнтів. Пропонується відтворити наявне зображення, використавши градієнти усєї його площі. Можливість виконання такої реконструкції впливає із того, що операція розрахунку градієнтів (диференціювання зображення) та операція синтезування зображення з градієнтів (інтегрування зображення) є взаємооборотними.

Цю операцію виконують у такій послідовності для кожного кольорового каналу:

- Розраховують градієнти повного зображення
- З обох матриць градієнтів (часткові похідні по вертикалі та горизонталі) усувають дані неспотвореної ділянки. Інакше кажучи, на матриці градієнтів накладається обернена маска, обчислена на етапі II.

- З отриманих градієнтів синтезується нове зображення. Ця дія виконується за методом Франко-Челалпи, що ґрунтується на використанні прямого та зворотного швидкого дискретного перетворення Фур'є [4, 5]. Нехай для заданої матриці $f(x, y)$ є матриці похідних

$$d_x(x, y) = \frac{\partial}{\partial x} f(x, y), \quad (1)$$

$$d_y(x, y) = \frac{\partial}{\partial y} f(x, y). \quad (2)$$

Позначивши через $F(w_x, w_y)$ образ $f(x, y)$ при перетворенні Фур'є $\Phi\{\cdot\}$:

$$F(w_x, w_y) = \Phi\{f(x, y)\}, \quad (3)$$

можемо записати для фур'є-образів компонент градієнта

$$\text{grad } f = \left(\frac{\partial}{\partial x} f(x, y) \quad \frac{\partial}{\partial y} f(x, y) \right) \quad (4)$$

такі вирази:

$$D_x(w_x, w_y) = \Phi\{d_x(x, y)\} = iw_x F(w_x, w_y), \quad (5)$$

$$D_y(w_x, w_y) = \Phi\{d_y(x, y)\} = iw_y F(w_x, w_y). \quad (6)$$

Отже, для визначення $F(w_x, w_y)$ отримується перевизначена система лінійних рівнянь, яку можна записати у матричному вигляді як:

$$F(w_x, w_y) \cdot \begin{pmatrix} iw_x \\ iw_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_x(w_x, w_y) \\ D_y(w_x, w_y) \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Найкращу за методом найменших квадратів оцінку для $F(w_x, w_y)$ отримують з цієї системи за допомогою псевдообернення Мура–Пенроуза [6].

$$F(w_x, w_y) = \begin{pmatrix} iw_x \\ iw_x \end{pmatrix}^+ \cdot \begin{pmatrix} D_x(w_x, w_y) \\ D_y(w_x, w_y) \end{pmatrix} \quad (7)$$

Результатом псевдообернення вектора $\begin{pmatrix} iw_x \\ iw_x \end{pmatrix}^+$ є вектор

$$\begin{pmatrix} iw_x \\ iw_x \end{pmatrix}^+ = \frac{\begin{pmatrix} iw_x & iw_x \end{pmatrix}^*}{w_x^2 + w_y^2} = \frac{\begin{pmatrix} -iw_x & -iw_x \end{pmatrix}}{w_x^2 + w_y^2}, \quad (8)$$

звідки

$$F(w_x, w_y) = -\frac{iw_x D_x(w_x, w_y) + iw_y D_y(w_x, w_y)}{w_x^2 + w_y^2}, \quad (9)$$

що збігається з результатом, отриманим у роботі [5] (рівн. 21).

Остаточно одержимо

$$f(x, y) = \Phi^{-1} \left\{ -\frac{iw_x D_x(w_x, w_y) + iw_y D_y(w_x, w_y)}{w_x^2 + w_y^2} \right\}, \quad (10)$$

де $\Phi^{-1}\{\cdot\}$ – операція оберненого перетворення Фур'є.

Отримане зображення представлено на рис. 7. Як видно з нього, “заплата” на місці вилученого фрагмента не сильно виділяється за кольоровою гамою та яскравістю. Решта зображення виявилася такою ж, як і до обробки. Це пояснюється тим, що градієнти, використані для реконструювання, залишилися незмінними, бо фрагмент вилучено вже після того, як розраховано їх.



Рис. 7. Зображення з вилученою неспотвореною ділянкою

IV. Деконволюція

Після отримання полотна, яке презюмується бути чисто спотвореним однаковим ядром розмиття чи ФРС (рис. 7), можна провести його деконволюцію вже відомим цим ядром розмиття, обчисленим на першому кроці.

Для цього можна використати один з відомих методів – віннерівську фільтрацію. Це давній перевірений метод, але, як і усі деконволюційні методи, він залишає після себе спотворення, відоме як крайовий ефект типу “дзвін”, що в англійській літературі називається “ringing effect”. Цей ефект не є недоліком методу, а є природною властивістю операції оберненої згортки або деконволюції. Він пояснюється тим, що при будь-якому виді згортки зображення (від руху чи розфокусування оптичної системи) точки на краях передають частину свого кольору за межі рамки, і навпаки, точки початково з-за меж рамки впливають на результуючий колір крайніх точок. Тобто під час здійснення операції зворотної згортки для реконструкції крайніх точок не вистачає інформації, і вони реконструюються на основі даних їхніх сусідів (екстраполяція) [7]. Внесена на цьому етапі похибка впливає на реконструкцію інших точок і, як наслідок, на все зображення. Зображення вкривається спотворенням у виді хвильок. Реконструкцію зображення на рис. 8 методом віннерівської фільтрації показано на рис. 8. Як видно, зображення сильно спотворене згадуваним ефектом.



Рис. 8. Результат віннерівської фільтрації

Для того, аби послабити цей спотворювальний ефект, можна скористатись схемою віддзеркалення. За цією схемою зображення розвертається у зворотному порядку та приєднується до правого та нижнього країв початкового зображення (див. схему 1). Крайні точки перестають бути крайніми. Їхні сусіди справа і зліва для крайніх правих точок, а також зверху і знизу для крайніх нижніх точок є однаковими. І навіть більше, оскільки процес деконволюції кожної точки залежить від сусідів, важливо, щоб ця дзеркальність була продовжена на якомога більшу глибину. В цьому випадку ця глибина дорівнює повній висоті та широті зображення. Отже, вдається зменшити невизначеність для крайніх точок. Утворене за схемою двостороннього віддзеркалення зображення наведено на рис. 9, а верхня ліва четвертина результату його деконволюції – на рис. 10. Як видно із нього, зображення значно чистіше, містить набагато менше виражений ефект дзвону.

Схема 1. Двостороннє віддзеркалення

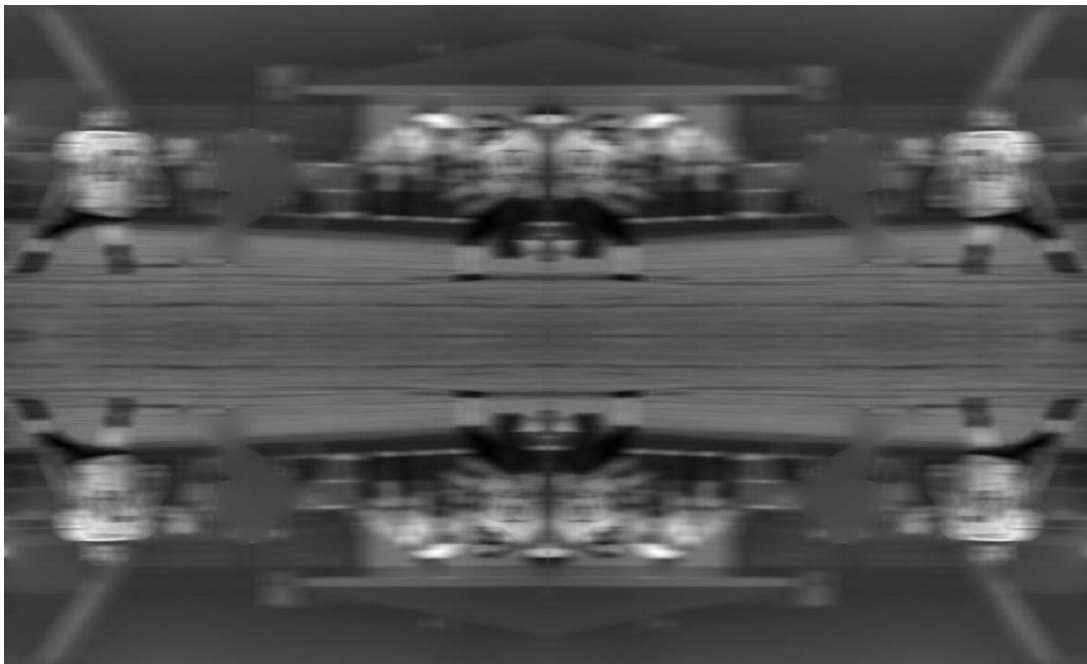
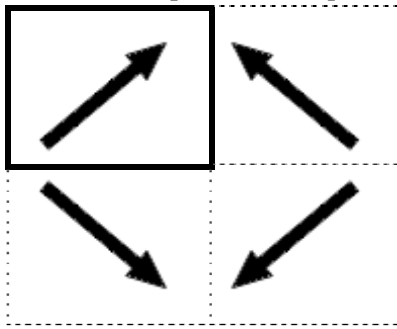


Рис. 9. Двостороннє віддзеркалення



Рис. 10. Результат віннерівської фільтрації двостороннього віддзеркалення

Однак така схема прикриває крайні точки тільки з двох боків, залишаючи ще два відкритими. Для покращення ефекту усунення спотворення можна використати не двостороннє, а чотиристороннє віддзеркалення, при якому початкове зображення обгортається своїми дзеркальними відображеннями не з двох, а з чотирьох боків (див схему 2). Зображення з чотиристороннім відображенням наведено на рис. 11, а результуючий деконвульований зразок, отриманий із нього, – на рис. 12.

Схема 2. Чотиристороннє віддзеркалення

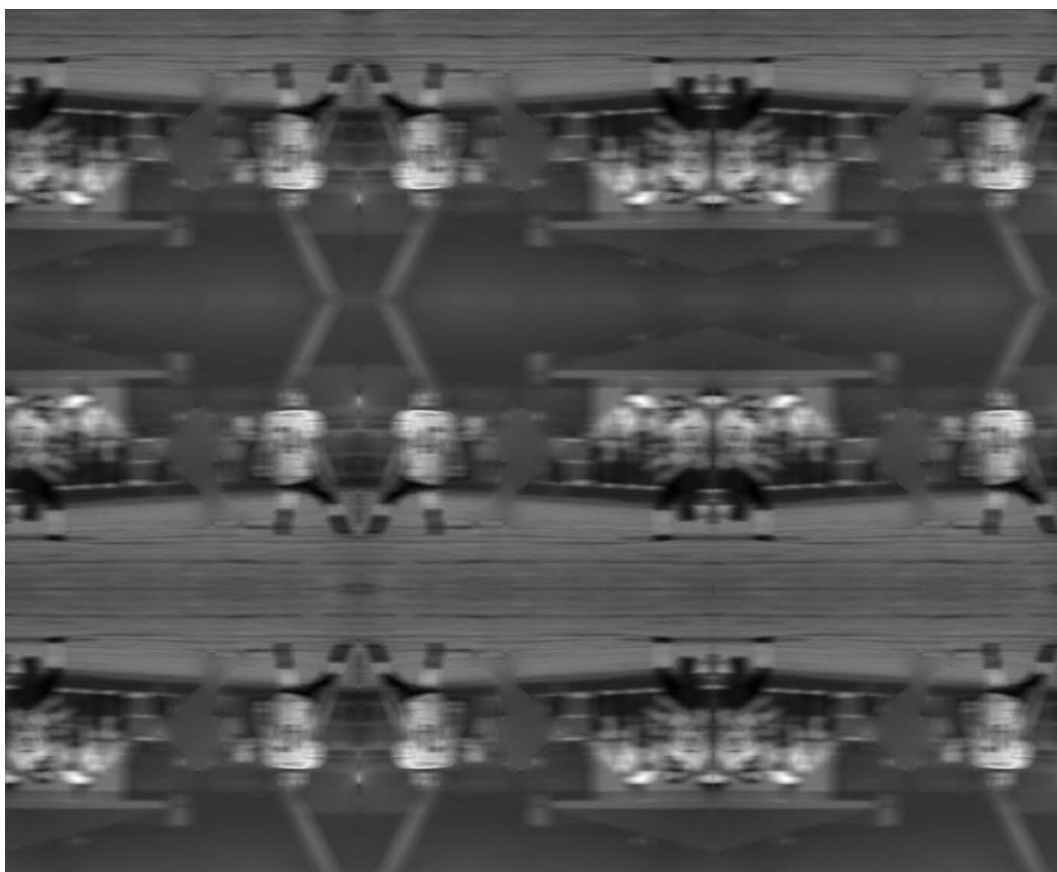
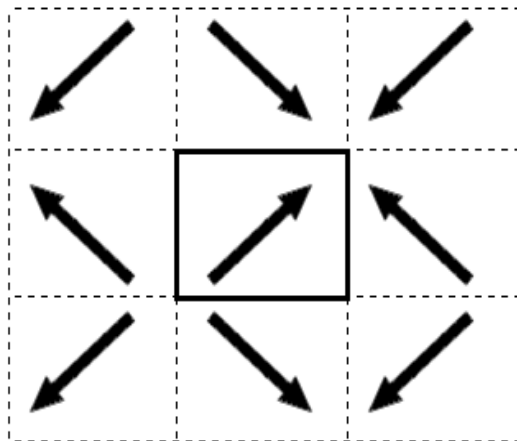


Рис. 11. Чотиристороннє віддзеркалення



Рис. 12. Результат віннерівської фільтрації чотиристороннього віддзеркалення

V. Вживлення неспотвореної ділянки

На цьому етапі на місце повертається неспотворена ділянка, виокремлена на етапі III. Спершу ця збережена неспотворена ділянка (рис. 6) додається на оброблене зображення фону згідно з маскою, виділеною на кроці II (рис. 5). При цьому з деконвульованого зображення (рис. 12) попередньо усуваються усі точки (замінюються на нульові значення), що відповідають масці (рис. 5). Це дає змогу просто додати два зображення один до одного. Усі точки, які відповідають масці, замінюються точками неспотвореного зображення: неспотворена ділянка механічно займає своє місце (рис. 13).



Рис. 13. Неспотворена ділянка на деконвульованому фоні

При додаванні неспотвореного фрагмента краї між ним та обробленим фоном можуть виглядати неприродно за рахунок різкого перепаду кольорів [8]. Для часткового усунення цього перепаду застосовується така методика.

Потрібно виділити та спеціально обробити зону прилягання обох частин зображення. Спершу потрібно виділити зону, на якій треба провести цю обробку. Для цього з маски (рис. 5) виділяється її периметр (рис. 15). Наступним кроком цей периметр розширюється в обидва боки (рис. 15).

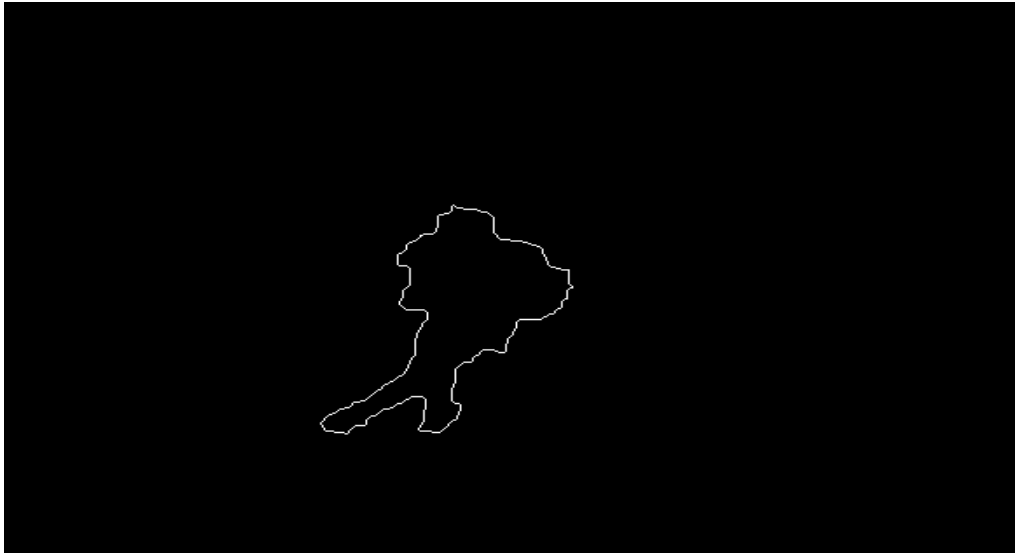


Рис. 14. Контури неспотвореної ділянки

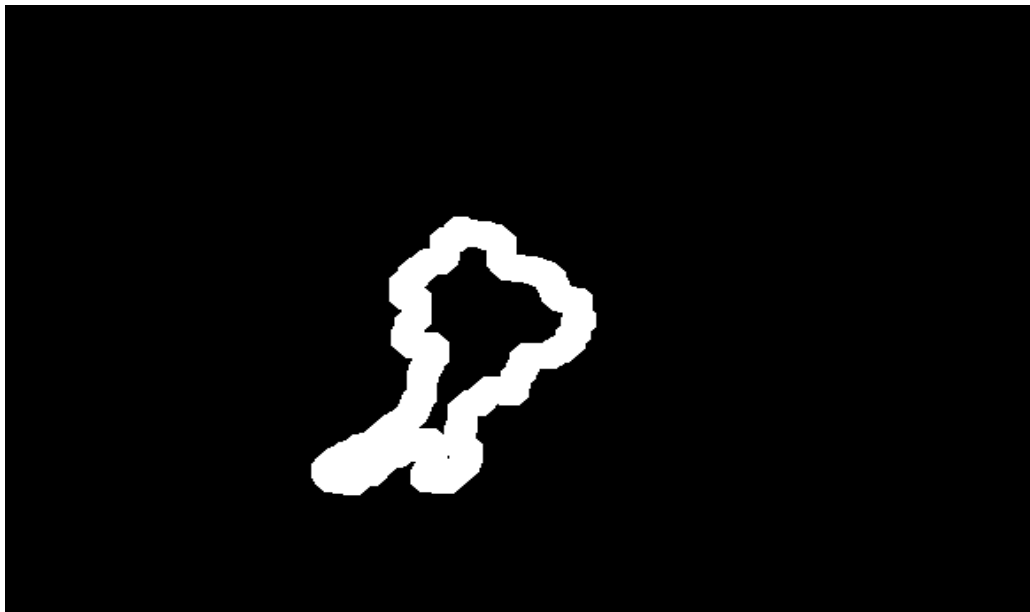


Рис. 15. Маска обробки зони прилягання спотвореної та неспотвореної ділянок зображення

Отримана маска слугує для проведення вибіркового фільтрування: обробляються тільки ті ділянки зображення, які відповідають цій масці. Сама ж обробка полягає в застосуванні усереднювального фільтра, тобто такого, який призводить до усунення високочастотного шуму і деякого розмивання ділянки [9]. Усереднення створює природніше, згладжене зображення в цій зоні.

Остаточний результат подано на рис. 16.



Рис. 16. Остаточне зображення

Висновок. Як видно, ступінь спотворення крайовими ефектами дещо нижчий, але час на обробку такого зображення зростає дуже сильно. Так, зображення з двостороннім віддзеркаленням являє собою зображення розміром в чотири початкових зображення, а зображення з двостороннім віддзеркаленням – дев'ять.

1. http://1.bp.blogspot.com/_xQf_MPdFQWI/SwnUDJFNsLI/AAAAAAAAAGc/UUB4ygREXa8/s1600/motion_blur_background.jpg. 2. Ключак А., Пелешко Д. Оцінка дискретної функції розсіяння точки спотвореного рухом зображення. 3. Маковейчук О.М. Методи математичної морфології / О.М. Маковейчук, Г.В. Худов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2008.– № 7(74). – С. 137–141. 4. <http://www.csse.uwa.edu.au/~pk/research/matlabfns/Shapelet/frankotchellappa.m>. 5. Robert T. Frankot and Rama Chellappa A Method for Enforcing Integrability in Shape from Shading IEEE PAMI Vol 10, No 4 July 1988. pp 439-451. 6. Penrose, Roger (1956). "On best approximate solution of linear matrix equations". *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 52: 17–19. 7. Маковейчук О.М., Подліпаєв В.О. Алгоритми реставрації дефокусованих зображень // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2005.– № 3–4. – С. 99–103. 8. <http://blogs.mathworks.com/steve/2010/10/08/the-two-amigos/>. 8. <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book3/11/fspecial.php>.