

Mirosław Zając

Politechnika Łódzka, Instytut Mechatroniki i Systemów
Informatycznych

e-mail: mirek21.mirek21@wp.pl

POPRAWA JAKOŚCI OBRAZU POCHODZĄCEGO Z KAMER NISKIEJ ROZDZIELCZOŚCI ORAZ TELEFONÓW KOMÓRKOWYCH, Z WYKORZYSTANIEM OPERACJI SPLOTU I ROZPLOTU - OCENA JAKOŚCI UZYSKANYCH OBRAZÓW

Streszczenie – Artykuł zawiera próbę zebrania i opisu wybranych technik rekonstrukcji obrazu rozmytego i zaszumianego. Opisano także podstawowe operacje matematyczne wykorzystywane w technikach rekonstrukcji obrazu. Wykorzystanie opisanych technik pozwala poszerzyć zakres zastosowań urządzeń mobilnych lub poprawić jakość wykonywanych zdjęć.

1 Wstęp

Poprawa jakości obrazu jest pojęciem dość szerokim i obejmuje wykorzystanie różnych technik wpływających na końcowy efekt jakim jest poprawa jakości uzyskanych zdjęć lub filmów. Sam pomysł poprawy jakości wziął się głównie z potrzeby wykorzystania informacji pobieranych ze źródeł, które w niedostatecznym stopniu spełniają postawione im wymagania odnośnie wprowadzanych zakłóceń do sygnału mierzonego jak też niedostatecznego dostosowania samych urządzeń do warunków pomiaru. Często same warunki pomiaru bądź względy ekonomiczne wymuszają stosowanie sprzętu prostszego o mniejszych możliwościach adaptacji do warunków pomiaru, ale np.: posiadające lepszą mobilność, tańsze a zatem możliwe do zainstalowania na większej liczbie egzemplarzy. Jednak nie zawsze podejście ekonomiczne lub minimalistyczne okazuje się wystarczające do zrealizowania danego zadania z powodzeniem. Dlatego oprócz rozwoju sprzętu rozwijano także różne techniki analityczne poszerzające zakres zastosowań sprzętu, a także czyniące sprzęt bardziej praktycznym, ekonomicznym. Ideałem byłoby poszerzać możliwości zastosowania kamer czy aparatów fotograficznych nie ingerując w warstwę sprzętową, a jedynie wymienić

oprogramowanie sterujące, dodać tym samym nowe funkcje, zmienić przeznaczenie sprzętu nie dokonując żadnych przeróbek fizycznych. Nie bez znaczenia w takim wypadku są też możliwości samodzielnej adaptacji urządzeń pomiarowych do zmiennych warunków pomiaru tak by zachować maksymalną jakość sygnału użytecznego. Obecnie techniki zaprezentowane w tym artykule są stosowane w różnych dziedzinach obserwacji począwszy od medycyny [1, 2] skończywszy na zastosowaniach militarnych i badaniach kosmosu.

2 Podstawy matematyczne

Techniki pozwalające na restaurację obrazu w większości opierają się na wykorzystaniu operacji splotu bądź rozplotu obrazu. Operacje te oczywiście mogą być realizowane w różny sposób z wykorzystaniem różnych narzędzi i aparatu matematycznego. Generalnie jednak operacja splotu jest przeciwstawna do operacji rozplotu. Operacja splotu często nazywana jest w literaturze operacją konwolucji [6], a operacja rozplotu dekonwolucji. Dekonwolucję [10] stosuje się po to by odtworzyć obraz rzeczywisty na podstawie obrazu wyjściowego oraz zmierzonej (lub oszacowanej) funkcji PSF [3, 7]. Do wykonywania operacji splotu funkcji wykorzystuje się szybka transformatę Fouriera (FFT). Jest to możliwe gdyż mnożenie funkcji w dziedzinie częstotliwości odpowiada splotowi tych funkcji (czyli konwolucji) w przestrzeni rzeczywistej. Wykorzystanie szybkiej transformacji Fouriera przy operacjach splotu i rozplotu powoduje znaczne przyspieszenie obliczeń w porównaniu do klasycznego mnożenia i zwykłej operacji splotu, oczywiście dla pewnych warunków. Należy zauważyć też, że konwolucja dwóch funkcji w przestrzeni rzeczywistej jest równoważna ich iloczynowi w przestrzeni Fouriera. Związek pomiędzy konwolucją oznaczoną znakiem „*” dwóch funkcji : $h(x, y)$ i $f(x, y)$, a ich transformacją Fouriera można zapisać wzorami [5]:

$$f(x, y) * h(x, y) \Leftrightarrow F(u, v)H(u, v) \quad (1)$$

$$f(x, y)h(x, y) \Leftrightarrow F(u, v) * H(u, v) \quad (2)$$

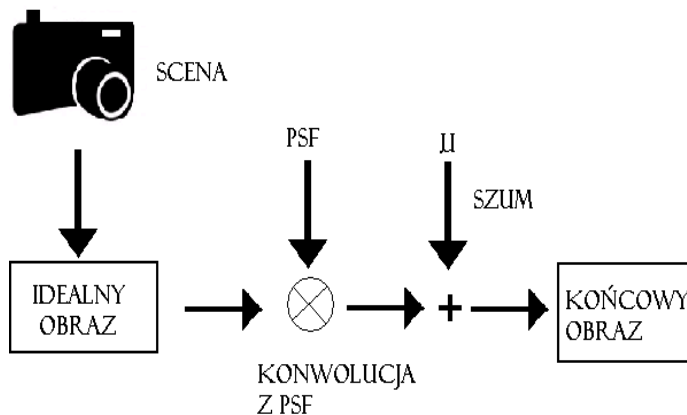
Poniżej kilka wzorów odpowiednio dla konwolucji i dekonwolucji, oraz wzory transformaty Fouriera i transformaty odwrotnej. Konwolucję w postaci dyskretnej można opisać poniższym wzorem [7].

$$h(x, y) * f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n)h(x-m, y-n) \quad (3)$$

W podanym wzorze M, N to rozmiary obrazu w punktach, m, n, x, y punkty obrazu, symbol "*" oznacza operację konwolucji. Wzór dekonwolucji podany jest jako kolejny (4) [5].

$$g(m, n) = f(m, n) * psf(m, n) + \mu(m, n) \quad (4)$$

W powyższym wzorze: $g(m, n)$ obraz wyjściowy, $f(m, n)$ to obraz wejściowy, psf – funkcja rozmycia obrazu (z ang. Point Spread Function stad skrót w literaturze PSF), μ to szum występujący zawsze podczas akwizycji obrazu. Bardziej obrazowo można to wyjaśnić poniższym rysunkiem.



Rys. 1. Przykład akwizycji obrazu.

Wzór dla dyskretnej dekonwolucji przedstawiony jest poniżej (5).

$$x(m, n) = \sum_{a=-\infty}^{+\infty} \sum_{b=-\infty}^{+\infty} s(m+a, n+b)h(-a, -b) \quad (5)$$

W podanym wzorze: x to obraz wyjściowy, s - obraz wejściowy, h - funkcja PSF. Wzór na dyskretną transformatę Fouriera można zapisać jako [6]:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) f^*_k(n), \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (6)$$

Posługując się tym wzorem można powiedzieć, że dokonujemy analizy sygnału dokonując jego transformaty Fouriera. Wzór na transformatę odwrotną można zapisać w postaci [6]:

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) f_k(n), \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (7)$$

Posługując się tym wzorem można powiedzieć, że dokonujemy syntezy sygnału z „prążków” widma Fouriera. Gdzie w obu powyższych wzorach (7), (6) $x(n)$ to sygnał z którego wyznaczamy N wartości widma Fouriera $X(k)$ lub sygnał który odzyskujemy, znak „*” we wzorze (6) oznacza sprzężenie zespolone liczb, $f_k(n)$ to zbiór N harmoniczných funkcji bazowych, można to zapisać w postaci [6]:

$$f_k(n) = e^{j\left(\frac{2\pi}{N}k\right)n}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (8)$$

Transformata dwuwymiarowa jest tak naprawdę złożeniem transformat jednowymiarowych, zatem wszystkie własności ma również podobne i można ją obliczać szybkimi algorytmami FFT (ang. Fast Fourier Transform).

3 Techniki wykorzystywane przy rekonstrukcji obrazu

Jest wiele narzędzi matematycznych służących odzyskiwaniu obrazu. Odzyskiwanie jest terminem określającym wydobywanie informacji z obrazów, które uległy degradacji poprzez różnego typu zakłócenia. Najczęściej zakłóceniami tymi jest szum lub rozmycie obrazu. W literaturze często można znaleźć określenie wspólne dla technik odzyskiwania obrazu jako techniki restauracji obrazu [9, 10]. Sposobów na usunięcie zakłóceń z obrazu jest wiele i każdy ze sposobów ma zalety i wady. Ponieważ operacja dekonwolucji to tak naprawdę dzielenie obrazu przez obraz i występują przy tym pewne problemy gdy liczba przez którą należy podzielić inną jest zerem. Najłatwiej będzie to omówić na przykładzie filtra odwrotnego i pseudo odwrotnego. Podany wcześniej wzór dekonwolucji (4) przekształcamy do postaci jak poniżej [7]:

$$G(u, v) = F(u, v)PSF(u, v) + U(u, v) \quad (9)$$

Ten sam wzór można znaleźć w publikacjach jako [5,7]:

$$G(u, v) = F(u, v)PSF(u, v) + N(u, v) \quad (10)$$

Różnica w zapisie jest niewielka : zastąpiono PSF oznaczeniem H, natomiast U oznaczeniem N, wzory są tożsame. Znaczenie tego zapisu

to konwulcję w postaci przestrzennej zastąpiono operacją punktową w dziedzinie F- obrazu. W obliczeniach stosuje się pewne uproszczenie, mianowicie zakłada się na początku, że szum w obrazie jest znikomy (wzór (6)):

$$U(u, v) \equiv 0 \quad (11)$$

Uproszczenie takie powoduje, że sygnał szumu w dziedzinie F- obrazu zostaje zaniedbany. W wyniku tych uproszczeń dostajemy wzór w postaci podanej poniżej:

$$G(u, v) = F(u, v)PSF(u, v) \quad (12)$$

Aby uzyskać to co nas interesuje przekształcamy wzór dalej uzyskując formę [7]:

$$F(u, v) = \frac{G(u, v)}{PSF(u, v)} \quad (13)$$

W literaturze spotyka się też wzór w poniższej formie [5]:

$$\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)} \quad (14)$$

We wzorze litera F z daszkiem oznacza estymatę, jest to podkreślenie, że obraz jest estymowany, a nie jest do rzeczywisty obraz lecz jego przybliżenie, uwzględniamy wtedy szumy, pozostałe fragmenty wzoru mają znaczenie analogiczne jak dla wzoru (10).

Oto pozbyliśmy się szumu i wykonując odwrotną transformatę Fouriera z funkcji F(u,v) uzyskaliśmy obraz idealny:

$$f(m, n) = IDFT(F(u, v)) \quad (15)$$

Tylko zostało jeszcze zabezpieczenie aby wartości były dodatnie w tym celu obliczamy moduł z odwrotnej transformaty Fouriera:

$$f(m, n) = |IDFT(F(u, v))| \quad (16)$$

Uproszczenia spowodowały, że wzory stały się prostsze a także obliczenia, niestety ma to też negatywne skutki w postaci niezbyt dokładnych wyników takiego przetwarzania, a zatem obrazy powstałe w wyniku tych przekształceń potrafią sporo odbiegać od tych rzeczywistych. Co

dziwniejsze obraz może nam się wydawać znacznie lepszy natomiast faktycznie będzie dość mocno odbiegał od tego oryginalnego. Niedogodnością jest to, że w tej metodzie obowiązkowo znać trzeba wzór tudzież postać macierzy PSF, bez tego nie uda się restaurować obrazu. Taka trudność może się wydawać do akceptowalną jednak jeżeli wyobrazimy sobie, że musimy znać macierz o wymiarach 15 kolumn na 15 wierszy to sprawa zaczyna być poważna, gdyż bez odpowiednich metod analitycznych i dość dużej liczby obliczeń nie jesteśmy w stanie zgadnąć postaci takiej funkcji. Odmianą filtru odwrotnego jest jego zmieniona wersja nazywana filtrem pseudo odwrotnym. W takim filtrze zastępuje się we wzorze H macierzą, która składa się z zer lub wartości zbliżonych do 0. Powoduje to wtedy minimalną wartość szumu, prawie jego brak, gdyż po wykonaniu działań matematycznych dostajemy mały sygnał szumu w porównaniu z wartością sygnału użytecznego. Małe wartości szumu, więc prawie nie wpływają na wynik końcowy, zatem można uznać sygnał zakłóceń zbliżony do zera. Wartość choć minimalna szumu, ale sama jego obecność powoduje, że przetwarzanie obrazu staje się bardziej rzeczywistym. Jednak nadal takie podejście nie oddaje to w pełni warunków akwizycji czyli obrazów i warunków rzeczywistych. Podstawienie liczb w macierzy H zbliżonych do zera ale brak liczb zerowych powoduje uniknięcie problemu matematycznego wywołanego dzieleniem dowolnej liczby przez zero, jak wiemy daje to nieskończoność a tym samym tworzą się problemy nie tylko dla maszyn liczących, ale także z punktu widzenia filtru, przecież nieskończoność to zarazem wszystko i nic więc nie ma to większego sensu. Oprócz zastąpienia macierzy zmieniła się też nazwa filtra na filtr pseudo odwrotny, co do wartości obliczeń uzyskujemy wartości prawie idealne, ale tylko w określonych warunkach, w praktyce zawsze należy uwzględniać szum gdy przetwarzamy obrazy rzeczywiste i o ile chcemy mieć zgodność wyniku z rzeczywistym obrazem. Definicje operacji splotu i rozplotu tudzież konwolucji i dekonwolucji pozwalałyby sądzić, że jeśli stworzymy obraz przy pomocy jednej z operacji to druga operacja pozwoli nam się cofnąć do punktu startowego. Z teorii i ogólnych założeń tak by wynikało, niestety w rzeczywistości głównie poprzez istnienie szumów, ale także np.: z powodu niedokładności obliczeń jest to niemożliwe. Z jednej strony potrzeba uwzględniania szumów daje w rezultacie obrazy bardziej zbliżone do rzeczywistych z drugiej strony znacznie komplikuje algorytmy przetwarzania i zwiększa złożoność i nakład obliczeń, to co wydawałoby się, że uzyskamy łatwo nagle staje się skomplikowane. Odtwarzając obraz tak naprawdę dokonujemy jego rozkładu na składowe i oddzielamy to co nas interesuje od tego, co jest nam niepotrzebne. Nazwa technik restauracji obrazu oraz rozplatania sygnału bądź obrazu wzięła się właśnie między innymi z takiego powodu rozplatanym

coś by złożyć na nowo, przy okazji pozbywając się tego co dołożyło się w trakcie akwizycji bądź obróbki obrazu.

Filtracja Weinera

Filtr Weinera jest jednym z częściej wykorzystywanych praktycznie filtrów, wpłynęła na to jego dobra użyteczność jako metody i efekty pracy najbardziej zbliżone do wyników oczekiwanych z rekonstrukcji obrazu. Filtr opisany jest równaniem [7]:

$$\hat{F}(u, v) = \left[\frac{1}{PSF(u, v)} \cdot \frac{|PSF(u, v)|^2}{|PSF(u, v)|^2 + \frac{S_n(u, v)}{S_f(u, v)}} \right] \cdot G(u, v) \quad (17)$$

Tożsamy wzór uzyskamy zapisując odrobinę inaczej wzór poprzedni [7]:

$$G(f_x, f_y) = \frac{H^*(f_x, f_y)}{H(f_x, f_y)H(f_x, f_y) + \frac{\varphi_n(f_x, f_y)}{\varphi_s(f_x, f_y)}} \quad (18)$$

Oznaczenia z wzoru : $S_n(u, v)$ - obraz szumu, $S_f(u, v)$ - obraz odniesienia, odpowiednio φ_n , φ_s obraz szumu i obraz odniesienia, H to jest funkcja PSF. Aby odzyskać obraz musimy policzyć moduł z odwrotnej transformaty Fouriera estymaty $\hat{F}(u, v)$

$$f(m, n) = |IDFT(\hat{F}(u, v))| \quad (19)$$

Filtrowanie obrazu za pomocą filtru Weinera jest bardzo często wykorzystywana w praktyce gdyż umożliwia poprawienie jakości obrazu nawet wtedy gdy nie jest znana postać funkcji psf oraz poziom szumu albo wartości te są estymowane. Filtr Weinera dokonuje przybliżenia obrazu idealnego w oparciu o minimalizację funkcji błędu (wzór 20). Czyli uzyskujemy obraz przybliżony nie znaczy, że oryginalny. Jeśli we wzorze wykonamy podstawienie $S_n(u, v)=0$ powoduje, że filtr działa jako filtr odwrotny [5, 7].

$$e^2 = E\{f - \hat{f}\}^2 \quad (20)$$

We wzorze $E\{\}$ oznacza wartość oczekiwaną wyrażenia, \hat{f} - estymowany obraz, f - obraz odniesienia.

Dekonwolucja ślepa

Inne trochę podejście do problemu odzyskiwania obrazu przedstawia algorytm dekonwolucji ślepej. Tego typu algorytm przetwarzania obrazu stosuje się wtedy gdy nie znamy rodzaju rozmycia lub zaszumienia obrazu. Algorytm nie wymaga od razu znajomości funkcji rozmycia gdyż odtwarza funkcję rozmycia jednocześnie z rekonstrukcją obrazu. Rekonstrukcja obrazu następuje na podstawie zmienionego algorytmu Richardson-Lucy [12], w kolejnych iteracjach zbliżamy się do obrazu końcowego czyli oczyszczonego. Niedogodnością w tym sposobie przetwarzania obrazu jest konieczność założenia warunków brzegowych maski w postaci zwykłej tablicy jednostkowej jako macierzy. Poniżej przedstawiony jest wzór dla $i+1$ iteracji algorytmu [11, 7]:

$$\begin{aligned}\hat{f}^{(i+1)}(m,n) &= \hat{f}^{(i)}(m,n)(x * y) \\ x &= psf(-m,-n) \\ y &= \frac{g(m,n)}{psf(m,n) * \hat{f}^{(i)}(m,n)} \\ &\text{dla } i \geq 1\end{aligned}\tag{21}$$

W podanym powyżej wzorze : $g(m, n)$ – obraz wynikowy, $\hat{f}(m, n)$ - obraz estymowany czyli zbliżony do oryginału, $psf(m, n)$ – funkcja rozmycia obrazu. Przykład funkcji PSF przedstawiony jest poniżej.

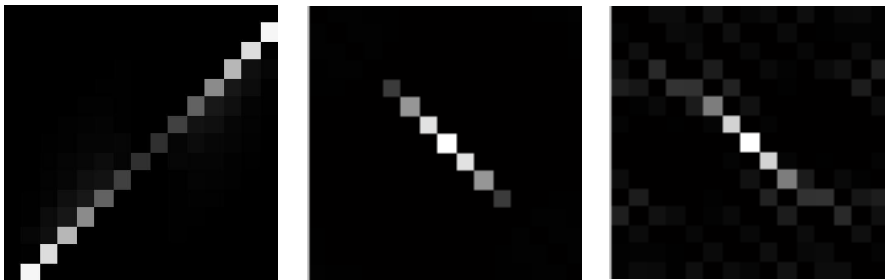
Tabela. 1. Przykład wartości funkcji PSF wygenerowanej dla obrazu rozmytego

0,02	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,01	0,04	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,01	0,04	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0,01	0,04	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0,01	0,04	0,01	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,01	0,04	0,01	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,01	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,01	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,01	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,01	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,01	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0,01
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,04

Funkcja ma postać tabeli o wymiarach 13 na 13 elementów. Przy obliczeniach często stosuje się maksymalną dostępną dokładność, a to powoduje, że np.: wartości w tabeli powyżej są podawane z dokładnością do 5 miejsc po przecinku dziesiętnym. Jest to spowodowane tym, że im dokładniejsze obliczenia będą wykonywane tym wynik będzie bliższy rzeczywistości i mniejsze będą przekłamania wartości na poszczególnych składowych transformaty Fouriera. Funkcja czy też macierz PSF może przybierać różne formy pod względem objętości liczb w macierzy a także sposobu ich rozlokowania w macierzy. Często do usuwania zakłóceń i tym samym generowania wartości w tablicy PSF wykorzystuje się modele statystyczne wykorzystujące np.: rozkład Gaussa prawdopodobieństwa lub Poissona. Wszystko zależy od charakteru zakłócenia które chcemy odfiltrować. Przykład wzoru z którego można by skorzystać w przypadku rozkładu Gaussa eliminacji szumu z obrazu zamieszczono poniżej. W tym wypadku generowana PSF byłaby na podstawie wzoru [4, 5, 6]:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (22)$$

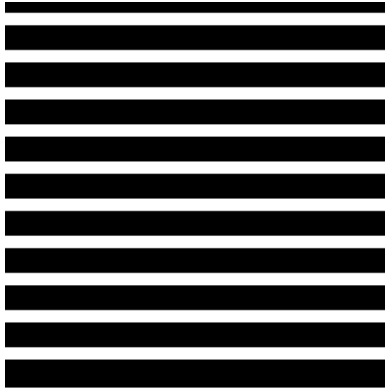
Przykładowe graficzne reprezentacje różnych funkcji PSF można zobaczyć na rys.2.



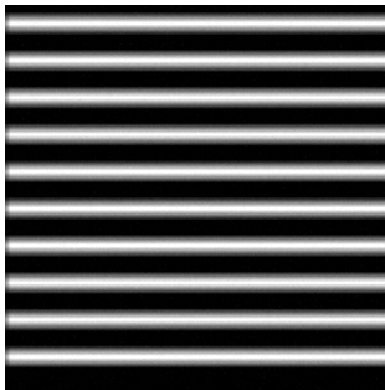
Rys. 2. Graficzne reprezentacje funkcji PSF

Przykład obrazów testowych można zobaczyć na poniższych rysunkach. Zostały one wygenerowane sztucznie w jednym celu by sprawdzić czy znając dokładną postać funkcji PSF uda się pozbyć zakłóceń z obrazu i odzyskać jego pierwotną postać. Jako obraz testowy posłużył sztucznie wygenerowany obraz pasów czarno białych (Rys. 3a.). Wspomniany obraz został zmieniony dodano do niego szum gaussa i dodatkowo został rozmyty, uzyskano efekt podobny jaki często widzi się na zdjęciu podczas nieostrego ujęcia sceny (Rys.3b.). Z tak

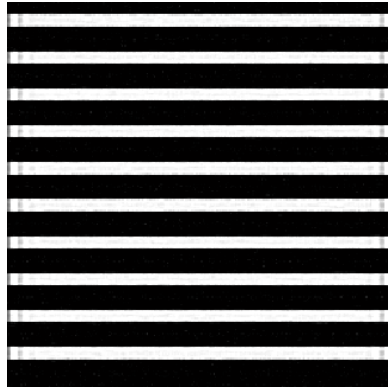
przygotowanego zdjęcia próbowano później odtworzyć jego wcześniejszą postać wykorzystując informacje o rodzaju zakłóceń jakie zostały dodane do obrazu, można zobaczyć efekty tych działań na rysunkach: Rysunek 3c, Rysunek 3d, Rysunek 3e. Do badań wykorzystano jeden z wyżej opisywanych algorytmów.



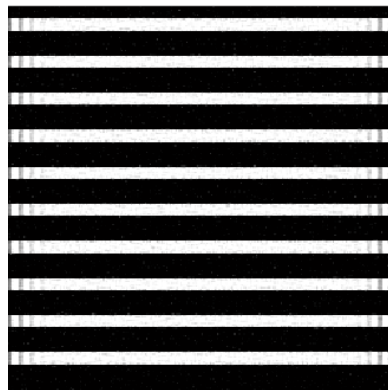
Rys. 3a



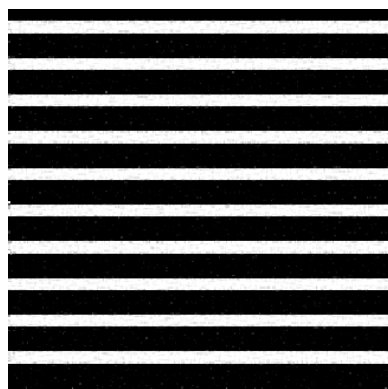
Rys. 3b



Rys. 3c



Rys. 3d



Rys. 3e

Rysunek 3a przedstawia obraz wejściowy, bez szumu i zniekształceń.
Rysunek 3b przedstawia obraz z wprowadzonymi do niego zakłóceniami

i występującym rozmyciem. Rysunki : 3c, 3d, 3e ukazują kolejne etapy odzyskiwania obrazu z obrazu zawierającego szum i zniekształconego (Rysunek 3b).

Powyższe rysunki potwierdzają teorię, że mając model zakłóceń i pewien zasób wiedzy można poprawić jakość obrazu poprzez odseparowanie z obrazu zakłóceń. Wyjaśnić należy, że przykład z obrazem wygenerowanym sztucznie niesie ze sobą pewne ograniczenia, a mianowicie jako, że generowany jest sztucznie może odbiegać od obrazów rzeczywistych zarówno jakością jak i zawartością szumu, zniekształceń oraz treści. Taki sposób podejścia do problemu ma jednak i swoje plusy mianowicie: wiemy dokładnie co jest na obrazie czyli również co powinniśmy w teorii uzyskać, a skoro mamy wiedzę co zmieniliśmy i jak, to powinno być łatwiej uzyskać znów obraz czysty, bez zniekształceń. Tak też właśnie jest czyli łatwiej udowodnić prawdziwość teorii w przeprowadzonym badaniu. Jednak prawdziwym sprawdzianem wiedzy i techniki zmian obrazu są obrazy rzeczywiste, gdzie nie jesteśmy w stanie przewidzieć ani zawartości informacji nas interesującej ani sposobu w jaki zakłócenia wpływają na obraz. Najczęściej mam wtedy do dyspozycji jedynie obraz już zniekształcony. Zagadnienia algorytmów stosowanych do restauracji obrazu są tak obszerne że szczegółowe omówienie ich wykraczałoby poza objętość tego artykułu dlatego też zostały zaprezentowane głównie wyniki prowadzonych badań.

4 Podsumowanie

Artykuł porusza problemy związane z poprawą jakości obrazów, przy czym omówiono jedynie wybrane algorytmy i zagadnienia rekonstrukcji obrazów. Jest to jedynie krótkie ujęcie dość skomplikowanych problemów często wykorzystujących do rozwiązań skomplikowane przekształcenia matematyczne oraz najnowszą dostępną wiedzę ekspercką - analityczną z danej dziedziny. Artykuł jedynie porusza dane zagadnienie nie skupiając się na szczegółach problemów, stanowi część pracy badawczej mającej na celu poprawę jakości obrazów.

Literatura

- [1] Ragesh N. K., Rajesh R., *Digital Image Denoising in Medical Ultrasound Images: A Survey*, ICGST AIML-11 Conference, Dubai, UAE, 12-14 April 2011
- [2] Stotzka R., Ruiter N. V., Muller T. O., Liu R., Gemmeke H., *High resolution image reconstruction in ultrasound computer tomography using deconvolution*, Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe, Germany

- [3] Almeida M. S. C., Almeida L. B., *Blind and Semi-Blind Deblurring of Natural Images*, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 19, No. 1, 2010
- [4] Zając M., *Obrazowanie medyczne na podstawie danych zawartych w formacie DICOM z zastosowaniem filtracji adaptacyjnej*, ZN WSinf, vol.9, nr 2, 2010, str. 72-91
- [5] Gonzalez R. C., Woods R. E. *Digital Image Processing*, Pearson Education, New Jersey 2008,
- [6] Zieliński T. P., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Od teorii do zastosowań.*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005,
- [7] Gonzalez R. C., Woods R. E., Eddins S. L. *Digital Image Processing Using Matlab*, Prentice Hall Education, 2004,
- [8] Achim A., Bezerianos A., *Novel Bayesian Multiscale Method for Speckle Removal in Medical Ultrasound Images*, IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 20, No. 8, 2001
- [9] Parker J. R. *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, John Wiley & Sons, 1997,
- [10] Tadeusiewicz R., Korohoda P., *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, 1997
- [11] Fish D. A., Brinicombe A. M., Pike E. R., Walker J. G., *Blind deconvolution by means of the Richardson–Lucy algorithm*, J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 12, No. 1, 1995
- [12] Richardson W. H., *Bayesian-based iterative method of image restoration*, Journal of The Optical Of America, Vol.62, No.1, 1972

IMPROVEMENT OF IMAGE QUALITY OF LOW-RESOLUTION CAMERAS AND MOBILE PHONES, USING THE CONVOLUTION AND DECONVOLUTION OPERATIONS - EVALUATION OF THE OBTAINED IMAGES QUALITY

Summary - the article contains the attempt of the meeting and the description of chosen techniques of reconstruction of the image washed away and with noise. Also basic mathematical operations used in techniques of reconstruction of the image were described. Exploiting

described techniques allows to extend the scope of applications of mobile devices or to improve the quality of made photographs.