

mgr inż. Paweł Trusz

ekspert z zakresu badania zapisów wizyjnych, Biura Badań Kryminalistycznych Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego

Wybrane metody poprawy jakości obrazów i sekwencji wideo

Streszczenie

Artykuł jest próbą przybliżenia metod oraz możliwości poprawy jakości obrazów oraz materiałów filmowych. W artykule zostały wymienione i opisane trzy zasadnicze grupy metod wykorzystywanych do tego celu, tj. przekształcenia geometryczne, punktowe oraz filtracja. W celu zaprezentowania ich możliwości oraz ograniczeń badawczych autor wykonał dla każdej z nich szereg eksperymentów z użyciem materiałów cyfrowych (zdjęcia oraz sekwencje wideo), które zostały wykonane w warunkach jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistych przypadków badawczych. Pliki cyfrowe zostały zarejestrowane za pomocą trzech urządzeń: telefon komórkowy, kamera cyfrowa oraz profesjonalny aparat fotograficzny. Wykorzystane metody badawcze przyczyniły się do minimalizacji zarejestrowanych zakłóceń, uzyskano np. efekt w postaci odczytania numerów tablic rejestracyjnych pojazdu. Wykonane eksperymenty pozwalają wskazać trzy główne grupy czynników mających wpływ na poprawę jakości obrazu lub materiału filmowego, są to: parametry techniczne materiału badawczego i rejestratora oraz tzw. czynnik ludzki.

Słowa kluczowe wideo, obraz, kompresja, rozdzielczość, metody poprawy jakości zapisów wizyjnych, cyfrowe przetwarzanie sygnałów

1. Wstęp

W dobie dużej popularności rejestracji wydarzeń za pomocą aparatów fotograficznych czy też kamer wideo, m.in. na ulicach miast, podczas spotkań firmowych i rodzinnych, zdarza się, że przypadkowo zapisywane mogą zostać również czyny prawnie zabronione, takie jak: kradzieże, włamania, rozboje itp. Zarejestrowane materiały są w różnoraki sposób zakłócone, zniekształcone, co znacząco może utrudniać właściwe interpretowanie zapisanych danych; skutkuje to wzrostem zapotrzebowania organów ścigania i wymiaru sprawiedliwości na działania służące poprawie ich jakości.

Ze względu na różnorodność zakłóceń, mnogość urządzeń rejestrujących, formatów plików, stopni kompresji czy też jakości torów optycznych nie istnieje jedna uniwersalna metoda pozwalająca na zwiększenie czytelności zarejestrowanych materiałów. Urządzeniami wykorzystywanymi do zapisu danych mogą być niezwykle popularne smartfony mające zazwyczaj dwie, a nawet trzy kamery cyfrowe, aparaty cyfrowe, różnego rodzaju kamery oraz systemy dozoru technicznego CCTV (ang. *Closed Circuit Television*) [7]. Z powyższych powodów każdy przypadek należy interpretować

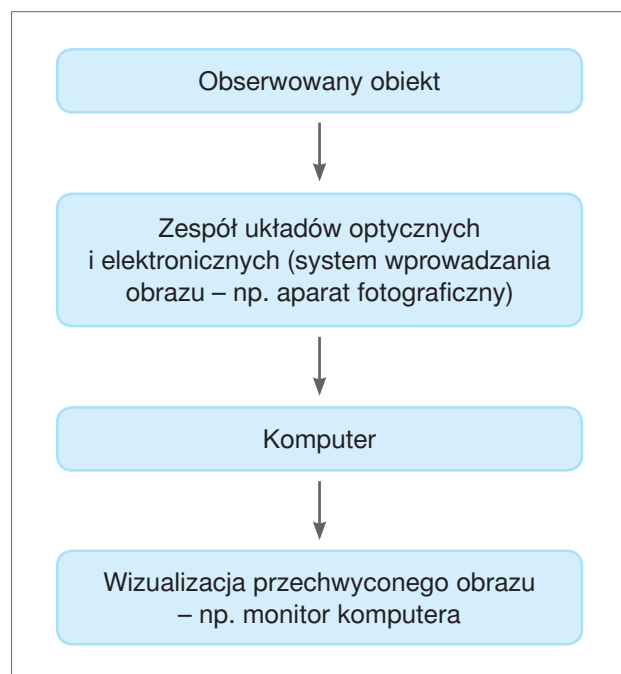
indywidualnie i dostosowywać do niego określone rozwiązania. Praktyka pokazuje, iż przeważająca większość materiałów została utworzona i zapisana w technice cyfrowej. Nie należy jednak zapominać o zapisie analogowym, na przykład na taśmach VHS (ang. *Video Home System*), które w dalszym ciągu mogą zostać nadesłane do badań [6]. Procedury poprawy takich materiałów po digitalizacji nie różnią się w znacznym stopniu od metod wykorzystywanych do analizy materiałów pierwotnie utworzonych za pomocą techniki cyfrowej.

Niniejszy artykuł jest próbą przybliżenia współczesnych metod cyfrowej poprawy jakości obrazów oraz sekwencji wizyjnych. W opracowaniu zaprezentowano szereg typowych zakłóceń utrudniających właściwe postrzeganie zarejestrowanej sytuacji (jak rozmazania, rozmycia, błędy perspektywy, zapis dokonywany w niedostatecznie oświetlonych pomieszczeniach, błąd pojawiający się dość często podczas rejestracji materiałów fotograficznych czy też wideo) oraz techniczne możliwości ich korekty.

W tekście zamiennie używano pojęć „zdjęcie” i „obraz cyfrowy” oraz „sekwencja wideo” i „zapis wizyjny” w odniesieniu do materiału filmowego.

2. Obraz cyfrowy

Obraz cyfrowy jest dyskretną reprezentacją obrazu naturalnego otrzymywaną w wyniku procesu akwizycji. Schemat akwizycji obrazu z postaci analogowej, (będącej ciągłą, dwuwymiarową funkcją $O(x,y)$ rozkładu jasności we współrzędnych przestrzennych należących do dziedziny obrazu) do postaci cyfrowej został przedstawiony na poniższym schemacie [3, 12].



Ryc. 1. Tor wizyjny do przetwarzania obrazu na postać cyfrową.

Obraz analogowy poddany przekształceniom zgodnie z ryciną nr 1 nazywa się obrazem cyfrowym, czyli obiektem o współrzędnych przestrzennych poddanym próbkowaniu i o skwantowanych wartościach $O(x,y)$ [1]. Obraz cyfrowy można postrzegać jako macierz, składającą się z wierszy i kolumn, których punkt przecięcia identyfikuje najmniejszą część obrazu, czyli 1 piksel, zgodnie z poniższą zależnością [12]:

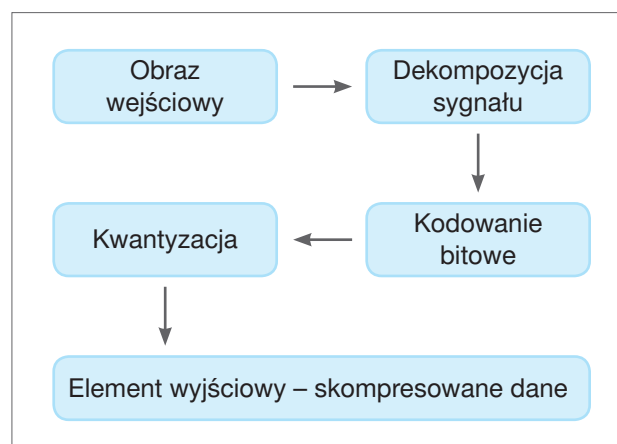
$$O_{\text{cyfrowy}}(x,y) = \begin{bmatrix} O(0,0) & \dots & O(M-1,0) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ O(0,N-1) & \dots & O(M-1, N-1) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

gdzie M , N – liczba kolumn i wierszy, a iloczyn $M \times N$ określa całkowitą liczbę pikseli (ang. *picture element*), czyli rozdzielczość obrazu.

Tak przedstawiony obraz cyfrowy reprezentuje określoną liczbę zawartych informacji, która wyrażona jest przez rozdzielczość przestrzenną, czyli gęstość punktów próbkowania oraz rozdzielczość poziomów jasności (dla obrazu monochromatycznego) czy też

rozdzielczość trójkolorową (w przypadku akwizycji obrazu barwnego) [4].

Na jakość obrazu cyfrowego statycznego oraz ruchomego wpływ mają przede wszystkim właściwości optyczne urządzenia rejestrującego oraz wstępne przetwarzanie otrzymanego materiału i zapis do pliku. W pierwszym przypadku decydującą rolę odgrywa m.in. jakość optyki, tj. możliwość jak najlepszego odzwierciedlenia zakresu barw, parametry matrycy (m.in. jej rozdzielczość), odporność na błędy odzwierciedlenia perspektywy (aberracja sferyczna) czy też odporność na aberrację chromatyczną. Natomiast w drugim przypadku jest to przede wszystkim format zapisu wraz ze stopniem kompresji i rozdzielczością (piksel $\times$ piksel) [5]. W uproszczeniu pod pojęciem kompresji obrazu należy rozumieć usunięcie „nadmiarowych” informacji w taki sposób, aby widz odniósł wrażenie, iż z obrazu nie wyeliminowano żadnych danych [11]. Oczywiście jest to wrażenie bardzo złudne, gdyż z wyjątkiem kompresji bezstratnej realizowanej przez metody probabilistyczne i słownikowe (np. format TIFF, RAW) zastosowanie każdego innego formatu zapisu niesie ze sobą zależność w postaci braku zapisu szczegółów na obrazie. Najpopularniejszym formatem kompresji stratnej jest JPEG (ang. *Joint Photographic Experts Group*) dla obrazu statycznego oraz MPEG (ang. *Moving Pictures Experts Group*) dla obrazu ruchomego [4]. Ogólną zasadę działania kodera JPEG przedstawiono na rycinie nr 2, natomiast przykład zastosowania tego typu kodowania na rycinie nr 3.



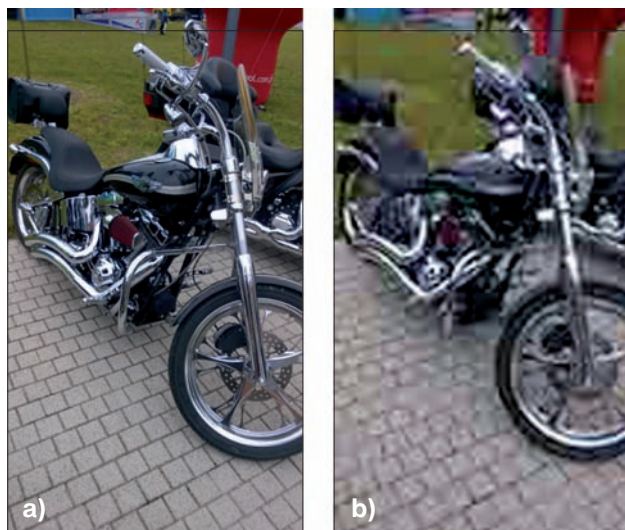
Ryc. 2. Zasada działania kodera JPEG.

Zalety kompresji stratnej [3]:

- zdjęcie zajmuje mniej miejsca w przestrzeni dyskowej;
- umożliwia szybsze przetwarzanie i analizę danych;
- powoduje mniejsze obciążenie obliczeniowe komputera.

Wady kompresji stratnej [3]:

- brak możliwości zdekodowania sygnału do postaci pierwotnej (wejściowej) bez utraty informacji;



Ryc. 3. Przykład zastosowania kompresji JPEG a) obraz oryginalny, b) po zastosowaniu kompresji stratnej o współczynniku jakości 1 (skala 0-10), zapis zrealizowany w środowisku Adobe Photoshop.

- utrata części zarejestrowanego poprzez układ optyczny obrazu oraz – co się z tym wiąże – brak możliwości jego analizy.

Ideą idealną byłaby rejestracja obrazu z jak największą rozdzielczością oraz z jak najmniejszym stopniem kompresji, ale ze względu na aspekt archiwizacji i przechowywania danych jest to niemożliwe. Przykładowo w przypadku rejestracji obrazu (kompresja bezstratna) na standardowej płycie DVD o pojemności 4,7 GB (zakładając 25 klatek/s) można zapisać około 30 sekund materiału filmowego z rozdzielczością full HD (1920 x 1080). Natomiast przy zastosowaniu kompresji stratnej, np. MPEG, możliwy jest zapis kilkugodzinny.

3. Wybrane metody przetwarzania obrazów

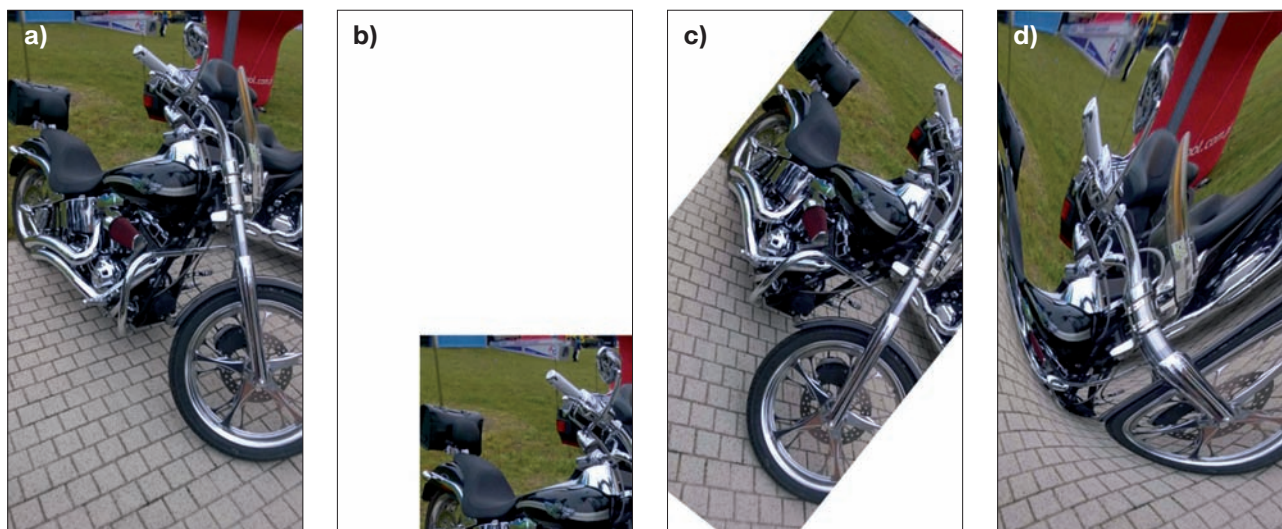
Kryminalistyczna poprawa jakości materiału wizyjnego skupia się m.in. na usunięciu zakłóceń i poprawie widoczności, np. wizerunku twarzy w celu wykonania badań antroposkopijnych, czy też uwidocznieniu danego elementu/obiektu zarejestrowanego na obrazie (jego cech charakterystycznych, gabarytów itp.) [2]. Innym przykładem jest odczytanie numerów tablic rejestracyjnych pojazdu czy też usunięcie zakłócenia typu *blur* (błąd powstały w układzie optycznym rejestratora). W celu wykonania takich badań ekspert korzysta z gotowych rozwiązań komercyjnych i filtrów cyfrowych w nich zaimplementowanych lub przygotowuje własne rozwiązania oparte na metodach matematycznego i statystycznego opisu działania filtrów cyfrowych. Do podstawowych metod wykorzystywanych do poprawy jakości obrazów cyfrowych należą przekształcenia geometryczne, punktowe oraz filtracja cyfrowa [10].

3.1. Przekształcenia geometryczne

Grupa przekształceń geometrycznych jest reprezentowana m.in. poprzez operację obrotu, przesunięcia, rozciągnięcia, korekcji perspektywy czy też deformacji obrazu wejściowego – przykład widoczny na rycinie nr 4. Operacje te są wykorzystywane jako wstęp do kolejnego procesu poprawy jakości materiału dowodowego [12].

3.2. Przekształcenia punktowe

Operacja punktowa jest przekształceniem przyporządkowującym każdemu punktowi obrazu nową



Ryc. 4. Przykłady przekształceń geometrycznych a) obraz oryginalny, b) przesunięcie, c) obrót, d) zniekształcenie.

wartość niezależnie od punktów sąsiadujących [4]. W odróżnieniu od przekształceń geometrycznych operacje punktowe nie niosą ze sobą zmiany geometrii obrazu, a jedynie modyfikują jego parametry, np. jasność (w celu uwidocznienia cech obiektu będącego w bezpośrednim zainteresowaniu eksperta). Bardzo ważną cechą operacji punktowych jest ich odwracalność (przy założeniu monotoniczności funkcji). Do operacji punktowych zaliczamy: rozciągnięcie i wyrównanie histogramu, normalizację sygnału, binaryzację, utworzenie negatywu obrazu, korekcję gamma czy też przekształcenia obrazu w dziedzinie jasności [9].

Rozciągnięcie i wyrównanie histogramu jest realizowane poprzez zwiększenie kontrastu poszczególnych grup punktów na obrazie i wyrównanie/zwiększenie poziomów ich jasności [2].

Kolejną operacją punktową jest binaryzacja, czyli ograniczenie poziomów szarości w obrazie do wartości 0 lub 1. Operacja ta pociąga za sobą bardzo dużą redukcję informacji zawartych w materiale, ale pozwala na uwidocznienie jego pewnych cech, np. konturowania [14].

3.3. Filtracja cyfrowa

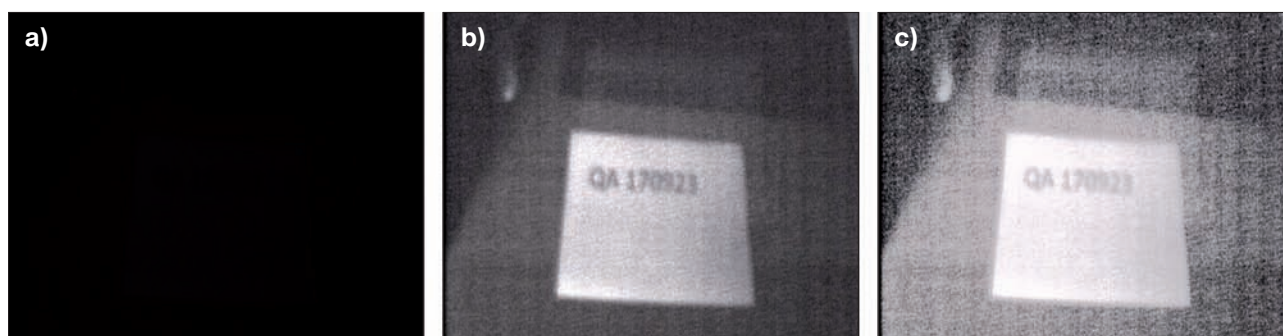
Filtracja cyfrowa może prowadzić do zmiany parametrów geometrycznych, modyfikacji informacji zawartych w obrazie oraz degradacji materiału, lecz paradoksalnie dzięki takim właściwościom znajduje szerokie zastosowanie w [7]:

- minimalizacji efektu rozmycia (np. stabilizacja obrazu czy też redukcja błędów typu *blur*);
- redukcji szumu;
- rekonstrukcji obrazu;
- poprawie obrazu o niskim kontraście;
- uwidocznianiu cech niewidocznych „gołym okiem”.

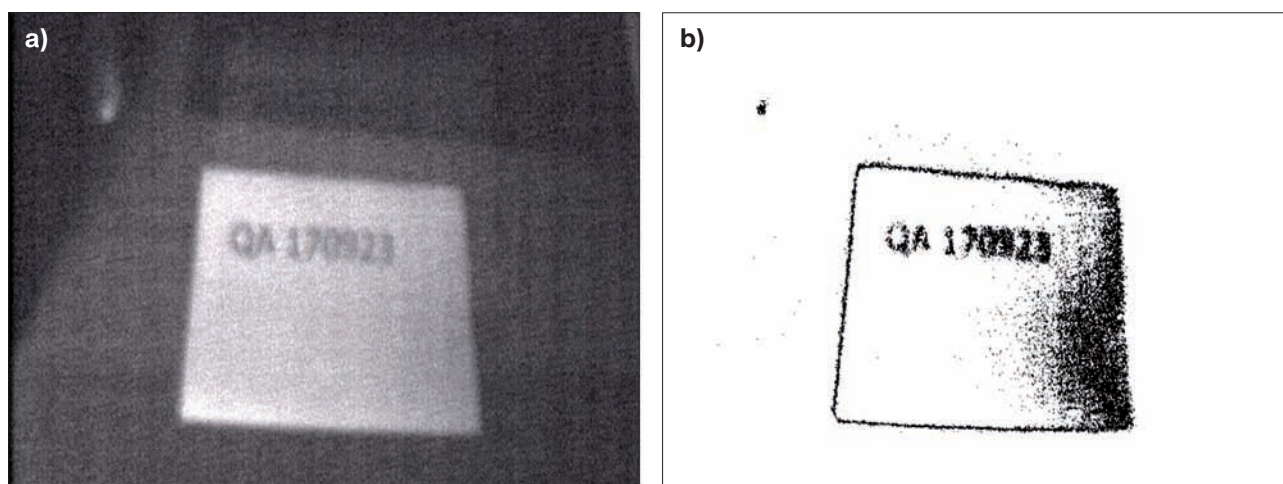
Filtrację cyfrową dzielimy na przekształcenia w dziedzinie przestrzennej (filtracja kontekstowa liniowa oraz nieliniowa) oraz w dziedzinie częstotliwości, gdzie najczęstszym zastosowaniem jest usuwanie efektu rozmycia oraz rozmycia ruchu [8].

3.3.1. Filtracja w dziedzinie przestrzennej – przekształcenia kontekstowe

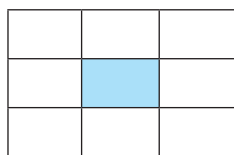
Ostatnią metodą, a właściwie zespołem metod wymienionych w niniejszej pracy, są operacje



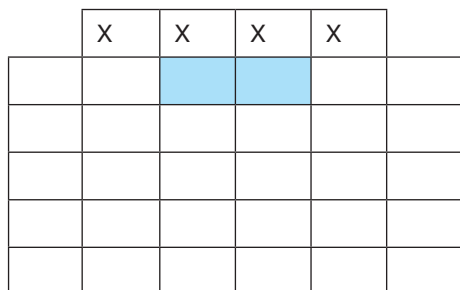
Ryc. 5. a) Obraz zarejestrowany w warunkach niedostatecznego doświetlenia, b) obraz poddany procesowi równoważenia histogramu, c) materiał wynikowy po wykonaniu wyrównania histogramu.



Ryc. 6. a) Obraz oryginalny, b) obraz po wykonaniu binaryzacji z wyraźnie widocznym konturowaniem.



Ryc. 7. Zasada obliczania nowej wartości piksela na podstawie otoczenia.



Ryc. 8. Brak możliwości wykonania operacji kontekstowej, znakiem „x” oznaczono brak argumentów potrzebnych do poprawnego działania metody.

kontekstowe. Przekształcenia te są dużo bardziej zaawansowane i wymagają od eksperta większej wiedzy i zaangażowania w prowadzone badania – zarówno w zakresie wspomnianych powyżej operacji geometrycznych, bazujących na prostych przesunięciach, obrotach *etc.*, jak też operacji jednopunktowych. Filtracja kontekstowa polega na wyznaczeniu nowej wartości piksela na podstawie analizy wielu pikseli będących w jego otoczeniu (zasadę działania pokazuje rycina nr 7 [12]. Ten typ filtracji nie przyniesie oczekiwanych rezultatów w stosunku do

obszaru obrazu znajdującego się bezpośrednio na jego brzegu z powodu braku otoczenia dla tych pikseli – rycina nr 8.

Przekształcenia kontekstowe dzieli się na: filtrację liniową (wszystkie piksele są przetwarzane na podstawie takiej samej funkcji), w której analiza realizowana jest zgodnie z liniową kombinacją pikseli wejściowych oraz filtrację nieliniową dokonującą obliczeń opartych na kombinacji nieliniowej [10].

3.3.1.1. Filtracja liniowa

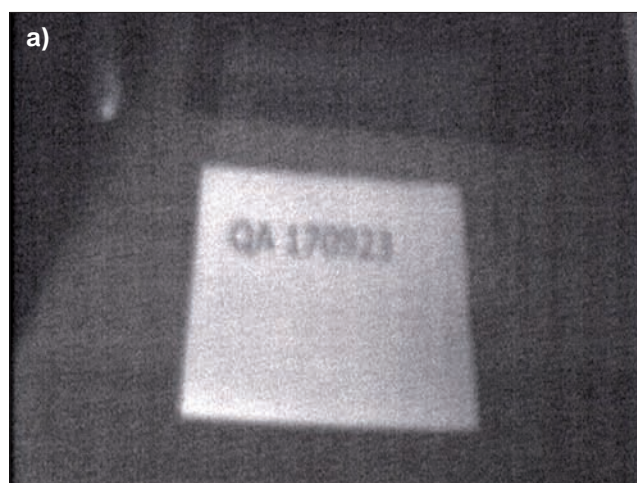
Filtrację kontekstową określamy jako liniową w przypadku, gdy spełnia warunek addytywności oraz jednorodności. Filtracja liniowa w dziedzinie przestrzennej może zostać wykonana za pomocą splotu funkcji (konwolucji) [12]:

$$g(x) = (f * h)(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x-t)h(t)dt, \quad (2)$$

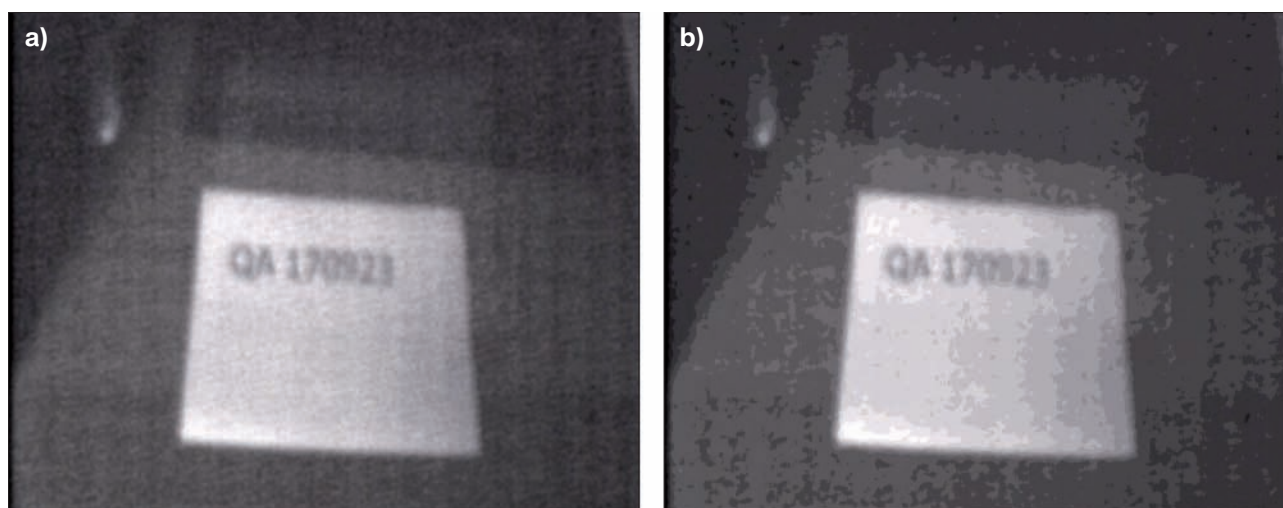
„gdzie g – spłot, natomiast f, h – splatane funkcje”.

Aby warunek filtracji został spełniony (aby funkcja h stała się filtrem), musi zostać osiągnięty stan, w którym spłot g zdefiniowany jest w całym zbiorze wartości R , a iloczyn $f(x-t)h(t)$ jest całkowany na całym zbiorze R .

Filtrację liniową w obu powyższych przypadkach dzieli się na filtrację dolnoprzepustową, w której redukcji ulegają składowe wyższych częstotliwości, tj. zbiory punktów, w których następują gwałtowne zmiany jasności, oraz górnoprzepustową, w której redukcji ulegają składowe niższych częstotliwości [8]. Do tej grupy filtrów zaliczyć można operacje służące detekcji krawędzi czy też przekształcenie Laplace’a. Poniżej przedstawiono wynik działania filtracji dolnoprzepustowej na przykładzie konwolucyjnego filtru uśredniającego.



Ryc. 9. a) Obraz oryginalny, b) wynik zrealizowania procesu filtracji uśredniającej – widoczna redukcja szumu wraz z efektem wygładzania krawędzi obiektu.

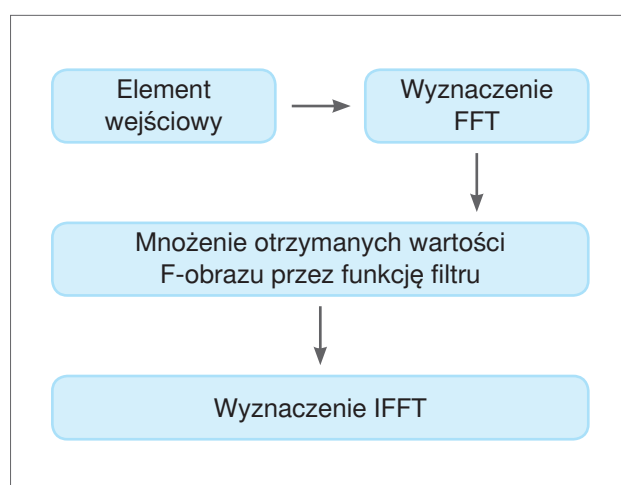


Ryc. 10. a) Obraz oryginalny, b) wynik wykonania filtracji medianowej z widocznym wygładzaniem krawędzi obiektu.

3.3.1.2. Filtracja nieliniowa

Do grupy filtrów nieliniowych należą filtry medianowe stosowane w przypadku usuwania szumów na zarejestrowanym obrazie (przykład przedstawiono na rycinie nr 10), ustalające nową wartość piksela na podstawie mediany (tj. wartość środkową z analizowanego obszaru obrazu) [1].

Innym przykładem kontekstowych przekształceń nieliniowych jest filtracja adaptacyjna, w której maska filtru zmienia swoje parametry w zależności od analizowanego obszaru obrazu. Filtry adaptacyjne działają dwuetapowo. W trakcie pierwszego z nich obliczany jest parametr klasyfikujący (np. stopień jasności pikseli) dany obszar i jego krawędzie. Natomiast w kolejnym dokonywana jest filtracja uśredniająca (ale w odniesieniu tylko do punktów nienależących do tego obszaru, co pozwala na uniknięcie wewnętrznego efektu rozmycia) [13].



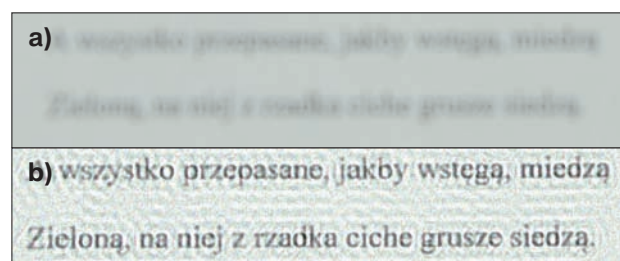
Ryc. 11. Zasada działania filtracji w dziedzinie częstotliwości.

3.3.2. Filtracja w dziedzinie częstotliwościowej

Ten rodzaj filtracji stosowany jest głównie do poprawy tzw. rozmytych obrazów, zobrazowania cech niewidocznych w dziedzinie przestrzennej oraz filtracji zakłóceń okresowych. Operacja filtracji realizowana jest poprzez zastosowanie transformacji Fouriera [12,15], tj. przekształcenia obrazu z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości zgodnie z zależnością:

$$F(\xi) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(x) e^{-2\pi i x \xi} dx, \text{ dla } \xi \in \mathbb{R} \quad (3)$$

Na rycinie nr 12 przedstawiono przykład zastosowania filtracji częstotliwościowej dolnoprzepustowej (filtr Butterwortha) w celu redukcji zakłócenia typu *blur*.



Ryc. 12. a) Obraz oryginalny, b) wynik wykonania filtracji częstotliwościowej.

4. Sposób wykonania badań oraz wyniki badań

Na podstawie przedstawionych w poprzednim rozdziale metod przetwarzania obrazów cyfrowych w tabeli nr 1 opisano parametry materiałów poddanych poprawie jakości. Czynności prowadzono w celu uzyskania jak najlepszej wyrazistości oraz czytelności ich treści, zachowując przy tym kompromis pomiędzy degradującym wpływem filtracji cyfrowej a czytelnością obiektu. Materiałem badawczym były obrazy cyfrowe

Tabela 1. Parametry techniczne materiałów testowych.

Urządzenie rejestrujące	Główne parametry techniczne materiału		Cel analizy
Telefon Nokia	Nazwa: Format: Rozdzielczość (piksele): Ekspozycja:	Plik1_test.jpg (Ryc. 13a) JPEG 3072 x 1728 1/25s, f/1.9, ISO 400	Poprawa widoczności numerów tablic rejestracyjnych
	Nazwa: Format: Kodek wideo: Rozdzielczość: Proporcja obrazu: Liczba klatek/s: Skanowanie: Przepływność:	Plik2_test.mp4 (Ryc. 14a) MPEG – 4 AVC (<i>Advanced Video Coding</i>) 1920 x 1080 16:9 30 Progresywne 16583 kbp/s	Poprawa widoczności numerów tablic rejestracyjnych
Aparat Canon	Nazwa: Format: Rozdzielczość (piksele): Ekspozycja: Ustawienie ostrości:	Plik3_test.jpg (Ryc. 15a) Plik4_test.jpg (Ryc. 16a) JPEG 3504 x 2336 1/160s, f/5.0, ISO 100 Tryb manual	Poprawa jakości nadruku w zależności od stopnia rozmycia obiektu będącego w ruchu
	Nazwa: Format: Rozdzielczość (piksele): Ekspozycja: Ustawienie ostrości:	Plik5_test.jpg (Ryc. 17a) Plik6_test.jpg (Ryc. 18a) Plik7_test.jpg (Ryc. 19a) JPEG 3504 x 2336 1/160 s, f/5.0, ISO 100 Tryb manual	Poprawa jakości nadruku w zależności od stopnia zniekształcenia optycznego typu <i>blur</i>
Telefon Nokia	Nazwa: Format: Rozdzielczość (piksele): Ekspozycja:	Plik8_test.jpg (Ryc. 20a) JPEG 1200 x 800 1/25 s, f/1.9, ISO 400	Poprawa jakości nadruku materiału poddanego wstępnemu przetwarzaniu (kompresja stratna JPEG)
Kamera Sony	Nazwa: Format: Kodek wideo: Rozdzielczość: Proporcja obrazu: Liczba klatek/s: Skanowanie: Przepływność:	Plik9_test.avi (Ryc. 21a) AVI (<i>Audio Video Interleave</i>) DV (<i>Digital Video</i>) 720 x 576 16: 9 25 z przeplotem 24441 kbp/s	Poprawa widoczności nadruku obiektu będącego w ruchu
Aparat Canon	Nazwa: Format: Rozdzielczość (piksele): Ekspozycja	Plik10_test.jpg (Ryc. 21c) JPEG 3504 x 2336 1/160 s, f/5.0, ISO 100	Poprawa widoczności obiektu
Kamera Sony	Nazwa: Format: Kodek wideo: Rozdzielczość: Proporcja obrazu: Liczba klatek/s: Skanowanie: Przepływność:	Plik11_test.avi (Ryc. 23) AVI (<i>Audio Video Interleave</i>) DV (<i>Digital Video</i>) 720 x 576 16:9 25 z przeplotem 24441 kbp/s	Poprawa widoczności nadruku
Aparat Canon	Nazwa: Format: Rozdzielczość (piksele): Ekspozycja:	Plik12_test.jpg (Ryc. 24) JPEG 3504 x 2336 1/160 s, f/5.0, ISO 100	Pomiary geometryczne

oraz wizyjne wykonane za pomocą trzech urządzeń cyfrowych: telefon marki Nokia – linia Lumia, kamera SONY oraz aparat Canon – linia EOS. Materiały zostały wykonane w taki sposób, aby uwidocznić aspekty badawcze (zniekształcenia), z jakimi najczęściej spotykają się eksperci dokonujący ich analizy. Zdjęcia oraz materiał wideo wykonywano w warunkach jak najbardziej zbliżonych do naturalnych, występujących w rzeczywistych analizowanych przypadkach.

Na rycinach nr 13-16 przedstawiono wynik realizacji poprawy jakości materiałów cyfrowych w celu odczytania numerów tablic rejestracyjnych (ryc. 13-14) oraz tekstu drukowanego (ryc. 15-16). Powyższe przypadki przedstawiają sytuację, w której na skutek

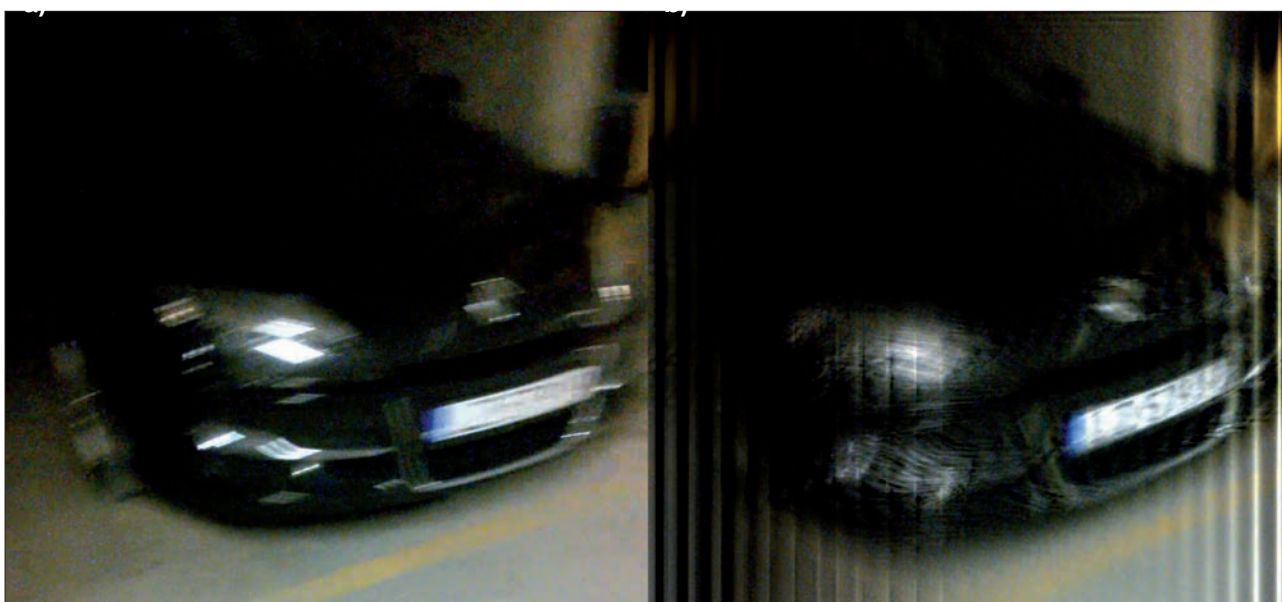
różnej prędkości poruszania urządzeniem rejestrującym uzyskano cztery materiały o różnym stopniu degradacji. Omawiane zjawisko nosi nazwę „rozmycia ruchu” (ang. *motion blur*) a stopień zniekształcenia zarejestrowanego materiału jest uzależniony od szybkości poruszania się obiektu (rejestrator lub obiekt rejestrowany) oraz ustawienia parametrów optyki (czasu ekspozycji, wartości przysłony oraz czułości matrycy) [3].

W celu poprawy widoczności treści materiałów wykonano redukcję rozmycia ruchu (w dziedzinie częstotliwości), kontekstową filtrację liniową (filtr uśredniający, zwiększenie ostrości laplasjanem), a także przekształcenia geometryczne (obróć) oraz punktowe (m.in. edycja histogramu). Parametry filtrów cyfrowych dobierano indywidualnie dla każdego przypadku w taki sposób, aby maksymalnie zwiększyć widoczność zarejestrowanej treści przy jednoczesnym ograniczaniu ubocznego wpływu działania filtracji cyfrowej, tj. wprowadzaniu zniekształceń czy też artefaktów do analizowanego materiału.

Wykonane czynności umożliwiły pełen odczyt numerów tablic „LZ 57919” w przypadku analizy zdjęcia (ryc. 13) oraz odczyt częściowy dla zarejestrowanego materiału filmowego (ryc. 14) – „LZ 579(?)?”. W przypadku analizy obrazu widocznego na rycinie nr 15 zrealizowane czynności umożliwiły pełen odczyt tekstu *Litwo! Ojczyzno moja! Ty jesteś jak zdrowie, Ile cię trzeba cenić, ten tylko się dowie*, natomiast dla zdjęcia z ryciny nr 16 umożliwiły odczyt częściowy (poprawna interpretacja treści wyniosła 50–60%). Skuteczność odczytu została obliczona na podstawie stosunku liczby poprawnie odczytanych znaków do liczby wszystkich znaków na próbce 4 osób. Częściowe odczytanie danych zawartych na obrazach spowodowane jest zbyt dużą degradacją materiału cyfrowego, pomimo technicznie dobrych parametrów, takich jak

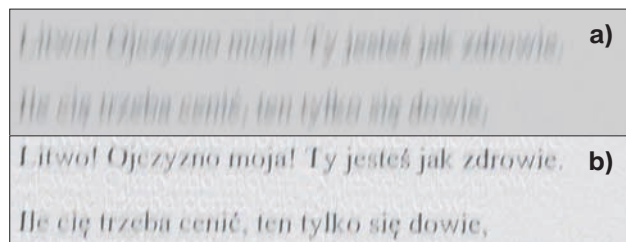


Ryc. 13. a) Materiał fotograficzny przed wykonaniem procesu poprawy jakości, b) po zrealizowaniu procesu filtracji.



Ryc. 14. a) Materiał wideo przed wykonaniem procesu poprawy jakości, b) po zrealizowaniu procesu filtracji.

np. rozdzielczość. Ponadto na skuteczność redukcji *motion blur* wpływ miała szybkość przemieszczania się rejestratora, niedostateczna jakość optyki, która z uwzględnieniem kompresji danych nie pozwoliła na rejestrację jakościowo lepszego obrazu, dodatkowo wprowadzając zniekształcenia geometryczne.



Ryc. 15. Obraz oryginalny, widoczny w części a) oraz poddany procesowi filtracji polegającej na redukcji zakłócenia typu „rozmycie ruchu” – b).

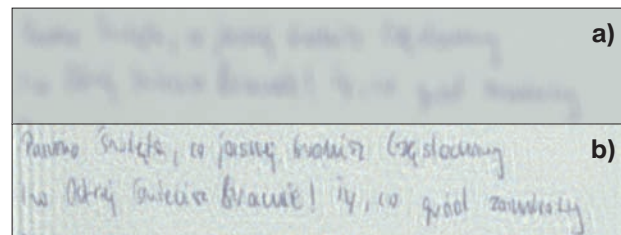


Ryc. 16. Obraz oryginalny, widoczny w części a) oraz poddany procesowi filtracji polegającej na redukcji zakłócenia typu „rozmycie ruchu” – b).

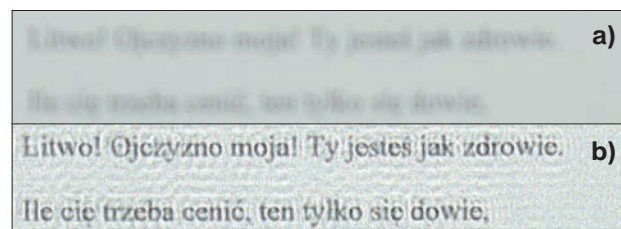
Ryciny nr 17–19 pokazują wynik redukcji zniekształcenia typu optyczne rozmycie (ang. *blur*). Zniekształcenie to jest wynikiem niewłaściwie dobranej odległości pomiędzy optyką rejestratora a obiektem, który chcemy utrwalić; im dystans ten jest większy, tym stopień degradacji wzrasta. Przyczyny tego typu zjawiska mogą być dwie. Pierwsza może wynikać z błędnego ustawienia ostrości w trybie manualnym przez fotografa czy też operatora kamery. Druga wynika z błędnie działającego tzw. autofocusa, czyli automatycznego ustawiania ostrości, na który wpływ ma m.in. rejestracja przy niedostatecznym oświetleniu obiektu czy też ustawienie ostrości w innym punkcie, niż życzyłby sobie użytkownik (należy mieć świadomość, iż funkcja autofocus jest automatem, który nie jest w stanie przewidywać decyzji użytkownika i zdjęcie wykonane może być czytelne i ostre, ale nie we właściwym fragmencie) [9]. W przypadku analizowanych obrazów (ryc. 17–19) zastosowano manualny tryb ustawiania ostrości, tak regulując jej parametrem, aby uzyskać różny stopień degradacji zdjęć.

W celu redukcji powyższego zniekształcenia wykonano dolnoprzepustową filtrację częstotliwościową (filtr Butterwortha) oraz kontekstową filtrację liniową (zwiększenie ostrości laplasjanem), tak

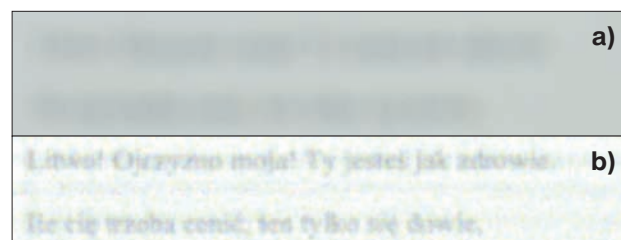
dobierając parametry filtrów cyfrowych, aby uzyskać maksymalną czytelność zarejestrowanej treści przy minimalnym wpływie algorytmów korekcji na jakość analizowanego obrazu. Poniższe przykłady pokazują skuteczność redukcji omawianego zniekształcenia. W przypadku dwóch materiałów (ryc. 17b oraz 18b)



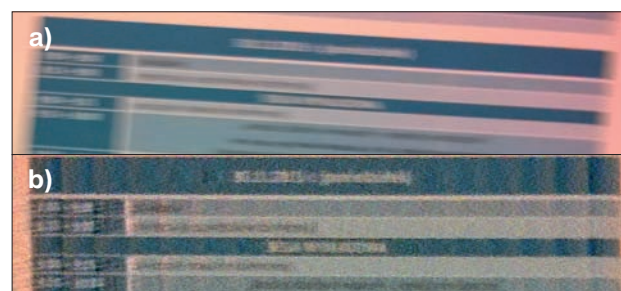
Ryc. 17. Obraz oryginalny widoczny w części a) oraz poddany procesowi filtracji polegającej na redukcji zakłócenia typu *blur* – b).



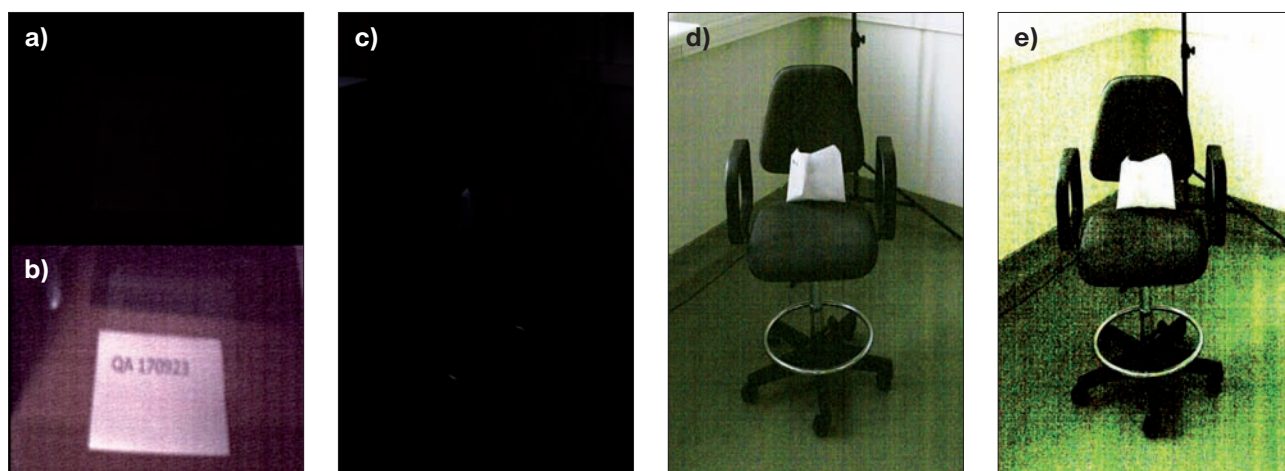
Ryc. 18. Obraz oryginalny widoczny w części a) oraz poddany procesowi filtracji polegającej na redukcji zakłócenia typu *blur* – b).



Ryc. 19. Obraz oryginalny widoczny w części a) oraz poddany procesowi filtracji polegającej na redukcji zakłócenia typu *blur* – b).



Ryc. 20. Próba redukcji zakłócenia typu „rozmycie ruchu” dla materiału poddanego kompresji wtórnej: a) obraz wejściowy, b) wynik wykonania procesu filtracji cyfrowej.



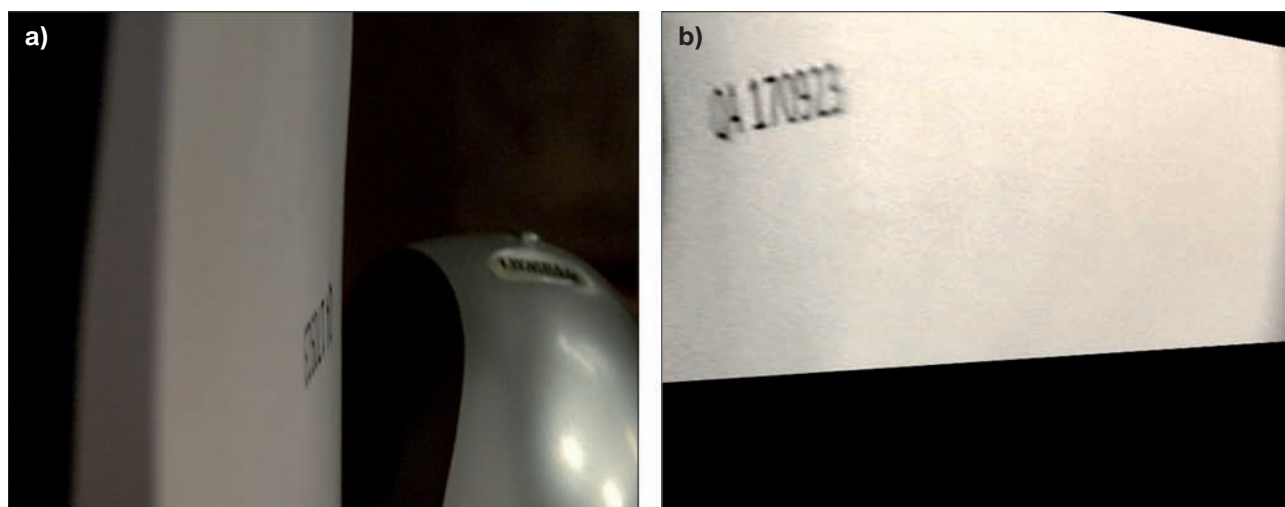
Ryc. 21. Wynik zastosowania poprawy jakości materiału wizyjnego (część b)) oraz zdjęcia (część d) i e)) w sytuacji rejestracji zdarzenia w niedostatecznych warunkach oświetleniowych.

zrealizowane czynności umożliwiły całkowity odczyt zarejestrowanego tekstu: *Litwo! Ojczyzno moja! Ty jesteś jak zdrowie, Ile cię trzeba cenić, ten tylko się dowie*, natomiast w ostatnim (ryc. 19) umożliwiły odczyt częściowy (poprawna interpretacja treści wyniosła 60–70%), co było spowodowane dużym stopniem degradacji materiału. Odczytu tekstu z rycin nr 17–19 dokonała grupa 4 osób: poprawność rozpoznania została obliczona na podstawie stosunku liczby poprawnie odczytanych znaków do liczby wszystkich znaków.

Na rycinie nr 20 przedstawiono wynik poprawy jakości obrazu zarejestrowanego kamerą telefonu marki Nokia i poddanego wtórnemu procesowi kompresji stratnej JPEG (współczynnik jakości 4 w skali od 0 do 10, zapis zrealizowany w środowisku Adobe Photoshop). W celu korekcji zniekształceń wykonano filtrację



Ryc. 22. Widok obiektu koloru białego z ryciny nr 21d oraz 21e.



Ryc. 23. a) Widok obrazu zarejestrowanego z błędami perspektywy, b) wynik zastosowania przekształceń geometrycznych oraz operacji punktowych.

częstotliwościową oraz kontekstową filtrację liniową. Ze względu na zbyt małą ilość informacji zawartych na obrazie zrealizowane czynności nie umożliwiły poprawnej interpretacji zarejestrowanej treści.

Analiza prowadzona w odniesieniu do materiałów wskazanych na rycinach nr 21a (przykładowa klatka wyeksportowana z materiału wideo, rejestracja częściowo zapisanej strony A4) oraz 21c (obraz) miała na celu odczytanie zapisanej treści oraz uwidocznienie kształtów obiektów zarejestrowanych w niedostatecznych warunkach oświetleniowych [14].

Wyniki wykonanych analiz wizualizują:

- zastosowanie kontekstowej filtracji cyfrowej oraz przekształceń punktowych (rozciągnięcie histogramu) – rycina nr 21b;
- edycję poziomów w dziedzinie jasności – rycina nr 21d;
- zastosowanie binaryzacji (przekształcenia punktowe) – rycina nr 21e.

Jak wynika z wykonanych czynności w stosunku do treści zawartej na:

- rycinie nr 21a, odczytano ciąg znaków: QA170923;
- rycinie nr 21c, uwidoczniono kształt obiektu (konturowanie); nie udało się odczytać treści zawartej na obiekcie koloru białego.

Na powyższe wyniki wpływ miała przede wszystkim rozdzielczość zdjęcia oraz stopień kompresji stratnej. Można oczywiście sprzętowo zwiększać parametry rozdzielczości, jednakże tylko w jednostkowych przypadkach operacja ta pozwoli na zwiększenie czytelności szczegółów obrazu. Czynność taką zaprezentowano na rycinie nr 22, jednakże ze względu na brak wystarczającej ilości informacji nie przyniosła ona oczekiwanych efektów.

Rycina nr 23b przedstawia wynik przekształceń geometrycznych (obrót, korekta perspektywy) oraz operacji punktowych (równoważenie histogramu). Czynności te mogą okazać się bardzo skuteczne, np. w minimalizacji wpływu czynnika ludzkiego.

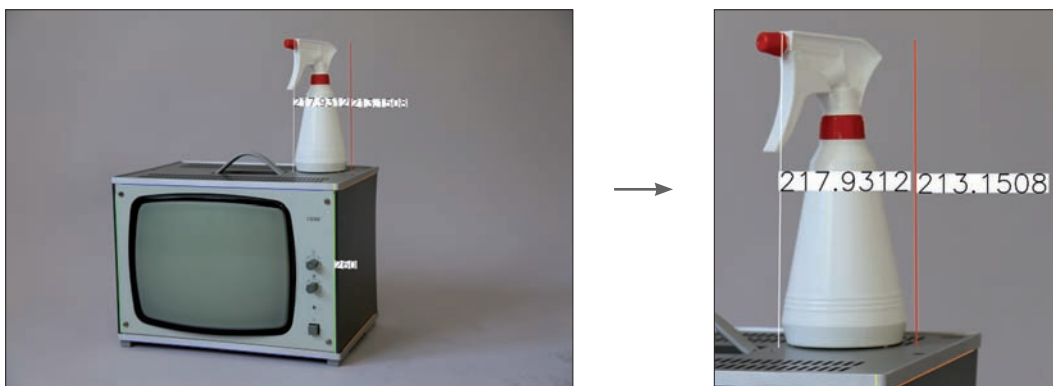
Poza wyżej wymienionymi metodami filtracji cyfrowej oraz przekształceniami punktowymi i geometrycznymi ważną rolę w pracy biegłego stanowią pomiary geometryczne obiektów [4]. Ekspert wykonujący badania może dokonać następujących pomiarów:

- 1D – w jednej płaszczyźnie (użytkownik wprowadza jeden wymiar referencyjny);
- 2D – w dwóch płaszczyznach (np. zwymiarowanie odległości telefonu leżącego na podłodze od stołu), gdzie operator wprowadza dwa wymiary referencyjne w osiach x i y;
- 3D (ryc. 24) – pomiary prowadzone są w trzech płaszczyznach x, y oraz z. Do wykonania pomiarów 3D wymagane jest podanie trzech wymiarów referencyjnych, po jednej dla każdej z płaszczyzn x, y oraz z.

W przypadku pokazanym na rycinie nr 24 wymiary zostały określone z błędem wynoszącym około 3 mm. Zmierzone wartości dla przedmiotu koloru białego wyniosły odpowiednio ~217,9 mm oraz ~213,2 mm (wymiar oryginalne: 215 mm oraz 210 mm). Opisana funkcjonalność wydaje się być bardzo pomocna, np. w przypadku, gdy potrzebne jest oszacowanie wysokości postaci na zdjęciu. Należy mieć jednak na uwadze, iż wykonanie tego typu analiz jest bardzo mocno skorelowane z jakością materiału dostarczonego do badań, a w przypadku obrazu o niskiej rozdzielczości może być niemożliwe do zrealizowania.

5. Podsumowanie i wnioski

W niniejszym opracowaniu zaprezentowano przegląd metod poprawy jakości obrazów wraz z przykładami. Materiały testowe w celu zróżnicowania ich jakości zostały wykonane za pomocą trzech typów urządzeń: telefonu, aparatu oraz kamery. Ryciny nr 13-24 przedstawiają wyniki otrzymanych badań, których celem było uzyskanie jak największej wyrazistości oraz czytelności treści zapisanych na zarejestrowanych plikach cyfrowych.



Ryc. 24. Wynik wykonania pomiarów 3D obiektu koloru białego.

W większości przypadków zastosowane filtry cyfrowe zminimalizowały występujące zakłócenia, umożliwiając odczyt zarejestrowanej treści lub jej części. Żaden z wykonanych testów nie doprowadził do całkowitej eliminacji zakłóceń. Na podstawie wyników badań możliwe jest wskazanie trzech ogólnych grup czynników mających wpływ na możliwość zrealizowania procesu poprawy jakości obrazów i uzyskania zadowalających efektów:

- a. **Parametry techniczne materiału badawczego** – w głównej mierze stopień zastosowanej kompresji oraz rozdzielczość obrazu, które determinują zawartą ilość informacji. Na przykład redukcja zniekształceń typu *blur* (ryc. 18) oraz tzw. „poruszony obraz” (ryc. 15) byłaby niemożliwa do wykonania w przypadku zapisu danych z większym stopniem kompresji, ze względu na mniejszą liczbę informacji. Wpływ ilości informacji zawartej w obrazie na możliwość wykonania badań pokazano na rycinie nr 20.
- b. **Parametry techniczne rejestratora** (szczególną uwagę należy zwrócić na zespół układów optycznych i elektronicznych) wpływające na poprawność odzwierciedlenia rejestrowanej sceny. Redukcja zakłóceń spowodowanych błędami optyki aparatu jest możliwa do pewnego momentu progowego, w którym np. poprawa perspektywy analizowanego obiektu wprowadzi zbyt duże zniekształcenia. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku pomiarów geometrycznych, które będą niemożliwe do zrealizowania ze względu na zbyt duże prawdopodobieństwo otrzymania błędnych wyników bez możliwości oszacowania błędu pomiaru. Przykład poprawy perspektywy przedstawiono na rycinie nr 23, a pomiary geometryczne na rycinie nr 24. Oczywiście należy mieć na uwadze, iż parametry techniczne rejestratora w oczywisty sposób wpływają na parametry techniczne zarejestrowanego materiału, takie jak chociażby układ przetwarzania sygnału determinujący format zapisu i stopień kompresji. Dlatego też oba te czynniki są nierozłączne i wzajemnie na sobie wpływają.
- c. **Czynnik ludzki** odgrywający bardzo ważną, a być może nawet najważniejszą rolę w momencie rejestracji materiału, jak również na etapie jego analizy i poprawy. Szczególnie w przypadku zastosowania rejestratora o niskiej jakości toru optycznego i układu przetwarzającego obraz.

Bibliografia

1. Bose T., *Digital Signal and Image Processing*, Wiley 2004.
2. Drago F., Myszkowski K., Annen T., Chiba N., *Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes*, Eurographics, 2003.
3. Easton Jr. R.L., *Fundamentals of Digital Image Processing*, 2010.
4. Farid H., *Digital Image Forensics*, “Scientific American” 2008.
5. Gupta V., Chaurasia V., Shandilya M., *A Review on Image Denoising Techniques*, *International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences*, 2013.
6. Levine M.D., *Vision In Man and machine*, McGraw Hill, New York 1985.
7. Marsi S., Impoco G., Ukovich A., Carrato S., Ramponi G., *Video Enhancement and Dynamic Range Control of HDR Sequences for Automotive Applications*, “Journal on Advances in Signal Processing” 2007.
8. Materka A., Strumiłło P., *Wstęp do komputerowej analizy obrazów*, Skrypt Politechniki Łódzkiej, Łódź 2009.
9. Motwani M.C., Gadiya M.C., Motwani R.C., *Survey of Image Denoising Techniques*, *Proceedings of Global Signal Processing*, Santa Clara 2004.
10. Sankowski D., Mosorov V., Strzecha K., *Przetwarzanie i analiza obrazów w systemach przemysłowych*, PWN, Warszawa 2011.
11. Starosolski R., *Algorytmy bezstratnej kompresji*, Studia Informatyka, Politechnika Śląska, 2002.
12. Tadeusiewicz R., Korohoda P., *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997.
13. Wang C., Sun L., Yang B., Mingliu Y., Yang S., *Video Enhancement Using Adaptive Spatio-Temporal Connective Filter and Piecewise Mapping*, “Journal on Advances in Signal Processing” 2008.
14. Vaidya V.G., Padole C.N., *Night Vision Enhancement Using Wigner Distribution*, IEEE, 2008.
15. Zieliński T.P., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005, 2007.

Źródło rycin i tabel: autor