

Alicja Ciach-Żelazko

Regina Tokarczyk

Korekcja obrazów cyfrowych dla optymalizacji ich automatycznego pomiaru¹

Streszczenie: *Celem badań opisanych w artykule było przetestowanie wybranych metod korekcji obrazów cyfrowych pod kątem optymalizacji ich automatycznego pomiaru. Główny nacisk został położony na zbadanie przekształceń punktowych (wyrównanie kontrastu i histogramu) i kontekstowych (filtracja liniowa i nieliniowa). Ze względu na dostępne narzędzia programowe badano użycie filtracji dla celów optymalizacji automatycznego pomiaru w dwu najpopularniejszych zastosowaniach: detekcja i pomiar tych samych obiektów na dwu lub więcej obrazach z zastosowaniem autokorelacji oraz pomiar elementów liniowych.*

Pierwsza część doświadczeń dotyczyła zmian, jakie zachodzą w wartości współczynnika korelacji między dwoma przekształcanymi obrazami cyfrowymi oraz rozbieżności między położeniem punktu obrazu znajdowanego przez obserwatora a obrazem znajdowanym przez autokorelację na przefiltrowanych obrazach

W wyniku badań stwierdzono, że użycie filtrów : uśredniającego i medianowego wpływa znacznie na zwiększenie korelacji między badanymi miejscami, natomiast filtr dolnoprzepustowy LP1 daje najbliższe manualnemu wyniki pomiaru.

W drugiej części badań dotyczących wpływu filtracji na detekcję elementów liniowych wykorzystano filtry górnoprzepustowe i krawędziujące. Jako miarę jakości filtracji przyjęto dwa parametry: korelacyjny współczynnik wyznaczenia prostej, który porównuje szacunkowe i rzeczywiste wartości współrzędnych oraz odchylenie standardowe punktów od estymowanej prostej. Wyniki obliczeń wykazały, że optymalnym z badanych filtrów okazał się filtr Laplace'a..

1. Wstęp

Cyfrowe przetwarzanie obrazów w zastosowaniach fotogrametrycznych, polegające na przekształceniu obrazu oryginalnego przy pomocy odpowiednich algorytmów na obraz wyjściowy, ma (generalizując) dwa zadania: zmianę geometrii obrazu oraz zmianę jego radiometrii. Przekształcenia geometryczne są stosowane głównie dla celów tworzenia map rastrowych, na przykład: przekształcenie rzutu środkowego na rzut ortogonalny w procesie tworzenia ortofotomapy, zamiana pary zdjęć na zdjęcia epipolarnie, umożliwiającą wygodną ich obserwację i pomiar.

Przekształcenia nie mające charakteru geometrycznego, stosowane są dla wizualnej poprawy obrazu oraz służą przygotowaniu obrazów do automatyzacji ich pomiaru. Pierwszy przypadek z grupy przekształceń niegeometrycznych stosujemy dla optymalizacji obserwacji obrazów oraz do ewentualnego wyrównywania obrazów

¹Temat związany z grantem KBN nr 4 T12E 052 27 „Automatyzacja pomiaru na obrazach cyfrowych w zastosowaniu do fotogrametrycznego systemu trójwymiarowego pozycjonowania ciała dla celów rehabilitacji leczniczej.”

składanych ze zdjęć elementarnych (przykładem jest radiometryczne wyrównywanie obrazów, składających się na ortofoto, np. po mozaikowaniu).

Natomiast zadaniem drugiej grupy przekształceń radiometrycznych jest umożliwienie automatyzacji pomiaru na obrazach; jest ona szeroko wykorzystywana zarówno w fotogrametrii lotniczej jak i naziemnej, stosowana w procesach technologicznych tworzenia ortofotomap, budowania Numerycznego Modelu Terenu, w automatycznej aerotriangulacji. Przyczynia się do znacznego ograniczenia ludzkiego wysiłku oraz zmniejszenia ilości czasu potrzebnego na wykonanie danego zadania. W fotogrametrii bliskiego zasięgu w aplikacjach przemysłowych automatyzacja stanowi podstawę robotyki, gdzie pomiary wykonywane są w czasie rzeczywistym i bez jej stosowania niemożliwe byłoby szybkie i sprawne przetworzenie danych w krótkim czasie.

Potrzeba automatyzacji pomiaru obrazu wymusza przebadanie zasadności stosowania wstępnej korekcji tych obrazów, badanie to ma na celu uzyskanie odpowiedzi na pytanie: czy zachodzi potrzeba, a jeśli tak, to jaki rodzaj przetwarzania jest przydatny dla optymalizacji pomiaru opartego na określonej metodzie automatyzacji. Konieczność tego rodzaju badań zaistniała przy opracowaniu cyfrowego systemu bliskiego zasięgu dla celów pomiaru ciała ludzkiego dla potrzeb rehabilitacji leczniczej, a w szczególności dla prac związanych z jego automatyzacją, jak również badania te mogą być przydatne dla automatyzacji pomiaru na zdjęciach lotniczych.

2. Zakres badań

Ze względu na dostępne narzędzia programowe, badano użycie filtracji dla celów optymalizacji automatycznego pomiaru w dwu najpopularniejszych zastosowaniach: detekcja i pomiar tych samych obiektów na dwu lub więcej obrazach oraz pomiar elementów liniowych.

Pierwsza część doświadczeń dotyczy zmian, jakie zachodzą w stosowaniu autokorelacji między dwoma przekształcanymi obrazami cyfrowymi. Jest to metoda korelacji krzyżowej (cross correlation), zaliczana do grupy metod dopasowujących obszarami (area based matching), której miarą jest współczynnik korelacji. W tej części przebadano grupy filtrów dolnoprzepustowych, górnoprzepustowych, nieliniowych (rozpatrzono tylko filtry sortujące), krawędziujących oraz przekształcenia punktowe. Do badania wartości współczynnika korelacji posłużono się skrypcem napisanym do tego celu w programie Matlab 5.3, a do porównania filtracji i autokorelacji z pomiarem ręcznym wykorzystano cyfrowy autograf ekranowy VSD.

Druga część dotyczy wpływu filtracji na detekcję elementów liniowych na przekształconych obrazach cyfrowych. W tym celu wykorzystano tylko filtry górnoprzepustowe i krawędziujące, a to ze względu na ujemne wartości występujące w maskach wymienionych filtrów. Do przeprowadzenia badań wykrywania krawędzi wykorzystano program Feature Extraction Software autorstwa inż. M. Hupperta i dr

inż. S. Mikruta. Działanie programu oparte jest na znajdowaniu miejsc (z podpikselową dokładnością), w których następuje przeskok wartości ujemnej piksela na dodatnią, bądź odwrotnie. Jako wskaźnik oceny działania filtracji przyjęto odchylenie standardowe punktów krawędzi od wyestymowanej prostej.

3. Badanie wyboru optymalnej filtracji obrazu cyfrowego dla detekcji i pomiaru obiektów z zastosowaniem autokorelacji.

Autokorelacja ma za zadanie znajdowanie odpowiednika obszaru zdjęcia lewego (ściślej – konkretnego punktu) na zdjęciu prawym. W celu znalezienia punktów sobie odpowiadających na obu zdjęciach rozpatruje się otoczenie punktu na zdjęciu lewym i szuka podobnego otoczenia na prawym.

Korelacja wyznaczana jest przy pomocy dwóch okien – pierwotnego i poszukiwawczego. Okno poszukiwawcze z reguły nie ma rozmiaru większego niż 50x50 pikseli. Podobieństwo dwóch okien (metoda CC) mierzone jest poprzez współczynnik korelacji, którego wartość (r) mieści się w przedziale $|r| \leq 1$, a wyraża się wzorem:

$$r = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 \cdot \sigma_2} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g'_{i,j} - \bar{g}') \cdot (g''_{i,j} - \bar{g}'')}{\sqrt{(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g'_{i,j} - \bar{g}')^2)(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (g''_{i,j} - \bar{g}'')^2)}} \quad (1)$$

gdzie: $g'_{i,j}$ - gęstość optyczna piksela na obrazie pierwotnym,

\bar{g}' - średnia gęstość optyczna pikseli na obrazie pierwotnym,

$g''_{i,j}$ - gęstość optyczna piksela na obrazie poszukiwawczym,

\bar{g}'' - średnia gęstość optyczna pikseli na obrazie poszukiwawczym,

N, M - ilość kolumn i wierszy okna poszukiwawczego,

σ_{12} - kowariancja jasności,

σ_1 - odchylenie standardowe okna pierwotnego,

σ_2 - odchylenie standardowe okna poszukiwawczego,

Maksymalna wartość r odpowiada najlepszej korelacji. Założeniem tej metody jest to, że dwa obrazy mają identyczną skalę, a osie układów pikselowych obu zdjęć są do siebie równoległe. Aby usprawnić proces, przeszukiwanie przeprowadza się wzdłuż linii epipolarnych na dwu zdjęciach lub na modelu stereoskopowym, który składa się z

obrazów znormalizowanych. Do wstępnego przybliżenia korelacji, bada się jej współczynnik od obrazu najmniejszego w piramidzie obrazów, do obrazu o pełnej zdolności rozdzielczej, z jaką było skanowane zdjęcie. Na dokładność korelacji mają wpływ takie czynniki jak: różnice gęstości optycznych tych samych pikseli, obszary zacienione bądź zasłonięte. Możliwe jest wykonywanie autokorelacji z dokładnością podpikselową.

W badaniu wykorzystano stereogram zdjęć lotniczych zeskanowanych z rozdzielczością $21\mu\text{m}$. Na zdjęciu lewym wybrano obszary o wymiarach 10×10 pikseli, każdy z tych obszarów był wzorcem (obrazem pierwotnym), którym przeszukiwano zdjęcie prawe. Łącznie doświadczenie przeprowadzono na 99 obszarach, dla których wyznaczano współczynnik korelacji. Oba zdjęcia (prawe i lewe) poddawano cyfrowym przekształceniom obrazów. Oczywiście w celu porównywania współczynników wyznaczano też współczynnik dla zdjęć nieprzetworzonych (oryginalnych). W doświadczeniu wykorzystano przekształcenia:

1) Automatyczne wyrównanie kontrastu (odcięcie 0.5%),

2) Wyrównanie histogramu;

3) Filtr uśredniający $\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$ (waga=9),

4) Filtr medianowy;

5) Filtr Gaussa $\begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix}$ (waga 16),

6) Filtr dolnoprzepustowy Lp1 $\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$ (waga 10),

7) Filtr dolnoprzepustowy Lp2 $\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 12 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$ (waga 20),

8) Filtr górnoprzepustowy $\begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}$,

$$9) \text{ Filtr Laplace'a } \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix},$$

$$10) \text{ Rodzaj zmodyfikowanego filtru Laplace'a } \begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix},$$

$$11) \text{ Filtr Prewitta poziomy } \begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix},$$

$$12) \text{ Filtr Prewitta pionowy } \begin{vmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

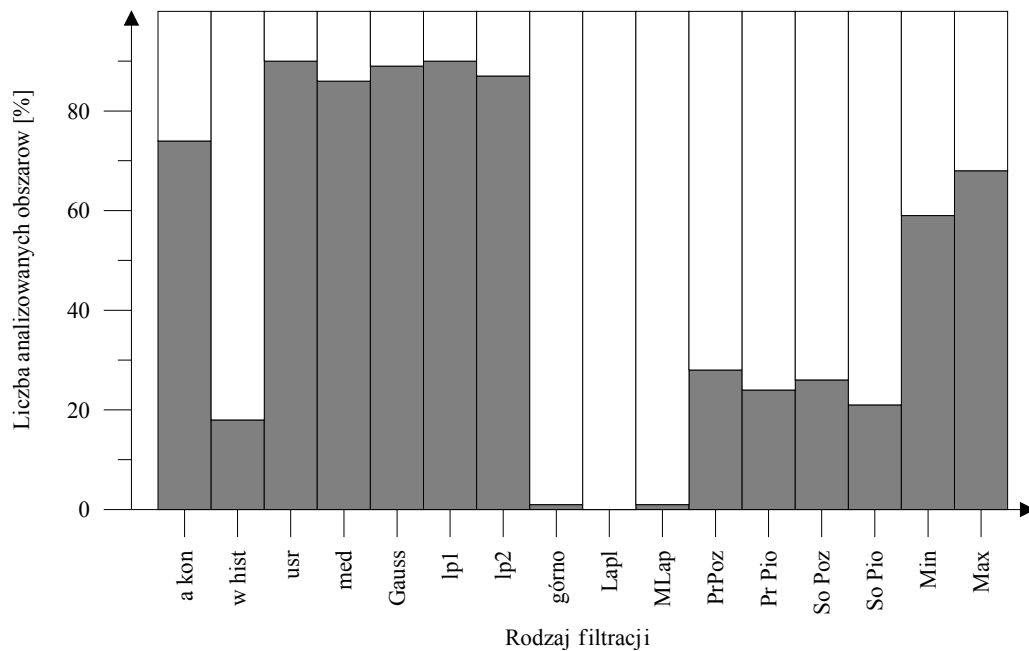
$$13) \text{ Filtr Sobela poziomy } \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix},$$

$$14) \text{ Filtr Sobela pionowy } \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix},$$

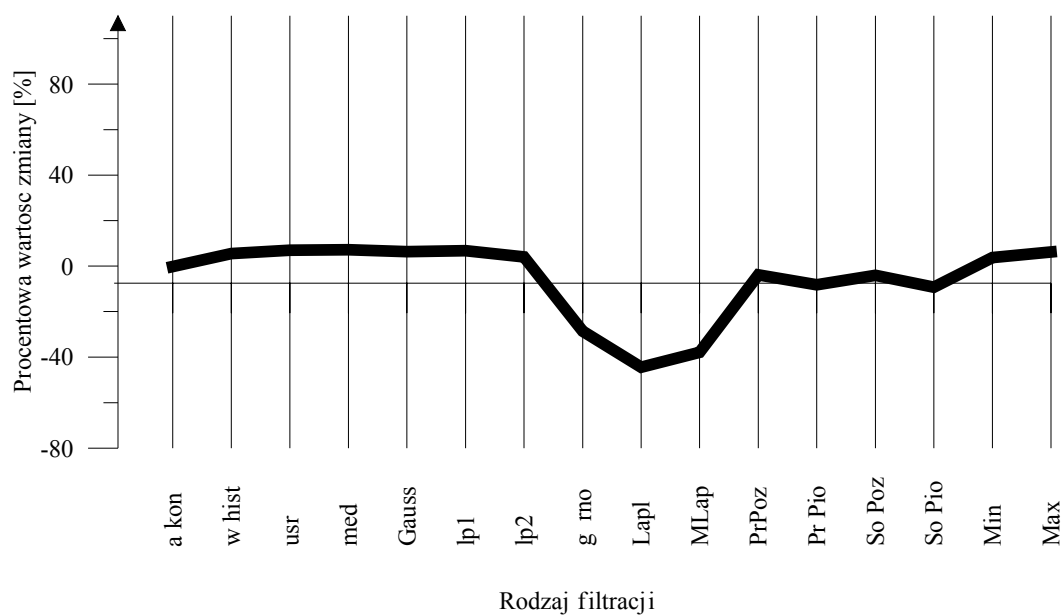
15) Filtr maksymalny,

16) Filtr minimalny.

Aby wyciągnąć z badań prawidłowe wnioski, wyniki wykorzystano do utworzenia dwojakiego rodzaju zestawień: pierwsze - dające odpowiedź, w ilu obszarach badawczych uzyskano poprawę współczynnika korelacji, natomiast drugie zestawienie mówi, o ile ten współczynnik wzrasta w porównaniu ze współczynnikiem wyznaczonym dla obrazów nieprzetworzonych. Graficznym zobrazowaniem pierwszego zestawienia jest rys.1, z którego wynika, że poprawa wartości współczynnika korelacji wystąpiła w największej ilości obszarów badawczych po użyciu filtrów: uśredniającego, medianowego, Gaussa, dolnoprzepustowych Lp1 i Lp2. Dla tych filtrów wystąpił również największy wzrost wartości współczynnika, co obrazuje rys.2.



Rys.1 Wykres zależności poprawy współczynnika korelacji od ilości rozpatrywanych obszarów



Rys.2. Wykres procentowej (uśrednionych wartości) zmiany wartości współczynnika korelacji

Potwierdzenie powyższych spostrzeżeń dostrzeżono w publikacjach [Cyganek, 2001], [Lo, 1992], [Ghalib, 1988], gdzie do usuwania szumów dla polepszenia korelacji wykorzystywano filtr medianowy, uśredniający i filtry z grupy dolnoprzepustowych.

Badania powyższe udowodniły wpływ filtracji na zwiększenie współczynnika korelacji, natomiast nie jest to jednoznaczne z odpowiedzią na pytanie, czy warto zatem przekształcać obraz. Zadaniem autokorelacji jest bowiem znalezienie właściwego położenia szukanego punktu (piksela) drogą porównywania współczynników obliczanych dla przesuwających się masek filtra. Znaleziony autokorelacyjnie piksel odpowiada takiemu położeniu maski, dla którego współczynnik osiąga maksymalną wartość. Warto zatem przekonać się, czy filtracja dająca zwiększanie współczynnika daje również zwiększenie pewności, że znalezione dopasowanie jest właściwe.

Stosowanie przekształceń (filtracji) powoduje, że zmianie ulega pierwotna postać obrazu cyfrowego. Powoduje to, że punkt, który jest wykryty funkcją korelacji na zdjęciu prawym (bierzemy pod uwagę obrazy przekształcone) może być punktem przesuniętym o pewną wartość względem punktu określonego z wykorzystaniem obrazów oryginalnych – nieprzekształconych. Stosując autokorelację chcemy zautomatyzować ręczny pomiar punktów homologicznych na zdjęciach. Jednak nie zawsze stosowanie funkcji korelacji wykrywa punkt, który pomierzylibyśmy ręcznie. Przeprowadzając analizę na 20 punktach w programie VSD (wyznaczanych z podpikselową dokładnością) określano ręcznie współrzędne odpowiadających sobie punktów na lewym i prawym zdjęciu. Następnie funkcją autokorelacji określano współrzędne punktu na zdjęciu prawym. Pomiar wykonano zarówno dla punktów zdjęcia oryginalnego, jak i zdjęć przetworzonych (filtr uśredniający, Gaussa, LP1, górnoprzepustowy, minimalny, maksymalny i medianowy).

Dla każdej współrzędnej punktu zdjęcia prawego obliczono odchyłkę względem współrzędnych punktu wyznaczonego pomiarem ręcznym. Na tej podstawie wyznaczono dla każdego rodzaju filtracji oraz dla obrazu oryginalnego kwadrat błędu średniego dla współrzędnej x oraz y , a z prawa przenoszenia się błędów – kwadrat błędu średniego dla punktu. Wartości σ^2 dla obrazu nieprzekształconego oraz dla obrazów przefiltrowanych przedstawia Tabela 1.

Tabela 1. Wykaz kwadratu sigmy obrazów przekształconych i nieprzekształconego

	Bez przekształceń	Uśredniający	Gaussa	LP1	Medianowy	Min.	Max.	Górno-przepustowy
σ^2	11,98	23,35	15,15	8,55	89,07	780,89	118,33	67,05

Wynika z tego, że najbliższe współrzędnych wyznaczonych pomiarem ręcznym są współrzędne uzyskane z autokorelacji i przefiltrowane filtrem Lp1. Również małą

wartość kwadratu błędu średniego punktu mają współrzędne uzyskane z obrazu nieprzekształconego.

Zwiększmy „pewność” znalezienia dopasowanego odpowiednio piksela, jeśli obliczony dla niego współczynnik będzie wyraźnie większy, niż obliczone dla pikseli znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu, inaczej mówiąc, jeżeli bezwzględne różnice między współczynnikami będą większe. W celu przeanalizowania tego wpływu wyznaczono dla 30 obszarów różnice między współczynnikami pikseli sąsiednich (8 pikseli) a współczynnikiem o największej wartości. Analizowano obraz nieprzekształcony oraz poddany filtracji uśredniającej i medianowej. Sumując różnice (między maksymalną wartością współczynnika autokorelacji a wartością dla pikseli sąsiednich) dla poszczególnych przekształceń otrzymano, że dla obrazu nieprzekształconego - 90% obszarów ma większą sumę różnic w porównaniu z filtracją uśredniającą i medianową (rys. 3). Wynika więc z tego, że cyfrowe przekształcenie obrazu (dokładniej filtr uśredniający i medianowy) powoduje zmniejszenie różnic między współczynnikiem korelacji pikseli otoczenia a pikselem o największej wartości. Zresztą odpowiada to chyba charakterowi tych filtrów, mających za zadanie wyrównywanie jasności sąsiadujących pikseli.



Rys.3. Wykres ilości obszarów o większej wartości różnic między pikselem o największej wartości współczynnika korelacji a wartościami pikseli sąsiednich

Jest to ciekawe spostrzeżenie, bowiem powoduje, że stwierdzona poprzednim badaniem zasadność stosowania filtracji usuwającej szumy staje się dyskusyjna. Korelacja przekształconych obrazów jest lepsza (bo zwiększa się wartość współczynnika), ale mniej pewna, bo piksele otaczające są również lepiej skorelowane. Filtracja taka może doprowadzić do „zgubienia” pojedynczych istotnych w treści obrazu pikseli, co spowoduje przesunięcie maksimum współczynnika korelacji na inne piksele, a co z kolei może być przyczyną błędnych dopasowań.

4. Badanie wyboru optymalnej filtracji dla celu automatycznej detekcji i pomiaru elementów liniowych

Wydobycie krawędzi elementów liniowych i ich pomiar jest jedną z podstawowych procedur w zastosowaniach fotogrametrycznych, zarówno w aplikacjach topograficznych jak i nietopograficznych.

W wydobywaniu krawędzi pomocne są wszelkiego rodzaju filtry krawędziujące, natomiast warte przebadania jest, na ile filtry te i inne podnoszą dokładność pomiaru krawędzi – tu utożsamianej z odcinkiem prostej.

Jak wspomniano wcześniej, wymagania programu Feature Extraction Software [Mikrut, 2003] sprawiają, że do badań można użyć tylko filtrów, których maski zawierają wartości dodatnie i ujemne, co w rezultacie daje obraz o wartościach dodatnich i ujemnych. Wykorzystane filtry to: górnoprzepustowy, Laplace'a, zmodyfikowany Laplace'a, Prewitta pionowy i poziomy oraz Sobela pionowy i poziomy. Na zdjęciu o rozmiarze piksela 21µm wybrano 15 krawędzi, dla których zostały określone punkty początkowe i końcowe. Krawędzie wybrano tak, aby ilość ich w poszczególnych kierunkach (pionowe, poziome, ukośne) była mniej więcej taka sama. Następnie zdjęcie to poddano wyżej wymienionym rodzajom przekształceń. W programie wyznaczone zostały punkty, w których zanotowana została zmiana znaku wartości piksela. Automatycznie zostały odrzucone punkty, które znalazły się poza pasmem (punkt początkowy i końcowy danej linii stanowił środek pasma) o szerokości 10 pikseli. Następnie, metodą najmniejszych kwadratów, w punkty te wpasowano prostą regresji $y = ax + b$, gdzie a i b przyjmują wartości, dla których funkcja:

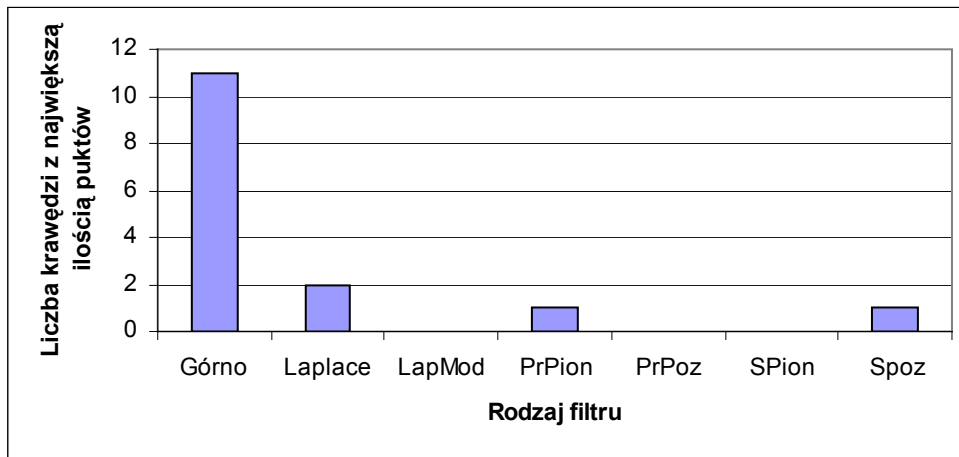
$$F(a, b) = \sum_{i=1}^n [Y_i - (aX_i + b)]^2 = \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (2)$$

osiąga minimum (n – ilość punktów aproksymujących prostą, d – odchyłki od prostej).

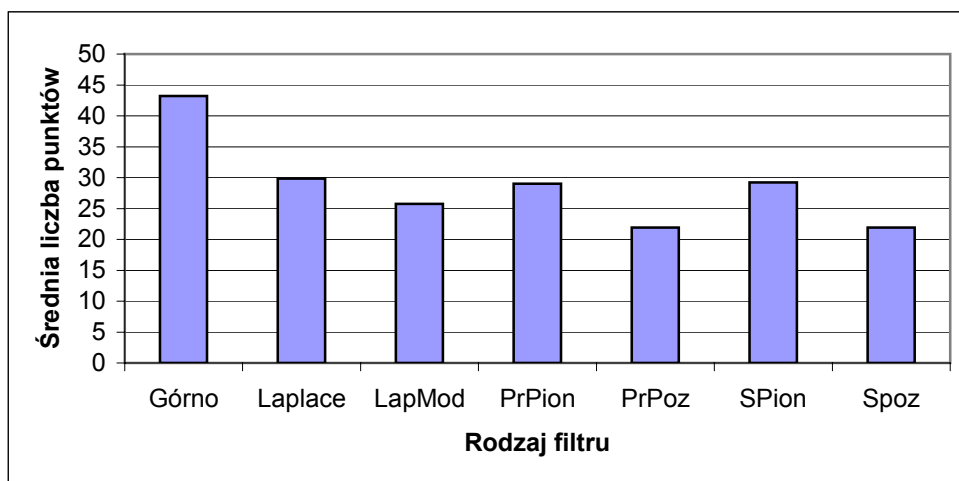
W zależności od zastosowanej filtracji, program znajdował inną ilość punktów, w których następowała zmiana znaku wartości piksela. Po zastosowaniu filtru górnoprzepustowego program wykrywał największą ilość punktów, w porównaniu z innymi przekształceniami (rys. 4 i rys. 5).

Jednak nie można przyjąć, że największa liczba wykrytych punktów jest równoznaczna z najlepszym wpasowaniem prostej.

Przy wpasowywaniu prostej w zbiór punktów definiujących krawędź, określano współczynnik wyznaczania prostej – R . Współczynnik ten porównuje szacunkowe i rzeczywiste wartości x i y . Jego wartość mieści się w przedziale od 0 (prosta regresji nie jest pomocna w obliczeniach) do 1 (doskonała korelacja w danym zbiorze punktów).



Rys.4. Wykres największej liczby wykrytych punktów w zależności od zastosowanej filtracji.

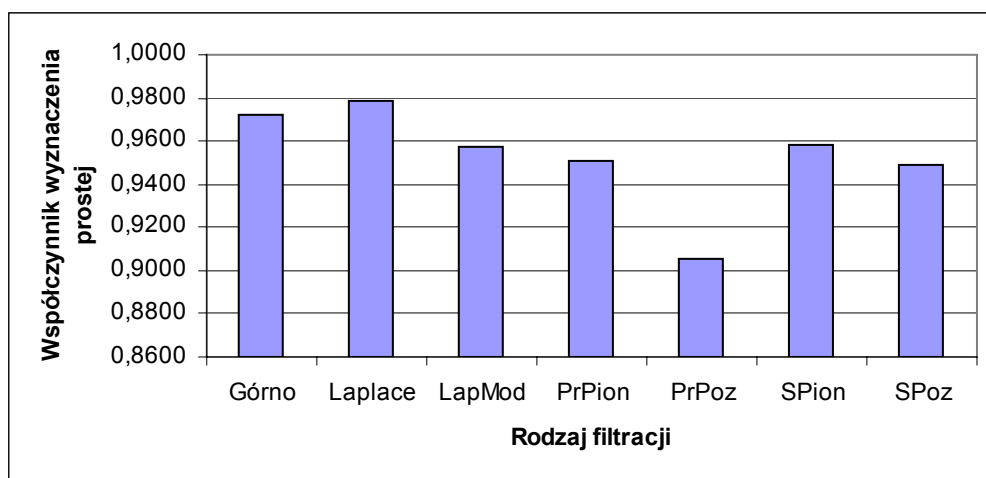


Rys.5. Wykres średniej ilości wykrytych punktów w zależności od zastosowanej filtracji.

Współczynnik ten wyznaczany jest ze wzoru:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

W zależności od rodzaju przekształceń wpasowana prosta miała inną wartość współczynnika R. Największą średnią wartość R, w porównaniu z innymi filtrami, miał filtr Laplace'a (rys.6). Tylko o 0.5% gorszy był filtr górnoprzepustowy. Wynika z tego, że przekształcenia te wykrywały punkty krawędzi, dające najlepsze wpasowanie prostej.

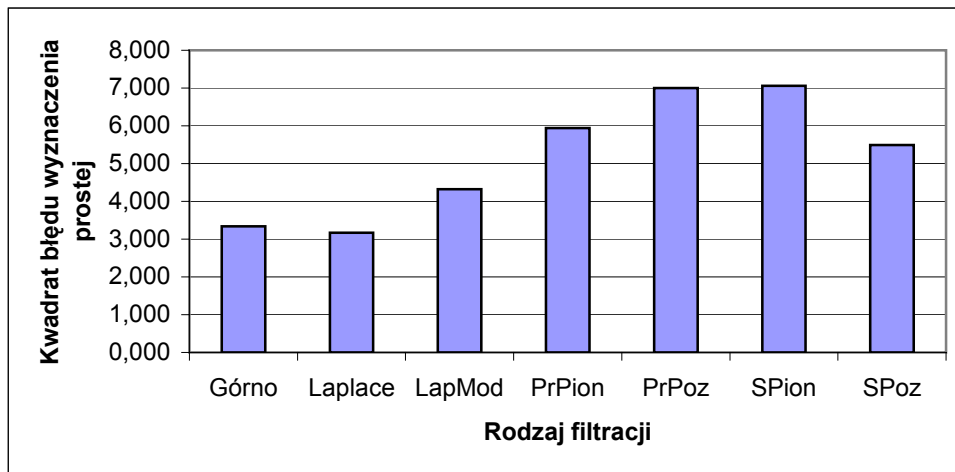


Rys.6. Zależność średniej wartości współczynnika R od rodzaju filtru.

Analizując wpasowanie prostej, dodatkowo wyznaczono kwadrat błędu średniego oszacowany ze wzoru:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1} \quad (4)$$

Wyniki, jakie otrzymano potwierdzają najlepszą skuteczność filtru Laplace'a (rys.7).



Rys.7. Zależność kwadratu błędu średniego od rodzaju filtracji. Na osi pionowej jednostką jest kwadrat piksela.

5. Podsumowanie i wnioski

Celem badań było przetestowanie odpowiednich rodzajów przekształceń obrazów cyfrowych, których wykorzystanie wpłynęłoby na polepszenie wyników pomiarów na zdjęciach. Realizacja pracy dotyczyła najpopularniejszych zastosowań automatyzacji: użycia autokorelacji i detekcji krawędzi.

Dzięki badaniu wartości współczynnika korelacji możliwe było wyciągnięcie wniosków, że do poprawy korelacji przyczynia się stosowanie filtrów dolnoprzepustowych i sortujących, w tym szczególnie uśredniającego i medianowego. Należy zauważyć, że wzrost wartości współczynnika korelacji przy zastosowaniu tych dwóch filtrów wystąpił aż w około 90% badanych obszarów. Niestety, zasadność stosowania takiej filtracji zmniejsza zjawisko równoczesnego zmniejszenia różnic między współczynnikami korelacji dla pikseli otaczających ten o maksymalnym współczynniku. Analiza działania przekształceń pod kątem określania dokładności wskazania punktu z zastosowaniem autokorelacji względem pomiaru ręcznego wykazuje, że optymalne jest użycie (spośród przebadanych filtrów) dolnoprzepustowego filtra Lp1.

Ocena przydatności filtracji przy detekcji elementów liniowych możliwa była poprzez określenie następujących parametrów: współczynnika wpasowania prostej i kwadratu błędu średniego wpasowania prostej. Na tej podstawie stwierdzono, że najlepsze rezultaty daje filtr Laplace'a. Również stosowanie filtracji górnoprzepustowej (gorsze wpasowanie prostej tylko o 5% względem laplasjanu) dało bardzo dobre wpasowanie prostej.

Przeprowadzone badania potwierdziły zasadność przekształcenia obrazu poddanego automatycznemu pomiarowi, takiego przekształcenia, którego przydatność jest przebadana dla konkretnego rodzaju postępowania usprawniającego pomiar.

Wobec niezwyklej dynamiki rozwoju fotogrametrii cyfrowej będzie zwiększało się zapotrzebowanie na takie rozwiązania dotyczące korekcji obrazów cyfrowych, które będą automatycznie dostarczały wyników pomiarów o jak najwyższej jakości i dokładności. Wiadomo przecież, że teraźniejszością i przyszłością fotogrametrii jest automatyzacja.

Literatura

[Cyganek, 2001] – Bogusław Cyganek, 2001, „Komputerowe przetwarzanie obrazów trójwymiarowych”, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Kraków

[Ghalib, 1988] - Ghalib H.Mizaal, Rehab H. Alwan, 1988, “Contrast enhancement and edge detection technique”, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Com.III ,Kyoto

[Lo, 1992] - K.C. Lo, N.J. Mulder., 1992, “Automatic DEM data generation and change detection by region matching”, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Commission III, Washington 1992

[Mikrut, 2003] - <http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~smikrut/pol.htm>