

16.01.2024

Sygnały i Obrazy Cyfrowe

Sprawozdanie 4 – Transformaty Ortogonalne

Mateusz Marko, grupa nr 1, TN wt 17:05
Nr 273168, ISA

LINK Z KODEM DO OBYDWU ZADAŃ : <https://github.com/MrMatier/Sygnały-i-obrazy-cyfrowe/tree/LAB4>

#Rozwiązanie starałem się przedstawić na parę możliwych sposobów

1. Cel ćwiczenia #1- Odszumianie

Celem ćwiczenia jest wykonanie procesu odszumiania , czyli w przetwarzaniu obrazów cyfrowych usuwanie wizualnych zakłóceń obrazu o wysokiej częstotliwości, paroma metodami. Należy je zademonstrować zarówno na obrazach szarych jak i kolorowych a następnie porównać skuteczność.

2. Wstęp teoretyczny

- Odszumianie

Odszumianie stanowi kluczowy etap w przetwarzaniu obrazów cyfrowych, mający na celu usunięcie zakłóceń w postaci szumów, które wprowadzają niepożądane fluktuacje w obrazie. Szumy te mogą wynikać z różnych czynników, takich jak zakłócenia elektroniczne, interferencje sygnałów, czy też procesy fizyczne podczas akwizycji obrazu.

- Transformaty Ortogonalne:

Transformaty ortogonalne są matematycznymi operacjami przekształcającymi sygnał z dziedziny czasu (przestrzennej) do dziedziny częstotliwości. Są to przekształcenia, w których bazowe funkcje (np. sinusy i cosinusy w przypadku transformaty Fouriera) są jak sama nazwa wskazuje ortogonalne. Ortogonalność bazowych funkcji ułatwia reprezentację sygnału za pomocą współczynników transformacji. Transformaty ortogonalne, takie jak transformata Fouriera i transformata falkowa, są szeroko stosowane w kompresji obrazów, sygnałów dźwiękowych i innych dziedzinach przetwarzania sygnałów. Oferują one efektywną reprezentację sygnałów, umożliwiając jednocześnie redukcję redundancji i koncentrację energii sygnału w niewielkiej liczbie współczynników.

- Metoda transformaty Fouriera w odszumianiu

Transformatę Fouriera można wykorzystać do efektywnego odszumiania obrazów. Proces ten opiera się na przeniesieniu obrazu z dziedziny przestrzennej do dziedziny częstotliwości, co umożliwia identyfikację i eliminację składowych o wysokich częstotliwościach, które są zazwyczaj związane ze szumami. Po odfiltrowaniu zakłóceń, można dokonać odwrotnej transformaty Fouriera, aby uzyskać odszumiony obraz. W kontekście obrazów kolorowych, można zastosować transformatę Fouriera niezależnie do każdego kanału (czerwonego, zielonego i niebieskiego). To pozwala na efektywne odszumianie każdej składowej kolorowej, eliminując zakłócenia we wszystkich aspektach widma kolorów.

- Metoda falkowa w odszumianiu obrazów

Transformacja falkowa stanowi alternatywną metodę odszumiania. W przeciwieństwie do transformaty Fouriera, transformacja falkowa bazuje na lokalnych fluktuacjach obrazu. Wysoka skuteczność wynika z umiejętności reprezentacji zarówno niskich, jak i wysokich częstotliwości. W przypadku obrazów szarych, transformacja falkowa może być używana do dekompozycji i rekonstrukcji obrazu, eliminując przy tym szumy.

- Metoda odszumiania rozmyciem gaussowskim

Odszumianie przy użyciu filtracji gaussowskiej to popularna metoda, opierająca się na rozmazywaniu obrazu za pomocą rozkładu Gaussa. Choć metoda ta jest prostsza niż transformaty Fouriera czy falkowa, wciąż daje radę, jedynie czasami może być mniej skuteczna w zachowaniu ostrości krawędzi obrazu.

3. Przebieg ćwiczenia

W zadaniu trzeba było wykonać odsumianie przykładowych obrazów – obrazu szarego oraz kolorowego. Można to było zrobić paroma wymienionymi metodami a potem także dodatkowo je porównać. W naszym przypadku do odsumiania zastosujemy metody takie jak: transformacja Fouriera, transformacja falkowa oraz rozmycie Gaussowskie. Po ukończonym całym procesie odsumiania będziemy mogli porównać wszystkie obrazy i stwierdzić, która z metod odsumiania będzie subiektywnie najlepsza i da najlepszy rezultat wizualny.

a) Odszumianie transformacją Fouriera

- Obraz szary



Rysunek 1 Obraz szary oryginalny



Rysunek 2 Obraz szary sztuczne zaszumienie



Rysunek 3 Obraz szary końcowy odszumiony po usunięciu wysokich częstotliwości oraz wykonaniu transformacji odwrotnej

- Obraz kolorowy



Rysunek 4 Obraz kolorowy oryginalny



Rysunek 5 Obraz kolorowy sztuczne zaszumienie



Rysunek 6 Obraz kolorowy końcowy odszumiony transformacją Fouriera po usunięciu wysokich częstotliwości oraz wykonaniu transformacji odwrotnej

b) Odszumianie transformacją falkową

Tutaj by trochę spróbować innych metod do sztucznego zaszumienia obrazu użyłem innej metody i zaszumiłem co drugi piksel horyzontalnie a następnie wertykalnie. By potem oczywiście przetestować skuteczność transformacji falkowej, która bazuje na lokalnych fluktuacjach.



Rysunek 8 Obraz szary zaszumiony horyzontalnie



Rysunek 7 Obraz szary zaszumiony wertykalnie



Rysunek 9 Obraz szary oryginalny



Rysunek 10 Obraz szary końcowy po odszumianiu transformacją falkową

c) Odszumianie rozmyciem Gaussa



Rysunek 11 Obraz początkowy sztucznie zaszumiony



Rysunek 12 Obraz końcowy po odszumianiu rozmyciem Gaussowskim

Porównując odszumianie gaussowskie z pozostałymi metodami widzimy że jakość jest nieco gorsza i rozmycie Gaussowskie nie jest bezpośrednio do tego przeznaczone. Implementacja kodu nie była tak wymagająca jak pozostałe natomiast musimy pamiętać, że metoda ta daje nam jeden z najgorszych rezultatów wizualnych z zestawienia i usuwając ten szum tracimy mocno na jakości obrazu.

4. Wnioski

- Transformatę Fouriera często wykorzystuje się w dziedzinie cyfrowego przetwarzania sygnałów i obrazów ze względu na jej skuteczność w analizie częstotliwościowej. W przypadku odszumiania, umożliwia efektywną identyfikację i eliminację zakłóceń o wysokiej częstotliwości, co sprawia, że jest niezwykle przydatna w procesach przetwarzania obrazów cyfrowych. Jej rola w tym kontekście polega na efektywnej transformacji dziedziny obrazu, co umożliwia precyzyjne manipulacje i poprawę jakości obrazu. Jej główną zaletą jest efektywność w eliminacji szumów o wysokich częstotliwościach jednakże może prowadzić do utraty ostrości, szczególnie w przypadku obrazów z dużą ilością informacji oraz wyraźnymi krawędziami.
- Transformacja Falkowa natomiast cechuje się wysoką elastycznością w reprezentacji zarówno niskich, jak i wysokich częstotliwości, co pozwala na efektywne odszumianie. Lecz transformata ta także ma swoje wady. Przede wszystkim ogólnie jest ona bardziej zaawansowana i posiada wyższy poziom skomplikowania implementacyjnego niż w przypadku transformaty Fouriera, która zdaje się nie być aż tak wymagająca.
- Jeśli chodzi o odszumianie Gaussowskie to jest ono zdaje się najprostszą z metod jednak jej prosta implementacja, wciąż pozwala na utrzymanie pewnej ostrości krawędzi i jakiś efekt daje. Wciąż jednak nie jest to główne zastosowanie rozmycia Gaussowskiego więc metoda ta nie jest do końca przeznaczona do odszumiania jak powyższe i nie sprawdza się tak dobrze. Jest ona znacznie mniej skuteczna w przypadku eliminacji szumów o wysokiej częstotliwości.
- Każda z metod różni się nieco implementacją, złożonością i sposobem odszumiania co potem przekłada się również na jakość obrazu końcowego. Wyniki uzyskane przy użyciu transformacji Fouriera i transformacji falkowej różnią się głównie jak już wyżej nadmieniłem skutecznością utrzymania ostrości oraz krawędziami. Transformata Fouriera, eliminując składowe o wysokich częstotliwościach, może prowadzić do rozmazania obrazu oraz krawędzi, co przełoży się na jakość końcowego obrazu wyjściowego i może być to niepożądane w przypadku obrazów z dużą ilością detali.
- Najbardziej wszechstronną metodą zdaje się być transformacja falkowa, która dobrze utrzymuje ostrość krawędzi i eliminuje zakłócenia o różnych częstotliwościach bazując na fluktuacjach lokalnych. Mimo pewnego stopnia skomplikowania w implementacji, oferuje najlepszy kompromis między skutecznością a utrzymaniem szczegółów.

5. Cel ćwiczenia #2- Kompresja

Celem tego ćwiczenia jest zapoznanie się z mechanizmem kompresji obrazów. W zadaniu należało zaimplementować algorytm kompresji stratnej dla obrazów zarówno szarych jak i kolorowych ponownie używając transformacji Fouriera oraz falkowej.

6. Wstęp teoretyczny

- Algorytm kompresji stratnej z wykorzystaniem transformacji Fouriera

Algorytmy kompresji stratnej wykorzystują transformacje ortogonalne, takie jak transformata Fouriera, do reprezentacji obrazów 2D. W przypadku obrazów kolorowych, stosuje się transformację dla każdego kanału osobno. Kompresja rozpoczyna się od wykonania transformacji, która przenosi obraz z dziedziny przestrzennej do dziedziny częstotliwości. Następnie, na podstawie pewnego kryterium (np. energii sygnału), wybiera się najważniejsze współczynniki transformacji, eliminując te o niskiej amplitudzie. Współczynniki o małej amplitudzie są zerowane, co prowadzi do utraty niektórych informacji. Ostatecznie, przeprowadza się transformację odwrotną, aby odtworzyć obraz z wybranymi współczynnikami. Jakość kompresji ocenia się za pomocą dwóch kryteriów: zawartości informacji (MAE) oraz współczynnika kompresji. MAE mierzy średnią bezwzględną różnicę między pikselami obrazu oryginalnego a zkompresowanym. Współczynnik kompresji z kolei to stosunek rozmiaru oryginalnego obrazu do rozmiaru obrazu po kompresji. Ilość współczynników niezerowych wpływa na jakość kompresji, ale wymaga uwagi w kontekście utraty informacji.

- Algorytm kompresji stratnej z wykorzystaniem transformacji falkowej

Kompresja z wykorzystaniem transformacji falkowej to alternatywny podejście, wykorzystujące transformacje ortogonalne, ale bardziej elastyczne w reprezentacji zarówno niskich, jak i wysokich częstotliwości. Podobnie jak w przypadku transformacji Fouriera, kompresja rozpoczyna się od transformacji tym razem falkowej obrazu. Wybierane są ważne współczynniki transformacji, a pozostałe są eliminowane. Proces ten może być bardziej złożony, ale umożliwia bardziej elastyczną reprezentację sygnału, co pozwala na lepszą ochronę ważnych szczegółów. Tak jak w przypadku transformacji Fouriera, ocena kompresji obejmuje MAE i współczynnik kompresji. Współczynniki niezerowe wpływają na jakość kompresji, ale zastosowanie falkowej transformacji oferuje większą kontrolę nad reprezentacją sygnału.

7. Przebieg ćwiczenia

Zadanie polegało na zaimplementowaniu algorytmu kompresji stratnej korzystając z transformacji Fouriera oraz z transformacji falkowej bądź innej transformacji ortogonalnej. Dodatkowo można także było zaimplementować adaptacyjny algorytm odpowiedzialny za dobór współczynnika kompresji.

a) Kompresja stratna przy pomocy transformacji Fouriera

- Obraz szary



Rysunek 14 Obraz szary oryginalny



Rysunek 15 Obraz szary końcowy po kompresji stratnej przy pomocy transformacji Fouriera

image	compression	error
0 circl	0.000	0.000685
1 circl	0.100	0.000689
2 circl	0.300	0.001020
3 circl	0.500	0.002338
4 circl	0.700	0.003592
5 circl	0.900	0.005726
6 circl	0.950	0.007916
7 circl	0.980	0.011793
8 circl	0.990	0.015851
9 circl	0.999	0.039324

Rysunek 15 tabela współczynnika kompresji wraz ze stopniem błędu czyli utraty informacji przy procesie kompresji dla przykładowego obrazu szarego circl

- Kolorowe



Rysunek 16 Obraz kolorowy oryginalny



Rysunek 17 Obraz końcowy kolorowy po kompresji stratnej przy pomocy transformacji Fouriera

image	compression	error
0 czerwona	0.000	0.001954
1 czerwona	0.100	0.002057
2 czerwona	0.300	0.004764
3 czerwona	0.500	0.008551
4 czerwona	0.700	0.013867
5 czerwona	0.900	0.025003
6 czerwona	0.950	0.032256
7 czerwona	0.980	0.042232
8 czerwona	0.990	0.050069
9 czerwona	0.999	0.075882

Rysunek 168 tabela współczynnika kompresji wraz ze stopniem błędu czyli utraty informacji przy procesie kompresji dla przykładowego obrazu kolorowego czerwona

b) Kompresja stratna przy pomocy transformacji falkowej



Rysunek 19 Obraz oryginalny



Rysunek 20 Obraz końcowy po kompresji stratnej przy pomocy transformacji falkowej

8. Wnioski

- Transformacja Fouriera wydaje się być dobrą kompresją, szczególnie dla obrazów o dominujących niskich częstotliwościach. Jest prosta w implementacji i w miarę szybka. Skupia się jednak na reprezentacji częstotliwości, co może prowadzić do utraty szczegółów. Nie zawsze więc może okazać się efektywna w kompresji obrazów o zróżnicowanej charakterystyce częstotliwościowej.
- Transformacja Falkowa tak jak wcześniej zdaje się być nieco bardziej uniwersalna i posiada elastyczną reprezentację sygnału, jest efektywna w kompresji obrazów o różnych częstotliwościach oraz precyzyjna w utrzymaniu ważnych szczegółów. Oferuje lepszą kontrolę nad reprezentacją detali w porównaniu do transformacji Fouriera. Niestety jednak wyraźnie widać na niej zniekształcenie obrazu w postaci pikseli szczególnie w tle obrazu oraz tak jak wcześniej okazuje się ona bardzo zaawansowaną metodą i jest złożona do implementacji, szczególnie w kontekście optymalnego doboru falki.
- Najlepszą metodą do kompresji zdaje się być ponownie transformacja falkowa jako że daje lepsze oraz ciut bardziej jakościowe rezultaty. Jak już nadmieniałem jest bardziej elastyczna w reprezentacji sygnału i umożliwia lepszą kontrolę nad reprezentacją detali. Ponadto jest niezwykle użyteczna przez swoją uniwersalność co czyni ją skuteczną w kompresji obrazów o zróżnicowanej charakterystyce częstotliwościowej, szczególnie tam, gdzie transformacja Fouriera może być ograniczona.
- Współczynnik kompresji określa stosunek między oryginalnym rozmiarem pliku a rozmiarem po kompresji. Wysoki współczynnik kompresji oznacza efektywną redukcję rozmiaru pliku, ale może prowadzić do utraty istotnych szczegółów i informacji. Jak widzieliśmy w tabelach wraz ze wzrostem współczynnika wzrastał błąd i utrata informacji. Warto zwrócić uwagę na równowagę między oszczędnością miejsca a zachowaniem jakości obrazu, co jest kluczowe w kontekście kompresji stratnej. Współczynnik kompresji dla Fouriera jest dobry, ale mocno zależy od charakterystyki obrazu. Natomiast może być też lepszy w transformacji falkowej lecz uzależnia się od rodzaju falki i poziomu kompresji.
- Ostateczny wybór pomiędzy tymi metodami zależy od konkretnego zastosowania, wymagań co do jakości obrazu, charakterystyki obrazów oraz priorytetów dotyczących wielkości pliku wynikowego. W praktyce, dla różnych przypadków, jedna metoda może być bardziej skuteczna niż druga. Warto również rozważyć kompromis między współczynnikiem kompresji a utrzymaniem istotnych szczegółów.