Kompresja H265 HEVC

Autor: Karol Pisarski

W projekcie zrealizowano kompresję wideo przy użyciu bibliotek zewnętrznych w języku Python, w szczególności korzystając z biblioteki **imageio\_ffmpeg**, która integruje narzędzie **FFmpeg**. FFmpeg to popularne narzędzie open-source służące do przetwarzania multimediów, w tym kodowania i dekodowania wideo.

# Dostarczone materiały

Podczas realizacji projektu stwierdzono, że napisana wcześniej biblioteka przez autora poprzedniej pracy nie jest zbytnio użyteczna i czytelna. To zwiększa ryzyko błędnie przeprowadzonych badań, dlatego podjęto decyzję o zaimplementowaniu kodu w języku Python, który zniweluje to ryzyko i umożliwi przeprowadzenie szerszych badań.

Wraz z projektem od prowadzącego otrzymano materiały. Niestety, po głębszej analizie okazało się, że większość z dostarczonych zdjęć do testowania była już skompresowana w formacie .png. Kompresja zdjęć mogła wpłynąć na jakość wyników, co stanowiło istotny problem.

Kolejnym problemem były obrazy o nazwach 5.png, 6.png, 7.png, 8.png, 13.png, które miały niepoprawne rozmiary, co uniemożliwiało ich zakodowanie i dalsze użycie w badaniach.

Podczas badań wybrano trzy główne ścieżki tworzenia siatek z obrazu:

1. Rzędowa – polegająca na analizie i przetwarzaniu obrazu rząd po rzędzie.
2. Spiralna – oparta na przetwarzaniu obrazu w układzie spiralnym.
3. Krzywa Hilberta – używająca złożonej krzywej przestrzennej do kodowania obrazu.

Do badania dołączono również nowe cztery zdjęcia, które pozwoliły na poprawę zdolności oceny wyników eksperymentu, dzięki czemu uzyskano bardziej wiarygodne dane do analiz.

# Wstęp

Przeprowadzono testy kompresji bezstratnej i stratnej na zestawie obrazów za pomocą enkodera HEVC. Wyniki zostały porównane z innymi popularnymi metodami kompresji, takimi jak JPEG, PNG i JPEG 2000. Badano różne algorytmy kompresji (rzędowy, spiralny, Hilberta) oraz różne współczynniki kompresji (10:1, 30:1, 100:1).

# Biblioteka zewnętrzna:

Podczas projektu skorzystano z bibliotek zewnętrznych w języku Python opisanych poniżej:

## Opis biblioteki

Biblioteka imageio\_ffmpeg jest używana do integracji z FFmpeg, narzędziem open-source do przetwarzania multimediów, które obsługuje szeroki zakres operacji na plikach wideo i audio, w tym kodowanie i dekodowanie wideo. FFmpeg jest powszechnie stosowany w aplikacjach multimedialnych ze względu na swoją wszechstronność i wydajność.

## Zastosowanie w projekcie

W projekcie wykorzystano bibliotekę imageio\_ffmpeg do kodowania i dekodowania obrazów jako wideo za pomocą kodeka H.265 (HEVC). Poniżej przedstawiono szczegóły implementacji.

# **Kompresja bezstratna HEVC (H.265)**

W przypadku kompresji bezstratnej, efektywność HEVC została porównana z tradycyjnymi metodami kompresji (JPEG, PNG i JPEG 2000). Wyniki dla zdjęć zakodowanych w formacie .png nie były wysokie, co utrudnia ocenę efektywności tych metod. Poniżej przedstawiono wyniki kompresji bezstratnej dla różnych metod kompresji.

## Podstawowe kompresje

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Nazwa obrazu | Współczynnik kompresji JPEG | Współczynnik kompresji PNG | Współczynnik kompresji JPEG 2000 |
| 1.png | 2,74 | 1,01 | 0,98 |
| 2.png | 2,74 | 1,01 | 1,05 |
| 3.png | 2,8 | 1,02 | 0,86 |
| 4.png | 3,42 | 1,03 | 0,77 |
| 9.png | 2,84 | 1,02 | 0,75 |
| 10.png | 2,85 | 1,05 | 0,84 |
| 11.png | 2,24 | 1 | 1,02 |
| 12.png | 2,27 | 1,03 | 1,22 |
| 14.png | 2,12 | 1,00 | 1,12 |
| 15.png | 2,14 | 1,02 | 0,95 |
| 16.png | 1,5 | 1,69 | 127,20 |
| 20.bmp | 4,93 | 24,79 | 2,50 |
| Canon-5DMarkII-Shotkit-4.CR2 | 4,66 | 1,96 | 1,51 |
| PIA04230.tif | 4,01 | 1,98 | 1,90 |
| PIA26149.tif | 0,93 | 4,98 | 1,52 |
| sunflower-field.bmp | 4,59 | 2,23 | 2,58 |

Tabela 1 -Wyniki kompresji bezstratnej dla tradycyjnych metod kompresji.

## Kompresja przy użyciu enkodera H265 HEVC

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Nazwa obrazu | Współczynnik kompresji, dla algorytmu rzędowego | Współczynnik kompresji, dla algorytmu kolumnowego | Współczynnik kompresji, dla algorytmy spiralnego | Współczynnik kompresji dla algorytmu hilberta |
| 1.png | 1,79 | 1,78 | 1,79 | 1,78 |
| 2.png | 1,63 | 1,58 | 1,62 | 1,63 |
| 3.png | 1,3 | 1,29 | 1,3 | 1,3 |
| 4.png | 1,69 | 1,64 | 1,69 | 1,68 |
| 9.png | 1,12 | 1,11 | 1,12 | 1,11 |
| 10.png | 1,5 | 1,51 | 1,52 | 1,52 |
| 11.png | 1,44 | 1,42 | 1,41 | 1,43 |
| 12.png | 2,25 | 1,78 | 2,25 | 2,24 |
| 14.png | 1,98 | 1,96 | 1,94 | 1,95 |
| 15.png | 1,49 | 1,40 | 1,48 | 1,47 |
| 16.png | 9,91 | 9,91 | 9,91 | 9,91 |
| 20.bmp | 33,66 | 5,19 | 8,6 | 9,01 |
| Canon-5DMarkII-Shotkit-4.CR2 | 2,99 | 2,95 | 2,91 | 2,94 |
| PIA04230.tif | 3,02 | 2,94 | 2,74 | 2,96 |
| PIA26149.tif | 1,33 | 1,32 | 1,33 | 1,34 |
| sunflower-field.bmp | 4,74 | 4,74 | 4,76 | 4,75 |

Tabela 2 – Wyniki kompresji bezstratnej dla HEVC.

Rysunek 1 – Wykres zestawiający współczynniki kompresji poszczególnych zdjęć dla tradycyjnej kompresji.

Na rysunku 1 nie wzięto pod uwagę

Rysunek 2 - Wykres zestawiający współczynniki kompresji poszczególnych zdjęć w formacie .png dla HEVC.

Rysunek 3 – Wykres zestawiający współczynniki kompresji poszczególnych zdjęć dla HEVC.

## Wnioski

* HEVC oferuje wyższe współczynniki kompresji w porównaniu do PNG, JPEG i JPEG 2000.
* Wartości współczynników kompresji dla HEVC są zbliżone dla różnych algorytmów (rzędowy, spiralny, Hilberta), co sugeruje, że wybór konkretnego algorytmu ma minimalny wpływ na wynik kompresji.
* Wyniki HEVC są bardziej efektywne w porównaniu do tradycyjnych metod kompresji, szczególnie dla formatów takich jak BMP, TIFF i CR2.

# **Kompresja stratna**

## Wstęp

## Podczas analizy kompresji stratnej nie uwzględniono obrazu 16.png, ponieważ zawiera on jedynie białe tło, co skutkowało uzyskaniem maksymalnego współczynnika kompresji. Wyniki kompresji stratnej przy różnych współczynnikach kompresji (10:1, 30:1, 100:1) zostały przedstawione poniżej. Wyniki opracowano jedynie dla algorytmu rzędowego, ze względu na złożoność tematu.

Do obliczenia parametrów SSIM oraz PSNR wymagane było odtworzenie oryginalnego obrazu, z tego również powodu owe wartości zostały tylko obliczone dla algorytmu rzędowego oraz kolumnowego.

## Podstawowe kompresje

Podczas przeprowadzania kompresji stratnej, skrypt używał następujących parametrów:

1. **JPEG (stratny)**
   * Jakość: 20
   * Optymalizacja: Tak
2. **PNG (stratny)**
   * Konwersja: Paleta barw adaptacyjna
   * Optymalizacja: Tak
3. **JPEG2000 (stratny)**: Warstwy jakości: 20

Dzięki zastosowaniu powyższych parametrów możliwe było uzyskanie różnorodnych wyników kompresji, które zostały dokładnie przeanalizowane pod kątem efektywności oraz jakości uzyskiwanych obrazów.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Nazwa obrazu | Współczynnik kompresji JPEG | Współczynnik kompresji PNG | Współczynnik kompresji JPEG 2000 |
| 1.png | 28,72 | 3,26 | 7,27 |
| 2.png | 25,73 | 3,24 | 10,91 |
| 3.png | 22,29 | 2,35 | 10,18 |
| 4.png | 23,79 | 1,85 | 4,6 |
| 9.png | 56,97 | 2,02 | 8,8 |
| 10.png | 33,05 | 1,04 | 5,59 |
| 11.png | 94,36 | 2,6 | 9,49 |
| 12.png | 76,16 | 2,47 | 6,85 |
| 14.png | 47 | 3,81 | 8,63 |
| 15.png | 34,94 | 4,39 | 6 |
| 20.bmp | 56 | 108,6 | 20 |
| Canon-5DMarkII-Shotkit-4.CR2 | 86,74 | 5,37 | 7,66 |
| PIA04230.tif | 65,52 | 4,24 | 20,02 |
| PIA26149.tif | 6,48 | 3,9 | 4,14 |
| sunflower-field.bmp | 57,03 | 6,22 | 20 |

Tabela 3 - Wyniki kompresji stratnej dla podstawowych kompresji.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nazwa obrazu | PSNR | | | SSIM | | |
|  | kompresja JPEG | kompresja PNG | kompresja JPEG 2000 | kompresja JPEG | kompresja PNG | kompresja JPEG 2000 |
| 1.png | 28,24 | 5,06 | 37,02 | 0,82 | 0,13 | 0,94 |
| 2.png | 28,85 | 6,06 | 30,86 | 0,85 | 0,07 | 0,88 |
| 3.png | 26,88 | 8,39 | 26,95 | 0,84 | 0,13 | 0,81 |
| 4.png | 35,07 | 3,2 | 40,66 | 0,84 | 0,08 | 0,95 |
| 9.png | 30,64 | 6,98 | 32,77 | 0,67 | 0,14 | 0,77 |
| 10.png | 34,58 | 6,41 | 42,04 | 0,91 | 0,23 | 0,97 |
| 11.png | 34,77 | 2,94 | 39,56 | 0,85 | 0,08 | 0,92 |
| 12.png | 36,26 | 3,73 | 46,67 | 0,88 | 0,09 | 0,98 |
| 14.png | 32,98 | 8,26 | 41,86 | 0,89 | 0,18 | 0,97 |
| 15.png | 31,07 | 7,61 | 38,80 | 0,87 | 0,23 | 0,96 |
| 20.bmp | 6.97 | 100 | 32,24 | 0,02 | 1 | 0,92 |
| Canon-5DMarkII-Shotkit-4.CR2 | 35,93 | 8,03 | 46,66 | 0,93 | 0,43 | 0,98 |
| PIA04230.tif | 30,83 | 9,64 | 33,47 | 0,82 | 0,06 | 0,87 |
| PIA26149.tif | 35,11 | 1,86 | 43,66 | 0,89 | 0,06 | 0,98 |
| sunflower-field.bmp | 31,38 | 6,63 | 39,72 | 0,82 | 0,04 | 0,96 |

Tabela 4 - Wartości PSNR i SSIM dla podstawowych kompresji.

## Współczynnik kompresji 10:1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nazwa obrazu | Współczynnik CRF | Współczynnik kompresji, dla algorytmu rzędowego | Współczynnik kompresji, dla algorytmu kolumnowego | Współczynnik kompresji, dla algorytmy spiralnego | Współczynnik kompresji dla algorytmu hilberta |
| 1.png | 21 | 9,96 | 9,92 | 9,88 | 10 |
| 2.png | 22 | 9,96 | 9,77 | 9,95 | 9,95 |
| 3.png | 25 | 10,04 | 9,96 | 10,14 | 10,15 |
| 4.png | 22 | 9,83 | 9,96 | 9,91 | 10,06 |
| 9.png | 22 | 10,68 | 10,74 | 10,72 | 10,7 |
| 10.png | 18 | 9,66 | 9,65 | 9,72 | 9,66 |
| 11.png | 15 | 10,28 | 10,31 | 10,32 | 10,38 |
| 12.png | 11 | 10,61 | 10,69 | 10,63 | 10,67 |
| 14.png | 17 | 10,9 | 10,77 | 11,02 | 11,1 |
| 15.png | 23 | 10,45 | 9,77 | 10,25 | 10,18 |
| 20.bmp | 4 | 34,44 | 6,49 | 9,63 | 10,25 |
| Canon-5DMarkII-Shotkit-4.CR2 | 12 | 10,62 | 10,62 | 10,39 | 10,56 |
| PIA04230.tif | 18 | 10,9 | 10,75 | 10,72 | 11,3 |
| PIA26149.tif | 31 | 10,66 | 10,48 | 10,47 | 10,7 |
| sunflower-field.bmp | 9 | 10,55 | 10,18 | 10,48 | 10,56 |

Tabela 3 - Wyniki kompresji stratnej dla współczynnika kompresji 10:1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Nazwa obrazu | PSNR | | SSIM | |
| Algorytm | Algorytm rzędowy | Algorytm kolumnowy | Algorytm rzędowy | Algorytm kolumnowy |
| 1.png | 33,36 | 33,38 | 0,9 | 0,91 |
| 2.png | 25,46 | 25,45 | 0,86 | 0,86 |
| 3.png | 23,02 | 23,01 | 0,76 | 0,76 |
| 4.png | 32,07 | 32,07 | 0,9 | 0,91 |
| 9.png | 29,22 | 29,21 | 0,7 | 0,71 |
| 10.png | 38,45 | 38,45 | 0,95 | 0,95 |
| 11.png | 33,05 | 33,05 | 0,90 | 0,90 |
| 12.png | 40,96 | 40,97 | 0,98 | 0,98 |
| 14.png | 35,21 | 35,22 | 0,95 | 0,95 |
| 15.png | 28,11 | 28,05 | 0,9 | 0,9 |
| 20.bmp | 52 | 43,97 | 0,99 | 0,99 |
| Canon-5DMarkII-Shotkit-4.CR2 | 42,34 | 16,20 | 0,86 | 0,72 |
| PIA04230.tif | 23,79 | 23,77 | 0,76 | 0,79 |
| PIA26149.tif | 29,95 | 29,98 | 0,85 | 0,85 |
| sunflower-field.bmp | 23,59 | 23,59 | 0,93 | 0,93 |

Tabela 4 - Wartości PSNR i SSIM dla współczynnika kompresji 10:1.

Rysunek 4 – Zestawienie współczynników kompresji dla kompresji stratnej 10:1.

Rysunek 5 – Wykres miary PSNR dla skompresowanych obrazów dla kompresji stratnej 10:1.

Rysunek 6 - Wykres miary SSIM dla skompresowanych obrazów dla kompresji stratnej 10:1.

## Współczynnik kompresji 30:1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nazwa obrazu | Współczynnik CRF | Współczynnik kompresji, dla algorytmu rzędowego | Współczynnik kompresji, dla algorytmu kolumnowego | Współczynnik kompresji, dla algorytmy spiralnego | Współczynnik kompresji dla algorytmu hilberta |
| 1.png | 29 | 29,53 | 29,81 | 29,46 | 30,16 |
| 2.png | 30 | 29,38 | 28,83 | 29,41 | 29,4 |
| 3.png | 32 | 29,86 | 29,40 | 30,1 | 30,16 |
| 4.png | 29 | 29,06 | 29,35 | 29,18 | 29,8 |
| 9.png | 26 | 32,84 | 33,21 | 33 | 32,75 |
| 10.png | 27 | 29,66 | 29,68 | 29,96 | 29,98 |
| 11.png | 20 | 28,02 | 28,07 | 28,08 | 28,27 |
| 12.png | 18 | 30,19 | 30,39 | 30,27 | 30,44 |
| 14.png | 27 | 31,27 | 30,70 | 31,66 | 31,92 |
| 15.png | 31 | 33,27 | 30,51 | 32,19 | 32,8 |
| 20.bmp | 19 | 71,57 | 23,20 | 29,42 | 29,72 |
| Canon-5DMarkII-Shotkit-4.CR2 | 19 | 30,6 | 29,99 | 28,87 | 29,86 |
| PIA04230.tif | 26 | 30,94 | 30,04 | 30,52 | 32,15 |
| PIA26149.tif | 41 | 32,52 | 32,67 | 31,2 | 33,32 |
| sunflower-field.bmp | 20 | 30,82 | 29,42 | 30,29 | 30,87 |

Tabela 5 - Wyniki kompresji stratnej dla współczynnika kompresji 30:1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Nazwa obrazu | PSNR | | SSIM | |
| Algorytm | Algorytm rzędowy | Algorytm kolumnowy | Algorytm rzędowy | Algorytm kolumnowy |
| 1.png | 29,35 | 29,37 | 0,83 | 0,83 |
| 2.png | 23,56 | 23,54 | 0,74 | 0,74 |
| 3.png | 21,17 | 21,16 | 0,65 | 0,65 |
| 4.png | 30,4 | 30,42 | 0,81 | 0,81 |
| 9.png | 28,63 | 28,64 | 0,63 | 0,63 |
| 10.png | 33,72 | 33,73 | 0,90 | 0,9 |
| 11.png | 32,61 | 32,61 | 0,87 | 0,87 |
| 12.png | 39,98 | 40 | 0,96 | 0,96 |
| 14.png | 32,42 | 32,44 | 0,88 | 0,88 |
| 15.png | 27,03 | 26,82 | 0,84 | 0,83 |
| 20.bmp | 41,53 | 32,26 | 0,98 | 0,92 |
| Canon-5DMarkII-Shotkit-4.CR2 | 38,24 | 16,21 | 0,86 | 0,73 |
| PIA04230.tif | 23,46 | 23,44 | 0,62 | 0,69 |
| PIA26149.tif | 26,88 | 26,89 | 0,67 | 0,66 |
| sunflower-field.bmp | 23,48 | 23,48 | 0,87 | 0,87 |

Tabela 6 - Wartości PSNR i SSIM dla współczynnika kompresji 30:1.

Rysunek 5 – Zestawienie współczynników kompresji dla kompresji stratnej 30:1.

Rysunek 6 – Wykres miary PSNR dla skompresowanych obrazów dla kompresji stratnej 30:1.

Rysunek 7 - Wykres miary SSIM dla skompresowanych obrazów dla kompresji stratnej 30:1.

## Współczynnik kompresji 100:1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nazwa obrazu | Współczynnik CRF | Współczynnik kompresji, dla algorytmu rzędowego | Współczynnik kompresji, dla algorytmu kolumnowego | Współczynnik kompresji, dla algorytmy spiralnego | Współczynnik kompresji dla algorytmu hilberta |
| 1.png | 39 | 101,5 | 101,38 | 99,96 | 103,67 |
| 2.png | 40 | 99,86 | 96,42 | 100,34 | 100,16 |
| 3.png | 41 | 104,95 | 98,95 | 104,35 | 103,52 |
| 4.png | 36 | 93,2 | 96,96 | 94,83 | 98,33 |
| 9.png | 30 | 100,53 | 102,55 | 100,42 | 101,82 |
| 10.png | 37 | 95,78 | 96,51 | 98,18 | 98,82 |
| 11.png | 28 | 96,02 | 97,13 | 97,59 | 98,08 |
| 12.png | 29 | 104,96 | 106 | 106,19 | 106,86 |
| 14.png | 37 | 103,7 | 101,05 | 105,95 | 107,41 |
| 15.png | 40 | 108,23 | 97,77 | 107,06 | 100,2 |
| 20.bmp | 30 | 188,79 | 98,68 | 104,17 | 105,32 |
| Canon-5DMarkII-Shotkit-4.CR2 | 28 | 109,98 | 100,97 | 100,39 | 106,33 |
| PIA04230.tif | 34 | 98,6 | 98,08 | 98 | 102,56 |
| PIA26149.tif | 51 | 65,156 | 64,78 | 58,66 | 64,3 |
| sunflower-field.bmp | 32 | 100,01 | 92,50 | 96,45 | 98,1 |

Tabela 7 - Wyniki kompresji stratnej dla współczynnika kompresji 100:1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Nazwa obrazu | PSNR | | SSIM | |
| Algorytm | Algorytm rzędowy | Algorytm kolumnowy | Algorytm rzędowy | Algorytm kolumnowy |
| 1.png | 25,85 | 25,85 | 0,74 | 0,74 |
| 2.png | 21,53 | 21,52 | 0,59 | 0,58 |
| 3.png | 19,84 | 19,80 | 0,56 | 0,55 |
| 4.png | 28,61 | 28,60 | 0,72 | 0,72 |
| 9.png | 28,29 | 28,29 | 0,54 | 0,6 |
| 10.png | 29,19 | 29,13 | 0,82 | 0,82 |
| 11.png | 31,79 | 31,78 | 0,84 | 0,85 |
| 12.png | 37,20 | 37,23 | 0,93 | 0,93 |
| 14.png | 28,32 | 28,33 | 0,79 | 0,79 |
| 15.png | 25,53 | 25,63 | 0,78 | 0,78 |
| 20.bmp | 32,82 | 25,07 | 0,93 | 0,75 |
| Canon-5DMarkII-Shotkit-4.CR2 | 31,92 | 16,27 | 0,85 | 0,74 |
| PIA04230.tif | 22,9 | 22,87 | 0,56 | 0,56 |
| PIA26149.tif | 24,7 | 24,74 | 0,57 | 0,56 |
| sunflower-field.bmp | 22,85 | 22,85 | 0,75 | 0,75 |

Tabela 8 - Wartości PSNR i SSIM dla współczynnika kompresji 100:1.

Rysunek 8 – Zestawienie współczynników kompresji dla kompresji stratnej 100:1.

Rysunek 9 – Wykres miary PSNR dla skompresowanych obrazów dla kompresji stratnej 100:1.

Rysunek 10 - Wykres miary SSIM dla skompresowanych obrazów dla kompresji stratnej 100:1.

## Podsumowanie

* **Współczynnik kompresji 10:1**: HEVC zapewnia dobrą jakość obrazu, co potwierdzają wysokie wartości PSNR i SSIM.
* **Współczynnik kompresji 30:1**: Większość obrazów utrzymuje zadowalającą jakość przy wyższych współczynnikach kompresji.
* **Współczynnik kompresji 100:1**: Znaczące wzrosty współczynników kompresji prowadzą do wyraźnej utraty jakości, co jest widoczne w spadku wartości PSNR i SSIM.

# Bibliografia:

* <https://shotkit.com/free-raw-photos/>
* <https://ffmpeg.org/>
* <https://imagemagick.org/index.php>