

Operacje przetwarzania obrazów monochromatycznych

Obraz pobrany z kamery lub aparatu często wymaga dalszej obróbki. Jej celem jest poprawienie jego jakości lub uzyskaniem na jego podstawie określonych informacji. Niniejszy dokument przedstawia pokrótce popularne operacje przetwarzania obrazów monochromatycznych. Oprócz formuł matematycznych prezentujących jak zaimplementować daną operację, przedstawiono również komendy programu `convert`, będącego częścią pakietu `Image Magic`, pozwalające na wykonanie zadanej obróbki obrazu.

1 Operacje punktowe

Najprostszą klasą operacji na obrazie są operacje punktowe. W wyniku ich zastosowania, wartość każdego z pikseli w obrazie wynikowym wyliczana jest jedynie na podstawie jego wartości na obrazie wejściowym. Pozostałe piksele obrazu, w tym najbliższe sąsiedztwo przetwarzanego piksela nie mają wpływu na jego wartość w obrazie wynikowym.

1.1 Negatyw

Operacja negatywu tworzy obraz wyjściowy w którym każdy z pikseli ma wartość:

$$G(x, y) = MAX - L(x, y),$$

gdzie $G(x, y)$ to wartość piksela w obrazie wynikowym, $L(x, y)$ to wartość piksela w obrazie wejściowym, zaś MAX to maksymalna szarość pikseli w obrazie. Wynik operacji zobaczyć można na rysunku 1.

Komenda:

```
convert -negate kubus.png kubus_negatyw.png
```



(a) Obraz wejściowy.



(b) Wynik operacji negatyw.

Rysunek 1: Operacja negatyw.

1.2 Progowanie

Operacja progowania polega na klasyfikacji piksela do jednej z dwóch klas - zbioru punktów czarnych lub zbioru punktów białych. W określonych sytuacjach pozwala to na odróżnienie poszukiwanego obiektu od tła zdjęcia. Wartości pikseli obrazu wynikowego obliczamy według wzoru:

$$G(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{dla } L(x, y) \leq PROG \\ MAX & \text{dla } L(x, y) > PROG \end{cases},$$

gdzie *PROG* jest wartością progu (wyrażoną jako wartość szarości), zaś *MAX* to maksymalna wartość szarości pikseli w obrazie. Wynik operacji zobaczyć można na rysunku 2.

Komenda (progowanie z wartością progu równą 50% maksymalnej szarości obrazu - co dla obrazu o *MAX* = 255 odpowiadałoby szarości pikseli równej 122):

```
convert -threshold 50% kubus.png kubus_progowanie.png
```



(a) Obraz wejściowy.



(b) Wynik operacji progowania (próg 20%).



(c) Wynik operacji progowania (próg 50%).



(d) Wynik operacji progowania (próg 80%).

Rysunek 2: Operacja progowanie z progiem dla różnych wartości progu (wyrażonych jako procent maksymalnej skali szarości obrazu).

1.3 Półprogowanie czerni (progowanie do zera, progowanie czerni)

Operacja podobna do progowania. Wszystkim pikselom o wartościach poniżej zadanego progu, przypisana będzie wartość 0, zaś wartość pikseli powyżej progu pozostaje bez zmian. Wartości pikseli obrazu wynikowego obliczamy według wzoru:

$$G(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{dla } L(x, y) \leq PROG \\ L(x, y) & \text{dla } L(x, y) > PROG \end{cases},$$

gdzie *PROG* jest wartością progu. Wynik operacji zobaczyć można na rysunku 3.

Komenda (półprogowanie czerni z wartością progu równą 50% maksymalnej szarości obrazu - co dla obrazu o *MAX* = 255 odpowiadałoby szarości pikseli równej 122):

```
convert -black-threshold 50% kubus.png kubus_polprogowanie.png
```



(a) Obraz wejściowy.



(b) Wynik operacji półprogowania (próg 20%).



(c) Wynik operacji półprogowania (próg 50%).



(d) Wynik operacji półprogowania (próg 80%).

Rysunek 3: Operacja półprogowania czerni z progiem dla różnych wartości progu (wyrażonych jako procent maksymalnej skali szarości obrazu).

1.4 Półprogowanie bieli (progowanie bieli)

Operacja analogiczna do półprogowania czerni. Wszystkim pikselom o wartościach powyżej zadanego progu, przypisana będzie maksymalna wartość szarości w obrazie, zaś wartość pikseli poniżej progu pozostaje bez zmian. Wartości pikseli obrazu wynikowego obliczamy według wzoru:

$$G(x, y) = \begin{cases} L(x, y) & \text{dla } L(x, y) \leq PROG \\ MAX & \text{dla } L(x, y) > PROG \end{cases},$$

gdzie *PROG* jest wartością progu. Wynik operacji zobaczyć można na rysunku 4.

Komenda (półprogowanie bieli z wartością progu równą 50% maksymalnej szarości obrazu - co dla obrazu o *MAX* = 255 odpowiadałoby szarości pikseli równej 122):

```
convert -white-threshold 50% kubus.png kubus_polprogowanie2.png
```



(a) Obraz wejściowy.



(b) Wynik operacji półprogowania (próg 20%).



(c) Wynik operacji półprogowania (próg 50%).



(d) Wynik operacji półprogowania (próg 80%).

Rysunek 4: Operacja półprogowania bieli z progiem dla różnych wartości progu (wyrażonych jako procent maksymalnej skali szarości obrazu).

1.5 Korekcja gamma

Korekcja gamma jest operacją przeskalowującą wartości jasności pikseli obrazu. Wartości pikseli obrazu wynikowego obliczamy według wzoru:

$$G(x, y) = \left(\frac{L(x, y)}{MAX} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot MAX,$$

co można przedstawić również w postaci:

$$G(x, y) = \frac{L(x, y)^{\frac{1}{\gamma}}}{MAX^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}},$$

gdzie γ jest wartością parametru gamma, zaś MAX maksymalną szarością pikseli obrazu. Wynik operacji zobaczyć można na rysunku 5. Dla wartości γ poniżej 1 nastąpi przyciemnienie obrazu, zaś dla wartości powyżej 1 jego rozjaśnienie.

Komenda (korekcja gamma ze współczynnikiem o wartości 0,5):

```
convert -gamma 0.5 kubus.png kubus_gamma.png
```



(a) Obraz wejściowy.



(b) Wynik korekcji gamma ($\gamma = 0.5$).



(c) Wynik korekcji gamma ($\gamma = 1.5$).



(d) Wynik korekcji gamma ($\gamma = 2.5$).

Rysunek 5: Operacja korekcji gamma dla różnych wartości współczynnika γ .

1.6 Zmiana poziomów

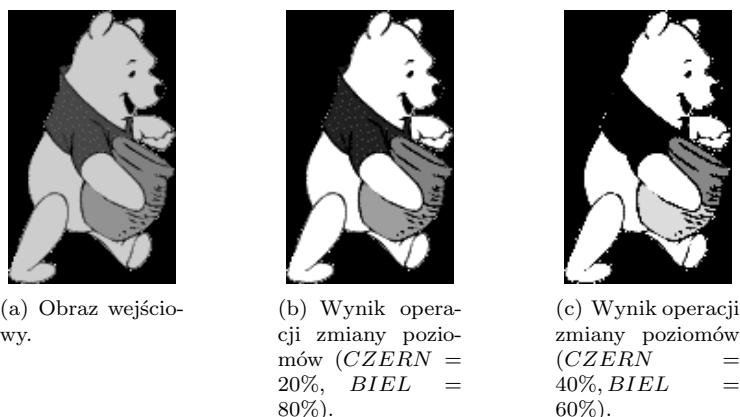
Operacja zmiany poziomów pozwala na podanie nowych wartości oznaczających biel i czern. Przyjmuje ona dwa parametry - wszystkim pikselom o wartości jasności mniejszej lub równiej pierwszemu z nich ($CZERN$), przypisana zostanie wartość 0, dla pikseli o jasnościach większych lub równych drugiemu z parametrów ($BIEL$) przypisana zostanie maksymalna wartość szarości w obrazie. Jasność pikseli o wartościach pomiędzy $CZERN$ i $BIEL$ zostają rozciągnięte na całą skalę szarości obrazu. Wartości pikseli obrazu wynikowego obliczamy według wzoru:

$$G(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{dla } L(x, y) \leq CZERN \\ (L(x, y) - CZERN) \cdot \frac{MAX}{BIEL - CZERN} & \text{dla } CZERN < L(x, y) < BIEL \\ MAX & \text{dla } L(x, y) \geq BIEL \end{cases},$$

gdzie $BIEL$ jest nowym poziomem bieli, $CZERN$ nowym poziomem czerni, zaś MAX maksymalną szarością pikseli obrazu. Wynik operacji zobaczyć można na rysunku 6.

Komenda (zmiana poziomu czerni na 20%, zaś poziomu bieli na 80%):

```
convert -level 20%,80% kubus.png kubus_level.png
```



Rysunek 6: Operacja zmiany poziomów dla różnych wartości poziomów $CZERN$ i $BIEL$.

2 Operacje lokalne

Kolejną klasą operacji na obrazie są operacje lokalne. W wyniku ich zastosowania, wartość każdego z pikseli w obrazie wynikowym zależy nie tylko od jego wartości na obrazie wejściowym, lecz także od wartości pikseli w jego sąsiedztwie. Wielkość sąsiedztwa, które wpływa na jasność piksela w obrazie wynikowym jest bardzo często parametrem operacji.

2.1 Konturowanie

Konturowanie polega na wyostrowaniu obrysów obiektów metodą gradientową. Oznacza to, że po skonturowaniu piksele, które różnią się od otoczenia zostaną rozjaśnione, a piksele, które są podobne do otoczenia, przyciemnione. Wartości pikseli obrazu wynikowego obliczamy według wzoru:

$$G(x, y) = |L(x + 1, y) - L(x, y)| + |L(x, y + 1) - L(x, y)|,$$

gdzie $|z|$ to wartość bezwzględna liczby z . Wynik operacji zobaczyć można na rysunku 7.

Komenda (program `convert` nie posiada wbudowanej operacji konturowania, zgodnej z przedstawioną powyżej definicją, efekt podobny do konturowania uzyskać można za pomocą operacji `splotu` z odpowiednią maską):

```
convert -convolve 0,0,0,0,-2,1,0,1,0 kubus.png kubus_cont.png
```

2.2 Rozmywanie poziome

Rozmywanie poziome polega na zmniejszaniu ostrości obrazu w kierunku poziomym. W celu wyliczenia wartości jasności każdego z pikseli, uśrednia się wartość jego jasność oraz jasności pikseli sąsiadujących z lewej i prawej strony. W takim przypadku mówimy o rozmywaniu o promieniu 1. Możliwe jest również rozmywanie o większym promieniu (np. dla promienia 2, uśredniamy dany piksel i po dwa piksele z lewej i prawej strony, znajdujące się w tym samym wierszu). Wartości pikseli obrazu wynikowego (dla rozmywania o promieniu 1) obliczamy według wzoru:



(a) Obraz wejściowy.



(b) Wynik konturowania (według podanego wzoru).



(c) Wynik konturowania (za pomocą polecenia convert).

Rysunek 7: Operacja konturowania.

$$G(x, y) = \frac{1}{3} \cdot (L(x - 1, y) + L(x, y) + L(x + 1, y)).$$

Wynik operacji zobaczyć można na rysunku 8.

Komenda (efekt rozmywania poziomego, zgodny z opisywanym wzorem uzyskać można za pomocą operacji splotu z odpowiednią maską):

```
convert -convolve 0,0,0,0.33,0.33,0.33,0,0,0 kubus.png kubus_blur_hor.png
```



(a) Obraz wejściowy.



(b) Wynik rozmywania poziomego (o promieniu 1).



(c) Wynik rozmywania poziomego (o promieniu 2).

Rysunek 8: Operacja rozmywania poziomego.

2.3 Rozmywanie pionowe

Rozmywanie pionowe polega na zmniejszaniu ostrości obrazu w kierunku pionowym. W celu wyliczenia wartości jasności każdego z pikseli, uśrednia się wartość jego jasność oraz jasności pikseli sąsiadujących z góry i dołu. W takim przypadku mówimy o rozmywaniu o promieniu 1. Możliwe jest również rozmywanie o większym promieniu (np. dla promienia 2 uśredniamy dany piksel i po dwa piksele z góry i z dołu, znajdujące się w tej samej kolumnie). Wartości pikseli obrazu wynikowego (dla rozmywania o promieniu 1) obliczamy według wzoru:

$$G(x, y) = \frac{1}{3} \cdot (L(x, y - 1) + L(x, y) + L(x, y + 1)).$$

Wynik operacji zobaczyć można na rysunku 9.

Komenda (efekt rozmywania pionowego, zgodny z opisywanym wzorem uzyskać można za pomocą operacji splotu z odpowiednią maską):

```
convert -convolve 0,0.33,0,0,0.33,0,0,0.33,0 kubus.png kubus_blur_ver.png
```



(a) Obraz wejściowy.



(b) Wynik rozmywania pionowego (o promieniu 1).



(c) Wynik rozmywania pionowego (o promieniu 2).

Rysunek 9: Operacja rozmywania pionowego.

3 Operacje globalne

Ostatnią opisywaną w niniejszym dokumencie klasą operacji na obrazie są operacje globalne. W wyniku ich zastosowania, wartość każdego z pikseli w obrazie wynikowym zależy od wartości wszystkich innych pikseli obrazu.

3.1 Rozciąganie histogramu

Operację rozciągania histogramu wykonuje się wówczas gdy jasności pikseli obrazu nie pokrywają całego zakresu szarości obrazu (np. gdy w obrazie o maksymalnej szarości 255, wartości pikseli znajdują się jedynie w zakresie jasności od 20 do 220). Rozciągnięcie prowadzi do takiej konwersji zakresu wartości, aby jasności pikseli obejmowały cały zakres jasności dostępny w obrazie.

Pierwszym etapem operacji rozciągania jest znalezienie prawdziwej wartości minimum jasności w obrazie L_{MIN} i prawdziwej wartości maksimum jasności w obrazie L_{MAX} . Po wyliczeniu tych wartości, wartości pikseli obrazu wynikowego obliczamy według wzoru:

$$G(x, y) = (L(x, y) - L_{MIN}) \cdot \frac{MAX}{L_{MAX} - L_{MIN}},$$

gdzie L_{MIN} to najmniejsza jasność występująca w obrazie wejściowym, L_{MAX} największa jasność występująca w obrazie wejściowym, zaś MAX to maksymalna skala szarości obrazu. Wynik operacji zobaczyć można na rysunku 10.

Komenda:

```
convert -normalize kubus.png kubus_str.png
```



(a) Obraz wejściowy.



(b) Wynik rozciągania histogramu.

Rysunek 10: Operacja rozciągania histogramu.