Przetwarzanie obrazów rastrowych macierzą konwolucji

1 Wstęp

Obrazy rastrowe są na ogół reprezentowane w dwuwymiarowych tablicach złożonych z pikseli, reprezentowanych przez liczby określające ich jasność i/lub kolor, uzyskiwane na przykład z kamery podłączonej do komputera.

Obrazy otrzymywane z kamer zawierają oprócz interesujących obiektów dużą ilość innych informacji i są dodatkowo zmodyfikowane takimi zjawiskami jak: natężenie i kolor oświetlenia, ilość, rozmieszczenie i charakter źródeł światła, odbicia, nieostrość, różnice w obrazie obiektu w zależności od odległości i orientacji, oraz innymi. Dlatego proces analizy obrazu rozbija się na szereg operacji prostszych, takich jak wstępna filtracja, skalowanie, konturowanie, wyodrębnienie obiektów, itd.

Ważnym zagadnieniem w przetwarzaniu obrazów jest filtracja obrazów, czyli takie przekształcenie obrazu, które poprzez odpowiednią jego zmianę, pozwalają na pozbycie się z obrazu niepożądanych efektów (szum, zniekształcenia) lub też na wydobycie użytecznych informacji (np. wzmocnienie krawędzi, poprawienie jakości obrazu).

Jedną z podstawowych metod filtracji jest tzw. *liniowa filtracja kontekstowa obrazu* [1],[2]. Oznacza to, że do wyznaczenia jednego punktu obrazu wynikowego, potrzebne jest przeprowadzenie operacji na kilku punktach obrazu z najbliższego otoczenia. Filtrację realizuje operator splotu:

$$L'(m,n) = (w \times L)(m,n) = \sum_{i,j \in K} L(m-i, n-j)\ w(i,j)$$

Operacja ta jest wykonywana na wszystkich pikselach obrazu z wyłączeniem brzegu obrazu. Para liczb (m,n) gdzie $m \in [1..M]$ a $n \in [1..N]$ odpowiada aktualnej pozycji punktu na obrazie, gdzie M i N oznaczają rozmiar obrazu.

Właściwości filtru można zmieniać korzystając z odpowiedniej tablicy współczynników $w(i,j)$. Współczynniki te, wraz z pewnymi elementami obrazu $L(m-i, n-j)$ znajdującymi się w oknie K rozlokowanym wokół punktu o współrzędnych (m,n) służą do obliczenia wartości punktu $L'(m,n)$ na obrazie wynikowym.

Otoczenie K punktu (m,n) będzie reprezentowane w postaci kwadratowego okna o wielkości 3×3, zaś tablica współczynników przyjmuje postać:

$$\mathbf{w(i,j)} = \begin{pmatrix} w(1,1) & w(1,0) & w(1,-1) \\ w(0,1) & w(0,0) & w(0,-1) \\ w(-1,1) & w(-1,0) & w(-1,-1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 & w_2 & w_3 \\ w_4 & w_5 & w_6 \\ w_7 & w_8 & w_9 \end{pmatrix}$$

Proces filtracji z użyciem konwolucji może być zapisany w następujący sposób:

$$\begin{aligned} L'(m,n) = \quad & w_1 L(m-1,n-1) & + w_2 L(m-1,n) & \quad + w_3 L(m-1,n+1) + \\ & + w_4 L(m,n-1) & + w_5 L(m,n) & \quad + w_6 L(m,n+1) + \\ & + w_7 L(m+1,n-1) & + w_8 L(m+1,n) & \quad + w_9 L(m+1,n+1) \end{aligned}$$

Odpowiednio dobierając współczynniki $w(i,j)$ można budować filtry o różnych właściwościach.

Po operacji filtracji, obraz wynikowy musi spełniać warunek normalizacji, aby wartości jasności pikseli pokrywały ten sam przedział $L'(m,n) \in [0, 2^B - 1]$ co obraz oryginalny. Na przykład, dla obrazów, dla których jasność pikseli zapisujemy liczbą ośmiobitową, wartości jasności obrazu wynikowego muszą zawierać się w przedziale $L'(m,n) \in [0, 255]$. W tym celu stosuje się następującą technikę normalizacji, daną wzorem (gdy wszystkie współczynniki $w(i,j) \geq 0$):

$$L''(m,n) = \frac{L'(m,n)}{\sum_{(i,j) \in K} \; w(i,j)}$$

Gdy współczynniki $w(i,j)$ są dodatnie lub ujemne, operacja normalizacji musi odwołać się do maksymalnej i minimalnej wartości ($L'_{\max}$ i $L'_{\min}$) spośród wszystkich pikseli obrazu, uzyskanych w wyniku procesu filtracji obrazu:

$$L''(m,n) = \frac{L'(m,n) - L'_{\min}}{L'_{\max} - L'_{\min}} \times (2^B - 1)$$

2 Operacje filtrowania

1. Filtry dolnoprzepustowe: redukują lokalne zróżnicowanie jasności obiektów.

   - filtr uśredniający

   $$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

   Cechy filtru: usuwanie drobnych zakłóceń z obrazu przy jednoczesnym rozmyciu konturów obiektów i pogorszeniu rozpoznawalności ich kształtów.

   - filtr uśredniający ze wzmocnieniem

   $$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

   Cechy filtru: usuwanie drobnych zakłóceń z obrazu, efekt rozmycia konturów jest zniwelowany poprzez wzmocnienie punktu centralnego.

2. Filtry górnoprzepustowe: wydobywają z obrazu fragmenty, gdzie zachodzi szybka zmiana jasności — a więc kontury i krawędzie obiektów.

   - gradient Robertsa

   $$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

   Cechy filtru: eksponowanie krawędzi obiektów.

- pozioma maska Prewitta

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

  Cechy filtru: eksponowanie poziomych linii. Maska „obrócona” o $90°$ eksponuje linie pionowe.

- maska Sobela

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

  Cechy filtru: wzmocnienie wpływu najbliższego otoczenia piksela, możliwość obrotu maski w różnych kierunkach (o $90°$ i $45°$) pozwala na eksponowanie linii o różnych orientacjach.

- maska wykrywająca narożniki

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

  Cechy filtru: możliwość obrotu maski, wykrywanie narożników.

- laplasjany

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} lub \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} lub \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$$

  Cechy: podkreślanie krawędzi i konturów obiektów niezależnie od tego, pod jakim kątem one przebiegają.

3. Można projektować również filtry samodzielnie lub stosować inne, nie wymienione tutaj maski.

Bibliografia

[1] TADEUSIEWICZ R., KOROHODA P., *Komputerowa analiza i pretwarzanie obrazów*, Wydawnictwo fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997, str. 83–109

[2] TADEUSIEWICZ R., *Systemy wizyjne robotów przemysłowych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992, str. 101–122