Tomasz Kryjak **02.12.2013 v1.4**

PRZETWARZANIE OBRAZÓW CYFROWYCH

Detekcja krawędzi
Transformata Hougha

Cel:

- zapoznanie z metodami detekcji krawędzi:
  - Sobel, Prewitt, Roberts - przypomnienie
  - Laplasjan z Gaussa (LoG - *Laplacian of Gaussian*)
  - Canny
- zapoznanie z transformatą Hougha
  - dla pojedynczego punktu
  - dla kilku punktów
  - dla prostych figur
- wykorzystanie transformaty Hougha do detekcji linii prostych na rzeczywistym obrazie
- transformata Hougha w przestrzeni ab - zadanie dodatkowe

I. Detekcja krawędzi

Detekcja krawędzi przez wiele lat była podstawą algorytmów segmentacji. Krawędzie wykrywane są najczęściej z wykorzystaniem pierwszej (**gradient**) i drugiej (**Laplasjan**) pochodnej. Wykorzystanie obu metod zaprezentowane zostało w ćwiczeniu "Przetwarzanie wstępne. Filtracja kontekstowa".

W obecnym ćwiczeniu poznane detektory krawędzi: **Sobela**, **Prewitta** i **Robertsa** zostaną porównane z bardziej zaawansowanymi: **Laplasjan z funkcji Gaussa (LoG)**, **Zero Crossing** i **Canny**.

a) **Laplasjan z Gaussa (LoG)**

Funkcja Gaussa: $h(r)=-e^{(\frac{-r^2}{2\cdot\sigma^2})}$ gdzie $r^2=x^2+y^2$ i σ – odchylenie standardowe.

Działanie filtracji Gaussowskiej zostało przedstawione w ćwiczeniu "Przetwarzanie wstępne" - w jej wyniku następuje rozmazanie obrazu.

Laplasjan z tej funkcji:

$$\nabla^2 h(r)=-[\frac{r^2-\sigma^2}{\sigma^4}]e^{(\frac{-r^2}{2\cdot\sigma^2})}$$

Funkcję (z oczywistych powodów) nazywamy Laplasjan z Gaussa (LoG). Ponieważ druga pochodna jest operacją liniową, konwolucja obrazu z $\nabla^2 h(r)$ daje taki sam efekt jak zastosowanie filtracji Gaussa na obrazie, a następnie obliczenie Laplasjanu z wyniku.

Lokalizacja krawędzi polega na znalezieniu miejsca, gdzie na obrazie po filtracji LoG następuje zmiana znaku.

Detekcja przejścia przez zero (*Zero-Crossing Detector*) - detektor opiera się na tej samej koncepcji co LoG - jedyna różnica to ręczne podawanie funkcji filtra (nie musi być Gaussa).

b) **algorytm Canny'ego**

Algorytm Canny'ego to często wykorzystywana metoda detekcji krawędzi zaproponowana w 1986r. przez Johna F. Cannego. W pierwszym kroku obraz rozmywany jest filtrem Gaussa. Następnie na podstawie gradientów G_x i G_y (uzyskiwanych np. za pomocą maski Sobela) wyliczana jest amplituda gradientu: $g(x,y)=\sqrt{(G_x^2+G_y^2)}$ oraz kierunek $\alpha(x,y)=\arctan(G_y/G_x)$. W kolejnym kroku występuje procedura, która "śledzi" grzbiety na obrazie amplitudy - wyeliminowane zostają piksele, które nie mają wartości maksymalnej (*nonmaximal suppresion*). Ostatnią fazą, jest binaryzacja z dwoma progami T1 i T2 (T1 < T2). Zasada jest następująca: za piksel krawędziowy uznaje się piksel o jasności >T2 lub piksel o jasności > T1, w którego bezpośrednim otoczeniu znajduje się co najmniej jeden piksel o jasności > T2.

Wykorzystywane funkcje MATLAB'a:

- `edge`

II. Transformacja Hough'a

Transformacja Hougha dla prostych jest metodą detekcji współliniowych punktów. Każda prosta może być jednoznacznie przedstawiona za pomocą dwóch parametrów. Przestrzeń tych parametrów to przestrzeń Hougha. Najczęściej wykorzystywanymi parametrami są współczynniki σ, θ opisujące równanie prostej w postaci normalnej:

$$\sigma = x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta) \quad (1)$$

gdzie: σ - promień wodzący, θ - kąt tworzony przez z σ osią OX.

Własności transformaty Hougha:

- **prostej** w przestrzeni kartezjańskiej odpowiada **punkt** w przestrzeni Hougha
- **punktowi** w przestrzeni kartezjańskiej odpowiada **krzywa sinusoidalna** w przestrzeni Hougha
- **punkty leżące na tej samej prostej** (w przestrzeni kartezjańskiej) korespondują z sinusoidami przechodzącymi przez **wspólny punkt** w przestrzeni Hougha.

Metoda wyliczania transformaty Hougha składa się z następujących kroków:

- przez każdy badany (różny od zera) punkt obrazu prowadzony jest pęk prostych, przechodzących przez ten punkt
- każda z tych prostych transformowana jest do przestrzeni Hougha i tworzy tam punkt o współrzędnych σ, θ
- w ten sposób, każdy punkt obrazu pierwotnego (pęk prostych) jest odwzorowany w sinusoidalną krzywą w przestrzeni Hougha

Przestrzeń Hougha jest przestrzenią akumulacyjną tzn. punkty sinusoidalnych krzywych, wygenerowanych dla różnych punktów obrazu pierwotnego dodają się w miejscach, w których krzywe te przecinają się. Powstałe w ten sposób (w przestrzeni Hougha) maksima odpowiadają zbiorom punktów, należących do jednej prostej. Wartość maksimum odpowiada liczbie współliniowych punktów. Współrzędne σ, θ tego maksimum jednoznacznie określają położenie prostej na obrazie pierwotnym.

A. Transformata Hougha dla małej liczby punktów.

Warto wiedzieć:

- idea transformaty Hougha,
- równanie prostej w postaci normalniej.
- czemu w przestrzeni Hougha odpowiada prosta w przestrzeni kartezjańskiej ?
- czemu w przestrzeni Hougha odpowiada punkty w przestrzeni kartezjańskiej ?
- jak rozpoznać w przestrzeni Hougha, że dwa punkty leżą na tej samej prostej ?
- co to znaczy, że przestrzeń Hougha jest przestrzenią akumulacyjną ?

Wykorzystywane funkcje MATLAB'a:

- `hough`

B. Transformata Hougha dla pojedynczego obiektu

Warto wiedzieć:

- metody detekcji krawędzi,
- jaka jest postać przestrzeni Hougha ?
- czy maksima w przestrzeni Hougha są "punktowe" ? Jeżeli nie to dlaczego ?

Wykorzystywane funkcje MATLAB'a:

- `houghlines`
- `houghpeaks`

C. Transformata Hougha dla obrazu rzeczywistego.

Warto pamiętać (przypomnieć sobie):

- poznane techniki filtracji
- binaryzację
- operacje morfologiczne
- detekcję krawędzi

D. * Transformata Hougha w przestrzeni ab**

Przestrzeń σ, θ nie jest jedyną przestrzenią w której punkt odpowiada parametrom prostej. Np. można spróbować wykorzystać tradycyjne równanie prostej:

$$y=ax+b \quad (2)$$

W tej przestrzeni reprezentacją **pęku prostych** jest **prosta**.

Zadanie: napisać funkcję, która jako argument przyjmuje obraz (binarny) oraz parametry:

- aMin - minimalna wartość parametru a
- aMax - maksymalna wartość parametru a
- aSkok - skok parametru a
- bMin - minimalna wartość parametru b
- bMax - maksymalna wartość parametru b
- bSkok - skok parametru b

Jako wynik ma zwrócić macierz przestrzeni Hougha **ab.**

Uwagi:

- zadanie może wyglądać na skomplikowane ale tak na prawdę wymaga tylko starannego przemyślenia,
- najważniejszy jest problem "adresowania" macierzy H. Macierz tę tworzymy na początku i wypełniamy wartościami 0. Rozmiar zależy od parametrów.
- trzeba wygenerować dwa wektory **a** i **b** ze wszystkimi możliwymi wartościami jakie te parametry mogę przyjąć,
- dla każdej z wartości 'a' obliczamy odpowiednią wartość 'b' i dokonujemy jej kwantyzacji (np. poprzez taką składnię: `[v bb] = min( abs(b_v - b));`. Wynik to parametr bb,
- wartość punktu w przestrzeni **ab** inkrementujemy: `H(aa,bb) = H(aa,bb) + 1;`,
- działanie funkcji należy przetestować na prostym przykładzie - jak w punkcie A.

Zastanów się w przypadku jakich prostych reprezentacja **ab** nie sprawdzi się.

Uwaga !

Podejście oparte o transformatę Hough'a nie jest tylko ograniczone do prostych. W ten sam sposób można wykrywać na obrazie wszystkie krzywe analityczne (tj. opisane równaniem). Problemem bywa tylko duża złożoność obliczeniowa i pamięciowa. Proszę przemyśleć jak w jaki sposób za pomocą transformaty Hough'a zrealizować wykrywanie okręgów i elips.