

## **Cyfrowe przetwarzanie obrazów, semestr 13.L**

### **Algorytm wykrywania krawędzi Canny'ego i jego zastosowanie w procesie segmentacji obrazów medycznych.**

Autor: Zuzanna Jarosz, Inżynieria Biomedyczna

Techniki obrazowania medycznego korzystają z wielu rozwiązań służących do przetwarzania obrazów uzyskanych m.in. w CT i MRI, mających na celu poprawę jakości obrazu, wizualizację wybranych struktur i ułatwienie diagnostyki. W przypadku segmentacji obrazów medycznych bardzo istotna jest wysoka precyzja wyznaczania określonych struktur biologicznych na obrazie oraz zminimalizowanie ryzyka wystąpienia fałszywych detekcji oraz wyeliminowanie lub minimalizacja szumu. Aby umożliwić wyodrębnienie istotnych z punktu widzenia obrazowania struktur biologicznych, można zastosować segmentację poprzez wykrywanie krawędzi danych obszarów.

Optymalnym rozwiązaniem jest algorytm Canny'ego, który spełnia trzy istotne kryteria: zapewnia dobrą detekcję, dobrą lokalizację i minimalną odpowiedź<sup>2</sup>. Kryterium minimalnej odpowiedzi zakłada, że w wyniku działania algorytmu otrzymywana jest tylko jedna odpowiedź, a szum nie powoduje fałszywej detekcji. Odpowiednie dobranie parametrów wejściowych zapewnia wysoki stosunek sygnału do szumu, co skutkuje zmniejszeniem prawdopodobieństwa zarówno wystąpienia fałszywych detekcji jak i odrzucenia pikseli, które w rzeczywistości należą do krawędzi, tym samym zwiększając dokładność odwzorowania wyodrębnianych elementów na obrazie wyjściowym.

Algorytm Canny'ego znalazł zastosowanie m.in. w wielu systemach ekspertowych wspomagających decyzje diagnostyczne na podstawie obrazów z tomografii komputerowej i MRI. Ułatwia m.in. wyznaczanie tzw. ROI (*region of interest*), co pozwala na bardziej precyzyjne wyodrębnienie obrazowanych struktur biologicznych i wizualizację wzajemnego ich rozmieszczenia.

Detekcja krawędzi w algorytmie Canny'ego, prowadząca do powstania na obrazie wynikowym ciągłych linii będących odwzorowaniem krawędzi o szerokości jednego piksela, składa się z następujących etapów:

- Rozmycie obrazu wejściowego filtrem Gaussa.
- Przetwarzanie operatorem gradientu kierunkowego.
- Usuwanie niemaksymalnych pikseli (*non-maximum suppression*).
- Konstrukcja krawędzi. Progowanie z histerezą.

## I Rozmycie obrazu wejściowego filtrem Gaussa.

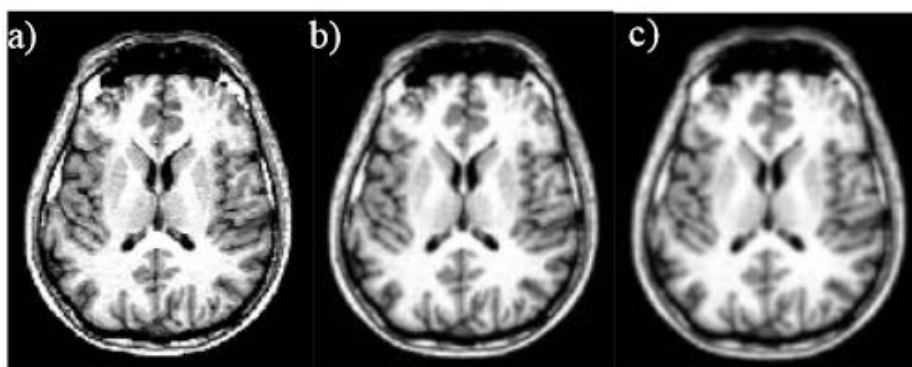
Pierwszym krokiem jest operacja splotu obrazu wejściowego z filtrem Gaussa. Filt ten ma na celu wyeliminowanie szumu występującego na obrazie, przed jego dalszym przetwarzaniem. W tym celu stosuje się jednowymiarowe maski działające oddzielnie w kierunku wierszy i w kierunku kolumn. Wartości elementów maski obliczane są zgodnie ze wzorem (1.1):

$$g = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{x_i^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (1.1)$$

W tym miejscu podawany jest pierwszy bardzo istotny parametr, czyli odchylenie standardowe  $\sigma$ . W powyższym wzorze  $x$  odpowiada pozycji piksela w masce w kierunku wierszy/ kolumn. W wyniku konwolucji obrazu z każdą z masek otrzymywane są składowe gradientu w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach.

Maska filtru jest generowana dynamicznie, ponieważ jej rozmiar i wartości elementów są zależne od parametru  $\sigma$ . Wartość odchylenia standardowego ma wpływ na jakość obrazu oraz na czas obliczeń. Im większe  $\sigma$ , tym mniej elementów błędnie określonych wstępnie jako krawędzie. Jednak konsekwencją zwiększenia parametru  $\sigma$  jest też wydłużenie czasu konwolucji. Czas potrzebny na wykonanie tej operacji jest proporcjonalny do kwadratu rozmiaru maski.

Na Rysunku 1 przedstawiony jest obraz oryginalny badania MRI głowy, oraz wstępnie przetworzony- rozmyty obraz przy różnych wartościach odchylenia standardowego (0,77 i 0,13).



Rysunek 1 Obraz MRI. Rozmycie filtrem Gaussa. a) obraz oryginalny, b)c) obrazy rozmyte z  $\sigma = 0,77$  i  $\sigma = 1,3$  <sup>1</sup>

## II Przetwarzanie operatorem gradientu kierunkowego.

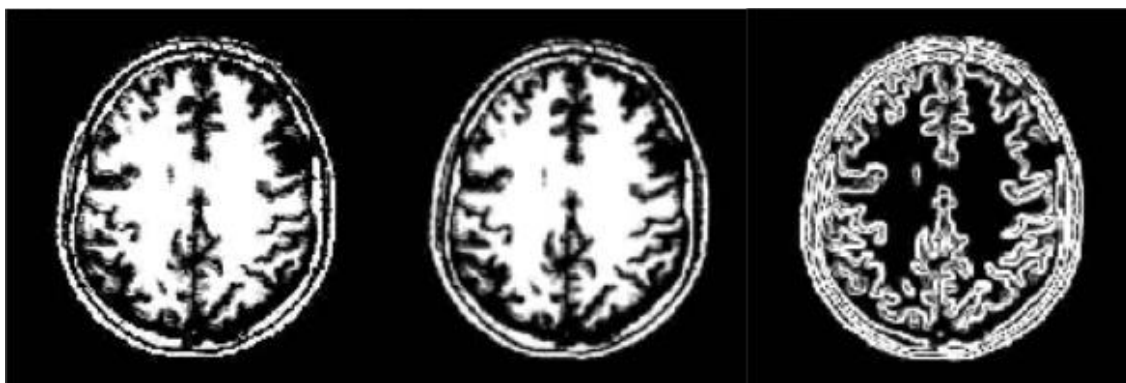
Odszumiony obraz po wykonaniu operacji splotu jest poddawany analizie pod kątem zmienności funkcji  $g(j, k)$ . Krawędzie mogą mieć różne położenie i być różnie skierowane. Algorytm Canny'ego pozwala na wykrycie krawędzi poziomych, pionowych i przekątnych, wykorzystując operatory, np. Prewitta, Sobela czy Robertsa. Zwracają one wartości pierwszej pochodnej dla kierunku poziomego  $G_x$  i kierunku pionowego  $G_y$ .

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (1.2)$$

Utworzone w poprzednim etapie tablice zawierające wartości gradientów w kierunku wierszy i w kierunku kolumn są tablicami zawierającymi składowe wektorów gradientu obrazu poszczególnych pikseli. Aby określić kąt, jaki tworzy wektor gradientu z kierunkiem wierszy OX stosuje się wzór (1.3):

$$\theta(j, k) = \arctg \frac{S_2(j, k)}{S_1(j, k)} \quad (1.3)$$

Wartości kąta  $\theta$  są zaokrąglane do 4 przypadków różniących się o  $45^\circ$ , dzięki czemu możliwe jest określenie kierunku poziomego, pionowego i dwóch przekątnych.



Rysunek 2 Obraz oryginalny, rozmyty i przetworzony przy pomocy operatora detekcji konturów (*MEzop*)<sup>1</sup>

### III Usuwanie niemaksymalnych pikseli (*non-maximum suppression*).

Ten etap w efekcie ma na celu doprowadzenie do zmniejszenia grubości krawędzi w taki sposób, aby powstała linia ciągła składająca się z pojedynczych pikseli.

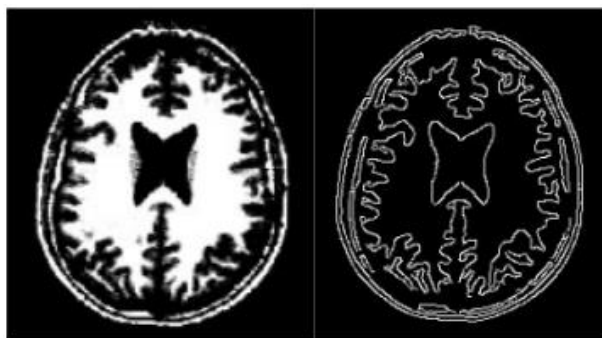
W tym celu analizowane są sąsiednie piksele tworzące prostopadły przekrój konturu. Jeżeli intensywność danego piksela nie jest większa niż pikseli sąsiednich- piksel jest zerowany.

### IV Konstrukcja krawędzi. Binarystacja. Progowanie z histerezą.

W ostatnim etapie usuwane są nieistotne krawędzie, których nachylenie jest mniejsze od pewnego określonego progu. Stosuje się progowanie z histerezą, ponieważ dzięki takiemu rozwiązaniu eliminowany jest problem z przerywaniem ciągłości krawędzi w miejscach słabszego kontrastu. W praktyce progowanie z histerezą polega na dołączaniu kolejnych pikseli pomimo spadku nachylenia, aż do osiągnięcia dolnego progu wykrywania. W tym kroku podawane są kolejne dwa ważne parametry algorytmu Canny'ego: próg wysoki HT (*high threshold*) oraz LT (*low threshold*). Następnie sprawdzane są wartości gradientu  $G(j, k)$  na obrazie konturu, które odpowiadają danym pikselom.

Poza obszarami o słabszym kontraście, w których niezbędne jest uwzględnienie dodatkowych pikseli (histereza) w celu zakwalifikowania piksela do jednej z poniższych grup, możliwe są trzy przypadki:

- $G(j, k) > HT$ - piksel należy do krawędzi, przypisywana jest mu wartość 0.
- $G(j, k) \in [LT, HT]$ - badane jest otoczenie danego piksela z wykorzystaniem algorytmu domykania krawędzi w jednej z dwóch realizacji: algorytmu sekwencyjnego lub rekurencyjnego. Jeśli moduł gradientu mieści się w zdefiniowanym przedziale pomiędzy LT a HT, ale żaden z pikseli sąsiednich nie należy do krawędzi- wówczas element jest usuwany z obrazu wynikowego.
- $G(j, k) < LT$ - piksel nie należy do krawędzi, następuje „wygaszenie” piksela, czyli przypisanie mu wartości 255.



Rysunek 3 Obraz oryginalny i obraz wynikowy, uzyskany w wyniku działania algorytmu Canny'ego (program MEzop) <sup>1</sup>

Algorytm detekcji krawędzi Cany'ego doskonale sprawdza się w zastosowaniach związanych z segmentacją struktur na obrazach CT i MRI. Dzięki wykorzystaniu tej metody możliwe jest wyodrębnienie z dużą dokładnością poszczególnych elementów obrazu. Z tego względu algorytm ten jest istotnym elementem wielu systemów ekspertowych, mających na celu wspomaganie decyzji diagnostycznych. Pomaga m.in. w wyznaczaniu i wizualizację tzw. ROI (*region of interest*). Początkowe wyeliminowanie szumu i możliwość doboru parametrów filtracji i binaryzacji obrazu wynikowego zwiększają skuteczność metody i minimalizują ryzyko detekcji „fałszywych” krawędzi.

---

<sup>1</sup> <http://kis.pwszchelm.pl/publikacje/II/Ludwiczuk.pdf>

<sup>2</sup> <http://aragom.pb.bialystok.pl/~boldak./DIP/CPO-W04-v01-50pr.pdf>