

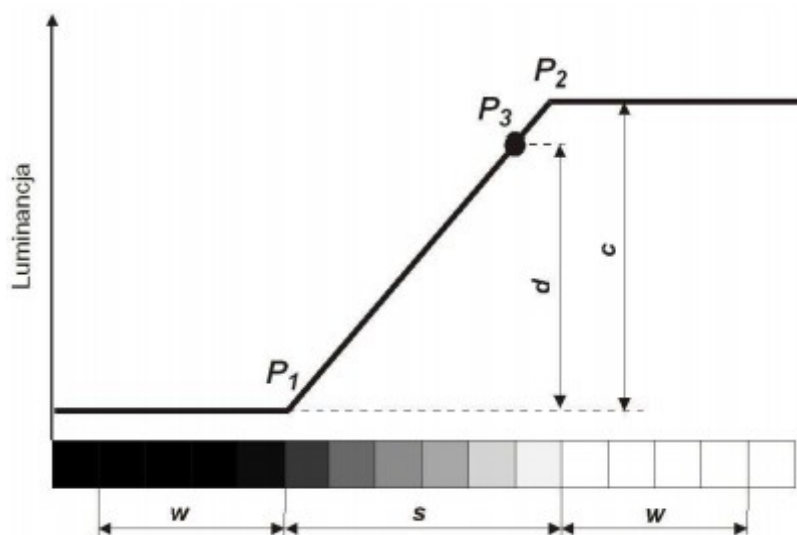
Streszczenie artykułu  
**„Analiza obrazów i modelowanie wirtualne w konstruowaniu protez kości czaszki”**  
K. Karbowskiego, A. Urbanika i M. Wyleżoła

1. Wstęp

W przytoczonym artykule opisano sposób uzyskiwania modelu czaszki, koniecznego do skonstruowania protez kości w zabiegach mających na celu przywrócenie naturalnego kształtu głowy pacjenta oraz pełnionych przez czaszkę funkcji ochronnych mózgu przed urazami mechanicznymi. Modelowanie to opiera się na wykrywaniu krawędzi poprzez analizę luminacji sąsiadujących ze sobą pikseli na obrazach uzyskanych podczas tomografii komputerowej.

2. Zasada działania detekcji krawędzi na podstawie analizy luminacji

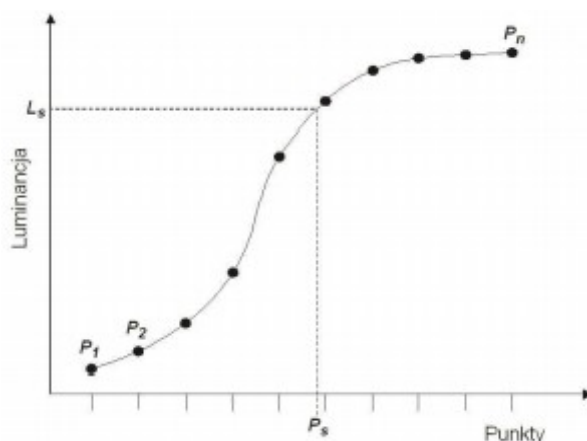
Algorytm badania luminacji polega na porównywaniu jasności punktów obrazu wzdłuż wyznaczonego profilu (rys. 1). Dla każdego punktu obliczany jest kontrast, którego wartość jest równa różnicy luminacji punktu analizowanego i sąsiadującego. W przypadku uzyskania większego kontrastu niż wartość zadana przez użytkownika, punkt ten przyjmowany jest jako początek dalszej analizy ( $P_1$ ), która kończy się w momencie zlokalizowania największej luminacji ( $P_2$ ). Lokalizacja krawędzi odbywa się poprzez wyznaczenie pierwszego piksela o kontraście  $d$  spełniającym warunek  $d \geq 0,9c$ .



Rys. 1 Schemat algorytmu detekcji krawędzi metodą analizy luminacji<sup>1</sup>

W celu zniwelowania wpływu szumu stosuje się wartość średnią luminacji  $w$ , która określa kontrast analizowanego profilu, natomiast parametr  $s$  określa oczekiwaną szerokość krawędzi, dzięki czemu nie przeszukiwane są obszary o bardzo niewielkiej zmianie luminacji.

Uzupełnieniem tej metody wykrywania krawędzi jest stosowanie interpolacji, w wyniku czego uzyskuje się sztuczne zwiększenie rozdzielczości w przypadku obrazów o zbyt małym rozmiarze, na podstawie funkcji wyznaczonej z wartości luminacji punktów  $P1...Pn$ .



Rys. 2 Schemat algorytmu interpolacji<sup>1</sup>

### 3. Algorytm wyznaczania kierunku analizy

Zastosowanie algorytmu wykrywania krawędzi okazało się problematyczne ze względu na konieczność każdorazowego zadawania kierunku analizy luminacji, co w przypadku obiektów o nieznanym kształcie skutkowało bardzo niską efektywnością. W związku z tym został zaimplementowany kod, który automatycznie wykrywa kierunek analizy.

Algorytm ten rozpoczyna się od segmentacji obrazu z wykorzystaniem binaryzacji opartej na entropii lub na zadanym przez użytkownika progu dolnym, w wyniku czego możliwe jest wstępne określenie położenia poszukiwanego obiektu oraz obszar występowania jego krawędzi. Następnie, poprzez zastosowanie operacji morfologicznych, usuwane są zbiory pikseli, które nie wnoszą istotnej informacji o obrazie (operacja otwarcia), a krawędzie obiektu zostają wygładzone (operacja zamknięcia).

W celu upewnienia się, że na obrazie pozostały tylko punkty niosące istotną informację, stosuje się wyszukiwanie i usuwanie grup pikseli o powierzchni mniejszej niż wartość wprowadzona przez użytkownika. Kolejnym krokiem jest dylatacja, dzięki której obszar występowania obiektów zostaje powiększony, co umożliwia uniknięcie sytuacji, w której krawędź obiektu znajdzie się poza polem uzyskanym podczas binaryzacji.

Po operacji ściemniania, algorytm wyszukuje wektorów normalnych do brzegu wyznaczonego obszaru, które określają kierunek wykorzystywany podczas detekcji krawędzi za pomocą analizy luminacji.

### 4. Zastosowanie detekcji krawędzi na podstawie analizy luminacji

Wykrywanie krawędzi poprzez analizę naświetlenia stosuje się w systemach widzenia maszynowego, co umożliwia uzyskanie powtarzalnych wyników na różnych obrazach wejściowych. Opisany algorytm jest wykorzystywany podczas wykonywania pomiarów na taśmie produkcyjnej z wykorzystaniem wizyjnych systemów kontroli jakości.

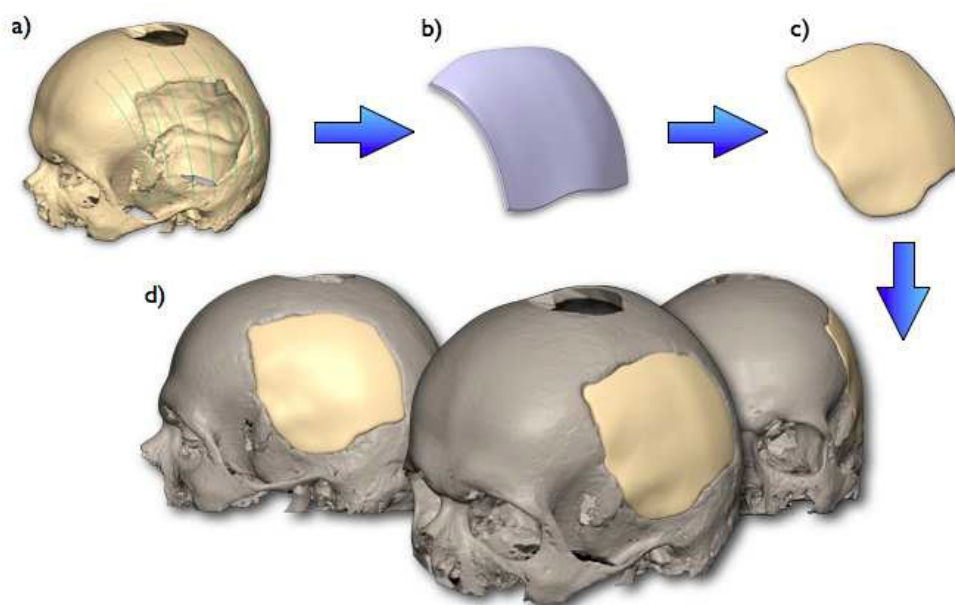
Wraz z algorytmem wyznaczania kierunku, znajduje też duże zastosowanie w analizie obrazów biomedycznych, np. do wyznaczania krawędzi obiektów w seriach obrazów tomograficznych za pomocą generowania przestrzennej chmury punktów krawędzi obiektu. Autorzy artykułu wykazali także zastosowanie algorytmu wykrywania krawędzi w planowaniu zabiegów chirurgicznych czaszki oraz w wykonaniu protez kości.

## 5. Model wirtualny czaszki

Algorytm detekcji krawędzi wraz kodem umożliwiającym wyznaczanie kierunku analizy, został wykorzystany podczas porównywania efektów procesu tomografii komputerowej czaszki człowieka z pooperacyjnym ubytkiem kostnym, który miał zostać wypełniony protezą. W efekcie uzyskano dyskretną reprezentację rozpoznanych krawędzi umieszczonych na oddzielnych płaszczyznach, które odpowiadały poszczególnym przekrojom tomograficznym. Każdy z tych zbiorów został zapisany w rozszerzeniu cgo, a następnie zaimportowany do systemu CATIA wraz z uwzględnieniem położenia względem siebie, co umożliwiło uzyskanie przestrzennej chmury punktów reprezentujących powierzchnię czaszki. Po dokonaniu optymalizacji i triangulacji, dzięki której możliwe jest uzyskanie modelu siatkowego, zamieniono powierzchnię siatkę trójkątów na postać wokselową, w wyniku czego otrzymano wirtualny model czaszki stanowiący podstawę do projektowania protezy.

## 6. Modelowanie protezy

Modelowanie protezy opiera się na zastosowaniu interpolacyjnych krzywych splajnowych, które charakteryzują się zachowaniem styczności do modelu na całej swojej długości w miejscach występowania powierzchni pomiędzy zadanymi węzłami oraz interpolacją w przypadku braku tej powierzchni. W celu uzyskania odpowiedniego kształtu protezy wykorzystuje się odejmowanie „boolowskie” oraz metody modelowania haptycznego.



Rys. 3 Wizualizacja etapów procesu modelowania protezy czaszki<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> <http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i5/i6/i8/i2/r5682/ANALIZA%20BRAZ%C3%93W%20I%20MODELOWANIE%20WIRTUALNE%20W%20KONSTRUOWANIU%20PROTEZ%20K0%C5%9ACI%20CZASZKI.pdf>