

CZESŁAW KUNCEWICZ  
JACEK STELMACH

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

# Wykrywanie krawędzi obrazów pęcherzyków

## Wprowadzenie

Mieszanie mechaniczne z równoczesnym napowietrzaniem jest procesem często stosowanym w przemyśle [1]. Dlatego ważnym zagadnieniem jest określenie wpływu parametrów procesowych (np. typu mieszadła, częstości obrotowej itd.) na efektywność procesu wnikania masy. Eksperymentalnie łatwo jest określić wartości objętościowego współczynnika wnikania masy. Jednak bezpośrednie wyznaczenie współczynnika wnikania masy jest trudniejsze i realizowane jedynie w roztworze elektrolitu. Współczynnik wnikania masy można również określić na podstawie wartości objętościowego współczynnika wnikania masy, ale do tego niezbędne jest określenie rozmiarów pęcherzyków. Można to zrobić metodą fotograficzną, jednak „ręczne” określanie rozmiarów populacji liczącej kilkaset lub więcej pęcherzyków jest procesem bardzo czasochłonnym. Automatyczne określanie rozmiarów pęcherzyków w różnych programach komputerowych jest możliwe, ale gdy obrazy pęcherzyków zachodzą na siebie, otrzymywane wyniki nie są prawidłowe. Dlatego pierwszym krokiem jest właściwe określenie granic obrazów pęcherzyków, aby następnie zastosować transformację *Hougha* do określania rozmiarów pęcherzyków. Do tego celu można stosować wiele algorytmów gradientowych lub morfologicznych, których działanie przynosi różne efekty [2]. Porównanie działania i wybór możliwie najefektywniejszego algorytmu gradientowego określania granic pęcherzyków jest celem niniejszej pracy.

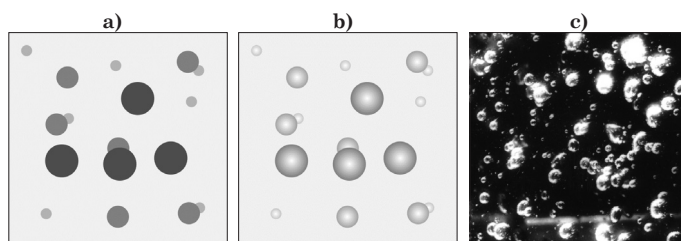
## Badania

Do analizy wybrano cztery algorytmy do gradientowego określania granic obszarów:

- metodę z obliczaniem wartości drugiej pochodnej i znajdowania miejsc zerowych [3],
- metodę *Sobela* [2],
- metodę z użyciem laplasjanu gaussowskiego [2],
- metodę *Canny’ego* [2].

Pierwsze trzy metody muszą być uzupełnione algorytmem szkieletyzacji. Do tego celu wybrano algorytm *Hilditcha* [4]. Badania przeprowadzono na obrazach testowych o wielkości 600×600 pikseli i na obrazach rzeczywistych. Aby uprościć procedury obliczeniowe ograniczono się do obrazów w odcieniach szarości. Procedury obliczeniowe napisano w programach *MathCAD* oraz *Delphi*, przy czym nie mierzono czasu ich wykonania (skompilowane programy napisane w *Delphi* wykonywały się na tyle szybko, że na tym etapie badań ten czynnik uznano za mało znaczący).

Rys. 1a przedstawia najprostszyp przypadk. Koliste obrazy pęcherzyków mają jednolite wypełnienie. Ponieważ w praktyce nie można oświetlić wnętrza mieszalnika w taki sposób, aby uzyskać efekt jak na rys. 1a, to do dalszych badań spreprowowano obraz widoczny na rys. 1b z gradientowym wypełnieniem obrazów pęcherzyków. Przeprowadzono również eksperymenty z obrazem z rys. 1b, do którego dodano szum impulsowy typu *sól i pieprz* w ilości 1% liczby wszystkich pik-



Rys. 1. Obrazy do testowania metod określania granic pęcherzyków

seli. Rys. 1c przedstawia rzeczywisty obraz małej liczby pęcherzyków w mieszalniku.

## Omówienie wyników

Na rys. 2 przedstawiono fragmenty (200×200 pikseli) obrazu testowego (Rys. 1a) po zastosowaniu wymienionych wcześniej algorytmów detekcji krawędzi (podano wartości parametrów odchylenia standardowego i progów niezbędnych w poszczególnych metodach). Najgorszy rezultat daje użycie laplasjanu gaussowskiego. Pozostałe metody dały bardzo podobne wyniki. Jednak na tym etapie nie można jeszcze wyeliminować żadnej z użytych metod. Wyniki uzyskane dla wypełnienia gradientowego przedstawiono na rys. 3. W tym przypadku metoda bezpośredniego obliczania drugiej pochodnej dała najgorszy rezultat wykrywając nieistniejące krawędzie wewnątrz obrazów pęcherzyków. Metoda z obliczaniem wartości laplasjanu gaussowskiego daje w pewnych przypadkach nieciągłe krawędzie. Pozostałe dwie analizowane metody dają niemal identyczne wyniki i na tym etapie badań można odrzucić metodę z obliczaniem wprost drugiej pochodnej.

Poddano również analizie zachowanie się testowanych metod w obecności na obrazach szumu typu *sól i pieprz*, tj. pikseli białych i czarnych. Rys. 4 przedstawia otrzymane rezultaty.

Najlepiej wypadła w tym przypadku metoda *Canny’ego*, właściwie wykrywając krawędzie i eliminując część szumów. Część szumów z tła została również usunięta w metodzie drugiej pochodnej, ale ze względu na złe rozpoznawanie krawędzi pęcherzyków ta metoda nie nadaje się do wykorzystania. Użycie metody *Sobela* dobrze wydziela krawędzie obiektów, ale „wzmacnia” szumy. W metodzie z laplasjanem gaussowskim wzmocnienie szumów jest nieco mniejsze, ale krawędzie pęcherzyków są gorzej rozpoznawane. Należy zatem przed użyciem procedur wykrywania krawędzi przeprowadzać „odszumianie” obrazów. Jednak końcowym sprawdzianem są wyniki uzyskane dla rzeczywistego obrazu pęcherzyków, którego przetworzone fragmenty przedstawia rys. 5. Zastosowanie metody drugiej pochodnej daje błędne wyniki. Również metoda z laplasjanem gaussowskim, oprócz prawidłowo wykrytych konturów, dodaje również zarysy nieistniejących krawędzi. Natomiast metody *Sobela* i *Canny’ego* dają zbliżone wyniki, przy czym dla analizowanego tutaj obrazu rzeczywistego metodą *Sobela* uzyskano mniej poprzerywane krawędzie.

Algorytm *Canny'ego* zastosowano również do zdjęcia przedstawiającego dużą liczbę przesłaniających się wzajemnie pęcherzyków (rys. 6a). W zależności od ustawionych wartości parametrów uzyskano nieco różne rezultaty widoczne na rys. 6b–h. Uzyskane metodą *Canny'ego* rezultaty zależą od wartości trzech parametrów. W chwili obecnej nie są znane algorytmy do automatycznego ustalania ich wartości i stosuje się metodę prób i błędów.

Analizując uzyskane rezultaty wydaje się, że oprócz odsumiania obrazów konieczna jest również ich obróbka wstępna, mająca na celu lepsze wyodrębnienie poszczególnych pęcherzyków. Równie ważnym zagadnieniem jest oświetlenie wnętrza mieszalnika z mieszanym układem dwufazowym ciecz – gaz. Jak wynika z porównania rys. 5 i 6 sposób oświetlenia musi zależeć od liczby pęcherzyków znajdujących się w fotografowanej przestrzeni, gdyż powierzchnia międzyfazowa powoduje rozpraszanie światła i zmianę warunków oświetleniowych.

### Wnioski

Prawidłowe określenie krawędzi rzeczywistych obrazów pęcherzyków tak, aby na ich podstawie określać ich rozmiary jest trudne i czasochłonne, a często wręcz niemożliwe. Stanowi jednak punkt wyjścia do określania rozmiarów pęcherzyków gazu [5].

Dla przeanalizowanych obrazów testowych najlepsze rezultaty otrzymano dla metod *Sobela* i *Canny'ego*. Do wyboru jednej z nich lub stosowaniu obu do określania na fotografiach krawędzi pęcherzyków gazu w wodzie potrzebne są dalsze testy.

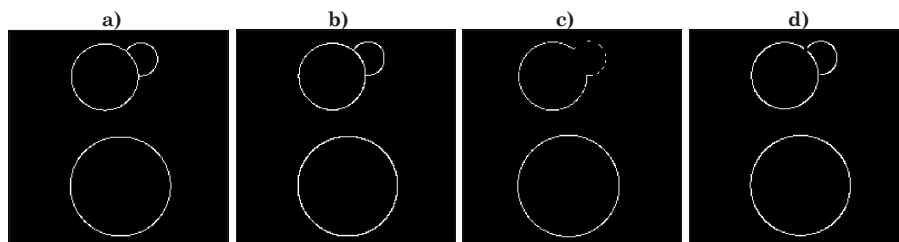
Konieczna jest wstępna obróbka obrazów rzeczywistych (np. zmiana kontrastu, usunięcie szumów itp.), która powinna zapewnić właściwsze wykrywanie krawędzi.

Oświetlenie wnętrza mieszalnika powinno być takie, aby obrazy pęcherzyków jak najbardziej odróżniały się od tła.

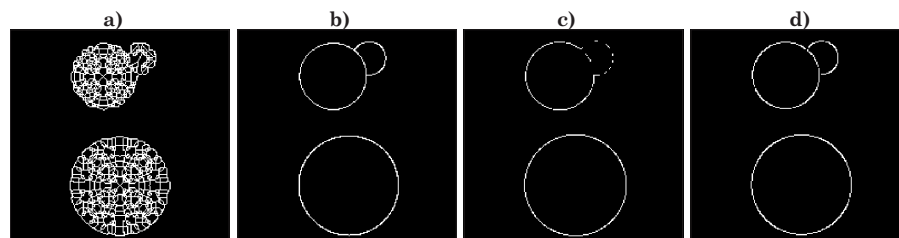
### LITERATURA

1. E. Paul, V. Atiemo-Obeng, S. Kresta: Handbook of industrial mixing, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2004.
2. W. Malina, M. Smiatacz: Cyfrowe przetwarzanie obrazów, EXIT, Warszawa 2008.
3. D. Panow: Metody numeryczne rozwiązywania równań różniczkowych cząstkowych, PWN, Warszawa 1955.
4. M. Yin, S. Narita: Mat. Digit. Imag. Comp. Techn. & Applic., Melbourne 2002.
5. J. Stelmach, M. Pietrzykowski: Inż. Ap. Chem. 48, nr 6, 180 (2009).

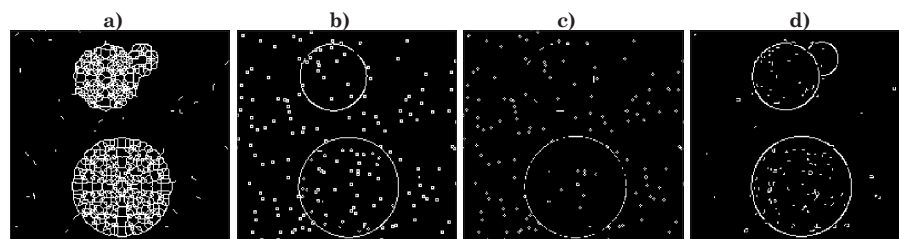
Praca powstała w ramach grantu N N208 097735 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.



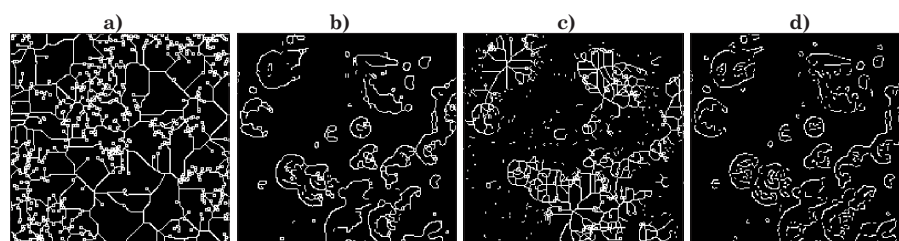
Rys. 2. Wykryte krawędzie a) metoda drugiej pochodnej, b) metoda *Sobela*  $T = 50$ , c) laplasián gaussowski  $\sigma = 0,5$ ,  $T = 70$ , metoda *Canny'ego*  $\sigma = 1$ ,  $T_1 = 15$ ,  $T_2 = 30$



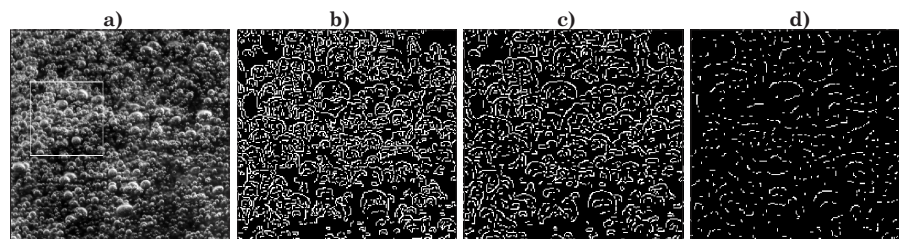
Rys. 3. Wykryte krawędzie na obrazie gradientowym a) metoda drugiej pochodnej, b) metoda *Sobela*  $T = 50$ , c) laplasián gaussowski  $\sigma = 0,5$ ,  $T = 70$ , metoda *Canny'ego*  $\sigma = 1$ ,  $T_1 = 15$ ,  $T_2 = 30$



Rys. 4. Wykryte krawędzie na obrazie gradientowym z szumem *sól i pieprz*; a) metoda drugiej pochodnej, b) metoda *Sobela*  $T = 50$ , c) laplasián gaussowski  $\sigma = 0,5$ ,  $T = 70$ , metoda *Canny'ego*  $\sigma = 1$ ,  $T_1 = 15$ ,  $T_2 = 30$



Rys. 5. Wykryte krawędzie na obrazie rzeczywistym a) metoda drugiej pochodnej, b) metoda *Sobela*  $T = 50$ , c) laplasián gaussowski  $\sigma = 0,5$ ,  $T = 200$ , metoda *Canny'ego*  $\sigma = 1$ ,  $T_1 = 15$ ,  $T_2 = 30$



Rys. 6. Obraz rzeczywisty (a) i wykryte krawędzie b)  $\sigma = 0,5$ ,  $T_1 = 15$ ,  $T_2 = 30$ ; c)  $\sigma = 1$ ,  $T_1 = 15$ ,  $T_2 = 30$ ; d)  $\sigma = 3$ ,  $T_1 = 15$ ,  $T_2 = 30$ ; e)  $\sigma = 1$ ,  $T_1 = 7$ ,  $T_2 = 14$ ; f)  $\sigma = 1$ ,  $T_1 = 30$ ,  $T_2 = 60$ ; g)  $\sigma = 1$ ,  $T_1 = 45$ ,  $T_2 = 90$ ; h)  $\sigma = 1$ ,  $T_1 = 90$ ,  $T_2 = 180$ ;