

JACEK STELMACH
MAREK PIETRZYKOWSKI

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Użycie transformacji *Hougha* do określania rozmiarów pęcherzyków gazu w wodzie

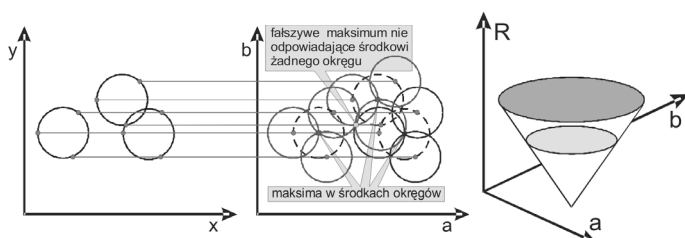
Wprowadzenie

Napowietrzanie wodnych zawiesin biologicznych jest procesem stosowanym m.in. w oczyszczaniu ścieków. Intensyfikację wnikania tlenu do wody można osiągnąć przez lepsze rozdrobnienie pęcherzy gazu dyspergowanego w cieczy. Do określenia wielkości uzyskiwanych pęcherzyków można zastosować metodę fotograficzną. Na jej podstawie można szybko określić zakres wielkości pęcherzyków. Jednak dokładniejsza analiza wielkości pęcherzyków, jak np. podanie średnicy *Sautera* wymaga określenia rozmiarów wszystkich widocznych na zdjęciu pęcherzyków. Gdy ich obrazy zachodzą na siebie to automatyzacja takiego procesu napotyka na znaczne trudności. Dlatego celem niniejszej pracy jest określenie przydatności transformacji *Hougha* [1–3] do określania średnic kulistych pęcherzyków w układzie powietrze-woda.

Okrąg o promieniu R i środku (a, b) można opisać układem równań [4]:

$$\begin{aligned}x &= a + R \cos \theta \\y &= b + R \sin \theta\end{aligned}\quad (1)$$

Jeżeli więc obraz zawiera wiele punktów, z których część tworzy okręgi, wówczas należy znaleźć wartości parametrów (a, b, R) opisujących okręgi. Przyjmując, że każdy punkt na obwodzie stanowi środek rysowanego okręgu o założonym promieniu R , to jeżeli wartość tego promienia jest równa promieniowi okręgu na obrazie, to rysowane okręgi przeczną się w środku okręgu na obrazie. Zmieniając wartości promienia otrzymuje się punkty leżące na powierzchni stożka (Rys. 1). Tak więc poszukiwanie okręgów na obrazie można prowadzić używając trójwymiarowej macierzy (tablicy), tzw. akumulatora.

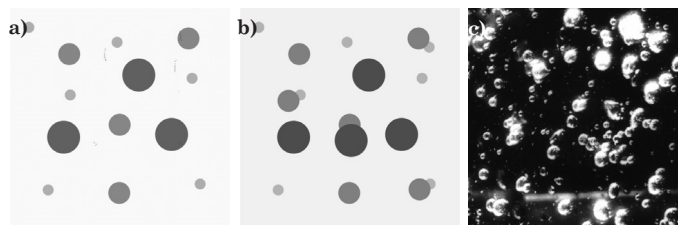


Rys. 1. Interpretacja graficzna transformacji *Hougha* dla okręgu

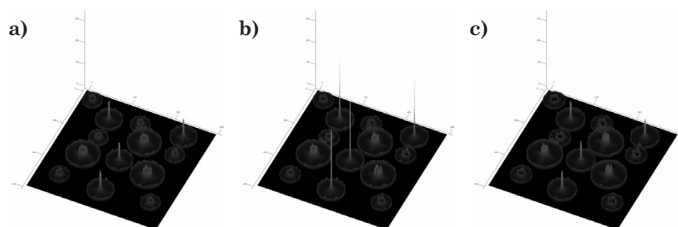
Badania

Badania wstępne przeprowadzono na obrazach testowych o wielkości 600×600 pikseli przedstawionych na rys. 2a, 2b (promienie kół wynosiły 15, 30 i 45 pikseli) oraz na obrazie rzeczywistym (Rys. 2c).

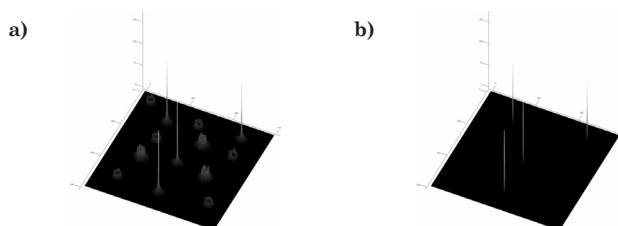
Aby zastosować transformację *Hougha* należy najpierw określić krawędzie kół wyobrażających pęcherzyki i do tego celu użyto metody *Canny'ego* [5, 6]. Następnie przesuwając się po tak uzyskanych liniach rysowano okręgi o promieniach od 10 do 50 pikseli. Ze względu na rastrową strukturę obrazu użyto procedury *Bresenhama* rysowania okręgu. Dla każdego promienia w punktach przechodzenia okręgu zwiększono wartość akumulatora o jeden. W ten sposób w warstwie akumulatora odpowiadającej promieniowi okręgu powinno się uzyskać maksimum dla współrzędnych odpowiadających położeniu środka okręgu. Obliczenia wykonane na obrazie testowym z rys. 2a wykazały, że powstają fałszywe maksima (Rys. 3) oraz że dla promieni zbliżonych do promienia rzeczywistego również otrzymuje się maksima, co przedstawiono na rys. 3. W celu wyeliminowania części fałszywych maksimów można zastosować dwie metody. W pierwszej wykorzystuje się informacje gradientowe i rysuje łuki tylko w kierunku środka okręgu, co powinno wyeliminować „otoczki” wokół pików (Rys. 4a). W drugiej metodzie wykorzystuje się informacje o liczbie pikseli tworzących okrąg o znanym promieniu – taka sama powinna wartość maksimum. Przykładając wagę z zakresu od $w = 0$ do 1 do wartości maksymalnej można odciać mniejsze wartości i pozostawić same piki (Rys. 4b).



Rys. 2. Obrazy testowe



Rys. 3. Maksima dla promieni $R = 28, 30$ i 32 piksele



Rys. 4. Efekt rysowania łuków $R = 30$ i odcięcia dolnych wartości dla $w = 0,25$

Tablica 1

Rozmiary i położenia kół dla rys. 2a

Wartości rzeczywiste			Wartości obliczone			Odchylenia			
r	x	y	r	x	y	Δr	Δr [%]	Δx	Δy
15	51	53	15	45	50	0	0	6	3
15	292	93	15	289	94	0	0	7	1
15	496	191	16	490	188	1	6,7	6	3
15	164	237	15	158	234	0	0	6	3
15	518	479	15	515	474	0	0	3	5
15	104	495	15	100	490	0	0	4	5
30	489	83	30	484	78	0	0	5	5
30	161	126	29	156	122	1	3,3	5	4
30	298	319	30	295	313	0	0	3	6
30	298	504	29	294	498	1	3,3	4	6
45	351	184	45	347	178	0	0	4	6
45	440	344	45	438	339	0	0	2	5
45	146	352	45	142	347	0	0	4	5

Jednak wówczas można rozpoznać okrąg na podstawie łuku, którego obwód stanowi przynajmniej taki ułamek obwodu okręgu, jak zastosowana waga.

Gdyby obrazy pęcherzyków były pełnymi idealnymi okręgami, wówczas można by zastosować większą wartość wagi (rzędu 0,9) i wyeliminować maksima dla promieni mniejszych i większych od rzeczywistego. Ponieważ obrazy rzeczywistych pęcherzyków nie będą idealnie koliste, a ponadto mogą być łukami, należy zastosować inną metodę. Wartości w każdej warstwie akumulatora są dzielone przez liczbę pikseli okręgu o promieniu przypisanym do danej warstwy. Następnie, zaczynając od pierwszej warstwy, znajduje się maksima i sprawdza czy w jego otoczeniu w sąsiednich warstwach nie ma maksimum o większej wartości. Jeśli nie ma, to do tablicy promieni dla współrzędnych występowania maksimum wpisuje się wartość promienia, a jeśli jest – to wpisuje się wartość promienia o największym maksimum. Stosując opisaną metodę dla rys. 2a otrzymano wyniki zestawione w tablicy 1.

Z analizy tablicy 1 wynika, że promienie kół określone zostały z zadowalającą dokładnością, natomiast obliczone położenie środków kół różni się o kilka pikseli od położenia rzeczywistego. Podobne rezultaty otrzymano dla obrazu testowego widocznego na rys. 2b. Uzyskana dokładność położenia kół jest niezadawalająca i wymaga dopracowania algorytmu. Ponieważ jednak głównym celem analizy zdjęcia jest określenie rozmiarów pęcherzyków, a nie ich położenia, zdecydowano się na jej dalsze stosowanie.

Rzeczywisty obraz pęcherzyków (Rys. 2c) nie jest tak dobry jakościowo jak spreparowane obrazy testowe i zawiera obrazy

pęcherzyków bardzo różniące się wielkością. Przed użyciem procedury określania krawędzi obraz ten powinien być podany obróbce wstępnej (odszumianie, zmiana kontrastu, erozja lub/i dylatacja). Zdecydowano się jednak przeprowadzić badania na obrazie surowym, aby sprawdzić uzyskane wyniki dla tak niesprzyjających warunków. Wstępne próby wykazały, że dolna wartość promienia nie może być zbyt mała, gdyż w obszarach dużych pęcherzyków znajdują się nieistniejące w rzeczywistości małe pęcherzyki. Wyniki uzyskane dla zakresu promieni od 7 do 50 pikseli przedstawiono na rys. 5. Dobrze rozpoznawane są kształty koliste, nawet zachodzące na siebie. Natomiast, jak należało się spodziewać, kształty zbliżone do eliptycznych lub nieregularne traktowane są jak kilka mniejszych pęcherzyków.

Wnioski

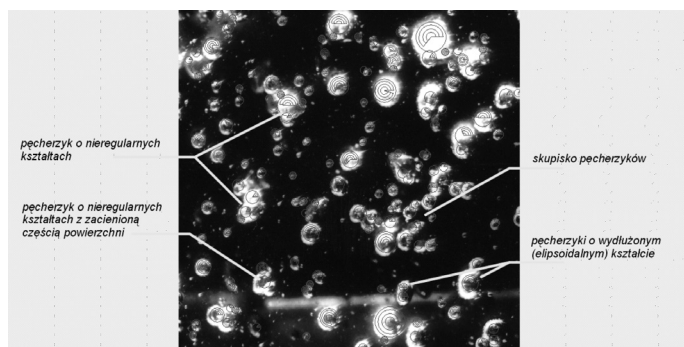
Użycie trójparametrowej transformacji *Hougha* umożliwia określenie średnic pęcherzyków, nawet gdy ich obrazy zachodzą na siebie. Informacje literaturowe wskazują, że możliwe jest rozpoznawanie innych kształtów opisanych równaniami matematycznymi [7], ale wzrasta wówczas liczba parametrów (np. dla elipsy do 5), a co za tym idzie wysiłek obliczeniowy.

Obrazy poddawane analizie powinny jak najlepiej różnicować pęcherzyki, aby uniknąć błędów wynikających z niewłaściwego rozpoznania krawędzi.

LITERATURA

1. W. Malina, M. Smiatcz: Cyfrowe przetwarzanie obrazów, EXIT, Warszawa (2008).
2. B. Taboada, L. Vega-Alvarado, M.S. Córdova-Aguilar, E. Galindo, G. Corkidi: Exp. in Fluids, 41, 383 (2006).
3. linux.fjfi.cvut.cz/~pinus/bristol/imageproc/hw1/report.pdf na dzień 6.03.2009.
4. www.cis.rit.edu/class/simg782/lectures/lecture_10/lec782_05_10.pdf na dzień 6.03.2009.
5. A. Czechowicz, S. Mikrut: Arch. Fotogram. Kart. Teledet., 16, 135 (2006).
6. Cz. Kuncewicz, J. Stelmach: Inż. Ap. Chem., 48, nr 6, 113 (2009),
7. www.cs.rochester.edu/~dana/HoughT.pdf na dzień 6.03.2009.

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



Rys. 5. Rozpoznane rozmiary pęcherzyków