

**Artur BAL**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI

## Poprawa wiarygodności wyników analizy obrazów poprzez zastosowanie metod segmentacji odpornych na zmianę orientacji obrazu

dr inż. Artur BAL

Autor jest adiunktem w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej. Jego zainteresowania badawcze obejmują zagadnienia związane z widzeniem maszynowym i komputerowym oraz sztuczną inteligencją. Prowadzone przez niego prace badawcze dotyczą w szczególności: strukturalnych metod poszukiwania odpowiedniości elementów obrazów, obszarowych metod segmentacji, odwzorowania i reprodukcji barw, wizualnej archiwizacji obiektów.



e-mail: Artur.Bal@polsl.pl

### Streszczenie

W pracy przedstawione zostało istotne z punktu widzenia segmentacji obrazów, jak i ich analizy, zagadnienie zależności wyniku segmentacji obrazu od jego orientacji. Jako rozwiązanie tego problemu dla segmentacji obrazu przez łączenie obszarów w pracy zaproponowano równoległą metodę segmentacji. Rozważania teoretyczne zostały zilustrowane prezentacją wyników uzyskanych zależną i niezależną (tzn. równoległą) od orientacji metodą segmentacji obrazów.

**Słowa kluczowe:** analiza obrazu, segmentacja obrazów, obszarowe metody segmentacji, segmentacja niezależna od orientacji

### Improvement of image analysis reliability by using orientation independent region based image segmentation method\*

#### Abstract

In this article important problem for image segmentation and image analysis is dependence between image orientation and image segmentation results is presented. As a solution of this problem in case of image segmentation by region merging new parallel image segmentation method is proposed. As an illustration of theoretical analysis of this problem results obtained from orientation dependent and independent (it is parallel) method are also presented.

**Keywords:** image analysis, image segmentation, region based segmentation, scan direction independent segmentation

## 1. Wprowadzenie

Obraz jest coraz częściej ważnym, a czasami nawet jedynym, źródłem informacji o stanie układu lub obiektu będącego obiektem zainteresowania. Rosnące znaczenie technik obrazowania i metod analizy obrazów jest szczególnie widoczne m.in. w: diagnostyce medycznej i technicznej, kontroli jakości, monitoringu środowiska. Drogą do pozyskania zawartych w obrazie informacji jest jego analiza. Aby możliwe było jej przeprowadzenie konieczne jest, aby została ona poprzedzona przez proces segmentacji obrazów. Od jakości wyniku segmentacji zależy w znacznym stopniu wynik analizy obrazu, a tym samym poprawność podjętych na tej podstawie decyzji. W pracy skupiono się nad analizą jednego z czynników wpływających na wiarygodność procesu segmentacji i tym

samym zatem również na wiarygodność procesu analizy obrazów. Czynnikiem tym jest *nie wynikająca z treści obrazu zmiana wyniku segmentacji pod wpływem zmiany orientacji obrazu*.

Prezentację tego zagadnienia rozpoczęto od przedstawienia w rozdziale 2 podstawowych informacji o segmentacji obrazów. Istotę i znaczenie problemu zależności wyniku segmentacji od orientacji obrazów zaprezentowano w rozdziale 3. W rozdziale 4 na przykładzie jednej z obszarowych metod segmentacji przeanalizowano przyczyny występowania tego zjawiska. Rozdział 5 przedstawia propozycję metody uniezależnienia wyników segmentacji od orientacji obrazów oraz opracowaną przy wykorzystaniu tego podejścia zmodyfikowaną metodę segmentacji obszarowej przez łączenie obszarów. Porównanie przykładowych wyników analizy obrazów na podstawie wyników uzyskanych przy zastosowaniu dotychczasowej i zmodyfikowanej metody segmentacji przedstawia rozdział 6. Ostatni, 7 rozdział zawiera krótkie podsumowanie dotychczas uzyskanych wyników.

## 2. Problem segmentacji obrazów

Wynikiem procesu segmentacji jest podział analizowanego obrazu na skończony zbiór jednorodnych w sensie wybranego kryterium i rozłącznych części nazywanych *obszarami*; dodatkowo często wymaga się, aby części te były spójne w sensie wybranej definicji spójności. Warunki jakie powinny spełniać wyniki segmentacji są następujące:

$$O = \bigcup_{k=1}^K o_k, \quad (1)$$

$$o_i \cap o_j = \emptyset \text{ dla } i \neq j, \quad (2)$$

$$\forall_{k=\{1, \dots, K\}} J(o_k) = \text{prawda}, \quad (3)$$

$$J(o_i \cup o_j) = \text{fałsz} \text{ dla } i \neq j, \text{ } o_i \text{ i } o_j \text{ są sąsiadami} \quad (4)$$

$$\forall_{p, s \in o_i} \exists \text{ ścieżka} = (p, \dots, r, \dots, s) \forall_{r \in \text{ścieżka}} r \in o_i, \quad (5)$$

gdzie  $O$  jest segmentowanym obrazem,  $o_k$  jest  $k$ -tym obszarem,  $J(o_k)$  jest predykatem zwracającym wartość *prawda* w przypadku gdy obszar  $o_k$  jest jednorodny w sensie wybranego kryterium,  $p, r, s$  piksele obrazu  $O$ . Należy zaznaczyć, że poza bardzo szczególnymi przypadkami, w praktyce każdy obraz może być posegmentowany na wiele różnych sposobów — istotne znaczenie ma zatem określenie odpowiedniego kryterium wyboru najlepszego w danej sytuacji sposobu podziału obrazu na obszary.

Najczęściej stosowane jest zdroworozsądkowe kryterium, które wymaga aby dobór parametrów segmentacji, jak i samego sposobu jej prowadzenia, prowadził do wydzielenia w obrazie obszarów, które będą miały istotne znaczenie z punktu widzenia ich dalszego zastosowania (zwykle jest to proces analizy obrazów) [2, 6] — w idealnym przypadku wyróżnione obszary reprezentują obiekty sceny przedstawionej na danym obrazie. Należy zaznaczyć, że w ogólnym przypadku osiągnięcie tak postawionego celu jest, przy obecnym stanie wiedzy, zadaniem niemożliwym do zrealizowania. Innym poważnym problemem jest ilościowa ocena jakości segmentacji. Fakty te są jednymi z przyczyn opracowywania wciąż nowych metod i algorytmów

\* Praca finansowana z działalności statutowej RAu1 w roku 2007.

segmentacji, powiększających olbrzymią liczbę rozwiązań z tego zakresu już proponowanych w literaturze.

Tak silne dążenie do opracowywania wciąż nowych metod i algorytmów segmentacji wynika jednak głównie ze znaczenia jakie ten proces odgrywa w widzeniu maszynowym i komputerowym (ang. *machine and computer vision*; są to dziedziny obejmujące swoim zasięgiem wszelkie zagadnienia związane z akwizycją, przetwarzaniem i analizą obrazów). Rola jaką segmentacja obrazów spełnia w tych dziedzinach wynika z tego, że segmentacja jest tym etapem przetwarzania obrazów, w którym realizowane jest przejście z niskopoziomowej reprezentacji obrazu w postaci pikseli do reprezentacji na wyższym poziomie abstrakcji, który jest wymagany na etapie analizy obrazów [3, 5]. Taki stan rzeczy powoduje, że jakość wyniku segmentacji analizowanego obrazu wpływa w znacznym stopniu na wynik analizy tego obrazu, a tym samym, w konsekwencji, na poprawność podjętych na tej podstawie decyzji. Takie zastosowanie wyników segmentacji nakłada na ten proces identyczne wymagania jak te, które stawia się systemom pomiarowym, tzn. wymaga się, aby wyniki procesu segmentacji, były: dokładne, wiarygodne i powtarzalne.

Przedstawione powyżej czynniki powodują, że segmentacja obrazów należy do najważniejszych, ale równocześnie także najtrudniejszych problemów występujących w widzeniu maszynowym i komputerowym.

### 3. Zależność wyniku segmentacji od orientacji obrazu

Poprzez zależność wyniku segmentacji od orientacji obrazu rozumiany jest taki stan, gdy wyniki segmentacji uzyskane tą samą metodą z tymi samymi parametrami dla tego samego obrazu w dwóch różnych jego orientacjach, po ich sprowadzeniu do takiej samej orientacji, będą się różnić w sensie podziału tego obrazu na obszary. Formalnie warunek ten ma następującą postać

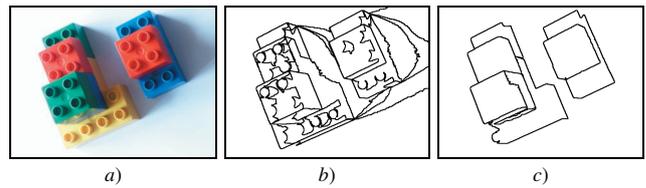
$$S(O) \neq R(S(R(O, \alpha)), -\alpha), \quad (6)$$

gdzie  $S(O)$  reprezentuje wynik segmentacji obrazu  $O$  wybraną metodą, a  $R(O, \alpha)$  reprezentuje obrót (zmianę orientacji) obrazu  $O$  o kąt  $\alpha$ . Dwa wyniki segmentacji  $S_1(O)$  i  $S_2(O)$  są sobie równe, jeżeli te same piksele  $p$ ,  $r$  obrazu  $O$  należą do odpowiadających sobie obszarów  $o_i^1 \in S_1(O)$  i  $o_j^2 \in S_2(O)$  tzn.

$$o_i^1 \equiv o_j^2 \text{ jeżeli } \forall_{p \in o_i^1} \exists_{r \in o_j^2} p \in o_j^2 \Leftrightarrow \forall_{r \in o_j^2} \exists_{p \in o_i^1} r \in o_i^1. \quad (7)$$

W pracy skupiono się na analizie zmian orientacji obrazu o  $\alpha = k \cdot \pi/2$ , gdzie  $k \in \mathbb{N}$ ; jest to podyktowane tym, że tego typu zamiany orientacji są najczęściej spotykane. W pracy pod pojęciem zmiany orientacji, ze względu na podobny wpływ na proces segmentacji, rozumiane są także odbicia lustrzane obrazu. Występowanie zależności wyniku segmentacji od zmiany orientacji obrazu oznacza, że wynik segmentacji, a tym samym również wynik prowadzonej na jej podstawie analizy obrazu, zależy nie tylko od treści obrazu, wybranej metody segmentacji i zastosowanych parametrów, ale również od pewnego czynnika losowego wpływającego na orientację obrazu.

Segmentacja obrazu, a w szczególności segmentacja prowadzona na potrzeby późniejszej analizy tego obrazu, powinna być odporna na wpływ nieistotnych, z punktu widzenia celu prowadzenia tego procesu, cech tego obrazu. Dobrymi przykładami takich cech, oprócz orientacji obrazu, są m.in. zaszumienie obrazu, odbłaski oraz cienie widoczne w obrazie. Aby zilustrować znaczenie stosowania odpornych, w podanym wcześniej sensie, metod segmentacji na rys. 1 przedstawiono wynik segmentacji obrazu zawierającego cienie przy zastosowaniu metody nieodpornej (rys.1 b) i odpornej (rys. 1 c)



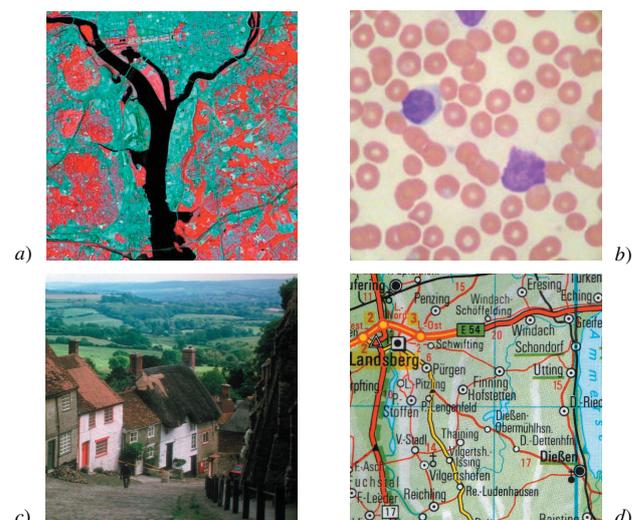
Rys. 1. Przykład segmentacji nieodpornej b) i odpornej c) na cienie występujące w obrazie a) (ilustracja z pracy [5] za zgodą Autora)

Fig. 1. The examples of image segmentation not resistant b) and resistant c) against object shadow presented on original image a) (figure from [5] courtesy of Henryk Palus)

na obecność tego zjawiska w obrazie. Już pobieżne porównanie tych obrazów pokazuje zdecydowanie lepsze wyróżnienie rzeczywistych obiektów sceny na rys. 1 c.

Znaczenie związku pomiędzy wynikiem segmentacji i zmianą orientacji obrazu zależy m.in. od rodzaju obrazu poddanego procesowi segmentacji. W przypadku obrazów o określonej (uprzywilejowanej) orientacji poprzez ustalenie obowiązującej orientacji obrazu w procesie segmentacji możliwe jest uniknięcie błędów wynikających z tego, że wyniki segmentacji uzyskiwane daną metodą są zależne od orientacji obrazu. Problem ten objawia się w pełni w przypadku obrazów nie posiadających określonej orientacji. Z punktu widzenia zastosowań metod analizy obrazów istotne jest, że tego typu obrazy są typowe dla zastosowań związanych np. z: diagnostyką medyczną, kontrolą jakości procesów przemysłowych, monitoringiem środowiska na podstawie zdjęć lotniczych lub satelitarnych. Jest oczywiste, że w tego typu zastosowaniach zależność wyniku analizy od wpływu pewnego losowego czynnika jest szczególnie niepożądana. Rozróżnienie między obrazami mającymi i nie mającymi uprzywilejowaną orientację zależy od tego czy przeciętny obserwator, odpowiednio, potrafi bądź nie potrafi wskazać właściwą orientację danego obrazu bez pewnej dodatkowej wiedzy dotyczących warunków pozyskania tego obrazu. Przykłady obrazów obu typów przedstawia rys. 2.

Warto zauważyć, że zmiana orientacji analizowanego obrazu może nastąpić zarówno na etapie przetwarzania, jak i na etapie akwizycji obrazów, a jej przyczyny mogą być różne. O ile zmiana orientacji obrazu na etapie przetwarzania będzie raczej wynikiem celowego działania, o tyle w przypadku akwizycji taka transformacja może być wynikiem przypadkowego błędu np. błędnego założenia preparatu mikroskopowego lub obrócenia diapozytywu przy skanowaniu.



Rys. 2. Przykłady obrazów bez (a i b) i z (c i d) określoną orientacją: a) pseudokolorowy obraz w podczerwieni okolic Waszyngtonu pochodzący z satelity Landsat 7 (za zgodą U.S. Geological Survey), b) obraz rozmazu krwi obwodowej, c) obraz krajobrazu, d) skan fragmentu mapy

Fig. 2. The examples of images without (a i b) and with (c i d) specified orientation: a) false colour infrared Landsat 7 image of Washington DC (courtesy of the U.S. Geological Survey) b) blood film, c) landscape image, d) scan of map fragment

#### 4. Przyczyny występowania związku pomiędzy orientacją obrazu a wynikami jego segmentacji

W pracy zostały przeanalizowane przyczyny występowania zależności wyniku segmentacji od orientacji obrazu dla obszarowej metody segmentacji przez łączenie obszarów (ang. *region merging*) — podobne rozumowanie może zostać również przeprowadzone dla innych metod segmentacji.

Prezentowane w literaturze implementacje segmentacji metodą łączenia obszarów można sprowadzić do rekurencyjnego powtarzania kroków iteracji składających się z dwóch, następująco zdefiniowanych, etapów (taka realizacja segmentacji jest określana w dalszej części pracy jako *metoda sekwencyjna*):

- etap 1. — polega na wyszukiwaniu w segmentowanym obrazie  $O$  pary sąsiadujących ze sobą obszarów  $o_i, o_j$ , spełniających zadane kryterium jednorodności  $J(o_i, o_j)$ ; jeżeli w obrazie występują piksele, to traktuje się je jako elementarne obszary (obszary o jednostkowej powierzchni),
- etap 2. — na tym etapie znalezione pary obszarów są łączone w większe obszary  $o_k = o_i \cup o_j$ ; proces ten polega na wyznaczeniu cech nowego obszaru  $o_k$ , określeniu jego sąsiadów i relacji jakie zachodzą między nimi a obszarem  $o_k$ .

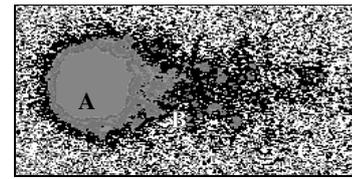
Realizacja kolejnych kroków segmentacji przerywana jest w momencie, gdy w obrazie nie będą występować obszary, które mogą zostać ze sobą połączone lub spełnione zostanie odpowiednio określone kryterium stopu procesu segmentacji. Jakość wyniku segmentacji metodą łączenia obszarów uzależniona jest m.in. od: przyjętego sposobu wyszukiwania w obrazie par obszarów do połączenia, przyjętych cech opisujących obszary (w tym zwłaszcza wybranej przestrzeni barw) i zastosowanych kryteriów oceny podobieństwa obszarów.

Z punktu widzenia zagadnienia niezależności wyniku segmentacji od orientacji obrazu istotne jest to, że łączenie obszarów  $o_i$  i  $o_j$ , spełniających warunki ich połączenia,

następuje bezpośrednio po ich znalezieniu w obrazie  $O$ . W następującym po połączeniu obszarów procesie poszukiwania nowej pary obszarów do połączenia nowoutworzony obszar  $o_k$  traktowany jest na równi z pozostałymi obszarami obrazu  $O$ .

Nowy obszar uwzględniany jest zatem przy podejmowaniu decyzji o tym, które obszary zostaną połączone w następnym kroku segmentacji. Oznacza to, że lokalna zamiana w postaci połączenia dwóch obszarów, poprzez zmianę relacji nowopowstałego obszaru z jego sąsiadami, wpływa na wynik poszukiwania kolejnych par obszarów do połączenia, a zatem kolejność łączenia poszczególnych par obszarów nie pozostaje bez wpływu na dalszy przebieg procesu segmentacji. Z punktu widzenia analizowanego problemu istotne jest to, że na decyzję o tym, które pary obszarów obrazu mają być łączone wpływa sposób organizacji przeglądu tego obrazu w poszukiwaniu takich obszarów oraz orientacja segmentowanego obrazu.

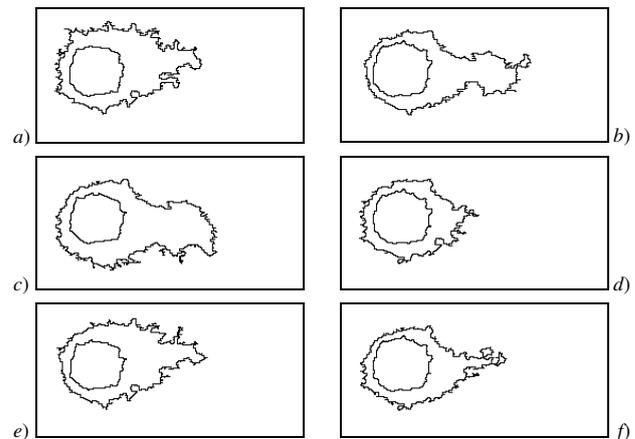
Na rys. 3 przedstawiono przykład obrazu powstałego w wyniku *elektroforezy żelowej* tzw. *comet assay*. Obraz ten przedstawia wpływ DNA, w postaci „ogona komety” (B), z jądra komórki (A) w polu elektrostatycznym. Tego typu obrazy wykorzystywane są do wypracowywania strategii leczenia osób z chorobą nowotworową. Na podstawie stopnia wpływu DNA z jądra komórki określa się, czy skutki uboczne stosowanej terapii nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla życia pacjenta. Konsekwencją podjęcia decyzji o zaprzestaniu stosowania danej terapii jest często konieczność stosowania mniej skutecznych metod leczenia, a tym samym większe prawdopodobieństwo nie wyleczenia i w efekcie zgonu pacjenta. Ze względu na tak daleko idące konsekwencje tego typu systemy są bardzo dobrym przykładem znaczenia właściwego prowadzenia procesów segmentacji i analizy obrazów. Na rys. 4 przedstawiono wyniki



Rys. 3. Przykład obrazu będącego wynikiem jednokomórkowej elektroforezy żelowej, tzw. komety; A — głowa komety, B — ogon komety, C — tło obrazu

Fig. 3. The examples of single-cell gel electrophoresis images, so called comet: A — comet head, B — comet tail, C — image background

segmentacji metodą sekwencyjną obrazu z rys. 3 po zmianach jego orientacji (wyniki przedstawiono w postaci konturów wydzielonych obszarów). Dodatkowo w tab. 1 przedstawiono ilościowe porównanie wyników ekstrakcji cech obszarów głowy i ogona „komety”. Analiza tych wyników pokazuje jak duże błędy może powodować stosowanie metod segmentacji, których wynik zależy jest od orientacji obrazu.



Rys. 4. Wyniki segmentacji sekwencyjną metodą łączenia obszarów obrazu z rys. 3 po zmianie jego orientacji lub jego odbiciu; wyniki prezentowane są po sprowadzeniu ich do orientacji obrazu wyjściowego: a)  $\alpha = 0^\circ$ , b)  $\alpha = 90^\circ$ , c)  $\alpha = 180^\circ$ , d)  $\alpha = 270^\circ$ , e) odbicie poziome, f) odbicie pionowe

Fig. 4. The segmentation results, obtained using sequential region merging segmentation method, of image from Fig. 3 after changing its oration or flip; the results are presented after its turning to orientation of input image: a)  $\alpha = 0^\circ$ , b)  $\alpha = 90^\circ$ , c)  $\alpha = 180^\circ$ , d)  $\alpha = 270^\circ$ , e) horizontal flip, f) vertical flip

Tab. 1. Wartości (w punktach obrazu) przykładowych cech wyznaczonych dla obszarów głowy i ogona komety dla obrazów z rys 4; minimalne i maksymalne wartości cech zostały wyróżnione

Tab. 1. The values (in pixels) of exemplary features of comet had and tail regions for images from Fig. 4; minimal and maximal values are distinguished

Wielkość obrotu lub rodzaj odbicia	Pole powierzchni		Obwód	
	jądra	ogona	jądra	ogona
$\alpha = 0^\circ$	1989	5238	<b>179</b>	<b>798</b>
$\alpha = 90^\circ$	2297	4690	202	646
$\alpha = 180^\circ$	1985	<b>6267</b>	184	765
$\alpha = 270^\circ$	2248	<b>3202</b>	198	<b>547</b>
w poziomie	<b>1941</b>	4947	184	699
w pionie	<b>2300</b>	3548	<b>203</b>	644

#### 5. Metoda uniezależnienia wyniku segmentacji od orientacji obrazu

Z wcześniejszych rozważań wynika, że zależność wyników segmentacji od orientacji obrazu pojawia się wówczas, gdy orientacja obrazu wpływa na wybór par obszarów do połączenia. Teoretycznie zatem, aby uniezależnić wyniki segmentacji od orientacji można zastosować takie kryteria wyboru pary obszarów do połączenia, które będą gwarantować, że dla każdego kroku segmentacji wybierana będzie globalnie najlepsza (a zatem

niezależna od orientacji obrazu) para obszarów. W praktyce jednak, takie wymaganie ogranicza swobodę doboru warunków łączenia obszarów i, co ważniejsze, dla dowolnego kryterium, można podać przykłady obrazów, dla których dane kryterium nie będzie spełniać powyższego warunku. Takie podejście nie gwarantuje więc pełnej niezależności wyników segmentacji obrazów od orientacji obrazu.

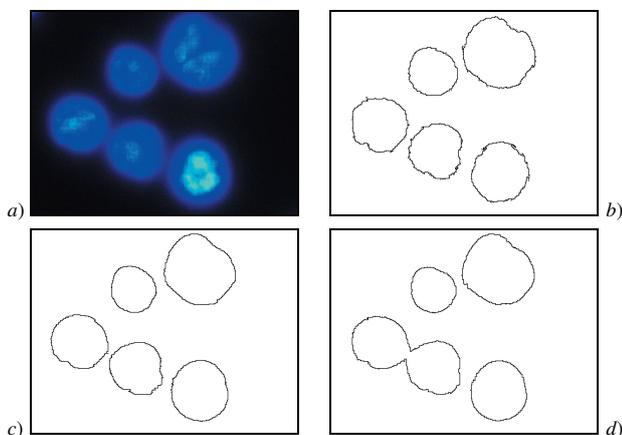
Do problemu uniezależnienia wyników segmentacji od orientacji obrazu można jednak podejść w inny sposób. Zamiast szukać odpowiednich kryteriów dla konkretnych klas obrazów można pożądaną efekt, w postaci niezależności wyniku od orientacji obrazu, uzyskać przez niewielką modyfikację samej metody segmentacji. Proponowana modyfikacja dotyczy rezygnacji z sekwencyjnej realizacji łączenia pojedynczych par obszarów, czyli następujących po sobie, w kolejnych krokach iteracji, etapów wyszukiwania i łączenia obszarów, na rzecz równoległej realizacji tych procesów dla wszystkich spełniających odpowiednie warunki par obszarów występujących w obrazie  $O$ . Ogólny schemat pojedynczego kroku tak zmodyfikowanej metody segmentacji jest następujący:

- etap 1. — na tym etapie w obrazie  $O$  wyszukiwane są wszystkie pary sąsiadujących ze sobą obszarów  $o_i, o_j \in O$ , które spełniają zadane kryterium jednorodności  $J(o_i, o_j)$ ,
- etap 2. — wszystkie pary obszarów spełniające powyższe warunki są na tym etapie łączone w większe obszary  $o_k = o_i \cup o_j$ .

Podobnie jak w przypadku, przedstawionej w rozdziale 4., sekwencyjnej metody segmentacji przez łączenie obszarów, tak i w prezentowanej w tym rozdziale *metodzie równoległej* proces łączenia obszarów powtarzany jest do momentu, gdy w obrazie nie będą występować obszary spełniające warunki połączenia lub też spełnione zostanie inne żądane kryterium stopu. Zgodnie z proponowaną modyfikacją w każdym kroku równoległej metody segmentacji wyszukiwane, a następnie łączone są wszystkie pary obszarów obrazu  $O$ , które spełniają warunek ich połączenia. Z punktu widzenia skutków takiej organizacji procesu segmentacji wszystkie tak wyznaczone obszary łączone są równolegle — dzięki takiemu rozwiązaniu orientacja obrazu nie wpływa na wynik segmentacji.

## 6. Przykładowe wyniki

Na rys. 5 przedstawione zostało porównanie przykładowych wyników segmentacji obrazu metodą sekwencyjną i równoległą. Segmentacji został poddany rzeczywisty, fluorescencyjny, obraz komórek (rys. 5a). Tego typu obrazy wykorzystywane są m.in. do



Rys. 5 Porównanie wyników segmentacji fluorescencyjnego obrazu komórek (a) uzyskanych metodą: równoległą (b,  $n=6$ ) i sekwencyjną (c i d, odpowiednio  $\alpha = 0^\circ$  i  $\alpha = 90^\circ$  oraz  $n=6$  i  $n=5$ );  $n$  liczba obszarów

Fig. 5. Comparison of image fluorescence cell image (a) obtained from parallel (b,  $n=6$ ) and sequential (c and d, accordingly  $\alpha = 0^\circ$  and  $\alpha = 90^\circ$   $n=6$  and  $\alpha = 90^\circ$   $n=5$ ) image segmentation methods,  $n$  number of regions

określenia ilości wybranych rodzajów związków w komórkach. Porównane zostały następujące metody segmentacji:

- metoda przedstawiona w pracy [4] — jest to przykład sekwencyjnej realizacji idei segmentacji metodą łączenia obszarów (rys. 5 c i d),
- zastosowana w pracy [1] równoległa metoda segmentacji przez łączenie obszarów — metoda ta została opracowana zgodnie z ideą przedstawioną w poprzednim rozdziale (rys. 5 b).

W obu metodach segmentacja polega na zrealizowaniu, w zależności od metody, sekwencyjnie lub równoległe, jeden po drugim, dwóch procesów segmentacji przez łączenie obszarów. W porównywanych metodach zastosowane zostały takie same kryteria, na podstawie których podejmowana jest decyzja o łączeniu obszarów. Wyniki segmentacji zostały przedstawione w postaci konturów obszarów, ponadto podana została liczba obszarów  $n$  otrzymana z kolejnych segmentacji. Ze względu na zmienność wyników uzyskiwanych metodą sekwencyjną, dla tej metody przedstawione zostały wyniki uzyskane dla dwóch orientacji obrazu tzn.  $\alpha = 0^\circ$  i  $\alpha = 90^\circ$  (w tym przypadku wynik sprowadzono do orientacji obrazu wejściowego  $\alpha = 0^\circ$ ).

## 7. Podsumowanie

Przedstawione wyniki segmentacji przez łączenie obszarów uzyskane przy pomocy przykładowej realizacji metody sekwencyjnej wskazują na to, że zależność wyniku segmentacji obrazu od orientacji obrazu może być źródłem istotnych jakościowych i ilościowych błędów przypadkowych. Z punktu widzenia wiarygodności analizy obrazu występowanie takich błędów jest niedopuszczalne. Przedstawione w pracy rozwiązanie w postaci: i) rozdzielania etapu wyszukiwania obszarów do połączenia od etapu ich łączenia oraz ii) równoległej realizacji poszczególnych etapów dla wszystkich obszarów segmentowanego obrazu całkowicie eliminuje zależności wyniku segmentacji od orientacji obrazu.

Idea segmentacji przez łączenie obszarów jest często wykorzystywana do poprawy, poprzez przetwarzanie końcowe, wyników segmentacji otrzymanych innymi metodami. Stosowanie w takim przypadku zależnych od orientacji metod łączenia obszarów powoduje, że końcowy wynik segmentacji będzie zależny od orientacji obrazu nawet, jeśli podstawowa metoda segmentacji nie jest obciążona tą wadą. Konieczne jest zatem stosowanie odpornych na zmianę orientacji obrazu metod przetwarzania końcowego — taką rolę doskonale spełnia opisana w pracy metoda równoległa.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że ideę podejścia równoległego można zastosować również w innych obszarowych jak i nieobszarowych metodach segmentacji np. w segmentacji przez rozrost obszarów lub w krawędziowych metodach segmentacji.

## 8. Literatura

- [1] Bal A.: Wyznaczanie odpowiedniości elementów obrazów z wykorzystaniem informacji o ich strukturze, rozprawa doktorska, Gliwice 2005.
- [2] Cheng H. D., Jiang X. H., Sun Y., Wang J., Color image segmentation: advances and prospects, Pattern Recognition, vol. 34, pp. 2259–2281, 2001.
- [3] Chmielewski L., Kulikowski J. L., Nowakowski A. (edytorzy tomu): Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna, Tom 8 Obrazowanie biomedyczne, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2003
- [4] Palus H., Bereska D., Region-based colour image segmentation, Proc. of 5th Workshop "Farbbildverarbeitung", 67-74, Ilmenau 1999.
- [5] Palus H., Color image segmentation: selected techniques, w: Lukac R., Plataniotis K.N. (edytorzy), Color image processing: methods and applications, pp. 103–128, CRC Press, Boca Raton, 2006.
- [6] Skarbek W., Koschan A., Colour image segmentation — a survey, Technical Report 94–32, Tech. Univ. of Berlin, October 1994.