

**Artur BAL**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI

## Odporna na zmianę orientacji obrazu obszarowa metoda segmentacji obrazów

Dr inż. Artur BAL

Absolwent Politechniki Śląskiej, rozprawę doktorską obronił w 2005 roku. Jego zainteresowania badawcze obejmują m.in. zagadnienia dotyczące widzenia maszynowego i komputerowego, a zwłaszcza: stereowizji, segmentacji obrazów, wizualnej archiwizacji obiektów, odwzorowania i reprodukcji barw. Prywatnie: miłośnik zabytków techniki, muzyki dawnej, w wolnej chwili fotografuje i zwiedza.



e-mail: Artur.Bal@polsl.pl

### Streszczenie

W pracy przedstawiono 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.

### Orientation independent region based image segmentation method

#### Abstract

In this article important problem for image segmentation and image analysis is problem of 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. Wstęp

Obraz coraz częściej stanowi ważne, a czasami nawet jedyne, źródło informacji o stanie układu lub obiektu będącego obiektem zainteresowania. Przykładem rosnącego znaczenia technik obrazowania są zastosowania związane m.in. z: diagnostyką medyczną, kontrolą jakości, monitoringiem środowiska. Droga do pozyskania zawartych w obrazie informacji jest jego analiza. Aby możliwe było jej przeprowadzenie konieczne jest, aby została ona poprzedzona przez proces *segmentacji obrazów*. W jego wyniku obraz wejściowy jest dzielony na skończony zbiór jednorodnych w sensie wybranego kryterium i rozłącznych, zwykle spójnych, części nazywanych *obszarami*. Parametry segmentacji, jak i sam sposób jej prowadzenia, dobierane są tak, aby wydzielone w obrazie części miały istotne znaczenie z punktu widzenia celu prowadzenia analizy — w idealnym przypadku wyróżnione obszary reprezentują obiekty sceny przedstawionej na danym obrazie. Osiągnięcie tego ideału jest jednak w ogólnym przypadku zadaniem niemożliwym do zrealizowania bez wykorzystania dodatkowej wiedzy nie wynikającej bezpośrednio z obrazu [2, 5].

Segmentacja obrazów zaliczana jest do najważniejszych i najtrudniejszych problemów występujących w widzeniu maszynowym/komputerowym (ang. *machine/computer vision*; są to dziedziny obejmujące swoim zasięgiem wszelkie zagadnienia związane z akwizycją, przetwarzaniem i analizą obrazów). Znaczenie jakie segmentacja obrazów zajmuje 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. Od jakości wyniku segmentacji zależy zatem w znacznym stopniu wynik analizy obrazu, a tym samym poprawność podjętych na tej podstawie decyzji. Od systemów wizji maszynowej wymaga się, podobnie jak to ma miejsce np. w przypadku systemów pomiarowych, aby dostarczane przez nie wyniki były: dokładne, wiarygodne i powtarzalne. Celem pracy jest zwrócenie uwagi na jeden z czynników wpływających negatywnie na możliwość uzyskania przez wynik segmentacji wymienionych powyżej cech, a także przedstawienie rozwiązania eliminującego ten problem dla pewnej klasy metod segmentacji. Czynnikiem będącym przedmiotem analizy jest nie wynikająca z treści obrazu zmiana wyniku segmentacji pod wpływem zmiany orientacji obrazu.

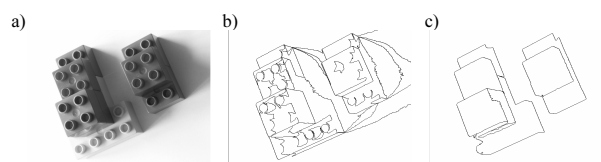
### 2. Problem zależności wyniku segmentacji od orientacji obrazu

Zależność wyniku segmentacji od orientacji obrazu występuje, gdy wyniki segmentacji uzyskane tą samą metodą z tymi samymi parametrami dla tego samego obrazu w dwóch różnych orientacjach, po ich sprowadzeniu do takiej samej orientacji, będą się różnić w sensie podziału obrazu na obszary. Warunek ten można formalnie zapisać w następującej postaci

$$S(O) \neq R(S(R(O, \alpha)), -\alpha), \quad (1)$$

gdzie  $S(O)$  reprezentuje segmentację obrazu  $O$  wybraną metodą, a  $R(O, \alpha)$  reprezentuje obrót (zmianę orientacji) obrazu  $O$  o kąt  $\alpha$ . W pracy pod pojęciem *zmiany orientacji obrazu* rozumiane są zmiany ustawień obrazu różniące się swoim położeniem kątowym o całkowitą wielokrotność kąta  $\pi/2$ . Ze względu na podobny wpływ na proces segmentacji w pracy pod pojęciem zmiany orientacji rozumiane są również operacje odbicia lustrzanego 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.

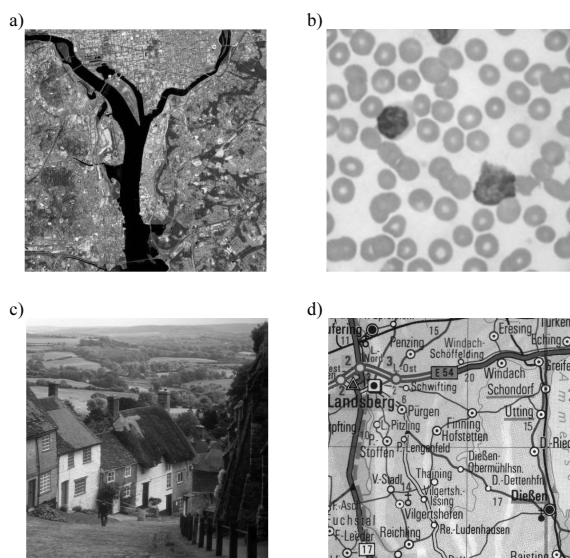
Segmentacja obrazu, a w szczególności segmentacja prowadzona na potrzeby późniejszej analizy tego obrazu, powinna być odporna na wpływ nieistotnych z punktu widzenia celu prowadzenia tego procesu cech tego obrazu. Dobrymi przykładami takich cech, oprócz orientacji obrazu, są m.in. zaszumienie obrazu, 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) na obecność tego zjawiska w obrazie.



Rys. 1. Przykład segmentacji nieodpornej b) i odpornej c) na cienie występujące w obrazie a) (ilustracja z pracy [4] 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 [4] courtesy of Henryk Palusz)

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 zależne jest 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.



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

Zmiana orientacji analizowanego obrazu może nastąpić zarówno na etapie przetwarzania, jak i na etapie akwizycji obrazów, a jej przyczyny mogą być różne. Warto zauważyć, że 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. odwrócenia preparatu mikroskopowego przy jego zakładaniu na stolik mikroskopowy lub obrócenia diapozytywu przy skanowaniu.

### 3. Metody segmentacji a problem odporności na zamianę orientacji obrazów

Dla skupienia uwagi w pracy przeanalizowano przyczyny występowania zależności wyniku segmentacji od orientacji obrazu dla obszarowej metody segmentacji przez łączenie obszarów (ang. *region merging*) — podobne rozumowanie można również przeprowadzić dla innych metod segmentacji.

Segmentacja metodą łączenia obszarów realizowana jest w postaci rekurencyjnie powtarzanych dwuetapowych kroków. Ogólny schemat pojedynczego kroku metody jest następujący:

- 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 — obszary spełniające powyższe warunki są na tym etapie 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 odpowiednie określone kryterium stopu procesu segmentacji. Jakość wyniku segmentacji metodą łączenia obszarów uzależniona jest od sposobu realizacji poszczególnych etapów, przyjętych cech i zastosowanych kryteriów.

Z punktu widzenia zagadnienia niezależności wyniku segmentacji od zmiany orientacji obrazu istotne jest to, że łączenie obszarów  $o_i, o_j$  spełniających warunki ich połączenia, następuje bezpośrednio po ich znalezieniu w obrazie  $O$ . W kontynuowanym 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. Efektem globalnym takich lokalnych zmian jest wpływ kolejność łączenia poszczególnych par obszarów na końcowy wynik segmentacji. Decyzja o tym, które pary obszarów obrazu mają być łączone zależy, w ogólnym przypadku, od sposobu przeglądu obrazu, a co za tym idzie od jego orientacji.

### 4. Równoległa metoda segmentacji 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 wymagania 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 3 realizacji łączenia obszarów (określonej dalej jako *metoda sekwencyjna*), 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 kryterium stopu.

Należy zaznaczyć, że krok metody równoległej zawiera wiele kroków metody sekwencyjnej; upraszczając można stwierdzić, że krok metody równoległej obejmuje wszystkie kroki metody sekwencyjnej, w których stosowany był ten sam warunek łączenia obszarów.

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 obszary łączone są równoległe — dzięki takiemu rozwiązaniu orientacja obrazu nie wpływa na wynik segmentacji. Równoległa realizacja wyszukiwania i łączenia obszarów wymaga odpowiedniej organizacji tego procesu, skutkiem tego jest znacząco większe skomplikowanie programu będącego implementacją metody równoległej w stosunku do programu, który jest implementacją metody sekwencyjnej. Zmiany dotyczą głównie etapu łączenia obszarów, a wynikają z konieczności uwzględnienia powiązań jakie mogą wystąpić między spełniającymi warunki łączenia parami obszarów.

## 5. Przykładowe wyniki

Porównanie przykładowych wyników stosowania sekwencyjnej i równoległej metody segmentacji obrazów przedstawione zostało na rys. 3. Do porównania wykorzystano:

- metodę przedstawioną w pracy [3] — jest to przykład sekwencyjnej realizacji idei segmentacji metodą łączenia obszarów,
- zastosowaną w pracy [1] równoległą metodę segmentacji przez łączenie obszarów.

|                    | Korytarz               | Tablica barwna |
|--------------------|------------------------|----------------|
| obrazy oryginalne  |                        |                |
| metoda sekwencyjna | $\alpha=0^\circ$<br>   | $n=24$<br>     |
|                    | $\alpha=180^\circ$<br> | $n=24$<br>     |
| metoda równoległa  |                        | $n=25$<br>     |

Rys. 3 Porównanie wyników segmentacji uzyskanych metodą sekwencyjną i równoległą,  $n$  liczba obszarów.

Fig. 3. Comparison of image segmentation results obtained from sequential and parallel image segmentation methods,  $n$  number of regions

W obu metodach segmentacja polega na zrealizowaniu, w zależności od metody, sekwencyjnie lub równoległe, jeden po drugim, dwóch procesów segmentacji przez łączenie obszarów. Rola kryteriów jednorodności w tych procesach pełnią dwa różne, jednak takie same w obu metodach, warunki łączenia obszarów:

- warunek 1

$$\Delta(p_i, p_j) \leq d, \quad (2)$$

gdzie  $\Delta(p_i, p_j)$  jest wyznaczana w przestrzeni cech obrazu miarą podobieństwa między sąsiadującymi ze sobą (w sensie wybranego rodzaju sąsiedztwa) pikselami  $p_i$  i  $p_j$ , a  $d$  jest parametrem tego warunku; piksele traktowane są w tym przypadku jako elementarne obszary,

- warunek 2 — łączone są obszary  $o_i$ , których pole powierzchni  $a_i$  spełniania warunek

$$a_i > A, \quad (3)$$

gdzie  $A$  jest parametrem; obszary spełniające ten warunek łączone są obszarami  $o_j \in N(o_i)$ , gdzie  $N(o_i)$  jest zbiorem obszarów bezpośrednio sąsiadujących z obszarem  $o_i$ , takimi że

$$o_j = \arg \min_{o_k \in N(o_i)} \Delta(o_i, o_k), \quad (4)$$

Rezultaty segmentacji zostały przedstawione zostały w pseudokolorach, ponadto podana została liczba obszarów  $n$  otrzymana z kolejnych segmentacji. W przypadku segmentacji metodą sekwencyjną przedstawione zostały wyniki uzyskane dla dwóch różnych orientacji obrazu  $\alpha = 0^\circ$  i  $\alpha = 180^\circ$ ; dla łatwiejszego porównania wyniki dla obrazów o orientacji  $\alpha = 180^\circ$  zostały przedstawione po zmianie ich orientacji na orientację  $\alpha = 0^\circ$ .

## 6. 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 — taka rolę doskonale spełnia opisana w pracy metoda równoległa.

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

Praca finansowana z działalności statutowej RAuI w roku 2007.

## 7. 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] Palus H., Bereska D., Region-based colour image segmentation, Proc. of 5th Workshop "Farbbildverarbeitung", 67-74, Ilmenau 1999.
- [4] 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.
- [5] Skarbek W., Koschan A., Colour image segmentation — a survey, Technical Report 94–32, Tech. Univ. of Berlin, October 1994.