

(46)

Zastosowanie metody automatycznego dopasowania i łączenia sąsiadujących zdjęć w obrazowaniu dna oka

Application of the method of automatic alignment and combining adjacent images in fundus imaging

Tomasz Licznerski¹, Agnieszka Jamrozy-Witkowska², Marek Ćwirko³, Dariusz Kosz⁴

¹Z Instytutu Fizyki Politechniki Wrocławskiej

Kierownik: prof. dr hab. Ryszard Poprawski

²Z Katedry i Kliniki Okulistyki Akademii Medycznej we Wrocławiu

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Maria Hanna Niżankowska

³Z NZOZ OOK „Spektrum” we Wrocławiu

Kierownik: dr n. med. Bożena Gołębiowska

⁴Z Prywatnego Zakładu Usług Badawczo-Rozwojowych RECOG we Wrocławiu

Kierownik: dr inż. Dariusz Kosz

Summary: The paper presents a method for automatic alignment and combining adjacent images of the fundus. Presented algorithm is based on specific arrangement of the vessels in the fundus. A correlation function is used to the adjacent images with extracted net of the vessels. An optimum location of the images is found by applying successive approximations method. An angle of rotation and shift of the combining images are taken into an account during this search. The paper shows also the examples of application of the method in fundus imaging.

Słowa kluczowe: dno oka, łączenie obrazu, obrazowanie dna oka.

Key words: fundus, image combining, fundus imaging.

Wstęp

Oftalmoskopia biomikroskopowa pozwala na obserwację i ocenę dużego obszaru dna oka, postrzeganie struktur patologicznych, określanie ich względnej wielkości, jak również przebiegu i charakteru granic oraz przestrzennego kształtu różnych struktur. Jest także pomocna w wyszukiwaniu ewentualnych ognisk satelitarnych. Zarejestrowany w pamięci badającego obraz dna oka jest jednak mało precyzyjny, a także ulotny, wykonane zaś fotogramy są tylko fragmentami mozaiki, którą stanowią obserwowane zmiany, zlokalizowane na dużej powierzchni.

W przypadku funduskamery, dzięki której standardowo zdjęcia wykonuje się pod kątem 50/60 stopni, nie jest możliwe zarejestrowanie na jednym fotogramie rozległych zmian naczyńkowo-siatkówek lub łączne przedstawienie bieguna tylnego i zmian umiejscowionych na obwodzie dna oka. Do takich zmian możemy zaliczyć np. guzy, ogniska zapalne i degeneracyjne, choroidopatie, proliferacje włóknisto-naczyniowe (1,2,3). Wykonanie kilku zdjęć kolorowych lub angiogramów obszarów sąsiadujących ze sobą i poddanie ich obróbce komputerowej pozwala na zobrazowanie większej powierzchni dna oka. Utworzony obraz typu kolaż w pełni oddaje umiejscowienie i rozległość obserwowanych zmian w płaszczyźnie dna oka.

Cel pracy

Obecnie dostępne programy pozwalają na łączenie zdjęć sąsiadujących powierzchni dzięki wykorzystaniu pracy operatora,

który dokonuje odpowiedniego wyboru i dopasowania zdjęć, przycina je i klei. Celem naszej pracy jest opracowanie automatycznej metody pozwalającej na ograniczenie obsługi do niezbędnego minimum.

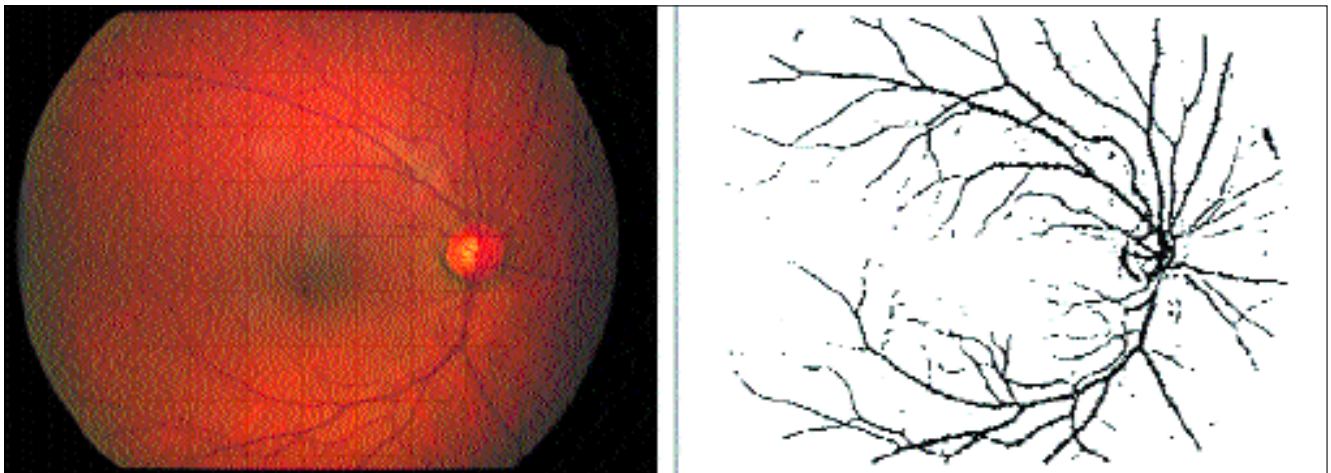
Metoda

Podstawą działania algorytmu jest wykorzystanie charakterystycznych cech obrazów, takich jak np. układ naczyń na dnie oka. W tym celu przeprowadzana jest binaryzacja (4), czyli zamiana kolorowego lub monochromatycznego obrazu na obraz dwukolorowy (czarny i biały). Przyjęto konwencję oznaczania wyróżnionych cech kolorem czarnym, kolor biały stanowi tło (ryc. 1). W procesie tym istotne jest, aby uzyskany wynik jak najwierniej odpowiadał rzeczywistej sieci naczyń krwionośnych, niezależnie od występujących zakłóceń (szumy, niedoświetlenie itp.) i niedoskonałości obrazu wejściowego.

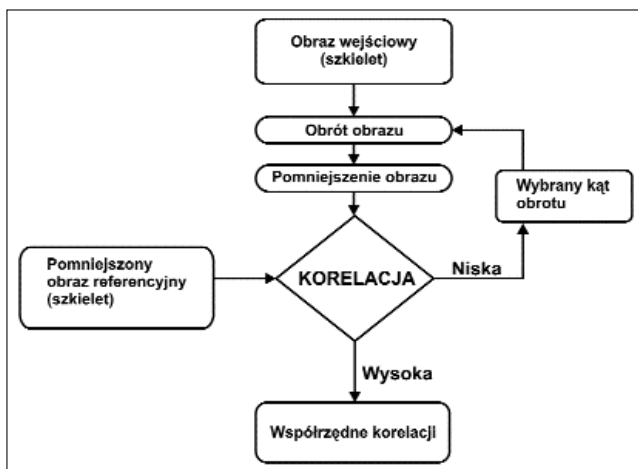
Proces binaryzacji jest poprzedzony filtracją tła oraz usuwaniem szumu (4). Filtracja tła polega na jego wcześniejszym wyodrębnieniu, a następnie odjęciu od obrazu wejściowego.

Do usuwania szumów zastosowano filtr dolnoprzepustowy. W efekcie otrzymano obraz z wyraźnie zaznaczonymi konturami, wstępnie oczyszczony, który nadaje się do binaryzacji.

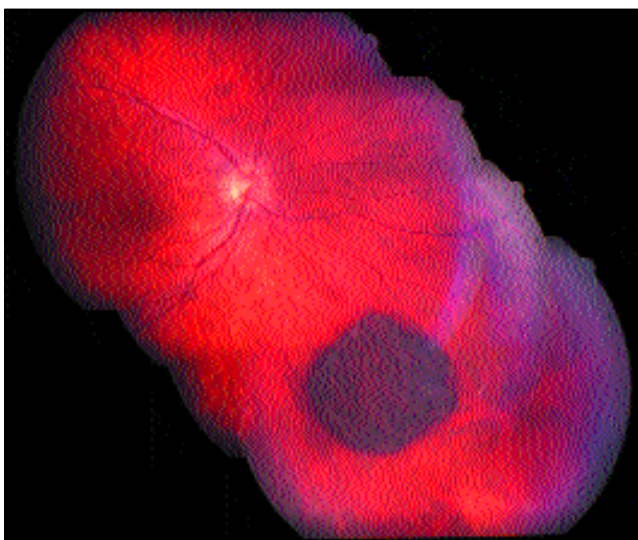
Ze względu na geometrię naczyń krwionośnych zastosowano tu typ binaryzacji kierunkowej, która jest bardziej czuła na liniowy charakter naczyń (5,6).



Ryc. 1. Wyodrębnianie charakterystycznych cech z obrazu.
Fig. 1. Separation of the specific features from the image.



Ryc. 2. Algorytm porównania sąsiadujących zbinaryzowanych zdjęć na podstawie odpowiadających im współczynników korelacji.
Fig. 2. The algorithm for comparison of adjacent binarized images based on corresponding correlation coefficient.



Ryc. 3. Wrodzona hipertrofia nabłonka barwnikowego siatkówki w kwadrancie dolno-nosowym oka prawego.
Fig. 3. Retinal pigment epithelium hypertrophy in the infernasal quadrant of the right eye.

Dysponując siecią naczyń z sąsiednich fragmentów obrazu dna oka, można przeprowadzić proces ich korelacji, czyli dopasowywania z uwzględnieniem obszarów brzegowych (7). W ten sposób uzyskuje się informację o ich podobieństwie oraz ewentualnym miejscu złożenia w przypadku, gdy faktycznie są to obrazy sąsiadujące z wyraźną częścią wspólną (wspólnym obszarem). Ponieważ obraz sieci naczyniowej jest binarny i tworzy wysoki kontrast względem tła, istnieje możliwość dokonania stosunkowo szybkiej korelacji binarnej operującej jedynie na punktach tej sieci. Niestety, ze względu na występującą rotację obrazu otrzymanego z funduskamery należy dodatkowo wykonać korelację obrazu poddanego obrotowi o pewien kąt (zazwyczaj w zakresie ± 15 stopni). Aby przyspieszyć cały proces, obliczenia dokonuje się dla dwu-, trzykrotnego pomniejszenia obrazu sieci naczyniowej, co nie ma zasadniczego wpływu na jakość otrzymanych wyników, natomiast pozwala skrócić czas obliczeń. Optymalne dopasowanie porównywanych zdjęć, niezbędne do otrzymania prawidłowego obrazu końcowego, jest przeprowadzane metodą kolejnych przybliżeń.

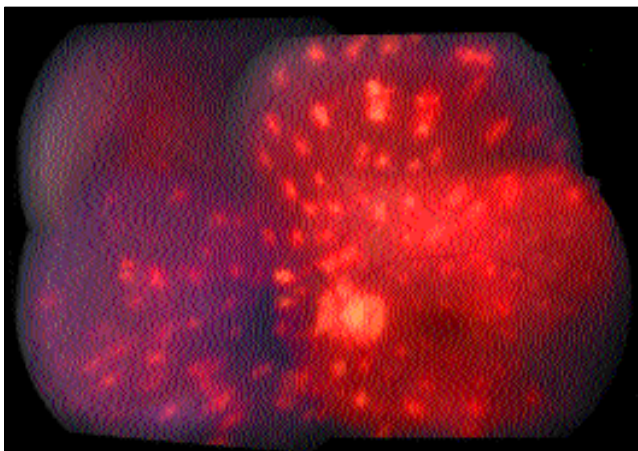
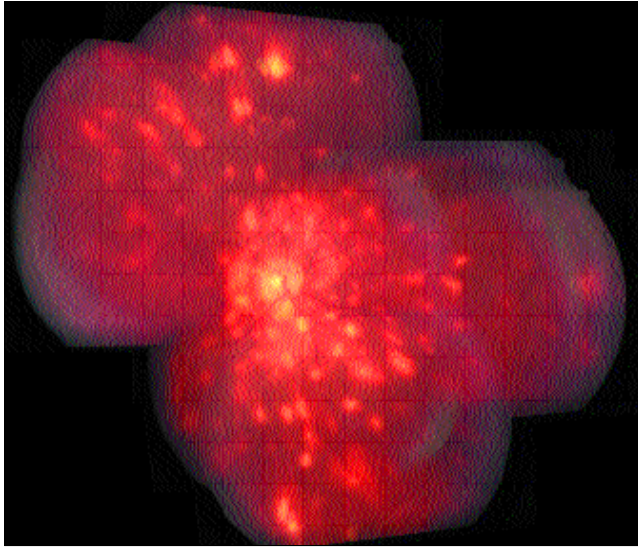
Dla każdego ustawienia porównywanych obrazów, uwzględniającego zarówno ich przesunięcie względem siebie, jak i obrót, obliczana jest funkcja korelacji. Funkcja ta oddaje największe współczynniki korelacji dla obrazów, których obrzeża najlepiej do siebie pasują.

Na podstawie porównania otrzymanych wartości współczynników dopasowania sąsiednich angiogramów (korelacja niska oznacza słabe dopasowanie, wysoka odpowiada dobremu pokrywaniu się nakładanych obszarów), wybierane jest ich optymalne wzajemne położenie, czyli współrzędne (ryc. 2).

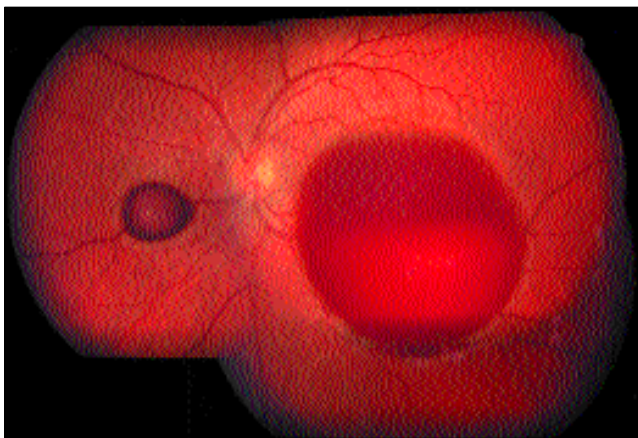
Dysponując informacją o współrzędnych korelacji oraz optymalnym kącie obrotu, można już nałożyć na siebie dwa pierwotne obrazy. Wykonywane zdjęcia dna oka, nawet tego samego obszaru, mogą różnić się między sobą jasnością, kontrastem oraz charakterystycznymi rozjaśnieniami na obrzeżach, związanymi np. z niewłaściwym ustawieniem obiektywu funduskamery względem badanego oka (ryc. 3 – widoczne rozjaśnienia po prawej stronie zdjęć). Aby zmniejszyć różnice pomiędzy sąsiadującymi zdjęciami, zastosowano uśrednianie wartości jasności składowych RGB pikseli w nakładanych obszarach (4).

Niestety, nie wszystkie obrazy mogą być poprawnie połączone. Bardzo ważne jest, aby podczas wykonywania zdjęć do

2. Kałużny J., Mierzejewski A., Milewski S. A., Kałużny J. J.: *Badania angiograficzne dna oka*. Volumes, Wrocław, 1998.
3. Marcinkiewicz W., Mrzygłód S.: *Fotogrametryczna dokumentacja patologicznego kształtu nerwu wzrokowego*. Klin. Oczna,



Ryc. 4a i b. Choroidopatia typu birdshot obojga oczu.
Figs. 4a i b. „Birdshot” choroidopathy in both eyes.



Ryc. 5a. Krwotoki przedsiatkówkowe w tylnym biegunie oka lewego. Pacjent, lat 17, po przebyciu trzy tygodnie wcześniej urazie komunikacyjnym. Ostrość wzroku oka lewego: 0,01.

Fig. 5a. Preretinal hemorrhages in the posterior area of the left eye. 17-aged-old patient after car accident three weeks earlier. Visual acuity of the left eye: 0.01.

1986, 88, 292-295.

4. Pratt W. K.: *Digital Image Processing*. John Wiley & Sons, New York, 2nd edition, 1991.
5. Giardina C. R., Dougherty E. R.: *Morphological Methods in Image and Signal Processing*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988.
6. Nieniewski M.: *Morfologia matematyczna w przetwarzaniu obrazów*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1998.
7. Yang J. Li X.: *Boundary detection using mathematical morphology*. Pattern Recognition Letters, 1995, Dec., 16 (12), 1277-1286.

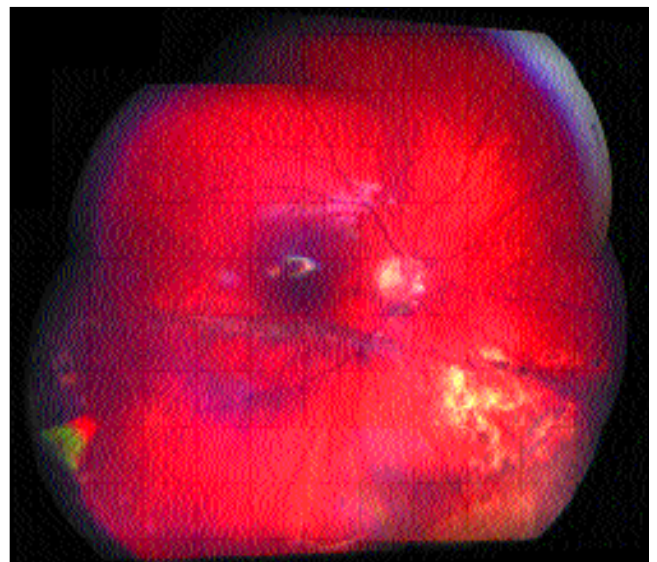
Praca wpłynęła do Redakcji 4.11.2003 r. (356).

Zakwalifikowano do druku 19.01.2005 r.



Ryc. 5b. Ten sam pacjent dwa dni po laserowej punkcji krwotoku do ciała szklistego. Ostrość wzroku oka lewego: 0,7. Strzałką oznaczono ślady po punkcji laserowej.

Fig. 5b. The same patient two days after laser treatment with the evacuation of haemorrhage to the vitreous cavity. Visual acuity of the left eye: 0.7. Note photocoagulation scar (arrow).



Ryc. 6. Dno oka prawego 15-letniego pacjenta po witekтомii tylnej z podaniem oleju silikonowego z powodu długotrwałego pourazowego odwarstwienia siatkówki z obecnością proliferacji podsiatkówkowych.

Fig. 6. The eye of the 15 years old patient who underwent vitrectomy with endotamponade (silicone oil) due to longstanding posttraumatic retinal detachment with subretinal fibrosis.

panoramy ustawień powiększenia były takie same oraz aby obracanie funduskamery odbywało się możliwie blisko punktu węzłowego układu optycznego aparatu. W przeciwnym wypadku wystąpi zjawisko paralaksy, czyli pozornej zmiany położenia rejestrowanych obiektów w sąsiadujących angiogramach oraz zniekształcenia geometryczne obrazu. W praktyce obrót względem punktu węzłowego układu oko – funduskamera jest niemożliwy, ponieważ podczas wykonywania zdjęć obwodu dna oka oś optyczna aparatury fotografującej jest odchylona w stosunku do osi widzenia.

W przypadku automatycznego łączenia zdjęć widocznym efektem wspomnianych niedoskonałości mogą być niewielkie lokalne przesunięcia, widziane jako przerwanie ciągłości siatki naczyniowej (ryc. 4a, zdjęcie środkowe górne), (ryc. 4b, zdjęcie lewe górne), (ryc. 6, zdjęcie górne).

Omówienie

Przedstawione oprogramowanie umożliwia automatyczne łączenie otrzymanych obrazów obejmujących powierzchnię dna oka możliwą do zarejestrowania. Jest to doskonała i wygodna metoda dokumentacji zmian rozsianych (ryc. 4a, b), zmian na dnie oka o znacznych wymiarach (ryc. 6), a także zmian położonych w dużej odległości od tylnego bieguna gałki ocznej (ryc. 3). Pozwala to rejestrować kolejne fazy dynamiki procesu patologicznego, a także

skutek oddziaływania farmakologicznego i fizykalnego w leczeniu (ryc. 5a, b) (ryc. 6).

Zbiór połączonych tą metodą fotografii może być pomocnym narzędziem w zrozumieniu przez pacjenta morfologii jego choroby. Dzięki temu zyskujemy jego większe zaufanie, a to jest niezbędne przed rozpoczęciem leczenia oraz gwarantuje lepszą współpracę w trakcie dalszego postępowania terapeutycznego.

Kolaż może również spełniać funkcję dydaktyczną, a łatwość sporządzania pozwala na częstsze jego wykorzystywanie w fachowych podręcznikach i czasopismach oraz w prezentacjach naukowych i szkoleniach.

Wniosek

Zaprezentowana metoda łączenia cyfrowych obrazów dna oka ułatwia monitorowanie dynamiki procesu chorobowego, podjęcie decyzji o właściwej terapii, dokumentację jej rezultatów, jak również spełnia funkcje dydaktyczne.

PIŚMIENNICTWO:

1. Berkow J. W., Flower R. W., Orth D. H., Kelley J. S.: *Fluorescein and indocyanine green angiography. Technique and interpretation*. American Academy of Ophthalmology, San Francisco, USA, 1997.

Adres do korespondencji (Reprint requests to):

dr inż. Tomasz Licznerski
Instytut Fizyki I-9
Politechnika Wroclawska
50-370 Wrocław