

ALGORYTM PSEUDOKOLOROWANIA OBRAZÓW MEDYCZNYCH

STRESZCZENIE

W pracy zaprezentowano algorytm umożliwiający pseudokolorowanie obrazów szarych, jak również przedstawiono rezultaty uzyskane dla określonych zdjęć medycznych. Zaproponowano technikę polegającą na konwersji bitmap o kolorze szarym z jednowymiarowej przestrzeni barw do przestrzeni trójwymiarowej. Zastosowana metoda umożliwia wyodrębnienie szczegółów obrazu w postaci kolorów, niewidocznych w czarno-białych obrazach medycznych, i w efekcie ułatwia ich analizę. W artykule przedstawiono też określone modele barw, stosowane w grafice komputerowej i wykorzystane podczas realizacji algorytmu.

Słowa kluczowe: modele barw, przetwarzanie obrazów, pseudokolorowanie, skala szarości

AN ALGORITHM TO THE PSEUDO-COLORING OF MEDICAL SCANS

This paper presents an approach to the pseudo-coloring of grayscale images. An application of use to the medical scans also has been covered. The algorithm enables conversion from one dimensional grayscale space, to a three dimensional color space, resulting significant color enhancement. This introduction of colour to greyscale images certainly make image analysis of medical scans easier. The paper provides background of some color models, used in the computer graphics and also applicable in the presented algorithm.

Keywords: colour models, image enhancement, pseudo-colouring, greyscale

1. WSTĘP

Techniki wstępnego przetwarzania obrazu, takie jak filtracja, umożliwiające podkreślenie pewnych jego cech, jak również korekcję i zmianę sposobu wyświetlania, doczekały się wielu bardzo ciekawych, efektywnych rozwiązań. Techniki te są obecnie dalej intensywnie rozwijane, dotyczy to zarówno obrazów kolorowych, jak i czarno-białych, w tym także szarych. Po wykonaniu określonych metod filtracji, obraz o kolorze szarym można poddać pseudokolorowaniu, jako operacji kończącej przetwarzanie. Wiąże się to z przypisaniem określonym odcieniom szarości odpowiednich kolorów, zgodnie z naturą obrazu. Na przykład przepływ środka kontrastującego w badaniu angiograficznym naczyń krwionośnych jest niedostrzegalny dla oka ludzkiego na oryginalnym zdjęciu rentgenowskim, zaś zastosowanie pseudokolorowania umożliwia jego podgląd. Oko ludzkie odróżnia tysiące odcieni barw, a tylko do około dwustu odcieni szarości [3]. W związku z tym transformacje, umożliwiające tworzenie bitmap barwnych na zasadzie pseudokolorowania, mogą być traktowane jako kolejna technika mająca na celu uwydatnienie pewnych cech obrazów. Transformacje umożliwiające pseudokolorowanie są standardem w różnych systemach pozwalających na zaawansowaną analizę obrazów takich, jak ArcGIS, MapInfo czy obrazów w programie OSIRIS, służącym do przeglądania i analizy zdjęć medycznych w standardzie DICOM. Jednak nie są one szczegółowo dokumentowane, nie ma uniwersalnej formuły odpowiadającej wszystkim możliwym zastosowaniom. Zaproponowane podejście polega na konwersji bitmap o kolorze szarym z jednowymiarowej przestrzeni

barw do przestrzeni trójwymiarowej, z zastosowaniem przestrzeni kolorów *HSL* i *RGB*.

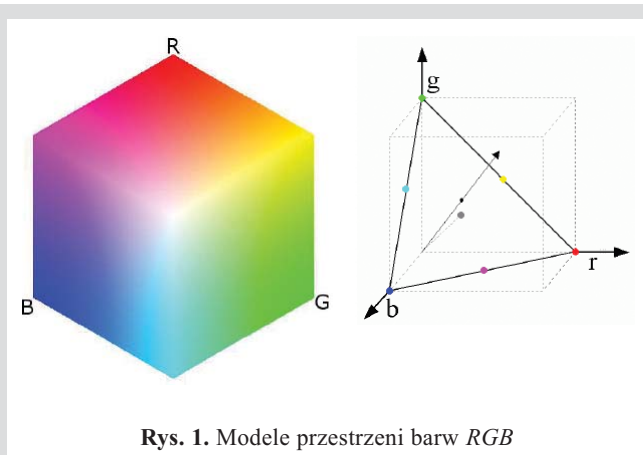
2. WYBRANE REPREZENTACJE KOLORÓW

W procesie segmentacji obszarów w obrazach barwnych stosuje się wiele rodzajów przestrzeni barwnych o bardzo różnych właściwościach [2]. Najczęściej spotykanymi przestrzeniami wykorzystywanymi do różnego rodzaju segmentacji czy ekstrakcji poszczególnych obszarów są: *CIE Lab*, *CMY*, *CMYK*, *HSI*, *HSL*, *HSV*, *YcrCb*, *YIQ* czy *RGB* [1, 2, 3, 4, 10]. Jako przestrzeń wyjściową dla każdej z tych przestrzeni barw stosuje się przestrzeń *RGB*, w której zazwyczaj jest reprezentowany analizowany obraz wejściowy.

2.1. Model barw *RGB*

W modelu barw *RGB* przyjmujemy, że barwa każdego piksela w analizowanym obrazie jest reprezentowana przez trzy składowe *R*, *G* i *B* (*Red*, *Green*, *Blue*), które zawierają także informacje o intensywności barw tego punktu $I = R + G + B$ oraz $R, G, B \in [0, 255]$. W związku z tym, że barwa silnie zależy od intensywności, wszystkie składowe piksela mogą być normalizowane zgodnie z następującą zależnością: $r = \frac{R}{I}$, $g = \frac{G}{I}$, $b = \frac{B}{I}$, gdzie $r + g + b = 1$. Model przestrzeni *RGB* jest często przedstawiany jako tzw. sześciokąt kolorów albo trójkąt Maxwella rozpięty na wierzchołkach sześcianu barw podstawowych przestrzeni *RGB* (rys. 1).

* Doktorant Wydziału EAIiE, AGH



Rys. 1. Modele przestrzeni barw RGB

Dla pikseli o kolorze szarym, wartości współrzędnych R , G , B mają jednakowe wartości. Model RGB jest bardzo dobry przy reprezentacji koloru na urządzeniu wyjściowym (np. monitor, kamera wideo, drukarka), jednak niektóre transformacje w tym modelu powodują zniekształcanie barw, w związku z czym opracowano takie modele, które mają zapobiec tym niedogodnościom. Do najważniejszych można zaliczyć modele barw takie, jak HSV (*Hue, Saturation, Value*) i HSL (*Hue, Saturation, Lightness*). Modele te pozwalają określić dominujący kolor (*Hue*, wyrażony jako kąt – podrozdz. 2.2, rys. 2), jak również zdefiniować jego nasycenie (*Saturation*), a także określić jego jasność (*Lightness*), czyli po odrzuceniu wrażenia barwy wyznaczyć głębokość jego szarości. Składowa (*Value*) jest miarą stopnia zawartości światła białego w danej barwie, a tym samym wyraża jej jaskrawość.

2.2. Modele barw HSV i HSL

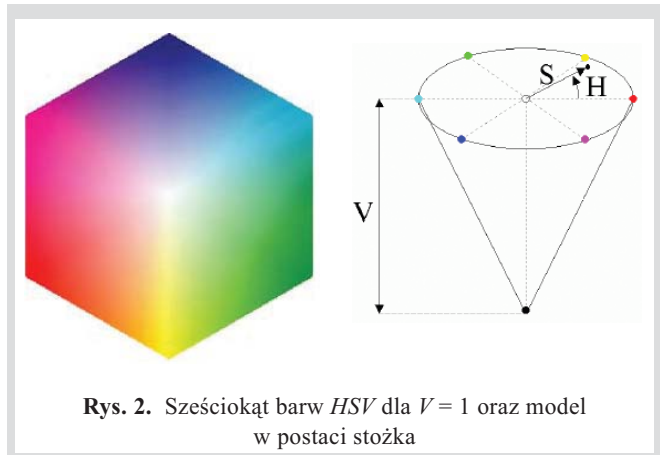
W modelu barw HSV struktura dość dobrze odzwierciedla sposób postrzegania barwy przez człowieka. Jest to model zaliczany do grupy modeli przestrzeni barw percepcyjnych. Transformata przejścia z przestrzeni RGB opisana jest następującą zależnością:

$$H = \arccos \left\{ \frac{0.5((r-g)+(r-b))}{\sqrt{(r-g)^2 + (r-b)(g-b)}} \right\},$$

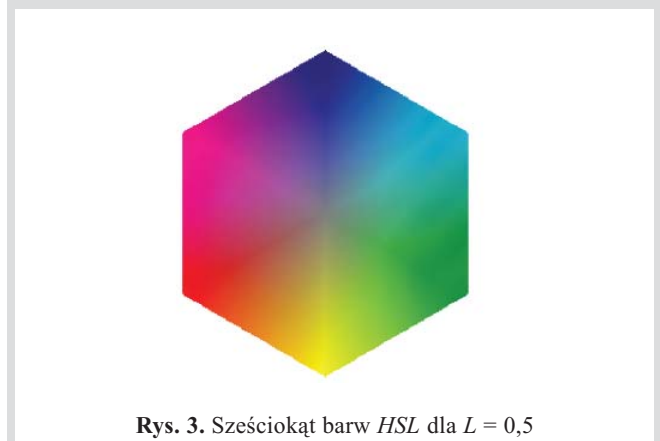
$$S = \frac{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)}{\max(r, g, b)},$$

$$V = \max(r, g, b),$$

w przypadku gdy $b > g$, to $H = 360 - H$. Jeśli składowa nasycenia S ma zerową wartość, to składowa barwy H ma wartość nieokreśloną. Model HSV często przedstawia się jako sześciokąt kolorów, albo w postaci stożka jak na rysunku 2.



Rys. 2. Sześciokąt barw HSV dla $V = 1$ oraz model w postaci stożka



Rys. 3. Sześciokąt barw HSL dla $L = 0,5$

W modelu barw HSL składowa H jest identyczna jak w HSV , zaś składowe nasycenia S i jasności L wyrażają się następującymi zależnościami:

$$L = \frac{\max(r, g, b) + \min(r, g, b)}{2},$$

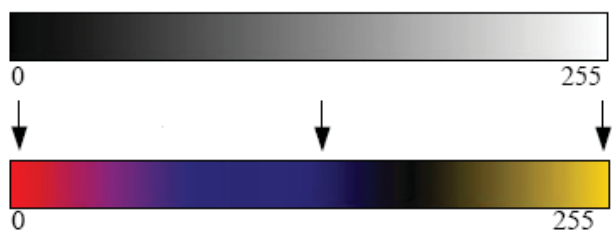
$$S = \begin{cases} \frac{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)}{2 \cdot L} & \text{dla } L \leq \frac{1}{2}, \\ \frac{\max(r, g, b) - \min(r, g, b)}{2 - 2 \cdot L} & \text{dla } L > \frac{1}{2}. \end{cases}$$

Sześciokąt kolorów HSL przy ustalonej wartości $L = 0,5$ został przedstawiony na rysunku 3.

3. PSEUDOKOLOROWANIE

Pseudokolorowanie jest techniką, która umożliwia przetworzenie obrazu mapy bitowej o kolorze szarym na taki, w którym występują widoczne barwy (rys. 4). W efekcie zmieniany jest sposób wyświetlania obrazu, a jego reprezentacja pozostaje bez zmian.

Należy zatem znaleźć właściwy wzór, formułę, która dokona transformacji pikseli o kolorze szarym w taki sposób, że nie zakłóci to kształtu wyświetlanego obrazu, a podkreśli jeszcze pewne niewidoczne dla oka ludzkiego cechy,



Rys. 4. Ilustracja techniki pseudokolorowania obrazów szarych

widoczne dopiero w postaci barw. Jeśli pojedynczemu pikselowi bitmapy o kolorze szarym odpowiada pamięć jednego bajta, to obraz ten może zawierać 256 odcieni szarości dla każdego piksela. W przykładowych kostkach sześciennych przedstawiających palety kolorów *RGB*, *HSL*, *HSV* jest zatem łącznie 16,7 milionów (256^3) możliwych kolorów, przy czym każdemu może odpowiadać 256 odcieni, w związku z czym widać, że istnieje bardzo wiele możliwości, konfiguracji, zamiany barw.

3.1. Algorytm pseudokolorowania

Działanie algorytmu pseudokolorowania szarych bitmap polega na tym, że dla kolejnych odcieni szarości o wartościach od 0 do 255 dobierany jest kolor z trójwymiarowej przestrzeni *HSL*, w taki sposób, że zwiększana jest stopniowo wartość współrzędnej określającej jasność (*L*), przy ustalonych stałych wartościach współrzędnych definiujących odcień (*H*) oraz nasycenie barwy (*S*). Uzyskiwana w ten sposób nowa reprezentacja barw jest następnie transformowana do przestrzeni *RGB* (rys. 5). Zmiana wartości kolorów dla poszczególnych pikseli jest uwzględniana przez modyfikację tzw. palety kolorów. W trybach graficz-

nych wykorzystujących palety, pamięć obrazu nie zawiera wartości *RGB*, lecz indeksy do tablicy 256 wartości *RGB*. Ta tablica znajduje się w części pamięci obrazu znanej jako *LUT* (*Look-Up Table*).

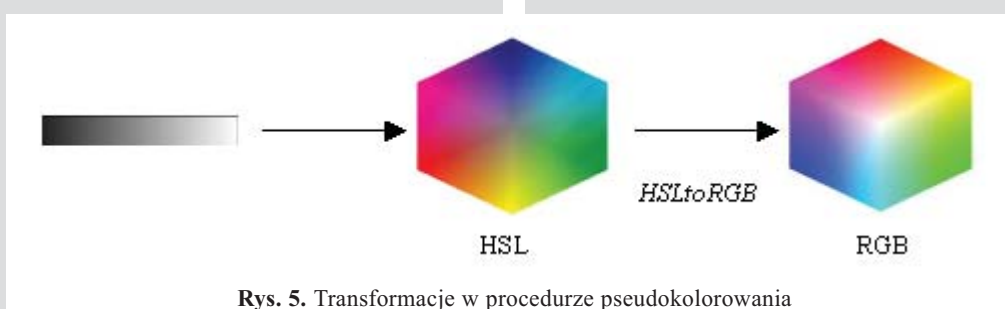
Niech $x_0, y_0 \in [0, 255]$ są ustalonymi wartościami, dla określonego $\alpha \in [0, 1]$ (domyślnie można przyjąć wartość równą 1) algorytm pseudokolorowania jest następujący:

```

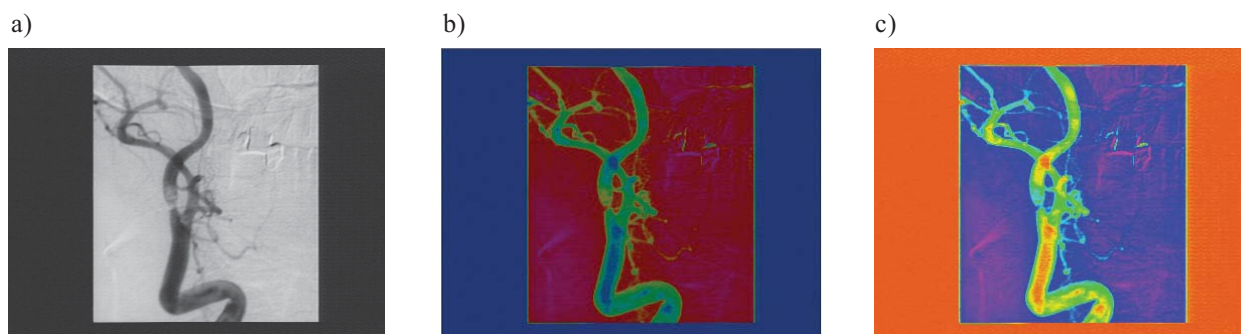
dt =  $\frac{255}{254} \cdot \alpha$ ,          /* współczynnik, który ustala war-
                                tości z dziedziny czyli [0, 255] */
for i = [0, ..., 255] {      /* kolejne odcienie szarości */
  t = i · dt                  /* obliczenie wartości współrzęd-
                                nej (L) */
  hsli = (x0, y0, t)      /* określenie barwy z przestrzeni
                                HSL */
  SetColourPalette(i, HSLtoRGB(hsli)) /* Transformacja
                                barwy z przestrzeni HSL do RGB
                                i uwzględnienie końcowej repre-
                                zentacji przez
                                modyfikację palety kolorów */
}

```

Zastosowanie podobnego rozwiązania dla przestrzeni *HSV*, polegające na stopniowym zwiększaniu wartości współrzędnej *V* (*Value*), przy ustalonych wartościach *H* (*Hue*) oraz *S* (*Saturation*), a następnie na dokonywaniu transformacji do przestrzeni *RGB*, dało gorsze rezultaty. Po pierwsze dobór kolorów w mało znaczący sposób podkreślał ukryte cechy obrazów szarych, poza tym otrzymywane obrazy były ciemniejsze i w efekcie mniej czytelne (rys. 6). Reprezentacje *HSV* oraz *HSL* mimo wspólnego wyrażenia dla składowej *H* mają inne własności.



Rys. 5. Transformacje w procedurze pseudokolorowania



Rys. 6. Pseudokolorowanie obrazu szarego (a) z zastosowaniem przestrzeni *HSL* (b) i *HSV* (c)

Warto też zauważyć, że posługując się wyrażeniem składowej L , można dokonać transformacji pikseli barwnych na szare. Piksel o kolorze szarym ma następujące współrzędne: $Gray = (L, L, L)$, dla $L = \frac{\max(r, g, b) + \min(r, g, b)}{2}$.

4. REZULTATY

Przedstawiony algorytm pseudokolorowania został zrealizowany w środowisku języka C++. Przetestowano jego działanie dla kilkudziesięciu różnych bitmap o kolorze szarym, reprezentujących zdjęcia rentgenowskie w liczbie ok. 40, w tym także dla ok. 20 zdjęć wykonywanych technikami TK i MR. Przykładowe rezultaty działania algorytmu można zobaczyć na rysunku 7. Oryginalne slajdy, oraz te po dokonanej transformacji, znajdują się w dwóch kolumnach. W wyniku zrealizowanych transformacji dominujące kolory są wyraźnie widoczne.

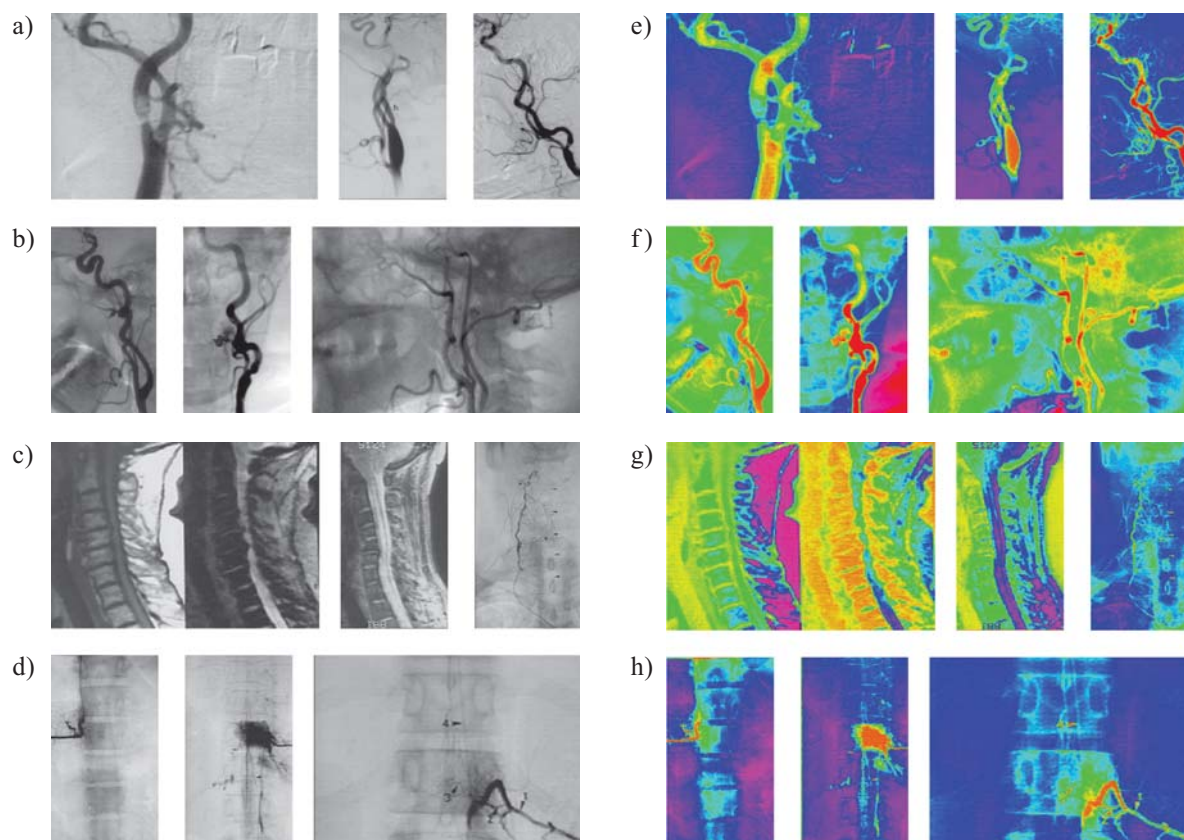
4.1. Zdjęcia rentgenowskie

Zdjęcia rentgenowskie są „negatywem” z prześwietlenia organów ludzkiego ciała, także obrazy uzyskane po zastosowaniu techniki pseudokolorowania są przeciwieństwem ich naturalnej formy. Rysunek 7 przedstawia zbiór zdjęć rentgenowskich przedstawiających stany patologiczne naczyń krwionośnych, a także schorzenia kręgosłupa. W przypadku obrazów naczyń krwionośnych (rys. 7a, b, e i f) wy-

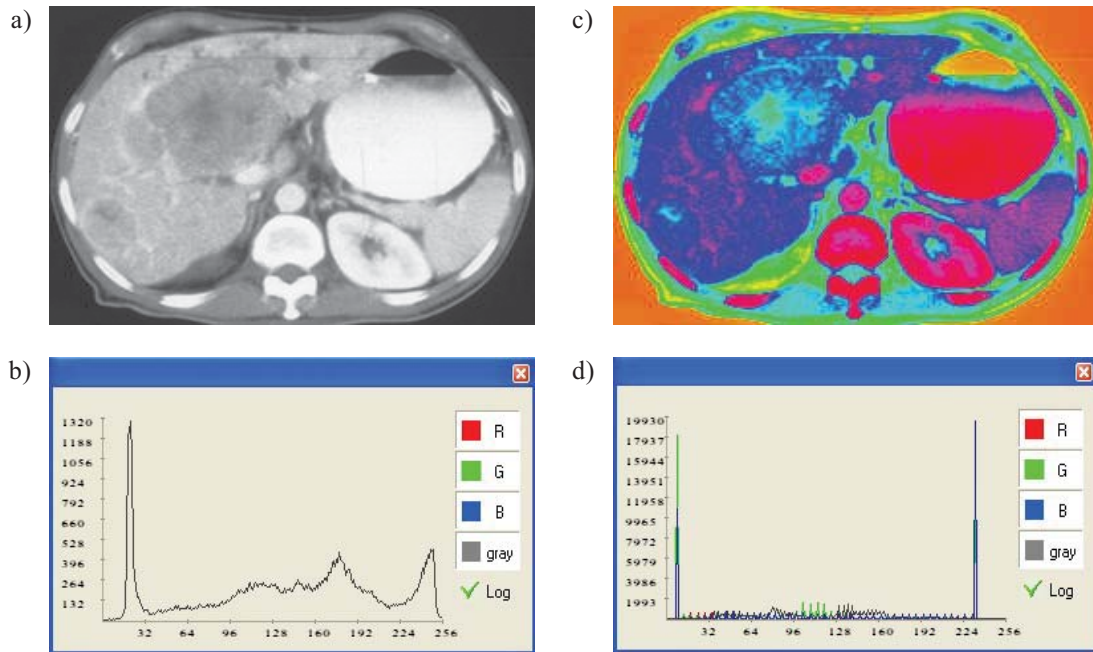
raźnie widać przepływ środka kontrastującego, jak również występujące w nich tętniaki i przewężenia. Na zdjęciach przedstawiających strukturę kostną kręgosłupa wprowadzone zostało tło, poszczególne kręgi stały się lepiej widoczne, jak również zauważalne są uszkodzenia naczyń krwionośnych na tle tkanki kostnej (rys. 7d i h). Jednak dla obrazów przedstawiających rdzeń kręgowy pseudokolorowanie nie przyniosło pozytywnych rezultatów, można nawet stwierdzić, że struktura kostna stała się mniej widoczna (rys. 7c i g). Należałoby zatem dla tego przykładu zastosować inną wersję algorytmu, być może z wykorzystaniem nieuwzględnionych w czasie prób przestrzeni kolorów.

4.2. Zdjęcia TK i MR

Techniki TK (tomograficzno-komputerowa) i MR (magnetyczno-rezonansowa) są obecnie standardem w badaniach radiologicznych. Współczesne tomografy komputerowe mają bardzo zaawansowane oprogramowanie wspomagające diagnostykę obrazową. Uzyskiwane czarno-białe zdjęcia mogą być np. poddawane bardzo dokładnej analizie umożliwiającej filtrację, zmianę kontrastu lub koloru wyświetlanej tekstury badanego organu, jak również możliwe jest podkreślenie pewnych jego cech, co w efekcie prowadzi do precyzyjniejszego określenia ogniska chorobowego. Na rysunku 8 zestawiono przykładowe czarno-białe zdjęcie TK przedstawiające wątrobę w fazie mięsistej z wyraźnym odcinającą się zmianą nowotworową (rys. 8a) z obrazem po wykonanym pseudokolorowaniu (rys. 8c). Dołą-



Rys. 7. Zbiór zdjęć rentgenowskich przed (a–d) i po zastosowaniu algorytmu pseudokolorowania (e–h)
 Objaśnienia w tekście



Rys. 8. Zdjęcia TK wątroby przed i po zastosowaniu algorytmu pseudokolorowania
Objaśnienia w tekście

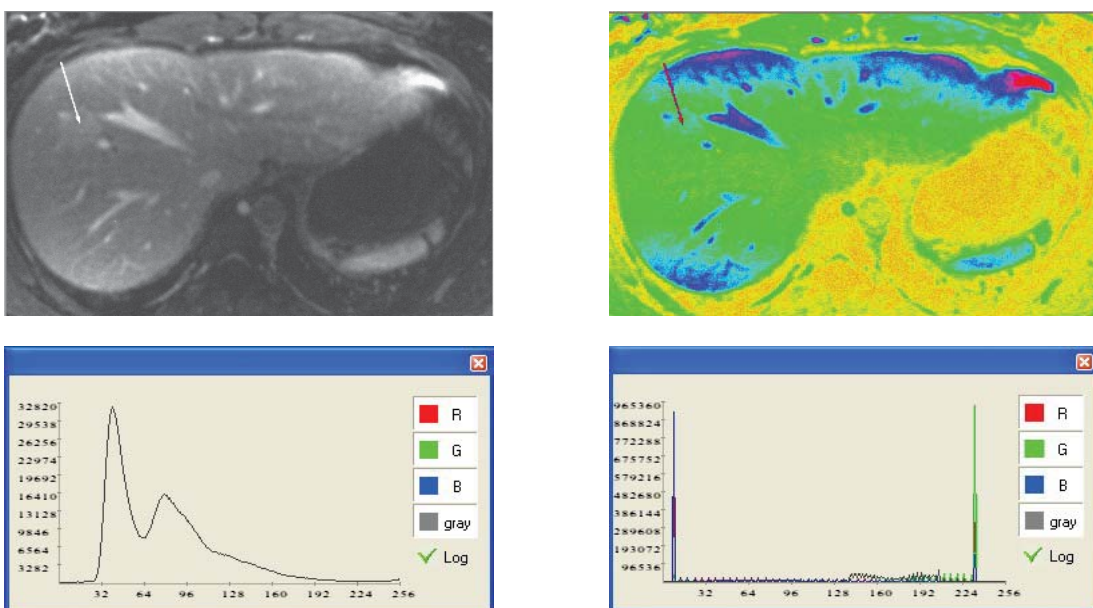
czony zostały też odpowiadające zdjęciom wykresy funkcji histogramów (rys. 8b i d). W tym przykładzie pseudokolorowanie wyraźnie podkreśliło teksturę śledziony, która stała się lepiej widoczna, jednak nie przyniosło lepszych rezultatów w celu wyodrębnienia ognisk chorobowych w samej wątrobie, które są lepiej widoczne na pierwotnym zdjęciu.

Na rysunku 9 przedstawione zostało przykładowe zdjęcie MR wątroby. Oryginalne zdjęcie w standardzie DICOM zostało przetworzone do postaci bitmapy, a ta została poddana procesowi pseudokolorowania. Wyraźnie widać, że wprowadzone zmiany zakłóciły obraz, który stał się mało czytelny.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych prób dla kilkudziesięciu¹⁾ zdjęć medycznych w formie bitmap, takich jak zdjęcia rentgenowskie, czy obrazy uzyskane techniką tomograficzno-komputerową oraz magnetyczno-rezonansową, można stwierdzić, że zaprezentowany algorytm pseudokolorowania w łatwy sposób umożliwił rozpoznanie mało widocz-

¹⁾ Dokładna liczba zdjęć została przedstawiona w rozdziale 4.



Rys. 9. Zdjęcia MR wątroby przed i po zastosowaniu pseudokolorowania

nych dla oka ludzkiego szczegółów, zauważalnych dopiero w postaci barw, takich jak przepływ środka kontrastującego w naczyniach krwionośnych (rys. 7). Technika ta pozwoliła również na wyodrębnienie i podkreślenie występujących w obrazach organów zmian patologicznych, takich jak przewężenia, poszerzenia naczyń (rys. 7), a także uwydatniła zarys kręgów w obrazach rentgenowskich. Jednak dla pozostałych przykładów algorytm w swojej obecnej postaci nie okazał się przydatny. Przedstawiona w pracy technika ilustruje tylko pewne możliwości związane z określonym doбором barw i na pewno wymaga podjęcia dalszych modyfikacji oraz poszukiwania nowych rozwiązań.

Literatura

- [1] Hjelmsås E., Boon Kee Low: *Face Detection: A Survey*. Computer Vision and Image Understanding, 83, 2001, 236–274
- [2] Martinkauppi J.B., Soriano M.N., Laaksonen M.H.: *Behavior of skin color under varying illumination seen by different cameras at different color spaces*. Machine Vision Applications in Industrial Inspection IX, Martin Hunt, (Ed.), Proceedings of SPIE, vol. 4301, 2001, 102–112
- [3] Burger P., Gillies D.: *Interactive Computer Graphics*. Wokingham, England 1989, ISBN 0-201-17439-1
- [4] Yanjiang Wang, Baozong Yuan: *A novel approach for human face detection from color images under complex background*. Pattern Recognition, 34, 2001, 1983–1992
- [5] Canny J.F.: *Finding edges and lines in images*. Master's thesis, Technical Report, No. 720, Massachusetts Institute of Technology, (June 1983)

- [6] Comaniciu D., Meer P.: *Cell Image Segmentation for Diagnostic Pathology*. IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Lib., Fort Collins, Colorado, 1999, 50–54
- [7] Silva A.C., Carvalho P.C.P., Gattass M.: *Visualization of Density Variation in Lung Nodules*. Medical Image Analysis, 2002
- [8] Thilo Kielmann Computer Graphics (Discrete Techniques, Texture etc.), Fall 2004 <http://www.cs.vu.nl/~graphics/course.php>
- [9] Watkins C.D., Sadun A., Marenka S.: *Nowoczesne metody przetwarzania obrazu*. Warszawa, PWN 1995, ISBN 83-204-1860-7
- [10] Karen N.: *Light and color an Introduction*. http://www.normankoren.com/light_color.html

Wpłynęło: 28.02.2005

Marcin CIECHOLEWSKI



Absolwent Uniwersytetu Gdańskiego, obecnie doktorant wydziału EAIiE AGH, na kierunku informatyka. Zakres zainteresowań Autora to: grafika komputerowa, rozpoznawanie obrazów, techniki multimedialne.

e-mail: ciechol@agh.edu.pl