

M. Strzelecki, A. Materka: *Europejski program COST B11 "Ilościowa analiza tekstury obrazów z tomografu rezonansu magnetycznego"*, Światowy Kongres "Zastosowanie Osiągnięć Technologii i Nauki w Medycynie", 7-9 September 1999, Łódź, Poland, 126.

MICHAŁ STRZELECKI  
ANDRZEJ MATERKA

## EUROPEJSKI PROGRAM COST B11 "ILOŚCIOWA ANALIZA TEKSTURY OBRAZÓW TOMOGRAFICZNYCH REZONANSU MAGNETYCZNEGO"

*Streszczenie:* Głównym celem projektu COST B11 jest opracowanie metod analizy tekstury obrazów pochodzących z tomografów rezonansu magnetycznego. Opracowanie takich metod pozwoliłoby na wspomaganie procesu diagnozowania poprzez jego automatyzację i obiektywizację. Początkowe prace prowadzone w ramach projektu dotyczą analizy sztucznych obrazów tomograficznych (tzw. fantomów). Wykonano szereg zdjęć tomograficznych takich fantomów oraz wyznaczono zestaw cech opisujących zawarte w nich tekstury. Celem tych prac jest określenie procedur standaryzacji dla różnych tomografów MRI, które pozwolą na poprawę obiektywności i powtarzalności badań medycznych.

### 1. WSTĘP

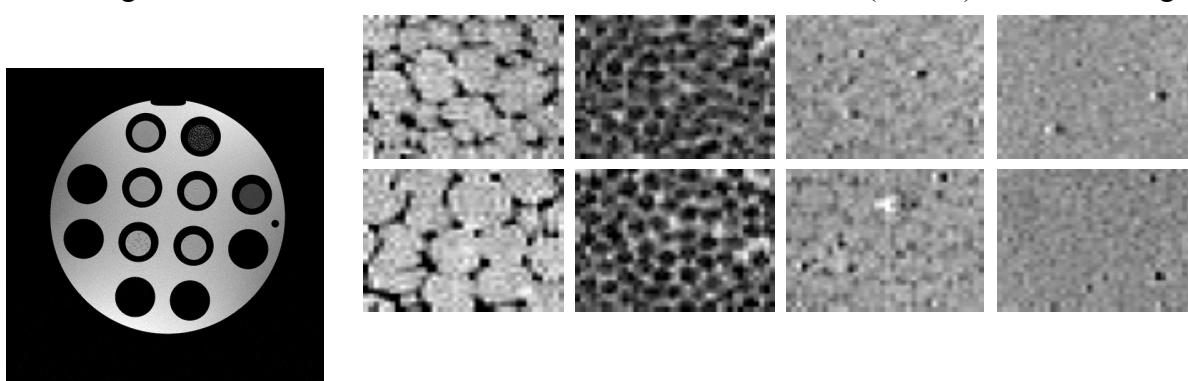
Programu europejski COST (fr. *Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique*) został utworzony w 1971 r. w celu rozwoju współpracy międzynarodowej w dziedzinie badań naukowo-technicznych, na mocy rezolucji konferencji odpowiednich ministrów 19 krajów Europy Zachodniej i Jugosławii. W 1996 r. program ten obejmował 25 państw europejskich, w tym Polskę (od 1991 r.). Poszczególne zadania programu są realizowane w ramach projektów (tzw. Akcji, ang. actions). Zakres badań naukowych projektu oraz skład międzynarodowego zespołu realizatorów są w każdym przypadku określane na mocy odpowiedniego porozumienia międzynarodowego (ang. memorandum of understanding). Niniejszy artykuł zawiera krótką charakterystykę projektu B11, o angielskim tytule „Quantitative analysis of magnetic resonance image texture”. Realizację projektu COST B11 rozpoczęto w maju 1998 roku; zakończenie jego prac nastąpi w roku 2002. Jest w nim zaangażowanych 17 uniwersytetów i ośrodków badawczych z krajów Unii Europejskiej oraz Czech, Szwajcarii i Polski. Inicjatorem i przewodniczącym projektu jest dr Richard Lerski, dyrektor Oddziału Fizyki Medycznej, Ninewells Hospital and Medical School, Dundee w Szkocji. Realizatorami projektu z Instytutu Elektroniki Politechniki Łódzkiej są prof. dr hab. Andrzej Materka, dr inż. Michał Strzelecki, mgr inż. Piotr Cichy, mgr inż. Marcin Kociołek, mgr inż. Piotr Makowski, mgr inż. Piotr Szczyński.

Głównym celem projektu jest opracowanie ilościowych metod analizy tekstury obrazów pochodzących z tomografów rezonansu magnetycznego (ang. magnetic resonance imaging – MRI). Opracowanie takich metod pozwoliłoby na wspomaganie procesu diagnozowania stanu zdrowia człowieka [7]. W ciągu ostatnich lat obserwuje się ogromny wzrost liczby działających w świecie tomografów rezonansu magnetycznego. W Polsce działa już ponad 36 takich urządzeń. Tomografia rezonansu magnetycznego staje się coraz bardziej popularną techniką diagnostyczną oferując niespotykane dotąd możliwości obrazowania narządów wewnętrznych człowieka. Jakość tego obrazowania jest dużo większa niż w przypadku stosowania np. tomografii rentgenowskiej, ponadto tomografy MRI umożliwiają obrazowanie np. tkanek miękkich niemożliwe do uzyskania za pomocą innych technik diagnostycznych. Dodatkową zaletą tomografów MRI jest jej nieinwazyjność. Dotychczasowa analiza obrazów MRI dokonywana przez lekarzy specjalistów ma charakter jakościowy i subiektywny. Zatem niezwykle istotne jest opracowanie nowych metod ilościowej analizy takich obrazów, co przyczyni się do lepszej powtarzalności i obiektywności diagnozy medycznej.

## 2. WYKORZYSTYWANE MATERIAŁY I NARZĘDZIA BADAWCZE

Prowadzone obecnie, początkowe prace projektu dotyczą analizy obrazów tomograficznych sztucznych obiektów sztucznych (modeli fizycznych - fantomów). Celem tych prac jest porównanie obrazów pochodzących z różnych tomografów oraz opracowanie metod normalizacji i standaryzacji obrazów. Zapewni to powtarzalność oraz możliwość porównywania wyników badań uzyskanych w różnych ośrodkach badawczych.

Fantomy do badań porównawczych zostały wykonane w Oddziale Fizyki Medycznej, University of Dundee, Szkocja, postaci czterech szklanych tub. Trzy z nich zawierały syntetyczne piany o różnej strukturze wewnętrznej, zaś czwarta szklane kulki. Piany w tubach zostały wypełnione specjalnym żelazem charakteryzującym się stosunkowo dużą wartością czasu relaksacji dla sekwencji T2 [3]. Wykonano szereg zdjęć fantomów wykorzystując tomograf Siemens Magnetom 1.5T w Niemieckim Centrum Badania Raka (NCBR) w Heidelbergu.



Przykładowe obrazy tych tekstur pokazano na rys. 1.

(a) (b) a1 a2 a3 a4

Rys.1 a) Obraz MRI przekrojów poprzecznych przez tuby wypełnione pianami i szklanymi kulkami; b) powiększone obrazy fantomów: a1 – piany o dużej porowatości; a2 – szklane kulki; a3 – piany o średniej porowatości; a4 – piany o małej porowatości. Grubości przekrojów wynoszą odpowiednio 4 mm dla górnych zdjęć i 2 mm dla dolnych zdjęć.

Niezależnie, dla porównania z obrazami MRI, do wstępnych badań wykorzystano optyczne obrazy pian. Są to zeskanowane obrazy rzeczywistych pian przedstawiające ich przekroje poprzeczne. Zarejestrowano je dla dwóch rodzajów pian o różnej porowatości (rys. 2ab).

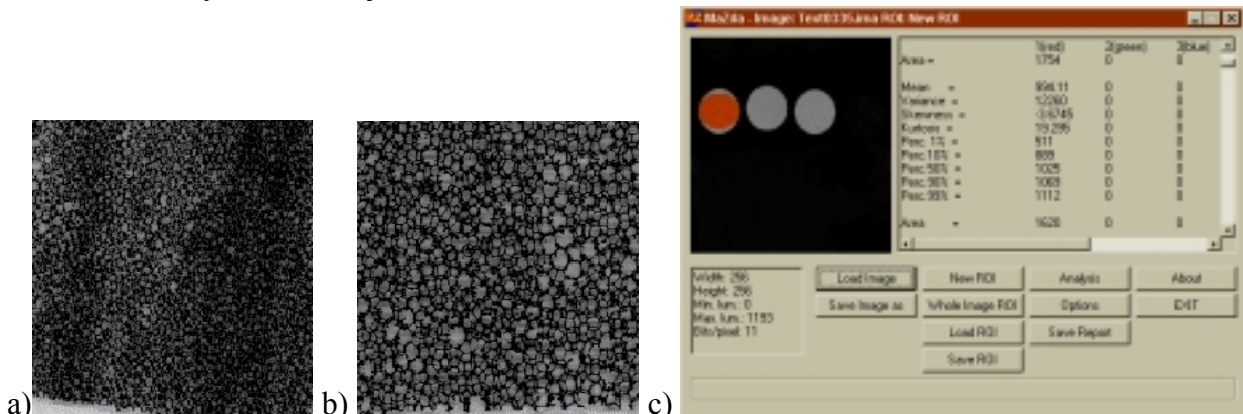
Obecnie trwające prace mają na celu określenie zestawu cech obrazu najlepiej różnicujących analizowaną klasę tekstur. Jako zestaw cech bada się parametry statystyczne obliczone za pomocą programu MaZda (opisanego w rozdziale 3) oraz cechy otrzymane na podstawie modelu autoregresji [2]. Wstępne wyniki analiz opublikowano w [4], [5].

## 3. PROGRAM MaZda

Jednym z zadań polskiej grupy współrealizatorów programu COST B11 było stworzenie oprogramowania do wyznaczania wartości parametrów obrazów MRI. Program taki zaczął powstawać w październiku 1999 podczas wizyty w Niemieckim Centrum Badania Raka (NCBR) w Heidelbergu. Nazwa programu MaZda jest skrótem słów „macierz zdarzeń” (ang. co-occurrence matrix [1]) – pojęcia oznaczającego popularną statystykę drugiego rzędu obrazu, przydatną w analizie tekstury. Program zakodował w języku C++ mgr Piotr Szczypiński. Program jest przeznaczony do pracy w środowisku Windows 9x/NT. Główne okno programu MaZda pokazano na rys. 2c. Zawiera ono obszar, w którym wyświetlany jest analizowany obraz, okno przeznaczone na wyświetlanie wyników oraz szereg klawiszy funkcyjnych służących do sterowania pracą programu.

Program MaZda umożliwia wykonywanie następujących operacji:

- wczytywanie obrazów MRI zapisanych w standardach typowych dla różnych tomografów MRI. Przy tworzeniu tych procedur odczytu wykorzystano fragmenty udostępnionego kodu źródłowego programu NMRWin, służącego do przeglądania i wstępnej analizy obrazów MRI, opracowanego w NCBR.
- zaznaczenie fragmentów, które mają podlegać przetwarzaniu (ang. *region of interest* – ROI),
- analiza obrazu polegająca na wyznaczeniu wartości szeregu cech tekstury zawartej w zdefiniowanym wcześniej ROI,



Rys. 2 Obrazy optyczne pian syntetycznych a) o dużej, b) średniej porowatości. Główne okno programu MaZda c).

- wyświetlanie wyników analizy w jednym z okien programu (ponadto wyniki te mogą być zapisane do pliku tekstowego).

W obecnej wersji program umożliwia obliczenie następujących rodzajów cech (łącznie 254 cech):

- parametry wyznaczone na podstawie histogramu obrazu (m. in. wartość średnia, odchylenie standardowe, kurtoza);
- parametry wyznaczone na podstawie wartości bezwzględnej gradientu obrazu,
- parametry wyznaczone na podstawie macierzy *Run Length* [1],
- parametry wyznaczone na podstawie macierzy zdarzeń [1], dla czterech kierunków i pięciu wielkości sąsiedztwa.

Szczegółowe definicje cech można znaleźć w podręczniku użytkownika (ang. *MaZda Users Manual*), dostępnym w witrynie sieci Internet o adresie <http://phase.pki.uib.no/~costb11/>.

Dodatkowo program umożliwia trzy sposoby normalizacji obrazu:

- brak normalizacji, obraz przetwarzany jest bez żadnych zmian;
- wyznaczana jest wartość średnia  $\mu$  i odchylenie standardowe  $\sigma$  analizowanego ROI, następnie do dalszego przetwarzania brane są pod uwagę poziomy jasności z przedziału  $[\mu-3\sigma, \mu+3\sigma]$ ;
- wyznacza się zakres jasności z przedziału 1%-99% wartości skumulowanego histogramu analizowanego ROI.

Program MaZda stał się oficjalnym narzędziem analizy obrazów MRI wykorzystywanym w projekcie COST B11. Jest on ciągle rozwijany, stosowanie do postulatów zgłaszanych przez realizatorów programu. Rozwój oprogramowania opracowywanego przez zespół realizatorów z Instytutu Elektroniki Politechniki Łódzkiej będzie ewoluował głównie w kierunku uwzględniania nowych cech, nie tylko zapisywanych w postaci liczbowej ale np. w postaci tzw. obrazów cech stanowiących odwzorowanie danej cechy dla całego obrazu, której wartości są kodowane za pomocą poziomów jasności, a także w kierunku utworzenia narzędzi do analizy

dyskryminacyjnej oraz selekcji i redukcji cech dla zadań klasyfikacji tekstur. Obecna wersja programu umożliwi wyświetlanie obrazu gradientu wyznaczonego dla badanej tekstury.

Dostępna w 1999 r. wersja programu MaZda nosi numer 2.13. Kod wynikowy tego programu jest udostępniony (wraz z programem bmpview.exe służącym do wyświetlania plików w standardzie BMP) w witrynie internetowej o adresie <http://phase.pki.uib.no/~costb11/>.

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Do najważniejszych osiągnięć dokonanych w czasie realizacji projektu przez zespół polski można zaliczyć:

- opracowanie raportu [6] rozprowadzonego wśród uczestników programu COST;
- udział w 4 spotkaniach Management Committee oraz grup roboczych, w Brukseli, Glasgow i Pradze, podczas których wygłoszono cztery referaty;
- opracowanie programu MaZda do analizy obrazów MRI, który został oficjalnym narzędziem badawczym w ramach projektu COST B11;
- udział w dwóch Short Term Missions (krótkich wyjazdach do uczelni biorących udział w programie). Podczas pierwszej dwutygodniowej wizyty w NCBR w Heidelbergu dokonano studiów literaturowych na temat metod analizy tekstur, zapoznano się tomografami MRI zainstalowanymi w Centrum oraz z metodami akwizycji obrazów MRI. Celem drugiego wyjazdu do szpitala uniwersyteckiego w Aarhus, Dania było zapoznanie się z urządzeniami i procedurami badań medycznych z wykorzystaniem tomografów rezonansu magnetycznego i określenie zakresu i harmonogramu studiów doktoranckich mgra P. Makowskiego w Danii, w zakresie trójwymiarowego modelowania naczyń krwionośnych zobrazowanych za pomocą badania MRI.

Realizowany projekt COST B11 dotyczy niezwykle ważnej i aktualnej problematyki badawczej. Coraz szersze zastosowanie tomografów MRI jest związane z rewolucyjnymi możliwościami obrazowania wewnętrznych narządów i tkanek człowieka. Rozwijanie metod analizy obrazów MRI, ze względu na ich bardzo dużą przydatność we wspomaganie procesu diagnozowania stanu zdrowia człowieka, jest celowe i potrzebne.

#### LITERATURA

- [1] R. Haralick, K. Shanmugam and I. Dinstein, *Textural Features for Image Classification*, *IEEE Trans. Systems Man Cybernetics*, 1973, vol. 3, pp. 610-621.
- [2] Y. Hu and T. Dennis, *Textured Image Segmentation by Context Enhanced Clustering*, *IEE Proc. Visual Image and Signal Processing*, **141**, 6 (1994) 413-421.
- [3] R. Lerski, L. Schad, *The Use of Reticulated Foam in Texture Test Objects for Magnetic Resonance Imaging*, *Magnetic Resonance Imaging*, **16**, 9 (1998) 1139-1144.
- [4] A Materka, M Strzelecki, R Lerski, L Schad: *Evaluation of Texture Features of Test Objects for Magnetic Resonance Imaging*, June 1999, Infotech Oulu Workshop on Texture Analysis in Machine Vision, Oulu, Finland, 13-19.
- [5] A Materka, M Strzelecki, R Lerski, L Schad: *Scanner resolution and noise influence on texture parameters of magnetic resonance phantom images*, Miedzynarodowa Konferencja Komputery w Medycynie 1999, Łódź, wrzesień 1999, referat przyjęty do publikacji.
- [6] A. Materka, M. Strzelecki, *Texture analysis methods – a review*, raport COST B11, Bruksela, czerwiec 1998 (33 strony).
- [7] A. Materka, M. Strzelecki, *Komputerowe metody analizy obrazów biomedycznych*, w materiałach Światowego Kongresu „Zastosowanie Osiągnięć Technologii i Nauki w Medycynie”, 7-9 wrzesień 1999, Łódź.