

MICHAŁ STRZELECKI  
ANDRZEJ MATERKA

## EUROPEJSKI PROGRAM COST B11 “ILOŚCIOWA ANALIZA TEKSTUR OBRAZÓW TOMOGRAFICZNYCH REZONANSU MAGNETYCZNEGO”

*Streszczenie:* Praca stanowi prezentację europejskiego programu badawczego COST B11 realizowanego z udziałem Instytutu Elektroniki PŁ. Celem tego programu jest opracowanie nowych ilościowych metod analizy tekstur obrazów pochodzących z tomografów rezonansu magnetycznego (MRI). Liczba zainstalowanych tomografów MRI rośnie bardzo szybko, nie tylko w świecie, ale również w Polsce. Zatem opracowanie nowych metod analizy obrazów MRI jest niezwykle ważne, gdyż przyczyni się do wspomagania procesu diagnozowania medycznego poprzez jego automatyzację oraz obiektywizację. W pracy opisano zadania, jakie ma do zrealizowania strona polska oraz aktualny stan realizacji tych zadań.

### 1. WSTĘP

Projekt COST B11 został rozpoczęty w maju 1998 r. Koniec projektu planowany jest w roku 2002. Jest w nim zaangażowanych 16 uniwersytetów i ośrodków badawczych z krajów Unii Europejskiej oraz Polski i Czech. W 1999 r do projektu przystąpił również Swiss Federal Institute of Technology ze Szwajcarii.

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 Szczypiński.

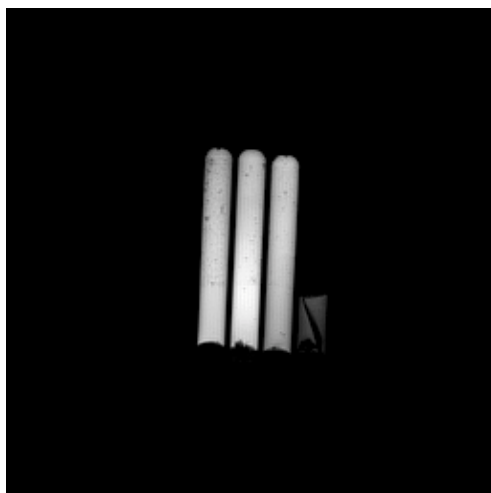
Głównym celem projektu jest opracowanie ilościowych metod analizy tekstury obrazów pochodzących z tomografów rezonansu magnetycznego. Opracowanie takich metod pozwoliłoby na wspomaganie automatycznego procesu diagnozowania. W ciągu ostatnich lat obserwuje się ogromny wzrost liczby działających w świecie 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; podczas badania pacjent nie jest narażony na działanie promieni rentgenowskich, które są wykorzystywane w tradycyjnych tomografach. 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 zapewni powtarzalność i obiektywizację procesu diagnozy medycznej. Spotkania uczestników projektu odbywają się dwa razy do roku. Podczas nich odbywają się posiedzenia Management Committee, poświęcone omawianiu bieżących spraw dotyczących organizacji projektu oraz obrady grup roboczych gdzie omawia się sprawozdania z wykonanych dotychczas prac i planuje dalsze badania. Dotychczas głównymi zadaniami postawionymi przed polskimi uczestnikami projektu było opracowanie metod analizy tekstur obrazów MRI fantomów (obrazów sztucznych obiektów wykorzystywanych do opracowania metod standaryzacji wyników badań uzyskanych z różnych tomografów) oraz specjalizowanego oprogramowania przeznaczonego do ekstrakcji cech obrazów MRI. Kolejne rozdziały pracy służą krótkiej prezentacji realizowanych zadań.

## **2. WYKORZYSTYWANE MATERIAŁY BADAWCZE**

Początkowe prace prowadzone w ramach projektu dotyczą analizy sztucznych obrazów tomograficznych (obrazów 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. Ponadto badany jest wpływ zniekształceń, rozdzielczości przestrzennej oraz grubości próbek na analizowane obrazy.

Fantomy do badań porównawczych zostały wykonane w Oddziale Fizyki Medycznej, University of Dundee, Szkocja, postaci czterech szklanych tub, pokazanych na rys. 1. Trzy z nich zawierały piany o różnej strukturze wewnętrznej, zaś czwarta szklane kulki. Piany w tubach zostały wypełnione specjalnym żelem charakteryzującym się stosunkowo dużą wartością czasu relaksacji dla sekwencji T2 [2]. Wykonano szereg zdjęć fantomów wykorzystując tomograf Siemens Magnetom 1.5T w Niemieckim Centrum Badania Raka (NCBR) w Heidelbergu. Otrzymane obrazy przedstawiają przekroje przez wypełnione pianami tuby dla dwóch powiększeń: 100mm x 100mm oraz 200mm x 200mm przy zachowaniu jednakowej rozdzielczości obrazu wynoszącej 256x256 pikseli. Zdjęcia wykonano dla 5 przekrojów o różnych położeniach wzdłuż tuby. Uwzględniono dwie grubości przekroju: 2mm oraz 4mm. W rezultacie otrzymano cztery różne klasy tekstur odpowiadające czterem rodzajom fantomów. Każda klasa zawierała po pięć próbek. Przykładowe obrazy tych tekstur pokazano na rys. 2.



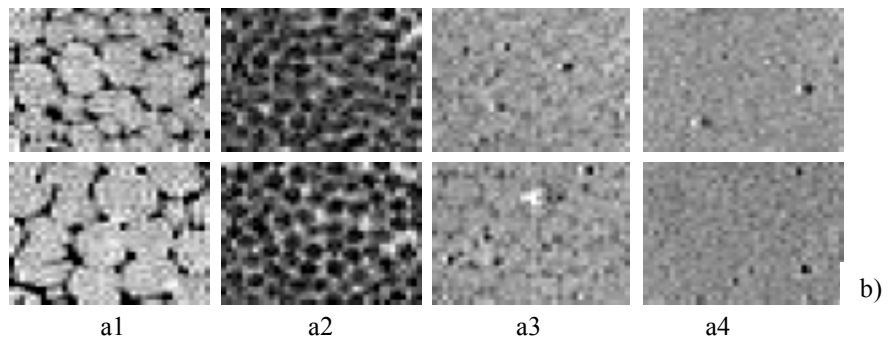
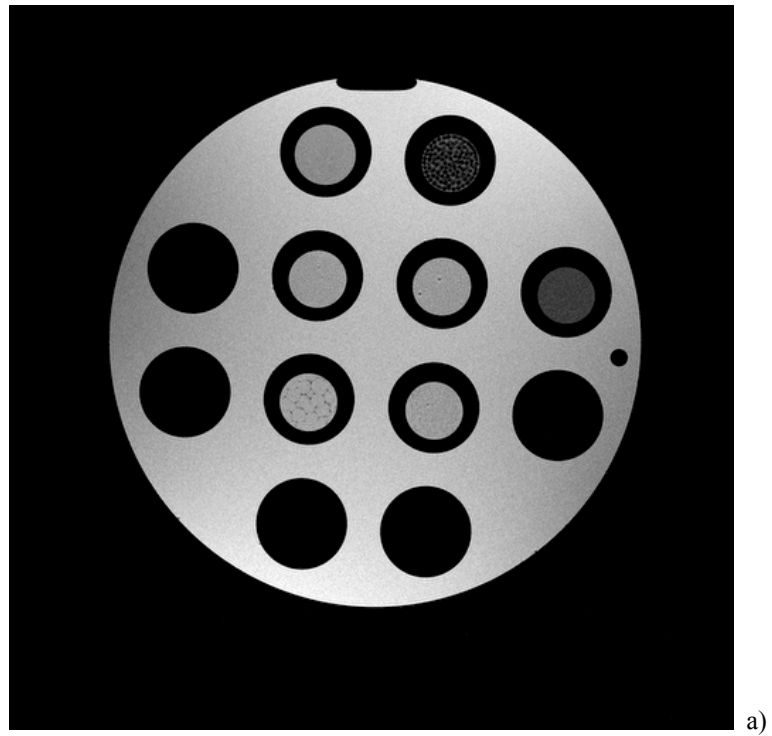
Rys. 1. Obraz MRI fantomów wykorzystywanych do badań

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. Obrazy te, o wymiarach 175x175 pikseli, pokazano na rys. 3.

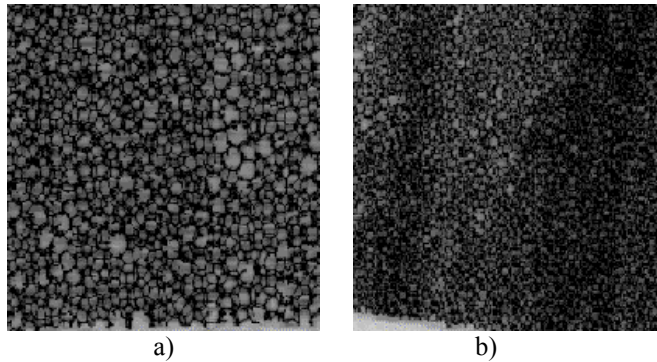
Obecnie trwające prace mają na celu określenie zestawu cech obrazu najlepiej różnicujących analizowaną klasę tekstur. Jako zestaw cech bada się parametry statystyczne obliczone za pomocą programu MaZda, opisanego w rozdziale 3 oraz cechy otrzymane na podstawie modelu autoregresji [1]. Wstępne wyniki analiz opublikowano w [3, 4].

### 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, gdzie dokonano niezbędnych ustaleń z niemieckimi partnerami. Nazwa programu MaZda jest skrótem słów „macierz zdarzeń”. Autorem tekstu źródłowego programu jest mgr Piotr Szczypiński. Program został napisany w języku C++ z wykorzystaniem kompilatora firmy Borland 5.0 i przeznaczony jest do pracy w środowisku Windows 9x/NT. Główne okno programu MaZda pokazano na rys. 4. Zawiera ono obszar w którym wyświetlany jest analizowany obraz, okno przeznaczone na wyświetlanie wyników oraz szereg klawiszy funkcyjnych służących do sterowania pracą programu.



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



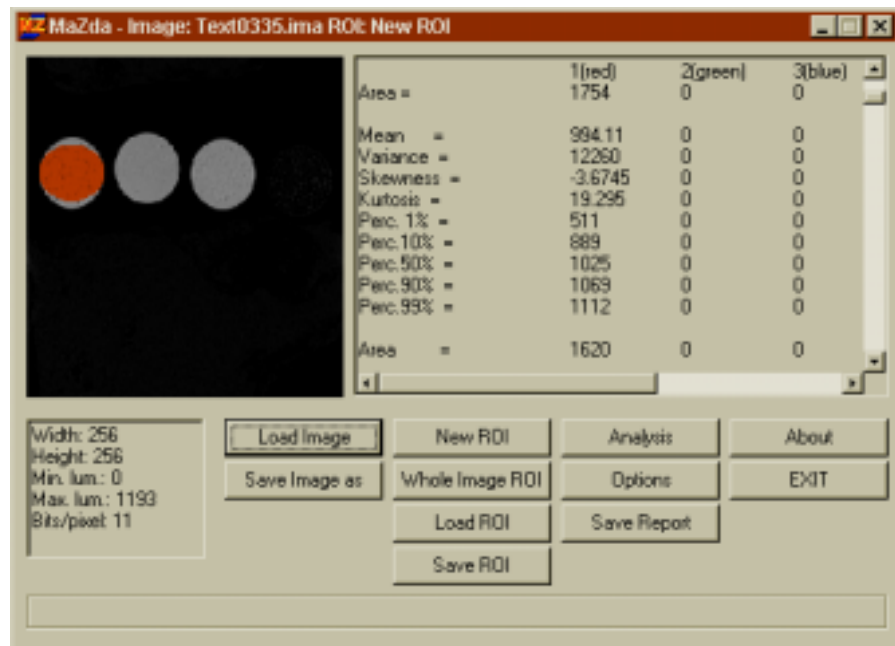
Rys. 3 Optyczne obrazy uzyskane dla rzeczywistych pian:  
a) piana o dużej porowatości, b) piana o średniej porowatości

Program MaZda umożliwia wykonywanie następujących operacji:

- wczytywanie obrazów MRI zapisanych w standardach typowych dla różnych tomografów MRI, takich firm jak np. Siemens, Picker, Bruker. Przy tworzeniu tych procedur odczytu wykorzystano fragmenty udostępnionego kodu źródłowego programu NMRWin, służącego do przeglądania i wstępnej analizy obrazów MRI opracowanego w NCBR. Ponadto program MaZda umożliwia wczytywanie i zapis plików w standardzie Windows Bitmap oraz plików zawierających tylko dane (format \*.raw),
- zaznaczenie fragmentów, które mają podlegać przetwarzaniu (ang. *region of interest* – ROI). (Do generacji ROI wykorzystywany jest program Paintbrush, stanowiący część środowiska Windows. Na pojedynczym obrazie można zaznaczyć 6 niezależnych ROI.),
- analiza obrazu polegająca na wyznaczeniu wartości szeregu cech tekstury zawartej w zdefiniowanym wcześniej ROI,
- wyświetlanie wyników analizy w jednym z okien programu, ponadto wyniki te mogą być zapisane do pliku tekstowego.

Liczba wartości cech wyznaczanych przez program MaZda stale rośnie. Nowe cechy są dodawane stosownie do zgłaszanych sugestii uczestników programu COST B11. W obecnej wersji program dokonuje wyliczenia następujących rodzajów cech (łącznie 254 cechy):

- parametry wyznaczone na podstawie histogramu obrazu (m. in. wartość średnia, odchylenie standardowe, kurtoza);



Rys. 4 Główne okno programu MaZda

- parametry wyznaczone na podstawie macierzy gradientu,
- parametry wyznaczone na podstawie macierzy *Run Length*,
- parametry wyznaczone na podstawie macierzy zdarzeń, dla czterech kierunków i pięciu wielkości sąsiedztwa.

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

Rodzaj cech, których wartości mają być wyznaczone można wybrać za pomocą wyświetlanych „przycisków” w okienku „Options” programu. Opcjonalna jest również liczba poziomów jasności uwzględniana w analizowanych ROI określana poprzez liczbę bitów wykorzystanych do kodowania obrazu. W zależności od rodzaju cech może ona przybierać wartości od 4 do 8 lub od 4 do 12 bitów.

Dodatkowo program umożliwia trzy sposoby normalizacji obrazu:

- 1) brak normalizacji, obraz przetwarzany jest bez żadnych zmian;

- 2) wyznaczana jest wartość średnia  $\mu$  i odchylenie standardowe  $\sigma$  analizowanego obrazu, następnie do dalszego przetwarzania brane są pod uwagę poziomy jasności z przedziału  $[\mu-3\sigma, \mu+3\sigma]$ ;
- 3) wyznacza się zakres jasności z przedziału 1%-99% wartości skumulowanego histogramu analizowanego obrazu.

Jedną z opcji programu jest rysowanie histogramu obrazu dla każdego ROI oddzielnie.

Program MaZda stał się oficjalnym narzędziem analizy obrazów MRI wykorzystywanym w programie COST B11. Podlega on ciągłemu rozwojowi w odpowiedzi na postulaty partnerów programu. Rozwój programu 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. Obecna wersja programu umożliwia wyświetlanie obrazu gradientu wyznaczonego dla badanej tekstury.

Dostępna w 1999r 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/>.

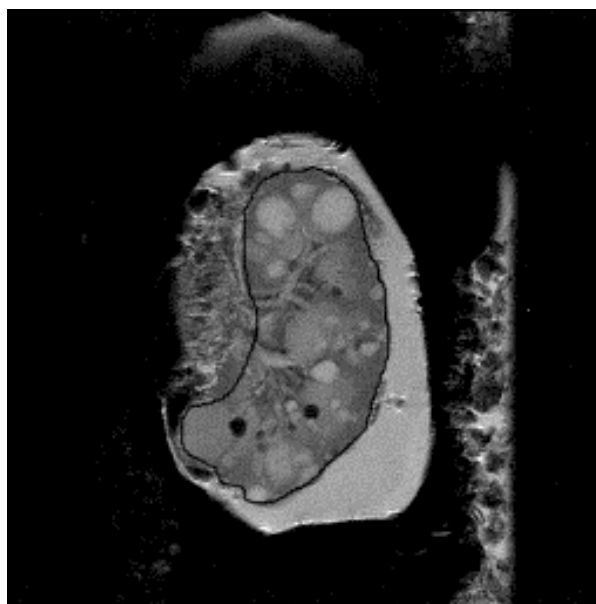
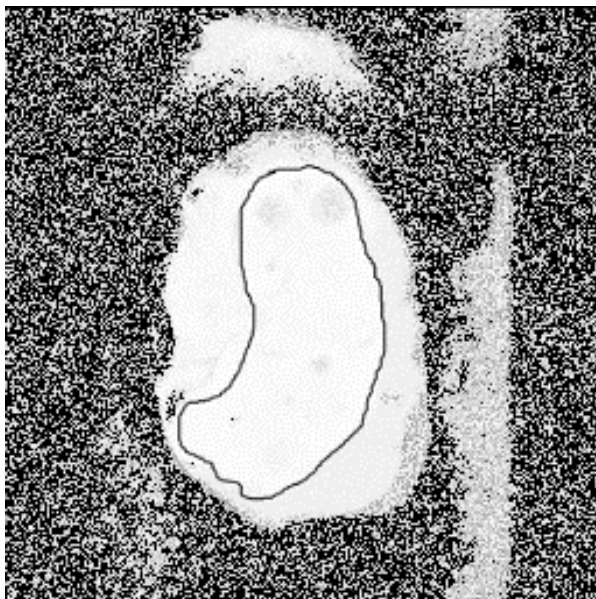
#### **4. INNE ZADANIA REALIZOWANE W RAMACH PROGRAMU COST B11**

Oprócz prac dotyczących badania obrazu fantomów oraz rozwoju oprogramowania do analizy zdjęć MRI prowadzi się również prace mające na celu analizę obrazów nerek. Badania te prowadzone są we współpracy z Institute of Clinical and Experimental Research z Pragi, Czechy. Instytut ten zajmuje się m.in. wykonywaniem przeszczepów nerek. Celem badań jest określenie, czy zmiany zachodzące w przechowywanych do przeszczepu nerkach mają odwzorowanie w ich obrazach MRI. Problem ten ma duże znaczenie, bowiem dopuszczalny czas przechowywania nerek jest stosunkowo krótki, a zmiany jakie podczas niego zachodzą mogą zadecydować o nieudanym wyniku operacji przeszczepu. Przykładowe obrazy nerek, które poddawane będą analizie pokazano na rys. 5.

#### **5. ZAKOŃCZENIE**

Do najważniejszych osiągnięć dokonanych w tym czasie przez stronę polską można zaliczyć:

- opracowanie raportu [5] rozprowadzonego wśród uczestników programu COST;
- udział w 3 spotkaniach Management Committee oraz grup roboczych, w Brukseli i Glasgow, podczas których wygłoszono trzy referaty;



*Rys. 5. Przykładowe obrazy MRI nerek.*



- opracowanie programu MaZda do analizy zdjęć MRI, który został oficjalnym narzędziem badawczym w ramach programu COST;
- 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. W wizycie tej brali udział prof. A. Materka, dr M. Strzelecki oraz mgr P. Szczypiński. Celem drugiego wyjazdu do szpitala uniwersyteckiego w Aarhus, Dania (prof. A. Materka, mgr P. Makowski) 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 program COST B11 zajmuje się niezwykle ważną i aktualną problematyką badawczą. Coraz szersze zastosowanie tomografów MRI jest związane z rewolucyjnymi możliwościami obrazowania wewnętrznych narządów i tkanek człowieka. Dlatego niezwykle celowe i potrzebne jest rozwijanie metod analizy obrazów MRI ze względu na ich bardzo dużą przydatność we wspomaganiu procesu diagnozowania stanu zdrowia człowieka.

#### LITERATURA

- [1] Y. Hu and T. Dennis, *Textured Image Segmentation by Context Enhanced Clustering*, IEE Proc. Visual Image and Signal Processing, **141**, 6 (1994) 413-421.
- [2] 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.
- [3] 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, referat przyjęty do publikacji.
- [4] A Materka, M Strzelecki, R Lerski, L Schad: *Scanner resolution and noise influence on texture parameters of magnetic resonance phantom images*, Międzynarodowa Konferencja Komputery w Medycynie 1999, Łódź, wrzesień 1999, referat przyjęty do publikacji.
- [5] A. Materka, M. Strzelecki, *Texture analysis methods – a review*, raport COST B11, Bruksela, czerwiec 1998 (33 strony).

**Michał Strzelecki** – notka biograficzna zamieszczona w Zeszytach Naukowych ELEKTRONIKA nr 3



**Andrzej Materka** urodził się w 1949 r. w Łęczycy. W 1972 r. ukończył studia magisterskie na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej w zakresie radioelektroniki (telewizji). Stopień doktora nauk technicznych (komputerowe modelowanie przyrządów półprzewodnikowych) uzyskał z wyróżnieniem na Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej, a stopień doktora habilitowanego w dziedzinie elektroniki (mikrofalowe układy elektroniczne) na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, odpowiednio w r. 1979 i 1985. W 1996 r. otrzymał tytuł profesora nauk technicznych nadany przez prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej. W latach 1972-1974 pracował jako inżynier w P. P. Stacje Radiowe i Telewizyjne w Łodzi. Od 1974 r. jest zatrudniony w Instytucie Elektroniki Politechniki Łódzkiej. Jego zainteresowania naukowe obejmują testowanie układów analogowych; modelowanie przyrządów półprzewodnikowych; mikrofalowe układy elektroniczne; elektronikę medyczną; cyfrowe przetwarzanie sygnałów i obrazów; teorię, zastosowania i realizację fizyczną sztucznych sieci neuronowych; analizę i syntezę sygnału mowy. W latach 1980-1982 pracował w Laboratorium Mikrofal Shizuoka University w Hamamatsu jako pracownik naukowo-badawczy, stypendysta Rządu Japonii. W 1991-1994 był zatrudniony jako *senior lecturer* w Monash University w Melbourne, Australia, gdzie wykładał elektronikę analogową oraz cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Od 1995 roku prof. Materka jest dyrektorem Instytutu Elektroniki Politechniki Łódzkiej. Od 1985 r. pełni funkcję kierownika Zespołu, a obecnie Zakładu Elektroniki Medycznej. Opublikował ponad 120 artykułów, referatów i monografii naukowych. Jest członkiem IEEE (USA) w stopniu *senior member*, członkiem-założycielem Towarzystwa Przetwarzania Obrazu oraz Towarzystwa Sieci Neuronowych, członkiem Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej oraz Towarzystwa Informatyki Medycznej.

## EUROPEAN PROJECT COST B11 “QUANTITATION OF MAGNETIC RESONANCE IMAGE TEXTURE”

**Abstract:** *The paper is devoted to describing COST B11 European Community project, related to development of quantitative methods of texture analysis of magnetic resonance images. It is scheduled for the years 1998-2002. The aim of this project is to develop methods, which allow to discriminate different kinds of tissues in MR images. This will provide more objective and repeatable medical diagnosis. This paper describes tasks assigned to Polish participants of the project.*

*During current stage of performed investigation, phantom images are used for analysis. They are in the form of glass tubes filled with different-porosity reticulated foam. A series of magnetic resonance images of the phantoms were recorded using a Siemens Magnetom 1.5-Tesla MRI scanner. The images represent cross-sections of the foam-filled tubes, taken at different field of view, constant number of image pixels, different values of slice thickness. Also, the optical images of foam material were used for the investigation. The objective of phantom image analysis is to provide methods for standardisation of researches made on different MRI machines. The preliminary analysis results of test images are presented in [3, 4].*

*One of the tasks assigned to the Polish group was to create a specialised software used for MRI texture feature calculation. The computer program called MaZda was developed to satisfy this requirement. This program calculates a set of statistical parameters (derived from first-order histogram, gradient matrix, Run Length matrix and co-occurrence matrix). Different MRI image file standards are supported by the program. This software is still under development, accordingly to requirements of project participants. The detailed information about MaZda program along with its executable code can be found at Internet address: <http://phase.pki.uib.no/~costb11/>.*

**Michał Strzelecki, Andrzej Materka**

Institute of Electronics, Technical University of Łódź,

18 Stefanowskiego, 90-924 Łódź, Poland

tel. (48)(42)6312631, (48)(42)6312626, e-mail: [mstrzel][materka]@ck-sg.p.lodz.pl