



P o l i t e c h n i k a ł ó d z k a  
**Instytut Elektroniki**

**RAPORT Z PIERWSZEGO ETAPU  
REALIZACJI PROJEKTU POLONIUM**

**3541/R01**

**Analiza tekstury obrazów rezonansu magnetycznego dla  
celów kontroli jakości sera**

dr Michał Strzelecki

**realizatorzy:**



dr Michał Strzelecki  
prof. dr hab. Andrzej Materka  
Instytut Elektroniki  
Politechnika Łódzka  
ul. Stefanowskiego 18  
90-924 Łódź



Guyline Collewet  
François Mariette, PhD  
Cemagref  
Division TERE  
17 avenue de Cucillé  
35044 Rennes Cédex

## Cel badań

Celem projektu jest opracowanie nowych metod analizy obrazów, przydatnych do nieinwazyjnego badania jakości produktów spożywczych, ze szczególnym uwzględnieniem metod analizy tekstury obrazów rezonansu magnetycznego (MRI). W szczególności w pierwszej części projektu badano, czy parametry tekstury obrazu serów miękkich odwzorowują proces dojrzewania tych serów. Projekt realizowany jest wspólnie z Research Unit on Agro Industry Equipment, Cemagref, instytucją prowadzącą badania z zakresu rolnictwa i inżynierii żywności.

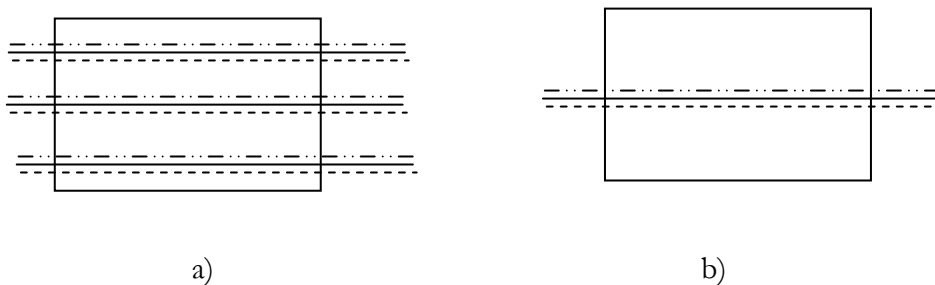
## Materiały

Strona francuska dokonała akwizycji obrazów badanych serów miękkich za pomocą tomografu rezonansu magnetycznego Siemens 1.5T. Akwizycji dokonano dla następujących protokołów MRI:

1. Proton density weighted spinecho sequence (PDW)
2. T2 density weighted spinecho sequence (T2W)
3. T1 density weighted spinecho sequence (T1W)
4. FLASH
5. T2 cartography

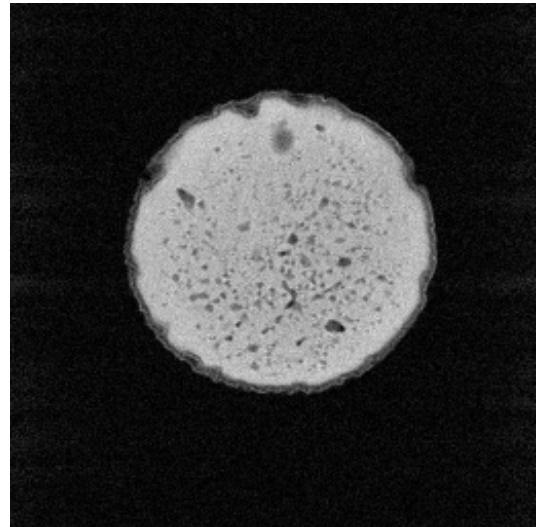
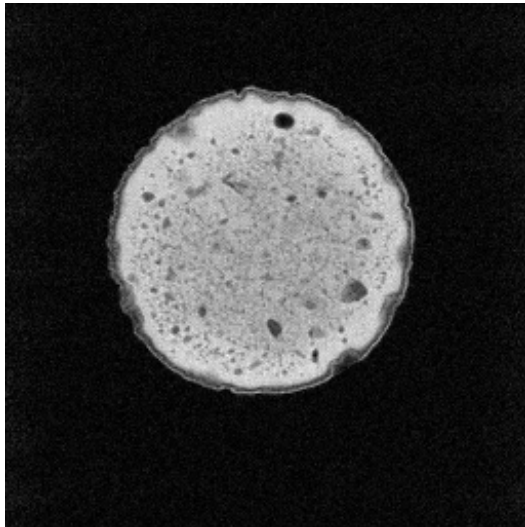
Zarejestrowano obrazy przekrojów poprzecznych 2 serów niedojrzałych, a następnie obrazy tych samych serów po okresie dojrzewania, oraz dodatkowo dla 8 innych serów dojrzałych.

W przypadku protokołów 1-4, dla każdego sera zarejestrowano 9 obrazów, po trzy dla pozycji górnej, środkowej oraz dolnej (rys. 1a). Dla protokołu 5 zarejestrowano trzy obrazy dla pozycji środkowej (rys. 1b). Dla każdej pozycji, obrazy były rejestrowane dla różnych położenia przekroju poprzecznego.

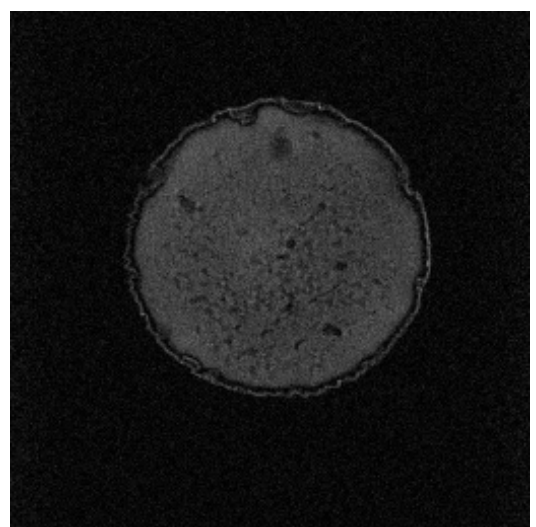
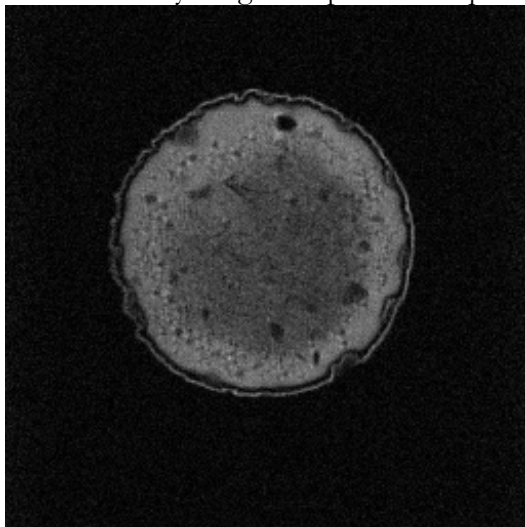


Rys. 1. Rejestrowane przekroje poprzeczne serów a) dla protokołów 1-4, b) dla protokołu 5.

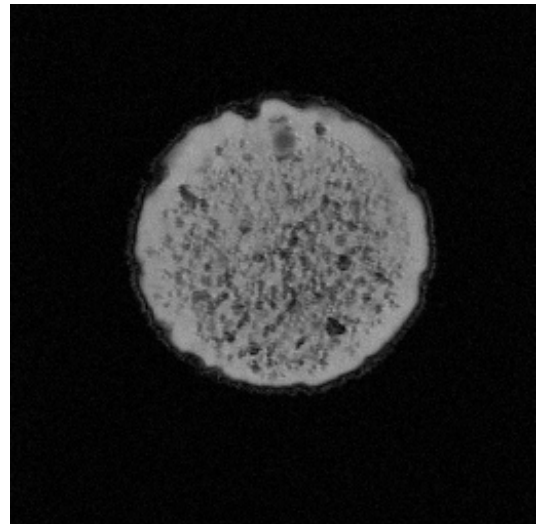
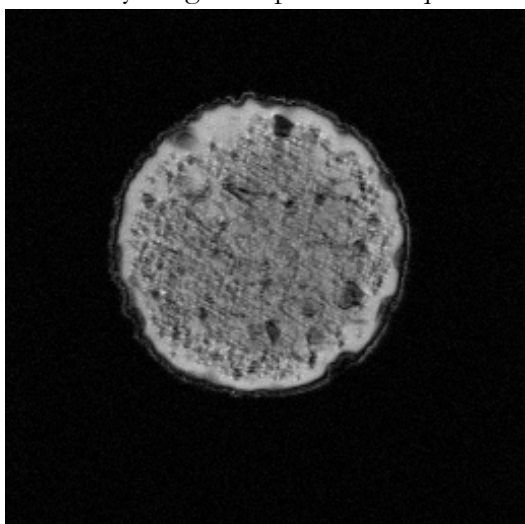
Przykładowe zarejestrowane obrazy pokazano na rys. 2. Obrazy zarejestrowano w formacie tomografu MRI Siemens \*.ima, następnie przekonwertowano do formatu RAW. Obrazy zarejestrowane dla protokołów 1-4 miały wymiary 256×256 punktów, 12 bitów zaś dla protokołu 5 - 128×128 punktów, 12 bitów.



Proton density weighted spin echo sequence



T2 density weighted spin echo sequence



Gradient echo sequence

a)

b)

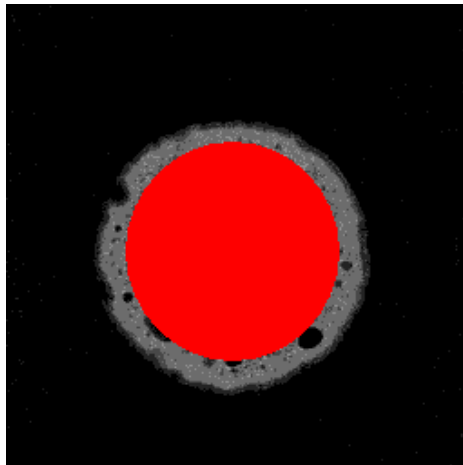
Rys. 2 Przykładowe obrazy MRI przekroju tego samego sera dla różnych protokołów a) ser niedojrzały b) ser dojrzały

## Metody

Do analizy obrazów wykorzystano metody analizy tekstur [1,2], przyjmując że parametry tekstury obrazu sera zmieniają się w trakcie procesu jego dojrzewania. Do wyznaczenia parametrów tekstury, ich selekcji oraz klasyfikacji wykorzystano programy komputerowe opracowane w Instytucie Elektroniki PŁ. Programy te, MaZda, Convert oraz b11 zostały opracowane w ramach europejskiego programu COST B11 [3,4].

Program **MaZda** umożliwia wykonywanie następujących operacji:

- wczytywanie obrazów MRI zapisanych w standardach typowych dla różnych tomografów MRI, takich firm jak np. Siemens, Picker, Bruker. Ponadto program MaZda umożliwia wczytywanie i zapis plików w standardzie Windows Bitmap oraz plików zawierających tylko dane o jasności obrazu zapisane w słowach ośmio lub szesnastobitowych (format \*.raw)
- zaznaczenie fragmentów, które mają podlegać przetwarzaniu (ang. region of interest - ROI). Na pojedynczym obrazie można zaznaczyć 6 niezależnych ROI. Przykładowy ROI dla obrazu MRI sera pokazano na rys. 3.
- analiza obrazu polegająca na wyznaczeniu wartości szeregu cech tekstury zawartej w zdefiniowanym wcześniej ROI
- wyświetlanie wyników analizy w jednym z okien programu; wyniki te mogą być zapisane do pliku tekstowego.



Rys. 3 Przykładowy ROI dla obrazu sera

W obecnej wersji program dokonuje wyliczenia następujących rodzajów cech (łącznie 296 cech):

- parametry wyznaczone na podstawie histogramu obrazu (m. in. wartość średnia, odchylenie standardowe, kurtoza)
- 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
- parametry modelu autoregresji dopasowanego do ROI
- parametry wyznaczone na podstawie transformacji falkowej

Dokładne definicje cech można znaleźć w podręczniku użytkownika [4].

Głównym zadaniem programu **Convert** jest selekcja i redukcja parametrów wygenerowanych przez program MaZda. Ponadto Convert umożliwia konwersję plików ze standardu generowanego przez program MaZda do formatu wymaganego przez b11. Dzięki tej opcji, pliki z parametrami tekstur mogą być przetwarzane przez program b11. Program może czytać pojedyncze pliki lub ich sekwencje, przy zachowaniu odpowiednich wymogów co do ich nazwy. Po wczytaniu danych można utworzyć plik wynikowy w formacie wymaganym przez b11 lub dopisać dane do jednego z utworzonych wcześniej plików.

W chwili obecnej Convert umożliwia operatorowi wybór parametrów za pomocą okna dialogowego oraz automatyczny wybór 10 parametrów z użyciem:

- współczynnika Fishera
- metody minimalizacji prawdopodobieństwa błędu klasyfikacji oraz uśrednionego współczynnika korelacji (POE+ACC)
- metody opartej na wielowymiarowej mierze dyskryminacyjnej

Program **b11** realizuje dwa główne zadania:

- wizualizację i wstępne przetwarzanie
- klasyfikację danych

Program pozwala na przekształcenie danych wejściowych do innej przestrzeni cech, często o mniejszym wymiarze w porównaniu z przestrzenią wejściową. Program umożliwia graficzną prezentację cech wejściowych przed i po przekształceniu. Zaimplementowano w nim następujące metody wstępnego przetwarzania danych:

- analiza składowych głównych (ang. *Principal Component Analysis*),
- liniowa analiza dyskryminacyjna (ang. *Linear Discriminant Analysis*),
- nieliniowa analiza dyskryminacyjna (ang. *Non-linear Discriminant Analysis*).

Do celów klasyfikacji danych wykorzystano następujące rodzaje klasyfikatorów:

- najbliższego sąsiedztwa (1-NN),
- nieliniowy klasyfikator wykorzystujący sztuczną sieć neuronową

Analiza obrazów MRI serów z wykorzystaniem opisanych programów przebiegała następująco:

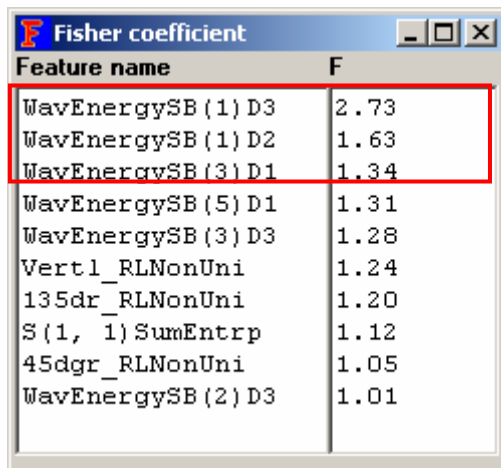
1. Wyznaczenie dla analizowanych tekstur zestawu parametrów za pomocą programu MaZda;
2. Wybór parametrów najlepiej charakteryzujących analizowane tekstury (o największej zdolności dyskryminacyjnej) z wykorzystaniem programu Convert;
3. Wizualizacja i klasyfikacja parametrów z wykorzystaniem klasyfikatora najbliższego sąsiedztwa 1-NN (program b11).

## Rezultaty

Pierwszy problem polegał na zbadaniu, czy na podstawie parametrów tekstury można odróżnić sery niedojrzałe i dojrzałe. Badania przeprowadzono dla obrazów zarejestrowanych dla protokołów 1-4. Do analizy wykorzystano po 3 obrazy dla każdego sera (z pozycji środkowej, pozycje dolna i górna dla serów dojrzałych zawierały brzegowe wysuszone fragmenty, które różniły się od obszarów wewnętrznych, dlatego ich obrazy zostały pominięte). Mając do dyspozycji dwa sery niedojrzałe oraz te same sery po pewnym czasie, w każdej klasie było po 6 próbek. Poniżej przedstawiono wyniki badania dla wybranych protokołów akwizycji:

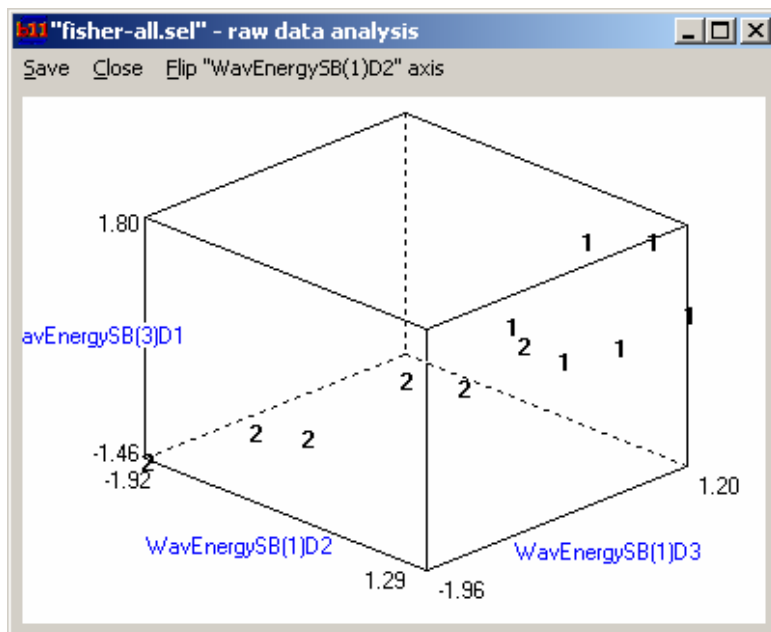
## Gradient echo sequence

10 najlepszych parametrów ze względu na minimalizację błędu klasyfikacji określonych na podstawie kryterium Fishera:

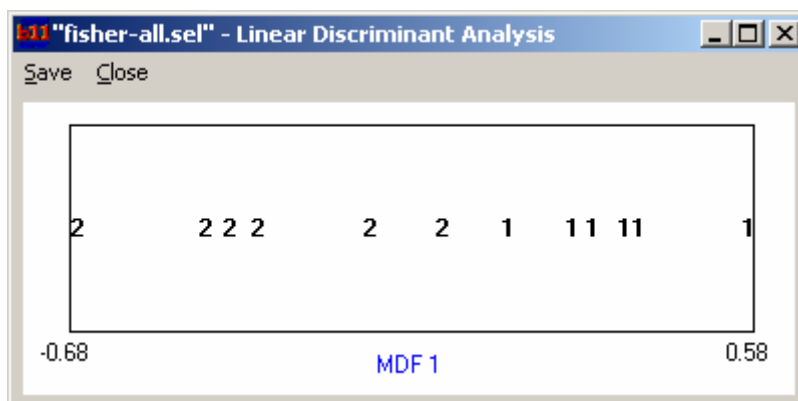


Feature name	F
WavEnergySB (1) D3	2.73
WavEnergySB (1) D2	1.63
WavEnergySB (3) D1	1.34
WavEnergySB (5) D1	1.31
WavEnergySB (3) D3	1.28
Vert1_RLNonUni	1.24
135dr_RLNonUni	1.20
S (1, 1) SumEntrp	1.12
45dgr_RLNonUni	1.05
WavEnergySB (2) D3	1.01

Rozkład wartości trzech najlepszych cech, wystarczających do uzyskania zerowego błędu klasyfikacji (zaznaczonych czerwoną ramką)



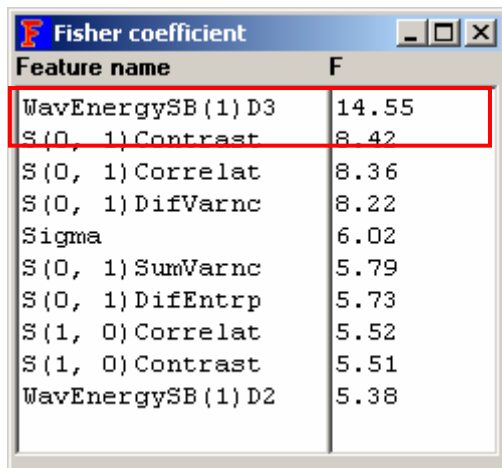
Wynik analizy LDA dla tych cech:



W obydwu przypadkach błąd klasyfikacji z wykorzystaniem klasyfikatora 1-NN wyniósł zero.

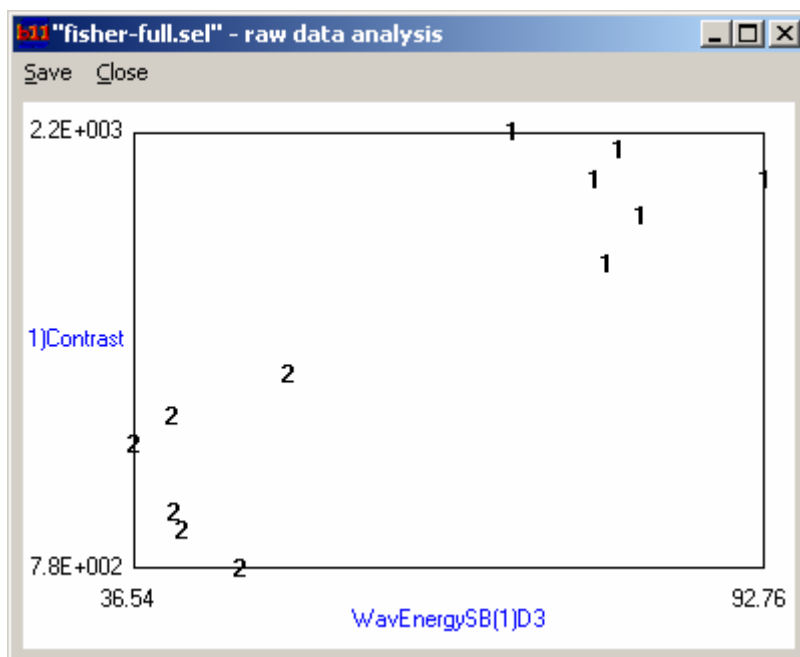
## T2 density weighted spinecho sequence

10 najlepszych parametrów ze względu na minimalizację błędu klasyfikacji określonych na podstawie kryterium Fishera:



Feature name	F
WavEnergySB (1) D3	14.55
S (0, 1) Contrast	8.42
S (0, 1) Correlat	8.36
S (0, 1) DifVarnc	8.22
Sigma	6.02
S (0, 1) SumVarnc	5.79
S (0, 1) DifEntrp	5.73
S (1, 0) Correlat	5.52
S (1, 0) Contrast	5.51
WavEnergySB (1) D2	5.38

Rozkład wartości dwóch najlepszych cech (zaznaczonych czerwoną ramką). W tym przypadku do uzyskania zerowego błędu klasyfikacji wystarczyłaby jedna dowolna z tych dwóch cech.



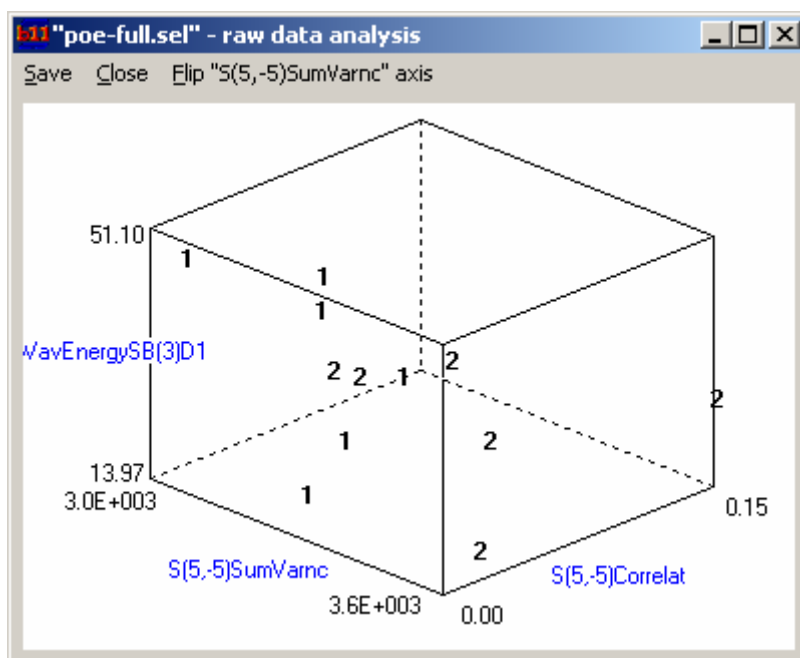
Błąd klasyfikacji z wykorzystaniem klasyfikatora 1-NN wyniósł zero.

## T1 density weighted spinecho sequence

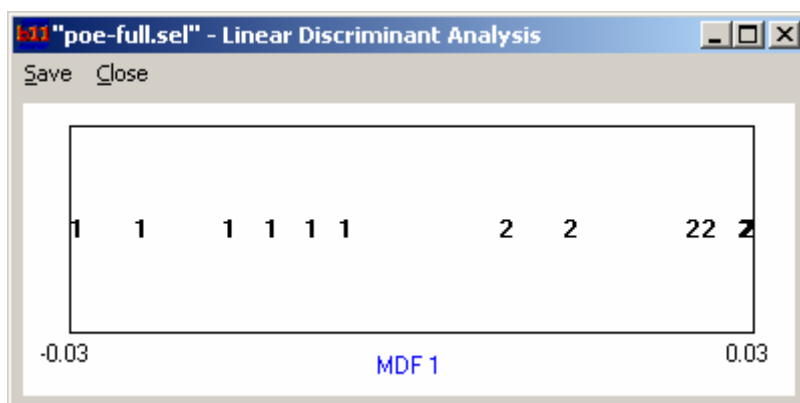
W tym przypadku, lepsze wyniki selekcji dała metoda minimalizacji prawdopodobieństwa błędu klasyfikacji oraz uśrednionego współczynnika korelacji (POE+ACC). 10 najlepszych parametrów określonych na podstawie tej metody pokazano w tabeli poniżej

Feature name	POE+ACC
S (5, -5) Correlat	0.13
S (5, -5) SumVarnc	0.17
WavEnergySB (3) D1	0.18
WavEnergySB (5) D1	0.21
S (1, 0) SumEntrp	0.26
WavEnergySB (4) D1	0.27
WavEnergySB (2) D2	0.26
S (5, 0) SumVarnc	0.25
S (0, 1) SumEntrp	0.28
Teta3	0.27

Rozkład wartości trzech najlepszych cech (trzy pierwsze cechy z tabeli)



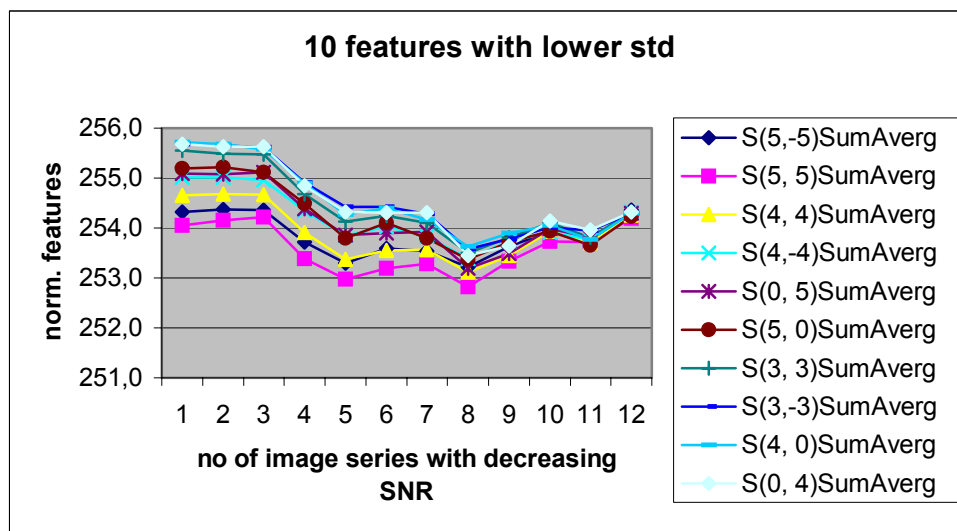
Wynik analizy LDA dla 7 najlepszych cech (zaznaczonych czerwoną ramką), wystarczających do uzyskania zerowego błędu klasyfikacji.



Błąd klasyfikacji z wykorzystaniem klasyfikatora 1-NN wyniósł zero.



Innym problem było zbadanie zachowania się stabilności wartości cech dla rosnącego stosunku sygnał/szum (SNR) dla obrazów. Do badania wykorzystano obrazy zarejestrowane za pomocą protokołu T2 cartography dla 8 dojrzałych serów, dla każdego analizowano 12 obrazów z malejącym SNR. Dla każdej wartości cechy wyznaczono jej wartość średnią dla 8 obrazów różnych serów, dla każdego z 12 różnych SNR, otrzymując dla każdej cechy wektor 12 średnich. Następnie obliczono odchylenia standardowe dla każdej cechy i wybrano 10 cech, dla których te odchylenia standardowe były najmniejsze. Rozkłady średnich wartości tych cech są pokazane na rys. 4.



Rys. 4. Rozkład znormalizowanych wartości średnich 10 cech o najmniejszym odchyleniu standardowym w funkcji malejącego SNR

## Wnioski

Z przeprowadzonych dotychczas badań wynika że:

- niezależnie od protokołu, na podstawie parametrów tekstury obrazów sera można rozróżnić sery niedojrzałe i dojrzałe;
- w zależności od protokołu, liczba cech niezbędnych do poprawnej klasyfikacji dwóch klas serów wynosi od dwóch do siedmiu;
- najlepsze rezultaty klasyfikacji zapewniają cechy wyznaczone na podstawie transformacji falkowej oraz macierzy zdarzeń;
- ze względu na małą liczbę obrazów przekrojów, badania należy powtórzyć dla większej liczby serów.

Z powyższego wynika konieczność wykonania dalszych akwizycji obrazów MRI przekrojów serów, niedojrzałych oraz po zakończeniu procesu dojrzewania. Należy stworzyć bazę danych obrazów MRI serów, która w przyszłości będzie się powiększać i będzie mogła być wykorzystana przez inne ośrodki badawcze.

## **Dotychczas odbyte i planowane spotkania**

### **18-21.04.2001, Cemagref, Rennes, Francja – dr M. Strzelecki**

Zapoznanie się z tomografem rezonansu magnetycznego Siemens 1.5T, ustalenie rodzaju rejestrowanych obrazów, protokołów akwizycji, formatów zapisu oraz rodzaju wykonywanych analiz.

### **03-07.10.2001, Instytut Elektroniki PŁ, Łódź – ing. Guylaine Collewet, dr François Mariette**

Przedstawienie i omówienie wyników analiz, zaplanowanie dalszych akwizycji obrazów serów oraz ich optymalnej analizy na podstawie uzyskanych wyników dotychczasowych analiz, plan dalszych prac.

### **Grudzień 2001, Cemagref, Rennes, Francja – dr M. Strzelecki**

Podsumowanie otrzymanych rezultatów, przygotowanie raportu końcowego, plan prac na drugi rok oraz publikacji.

## **Literatura**

- [1] 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.
- [2] A. Materka, M. Strzelecki, R. Lerski, L. Schad: *Toward Automatic Feature Selection of Texture Test Objects for Magnetic Resonance Imaging*, RECPAD 2000, 11th Portugese Conference on Pattern Recognition, May 2000, 11-16.
- [3] M. Strzelecki, A. Materka: *European Project Cost B11 "Quantitation Of Magnetic Resonance Image Texture"*, Zeszyty Naukowe 'Elektronika', vol. 4, 1999, 115-124.
- [4] <http://www.eletel.p.lodz.pl/costb11>