

POLSKA AKADEMIA NAUK

**BIOCYBERNETYKA  
I INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA 2000**

pod redakcją  
MACIEJA NAŁĘCZA

**TOM 8**

**OBRAZOWANIE  
BIOMEDYCZNE**

redaktorzy tomu

LESZEK CHMIELEWSKI, JULIUSZ LECH KULIKOWSKI,  
ANTONI NOWAKOWSKI



AKADEMICKA OFICyna WYDAWNICZA EXIT

# BIOCYBERNETYKA I INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA 2000

## KOMITET REDAKCYJNY MONOGRAFII

Redaktor: Maciej Nałęcz  
Z-ca redaktora: Władysław Torbicz  
Sekretarz: Ignacy Zawicki

---

## TOMY MONOGRAFII

1. BIOSYSTEMY
2. BIOPOMIARY
3. SZTUCZNE NARZĄDY
4. BIOMATERIAŁY
5. BIOMECHANIKA I INŻYNIERIA REHABILITACYJNA
6. SIECI NEURONOWE
7. SYSTEMY KOMPUTEROWE I TELEINFORMATYCZNE W SŁUŻBIE ZDROWIA
8. OBRAZOWANIE BIOMEDYCZNE
9. FIZYKA MEDYCZNA

KOMITET NAUKOWY MONOGRAFII STANOWIĄ  
CZŁONKOWIE KOMITETU BIOCYBERNETYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ PAN

R. Będziński, K. Cieślak-Blinowska, M. Dietrich, J. Doroszewski (*zastępca przewodniczącego*), L. Filipczyński, I. Hausmanowa-Petrusewicz, E. Kački, K. Kędzior, J. Kiwerski, J. L. Kulikowski, R. Maniewski, A. Morecki, M. Nałęcz (*przewodniczący*), A. Nowakowski, T. Orłowski, T. Pałko, G. Pawlicki, A. Piątkowski, W. Rosiński, W. Rudowski, L. Rutkowski, R. Tadeusiewicz, R. Tarnecki, W. Torbicz, E. Waniewski, A. Weryński (*zastępca przewodniczącego*), H. Wierzba, I. Zawicki (*sekretarz*), W. Zmysłowski

POLSKA AKADEMIA NAUK

Postaie

# **BIOCYBERNETYKA I INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA 2000**

pod redakcją  
**MACIEJA NAŁĘCZA**

**TOM 8**

# **OBRAZOWANIE BIOMEDYCZNE**

redaktorzy tomu

**LESZEK CHMIELEWSKI, JULIUSZ LECH KULIKOWSKI,  
ANTONI NOWAKOWSKI**



**AKADEMICKA OFICyna WYDAWNICZA EXIT  
WARSZAWA 2003**

© Copyright by Leszek Chmielewski, Juliusz Lech Kulikowski,  
Antoni Nowakowski, 2003

© Copyright „Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000” by Komitet  
Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN, 2003

© Copyright by EXIT, 2003

Wydanie monografii dofinansowane przez:

- Ministerstwo Nauki i Informatyzacji (Komitet Badań Naukowych)
- Towarzystwo Przetwarzania Obrazów
- Katedrę Elektroniki Medycznej i Ekologicznej Politechniki Gdańskiej
- Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN
- Zakład Metod Przetwarzania Informacji Biomedycznej  
Instytutu Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN

**Edytor monografii**

*Leonard Bolc*

**Redakcja techniczna i skład komputerowy**

*Urszula Kruś, Diana Wierzbicka*

**Projekt okładki**

*Jarosław Skowroński*

Wszystkie nazwy produktów są zastrzeżonymi nazwami handlowymi lub znakami towarowymi odpowiednich firm.

Powyższej książki w całości lub części nie wolno powielać ani przekazywać w żaden sposób, nawet za pomocą nośników mechanicznych i elektronicznych (np. zapis magnetyczny), w tym też umieszczać ani rozpowszechniać w postaci cyfrowej zarówno w Internecie, jak i w sieciach lokalnych, bez uzyskania pisemnej zgody firmy EXIT oraz autorów odpowiednich rozdziałów.

**Wydawca**

*EXIT, tel./fax (022) 823-70-45*

*sklep internetowy: <http://www.exit.pl>*

ISBN 83-87674-63-X

# Spis treści

<b>Część 1. Zagadnienia ogólne</b>	<b>1</b>
<b>1. Matematyczne podstawy obrazowania medycznego (Cudny W.)</b>	<b>3</b>
1.1 Obraz cyfrowy	3
1.2 Przetwarzanie obrazów	8
1.2.1 Przekształcenia punktowe	10
1.2.2 Przekształcenia kontekstowe	17
1.2.3 Przekształcenia globalne	24
1.3 Działania arytmetyczne na obrazach	32
1.4 Obrazy 3D	36
Bibliografia	42
<b>2. Podstawy komputerowej analizy obrazów (Kulikowski J. L., Strzelecki M.)</b>	<b>43</b>
2.1 Cele i kryteria oceny komputerowej analizy obrazów ( <i>Kulikowski J. L.</i> )	43
2.2 Podstawy widmowej analizy obrazów ( <i>Kulikowski J. L.</i> )	47
2.2.1 Dyskretna transformacja Fouriera	48
2.2.2 Dyskretna transformacja kosinusowa	53
2.2.3 Uogólniona transformacja Fouriera	55
2.2.4 Dwuwymiarowa transformacja Hadamarda	58
2.2.5 Dobór racjonalnego układu współrzędnych	59
2.3 Transformacje Radona i Hougha ( <i>Kulikowski J. L.</i> )	61
2.4 Metoda momentów ( <i>Kulikowski J. L.</i> )	66
2.5 Przekształcenia falkowe ( <i>Strzelecki M.</i> )	72
Bibliografia	81
<b>3. Rekonstrukcja i segmentacja obrazów w morfologii matematycznej (Nieniewski M.)</b>	<b>83</b>
3.1 Pojęcia podstawowe	83
3.2 Morfologiczna rekonstrukcja obrazów	91
3.2.1 Technika rekonstrukcji	91
3.2.2 Detekcja mikrozwapnień w mammogramach z zastosowaniem rekonstrukcji	100

3.3	Wododziałowa segmentacja obrazów . . . . .	105
3.3.1	Technika segmentacji . . . . .	105
3.3.2	Segmentacja przekroju rdzenia kręgowego . . . . .	112
	Bibliografia . . . . .	123
<b>4.</b>	<b>Nakładanie obrazów i integracja danych multimodalnych</b> <b>(Kościńska D., Chmielewski L.) . . . . .</b>	<b>127</b>
4.1	Wprowadzenie ( <i>Kościńska D.</i> ) . . . . .	127
4.2	Przegląd metod . . . . .	130
4.2.1	Kryteria klasyfikacji metod ( <i>Kościńska D., Chmielewski L.</i> ) . . . . .	130
4.2.2	Metody korzystające ze znaczników ( <i>Kościńska D.</i> )	133
4.2.3	Metody korzystające z cech geometrycznych ( <i>Kościńska D.</i> ) . . . . .	134
4.2.4	Metody korzystające z surowych danych ( <i>Kościń- ska D.</i> ) . . . . .	140
4.2.5	Miary jakości nałożenia danych ( <i>Chmielewski L.</i> )	145
4.2.5.1	Formalizacja problemu . . . . .	146
4.2.5.2	Metody rozwiązania . . . . .	147
4.3	Studium przypadków . . . . .	151
4.3.1	Integracja danych elektrofizjologicznych i rezonan- su magnetycznego ( <i>Kościńska D.</i> ) . . . . .	151
4.3.1.1	Motywacja . . . . .	151
4.3.1.2	Klasyfikacja i opis metody . . . . .	152
4.3.1.3	Przykład obliczeń . . . . .	152
4.3.1.4	Podsumowanie przypadku . . . . .	153
4.3.2	Nakładanie obrazów symulacyjnych i portalowych w kontroli jakości radioterapii ( <i>Chmielewski L.</i> )	154
4.3.2.1	Motywacja . . . . .	154
4.3.2.2	Klasyfikacja i opis metody . . . . .	155
4.3.2.3	Przykład obliczeń . . . . .	156
4.3.2.4	Podsumowanie przypadku . . . . .	158
4.4	Podsumowanie ( <i>Kościńska D., Chmielewski L.</i> ) . . . . .	159
	Bibliografia . . . . .	159
<b>5.</b>	<b>Parametry morfometryczne wykorzystywane w pomiarach</b> <b>biomedycznych</b> <b>(Zieliński K.) . . . . .</b>	<b>165</b>
5.1	Wprowadzenie . . . . .	165

5.2	Podstawowe parametry geometryczne pojedynczych obiektów (profilów) . . . . .	168
5.3	Geometryczne współczynniki kształtu pojedynczych obiektów: . . . . .	170
5.4	Parametry zbiorcze . . . . .	172
5.5	Sieczne, cięciwy i liczby przecięć . . . . .	173
5.6	Uśrednione parametry topologiczne (położenia) wszystkich obiektów w polu pomiarowym . . . . .	174
5.7	Parametry densytometryczne (stopni jasności) dla pojedynczych obiektów . . . . .	175
5.8	Parametry kolorymetryczne . . . . .	176
	Bibliografia . . . . .	177
<b>6.</b>	<b>Zastosowanie dynamiki symbolicznej i wskaźników topologicznych w analizie sygnałów i obrazów w medycynie</b>	
	(Klonowski W.) . . . . .	179
6.1	Wstęp . . . . .	179
6.2	Dynamika symboliczna w analizie sygnałów . . . . .	180
6.3	Zastosowanie entropii wzorców w analizie sygnałów i obrazów	183
6.4	Inne metody dynamiki symbolicznej w analizie sygnałów i obrazów . . . . .	188
6.5	Wnioski . . . . .	191
	Bibliografia . . . . .	192
<b>7.</b>	<b>Rozpoznawanie obrazów</b>	
	(Kulikowski J. L.) . . . . .	193
7.1	Podstawowe pojęcia rozpoznawania obrazów . . . . .	193
7.2	Rozpoznawanie podobieństwa do obrazów wzorcowych . . . . .	198
7.3	Rozpoznawanie statystyczne . . . . .	199
7.4	Rozpoznawanie podobieństwa do zbiorów uczących . . . . .	210
	7.4.1 Wstępny wybór zbioru cech służących do rozpoznawania obrazów . . . . .	211
	7.4.2 Rozpoznawanie oparte na regule <i>najbardziej podobnego obiektu (NPO)</i> . . . . .	213
	7.4.3 Redukcja zbioru cech . . . . .	215
	7.4.4 Rozszerzanie zbioru cech . . . . .	218
	7.4.5 Ocena porównawcza cech w przestrzeni prób uczących . . . . .	220
7.5	Strukturalna analiza obrazów . . . . .	223
	7.5.1 Sposoby definiowania i opisywania relacji . . . . .	227

7.5.2	Podstawy rozszerzonej algebry relacji . . . . .	230
7.5.3	Relacje parametryczne . . . . .	233
	Bibliografia . . . . .	236

## **Część 2. Systemy zobrazowań 239**

<b>8.</b>	<b>Rentgenowska tomografia komputerowa (Rumiński J.) . . . . .</b>	<b>241</b>
	Wprowadzenie . . . . .	241
8.1	Podstawy RTK - Rentgenowskiej Tomografii Komputerowej	241
8.1.1	Tomografia konwencjonalna [1] . . . . .	242
8.1.2	Konstrukcje aparatów RTK . . . . .	244
8.1.2.1	Komponenty tomografu komputerowego	244
8.2	Typy skanerów RTK . . . . .	246
8.2.1	Skanery I generacji . . . . .	247
8.2.2	Skanery II generacji . . . . .	247
8.2.3	Skanery III generacji . . . . .	248
8.2.4	Skanery IV generacji . . . . .	248
8.2.5	Ultraszybkie skanery RTK . . . . .	249
8.2.6	Tomografia spiralna . . . . .	250
8.2.7	Skanery z wykorzystaniem detektorów wielowarstwowych . . . . .	252
8.3	Parametry techniczne systemów RTK . . . . .	254
8.3.1	Typowe wartości parametrów technicznych skanerów RTK III generacji [6] . . . . .	257
8.4	Rekonstrukcje obrazów . . . . .	259
8.4.1	Idea rekonstrukcji w RTK . . . . .	259
8.4.1.1	Model matematyczny rekonstrukcji obrazów w RTK . . . . .	259
8.4.2	Metody algebraiczne (bezpośrednie) rekonstrukcji obrazów . . . . .	262
8.4.3	Metody iteracyjne rekonstrukcji obrazów . . . . .	266
8.4.4	Zastosowanie transformacji Fouriera w rekonstrukcjach obrazów RTK . . . . .	271
8.4.4.1	Transformacja Radona [3] . . . . .	273
8.4.4.2	Teoria przekroju Fouriera . . . . .	274
8.4.4.3	Filtrowany rzut wsteczny – projekcja wsteczna . . . . .	278
8.4.5	Układy wiązki promieni dla skanerów RTK . . . . .	282

8.4.6	Skanowanie spiralne w RTK . . . . .	284
8.4.7	Obrazowanie parametryczne w RTK . . . . .	287
8.5	Prezentacja obrazów (2D) i objętości (3D) . . . . .	290
8.6	Jakość obrazów w RTK . . . . .	296
8.6.1	Artefakty . . . . .	296
8.6.2	Procedury kontroli jakości . . . . .	298
8.6.3	Fantomy . . . . .	299
8.6.4	Parametry kontroli jakości . . . . .	301
8.6.5	Parametry badania . . . . .	303
	Bibliografia . . . . .	304

**9. Tomografia komputerowa i rezonans magnetyczny w badaniach czynnościowych ukrwienia tkankowego i przepływu w dużych naczyniach**

(Bogorodzki P., Wolak T., Orzechowski M., Piątkowska-Janko E.) . . . . .

		307
9.1	Wstęp . . . . .	307
9.2	Zarys podstaw fizycznych tomografii MRI . . . . .	308
9.2.1	Podstawy Magnetycznego Rezonansu Jądrowego (MR) . . . . .	308
9.2.2	Sekwencje pobudzające MR . . . . .	312
9.2.3	Szybkość obrazowania . . . . .	316
9.3	Właściwości układu spinów – opis za pomocą równań Blocha	317
9.3.1	Kontrast T1 w sekwencji spin-echo . . . . .	319
9.3.2	Analiza powstawania stanu ustalonego z wykorzystaniem przekształcenia $Z$ . . . . .	322
9.3.3	Kontrast w sekwencji SPGR typu FLASH . . . . .	327
9.4	Techniki specjalne MR - obrazowanie przepływów w sercu i dużych naczyniach . . . . .	328
9.4.1	Przepływ laminarny . . . . .	329
9.4.2	Wpływ przepływu na sygnał rezonansu magnetycznego . . . . .	330
9.4.3	Przesunięcie fazy . . . . .	330
9.4.4	Efekt przestrzennego rozmycia fazowego . . . . .	331
9.4.5	Efekt czasowy rozmycia fazowego . . . . .	333
9.4.6	Wzmocnienie przepływu (flow-related enhancement)	333
9.5	Techniki specjalne MR- obrazowanie ukrwienia tkankowego	334
9.5.1	Synteza obrazu czynnościowego metodą aproksymacyjną . . . . .	335

9.5.2	Synteza obrazu czynnościowego metodą korelacyjną . . . . .	338
9.5.3	Zastosowanie Map Opóźnień (MOP) do obrazowania udaru mózgu . . . . .	340
9.5.4	Badanie przydatności metody MOP do obrazowania udaru mózgu na przykładzie wywołwanego udaru w mózgu pawiana . . . . .	345
	Bibliografia . . . . .	346

**10. Podstawy technik segmentacji stosowanych w przetwarzaniu obrazów 3D naczyń krwionośnych**

	<b>(Orkisz M., Hernández-Hoyos M.)</b> . . . . .	351
10.1	Wprowadzenie . . . . .	351
10.1.1	Pojęcia podstawowe . . . . .	351
10.1.2	Zastosowania . . . . .	353
10.2	Podejście fotometryczne . . . . .	354
10.2.1	Progowanie . . . . .	354
10.2.2	Powiększanie regionów od zarodka . . . . .	357
10.3	Podejście geometryczne . . . . .	357
10.3.1	Modele geometryczne „niskiego poziomu” . . . . .	358
10.3.1.1	Wykorzystanie lokalnego kierunku . . . . .	358
10.3.1.1.1	Metoda „segmentów” . . . . .	358
10.3.1.1.2	Geometria różniczkowa . . . . .	359
10.3.1.1.3	Momenty bezwładności . . . . .	360
10.3.1.1.4	Dziedzina częstotliwości . . . . .	361
10.3.1.1.5	Problem wyboru skali . . . . .	362
10.3.1.2	Wykorzystanie mapy głębokości MIP . . . . .	362
10.3.2	Modele geometryczne „wysokiego poziomu” . . . . .	363
10.3.2.1	Oś wyznaczona przez środki serii konturów . . . . .	364
10.3.2.2	Techniki wyznaczania konturów . . . . .	364
10.3.2.3	Wyznaczanie osi przed konturami . . . . .	366
10.4	Wnioski . . . . .	369
	Bibliografia . . . . .	370

**11. Komputerowa analiza obrazów koronarograficznych**

	<b>(Goszczyńska H.)</b> . . . . .	373
11.1	Przepływ wieńcowy: techniki pomiaru i znaczenie diagnostyczne . . . . .	373

11.2	Metody oceny przepływu wieńcowego na podstawie analizy obrazów koronarograficznych . . . . .	376
11.2.1	Bezwzględny pomiar wartości globalnego przepływu wieńcowego metodą analizy stężenia kontrastu w określonym przekroju tętnicy (analiza rozcieńczonego wskaźnika) . . . . .	377
11.2.1.1	Prawa przepływu i zasady pomiarów densytometrycznych . . . . .	378
11.2.1.2	Pomiary densytometryczne wzdłuż przekroju tętnicy . . . . .	379
11.2.1.3	Weryfikacja eksperymentalna metody na modelu tętnicy . . . . .	383
11.2.2	Względne pomiary przepływu wieńcowego na podstawie analizy rozcieńczonego wskaźnika . . . . .	385
11.2.3	Analiza czasu przejścia kontrastu pomiędzy dwoma wybranymi obszarami tętnicy . . . . .	385
11.2.4	Lokalna analiza szybkości wypłukiwania kontrastu . . . . .	386
11.2.5	Analiza funkcji przejścia . . . . .	386
11.2.6	Analiza czasu pojawiania się kontrastu i gęstości optycznej . . . . .	387
11.2.7	Pomiar umownego wskaźnika globalnego przepływu wieńcowego na podstawie analizy zmian średniej jasności wybranych obszarów obrazów koronarograficznych – system XFLOW . . . . .	387
11.2.7.1	Charakterystyka ogólna systemu . . . . .	388
11.2.7.2	Konfiguracja systemu i przygotowanie materiału obrazowego . . . . .	389
11.2.7.3	Metodologia pomiarów i obliczeń . . . . .	390
11.2.7.4	Procedura pomiaru . . . . .	394
11.3	Analiza czynników wpływających na dokładność pomiaru stężenia materiału kontrastowego w tętnicy . . . . .	396
11.3.1	Czynniki wpływające na dokładność pomiaru ilości materiału kontrastowego w tętnicy . . . . .	398
11.3.1.1	Zjawisko rozpraszania i odbicia promieni rentgenowskich . . . . .	400
11.3.1.2	Automatyczna regulacja parametrów ekspozycji . . . . .	403
11.3.1.3	Zniekształcenia wnoszone przez układ kamery i przetwornika A/D . . . . .	403
11.3.2	3.2 Opracowane metody korekcji . . . . .	403

11.3.2.1	Korekcja wpływu efektu SVG . . . . .	404
11.3.2.2	Korekcja zmiany poziomu jasności poszczególnych klatek filmu koronarograficznego spowodowanej automatyczną regulacją parametrów ekspozycji w torze wzmacniacza rentgenowskiego	406
11.3.2.3	Korekcja tła w pomiarze ilości kontrastu w tętnicy . . . . .	406
11.3.2.4	Korekcja charakterystyk toru wizyjnego i błony fotograficznej . . . . .	407
11.4	Kompensacja efektu ruchu tętnicy w sekwencji obrazów koronarograficznych w celu automatycznej detekcji linii przekroju tętnicy . . . . .	408
11.5	Podsumowanie . . . . .	413
	Bibliografia . . . . .	413

## **12. Zobrazowania w ultrasonografii**

(Kilian L.) . . . . .	417
12.1 Wprowadzenie . . . . .	417
12.2 Istotne parametry techniczne zobrazowań . . . . .	418
12.3 Rozwój form zobrazowań . . . . .	420
12.3.1 Ultrasonografy analogowe . . . . .	420
12.3.2 Ultrasonografy cyfrowe . . . . .	428
12.4 Zobrazowania we współczesnych ultrasonografach . . . . .	433
12.4.1 Aparatura standardowa . . . . .	434
12.4.2 Współczesne ultrasonografy najwyższej klasy . . . . .	434
12.4.3 Zobrazowania trójwymiarowe . . . . .	438
12.5 Podsumowanie . . . . .	442
Bibliografia . . . . .	443

## **13. Komputerowa analiza obrazów wentrykulograficznych serca**

(Przytułska M.) . . . . .	445
13.1 Wstęp . . . . .	445
13.2 Podstawy ultrasonografii medycznej . . . . .	446
13.2.1 Ultrasonografia dopplerowska . . . . .	448
13.3 Krótki przegląd ultrasonograficznych metod diagnostyki kardiologicznej . . . . .	448
13.3.1 Echokardiografia . . . . .	448
13.3.2 Echokardiografia dwuwymiarowa . . . . .	449
13.3.3 Echokardiografia trójwymiarowa . . . . .	449

13.3.4	Echokardiografia kontrastowa . . . . .	449
13.3.5	Echokardiografia obciążeniowa . . . . .	449
13.3.6	Echokardiografia przezprzełykowa . . . . .	450
13.3.7	Ultrasonografia dopplerowska (DUSG) . . . . .	450
13.3.8	Wentrykulografia radioizotopowa . . . . .	450
13.3.9	Nowe metody echokardiograficzne . . . . .	451
13.4	Komputerowa analiza obrazów wentrykulograficznych lewej komory serca . . . . .	452
13.4.1	Opis anatomiczny lewej komory serca . . . . .	452
13.4.2	Podstawowe parametry hemodynamiczne używane do oceny czynności lewej komory serca na podstawie obrazów echokardiograficznych . . . . .	453
13.4.3	Podstawowe projekcje echokardiograficzne . . . . .	454
13.4.4	Badania kurczliwości sektorowej lewej komory serca	458
13.4.4.1	System DIAVENT . . . . .	458
13.4.5	Metodyka badań . . . . .	462
13.4.5.1	Model teoretyczny . . . . .	462
13.4.5.2	Automatyczne konturowanie lewej komory serca . . . . .	464
13.4.6	Ocena kurczliwości lewej komory serca . . . . .	469
13.5	Wnioski . . . . .	473
	Bibliografia . . . . .	473

#### 14. Termografia podczerwieni w diagnostyce medycznej

	(Nowakowski A., Wróbel Z. (red.) ) . . . . .	475
14.1	Rozwój techniki podczerwieni dla obrazowania w medycynie ( <i>Nowakowski A.</i> ) . . . . .	476
	Bibliografia . . . . .	483
14.2	Termografia kliniczna ( <i>Wojaczyńska-Stanek K., Koprowski R.</i> ) . . . . .	485
14.2.1	Wprowadzenie . . . . .	485
14.2.2	Problematyka wiarygodności pomiarów termograficznych . . . . .	487
14.2.3	Przykłady zastosowania termografii w praktyce klinicznej . . . . .	492
	Bibliografia . . . . .	500
14.3	Termografia w aplikacjach medycznych ( <i>Jung A., Żuber J., Kalicki B.</i> ) . . . . .	502
14.3.1	Wstęp . . . . .	502

14.3.2	Termografia w ocenie zmian zapalnych zatok przynosowych . . . . .	504
14.3.3	Termografia w rozpoznawaniu zapaleń płuc . . . . .	506
14.3.4	Termografia w rozpoznawaniu alergii . . . . .	509
14.3.5	Termografia w ocenie układu naczyniowego . . . . .	512
	Bibliografia . . . . .	515
14.4	Analiza obrazów termowizyjnych w wybranych zastosowaniach medycznych i biometrycznych ( <i>Podbielska H., Kobel J., Hołowacz I., Hurnik P., Mielczarek W., Zdziarski J.</i> ) . . . . .	517
14.4.1	Zastosowanie obrazowania termowizyjnego do oceny skutków krioterapii u pacjentów ze schorzeniami narządów ruchu . . . . .	517
14.4.2	Zastosowanie termowizji w biometrii . . . . .	526
	Bibliografia . . . . .	531
14.5	Zastosowanie termografii we wczesnym wykrywaniu zmian chorobowych piersi ( <i>Jakubowska T., Więcek B., Wysocki M., Peszyński-Drewno C.</i> ) . . . . .	532
14.5.1	Badania termograficzne w diagnostyce chorób piersi	532
14.5.2	Procedura badania termograficznego . . . . .	535
14.5.3	Przykładowe wyniki badań termograficznych piersi	537
14.5.4	Analiza statystyczna termogramów . . . . .	538
14.5.5	Podsumowanie . . . . .	545
	Bibliografia . . . . .	546
14.6	Zastosowanie termografii w nadzorze interwencji kardiologicznych ( <i>Nowakowski A., Kaczmarek M., Siebert J., Rogowski J.</i> ) . . . . .	549
14.6.1	Wprowadzenie . . . . .	549
14.6.2	Metodologia . . . . .	551
14.6.3	Protokół eksperymentu . . . . .	552
14.6.4	Wyniki badań <i>in vivo</i> - termografia klasyczna . . . . .	552
14.6.5	Kardiologia kliniczna - operacje pomostowania tętnic wieńcowych . . . . .	556
14.6.6	Podsumowanie . . . . .	558
	Bibliografia . . . . .	559
14.7	Termograficzne badanie dostępu naczyniowego w leczeniu hemodializą ( <i>Korohoda P., Pietrzyk J.A., Tadeusiewicz R., Krawentek L.</i> ) . . . . .	561
14.7.1	Wprowadzenie . . . . .	561
14.7.2	Materiali metodyka . . . . .	563
14.7.3	Wyniki pomiarów . . . . .	564

14.7.4	Podsumowanie . . . . .	566
	Bibliografia . . . . .	566
14.8	Termograficzne monitorowanie leczenia niewydolności tętnic kończyn dolnych z zastosowaniem impulsowego pola magnetycznego ( <i>Dyszkiewicz A., Wróbel Z., Koprowski R.</i> )	568
14.8.1	Bodźcoterapia z zastosowaniem pola magnetycznego	568
14.8.2	Badania kliniczne . . . . .	569
14.8.3	Przestrzenna regulacja procesów przemiany materii . . . . .	570
14.8.4	Podsumowanie . . . . .	574
	Bibliografia . . . . .	574
14.9	System analizy obrazów termowizyjnych w diagnostyce skuteczności ćwiczeń rozciągających ( <i>Koprowski R., Wróbel Z.</i> ) . . . . .	576
14.9.1	Wprowadzenie . . . . .	576
14.9.2	Opis programu . . . . .	576
14.9.3	Analiza zdjęć termowizyjnych . . . . .	579
14.9.4	Podsumowanie . . . . .	583
	Bibliografia . . . . .	583
14.10	Symulacja rozkładu temperatury pacjenta przy wodnym pobudzaniu organizmu ( <i>Dyszkiewicz A., Koprowski R., Wróbel Z.</i> ) . . . . .	584
14.10.1	Wprowadzenie . . . . .	584
14.10.2	Metodyka pomiarów . . . . .	585
14.10.3	Analiza otrzymanych pomiarów . . . . .	586
14.10.4	Wyznaczenie parametrów modelu i symulacja . . . . .	587
14.10.5	Ocena błędu pomiaru . . . . .	589
14.10.6	Podsumowanie . . . . .	591
	Bibliografia . . . . .	591
14.11	Diagnostyka i wykrywanie wczesnych stadiów skrzywień kręgosłupa na podstawie obrazów termograficznych ( <i>Koprowski R., Wróbel Z., Konik H.</i> ) . . . . .	591
14.11.1	Wprowadzenie . . . . .	591
14.11.2	Dotychczasowe metody pomiaru skrzywień kręgosłupa . . . . .	592
14.11.3	Materiałbadawczy . . . . .	593
14.11.4	Zapis obrazów termograficznych . . . . .	594
14.11.5	Obróbka zdjęć termowizyjnych . . . . .	595
14.11.6	Automatyczne znajdowanie obszaru położenia kręgosłupa . . . . .	597

14.11.7	Korelacja rozkładu temperatury z położeniem kręgosłupa . . . . .	599
14.11.8	Wyznaczanie histogramów i położenia ich środków ciężkości . . . . .	600
14.11.9	Wyznaczanie siatki na termo i wzorca rozkładu temperatury . . . . .	601
	Bibliografia . . . . .	604
14.12	Zastosowanie metod generacji funkcji do wyznaczania przebiegu kręgosłupa ( <i>Koprowski R.</i> ) . . . . .	607
14.12.1	Opis algorytmu . . . . .	608
14.12.2	Opis opracowanego oprogramowania . . . . .	610
14.12.3	Wnioski . . . . .	612
	Bibliografia . . . . .	613

## 15. Tomografia termiczna

	(Nowakowski A., Kaczmarek M., Hryciuk M.) . . . . .	615
15.1	Rola modeli w diagnostyce termicznej . . . . .	615
15.1.1	Wprowadzenie . . . . .	615
15.1.2	Modele termiczne . . . . .	619
15.1.3	Parametry termiczne tkanek biologicznych . . . . .	622
15.2	Aparatura i algorytmy pomiarowe . . . . .	624
15.2.1	Aparatura pomiarowa . . . . .	624
15.2.1.1	Źródła pobudzenia termicznego . . . . .	626
15.2.1.2	System sterowania źródłem halogenowym i akwizycji danych dla metod aktywnej termografii dynamicznej i tomografii termicznej . . . . .	627
15.2.1.3	Kamery termograficzne . . . . .	628
15.2.2	Algorytmy pomiarowe . . . . .	629
15.2.3	Procedury pomiarowe . . . . .	631
15.2.3.1	Pomiary <i>in vivo</i> w diagnostyce oparzeń i interwencjach kardiochirurgicznych . . . . .	631
15.3	Rozwiązanie zagadnienia prostego . . . . .	635
15.3.1	Wprowadzenie . . . . .	635
15.3.2	Analiza rozptyłu ciepła w biologicznych strukturach warstwowych . . . . .	636
15.3.3	Analiza rozptyłu ciepła w innych strukturach . . . . .	641
15.4	Zagadnienie odwrotne . . . . .	642
15.4.1	Wprowadzenie . . . . .	642

15.4.2	Poszukiwanie właściwości termofizycznych próbek jednorodnych . . . . .	644
15.4.2.1	Określenie $k$ , $\beta$ termistorem kulistym z wykorzystaniem skokowej zmiany temperatury . . . . .	646
15.4.2.2	Określenie $k$ termistorem przy impulsowym ogrzewaniu tkanki . . . . .	649
15.4.2.3	Określenie $k$ , $\alpha$ przy pomocy źródła cylindrycznego z impulsowym ogrzewaniem tkanki . . . . .	649
15.4.2.4	Określenie $k$ , $\beta$ z cylindrycznym źródłem ciepła przy skokowej zmianie temperatury . . . . .	650
15.4.2.5	Określenie $\beta$ z pobudzeniem cieplnym powierzchni . . . . .	651
15.4.2.6	Określenie $\beta$ z ogrzewaniem/chłodzeniem powierzchni tkanki materiałem o znanej efuzyjności . . . . .	652
15.4.3	Rekonstrukcja struktur warstwowych – tomografia termiczna . . . . .	652
15.4.3.1	Określenie grubości obiektu . . . . .	653
15.4.3.2	Lokalizacja materiałów o znanych parametrach . . . . .	655
15.4.3.3	Rekonstrukcja przestrzennego rozkładu przewodności cieplnej . . . . .	658
15.4.3.4	Rekonstrukcja przestrzennego rozkładu przewodności cieplnej i objętościowego ciepła właściwego . . . . .	661
15.4.4	Błędy, analiza wrażliwości i ograniczenia tomografii termicznej . . . . .	661
15.4.5	Badanie struktur trójwymiarowych . . . . .	666
15.5	Przykłady aplikacji medycznych . . . . .	669
15.5.1	Diagnostyka oparzeń . . . . .	670
15.5.2	Mammografia . . . . .	675
15.5.3	Badania w zabiegach kardiochirurgicznych . . . . .	685
15.5.3.1	Rekonstrukcja parametrów termicznych tkanek mięśnia serca . . . . .	685
15.6	Wnioski . . . . .	688
	Bibliografia . . . . .	692

<b>16. Tomografia elektroimpedancyjna</b>	
( Wtorek J., Nowakowski A., Bujnowski A., Siebert J.)	697
16.1 Wstęp . . . . .	697
16.2 Zagadnienie proste . . . . .	702
16.3 Zagadnienie odwrotne . . . . .	704
16.4 Algorytmy rekonstrukcyjne . . . . .	706
16.4.1 Przegląd wybranych algorytmów rekonstrukcyjnych	706
16.4.2 Algorytm bazujący na pomiarze prądu . . . . .	712
16.5 Przykłady rekonstrukcji . . . . .	720
16.6 Tomografy elektroimpedancyjne . . . . .	728
16.6.1 Tomograf prądowo-napięciowy . . . . .	731
16.6.2 Tomograf napięciowo-prądowy . . . . .	733
16.7 Badania fantomowe . . . . .	739
16.7.1 Obrazowanie za pomocą tomografu <i>PP/PN</i> . . . . .	739
16.7.2 Obrazowanie za pomocą tomografu <i>PP-N/PN-P</i> . . . . .	741
16.8 Aplikacje medyczne . . . . .	744
16.9 Podsumowanie . . . . .	746
16.9.1 Możliwe modyfikacje algorytmu . . . . .	748
16.9.2 Wnioski . . . . .	749
Bibliografia . . . . .	751

### **Część 3. Zobrazowania mikroskopowe 759**

<b>17. Wybrane zagadnienia ocen ilościowych i przetwarzania cyfrowego obrazów mikroskopowych</b>	
(Zieliński K., Strzelecki M.) . . . . .	761
17.1 Obraz mikroskopowy jako narzędzie diagnostyczne w medycynie . . . . .	761
17.1.1 Dekompozycja obrazu mikroskopowego tkanek jako główny element analizy diagnostycznej . . . . .	762
17.1.2 Nozologiczny, a nie topograficzny charakter wyniku diagnostycznego (gr. <i>nosos</i> – choroba, nazwa choroby) . . . . .	762
17.1.3 Wartość informacji diagnostycznej z badania mikroskopowego zależna od poprawności całego postępowania diagnostycznego . . . . .	764
17.1.4 Informacja diagnostyczna pochodząca z ograniczonej objętości organizmu, wpływająca na pomniejszenie ilości dostępnej informacji obrazowej . . . . .	765

17.1.5	Obiekty biologiczne oceniane w obrazie mikroskopowym, sztucznie deformowane procedurami laboratoryjnymi . . . . .	766
17.1.6	Niepowtarzalność materiału biologicznego i unikalność obrazów mikroskopowych zmian patologicznych . . . . .	767
17.1.7	Konieczność uwzględnienia zasad stereologii przy interpretacji obrazu mikroskopowego tkanek . . .	767
17.1.8	Nieprzypadkowość rozłożenia obiektów komórkowych w preparatach cytologicznych . . . . .	768
17.1.9	Zagadnienie barwy i tekstury obiektów . . . . .	769
17.2	Zasady analizy stereologicznej w odniesieniu do mikroskopowego obrazu tkanek . . . . .	770
17.2.1	Uwagi ogólne i terminologia stereologiczna . . . .	770
17.2.2	Podstawy wnioskowania stereologicznego . . . . .	775
17.3	Analiza tekstur . . . . .	779
17.3.1	Wstęp . . . . .	779
17.3.2	Parametry tekstury . . . . .	783
17.3.2.1	Parametry wyznaczone na podstawie histogramu jasności obrazu . . . . .	783
17.3.2.2	Parametry wyznaczone na podstawie macierzy gradientów . . . . .	784
17.3.2.3	Algorytmy morfologii matematycznej do wyznaczania parametrów tekstury .	786
17.3.2.4	Parametry tekstury wyznaczone na podstawie transformat obrazu . . . . .	788
17.3.2.5	Parametry wyznaczone na podstawie macierzy długości ciągów pikseli . . . .	789
17.3.2.6	Parametry wyznaczone na podstawie macierzy zdarzeń . . . . .	791
17.3.2.7	Parametry wyznaczone na podstawie modelu autoregresji . . . . .	795
17.3.3	Segmentacja tekstur . . . . .	796
17.3.4	Zakończenie . . . . .	799
17.4	Ocena mikrounaczynienia i ukrwienia nowotworów oraz innych tkanek . . . . .	802
17.4.1	Znaczenie indeksu angiogenetycznego jako czynnika rokowniczego w nowotworach złośliwych . . .	803
17.4.2	Oznaczanie indeksu angiogenetycznego (AI) w nowotworach złośliwych . . . . .	805

17.4.3	Unaczynienie i ukrwienie tkanek . . . . .	807
	Bibliografia . . . . .	810
<b>18.</b>	<b>Wybrane systemy do analizy obrazów biomedycznych</b>	
	<b>(Dyszkiewicz A., Wróbel Z.) . . . . .</b>	<b>815</b>
18.1	Wprowadzenie . . . . .	815
18.2	System oceny wrażliwości hodowli komórkowych oraz mikrobiologicznych in vitro na wybrane substancje chemiczne	816
18.3	System do mikro preparatyki eksperymentalnej . . . . .	820
18.4	System komputerowy do mikroskopowego nadzoru procesów biotechnologicznych . . . . .	825
18.5	System do czynnościowych testów planimetrycznych . . . . .	826
18.6	System oceny dynamiki mikrostruktury beleczek kostnych jako następstwo zaburzeń biomechaniki ciała . . . . .	830
18.7	System planimetrycznej oceny rezultatów leczenia zapaleń stawów krzyżowo-biodrowych . . . . .	835
18.8	System planimetrycznej oceny regresji struktury tarczycy po terapii radiojodem . . . . .	838
18.9	System podoskopii w spoczynkowej analizie geometrii stopy oraz testach czynnościowych . . . . .	841
18.10	System oceny kąta skrzywienia boczego kręgosłupa . . . . .	842
	Bibliografia . . . . .	845
<b>19.</b>	<b>Komputerowa analiza ruchliwości granulocytów</b>	
	<b>(Korzyńska A.) . . . . .</b>	<b>849</b>
19.1	Wprowadzenie . . . . .	849
19.2	Model ruchu i metoda oceny ruchliwości . . . . .	851
19.3	System Monitorowania Ruchu . . . . .	857
19.3.1	Segmentacja obrazów żywych komórek . . . . .	858
19.3.1.1	Cechy obrazów poruszających się neutrofilii obserwowanych w mikroskopii jasnego pola . . . . .	858
19.3.1.2	Tekstura i jej wykorzystanie w procesie segmentacji . . . . .	862
19.4	Weryfikacja doświadczalne systemu i metody . . . . .	865
19.4.1	Badania doświadczalne . . . . .	865
19.4.2	Porównanie wybranych parametrów ruchu neutrofilii dzieci zdrowych i w chorobie Chediaka-Higashiego . . . . .	868
19.4.3	Dyskusja wyników . . . . .	873

19.5	Wnioski . . . . .	878
19.5.1	Kierunki dalszych prac badawczych . . . . .	878
	Bibliografia . . . . .	879

## **20. Komputerowa metoda wspomagania diagnostyki nowotworów pęcherza moczowego**

	<b>(Dulewicz A., Piętka B. D., Jaszczak P.) . . . . .</b>	<b>883</b>
20.1	Wprowadzenie ( <i>Dulewicz A.</i> ) . . . . .	883
20.1.1	Nowotwory pęcherza moczowego . . . . .	883
20.1.2	Objawy kliniczne i naturalny rozwój choroby . . . . .	885
20.2	Przegląd stosowanych metod diagnostycznych ( <i>Dulewicz A.</i> )	885
20.3	Założenia programu analizy komputerowej ( <i>Dulewicz A.</i> )	887
20.3.1	Badanie cytologiczne osadu moczu . . . . .	888
20.3.2	Przygotowanie komórek (urocytów) do analizy . . . . .	889
20.3.3	Wybór i rejestracja obrazów mikroskopowych . . . . .	890
20.4	Konfiguracja systemu ( <i>Dulewicz A., Piętka B. D., Jaszczak P.</i> ) . . . . .	891
20.4.1	Sprzętowa realizacja akwizycji obrazu . . . . .	891
20.4.2	Oprogramowanie systemu do przetwarzania, analizy i pomiaru danych obrazowych . . . . .	892
20.5	Etapy przetwarzania informacji obrazowej ( <i>Dulewicz A., Piętka B. D., Jaszczak P.</i> ) . . . . .	893
20.5.1	Procedury wstępnego przetwarzania obrazów . . . . .	893
20.5.1.1	Algorytm korekcji tła . . . . .	893
20.5.1.2	Algorytm normalizacji obrazu . . . . .	894
20.5.2	Wydzielanie obiektów do analizy . . . . .	896
20.5.3	Pomiar parametrów . . . . .	897
20.5.4	Klasyfikacja obiektów, preparatów . . . . .	900
20.6	Wybór i definicje parametrów.. ( <i>Dulewicz A., Piętka B. D., Jaszczak P.</i> ) . . . . .	900
20.6.1	Parametry geometryczne . . . . .	901
20.6.2	Parametry struktury wewnętrznej obiektów . . . . .	901
20.6.3	Parametry definiowane przez użytkownika . . . . .	906
20.7	Procedury pomiarowe ( <i>Dulewicz A., Piętka B. D., Jaszczak P.</i> ) . . . . .	907
20.8	Algorytm klasyfikacji jąder komórkowych ( <i>Dulewicz A.</i> ) . . . . .	908
20.9	Badania kliniczne ( <i>Dulewicz A.</i> ) . . . . .	913
20.9.1	Wyniki . . . . .	914
20.9.2	Ocena metody . . . . .	915
20.9.3	Rozwój metody . . . . .	917

20.9.4 Podsumowanie . . . . .	918
Bibliografia . . . . .	918

## **Część 4. Obrazowe bazy danych 921**

### **21. Wyszukiwanie i eksploracja obrazów medycznych na podstawie ich treści**

<b>(Rumiński J.) . . . . .</b>	<b>923</b>
21.1 Wprowadzenie . . . . .	923
21.2 Stan badań . . . . .	924
21.3 Składowanie i opis obrazów . . . . .	927
21.3.1 Detekcja regionów . . . . .	927
21.3.2 Ekstrakcja i łączenie regionów . . . . .	929
21.3.3 Opis kształtu i topologii regionów . . . . .	933
21.3.4 Opis intensywności . . . . .	936
21.3.5 Opis regularności / faktury . . . . .	937
21.4 Algebra zapytań . . . . .	939
21.4.1 Realizacja zapytań . . . . .	941
21.5 Ocena wyszukiwania . . . . .	945
21.6 System Wyszukiwania Obrazów (SWO) Medycznych . .	947
21.7 Rezultaty wyszukiwania . . . . .	950
21.8 Wnioski . . . . .	951
Bibliografia . . . . .	952

### **22. System wspomaganie seryjnej analizy obrazów**

<b>(Kulikowski J.L., Wierzbicka D.) . . . . .</b>	<b>957</b>
22.1 Wprowadzenie . . . . .	957
22.2 Funkcje podsystemu APOS . . . . .	959
22.3 Procedury aplikacyjne systemu . . . . .	961
22.3.1 Procedury oceny cech lub parametrów obrazów .	961
22.3.2 Procedury porządkowania lub selekcji obrazów . .	962
22.3.3 Procedury ustalania podobieństwa obrazów . . .	963
22.3.3.1 Procedura <i>IMAGE-FEATURE-SIMILARITY</i> . . . . .	964
22.3.3.2 Procedura <i>GLOBAL-IMAGE-SIMILARITY</i> . . . . .	966
22.3.3.3 Procedura <i>LOCAL-IMAGE-SIMILARITY</i> . . . . .	969

22.3.4	Procedury ustalania hiperrelacji międzyobrazo- wych . . . . .	974
22.3.4.1	Procedury typu <i>MATCH</i> . . . . .	977
22.3.4.2	Procedury typu <i>SPREAD</i> . . . . .	982
22.4	Podsumowanie . . . . .	985
	Bibliografia . . . . .	986
<b>23.</b>	<b>Obrazy kolorowe . . . . .</b>	<b>987</b>

# **BIOCYBERNETYKA I INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA 2000**

MONOGRAFIA OBEJMUJE  
NASTĘPUJĄCE TOMY:

1. BIOSYSTEMY
2. BIOPOMIARY
3. SZTUCZNE NARZĄDY
4. BIOMATERIAŁY
5. BIOMECHANIKA I INŻYNIERIA REHABILITACYJNA
6. SIECI NEURONOWE
7. SYSTEMY KOMPUTEROWE I TELEINFORMATYCZNE W SŁUŻBIE ZDROWIA
8. OBRAZOWANIE BIOMEDYCZNE
9. FIZYKA MEDYCZNA

Monografia OBRAZOWANIE BIOMEDYCZNE stanowi 8 tom serii "Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000". Zawiera ona 22 rozdziały opracowane przez 46 autorów, specjalistów w dziedzinie komputerowych metod analizy i przetwarzania obrazów. Rozdziały te dotyczą zarówno podstaw teoretycznych, jak i różnorodnych aspektów praktycznych przetwarzania obrazów biomedycznych ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb współczesnej medycznej diagnostyki obrazowej oraz badań naukowych w dziedzinie medycyny lub biologii opartych na analizie danych obrazowych. W monografii uwzględniono m.in. takie nowe kierunki obrazowań jak tomografia termiczna lub impedancyjna, analiza obrazów uzyskiwanych metodami jądrowego rezonansu magnetycznego, integracja multimodalnych danych obrazowych, bezinwazyjne badanie kinetyki skurczów serca, mikroskopowe badania preparatów histologicznych i cytologicznych, wyszukiwanie obrazów z baz danych obrazowych na podstawie opisu ich treści. Wiele z tych opracowań oparto na oryginalnych wynikach badań prowadzonych w krajowych ośrodkach naukowych, referowanych wcześniej na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych. Tom powstał dzięki współdziałaniu pracowników wielu środowisk naukowych, pod patronatem naukowym Komitetu Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN i przy współdziałaniu Towarzystwa Przetwarzania Obrazów.



9 788387 674632



ISBN 83-87674-63-X