

Spis treści

Podziękowania	16
1. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów? Jakże to proste!	
<i>Tomasz P. Zieliński</i>	17
1.1. Motywacja	17
1.2. O czym jest ta książka?	18
1.3. Podstawowe pojęcia	21
1.4. Struktura książki	26
CZĘŚĆ I. Podstawy	29
2. Podstawy analizy częstotliwościowej i próbkowanie sygnałów	
<i>Przemysław Korohoda, Krzysztof Duda</i>	31
2.1. Wprowadzenie	31
2.2. Sygnał analogowy w dziedzinie czasu i częstotliwości	34
2.3. DTFT – ciągłe widmo sygnału dyskretnego	39
2.4. DFT – dyskretne widmo sygnału dyskretnego	42
2.5. Szereg Fouriera	44
2.6. Wybrane właściwości transformacji Fouriera oraz transformaty wybranych sygnałów	46
2.7. Twierdzenie o próbkowaniu	52
2.8. Wzajemne zależności pomiędzy widmami	62
2.8.1. DTFT w porównaniu do CFT	62
2.8.2. DFT w porównaniu do DTFT	62
2.9. Częstotliwość zmienna w czasie oraz lokalnie liczone DFT	65
2.10. Analiza częstotliwościowa z wykorzystaniem DFT	68
2.10.1. Wprowadzenie	68
2.10.2. Sygnały sinusoidalne	70
2.11. Właściwości charakterystyki fazowej	79
2.11.1. Liniowa charakterystyka fazowa	79
2.11.2. Opóźnienia fazowe i grupowe	81
2.12. Podsumowanie	83
2.13. Zadania	84
2.14. Literatura	85
3. Sygnały losowe i szумы	
<i>Przemysław Korohoda, Adam Borowicz, Krzysztof Duda</i>	87
3.1. Wybrane pojęcia statystyczne w przetwarzaniu sygnałów	87
3.2. Widmowa gęstość mocy	96

3.3.	Szumy	99
3.3.1.	Rodzaje szumu	99
3.3.2.	Generowanie oraz wybielanie szumów kolorowych	101
3.4.	Sygnal sinusoidalny zakłócony szumem addytywnym	103
3.5.	Podsumowanie	104
3.6.	Zadania	104
3.7.	Literatura	105
4.	Projektowanie filtrów	
	<i>Krzysztof Duda, Przemysław Korohoda</i>	106
4.1.	Wprowadzenie	106
4.2.	Projektowanie filtrów analogowych	111
4.2.1.	Prototypy analogowe	112
4.2.2.	Porównanie charakterystyk filtrów analogowych	115
4.2.3.	Transformacja częstotliwości – filtry LP, HP, BP, BS	116
4.3.	Projektowanie filtrów cyfrowych	118
4.3.1.	Filtry IIR – transformacja biliniowa	118
4.3.2.	Filtry FIR	122
4.3.3.	Filtry interpolujące	142
4.3.4.	Filtry interpolowane	149
4.4.	Podsumowanie	155
4.5.	Zadania	156
	Dodatek D4	156
4.6.	Literatura	158
5.	Szybkie metody obliczania DFT i ich zastosowania	
	<i>Krzysztof Duda, Tomasz P. Zieliński</i>	160
5.1.	Wprowadzenie	160
5.2.	Algorytmy FFT	161
5.2.1.	FFT z podziałem w czasie (ang. <i>decimation in time</i>)	162
5.2.2.	FFT z podziałem w częstotliwości (ang. <i>decimation in frequency</i>)	166
5.2.3.	FFT sygnałów o wartościach rzeczywistych	168
5.2.4.	Inne algorytmy FFT	170
5.3.	Rekursywne obliczanie DFT	170
5.3.1.	Algorytm Goertzla	170
5.3.2.	Modulowane SDFT	171
5.4.	Szybki splot sygnałów z wykorzystaniem FFT	176
5.4.1.	Splot liniowy	176
5.4.2.	Splot liniowy liczony poprzez DFT	177
5.4.3.	Sekcjonowany splot liniowy liczony poprzez DFT	179
5.5.	Szybki algorytm obliczania funkcji korelacji	184
5.6.	Szybkie obliczanie DTFT	186
5.7.	Zadania	188
5.8.	Literatura	189
6.	Zespoły filtrów i transformacje ortogonalne	
	<i>Marek Parfieniuk</i>	190
6.1.	Wprowadzenie	190
6.1.1.	Celowość podpasmowej dekompozycji sygnału	190
6.1.2.	Przetwarzanie sygnału za pomocą zespołu filtrów	191
6.1.3.	Właściwości i kategorie zespołów filtrów	193
6.1.4.	Zniekształcenia sygnału w zespole filtrów	194
6.1.5.	Zespoły filtrów a środowisko MATLAB	195
6.2.	Zmiany tempa próbkowania a filtracja sygnałów	197

6.2.1.	Decymacja: zmniejszanie tempa próbkowania sygnału	197
6.2.2.	Interpolacja – zwiększanie tempa próbkowania sygnału	198
6.2.3.	Projektowanie filtrów do decymacji i interpolacji	199
6.2.4.	Decymacja i interpolacja w zespołach filtrów	201
6.2.5.	Zastosowania decymacji i interpolacji	204
6.3.	Zespoły filtrów modulowanych	205
6.3.1.	Ogólna koncepcja zespołu filtrów modulowanych	205
6.3.2.	Zespoły filtrów z zespoloną modulacją określoną DFT	206
6.3.3.	Zespoły filtrów z modulacją kosinusową	208
6.3.4.	Związek między modulacją kosinusową a zespoloną	209
6.3.5.	Projektowanie zespołu filtrów z modulacją kosinusową aproksymującego perfekcyjną rekonstrukcję	209
6.4.	Polifazowa reprezentacja systemów i sygnałów	212
6.4.1.	Polifazowa dekompozycja transmitancji	212
6.4.2.	Tożsamości kaskadowe	213
6.4.3.	Polifazowa realizacja decymacji i interpolacji	213
6.4.4.	Dekompozycja polifazowa sygnału a wydzielanie bloków próbek	215
6.4.5.	Polifazowa reprezentacja zespołu filtrów	216
6.5.	Równoważność zespołów filtrów i transformacji sygnału	218
6.5.1.	Transformacje liniowe: blokowe i z nakładaniem	218
6.5.2.	Transformacja jako zespół filtrów	220
6.5.3.	Interpretacja transformacji DFT, DCT, WHT i MDCT jako zespołów filtrów	221
6.5.4.	Obliczanie transformacji w środowisku MATLAB	226
6.6.	Przykłady wykorzystania faktoryzacji macierzy do efektywnej implementacji systemów	226
6.6.1.	Szybkie obliczanie transformacji Hadamarda	226
6.6.2.	Zespoły filtrów modulowanych DFT	227
6.6.3.	Zespoły filtrów z modulacją kosinusową	228
6.6.4.	Obliczanie DCT typu IV za pomocą FFT	229
6.6.5.	Implementacja struktury polifazowej zespołu filtrów modulowanych wykorzystująca jeden łańcuch opóźnień	230
6.7.	Przykłady wykorzystania faktoryzacji macierzy w projektowaniu systemów	232
6.7.1.	Wykorzystanie struktury kratowej do projektowania dwukanałowego zespołu filtrów ortogonalnych	232
6.7.2.	Projektowanie zespołu filtrów z modulacją kosinusową zapewniającego perfekcyjną rekonstrukcję	234
6.7.3.	GenLOT jako przykład transformacji opierającej się na postprocessingu DCT	236
6.8.	Zespoły filtrów nierównomiernych	238
6.8.1.	Czasowa i częstotliwościowa rozdzielczość reprezentacji sygnału	238
6.8.2.	Drzewiaste połączenie zespołów filtrów jako transformacja falkowa	239
6.8.3.	Inne metody nierównomiernego podziału pasma za pomocą zespołów filtrów równomiernych	241
6.8.4.	Bezpośrednie zestawianie filtrów pasmowoprzepustowych	242
6.8.5.	Zespoły filtrów spaczonych	243
6.9.	Zadania	244
6.10.	Literatura	245
7.	Podstawy filtracji adaptacyjnej	
	<i>Tomasz P. Zieliński</i>	247
7.1.	Wprowadzenie	247
7.2.	Klasyczny filtr adaptacyjny i jego zastosowania	248
7.3.	Zasada i kryteria adaptacji	252
7.4.	Optymalny filtr LMS – filtr Wienera	255
7.4.1.	Optymalne wagi filtra	255
7.4.2.	Zbieżność filtra	257

7.4.3.	Od filtra LMS do filtra LS	259
7.5.	Filtr LMS i jego odmiany	260
7.6.	Filtry (W)LS oraz ich wersje rekursywne	267
7.7.	Filtry (W)(R)LS jako obserwatory procesów dynamicznych	270
7.8.	Przykład zastosowania – tłumienie echa	275
7.8.1.	Instalacje głośnomówiące	275
7.8.2.	Układy transmisji sygnałów	279
7.9.	Podsumowanie	281
7.10.	Zadania	283
7.11.	Literatura	285
8.	Adaptacyjne filtry ortogonalne	
	<i>Tomasz P. Zieliński</i>	287
8.1.	Wprowadzenie	287
8.2.	Filtry kratowe	288
8.2.1.	Filtry kratowe typu FIR	288
8.2.2.	Filtry kratowe typu IIR	294
8.2.3.	Kratowy filtr Wienera typu FIR	302
8.2.4.	Adaptacyjny gradientowy kratowy filtr Wienera typu FIR-LMS	313
8.2.5.	Adaptacyjny kratowy filtr Wienera typu RLS	319
8.3.	Filtry adaptacyjne wykorzystujące FFT	319
8.4.	Podpasmowe filtry adaptacyjne	326
8.5.	Zadania	329
8.6.	Literatura	330
9.	Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe	
	<i>Roman Rumian, Wojciech Pótcłtopek</i>	331
9.1.	Wprowadzenie	331
9.2.	Schemat blokowy toru cyfrowego przetwarzania sygnału	332
9.3.	Kondycjonowanie wejściowego sygnału analogowego	333
9.4.	Filtracja antyaliasingowa	335
9.5.	Układ próbkująco-pamiętający	337
9.6.	Przetworniki analogowo-cyfrowe	340
9.6.1.	Kwantyzacja sygnału	340
9.6.2.	Błąd kwantyzacji, parametry przetworników	341
9.6.3.	Metody przetwarzania A/C	346
9.6.4.	Typy przetworników A/C	347
9.6.5.	Zestawienie parametrów przetworników A/C i obszarów zastosowań	356
9.7.	Dyskusja opóźnień, szumów, odpowiedzi impulsowych	358
9.8.	Przetworniki cyfrowo-analogowe	361
9.8.1.	Parametry przetworników C/A	361
9.8.2.	Metody przetwarzania C/A	361
9.8.3.	Kluczowanie źródeł napięciowych i prądowych	362
9.8.4.	Przetwarzanie wagowe – pojemnościowe i rezystancyjne	364
9.8.5.	Przetwarzanie Σ - Δ	365
9.8.6.	Nadpróbkowanie	366
9.9.	Dither	366
9.10.	Przetworniki wielokanałowe	368
9.11.	Zadania	370
9.12.	Literatura	370
10.	Sterowanie dynamiką sygnału	
	<i>Roman Rumian, Wojciech Pótcłtopek</i>	372
10.1.	Wprowadzenie	372

10.2.	Układy sterowania dynamiką	373
10.2.1.	Statyczne charakterystyki poziomu i wzmocnienia	373
10.2.2.	Dynamika algorytmów kontroli poziomu sygnału	376
10.3.	Pomiary poziomu sygnału	376
10.4.	Wyglądanie wzmocnienia	380
10.5.	Przykłady implementacji	382
10.5.1.	Limitery	382
10.5.2.	Kompresor, ekspander, bramka szumowa łącznie	382
10.5.3.	Układ kombinowany z redukcją częstotliwości próbkowania	383
10.6.	Przetwarzanie sygnału stereofonicznego lub wielokanałowego	385
10.7.	Zniekształcenia nieliniowe spowodowane regulacją dynamiki	385
10.7.1.	Stałoprzecinkowa realizacja logarytmowania i potęgowania	390
10.7.2.	Pasmowa wersja systemu DRC	390
10.8.	Limitery analogowy	391
10.9.	AGC – automatyczna regulacja wzmocnienia	392
10.10.	Zadania	392
10.11.	Literatura	392
11.	Podstawy arytmetyki stałoprzecinkowej	
	<i>Wojciech Pólchlopek, Roman Rumian, Paweł Turcza</i>	394
11.1.	Wprowadzenie	394
11.1.1.	Arytmetyka zmiennoprzecinkowa	395
11.1.2.	Arytmetyka całkowitoliczbowa	396
11.1.3.	Arytmetyka stałoprzecinkowa	397
11.2.	Mnożenie i operacja MAC	398
11.2.1.	Arytmetyka stałoprzecinkowa Q1.m	398
11.3.	Statusy arytmetyczne	400
11.4.	Podwójna i wielokrotna precyzja obliczeń stałoprzecinkowych	400
11.5.	Zaokrąglenia wyników – kontrolowana utrata precyzji	401
11.6.	Nasylenie – kontrolowane przepełnienie	402
11.7.	Implementacja filtrów FIR	403
11.8.	Akumulacja długich serii	404
11.9.	Implementacja filtrów IIR	404
11.9.1.	Wrażliwość filtrów IIR na kwantyzacje współczynników	406
11.9.2.	Problem cykli granicznych	406
11.9.3.	Oscylacje przepełnienia	408
11.10.	Sekcje drugiego rzędu IIR – efekty kwantyzacji współczynników	408
11.11.	Tryb skalujący	411
11.12.	Implementacja sekcji drugiego rzędu IIR w wersji DF-I	411
11.13.	Implementacja sekcji drugiego rzędu IIR w wersji DF-II	413
11.14.	Transponowane sekcje drugiego rzędu	414
11.15.	Implementacje IIR typu kratowego	415
11.16.	Kaskadowanie sekcji drugiego rzędu i wpływ na SNR	415
11.17.	Zależność SNR od częstotliwości kaskadowanych sekcji drugiego rzędu	415
11.18.	Metody implementacji filtrów o niskim f_g/f_{pr}	418
11.18.1.	Metoda zwiększonej precyzji obliczeń	418
11.18.2.	Metoda przeniesienia sygnału i filtracji w inny zakres częstotliwości (modulacja – demodulacja kwadraturowa)	418
11.18.3.	Metoda zmiany częstotliwości próbkowania (filtracja multirate)	421
11.19.	Implementacja FFT	421
11.20.	Implementacja FFT w wersji BFP	422
11.21.	Implementacja funkcji matematycznych sinus, logarytm, funkcja wykładnicza	422
11.22.	Przykłady stałoprzecinkowych procesorów sygnałowych	423
11.22.1.	Freescale DSP56300	423

11.22.2. Analog Devices Blackfin	424
11.22.3. Analog Devices SHARC	424
11.22.4. Texas Instruments C55xx	424
11.22.5. Texas Instruments C64xx	424
11.22.6. Texas Instruments C67xx	424
11.23. Stałoprzecinkowa filtracja sygnałów z wykorzystaniem układów FPGA	425
11.23.1. Arytmetyka rozproszona	425
11.23.2. Realizacja sprzętowa filtra FIR	427
11.23.3. Realizacja sprzętowa filtra Hilberta	428
11.24. Literatura	429

Część II. Multimedia 431

12. Kodowanie sygnału mowy

<i>Przemysław Dymarski</i>	433
12.1. Wprowadzenie	433
12.2. Sygnał mowy i jego właściwości	434
12.3. Kwantyzacja skalarna	437
12.4. Kwantyzacja wektorowa	443
12.4.1. Zasada działania kwantyzatora wektorowego	443
12.4.2. Dekompozycja słownika kwantyzatora wektorowego	447
12.5. Kodowanie różnicowe	450
12.5.1. Zasada działania koder ADPCM	450
12.5.2. Zastosowanie liniowej predykcji w ADPCM	451
12.5.3. Interpretacja predykcji w dziedzinie częstotliwości	455
12.5.4. Koder ADPCM G.726	457
12.6. Kodery predykcjno-wektorowe (CELP)	458
12.6.1. Zasada działania koder CELP	458
12.6.2. Kodery ACELP	461
12.6.3. Kształtowanie widma szumu kwantyzacji	462
12.7. Wokoder predykcyjny	465
12.8. Porównanie koderów mowy	466
12.9. Zadania obliczeniowe	467
12.10. Literatura	468
Dodatek D12 – proste programy symulacyjne	469

13. Estymacja i redukcja zakłóceń w sygnale mowy

<i>Adam Borowicz</i>	472
13.1. Mowa zakłócona szumem addytywnym	472
13.2. Metody estymacji szumu	474
13.2.1. Detektory mowy	476
13.2.2. Metoda minimum statystyki	481
13.2.3. Nieliniowy estymator widma szumu	482
13.2.4. Metoda MCRA	483
13.3. Jednokanałowe metody redukcji szumu	485
13.3.1. Metoda różnic widmowych i filtr Wienera	487
13.3.2. Estymatory STSA i Log-STSA	489
13.3.3. Metody podprzestrzeni sygnału	491
13.3.4. Metody motywowane percepcyjnie	494
13.4. Zaawansowane metody redukcji szumu	498
13.5. Zadania	499
13.6. Literatura	500

14. Automatyczne rozpoznawanie mowy

<i>Ryszard Makowski, Paweł Świętojański, Robert Wielgat</i>	502
14.1. Wprowadzenie	502
14.1.1. Czym jest automatyczne rozpoznawanie mowy?	502
14.1.2. Poziomy i warianty automatycznego rozpoznawania mowy	503
14.1.3. Idea systemu rozpoznawania mowy	506
14.2. Mowa i sygnał mowy	507
14.2.1. Generowanie sygnału mowy i jego losowy charakter	507
14.3. Jednostki lingwistyczne mowy	511
14.3.1. Fonemy mowy polskiej	512
14.3.2. Baza nagrań do uczenia systemu ASR	516
14.4. Parametryzacja sygnału mowy	518
14.4.1. Wstępne przetwarzanie	518
14.4.2. Podział sygnału na ramki i okienkowanie	519
14.4.3. Cele parametryzacji sygnału mowy	521
14.4.4. Melowe współczynniki cepstralne (MFCC)	522
14.4.5. Inne metody parametryzacji	530
14.4.6. Wskaźniki głośności	530
14.4.7. Wektor obserwacji	531
14.5. Dynamiczne dopasowanie czasowe	531
14.6. Model akustyczny	535
14.6.1. Dyskretne procesy Markowa	536
14.6.2. Ukryte modele Markowa	538
14.6.3. Zagadnienia do rozwiązania związane z HMM	540
14.6.4. Estymacja parametrów HMM	541
14.6.5. Rozwiązanie problemu oceny i detekcji	545
14.6.6. Rozpoznawanie oparte na dopasowaniu modelu	548
14.6.7. Modelowanie kontekstu	548
14.7. Model języka	549
14.8. Dekoder	551
14.9. Ulepszenia systemów HMM–GMM	553
14.9.1. Trenowanie dyskryminacyjne	553
14.9.2. Techniki adaptacji i kompensacji w ASR	554
14.10. Aktualne kierunki badań	556
14.10.1. Podprzestrzenne GMM	557
14.10.2. Sztuczne sieci neuronowe w ASR	559
14.11. Narzędzia do rozpoznawania mowy	562
14.11.1. HTK	562
14.11.2. Kaldi	563
14.12. Podsumowanie i wybrany przykład rozpoznawania	563
14.13. Zadania	565
14.14. Literatura	566

15. Kompresja sygnałów fonicznych

<i>Maciej Bartkowiak</i>	571
15.1. Dźwięk a sygnał foniczny	571
15.2. Percepcja dźwięku przez człowieka	572
15.3. Wprowadzenie do zagadnienia kompresji	577
15.4. Kodowanie widmowe	580
15.4.1. Kodowanie podpasmowe	581
15.4.2. Kodowanie transformatowe	583
15.5. Kodowanie psychoakustyczne	589
15.6. Rodzina technik kompresji MPEG Audio	591
15.6.1. MPEG Audio warstwy 1 i 2	591

15.6.2.	MPEG – Audio warstwa 3 (MP3)	594
15.6.3.	Kodowanie dźwięku przestrzennego w MPEG-1 i MPEG-2 (warstwy 1, 2, 3) ...	600
15.6.4.	Zaawansowane kodowanie dźwięku (AAC) w technikach MPEG-2 Audio i MPEG-4 Audio	602
15.6.5.	MPEG-4 HE-AAC i HE-AACv2, czyli algorytmy zaawansowanego kodowania dźwięku o dużej efektywności	610
15.6.6.	MPEG Surround – kompresja dźwięku dookólnego	615
15.6.7.	Jednolite kodowanie mowy i muzyki – MPEG-D USAC	616
15.7.	Porównanie technik MPEG Audio	622
15.8.	Literatura	623
16. Ocena jakości sygnałów fonicznych		
	<i>Jakub Rachwański, Maciej Bartkowiak</i>	625
16.1.	Wprowadzenie	625
16.2.	Miary jakości dźwięku	627
16.2.1.	Metody subiektywne	628
16.2.2.	Metody obiektywne	629
16.2.3.	Metody sygnałowe	631
16.2.4.	Metody parametryczne	631
16.3.	ABC – metoda oceny subiektywnej BS.1116	631
16.4.	Metoda subiektywnej oceny jakości MUSHRA	634
16.5.	PEAQ – algorytm obiektywnej oceny jakości fonii	635
16.5.1.	Obliczenia modelu psychoakustycznego B	637
16.5.2.	Obliczenia modelu psychoakustycznego A	640
16.5.3.	Adaptacja wzorów pobudzeń	643
16.5.4.	Miara modulacji i głośności	644
16.5.5.	Wyznaczanie zmiennych modelu	645
16.5.6.	Obliczenie estymowanej jakości dźwięku	646
16.5.7.	Weryfikacja	647
16.6.	PESQ – algorytm obiektywnej oceny jakości mowy	647
16.6.1.	Kalibracja głośności	649
16.6.2.	Filtrowanie IRS	649
16.6.3.	Dopasowywanie czasowe sygnałów	650
16.6.4.	Reprezentacja w dziedzinie częstotliwości	651
16.6.5.	Obliczanie gęstości widmowej mocy w skali barkowej	652
16.6.6.	Obliczanie gęstości głośności	652
16.6.7.	Obliczanie gęstości zaburzeń	653
16.6.8.	Modelowanie efektu asymetrii	653
16.6.9.	Sumowanie zaburzeń w dziedzinie częstotliwości	653
16.6.10.	Ponowne dopasowanie sygnałów	654
16.6.11.	Sumowanie zaburzeń w czasie i obliczanie końcowego wyniku	654
16.7.	Parametryczny E-model ITU-T	655
16.8.	Literatura	663
17. Macierze mikrofonowe i głośnikowe		
	<i>Daniel Król</i>	665
17.1.	Wprowadzenie	665
17.2.	Liniowe macierze mikrofonowe	666
17.3.	Charakterystyka kierunkowa	667
17.3.1.	Aliasing przestrzenny	670
17.3.2.	Macierze kombinowane	671
17.4.	Sterowanie wiązką	673
17.4.1.	Algorytm Delay-Sum	675
17.4.2.	Algorytm Filter-Sum	678

17.5.	Lokalizacja źródła dźwięku	680
17.5.1.	Lokalizacja pojedynczego źródła dźwięku	680
17.5.2.	Lokalizacja kilku źródeł dźwięku	681
17.5.3.	Śledzenie źródła dźwięku	683
17.6.	Przykłady zastosowań macierzy mikrofonowych	684
17.6.1.	Poprawa SNR	684
17.6.2.	Separacja źródeł dźwięku	686
17.7.	Podstawy adaptacyjnego kształtowania wiązki	689
17.7.1.	Algorytm Frosta	689
17.7.2.	Uogólniona metoda tłumienia listków bocznych	690
17.8.	Macierze głośnikowe	691
17.9.	Literatura	694
18.	Kompresja obrazów	
	<i>Marek Domański</i>	696
18.1.	Reprezentacje obrazów w systemach cyfrowych	696
18.2.	Wprowadzenie do kompresji obrazów	700
18.3.	Normalizacja w zakresie kompresji	703
18.4.	Ogólny schemat technik kompresji	705
18.5.	Kompresja bezstratna obrazów nieruchomych	711
18.6.	Kompresja stratna pojedynczych obrazów	714
18.7.	Podstawowe pomysły wykorzystywane w kompresji międzyobrazowej obrazów ruchomych	722
18.7.1.	Estymacja ruchu	722
18.7.2.	Makroblok i jednostka kodowania	726
18.7.3.	Predykcja międzyobrazowa z kompensacją ruchu	727
18.7.4.	Obrazy typu B	729
18.8.	Generacje technik kompresji wizji	730
18.9.	Kompresja obrazu w technice AVC	733
18.10.	Podsumowanie	738
18.11.	Literatura	738
19.	Obiektywne pomiary jakości sekwencji wizyjnych	
	<i>Michał Grega, Lucjan Janowski, Mikołaj Leszczuk, Zdzisław Papier</i>	740
19.1.	Quality of Experience i jakość sekwencji wizyjnych	740
19.1.1.	Subiektywne metody pomiaru jakości sekwencji wizyjnych	741
19.1.2.	Obiektywne metody pomiaru jakości sekwencji wizyjnych	742
19.2.	Podstawowe metryki jakości	745
19.2.1.	Metryka PSNR	745
19.2.2.	Metryki oparte na analizie pakietów	750
19.3.	Zaawansowana metryka VQM	755
19.4.	Inne, znane standardy metryk	760
19.5.	Perspektywy pomiarów jakości usług	763
19.6.	Zadania	764
19.7.	Literatura	764
Część III.	Transmisja	767
20.	Zaawansowane algorytmy analizy częstotliwościowej sygnałów	
	<i>Tomasz P. Zieliński</i>	769
20.1.	Wprowadzenie	769
20.1.1.	Znaczenie analizy częstotliwościowej	769
20.1.2.	Model analizowanego sygnału	770
20.1.3.	Dekompozycja EVD i SVD macierzy	771

20.1.4.	Metoda składowych głównych PCA	773
20.2.	Demodulacja sygnału filtrem Hilberta	776
20.3.	Estymacja widmowa metodą liniowej predykcji	779
20.3.1.	Sygnał jednoskładnikowy	779
20.3.2.	Sygnał wieloskładnikowy	783
20.3.3.	Estymacja liczby składowych sinusoidalnych sygnału	785
20.3.4.	Interpretacja korelacyjna równań predykcji	786
20.3.5.	Metody zaawansowane – dalsza walka z szumem	788
20.4.	Estymacja widmowa metodą podprzestrzeni	792
20.5.	Metoda ESPRIT	795
20.6.	Porównanie metod	797
20.7.	Podsumowanie	799
20.8.	Zadania	801
20.9.	Literatura	802
	Dodatek D20. Estymacja amplitudy i fazy	804
21. Kodowanie korekcyjne błędów		
	<i>Andrzej R. Pach, Piotr Chołda</i>	805
21.1.	Wprowadzenie	805
21.2.	Kody wykrywające i korygujące błędy	808
21.3.	Kody liniowe	813
21.4.	Kody wielomianowe	816
21.4.1.	Kody wielomianowe – wstęp	816
21.4.2.	Kody cykliczne	822
21.5.	Kody spłotowe	825
21.6.	Konkatenacja kodów	830
21.6.1.	Konkatenacja szeregową	830
21.6.2.	Konkatenacja równoległą	830
21.7.	Podsumowanie	832
21.8.	Zadania	832
21.9.	Literatura	833
22. Podstawy transmisji radiowej		
	<i>Wiesław Ludwin, Jacek Wszótek, Tomasz Zieliński</i>	834
22.1.	System łączności radiowej	834
22.2.	Urządzenia częstotliwości pośredniej	840
22.3.	Szumy w systemie łączności radiowej	845
22.3.1.	Podstawy	846
22.3.2.	Szum termiczny – szum własny odbiornika	848
22.3.3.	Temperatura szumowa anteny	850
22.4.	Wybrane modele matematyczne torów radiowych	852
22.5.	Analiza systemów łączności opartych na wybranych modelach matematycznych kanałów radiowych	856
22.5.1.	System łączności oparty na modelu kanału AWGN	857
22.5.2.	Uproszczony model transmisji radiowej przez kanał AWGN w paśmie podstawowym	867
22.5.3.	Model matematyczny systemu radiowego pasma podstawowego wykorzystujący kanał FNFC z zanikiem płaskim	870
22.5.4.	Model matematyczny systemu radiowego pasma podstawowego wykorzystujący kanał FSFC z zanikiem selektywnym	874
22.6.	Programy w środowisku MATLAB – koło ratunkowe	879
22.7.	Zadania	889
22.8.	Literatura	889

23. Podstawy szerokopasmowej transmisji przewodowej

<i>Jarostaw Bułat</i>	891
23.1. Wprowadzenie	891
23.2. Transmisja OFDM/DMT	892
23.3. ADSL – przykładowy modem	897
23.4. Matematyczny model transmisji	904
23.5. Symulacyjny model transmisji	909
23.6. Wybrane elementy modemu oraz zjawiska występujące w szerokopasmowej transmisji przewodowej	914
23.6.1. Przykładowe charakterystyki kanału	915
23.6.2. Estymacja kanału komunikacyjnego	915
23.6.3. Interferencje międzysymbolowe ISI	917
23.6.4. Korektor czasowy TEQ	918
23.6.5. Interferencje międzykanałowe ICI	922
23.6.6. Przesłuchy	922
23.6.7. Zakłócenia addytywne	923
23.6.8. AWGN	923
23.6.9. NBI	926
23.7. Porównanie różnych implementacji szerokopasmowej transmisji przewodowej	928
23.8. Literatura	929

24. Przetwarzanie sygnałów w systemach MIMO

<i>Paweł Turcza</i>	931
24.1. Wprowadzenie	931
24.2. Model transmisji w systemie MIMO	933
24.3. Przepustowość kanału MIMO	934
24.4. Architektura BLAST	941
24.5. Algorytmy odbiorcze	944
24.5.1. Algorytm ML	944
24.5.2. Algorytm ZF	945
24.5.3. Algorytm MMSE	947
24.5.4. Algorytm MRC	949
24.5.5. Algorytmy iteracyjne	952
24.6. Kodowanie przestrzenno-czasowe	957
24.7. Zadanie	964
24.8. Literatura	965

25. Telefonia cyfrowa LTE 4G

<i>Jarostaw Bułat</i>	966
25.1. Wprowadzenie	966
25.2. Podstawowe cechy LTE	966
25.2.1. Transmisja do abonenta	967
25.2.2. Transmisja od abonenta	969
25.3. Ramka transmisyjna	970
25.4. Antena	972
25.5. Pasma transmisyjne	972
25.6. Zakłócenia	974
25.7. Przyszłość standardu LTE	975
25.8. LTE dla służb bezpieczeństwa publicznego i ratownictwa	976
25.9. Wybrane symulatory LTE	976
25.10. Literatura	977

Zakończenie	978
--------------------------	-----

Wykaz oznaczeń	979
-----------------------------	-----

Wykaz skrótów	981
----------------------------	-----