

Spis treści

Przedmowa

Wykaz oznaczeń

Wykaz skrótów

1. Sygnały i ich parametry 1

1.1. Pojęcia podstawowe 1

1.2. Klasyfikacja sygnałów 2

1.3. Sygnały deterministyczne 4

1.3.1. Parametry 4

1.3.2. Przykłady 7

1.3.3. Sygnały zespolone 13

1.3.4. Rozkład sygnałów na składowe 14

1.3.5. Funkcja korelacji własnej i wzajemnej 14

1.3.6. Splot sygnałów 17

1.3.7. Transformacja Fouriera 22

1.4. Sygnały losowe 24

1.4.1. Zmienne losowe 24

1.4.2. Procesy losowe, stacjonarność, ergodyczność 26

1.4.3. Funkcje korelacji i kowariancji, gęstość widmowa
mocy 28

1.4.4. Estymatory parametrów i funkcji 30

1.4.5. Filtracja sygnałów losowych 34

1.5. Przykład ćwiczenia komputerowego 35

2. Podstawy matematyczne analizy sygnałów
deterministycznych 39

2.1. Przestrzeń sygnałów deterministycznych 39

2.2. Dyskretne reprezentacje ciągłych sygnałów
deterministycznych 41

2.3. Ciągłe reprezentacje ciągłych sygnałów deterministycznych
– przekształcenia całkowite 47

2.4. Reprezentacje sygnałów dyskretnych – przestrzenie wektorowe	50
2.5. Przykład ćwiczenia komputerowego	60
3. Szereg Fouriera	63
3.1. Ortogonalne funkcje bazowe	63
3.2. Harmoniczne zespolone funkcje bazowe	65
3.3. Harmoniczne rzeczywiste funkcje bazowe	66
3.4. Przykład obliczeniowy	67
3.5. Przykład ćwiczenia komputerowego	68
3.6. Szereg Fouriera sygnałów dyskretnych – dyskretne przekształcenie Fouriera	71
4. Całkowe przekształcenie Fouriera	74
4.1. Definicja	74
4.2. Podstawowe właściwości	75
4.3. Transformaty Fouriera wybranych sygnałów	79
4.4. Widmo iloczynu i splotu dwóch sygnałów	87
4.5. Twierdzenie o próbkowaniu	93
4.6. Widmo sygnału spróbkowanego	97
4.7. Przykład ćwiczenia komputerowego	101
5. Układy analogowe	103
5.1. Analogowe układy LTI	103
5.2. Transmitancja układu analogowego, zera i bieguny	107
5.3. Przekształcenie Laplace'a, transmitancja Laplace'a	112
5.4. Wykresy Bodego	116
5.5. Złożone układy analogowe LTI	118
5.6. Analiza matematyczna wybranych układów elektrycznych	120
5.7. Przykłady projektowania	124
5.8. Przykład ćwiczenia komputerowego	129
6. Analogowe filtry Butterwortha i Czebyszewa	131
6.1. Ogólne zasady projektowania filtrów analogowych	132

6.2. Transformacja częstotliwości	139
6.3. Filtry Butterwortha	146
6.4. Filtry Czebyszewa typu I	157
6.5. Filtry Czebyszewa typu II	161
6.6. Sprzętowa implementacja filtrów analogowych	165
7. Dyskretyzacja sygnałów analogowych	173
7.1. Podstawy	173
7.2. Przetworniki analogowo-cyfrowe	179
7.3. Przetworniki cyfrowo-analogowe	184
7.4. Tor przetwarzania analogowo-cyfrowego i cyfrowo-analogowego	185
8. Analiza częstotliwościowa sygnałów dyskretnych	192
8.1. Widmo Fouriera sygnałów dyskretnych	192
8.1.1. Przekształcenie Fouriera dla sygnałów ciągłych	193
8.1.2. Szereg Fouriera dla sygnałów ciągłych	193
8.1.3. Przekształcenie Fouriera dla sygnałów dyskretnych	194
8.1.4. Szereg Fouriera dla sygnałów dyskretnych, czyli dyskretne przekształcenie Fouriera	198
8.2. Przykłady dyskretnych transformat Fouriera sygnałów	202
8.3. Interpretacja dyskretnego przekształcenia Fouriera	206
8.4. Tor przetwarzania sygnałów podczas analizy częstotliwościowej	210
8.5. Dyskretne okna czasowe	212
8.5.1. Okna nieparametryczne	212
8.5.2. Okna parametryczne	217
8.6. Przykłady analizy częstotliwościowej z wykorzystaniem funkcji okien	220
8.7. Szybkie wyznaczanie funkcji autokorelacji i funkcji gęstości widmowej mocy	226
9. Algorytmy wyznaczania dyskretnej transformacji	

Fouriera 231

9.1. Metoda bezpośrednia 231

9.2. Algorytm Goertzela 234

9.3. Rekurencyjne wyznaczanie sekwencji dyskretnych
transformat Fouriera 236

9.4. Transformacja świergotowa – lupa w dziedzinie
częstotliwości 239

9.5. Szybka transformacja Fouriera – algorytmy radix-2 241

9.5.1. Podział w dziedzinie czasu – DIT (Decimation
in Time) 241

9.5.2. Podział w dziedzinie częstotliwości – DIF (Decimation
in Frequency) 252

9.6. Szybka transformacja Fouriera dla sygnałów
rzeczywistych 255

9.7. Dwuwymiarowa dyskretna transformacja Fouriera 257

9.8. Wyznaczanie DCT metodą szybkiej transformacji
Fouriera 258

10. Układy dyskretnie 260

10.1. Układy dyskretnie LTI 260

10.2. Algorytm filtracji sygnałów za pomocą dyskretnych
układów LTI 265

10.3. Transformacja Z 267

10.4. Odwrotna transformacja Z 270

10.5. Właściwości transformacji Z 274

10.6. Transmitancja układów dyskretnych 275

10.7. Przykłady projektowania układów dyskretnych
metodą „zer i biegunów” 280

10.8. Przykład ćwiczenia komputerowego 284

11. Projektowanie rekursywnych filtrów cyfrowych 288

11.1. Wymagania stawiane filtrom cyfrowym 289

11.2. Metoda Yule’a-Walkera 291

11.3. Metoda niezmienności odpowiedzi impulsowej	291
11.4. Metoda dopasowanej transformacji Z	293
11.5. Metoda transformacji biliniowej	293
11.6. Przykłady projektowania filtrów w języku Matlab	297
11.7. Przykład ćwiczenia komputerowego	304
12. Projektowanie nierekursywnych filtrów cyfrowych	307
12.1. Wprowadzenie	308
12.2. Metoda próbkowania w dziedzinie częstotliwości	313
12.3. Metoda optymalizacji średniokwadratowej	317
12.4. Metoda aproksymacji Czebyszewa (algorytm Remeza)	321
12.5. Metoda okien	325
12.6. Filtry specjalne	339
12.6.1. Filtr Hilberta	339
12.6.2. Filtr różniczkujący	345
12.6.3. Filtr interpolatora i decymatora cyfrowego	347
12.6.4. Przykład ćwiczenia komputerowego	351
12.7. Synchronizacja próbek wejściowych i wyjściowych filtra	353
13. Algorytmy filtracji cyfrowej	356
13.1. Klasyczne struktury filtrów cyfrowych	356
13.2. Struktura zmiennych stanu	361
13.3. Inne struktury filtrów cyfrowych	363
13.4. Splot liniowy i kołowy	364
13.5. Algorytmy szybkiego splotu sygnałów dyskretnych	371
13.6. Algorytmy sekcjonowanego szybkiego splotu sygnałów dyskretnych	373
13.7. Przykład ćwiczenia komputerowego	376
14. Filtry adaptacyjne	379
14.1. Wprowadzenie	379
14.2. Podstawy filtracji adaptacyjnej	380

14.3. Filtracja optymalna – filtr Wienera	382
14.4. Gradientowe filtry adaptacyjne	384
14.5. Filtry adaptacyjne LSM – bez pamięci	386
14.6. Filtry adaptacyjne LS (RLS) – filtry z pamięcią	388
14.7. Przykłady zastosowań	391
14.8. Przykład ćwiczenia komputerowego – filtr adaptacyjny (N)LMS	394
15. Liniowa estymacja rekursywna	399
15.1. Metoda najmniejszych kwadratów. Filtry RLS i WRLS	399
15.2. Metoda minimalno-średniokwadratowa. Filtr Kalmana	408
16. Zaawansowane metody analizy częstotliwościowej sygnałów	420
16.1. Wprowadzenie	420
16.2. Modelowanie parametryczne AR, MA i ARMA	423
16.2.1. Podstawy	423
16.2.2. Model AR	426
16.2.3. Model MA	427
16.2.4. Model ARMA	429
16.2.5. Podsumowanie	430
16.3. Metody podprzestrzeni	430
16.3.1. Podstawy	430
16.3.2. Metoda Pisarenki	432
16.3.3. Metody pochodne: MUSIC, EV i MV	435
16.3.4. Metoda ESPRIT	437
16.3.5. Metody podprzestrzeni sygnału (składowych głównych)	439
16.4. Przykład ćwiczenia komputerowego	440
17. Metody czasowo-częstotliwościowej analizy sygnałów	443
17.1. Problem analizy czasowo-częstotliwościowej	444

17.2. Transformacja Gabora	450
17.3. Krótkoczasowa transformacja Fouriera STFT	455
17.4. Transformacja falkowa	459
17.5. Transformacja Wignera-Ville'a	472
17.6. Reprezentacje czasowo-częstotliwościowe z klasy Cohena	477
17.7. Przykłady zastosowań	486
17.8. Przykład ćwiczenia komputerowego	493
18. Zespoły filtrów	496
18.1. Wprowadzenie	496
18.2. Pojęcia podstawowe	500
18.2.1. Decymator i interpolator	500
18.2.2. Dekompozycja polifazowa sygnałów	503
18.2.3. Decymator i interpolator w zapisie polifazowym	506
18.3. Opis matematyczny zespołu filtrów	507
18.3.1. Analiza jednej gałęzi	507
18.3.2. Analiza wszystkich gałęzi	511
18.3.3. Zapis polifazowy zespołu filtrów	512
18.3.4. Warunek perfekcyjnej rekonstrukcji	514
18.4. Zespoły filtrów z modulacją zespoloną	515
18.4.1. DFT jako modulowany zespół filtrów	516
18.4.2. Krótkoczasowa transformacja Fouriera STFT jako modulowany zespół filtrów	518
18.4.3. Uogólniony modulowany zespół filtrów oparty na DFT	519
18.5. Zespoły filtrów z modulacją kosinusową	527
18.5.1. Równania, budowa	527
18.5.2. Projektowanie filtrów prototypowych	533
18.6. Implementacja programowa zespołu filtrów standardu MPEG audio	539
19. Projekt LPC-10: podstawy kompresji i rozpoznawania	

sygnału mowy 545

19.1. Wprowadzenie 545

19.2. Model generacji sygnału mowy 549

19.3. Układ decyzyjny „mowa dźwięczna/bezdźwięczna” 551

19.4. Wyznaczanie filtra traktu głosowego 557

19.5. Algorytm kodera i dekodera mowy standardu LPC-10 563

19.6. Przykład programu komputerowego 566

19.7. Od kodowania do rozpoznawania mowy 569

20. Projekt LPC-10: kompresja sygnału mowy – metody
zaawansowane 577

20.1. Metoda Durбина-Levinsona 577

20.2. Filtry kratowe 581

20.3. Przykładowy program komputerowy 590

21. Projekt MPEG AUDIO: psychoakustyczna kompresja
dźwięku 592

21.1 Wprowadzenie do standardu MPEG audio 593

21.2. Podstawy modelowania psychoakustycznego 594

21.3. Modele psychoakustyczne standardu MPEG audio 603

21.3.1. Model psychoakustyczny I 603

21.3.2. Model psychoakustyczny II 604

21.3.3. Program komputerowy 612

21.4. Zespoły filtrów w standardzie MPEG audio 618

21.5. Kodowanie dźwięku na poziomach MP1 i MP2 631

21.5.1. Algorytm kompresji i dekompresji 631

21.5.2. Program komputerowy 638

22. Projekt OBRAZ: podstawy analizy i przetwarzania
sygnałów dwuwymiarowych 647

22.1. Wprowadzenie do świata 2D i 3D 649

22.2. Transformacje ortogonalne 2D obrazów 658

22.2.1. Dyskretna transformacja Fouriera 658

22.2.2. Dyskretna transformacja kosinusowa 663

- 22.2.3. Dowolna transformacja ortogonalna – interpretacja współczynników 665
- 22.3.4. Program komputerowy 668
- 22.3. Filtracja 2D obrazów 670
 - 22.3.1. Splot 2D 670
 - 22.3.2. Projektowanie filtrów 2D 674
 - 22.3.3. Przykładowe filtry 2D 683
 - 22.3.4. Program komputerowy 686
- 22.4. Falkowa dekompozycja 2D obrazów 690
 - 22.4.1. Jednowymiarowa predykcyjna transformacja falkowa 691
 - 22.4.2. Związki pomiędzy klasyczną a predykcyjną transformacją falkową 697
 - 22.4.3. Program komputerowy do falkowej dekompozycji obrazów 700
- 22.5. Przykłady zastosowań 707
 - 22.5.1. Kompresja JPEG i MPEG 707
 - 22.5.2. Znaki wodne w obrazach 715
 - 22.5.3. Dopasowywanie do siebie obrazów cyfrowych 718
 - 22.5.4. Detekcja linii w inżynierii materiałowej - transformacja Hougha 730
 - 22.2.5. Algorytmiczna stabilizacja obrazu w zastosowaniach medycznych 733
 - 22.5.6. Systemy nawigacji wspomagające zabiegi medyczne 737
- 23. Projekt MODEM ADSL: szybki dostęp do Internetu po linii telefonicznej 740
 - 23.1 Podstawy modulacji 741
 - 23.2. Cyfrowe modulacje wielotonowe 745
 - 23.3. Standard ADSL 748
 - 23.4. Modulator-demodulator DMT 751

23.5 Źródła zniekształceń i zakłóceń	754
23.6 Wybrane zagadnienia implementacyjne	759
23.6.1. Identyfikacja odpowiedzi impulsowej kanału	759
23.6.2. Korekcja czasowa kanału – skracanie czasu trwania odpowiedzi impulsowej	764
23.6.3. Synchronizacja blokowa	767
23.6.4. Korekcja częstotliwościowa kanału	769
23.6.5. Estymacja przepływności bitowej	770
23.6.6. Właściwy dobór korektora czasowego	773
23.7. Przykład ćwiczenia komputerowego	773
24. Projekt FAZA: estymacja chwilowego przesunięcia fazowego	778
24.1. Estymatory proste	778
24.2. Estymatory złożone	781
24.3. Przykłady algorytmów	782
24.4. Przykładowy program komputerowy	786
25. EPILOG: implementacja algorytmów DSP na procesorach sygnałowych	787
25.1 Wprowadzenie do budowy i programowania procesorów DSP	788
25.2. Splot sygnałów na procesorze DSP	791
25.3. Wybrane zagadnienia implementacyjne	796
25.3.1. Specyfika budowy i zastosowań procesorów sygnałowych	796
25.3.2. Podstawy pisania i uruchamiania programów	800
25.3.3. Zaawansowane narzędzia	803
25.3.4. Przykład projektowania filtra IIR	805
25.4. Przykładowa aplikacja procesora DSP	807
25.5. Procesory DSP a układy programowalne FPGA	808
25.6. Przyszłość – czy jesteśmy trendy?	810
Literatura	813

Dodatki 823

D.1. Wykaz programów 823

D.2. Wersja elektroniczna programów 824

Skorowidz 825