

SPIS TREŚCI

ROZDZIAŁ I

SYGNAŁY CYFROWE 9

1. **Pojęcia wstępne** 9
Wiadomości , informacje, dane, sygnały (9). Sygnał jako nośnik informacji (11). Sygnał jako funkcja (12). Sygnał analogowy (13). Sygnał cyfrowy (13).
2. **Próbkowanie** 14
Sygnały okresowe (16). Trygonometryczny szereg Fouriera (17). Częstotliwość Nyquista (20).
3. **Kwantyzacja** 22
4. **Zapis binarny liczb** 24
Pozycyjny system liczbowy (24). Binarny kod znak-moduł (26). Kod uzupełnieniowy (26). Kod uzupełnień do dwóch (28). Zapis stałoprzecinkowy (28). Błędy zaokrągleń (30). Zapis zmiennoprzecinkowy (31).
5. **Modulacja impulsowo-kodowa** 34
Modulacja (34). Modulacja ciągła (34). Modulacja impulsowa (35). Modulacja PCM (35). Modulacja DPCM (37). Kodowanie sygnału mowy (40).
6. **Przykład standardu plików audio** 41
Format WAVE (41). Kwantyzacja logarytmiczna (47).

ROZDZIAŁ II

METODY CZĘSTOTLIWOŚCIOWE PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW 50

7. **Dyskretny sygnał sinusoidalny** 50
Próbkowanie sygnału (50). Próbkowanie sygnału sinusoidalnego (51). Rozróżnianie sygnałów sinusoidalnych po próbkowaniu (51).
8. **Dyskretne przekształcenie Fouriera** 53
Widmo sygnału czasu ciągłego (53). Widmo próbek sygnału (55). Dyskretny szereg Fouriera (57). Interpretacja częstotliwościowa dyskretnego szeregu Fouriera (57). Minimalna liczba próbek (59). Dyskretne przekształcenie Fouriera (60). Macierzowy zapis dyskretnego przekształcenia Fouriera (61).

9. Metody częstotliwościowe konwersji częstotliwości próbkowania	65
Zwiększanie częstotliwości okresu próbkowania (66). Zmniejszanie częstotliwości próbkowania (71). Nadpróbkowanie (75). Decymacja (77). Zmiana liczby próbek ze współczynnikiem ułamkowym (79).	
10. Widmo sygnału po konwersji	84
Widmo sygnału PAM (84). Widmo sygnału PCM (88).	
11. Spektrogram	90
Skutki okresowego przedłużania (90). Analiza czasowo-częstotliwościowa (93).	
12. Kodowanie perceptualne sygnału audio	98
Słyszalność, miara głośności (98). Sygnał mowy (100). Sygnał audio (101). Modele psychoakustyczne (102).	

ROZDZIAŁ III

FILTRACJA LINIOWA **104**

13. Układy liniowe z czasem dyskretnym	105
Odpowiedź impulsowa (105). Odpowiedź na dowolne wymuszenie (106). Splot (106).	
14. Transmitancja widmowa	107
Odpowiedź na wymuszenie sinusoidalne (107). Charakterystyki częstotliwościowe (108). Odpowiedź na dowolne wymuszenie okresowe (109).	
15. Przekształcenie Z	112
Transformata Z (112). Związek transformaty Z i dyskretnej transformaty Fouriera (113). Transformata Z splotu (113).	
16. Filtry FIR i filtry IIR	114
Transmitancja Z (115). Element opóźniający (115). Filtry FIR (116). Filtry IIR (117).	
17. Zastosowanie DFT do realizacji filtrów FIR	120
Odpowiedź filtru FIR na sygnał wejściowy o skończonej długości (120). Zastosowanie DFT do obliczania splotu ciągów o skończonych długościach (120). Metoda sumowania z nakładaniem (124).	
18. Splot kołowy	126
Mnożenie współczynników DFT dwóch sygnałów o tej samej długości (126). Splot kołowy (127). DFT splotu kołowego (127). Splot kołowy a splot liniowy (128). Metoda sumowania bez nakładania (128).	

19. **Liniowa charakterystyka fazowa filtru cyfrowego** 130
Pulsacja znormalizowana (130). Przesunięcie fazowe a opóźnienie sygnału sinusoidalnego (131). Liniowa charakterystyka fazowa (132).
20. **Charakterystyka częstotliwościowa zerofazowa** 134
Kiedy charakterystyka fazowa filtru FIR jest liniowa? (134). Obliczenia dla N parzystego (135). Charakterystyka częstotliwościowa zerofazowa (136). Obliczenia dla N nieparzystego (138).
21. **Filtr FIR dolnoprzepustowy** 140
Idealny filtr dolnoprzepustowy (140). Postać ogólna charakterystyki zerofazowej (141). Idealna charakterystyka zerofazowa filtru dolnoprzepustowego (142). Odpowiedź impulsowa filtru dolnoprzepustowego (144).
22. **Zastosowanie okien czasowych** 146
Zastosowanie idealnej odpowiedzi impulsowej filtru dolnoprzepustowego (146). Funkcja okna prostokątnego (147). Zastosowanie funkcji okna nieprostokątnego (147).

ROZDZIAŁ IV

ZESTAWY FILTRÓW 152

23. **Filtry pasmowe** 152
Przesuwanie charakterystyki częstotliwościowej (152). Filtr obliczający średnią ruchomą i filtr obliczający różnicę ruchomą (153). Przekształcenie DFT jako zestaw filtrów (154).
24. **Dwukanałowy zestaw filtrów** 156
Filtr dolnoprzepustowy i filtr górnoprzepustowy (156). Filtry lustrzane (156). Układ analizy sygnału, układ syntezy sygnału, warunek perfekcyjnej rekonstrukcji (158). Filtry dwumianowe (160). Przykład rekonstrukcji dla zestawu filtrów lustrzanych (160).
25. **Dwukanałowy zestaw filtrów z decymacją próbek** 162
Zastosowanie decymatorów i ekspanderów (162). Transformata Z sygnału zrekonstruowanego (163). Warunek perfekcyjnej rekonstrukcji (166). Przykład zestawu filtrów lustrzanych (167). Przykład zastosowania zasady *alternating flip* (169).
26. **Struktura polifazowa filtru** 172
Przetwarzania równoległe (172). Równoległe przetwarzanie M strumieni (173). Równoważność Noble'a pierwszego rodzaju (173). Równoważność Noble'a drugiego rodzaju (175). Rozdzielanie filtrowanego sygnału na dwie fazy (175). Polifazowa struktura filtru analizy (177). Przykład polifazowej struktury filtru analizy dla maksymalnej liczby faz (178). Przykład filtru syntezy dla maksymalnej liczby faz (179).

27. **Zestaw filtrów o strukturze polifazowej** 179
 Przykład zestawu filtrów pasmowych o strukturze polifazowej (180). Przykład wyznaczania zestawu filtrów o strukturze polifazowej spełniającego warunek perfekcyjnej rekonstrukcji (183). Warunek wystarczający perfekcyjnej rekonstrukcji w ogólnym przypadku (187). Przykład wyznaczania zestawu filtrów o strukturze polifazowej spełniającego warunek wystarczający perfekcyjnej rekonstrukcji (191). Przykład zestawu filtrów o strukturze polifazowej w przypadku maksymalnej liczby faz (194). Warunek perfekcyjnej rekonstrukcji w przypadku maksymalnej liczby faz (196).
28. **Zestaw filtrów ortogonalnych** 197
 Implementacja analizy i syntezy w przypadku maksymalnej liczby faz (197). Filtry biortogonalne (199). Macierze unitarne (201). Filtry ortogonalne (201). Wykorzystanie transformaty DFT jako zestawu filtrów ortogonalnych (202). Macierze polifazowe zestawu filtrów (203). Macierze paraunitarne (204). Zasada *alternating flip* (205). Przykład kaskady filtrów (206). Struktura kratowa zestawu filtrów (210).
29. **Zestaw filtrów z modulacją zespoloną** 213
 Przesuwanie charakterystyki częstotliwościowej jako modulacja filtru prototypowego (213). Struktura polifazowa zestawu modulowanych filtrów analizy (217). Zestaw filtrów DFT (219). Warunek perfekcyjnej rekonstrukcji dla zestawu filtrów DFT (220).
30. **Zestaw filtrów analizy z modulacją rzeczywistą** 221
 Modulacja zespolona a modulacja rzeczywista (221). Jak zmienia się widmo sygnału na skutek modulacji kosinusowej? (221). Zestaw filtrów analizy uzyskiwany w wyniku modulacji kosinusowej (223). Modyfikacje modulacji kosinusowej (225). Implementacja polifazowa zestawu filtrów analizy (226). Modyfikacja implementacji polifazowej zestawu filtrów analizy (231).

ROZDZIAŁ V

ANALIZA WIELOROZDZIELCZA 232

31. **Aproksymacja, kombinacje liniowe, podprzestrzenie** 233
 Trygonometryczny szereg Fouriera Z (233). Uogólniony szereg Fouriera (234). Funkcje Haara (235). Skalowanie czasu (237). Przesunięcie wzdłuż osi czasu (238). Indeksowanie podprzestrzeni (238).
32. **Funkcja skalująca** 239
 Postulaty aproksymacji wielorozdzielczej (239). Baza podprzestrzeni jako ciąg przesuniętych impulsów (240). Funkcja skalująca (241). Przykład aproksymacji funkcjami schodkowymi (242). Równanie skalujące (243). Problemy rozwiązywania równania skalującego (245). Zmniejszanie rozdzielczości sygnału (248). Zmniejszanie rozdzielczości sygnału a filtracja dolnopasmowa (250).

-
33. **Bazy falkowe** 251
 Problem zwiększania rozdzielczości (251). Falki (252). Ciąg falek jako baza przestrzeni sygnałów o ograniczonej energii (254). Równanie falkowe (254). Zasada *alternating flip* (255).
34. **Kodowanie piramidalne** 258
 Przybliżenia sygnału (258). Analiza sygnału (259). Synteza sygnału (261). Algorytm Mallata (261). Kodowanie piramidalne (263).
35. **Aproksymacja wielorozdzielcza Shannona** 266
 Transformata Fouriera sygnału czasu dyskretnego (266). Transformata Fouriera sygnału czasu ciągłego (267). Własności widma funkcji skalującej (268). Funkcja skalująca Shannona (269). Równanie skalujące w dziedzinie częstotliwości (270). Właściwość widma ciągu współczynników równania skalującego (270). Właściwość widma ciągu współczynników równania falkowego (271). Falka Shannona (274).
36. **Filtry Daubechies** 275
 Warunek równomiernego przenoszenia częstotliwości przez zestaw dwóch filtrów (275). Zestaw dwóch filtrów bazujący na filtrach dwumianowych (277). Warunek równomiernego przenoszenia częstotliwości przez zestaw bazujący na filtrach dwumianowych (278). Równanie Daubechies (280). Przykład wprowadzający (281). Algorytm obliczenia transmitancji $R(z)$ (282). Przykład dla $p=2$ (283). Przykład dla $p=3$ (284).
37. **Falki Daubechies** 287
 Warunek ortogonalności bazy falkowej (287). Związek między warunkiem ortogonalności dla falki i warunkiem ortogonalności dla funkcji skalującej (288). Postulat znikania pierwszych momentów falki (289). Właściwości widma ciągu współczynników równania skalującego (290). Falki Daubechies a filtry Daubechies (291). Obliczenie wartości funkcji skalującej dla argumentu całkowitego (292). Wektorowa postać równania skalującego (295). Normalizacja funkcji skalującej (298).

LITERATURA

300