

Spis treści

PRZEDMOWA	9
1. SYGNAŁY I SYSTEMY DYSKRETNE	17
1.1. Sygnały dyskretne i ich notacja	18
1.2. Wartość chwilowa, wartość bezwzględna i chwilowa moc sygnału	24
1.3. Symbole operacji w przetwarzaniu sygnałów	25
1.4. Wprowadzenie do dyskretnych systemów liniowych niezmiennych w czasie	27
1.5. Liniowe systemy dyskretne	28
1.5.1. Przykład systemu liniowego	29
1.5.2. Przykład systemu nieliniowego	30
1.6. Systemy niezmiennicze w czasie	33
1.7. Właściwość przemienności liniowych systemów niezmiennych w czasie	34
1.8. Analiza systemów liniowych niezmiennych w czasie	35
2. PRÓBKOWANIE RÓWNOMIERNE	37
2.1. Aliasing: niejednoznaczność postaci sygnału w dziedzinie częstotliwości	37
2.2. Próbkowanie sygnałów dolnopasmowych	43
2.3. Próbkowanie sygnałów pasmowych	46
2.4. Odwrócenie widmowe w próbkowaniu pasmowym	55
3. DYSKRETNE PRZEKSZTAŁCENIE FOURIERA	60
3.1. Zrozumienie równania DFT	61
3.1.1. Przykład 1 DFT	64
3.2. Symetria DFT	72
3.3. Liniowość DFT	74
3.4. Wartości widma amplitudowego DFT	75
3.5. Oś częstotliwości DFT	76
3.6. Twierdzenie o przesunięciu	77
3.6.1. Przykład 2 DFT	78
3.7. Odwrotne dyskretne przekształcenie Fouriera	79
3.8. Przeciek DFT	80
3.9. Okna	88
3.10. Strata zafalowań DFT	96
3.11. Rozdzielczość DFT, uzupełnianie zerami i próbkowanie w dziedzinie częstotliwości	97
3.12. Poprawa stosunku sygnał/szum za pomocą DFT	101
3.12.1. Poprawa stosunku sygnał/szum pojedynczej DFT	101

3.12.2.	Poprawa stosunku sygnał/szum wynikająca z uśrednienia wielokrotnych DFT	104
3.13.	DFT funkcji prostokątnych	104
3.13.1.	DFT funkcji prostokątnej w postaci ogólnej	105
3.13.2.	DFT symetrycznej funkcji prostokątnej	111
3.13.3.	DFT funkcji prostokątnej o samych wartościach jednostkowych	113
3.13.4.	Osie czasu i częstotliwości związane z funkcjami prostokątnymi	116
3.13.5.	Alternatywne postaci DFT funkcji prostokątnej o samych wartościach jednostkowych	118
3.13.6.	Odwrotna DFT funkcji prostokątnej w postaci ogólnej	119
3.13.7.	Odwrotna DFT symetrycznej funkcji prostokątnej	121
3.13.8.	DFT pobudzenia zespolonego	123
3.14.	DFT rzeczywistego pobudzenia cosinusoidalnego	126
3.15.	Jednoprążkowa DFT pobudzenia będącego rzeczywistym sygnałem cosinusoidalnym	129
4.	SZYBKE PRZEKSZTAŁCENIE FOURIERA	132
4.1.	Związek pomiędzy FFT i DFT	133
4.2.	Wskazówki praktyczne dotyczące algorytmów FFT	134
4.2.1.	Próbkowanie wystarczająco szybkie i wystarczająco długie	134
4.2.2.	Przetwarzanie wstępne danych czasowych przed wyznaczeniem FFT	135
4.2.3.	Poprawianie wyników FFT	136
4.2.4.	Interpretacja wyników FFT	137
4.3.	Oprogramowanie implementujące FFT	138
4.4.	Wprowadzenie algorytmu FFT o podstawie 2	139
4.5.	Odwroćenie bitowe indeksu danych wejściowych/wyjściowych FFT	146
4.6.	Struktury motylkowe algorytmu FFT o podstawie 2	147
5.	FILTRY O SKOŃCZONEJ ODPOWIEDZI IMPULSOWEJ	157
5.1.	Wprowadzenie do filtrów o skończonej odpowiedzi impulsowej — filtry SOI	158
5.2.	Operacja splotu w filtrach SOI	163
5.3.	Projektowanie dolnoprzepustowych filtrów SOI	173
5.3.1.	Projektowanie metodą okna	173
5.3.2.	Zastosowanie funkcji okien przy projektowaniu filtrów SOI	181
5.4.	Projektowanie środkowoprzepustowych filtrów SOI	188
5.5.	Projektowanie górnoprzepustowych filtrów SOI	190
5.6.	Metoda Remeza projektowania filtrów SOI	190
5.7.	Półpasemowe filtry SOI	193
5.8.	Charakterystyka fazowa filtrów SOI	195
5.9.	Ogólny opis splotu dyskretnego	200
5.10.	Splot dyskretny w dziedzinie czasu	201
5.10.1.	Twierdzenie o splocie	204
5.10.2.	Zastosowanie twierdzenia o splocie	208
6.	FILTRY O NIESKOŃCZONEJ ODPOWIEDZI IMPULSOWEJ	213
6.1.	Wprowadzenie do filtrów o nieskończonej odpowiedzi impulsowej	214
6.2.	Przekształcenie Laplace'a	217
6.2.1.	Bieguny i zera na płaszczyźnie s , a stabilność	223
6.3.	Przekształcenie $\mathcal{Z}$	230
6.3.1.	Bieguny i zera na płaszczyźnie z , a stabilność	232
6.3.2.	Zastosowanie przekształcenia $\mathcal{Z}$ w analizie filtrów NOI	233
6.3.3.	Ulepszona struktura filtru NOI	241

6.4.	Projektowanie filtrów NOI metodą niezmienniczości odpowiedzi impulsowej	244
6.4.1.	Przykład metody 1 niezmienniczości odpowiedzi impulsowej	250
6.4.2.	Przykład metody 2 niezmienniczości odpowiedzi impulsowej	253
6.5.	Projektowanie filtrów NOI metodą transformacji biliniowej	260
6.5.1.	Przykład projektowania filtru z użyciem transformacji biliniowej	266
6.6.	Zoptymalizowana metoda projektowania filtrów NOI	270
6.7.	Pułapki czyhające przy budowie cyfrowych filtrów NOI	271
6.8.	Struktury kaskadowe i równoległe filtrów cyfrowych	275
6.9.	Krótkie porównanie filtrów NOI i SOI	278
7.	ZAAWANSOWANE TECHNIKI PRÓBKOWANIA	281
7.1.	Próbkowanie kwadraturowe	281
7.2.	Próbkowanie kwadraturowe z mieszaniem cyfrowym	285
7.3.	Cyfrowa zmiana szybkości próbkowania	287
7.3.1.	Zmiana szybkości próbkowania poprzez decymację	288
7.3.2.	Zmiana szybkości próbkowania przez interpolację	293
7.3.3.	Połączenie decymacji i interpolacji	296
8.	UŚREDNIANIE SYGNAŁÓW	301
8.1.	Uśrednianie koherentne	302
8.2.	Uśrednianie niekoherentne	309
8.3.	Uśrednianie wartości wielokrotnych FFT	311
8.4.	Aspekty filtracyjne uśredniania w dziedzinie czasu	320
8.5.	Uśrednianie wykładnicze	321
9.	REPREZENTACJE DANYCH CYFROWYCH I ICH SKUTKI	328
9.1.	Stałoprzecinkowe reprezentacje dwójkowe	328
9.1.1.	Liczby ósemkowe	329
9.1.2.	Liczby szesnastkowe	330
9.1.3.	Ułamkowe liczby dwójkowe	330
9.1.4.	Reprezentacja dwójkowa znak-moduł	332
9.1.5.	Reprezentacja uzupełnienia do dwóch	332
9.1.6.	Reprezentacja z przesunięciem dwójkowym	334
9.2.	Precyzja i zakres dynamiki liczb dwójkowych	334
9.3.	Skutki skończonej długości stałoprzecinkowego słowa dwójkowego	335
9.3.1.	Błędy kwantyzacji w przetwornikach A/C	335
9.3.2.	Przepiętnienie danych	343
9.3.3.	Obcięcie	347
9.3.4.	Zaokrąglenie danych	349
9.4.	Zmiennoprzecinkowe reprezentacje dwójkowe	351
9.4.1.	Zmiennoprzecinkowy zakres dynamiczny	354
9.5.	Blokowa zmiennoprzecinkowa reprezentacja dwójkowa	356
10.	SZTUCZKI CYFROWEGO PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW	359
10.1.	Przesunięcie częstotliwości bez mnożenia	359
10.2.	Szybka aproksymacja modułu wektora	372
10.2.1.	Algorytm $\alpha Max + \beta Min$	373
10.2.2.	Błędy przepiętnienia	376
10.2.3.	Błędy zaokrąglenia	376
10.3.	Sztuczki okienkowania danych	378
10.3.1.	Okienkowanie w dziedzinie częstotliwości	378
10.3.2.	Minimalizacja tłumienia wprowadzanego przez okienkowanie	380

10.4.	Szybkie mnożenie liczb zespolonych	382
10.5.	Sprawniejsza FFT dla sygnałów rzeczywistych	383
10.5.1.	Realizacja dwóch N -punktowych FFT	383
10.5.2.	Realizacja $2N$ -punktowej rzeczywistej FFT	390
10.6.	Obliczanie odwrotnej FFT za pomocą prostej FFT	395
10.6.1.	Pierwsza metoda obliczania odwrotnej FFT	395
10.6.2.	Druga metoda obliczania odwrotnej FFT	396
10.7.	Szybkie uśrednianie wielokrotnych FFT	398
10.8.	Uproszczona struktura filtru SOI	398
10.9.	Technika testowania dokładności przetwornika A/C	400
10.10.	Szybka filtracja SOI z użyciem FFT	403
10.11.	Obliczanie sinusów i cosinusów kolejnych kątów	404
10.12.	Generacja danych losowych o rozkładzie normalnym	406

DODATKI

A.	ARYTMETYKA LICZB ZESPOLONYCH	410
A.1.	Reprezentacja graficzna liczb rzeczywistych i zespolonych	410
A.2.	Arytmetyczna reprezentacja liczb zespolonych	411
A.3.	Operacje arytmetyczne na liczbach zespolonych	413
A.3.1.	Dodawanie i odejmowanie liczb zespolonych	413
A.3.2.	Mnożenie liczb zespolonych	414
A.3.3.	Sprzężenie liczby zespolonej	414
A.3.4.	Dzielenie liczb zespolonych	415
A.3.5.	Odwrotność liczby zespolonej	415
A.3.6.	Potęgowanie liczb zespolonych	415
A.3.7.	Pierwiastki liczby zespolonej	416
A.3.8.	Logarytmy naturalne liczby zespolonej	416
A.3.9.	Logarytm o podstawie 10 liczby zespolonej	417
A.3.10.	Logarytm o podstawie 10 liczby zespolonej, wyrażony za pomocą logarytmu naturalnego	417
A.4.	Pewne praktyczne implikacje używania liczb zespolonych	418
B.	JAWNA POSTAĆ SZEREGU GEOMETRYCZNEGO	420
C.	SYGNAŁY ZESPOLONE I CZĘSTOTLIWOŚĆ UJEMNA	422
C.1.	Liczyby urojone	424
C.2.	Reprezentacja sygnałów rzeczywistych za pomocą wskazów zespolonych	426
C.3.	Reprezentowanie sygnałów rzeczywistych za pomocą częstotliwości ujemnych	430
C.4.	Sygnały zespolone i mieszanie kwadraturowe	434
D.	WARTOŚĆ ŚREDNIA, WARIANCJA I ODCHYLENIE STANDARDOWE	438
D.1.	Miary statystyczne	438
D.2.	Odchylenie standardowe, lub wartość skuteczna, ciągłej sinusoidy	441
D.3.	Wartość średnia i wariancja sygnałów przypadkowych	442
D.4.	Funkcja gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego	445
E.	DECYBELE (dB i dbm)	446
E.1.	Użycie logarytmu do określania względnej mocy sygnału	446
E.2.	Pewne użyteczne liczby decybelowe	451
E.3.	Moc bezwzględna z wykorzystaniem decybeli	452
F.	TERMINOLOGIA FILTRÓW CYFROWYCH	453