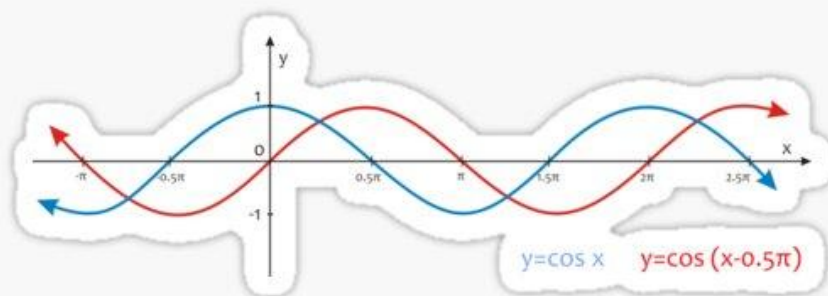


GIÁO TRÌNH

XỬ LÝ TÍN HIỆU SỐ



MỤC LỤC

Mục lục.....	1
Danh mục từ viết tắt.....	5
Danh mục hình vẽ	6
Danh mục bảng biểu.....	10
Giới thiệu.....	11
Chương 1. Tổng quan về tín hiệu và hệ thống	13
1.1. Tín hiệu, hệ thống và xử lý tín hiệu.....	13
1.1.1. Khái niệm cơ bản.....	13
1.1.2. Các thành phần cơ bản của hệ thống xử lý tín hiệu số	15
1.1.3. Ưu điểm của xử lý tín hiệu số so với tương tự.....	15
1.2. Biến đổi Tương tự - Số và Số - Tương tự.....	16
1.2.1. Lấy mẫu tín hiệu tương tự	17
1.2.2. Lý thuyết lấy mẫu.....	24
1.2.3. Lượng tử hóa tín hiệu liên tục biên độ	29
1.2.4. Lượng tử hóa tín hiệu hình sin	31
1.2.5. Mã hóa các mẫu đã được lượng tử hóa.....	33
1.2.6. Chuyển đổi Số - Tương tự.....	34
1.2.7. So sánh phân tích hệ thống và tín hiệu số với phân tích hệ thống và tín hiệu rời rạc thời gian	34
Chương 2. Tín hiệu và hệ thống rời rạc thời gian	36
2.1. Tín hiệu rời rạc thời gian	36
2.1.1. Một vài tín hiệu rời rạc thời gian đặc biệt	37
2.1.2. Phân loại tín hiệu rời rạc thời gian	41
2.1.3. Một số phép toán cơ bản với tín hiệu rời rạc thời gian.....	43
2.2. Hệ thống rời rạc thời gian.....	48
2.2.1. Mô tả vào - ra của hệ thống.....	49
2.2.2. Biểu diễn hệ thống rời rạc thời gian bằng sơ đồ khối.....	52
2.2.3. Phân loại hệ thống rời rạc thời gian.....	54

2.2.4.	Liên kết các hệ thống rời rạc thời gian	63
2.3.	Phân tích hệ thống rời rạc tuyến tính bất biến thời gian	64
2.3.1.	Các kỹ thuật phân tích hệ thống tuyến tính	64
2.3.2.	Phân tích tín hiệu rời rạc thời gian thành các xung	65
2.3.3.	Tích chập của hệ thống TTBB.....	66
2.3.4.	Tính chất của tích chập và kết nối các hệ thống TTBB.....	71
2.3.5.	Hệ thống tuyến tính, bất biến thời gian, nhân quả.....	75
2.3.6.	Tính ổn định của hệ thống tuyến tính, bất biến thời gian.....	77
2.3.7.	Hệ thống có đáp ứng xung hữu hạn và vô hạn	78
2.4.	Hệ thống rời rạc thời gian được mô tả bằng phương trình sai phân	79
2.4.1.	Phương trình sai phân tuyến tính hệ số hằng.....	80
2.4.2.	Giải Phương trình Sai phân Tuyến tính Hệ số hằng.....	81
2.4.3.	Đáp ứng xung của hệ thống TTBB được mô tả dưới dạng phương trình SP	
TT HSH.	92	
2.5.	Thực hiện các hệ thống thời gian rời rạc	95
2.6.	Phép tương quan giữa các tín hiệu.....	98
	Bài tập.....	102
Chương 3.	Biến đổi z	106
3.1.	Biến đổi z	106
3.1.1.	Định nghĩa biến đổi z	106
3.1.2.	Biến đổi z ngược.....	114
3.2.	Tính chất của biến đổi z	116
3.3.	Biểu diễn dạng hữu tỉ của biến đổi z	127
3.3.1.	Các điểm cực và điểm không (poles and zeros)	127
3.3.2.	Vị trí điểm cực và trạng thái miền thời gian cho tín hiệu nhân quả.	130
3.3.3.	Hàm truyền đạt của hệ thống tuyến tính bất biến thời gian.....	135
3.4.	Biến đổi z ngược.....	137
3.4.1.	Phương pháp sử dụng công thức định nghĩa	138
3.4.2.	Biến đổi Z ngược bằng cách phân tích thành chuỗi lũy thừa	140

3.4.3.	Biến đổi nghịch đảo bằng phương pháp khai triển phân số từng phần	142
3.5.	Phân tích hệ thống tuyến tính bất biến trong miền z	150
3.5.1.	Đáp ứng ra của hệ thống có hàm truyền đạt ở dạng hữu tỉ	150
3.5.2.	Đáp ứng tạm thời và đáp ứng ổn định của hệ thống	151
3.5.3.	Tính nhân quả và ổn định	153
3.5.4.	Loại bỏ các điểm cực - không	155
3.5.5.	Các điểm cực bội và tính ổn định	157
3.5.6.	Tính ổn định của hệ thống bậc hai	158
	Bài tập	162
Chương 4.	Phân tích tần số của tín hiệu và hệ thống	171
4.1.	Biến đổi Fourier của tín hiệu rời rạc thời gian	171
4.1.1.	Định nghĩa biến đổi Fourier	172
4.1.2.	Sự hội tụ của biến đổi Fourier	174
4.1.3.	Phổ mật độ năng lượng của tín hiệu không tuần hoàn	177
4.1.4.	Quan hệ giữa biến đổi Fourier và biến đổi z	182
4.1.5.	Biến đổi Fourier của tín hiệu với các điểm cực nằm trên vòng tròn đơn vị 183	
4.1.6.	Khoảng tần số của một số tín hiệu tự nhiên	185
4.2.	Các tính chất biến đổi Fourier cho tín hiệu rời rạc thời gian	187
4.2.1.	Tính đối ngẫu của biến đổi Fourier	187
4.2.2.	Một số định lý và tính chất của biến đổi Fourier	197
4.3.	Phân tích miền tần số hệ thống TTBB	206
4.3.1.	Hệ thống TTBB trong miền tần số ω	208
4.3.2.	Bộ lọc lựa chọn tần số	211
4.3.3.	Hệ thống đảo và giải chập	219
	Bài tập	228
Chương 5.	Biến đổi fourier rời rạc (DFT): tính chất và ứng dụng	234
5.1.	Lấy mẫu miền tần số: Biến đổi Fourier rời rạc	234
5.1.1.	Lấy mẫu miền tần số và khôi phục lại tín hiệu rời rạc thời gian	234

5.1.2.	Biến đổi Fourier rời rạc (DFT)	240
5.1.3.	Tính tuyến tính của DFT	245
5.1.4.	Quan hệ giữa DFT và các biến đổi khác	247
5.2.	Các tính chất của DFT	249
5.2.1.	Tính chất tuần hoàn, tuyến tính và đối xứng	249
5.2.2.	Nhân hai dãy DFT và tích chập vòng	254
5.2.3.	Các tính chất khác của DFT	261
5.3.	Lọc tuyến tính sử dụng DFT	266
5.4.	Phân tích tần số của Tín hiệu sử dụng DFT	269
	Bài tập	276
	Tài liệu tham khảo	283

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

ASP	Analog Signal Processing	Xử lý tín hiệu tương tự
DSP	Digital Signal Processing	Xử lý tín hiệu số
TTBB	Tuyến tính bất biến	
ZT	z-transform	Biến đổi z
FT	Fourier transform	Biến đổi Fourier
DFT	Discrete Fourier transform	Biến đổi Fourier rời rạc
FIR	Finite Impulse Response	Đáp ứng xung hữu hạn
IIR	Infinite Impulse Response	Đáp ứng xung vô hạn
MHT	Miền hội tụ	
SQNR	Signal to quantization noise ratio	Tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu lượng tử

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1-1 Ví dụ về tín hiệu tiếng nói	14
Hình 1-2 Sơ đồ khối hệ thống xử lý tín hiệu số	15
Hình 1-3 Các thành phần cơ bản của một bộ chuyển đổi tương tự - số.....	17
Hình 1-4 Biến đổi số - tương tự (D/A) dạng xấp xỉ bậc thang.	18
Hình 1-5 Lấy mẫu tín hiệu tương tự.	19
Hình 1-6 Quan hệ giữa biến tần số liên tục thời gian và rời rạc thời gian trong trường hợp lấy mẫu tuần hoàn.	22
Hình 1-7 Một ví dụ về hiện tượng alias	23
Hình 1-8 Biến đổi (nội suy) D/A lý tưởng.....	26
Hình 1-9 Biểu diễn quá trình lượng tử.....	30
Hình 1-10 Lấy mẫu và lượng tử hóa tín hiệu hình sin.	32
Hình 1-11 Sai số lượng tử $\mathbf{eqt} = \mathbf{xat} - \mathbf{xq(t)}$	33
Hình 1-12 Nội suy tuyến tính (với độ trễ T giây)	34
Hình 2-1. Đồ thị biểu diễn tín hiệu rời rạc thời gian	36
Hình 2-2 Biểu diễn tín hiệu xung đơn vị	37
Hình 2-3 Biểu diễn dãy nhảy đơn vị.....	38
Hình 2-4 Hình vẽ biểu diễn dãy dốc đơn vị.....	38
Hình 2-5 Dãy hàm số mũ	39
Hình 2-6 Đồ thị phần thực và phần ảo của tín hiệu hàm mũ phức	40
Hình 2-7 Đồ thị phổ biên độ và phổ pha của tín hiệu hàm mũ phức: (a) Đồ thị $\mathbf{A(n)} = \mathbf{rn}$, $\mathbf{r} = \mathbf{0.9}$; (b) Đồ thị $\mathbf{\phi n} = \mathbf{\pi 10n}$, chu kỳ $\mathbf{2\pi}$ vẽ trong khoảng $(-\pi, \pi)$	40
Hình 2-8 Ví dụ về tín hiệu chẵn (a) và tín hiệu lẻ (b).....	43
Hình 2-9 Biểu diễn tín hiệu ban đầu và sau khi đã dịch trên miền thời gian.....	44
Hình 2-10 Đồ thị biểu diễn phép lấy đối xứng và phép dịch chuyển trên miền thời gian.....	45
Hình 2-11 Quá trình giảm tốc độ lấy mẫu	47
Hình 2-12 Sơ đồ khối biểu diễn hệ thống rời rạc thời gian	48
Hình 2-13 Sơ đồ biểu diễn bộ cộng	52
Hình 2-14 Sơ đồ biểu diễn bộ nhân với hằng số.....	52

Hình 2-15 Sơ đồ biểu diễn bộ nhân tín hiệu	52
Hình 2-16 Sơ đồ biểu diễn bộ trễ.....	53
Hình 2-17 Sơ đồ biểu diễn bộ tới trước	53
Hình 2-18 Sơ đồ khối thể hiện hệ thống $\mathbf{y_n} = \mathbf{14y_n} - \mathbf{1} + \mathbf{12x_n} + \mathbf{12x_n} - \mathbf{1}$	53
Hình 2-19 Ví dụ về các hệ thống bất biến (a) và biến thiên (b) – (d) thời gian.....	56
Hình 2-20 Đồ thị nguyên lý xếp chồng: Hệ thống $\mathcal{T}$ tuyến tính khi và chỉ khi $\mathbf{y(n)} = \mathbf{y'(n)}$	58
Hình 2-21 Hệ thống nối tiếp (a) và song song (b)	63
Hình 2-22 Tính tích chập bằng đồ thị	71
Hình 2-23 Tính chất giao hoán của tích chập.	72
Hình 2-24 Tính chất kết hợp (a) và giao hoán (b) của tích chập.	73
Hình 2-25 Tính chất phân phối của tích chập.....	74
Hình 2-26 Sơ đồ khối hệ thống không đệ quy (a) và hệ thống đệ quy (b)	81
Hình 2-27 Sơ đồ khối hệ thống đệ quy bậc nhất.....	82
Hình 2-28 Sơ đồ hệ thống ví dụ 2.17.....	84
Hình 2-29 Sơ đồ khối dạng trực tiếp I của hệ thống (2.149).....	96
Hình 2-30 Sơ đồ khối dạng trực tiếp II của hệ thống (2.149).....	97
Hình 2-31 Sơ đồ khối dạng chính tắc I.....	97
Hình 2-32 Sơ đồ khối dạng chính tắc II.....	98
Hình 2-33 Radar phát hiện mục tiêu	99
Hình 3-1 Mặt phẳng $\mathbf{z}$	108
Hình 3-2 Miền hội tụ của $\mathbf{X(z)}$ và các thành phần nhân quả, phi nhân quả tương ứng.....	110
Hình 3-3 MHT của biến đổi $\mathbf{z}$ trong Ví dụ 3.3	113
Hình 3-4 Đường cong kín của tích phân trong (3.10).....	115
Hình 3-5 Giải đồ cực – không của tín hiệu hàm mũ nhân quả $\mathbf{x_n} = \mathbf{anun}$	128
Hình 3-6 Giải đồ cực không của tín hiệu hữu hạn $\mathbf{x_n} = \mathbf{an}$ với $\mathbf{0 \leq n \leq M - 1}$ ($\mathbf{a > 0}$), với $\mathbf{M = 8}$	129
Hình 3-7 Đồ thị cực- không cho Ví dụ 3.14	130
Hình 3-8 Đồ thị $ \mathbf{X(z)} $ của biểu thức biến đổi $\mathbf{z}$ (3.31).....	131
Hình 3-9 Hình dạng miền thời gian của tín hiệu nhân quả có một điểm cực đơn.....	132

Hình 3-10 Hình dạng miền thời gian của tín hiệu nhân quả có điểm cực thực kép ($m = 2$)	133
Hình 3-11 Dạng của tín hiệu nhân quả có cặp điểm cực liên hợp phức	134
Hình 3-12 Tín hiệu nhân quả có cặp điểm cực liên hợp phức kép nằm trên đường tròn đơn vị	135
Hình 3-13 Miền xác định tính ổn định (tam giác ổn định) của hệ thống bậc hai trong mặt phẳng hệ số a_1, a_2	159
Hình 3-14 Đồ thị h_n trong công thức (3.86) với $p_1 = 0.5, p_2 = 0.75$;	160
Hình 3-15 Đồ thị $h(n)$ trong công thức (3.88) với $p = 34, b_0 = 1$	161
Hình 3-16 Đồ thị của $h(n)$ trong công thức (3.92) với $b_0 = 1, \omega_0 = \pi/4, r = 0.9$	162
Hình 4-1 (a) Phân tích và (b) tổng hợp ánh sáng trắng (ánh sáng mặt trời) sử dụng lăng kính	172
Hình 4-2 Biểu diễn $x(n)$ và $X(\omega)$ trong công thức (4.15) và (4.14).....	176
Hình 4-3 Minh họa sự hội tụ của biến đổi Fourier	177
Hình 4-4 (a) Dãy $x(n) = (\frac{1}{2})^n u(n)$ và $x(n) = (-\frac{1}{2})^n u(n)$; (b) phổ mật độ năng lượng của các tín hiệu tương ứng.....	180
Hình 4-5 Tín hiệu xung chữ nhật rời rạc thời gian	180
Hình 4-6 Độ lớn và pha của biến đổi Fourier của dãy xung chữ nhật rời rạc theo thời gian .	181
Hình 4-7 Quan hệ giữa $X(z)$ và $X(\omega)$ của tín hiệu trong Ví dụ 4.2, với $A = 1$ và $L = 10$..	183
Hình 4-8 Phổ biên độ và phổ pha	189
Hình 4-9 Tổng hợp tính đổi ngẫu nhiên của biến đổi Fourier	193
Hình 4-10 Đồ thị $XR(\omega), XI(\omega)$	194
Hình 4-11 Phổ biên độ và phổ pha của biến đổi trong Ví dụ 4.4	195
Hình 4-12 Đặc tuyến phổ của xung chữ nhật trong Ví dụ 4.5.....	196
Hình 4-13 Dãy $x(n)$ và biến đổi Fourier trong Ví dụ 4.6 với $a = 0.8$	198
Hình 4-14 Biểu diễn tính chất tích chập	201
Hình 4-15 Minh họa tính dịch chuyển tần số của biến đổi Fourier ($\omega_0 \leq 2\pi - \omega_m$)	203
Hình 4-16 Đồ thị biểu diễn tính chất điều tần.....	204
Hình 4-17 Quan hệ vào ra miền thời gian và miền tần số của hệ thống TTBB.....	209
Hình 4-18 Đáp ứng biên độ của các bộ lọc lựa chọn tần số lý tưởng.....	212

Hình 4-19. Giản đồ cực – không của một số bộ lọc thông thấp và thông cao.	214
Hình 4-20. Đáp ứng biên độ và pha của bộ lọc đơn cực (1) và bộ lọc một cực – một không (2)	215
Hình 4-21. Đáp ứng biên độ và pha của bộ lọc thông cao đơn giản; $H_3z = 1 - a^2 1 - z - 11 + az - 1$ với $a = 0.9$	216
Hình 4-22. Đáp ứng biên độ và pha của bộ lọc thông dải đơn giản trong Ví dụ 4.11 $H_z = 0.15 1 - z - 21 + 0.7z - 2$	218
Hình 4-23. Hệ thống $\mathcal{T}$ nối tầng với hệ thống đảo $\mathcal{T} - 1$	220
Hình 4-24. Hai miền hội tụ có thể có của $H/z = z/(z - 12)$	222
Hình 4-25. Đặc tuyến đáp ứng pha của hệ thống (4.127) và (4.128)	225
Hình 5-1 Lấy mẫu miền tần số biến đổi Fourier	234
Hình 5-2 Tín hiệu không tuần hoàn $x(n)$ có chiều dài L và tín hiệu tuần hoàn được sinh ra từ $x(n)$ với chu kỳ $N \geq L$ (không có chồng lấp) và $N < L$ (có chồng lấp)	237
Hình 5-3 Đồ thị hàm $\sin(\omega N/2)/N \sin(\omega/2)$	238
Hình 5-4 (a) Dãy $xn = 0.8nu(n)$; (b) biến đổi Fourier của $x(n)$ (chỉ biểu diễn phổ biên độ); (c) các mẫu của $X(\omega)$ với $N = 5$; (d) các mẫu của $X(\omega)$ với $N = 50$	240
Hình 5-5 Phổ biên độ và phổ pha của biến đổi Fourier tín hiệu trong Ví dụ 5.2	243
Hình 5-6 Biên độ và pha của DFT N điểm trong Ví dụ 5.2; (a) $L = 10, N = 50$; (b) $L = 10, N = 100$	245
Hình 5-7 Dịch vòng	251
Hình 5-8 Tích chập vòng của hai dãy	258
Hình 5-9 Đảo dãy trên miền thời gian	261
Hình 5-10 Phổ biên độ với $L = 25$ và $N = 2048$ minh họa hiệu ứng leakage	271
Hình 5-11 Phổ biên độ của tín hiệu trong (5.90) sau khi sử dụng cửa sổ chữ nhật	271
Hình 5-12 Phổ biên độ của cửa sổ Hanning	272
Hình 5-13 Phổ biên độ của tín hiệu trong (5.91) sau khi nhân với cửa sổ Hanning	273
Hình 5-14 Ảnh hưởng của cửa sổ lên tín hiệu rời rạc được lấy mẫu từ tín hiệu tương tự trong Ví dụ 5.7	276

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1-1 Quan hệ giữa các biến tần số.....	19
Bảng 1-2 Biểu diễn lượng tử hóa tín hiệu sử dụng một chữ số bằng cách làm tròn hay làm tròn xuống	30
Bảng 2-1 Dạng chung của Nghiệm riêng ứng với một số dạng tín hiệu vào.....	89
Bảng 3-1 Họ các tín hiệu và MHT tương ứng của chúng.....	113
Bảng 3-2 Các tính chất của Biến đổi z	125
Bảng 3-3 Một vài biến đổi z thông dụng	126
Bảng 4-1 Dải tần số của một số tín hiệu sinh học.....	185
Bảng 4-2 Dải tần số của một vài tín hiệu động đất.....	186
Bảng 4-3 Dải tần số của các tín hiệu điện từ	186
Bảng 4-4 Tính đối ngẫu của biến đổi Fourier	192
Bảng 4-5 Tính chất của biến đổi Fourier của các tín hiệu rời rạc thời gian	207
Bảng 4-6 Cặp biến đổi Fourier thường gặp của tín hiệu rời rạc thời gian không tuần hoàn. .	208
Bảng 5-1 Các tính chất đối ngẫu của DFT.....	254
Bảng 5-2 Tính chất của DFT	265

GIỚI THIỆU

Xử lý tín hiệu số là một lĩnh vực khoa học và kỹ thuật đã có những bước phát triển nhanh chóng trong suốt 50 năm qua. Sự phát triển này là kết quả của các tiến bộ quan trọng trong công nghệ máy tính và mạch tổ hợp. Năm thập kỷ trước, máy tính và các thiết bị phân cứng có kích thước tương đối lớn và giá thành rất đắt, nhưng lại chỉ có thể thực hiện một số ít chức năng tính toán khoa học không thời gian thực và các ứng dụng thương mại khác. Sự ra đời và phát triển nhanh chóng của công nghệ mạch tích hợp qua ba giai đoạn: mạch tổ hợp cỡ vừa (medium-scale integration - MSI), mạch tổ hợp cỡ lớn (large-scale integration - LSI) và bây giờ là mạch tổ hợp rất lớn (very-large-scale integration - VLSI) đã thúc đẩy sự phát triển của các thế hệ máy tính và các thiết bị phân cứng số chuyên dụng và làm cho chúng trở nên mạnh mẽ hơn, nhỏ hơn, nhanh hơn và rẻ hơn. Ngày nay, các hệ thống số đã thực hiện được rất nhiều các tác vụ, tác động vào mọi mặt của đời sống, thực thi được nhiều công việc xử lý một khối lượng lớn dữ liệu thời gian thực hoặc phi thời gian thực.

Trong thời gian trước đây, với lĩnh vực xử lý tín hiệu, do giới hạn của công nghệ, một số các hệ thống xử lý tín hiệu với độ rộng băng tần rất rộng và cần xử lý thời gian thực. Các hệ thống này thường được xây dựng dưới dạng hệ thống xử lý tương tự hoặc xử lý quang học. Tuy nhiên, hiện nay, các hệ thống tương tự không còn được đầu tư, chú trọng phát triển do một số nhược điểm chúng tôi sẽ phân tích ở phần sau. Ngược lại, với công nghệ hiện nay, các hệ thống số đã thay thế gần như hoàn toàn các hệ thống tương tự trong cả đời sống và trong các lĩnh vực thương mại hay nghiên cứu.

Việc sử dụng các hệ thống số không chỉ rẻ hơn, đáng tin cậy hơn trong lĩnh vực xử lý tín hiệu mà nó còn có rất nhiều ưu điểm vượt trội. Trong đó, một ưu điểm quan trọng là phần cứng xử lý số cho phép lập trình được. Thông qua phần mềm, chúng ta có thể dễ dàng thay đổi các chức năng xử lý tín hiệu được thực hiện bởi phần cứng mà không cần thiết kế, lắp đặt lại phần cứng. Nhờ vậy sự kết hợp phần cứng và phần mềm trong các hệ thống số cho phép mức độ linh hoạt cao trong thiết kế hệ thống. Thêm vào đó, độ chính xác của các hệ thống xử lý tín hiệu số cao hơn nhiều so với mạch tương tự và hệ thống xử lý tín hiệu tương tự. Với tất cả những lý do trên, các lý thuyết và ứng dụng xử lý tín hiệu số đã phát triển bùng nổ trong bốn thập kỷ qua.

Trong giáo trình này mục tiêu của chúng tôi là giới thiệu các công cụ phân tích và kỹ thuật cơ bản để xử lý số tín hiệu. Chúng ta sẽ bắt đầu với việc giới thiệu một số thuật ngữ cần thiết, bằng cách mô tả các bước quan trọng liên quan đến quá trình chuyển đổi tín hiệu analog sang dạng số thích hợp cho xử lý số trong Chương 1. Chương tiếp theo, chúng ta sẽ tìm hiểu đặc tính của tín hiệu và hệ thống rời rạc thời gian cũng như một số các kỹ thuật xử lý tín hiệu trên miền thời gian rời rạc. Chương 3, chúng ta sẽ tiếp tục tìm hiểu một công cụ xử lý tín hiệu và hệ thống trên miền số phức Z. Chương 4 sẽ trình bày về tín hiệu và hệ thống trong miền tần số và các đặc

tính tần số của tín hiệu và hệ thống trong miền này. Từ đó chúng ta sẽ làm quen một khái niệm mới đó là bộ lọc số. Phần cuối của giáo trình, chúng tôi sẽ trình bày về tín hiệu và hệ thống trong miền tần số rời rạc, một số thuật toán biến đổi Fourier nhanh cũng như tính toán một số bộ lọc cụ thể.

Chúng tôi hy vọng cuốn giáo trình này không những giúp ích cho sinh viên các ngành công nghệ, điện tử và cũng là tài liệu tham khảo tốt cho người đọc quan tâm.

Nhóm biên soạn

Tailieu.vn

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ TÍN HIỆU VÀ HỆ THỐNG

1.1. TÍN HIỆU, HỆ THỐNG VÀ XỬ LÝ TÍN HIỆU

1.1.1. Khái niệm cơ bản

Tín hiệu (signal) được định nghĩa là một đại lượng vật lý biến đổi theo thời gian, không gian hoặc bất kỳ một hay vài biến độc lập nào khác. Về mặt toán học, chúng ta mô tả tín hiệu là hàm của một hay nhiều biến độc lập. Ví dụ:

$$\begin{aligned}s_1(t) &= 5t \\ s_2(t) &= 20t^2\end{aligned}\tag{1.1}$$

bao gồm hai tín hiệu, tín hiệu thứ nhất biến đổi tuyến tính với biến độc lập t (thời gian) và tín hiệu thứ hai tỷ lệ với bình phương của t . Một ví dụ khác, chúng ta xét hàm sau

$$s(x, y) = 3x + 2xy + 10y^2\tag{1.2}$$

Tín hiệu $s(x, y)$ là hàm của hai biến độc lập x, y được biểu diễn như hai trục tọa độ.

Các tín hiệu trong hai phương trình (1.1) và (1.2) thuộc lớp các tín hiệu được định nghĩa chính xác bằng một hàm phụ thuộc vào biến độc lập. Tuy nhiên, rất nhiều trường hợp mối quan hệ hàm số không thể xác định được hoặc rất phức tạp, đó là các tín hiệu trong tự nhiên.

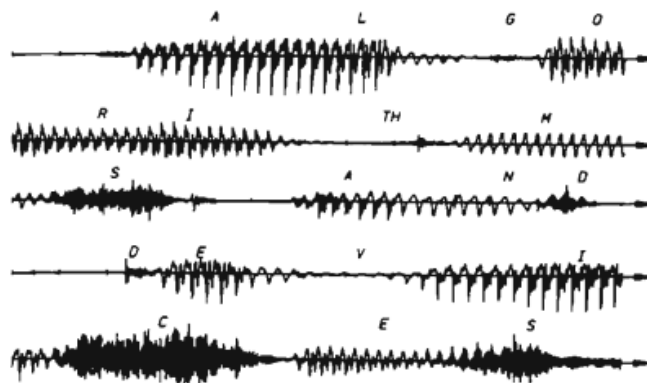
Một ví dụ về tín hiệu tự nhiên là tín hiệu tiếng nói (xem Hình 1-1), tín hiệu này không thể biểu diễn được dưới dạng hàm số như phương trình (1.1). Tuy nhiên, một đoạn tiếng nói ngắn có thể được biểu diễn dưới dạng tổng của các tín hiệu hình sin đơn giản khác nhau về biên độ và tần số như sau

$$\sum_{i=1}^N A_i(t) \sin[2\pi F_i(t)t + \theta_i(t)]\tag{1.3}$$

trong đó $\{A_i(t)\}$, $\{F_i(t)\}$ và $\{\theta_i(t)\}$ là tập hợp biên độ, tần số và pha (có thể biến đổi theo thời gian) của tín hiệu sin cơ bản.

Một ví dụ khác là tín hiệu điện tim đồ (electrocardiogram – ECG), là hình ảnh được vẽ ra từ máy điện tim đồ và cung cấp cho bác sỹ thông tin về tình trạng trái tim bệnh nhân. Tương tự, tín hiệu điện não đồ (electroencephalogram - EEG) mang thông tin hoạt động của não bộ. Tín hiệu tiếng nói, điện tim đồ, điện não đồ là tín hiệu một chiều vì nó chỉ phụ thuộc vào một biến độc lập duy nhất đó là thời gian. Tương tự, chúng ta cũng có tín hiệu tự nhiên biến đổi theo hai

hay nhiều biến độc lập là hình ảnh hay các đoạn phim. Các tín hiệu này được gọi là **tín hiệu tương tự (analog signal)**.



Hình 1-1 Ví dụ về tín hiệu tiếng nói

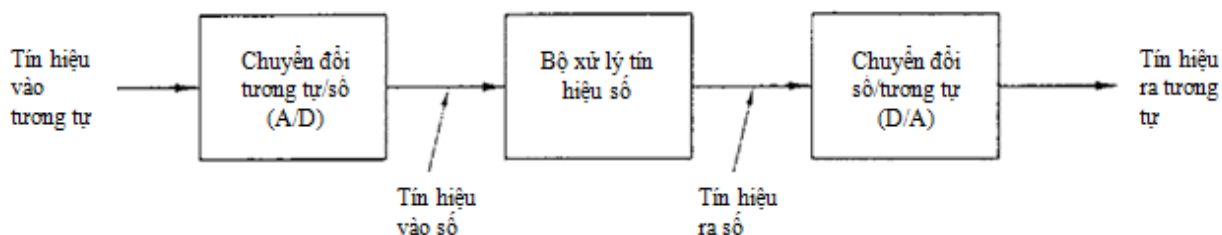
Tín hiệu tự nhiên được sinh ra từ một nguồn nào đó. Ví dụ, tiếng nói được phát ra do dây thanh quản rung dẫn đến không khí bị nén, dãn, tạo ra các sóng âm truyền đi trong không khí. Hình ảnh sinh ra do sự phơi sáng của phim ảnh đối với quang cảnh hoặc đồ vật. Vật (hoặc bộ phận) phát ra tín hiệu có thể được coi như một **hệ thống (system)**. Đối với tín hiệu tiếng nói, hệ thống bao gồm dây thanh quản và tuyến âm. Kích thích vào hệ thống được gọi là nguồn tín hiệu. Vậy chúng ta có nguồn âm thanh, nguồn hình ảnh và rất nhiều loại nguồn tín hiệu khác.

Một hệ thống cũng có thể là một thiết bị vật lý tác động lên tín hiệu. Ví dụ loa phát ra âm thanh hay các bộ lọc nhiễu và tạp âm trong các thiết bị thu phát âm thanh như điện thoại hay các thiết bị điện tử khác. Khi ta nói chuyện điện thoại, nếu âm thanh không được xử lý trước mà truyền đi trực tiếp thì phía nghe sẽ rất khó chịu vì nhiều âm thanh từ môi trường bên ngoài cũng sẽ được thu vào (tạp âm). Vì vậy, trong các thiết bị thu, phát âm thanh bao giờ cũng đi kèm với các bộ lọc nhiễu và tạp âm. Các bộ lọc này tác động lên tín hiệu đầu vào và cho chúng ta một tín hiệu đầu ra mong muốn. Các tác động đó được gọi là **xử lý tín hiệu (signal processing)**.

Ngày nay, với sự phát triển của công nghệ điện tử như đã nói ở trên, các hệ thống xử lý tín hiệu phần lớn được thực hiện dưới dạng **hệ thống số** trên nền tảng phần cứng và phần mềm. Các hệ thống này thực hiện các tác vụ xử lý lên tín hiệu qua rất nhiều các phép toán được lập trình trong một phần mềm. Trường hợp này, các **phần mềm (software)** chính là các hệ thống. Tác động của hệ thống số lên tín hiệu thực hiện trên máy tính được gọi là **xử lý tín hiệu số (Digital signal processing)**. Tuy nhiên, các hệ thống số không thể làm việc với tín hiệu tự nhiên dạng tương tự mà cần phải chuyển sang **tín hiệu số (digital signal)**. Phần tiếp theo, chúng ta sẽ tìm hiểu xem thế nào là tín hiệu số và cách chuyển đổi tín hiệu từ tương tự sang số như thế nào.

1.1.2. Các thành phần cơ bản của hệ thống xử lý tín hiệu số

Hầu hết các tín hiệu trong tự nhiên đều là tín hiệu tương tự. Tuy nhiên, để thực hiện được các tác động số lên tín hiệu (xử lý số) cũng như để lưu trữ tín hiệu trên máy tính, tín hiệu phải được chuyển sang dạng số bằng **Bộ chuyển đổi tương tự/số (A/D converter)**. Đầu ra của bộ chuyển đổi là tín hiệu đã được số hóa và được đưa vào Bộ xử lý tín hiệu số (hệ thống số). Tại đây, hệ thống sẽ thực hiện các tác động lên tín hiệu và đưa ra tín hiệu đầu ra dạng số. Tín hiệu đầu ra này có thể được lưu trữ, được đưa vào một hệ thống xử lý số khác hoặc là được đưa vào một **Bộ chuyển đổi số/tương tự (D/A converter)**. Hình 1-2 là sơ đồ khối một hệ thống xử lý tín hiệu số thông thường.



Hình 1-2 Sơ đồ khối hệ thống xử lý tín hiệu số

Có rất nhiều các ví dụ về hệ thống xử lý tín hiệu số trong thực tế. Điện thoại là một hệ thống số quen thuộc. Âm thanh của người gọi phát ra được thu vào qua một đầu thu (micro), được chuyển đổi sang tín hiệu dạng số, được thực hiện các tác vụ xử lý, truyền trên đường truyền đến nơi nhận. Tại nơi nhận, âm thanh được khôi phục lại dạng ban đầu và đưa đến tai người nghe thông qua một loa nhỏ gắn trên điện thoại. Máy tính, máy ảnh số, tivi kỹ thuật số, camera là các hệ thống số ngày càng phổ biến và quen thuộc với mọi mặt của cuộc sống hiện đại.

1.1.3. Ưu điểm của xử lý tín hiệu số so với tương tự

Một câu hỏi được đặt ra là vì sao các hệ thống số ngày càng phổ biến hơn so với các hệ thống tương tự. Đầu tiên, các hệ thống số có thể lập trình được nên cho phép khả năng cài đặt linh hoạt các tác động xử lý tín hiệu khác nhau. Với hệ thống tương tự, để cấu hình lại chức năng của nó, thông thường ta sẽ phải thiết kế lại phần cứng và tiến hành lắp đặt lại gần như hoàn toàn.

Về độ chính xác, các mạch tương tự có sai số lớn, gây rất nhiều khó khăn cho người thiết kế trong việc tính toán, điều khiển. Ngược lại, các hệ thống số cho phép chúng ta dễ dàng thiết lập và tính toán các thông số này.

Tín hiệu số dễ dàng lưu trữ được trong các băng từ hoặc đĩa cứng mà không sợ giảm độ chính xác, chất lượng tín hiệu ngoại trừ các sai số trong quá trình chuyển đổi tương tự - số và ngược lại. Nhờ vậy, tín hiệu lưu trữ có thể được đưa đến nơi khác để xử lý. Việc xử lý tín hiệu

dạng số cho phép nhiều tác vụ xử lý phức tạp hơn thông qua việc xây dựng thuật toán và lập trình.

Trong một vài trường hợp, các thiết bị số rẻ hơn nhiều so với thiết bị tương tự cùng chức năng. Đơn giản là vì công nghệ số ngày càng phổ biến, các linh kiện điện tử ngày càng rẻ và phong phú.

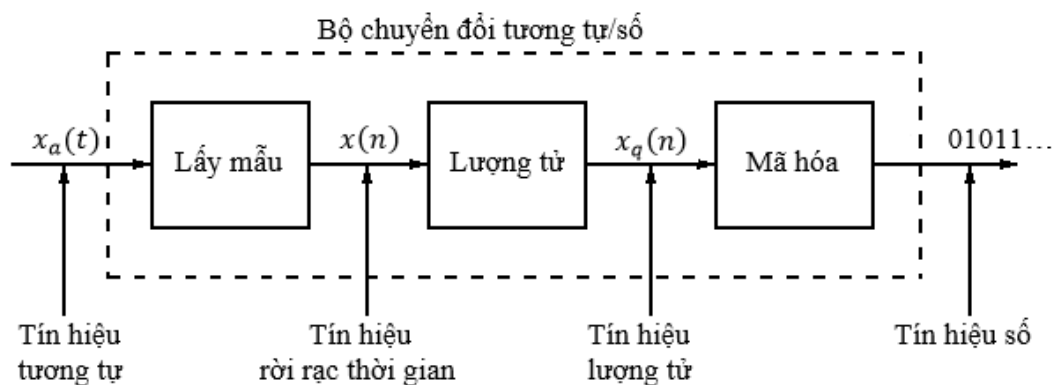
Chính vì những lí do trên nên hiện nay các hệ thống tương tự gần như không còn tồn tại nhiều trong các ứng dụng thương mại phổ biến. Có thể dẫn chứng ra đây một vài ví dụ về các ứng dụng của kỹ thuật xử lý số tín hiệu như xử lý tiếng nói, truyền dẫn tín hiệu trong các kênh điện thoại, truyền dẫn và xử lý hình ảnh trong các môn địa lý học và địa chấn học, trong thăm dò dầu khí, phát hiện dò gài phóng xạ, xử lý các tín hiệu từ ngoài không gian và trong vô số các lĩnh vực khác.

1.2. BIẾN ĐỔI TƯƠNG TỰ - SỐ VÀ SỐ - TƯƠNG TỰ

Hầu hết các tín hiệu trong thực tế như tín hiệu tiếng nói, các tín hiệu sinh học, các tín hiệu địa chấn, các tín hiệu radar, tín hiệu định vị siêu âm hay một số dạng tín hiệu thông tin khác như âm thanh, tiếng nói đều ở dưới dạng tương tự. Để xử lý tín hiệu tương tự dưới dạng số, điều cần thiết đầu tiên là phải biến đổi chúng sang dạng số. Quá trình này được gọi là *biến đổi tương tự - số* (*A/D converter*), thiết bị tương ứng để thực hiện chức năng này được gọi là *bộ chuyển đổi tương tự - số* (*ADCs*).

Biến đổi tương tự - số được chia ra thành ba bước cơ bản được biểu diễn như trên Hình 1-3.

1. *Lấy mẫu*. Bước này biến đổi *tín hiệu liên tục thời gian* (tín hiệu tương tự) sang dạng *tín hiệu rời rạc thời gian* bằng cách lấy “*các mẫu*” của tín hiệu liên tục tại các điểm thời gian rời rạc. Ta hiểu một cách đơn giản là, cứ sau một khoảng thời gian T nhất định, ta tiến hành đo giá trị tín hiệu một lần. Tập hợp các giá trị thu được được gọi là tín hiệu rời rạc thời gian. Vậy nếu tín hiệu đầu vào bộ lấy mẫu là $x_a(t)$ thì đầu ra là $x_a(nT) \equiv x(n)$, trong đó T là khoảng thời gian lấy mẫu (chu kỳ lấy mẫu).
2. *Lượng tử hóa*. Bước này biến đổi tín hiệu thu được ở trên sang thành dạng tín hiệu rời rạc giá trị (lượng tử giá trị). Giá trị của mỗi mẫu tín hiệu được lấy gần đúng bằng một giá trị trong một tập hữu hạn các giá trị nhất định. Các giá trị này được gọi là các mẫu lượng tử. Sự chênh lệch giữa mẫu ban đầu (chưa lượng tử) $x(n)$ và mẫu lượng tử $x_q(n)$ được gọi là sai số lượng tử.



Hình 1-3 Các thành phần cơ bản của một bộ chuyển đổi tương tự - số.

3. *Mã hóa*. Lúc này, mỗi giá trị rời rạc $x_q(n)$ được biểu diễn thành một chuỗi b bit nhị phân.

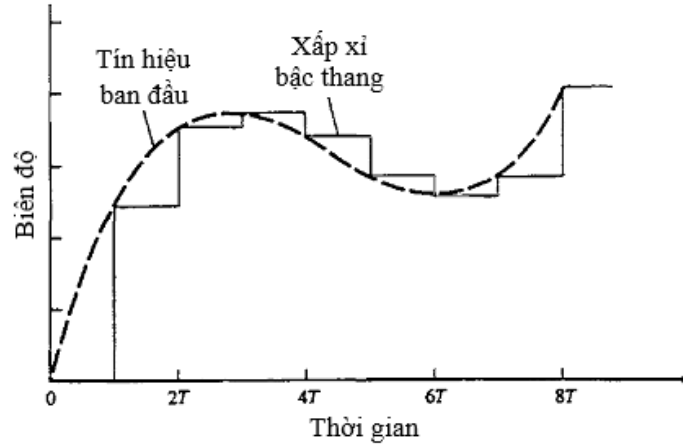
Ngược lại với quá trình trên là quá trình chuyển đổi tín hiệu số thành dạng tương tự vì thực chất ta không thể nghe một dãy các bit nhị phân hay một tập các giá trị mẫu rời rạc của tín hiệu tiếng nói. Quá trình biến đổi tín hiệu từ dạng số sang dạng tương tự được gọi là *biến đổi số - tương tự (D/A)* và được thực hiện bằng *phép nội suy: biến các giá trị tín hiệu rời rạc thành một đường liền nhau*. Có nhiều phương pháp nội suy khác nhau: nội suy tuyến tính: nối hai điểm liền nhau bằng một đoạn thẳng; nội suy bậc hai: nối hình vuông qua ba điểm liên tiếp nhau. Các phương pháp nội suy này đều có sai số nhất định tùy thuộc vào cả quá trình lấy mẫu và lượng tử hóa tín hiệu (Hình 1-4). Tuy nhiên, với một ngưỡng nhất định, các sai số này đều nằm trong mức chấp nhận được. Phần sau chúng tôi sẽ giải thích kỹ hơn về điều này.

1.2.1. Lấy mẫu tín hiệu tương tự

Có rất nhiều phương pháp để lấy mẫu tín hiệu tương tự. Trong phần này chúng tôi chỉ giới thiệu đến độc giả phương pháp *lấy mẫu tuần hoàn*. Đây là phương pháp được sử dụng hầu hết trong thực tế. Phương pháp này được mô tả bằng quan hệ sau

$$x(n) = x_a(nT), \quad -\infty < n < \infty \quad (1.4)$$

với $x(n)$ là tín hiệu thu được bằng cách “lấy các mẫu” của tín hiệu $x_a(t)$ sau mỗi T giây. Khoảng thời gian T giữa hai mẫu kế tiếp được gọi là *chu kỳ lấy mẫu* hay *khoảng lấy mẫu* và $1/T = F_s$ được gọi là *tốc độ lấy mẫu* (số mẫu/một giây) hay *tần số lấy mẫu* (hertz).



Hình 1-4 Biến đổi số - tương tự (D/A) dạng xấp xỉ bậc thang.

Lấy mẫu tuần hoàn thiết lập mối quan hệ giữa biến thời gian t và n của tín hiệu liên tục thời gian và tín hiệu rời rạc thời gian. Các biến này quan hệ tuyến tính qua chu kỳ lấy mẫu T hay, tương ứng, qua tần số lấy mẫu $F_s = 1/T$

$$t = nT = \frac{n}{F_s} \quad (1.5)$$

Từ phương trình (1.5), chúng ta có quan hệ giữa biến tần số F (hay Ω) của tín hiệu tương tự và biến tần số f (hay ω) của tín hiệu rời rạc. Để xác định quan hệ này chúng ta xét tín hiệu hình sin tương tự có dạng sau

$$x_a(t) = A \cos(2\pi Ft + \theta) \quad (1.6)$$

được lấy mẫu tuần hoàn với tốc độ $F_s = 1/T$ mẫu/giây, ta có

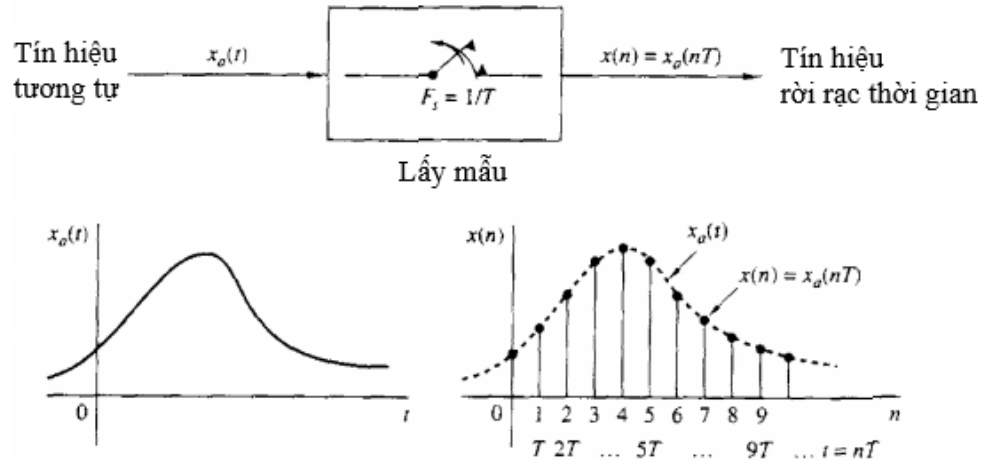
$$\begin{aligned} x_a(nT) &\equiv x(n) = A \cos(2\pi F nT + \theta) \\ &= A \cos\left(\frac{2\pi n F}{F_s} + \theta\right) \end{aligned} \quad (1.7)$$

Ta có quan hệ tuyến tính giữa biến tần số F và f như sau

$$f = \frac{F}{F_s} \quad (1.8)$$

tương đương với

$$\omega = \Omega T \quad (1.9)$$



Hình 1-5 Lấy mẫu tín hiệu tương tự.

Quan hệ trong phương trình (1.8) được gọi là *tần số tương đối*, thi thoảng tên này vẫn được dùng để chỉ biến tần số f . Như trong (1.8), chúng ta có thể tính toán tần số F theo đơn vị hertz khi biết tần số f và tần số lấy mẫu F_s .

Dải tần của biến tần số F hay Ω đối với tín hiệu liên tục thời gian như sau:

$$\begin{aligned} -\infty < F < \infty \\ -\infty < \Omega < \infty \end{aligned} \quad (1.10)$$

Tuy nhiên, với tín hiệu hình sin rời rạc, ta có

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2} < f < \frac{1}{2} \\ -\pi < \omega < \pi \end{aligned} \quad (1.11)$$

Bằng cách thế (1.8) và (1.9) vào phương trình (1.11), ta được tần số của tín hiệu liên tục thời gian sau khi lấy mẫu với tốc độ $F_s = 1/T$ phải nằm trong khoảng

$$-\frac{1}{2T} = -\frac{F_s}{2} \leq F \leq \frac{F_s}{2} = \frac{1}{2T} \quad (1.12)$$

và

$$-\frac{\pi}{T} = -\pi F_s \leq \Omega \leq \pi F_s = \frac{\pi}{T} \quad (1.13)$$

Quan hệ này được tóm tắt trong Bảng 1-1

Bảng 1-1 Quan hệ giữa các biến tần số

Tín hiệu liên tục thời gian	Tín hiệu rời rạc thời gian
-----------------------------	----------------------------