

Indice

	2.2.1.3	Serie trigonometrica	35
	2.2.1.4	Serie di Fourier di un'onda rettangolare	35
	2.2.2	Serie di Fourier troncata	37
	2.3	Teorema di Parseval	38
	2.4	Spazio dei segnali	40
	2.4.1	Spazio metrico	40
	2.4.2	Spazio lineare	41
	2.4.3	Spazio prodotto interno e di Hilbert	42
	2.4.4	Spazi a dimensionalità infinita	45
	2.4.4.1	Spazio dei segnali periodici	45
	2.4.4.2	Spazio dei segnali di energia e di potenza	46
	2.4.4.3	Spazio dei funzionali lineari definiti da un prodotto interno	47
	2.5	Appendici	49
	2.5.1	Convergenza della serie di Fourier	49
	2.5.1.1	Ri-definizione dei coefficienti di Fourier	50
	2.5.2	Sviluppo in serie per alcuni segnali	50
Prefazione			i
Istruzioni per l'uso			ii
Prefazione all'edizione 1.7			iii
Note di rilascio			iii
1 Una visione di insieme			1
1.1 Trasmissione dei segnali e dell'informazione	1		1
1.2 Segnali analogici e numerici	2		2
1.2.1 Segnale analogico	3		3
1.2.1.1 Rappresentazione frequenziale dei segnali analogici	4		4
1.2.1.2 Transito dei segnali attraverso sistemi fisici	4		4
1.2.2 Trasmissione numerica	5		5
1.3 Segnali aleatori	8		8
1.3.1 Calcolo delle probabilità e statistica	8		8
1.3.1.1 Autocorrelazione e densità di potenza	8		8
1.3.1.2 Teoria del traffico	9		9
1.4 Sistemi di telecomunicazione	9		9
1.5 Segnali e sistemi	12		12
1.5.1 Caratteristiche dei segnali	12		12
1.5.1.1 Spettro di segnale	16		16
1.5.2 Operazioni sui segnali	16		16
1.5.2.1 Combinazione di segnali	17		17
1.5.3 Segnali di uso frequente	18		18
1.5.4 Caratteristiche dei sistemi	21		21
I Teoria dei segnali			25
Prefazione			27
2 Serie di Fourier e spazio dei segnali			29
2.1 Prerequisiti trigonometrici	29		29
2.1.1 Numeri complessi	29		29
2.1.2 Formula di Eulero	30		30
2.1.3 Fasore	31		31
2.2 Serie di Fourier	32		32
2.2.1 Serie di Fourier per segnali reali	33		33
2.2.1.1 Simmetria coniugata o Hermitiana	33		33
2.2.1.2 Interpretazione dei coefficienti di Fourier come fasori	34		34
2.2.1.3 Serie trigonometrica	35		35
2.2.1.4 Serie di Fourier di un'onda rettangolare	35		35
2.2.2 Serie di Fourier troncata	37		37
2.3 Teorema di Parseval	38		38
2.4 Spazio dei segnali	40		40
2.4.1 Spazio metrico	40		40
2.4.2 Spazio lineare	41		41
2.4.3 Spazio prodotto interno e di Hilbert	42		42
2.4.4 Spazi a dimensionalità infinita	45		45
2.4.4.1 Spazio dei segnali periodici	45		45
2.4.4.2 Spazio dei segnali di energia e di potenza	46		46
2.4.4.3 Spazio dei funzionali lineari definiti da un prodotto interno	47		47
2.5 Appendici	49		49
2.5.1 Convergenza della serie di Fourier	49		49
2.5.1.1 Ri-definizione dei coefficienti di Fourier	50		50
2.5.2 Sviluppo in serie per alcuni segnali	50		50
3 Trasformata di Fourier e convoluzione			53
3.1 Dalla serie alla trasformata	53		53
3.2 Energia mutua, Parseval e densità di energia	55		55
3.3 Prime proprietà della trasformata di Fourier	56		56
3.4 Impulso matematico	59		59
3.4.1 Risposta impulsiva	61		61
3.4.2 Integrale di convoluzione	62		62
3.4.3 Risposta impulsiva come funzione memoria	63		63
3.4.4 Convoluzione con l'impulso traslato	63		63
3.5 Moltiplicazione in frequenza e nel tempo	64		64
3.5.1 Moltiplicazione in frequenza (<i>filtraggio</i>)	64		64
3.5.2 Moltiplicazione nel tempo (<i>modulazione e finestratura</i>)	66		66
3.6 Derivazione ed integrazione nel tempo	67		67
3.7 Treno di impulsi	69		69
3.8 Appendici	71		71
3.8.1 Grafico della trasformata di un rettangolo ritardato	71		71
3.8.2 Quanti sono i possibili modi di calcolare una trasformata?	72		72
3.8.3 Finestratura e stima spettrale	72		72
3.8.4 Gli esponenziali complessi come base ortogonale	74		74
3.8.5 Trasformata di un gradino	75		75
3.8.6 Proprietà della trasformata di Fourier	76		76
3.8.7 Trasformate di segnali	76		76
4 Campionamento, quantizzazione ed elaborazione numerica			77
4.1 Teorema del campionamento	77		77
4.1.1 Aliasing	79		79
4.1.2 Generalizzazione del filtro di restituzione	80		80
4.1.3 Ortogonalità delle funzioni sinc	80		80
4.1.4 Approssimazione degli impulsi	80		80
4.1.5 Conversione A/D e D/A	81		81
4.2 Quantizzazione e codifica binaria	83		83
4.2.1 Quantizzazione uniforme	83		83
4.2.1.1 SNR di quantizzazione	84		84
4.2.2 Quantizzazione non uniforme	85		85
4.3 Trasformata di Fourier di sequenze	87		87
4.4 Trasformata discreta di Fourier	88		88

4.4.1	Relazione tra DTFT, DFT e trasformata zeta	91	5.6.6	Stima di forma d'onda	131
4.4.2	Fast Fourier Transform	93	5.7	Appendice	132
4.4.3	Relazione tra DFT e DCT	94	5.7.1	Matrice di covarianza e forma quadratica associata	132
4.5	Filtraggio numerico via DFT	95	6	Densità spettrale e filtraggio	135
4.5.1	Convoluzione discreta	95	6.1	Correlazione, covarianza e autocorrelazione	135
4.5.2	Convoluzione circolare	96	6.1.1	Correlazione tra variabili aleatorie	136
4.5.3	Convoluzione tra sequenze di durata finita via DFT	96	6.1.2	Indipendenza statistica, covarianza e incorrelazione	137
4.5.4	Convoluzione di segnali via DFT	97	6.1.3	Correlazione di processo stazionario ergodico	138
4.6	Riassumendo	98	6.1.4	Autocorrelazione e intercorrelazione	139
4.6.1	Le frequenze della DFT	98	6.1.4.1	Proprietà dell'autocorrelazione	140
4.6.2	Le ampiezze della DFT	98	6.2	Spettro di densità di potenza	141
4.7	Sottocampionamento	99	6.2.1	Teorema di Wiener	141
5	Probabilità, processi, e statistica	101	6.2.2	Segnale periodico	143
5.1	Teoria delle probabilità	101	6.2.3	Processo armonico	143
5.1.1	Assiomi delle probabilità	101	6.2.4	Processo gaussiano bianco limitato in banda	144
5.1.2	Teoremi di base	102	6.2.5	Processo di segnale dati	144
5.1.3	Probabilità congiunta, condizionata e marginale	102	6.3	Stima spettrale	145
5.1.4	Probabilità a priori e a posteriori, teorema di Bayes	103	6.3.1	Periodogramma	145
5.1.5	Indipendenza statistica	104	6.4	Filtraggio di segnali e processi	147
5.2	Variabili aleatorie	104	6.4.1	Densità spettrale in uscita da un filtro	148
5.2.1	Densità di probabilità e funzione di distribuzione	104	6.4.2	Caratteristiche statistiche in uscita da un filtro	150
5.2.2	Valore atteso, momento e momento centrato	106	6.5	Operazioni elementari sui segnali	151
5.2.3	Variabile aleatoria a distribuzione uniforme	107	6.5.1	Ritardo	151
5.2.4	Variabile aleatoria gaussiana e funzione $erfc\{\cdot\}$	107	6.5.2	Somma tra segnali aleatori	152
5.2.5	Altre variabili aleatorie	109	6.5.3	Prodotto tra segnali aleatori	153
5.2.6	Variabile aleatoria multivariata	109	6.5.4	Stima della autocorrelazione	154
5.2.7	Funzione caratteristica e somma di v.a. indipendenti	110	6.6	Filtri digitali	154
5.3	Processi stazionari ed ergodici	111	6.6.1	Filtro trasversale	155
5.3.1	Momento come media di insieme	112	6.6.2	Realizzazione numerica del filtro trasversale	156
5.3.2	Media temporale	112	6.6.3	Filtro trasversale del primo ordine	157
5.3.3	Media temporale calcolata come media di insieme	113	6.6.4	Filtro a risposta impulsiva <i>infinita</i> del primo ordine	158
5.3.4	Processo stazionario	113	6.7	Filtri analogici	160
5.3.5	Processo stazionario ed ergodico	113	6.7.1	Filtro analogico ad un polo	161
5.3.6	Riassumendo	114	6.8	Filtro adattato	163
5.3.7	Processo ad aleatorietà parametrica	115	6.8.1	Segnalazione antipodale	168
5.4	Trasformazione di variabile aleatoria e cambio di variabili	116	6.8.2	Segnalazione ortogonale	168
5.4.1	Caso unidimensionale	116	6.9	Appendici	169
5.4.2	Caso multidimensionale	118	6.9.1	Coefficiente di correlazione	169
5.5	Gaussiana multidimensionale	119	6.9.2	Teorema di Wiener per processi	170
5.5.1	Indipendenza statistica per v.a. gaussiane incorrelate	120	6.9.3	Densità spettrale per onda PAM	171
5.5.2	Trasformazione lineare di v.a. gaussiane	121	6.9.4	Autocorrelazione di un processo in uscita da un filtro	175
5.5.3	Processo gaussiano	121	6.9.5	Filtri numerici	176
5.6	Elementi di statistica	122	6.9.5.1	Campionamento della risposta impulsiva	176
5.6.1	Test di verifica di ipotesi	122	6.9.5.2	Trasformata zeta e filtraggio	176
5.6.2	Funzione di verosimiglianza	123	6.9.5.3	Filtri a risposta impulsiva finita	177
5.6.2.1	Decisione di massima verosimiglianza	123	6.9.5.4	Risposta impulsiva infinita	177
5.6.3	Stima di parametro	123	6.9.5.5	Sintesi di un filtro IIR a partire da un filtro analogico	179
5.6.3.1	Stima di massima verosimiglianza	124	6.9.6	Grafici di esempio	181
5.6.4	Stima di intervallo	126			
5.6.4.1	Intervallo di confidenza per una frazione	129			
5.6.5	Test chi quadro e verifica di distribuzione	130			

7	Distorsione e rumore	183	8.6	Protocolli a richiesta automatica	234
7.1	Misure di potenza in decibel	184	8.6.1	Send and wait	234
7.2	Distorsione lineare	187	8.6.2	Continuous RQ	235
7.2.1	Distorsione di ampiezza	188	8.6.2.1	Go back N	235
7.2.2	Distorsione di fase	188	8.6.2.2	Selective repeat	236
7.2.3	Effetto della distorsione lineare sui segnali	190	8.6.2.3	Efficienza dei protocolli a richiesta automatica	236
7.3	Distorsione di non linearità	191	8.6.3	Controllo di flusso	237
7.3.1	Ingresso sinusoidale	192	8.6.3.1	Round trip time	238
7.3.2	Ingresso aleatorio	193	8.6.3.2	Finestra scorrevole	238
7.4	Disturbi additivi	194	8.6.3.3	Numero di sequenza	239
7.4.1	Valutazione dell' SNR dovuto a diverse fonti di disturbo	195	8.7	Sincronizzazione dati	239
7.4.2	Rumore gaussiano	195	8.7.1	Trasmissione asincrona	240
7.4.2.1	Rumore termico nei bipoli passivi	195	8.7.2	Trasmissione sincrona	241
7.4.2.2	Rumore termico di un generatore di segnale	196	8.7.2.1	Sincronizzazione di simbolo	241
7.5	Appendice	197	8.7.2.2	Sincronizzazione di parola e di trama	242
7.5.1	Densità di potenza del rumore gaussiano attraverso una non linearità	197	8.8	Appendici	243
8	Trasmissione dati in banda base	199	8.8.1	Potenza di un segnale dati	246
8.1	Trasmissione su canale numerico	199	8.8.2	Codifica di carattere	247
8.1.1	Trasmissione numerica di banda base	199	8.8.2.1	Codifica UNICODE	247
8.1.2	Codifica di linea e segnale dati	201	9	Segnali modulati	249
8.1.2.1	Segnale binario e onda rettangolare	201	9.1	Contesti applicativi e prime definizioni	249
8.1.2.2	Distorsione lineare e interferenza in- tersimbolica	202	9.1.1	Multiplicazione a divisione di frequenza o <i>FDM</i>	250
8.1.2.3	Diagramma ad occhio	202	9.1.1.1	Collegamenti punto-multipunto	250
8.1.2.4	Trasmissione multilivello	203	9.1.1.2	Collegamenti punto-punto	250
8.2	Scelta dell'impulso dati	204	9.1.1.3	Accesso multiplo	250
8.2.1	Codici di linea a banda infinita	205	9.1.2	Canale telefonico	251
8.2.2	Segnale dati limitato in banda	207	9.1.3	Antenne e lunghezza d'onda	252
8.2.2.1	Requisiti per l'impulso di trasmissione	207	9.1.4	Banda di segnale	252
8.2.2.2	Criterio di Nyquist per l'assenza di ISI	209	9.2	Rappresentazione dei segnali modulati	253
8.2.2.3	Filtro a coseno rialzato	210	9.2.1	Inviluppo complesso	253
8.3	Equalizzazione	212	9.2.2	Modulazione di ampiezza, di fase e di frequenza	254
8.4	Probabilità di errore nelle trasmissioni di banda base	213	9.2.3	Componenti analogiche di bassa frequenza	255
8.4.1	Banda di ricezione e dinamica del rumore	213	9.2.4	Demodulazione in fase e quadratura	255
8.4.2	Dinamica del segnale e decisione a mas- sima verosimiglianza	214	9.2.5	Trasformata di Hilbert	256
8.4.3	Probabilità dell'errore gaussiano	215	9.2.6	Segnale analitico	258
8.4.4	Parametri di sistema e di trasmissione	216	9.2.7	Densità spettrale di segnali passa-banda	259
8.4.5	Probabilità di errore per simbolo	217	9.2.8	Schema delle trasformazioni	260
8.4.6	Relazione con il filtro adattato	218	9.3	Densità spettrale delle componenti analogi- che di processi	261
8.4.7	Compromesso banda - potenza	218	9.4	Appendici	263
8.4.8	Diagramma ad occhio in presenza di rumore	219	9.4.1	Filtro di Hilbert	263
8.4.9	Valutazione della P_e per bit	219	9.4.2	Trasformata di Hilbert di un segnale modulato	264
8.4.9.1	Codice di Gray	220	9.4.3	Trasmissione a banda laterale unica	265
8.4.9.2	Probabilità di errore per bit	221	9.4.4	Processi passa banda	266
8.4.10	Ricevitore ottimo	222	9.4.4.1	Conclusioni	268
8.5	Gestione degli errori di trasmissione	224	9.4.4.2	Processo gaussiano bianco limitato in banda	268
8.5.1	Controllo di errore	225	9.4.5	Autocorrelazione di processi passa-banda	268
8.5.1.1	Errori su parole	225			
8.5.2	Correzione di errore e codifica di canale	227			
8.5.2.1	Codice a blocchi	227			
8.5.2.2	Codice a ripetizione n:1	229			
8.5.2.3	Errori a burst ed interleaving	230			
8.5.3	Detezione di errore	230			
8.5.3.1	Controllo di parità	230			
8.5.3.2	Somma di controllo o <i>checksum</i>	231			
8.5.3.3	Codice polinomiale e CRC	231			

10	Modulazione (e ritorno) di segnali analogici	271	11.1.2.2	Canale equivalente passa basso perfetto	304
10.1	Modulazione di ampiezza - AM	271	11.1.2.3	Canale passa banda perfetto	305
10.1.1	Banda laterale doppia - BLD	272	11.1.2.4	Segnale a banda stretta	306
10.1.1.1	Portante soppressa - PS	272	11.1.3	Ritardo di fase, di gruppo, e distorsione di tempo di transito	308
10.1.1.2	Portante intera - PI	273	11.1.4	Assenza di intermodulazione tra componenti analogiche	308
10.1.1.3	Portante parzialmente soppressa - PPS	273	11.2	Distorsione lineare per segnali modulati	309
10.1.1.4	Efficienza energetica per portante intera e PPS	274	11.2.1	Modulazione di ampiezza	309
10.1.2	Banda laterale unica - BLU	274	11.2.2	Modulazione di Frequenza	310
10.1.2.1	Generazione di segnali BLU	275	11.3	Distorsione non lineare per segnali modulati	310
10.1.3	Banda laterale ridotta - BLR	275	11.3.1	Insensibilità della modulazione angolare alla distorsione non lineare	311
10.1.4	Potenza di un segnale AM	276	11.3.2	Predistorsione	311
10.2	Demodulazione di ampiezza	276	11.4	Appendice	312
10.2.1	Demodulazione coerente o omodina	276	11.4.1	Derivazione del tempo di ritardo di gruppo	312
10.2.2	Sincronizzazione di portante	276	12	Prestazioni delle trasmissioni modulate	313
10.2.2.1	Metodo della quadratura	277	12.1	Il rumore nei segnali modulati	313
10.2.2.2	Phase Locked Loop o PLL	277	12.1.1	Filtro di ricezione	313
10.2.3	Errori di fase e di frequenza	278	12.1.2	Rapporto segnale-rumore	313
10.2.3.1	Demodulazione I e Q in presenza di errore di fase	279	12.1.3	Banda di rumore	314
10.2.4	Demodulazione incoerente	279	12.1.4	Demodulazione di un processo di rumore	315
10.2.5	Demodulatore di inviluppo per AM-BLD-PI	280	12.1.5	SNR di riferimento	316
10.2.6	Demodulazione per segnali a banda laterale unica e ridotta	280	12.2	Prestazioni delle trasmissioni a modulazione di ampiezza	316
10.2.7	Demodulatore eterodina	281	12.2.1	Potenza di segnale e di rumore dopo demodulazione ed SNR	317
10.2.7.1	Supereterodina	282	12.2.1.1	Modulazione BLD-PS	317
10.2.7.2	Frequenza immagine	283	12.2.1.2	Modulazione BLU-PS	317
10.3	Modulazione angolare	284	12.2.1.3	Modulazione BLD-PI	318
10.3.1	Generazione di un segnale a modulazione angolare	286	12.3	Detezione di sinusoidi nel rumore	319
10.3.2	Ricezione di un segnale a modulazione angolare	286	12.3.1	Descrizione statistica del modulo dell'inviluppo complesso	319
10.3.2.1	Ricevitore a PLL	286	12.3.2	Detezione incoerente di sinusoidi nel rumore	322
10.3.2.2	Ricevitore a discriminatore	287	12.4	Prestazioni della modulazione di frequenza	325
10.3.3	Densità spettrale di segnali a modulazione angolare	288	12.4.1	Rumore dopo demodulazione FM	325
10.3.3.1	Segnale modulante sinusoidale	289	12.4.2	Caso di basso rumore	326
10.3.3.2	Regola di Carson	291	12.4.3	Caso di elevato rumore	328
10.3.3.3	Densità spettrale per FM ad alto indice	292	12.4.4	Enfasi e de-enfasi	330
10.3.3.4	Indice di modulazione per processi	293	12.5	Appendice	330
10.3.3.5	Densità spettrale per FM a basso indice	294	12.5.1	Approssimazione della d.d.p. di Rice per SNR elevato	330
10.4	Appendici	294	13	Teoria dell'informazione e codifica	333
10.4.1	Soluzioni di mo-demodulazione	294	13.1	Codifica di sorgente	333
10.4.1.1	Il mixer	294	13.1.1	Codifica di sorgente discreta	334
10.4.1.2	Sintesi di frequenza con PLL ed oscillatore a cristallo	296	13.1.1.1	Entropia	335
10.4.1.3	Sintesi digitale diretta	297	13.1.1.2	Intensità informativa e codifica binaria	337
10.4.2	Densità di potenza per segnali AM a banda laterale unica	297	13.1.1.3	Codifica con lunghezza di parola variabile	338
10.4.3	Calcolo della potenza di un segnale AM BLU	298	13.1.1.4	Codifica per blocchi	341
10.4.3.1	Calcolo della potenza di segnali BLD-PI, PS, PPS	298	13.1.2	Sorgente con memoria	343
10.4.4	Modulazione FM a basso indice	298	13.1.2.1	Sorgente Markoviana	344
11	Distorsione per segnali modulati	301	13.1.2.2	Codifica per sorgenti con memoria	345
11.1	Filtraggio passa banda	301	13.1.2.3	Compressione basata su dizionario	346
11.1.1	Intermodulazione tra componenti analogiche	302	13.1.3	Codifica con perdite di sorgente continua	348
11.1.1.1	Equalizzazione in fase e quadratura	303	13.1.3.1	Curva velocità-distorsione	348
11.1.1.2	Equalizzazione complessa	303	13.1.3.2	Entropia di sorgente continua	349
11.1.1.3	Canale equalizzato	303	13.1.3.3	Sorgente continua con memoria	350
11.1.2	Assenza di distorsione lineare nel filtraggio passa banda	304	13.2	Codifica di canale	350
11.1.2.1	Canale passa banda ideale	304			

13.2.1	Canale simmetrico binario e decisore Bayesiano	351	14.11.1	Sincronizzazione per sistemi a spettro espanso	420
13.2.2	Informazione mutua media per sorgenti discrete	353	14.12	Appendici	422
13.2.3	Capacità di canale discreto	355	14.12.1	Ortogonalità tra simboli sinusoidali	422
13.2.4	Capacità di canale continuo	357	14.12.2	Prestazioni della modulazione OFDM	423
13.3	Codici di canale	361	14.12.2.1	Calcolo della P_e per portante	424
13.3.1	Codice lineare a blocchi	363	14.12.2.2	Potenza di rumore per portante	425
13.3.1.1	Codice di Hamming	365	14.12.2.3	Prestazioni per portante	427
13.3.1.2	Codici ciclici	368	14.12.2.4	Caso di rumore bianco	427
13.3.2	Codice convoluzionale	369	14.12.2.5	Confronto con la portante singola	428
 			15 Caratterizzazione circuitale, rumore e equalizzazione 429		
II Trasmissione dei segnali 373			15.1 Modello circuitale dei segnali 429		
Prefazione 375			15.1.1 Bipoli 430		
14 Modulazione numerica 377			15.1.1.1 Potenza assorbita da un bipolo 431		
14.1 Modulazione di ampiezza 377			15.1.1.2 Connessione tra generatore e carico 431		
14.1.1 Modulazione BPSK 377			15.1.1.3 Potenza disponibile e massimo trasferimento di potenza 432		
14.1.2 Modulazione L-ASK 379			15.1.1.4 Adattamento di impedenza per assenza di distorsione lineare 432		
14.1.3 Valutazione delle prestazioni 380			15.1.2 Reti due porte 432		
14.2 Modulazione di fase 382			15.1.2.1 Modello circuitale 433		
14.2.1 Modulazione QPSK ed L-PSK 382			15.1.2.2 Schema simbolico 433		
14.2.2 Prestazioni QPSK 384			15.1.2.3 Trasferimento energetico 433		
14.2.3 Prestazioni L-PSK 386			15.2 Rumore nelle reti due porte 436		
14.3 Modulazione QAM 387			15.2.1 Reti passive 437		
14.3.1 Prestazioni di QAM 388			15.2.1.1 Rapporto SNR in uscita 437		
14.4 Codifica differenziale 391			15.2.1.2 Fattore di rumore per reti passive 438		
14.4.1 Modulazione DBPSK 391			15.2.2 Reti attive 438		
14.4.2 DQPSK 393			15.2.2.1 Fattore di rumore per reti attive 438		
14.5 Modulazione di frequenza L-FSK 393			15.2.3 Fattore di rumore per reti in cascata 440		
14.5.1 Modulazione FSK ortogonale 394			15.3 Rumore nei ripetitori 443		
14.6 Demodulazione incoerente 397			15.3.1 Ripetitore trasparente 443		
14.7 Schema riassuntivo delle prestazioni 398			15.3.1.1 Rumore termico accumulato 444		
14.8 Modulazione OFDM 398			15.3.1.2 Compromesso tra rumore termico e di intermodulazione 445		
14.8.1 Rappresentazione nel tempo ed in frequenza 399			15.3.2 Ripetitore rigenerativo 445		
14.8.2 Architettura di modulazione 402			15.4 Equalizzazione 446		
14.8.3 Efficienza dell'OFDM 403			15.4.1 Equalizzazione numerica 447		
14.8.4 Architettura di demodulazione 404			15.4.2 Equalizzatore zero forcing 448		
14.8.5 Prestazioni 404			15.4.3 Equalizzatore MMSE e filtro di Wiener 450		
14.8.6 Sensibilità alla temporizzazione 405			15.4.4 Equalizzatore a reazione 456		
14.8.7 Equalizzazione 405			15.4.5 Equalizzatore a massima verosimiglianza di sequenza 457		
14.8.8 Codifica differenziale 405			15.4.6 Confronto delle prestazioni di equalizzazione 459		
14.8.9 Ottimalità 406			15.5 Appendici 460		
14.8.10 Codifica 407			15.5.1 Potenza assorbita da un bipolo 460		
14.8.11 Portanti pilota 408			15.5.2 Condizioni per il massimo trasferimento di potenza 461		
14.9 Sistemi a spettro espanso 408			15.5.3 Potenza ceduta ad un carico $Z_c(f) \neq Z_g^*(f)$ 461		
14.9.1 Sequenze pseudo-casuali 409					
14.9.2 Modulazione per sequenza diretta 410					
14.9.2.1 Guadagno di processo 411					
14.9.2.2 Despreading 411					
14.9.2.3 Prestazioni in presenza di rumore 412					
14.9.2.4 Prestazioni in presenza di un tono interferente 412					
14.9.2.5 Accesso multiplo 413					
14.9.3 Famiglie di sequenze pseudo casuali 415					
14.9.4 Frequency Hopping 416					
14.9.5 Time Hopping o UWB 417					
14.10 Altre possibilità 417					
14.11 Sincronizzazione 420					

16	Collegamenti e mezzi trasmissivi	463	17	Sistema di servizio, teoria del traffico e delle reti	519
16.1	Bilancio di collegamento	463	17.1	Distribuzione binomiale per popolazione finita	519
16.2	Collegamenti in cavo	465	17.2	Distribuzione di Poisson	521
16.2.1	Costanti distribuite, grandezze derivate, e condizioni generali	465	17.2.1	Variabile aleatoria esponenziale negativa	522
16.2.2	Trasmissione in cavo	466	17.3	Sistema di servizio orientato alla perdita	523
16.2.2.1	Casi limite	469	17.3.1	Frequenza di arrivo e di servizio	524
16.2.3	Tipologie di cavi per le telecomunicazioni	470	17.3.2	Intensità media di traffico	524
16.2.3.1	Coppie simmetriche	470	17.3.3	Probabilità di rifiuto	524
16.2.3.2	Cavo coassiale	471	17.3.4	Efficienza di giunzione	526
16.3	Collegamenti radio	472	17.3.5	Validità del modello	527
16.3.1	Trasduzione elettromagnetica	473	17.4	Sistemi di servizio orientati al ritardo	528
16.3.2	Bilancio di collegamento per spazio libero	474	17.4.1	Risultato di Little	528
16.3.3	Condizioni di propagazione e attenuazioni supplementari	475	17.4.2	Sistemi a coda infinita ed a sergente unico	529
16.3.3.1	Condizioni di visibilità	475	17.4.3	Sistemi a coda finita e con più serventi	530
16.3.3.2	Diffusione e riflessione atmosferica	476	17.5	Reti per trasmissione dati	533
16.3.3.3	Assorbimento atmosferico	477	17.5.1	Il pacchetto dati	533
16.3.3.4	Dimensionamento di un collegamento soggetto a pioggia	477	17.5.2	Modo di trasferimento delle informazioni	534
16.3.3.5	Cammini multipli	478	17.5.2.1	Schema di moltiplicazione	534
16.3.3.6	Collegamento in diversità	480	17.5.2.2	Principio di commutazione	535
16.3.4	Collegamenti radiomobili	481	17.5.2.3	Architettura protocollare	537
16.3.4.1	Le componenti del fading	481	18	Reti a pacchetto	541
16.3.4.2	Path loss	482	18.1	La rete Internet	541
16.3.4.3	Fading su larga scala e shadowing	483	18.1.1	Gli indirizzi	542
16.3.4.4	Fading su piccola scala	484	18.1.1.1	IP ed Ethernet	543
16.3.4.5	Fading selettivo in frequenza	487	18.1.1.2	Sottoreti	543
16.3.4.6	Dispersione spettrale e variabilità temporale	490	18.1.1.3	Intranet	543
16.3.4.7	Tipologia di canale radiomobile	492	18.1.1.4	Domain Name Service (DNS)	543
16.3.4.8	Probabilità di errore in presenza di fading di Rayleigh	493	18.1.1.5	Indirizzi TCP	544
16.3.4.9	Ricevitore multi-antenna	495	18.1.2	TCP	545
16.3.4.10	Ricevitore Rake	497	18.1.2.1	Il pacchetto TCP	545
16.4	Collegamenti in fibra ottica	498	18.1.2.2	Apertura e chiusura della connessione	546
16.4.1	Trasmissione ottica	498	18.1.2.3	Protocollo a finestra	546
16.4.2	Bilancio di collegamento	503	18.1.2.4	UDP	547
16.4.3	Seconda generazione	505	18.1.3	IP	548
16.4.3.1	Amplificazione ottica	506	18.1.3.1	L'instestazione IP	548
16.4.3.2	Moltiplicazione a divisione di lunghezza d'onda - WDM	506	18.1.3.2	Indirizzamento e Routing	549
16.4.3.3	Controllo della dispersione	507	18.1.3.3	Subnetting e Supernetring	549
16.4.4	Sistemi in fibra ottica	508	18.1.3.4	Classless Interdomain Routing - CIDR	549
16.4.4.1	Dalle fibre ottiche alle reti ottiche	508	18.1.3.5	Longest Match	550
16.4.4.2	Rete ottica di trasporto	510	18.1.3.6	Sistemi Autonomi e Border Gateway	550
16.4.4.3	Rete passiva di distribuzione	510	18.1.3.7	Multicast	550
16.4.5	Ridondanza e pericoli naturali	511	18.1.4	Ethernet	551
16.5	Appendici	511	18.1.4.1	Address Resolution Protocol - ARP	551
16.5.1	Allocazione delle frequenze radio	511	18.1.4.2	Formato di pacchetto	552
16.5.2	Caratterizzazione della dispersione temporale	513	18.1.4.3	Collisione	553
			18.1.4.4	Trasmissione	553
			18.1.5	Fast e Gigabit Ethernet	553
			18.1.5.1	Fast Ethernet	554
			18.1.5.2	LAN Switch	554
			18.1.5.3	Domínio di broadcast e VLAN	554
			18.1.5.4	Gigabit Ethernet	554
			18.1.5.5	Packet bursting	555
			18.1.5.6	Architettura	555
			18.1.5.7	Ripetitore full-duplex e controllo di flusso	555
			18.1.5.8	10 Gigabit Ethernet	556
			18.2	ATM	556
			18.2.1	Architettura	556
			18.2.2	Strato fisico	556
			18.2.3	Strato ATM	557
			18.2.4	Classi di traffico e Qualità del Servizio (QoS)	558
III	Sistemi di telecomunicazione	515			
Prefazione		517			

18.2.5	Indirizzamento	559	20 Broadcast	593
18.2.6	Strato di adattamento	560	20.1	Trasmissione televisiva analogica
18.2.7	IP su ATM classico	561	20.1.1	Codifica dell'immagine
18.2.8	LANE, NHRP e MPOA	562	20.1.2	Segnale televisivo in bianco e nero
18.2.9	MPLS	563	20.1.3	Formato dell'immagine
			20.1.4	Occupazione spettrale
			20.1.5	Segnale audio
19 Reti a commutazione di circuito		565	20.1.6	Segnale di crominanza
19.1	Introduzione	565	20.1.7	Sincronizzazione
19.1.1	Elementi della rete telefonica	565	20.1.8	Interferenza
19.1.2	La rete di accesso	566	20.1.9	Video composito o separato
19.2	Multiplicazione	567	20.2	FM broadcast
19.2.1	Multiplicazione a divisione di tempo	567	20.3	Collegamenti satellitari
19.3	Rete plesiocrona	568	20.3.1	Studio di produzione
19.3.1	Trama PCM	568	20.3.2	Uplink
19.3.2	Messaggi di segnalazione	570	20.3.3	Transponder
19.3.3	Sincronizzazione di centrale	571	20.3.4	Footprint e Downlink
19.3.4	Multiplicazione asincrona e PDH	572	20.3.5	Temperatura di antenna
19.3.4.1	Bit stuffing	572	20.3.6	Ricevitore a terra
19.3.4.2	Add and Drop Multiplexer - ADM	573	20.3.7	Polarizzazione
19.3.5	Sincronizzazione di rete	573	21 Codifica di sorgente multimediale	603
19.3.5.1	Elastic store	574	21.1	Codifica audio
19.4	Gerarchia digitale sincrona	574	21.1.1	Codifica di forma d'onda
19.5	Topologia di rete	578	21.1.1.1	DPCM o PCM Differenziale
19.6	Rete in fibra ottica	579	21.1.1.2	ADPCM o DPCM Adattivo
19.6.1	Dispositivi SDH	579	21.1.1.3	Codifica per sottobande
19.6.2	Topologia ad anello	579	21.1.2	Codifica basata su modello
19.6.2.1	Rete di trasporto	580	21.1.2.1	Produzione del segnale vocale
19.6.2.2	Rete di accesso in fibra	580	21.1.2.2	Codifica a predizione lineare - LPC
19.6.3	Sistemi di protezione automatica	580	21.1.2.3	Predizione lineare ad eccitazione residuale - RELP
19.7	Instradamento	582	21.1.2.4	Quantizzazione vettoriale
19.8	Commutazione	583	21.1.2.5	Predizione lineare ad eccitazione codificata - CELP
19.8.1	Reti a divisione di spazio	583	21.1.3	Codifica psicoacustica
19.8.2	Reti multistadio	583	21.2	Codifica di immagine
19.8.3	Commutazione numerica a divisione di tempo	584	21.2.1	Dimensioni
19.8.3.1	Time Slot Interchanger	584	21.2.2	Spazio dei colori
19.8.3.2	Commutazione bidimensionale	584	21.2.3	Formato GIF
19.9	Appendici	585	21.2.4	Codifica JPEG
19.9.1	Plain old telephony services (POTS)	585	21.3	Codifica video
19.9.2	ISDN	587	21.3.1	Standard video
19.9.3	Sistema di segnalazione numero 7	587	21.3.1.1	H.261
19.9.4	ADSL	589	21.3.1.2	H.263
19.9.5	TDM mediante modulazione di ampiezza degli impulsi	590	21.3.1.3	MPEG-1
19.10	Riferimenti	591	21.3.1.4	MPEG-2
			21.3.2	Contentitori
			21.3.2.1	Transport Stream
			Bibliografia	647
			Indice analitico	651

L'opera

Trasmissione dei Segnali e Sistemi di Telecomunicazione

fa parte di un progetto di cultura libera iniziato a fine anni '90, da allora sempre aggiornato ed evoluto fino alla forma attuale. La sua disponibilità pubblica è regolata dalle norme di licenza CREATIVE COMMONS

Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.it>

Tutte le risorse associate al testo sono accessibili presso

<https://teoriadeisignali.it/libro/>

E' possibile contribuire al suo sviluppo svolgendo una azione promozionale alla sua diffusione, e/o supportarne la redazione attraverso una donazione, a cui corrisponde l'accesso *vitalizio* al formato PDF *navigabile* di tutte le edizioni presenti e future, e che viene anche devoluta ai progetti *open source*⁵⁷ grazie ai quali ne è stata possibile la produzione.

57

- . Lyx - <http://www.lyx.org/>
- . L^AT_EX- <https://www.latex-project.org/>
- . Inkscape - <http://www.inkscape.org/>
- . Gnuplot - <http://www.gnuplot.info/>
- . Octave - <http://www.gnu.org/software/octave/>
- . Genius - <https://www.jirka.org/genius.html>
- . Linux - <https://www.linux.it/>
- . Wikipedia - <https://it.wikipedia.org>