Domande e risposte di Reti e Sicurezza

Autore: Federico Z.
Editore Latex: Riccardo A.

Aggiornate all'AA 2019/2020

5 agosto 2020

Premesse

Date le 73 domande che generalmente girano per l'esame di reti, mi sono permesso di reinterpretarle in maniera personale rispetto a quelle già presenti online, dando possibili risposte prendendo informazioni dal libro "Computer Networks 4th Edition" di Andrew S. Tanenbaum, unite a ricerche sul web e conoscenze personali. NON assicuro la correttezza delle risposte che NON vogliono neppure essere un riassunto al libro, vogliono servire come spunto e ripasso in preparazione dell'esame. Scià belli.
Federico Z.

Link alla repository GitHub: https://github.com/FedeBrichi/Reti

Indice

1 Cosa si intende per serie di Fourier? 18
1.1 Cos'è? . . . 18
1.2 Pregi . . . 18
1.3 Difetti . . . 18
1.4 Ambiti d'uso . . . 18

2 Bitrate e Baudrate 19
2.1 Cosa sono? . . . 19
2.2 Pregi . . . 19
2.3 Difetti . . . 19
2.4 Ambiti d'uso . . . 19

3 Descrivere i vari tipi di cavo e confrontarli 19
3.1 Il doppino, cos'è? . . . 19
3.1.1 Pregi . . . 20
3.1.2 Difetti . . . 20
3.1.3 Ambiti d'uso . . . 20
3.2 Il cavo coassiale, cos'è? . . . 20
3.2.1 Pregi . . . 21
3.2.2 Difetti . . . 21
3.2.3 Ambiti d'uso . . . 21
3.3 Fibra ottica, cos'è? . . . 21
3.3.1 Pregi . . . 22
3.3.2 Difetti . . . 23
3.3.3 Ambiti d'uso . . . 23

4 Caratteristiche e confronto tra i vari tipi di satellite: GEO, MEO e LEO 23
4.1 Cosa sono? . . . 24
4.2 Pregi . . . 25
4.3 Difetti . . . 26
4.4 Ambiti d'uso . . . 26

5 Cos'è la modulazione di frequenza? 26
5.1 Cos'è? . . . 26
5.2 Pregi . . . 27
5.3 Difetti . . . 27
5.4 Ambiti d'uso . . . 27

6 Cos'è la modulazione delta (delta modulation)? 27
6.1 Cos'è? . . . 27
6.2 Pregi . . . 28
6.3 Difetti . . . 28
6.4 Ambiti d'uso . . . 28

7 Descrivere in dettaglio il GSM (Global System for Mobile connection) 28
7.1 Cos'è? . . . 29
7.2 Pregi . . . 29
7.3 Difetti . . . 29
7.4 Ambiti d'uso . . . 29

8 Si descriva la tecnica CDMA (Code Division Multiple Access), possibilmente con esempio 30
8.1 Cos'è? . . . 30
8.2 Pregi . . . 31
8.3 Difetti . . . 31
8.4 Ambiti d'uso . . . 31

9 Il GPRS: Cos'è? Pregi e difetti 31
9.1 Cos'è? . . . 31
9.2 Pregi . . . 32
9.3 Difetti . . . 32
9.4 Ambiti d'uso . . . 32

10 Handoff cos'è e vari tipi 32
10.1 Pregi . . . 33
10.2 Difetti . . . 33
10.3 Ambiti d'uso . . . 33

11 FDM, TDM, CDM: algoritmi per la selezione della banda 33
11.1 FDM (Frequency Division Multiplexing) cos'è? . . . 33
11.1.1 Pregi . . . 34
11.1.2 Difetti . . . 34
11.1.3 Ambiti d'uso . . . 34
11.2 TDM (Time Division Multiplexing) cos'è? . . . 34
11.2.1 Pregi . . . 35
11.2.2 Difetti . . . 35
11.2.3 Ambiti d'uso . . . 35

11.3 CDM (Code Division Multiplexing) cos'è? 35
11.3.1 Pregi 36
11.3.2 Difetti 36
11.3.3 Ambiti d'uso 36

12 QAM e QAM16 **36**
12.1 QAM16, cos'è? 37
12.2 Pregi 37
12.3 Difetti 37
12.4 Ambiti d'uso 37

13 byte stuffing? **38**
13.1 Cos'è? 38
13.2 Pregi 39
13.3 Difetti 39
13.4 Ambiti d'uso 39

14 bit stuffing? **39**
14.1 Cos'è? 39
14.2 Pregi 40
14.3 Difetti 40
14.4 Ambiti d'uso 40

15 Numero di bit necessari per riconoscimento (correzione) degli errori di trasmissione? **40**
15.1 Bit necessari per rilevare un errore 41
15.2 Bit necessari per rilevare e correggere un errore 41
15.3 Pregi 41
15.4 Difetti 41
15.5 Ambiti d'uso 41

16 Si descriva cos'è il CRC (Cycle Redundancy check). Si calcoli inoltre il CRC di 10011101 usando il polinomio generatore di $x^4 + x + 1$ **42**
16.1 Cos'è? 42
16.2 Esempio 42
16.3 Pregi 43
16.4 Difetti 43
16.5 Ambiti d'uso 43

17 Descrivere il protocollo stop-and-wait, pregi e difetti **43**
17.1 Cos'è? 44
17.2 Pregi 44
17.3 Difetti 45
17.4 Ambiti d'uso 45

18 Cos'è il piggybacking? **45**
18.1 Cos'è? 45
18.2 Pregi 45
18.3 Difetti 46
18.4 Ambiti d'uso 46

19 Si descriva la tecnica dello Sliding window **46**
19.1 Cos'è? 46
19.2 Pregi 47
19.3 Difetti 47
19.4 Ambiti d'uso 47

20 Si descriva l'idea dei protocolli "go back N", indicandone pregi e difetti **47**
20.1 Cos'è? 48
20.2 Pregi 48
20.3 Difetti 49
20.4 Ambiti d'uso 49

21 Si descriva cos'è la tecnica del selective repeat **49**
21.1 Cos'è? 49
21.2 Pregi 50
21.3 Difetti 50
21.4 Ambiti d'uso 50

22 Descrivere la differenza tra ALOHA e ALOHA-SLOTTED **50**
22.1 Cos'è ALOHA? 50
22.1.1 Pregi 51
22.1.2 Difetti 51
22.1.3 Ambiti d'uso 51
22.2 Cos'è ALOHA Slotted? 51
22.2.1 Pregi 51
22.2.2 Difetti 52
22.2.3 Ambiti d'uso 52

23 Si illustri il CSMA (Carrier Sense Multiple Access), indicandone pregi e difetti **52**
23.1 Cos'è? . . . 53
23.2 Pregi . . . 54
23.3 Difetti . . . 54
23.4 Ambiti d'uso . . . 54

24 Basic Bitmap **54**
24.1 Cos'è? . . . 54
24.2 Pregi . . . 55
24.3 Difetti . . . 55
24.4 Ambiti d'uso . . . 55

25 Spiegare in cosa consiste il protocollo collision free binary countdown, pregi e difetti **55**
25.1 Cos'è? . . . 56
25.2 Pregi . . . 56
25.3 Difetti . . . 56
25.4 Ambiti d'uso . . . 57

26 Spiegare cos'è l'adaptive tree walk protocol? **57**
26.1 Cos'è? . . . 57
26.2 Pregi . . . 58
26.3 Difetti . . . 58
26.4 Ambiti d'uso . . . 58

27 Ethernet e i vari tipi di cavo **58**
27.1 Cos'è? . . . 58
27.2 10base5 . . . 59
27.3 10base2 . . . 59
27.4 10base-T . . . 59
27.5 10base-F . . . 60
27.6 Pregi . . . 60
27.7 Difetti . . . 60
27.8 Ambiti d'uso . . . 60

28 Codifica Manchester **61**
28.1 Codifica Manchester cos'è? . . . 61
28.2 Codifica Manchester differenziale cos'è? . . . 61
28.3 Pregi . . . 62

28.4 Difetti 62
28.5 Ambiti d'uso 62

29 Cos'è il binary exponential backoff? 62
29.1 Cos'è? 62
29.2 Pregi 63
29.3 Difetti 63
29.4 Ambiti d'uso 63

30 Stazione nascosta e stazione esposta: cosa sono e cosa fanno? 63
30.1 Stazione nascosta, cos'è? 64
30.2 Stazione esposta, cos'è? 64

31 Bluetooth 64
31.1 Cos'è? 64

32 Si descriva l'algoritmo statico Flooding 65
32.1 Cos'è? 66
32.2 Pregi 66
32.3 Difetti 67
32.4 Ambiti d'uso 67

33 Descrivere il distance vector routing 67
33.1 Cos'è? 67
33.2 Pregi 68
33.3 Difetti 68
33.4 Ambiti d'uso 68

34 Descrivere Linkstate routing 69
34.1 Cos'è? 69
34.2 Pregi 70
34.3 Difetti 71
34.4 Ambiti d'uso 71

35 Choke packet 71
35.1 Cos'è? 71
35.2 Pregi 72
35.3 Difetti 72
35.4 Ambiti d'uso 72

36 Choke packet hop-by-hop **72**
36.1 Cos'è? . . . 73
36.2 Pregi . . . 73
36.3 Difetti . . . 73
36.4 Ambiti d'uso . . . 73

37 Load shedding **74**
37.1 Cos'è? . . . 74
37.2 Pregi . . . 74
37.3 Difetti . . . 74
37.4 Ambiti d'uso . . . 74

38 Red (Random Early Detection) **75**
38.1 Cos'è? . . . 75
38.2 Pregi . . . 75
38.3 Difetti . . . 75
38.4 Ambiti d'uso . . . 76

39 Reverse Path Forwarding **76**
39.1 Cos'è? . . . 76
39.2 Pregi . . . 76
39.3 Difetti . . . 76
39.4 Ambiti d'uso . . . 77

40 Quality of Service (QoS) **77**
40.1 Cos'è? . . . 77

41 Leaky bucket, pregi e difetti **78**
41.1 Cos'è? . . . 78
41.2 Pregi . . . 79
41.3 Difetti . . . 79
41.4 Ambiti d'uso . . . 79

42 Descrivere il token bucket, pregi e difetti **79**
42.1 Cos'è? . . . 80
42.2 Pregi . . . 80
42.3 Difetti . . . 81
42.4 Ambiti d'uso . . . 81

43 Descrivere l'ARP **81**
43.1 Cos'è? . . . 81
43.2 Pregi . . . 82
43.3 Difetti . . . 82
43.4 Ambiti d'uso . . . 82

44 Si descriva DHCP e il suo funzionamento **82**
44.1 Cos'è? . . . 83
44.2 Pregi . . . 84
44.3 Difetti . . . 84
44.4 Ambiti d'uso . . . 84

45 IPV6 **84**
45.1 Pregi . . . 85
45.2 Difetti . . . 85
45.3 Ambiti d'uso . . . 85

46 Elencare e descrivere brevemente i secondi (primi) 32b dell'header IPv4 (IPv6) **86**
46.1 IPv4 . . . 86
46.2 IPv6 . . . 86
46.3 IPv4, primi 32bit . . . 86
46.4 IPv4, secondi 32bit . . . 87
46.5 IPv6, primi 32bit . . . 88
46.6 IPv6, secondi 32bit . . . 88

47 Frame Ethernet **89**
47.1 Cos'è? . . . 89

48 Si descriva l'header UDP **90**
48.1 Cos'è UDP? . . . 90
48.2 Header UDP . . . 91
48.3 Pregi . . . 91
48.4 Difetti . . . 91
48.5 Ambiti d'uso . . . 91

49 Descrivere l'header TCP/IP e commentarlo **92**
49.1 Cos'è TCP? . . . 92
49.2 Header TCP . . . 92
49.3 Pregi . . . 94
49.4 Difetti . . . 95

49.5 Ambiti d'uso 95

50 Cos'è il DNS? 95
50.1 Cos'è? 95
50.2 Pregi 96
50.3 Difetti 96
50.4 Ambiti d'uso 96

51 Cos'è un cifrario a sostituzione? E a trasposizione? 96
51.1 Cos'è il cifrario a sostituzione 97
51.2 Cos'è il cifrario a trasposizione 97
51.3 Differenze tra i due 97

52 Si descriva il block cipher 98
52.1 Cos'è 98
52.2 P-box 98
52.3 S-box 98
52.4 Pregi 99
52.5 Difetti 99
52.6 Ambiti d'uso 99

53 Si descriva l'algoritmo DES e triplo DES 99
53.1 Cos'è DES? 99
53.2 Cos'è Triplo-DES? 99
53.3 Pregi 100
53.4 Difetti 100
53.5 Ambiti d'uso 101

54 Counter Mode Cipher 101
54.1 Causa della creazione 101
54.2 Cos'è? 101
54.3 Pregi 102
54.4 Difetti 102
54.5 Ambiti d'uso 102

55 Cipher block chaining 102
55.1 Cos'è? 102
55.2 Pregi 103
55.3 Difetti 103
55.4 Ambiti d'uso 103

56 Stream cipher **103**
56.1 Cos'è? . . . 103
56.2 Pregi . . . 104
56.3 Difetti . . . 104
56.4 Ambiti d'uso . . . 104

57 RSA **104**
57.1 Causa della creazione . . . 104
57.2 Cos'è? . . . 105
57.3 Pregi . . . 105
57.4 Difetti . . . 106
57.5 Ambiti d'uso . . . 106

58 Si descriva la tecnica di attacco Birthday attack **106**
58.1 Firme digitali . . . 106
58.2 Cos'è il birthday attack . . . 106

59 Sicurezza in 802.11 **107**
59.1 Cos'è? . . . 107
59.2 Come funziona . . . 107
59.3 Pregi . . . 108
59.4 Difetti . . . 108
59.5 Ambiti d'uso . . . 108

60 Si descriva la sicurezza di Bluetooth **108**
60.1 Livelli di sicurezza . . . 108
60.2 Pregi . . . 109
60.3 Difetti . . . 109
60.4 Ambiti d'uso . . . 109

61 La tecnica di attacco reflection attack **109**
61.1 Cos'è? . . . 109
61.2 Regole per evitarlo . . . 110

62 Replay attack **110**
62.1 Cos'è? . . . 110
62.2 Metodi per evitarlo . . . 110

63 Algoritmo Diffie-hellman **111**
63.1 Cos'è? . . . 111
63.2 Pregi . . . 111
63.3 Difetti . . . 111
63.4 Ambiti d'uso . . . 112

64 Attacco Man in the middle **112**
64.1 Cos'è? . . . 112
64.2 Come evitarlo . . . 112

65 DNS spoofing **113**
65.1 Cos'è? . . . 113
65.2 Possibile soluzione . . . 113

66 CIDR - Classless InterDomain Routing **114**
66.1 Cos'e'? . . . 114
66.2 Pregi . . . 114
66.3 Difetti . . . 115
66.4 Ambiti d'uso . . . 115

67 NAT - Network Address Trasnlation **115**
67.1 Cos'e'? . . . 115
67.2 Pregi . . . 116
67.3 Difetti . . . 116
67.4 Ambiti d'uso . . . 116

68 ICMP - Internet Control Message Packet **116**
68.1 Cos'e'? . . . 116
68.2 Pregi . . . 116
68.3 Difetti . . . 117
68.4 Ambiti d'uso . . . 117

69 OTP - One Time Pad **117**
69.1 Cos'e'? . . . 117
69.2 Pregi . . . 117
69.3 Difetti . . . 118
69.4 Ambiti d'uso . . . 118

70 Attacchi ciphertext **118**
70.1 ciphertext-only attack . . . 118

71 ECB - Electronic Code Block Mode **118**

72 IPSec **118**
72.1 Pregi . . . 119
72.2 Difetti . . . 119
72.3 Ambiti d'uso . . . 119

73 HMAC - Hashed Message Authentication Code **120**

A Capitolo 1 - Introduzione **121**
A.1 Tipi di collegamento . . . 121
A.2 Classificazione delle reti . . . 121
A.3 Architettura delle reti . . . 121
A.3.1 Progettare una rete . . . 122
A.3.2 Tipi di servizi offerti da un livello . . . 122
A.4 Modelli di reti . . . 123

B Capitolo 2 - Strato fisico **124**
B.1 Serie di Fourier e Banda passante . . . 124
B.2 Mezzi di trasmissione guidati . . . 124
B.2.1 Mezzi magnetici . . . 124
B.2.2 Il doppino . . . 125
B.2.3 Il cavo coassiale . . . 125
B.2.4 Fibra ottica . . . 126
B.3 Mezzi wireless . . . 127
B.3.1 Spettro elettromagnetico . . . 127
B.3.2 Trasmissioni radio . . . 127
B.3.3 Trasmissioni a microonde . . . 128
B.3.4 Infrarossi . . . 128
B.3.5 Trasmissioni a onde luminose . . . 128
B.4 Satelliti . . . 129
B.5 Rete telefonica pubblica commutata . . . 129
B.5.1 Collegamenti locali . . . 129
B.6 Linee e multiplexing . . . 131
B.6.1 Multiplexing a divisione di frequenza . . . 131
B.6.2 Multiplexing a divisione di lunghezza d'onda . . . 132
B.6.3 Multiplexing a divisione di tempo . . . 132
B.7 Commutazione (*Switching*) . . . 132
B.7.1 Commutazione di circuito . . . 132
B.7.2 Commutazione di messaggio . . . 133

B.7.3 Commutazione di pacchetto . . . 133
B.8 Sistema telefonico mobile . . . 133
B.8.1 Prima generazione - voce analogica . . . 133
B.8.2 Seconda generazione - voce digitale . . . 135
B.8.3 Terza generazione - voce e dati digitali . . . 137

C Capitolo 3 - Strato data link 138
C.1 Progetto dello strato data link . . . 138
C.1.1 Servizi forniti allo strato network . . . 138
C.1.2 Suddivisione in frame . . . 139
C.1.3 Controllo errori . . . 140
C.1.4 Controllo di flusso . . . 140
C.2 Rilevazione e correzione errori . . . 140
C.2.1 Codici per la correzione degli errori . . . 140
C.2.2 Codifiche a rilevazione d'errore . . . 141
C.3 Protocolli data link elementari . . . 142
C.3.1 Simplex senza restrizioni . . . 142
C.3.2 Simplex stop-and-wait . . . 142
C.3.3 Simplex per canali rumorosi . . . 143
C.4 Protocolli sliding window . . . 143
C.4.1 Sliding window a 1 bit . . . 144
C.4.2 Go back N e Ripetizione selettiva . . . 144
C.5 Esempi di protocolli . . . 145
C.5.1 HDLC - High-level Data Link Control . . . 145
C.5.2 PPP - protocollo punto a punto . . . 146

D Capitolo 4 - Sottostrato MAC 147
D.1 Il problema dell'assegnazione del canale . . . 147
D.1.1 Assegnazione statica . . . 147
D.1.2 Assegnazione dinamica . . . 147
D.2 Protocolli ad accesso multiplo . . . 148
D.2.1 Aloha . . . 148
D.2.2 Protocolli ad accesso multiplo con rilevamento della portante . . . 149
D.2.3 Protocolli senza collisione . . . 149
D.2.4 Protocolli a contesa limitata . . . 150
D.2.5 Protocolli LAN Wireless . . . 151
D.3 Ethernet . . . 152
D.3.1 Cablaggio Ethernet . . . 152
D.3.2 La codifica Manchester . . . 153

D.3.3 Il protocollo del sottostrato MAC Ethernet 153
D.3.4 Algoritmo di backoff esponenziale binario 154
D.3.5 Prestazioni di Ethernet 155
D.3.6 Ethernet commutata 155
D.3.7 Fast Ethernet 155
D.3.8 Gigabit Ethernet 156
D.3.9 Retrospettiva su Ethernet 157
D.4 LAN Wireless 157
D.4.1 La pila di protocolli 802.11 157
D.4.2 Lo strato fisico di 802.11 157
D.4.3 Il protocollo del sottostrato MAC di 802.11 157
D.4.4 Servizi 158
D.5 Commutazione nello strato data link 159
D.5.1 Bridge tra due 802 159
D.5.2 Internetworking locale 160
D.5.3 Bridge spanning tree 160
D.5.4 Bridge remoti 160
D.5.5 Ripetitori, hub, bridge, switch, router, gateway 160

E Capitolo 5 - Strato network **161**
E.1 Architettura dello strato network 161
E.1.1 Commutazione di pacchetto store-and-forward 161
E.1.2 Servizi forniti allo strato di trasporto 161
E.1.3 Sottoreti a circuito virtuale vs a datagramma 162
E.2 Algoritmi di routing 162
E.2.1 Principio di ottimalità 163
E.2.2 Routing basato sul percorso più breve 163
E.2.3 Flooding 163
E.2.4 Routing basato sul vettore delle distanze 163
E.2.5 Routing basato sullo stato dei collegamenti 164
E.2.6 Routing gerarchico 165
E.2.7 Routing broadcast 165
E.3 Algoritmi per il controllo della congestione 166
E.3.1 Principi del controllo della congestione 166
E.3.2 Prevenire la congestione 166
E.3.3 Controllo nelle sottoreti a circuito virtuale 167
E.3.4 Controllo nelle sottoreti a datagrammi 167
E.3.5 Load shedding 167
E.3.6 Controllo del jitter 168
E.4 Qualità del servizio 168

E.4.1 Requisiti . . . 168
E.4.2 Tecniche per una buona qualità . . . 168
E.5 Collegamento tra reti . . . 169
E.5.1 Differenze tra le reti . . . 170
E.5.2 Connessione tra le reti . . . 170
E.5.3 Circuiti virtuali concatenati . . . 170
E.5.4 Collegamento tra reti senza connessione . . . 171
E.5.5 Routing in una internetwork . . . 171
E.6 Lo strato network in internet . . . 171
E.6.1 Il protocollo IPv4 . . . 171
E.6.2 Gli indirizzi IP . . . 172
E.6.3 Protocolli di controllo internet . . . 175
E.6.4 OSPF . . . 176
E.6.5 BGP . . . 177
E.6.6 Internet multicasting . . . 177
E.6.7 IPv6 . . . 177

F Capitolo 6 - Strato trasporto 179
F.1 Richiesta connessione e protocollo Three-way Handshake . . . 179
F.2 Rilascio della connessione . . . 180
F.3 Introduzione all'UDP . . . 181
F.4 TCP . . . 181
F.4.1 Introduzione . . . 181
F.4.2 Modello di servizio di TCP . . . 181
F.4.3 Protocollo TCP . . . 182
F.4.4 Intestazione TCP . . . 182
F.4.5 Connessione TCP . . . 183
F.4.6 Rilascio connessione TCP . . . 183

G Capitolo 7 - Strato applicazione 184
G.1 DNS . . . 184

H Capitolo 8 - Sicurezza 185
H.1 Crittografia . . . 185
H.1.1 Introduzione alla crittografia . . . 185
H.1.2 Cifrari a sostituzione . . . 185
H.1.3 Blocchi monouso . . . 185
H.1.4 Due principi crittografici fondamentali . . . 186
H.2 Algoritmi a chiave simmetrica . . . 186
H.2.1 DES singolo e triplo . . . 186

H.2.2 AES . . . 187
H.2.3 Modalità di cifratura . . . 188
H.3 Algoritmi a chiave pubblica . . . 189
H.3.1 RSA . . . 189
H.4 Firme digitali . . . 190
H.4.1 Message digest . . . 190
H.4.2 MD5 . . . 191
H.4.3 SHA-1 . . . 191
H.5 Sicurezza delle comunicazioni . . . 191
H.5.1 IPsec . . . 191
H.5.2 Firewall . . . 193
H.5.3 Sicurezza wireless . . . 193
H.6 Replay attack . . . 194
H.7 Sicurezza del naming . . . 195
H.7.1 DNS spoofing . . . 195

1 Cosa si intende per serie di Fourier?

1.1 Cos'è?

Un segnale che ha una durata finita può essere gestito immaginando semplicemente che esso ripeta infinite volte l'intero schema (intervallo T e 2T è identico all'intervallo 0 a T).

È possibile quindi rappresentare i segnali tramite funzioni, le quali permettono un'analisi e una modellazione più efficace. La Serie di Fourier non è altro che la scomposizione di un segnale in componenti sinusoidali (possibilmente infiniti).

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n sen(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n cos(2\pi nft)$$

$f = 1/T$ rappresenta la frequenza fondamentale, a_n b_n sono rispettivamente le ampiezze seno e coseno dell'n-esima armonica e c rappresenta una costante.

Su questo teorema si basano le reti e il passaggio dei dati tramite i mezzi di trasmissione; purtroppo nella pratica i mezzi di trasmissione attenuano in modo non uniforme i componenti della serie di Fourier, generando così una distorsione. Per ovviare a questa distorsione, le ampiezze fino ad una certa frequenza vengono trasmesse senza modifiche, da quella frequenza in poi vengono attenuate.

L'intervallo di frequenze trasmesse senza una forte attenuazione è chiamato Banda Passante. Generalmente nella realtà viene indicata la banda passante compresa tra 0 e la frequenza dove la potenza è attenuata del 50%.

1.2 Pregi

Un pregio sicuramente è il fatto che scomporre un segnale in più componenti permette uno studio più preciso del segnale.

1.3 Difetti

–

1.4 Ambiti d'uso

Viene ampiamente usata nelle comunicazioni in generale, per la trasmissione dei dati, la scomposizione del segnale in più sinusoidi migliora la comprensione delle onde. Si passerà poi alle varie modulazioni per ovviare ai problemi dovuti alle attenuazioni o alle distorsioni.

2 Bitrate e Baudrate

2.1 Cosa sono?

Il **Bitrate** è la quantità di informazioni digitali che è trasferita o registrata nell'unita di tempo. Stiamo parlando quindi di velocità di trasmissione, espressa in bit/s. La velocità di trasmissione è anche detta Banda e dipende dal tipo di mezzo trasmissivo utilizzato e dalle sue condizioni fisiche al momento dell'uso.
Il **Baudrate** invece rappresenta il numero di simboli che viene trasmesso in un secondo. Non va confusa con il sopracitato bitrate in quanto misurano unità differenti; infatti ad un simbolo corrisponde un numero di bit differente in base alle tecniche di modulazione utilizzate.

2.2 Pregi

Grazie a queste unità di misura è possibile dare una rappresentazione quantitativa della velocità di trasmissione del mezzo.

2.3 Difetti

–

2.4 Ambiti d'uso

Queste metriche vengono utilizzate nelle reti wireless e cablate.

3 Descrivere i vari tipi di cavo e confrontarli

I principali tipi di cavo utilizzato nelle telecomunicazioni sono: il doppino, il cavo coassiale e la fibra ottica.

3.1 Il doppino, cos'è?

È un cavo composto da due conduttori di rame isolati, spessi circa 1mm e avvolti uno intorno all'altro in una forma elicoidale. L'intreccio è utile per annullare i campi elettromagnetici generati dai due conduttori, i quali si annullano a vicenda. Esistono diverse varietà di doppini, i più importanti per le telecomunicazioni sono gli UTP3 e UTP5 (UTP= Unshielded Twisted Pair, doppini non schermati). Le differenze tra i doppini di categoria 3 e

categoria 5 sta nel numero di spire per centimetro: minor numero di spire per cm negli UTP3 e maggiore negli UTP5. Un maggior numero di spire permette di migliorare la qualità del segnale trasmesso su lunghe distanze, a scapito però della quantità di materiale necessario. Esistono anche categorie superiori, i quali gestiscono segnali con banda più ampia.
I doppini si possono utilizzare per trasmettere segnali analogici e digitali, l'ampiezza di banda dipende dal diametro del cavo e dalla distanza percorsa.

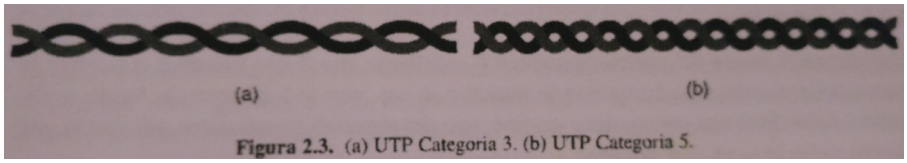


Figura 2.3. (a) UTP Categoria 3. (b) UTP Categoria 5.

3.1.1 Pregi

Costano poco e hanno un discreta velocità trasmissiva.

3.1.2 Difetti

L'ampiezza di banda fornita non è tra le migliori e sono vulnerabili ai campi elettromagnetici.

3.1.3 Ambiti d'uso

Vengono utilizzati prevalentemente nel sistema telefonico.

3.2 Il cavo coassiale, cos'è?

È un cavo composto da un nucleo conduttore coperto da un rivestimento isolante, a sua volta circondato da un conduttore cilindrico, solitamente realizzato con una calza di conduttori sottili, che infine è avvolto da una guaina protettiva di plastica. La costruzione e la schermatura del cavo coassiale forniscono ampiezza di banda ed eccellente immunità al rumore. Ne esistono di due tipi, a 50Ω per le trasmissioni digitali e a 75Ω per quelle analogiche; non c'è una motivazione tecnica per questa distinzione.
la banda disponibile dipende dalla qualità, dalla lunghezza del cavo e dal rapporto segnale-rumore del segnale dati. Per molti ambiti il cavo coassiale è stato sostituito dalla fibra ottica per i tratti più lunghi.

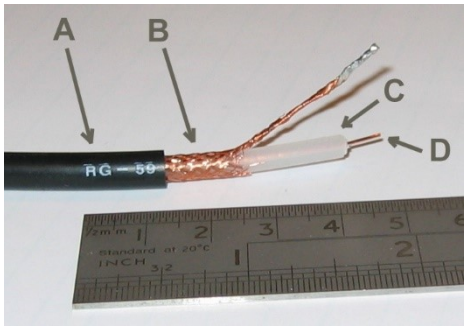


Figura 1: D: nucleo, C: rivestimento isolante, B: conduttore cilindrico, A: guaina protettiva

3.2.1 Pregi

Hanno un'isolamento quasi totale dai campi elettromagnetici grazie ai vari rivestimenti isolanti.

3.2.2 Difetti

Su grandi tratti non sono molto efficienti in termini di banda, vengono infatti sostituiti dalla fibra ottica in quei casi.

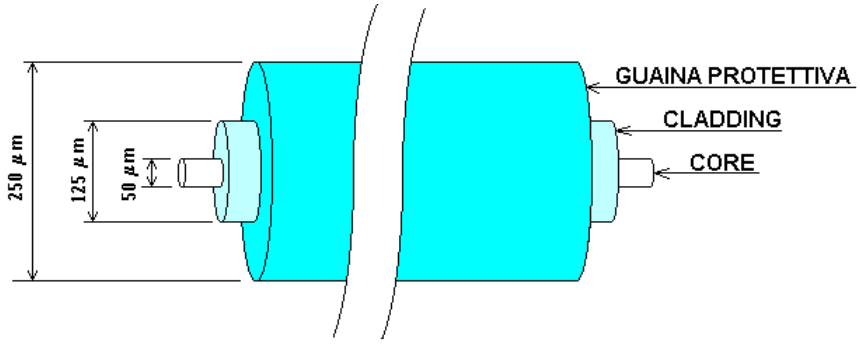
3.2.3 Ambiti d'uso

Il cavo coassiale è molto utilizzato per le reti metropolitane e le televisioni via cavo.

3.3 Fibra ottica, cos'è?

Un sistema di trasmissione ottico è formato da: sorgente luminosa, mezzo di trasmissione e rilevatore. I cavi in fibra ottica sono il mezzo di trasmissione di questo sistema, che si basa su segnali luminosi invece che elettrici. La fibra ottica è formata da un nucleo (core) di vetro, attraverso il quale si propaga la luce, ha uno spessore di 50 micron per le fibre multimodali mentre dagli 8 ai 10 micron per quelle monomodali.

Il nucleo è avvolto da un rivestimento di vetro (cladding) che ha un indice di rifrazione più basso; ciò costringe la luce a rimanere nel nucleo. L'ultimo strato è formato da plastica e serve a proteggere il rivestimento. Generalmente le fibre sono raggruppate in fasci, protetti da un'ulteriore guaina più esterna.



Esistono due tipi di fibra, la monomodale e la multimodale. La monomodale è più costosa e utilizzata soprattutto per le lunghe distanze, in cui la luce può propagarsi solo in linea retta senza rimbalzare. Nella multimodale invece può contenere più raggi che rimbalzano ad angoli diversi, in questo caso si dice che ogni raggio ha una modalità diversa, da qui il nome multimodale.

Le fibre si possono collegare in diversi modi:

- Tramite connettori in apposite prese, perdono il 10-20% di luce ma semplificano la riconfigurazione dei sistemi.
- Attaccate meccanicamente, tramite una manichetta speciale viene pinzato, viene poi allineato in modo da massimizzare il segnale, perdita del 10%
- Fusione delle due parti, genera una piccola attenuazione.

3.3.1 Pregi

Rispetto al cavo in rame classico, la fibra apporta diversi vantaggi:

- Maggiore ampiezza di banda.
- I ripetitori possono essere installati ogni 50km rispetto ai 5km dei cavi in rame, con un evidente risparmio.
- Non è influenzata da sorgenti elettriche, dai campi elettromagnetici e dalle interruzioni della linea elettrica, la fibra è adatta anche agli ambienti più inospitali.
- La fibra è sottile e leggera, occupando meno spazio permette alle aziende telefoniche di svuotare i condotti ormai saturi di cavi.

- Le fibre non perdono la luce ed è difficile intercettare i dati, questo le rendono molto più sicure rispetto ai cavi in rame.

3.3.2 Difetti

- Tecnologia meno nota, richiede conoscenze che non tutti gli ingegneri possiedono.
- Si può danneggiare se la si piega troppo.
- La trasmissione è unidirezionale, di conseguenza, per avere una comunicazione bidirezionale è richiesta una doppia fibra o due bande di frequenza in una sola.
- Le interfacce per la fibra ottica costano di più di quelle elettriche.

3.3.3 Ambiti d'uso

La fibra è molto utilizzata nelle MAN e nei sistemi di trasmissioni a lunga distanza.

4 Caratteristiche e confronto tra i vari tipi di satellite: GEO, MEO e LEO

Un satellite di comunicazioni può essere immaginato come un grande ripetitore di microonde posto nel cielo. Questo dispositivo contiene diversi transponder, ossia ricetrasmettitori satellitari, i quali ascoltano una parte dello spettro, amplificano il segnale e lo ritrasmettono su altre frequenze per evitare interferenze.

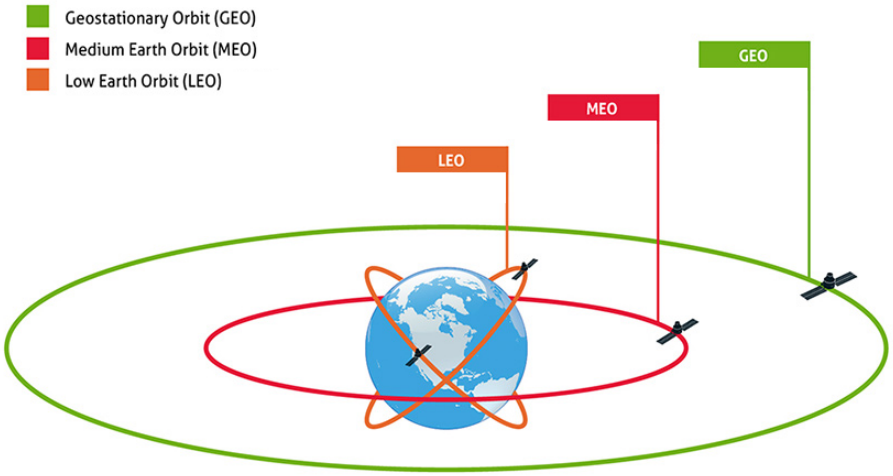
La collocazione dei satelliti è importante, ed è determinata da alcuni fattori:

- Il periodo orbitale: più alto è il satellite, più lungo è il periodo.
- Le fasce di Van Allen distruggerebbero velocemente un satellite che le attraversasse.

Esistono quindi 3 zone in cui i satelliti possono essere collocati:

- LEO: sotto la fascia di Van Allen inferiore
- MEO: tra la fascia Van Allen inferiore e quella superiore

- GEO: molto al di sopra della fascia Van Allen superiore



4.1 Cosa sono?

GEO GEO (Geostationary Earth Orbit), sono collocati nella fascia più alta, disposti con un intervallo di 2° nel piano equatoriale, così da evitare interferenze. Di conseguenza c'è posto per solo 180 satelliti di questo tipo. La loro dimensione è importante e la gestione dell'allocazione degli slot orbitali è motivo di disputa tra paesi, stazioni televisive e militari. Per mantenere la loro posizione, sono dotatti di razzi motori che permettono manovre correttive; di solito il carburante per farlo basta per 10 anni. Oltre alla posizione anche le frequenze sono oggetto di dispute, perchè possono interferire con quelle degli utilizzatori delle microonde. Vengono quindi assegnate solo certe frequenze per i satelliti, ognuna con i loro problemi (meteo, affollamento e simili).

MEO Tra le due fasce di Van Allen troviamo i satelliti MEO (Medium Earth Orbit); questi satelliti si spostano lentamente lungo la longitudine, impiegando 6 ore per compiere un giro attorno al pianeta. Attualmente non sono utilizzati per le telecomunicazioni, ma più per la navigazione. Rispetto al GEO, il MEO permette un ritardo di propagazione inferiore, tuttavia si perde la comodità del punto fisso garantito dal GEO, perché il MEO si sposta più velocemente. In questa fascia sono presenti i satelliti del servizio GPS.

LEO I LEO (Low Earth Orbit) sono i più bassi tra i tre tipi; si spostano molto velocemente, di conseguenza un sistema completo richiede l'utilizzo di molti satelliti di questo tipo. L'idea di base e' quella che quando un satellite esce dal suo campo operativo, un'altro satellite lo sostituisce.
Un esempio di LEO e' Iriduim, un gruppo di 66 satelliti che girano attorno al globo, che fornisce servizi di voce, fax, data etc. ovunque nel mondo, mare e in volo compresi. Il suo tipo di funzionamento e' l'utilizzo per ogni satellite di celle chiamate spot beams. Ogni satellite ha diverse celle in modo tale che riescano a coprire quanta piu' superficie possibile, dato che il loro cono operativo e' relativamente ristretto poiche' orbitano ad una distanza relativamente bassa.
Un'altro esempio di LEO e' Globalstar: a differenza di Iridium, oltre al minor numero di satelliti, e' che la comunicazione tra due endpoint non viene gestita nello spazio, ma il segnale viene riportato sulla terra e ritrasmesso dalla stazione (piu' vicina al destinatario) al satellite. Questo permette di "scaricare" la complessita sulla terra, dove e' piu' facile da gestire. Inoltre l'utilizzo di grandi stazioni sulla terra permettono l'utilizzo di telefoni che emettono un segnale piu' debole.
Se si vuole paragonare i satelliti alle comunicazioni via fibra, ci sono da considerare diversi aspetti: la fibra e' in grado di trasportare piu' dati rispetto ai satelliti, ma questa velocita' non e' garantita a tutti gli utenti; i satelliti a differenza della fibra offrono velocita' uguale in qualsiasi posto, e' necessario solamente una antenna dedicata per le comunicazioni. Un'altra nota a favore dei satelliti sono le comunicazioni broadcast, per esempio per i mercati finanziari: un solo satellite che comunica a broadcast puo' essere ricevuto simultaneamente da migliaia di utenti.
Tuttavia il sistema di comunicazione principale del futuro non viene stabilito dai pregi della tecnologia ma bensi' dai costi operativi e dall'economia che esso porta. Attualmente si e' orientati verso la fibra.

4.2 Pregi

Sono di facile utilizzo, basta alzare un'antenna sul tetto di casa per ottenere una maggior ampiezza di banda. Sono importanti per la connessione mobile. Trovano applicazione per portare connessione in terreni inospitali o scarsamente dotati di infrastrutture.

4.3 Difetti

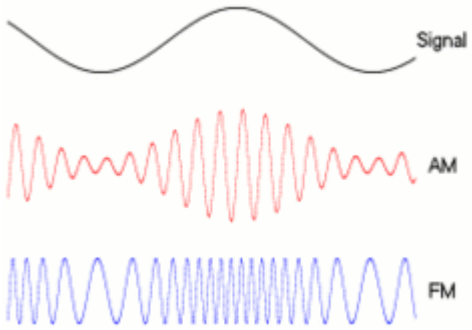
Le fibre ottiche per molti versi sono più comode e versatili rispetto ai satelliti, in quanto la loro velocità è di gran lunga superiore. Un sistema di satelliti è più costoso (?) rispetto alla fibra ottica.

4.4 Ambiti d'uso

Trovano applicazione in luoghi inospitali e privi di infrastrutture, trovano applicazione nelle trasmissioni broadcast e nelle comunicazioni mobile, dove quindi la fibra fatica ad arrivare.

5 Cos'è la modulazione di frequenza?

Durante l'invio di informazioni, il segnale può subire attenuazione, distorsione o venir disturbata dal rumore; questo porta ad evitare l'uso di un largo intervallo di frequenze. Sfortunatamente le onde quadre utilizzate nei segnali digitali utilizzano un ampio spettro di frequenza, e perciò sono soggette ad una forte attenuazione e alla distorsione.
Questi effetti rendono adatta la trasmissione in banda base (DC) solo a velocità basse e distanze brevi.
Per aggirare questi problemi viene usata la trasmissione AC, un tono continuo (portante d'onda sinusoidale) nell'intervallo compreso tra 1000 e 2000Hz, il quale permette la modulazione della sua ampiezza (AM), frequenza (FM) o fase.



5.1 Cos'è?

La modulazione in frequenza non è altro che una tecnica di trasmissione utilizzata per trasmettere informazioni usando la variazione di frequenza

dell'onda portante. Rispetto alla modulazione in ampiezza ha il vantaggio di essere molto meno sensibile ai disturbi e permette una trasmissione di miglior qualità. Ha inoltre un'efficienza energetica molto maggiore dato che la potenza del segnale modulato FM è esclusivamente quello della portante.

5.2 Pregi

Permette di ridurre i problemi di attenuazione e distorsione della linea.

5.3 Difetti

Necessita di circuiti complessi sia per la generazione del segnale sia per la sua ricezione. Questi problemi sono stati superati dalle attuali tecnologie.

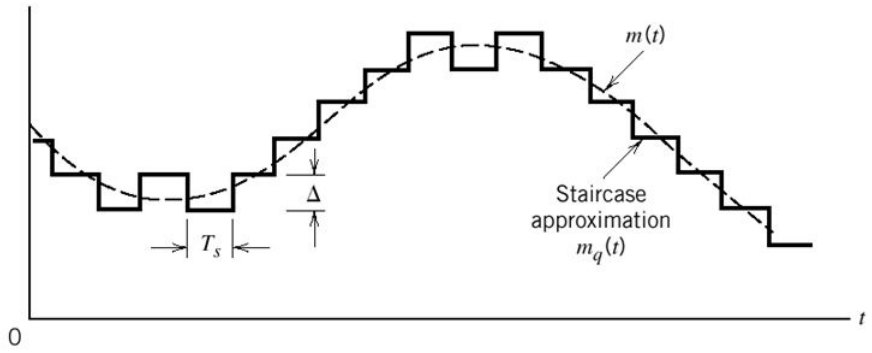
5.4 Ambiti d'uso

Viene utilizzata soprattutto in ambito di broadcasting commerciale, è più usata della modulazione in ampiezza.

6 Cos'è la modulazione delta (delta modulation)?

6.1 Cos'è?

Nel campo della digitalizzazione dei segnali analogici in ambito telefonico, sono presenti varie tecniche. Una di queste e' la delta modulation: un metodo di digitalizzazione e compressione di un segnale analogico.
E' una variazione del **differential pulse code modulation**: il segnale analogico viene suddiviso in tramite unita' di tempo, e successivamente viene digitalizzato tramite la differenza di valore tra il valore precedente e quello successivo, questo tramite una scala di +-16 che viene espressa tramite 5 bit.
La delta modulation si basa su questo principio, ma viene ridotto alla variazione rappresentata da 1 bit: se il segnale successivo e' piu' alto di quello precedente allora viene rappresentato da 1, altrimenti 0. Si basa sul fatto che il segnale cambia in modo relativamente lento rispetto alla frequenza di campionamento, ciò rende gran parte dell'informazione ridondante. Se il cambiamento del segnale analogico e' troppo ampio, si ha una perdita di dati, ma in ambito telefonico (piu' precisamente nelle chiamate), questo non e' un problema.



6.2 Pregi

Grazie a questa tecnica è possibile comprimere e digitalizzare il segnale analogico (e viceversa), con il risultato di gravare meno sulle linee e permettere comunicazioni più veloci (a discapito della precisione).

6.3 Difetti

Si possono creare problemi se il segnale cambia troppo velocemente perche' si perdono i dati.

6.4 Ambiti d'uso

Viene utilizzata nelle comunicazioni satellitari o nelle comunicazioni voce.

7 Descrivere in dettaglio il GSM (Global System for Mobile connection)

Esistono tre generazioni distinte di telefoni cellulari ognuna caratterizzata da una diversa tecnologia:

- Voce analogica
- Voce digitale
- Voce e dati digitali (Internet, posta elettronica ecc.)

7.1 Cos'è?

Il GSM tratta dei telefoni della seconda generazione: voce digitale. La sua struttura è formata da 4 tipi di celle: macro, micro, pico e umbrella. Le prime sono le più grandi, sono sopraelevate rispetto gli edifici e hanno un raggio massimo di 35 km. Le micro sono più piccole, coprono un'altezza pari agli edifici. Le pico sono molto piccole, usate in aree molto dense, tipicamente indoor. Umbrella è una piccola estensione, usata per coprire i buchi tra le varie celle sopracitate.

Sfrutta il multiplexing a divisione di frequenza, con ogni apparecchio che trasmette su una frequenza e riceve su una frequenza più alta. Una singola coppia di frequenza è divisa in slot temporali e condivisa tra più utenti attraverso un meccanismo di multiplexing a divisione di tempo.

Questi fattori lo rendono molto simile al D-AMPS, tecnologia molto utilizzata in America, che condivide la stessa generazione di telefoni. Tuttavia, GSM sono molto più ampi di quelli AMPS e contengo un numero poco più alto di utenti, perciò la velocità dati per utente di GSM è superiore a quella di D-AMPS.

Un sistema GSM ha 124 coppie di canali simplex e supporta otto connessioni separate mediante multiplexing a divisione di tempo. A ogni stazione attiva è assegnato uno slot temporale su una coppia di canali.

Trasmissione e ricezione non avvengono nello stesso intervallo temporale perché GSM non è in grado di trasmettere e ricevere contemporaneamente.

Il GSM introduce anche l'utilizzo della SIM card, in cui vengono memorizzati i dati descrittivi dell'abbonato e ha la funzione principale di fornire autenticazione ed autorizzazione all'utilizzo della rete.

7.2 Pregi

Interoperabilità tra reti diverse che fanno capo ad un unico standard internazionale. Introduzione della comunicazione di tipo digitale.

7.3 Difetti

–

7.4 Ambiti d'uso

è utilizzato appunto nella seconda generazione di telefoni cellulari, è il sistema più diffuso al mondo.

8 Si descriva la tecnica CDMA (Code Division Multiple Access), possibilmente con esempio

Esistono tre generazioni distinte di telefoni cellulari ognuna caratterizzata da una diversa tecnologia:

- Voce analogica
- Voce digitale
- Voce e dati digitali (Internet, posta elettronica ecc.)

8.1 Cos'è?

Il CDMA tratta dei telefoni della seconda generazione: voce digitale. D-AMPS e GSM sono sistemi che utilizzano FDM e TDM per dividere lo spettro in canali e i canali in slot temporali. CDMA invece di dividere l'intero intervallo di frequenze assegnate in poche centinaia di canali a banda stretta, permette ad ogni stazione di trasmettere per tutto il tempo attraverso l'intero spettro di frequenza. Trasmissioni multiple simultanee sono separate usando la teoria della codifica. La capacità del CDMA è di riuscire a estrarre il segnale desiderato scartando tutto il resto.

In CDMA, ogni tempo bit è suddiviso in m intervalli chiamati chip. In genere ci sono 64 o 128 chip per ogni bit. Ad ogni stazione è assegnato un codice di m-bit univoco chiamato sequenza di chip. Per trasmettere un bit 1, una stazione invia la sua sequenza di chip; per trasmettere un bit 0 la stazione invia il complemento a uno della propria sequenza di chip. Ogni stazione adotta una sequenza di chip univoca.

CDMA rispetto a GSM e D-AMPS opera in una banda di 1,25MHz, permettendo agli utenti di avere un'ampiezza di banda considerevole. Una sequenza di chip e il suo contrario sono a due a due ortogonali (il prodotto interno normalizzato è 0). Per generare queste sequenze di frammento ortogonali si utilizza un metodo noto come codici Walsh. Se la sequenza di chip ricevuta è S e il ricevitore sta cercando di ascoltare una stazione la cui sequenza di chip è C, il prodotto interno normalizzato da calcolare è S*C; facendo i calcoli si possono eliminare i termini superflui grazie all'ortogonalità dei valori, estraendo correttamente il valore trasmesso da C. Ad esempio, A e C trasmettono 1, B trasmette 0. Il ricevitore vede la somma S=A+!B+C e calcola:

$$S * C = (A+!B + C) * C = A * C + B * C + C * C = 0 + 0 + 1 = 1$$

I primi due termini spariscono perché le sequenze di chip sono state scelte per essere ortogonali.

8.2 Pregi

Grazie alla maggiore efficienza spettrale, il CDMA garantisce una maggior velocità di trasmissione dati. Provvede inoltre a garantire una maggior sicurezza rispetto ai predecessori, in quanto la demultiplazione è fattibile solo grazie alla conoscenza delle parole di codice.

8.3 Difetti

–

8.4 Ambiti d'uso

Viene utilizzata nei telefoni di seconda generazione, come alternativa a D-AMPS e GSM.

9 Il GPRS: Cos'è? Pregi e difetti

Esistono tre generazioni distinte di telefoni cellulari ognuna caratterizzata da una diversa tecnologia:

- Voce analogica
- Voce digitale
- Voce e dati digitali (Internet, posta elettronica ecc.)

9.1 Cos'è?

GPRS è un'evoluzione tra la seconda e la terza generazione di telefoni cellulari. È una rete a pacchetti costruita sopra D-AMPS e GSM. Questa permette alle stazioni mobili di inviare e ricevere pacchetti IP in una cella basata su un sistema vocale.

Quando GPRS è operativo vengono riservate alcuni slot temporali posti su alcune frequenze, per il traffico di pacchetti. Gli slot disponibili sono divisi in canali logici, la stazione base determina l'associazione tra i canali logici e time slot. Un canale logico è usato per scaricare i pacchetti dalla stazione base nella stazione mobile e ogni pacchetto indica il destinatario.

Per inviare un pacchetto IP, una stazione mobile chiede uno o più slot inviando una richiesta alla stazione base. Se la richiesta arriva senza problemi, la stazione comunica all'apparecchio mobile la frequenza e gli slot che dovrà utilizzare per trasmettere il pacchetto. Una volta arrivato alla stazione base, il pacchetto è trasferito su Internet attraverso una connessione via cavo.

9.2 Pregi

Lo spreco di banda è inesistente, e viene utilizzata una tariffa a traffico e non a tempo come i suoi predecessori. GPRS aggiunge il supporto a PPP e IP.

9.3 Difetti

–

9.4 Ambiti d'uso

È una tecnologia a cavallo tra la seconda generazione e la terza generazione di telefoni cellulari. Viene utlizzata per scambi di pacchetti dati tramite celle basate su sistemi vocali.

10 Handoff cos'è e vari tipi

Nell'ambito della telefonia mobile, con Handoff si intende la procedura per la quale un terminale cambia il canale (frequenza e slot di tempo) che sta utilizzando durante una comunicazione.

Un'area geografica è divisa in celle, al centro di ogni cella si trova una stazione base che comunica con tutti i telefoni che si trovano nella cella.

Quando un telefono mobile abbandona fisicamente una cella perché si accorge che il segnale si sta affievolendo, la stazione base di quella cella verifica il livello di potenza del segnale ricevuto dalle stazioni nelle celle adiacenti. A questo punto la stazione trasferisce la gestione dell'apparecchio alla cella che riceve il segnale più forte, ossia alla cella in cui ora si trova il telefono. Il telefono viene informato della nuova centrale di controllo e viene forzato al cambiamento, questo è l'handoff.

Esistono due tipi di handoff: il soft e l'hard handoff. Nel soft handoff il telefono è acquisito dalla nuova stazione di base prima di interrompere il segnale precedente, il vantaggio sta nel fatto che non vi è nessuna perdita

di continuità, tuttavia il telefono deve riuscire a gestire più frequenze nello stesso momento (né i telefoni di prima generazione ne seconda sono in grado).

Nel caso di hard handoff la vecchia stazione di base rilascia il telefono prima che la nuova lo acquisisca. Se la nuova non è in grado di prendere il controllo del dispositivo (ad esempio se non è disponibile nessuna frequenza) il segnale viene interrotto bruscamente, con il risultato di terminazione brusca di una possibile chiamata.

10.1 Pregi

Il soft handoff è più performante in quanto non si perde continuità di chiamata. L'hard handoff non necessita che il dispositivo sia in grado di gestire più frequenze contemporaneamente

10.2 Difetti

Il soft handoff richiede che il dispositivo sia in grado di gestire più frequenze contemporaneamente. L'hard handoff può causare la caduta di linea con la conseguente perdita di chiamata nel caso in cui una cella non sia in grado di prendere il dispositivo in un lasso di tempo breve.

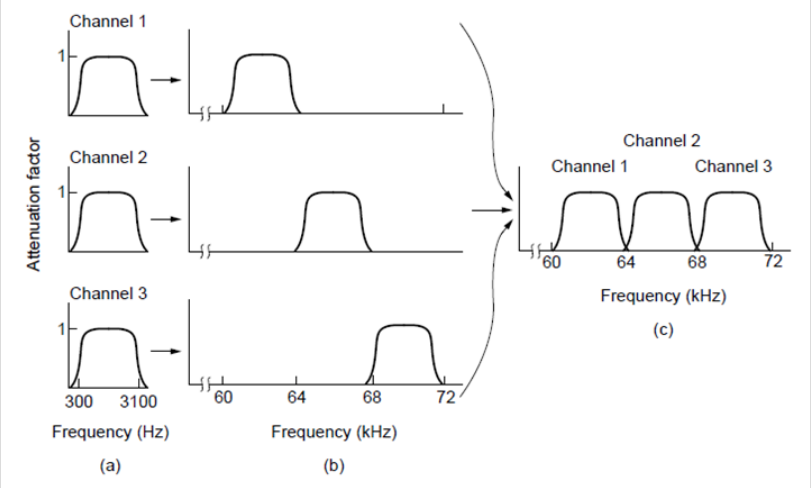
10.3 Ambiti d'uso

Questa tecnica viene utilizzata dai dispositivi mobili (cellulari appunto, che sfruttano le celle). Il soft handoff può essere utilizzato dai telefoni di generazione superiore alla seconda, mentre l'hard handoff da tutti.

11 FDM, TDM, CDM: algoritmi per la selezione della banda

11.1 FDM (Frequency Division Multiplexing) cos'è?

è una tecnica di condivisione delle risorse trasmissive di un canale di comunicazione. L'intero canale trasmissivo disponibile è diviso in sotto canali, ognuno costituito da una banda di frequenza e separato da un altro grazie ad un piccolo intervallo di guardia. Questo permette la condivisione dello stesso canale da parte di dispositivi che utilizzano diverse regioni di frequenze e utenti che possono così comunicare contemporaneamente senza interferirsi tra loro.



11.1.1 Pregi

Permette di condividere un intero canale da più utenti, suddividendo le conversazioni in base alle diverse frequenze.

11.1.2 Difetti

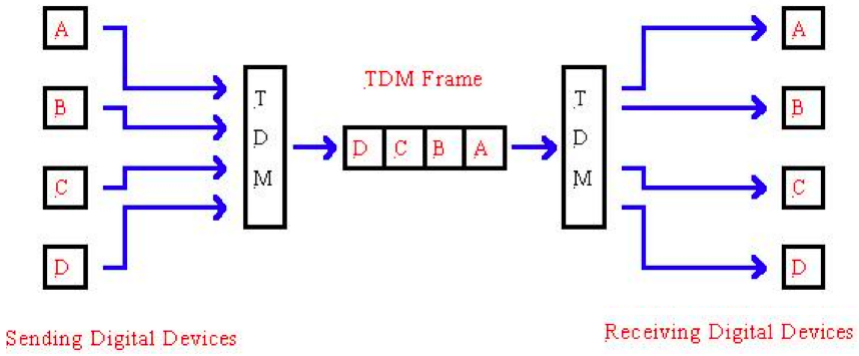
Gli intervalli di guardia potrebbero essere uno spreco di banda utilizzato unicamente per la sicurezza.

11.1.3 Ambiti d'uso

Questa tecnica è comunemente utilizzata nelle trasmissioni televisive, radiofoniche, telefoniche o di dati. Anche le reti cellulari utilizzano in parte questo tipo di multiplazione per suddividere e assegnare l'intera capacità trasmissiva o banda radio disponibile alle varie celle di copertura servite da stazioni radio base.

11.2 TDM (Time Division Multiplexing) cos'è?

è una tecnica di condivisione di un canale di comunicazione secondo la quale ogni dispositivo ricetrasmittente ottiene a turno l'uso esclusivo dello stesso per un breve lasso di tempo. Il tempo di utilizzo del canale è diviso in frame tutti della stessa durata, questi frame sono ulteriormente divisi in slot.



11.2.1 Pregi

Più efficiente del FDM in quanto elimina la necessità degli intervalli di guardia.

11.2.2 Difetti

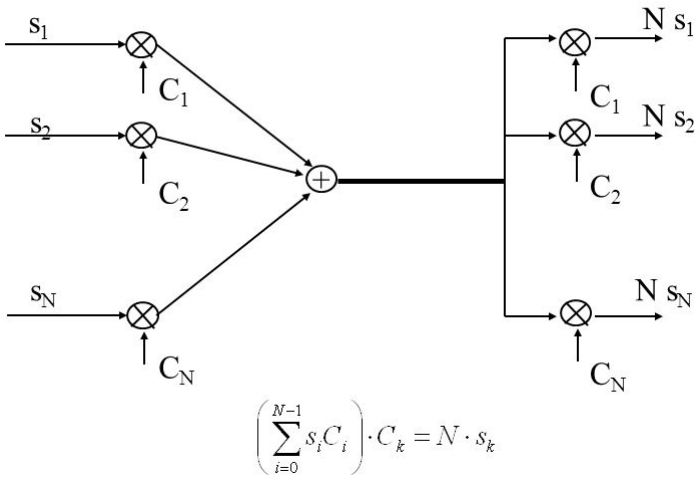
Necessita di un circuito di sincronizzazione temporale in ricezione per l'estrazione del time-slot di competenza.

11.2.3 Ambiti d'uso

Utilizzata per le trasmissioni di fonia nella rete telefonica. Questo tipo di multiplazione è utilizzata molto nei sistemi a commutazione di circuito.

11.3 CDM (Code Division Multiplexing) cos'è?

Conosciuta anche come CDMA è il protocollo di accesso multiplo a canale condiviso. Offre una maggiore velocità di trasmissione di dati rispetto a TDM e FDM. Questa tecnica è realizzata moltiplicando in trasmissione l'informazione generata per un'opportuna parola detta chip; la sequenza in uscita dal moltiplicatore sarà successivamente modulata e infine trasmessa sul canale. In ricezione il segnale ricevuto sarà costituito dalla somma vettoriale di tutti i segnali trasmessi dalle singole stazioni. Grazie all'ortogonalità dei chip delle sorgenti, l'estrazione dell'informazione associata a ciascuna sorgente potrà essere fatta moltiplicando il segnale ricevuto con il particolare codice associato alla determinata sorgente che si vuole estrarre.



$$\left(\sum_{i=0}^{N-1} s_i C_i\right) \cdot C_k = N \cdot s_k$$

11.3.1 Pregi

Rispetto a TDM e FDM, CDM garantisce una miglior efficienza dovuta al fatto che ciascun canale utilizza l'intera banda di frequenza assegnata e per tutto il tempo che desidera. La non-interferenza è assicurata grazie all'uso di codici ortogonali. Provvede inoltre a fornire una maggior sicurezza dovuta al fatto che i segnali si mescolano nel canale e per estrarne uno è necessario conoscere la parola corretta.

11.3.2 Difetti

Necessita di circuiti più complessi rispetto alle altre tecniche di condivisione di un canale.

11.3.3 Ambiti d'uso

è il protocollo più diffuso nelle reti wireless e nei dispositivi mobili di seconda generazione e successive.

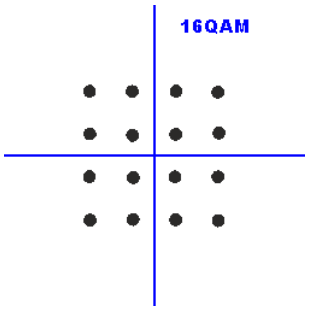
12 QAM e QAM16

QAM è un sistema di modulazione numerica di ampiezza in quadratura, sia digitale che analogica. Le portanti sono sinusoidi. Il termine quadratura indica che differiscono di 90°.

Il segnale in ingresso viene suddiviso e modulato per l'ampiezza. Nel caso di segnali digitali, si sommano i segnali modulati e si ottiene una forma d'onda che risulta una combinazione della modulazione di fase e quella d'ampiezza. Ciascun tipo di modulazione QAM è caratterizzato da un diagramma (costellazione) su cui sono rappresentati tutti gli stati della portante. La QAM, rispetto alla PSK (Phase shift keying), migliora l'immunità al rumore.

12.1 QAM16, cos'è?

QAM16 non è altro che un tipo di costellazione del QAM, utilizzando quattro ampiezze e quattro fasi, per un totale di 16 diverse combinazioni. Ogni modem ad alta velocità ha un suo schema di costellazione e può comunicare solo con altri modem che adottano lo stesso schema (anche se generalmente un modem riesce a emulare anche quelli più lenti).



12.2 Pregi

Permettono di inviare più bit per baud (simbolo), rispetto alle normali modulazioni.

12.3 Difetti

Ogni modem ha un suo schema a costellazione e può comunicare solamente con altri modem che adottano lo stesso schema. Questo problema è però in parte ovviato in quanto la maggior parte dei modem è in grado di emulare costellazioni più lente.

12.4 Ambiti d'uso

Facente parte dello strato fisico, questo tipo di modulazione è utilizzato come standard per modem telefonici.

13 byte stuffing?

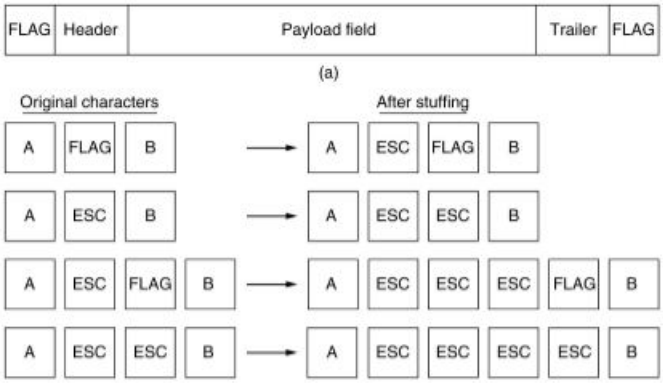
Lo strato data link deve servire lo stato network. Per farlo necessita di usare a sua volta le informazioni fornite dallo strato fisico, il cui scopo è quello di prendere un flusso di bit e cercare di portarli a destinazione. Non esiste nessuna garanzia per la correttezza dei dati, i bit potrebbero essere maggiori, minori, modificati ecc. Uno dei compiti dello strato data link è quello di rilevare ed eventualmente correggere questi errori.

13.1 Cos'è?

Il modo per rinvenire questi errori è quello di suddividere il flusso dei bit in frame, per poi controllarli. Uno dei metodi di framing è quello di utilizzare un flag byte con il byte stuffing.

Il byte stuffing prevede l'uso di un flag per delimitare l'inizio e la fine dei frame. In questo modo quando il destinatario perde la sincronizzazione può cercare il flag byte per trovare la fine del frame corrente. Due flag byte consecutivi indicano la fine di un frame e l'inizio del successivo.

Un problema occorre quando vengono spediti dati che per potrebbero replicare il byte FLAG. A questo problema e' stata utilizzata l'implementazione del byte ESC, che precede una occorrenza accidentale del byte di FLAG o ESC (in pratica il flag ESC dice di ignorare il successivo byte e prenderlo come byte dati). Successivamente lo strato data link della destinazione provvederà a rimuovere i byte di escape prima di passare i dati allo strato network.



13.2 Pregi

Permette una suddivisione di bit in frame tramite l'uso di flag byte, inoltre risolve il problema della sincronia dei frame, grazie ai flag byte che li delimitano.

13.3 Difetti

Legato all'uso di caratteri da 8 bit (1Byte): non tutte le codifiche dei caratteri li usano.
Per effettuare lo stuffing la quantità di caratteri superflui è notevole.
Per risolvere questi problemi è stato creato il bit stuffing.

13.4 Ambiti d'uso

Metodo di framing dello strato Data-Link, viene utilizzato in prevalenza dal protocollo PPP per suddividere il flusso di bit in frame.

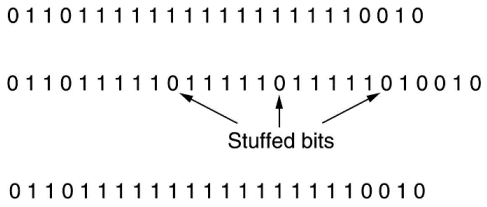
14 bit stuffing?

Lo strato data link deve servire lo stato network, per farlo necessita di usare a sua volta le informazioni fornite dallo strato fisico il cui scopo è quello di prendere un flusso di bit e cercare di portarli a destinazione. Non esiste nessuna garanzia per la correttezza dei dati, i bit potrebbero essere maggiori, minori, modificati ecc. Uno dei compiti dello strato data link è quello di rilevare ed eventualmente correggere questi errori.

14.1 Cos'è?

Per risolvere i problemi e le limitazioni provocate dal byte stuffing, viene sviluppata una nuova tecnica di framing, che prende il nome di bit stuffing, questa nuova tecnica permette di creare data frame che contengono sia un numero arbitrario di frame, sia codifiche di carattere con un numero arbitrario di bit. Ogni frame comincia e finisce con un gruppo speciale di bit 0111110 (flag byte). Ogni volta che lo strato data link della sorgente incontra cinque 1 consecutivi nei dati inserisce automaticamente un bit con valore 0 nel flusso in uscita. La destinazione quindi quando riceve cinque bit consecutivi con valore 1 seguiti da uno 0, automaticamente elimina lo 0. Con il bit stuffing il confine fra i due frame viene riconosciuto in modo

inequivocabile tramite l'uso della sequenza flag. Inoltre se il ricevente perde traccia dei frame, quello che deve fare e' cercare il byte flag, dato che possono trovarsi sono all'interno del frame e mai all'interno dei dati.



14.2 Pregi

Risolve i problemi legati dall'uso di 8 bit per il flag byte del suo predecessore (byte stuffing): la poca compatibilità con molte codifiche di caratteri e lo spreco di banda.
Permette la suddivisione di bit in frame, facilmente individuabili grazie ai bit flag.

14.3 Difetti

–

14.4 Ambiti d'uso

Metodo di framing dello strato data link, utilizzato in protocolli che prevedono frame di dimensione fissa: il bit stuffing è utilizzato per raggiungere tale dimensione.
Utilizzato anche in alcuni protocolli che prevedono un flusso continuo di dati, gli "0" sono inseriti per assicurare la continuità del flusso.

15 Numero di bit necessari per riconoscimento (correzione) degli errori di trasmissione?

I dati trasmessi nei collegamenti locali sono spesso soggetti ad errori, per la loro gestione sono state sviluppate due strategie di base: la prima si basa su una codifica a correzione d'errore mentre la seconda è una codifica a rilevazione d'errore. La prima introduce una ridondanza (in ciascun blocco trasmesso) tale da riuscire a ricostruire il messaggio in caso di anomalie. La seconda invece introduce ridondanza sufficiente solo a capire che c'è stato

un errore, ma non di correggerlo. Un frame generalmente consiste di m bit di dati e r bit ridondanti per i controlli, la somma n=m+r è la lunghezza totale del frame chiamata codeword di n bit. Date due codeword, per capire quanti bit corrispondenti sono differenti bisogna effettuare l'OR esclusivo e contare il numero di bit a 1 nel risultato, questo numero è chiamato distanza di Hamming.

15.1 Bit necessari per rilevare un errore

Detto questo, per trovare d errori è necessaria una codifica con distanza d+1, quando la destinazione vede una codeword non valida riesce a determinare che c'è stato un errore, ma non a correggerlo.

15.2 Bit necessari per rilevare e correggere un errore

Per correggere d errori è necessaria una codifica con distanza 2d+1, in tal modo codeword legali sono distanziate in modo tale che anche con d cambiamenti la codeword originale è sempre più vicina di ogni altra, può quindi essere determinata univocamente. Un semplice esempio di codifica a rilevazione d'errore si può realizzare aggiungendo un bit di parità ai dati, calcolato in modo che il numero di 1 nella codeword sia sempre pari (o dispari). Entrambe le codifiche trovano uso in diversi ambienti.

15.3 Pregi

Rilevare semplicemente l'errore permette di diminuire la quantità di bit dati. Tuttavia rilevazione e correzione permette un minor numero di invii, e permette la ricostruzione autonoma del frames.

15.4 Difetti

La semplice rilevazione non permette la ricostruzione del dato, la rilevazione e correzione però necessita del doppio dei bit per poter essere attuata.

15.5 Ambiti d'uso

Strato data-link.
Nelle reti wireless conviene utilizzare una codifica a correzione dell'errore, cosi da ricostruire il messaggio in casi d'errore (se si dovesse solo rilevare e richiedere un'altro invio, il rischio della presenza di nuovi errori sarebbe alta, quindi conviene usare questa).

Nelle LAN invece, in cui gli errori sono più sporadici, è più conveniente utilizzare spesso quella a rilevazione, con conseguente richiesta di re-invio.

16 Si descriva cos'è il CRC (Cycle Redundancy check). Si calcoli inoltre il CRC di 10011101 usando il polinomio generatore di $x^4 + x + 1$

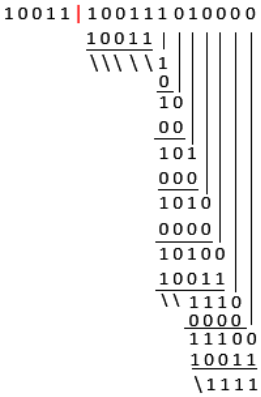
16.1 Cos'è?

Il CRC o Cycle Redundancy Check, è un metodo per il calcolo di somme di controllo, serve a individuare errori casuali nella trasmissione di dati (causati da interferenze, rumori di linea o distorsione). Non è utile invece nel caso di tentativi intenzionali di manomissione. Il CRC tratta le sequenze di bit come dei polinomi a coefficienti che possono assumere solo valori 0 o 1. Un frame di k bit è visto come una lista di coefficienti per un polinomio con k termini che variano da $x^k - 1$ a x^0. Questo polinomio è detto di grado k-1 e il coefficiente più alto è quello più a sinistra del polinomio (es 110001 ha 6 bit, quindi rappresenta un polinomio di 5° grado con coefficienti 1,1,0,0,0 e 1: $x^5 + x^4 + x^0$.

Quando si utilizza una codifica di questo tipo, sorgente e destinazione devono mettersi d'accordo in anticipo su un polinomio generatore G(x). Che deve avere i bit di ordine più alto e più basso a 1. Per poter calcolare il checksum di un frame di m bit, quest'ultimo dev'essere più lungo del polinomio generatore. L'idea è quella di aggiungere un checksum alla fine del frame in modo che il polinomio rappresentato dal frame con checksum sia divisibile per G(x). Quando la destinazione riceve il frame con il checksum e prova a dividerlo per G(x). Se c'è un resto vuol dire che c'è stato un errore di trasmissione.

16.2 Esempio

Ora proviamo con l'esempio di un frame 10011101 con polinomio generatore x^4+x+1: Frame: 1 0 0 1 1 1 0 1 Generatore G(x): 1 0 0 1 1 Il grado di G(x) è 4, aggiungo 4 0 al frame (ottenendo un nuovo frame M(x)) in modo da poter dividere le due parti ottenendo il resto da sottrarre al M(x). M(x)= 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 0 Effettuo la divisione:



1 1 1 1 è il resto di conseguenza, il frame trasmesso è 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1.

16.3 Pregi

Richiede conoscenze matematiche modeste, è semplice da realizzare ed ha un ottimo grado di rilevazione degli errori su linee con elevato rumore di fondo.

16.4 Difetti

Purtroppo è utile solo per errori causati da interferenze, rumore o distorsione. L'algoritmo diventa inutile di fronte a tentativi intenzionali di manomissione dei dati.

16.5 Ambiti d'uso

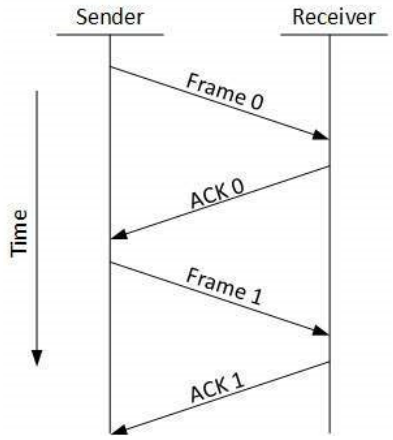
Strato data-link.
Utilizzato per individuare errori casuali nella trasmissione di dati. Per i tentativi intenzionali di manutenzione è meglio utilizzare algoritmi di hash quali MD5 e SHA1.

17 Descrivere il protocollo stop-and-wait, pregi e difetti

Durante la ricezione dei dati, il frame viene controllato, e a seconda se è integro o meno, si segue uno dei tre diversi protocolli più comuni: Stop-and-wait è il più semplice tra questi.

17.1 Cos'è?

Un mittente manda solo un frame alla volta, il destinatario, dopo aver ricevuto il frame corretto, invia un ACK (Acknowledge) al mittente, che a sua volta provvede a spedire il secondo frame e cosi via. Se l'ACK non raggiunge il mittente, questo provvederà a inviare nuovamente lo stesso frame dopo aver atteso un certo tempo (timeout). Altri problemi sorgono quando l'ACK arriva danneggiato, in quel caso il mittente invia nuovamente il frame, con il risultato che il destinatario si trova due frame uguali, senza sapere se è un duplicato o se effettivamente il pacchetto successivo ha gli stessi dati, per questo è stato implementato un numero di sequenza per i frame, e il destinatario invia l'ACK inerente a quel frame. Anche in questo caso sorgono problemi di dissincronia, in cui, sbagliando i numeri dei frame si rischia di perderne molteplici. Concludendo lo stop-and-wait è parecchio inefficiente rispetto agli altri protocolli di comunicazione di richiesta di ripetizione automatica, specialmente a causa del tempo che intercorre tra l'invio dei vari pacchetti e contando anche il fatto che essendoci gli ACK il tempo di comunicazione aumenta considerevolmente, limitando la capacità del canale di comunicazione.



17.2 Pregi

Permette di gestire i pacchetti ricevuti, corretti o danneggiati, per poi passarli allo strato network.

17.3 Difetti

Perdita di dati, lentezza generale, limitato uso del canale di comunicazione. Senza l'utilizzo di piggybacking, o tecniche avanzate, questo protocollo risulta essere estremamente lento e che, a causa della mancata numerazione dei pacchetti, rischia di farne perdere numerosi.

17.4 Ambiti d'uso

Strato data-link.
Effettivamente questo protocollo non viene utilizzato a causa della parecchia inefficienza rispetto ad altri protocolli.

18 Cos'è il piggybacking?

Molti protocolli di comunicazione necessitano di inviare l'ACK come segnale di avvenuta ricezione del frame. Fatto per ogni singolo frame, questo invio rischia di intasare inutilmente il canale di comunicazione, allungando i tempi e incorrendo in molteplici errori.

18.1 Cos'è?

La tecnica del piggybacking permette di aggiungere l'ACK al frame di dati in uscita, utilizzando il campo ack nell'intestazione di questo. In questo modo l'acknowledgement si procura un passaggio gratis insieme al successivo frame dati trasmesso. Questo avviene quando arriva un frame di dati, la destinazione non invia subito un frame di controllo separato, ma aspetta che lo strato network gli passi il successivo pacchetto. Un problema può sorgere in caso di attesa molto lunga del pacchetto, poiché si rischia di far scattare il timer del mittente che re-invia il frame nell'attesa dell'ACK, in questo caso si decide un timeout in modo tale da fare piggybacking nel caso in cui il pacchetto da inviare è pronto in tempi celeri, altrimenti si invia l'ACK in modo indipendente.

18.2 Pregi

Miglior uso della banda disponibile. E visto che l'ACK viene inglobato nel frame e non inviato singolarmente, la banda viene meno congestionata.

18.3 Difetti

In caso di attesa eccessiva del pacchetto dallo strato network, l'ACK potrebbe non venire mai inviato, in quel caso non si attende e si invia l'ACK singolarmente.

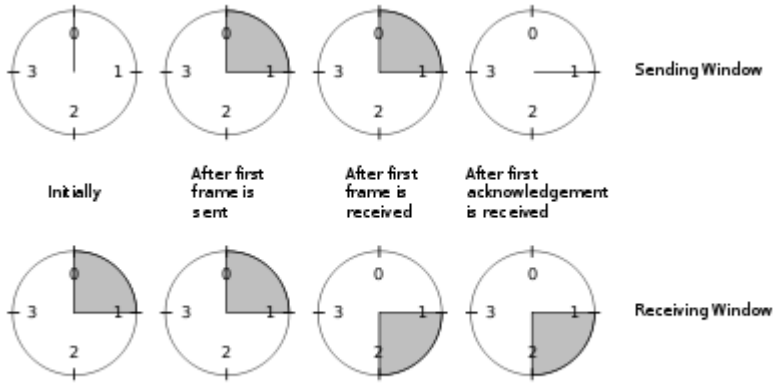
18.4 Ambiti d'uso

Utilizzato in molti protocolli di comunicazione che necessitano della conferma della ricezione di un determinato messaggio attraverso un ACK. Nelle reti LAN è molto adatta.

19 Si descriva la tecnica dello Sliding window

19.1 Cos'è?

Sliding window è una classe di protocolli di controllo di flusso di dati. Una sliding window è formata da una finestra di invio e da una finestra di ricezione. La prima indica i frame che è autorizzata ad inviare, la seconda invece corrisponde all'insieme dei frame che può accettare. La finestra di invio contiene i frame da spedire, o spediti ma in attesa di ack, lo scopo è quello di mantenere nel buffer più frame, in modo da ritrasmetterli in caso di problemi. Se questo buffer è pieno, il livello data link costringe il livello network a sospendere la consegna di pacchetti. Quando si ottiene un ack il frame corrispondente esce dalla finestra lasciando posto ad altri. Analogamente, il destinatario mantiene una finestra corrispondente agli indici dei frame che possono essere accettati, se arriva un frame il cui indice è fuori dalla finestra questo viene scartato (senza invio dell'ack). Se l'indice è dentro la finestra, il frame viene accettato, viene spedito l'ack e si sposta in avanti la finestra. Le finestre di mittente e destinatario non devono avere necessariamente uguali dimensioni.



A sliding window with a 2-bit sequence, of size 1

Si noti che nel caso in cui abbiamo una finestra di dimensione massima uguale a 1 ci troviamo nel caso stop-and-wait, ovvero, dopo aver inviato un frame si attende l'ack corrispondente prima di inviarne ulteriori. In questo caso si mantiene l'ordine, con finestre più larghe questo non è più vero.

19.2 Pregi

Questa classe di protocolli permette di sfruttare al meglio la banda sia in entrata che in uscita, i veri pregi si hanno in base alle dimensioni delle finestre invio/ricezione implementate dai diversi protocolli che sfruttano questa tecnica.

19.3 Difetti

–

19.4 Ambiti d'uso

Utilizzato prevalentemente dal protocollo TCP nei meccanismi di controllo di flusso e della congestione.

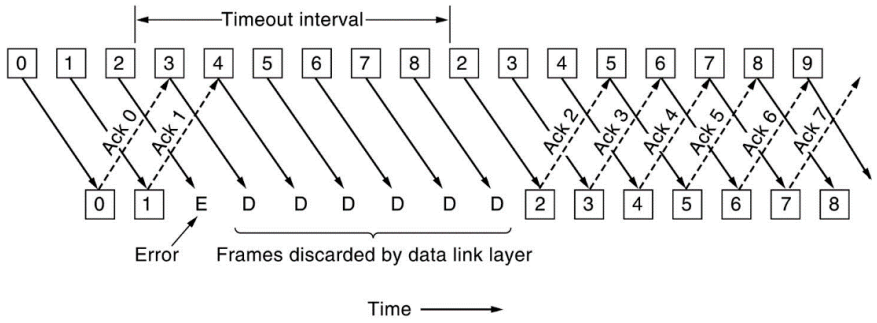
20 Si descriva l'idea dei protocolli "go back N", indicandone pregi e difetti

Il problema di ricezione dell'ack per ogni frame inviato, limitava di molto l'utilizzo della banda e rallentava le comunicazioni, per ovviare a questo

problema viene usata la tecnica di pipelining. Si decide quindi di inviare più frame prima di ricevere i vari ack aumentando di parecchio l'utilizzo della linea. Tuttavia, sorge un problema, cosa succede nel caso in cui si perdano dei frames? Per il ripristino degli errori in presenza di pipelining sono disponibili due approcci base.Tra questi go back n.

20.1 Cos'è?

Go back n è un'istanza specifica del protocollo Automatic Repeat-reQuest (modalità di trasmissione di pacchetti di dati) nel quale il processo mittente continua a mandare un numero di frame specificato nella window size anche senza aver ricevuto nessun ACK. La strategia corrisponde ad una finestra in ricezione di dimensione 1, rilevato l'errore si rifiuta di accettare qualunque frame eccetto il successivo che deve inviare allo strato network. Per questo il mittente scaduto il timeout riprende a spedire i frames che non hanno ricevuto l'ack. Questa tecnica può essere ottimizzata dall'uso del piggybacking, che consiste nello scrivere l'ack di un pacchetto nell'intestazione del pacchetto di informazione successivo, evitando latenze di trasmissione dovute alla trasmissione del solo ack. Go back n è uno dei metodi più efficienti per effettuare una connessione in quanto spedisce più pacchetti senza attendere ack, migliorando l'uso della banda, tuttavia può far perdere molta banda se la frequenza degli errori è molto alta. Go back-n e il selective repeat hanno diverse conseguenze in termini di uso di banda e di spazio di buffer nello strato data link, si può utilizzare un approccio oppure un altro in base a quale risorsa è più scarsa.



20.2 Pregi

Grazie all'invio a raffica senza attendere l'ack corrispondente, questo protocollo ottimizza in maniera eclatante l'uso della banda (in caso di pochi

errori (nulli)).

20.3 Difetti

Può far perdere molta banda in caso di un'alta frequenza di errori.

20.4 Ambiti d'uso

Viene utilizzato in base alle risorse disponibili, in particolare, nei sistemi in cui la finestra di ricezione è scarsa, e la finestra di invio è più grande.

21 Si descriva cos'è la tecnica del selective repeat

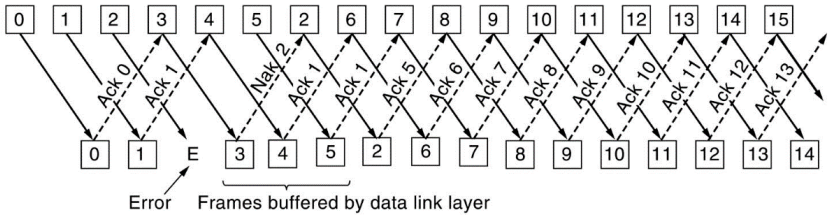
Il problema di ricezione dell'ack per ogni frame inviato limitava di molto l'utilizzo della banda e rallentava le comunicazioni. Per ovviare a questo problema viene usata la tecnica di pipelining. Si decide quindi di inviare più frame prima di ricevere i vari ack aumentando di parecchio l'utilizzo della linea. Tuttavia, sorge un problema: cosa succede nel caso in cui si perdano dei frames? Per il ripristino degli errori in presenza di pipelining sono disponibili due approcci base: selective repeat e go back-n.

21.1 Cos'è?

Con il selective repeat, quando viene ricevuto un frame in errore viene scartato, mentre i frame buoni ricevuti successivamente vengono salvati in un buffer; quando la sorgente va in timeout, solo il frame più vecchio senza ACK viene ritrasmesso. Se quel frame arriva correttamente, la destinazione può passare in sequenza allo strato network tutti i frame presenti nel buffer.

La ripetizione selettiva può inviare dei NACK (Not acknowledgement) quando trova un errore, così da stimolare la ritrasmissione prima dello scadere del timer. La ripetizione selettiva corrisponde ad avere una finestra di ricezione maggiore di 1.

Go back-n e il selective repeat hanno diverse conseguenze in termini di uso di banda e di spazio di buffer nello strato data link. Si può utilizzare un approccio o l'altro in base a quale risorsa è più scarsa.



21.2 Pregi

Aumentano di molto le performance, soprattutto grazie ai NACK che stimolano la ritrasmissione prima dello scadere del timer.

21.3 Difetti

Essendo una ricezione non sequenziale c'è il rischio che gli intervalli della prima finestra si sovrappongano con la successiva, con conseguenza che il ricevitore non sa' se siano dati ritrasmessi (se gli ACK vengono persi) o dati nuovi (se gli ACK sono stati ricevuti).

21.4 Ambiti d'uso

Utilizzato in base alla disponibilità delle risorse, finestra di ricezione maggiore di 1.

22 Descrivere la differenza tra ALOHA e ALOHA-SLOTTED

22.1 Cos'è ALOHA?

ALOHA è un protocollo di rete per garantire le funzionalità di accesso multiplo al mezzo di trasmissione dati condiviso tra più utenti. Esistono due tipi di reti: quelle che utilizzano le connessioni punto-punto e quelle che usa canali broadcast; questo protocollo viene utilizzato per le seconde.

Inventato negli anni '70 nelle Hawaii, l'idea di fondo è di consentire agli utenti di trasmettere ogni volta che hanno dati da inviare. Questo naturalmente genera collisioni, tuttavia i canali broadcast danno la possibilità di avere il feedback sul frame trasmesso e verificare se il frame è stato ricevuto correttamente o no; la stazione trasmittente ascolta il canale e determina

il successo o insuccesso della trasmissione. Se il frame viene danneggiato, le stazioni aspettano un tempo casuale prima di ritrasmettere (deve essere casuale altrimenti i frame si danneggiano continuamente). Il successo dell'ALOHA puro è di circa 18%.

22.1.1 Pregi

Permette l'accesso multiplo allo stesso mezzo di trasmissione condiviso da più utenti (broadcast). (pregio?)

22.1.2 Difetti

Poco efficiente in comunicazioni con tante stazioni.

22.1.3 Ambiti d'uso

Protocollo di livello MAC, questo protocollo non è attualmente utilizzato. Creato tuttavia per l'utilizzo nelle connessioni di tipo broadcast, in cui il mezzo trasmissivo è condiviso da più di due punti.

22.2 Cos'è ALOHA Slotted?

Il protocollo Slotted ALOHA aggiunge al protocollo sopracitato la divisione del tempo in intervalli discreti, chiamati slot. Ogni stazione viene vincolata a cominciare la propria trasmissione solo all'inizio di uno slot temporale, se una stazione è pronta a trasmettere, dovrà necessariamente attendere l'inizio dello slot successivo.

Lo svantaggio di questo protocollo è la necessità di un meccanismo di sincronizzazione che indichi alle varie stazioni quando possono cominciare la trasmissione. Questa divisione in slot migliora il grado di successo del doppio rispetto all'ALOHA puro, circa 36%.

Questi risultati non dovrebbero sorprendere, in quanto con stazioni che trasmettono a piacimento è molto facile incorrere in collisioni.

Questi protocolli caddero in disuso, fino a quando non si presentò il problema di allocare un canale condiviso da più utenti in competizione (ad esempio dopo l'invenzione dell'accesso ad Internet via cavo), di conseguenza slotted ALOHA tornò ad essere utilizzato.

22.2.1 Pregi

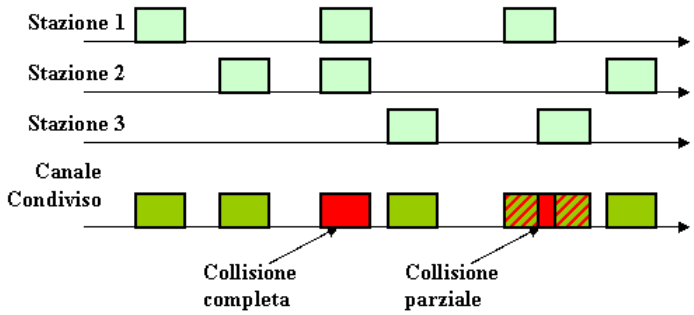
Migliora l'ALOHA puro, aumentando il grado di successo di circa il doppio.

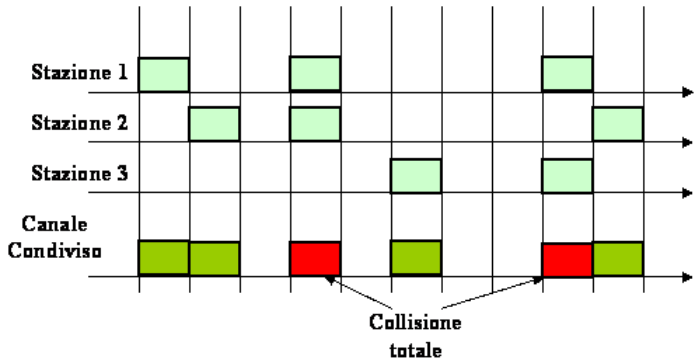
22.2.2 Difetti

Necessita di un meccanismo di sincronizzazione che indichi alle varie stazioni quando trasmettere.

22.2.3 Ambiti d'uso

Protocollo di livello MAC, utilizzato nelle connessioni broadcast per condividere lo stesso mezzo trasmissivo da più utenti.





23 Si illustri il CSMA (Carrier Sense Multiple Access), indicandone pregi e difetti

I protocolli ALOHA e le sue varianti permettevano di inviare dati ogniqualvolta si voleva, limitando però le percentuali di successo. Per migliorare i risultati di accesso multiplo ad un mezzo di trasmissione condiviso, vengono implementati protocolli in cui le stazioni rimangono in ascolto di una

portante e si comportano di conseguenza. Questi protocolli sono chiamati protocolli con rilevamento della portante.

23.1 Cos'è?

Il CSMA è una tecnica di trasmissione dati che si basa su questi principi. Ogni dispositivo prima di avviare la trasmissione dei dati deve verificare se altri nodi stanno trasmettendo sul canale, rilevando la portante. Se il canale è libero iniziano a trasmettere, altrimenti attendono un tempo arbitrario prima di riprovare. Esistono diverse versioni di CSMA:

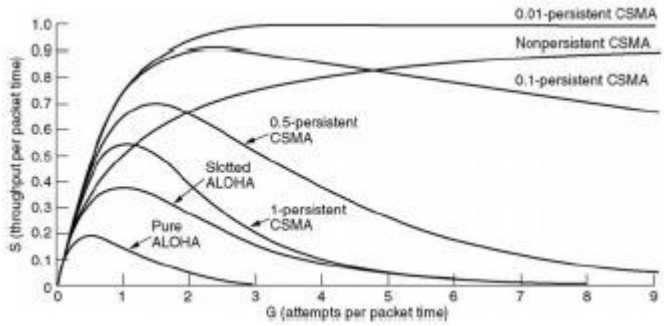
- CSMA 1-persistente: è il primo tra i protocolli CSMA, ha la particolarità di inviare con probabilità 1 sul canale in caso di nessun rilevamento. Questo migliora sicuramente ALOHA puro, tuttavia l'ingordigia di inviare non appena si libera il canale non rende immuni dalle collisioni, che potrebbero accadere in caso di stazioni che controllano nello stesso momento un canale vuoto e inviano contemporaneamente.

- CSMA non persistente: prima di trasmettere ogni stazione controlla il canale. Se lo trova libero inizia ad inviare i dati, ma se il canale è occupato la stazione non esegue un controllo continuo per trasmettere subito il proprio frame; invece attende per un intervallo casuale prima di ripetere l'algoritmo. Questo meccanismo permette di utilizzare meglio il canale ma allunga i ritardi.

- CSMA p-persistente: questa variante si applica su canali divisi in intervalli temporali. Quando è pronta a trasmettere, ogni stazione controlla il canale. Se lo trova libero, trasmette subito con una probabilità p, e rimanda fino all'intervallo successivo con probabilità q=1-p. Se anche quell'intervallo risulta libero la stazione trasmette oppure rimanda un'altra volta. Il processo si ripete finché il frame non è stato trasmesso.

Queste varianti migliorano enormemente il tasso di successo rispetto ad ALOHA e ALOHA-slotted.

Un ulteriore miglioramento si ottiene consentendo ad ogni stazione di annullare la propria trasmissione in caso di collisione. Se due stazioni iniziano a trasmettere contemporaneamente, invece di completare la trasmissione dei relativi frame, ormai danneggiati, terminano bruscamente la trasmissione. La terminazione rapida dei frame danneggiati risparmia tempo e banda, questa variante è chiamata CSMA/CD ed è ampiamente utilizzata nelle LAN Ethernet.



23.2 Pregi

Migliora di molto le prestazioni di ALOHA e ALOHA-SLOTTED, un ulteriore miglioramento si ha quando si annulla la propria trasmissione in caso di collisione, cosi da risparmiare tempo e banda.

23.3 Difetti

–

23.4 Ambiti d'uso

CSMA/CA è utilizzato prevalentemente nelle connessioni in cui il rilevamento delle collisioni non è realizzabile, come le reti senza fili. Utilizzato nello standard IEEE 802.11. Una variante migliorante, che rileva le collisioni è il CSMA/CD il quale è utilizzato nelle LAN Ethernet.

24 Basic Bitmap

Nella gestione di accesso multiplo ad un mezzo di trasmissione condiviso, esistono diversi protocolli che gestiscono l'accesso gestendo le collisioni e garantendo l'accesso (ALOHA, slotted ALOHA, CSMA), tuttavia le collisioni sono sfavorevoli alle prestazioni del sistema, specialmente quando il cavo è lungo e i frame corti.

24.1 Cos'è?

Esistono protocolli che garantiscono la gestione degli accessi senza collisione, uno tra questi è il basic Bitmap (metodo a mappa di bit elementare). In questo protocollo ogni periodo di contesa è composto esattamente da N

intervalli (N=# stazioni). Ogni stazione è numerata, e se ha un frame da inviare deve inviare un 1 nell'intervallo corrispondente al suo numero. A nessun'altra stazione è concesso di trasmettere durante questo intervallo. Cosi facendo ogni stazione si prenota l'intervallo di trasmissione. Una volta trascorsi gli N intervalli, ogni stazione sa quali sono le stazioni che vogliono trasmettere, di conseguenza non ci sarà mai alcuna collisione. Questo è anche chiamato protocollo a prenotazione.

24.2 Pregi

Garantisce che non ci siano collisioni durante l'utilizzo di un canale condiviso.

24.3 Difetti

Protocollo sbilanciato, da priorità alle stazioni con un numero basso, se una stazione i e una j vogliono trasmettere e i<j allora i si aggiudica la posizione. Contemporaneamente però le stazioni numerate con numeri bassi dovranno attendere di più rispetto a quelle con numeri più alti.
Ha bisogno di 1 bit di controllo per stazione, in reti con migliaia di utenti non è molto adatto.

24.4 Ambiti d'uso

Protocollo dello strato MAC, utilizzato nelle connessione con canale condiviso

25 Spiegare in cosa consiste il protocollo collision free binary countdown, pregi e difetti

I dati vengono trasportati tramite un impulso elettrico. Ci possono essere molti dispositivi collegati allo stesso cavo con il rischio di collisioni e danneggiamento dei dati. Per evitare la collisione una stazione deve controllare se ci sono altre stazioni collegate allo stesso mezzo; esistono diversi protocolli che effettuano questo controllo evitando le collisioni. Il basic bitmap è uno di questi, tuttavia risulta elementare e su reti composte da molte stazioni risulta poco utilizzabile.

25.1 Cos'è?

Il collision free binary countdown o conteggio binario migliora il basic bitmap, utilizzando un sistema di assegnazione della linea in base ad una stringa binaria. Una stazione che desidera utilizzare il canale deve comunicare a tutti il proprio indirizzo sotto forma di stringa binaria, hanno tutti la stessa lunghezza.

I conflitti si evitano grazie ad una regola di arbitraggio: la stazione rinuncia ad inviare non appena si accorge che un'altra stazione con un 1 in una posizione di bit di ordine elevato che nel proprio indirizzo vale 0. Esempio: 0010, 0100, 1001, 1010, queste stazioni vogliono inviare, vengono inviati i primi bit: 0 (**0**010), 0 (**0**100), 1 (**1**001), 1 (**1**010), le stazioni con 0 più a sinistra capiscono che ci sono stazioni con numero più grande che stanno concorrendo e si fanno da parte, le altre due continuano: 0 (1**0**01), 0 (1**0**10); sono uguali quindi continuano, il terzo bit è 1 quindi la stazione 1001 si arrende, vince 1010 che può trasmettere.

L'efficienza è pari a $(d/d * log_2 N)$ (con d numero di bit) ma può raggiungere anche il 100% se l'indirizzo del mittente costituisce l'intestazione del frame.

Si può notare uno sbilanciamento notevole in quanto le stazioni con numero maggiore risultano avere sempre la precedenza. Questo può essere ovviato facendo ruotare i valori delle stazioni ad ogni step, così quando una stazione riesce ad inviare viene spostata alla fine della coda, in modo da permettere a tutte le stazioni la possibilità di inviare.

Questo algoritmo è semplice, elegante ed efficiente, tuttavia attualmente non è utilizzato.

25.2 Pregi

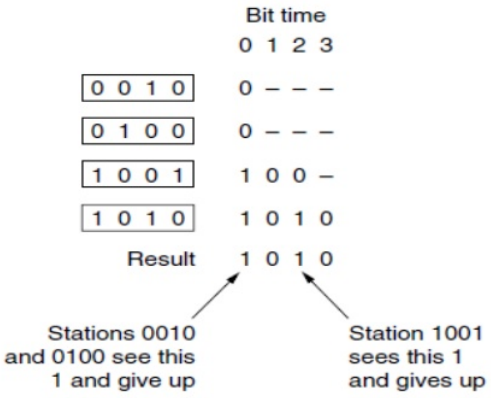
Migliora il problema della scarsa efficienza in caso di molte stazioni del basic bitmap. Garantisce comunicazioni senza collisioni. Ad alto carico l'efficienza del canale migliora.

25.3 Difetti

Da priorità alle stazioni con numero maggiore, con conseguente sbilanciamento. Problema risolto facendo ruotare i valori delle stazioni ad ogni step. A basso carico hanno un ritardo elevato.

25.4 Ambiti d'uso

Protocollo dello strato MAC. Utilizzato nelle connessione con canale condiviso. Attualmente non utilizzato.

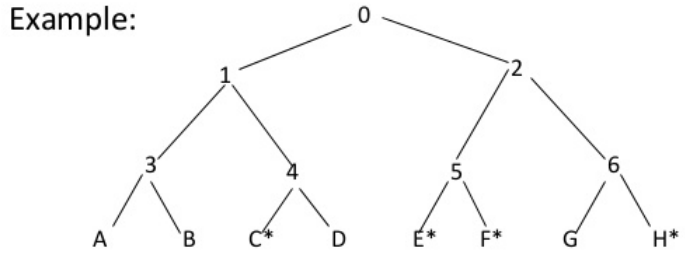


26 Spiegare cos'è l'adaptive tree walk protocol?

Per gestire la contesa di accesso ad un canale condiviso esistono protocolli con controllo della portante, con metodo della contesa tipo il CSMA o il metodo senza collisioni. Nelle situazioni di carico leggero la contesa è preferibile per il suo basso ritardo, tuttavia a carichi elevati diventa sempre più inefficiente. Il contrario avviene con i protocolli senza collisioni, a basso carico hanno un ritardo elevato ma al crescere del carico l'efficienza migliora.

26.1 Cos'è?

Adaptive tree walk protocol è un protocollo a contesa limitata che migliora ulteriormente le prestazioni dei protocolli sopracitati. Si può immaginare questo metodo come un albero binario, in cui le stazioni sono le foglie e sono divise nei vari rami. Inizialmente si prova a inviare ad altezza 0: se non vi è collisione si procede all'invio, in caso contrario ci si sposta sul sottoalbero sinistro e si ritenta; se il conflitto non c'è più si fa inviare la stazione che lo desidera (se non c'è conflitto vuol dire che nel sottoalbero sinistro c'è solo una stazione che vuole inviare). Dopo aver inviato si torna al nodo padre e si analizza il sottoalbero destro, ripetendo i test e scendendo nei sottoalberi in caso di conflitto.



Slot 0: C*, E*, F*, H* (all nodes under node 0 can try), conflict
slot 1: C* (all nodes under node 1 can try), C sends
slot 2: E*, F*, H*(all nodes under node 2 can try), conflict
slot 3: E*, F* (all nodes under node 5 can try), conflict
slot 4: E* (all nodes under E can try), E sends
slot 5: F* (all nodes under F can try), F sends
slot 6: H* (all nodes under node 6 can try), H sends.

26.2 Pregi

Garantisce un ritardo limitato in caso di basso carico e una buona efficienza in caso di carico più elevato.

26.3 Difetti

–

26.4 Ambiti d'uso

Utilizzato nelle connessioni con più stazioni che vogliono trasmettere nello stesso mezzo di trasmissione.

27 Ethernet e i vari tipi di cavo

27.1 Cos'è?

Ethernet è il sistema LAN più diffuso al mondo, è economico e facile da usare e la diffusione delle componenti hardware ne ha facilitato l'adozione. È adeguata all'utilizzo con TCP/IP.

Nasce con l'intento di ottenere una trasmissione affidabile su cavo coassiale in condizioni di traffico contenuto, ma in grado di tollerare possibili picchi di carico. Per regolamentare l'accesso al mezzo trasmissivo era stato adottato un protocollo di accesso multiplo del tipo CSMA/CD.

Il nome Ethernet si riferisce al cavo (definito etere). Andiamo quindi ad elencare le tipologie di cavi utilizzati in questo standard. Generalmente vengono utilizzati 4 tipi di cavo.

27.2 10base5

Il più vecchio è il modello 10base5 chiamato anche thick Ethernet. Questo cavo assomiglia ad un tubo giallo con segni a intervalli di 2,5m che indicano la posizione delle spine. Le connessioni sono generalmente realizzate mediante spine a vampiro (spilli spinti nel nucleo centrale del cavo coassiale). La notazione 10Base5 indica che opera a 10Mbps, utilizza un sistema di segnali a banda base e può supportare segmenti lunghi fino a 500m. Questo cavo è ormai obsoleto.

27.3 10base2

Il secondo cavo in ordine di tempo è stato il cavo 10base2 o thin Ethernet, più facile da piegare rispetto al precedente e le connessioni sono realizzate usando connettori BNC (giunzioni a T più affidabili e facili da usare rispetto alle spine a vampiro). Il thin Ethernet è più economico e semplice da installare, però può essere lungo al massimo 185 metri e può supportare non più di 30 macchine.

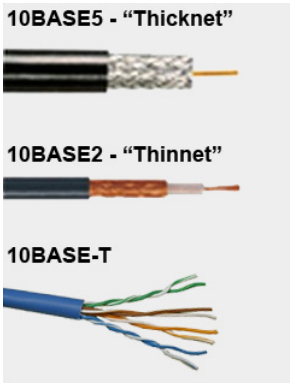
27.4 10base-T

Per trovare guasti in questi mezzi è usata la tecnica TDR (Time Domain Rectory) che sostanzialmente misura il ritardo dell'eco dell'impulso immesso nel cavo. La tecnica TDR per la ricerca di guasti è difficile e onerosa da utilizzare, ci si è spostati quindi sulla terza tipologia di cablaggio 10Base-T, ormai diventata uno standard grazie alla facilità di gestione e all'uso di cablaggi preesistenti.

Questo sistema di cablaggio utilizza hub di controllo tramite doppini telefonici, che sono largamente usati e semplici da gestire, ogni macchina si interfaccia con l'hub tramite cavo dedicato, rendendo così semplice aggiungere o rimuovere una stazione e individuare le interruzioni. Il suo svantaggio è rappresentato dalla lunghezza massima dei cavi che partono dall'hub: 100 metri. Esiste una versione più veloce del 10Base-T chiamata 100Base-T.

27.5 10base-F

Il quarto tipo di cavi per Ethernet si chiama 10base-F e utilizza le fibre ottiche. È un'alternativa costosa a causa del prezzo dei connettori e dei terminatori, ma offre un'eccellente immunità alle interferenze e consente di collegare edifici o hub molto lontani. 10Base-F nonostante il costo consente inoltre una buona sicurezza in quanto i dati trasmessi sulla fibra sono difficili da intercettare.



27.6 Pregi

Sistema LAN più diffuso, economico e facile da utilizzare. I primi due tipi di cavo non vale la pena analizzarli perchè ormai sono obsoleti, i 10base-T sono sicuramente più economici rispetto ai 10base-F che tuttavia provvedono a garantire un'eccellente immunità alle interferenze e una velocità molto superiore alla controparte in rame. Grazie all'utilizzo degli hub i guasti sono semplici da localizzare e correggere.

27.7 Difetti

I 10base-T hanno una lunghezza massima molto limitata: 100 metri dall'hub. I 10base-F costano molto.

27.8 Ambiti d'uso

I primi due non sono utilizzati, il 10base-T è diventato una tipologia standard di cablaggio nello standard Ethernet, i 10base-F vengono utilizzati largamente in tutte le nuove reti ad alta velocità.

28 Codifica Manchester

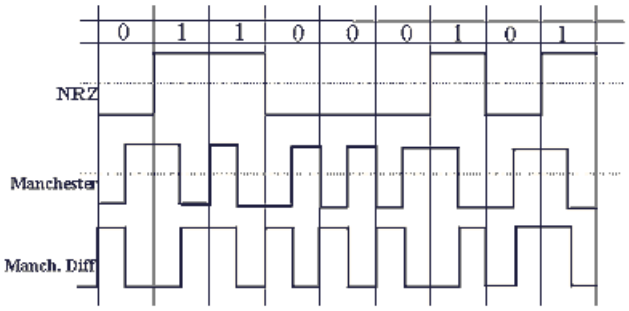
Nessuna versione Ethernet usa la pura conversione binaria dov il del segnale 0 viene indicato con 0 volt mentre 1 utilizzando 5 volt. Questo fa sorgere numerosi problemi, in quanto altre stazioni potrebbero interpretare erroneamente il segnale (a causa degli 0 volt, una stazione potrebbe confondere l'assenza del segnale con uno 0). Si può passare a +1 volt per 1 e -1 volt per 0, ma rimane il problema dei ricevitori che possono campionare il segnale in maniera diversa. Per risolvere questo problema sono state inventate due tecniche implementate in Ethernet: codifica Manchester e codifica Manchester differenziale.

28.1 Codifica Manchester cos'è?

Queste codifiche sono dette auto-sincronizzanti in quanto non necessitano di un segnale di sincronia esterno. Queste codifiche suddividono ogni bit codificato in due, nella codifica Manchester lo 0 viene rappresentato da un segnale Basso-Alto, mentre l'1 viene rappresentato da un segnale Alto-Basso (esistono due convenzioni opposte riguardo la rappresentazione dei segnali 1 e 0). Così facendo anche in caso di dissincronia, i dati in questo formato permettono un flusso auto-sincronizzante. Uno svantaggio e' che la codifica manchester richiede il doppio della banda rispetto alla pure conversione binaria 0-5 volt.

28.2 Codifica Manchester differenziale cos'è?

La codifica Manchester differenziale invece differisce da quella originale nella rappresentazione dei bit: questa infatti si basa sulla verifica di transizioni all'inizio di un intervallo. La presenza di una di queste infatti (che siano alto-basso o basso-alto) identifica un valore, la mancanza di transizione invece indica il valore opposto. Per convenzione il bit 1 viene rappresentato dalla mancanza di transizione all'inizio del suo intervallo, mentre lo 0 è indicato con un cambiamento di segnale nello stesso periodo. Rispetto a manchester normale, la codifica differenziale e' piu' complessa a livello hw ma offre migliori prestazioni per quanto riguarda il disturbo di segnale.



28.3 Pregi

Si risolve il problema di ambiguità dovuto al segnale 0 volt=bit 0.
Queste codifiche permettono l'auto sincronizzazione del segnale.

28.4 Difetti

Occupano il doppio della banda della codifica binaria elementare, perchè gli impulsi sono larghi la metà.

28.5 Ambiti d'uso

Tutti i sistemi Ethernet adottano la codifica Manchester perché è più semplice, mentre la Manchester differenziale è utilizzata da altre LAN.

29 Cos'è il binary exponential backoff?

La caratteristica principale del CSMA/CD (algoritmo che controlla il canale prima di trasmettere ed evita le collisioni analizzando la portante) è che una volta rilevata una collisione, si attende un intervallo prima di ritrasmettere. Questo intervallo viene calcolato ogni volta tramite l'algoritmo di backoff esponenziale.

29.1 Cos'è?

Dopo una collisione il tempo viene diviso in intervalli discreti, la cui lunghezza è uguale al tempo di propagazione di andata e ritorno del caso peggiore sul mezzo di trasmissione. Dopo la prima collisione, ogni stazione aspetta 0

o 1 intervalli temporali prima di ritentare. Se due stazioni collidono e ognuna sceglie lo stesso numero casuale, la collisione si ripeterà. Dopo la seconda collisione ogni stazione sceglie 0, 1, 2 o 3 a caso e rimane in attesa per quel numero di intervalli temporali. In generale quindi, dopo le collisioni, viene scelto un numero casuale compreso tra 0 e 2i-1 e si salta quel numero di intervalli. Il limite di collisioni è 16, dopodiché il chip di controllo getta la spugna e manda un errore.

29.2 Pregi

Si adatta dinamicamente al numero di stazioni che tentano di trasmettere. Assicura un basso ritardo quando poche stazioni collidono e garantisce un intervallo di tempo ragionevole quando invece la collisione coinvolge molte stazioni

29.3 Difetti

–

29.4 Ambiti d'uso

Utilizzato nel protocollo di accesso multiplo CSMA/CD, e serve per decidere/calcolare il tempo di entrata di una stazione nel canale (dopo una collisione).

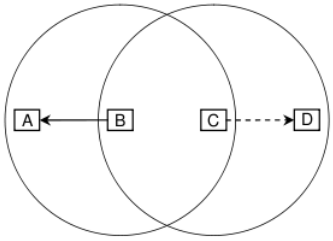
30 Stazione nascosta e stazione esposta: cosa sono e cosa fanno?

Al crescere del numero di computer e dispositivi mobili aumenta anche la domanda di collegare tali apparecchi al mondo esterno. Nascono così le LAN wireless, le quali permettono la connessione dei dispositivi senza bisogno di cavi.

Tuttavia, questo porta a dei problemi di conflitto in caso di scambio di dati. Utilizzando banalmente il sistema CSMA per evitare le collisioni, si arriverebbe ad ascoltare le altre trasmissioni, e trasmettere in caso di nessun'altra connessione attiva. Questo però può portare a due diversi problemi: problema della stazione nascosta e stazione esposta.

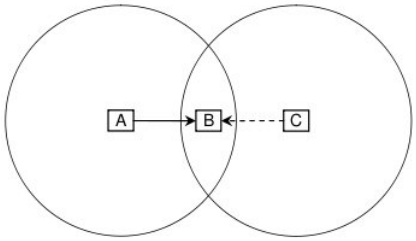
30.1 Stazione nascosta, cos'è?

La stazione nascosta non è altro che una stazione che vuole inviare, ma non riesce a ricevere i segnali dei concorrenti a causa della sua distanza eccessiva. Supponiamo di avere A, B e C. A vuole inviare a B e prima di farlo ascolta se ci sono altre connessioni; non ne sente e procede all'invio. Tuttavia, C, è troppo distante perché A lo senta, ma abbastanza vicino a B per inviargli dati, così lo fa e va in conflitto con l'invio di A.



30.2 Stazione esposta, cos'è?

Il problema della stazione esposta invece è l'inverso. B trasmette ad A, C vuole inviare a D e controlla la presenza di portante sul mezzo di trasmissione e rileva B che sta inviando, così attende per evitare conflitti; tuttavia B non intralcerebbe la trasmissione di C, ma questo non lo può sapere, di conseguenza si genera uno stallo inutile. Questo è il problema della stazione esposta.



31 Bluetooth

31.1 Cos'è?

Bluetooth è uno standard wireless che permette il collegamento di dispositivi di calcolo, di comunicazione e accessori vari mediante un sistema radio wireless a basso costo, bassa potenza e portata ridotta.

L'unità di base di un sistema Bluetooth è la piconet, composta da un nodo master e da diversi nodi slave (non più di 7), situati nel raggio di 10 metri. Più piconet possono trovarsi nella stessa stanza e possono essere collegate tramite un nodo ponte; un insieme di piconet è chiamato scatternet.

Tutto si basa sulla comunicazione tra nodo master e nodo slave. Il master controlla il clock e decide quale dispositivo può comunicare in ogni intervallo temporale.

I tipi di collegamenti si suddividono in due tipi principali: orientati alla connessione o senza connessione. Il primo richiede di stabilire una connessione tra i dispositivi prima di inviare i dati, mentre in quello senza connessione il trasmettitore può in qualsiasi momento iniziare a inviare i propri pacchetti purché conosca l'indirizzo del destinatario.

Bluetooth definisce inoltre due tipi di collegamenti a supporto delle applicazioni voce e trasferimento dati: un servizio asincrono senza connessione (ACL) ed un servizio sincrono orientato alla connessione (SCO). ACL supporta il traffico dati e si basa su un servizio di tipo best-effort (ovvero un servizio che non dà alcuna garanzia dell'effettiva consegna dei dati né tantomeno livelli di qualità o priorità garantiti). Supporta connessioni a commutazione di pacchetto, connessioni punto-multipunto (multicast) e connessioni simmetriche o asimmetriche. SCO invece è un collegamento che supporta connessioni con un traffico di tipo real-time e multimediali, prevede connessioni a commutazione di circuito, connessioni punto-punto e connessioni simmetriche.

Bluetooth ha protocolli raggruppati in strati, che non seguono ne modello OSI né TCP/IP.

32 Si descriva l'algoritmo statico Flooding

La funzione principale dello strato network è quella d'instradare i pacchetti dal computer sorgente al computer di destinazione. Lo strato network sfrutta particolari algoritmi detti algoritmi di routing per instradare correttamente i pacchetti nei vari percorsi. Esistono diversi modi per farlo, in quanto ci sono molti fattori da tenere in considerazione, però possiamo suddividerli in due grandi tipi: algoritmi non adattivi e algoritmi adattivi.

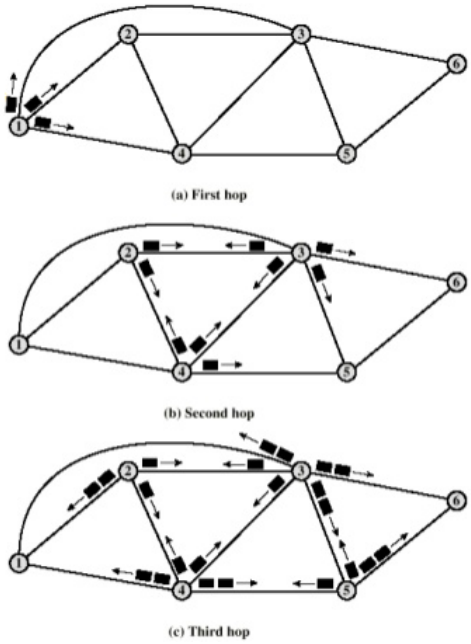
Gli algoritmi non adattivi basano le loro decisioni su misure e stime del traffico e della topologia corrente, viene calcolato il percorso all'avvio della rete, in modalità fuori linea e viene scaricato nei router. Questa procedura si chiama anche routing statico. Gli algoritmi adattivi invece cambiano le loro decisioni secondo le modifiche apportate alla topologia e al traffico.

32.1 Cos'è?

L'algoritmo di Flooding è un algoritmo statico, in cui ogni pacchetto in arrivo è inviato a tutte le linee tranne quella da cui proviene.

Una variante un po' più pratica è chiamata flooding selettivo. In questo algoritmo i router non trasmettono ogni pacchetto verso tutte le linee, ma solo attraverso quelle che vanno approssimativamente nella direzione corretta. Nella maggior parte delle applicazioni questo algoritmo non è molto utilizzato, salvo casi particolari (i militari lo utilizzano, in quanto un gran numero di router potrebbero saltare in aria, aver questo metodo di trasmissione di pacchetti accerta la ricezione dei dati).

Questo algoritmo viene utilizzato anche come metrica di confronto per altri algoritmi di routing, in quanto sceglie sempre il percorso più breve (scegliendoli tutti LOL), di conseguenza nessun algoritmo può produrre un ritardo più breve (ignorando il tempo di elaborazione dati generato dal processo di flooding).



32.2 Pregi

Semplice da attuare e assicura la ricezione del pacchetto alla stazione desiderata.

32.3 Difetti

Spreco evidente di banda, pacchetti duplicati e rischio di cicli infiniti.

32.4 Ambiti d'uso

Strato Network. Questo algoritmo viene utilizzato come metrica di confronto per altri algoritmi di routing, in quanto sceglie sempre il percorso più breve (tra i molteplici). Utilizzato anche in ambito militare in quanto la duplicazione dei pacchetti può essere una nota positiva a causa del rischio di bombardamenti.

33 Descrivere il distance vector routing

La funzione principale dello strato network è quella d'instradare i pacchetti dal computer sorgente al computer di destinazione. Per fare questo vengono utilizzati diversi algoritmi che si possono raggruppare in due grandi gruppi: algoritmi adattivi e non adattivi. Gli algoritmi non adattivi sono anche detti statici, in quanto basano i loro calcoli sulla rete a freddo senza tener conto del carico istantaneo o dei problemi di linea; un esempio è l'algoritmo di Flooding.

Generalmente le moderne reti di computer utilizzano algoritmi adattivi, o dinamici se vogliamo. Tra i più popolari ci sono il distance vector routing e il linkstate routing.

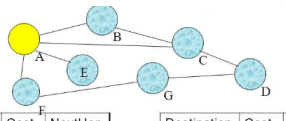
33.1 Cos'è?

Gli algoritmi di routing basati sul vettore delle distanze (distance vector routing) operano facendo in modo che ogni router conservi una tabella (vettore) che definisce la miglior distanza conosciuta per ogni destinazione e la linea che lo conduce ad essa. Queste tabelle vengono aggiornate scambiando informazioni con i router vicini.

Questo algoritmo è basato sull'algoritmo di Bellman-Ford (che calcola i cammini minimi su un grafo). Ogni router misura la distanza (secondo una metrica che può includere vari fattori) che lo separa dai nodi adiacenti ricevendo i dati dai router vicini. A partire da tali dati, utilizzando l'algoritmo di Bellman-Ford, il router costruisce una tabella che associa ad ogni destinazione conosciuta la stima della distanza che lo separa dalla destinazione e il primo passo del percorso calcolato. Questo aggiornamento viene fatto

periodicamente e dopo sufficienti scambi ciascun router avrà una riga per ogni altro nodo nella rete.

Distance vector routing reagisce in modo veloce per le "buone notizie", ma in modo lento per le "cattive notizie": una destinazione X che ha una route inizialmente larga, se in un nuovo scambio di informazioni sulle route table arriva un messaggio dove viene accorciata la distanza per X, allora la tabella viene immediatamente aggiornata; per quanto riguarda le "cattive notizie" se un nodo X diventa irraggiungibile (per disconnessione o crash) si crea il problema del cout to infinity, dove la tabella di routing verso X inizia ad aumentare all'infinito poiche' i router vicini si basano su altre route per X senza sapere che X non e' piu' connesso. Cosi' mano a mano la strada verso X inizia a tendere all'infinito. Una soluzione a questo problema e' l'utilizzo della limitazione alla lunghezza della route fino ad un massimo di (lunghezza massima route)+1



Destination	Cost	NextHop
B	1	B
C	1	C
D	∞	-
E	1	E
F	1	F
G	∞	-

Initial routing table at A

Destination	Cost	NextHop
B	1	B
C	1	C
D	2	C
E	1	E
F	1	F
G	2	F

Final routing table at A

33.2 Pregi

Ogni router ha il percorso migliore per arrivare a tutti i suoi nodi adiacenti.

33.3 Difetti

Impiega troppo tempo a raggiungere la convergenza.
Non tiene conto della banda della linea quando sceglie i percorsi.
Possibilità che si creino i cicli, potenzialmente infiniti.

33.4 Ambiti d'uso

Strato network per instradare i pacchetti ai vari router della rete, algoritmo adattivo (dinamico).

34 Descrivere Linkstate routing

La funzione principale dello strato network è quella d'instradare i pacchetti dal computer sorgente al computer di destinazione. Per fare questo vengono utilizzati diversi algoritmi che si possono raggruppare in due grandi gruppo: algoritmi adattivi e non adattivi. Gli algoritmi non adattivi sono anche detti statici, in quanto basano i loro calcoli sulla rete a freddo senza tener conto del carico istantaneo o dei problemi di linea; un esempio è l'algoritmo di Flooding.

Generalmente le moderne reti di computer utilizzano algoritmi adattivi, o dinamici se vogliamo. Tra i più popolari ci sono il distance vector routing e il linkstate routing.

34.1 Cos'è?

Gli algoritmi di routing basati sullo stato dei collegamenti (linkstate routing) è il sostituto del distance vector routing. L'idea di questo algoritmo si basa su 5 punti:

- Scoprire i propri vicini e i relativi indirizzi di rete.
- Misurare il ritardo o il costo di ogni vicino.
- Costruire un pacchetto che contiene tutte le informazioni raccolte.
- Inviare questo pacchetto a tutti gli altri router
- Elaborare il percorso più breve verso gli altri router.

Un router, prima di tutto, cerca di scoprire chi sono i suoi vicini: lo fa inviando uno speciale pacchetto HELLO su ogni linea punto-punto; il router all'altro capo risponde fornendo la propria identità (si noti che i nomi devono essere globalmente unici, in quanto si necessità una non ambiguità durante lo scambio di pacchetti).

Il passo successivo è la misurazione del costo della linea, avviene tramite l'invio di uno speciale pacchetto ECHO al quale l'altra parte deve rispondere immediatamente, in base al tempo di andata/ritorno si può ottenere una stima ragionevole del ritardo.

Dopo aver raccolto le informazioni necessarie per lo scambio, ogni router deve costruire un pacchetto contenente tutti i dati. Il pacchetto inizia con l'identità del trasmittente, un numero di sequenza, l'età (contatore che viene decrementato ogni secondo, al raggiungere dello 0 le informazioni provenienti da quel router vengono scartate) e una lista dei vicini. Per ogni

vicino è riportato il ritardo misurato. I pacchetti vengono creati periodicamente, oppure in caso di avvenimenti speciali: interruzione della linea o modifica/spegnimento/accensione di un vicino.

La parte più delicata dell'algoritmo è la distribuzione affidabile dei pacchetti che contengono la descrizione dello stato dei collegamenti. Durante la distribuzione e l'installazione, i router che ricevono i primi pacchetti cambieranno i loro percorsi, rischiando di creare inconsistenza, cicli, computer irraggiungibili e così via. L'idea fondamentale è quella di utilizzare l'algoritmo di flooding (inviare ogni pacchetto ad ogni linea in uscita (tranne da dov'è arrivato)) un computer che riceve un pacchetto con le informazioni sullo stato della connessione:

- Se è duplicato il pacchetto viene scartato
- Se è nuovo il pacchetto viene inoltrato a tutte le linee tranne a quella di ricezione (flooding)
- Se il numero di sequenza è inferiore al numero più alto visto in quel momento, il pacchetto viene scartato in quanto obsoleto (il router ha informazioni più recenti).

Esistono diversi miglioramenti per questo metodo di distribuzione di pacchetti, ma sarebbe troppo lunga da elencare.

Dopo aver accumulato una serie completa di pacchetti sullo stato della connessione, il router può costruire l'intero grafo della sottorete, lo fa utilizzando localmente l'algoritmo di Dijkstra (algoritmo per la costruzione di grafi, simile a quello di Bellman-Ford, non può essere però utilizzato in caso di cammini negativi).

Questo algoritmo è molto utilizzato nelle reti reali in quanto può gestire reti composte da molti nodi, converge rapidamente al cammino minimo, difficilmente genera cicli ed è facile da comprendere in quanto ogni nodo ha la mappa completa della rete. Il principale svantaggio è la complessità di realizzazione, anche dovuta alla notevole capacità di memoria ed elaborazione richiesti dai router.

34.2 Pregi

Può gestire reti molto caotiche.
Converge velocemente al cammino minimo.
Difficilmente genera cicli.
Facile da comprendere.

34.3 Difetti

Difficile da realizzare, a causa della notevole capacità di memoria ed elaborazione richiesta dai router.

34.4 Ambiti d'uso

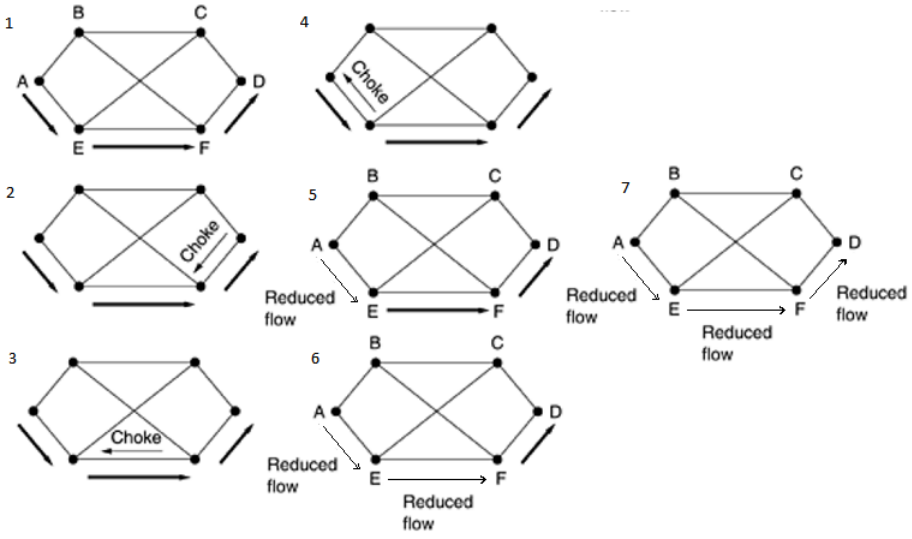
Strato network, sostituto al distance vector routing. Molto utilizzato nelle reti attuali visti i numerosi pregi.

35 Choke packet

La funzione principale dello strato network è quella d'instradare i pacchetti dal computer sorgente al computer di destinazione. La decisione del miglior percorso viene effettuato dagli algoritmi di routing (flooding, linkstate o distance vector). Purtroppo, per molteplici motivi, le reti potrebbero congestionarsi, più computer vogliono inviare pacchetti alla stessa destinazione che, non riuscendo ad elaborarli tutti ne perde, questo causa la ritrasmissione che causa ulteriori ingorghi. Questo problema è la congestione ed è un punto critico che va regolamentato.

35.1 Cos'è?

Il choke packet è uno speciale pacchetto utilizzato per il controllo di flusso in una rete. Un router che rileva una congestione, invia all'host originale del pacchetto un choke packet per avvertirlo di diminuire il flusso. Quando l'host sorgente riceve il pacchetto speciale diminuisce il flusso (tipicamente lo dimezza) e ignora i successivi choke packet (generalmente ne arrivano in rapida successione), passato un tempo prefissato l'host si rimette all'ascolto, se arrivano altri choke packet in quel frangente diminuisce ulteriormente il flusso, altrimenti riprende gradualmente la velocità normale.



35.2 Pregi

Permette di risolvere la congestione di una linea tramite l'uso di uno speciale pacchetto.

35.3 Difetti

Lento a reagire, purtroppo l'host produttore di pacchetti che genera la congestione, ci mette un certo tempo per ricevere il choke packet e prendere provvedimenti. Un miglioramento si ha con il Choke packet hop-by-hop (altro algoritmo per risolvere la congestione).

35.4 Ambiti d'uso

Strato network, algoritmo di controllo della congestione.

36 Choke packet hop-by-hop

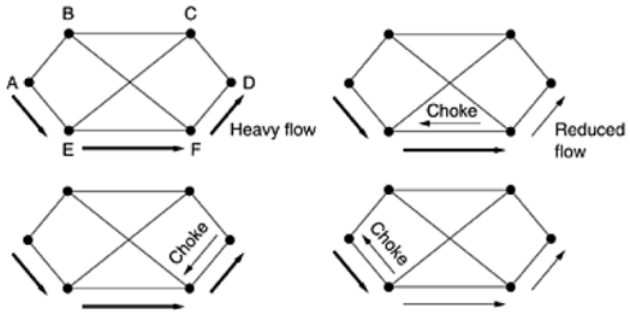
La funzione principale dello strato network è quella d'instradare i pacchetti dal computer sorgente al computer di destinazione. La decisione del miglior percorso viene effettuato dagli algoritmi di routing (flooding, linkstate o distance vector). Purtroppo, per molteplici motivi, le reti potrebbero congestionarsi, più computer vogliono inviare pacchetti alla stessa destinazione

che, non riuscendo ad elaborarli tutti ne perde, questo causa la ritrasmissione che causa ulteriori ingorghi. Questo problema è la congestione ed è un punto critico che va regolamentato.

36.1 Cos'è?

Il hop-by-hop choke packet è un miglioramento della sua versione precedente (choke packet). Choke packet aveva il problema di aver un tempo di reazione per prendere provvedimenti troppo lento, il che causava una grossa perdita di dati prima di risolvere il problema.

Hop-by-hop choke packet risolve questo problema limitando tutte le stazioni che attraversa in maniera immediata, senza dover attendere di arrivare all'host sorgente.



36.2 Pregi

Rispetto al choke packet originale, da sollievo più veloce alla rete.

36.3 Difetti

Richiede maggior utilizzo dei buffer di trasmissione nei router tra mittente e destinatario.

36.4 Ambiti d'uso

Strato network, algoritmo di controllo della congestione, miglioramento del choke packet.

37 Load shedding

La funzione principale dello strato network è quella d'instradare i pacchetti dal computer sorgente al computer di destinazione. La decisione del miglior percorso viene effettuato dagli algoritmi di routing (flooding, linkstate o distance vector). Purtroppo, per molteplici motivi, le reti potrebbero congestionarsi, più computer vogliono inviare pacchetti alla stessa destinazione che, non riuscendo ad elaborarli tutti ne perde, questo causa la ritrasmissione che causa ulteriori ingorghi. Questo problema è la congestione ed è un punto critico che va regolamentato.

37.1 Cos'è?

Quando gli algoritmi di choke packet (puro e hop-by-hop) non bastano per gestire la congestione, i router possono utilizzare la tecnica load shedding che, molto banalmente elimina dei pacchetti casuali in caso di sovraffollamento.

Lo scartare pacchetti casuali non è sempre la scelta migliore, per migliorare l'algoritmo infatti la scelta può basarsi sull'applicazione in esecuzione. Esistono due criteri generali per identificare queste scelte, wine e milk.

Wine da più importanza ai pacchetti vecchi, scarta di conseguenza quelli nuovi (vecchio è meglio del nuovo), milk invece al contrario dà importanza maggiore ai pacchetti nuovi (nuovo è migliore del vecchio).

Questa tecnica permette numerose applicazioni e metodi per implementarla (oltre a wine e milk). Questo permette di tenere sotto controllo possibili momenti di congestione.

37.2 Pregi

Risolve la congestione in modo brutale, quando il choke packet non basta.

37.3 Difetti

Scarta pacchetti senza un criterio sufficientemente preciso da evitare di scartare pacchetti importanti.

37.4 Ambiti d'uso

Strato network, metodo brutale utilizzato per risolvere la congestione delle linee.

38 Red (Random Early Detection)

Nello strato network esistono numerosi algoritmi di instradamento per portare un pacchetto da una destinazione ad un mittente (flooding, distance vector, linkstate). Quando questa linea si congestiona esistono algoritmi che permettono di gestire la congestione e risolvere il problema (choke packet e load shedding). Risulta tuttavia più semplice gestire la congestione appena viene rilevata, non cercare di porvi rimedio dopo averle dato il tempo di bloccare tutta la linea.

38.1 Cos'è?

Questa osservazione porta all'idea di scartare i pacchetti prima che il buffer sia completamente pieno. Da qui nasce un celebre algoritmo usato per mettere in pratica questo schema: **RED** (Random Early Detection).

Red fa in modo che i router scartino i pacchetti prima che la situazione diventi senza speranza (early). Per stabilire quando è il momento giusto per iniziare a scartare i pacchetti, i router mantengono una media mobile delle lunghezze delle code. Quando la lunghezza media su una linea supera una soglia di guardia allora quella determinata linea è considerata congestionata e prende le dovute azioni di correzione. Il massimo che può fare purtroppo è scegliere un pacchetto a caso dalla coda che ha attivato l'azione difensiva e scartarlo. Per segnalare il rischio di congestione il router potrebbe inviare un choke packet per chiedere la diminuzione di flusso, tuttavia questo congestionerebbe ulteriormente le linee.

Scartando il pacchetto, la sorgente lo invierà nuovamente a causa del mancato acknowledgement.

38.2 Pregi

Risolve le congestioni prima che sia troppo tardi e sia necessario scartare pacchetti con il load shedding.

38.3 Difetti

Non può sapere esattamente che pacchetto ha causato il superamento della soglia (di conseguenza non sa chi è il reale mittente), di conseguenza non è il massimo della precisione.

38.4 Ambiti d'uso

Viene utilizzato prevalentemente nelle reti in cui le sorgenti rispondono ai pacchetti perduti rallentando il flusso.
Nelle reti wireless la perdita dei pacchetti è causata dal rumore nella maggior parte dei casi, di conseguenza non si rallenta il flusso e RED è impossibile da utilizzare.

39 Reverse Path Forwarding

I router spesso necessitano di inviare messaggi a molti o a tutti gli altri host. Questi tipi di trasmissioni sono dette trasmissioni broadcast.

L'algoritmo di routing più quotato per questo genere di trasmissioni è sicuramente quello di flooding, in quanto invia i pacchetti a tutte le stazioni vicine (tranne quella da cui ha ricevuto il pacchetto). Un problema di questa tecnica è sicuramente lo spreco di banda e la creazione di troppi pacchetti. Per ovviare a questo problema sono stati creati numerosi algoritmi che cercano di migliorare questo sistema di broadcasting.

39.1 Cos'è?

Con il Reverse path forwarding, il router che riceve un pacchetto controlla se gli è giunto da una linea che normalmente è utilizzata per inviare i pacchetti alla sorgente (ovvero che sia la linea con cammino minimo da lui alla sorgente). In caso affermativo, c'è una forte probabilità che il pacchetto broadcast abbia seguito il percorso migliore dalla sorgente fino a lui, di conseguenza lo copia e lo inoltra a tutte le linee (tranne quella da cui l'ha ricevuto). Se invece il pacchetto broadcast è giunto attraverso una linea diversa dalla preferita per raggiungere la sorgente, il pacchetto viene scartato in quanto è probabile si tratti di un duplicato.

39.2 Pregi

Implementazione facile ed efficiente: non richiede di conoscere la mappa della sottorete, liste di destinazione o mappe di bit per ogni pacchetto.
Previene il problema dell'IP spoofing (falsificazione dell'indirizzo del mittente).

39.3 Difetti

–

39.4 Ambiti d'uso

Strato Network, tecnica usata nei moderni router con lo scopo di assicurare un cammino di pacchetti privi di loop.

40 Quality of Service (QoS)

Un flusso di pacchetti da una sorgente a una destinazione è chiamato, appunto, flusso. Ogni flusso viene regolamentato per il percorso da effettuare e quando effettuarlo, i metodi di gestione della congestione e così via.

40.1 Cos'è?

Ogni flusso ha le sue esigenze, in base all'applicazione che sta servendo, possiamo quindi caratterizzare queste esigenze in quattro parametri primari: affidabilità, ritardo, jitter e banda. Insieme, questi parametri determinano la QoS (Quality of Service), ossia la qualità del servizio richiesta dal flusso.

- **Affidabilità**: nessun bit può essere trasmesso in modo scorretto. Questo obiettivo viene di solito raggiunto creando il checksum di ogni pacchetto e verificandolo alla destinazione. Questo parametro è ricercato da applicazioni tipo la posta elettronica o trasferimento di file, che necessitano di un'alta affidabilità, applicazioni come audio o video possono tollerare errori, perciò non viene elaborato o verificato nessun checksum.

- **Ritardo**: il ritardo dei pacchetti in applicazioni come la posta elettronica o il trasferimento file non è molto sentito, è importante invece in applicazioni come telefonate o videoconferenze.

- **Jitter**: Il Jitter non è altro che la variazione del segnale in modo casuale. Questo può portare ad una ricezione di dati in intervalli irregolari, applicazioni come può essere la posta elettronica o il trasferimento file non sono molto soggette a questo problema. Lo sono invece per applicazioni di login remoto o di streaming video, a causa della variazione casuale della trasmissione, il risultato è terribile.

- **Banda**: ogni applicazione differisce per l'esigenza di banda, posta elettronica e accesso remoto non ne richiede molta, il video in tutte le sue forme invece sì.

Nessuna tecnica è in grado di fornire QoS efficiente e sicura in modo ottimo.

Application Type	Throughput Demand	Latency Tolerance	Jitter Tolerance	Loss Tolerance	Application Type	Throughput Demand	Latency Tolerance	Jitter Tolerance	Loss Tolerance
Email	Low	High	High	High	Video on demand (e.g. YouTube / NetFlix)	High	Medium	Medium	Low
Web browsing	Low	High	High	High					
File transfer (FTP)	Low - High	High	High	High	Voice over IP / WiFi	Low	Low	Low	Low
Chat (IM)	Low	Medium	Medium	Medium	Videoconferencing (e.g. Skype, FaceTime)	Medium - High	Low	Low	Low
Video streaming (e.g. surveillance)	Medium - High	Medium	Medium	Medium					

41 Leaky bucket, pregi e difetti

Quando ci si scambia pacchetti nella rete, serve un modo per controllare il flusso; per delimitare banda e velocità di trasmissione si può utilizzare l'algoritmo leaky bucket, un sistema di accodamento a singolo server con tempo di servizio costante.

41.1 Cos'è?

Questo algoritmo si basa sull'idea del secchio che perde attraverso il quale qualsiasi quantità d'acqua contenuta fluirà all'esterno sempre con la stessa velocità, se l'acqua viene aggiunta troppo velocemente questa supererà in volume la capacità del secchio e straborderà.

Allo stesso modo il leaky bucket è formato da una coda finita. Al suo arrivo, se c'è spazio il pacchetto viene aggiunto alla coda, altrimenti viene scartato. I pacchetti che sono in coda, vengono trasmessi uno alla volta ogni ciclo di clock (se la coda non è vuota). In questo modo si crea un flusso costante di pacchetti a differenza di un flusso casuale, cosi' da limitare congestioni causate dall'invio rapido di molti pacchetti.

41.2 Pregi

Burst di dati che potrebbero congestionare la rete vengono catturati dall'algoritmo che li distribuisce equamente.

41.3 Difetti

Ampie porzioni di risorse di rete non verranno utilizzate quando il volume del traffico è molto basso.
Quando la coda si riempie troppo i pacchetti in eccesso vengono brutalmente scartati.

41.4 Ambiti d'uso

Strato Network. Utilizzato nelle reti a commutazione di pacchetto, per controllare che le trasmissione dei pacchetti siano ben delimitati in banda e velocità di trasmissione.

42 Descrivere il token bucket, pregi e difetti

Per gestire il flusso di pacchetti su una rete è necessario utilizzare algoritmi che permettano un controllo della congestione e che sfruttino al meglio le risorse di rete. L'algoritmo leaky bucket (secchio che perde) gestiva le congestioni, ma purtroppo imponeva un modello di output troppo rigido, che non seguiva la variabilità del traffico.

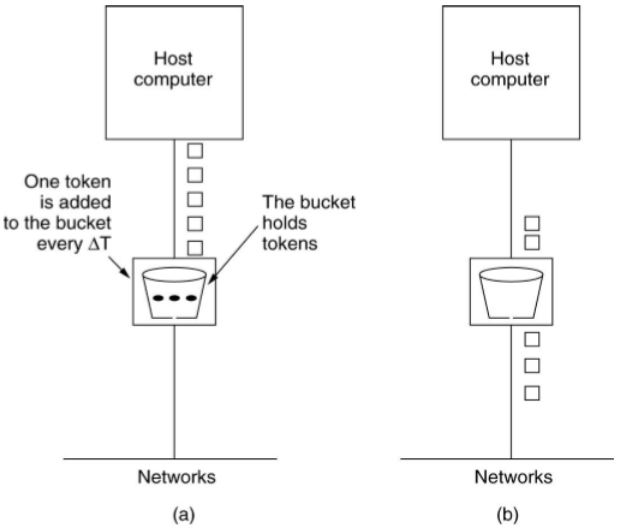
Per molte applicazioni è meglio permettere all'output di accelerare un po' quando ci sono burst di dati, perciò serve un algoritmo più flessibile e che non perda mai dati.

42.1 Cos'è?

L'algoritmo token bucket riprende l'idea del leaky bucket, ma aggiunge dei token, generati da un clock. Un pacchetto per passare deve distruggere un token, se non c'è, attende finché non viene generato dal clock. A differenza del leaky bucket, il token bucket non scarta i pacchetti quando il secchio è pieno.

Se non arrivano pacchetti da inviare, il token bucket accumula i token fino ad un massimo di n. Così facendo si prepara a gestire dei possibili burst di massimo n pacchetti (pari al numero di token), bruciando i token in rapida successione e dando una risposta più veloce a picchi improvvisi.

Per implementare questo algoritmo è necessaria solo una variabile che tenga conto del numero di token, e li diminuisca quando un pacchetto viene inviato.



42.2 Pregi

Al contrario del leaky bucket, usando quest'algoritmo non scarta nessun pacchetto.
Gestisce meglio i burst improvvisi, dando una risposta più veloce.

42.3 Difetti

Un potenziale difetto può essere che consente di trasmettere grandi raffiche di dati, che potrebbero causare congestione. (non sicura).

42.4 Ambiti d'uso

Strato Network, utilizzato per gestire il traffico in una rete dati, finalizzato a regolare l'output di trasmissione.

43 Descrivere l'ARP

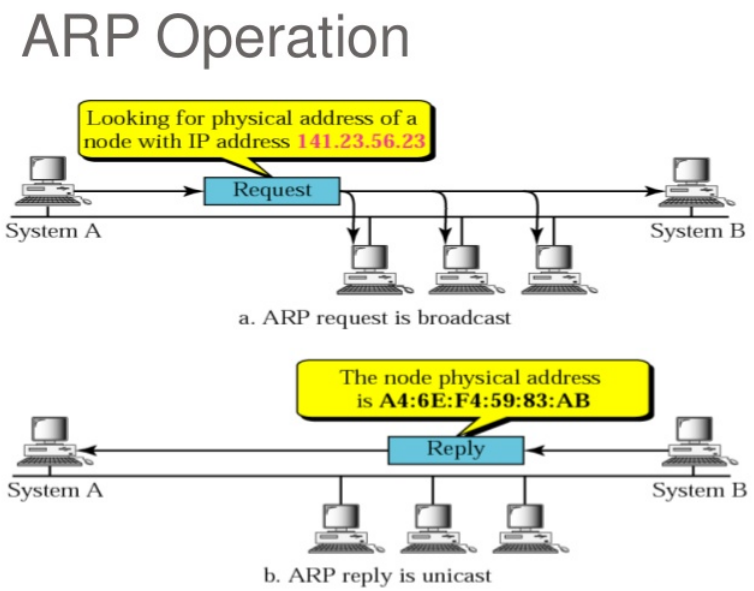
Ogni macchina di Internet ha uno o più indirizzi IP, tuttavia questi non possono essere utilizzati per inviare pacchetti, in quanto l'hardware che opera sullo strato data link non comprende gli indirizzi Internet. Bisogna trovare un modo per associare l'indirizzo Ethernet a 48 bit (indirizzo MAC) con l'indirizzo IP associato.

43.1 Cos'è?

ARP è un protocollo che permette di associare un indirizzo IP all'indirizzo Ethernet in una sottorete (o anche tra più sottoreti utilizzando Arp-proxy). Viene trasmesso un pacchetto broadcast a tutte le stazioni nella sottorete che chiede chi è il proprietario di un determinato indirizzo IP. Le stazioni controllano il proprio indirizzo IP e solo il proprietario di tale indirizzo risponde inviando il proprio indirizzo Ethernet. In questo modo la stazione che cercava un determinato indirizzo riesce a collegare l'IP con il MAC.

A questo punto, il software IP costruisce un frame Ethernet indirizzato al destinatario appena scoperto e inserisce il pacchetto IP nel campo carico utile, dopodiché scarica tutto sulla Ethernet. La scheda Ethernet del destinatario rileva il frame, si accorge di essere la stazione designata della comunicazione, preleva i dati ed estrae il pacchetto IP dal carico utile per passarlo al software IP, il quale verifica la correttezza dell'indirizzo ed elabora i dati. Per migliorare le prestazioni, dopo aver associato degli indirizzi, questi vengono memorizzati nella cache, così, in caso di nuove trasmissioni verso la stessa stazione, si ha già l'indirizzo pronto.

Il vantaggio dell'ARP e' la sua semplicita': il sistemista non deve fare altro se non assegnare un indirizzo IP al terminale (oppure eseguita dal DHCP). ARP si occupa del resto.



43.2 Pregi

Permette la trasmissione di pacchetti ad un host anche senza conoscere l'indirizzo MAC (necessario per instaurare una connessione a livello data-link).

43.3 Difetti

Non autentica le risposte, il che lo rende molto vulnerabile a possibili attacchi.

43.4 Ambiti d'uso

Utilizzato nel protocollo IPv4 e operante a livello di accesso alla rete.
Viene utilizzato tutte le volte che un host collegato ad una LAN deve inviare un messaggio ad un host nella stessa LAN conoscendo solamente l'indirizzo IP.

44 Si descriva DHCP e il suo funzionamento

Con ARP è possibile associare (in una sottorete) l'indirizzo MAC di una macchina conoscendo il suo indirizzo IP. A volte è necessario risolvere il problema inverso: dato un indirizzo Ethernet, qual è il corrispondente indirizzo IP?

È stato creato una possibile soluzione, RARP, che permette di risolvere il problema, tuttavia necessita di installare su ogni router dei server RARP. Per aggirare questo problema si è passati ad un protocollo alternativo BOOTP, che a differenza di RARP utilizza messaggi UDP inoltrati attraverso i router. Purtroppo, questo protocollo necessita una configurazione manuale delle tabelle che associano indirizzi IP e agli indirizzi Ethernet (non è possibile utilizzare BOOTP fino a quando l'amministratore non assegna alla macchina un indirizzo IP e non inserisce manualmente l'associazione del tipo nelle tabelle di configurazione di BOOTP).

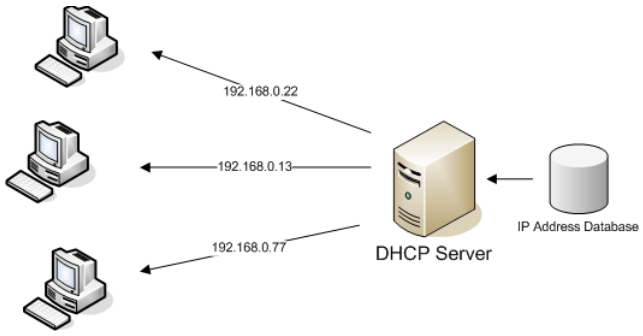
Per risolvere questo problema BOOTP viene esteso e chiamato in modo diverso, cioè DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), che permette un'assegnazione manuale o automatica degli indirizzi IP. Questo protocollo ha ampiamente sostituito RARP e BOOTP.

44.1 Cos'è?

DHCP si basa sull'idea di un server speciale che assegna gli indirizzi IP agli host che ne richiedono uno. Questo server non deve trovarsi sulla stessa LAN, il che comporta che potrebbe non essere raggiunto dalle trasmissioni broadcast, perciò è necessario installare in ogni LAN un agente di inoltro DHCP.

Una macchina appena accesa invia in modalità broadcast un pacchetto DHCP DISCOVER; questo pacchetto viene intercettato dall'agente di inoltro presente nella LAN che provvede ad inoltrarlo al server DHCP che assegna un indirizzo IP alla macchina tramite un pacchetto DHCPOFFER, questa risponde con un pacchetto DHCPREQUEST che viene accettata dal server tramite ACK. Questo avviene nel caso di un singolo server DHCP, potrebbero essercene multipli, in questo caso l'host che necessita di un indirizzo IP valuta le varie proposte, ed invia un pacchetto DHCPREQUEST indicando il server selezionato. L'indirizzo assegnato proviene da una pool di indirizzi IP comuni, un problema causato da questo potrebbe essere la durata di allocazione: se un host abbandona la rete senza restituire l'indirizzo IP questo viene perso per sempre.

Per evitare questa eventualità, gli indirizzi IP sono assegnati secondo una tecnica chiamata di leasing, ovvero a scadenza di tempo. Prima che questo scada l'host deve fare richiesta di rinnovo dell'indirizzo, se non riesce a farla o se viene rifiutata, l'host non può più utilizzare quell'indirizzo IP.



44.2 Pregi

Permette di associare indirizzi IP avendo l'indirizzo MAC di un'host.

44.3 Difetti

Non include nessun meccanismo di autenticazione, il che lo rende vulnerabile a possibili attacchi

44.4 Ambiti d'uso

Protocollo di rete a livello applicativo, utilizzato ampiamente nelle reti odierne.

45 IPV6

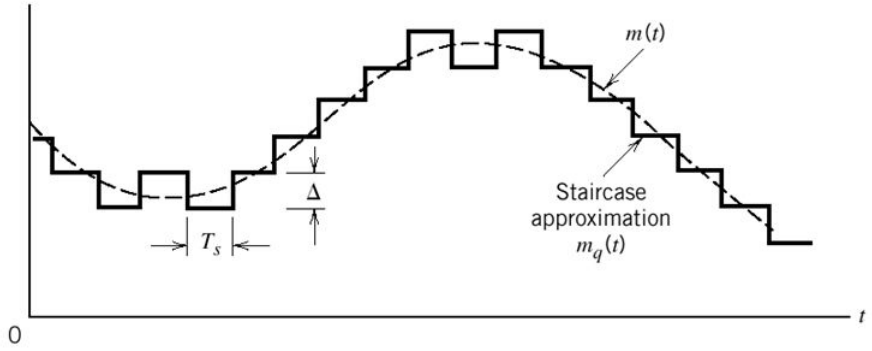
Un indirizzo IP, è un'etichetta numerica che identifica univocamente un dispositivo (host) collegato ad una rete informatica che utilizza l'Internet Protocol come protocollo di rete.

IPv4 (Internet Protocol version 4) è attualmente il protocollo più usato a livello di rete, la sua tecnologia però supporta al massimo 2^32 indirizzi univoci. Inizialmente poteva andare bene, ma con la crescita esponenziale della rete questi iniziano a scarseggiare. Esistono protocolli tipo CIDR e NAT che permettono di sfruttare gli indirizzi IP restanti in modo variabile, così da resistere ancora un po', tuttavia IPv4 ha i giorni contati.

IPv6 è un upgrade dell'IPv4 e conta di risolvere i problemi di numero, in quanto riuscirebbe a gestire 2^128 indirizzi diversi. IPv6 oltre a colmare il problema della quantità di indirizzi migliora e semplifica l'intestazione: infatti prevede solo 8 campi rispetto ai 13 dell'IPv4. Questo consente al router di elaborare i pacchetti più velocemente. Sempre riguardo l'elaborazione dei

pacchetti, IPv6 migliora il supporto per le opzioni, rendendo campi che prima erano obbligatori, opzionali. Un altro grande passo avanti riguarda la sicurezza. E' stata anche data importanza anche al quality of service.

IPv6 e IPv4 non sono compatibili tra loro, ma rimane compatibile con una varieta' di protocolli quali TCP, UDP, ICMP etc.
Tuttavia la rete ormai è basata sull'IPv4 e il passaggio alla versione successiva è lenta e impegnativa, si stanno facendo passi avanti, però rimane la necessità di mantenere entrambi i protocolli almeno per decenni prima di passare alla nuova versione.



45.1 Pregi

Aumenta di molto gli indirizzi gestibili rispetto all'IPv4.
Migliora e semplifica l'intestazione, consentendo una elaborazione di pacchetti più veloce.
Migliora il supporto per le opzioni e migliora la sicurezza.

45.2 Difetti

Non è compatibile con il predecessore, quindi l'introduzione a questo nuovo protocollo è lenta.

45.3 Ambiti d'uso

Protocollo di rete, utilizzato per gli indirizzi di rete.

46 Elencare e descrivere brevemente i secondi (primi) 32b dell'header IPv4 (IPv6)

(sinceramente sta domanda non la capisco faccio entrambe le versioni, poi nella risposta va scelta quella che viene richiesta. inizio con un'intro comune, poi un'intro per IPv4 e una IPv6 (da scegliere), successivamente descrivo in blocco i primi 32b dell'IPv4, seguiti dai secondi 32, poi faccio lo stesso per IPv6, Enjoy).

Un indirizzo IP, è un'etichetta numerica che identifica univocamente un dispositivo (host) collegato ad una rete informatica che utilizza l'internet Protocol come protocollo di rete.

46.1 IPv4

IPv4 è il protocollo più usato e la sua tecnologia può supportare al massimo 2^32 indirizzi univoci, numero che sta iniziando a diventare stretto. Un datagramma IP di questa versione è costituito da una parte di intestazione e una parte di testo. L'intestazione è di 20B fissi e una parte opzionale di lunghezza variabile, consiste in 13 campi.

46.2 IPv6

IPv6 è l'evoluzione dell'IPv4 e conta di risolvere molti dei suoi problemi, può supportare al massimo 2^128 indirizzi univoci. Un datagramma IP di questa versione è costituito da una parte di intestazione e una parte di carico utile. L'header è costituito dai primi 40 byte e contiene 8 campi, il carico utile invece va da un minimo di 1280 byte e arriva fino a 65535 byte (in modalità standard).

46.3 IPv4, primi 32bit

- Version [4 bit]: indica la versione del pacchetto IP; per IPv4, ha valore 4.
- Internet Header Lenght (IHL) [4bit]: indica la lunghezza (in word da 32 bit) dell'header del pacchetto IP; tale lunghezza può variare da 5 word (20 byte) a 15 word (60 byte) a seconda della presenza e della lunghezza del campo facoltativo.

- Type of Service (TOS) [8 bit]: Nelle specifiche iniziali, questo campo avrebbe dovuto specificare il modo e la precedenza con cui l'host ricevente doveva trattare il datagramma; Ad esempio, un host poteva scegliere una bassa latenza, mentre un altro preferire un'alta affidabilità. Nella pratica questo uso del campo TOS non ha preso piede.

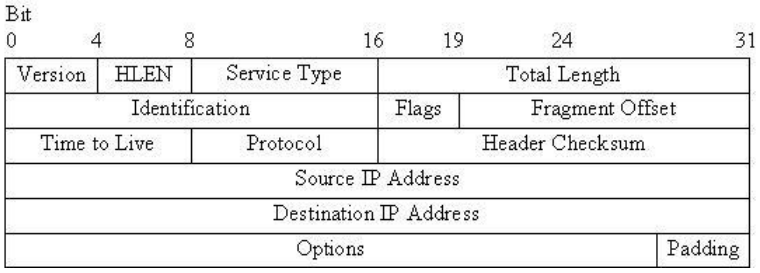
- Total Length [16 bit]: Indica la dimensione (in byte) dell'intero pacchetto, comprendendo header e dati.

46.4 IPv4, secondi 32bit

- Identification [16 bit]: Inizialmente sarebbe dovuto essere utilizzato per identificare in modo univoco i vari frammenti in cui può essere spezzato un pacchetto IP. Sperimentazioni successive però hanno suggerito di utilizzarlo per aggiungere la funzionalità di tracciamento dei pacchetti. Serve per determinare quale datagramma appartiene al frammento appena arrivato (tutti i frammenti di un datagramma hanno lo stesso campo identification).

- Flags [3 bit]: Bit utilizzati per il controllo del protocollo e della frammentazione dei datagrammi. Il primo è Reserved sempre settato a 0 (bit inutilizzato in poche parole), successivamente troviamo DF (Don't Fragment) se settato a 1 indica che il pacchetto non deve essere frammentato, se non è possibile inviarlo senza frammentazione, il pacchetto viene scartato. L'ultimo bit di flag è MF (More Fragments) se settato a 0 indica che il pacchetto è l'ultimo frammento (o il solo frammento del pacchetto originario), perciò tutti gli altri frammenti dello stesso pacchetto avranno MF settato a 1.

- Fragment Offset [13 bit]: Indica l'offset (misurato in blocchi di 8 byte) di un particolare frammento relativamente all'inizio del pacchetto IP originale: il primo frammento ha offset 0, i successivi avranno valore multiplo di 8byte e indica la posizione del frammento nel datagramma. Il valore massimo è pari a 65536 byte.

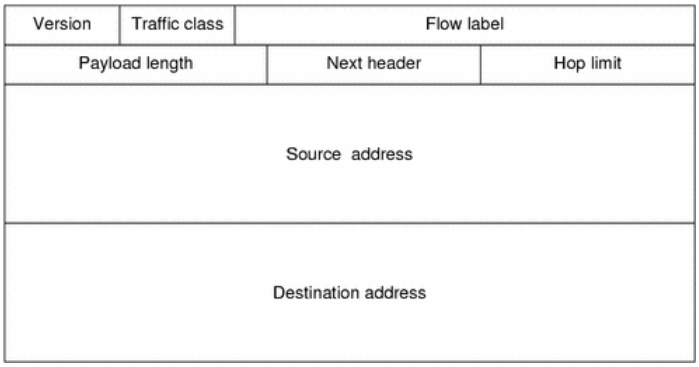


46.5 IPv6, primi 32bit

- Version [4 bit]: Indica la versione del datagramma IP: per IPv6, ha valore 6 (lel).
- Traffic Class [8 bit]: Permette di gestire le code di priorità, assegnando ad ogni pacchetto una classe di priorità rispetto ad altri pacchetti provenienti dalla stessa sorgente. Viene usata anche per controllare la congestione.
- Flow Label [20 bit]: Campo ancora in fase sperimentale, usato dal mittente per etichettare una sequenza di pacchetti come se fossero nello stesso flusso. Supporta la gestione del QoS (Quality of Service) consentendo ad esempio di specificare quali etichette abbiano via libera rispetto ad altre. I pacchetti con flow label diverso da 0 avranno trattamenti speciali dai router.

46.6 IPv6, secondi 32bit

- Payload Length [16 bit]: è la dimensione del payload (carico utile), ovvero il numero di byte di tutto il contenuto presente dopo l'header.
- Next Header [8 bit]: Indica quale tipo di processo di trasporto è in attesa di quei dati (UDP, TCP o altri). Simile al campo protocol dell'IPv4 con cui condivide i valori.
- Hop Limit [8 bit]: Indica il tempo di vita del pacchetto, il suo valore viene decrementato di 1 ogni volta che il pacchetto passa da un router, quando arriva a 0 viene scartato. Simile al campo Time to live presente nell'IPv4.



NOTA: Ripeto che questa domanda alla fine contiene 4(?) domande possibili, bisogna utilizzare i pezzi che vengono richiesti al momento, letta tutta d'un fiato non ha senso, è divisa e si dovrebbe capire il suo contenuto, se non lo capite cambiate esame :P

47 Frame Ethernet

47.1 Cos'è?

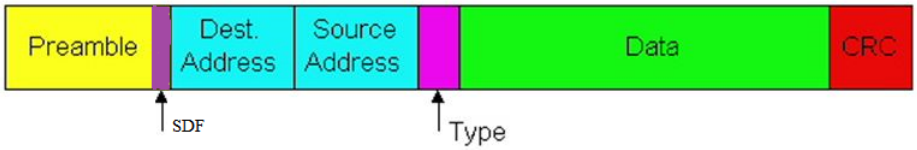
Un frame Ethernet è l'unità trasportata nel livello Data Link. Esistono diverse versioni di questo frame; ora analizziamo la versione IEEE 802.3.

Un frame Ethernet ha una grandezza compresa tra 64 e 1518 byte, ed è formato da:

- Preambolo [7 byte]: contenente 10101010 e serve per sincronizzare il clock del ricevitore con quello del trasmettitore.
- SFD [1 byte]: Start of the Frame, 10101011 indica al destinatario che dal prossimo byte comincerà il frame vero e proprio.
- MAC address di destinazione [6 byte]: Indica l'indirizzo di destinazione, il bit di ordine più elevato vale 0 per gli indirizzi ordinari e 1 per quelli di gruppo. Con gruppo si intende una trasmissione multicast, che differisce dalla broadcast, più rozza ma che non richiede alcuna gestione. Per una trasmissione broadcast basta mettere tutti i bit a 1.
- MAC address sorgente [6 byte]: indica l'indirizzo sorgente del frame.
- Type [2 byte]: Indica al ricevitore cosa deve fare del frame. Sullo stesso computer si possono usare più protocolli dello stato network

contemporaneamente, questo campo indica il processo a cui passare il frame.

- Dati [da 46 a 1500 byte]: Questo campo contiene i dati veri e propri, non può essere nullo in quanto Ethernet richiede frame lunghi almeno 64 byte (dal destination address al checksum inclusi). Perciò se la parte occupata dai dati è lunga meno di 46 byte il campo successivo viene utilizzato per riempire il frame.
- Pad [0-46 byte]: Come descritto sopra, se il frame dati è inferiore a 46 byte, questo campo provvede a riempire i byte mancanti, cosi che vengano accettati dal protocollo Ethernet.
- Checksum [4 byte]: Contiene codice CRC per il rilevamento degli errori (senza correzione).



48 Si descriva l'header UDP

Lo stato di trasporto è il cuore dell'intera gerarchia dei protocolli. Il suo compito è fornire il trasporto dei dati, affidabile ed efficiente in termini di costi, dal computer di origine a quello di destinazione, indipendentemente dalla rete o dalle reti fisiche effettivamente utilizzate. Nello strato di trasporto ci sono due protocolli principali, che si distinguono dal fatto che uno è orientato alla connessione l'altro è senza connessione (TCP e UDP).
Senza connessione: lo scambio di dati a pacchetto tra mittente e destinatario non richiede l'operazione preliminare di creazione di un circuito su cui instradare l'intero flusso.

48.1 Cos'è UDP?

UDP (User Datagram Protocol) è un protocollo dello stato di trasporto senza connessione. Non gestisce il riordinamento dei pacchetti né la ritrasmissione di quelli persi, il che lo rendono di minor affidabilità rispetto al TCP. In compenso è molto rapido ed efficiente per applicazioni leggere o

time sensitive (audio video real-time). UDP fornisce servizi basilari: Multiplazione delle connessioni tramite assegnazione delle porte e verifica degli errori mediante una checksum inserita in un campo dell'header.

48.2 Header UDP

L'header dell'UDP è cosi formato:

- Source port [16 bit]: identifica il numero di porta sull'host del mittente del datagramma;
- Destination port [16 bit]: identifica il numero di porta sull'host del destinatario del datagramma;
- Length [16 bit]: contiene la lunghezza totale (in byte) del datagramma UDP (header+dati);
- Checksum [16 bit]: contiene il codice di controllo del datagramma, l'algoritmo di calcolo è definito nell'RFC del protocollo (documento con informazioni e specifiche del protocollo).

Infine sono presenti i dati del messaggio.

48.3 Pregi

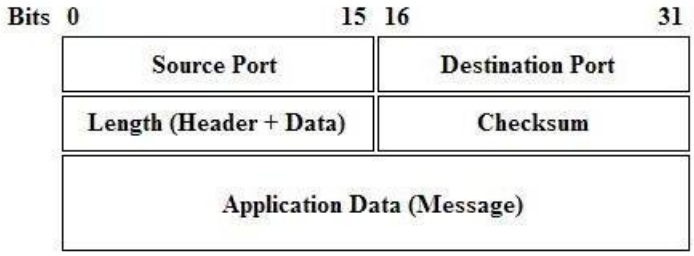
Rapido ed efficiente per applicazioni leggere e che necessitano di velocità di trasmissione.

48.4 Difetti

Non gestisce il riordinamento dei pacchetti e la ritrasmissione di quelli persi. Non da nessuna affidabilità.

48.5 Ambiti d'uso

UDP viene utilizzato dalle applicazioni di rete che sono elastiche riguardo alla perdita dei dati e strettamente dipendenti dal tempo, si usa inoltre per comunicazioni in broadcast (tutti i terminali in una rete) e multicast (tutti i terminali iscritti ad un servizio).



49 Descrivere l'header TCP/IP e commentarlo

Lo stato di trasporto è il cuore dell'intera gerarchia dei protocolli. Il suo compito è fornire il trasporto dei dati, affidabile ed efficiente in termini di costi, dal computer di origine a quello di destinazione, indipendentemente dalla rete o dalle reti fisiche effettivamente utilizzate. Nello strato di trasporto ci sono due protocolli principali, che si distinguono dal fatto che uno è orientato alla connessione l'altro è senza connessione (TCP e UDP).
Orientato alla connessione: I dispositivi utilizzano un protocollo di comunicazione per stabilire una connessione end-to-end tra gli agenti della comunicazione prima della trasmissione di qualsiasi tipo di dato.

49.1 Cos'è TCP?

TCP (Transmission Control Protocol) è il protocollo orientato alla connessione dello strato di trasporto. Si occupa di controllo della trasmissione, di rendere affidabile la comunicazione di dati in rete tra mittente e destinatario.

Contrariamente a UDP, TCP riesce a garantire la consegna dei dati, utilizzando meccanismi di acknowledgment e di ritrasmissione su timeout, al costo però di un maggior overhead (viene usata più banda di quello che servirebbe per i dati) della rete. TCP inoltre possiede funzionalità di controllo di flusso e controllo della congestione (attraverso la sliding window). TCP è solitamente usato in combinazione con il protocollo di livello di rete IP. Erroneamente TCP/IP sono considerati un unico protocollo.

49.2 Header TCP

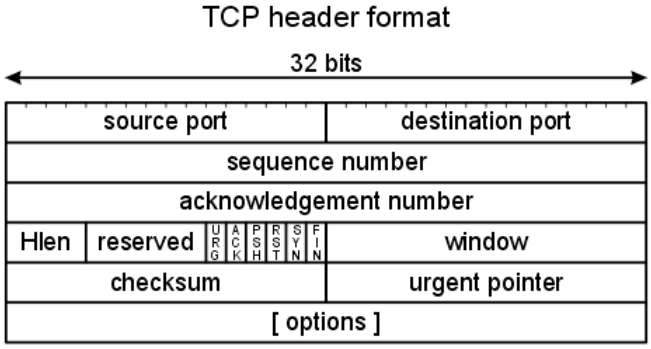
L'header del TCP è formato nel seguente modo:

- Source port [16 bit]: Identifica il numero di porta sull'host mittente associato alla connessione TCP.

- Destination port [16 bit]: Identifica il numero di porta sull'host destinatario.
- Sequence number [32 bit]: Indica lo scostamento (in byte) dell'inizio del segmento TCP interno al flusso completo, a partire dall'ISN (initial sequnce number), negoziato all'apertura della connessione.
- Acknowledgment number [32 bit]: Ha senso solo se il flag ACK è impostato a 1, e conferma la ricezione di una parte del flusso di dati nella direzione opposta, indicando il valore del prossimo Sequence number che l'host mittente del segmento TCP si aspetta di ricevere.
- Data offset [4 bit]: Indica la lunghezza (in word da 32 bit) dell'header del segmento TCP; può variare in base alla presenza e alla lunghezza del campo facoltativo Options.
- Reserved [4 bit] Bit non utilizzati. Predisposti per sviluppi future dell'applicazione.
- Flags [8 bit]: Bit utilizzati per il controllo del protocollo:
  - CWR (Congestion Window Reduced): Se impostato a 1 indica che l'host sorgente ha ricevuto un segmento TCP con flag ECE (prossimo) impostato a 1. QUESTA è NUOVA, NON CREDO SERVA
  - ECN (Explicit Congestion Notification): se impostato a 1 indica che l'host supporta L'ECN durante il 3-way handshake. QUESTA è NUOVA, NON CREDO SERVA
  - URG: Se impostato a 1 indica che nel flusso sono presenti dati URGENTI alla posizione (offset) indicata nel campo Urgent pointer.
  - ACK: Se impostato a 1 indica che il campo Acknowledgment number è valido;
  - PSH: Se impostato a 1 indica che i dati in arrivo devono essere passati subito ai livelli superiori senza che vengano bufferizzati.
  - RST: Se impostato a 1 indica che la connessione non è valida; usato in caso di errore grave; Utilizzato per la reimpostazione della connessione diventata incongruente.
  - SYN: Indica che l'host mittente del segmento vuole stabilire una connessione e specifica nel campo Sequence number il valore dell'ISN; utilizzato per stabilire le connessioni. Chi invia il SYN deve attendere dall'host remoto un SYN/ACK.

  - FIN: Se impostato a 1 indica che l'host mittente del segmento vuole chiudere la connessione TCP aperta con l'host destinatario, chi invia FIN non può più inviare dati, mentre il destinatario ha ancora la linea aperta, dovrà inviare un ACK per chiuderla definitivamente.

- Window size [16 bit]: Indica la dimensione della finestra di ricezione dell'host mittente, cioè il numero di byte che il mittente è in grado di accettare a partire da quello specificato nell' Acknowledgment number.
- Checksum [16 bit]: Campo di controllo utilizzato per la verifica della validità del segmento. L'algoritmo di checksum somma semplicemente i complementi a uno delle parole di 16 bit e quindi calcola il complemento a uno della somma. Quando il ricevente esegue il calcolo sull'intero segmento (compreso il checksum) il risultato dovrebbe essere 0.
- Urgent pointer [16 bit]: Puntatore a dato urgente, ha senso solo se il flag URG è impostato a 1, indica lo scostamento in byte a partire dal Sequence number del byte di dati urgenti all'interno del flusso.
- Options: opzioni facoltative per usi del protocollo avanzati.
- Data: Rappresenta il carico utile (payload) da trasmettere.



49.3 Pregi

Possiede funzionalità di controllo di flusso e controllo della congestione (attraverso la sliding window). Da grande affidabilità nel trasporto di pacchetti nella rete.

49.4 Difetti

Utilizza molta banda per fornire tutte le feature, feature che per molte applicazioni non sono utili, con conseguente spreco di banda nei loro casi.

49.5 Ambiti d'uso

Strato di trasporto, presente nei terminali. Implementato all'interno del sistema operativo. Usato nella stragrande maggioranza delle applicazioni internet che richiedono una consegna affidabile di pacchetti (che UDP non può garantire).

50 Cos'è il DNS?

50.1 Cos'è?

Protocollo dello strato applicativo, **DNS** (Domain Name System) è un sistema per la risoluzione di nomi degli host in indirizzi IP. L'essenza del DNS è l'invenzione di uno schema di denominazione gerarchico basato su dominio, e di un sistema di database distribuito per l'implementazione di questo schema di denominazione.

Per associare un nome ad un indirizzo IP, un programma applicativo chiama una procedura di libreria chiamata risolutore, passando il nome come parametro. Il risolutore invia un pacchetto UDP ad un server DNS locale, che quindi cerca il nome e restituisce l'indirizzo IP al risolutore, che a sua volta lo restituisce al chiamante. Ora il programma, conoscendo l'indirizzo IP, può stabilire una connessione TCP con la destinazione oppure inviarle i pacchetti UDP.

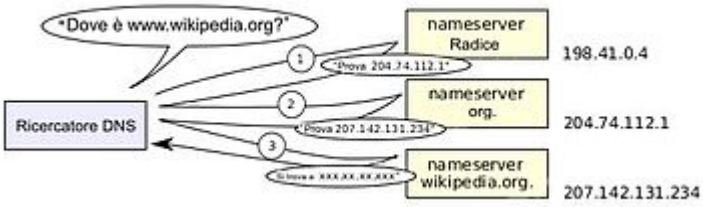
Questa tecnica è utile in quanto l'ampia diffusione di internet anche per utenti non tecnici non è pratica a memorizzare indirizzi IP numerici, per questo modificandoli in nomi testuali sono più semplici da memorizzare e utilizzare.

È possibile inoltre attribuire più nomi allo stesso indirizzo IP (o viceversa) per rappresentare diversi servizi o funzioni forniti da uno stesso host. Una stringa come www.ciaofede.it indica un host a cui ti sei connesso e a sua volta può essere scomposto in tre segmenti distinti:

- It denota il dominio di primo livello;
- Ciaofede è un dominio di secondo livello, cioè il nome che caratterizza questo sito web (insieme a .it).

- www è il dominio di terzo livello ed identifica un particolare host all'interno del dominio ciaofede.it.

Così facendo grazie al DNS è possibile visitare quell'host remoto senza dover scrivere l'indirizzo IP del server, ma scrivendo l'indirizzo testuale e facile da ricordare.



50.2 Pregi

Garantisce una maggior chiarezza per l'utente medio.

50.3 Difetti

–

50.4 Ambiti d'uso

Strato Applicativo.
Utilizzato per la risoluzione di nomi della rete.
Utilizzato molto nei web server, in cui con un singolo indirizzo IP si possono ospitare più siti web.

51 Cos'è un cifrario a sostituzione? E a trasposizione?

Le reti inizialmente venivano utilizzate da ricercatori universitari per scambiarsi e-mail, e dalle aziende per condividere le stampanti, di conseguenza la sicurezza aveva un ruolo marginale.

Oggi le reti sono utilizzate da milioni di persone per fare acquisti, lavorare con la banca o per documenti importanti. Questo fa diventare la sicurezza qualcosa di fondamentale e ricercato in quanto sempre più persone malintenzionate cercano di rubare dati sensibili. La crittografia serve a

rendere un messaggio non comprensibile/leggibile a persone non autorizzate a leggerlo.

51.1 Cos'è il cifrario a sostituzione

Per cifrare un messaggio ci sono diverse tecniche, una di queste è il **cifrario a sostituzione** (per cifrario s'intende una trasformazione carattere per carattere, senza considerare la struttura linguistica del messaggio). Uno dei cifrari più antichi che si conoscono è il cifrario di Cesare. Il suo funzionamento cosiste nella sostituzione delle singole lettere dell'alfabeto "shiftate" di k posizioni.

Putroppo il cifrario a sostituzione puo' essere decifrato facilmente: l'attacco si basa sulla statistica del linguaggio naturale, dove un certo gruppo di lettere sono ripetute piu' volte (per esempio in italiano le vocali sono ripetute molto spesso all'interno delle parole).

51.2 Cos'è il cifrario a trasposizione

Il sistema generale sta nel sostituire appunto un carattere/coppie di lettere/sillabe/ecc con altre. Un altro tipo di cifrario è il **cifrario a trasposizione** che riordina le lettere senza mascherarle come fa il cifrario a sostituzione.

Un esempio è la trasposizione colonnare che funziona come segue: tramite una parola chiave si numerano le colonne (alfabeticamente numerate), il testo in chiaro va disposto di seguito sulle colonne. Successivamente si ordinano le colonne in base alla parola chiave, ad ogni lettera viene dato un valore dipendente dal valore della lettera nell'alfabeto, successivamente si riscrive per colonne il testo cifrato.

Purtoppo il cifrario a trasposizione e' vulnerabile: per decifrarlo si puo' provare a indovinare il numero di colonne oppure si possono riconoscere alcune parole all'interno di esso (cosa che poi facilita la decifrazione). Succeccivamente, essendo il testo "mescolato", si procede con la ricostruzione del messaggio in chiaro.

51.3 Differenze tra i due

Le differenze sostanziali tra i due è che nel cifrario a sostituzione l'ordine rimane invariato ma le lettere vengono mascherate, in quello a trasposizione le lettere non vengono mascherate e il testo viene mescolato (secondo opportuni criteri).

52 Si descriva il block cipher

52.1 Cos'è

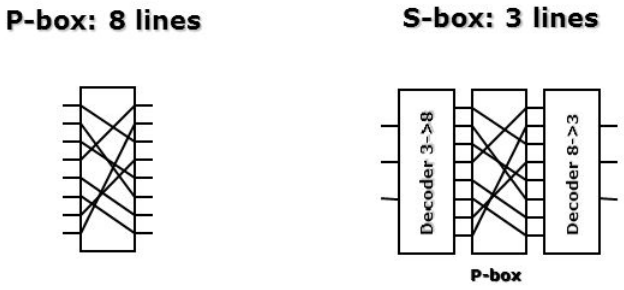
Block cipher è un algoritmo a chiave simmetrica (tecnica di cifratura in cui la chiave è la stessa sia per la crittazione sia per la decrittazione) operante su un gruppo di bit di lunghezza finita organizzati in un blocco. Questo tipo di algoritmi sono composti da due parti, una che cifra (E) e un'altra che decifra (E_1). Dati n bit in entrata in blocco, l'algoritmo cifra n bit in blocco. Per eseguire la crittazione e la decrittazione è possibile implementarli tramite semplici circuiti elettrici, come ad esempio la P-box (scatola di permutazione) o la S-box (scatole di sostituzione).

52.2 P-box

La P-box permette di trasporre 8 bit, se un input è lineare 01234567, l'output è 24506713, ovviamente la P-box lavora alla velocità della luce, in quanto non sono necessari calcoli, però è necessario conoscere la chiave di cifratura (ossia come sono disposti i collegamenti interni della P-box).

52.3 S-box

la S-box invece è un altro tipo di circuito che sostituisce il numero di bit del messaggio, mescolandoli. Se il messaggio in entrata ha m bit, l'output è da n. Ad esempio si ha un input di 8 bit, l'output sarà da 3 bit permutati dagli 8, servirà poi una S-box per decifrare il messaggio e tornare agli 8 bit originali.



52.4 Pregi

Combinati insieme, P-box e S-box, creano un sistema crittografico molto performante.

52.5 Difetti

Singolarmente questi metodi non sono molto affidabili, S-box è molto vulnerabile agli attacchi basati sul tempo.

52.6 Ambiti d'uso

Utilizzati in crittografia per cifrare blocchi di dati (a differenza degli algoritmi di flusso che cifrano un solo elemento alla volta).

53 Si descriva l'algoritmo DES e triplo DES

53.1 Cos'è DES?

DES (Data Encryption Standard) è un algoritmo di cifratura scelto come standard, prima dal governo degli Stati Uniti e successivamente è diventato di utilizzo internazionale.

Si basa su un algoritmo a chiave simmetrica (Usa la stessa chiave per la crittografia e per la decrittazione) con chiave a 64bit (solo 56 utili, gli altri 8 sono di controllo). DES è un perfetto esempio di cifrario a blocchi, è un algoritmo che prende in ingresso una stringa di lunghezza fissa di testo in chiaro e, con una serie di operazioni complesse, da in output una stringa di testo della stessa lunghezza.

DES è formato da 19 stadi distinti:

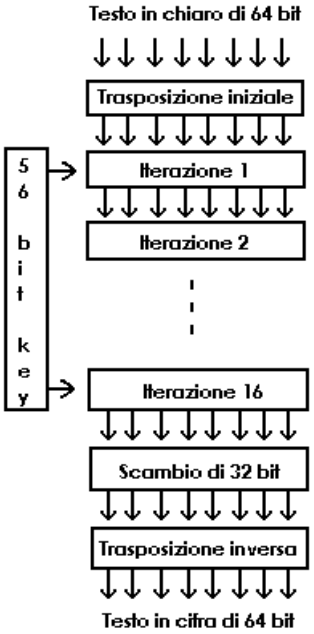
- il primo traspone semplicemente i 64 bit di testo in chiaro, l'ultimo fa il contrario.
- Il penultimo stadio scambia i 32 bit più a sinistra con i 32 più a destra.
- Gli altri 16 stadi sono funzionalmente identici, ma sono parametrizzati da funzioni diverse della chiave.

53.2 Cos'è Triplo-DES?

Per migliorare la complessità dell'algoritmo viene implementato un nuovo metodo chiamato triplo DES. Nel triplo DES vengono utilizzate due chiavi

e tre stadi. Nel primo stadio il testo viene cifrato con il sopracitato DES usando la chiave K_1, nel secondo stadio DES viene usato in modalità di decifrazione usando la chiave K_2. Infine, un'ultima cifratura viene fatta con K_1. È un metodo Encrypt Decrypt Encrypt (EDE). Il metodo EDE è stato scelto in quanto risulta compatibile con i computer che usano la cifratura singola, semplicemente impostando $K_1 = K_2$.

AES (Advanced Encryption Standard) sostituisce triplo DES (quindi anche DES).



53.3 Pregi

Permettono una cifratura a blocchi rispetto al singolo elemento come la cifratura a flusso.
Triplo DES migliora la poca sicurezza del DES.
Triplo DES è compatibile con DES grazie alla sua composizione, basta porre $K_1 = K_2$.

53.4 Difetti

A causa della dimensione ridotta della chiave (64 bit) DES non è molto sicuro.

Usando questi metodi crittografici un testo in chiaro produrrà sempre il medesimo testo cifrato.
Entrambi soffrono di una prestazione software.
Entrambi gli algoritmi sono stati sostituiti da AES.

53.5 Ambiti d'uso

Nell'ambito della crittografia, stanno cadendo in disuso a causa delle scarse prestazioni, sostituiti da AES.

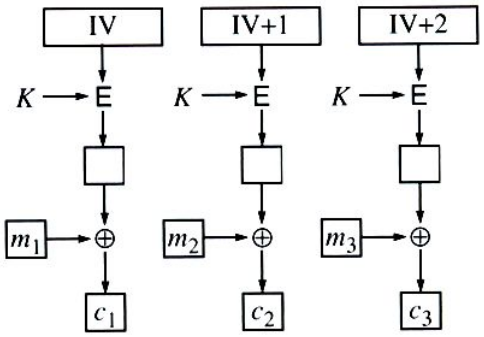
54 Counter Mode Cipher

54.1 Causa della creazione

La maggior parte delle tecniche di cifratura hanno il problema di rendere impossibile l'accesso casuale ai dati. Questo è un problema quando ad esempio si va accede ad un file su disco in ordine non sequenziale (random), se il file è cifrato con il cipher block chaining (tecnica che cifra i blocchi basandosi sui blocchi precedenti) allora bisogna prima decifrare tutti i blocchi precedenti, questo può diventare inutilmente oneroso.

54.2 Cos'è?

Per questo motivo è stata creata la modalità contatore. In questo caso il testo in chiaro non viene cifrato direttamente; si cifra invece un vettore d'inizializzazione (IV) con una costante (K), successivamente il risultato viene messo in XOR con il testo in chiaro. Si incrementa di 1 il vettore d'inizializzazione ad ogni blocco, diventa facile riuscire a decifrare un blocco in qualunque posizione esso si trovi, senza decifrare prima i suoi predecessori.



54.3 Pregi

Permette la decifratura di blocchi di dati in ordine non sequenziale, non necessita quindi di decrittare tutti i blocchi a lui precedenti.

54.4 Difetti

Se si utilizza la stessa chiave e lo stesso IV per due differenti messaggi, avendo i due messaggi cifrati è possibile bypassare la sicurezza facendo lo XOR dei due messaggi, ottenendo la chiave.

54.5 Ambiti d'uso

Viene utilizzato nella cifratura come alternativa agli algoritmi che cifrano i dati basandosi su blocchi precedenti.
Utile ad esempio se si necessita di effettuare ricerche non sequenziali dei dati.

55 Cipher block chaining

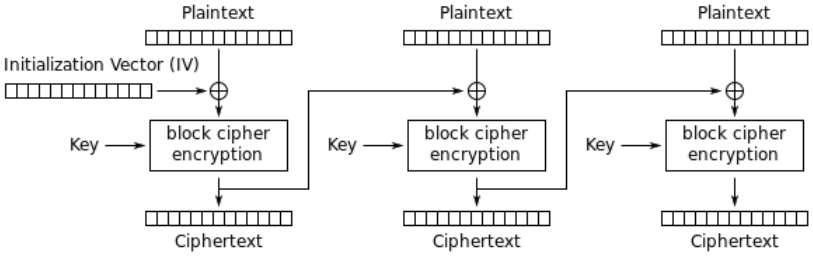
DES, triplo DES e AES, utilizzano un cifrario a sostituzione monoalfabetica che usa caratteri lunghi. Usando sempre la stessa chiave, ottenendo sempre blocchi di testo cifrato uguali (per testo in chiaro uguale), risulta semplice (con un po' di forza bruta) compromettere la sicurezza dei blocchi cifrati con queste tecniche.

55.1 Cos'è?

Un modo per evitare questo problema è collegare tutti i blocchi cifrati in modo diverso, questa tecnica è chiamata Cipher block chaining. In questo metodo, ogni blocco di testo in chiaro è messo in XOR con il precedente blocco cifrato prima di eseguire la cifratura vera e propria.

Così facendo a blocchi di testo in chiaro uguali non corrispondono più blocchi di testo cifrato identici. Per il primo blocco di questa catena lo XOR viene calcolato con un blocco di dati casuali (vettore di inizializzazione IV), che è trasmesso (in chiaro) insieme al testo cifrato.

Questo metodo rende la criptoanalisi più difficile, con un grande incremento di sicurezza. Un problema è il fatto di rendere impossibile la decrittazione di un blocco in maniera casuale senza prima aver decrittato tutti i blocchi precedenti. Problema risolto dal counter mode cipher.



55.2 Pregi

Migliora il problema dei cifrari che utilizzano sempre la stessa chiave (DES/TRIPLODES/AES), ovvero il problema di generare sempre blocchi uguali per testi uguali.

55.3 Difetti

Per decifrare un blocco in mezzo al flusso bisogna prima decrittare tutti i blocchi a lui antecedenti.

55.4 Ambiti d'uso

Nell'ambito della cifratura, viene utilizzato quando è necessario un livello di sicurezza maggiore rispetto a AES, in quanto produce testo cifrato diverso per blocchi di testo in chiaro uguali.

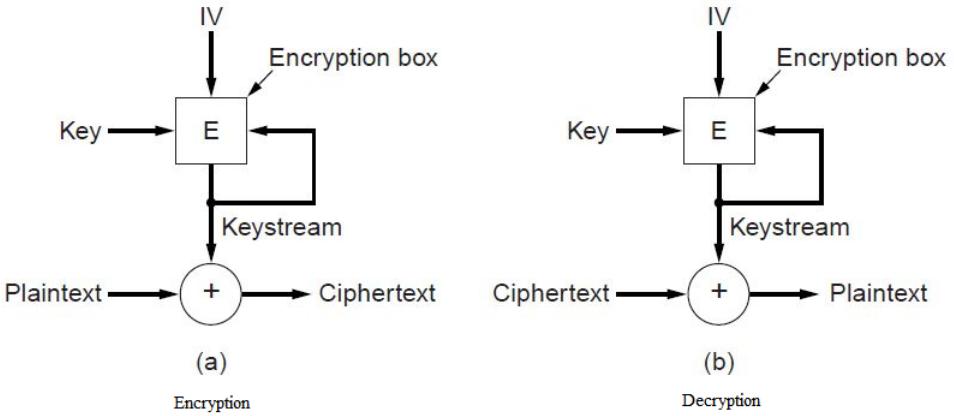
56 Stream cipher

56.1 Cos'è?

Una variante dei cifrari a blocchi è stream cipher (cifrario di flusso). Questa tecnica sfrutta un vettore di inizializzazione (IV) e una chiave, cifrate insieme generano un keystream che è indipendente dal testo in chiaro, successivamente si può cifrare nuovamente il keystream con la chiave, un numero arbitrario di volte per ottenere keystream differenti, con la quale poi verrà cifrato il testo in XOR. Per la decrittazione viene eseguita generando lo stesso keystream dal lato del ricevente.

Questa tecnica permette un'alta elasticità agli errori, in quanto la keystream non dipende dai dati e su di essa si basa la cifratura di ogni blocco, di conseguenza un errore nel testo in chiaro vale come un errore nel testo cifrato (problema che riguardava il cipher block chaining).

Tuttavia, per utilizzare al meglio questa tecnica, IV e chiave non devono mai essere riutilizzati, altrimenti si genererebbe più volte lo stesso keystream, stessa cosa vale per la cifratura, non va mai utilizzato lo stesso keystream per cifrare un testo, altrimenti si viene esposti al problema del tipo keystream riutilizzato.



56.2 Pregi

Garantisce alta elasticità agli errori.

56.3 Difetti

Ha il rischio di keystream riutilizzato se non si sta attenti.

56.4 Ambiti d'uso

Utilizzato per cifrare dati in applicazioni in cui è necessario che un bit di errore non rovini 64 bit di testo in chiaro.

57 RSA

57.1 Causa della creazione

Un grosso problema del sistema crittografico è sempre stata la distribuzione delle chiavi. È sempre stato assunto che le chiavi di cifratura e decifrazione

fossero le stesse (o derivabili l'una dall'altra), e la chiave doveva essere distribuita a tutti gli utenti del sistema. Qualora un intruso riusciva a rubare una chiave, tutto il sistema andava a rotoli.

Una variante per le chiavi simmetriche (stessa chiave per decifrare e cifrare) è stato dato dalle chiavi asimmetriche (o chiavi pubbliche/private). Questo sistema richiede che ogni utente sia in possesso di due chiavi, una pubblica per la cifratura e una privata per la decifratura, quella pubblica può essere condivisa al mondo, mentre quella privata dev'essere in possesso solo del proprietario. Cosi facendo chiunque può scrivere un messaggio cifrato a chi vuole, basta cifrarlo con la chiave pubblica della persona interessata, la persona interessata poi usera la sua chiave privata per decifrarlo.

57.2 Cos'è?

RSA è un algoritmo di crittografia che cerca di trovare un modo per generare queste chiavi, in modo da renderle impossibili da dedurre tramite calcoli. È considerato un algoritmo molto robusto, il suo maggior svantaggio è che richiede chiavi di almeno 1024 bit per poter offrire una buona sicurezza (contro i 128 bit degli algoritmi a chiave simmetrica) il che lo rende abbastanza lento. Si basa su alcuni principi di teoria dei numeri che si possono riassumere in quattro punti:

- Si scelgono due numeri primi, p e q (tipicamente di 1024 bit)
- Si calcola n=p*q e z=(p-1)*(q-1).
- Si sceglie un numero primo relativamente a z, detto d.
- Si trova e tale che e*d=1 mod z.

Si divide il testo in chiaro, P, in modo che $0 \leq P < n$. Per cifrare il messaggio P, calcoliamo $C=P^e \pmod n$. Per decifrare C calcoliamo $P=C^d$. Questo si può fare perché le funzioni di cifratura e decifrazione sono una l'inverso dell'altra. La chiave pubblica quindi consiste nella coppia (e,n) mentre quella privata consiste in (d, n).

La sicurezza del metodo è basata sulla difficoltà di scomporre in fattori i numeri molto grandi.

57.3 Pregi

Algoritmo molto robusto, che permette lo scambio di chiavi con una sicurezza quasi assoluta.

57.4 Difetti

Richiede chiavi di almeno 1024 bit, il che rende l'algoritmo molto lento.

57.5 Ambiti d'uso

Viene utilizzato per lo scambio dati con persone sconosciute.

58 Si descriva la tecnica di attacco Birthday attack

58.1 Firme digitali

L'autenticità di molti documenti legali, finanziari ecc. è basata sulla presenza o assenza di una firma autografa autorizzata. Per questo esistono le firme digitali. Grazie a queste si può verificare l'autenticità di un documento. Queste firme si basano su protocolli crittografici comunemente utilizzati.

Per generare una firma digitale vengono utilizzate delle funzioni di hash, tra queste la funzione MD (message digest) che ha 4 importanti proprietà:

- È facile calcolare MD(P) (P messaggio).
- Da MD(P) è praticamente impossibile trovare P.
- Dato P, nessuno è in grado di trovare P' tale che MD(P')=MD(P). (non è possibile trovare un testo la cui cifratura è uguale alla cifratura di un altro testo.
- Se l'input cambia anche solo di 1 bit, l'output diventa completamente diverso.

Grazie a queste proprietà la firma diventa estremamente sicura e può far da garante per documenti importanti.

58.2 Cos'è il birthday attack

Il birthday attack è un esempio per dimostrare che, per forzare una MD di m bit, bastano solamente $2^{m/2}$ operazioni. L'idea per quest'attacco viene da una tecnica che i professori di matematica usano spesso nei corsi di matematica: Quanti studenti ci devono essere in una classe perché la probabilità che due persone abbiano lo stesso compleanno superi il 50%? (23). Con 23 persone possiamo formare (23*22)/2=253 coppie differenti, ognuna ha

probabilità 1/365 di essere quella buona, di conseguenza la percentuale di possibilità supera facilmente il 50%.

Generalizzando questa idea: Se c'è una funzione fra input e output con n valori di input e k possibili valori di output, ci sono n(n-1)/2 coppie di input. Se n(n-1)/2>k la possibilità di avere una coppia con lo stesso output è decisamente alta: Per avere due output uguali basta avere n>$\sqrt{k}$. Tutto questo significa che un MD di 64 bit, può essere forzato, con buona probabilità, generando 232 messaggi e cercandone due con lo stesso MD.

59 Sicurezza in 802.11

59.1 Cos'è?

Lo standard 802.11 (standard di trasmissione per le reti WLAN (Wireless LAN)) prescrive un protocollo per lo strato data link, questo protocollo è chiamato WEP (Wired Equivalent Privacy) il cui scopo è portare sulla LAN wireless la stessa sicurezza di quella cablata.

59.2 Come funziona

WEP utilizza uno stream cipher (cifratura di flusso a chiave simmetrica) basato sull'algoritmo RC4 per cifrare i dati e CRC-32 (controllo a ridondanza ciclica) per verificare l'integrità. Nel WEP, RC4 è utilizzato per generare un keystream che viene applicato in XOR al testo in chiaro per produrre il testo cifrato. La keystream è generata partendo da un vettore di inizializzazione (IV), vettore che deve essere cambiato ad ogni invio per mantenere alta la sicurezza. Il suo funzionamento è il seguente:

- Viene calcolato il checksum del payload utilizzando il CRC-32.
- Il checksum viene aggiunto al payload per formare il testo in chiaro.
- Al testo in chiaro (payload+checksum) viene applicato in XOR una parte del keystream pari alla sua lunghezza. Il risultato è il testo cifrato.
- L'IV utilizzato per inizializzare il keystream RC4 viene inviato insieme al testo cifrato. Quando il destinatario riceve il pacchetto:
- Estrae il payload cifrato.
- Genera il keystream a partire dalla chiave segreta condivisa e l'IV ricevuto.

- Calcola lo XOR fra il testo cifrato e il keystream ottenendo il testo in chiaro
- Verifica il checksum per vedere se ci sono state manomissioni.

Purtroppo, questo sistema non è molto affidabile, in quanto l'IV facilmente si ripete, generando il pericolo del riutilizzo del keystream e rendendo tutte le transazioni a rischio di letture indesiderate. WEP è stato già sostituito da nuovi sistemi più sicuri.

59.3 Pregi

Provvede una sicurezza basilare

59.4 Difetti

Non è per nulla affidabile visto che l'IV si ripete generando il pericolo di riutilizzo del keystream.

59.5 Ambiti d'uso

Ormai obsoleto, viene sostituito da sistemi più sicuri.

60 Si descriva la sicurezza di Bluetooth

Rispetto a 802.11, Bluetooth ha un raggio d'azione considerevolmente minore, tuttavia necessita di un buon grado di sicurezza. La sicurezza in Bluetooth è divisa in 3 modalità diverse, che vanno da nessuna sicurezza a una completa sicurezza dei dati e controllo dell'integrità. Generalmente la sicurezza bluetooth è tenuta disabilitata.

60.1 Livelli di sicurezza

La sicurezza Bluetooth inizia quando un nuovo dispositivo slave chiede un canale al master. Questo controllo viene effettuato tramite passkey, generalmente salvate in entrambi i dispositivi e scambiate al momento del collegamento. Altre volte è una chiave interna ad un dispositivo che va poi inserita all'interno di un altro sotto forma di numero decimale. Quando si stabilisce un canale, master e slave controllano se l'altro conosce la passkey, in caso affermativo negoziano se il canale dev'essere cifrato e/o se bisogna

effettuare il controllo di integrità. La cifratura usa uno stream cipher (cifratura a flusso a chiave simmetrica) e per il controllo d'integrità usa Safer+ (altro cifrario a blocco con chiave simmetrica).

Un altro problema di bluetooth è che autentica solo i dispositivi, e non gli utenti, quindi il furto di un dispositivo bluetooth lascia l'accesso a tutti i dati del proprietario precedente. Bluetooth implementa però la sicurezza anche in strati superiori al data link, tipo con password o PIN per completare la transazione.

60.2 Pregi

Diverse modalità di sicurezza, sicurezza implementata in diversi strati per mantenerla alta.

60.3 Difetti

Questo sistema di sicurezza purtroppo non protegge nel caso di furto del dispostivo.

60.4 Ambiti d'uso

Utilizzato nelle connessioni bluetooth.

61 La tecnica di attacco reflection attack

61.1 Cos'è?

Il reflection attack è una tipologia di attacco informatico che sfrutta delle falle nei protocolli di autenticazione (servono per autenticare l'identità in caso di scambio di messaggi) cercando di simulare diverse entità.

In questa tipologia di attacco sono necessari due interlocutori, A e B, e dev'essere aprire più conversazioni contemporaneamente con la vittima (B). C , il nostro malintenzionato, seguendo alcune procedure e scambi multipli riesce a simulare l'identità di A, imbrogliando B, e potenzialmente aver accesso a tutte le conoscenze private di A che conosce B. (immaginando che B sia una banca, C che finge di essere A, ha libero accesso ai suoi soldi, non è proprio una cosa carina).

61.2 Regole per evitarlo

Questo attacco porta a generare 4 regole per la buona riuscita di un protocollo di autenticazione:

- Fare in modo che chi inizia l'autenticazione provi la sua identità prima che lo faccia chi risponde.
- Far si che entrambi gli interlocutori utilizzino chiavi differenti per provare la propria identità.
- Far si che gli interlocutori usino (per le richieste) numeri presi da insiemi diversi.
- Rendere il protocollo resistente a attacchi che coinvolgono una seconda sessione parallela.

Se anche una sola di queste regole viene meno, il protocollo può essere forzato.

62 Replay attack

62.1 Cos'è?

Il replay attack è una tipologia di attacco informatico che sfrutta le falle nei protocolli di autenticazione (servono per autenticare l'identità in caso di scambio di messaggi), cercando di simulare diverse identità e potenzialmente rubare dati.

Simile all'attacco Man-in-the-middle il replay attack consiste nell'impossessarsi di una credenziale di autenticazione comunicata da un host ad un altro, e riproporla successivamente simulando l'identità dell'emittente. La differenza con il Man-in-the-middle sta nell'asincronia dell'operazione: mentre in MITM le operazioni avvengono in tempo reale, nel replay attack l'azione fraudolenta può essere eseguita anche a distanza di giorni.

Un esempio si ha quando A invia una richiesta di bonifico alla propria banca (B), C intercetta i messaggi e li salva. Dopo un certo tempo C rispedisce gli stessi messaggi a B. B, credendo di parlare con A, esegue le istruzioni.

62.2 Metodi per evitarlo

Esistono diversi metodi per impedire questo tipo di attacchi, uno è inserire un timestamp ai messaggi, cosi da evitare una ritrasmissione futura (vul-

nerabile, in quanto qualsiasi finestra temporale si metta per la validità dei messaggi, C può sempre sfruttarla). Un secondo metodo è inserire dei nonce (numero casuale che ha un utilizzo unico) nei messaggi, così da scartare messaggi con lo stesso nonce (il problema qui sta nel fatto che i nonce vanno ricordati PER SEMPRE, nel caso di perdita si diventa vulnerabili ad attacchi).

63 Algoritmo Diffie-hellman

63.1 Cos'è?

Chiamato anche scambio di chiavi Diffie-Hellman, è un protocollo crittografico che consente a due entità di stabilire una chiave condivisa e segreta, utilizzando un canale di comunicazione pubblico (a rischio di attacchi), senza che le due parti si siano scambiate informazioni o si siano incontrate in precedenza.

A e B devono mettersi d'accordo su due numeri grandi, n e g, in cui n e (n-1)/2 sono primi. Questi numeri possono essere pubblici, possono essere scelti entrambi da A o da B e poi riferiti all'altro in caso di necessità. A e B ora scelgono due numeri grandi e li tengono segreti , x e y per comodità. A questo punto A inizia la conversazione inviando a B un messaggio contenente (n, g, g^x mod n). B risponde inviando a sua volta un messaggio contenente g^y mod n. A prende il numero ricevuto da B e lo eleva alla x, mod n = $(g^y mod n)^x$ mod n. B fa una cosa simile per ottenere $(g^x mod n)^y$ mod n. A questo punto grazie alle regole dell'aritmetica entrambe le espressioni valgono g^{xy} mod n. A e B utilizzano questa come chiave segreta condivisa. Un possibile intruso non riuscirebbe a carpirla nemmeno se avesse ascoltato i messaggi in quanto non conosce le chiavi segrete di A e B.

Il problema dell'algoritmo sta nel fatto che B non può effettivamente sapere che è A a inviare la tripla iniziale, a causa di ciò, l'algoritmo diventa facilmente vittima del man-in-the-middle, una persona C se si mette tra i due e ascolta le conversazioni può simulare di essere sia A che B.

63.2 Pregi

Scambio di chiavi sicuro in canale di comunicazione pubblico.

63.3 Difetti

Soggetto all'attacco "man-in-the-middle".

63.4 Ambiti d'uso

Algoritmo alla base di numerosi protocolli usati nelle telecomunicazioni che permettono una comunicazione sicura dalla sorgente al destinatario. Usato in TCP/IP.

64 Attacco Man in the middle

64.1 Cos'è?

L'attacco Man-in-the-middle, letterlamente l'attacco dell'uomo in mezzo, è un attacco crittografico nel quale l'attaccante è in grado di leggere, inserire o modificare a piacere i messaggi tra due interlocutori senza che nessuno dei due sospetti qualcosa.

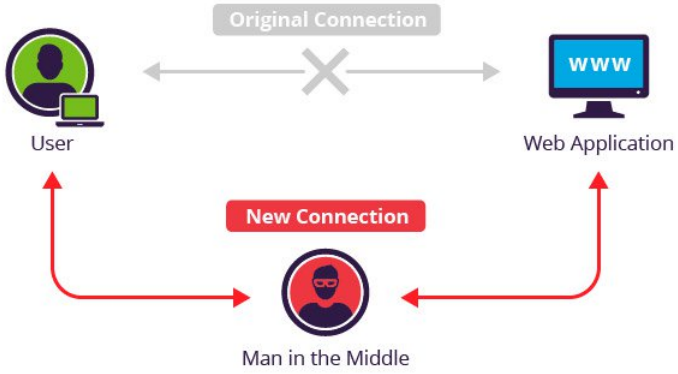
L'attaccante dev'essere in grado di frapporsi tra le due parti e intercettare i messaggi, cosi facendo può simulare la risposta per entrambi. Potenzialmente questo attacco è fattibile verso qualsiasi conversazione che utilizza chiave pubblica.

Un esempio del suo funzionamento è il seguente:

- A e B vogliono comunicare.
- A chiede a B la propria chiave pubblica, B la invia
- La chiave di B viene intercettata da C, da qui inizia l'attacco.
- C invia ad A una propria chiave pubblica, di cui conosce la chiave privata per decrittare, A riceve la chiave pubblica pensando sia di B.
- A cifra i messaggi con la chiave di C (pensando sia di B) e invia i messaggi a B.
- C intercetta i messaggi, li decifra, tiene una copia per se e li recifra (modificati se lo desidera) usando la chiave pubblica che B aveva inizialmente inviato ad A.
- Quando B riceverà il messaggio questo crederà provenga da A.

64.2 Come evitarlo

Una delle possibili difese da questo tipo di attacco è quella di creare un canale di comunicazione secondario, aggiuntivo e sicuro tra i due interlocutori.



65 DNS spoofing

65.1 Cos'è?

DNS spoofing è una tipologia di attacco crittografico, fa parte di una categoria più vasta denominata man-in-the-middle. Gli attacchi di questo tipo consistono nel deviare i pacchetti di una comunicazione tra due host verso un attaccante. Questo attaccante finge di essere il mittente o il destinatario reale e può leggere, inserire o modificare i dati presenti nella conversazione.

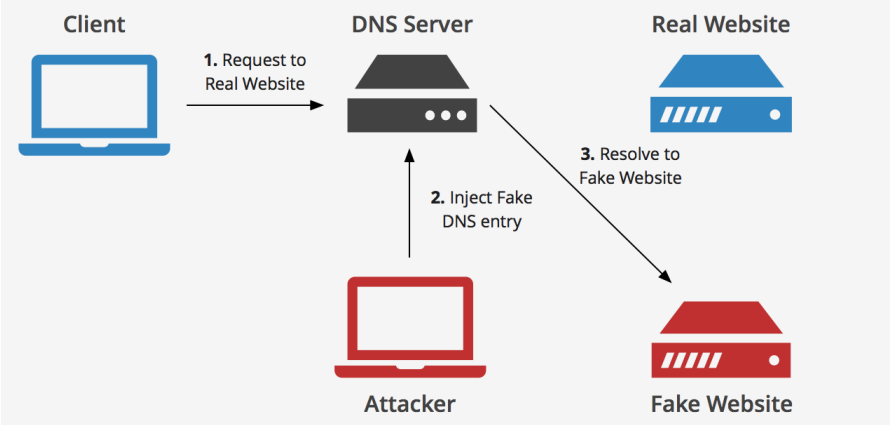
Il protocollo DNS invece ha il compito di trasformare un indirizzo letterale (ad esempio www.fedesimpy.it) in indirizzo numerico o IP (202.159.222.222). Il DNS Spoofing si svolge quindi nel modo seguente:

- La vittima fa una DNS Query
- L'attaccante la intercetta e risponde con una risposta falsa, diversa da quella che sarebbe stata fornita dal DNS.

Lo scopo dello spoofing è modificare la corrispondenza tra indirizzo IP e nome del sito contenuti nelle risposte.

65.2 Possibile soluzione

Una possibile soluzione per rendersi conto di essere sotto attacco è di individuare possibili risposte multiple. Ci sono altri protocolli utilizzabili per evitare questo tipo di manomissione.



66 CIDR - Classless InterDomain Routing

Gli IP sono stati utilizzati intensamente per decenni. Hanno svolto il loro lavoro egregiamente, visto anche dalla crescita esponenziale di internet. Sfortunatamente, gli IP stanno diventando vittima della loro popolarita': si stanno eraurendo gli indirizzi.

66.1 Cos'e'?

Il problema e' che internet sta' esaurendo i propri indirizzi IP: la pratica di organizzare gli spazi degli indirizzi in classi, ne spreca milioni (Classi A,B,C).

La solutione utilizzata al problema, che ha rallentato l'esaurimento degli indirizzi IP, e' CIDR. L'idea base dietro CIDR e' di utilizzare gli indirizzi IP in blocchi di dimensioni variabili, senza considerare le classi: se si necessita di 4000 indirizzi, vengono rilasciati un pool di 4096 indirizzi, utilizzando una maschera che indica quale parte specifica la network e quale gli host. Pero' questa soluzione ha portato un nuovo problema: le tabelle di routing vengono complicate. Ogni valore della routing table e' estesa ad una maschera 32 bit, e con una singola routing table per tutta la rete: quando viene ricevuto un pacchetto, L'IP di destinazione viene estratto e cercato all'interno della tabella riga per riga.

66.2 Pregi

Consente una migliore gestione degli indirizzi ip evitando sprechi.

66.3 Difetti

complica le tabelle di routing.

66.4 Ambiti d'uso

utilizzato nella suddivisione senza sprechi degli indirizzi ip

67 NAT - Network Address Trasnlation

Gli IP sono stati utilizzati intensamente per decenni. Hanno svolto il loro lavoro egregiamente, visto anche dalla crescita esponenziale di internet. Sfortunatamente, gli IP stanno diventando vittima della loro popolarita': si stanno eraurendo gli indirizzi.

67.1 Cos'e'?

Gli ISP per risolvere il problema dello scarseggiamento degli indirizzi IPv4 hanno iniziato ad addottare la NAT, dato che sempre piu' utenti cominciavano ad essere online (e di conseguenza bloccando l'indirizzo IP assegnato dall'ISP) tutto il giorno. La soluzione migliore sarebbe stata quella di usare IPv6, ma dovendo subentrare un quick fix, la soluzione e' stata quella di creare una LAN all'interno dell'edificio (che sia una azienda o casa), dove tutti i pc e server sono connessi ad un router, creando una rete interna indipendente da internet.

A questo e' subentrato il problema dell'ambiguita' degli indirizzi IP, in quanto in internet un indirizzo IP deve essere univoco. A questo problema si e' pensato di riservare 3 gruppi di sottoreti per le LAN interne, una con maschera /8, una /10 e una /16, e di eliminare i suddetti range da internet.

Il router , connesso all'ISP, tramite NAT trasforma i pacchetti con indirizzi interni, in pacchetti da inviare in internet con l'indirizzo ip assegnatogli dall'ISP.

Per quanto riguarda le risposte ricevute, la NAT per riconoscere chi e' il proprietario del pacchetto, e quindi fare la conversione da indirizzo esterno ad indirizzo interno, si serve degli header TCP/UDP nel campo "source port" e "destination port". Insieme, "source port" e "destination port", identificano il proprietario del pacchetto.

In questo modo si e' riuscito a raggruppare sotto un unico indirizzo IP molteplici host.

67.2 Pregi

Permette di raggruppare sotto un unico indirizzo IP assegnato dall'ISP molteplici pc (o terminali) presenti un una sottorete locale. Soluzione adottata per contrastare l'esaurimento degli indirizzi

67.3 Difetti

viola il modello architetturale dell'IP, dato che molti indirizzi non sono piu' univoci (al mondo ci sono milioni di indirizzi 192.168.1.1). Potrebbero esserci conflitti con applicazioni in quanto alcune inseriscono l'indirizzo IP all'interno del body. (un esempio e' FTP, non funziona almeno che non si prendano delle precauzioni quando si utilizza la NAT)

67.4 Ambiti d'uso

Utilizzato all'interno dei router

68 ICMP - Internet Control Message Packet

68.1 Cos'e'?

Il funzionamento di internet e' monitorato strettamente dai router. Quando accade qualcosa, vengono inviati pacchetti ICMP come metodi di avviso per i router. Ce ne sono vari tipi e sono utilizzati anche per testare le performace della connessione tra router. I pacchetti ICMP hanno vari tipi di messaggio, i piu' importanti sono:

- Destinazione non raggiungibile (usato quando un router non riesce a localizzare la destinazione)
- Tempo scaduto (il messaggio viene inviato quando il time to live TTL = 0)
- echo, echo reply ("sei vivo?", "si, sono vivo")
- timestamp request/reply ("sei vivo?", "si, sono vivo" ma con data, usato anche per testare le performace della linea)

68.2 Pregi

Utilizzato per testare le performance della connessione

68.3 Difetti

alcuni pacchetti sono ormai obsoleti perche' la risoluzione al problema viene gestito meglio in altri livelli: source quench ("choke packet") ormai obsoleto perche' il problema della congestione della linea viene gestito meglio nel livello transport

68.4 Ambiti d'uso

Strato network

69 OTP - One Time Pad

69.1 Cos'e'?

OPT e' una tecnica di criptazione che non puo' essere compromessa (a livello matematico): non importa quanta potenza coputazionale si impeghi, non si riuscira' a decifrare il messaggio. Consiste nell'uso di una sola volta di una chiave di lunghezza cauale, lunga quanto il testo, mai riusata interamente o in parte, e tenuta segreta. E' considerata indistruttibile perche' deriva dalla teoria dell'informazione: per ogni testo cifrato, anche se vengono provate tutte le possibili OTP in decrittazione, come risultato si avrebbe testi plausibili di lunghezza eguale, ma senza avere la possibilita' di riconoscere il testo originale perche' non se ne conosce il contesto (considerato indecifrabile a livello matematico. una persona tramite supposizioni ed eventi, che non fanno parte della matematica, potrebbero riuscire a dedurre il testo).

Un possibile utilizzo potrebbe essere stato lo spionaggio, ma OPT ha degli svantaggi. Cominciando dal fatto che la chiave non puo' essere memorizzata e di conseguenza si necessita che mittente e destinatario debbano avere una copia scritta della stessa, in piu' la quantita' di dati che possono essere trasmessi equivale al numero di chiavi in possesso (poiche' non possono essere riutilizzate). Inoltre se il mittende e il destinatario perdono la sincronizzazione delle chiavi, i messaggi diventano incomprensibili dal destinatario.

69.2 Pregi

Non decifrabile matematicamente

69.3 Difetti

Problema per lo scambio/sincronizzazione delle chiavi.

69.4 Ambiti d'uso

Attualmente non utilizzato per la sua scarsa praticabilita', utilizzato nella guerra fredda.

70 Attacchi ciphertext

ci sono vari attacchi di questo tipo, ma per ora e' stato chiesto solo questo

70.1 ciphertext-only attack

Il ciphertext-only attack, conosciuto anche come ciphertext attack, e' un tipo di attacco crittanalitico dove l'attaccante ha accesso ai soli messaggi cifrati. l'attacco viene considerato riuscito se il corrispondente messaggio in chiaro puo' essere dedotto, o ancora meglio, la chiave. E' considerato un successo anche la possibilità di ottenere qualunque tipo di informazione sul messaggio in chiaro come per esempio la lingua in cui e' scritto il messaggio o la sua struttura.
Nell'era moderna un esempio puo' essere l'attacco brute force, dove viene provato a decifrare il testo con molteplici chiavi, fino a riuscire a trovare quella corretta

71 ECB - Electronic Code Block Mode

ultima apparizione nel 2014, vedi pagina 745, oppure pag 575 pdf (entrambi libro versione inglese 4 edizione)

72 IPSec

La IETF (Internet Engineering Task Force) sapeva da anni che internet era carente nella sicurezza (La soluzione migliore sarebbe stata quella di rendere la criptazione e i check di integrita' end-to-end, quindi a livello applicazione, ma questo avrebbe richiesto la modifica dei programmi per renderli sicuri). A questo problema si e' pensato che la criptazione si potesse mettere tra il livello di applicazione e tra il livello di trasporto, cosi' da essere comunque end-to-end in modo tale che non fosse necessario modificare le applicazioni.

Questa operazione di criptazione o autenticazione dei pacchetti deve essere fatta in modo trasparente all'utente, in modo tale da non coinvolgerlo nell'operazione. Il risultato fu' IPSec. l'IPSec richiede che nel suo utilizzo ci sia un metodo di criptazione, ma e' stato scelto di lasciare la possibilita' di non utilizzare alcun algoritmo (null algorithm) perche' e' computazionalmente oneroso. Il design completo per IPSec e' un framework per multipli servizi, in modo tale da essere indipendente dagli algoritmi utilizzati, cosi' che possa vivere anche se un dato algorimo risulta obsoleto o venga aggiunto. IPSec e' "connection oriented": una connessione in contesto IPSec viene chiamata SA (Security Association). SA e' una connessione simplex tra due host.
L'IPSec ha due parti principali:

- Una parte descrive due nuovi header che posso essere aggiunti ai pacchetti che possono portare la security identifier, controllo di integrita' dei dati e altre informazioni
- L'altra parte, ISAKMP (Internet Security Association and Key Management) si occupa dello stabilire le chiavi

E puo essere usato in due modi:

- Transport mode: l'header IPSec e' inserito subito dopo l'header IP
- Tunnel mode: l'intero pacchetto IP viene incapsulato nel corpo di un nuovo pacchetto IP con un nuovo header IP. Il nuovo header e' un AH (authentication header): provvede al controllo dell'inegrita' e alla sicurezza antireply, ma non alla segretezza (nessuna criptazione)

72.1 Pregi

Essendo indipendente dagli algoritmi, il framework puo' vivere anche se un dato algoritmo diventa obsoleto o se ne vengono aggiunti di nuovi

72.2 Difetti

Nel caso della modalita' tunnel, il pacchetto IP ha un header in piu', incrementando la dimensione del pacchetto

72.3 Ambiti d'uso

Operante nel network layer.

73 HMAC - Hashed Message Authentication Code

Facente parte dell'AH (Authentication Header) dell'IPSec, e' un campo di lunghezza variabile che contiene la firma digitale del payload. Quando l'SA (security association: connessione simplex tra due endpoint in cui e' presente un identificatore di sicurezza) e' stabilita, viene stabilito quale algoritmo di firma verra' usato. Normalmente la crittografia a chiave pubblica non viene usata perche' i pacchetti devono essere spediti rapidamente. Siccome la connessione SA e' basata sullo scambio di una chiave per la crittazione simmetrica, la stessa viene utilizzata nella computazione della firma digitale. Un semplice modo e' calcolare l'hash del pacchetto piu' la chiave simmetrica. Uno schema come questo e' chiamato HMAC: e' molto piu' veloce da calcolare che eseguire uno SHA-1 e poi eseguire il risultato nell'RSA. Tramite HMAC è possibile garantire sia l'integrità, sia l'autenticità di un messaggio. Una caratteristica di HMAC è il non essere legato a nessuna funzione di hash in particolare, questo per rendere possibile una sostituzione della funzione nel caso non fosse abbastanza sicura.

A Capitolo 1 - Introduzione

A.1 Tipi di collegamento

Ci sono due tipi di collegamento:

- **Poin-to-Point** - la comunicazione avviene tra due macchine tramite dei pacchetti.
- **Broadcast** - esiste un canale condiviso da tutte le macchine; una volta inviato un pacchetto viene ricevuto da tutti e viene processato solo dalla macchina che ha l'indirizzo indicato nel pacchetto; è possibile anche mandare un pacchetto a tutte le macchine della rete con un codice speciale nel campo indirizzo del pacchetto.

A.2 Classificazione delle reti

Classificazione delle reti in base alla distanza dei processori:

- PAN - Personal Area Network
- LAN - Local (Stanza/Edificio)
- MAN - Metropolitan (Città)
- WAN - Wide (Nazione/Continente)
- Internet (Pianeta)

A.3 Architettura delle reti

L'architettura delle reti è composta da livelli e protocolli. Una rete è organizzata come una pila di livelli i quali offrono servizi ai livelli superiori, senza dare dettagli implementativi.

Un livello di un computer comunica con lo stesso livello di un altro computer. Le entità su uno stesso livello sono detti peer (pari). Tuttavia i dati non passano direttamente da un livello n_A ad un livello n_B, ma dovranno essere passati ai sottolivelli di A per poi risalire i livelli di B.

Le regole e le convenzioni per la comunicazione tra livelli pari sono note come **protocolli** di livello. Un protocollo indica come deve avvenire la comunicazione tra le parti (es: il formato e significato dei pacchetti).

Infine, tra i livelli sono presenti le **interfacce**, che definiscono i *servizi* (cioè un insieme di primitive/operazioni) che il livello inferiore mette a disposizione del soprastante.

In una rete strutturata bene è possibile sostituire l'implementazione di un livello perché quella nuova dovrà solo rendere disponibile al livello soprastante gli stessi servizi della vecchia.

A.3.1 Progettare una rete

I punti chiave da tenere in considerazione quando si progetta una rete sono:

- Affidabilità
  - individuare gli errori e, se possibile, correggerli;
  - trovare un percorso valido tra sorgente e destinatario (routing/instradamento);
- Evoluzione della rete
- Allocazione delle risorse
  - gestire una banda condivisa;
  - impedire che una sorgente veloce inondi un ricevitore lento (flow control) per evitare una congestione;
- Sicurezza della rete

A.3.2 Tipi di servizi offerti da un livello

Un livello può offrire un servizio orientato alla connessione o senza connessione.

Il primo richiede di stabilire una connessione, usarla e rilasciarla una volta terminato. In questo servizio le informazioni inviate mantengono l'ordine di partenza.

Nel servizio senza connessione ogni pacchetto viene mandato al destinatario indipendentemente dai messaggi successivi, quindi non c'è sicurezza che l'ordine sia mantenuto.

Inoltre c'è una questione legata all'affidabilità. Un servizio è considerato affidabile se riceve sempre tutti i pacchetti e di solito avviene tramite una conferma di ricezione. La conferma tuttavia rallenta le prestazioni del servizio, quindi è necessario valutare nei singoli casi se ne vale la pena: ad esempio in un servizio di streaming è più importante la velocità per un servizio più fluido piuttosto che l'affidabilità per una qualità migliore dell'audio/video.

Un esempio di primitive di un servizio orientato alla connessione sono: `Listen, Connect, Accept, Receive, Send, Disconnect`.

A.4 Modelli di reti

Esistono due architetture di rete principali utilizzate come modello: OSI e TCP/IP.
Il primo utilizza 7 livelli:

1. fisico
2. data link
3. rete
4. trasporto
5. sessione
6. presentazione
7. applicazione

Il secondo utilizza 4 livelli:

1. link - livello di accesso alla rete per spedire i pacchetti IP.
2. internet - livello che gestisce l'indirizzamento dei nodi e l'instradamento, assegnando ad ogni nodo un indirizzo IP e indicando il percorso migliore verso il destinatario.
3. trasporto - livello che gestisce la comunicazione, tramite protocollo TCP o UDP.
4. applicazione - livello più vicino all'utente che gestisce le sessioni e la presentazione; alcuni protocolli di questo livello sono HTTP e DNS.

Il libro e il corso utilizza un modello ibrido a 5 livelli:

1. fisico - indica come vengono trasmessi i bits tramite segnali elettrici o simili.
2. link - indica come mandare i messaggi ai computer (es. Ethernet, 802.11).
3. rete - indica come combinare link multipli per spedire pacchetti tra computer distanti
4. trasporto - gestisce la comunicazione, tramite protocollo TCP o UDP.
5. applicazione - programmi che usano il network

B Capitolo 2 - Strato fisico

L'obiettivo dello strato fisico è quello di trasportare i bits da una macchina ad un'altra. Per farlo si possono usare diversi mezzi fisici con proprie caratteristiche. I mezzi di trasmissione possono essere guidati (es: cavi) o non guidati (wireless, satelliti).

Le informazioni possono essere trasmesse su cavi sfruttando proprietà come voltaggio o corrente. Usando questi valori, si può modellare il comportamento del segnale e analizzarlo matematicamente.

B.1 Serie di Fourier e Banda passante

Fourier afferma che una funzione periodica con periodo T può essere costruita come la somma di un numero n di seni e coseni. Da ciò deriva la serie di Fourier, una formula che permette di ricostruire la suddetta funzione periodica. Nel contesto delle reti, un segnale che ha durata finita può essere immaginato come un pattern che viene ripetuto con l'intervallo T e 2T identico all'intervallo 0 a T. In questo modo, conoscendo periodo e ampiezza è possibile ricostruire la funzione del segnale, permettendo un analisi e modellazione più facile del segnale. Il problema è che i mezzi di trasmissione perdono parte della potenza del segnale, generando una distorsione. Un cavo riesce a trasmettere frequenze senza attenuazione in un intervallo che va da 0 a f_c (frequenza di cutoff). Questo intervallo è detto Banda passante (*bandwidth*) e dipende da diversi fattori del mezzo di trasmissione (materiali, lunghezza e spessore di un cavo, ecc). Le frequenze che vanno oltre vengono attenuate. La frequenza di cutoff non è ben definita, quindi di solito si pone l'intervallo da 0 fino alla frequenza dove la potenza del segnale è dimezzata. Questi sono detti segnali baseband. A volte vengono utilizzati dei filtri che possono modificare la banda passante, per esempio alzando l'intervallo da un valore maggiore di zero: è il caso delle trasmissioni wireless. Questi sono segnali passband.

B.2 Mezzi di trasmissione guidati

B.2.1 Mezzi magnetici

I mezzi magnetici sono un comune mezzo di trasporto per dati (cd, dcd, hdd) che in alcuni casi può risultare più conveniente se considerato un rapporto dimensioneDati/tempoTrasferimento. Per esempio può essere più comodo trasportare un camion di hard disk piuttosto che spedire lo stesso quantitativo di dati tramite la rete. Anche se le connessioni stanno diventando sem-

pre più veloci, in alcuni casi i mezzi magnetici possono rimanere la miglior soluzione (sempre da considerare il contesto).

B.2.2 Il doppino

Il doppino è un cavo composto da due conduttori in rame isolati di 1mm, attorcigliati in modo elicoidale (simile al DNA). Questa forma permette di eliminare i campi elettromagnetici che si verrebbero a formare se fossero paralleli. Un segnale è tramesso come differenza di voltaggio tra i due cavi, in modo da evitare i disturbi da rumori esterni(?). L'uso più comune è per il telefono e l'accesso ad internet con l'ADSL. Il doppino può estendersi per chilometri, ma dopo certe distanze è necessario un ripetitore altrimenti il segnale diventa troppo attenuato. Il prezzo del doppino è ridotto e ha una velocità di trasmissione moderata. Si possono usare per segnali sia analogici che digitali e la larghezza di banda dipende dallo spessore del cavo e dalla distanza percorsa, tuttavia è limitata.

Esistono diversi tipi di cavi che utilizzano il doppino, come Cat 3 e Cat 5. Questi consistono in due cavi isolati attorcigliati tra loro, raggruppati con altre coppie (4 totali), ricoperti da una protezione in plastica. La differenza tra le due tipologie sta nel numero di spire per metro: maggior numero di spire significa una maggior qualità del segnale su lunghe distanze. Esistono categorie superiori come Cat 6 e 7 che supportano segnali con una maggiore larghezza di banda (fino a 500 MHz).

B.2.3 Il cavo coassiale

Il cavo coassiale è un mezzo trasmissivo che permette una maggior larghezza di banda (fino a qualche GHz) rispetto al doppino grazie alla migliore schermatura, permettendo di viaggiare a maggiori velocità a lunghe distanze. In particolare, il cavo è composto da un nucleo conduttore in rame, ricoperto da un materiale isolante, il quale a sua volta è ricoperto da un conduttore cilindrico intrecciato (tipo una rete), protetto da una guaina in plastica. Esistono due tipi di cavi coassiali, usati in base al tipo di segnale. Il 50Ω viene usato per i segnali digitali, mentre il 75Ω per i segnali analogici e per la televisione. Questo cavo veniva usato anche nel campo della telefonia, ma ormai sta venendo rimpiazzato dalla fibra ottica. Viene ancora usato per la tv via cavo e per le MAN.

B.2.4 Fibra ottica

Un sistema di trasmissione ottico si basa su una fonte luminosa, un mezzo di trasmissione e un ricevitore. La presenza di luce indica un 1 mentre l'assenza uno 0. Nel caso della fibra ottica, si utilizza una sottilissima fibra di vetro come nucleo, attraverso la quale viaggia la luce. Alle estremità un ricevitore che "legge" i segnali luminosi e li traduce in segnali elettrici. La buona riuscita della trasmissione del raggio luminoso sta negli indici di rifrazione dei componenti della fibra ottica. Grazie ad essi il raggio luminoso rimane nella fibra e continua il suo percorso fino a destinazione. Infatti il core è ricoperto da un rivestimento di vetro (cladding) che ha un indice di rifrazione più basso, e a sua volta è ricoperto da uno strato protettivo in plastica. Di solito le fibre sono raggruppati in fasci, a loro volta protetti da una guaina esterna.

In base allo spessore del nucleo, la fibra cambia il proprio nome. Se un raggio al suo interno è propagato grazie ai rimbalzi della rifrazione, si dice multimodale (50 microns). Se la fibra è abbastanza sottile da far procedere il raggio quasi in linea retta, si dice monomodale (8-10 microns). Quest'ultima è più costosa ma più efficiente sulle lunghe distanze.

Ci sono tre modi per connettere la fibra ottica:

- collegamento della parte finale ad un connettore in apposite prese, con una perdita del 10-20% del segnale luminoso ma una facile riconfigurazione del sistema
- attaccate meccanicamente, cercando di allinearle al meglio, con una perdita del 10% del segnale
- fusione delle due parti, generando una piccola attenuazione

Le fonti luminose possono essere LED (basso data rate, multimodale, low cost) o laser semiconduttori (alto data rate, sia mono che multimodale, costoso).

Il ricevitore che converte il segnale luminoso in elettrico ha un limite di data rate di 100 Gbps. Inoltre l'interferenza termica può risultare un problema, quindi conviene utilizzare raggi luminosi abbastanza potenti da essere rilevati.

La fibra ottica è una tecnologia relativamente recente, di conseguenza non tutti gli addetti hanno le conoscenze necessarie per installarla od utilizzarla correttamente; può anche danneggiarsi se si piega troppo. Inoltre la trasmissione è monodirezionale, quindi sono richiesti due cavi per andata e ritorno, e le interfacce sono più costose.

Tuttavia ha una maggior ampiezza di banda, richiede meno ripetitori (uno ogni 50km contro uno ogni 5 di quelli in rame), il che porta ad un risparmio, è più sottile, richiedendo quindi meno spazio, è più sicura perché non è possibile intercettare la luce ed infine è più adatta ai luoghi inospitali, in quanto subisce meno interferenze.

B.3 Mezzi wireless

B.3.1 Spettro elettromagnetico

Lo spostamento degli elettroni crea onde elettromagnetiche: il numero di oscillazioni al secondo di un'onda è detta frequenza (misurata in Hz), mentre la distanza tra due massimi è detta lunghezza d'onda (indicata da lambda). Un'antenna collegata ad un circuito elettrico riesce a trasmettere onde elettromagnetiche. Nel vuoto le onde viaggiano tutte alla velocità della luce, nei cavi la velocità scende a 2/3 di quella della luce.

Lo spettro elettromagnetico è composto da diversi tipi di onde in base alla frequenza: radio, microonde, infrarosso, luce visibile, ultravioletti, raggi x e raggi gamma. Queste si possono usare per trasmettere segnali; le ultime tre sarebbero le migliori ma non vengono usate per la difficoltà nel generarle e sono dannose per gli esseri viventi.

Di solito si usa una banda di frequenza ristretta per avere una migliore ricezione, ma in alcuni casi si utilizza la banda larga con due varianti:

- spettro distribuito a frequenza variabile (frequency hopping), dove il trasmettitore salta da una frequenza all'altra centinaia di volte al secondo (adottato dal 802.11)
- spettro distribuito a sequenza diretta (direct sequence)

B.3.2 Trasmissioni radio

Le onde radio sono onde a bassa frequenza, facili da generare, che possono viaggiare per lunghe distanze e attraversano facilmente gli edifici. Queste onde sono omnidirezionali, cioè si espandono in tutte le direzioni, quindi non necessitano che il trasmettitore e il ricevitore siano allineati. Le onde radio sono soggette a interferenze da motori e da altri dispositivi elettrici.

A bande basse (VLF, LF, MF), le onde radio seguono il terreno e si possono ricevere fino a 1000km. Le stazioni radio AM usamo le MF che permettono di attraversare facilmente gli edifici. Le bande alte (HF, VHF) sfruttano i rimbalzi contro la ionosfera per ottenere trasmissioni a distanze maggiori.

B.3.3 Trasmissioni a microonde

Sopra i 100MHz le onde viaggiano quasi in linea retta, rendendo possibile la messa a fuoco. Si concentra l'energia in un unico raggio trasmesso tramite un'antenna parabolica, tuttavia è richiesto che sia allineata con l'antenna ricevente. Se da un lato è una limitazione non da poco, dall'altro permette di trasmettere più raggi in parallelo senza interferenze. Quando le antenne sono lontane, entra in gioco la curvatura della terra e sono quindi necessari dei ripetitori. Più sono in alto le antenne, maggiore è la distanza raggiungibile.

Esiste un problema con le microonde. Anche se sono dirette, possono divergere e rifrangere sugli strati più bassi dell'atmosfera, arrivando fuorifase con le dirette, il che può annullare il segnale. L'effetto è detto multipath fading e può essere determinato dalle condizioni climatiche e dalla frequenza. La richiesta di spettro ha portato ad utilizzare frequenze più alte, ma queste hanno il problema di venire assorbite dall'acqua. In entrambi i casi, la soluzione è interrompere la trasmissione in caso di pioggia e utilizzare altri mezzi.

Nonostante questi problemi, le microonde sono molto utilizzate per le comunicazioni telefoniche a lunga distanza, nella telefonia cellulare e nella televisione. Rispetto a mezzi come la fibra, basta una semplice antenna e non è richiesto alcun diritto di passaggio. È inoltre più economica da installare. Esiste però un altro problema, ovvero il bisogno di più frequenze dello spettro. Sono stati stipulati degli accordi per gestire le frequenze utilizzabili (Come? Concorso di bellezza, lotteria, non assegnandole).

B.3.4 Infrarossi

Queste onde sono utilizzate per la comunicazione a cortoraggio (esempio i telecomandi). È un sistema economico ma che non attraversa gli ostacoli solidi. Tuttavia questa limitazione torna comoda in determinate situazioni perché non riuscendo ad attraversare i muri non crea interferenze.

B.3.5 Trasmissioni a onde luminose

La trasmissione utilizzando laser è unidirezionale e richiede quindi due laser e due rilevatori. L'ampiezza di banda offerta è elevata, a costo ridotto e di facile installazione. Tuttavia puntare il laser richiede molta precisione e non posso attraversare pioggia e nebbia. Anche le giornate serene possono creare problemi in quanto il caldo può creare correnti di convezione che deviano il raggio.

B.4 Satelliti

Un satellite è composto da tanti transponder che ascoltano una diversa porzione dello spettro elettromagnetico. Quando riceve un segnale in arrivo, il relativo transponder lo amplifica e lo ritrasmette con frequenza diversa per evitare interferenze. Esistono tre tipi di satelliti in base alla loro posizione: GEO, MEO, LEO.
Vai a ğ4 per il confronto delle tre tipologie.

B.5 Rete telefonica pubblica commutata

Il PSTN, ovvero Public Switched Telephone Network, rete telefonica pubblica commutata, è uno dei sistemi di comunicazione esistenti.

Il sistema telefonico è strutturato secondo una gerarchia multilivello ad alta ridondanza. Da ogni telefono partono due cavi di rame collegati alla centrale locale (la più vicina). Se la chiamata avviene tra due utenti collegati alla stessa centrale, questa crea una connessione elettrica tra i due e rimane aperta fino al termine della chiamata. Se invece i due telefoni sono collegati a due centrali diverse, le centrali locali si collegano con una centrale interurbana che crea la connessione. Se tuttavia non si collegano alla stessa centrale interurbana, cercano di collegarsi a stazioni intermedie di livello superiore.

I collegamenti locali utilizzano il doppino con segnali analogici, mentre le linee utilizzano le fibre ottiche digitali per collegare le centrali di commutazione.

B.5.1 Collegamenti locali

Il collegamento locale, spesso chiamato anche "ultimo miglio", utilizza tutt'ora la trasmissione analogica. Innanzitutto, per spedire dati digitali devono essere convertiti in analogici dal modem. Una volta giunta la centrale, i dati vengono riconvertiti in digitale. Il ricevente farà la conversione inversa. Il segnale analogico viene trasmesso tramite la variazione di tensione, quindi il segnale ricevuto non sarà mai identico, il che può determinare errori. I problemi sono 3:

- attenuazione, rappresenta la perdita di energia causata dalla propagazione del segnale e dipende dalla frequenza
- distorsione, il segnale si modifica a causa della differenza di velocità con cui si propagano i componenti di Fourier attraverso il cavo

- rumore, cioè l'energia indesiderata generata da sorgenti esterne al trasmettitore

Modem Dato che i problemi descritti sopra sono molto legati alla frequenza, conviene che venga utilizzato un intervallo ridotto. I segnali digitali tuttavia usano un ampio spettro di frequenza e sono quindi molto soggetti ad attenuazione e distorsione. Si utilizza come soluzione la trasmissione AC, introducendo un tono continuo, detto portante d'onda sinusoidale, nell'intervallo 1000-2000 Hz. Modulando ampiezza, frequenza e fase si possono trasmettere le informazioni. Nella modulazione d'ampiezza di usano due ampiezze diverse per indicare 1 o 0. Nella modulazione di frequenza si utilizzano due o più toni. Nella modulazione di fase l'onda portante è spostata di 0 o 180 a intervalli uniformi.

Il modem accetta i bit in ingresso e produce la portante utilizzando i metodi di modulazione (e viceversa).

Il numero di campioni al secondo è misurato in baud. Durante ogni baud viene trasmesso un simbolo, quindi una linea a n baud trasmette n simboli al secondo. Questa misura è detta Baudrate, che è diverso dal Bitrate. Il Bitrate indica quanti bit al secondo (bps) vengono trasmessi, mentre il Baudrate indica il numero di simboli trasmessi. Quindi la differenza tra i due è determinato da quanti bit rappresenta un simbolo ed è determinato dalla tecnica di modulazione utilizzata. Se viene utilizzato il voltaggio 0V=0 e 1V=1, allora Bitrate e Baudrate equivalgono, ma se ogni simbolo è composto da 2 o più bit, il Bitrate sarà conseguentemente maggiore. Quando ci sono 4 possibili cambi di fase e quindi un simbolo descrive 2 bit, la tecnica di modulazione è detta QPSK (Quadrature Phase Shift Keying).

Un'altra tecnica di modulazione è la QAM-16, la quale utilizza 4 bit per simbolo (4 ampiezze e 4 fasi). Se vengono utilizzati 5 bit è detta QAM-32, 6 bit QAM-64.

I diagrammi di costellazione indicano le combinazioni valide di ampiezza e fase. Un modem può comunicare solo con altri model che usano la stessa costellazione, ma sono molto soggette ad errori in quanto basta un'alterazione dell'ampiezza o della fase per perdere informazioni. Per risolvere questo problema sono stati introdotti bit di parità per implementare codice di correzione di errori. Questi schemi sono detti TCM (Trellis Coded Modulation). Lo standard V32 usa 4 bit di dati e uno di parità. Il V32 bis usa 6 bit di dati e 1 di parità. Ci sono anche versioni superiori.

I modem moderni permettono la trasmissione bidirezionale utilizzando frequenze diverse. Una connessione che permette di viaggiare **contempora-**

neamente in entrambi i sensi è detta full duplex, mentre half duplex se solo una direzione è supportata. Se permette di viaggiare solo in una direzione è detta simplex (es: fibra ottica).

DSL, Digital Subscriber Line I collegamenti locali che usano il modem si collegano al commutatore con un filtro che limita la frequenza, mentre chi utilizza le tecnologie DLS si connettono ad un diverso commutatore che non presenta il filtro. Quindi il limite non è più il filtro, bensì le proprietà fisiche del mezzo.

Il primo ADSL divideva lo spettro tra:

- servizio telefonico
- upstream
- downstream

La tecnica di divisione è detta multiplexing a divisione di frequenza. Il metodo alternativo è il DMT (Discrete MultiTone), che divide in 256 canali lo spettro. Il canale 0 è per la voce, i canali 1-5 non usati, uno per upstream e uno per downstream, gli altri a disposizione dei dati dell'utente. Quelli liberi per i dati di solito vengono distribuiti secondo il provider tra up e down.

B.6 Linee e multiplexing

Le aziende telefoniche hanno organizzato il sistema per utilizzare un unico collegamento fisico sia per la banda larga che per quella stretta. Per fare ciò viene utilizzato il multiplexing, che si distingue in due tipologie di base:

- FDM: Frequency division multiplexing, dove lo spettro è diviso in bande di frequenza e ogni utente ha a disposizione solo alcune parti
- TDM: Time division multiplexing, dove la banda viene scambiata per intero tra gli utenti per breve tempo

B.6.1 Multiplexing a divisione di frequenza

Prendiamo un esempio con tre canali con filtri che limitano la banda utilizzabile a 3100Hz; quando i canali sono uniti in multiplexing, gli viene assegnata più banda per mantenere separati i canali: in questo caso 4000Hz. Prima dell'unione però vengono aumentate le frequenza in modo diverso, in modo da distinguere i canali e evitare che si sovrappongano quando vengono uniti.

Gli schemi di FDM sono parzialmente standardizzati. Di solito usa 12 canali a 4000Hz uniti in multiplexing nella banda da 60 a 108 kHz. Questa unità è detta gruppo. Si possono raggruppare in multiplexing diversi gruppi, creando supergruppi (5 gruppi) o mastergroup (5 supergruppi).

B.6.2 Multiplexing a divisione di lunghezza d'onda

Questo multiplexing (WDM) è utilizzato per i canali in fibra ottica, dove viene divisa la lunghezza d'onda. Più fibre ottiche che trasportano energia a lunghezza d'onda diversa si uniscono in un'unica fibra condivisa nel combinatore ottico; al termine del cavo condiviso uno splitter divide i segnali in base alla lunghezza d'onda.

Basandosi su un sistema ottico completamente passivo, è più affidabile di FDM.

B.6.3 Multiplexing a divisione di tempo

Poiché i cavi in rame sono ancora molto utilizzati, si deve mettere da parte WDM. FDM richiede collegamenti elettrici analogici e non può essere controllata da computer. Invece TDM può essere gestita interamente da dispositivi elettronici digitali ma può essere usata solo per dati digitali. Di conseguenza la centrale locale deve fare le conversioni analogico-digitale tramite un dispositivo detto codec, il quale elabora 8000 campioni al secondo, la velocità ottimale secondo il teorema di Nyquist. Ogni campione è quantizzato in un numero di 8 bit. Questa tecnica è detta PCM (Pulse Code Modulation).

Quando viene ricreato il segnale analogico, il risultato può non essere esattamente lo stesso a causa della quantizzazione. Per ridurre l'errore i livelli di quantizzazione vengono distanziati secondo una scala logaritmica che assegna più bit ai segnali con bassa ampiezza e meno a quelli più ampi.

Nord America e Giappone usano il metodo della portante T1, mentre gli altri paesi usano la portante E1. T1 ha 24 canali vocali in multiplexing che a turno spediscono 8 bit nel flusso in uscita.

Per la modulazione delta vai a ğ6.

B.7 Commutazione (*Switching*)

B.7.1 Commutazione di circuito

La commutazione di circuito è la tecnica che crea il percorso fisico tra i due telefoni comunicanti. Quando una chiamata arriva ad una centrale di

commutazione, viene stabilita una connessione fisica tra la linea entrante e quella d'uscita della centrale. Questo tipo richiede di configurare il percorso **prima** di iniziare a trasmettere i dati.

B.7.2 Commutazione di messaggio

Questa commutazione non richiede un percorso fisico prestabilito. Quando viene inviato un blocco di dati, questo viene inviato alla prima centrale e vengono instradate un passo alla volta. Ad ogni passo viene controllato che il blocco ricevuto non contenga errori e poi ritrasmesso. Una rete che utilizza questa tecnica è detta *store and forward*. Il blocco può essere di qualsiasi dimensione, richiedendo dischi capaci di memorizzarli temporaneamente, e possono occupare per un tempo considerevole una linea.

B.7.3 Commutazione di pacchetto

Per risolvere i problemi della commutazione di messaggio, si utilizza quella di pacchetto che impone una dimensione massima del pacchetto e si assicura che non occupino per troppo tempo una linea. Un altro vantaggio è che un pacchetto che fa parte di un messaggio può essere mandato prima che finisca di arrivare il successivo. Come per quella di messaggio, non è richiesta la preparazione fisica del percorso prima della trasmissione. I pacchetti possono seguire strade diverse e non arrivare in ordine.

La commutazione di circuito riserva l'ampiezza di banda per tutto il percorso, mentre quella di pacchetto no. Quindi la prima soluzione garantisce il servizio, con spreco di risorse, mentre il secondo no. Anche quella di pacchetto usa la tecnica *store and forward*. Un'altra differenza è che la commutazione di circuito dà libertà di velocità, formato e framing, mentre in quella di pacchetto sono dipendenti dall'onda portante. Ultima differenza riguarda l'addebito: per il circuito dipende da tempo e distanza, per il pacchetto dipende dal volume dei dati.

B.8 Sistema telefonico mobile

B.8.1 Prima generazione - voce analogica

Prima versione: sistema telefonico per auto, che usava un pulsante per attivare il trasmettitore e disattivare il ricevitore. Quindi una sola direzione alla volta.
Seconda versione: IMTS, usa due frequenze, una per trasmettere e una per

ricevere. La frequenza disponibile era limitata, quindi richiedeva del tempo per avere la linea libera.

AMPS è il sistema telefonico mobile avanzato da cui deriva la versione digitale D-AMPS. Un'area geografica è divisa in celle di 10-20Km, ognuna delle quali utilizza frequenze diverse da quelle vicine. Il vantaggio di questa organizzazione è che celle vicine (ma non quelle adiacenti) possono usare le stesse frequenze, a differenza del IMTS che si estendeva per 100Km. Si ottiene quindi una maggiore capacità del sistema e riducendo la grandezza delle celle si riesce ad aumentare ulteriormente la capacità, richiedendo anche meno potenza per i trasmettitori.

Il principale problema è trovare una posizione elevata per le antenne base, che sono gestite dalla stazione base, di solito al centro di ogni cella. La stazione è composta da un computer e un trasmettitore/ricevitore connesso all'antenna. Le stazioni sono collegate a dei commutatori per il mobile, cioè il MTSO (Mobile Telephone Switching Office). Se la rete è piccola si collegano allo stesso commutatore, altrimenti si crea una gerarchia a livelli simile alla rete telefonica cablata. Viene utilizzata la commutazione di pacchetto.

Quando un telefono abbandona una cella perché il segnale di sta affievolendo, la stazione base verifica la potenza del segnale delle celle adiacenti e trasferisce la gestione del dispositivo. Il telefono è informato del cambiamento e se era in corso una chiamata viene forzato a passare su un altro canale. Questo processo è detto **handoff**. Esistono due tipi:

- **soft handoff**, dove la nuova stazione acquisisce la gestione del telefono prima di interrompere il segnale; non c'è perdita di continuità ma il telefono deve essere capace di gestire le due frequenze contemporaneamente (solo la terza generazione di telefoni riesce)
- **hard handoff**, la vecchia stazione rilascia il telefono prima che la nuova lo acquisisca; è un processo abbastanza veloce, ma la chiamata può venire interrotta se la stazione non è in grado di gestire il nuovo dispositivo

AMPS usa 832 canali duplex composti da una coppia di simplex. AMPS usa FDM (Frequency Division Multiplexing) per separare i canali. I canali sono divisi in 4 categorie:

- controllo, dalla base al telefono, per gestire il sistema
- paging, dalla base al telefono, per notificare la chiamata all'utente
- accesso, bidirezionale, per impostare chiamata e canale

- dati, bidirezionale, per voce e dati

Ogni telefono ha una PROM dove sono predeterminati 21 canali per il controllo, il numero seriale e il numero di telefono. Il telefono trasmette queste informazioni in un pacchetto in broadcast per collegarsi alla stazione base più vicina.

Quando si effettua una chiamata, viene trasmesso tramite il canale di accesso il numero da chiamare e la propria identità. Una volta che la richiesta raggiunge la stazione, questa comunica con il MTSO che cerca un canale libero per la chiamata. Quando trovato, viene trasmesso il numero nel canale di controllo e il telefono passa al canale vocale in attesa di risposta.

B.8.2 Seconda generazione - voce digitale

Per la seconda generazione si passa al digitale e sono utilizzati 4 sistemi qui esposti.

D-AMPS È la seconda generazione di AMPS, orientata al digitale, e viene usata principalmente negli Stati Uniti e in Giappone. La versione digitale utilizza le stesse frequenze di AMPS, quindi vengono divisi i canali tra digitali e analogici, permettendo la compatibilità di dispositivi di entrambe le generazioni.

La ripartizione può cambiare dinamicamente in base al tipo di dispositivi presenti nella cella. Sta al MTSO della cella la gestione della distribuzione.

Per gestire l'aumento di carico, è stata prevista una nuova banda di frequenza.

Il segnale vocale viene raccolto dal microfono, digitalizzato e compresso dal *vocoder*. Questo processo è molto importante per la telefonia mobile con D-AMPS perché offre un ottimo miglioramento utilizzando il TDM, tramite il quale tre utenti possono condividere una singola coppia di frequenze.

Una differenza tra AMPS e D-AMPS sta nella gestione dell'handoff: dato che un cellulare per un terzo del tempo non trasmette perché è il turno degli altri dispositivi in multiplexing, ha il tempo di valutare la qualità del servizio e se sta degradando avvisa il MTSO che cambia la stazione di base. Questa tecnica è detta MAHO, ovvero Mobile Assisted HandOff.

GSM GSM (Global System for Mobile communications) viene utilizzato dal resto del mondo ed è in parte simile a D-AMPS: sistemi cellulari, che usano il FDM con trasmissione su una frequenza e ricezione su una più alta; inoltre per ogni coppia di frequenze è utilizzato il TDM. I canali di GSM

però sono più ampi e contengono 8 utenti, quindi risulta più veloce di D-AMPS e con una maggior qualità della voce.
GSM ha un multiframe con diversi canali di controllo. Ad esempio:

- canale di controllo broadcast è un flusso di dati che annuncia identità e stato del canale della stazione base
- canale di controllo dedicato aggiorna la posizione, registrare il terminale nella rete e configurare la chiamata
- canale di controllo comune, diviso in 3 sottocanali:
  - canale di paging annuncia le chiamate in arrivo
  - canale ad accesso casuale permette agli utenti di ottenere uno slot sul canale di controllo dedicato
  - canale di assegnazione dell'accesso annuncia lo slot assegnato

CDMA CDMA (Code Division Multiple Access) è completamente diverso dai precedenti: non punta a dividere l'intervallo di frequenze, bensì permette ad una stazione di ottenere tutto lo spettro per quanto tempo vuole. Le trasmissioni multiple sono separate secondo la teoria della codifica.

Ogni tempo bit è suddiviso in m intervalli detti chip (di solito sono 64 o 128 chip). Ogni stazione ha un codice m-bit univoco detto sequenza di chip; per inviare un 1 viene spedita la sequenza, mentre per uno 0 viene mandato il complemento a 1 della propria sequenza.

Durante ogni tempo bit, una stazione può inviare un 1, uno 0, o rimanere in silenzio. Si ipotizza che i chip delle stazioni siano sincronizzati. Se più stazioni trasmettono contemporaneamente, i segnali si sommano e si ottiene una sequenza di chip derivata dalla somma delle sequenze. Il ricevitore calcola il prodotto interno normalizzato della sequenza ricevuta per ottenere i dati inviati, distinti dagli altri. Per farlo deve conoscere la sequenza di chip del trasmettitore.

Idealmente la capacità di un sistema CDMA potrebbe essere grande, in pratica i limiti fisici diminuiscono la capacità possibile. Innanzitutto è impossibile che tutti i chip siano sincronizzati. Inoltre il ricevitore dovrebbe conoscere il trasmettitore, ma non è così semplice.

CDMA opera su una banda di 1.25 MHz (più di metodi precedenti), ma riesce ad ospitare molti più utente con un'ampiezza di banda per utente superiore a GSM.

PDC Usato solo in Giappone, non approfondito.

B.8.3 Terza generazione - voce e dati digitali

Per la terza generazione si puntava ad un'unica tecnologia per semplificare la diffusione e lo sviluppo dei dispositivi che dovevano utilizzarla. Ci sono state diverse proposte e dopo una selezione rimasero due possibilità: W-CDMA e CDMA2000. Il primo utilizzava una modulazione a spettro distribuito a sequenza diretta, pensato per interagire con GSM, in modo da poter entrare nelle celle di quest'ultimo senza perdere le chiamate. L'Unione Europea spinse su questo e lo chiamò UMTS. La seconda proposta si basava anch'essa sulla modulazione a spettro distribuito a sequenza diretta, ma non punta all'interazione con GSM. Inoltre ha altre differenze con W-CDMA, come la frequenza di frammento, tempo di frame, spettro e sincronizzazioni diversi. Entrambi i metodi usavano una banda di 5MHz.

Nel frattempo alcuni operatori proposero alcuni schemi detti *2.5G*; uno è EDGE, un GSM con un bit in più per baud. Il bit in più porta anche a più errori, per cui viene dedicata più banda per la correzione d'errori.

L'altra proposta è GPRS, una rete a pacchetti costruita sopra D-AMPS e GSM. Questa permette di inviare/ricevere pacchetti IP in una cella vocale; vengono riservati alcuni slot temporali al traffico di pacchetti e la stazione base definisce il numero e la posizione degli slot. Gli slot disponibili sono divisi in canali logici, la stazione base determina l'associazione tra i canali logici e time slot. Un canale logico è usato per scaricare i pacchetti dalla stazione base nella stazione mobile e ogni pacchetto indica il destinatario.

Per inviare un pacchetto IP, una stazione mobile chiede uno o più slot inviando una richiesta alla stazione base. Se la richiesta arriva senza problemi, la stazione comunica all'apparecchio mobile la frequenza e gli slot che dovrà utilizzare per trasmettere il pacchetto. Una volta arrivato alla stazione base, il pacchetto è trasferito su Internet attraverso una connessione via cavo.

C Capitolo 3 - Strato data link

C.1 Progetto dello strato data link

Lo strato data link ha diverse funzioni, tra cui:

- fornire un servizio di interfaccia per lo strato network
- gestire gli errori di trasmissione
- regolare il flusso dati

Per svolgere le sue funzioni, lo strato data link riceve i pacchetti dallo strato network e li incapsula in frame. Un frame contiene header, carico e coda.

C.1.1 Servizi forniti allo strato network

Il servizio principale è quello di trasferire i dati tra gli strati network di due macchine differenti. Alcuni servizi forniti sono:

- unacknowledged senza connessione
- acknowledged senza connessione
- acknowledged orientato alla connessione

Il primo consiste nell'invio di frame senza che la macchina di destinazione debba dare l'acknowledgement, ovvero la conferma della ricezione. Non viene creata una connessione logica e non ci si assicura che il frame arrivi a destinazione. Si utilizza quando gli errori di trasmissione sono limitati, così da permettere la correzione direttamente agli strati superiori e quando si vuole una comunicazione real-time dove il ritardo è peggio di una ricezione di dati parzialmente errati (es: chiamate, stream video).

Il secondo offre una maggiore affidabilità in quanto è richiesto l'acknowledgement. Se non viene ricevuto entro un certo intervallo, può essere rispedito il frame. Anche questo non usa una connessione logica. L'acknowledgement può essere richiesto direttamente dallo strato network, ma si presenta un problema di prestazioni. Il strato network può richiedere la spedizione dell'intero pacchetto nel caso non arrivi l'acknowledgement, che non ha limiti di dimensioni. Un frame invece è di dimensione ridotta e limitata, per cui è più facile gestire il reinvio del singolo frame rispetto al pacchetto intero.

Il terzo tipo è il più affidabile. Oltre alla richiesta di acknowledgement, deve stabilire una connessione con il destinatario prima di iniziare la trasmissione. I frame sono numerati ed è garantito l'arrivo nell'ordine corretto. Il trasferimento dei dati avviene in 3 fasi: stabilita la connessione, trasmissione dei frame, rilascio della connessione.

C.1.2 Suddivisione in frame

Lo strato data link deve ricevere dallo strato fisico i dati sottoforma di bit e verificare che siano corretti ed eventualmente correggerli. Per fare ciò viene suddiviso il flusso di bit in una serie di frame e viene calcolato il checksum (vai a ğ**??**) per ogni frame. Una volta giunto a destinazione il frame, viene ricalcolato il checksum e se è differente da quello del frame, lo strato sa che c'è stato un errore e prende i relativi provvedimenti.

La suddivisione non è un'operazione banale. Ci sono diversi metodi per farlo, spiegati di seguito.

Conteggio dei caratteri Questo metodo usa un campo dell'intestazione per indicare il numero di caratteri nel frame. In questo modo quando viene letto il frame sa dove termina. Il problema è che un errore può alterare il conteggio, mandando il destinatario fuori sincronia. Anche utilizzando il checksum non è possibile sapere dove inizia il frame successivo. Per questi problemi, il metodo non è più usato.

Byte stuffing Un secondo metodo utilizza un byte all'inizio e alla fine del frame come flag byte. Di solito i byte utilizzati sono gli stessi. Questo metodo permette di trovare il frame successivo nel caso un errore faccia perdere la sincronia. Tuttavia il problema di questo metodo si presenta quando vengono trasmessi file binari, in quanto il valore del flag byte potrebbe essere presente nel frame. Per risolvere questo problema è possibile usare la tecnica del Byte stuffing, ovvero viene inserito un carattere di escape prima di ogni occorrenza nel frame del byte flag, in modo da distinguerli effettivamente dai flag; lo strato data link di destinazione rimuoverà gli escape.

Bit stuffing Il Byte stuffing è limitato perché è legato a caratteri di 8 bit, ma se si usano codifiche diverse risulta un problema.

Con la nuova tecnica è possibile usare sia un numero arbitrario di bit, sia codifiche varie. Ogni frame comincia e finisce con il gruppo di bit 01111110, di fatto un flag byte. Se nel flusso vengono letti 5 bit 1 consecutivi, viene

messo un bit 0 in coda, mentre nella destinazione verrà rimosso. Questa tecnica è detta bit stuffing.

C.1.3 Controllo errori

Problema: assicurarsi che i frame arrivino tutti a destinazione e nell'ordine corretto.
Un modo è quello di utilizzare un acknowledgement, positivo o negativo, per notificare l'arrivo del frame. Tuttavia, anche l'acknowledgement può andare perso. Si utilizza quindi un timer che parte insieme all'invio del frame. Se viene ricevuto l'acknowledgement, viene ignorato il timer, altrimenti allo scadere del tempo viene rispedito il frame. Per evitare doppioni, i frame hanno un numero di sequenza in modo che se la destinazione aveva già ricevuto il frame possa ignorarlo.

C.1.4 Controllo di flusso

Il controllo del flusso consiste nella gestione della velocità di trasmissione dei frame, in modo da non congestionare il destinatario se non riesce ad elaborare ciò che riceve abbastanza velocemente.

C.2 Rilevazione e correzione errori

Gli errori di trasmissione è un problema difficile da evitare, in particolare per i collegamenti locali che sono ancora analogici.

C.2.1 Codici per la correzione degli errori

Per gestire gli errori ci sono due possibilità. O si aggiungono dei dati ridondanti di parità che permettono di ricostruire il contenuto del blocco (codifica a correzione d'errore), o si utilizza abbastanza ridondanza da poter identificare la presenza di un errore, senza però poterla correggere, e vengono quindi ritrasmessi (codifica a rilevazione d'errore). I canali affidabili come la fibra utilizzano la rilevazione, mentre quelli più soggetti a disturbi come il wireless usano la correzione.

Ma in cosa consiste un errore?
Un frame è composta da m bit di dati e r bit ridondanti, con un totale di n bit. Gli n bit sono detti codeword. Date le due parole, si possono confrontare con lo XOR per vedere quanti bit sono differenti; il numero di bit è detta la distanza di Hamming ed indica il numero di errori su singoli bit per convertire da una sequenza all'altra.

La rilevazione ela correzione degli errori dipende dalla distanza di Hamming. Per trovare d errori è necessaria una codifica con d+1 di distanza; in questo modo riesce a rilevarli, ma non a correggerli. Per corregere d errori è invece necessaria una codifica con 2d+1 di distanza, in modo che anche con d cambiamenti, la codeword originale rimane la più vicina a quella modificata ed è ricavabile univocamente.

Le codifiche di Hamming riescono a correggere solo errori singoli. Si riesce a corregere gli errori burst sfruttando un trucco, ovvero inviando i dati di una matrice per colonna invece che per riga.

C.2.2 Codifiche a rilevazione d'errore

Su canali più affidabili, la rilevazione basta in quanto gli errori sono meno frequenti e risulta più efficiente rimandare i dati danneggiati. Questo perché maggiore è la grandezza del blocco, maggiore è il numero di bit di controllo richiesti.

In alternativa alla tecnica della matrice, si usa la codifica polinomiale (CRC - Cycle Redundancy Check). Questa tecnica considera le sequenze di bit come polinomi a coeficienti con valori uguali a 0 o 1. Un frame di k bit è un polinomio di grado k-1 con k termini.
Esempio: 110001 -> $1*x^5+1*x^4+0*x^3+0*x^2+0*x^1+1*x^0$ -> x^5+x^4+1

Per utilizzare la codifica polinomiale, sorgente e destinazione devono definire un polinomio generatore G(x). I bit di ordine più alto e più basso devono essere uguali a 1. Il checksum di un frame è calcolabile se il polinomio relativo al frame è di grado maggiore (banalemente deve avere più bit) rispetto al polinomio generatore. Si aggiunge un checksum alla fine del frame in modo che il relativo polinomio sia divisibile per G(x). Se c'è un resto, significa che c'è stato un errore.

Calcolare in checksum:

1. dato il grado g di G(x), aggiungere g bit con valore zero in coda al frame, ottenendo il polinomio M(x)
2. fare la divisione M(x) / G(x)
3. sottrarre il resto dalla M(x); ne risulta il frame con il checksum pronto alla trasmissione con polinomio T(x)

Divisione e sottrazione vanno effettuate in modulo 2: la sottrazione equivale allo XOR, mentre la divisione sono fatte come nel binario normale ma con le differenze in modulo 2.

Questo metodo riesce a risolvere gli errori provocati da interferenza, rumore e distorsione.

C.3 Protocolli data link elementari

Un frame è composto da 4 campi: kind, seq, ack, info. I primi 3 contengono informazioni di controllo e fanno parte dell'header, mentre info contiene i dati effettivi. Kind indica se ci sono dati nel frame. Seq contiene i numeri di sequenza. Ack contiene l'acknowledgement.

Lo strato network passa un pacchetto con un'intestazione di tipo network allo strato data link, il quale pone il pacchetto nel campo info di un frame.

C.3.1 Simplex senza restrizioni

Protocollo in cui i dati sono trasferiti in una sola direzione (simplex) e non ci sono altre restrizioni (buffer infinito, strati pronti, tempo di elaborazione ignorabile, in canale non perde mai frame). E' chiaramente un protocollo non realistico, solo d'esempio.

Il mittente invia i dati alla massima velocità possibile in un loop infinito. Nel loop viene preso il pacchetto dallo strato network, costruisce il frame e instrada il frame. Il destinatario attende l'arrivo di un frame, salvato nel buffer; viene prelevato dal buffer e passato il contenuto del frame allo strato network, infine torna ad attendere.

C.3.2 Simplex stop-and-wait

In questo protocollo si assume il traffico simplex e l'assenza di errori, ma con la restrizione più realistica di una velocità di elaborazione non più infinita. Il problema da considerare quindi è la gestione del flusso, in modo che il mittente non inondi il ricevente con una velocità di trasmissione maggiore di quella di elaborazione. Se ci vuole un intervallo t per elaborare un frame, il mittente non dovrebbe trasmettere più di un frame per t. Se inoltre non ci sono meccanismi di buffer, il mittente non deve trasmettere il nuovo frame finché il precedente non è stato prelevato dallo strato fisico o verrebbe sovrascritto. La soluzione al problema è l'utilizzo di un frame senza informazioni che viene rispedito al mittente quando il pacchetto è stato fatto passare allo strato network, in modo da notificare il mittente per l'invio di un nuovo frame. Il pacchetto funge da acknowledgement e blocca il mittente fino a quando non arriva il frame. Questi protocolli basati sull'attesa dell'acknowledgement sono detti **stop-and-wait**. Data la richiesta di far viaggiare

i frame in entrambe le direzioni, è necessaria un'alternanza del flusso e un canale fisico half-duplex può bastare.

Il mittente prende il pacchetto dallo strato network, costruisce il frame e instrada il frame. A questo punto attende l'acknowledgement; quando lo riceve, manda un altro frame. Il destinatario invece processa il frame e prima di tornare in attesa manda il frame di acknowledgement al mittente.

C.3.3 Simplex per canali rumorosi

Protocollo per una situazione normale, sempre simplex, dove i frame possono essere danneggiati o persi. Se il frame è danneggiato, viene usato il checksum per verificare la correttezza. Per far pronte al problema della perdita di frame, sia dati, sia di acknowledgement, si utilizza un timer e il numero di sequenza dei frame. Il problema successivo è decidere quanti bit usare per il numero di sequenza. L'unica ambiguità possibile è tra il frame stesso e il successivo, quindi è sufficiente un bit.

Il mittente prima memorizza in una variabile locale il numero di sequenza del successivo frame da inviare, poi crea il frame, lo instrada e fa partire il timer. Rimane in attesa: riceve un acknowledgement positivo, o un acknowledgement con problemi, o il scade il timer. Nel primo caso prende in carico il frame successivo, negli altri due viene rimandato il frame. Il destinatario riceve il frame, controlla il numero di sequenza: se è valido, lo processa, lo passa allo strato network, ritorna l'acknowledgement e aggiorna la variabile del numero di sequenza.

C.4 Protocolli sliding window

Questi protocolli sono utilizzati per le trasmissioni in entrambe le direzioni, full duplex. Si possono usare due canali separati simplex, ma di solito quello di ritorno è sprecato; conviene usare un unico canale e gestire entrambe le direzioni. Una miglioria successiva è la tecnica del piggy-backing, ovvero quando arriva un frame dati, non viene restituito subito il frame di acknowledgement, bensì viene aggiunto al frame di dati successivo passato dallo strato network, in modo da "risparmiare" un viaggio e sfruttare al meglio la banda. Infatti aggiungere il campo ack nell'intestazione è più conveniente rispetto a creare un intero frame con sua intestazione, checksum e acknowledgement. Il problema di questa tecnica è l'estendersi dell'attesa dell'acknowledgement. Per quanto tempo deve aspettare lo strato data link prima di mandare l'acknowledgement in maniera indipendente?

I protocolli seguenti sono strettamente legati al buffer, in quanto il mittente avrà una "finestra d'invio", ovvero un insieme di frame che può inviare, e il destinatario ha una "finestra di ricezione", ovvero un insieme di frame che può ricevere. Le due finistre non devono essere grandi uguali e possono avere dimensione variabili. Queste danno una maggior libertà di invio dei frame, ma il passaggio allo strato network deve comunque mantenere l'ordine. I numeri di sequenza nella finestra d'invio indica i frame trasmessi o in transito, che sono attesa dell'acknowledgement. Quando arriva un pacchetto dallo strato network il limite superiore aumenta di uno, mentre quando arriva un acknowledgement il limite inferiore aumenta di uno. Se la finestra di invio contiene n frame, il mittente dovrà avere almeno n buffer per mantenere i frame fino all'arrivo dell'acknowledgement.

C.4.1 Sliding window a 1 bit

Questo protocollo utilizza una finestra di un bit, risultando quindi simile al protocollo stop-and-wait. La differenza è che ora la trasmissione è full duplex. Di conseguenza può accadere che entrambi i computer vogliano mandare un pacchetto, creando ridondanza in quanto vengono mandati pacchetti duplicati senza che siano necessari.

C.4.2 Go back N e Ripetizione selettiva

Il tempo per trasmettere un frame sommato al tempo per ricevere l'acknowledgement a volte non è trascurabile (nei precedenti protocolli era considerato tale). Infatti si può arrivare a sprecare fino al 90% di tempo durante il quale il sorgente rimane in attesa per inviare un nuovo pacchetto. Il problema deriva dalla richiesta di far attendere il sorgente. Con la tecnica detta pipelining si attenua il problema, inviando n frame nell'intervallo totale di transito (dall'invio alla ricezione dell'ack) senza riempire completamente la finestra. Il numero di frame inviabili indica la grandezza della finestra. Maggiore è il ritardo di trasmissione, maggiore sarà la grandezza della finestra. Il prodotto tra banda e ritardo di trasmissione indica la capacità della pipeline. Usandola tutta, il sorgente opera a massima efficienza. Dati:

- c - capacità del canale
- d - dimensione del frame
- T - tempo totale di propagazione

l'utilizzo della linea è uguale a d/(d+cT). Se d<cT, l'efficienza sarà minore del 50%.

Con il pipelining, se dei frame vengono danneggiati o persi si verificano diversi problemi. Il destinatario non sa cosa fare con i frame seguenti a quello danneggiato. Per ripristinare gli errori ci sono due tecniche, una delle quali è il go back N.

Questa tecnica richiede di scartare tutti i frame successivi a quello danneggiato senza mandare l'acknowledgement per questi. In particolare il sorgente manda tutto in sequenza, non sapendo se arrivano errati a destinazione, finché non termina i frame della finestra. Quando scade il timer dell'acknowledgement che non sarà ricevuto, il mittente rimanda i frame in sequenza a partire da quello danneggiato, anche se i successivi erano corretti. Il destinatario invece, quando riceve il frame danneggiato si rifiuta di accettare tutti i successivi finché non riceve quello con il numero di sequenza atteso. Di fatto questo protocollo utilizza una finestra di ricezione con 1 frame.

L'altra tecnica per ripristinare gli errori è la ripetizione selettiva. In questo caso viene scartato solo il frame danneggiato, mentre i successivi corretti vengono messi in un buffer. Quando il sorgente va in timeout rimanda il frame danneggiato. Il destinatario lo riceve e passa allo strato network il frame ricevuto più tutti quelli nel buffer, mantenendo l'ordine corretto e ritornando l'ack. In particolare, quando il ricevente trova un frame danneggiato, viene mandato un NAK, un acknowledgement negativo. Il NAK migliora le prestazioni in quanto triggera il sorgente a rimandare il pacchetto prima che scada il timer. Se venisse perso il NAK, ci sarebbe comunque il timer del sorgente. Questo protocollo utilizza una finestra di ricezione maggiore di 1. La dimensione massima della finestra dovrebbe essere uguale alla metà della sequenza dei numeri; invece il numero di buffer della destinazione deve essere uguale alla dimensione della finestra.

I due approcci dipendono molto dall'uso della banda e del buffer. Il primo si basa sulla banda, dovendo rimandare tutto, il secondo sul buffer, dato che salva i frame corretti in attesa di quello mancante.

C.5 Esempi di protocolli

C.5.1 HDLC - High-level Data Link Control

Questo protocollo è orientato ai bit e utilizza il bit stuffing. Il frame di questo protocollo ha il campo address, control, data e checksum. Address indica il terminale; control è usato per i numeri di sequenza; data contiene

le informazioni; checksum è il codice di ridondanza. Il frame è delimitato dal flag 01111110. [...]

C.5.2 PPP - protocollo punto a punto

Il PPP è un protocollo data link usato da internet. Tra le caratteristiche ci principali ci sono:

- metodo di framing
- protocollo per la gestione della connessione - LCP (Link Control Protocol)
- una modalità per negoziare le opzioni dello strato network in modo indipendente dalla sua implementazione

Il frame PPP assomiglia a quello HDLC, tuttavia è orientato ai caratteri, quindi usa il byte stuffing. Il flag usato è sempre quello di HDLC; i caratteri di escape vengono aggiunti su tutto il frame (non solo sui dati) dopo il calcolo del checksum e vengono tolti in ricezione prima del ricalcolo del checksum. Ha il campo address sempre impostato a 11111111 per indicare che tutte le stazioni devono accettarlo; segue il campo control che di default vale 00000011. Dato che questi campi sono costanti, LCP permette di omettere questi campi nella configurazione. Il campo protocol indica il tipo di pacchetto contenuto nel campo payload. L'ultimo campo contiene il checksum. [...]

D Capitolo 4 - Sottostrato MAC

Il sottostrato MAC riguarda i canali multiaccesso, ovvero i canali usati delle reti broadcast. C'è bisogno di regolamentare l'accesso al canale in qualche modo.

D.1 Il problema dell'assegnazione del canale

Come assegnare un singolo canale broadcast tra diversi utenti in competizione?

D.1.1 Assegnazione statica

Di solito per condividere un canale tra più utenti si usa il multiplexing a divisione di frequenza FDM. La banda viene suddivisa in parti uguali le quali sono assegnate agli utenti. Ognuno ha una proprio frequenza, quindi non c'è interferenza tra loro. FDM funziona bene se non ci sono troppi utenti e se il numero è abbastanza costante. Se non lo è, ci sono dei problemi. Se gli utenti sono minori della divisione della banda, ci sarà uno spreco; se sono di più, alcuni utenti non riusciranno a comunicare.

In generale, un'assegnazione statica è poco efficiente perché anche mantenendo costanti gli utenti, quando non usano il canale quella banda rimane inutilizzata. Anche con TDM la situazione non cambia molto.

D.1.2 Assegnazione dinamica

Ci sono 5 premesse riguardo il problema dell'assegnazione del canale.

- Modello della stazione: n stazioni indipendenti che generano frame in trasmissione; quando viene generato un frame, la stazione attende finché non viene spedito
- Presupposto del canale singolo: un solo canale per trasmettere e ricevere
- Presupposto della collisione: due frame trasmessi assieme di sovrappongono creando distorsione e rendendo il frame non valido; le stazioni possono rilevare questo evento detto collisione e richiedere la ritrasmissione del frame
- Tempo continuo e Tempo diviso in intervalli: nel primo caso la trasmissione può avvenire in qualsiasi istante, mentre nel secondo il tempo è

diviso in slot e la trasmissione di un frame coincide sempre con l'inizio di un intervallo

- Occupazione del canale verificabile o meno: le stazioni possono o meno verificare se un canale è occupato; se possono verificare, la trasmissione dipende dall'esito, se non possono mandano il frame a priori

D.2 Protocolli ad accesso multiplo

D.2.1 Aloha

Aloha è un sistema sviluppato inizialmente per collegare le isole della Hawaii, basato su una trasmissione radio broadcast con singolo canale. Ne esistono due versioni.

Aloha puro L'idea di base è quello di consentire agli utenti di trasmettere ogni qual volta ne avessero bisogno. Anche se ci sono collisioni, la proprietà di feedback della trasmissione broadcast permette al trasmettitore di scoprire se il frame è danneggiato. Se non è possibile ascoltare il canale, è necessario un sistema di acknowledgement. Se il frame è stato distrutto, il trasmettitore attenderà per un tempo **casuale** prima di ritrasmettere il frame altrimenti si ripeterà la collisione. I sistemi con un canale condiviso dove si possono generare conflitti si dicono sistemi a contesa.

I frame trasmessi sono tutti della stessa lunghezza e vengono inviati completamente a caso. Se anche un solo bit va in collisione, entrambi i due frame vanno buttati. Non c'è modo di capire se c'è stato un conflitto parziale o totale.

Aloha slotted Alcuni anni dopo venne proposta l'alternativa slotted Aloha, la quale permette di duplicare la capacità del sistema dividendo il tempo in intervalli discreti, dove ogni intervallo corrisponde un frame. In questo sistema non viene inviato un frame in un momento a caso, ma solo all'inizio dell'intervallo successivo. Questa soluzione riduce le collisioni, ma richiede un meccanismo di sincronizzazione per gestire l'invio dei frame solo all'inizio di un intervallo.

Questa tecnica fu rispolverata quando fu inventato l'accesso a internet via cavo, dovendo gestire un canale condiviso.

D.2.2 Protocolli ad accesso multiplo con rilevamento della portante

Con i protocolli Aloha si hanno molte collisioni. Se invece le stazioni rimangono in ascolto di una portante è possibile migliorare le prestazioni.

CSMA persistente e non Un esempio di questi protocolli è il CSMA 1-persistente. Una stazione prima di trasmettere ascolta il canale per sapere se è occupato. Se lo è attende e appena si libera manda un frame; in caso di collisione la stazione rimane in attesa di un intervallo casuale per poi rimandare il frame. 1-persistente indica che la stazione trasmette con probabilità 1 quando il canale è libero (cioè lo fa sempre). Il problema è che il ritardo di propagazione potrebbe creare l'illusione di avere un canale libero, quando in verità il canale è già stato occupato ma il segnale non ha ancora raggiunto la stazione che ne richiede l'utilizzo. Anche con ritardo zero potrebbe verificarsi una collisione in quanto due stazioni potrebbero attendere contemporaneamente. Questo protocollo risulta migliore dell'Aloha puro.

Un altro protocollo è detto CSMA non persistente, il quale se trova il canale occupato non rimane subito in attesa, bensì riprova dopo un intervallo casuale. Si ha un migliore utilizzo del canale ma aumenta i ritardi.

Esiste anche il CSMA p-persistente, dove p indica la probabilità di trasmettere nel canale se è libero. A differenza del 1-persistente, la probabilità sarà minore di 1, quindi potrebbe non trasmettere subito e rimandare a più tardi.

CSMA con rilevamento delle collisioni Esiste un miglioramento dei CSMA persistenti, con un protocollo detto CSMA/CD (collision detection). In questo protocollo, quando una stazione inizia la trasmissione e rileva la collisione, termina subito la trasmissione; dopo un intervallo di tempo casuale ritenta la trasmissione. In questo modo si risparmia tempo e banda. Viene molto usato nel sottostrato MAC delle LAN.

Piccola nota: nessun protocollo del sottostrato MAC garantisce consegna affidabile. Potrebbero non esserci collisioni, ma il ricevitore potrebbe comunque copiare in frame non correttamente.

D.2.3 Protocolli senza collisione

Nei seguenti protocolli si presuppone che ci siano N stazioni identificate da un indirizzo che va da 0 a N-1 e che il ritardo sia trascurabile. Questi protocolli risolvono la contesa senza creare collisioni.

Protocollo a mappa di bit elementare In questo protocollo, ogni periodo di contesa è composto da N intervalli. Ogni stazione indicherà tramite un bit se deve trasmettere un frame. Il bit viene posto nel rispettivo intervallo in base all'indirizzo della stazione (stazione 0 in 0, stazione N-1 in N-1). Al termine degli N intervalli, tutte le stazioni sono a conoscenza di chi ha bisogno di trasmettere e lo fanno secondo l'ordine dell'indirizzo. Essendo prestabilito l'ordine, non avverranno collisioni. Al termine della fase di trasmissione, ci sarà un nuovo periodo di contesa dove si ripeterà il processo di "prenotazione". Ogni stazione può porre il proprio bit "pronto" solo nel suo intervallo e può farlo se ha effettivamente il frame preparato. Se la stazione diventa pronta ma il suo intervallo è passato, dovrà attendere la prossima fase di contesa.

Questo tipo di protocolli sono detti protocolli a prenotazione.

Conteggio binario Il problema del metodo della mappa è la richiesta del bit di controllo: se ci sono tante stazioni, sono richiesti tanti bit (uno per stazione). Un'alternativa è quella di utilizzare indirizzi binari per le stazioni. Una stazione che vuole trasmettere lo comunica agli altri tramite il proprio indirizzo, spedito sotto forma di stringa partendo dal bit più a sinistra. Dato che gli indirizzi sono tutti lunghi uguali, i bit nella stessa posizione sono elaborati tramite OR: se il risultato è un 1, tutte le stazioni con bit 0 si arrendono; poi si passa al confronto del bit successivo con le stazioni rimanenti e se risulta uno 0 si passa al bit successivo, se un 1, si arrendono quelle con lo 0 e si prosegue, finché non rimane una stazione e sarà quella che spedirà il frame. Questo protocollo è detto conteggio binario e chiaramente introduce un livello di priorità tra le stazioni (max priorità l'indirizzo più grande), che in base alle situazioni può essere vantaggioso o meno.

Al momento è un protocollo inutilizzato nonostante la semplicità.

D.2.4 Protocolli a contesa limitata

Meglio i protocolli a contesa o senza collisioni? Il primo è preferibile per il basso ritardo quando il carico è leggero, ma al crescere del carico peggiora l'efficienza. Il secondo funziona all'opposto.

I protocolli a contesa limitata si pongono a metà strada tra i due. Questi protocolli dividono le stazioni in gruppi (anche non esclusivi) e in ogni gruppo le stazioni competono tra loro per un determinato intervallo: il gruppo 0 per l'intervallo 0, il gruppo 1 per l'1, e così via. Il trucco sta nel ripartire

le stazioni nel modo ottimale. La soluzione migliore è quella di assegnare dinamicamente in base al carico.

Adaptive Tree Walk Questo metodo sfrutta gli alberi binari. Nel primo intervallo di contesa (0), tutte le stazioni tentano di acquisire il controllo. Se non riescono perché c'è una collisione, le stazioni vengono divise in due gruppi e nel successivo intervallo (1) provano ad ottenere il canale quelle del secondo nodo. Se la trasmissione avviene con successo, l'intervallo successivo (2) va al nodo 3, altrimenti si suddivide il 2 in due sottogruppi e così via.

A carico elevato si dovrebbe iniziare già a livelli più bassi dell'albero.

D.2.5 Protocolli LAN Wireless

Esempio di LAN wireless: un ufficio con stazioni base (o access point) sparsi e collegate tra loro tramite cavi. Regolando la potenza del segnale attorno a 3-4 metri, si ottiene una situazione dove le stanze sono considerabili come delle celle. Una cella ha un unico canale che copre tutta la banda ed è disponibile a tutte le stazioni. Nel caso della LAN wireless il problema non è il trasmettitore bensì il ricevente. Infatti considerando delle stazioni con portata limitata, dove A raggiunge B, B raggiunge C, ma A e C non comunicano direttamente, potrebbe accadere che A cerca di comunicare con B, mentre C che non sente A pensa sia tutto libero e cerca di comunicare con B. Il risultato è che A e C creeranno una collisione, danneggiando i frame. Questo **problema** è detto **della stazione nascosta**. All'inverso, se B trasmette ad A e C controlla la banda portante per trasmettere a D, siccome rileva la trasmissione di B pensa che anche D sia occupato. In questo caso di dice **problema della stazione esposta**.

MACA e MACAW MACA (Multiple Access with Collision Avoidance) è uno dei primi protocolli per LAN wireless. Il trasmettitore invita il ricevitore ad inviare un piccolo frame per indicare che alle stazioni vicine che è occupato, in modo da poter inviare subito dopo il frame dati effettivo. In particolare: A vuole trasmettere a B; manda un RTS (request to send) a B che contiene la lunghezza del frame dati in arrivo; B risponde con un CTS (clear to send) che contiene la lunghezza dei dati, copiata dal RTS. In questo modo A può mandare il frame quando ha ricevuto la CTS.

Le stazioni vicine ad A che ricevono RTS devono stare in silenzio per attendere che CTS arrivi ad A. Viceversa, le stazioni vicine a B che ricevono CTS devono stare in silenzio per permettere la trasmissione del frame dati.

In caso di collisione verrà effettuato un secondo invio con intervallo di tempo casuale.

Esiste poi la versione migliorata MACA per wireless, ovvero MACAW. In questo protocollo è stato introdotto un frame ack dopo la trasmissione dati avvenuta con successo, ed è stata aggiunta la possibilità di bloccare le stazioni vicine che stanno mandando un RTS quando ce n'è già uno in viaggio verso la stessa destinazione.

D.3 Ethernet

Gli standard più importanti:

- 802.3 - Ethernet
- 802.11 - LAN wireless

Hanno sottostrati fisici e sottostrati MAC differenti, ma hanno la stessa interfaccia verso lo strato network.

D.3.1 Cablaggio Ethernet

Ethernet è il nome del cavo utilizzato per 802.3 e ne esistono 4 tipi. Il modello più vecchio è il 10base5, o thick Ethernet. Il cavo è piuttosto spesso e le connessioni sono realizzate mediante spine a vampiro (?). Il nome indica che opera a 10Mps con segnali a banda base e sopporta segmenti lunghi fino a 500 metri.

Il secondo cavo è 10Base2 o thin Ethernet; come per il precedente, dal nome si sa che opera a 10Mps con segnali a banda base e sopporta segmenti lunghi fino a 200 metri circa. In questo caso le connessioni sono fatte mediante connettori BNC che formano giunzioni a T; sono più facili da usare e più affidabili. Questo cavo è economico, semplice da installare, ma supporta solo segmenti di 185 metri e un massimo di 30 macchine.

I guasti sono un problema per le connessioni cablate; per questo esistono tecniche per rintracciare i guasti, come la TDR (Time Domain Reflectometry), la quale usa un impulso per vedere se è tutto apposto. Se ci sono guasti o ostacoli si genera un eco che torna indietro e cronometrando il tempo di ricezione dell'eco è possibile identificare la distanza dell'origine dell'eco.

Dal problema del tracciamento guasti, si è passati all'utilizzo di hub; le stazioni sono collegate agli hub tramite doppini non condivisi. Questo hub non elabora il traffico. Questa configurazione permette di aggiungere e rimuovere stazioni facilmente ed ha una facile individuazione le interruzioni della linea. Tuttavia i cavi che partono dall'hub possono raggiungere solo i

100/200 metri. Nonostante questo è diventato uno standard per la facilità di gestione e per l'uso dei cablaggi presistenti. Lo schema presentato è detto 10Base-T.

Un altro tipo di cavi è il 10Base-F che utilizza le fibre ottiche. Questa alternativa è costosa a causa del prezzo di connettori e terminatori, ma è immune alle interferenze e permette i collegamenti a lunghe distanze (1km).

D.3.2 La codifica Manchester

Utilizzare una codifica binaria corretta è un problema non indifferente, perchè vanno scelti valori che non possono creare ambiguità. Deve essere ben chiaro quando si ha l'inizio e la fine di un bit. Esistono due tecniche: la codifica di Manchester e la codifica di Manchester differenziale.

La prima utilizza un periodo di bit diviso in due intervalli uguali, dove l'1 binario è identificato da un picco di tensione nel primo intervello e un livello basso nel secondo intervallo. Lo zero binario è l'opposto. Il cambio di tensione in mezzo al periodo di bit permette al ricevitore di sincronizzarsi con il trasmettitore; tuttavia occupa il doppio della banda rispetto alla codifica elementare.

La codifica di Manchester differenziale è un'alternativa dove un 1 binario è identificato dall'assenza di cambio di tensione tra un periodo di bit e un altro, mentre se avviene una transizione identifica uno zero. Questa codifica è più complessa ma ha una maggiore immunità ai rumori. Tuttavia Ethernet usa la Manchester base.

D.3.3 Il protocollo del sottostrato MAC Ethernet

Esistono due varianti di frame: quello DIX Ethernet e quello dello standard IEEE. Lo standard apporta solo delle piccole modifiche a due campi (type diventa lenght, preamble viene ridotto), tuttavia DIX aveva già preso piede a tal punto che pochi erano disposti a passare al nuovo standard. Tuttavia il campo type prima della creazione dello standard era sempre maggiore di 1500, quindi se è più corto viene considerato come campo lenght dello standard. Con questo compromesso si riuscì ad usare entrambi i frame.

Più nello specifico, il frame DIX è composto da:

- preamble
- indirizzo di destinazione
- indirizzo d'origine

- type
- dati
- riempimento
- checksum

Preamble è di 8 byte e contiene lo schema di bit 10101010.

I due indirizzi sono di 6 byte. In particolare l'indirizzo di destinazione ha il bit più a sinistra che identifica un indirizzo ordinario (0) o un indirizzo di gruppo (1). Con l'indirizzo di gruppo è possibile far ascoltare a molte stazioni un singolo indirizzo e tutte lo ricevono (trasmissione multicast). Se l'indirizzo è composto da soli 1 è riservato alla trasmissione broadcast.

Type di 2 byte indica al ricevitore cosa fare con quel frame.

I dati raggiungono i 1500 byte di massimo; è inoltre necessario che il frame in totale sia lungo almeno 64 byte, per distinguere dai frame danneggiati. Inoltre la lunghezza minima serve per dare il tempo di impedire la trasmissione di un frame quando viene rilevata la possibilità di collisione. Maggiore è la velocità della rete, maggiore deve essere la lunghezza minima del frame.

Il checksum di 4 byte e contiene il checksum CRC per rilevare (ma non correggere) gli errori.

D.3.4 Algoritmo di backoff esponenziale binario

L'algoritmo di backoff esponenziale binario è utilizzato per gestire l'attesa casuale dopo una collisione. È stato scelto perché si adatta in base al numero di stazioni che tentano di trasmettere. L'algoritmo assicura un basso ritardo quando si hanno poche collisioni e una gestione accettabile quando avvengono molte collisioni.

L'algoritmo procede in questo modo: dopo una collisione il tempo viene diviso in intervalli lunghi quanto il tempo di propagazione di andata e ritorno nel caso peggiore (2t); ogni stazione aspetta 0 o 1 intervalli temporali prima di riprovare; se due stazioni collidono perché usano lo stesso intervallo, aumenta la scelta degli intervalli casuali (0, 1, 2, 3); ad ogni passo si continua ad aumentare il numero di intervalli d'attesa, che andrà da 0 a $2^i - 1$, dove i indica il numero di collisioni. L'algoritmo ha come tetto massimo 10 collisioni, per un totale di 1023 intervalli. Se ci sono ancora collisioni, a 16 viene lanciato un errore.

D.3.5 Prestazioni di Ethernet

[...]

D.3.6 Ethernet commutata

Al crescere del numero di stazioni, il traffico aumenta e l'aumento della velocità non basta a risolvere il problema. La soluzione è lo switch (commutatore), che ha da 4 a 32 schede di linea, le quali hanno da 1 a 8 connettori, di solito collegati a doppini 10base-T verso i computer.

Una stazione che vuole trasmettere un frame Ethernet, prima invia un frame standard allo switch, il quale controlla se la destinazione è collegata alla stessa scheda di linea. Se è nella stessa scheda, passa il frame direttamente, altrimenti viene passato alla scheda corretta.

Problema: se due macchine trasmettono sulla stessa scheda?
Ci sono due possibilità. Se la scheda è costruita con le porte che formano una LAN locale, le collisioni vengono rilevate e gestite come in una rete CSMA/CD. In questo modo è possibile una sola trasmissione per scheda, ma più trasmissioni in parallelo su schede diverse. Ogni scheda costituisce il proprio dominio di collisione.

La seconda possibilità prevede un buffer per ogni porta che memorizza i frame in arrivo. Quando ottiene tutto il pacchetto può controllare se il destinatario è nella stessa scheda o se serve spostarlo nella scheda appropriata. Ogni porta è un dominio di collisione separato, quindi non ci sono collisioni.

D.3.7 Fast Ethernet

Nonostante l'aumentare della velocità, l'utente non è mai soddisfatta. Vennero allora proposte due LAN ottiche su topologie ad anello: FDDI e Fibre Channel. Non ebbero molto successo, ma aprirono la strada ad una maggiore velocità. Lo standard infatti decise di mantenere il 802.3 ma con velocità superiore, in modo da mantenere la compatibilità con le LAN esistenti. Venne così creato Fast Ethernet (o anche il poco usato 802.3u). Di fatto la differenza sta nel tempo di bit ridotto da 100 a 10 nanosecondi. Per questa versione era tollerata solo l'architettura 10base-T. Con quali cavi?
Il doppino cat-3 era una prima scelta data la sua diffusione, tuttavia non riusciva a trasportare 200 Megabaud (ovvero 100 Mbps con codifica Manchester) per 100 metri, come richiesto dal 10Base-T. Venne quindi permesso il cat-3, ma consigliato il cat-5 e la fibra ottica. Abbiamo quindi, rispettivamente, 100Base-T4, 100Base-TX, 100Base-FX, con le ultime due full duplex a 100Mbps.

Lo schema Cat 3 necessita di 4 doppini: uno in ricezione, uno in trasmissione e gli altri due si adeguano alla direzione di trasmissione. I segnali trasmessi sono ternari, cioè possono contenere 0,1 o 2. In questo modo si riesce a raggiungere la velocità obiettivo di 100 Mbps. Questo schema è chiamato 8B/6T.

Il modello basato sul Cat 5 è più semplice ed utilizza solo due doppini, uno in ricezione e uno in trasmissione. In questo caso viene usato uno schema chiamato 4B/5B. Questo sistema è full duplex, ovvero le stazioni possono trasmettere e ricevere contemporaneamente a 100 Mbps.

Il modello che utilizza la fibra ottica usa due cavi multimodali, uno per direzione. Quindi il sistema è full duplex con 100 Mbps in ogni direzione e può raggiungere 2 km tra stazione e hub. Per i modelli 100Base-T è possibile utilizzare sia switch che hub; invece il modello a fibra ottica consente solo lo switch dove ogni cavo collegato crea un dominio di collisione verso se stesso.

D.3.8 Gigabit Ethernet

Dopo la Fast Ethernet iniziarono a lavorare su una Ethernet ancora più veloce, ovvero la gigabit Ethernet. Anche in questo caso si puntava ad avere una trasmissione più veloce mantenendo la compatibilità con le versioni precedenti. Le configurazioni gigabit Ethernet sono tutte punto a punto, di conseguenza ogni stazione è collegata ad un solo hub e switch. Sono supportate sia il full duplex che l'half duplex. Quella normale è la full duplex, utilizzata quando c'è uno switch centrale collegato al computer alle stazioni del perimetro. Tutte le linee hanno buffer e non è possibile avere quel collisioni, quindi non è necessario controllare se il canale è già utilizzato e di conseguenza non si utilizza il protocollo CSMA/CD. Si utilizza la half duplex quando i computer sono collegati ad un hub; in questo caso le collisioni sono ancora possibili quindi si utilizza il protocollo CSMA/CD. Data la velocità di trasmissione, un frame è trasmesso così velocemente da limitare la distanza a 25 metri. Questo è inaccettabile, di conseguenza sono state aggiunte due funzionalità dallo standard. La prima è chiamata **Carrier extension**, aggiunge i dati di riempimento dopo il frame normale e viene rimosso quando viene ricevuto. Essendo una modifica hardware non sono richiesti cambiamenti al software. La seconda funzionalità è detta **Frame bursting** e permette di inviare una sequenza concatenata di più frame in una sola trasmissione; se non viene raggiunta la dimensione di 512 Byte, viene compensata dal metodo sopracitato; in questo modo si arriva ad un raggio di 200 metri un valore già più accettabile. Esistono 4 tipi di configurazione

che utilizzano cavi diversi: 1000Base-SX/LX/CX/T, le prime due con fibra, le ultime due con diversi tipi di doppini.

D.3.9 Retrospettiva su Ethernet

Punti vincenti: semplicità e flessibilità.

Semplice si traduce in affidabile, economico e facile da mantenere. Flessibile in quanto funziona con TCP/IP ed è in grado di evolversi dove serve.

D.4 LAN Wireless

D.4.1 La pila di protocolli 802.11

I protocolli utilizzati dalle varianti 802 sono tutti simili. Lo strato fisico è simile a quello OSI, lo strato datalink è suddiviso in due o più sottostrati. In 802.11 il sottostrato MAC gestisce l'allocazione del canale, il sottostrato LLC nasconde le differenze tra le varianti di 802 in modo da renderle indistinguibili allo strato network.

D.4.2 Lo strato fisico di 802.11

[...]

D.4.3 Il protocollo del sottostrato MAC di 802.11

[1] Il sottostrato MAC di 802.11 si differenzia leggermente da quello di 802.3, in quanto l'ambiente wireless complica le cose. Per esempio ci sono i problemi della stazione esposta e della stazione nascosta (ğD.2.5). Inoltre le trasmissioni sono quasi tutte half duplex, quindi non può trasmettere e rimanere in ascolto sulla stessa frequenza contemporaneamente. Per questi motivi non viene utilizzato CSMA/CD, bensì una variante detta CSMA/CA, ovvero Collision Avoidance.

In particolare, 802.11 supporta due modalità operative: DCF (Distributed Coordination Function), che non utilizza nessun controllo centrale, e PCF (Point Coordination Function), dove invece la stazione base controlla l'intera cella.

Quando viene usato DCF, si usa CSMA/CA che controlla sia il canale fisico, sia quello virtuale.

[1] NdR: parte poco chiara e incompleta

Questo protocollo rileva la portante prima della trasmissione e usa il backoff esponenziale dopo le collisioni; a differenza di CSMA/CD, il backoff di partenza è casuale e non attende una collisione per essere settato.

Le reti wireless sono rumorose e inaffidabili. Per risolvere i problemi dei canali rumorosi, 802.11 ammette la frammentazione dei frame. Ogni frammento ha un proprio checksum, sono numerati e ricevono l'ack secondo stop-and-wait. Quando viene acquisito un canale, più frammenti possono essere mandati insieme in un burst. Questa tecnica aumenta l'efficienza perché permette di reinviare solo i frammenti danneggiati.

Nel caso di PCF, l'ordine di trasmissione è controllato dalla centrale base, quindi non avvengono collisioni. La stazione base trasmette in broadcast un frame di segnalazione con il quale indica i parametri di sistema e invita le stazioni a registrarsi al servizio di interrogazione.

Dato che la batteria può essere un problema nei dispositivi wireless, la stazione base può obbligare quella mobile ad andare in sospensione. Mentre è disattivata la stazione mobile, la base deve memorizzare in un buffer i dati diretti alla stazione sospesa. Viene riattivata dall'utente o dalla stazione base.

D.4.4 Servizi

Lo standard definisce 9 servizi che ogni LAN wireless deve fornire, 5 di distribuzione e 4 di stazione. Quelli di distribuzione riguardano l'appartenenza alla cella e l'interazione con le altre celle, mentre quelli di stazione si occupano delle attività dentro la cella. I servizi sono:

- Associazione - utilizzato dalle stazioni mobili per collegarsi alle stazioni base
- Separazione - si interrompe la relazione tra le due stazioni
- Riassociazione - la stazione mobile cambia la stazione base preferita (es: per cambiare cella)
- Distribuzione - indica come saranno instradati i frame verso la destinazione
- Integrazione - traduce dal formato 802.11 al formato richiesto dalla destinazione
- Autenticazione - solo le stazioni autenticate possono trasmettere i dati

- Invalidamento - invalida una stazione precedentemente autenticata che vuole lasciare la stazione
- Riservatezza - le informazioni devono essere cifrate
- Trasferimento dati - per il trasferimento

D.5 Commutazione nello strato data link

È possibile connettere più LAN tramite dispositivi detti bridge, che operano nello strato data link. I bridge esaminano gli indirizzi dello strato datalink per l'instradamento senza esaminare il carico utile, permettendo di trasportare diversi tipi di pacchetto. I router all'opposto instradano in base agli indirizzi del pacchetto.

Alcuni motivi per creare LAN differenti che vengono poi connesse tra loro sono:

- rendere indipendenti le LAN dei dipartimenti diversi
- collegare aziende su edifici diversi, lontani tra loro
- suddividere una LAN logica in più LAN fisiche per gestire meglio il carico
- per collegare più LAN suddivise per i limiti di distanza (es: 2,5 Km in caso di Ethernet)
- per garantire una maggiore affidabilità in caso di nodi difettosi
- per ottenere una maggiore sicurezza dell'azienda

D.5.1 Bridge tra due 802

Come funziona un bridge? Un pacchetto dallo strato di rete viene passato allo strato LLC che aggiunge l'intestazione relativa, poi passa al sottostrato MAC dove viene aggiunta la sua intestazione, per esempio 802.11; infine giunge allo strato fisico fino ad arrivare alla stazione base, dove viene rilevata la richiesta di passaggio tra due LAN di tipi diversi. Il passaggio avviene tramite il bridge, che "traduce" il frame risalendo gli strati del bridge, fino a riscendere per passare allo strato fisico della seconda LAN. Purtroppo non è così banale, in quanto ci sono diversi problemi. Ad esempio i formati dei frame differiscono, richiedendo una conversione particolare;le due LAN possono trasmettere a velocità diverse; inoltre c'è la diversa lunghezza dei

frame in base al tipo di 802; un'altra questione è la sicurezza, in quanto alcune versioni supportano la crittografia, mentre altri no; infine la qualità del servizio, che viene garantito in modi diversi.

D.5.2 Internetworking locale

Come già accennato, i bridge possono essere usati per connettere LAN anche dello stesso tipo. In questo caso, i bridge accettano tutti i frame in arrivo, ma scartano quelli che appartengono già alla stessa LAN, ovvero quei frame che non hanno bisogno di attraversare il bridge per cambiare LAN. Nel decidere dove e se inoltrarli, il bridge utilizza l'indirizzo di destinazione e lo confronta con una tabella delle destinazioni. Appena creata la connessione le tabelle sono vuote e il bridge manda il frame a tutte le LAN tranne a quella di input; con il tempo riesce a riempire la tabella con gli indirizzi corretti e potrà inviare solo alla LAN che contiene la stazione richiesta. Questo è detto algoritmo di apprendimento all'indietro. In particolare la costruzione avviene salvando gli indirizzi della sorgente, memorizzando in che LAN si trova.

D.5.3 Bridge spanning tree

Per aumentare l'affidabilità è possibile collegare più LAN con bridge paralleli, tuttavia questo crea anelli nella topologia. Per evitare il problema, viene costruito uno spanning tree, un grafico ad albero che evita i percorsi ad anello.

D.5.4 Bridge remoti

Delle LAN distanti possono essere connesse tra loro tramite bridge remoti, ovvero una coppia di bridge che sono in comunicazione tra loro tramite una linea punto a punto.

D.5.5 Ripetitori, hub, bridge, switch, router, gateway

Nonostante la funzione simile, vale la pena confrontare ripetitori, hub, bridge, switch, router, gateway. Innanzitutto, operano su strati diversi: ripetitori e hub nel fisico, bridge e switch nel data link, router nel network, gateway nel trasporto e applicazioni (due tipi diversi).

E Capitolo 5 - Strato network

Lo strato network si occupa del trasporto dei pacchetti da origine a destinazione, passando tra i vari router, a differenza di quello data link che si occupa dei frame. Lo strato deve scegliere il percorso migliore, evitando sovraccarichi o sprechi, e deve gestire i problemi che derivano dalla presenza della sorgente e della destinazione su diverse reti.

E.1 Architettura dello strato network

E.1.1 Commutazione di pacchetto store-and-forward

Dati due host collegati a diversi router, quando devono comunicare viene inviato un pacchetto al router più vicino, il quale lo slava finché non arriva completo. Dopo che è stato verificato il checksum, viene inviato al router successivo secondo un certo percorso fino ad arrivare alla destinazione. Questo meccanismo è detto commutazione store-and-forward.

E.1.2 Servizi forniti allo strato di trasporto

I servizi forniti allo strato di trasporto devono essere indipendenti dalla tecnologia del router e lo strato di trasporto non deve essere influenzato dal numero, tipo e topologia dei router.

La questione principale è: dovrebbe essere un servizio senza connessione o orientato alla connessione?

Implementazione del servizio senza connessione In questo caso i pacchetti sono inoltrati e instradati indipendentemente l'uno dagli altri. I pacchetti sono chiamati datagrammi e la sottorete è detta a datagrammi.

Dato un messaggio da spedire tra due host, il messaggio all'origine viene diviso in pacchetti se troppo lungo e vengono inviati uno alla volta al primo router. Il router ha una tabella che elenca dove vanno inviati i pacchetti in base alla destinazione. Come già detto, vengono archiviati per calcolare il checksum, poi ogni pacchetto viene inoltrato al router successivo secondo quanto indicato nella tabella. Il router di passaggio indicato nella tabella può variare, per esempio in base al traffico rilevato; l'aggiornamento della tabella avviene tramite gli algoritmi di routing. Passando da router a router i pacchetti giungeranno l'host di destinazione che potrà ricomporre il messaggio.

Implementazione del servizio orientato alla connessione Nel servizio orientato alla connessione va stabilito il percorso prima di inviare i pacchetti. La connessione è detta CV (circuito virtuale) e la sottorete a circuito virtuale.

A differenza del precedente, quando è stabilita la connessione il percorso è fisso e salvato nelle tabelle dei router. Il percorso è usato per tutti i pacchetti del messaggio. Ogni pacchetto ha un identificatore che indica il CV a cui appartiene. Alla fine della connessione, viene chiuso il CV.

Quando due host hanno lo stesso identificatore di connessione e giungono ad un router, quest'ultimo ha il potere di cambiare il numero di connessione del traffico in uscita per risolvere il conflitto.

E.1.3 Sottoreti a circuito virtuale vs a datagramma

Quale dei due servizi è meglio?
Nel CV, un pacchetto può usare il numero di circuito al posto dell'indirizzo di destinazione, che può portare ad un risparmio di banda.

A livello di qualità del servizio, CV offre un servizio migliore perché definendo a priori strada e banda, ha tutto prefissato ed evita problemi di congestione.

Se un router va in crash, tutti i CV che passano per quel router vengono terminati, mentre nel datagramma viene cambiato il percorso.

E.2 Algoritmi di routing

Gli algoritmi di routing definiscono l'instradamento dei pacchetti. Nella sottorete a datagrammi la decisione va fatta per ogni pacchetto, mentre nel CV viene fatto solo nel momento in cui viene stabilita la connessione (in questo caso detto anche routing di sessione).

Va distinto l'inoltro e l'instradamento: il primo è la gestione del pacchetto in un router secondo la tabella di routing, in cui viene cercata la linea adatta; il secondo è il processo di riempimento e aggiornamento della tabella.

Un algoritmo di routing dovrebbe avere le seguenti proprietà: precisione, semplicità, robustezza, stabilità, imparzialità e ottimizzazione.

Gli algoritmi si possono distinguere in due classi:

- adattivi, cambiano le decisioni in base al traffico e alle modifiche della topologia (datagrammi)
- non adattivi, non basano le decisioni sul traffico o sulla topologia; il percorso viene calcolato in anticipo ed è fisso (CV)

E.2.1 Principio di ottimalità

È possibile calcolare il percorso più breve con il principio di ottimalità. Dal principio deriva l'albero sink tree, che rappresenta le distanze tra i router in base alla distanza dei nodi e delle foglie dalla radice, che rappresenta il router di partenza. Nella pratica il sink tree può non essere la soluzione "definitiva" a causa di possibili imprevisti, guasti, ecc.

E.2.2 Routing basato sul percorso più breve

Un tipo di routing è quello basato sul cammino minimo. Ci sono diversi algoritmi per calcolarlo, per esempio quello di Dijkstra. Questo algoritmo è statico.

E.2.3 Flooding

Il flooding è un altro algoritmo statico. Questo algoritmo invia il pacchetto in tutte le linee tranne quella di arrivo. Chiaramente genera molti pacchetti duplicati, che sono da gestire. Una possibilità è quelli di usare un contatore di salti che viene decrementato ad ogni inoltro: se arriva a zero viene scartato. Il valore iniziale dovrebbe essere dovrebbe essere la distanza origine-destinazione, se conosciuta. In alternativa è possibile tracciare con un numero di sequenza il passaggio dei pacchetti: quando passa un pacchetto viene salvato in una tabella il numero di sequenza, in modo da scartare le sue successive occorrenze.

Una variante è il flooding selettivo, dove il pacchetto viene mandato solo nelle linee nella direzione "giusta"

Per quanto sia uno spreco, il flooding può essere ottimo per la sua robustezza in determinati contesti, ad esempio quello militare dove si potrebbero perdere molti router in poco tempo; oppure se va aggiornato un sistema di database distribuito; un'altra possibilità è nelle rete wireless, dove tutti i messaggi possono essere ricevuti da tutte le altre stazioni.

E.2.4 Routing basato sul vettore delle distanze

Gli algoritmi basati sul vettore delle distanze sono di tipo dinamico. Spesso prendono il nome dell'algoritmo che usano, come Bellman-Ford. Ciascun router ha una tabella di routing indicizzata da ogni router della sottorete, con una voce per ogni router. Questa indica la linea preferita per quella destinazione e una metrica per quella destinazione: distanza in salti, lunghezza

della coda, tempo come ritardo. Questi dati sono continuamente aggiornati scambiando informazioni con i router vicini.

Il principale difetto di questo metodo è il fatto che per raggiungere la risposta corretta per il percorso migliore, ci può mettere molto tempo. In particolare il problema è il conteggio all'infinito[2], ovvero quando le tabelle continuano a venire aggiornate, ma la distanza incrementa sempre di più.

Inoltre l'algoritmo non tiene conto della banda.

Per questi due problemi, venne rimpiazzato dal routing basato sullo stato dei collegamenti.

E.2.5 Routing basato sullo stato dei collegamenti

Un altro algoritmo dinamico è quello basato sullo stato dei collegamenti, Si basa su 5 punti che deve fare ogni router:

- scoprire i vicini e i loro indirizzi di rete
- misurare il ritardo o il costo di ogni vicino
- costruire un pacchetto con tutte le info raccolte
- inviare il pacchetto agli altri
- elaborare il percorso più breve verso tutti gli altri router

Innanzitutto il router invia un pacchetto HELLO per capire chi ha nelle vicinanze e in router devono rispondere identificandosi con un nome unico globalmente. Se tra dei router c'è una LAN, questa viene considerata come un nodo artificiale della rete.

Per misurare il ritardo dei router vicini viene usato un pacchetto ECHO, al quale devono rispondere subito. Tempo di andata + ritorno diviso due e si ottiene il ritardo stimato.

Una volta ottenute le info di scambio, viene creato il pacchetto dove è indicata l'identità del trasmittente, un numero di sequenza, un'età e la lista dei vicini con il relativo ritardo. I pacchetti possono essere costruiti periodicamente o quando accade un evento significativo.

La distribuzione di questi pacchetti è un punto cruciale, perché può creare inconsistenza. Viene utilizzato il flooding con numero di sequenza che viene incrementato per ogni nuovo pacchetto inviato. I router tengono traccia delle coppie router sorgente-sequenza; se arriva un pacchetto di info, viene confrontato: se è nuovo viene inoltrato a tutte le linee tranne quella

[2]NdR: spiegato male

d'arrivo, se è duplicato o vecchio i dati vengono scartati.
I problemi di questo metodo sono vari. I numeri di sequenza devono essere lunghi per evitare ripetizioni. Se un router si blocca, perde traccia dei numeri di sequenza. Se il numero di sequenza è danneggiato, possono essere saltati altri pacchetti leciti (per esempio arriva un numero di sequenza più grande).

E.2.6 Routing gerarchico

Le tabelle crescono man mano che aumenta la rete, il che consuma memoria, cpu e banda. Si deve quindi utilizzare un routing gerarchico, dove i router sono divisi in regioni: i router conoscono solo le info del routing all'interno della regione. Per reti grandi, le regioni non bastano e vengono fatti altri raggruppamenti a livelli. All'interno di una regione è presente un router che fa da ponte e riesce a comunicare con altre regioni.

Il risparmio di spazio tutta via aumenta la lunghezza dei percorsi.

E.2.7 Routing broadcast

A volte può servire trasmettere un pacchetto a molti/tutti host. Per fare ciò si usa una trasmissione broadcast. Per attuare questa trasmissione ci sono diversi modi: inviare a tutti un pacchetto distinto, sprecando banda; utilizzo del flooding, ma genera troppi pacchetti e spreca banda.

Una terza tecnica è il multidestination routing, un algoritmo nel quale un pacchetto ha la lista di tutte le destinazioni. Un router riceve un pacchetto, controlla la lista, duplica il pacchetto e lo inoltra in base a ogni destinazione indicata. Ad ogni inoltro le destinazioni vengono consumate, finchè non diventa un pacchetto normale con un'unica destinazione.

Una quarta possibilità usa lo spanning tree, un albero che contiene tutti i router, senza cicli. In questo modo un router sa quali linee appartengono all'albero e può inviare il pacchetto in tutte le linee dello spanning tree tranne quella di ingresso. Ottimo utilizzo della banda e poche copie inutili, ma deve conoscere lo spanning tree (non sempre possibile).

L'ultimo algoritmo usa il reverse path forwarding: quando un pacchetto arriva ad un router, viene controllato se è arrivato dalla linea usata di solito per comunicare con il sorgente; se si, significa che è già nel percorso migliore e che è la prima copia, e viene inoltrato in tutte le linee tranne quella d'arrivo, se non lo è viene scartato. Il metodo è facile da implementare e abbastanza efficiente.

E.3 Algoritmi per il controllo della congestione

La congestione è un problema che si presenta quando ci sono troppo pacchetti in una sottorete, che sorpassano la capacità di trasporto. Di solito i pacchetti in più vengono persi.

La congestione può verificarsi quando si crea coda ma non c'è abbastanza memoria per mantenere tutti in coda, oppure se il processore è troppo lento e non riesce a gestire il carico.

C'è differenza tra controllo del flusso e controllo della congestione. Quello della congestione punta ad assicurare che la sottorete sia in grado a trasportare il traffico immesso, mentre quello del flusso gestisce il traffico punto a punto tra sorgente e destinazione.

E.3.1 Principi del controllo della congestione

Al problema del controllo ci sono due gruppi di possibili soluzioni: quelle a ciclo aperto, che puntano su una soluzione che una volta in atto non esegue correzioni in corsa e non tiene conto dello stato attuale della rete; le soluzioni a ciclo chiuso controllano dinamicamente il sistema per verificare quando e dove si presenta la congestione, in modo da eseguire le manovre correttive nei punti dove è possibile farlo.

Nel ciclo chiuso ci sono diversi modi per valutare la congestione: numero di pacchetti scartati, lunghezza della coda, ritardo, pacchetti ritrasmessi perché scaduti, ecc. Poi comunica il problema; la cosa più ovvia è riferirlo alla sorgente (ma esistono altre alternative). La soluzione che può venire intrapresa è ridurre il carico o aumentare le risorse.

E.3.2 Prevenire la congestione

I metodi a ciclo aperto servono a ridurre la possibilità di congestione, non a risolverla. Questi lavorano su più livelli: trasporto, network, data link.

Lo strato data link deve gestire principalmente la ritrasmissione dei pacchetti scaduti e gli acknowledgement. Per esempio la ripetizione selettiva è migliore del metodo go-back-n. Gli acknowledgement possono generare traffico aggiuntivo, quindi va gestito.

Lo strato network è influente nella scelta tra sottorete a circuito virtuale o a datagrammi, in quanto molti algoritmi di controllo della congestione funzionano solo nella prima.

E.3.3 Controllo nelle sottoreti a circuito virtuale

Una tecnica per gestire una congestione dinamicamente è il controllo di ammissione, quale, quando è rilevata la congestione, impedisce di impostare nuovi circuiti virtuali. Semplice e facile da implementare. Un'alternativa è creare circuiti virtuali che aggirano la congestione, se possibile. Un'altra possibilità è quella di prenotare le risorse quando viene stabilito il circuito virtuale, in modo da essere sicuri che vada a buon fine; se non sono disponibili, aspetta.

E.3.4 Controllo nelle sottoreti a datagrammi

Un router può tenere sotto controllo le linee di output, associando ad ogni linea una variabile da 0 a 1.0 che indica quanto è utilizzata la linea. Quando il valore si avvicina alla soglia, il router controlla se il pacchetto in arrivo è diretto ad una linea in allarme, se lo è esegue le manovre correttive.

Choke packet Questo metodo invia un pacchetto (choke packet appunto) al sorgente per farlo rallentare, contenente la destinazione. Il pacchetto originale viene etichettato per indicare che ha generato un choke packet, poi viene inoltrato. Il sorgente deve rallentare di una certa percentuale e per un po' deve ignorare altri choke packet, dato che è probabile che ne arrivino altri da pacchetti instradati verso la stessa destinazione. La velocità di solito viene dimezzata per ogni choke packet e ripristinata successivamente gradualmente.

Il principale problema è la gestione a lunghe distanze o ad alte velocità: il choke packet provoca una reazione lenta nel sorgente in questi casi. La soluzione è la variante hop-by-hop, nel quale il choke packet ha effetto ad ogni salto all'indietro, rallentando ogni router nel percorso e dicendogli di salvare nel buffer i dati in arrivo. In questo modo i router successivi hanno un sollievo dal punto di vista del carico, mentre quello corrispondente al punto dove è arrivato il choke packet sposta il peso delle operazione sul buffer, che mette in coda. In questo modo mentre il choke packet risale il percorso fino al sorgente, si ha un sollievo graduale e permette di non perdere nessun pacchetto. Chiaramente va a pesare sul buffer dei router precedenti nel percorso.

E.3.5 Load shedding

La soluzione finale quando i precedenti metodi non funzionano è il load shedding, il quale elimina il carico in più. Ma quali pacchetti eliminare?

C'è la strategia wine, che elimina i pacchetti più recenti, o quella milk che elimina i più vecchi. La scelta dipende dal contesto. La cosa migliore è utilizzare un sistema di priorità dei pacchetti. Ovviamente tutti vorrebbero il massimo della priorità. L'incentivo può essere economico (bassa priorità, basso costo), oppure un patto durante la creazione del circuito virtuale (il CV viene creato ma i pacchetti in eccesso prendono bassa priorità).

Una congestione va gestita appena rilevata, altrimenti blocca tutto. Esiste l'algoritmo RED (Random Early Detection) che scarta i pacchetti prima che tutto il buffer sia pieno. Questa tecnica è utilizzabile solo nelle reti cablate, dove il problema principale è l'esaurirsi del buffer e non gli errori di trasmissione. Quindi conviene scartare prima che vadano persi, in questo modo la sorgente non riceve l'ack e rispedisce il pacchetto. Per fare ciò si base sulla lunghezza media delle code; se supera la lunghezza di guardia, inizia la manovra correttiva. In particolare, la sorgente sa che se sono persi i pacchetti è a causa della congestione, quindi oltre a tornare il pacchetto rallenta la velocità di trasmissione.

E.3.6 Controllo del jitter

In alcune trasmissioni la costanza del tempo di transito è fondamentale. La variazione è detta jitter. L'intervallo di tempo del jitter deve essere minimo. Un router può controllare e limitare il jitter confrontando i tempi di arrivo di un pacchetto; se è in anticipo, l'ho fa aspettare, se in ritardo, cerca di trasmetterlo subito.

E.4 Qualità del servizio

E.4.1 Requisiti

Un flusso di pacchetti da sorgente a destinazione è chiamato flusso. Le esigenze di un flusso hanno quattro parametri, che determinano la Qualità del Serzizio (QoS): affidabilità, ritardo, jitter e banda.

E.4.2 Tecniche per una buona qualità

Sovradimensionamento Una possibilità è quella di garantire molto spazio di buffer e banda al router per facilitare il transitare dei pacchetti. Il problema ovviamente è il costo elevato.

Utilizzo dei buffer Si può utilizzare un buffer nel dispositivo ricevente dove memorizzare il flusso prima di essere consegnati. Permette di elimi-

nare il jitter, aumentando però il ritardo. La tecnica è utile per i servizi video/musicali, es. YouTube.

Traffic shaping La tecnica traffic shaping serve a rendere più uniforme il traffico lato server, regolando la velocità media della trasmissione dei dati. Quando viene impostata una connessione, viene definito il modello di traffico tramite un accordo tra utente e sottorete: service level agreement. Se l'utente rispetta l'accordo, l'operatore telefonico manderà i dati in modo veloce. Il traffic policing è il controllo sul traffico, per vedere se sta venendo rispettato l'accordo.

Leaky bucket Questo algoritmo si basa sull'idea di un secchio con un buco sul fondo; non importa con che velocità vengono trasmessi i pacchetti, esiste una coda finita nella quale vengono messi in attesa i pacchetti, i quali vengono processati a velocità costante (1 per ciclo di clock), regolando così il flusso prima di essere immessi nella rete. Se arrivano la coda è piena, i pacchetti successivi vengono scartati. Funziona sia lato hw, sia sw; di per sè è facile da implementare. Se i pacchetti hanno dimensione variabile, conviene usare come unità di misura processata un determinato blocco di bit, raggruppando così più pacchetti.

Token bucket Il token bucket cerca di risolvere una limitazione dell'algoritmo precedente, nel quale la velocità è fissa. Vengono aggiunti dei token generati ad ogni clock. Un pacchetto può venire trasmesso se ha un token a disposizione da distruggere. Questo permette di avere dei burst di dati trasmessi, con un massimo uguale a n, che equivale alla capacità del "secchio". In questo modo, gli host inattivi accumulano token per trasmissioni successive. Inoltre token bucket spreca i token, ma non i pacchetti: se non ci sono token, si ferma.

Esiste una variante che conta i byte per token invece che i pacchetti.

Il problema è la capacità di inviare un grande burst di dati; va quindi limitato adeguatamente il numero di token.

E.5 Collegamento tra reti

Le reti collegate tra loro sono di tipo diverso e usano protocolli diversi per strato. Probabilmente non verrà mai unificato in un unico tipo.

E.5.1 Differenze tra le reti

Le reti possono differire sotto vari aspetti, ma sono le differenze nello strato network che rendono difficile l'attraversamento di reti diverse. Alcune differenze che possono creare problemi: passare da una rete orientata alla connessione ad una senza connessione, l'utilizzo di protocolli diversi, la diversa dimensione dei pacchetti, la diversa qualità del servizio, il controlle degli errori, del flusso e delle congestioni.

E.5.2 Connessione tra le reti

Nello strato network due reti sono collegate tramite router. A volte il router può gestire protocolli diversi e in questo caso viene detto router multiprotocollo.

Confrontando un collegamento a livello data link e uno a livello network, ci sono diverse differenze: nel datalink, viene utilizzato lo switch, nel quale viene guardato l'indirizzo MAC del frame per trovare la destinazione; nel network, la comunicazione avviene tramite due router collegati punto a punto, uno dei quali estrae il pacchetto dal frame, esamina l'indirizzo e lo confronta con la tabella di routing e mandato nel secondo router, dove viene messo in un frame per la seconda rete.

La differenza principale tra i due è che nello strato network gli switch ignorano il protocollo dello strato network utilizzato, mentre i router si.

E.5.3 Circuiti virtuali concatenati

Come già detto, esistono reti orientate alla connessione, che usano i circuiti virtuali, e quelle senza connessione, che usano i datagrammi. Nella rete a circuiti virtuali concatenati, quando è connessa con altre reti lontane viene costruito un circuito virtuale tra i router delle due reti con un gateway (router multiprotocollo) di mezzo, che fa da intermediario. Il processo si ripete se deve attraversare più sottoreti per giungere a destinazione. Quando un pacchetto giunge ad un gateway, viene inoltrato e convertito al formato usato dalla rete successiva. La sequenza di circuiti virtuali è impostata dalla sorgente e tutti i pacchetti devono attraversare la stessa sequenza di gateway. Questa tecnica va bene quando si hanno circa le stesse proprietà di qualità del servizio.

E.5.4 Collegamento tra reti senza connessione

In questo caso ci sono sempre i gateway tra le sottoreti, ma ogni pacchetto può seguire una strada diversa in base al traffico. Questo metodo può ottenere più banda ma non ha garanzia di ordine d'arrivo dei pacchetti.

Notare che le conversioni del formato di pacchetto nel router multiprotocollo è fattibile se sono due formati simili; se differiscono troppo. Un secondo problema sono gli indirizzi di destinazione, che possono essere di formato diverso e quindi non comprensibili.

E.5.5 Routing in una internetwork

Il routing in una internetwork si complica rispetto la singola sottorete. Di fatto all'interno di una rete viene usato un protocollo di gateway interno, mentre tra le reti un protocollo di gateway esterno. Infatti ogni rete è indipendente dalle altre e spesso viene denominata Autonomous System (AS). Nel concreto un pacchetto giunge al router multiprotocollo, il quale poi decide verso quale rete instradarlo.

E.6 Lo strato network in internet

La rete di internet è in insieme di sottoreti o AS connessi tra loro. La "colla" di fondo è il protocollo dello strato network chiamato IP (Internet Protocol).

E.6.1 Il protocollo IPv4

Un datagramma IP ha il seguente formato:

- intestazione, di 20 byte fissi + parte opzionale variabile; i campi sono:
  - versione, il quale indica la versione del protocollo usato, permettendo di sviluppare e passare a nuove versioni (es. IPv4 a IPv6)
  - IHL indica la lunghezza dell'intestazione espressa in numero di parole da 32 bit
  - type of service distingue le varie classi di servizio e i parametri del QoS
  - total lenght indica la lunghezza totale del datagramma (intestazione + testo)
  - identification indica a quale datagramma appartiene il frammento arrivato

  - DF (don't fragment) indica di non frammentare il datagramma perchè la destinazione non riuscirebbe a ricostruirlo
  - MF (more fragments) indica che è un frammento e deve ancora arrivare l'ultimo pezzo, che avrà il bit del campo a zero
  - Fragment offset indica la posizione del frammento nel datagramma
  - time to live limita la vita di un pacchetto, in modo da non lasciare un pacchetto in giro per la rete per troppo tempo
  - protocol indica il processo di trasporto, come TCP o UDP
  - header checksum verifica l'intestazione e viene ricalcolato ad ogni salto
  - source e destination address che indicano l'indirizzo sorgente e di destinazione
  - option che indica diverse opzioni aggiuntive

- testo

E.6.2 Gli indirizzi IP

Ogni host e router ha un indirizzo IP univoco che indica l'indirizzo di rete e il numero di host. Gli indirizzi sono lunghi 32 bit e si riferiscono ad una scheda di rete più che al singolo host, ovvero se un host ha più schede necessità di più indirizzi.

Per molti decenni gli indirizzi IP erano divisi in 5 categorie dette classi, dove ogni classe rappresentava un formato diverso; ora non è più usato questo indirizzamento per classi, ma viene ancora usato nella letteratura informatica, quindi in sintesi:

- A, B, C - rete + host in diverse lunghezze
- D - Per indirizzi multicast
- E - Riservata per usi futuri

Le classi supportano rispettivamente un massimo di:

- 128 reti con 16 milioni di host (A)
- 16.384 reti e 64.000 host (B)
- 2 milioni di reti e 256 host (C)

Gli indirizzi usano la notazione decimale a punti: 0.0.0.0 il minimo, 255.255.255.255 il massimo. Già da questo si può notare che il numero è limitato, il che crea problemi in un universo di reti sempre più in espansione. Esistono dei valori che hanno un significato specifico, come lo 0 che indica la rete o l'host corrente, o il 127 che è usato in loopback, per simulare pacchetti in arrivo e che non escono dalla rete.

Sottoreti Tutti gli host di una rete devono avere lo stesso numero di rete, ma è un problema quando le reti crescono. La rete viene quindi divisa in più sottoreti e viene vista esternamente come una unica.

Se venisse utilizzato l'indirizzamento a classi, creare e gestire la tabella di routing del router centrale che collega le sottoreti sarebbe oneroso. Quindi viene modificato l'indirizzo di classe B togliendo alcuni bit dal numero di host per usarli come numero di sottorete. Per usare le sottoreti il router principale ha bisogno della maschera di sottorete, che indica il punto di demarcazione tra numero di rete, sottorete e host. Questa divisione è solo interna alla rete e non viene vista al di fuori, quindi può essere gestita autonomamente. La notazione della maschera può essere decimale a punti o con `/numero` che indica la lunghezza della maschera di sottorete.

Come vengono elaborati i pacchetti IP dai router? Ogni router ha una tabella con gli indirizzi IP *rete-0* e *questa rete-host*; indicano come raggiungere reti lontane e come raggiungere quelle locali. Quando un pacchetto è ricevuto, cerca la destinazione nella tabella: se è una rete distante viene inoltrato, se è locale viene inviato all'host. Se non viene trovato l'indirizzo, viene inoltrato ad un router con tabelle più dettagliate. Questa tecnica riduce di molto la grandezza delle tabelle.

Utilizzando la divisione in sottoreti, chiaramente cambiano le tabelle di routing, dove le voci diventano *questa rete-sottorete-0* e *questa rete-questa sottorete-host*. Quindi un router su una sottorete k sa come raggiungere le altre sottoreti e come raggiungere gli host della sottorete k.

CIDR Un problema di IP è che si stanno esaurendo gli indirizzi. Il principale colpevole è l'indirizzo di classe B che è un buon compromesso tra A e C, quindi venne molto usato, però in molti casi rimane troppo grande e risulta uno spreco e la C sarebbe bastata, ma questo tipo avrebbe appesantito di molto le tabelle di routing.

La soluzione usata al momento è CIDR (Classless Interdomain Routing), il quale assegna gli indirizzi IP rimanenti in blocchi, ignorando le classi. Questo però complica l'inoltro: prima l'indirizzo IP estratto da un pacchetto

veniva letto per capire di che classe era, poi attraverso una diramazione a 16 percorsi in base alla classe veniva letto il numero di rete e cercata la voce nella tabella per inoltrare il pacchetto nella linea giusta; nel CIDR invece ogni voce della tabella ha una maschera di 32 bit, quindi una linea è composta da *indirizzo IP-maschera di sottorete-linea di output*. Quando giunge un pacchetto, viene estratto l'indirizzo IP di destinazione, viene mascherato e confrontato con la tabella di routing; viene scelta la linea della tabella con il valore della maschera (se ci sono più voci uguali ma di lunghezza diversa, viene presa la maschera più lunga) e viene inoltrato nella linea indicata.

NAT Anche il NAT esiste per il problema riguardante il numero di indirizzi, che è limitato ma non sufficiente a coprire il numero crescente di dispositivi. Un ISP ha un numero limitato di host a cui può offrire servizio e utenti commerciali con molti computer sempre accesi "consumano" la disponibilità. Inoltre la diffusione di ADSL pone degli IP fissi per quel determinato cliente, che può essere potenzialmente sempre connesso (e potenzialmente anche con più dispositivi, tutti con IP diverso), limitando ulteriormente la disponibilità di indirizzi IP. La soluzione a lungo termine è il passaggio alla versione successiva di IP, che usa indirizzi a 128 bit, ma è un processo molto lungo e lento.

Invece la soluzione attualmente adottata è il NAT (Network Address Translation), nel quale viene associato un solo indirizzo IP (o un numero limitato) ad ogni rete locale; all'interno della rete ogni dispositivo ha un suo indirizzo IP, ma quando un pacchetto deve uscire, viene tradotto dal dispositivo NAT nell'indirizzo IP assegnatogli. Spesso il dispositivo NAT è accoppiato al firewall.

Il problema principale del metodo è l'arrivo di un pacchetto. Come capire a quale indirizzo interno deve arrivare? Per fare ciò viene usata l'intestazione dei carichi utili TCP e UDP, in quanto modificare l'indirizzo IP non era fattibile. In particolare viene usato il campo porta sorgente/destinazione, sempre presenti nei carichi utili. Quando un pacchetto è in uscita, l'indirizzo sorgente è tradotto nell'indirizzo IP assegnato, mentre il campo porta sorgente ottiene un indice che punta alla riga della tabella corrispondente del NAT, che contiene le coppie *indirizzo IP-porta*. Quando arriva il pacchetto, viene estratto l'indice nel campo porta sorgente, cercata la voce nella tabella e tradotto l'indirizzo IP nell'indirizzo locale.

Obiezioni contro NAT:

- viola il modello gerarchico di IP (un dispositivo, un indirizzo IP)

- trasforma la rete internet da senza connessione a orientata alla connessione, perchè deve mantenere le informazioni
- viola la stratificazione dei protocolli, che li rende indipendenti tra loro
- i processi possono usare qualcosa che non sia TCP o UDP
- la lunghezza del campo porta sorgente limita il numero di macchine associate ad un indirizzo IP

E.6.3 Protocolli di controllo internet

Esistono diversi protocolli di controllo Internet

ICMP I router monitorano Internet e con ICMP (Internet Control Message Protocol) notificano se succede qualcosa di anomalo. Questo protocollo definisce una serie di messaggi di controllo incapsulati in pacchetti IP. Alcuni esempi (non approfondito):

- Destination unreachable
- Time Exceeded
- Parameter problem
- Source quench
- Redirect
- ECHO

ARP Ogni scheda di rete ha un proprio indirizzo di 48 bit univoco; le schede inviano i frame in base a questi indirizzi e non sanno niente degli indirizzi IP. Come avviene l'associazione indirizzi strato data link e indirizzi IP? L'uso di un file di configurazione è impensabile, quindi si usa il protocollo ARP (Address Resolution Protocol), nel quale un host manda un pacchetto broadcast è chiede chi è il proprietario di un certo indirizzo IP, recuperato per esempio tramite il DNS. Il proprietario dell'indirizzo risponde, riuscendo così a fare l'associazione dell'indirizzo IP al relativo indirizzo Ethernet.

DHCP Esiste il problema inverso, ovvero associare un indirizzo Ethernet ad un indirizzo IP. Per fare ciò si usa il protocollo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), il quale si basa su un server che assegna gli indirizzi IP. Ogni LAN deve avere un agente di inoltre al server DHCP, il quale gestisce le trasmissioni DHCP e comunica con il server.

E.6.4 OSPF

Come già detto, internet è un insieme di reti dove il routing interno è gestito indipendentemente, e quello esterno è univoco. Conviene però cercare di porre uno standard, e qui si presenta OSPF (Open shortest path first), che sostituisce gli algoritmi basati sul vettore delle distanze e sullo stato dei collegamenti.

I principi su cui è stato creato l'algoritmo sono:

- l'algoritmo deve esere aperto
- deve supportare diverse metriche (distanza, ritardo ecc)
- doveva essere dinamico ed adattarsi alla situazione
- doveva supportare il routing in base al tipo di servizio usando il relativo campo IP *type of service*, e questo era una novità
- doveva bilanciare il carico, suddividendolo tra le linee
- doveva supportare i sistemi gerarchici
- doveva presentare un minimo di sicurezza
- doveva provvedere a gestire i router collegati tramite tunnel

Sono supportate tre tipi di connessioni e reti:

- punto a punto tra due router
- reti multiaccesso con trasmissione broadcast
- reti multiaccesso senza broadcast

L'intero insieme di reti, router, linee è rappresentato da un grafico orientato, con i costi negli archi. Il percorso più breve viene calcolato in base al peso negli archi.

Se una AS è troppo grande viene suddivisa in aree (delle "sottoreti") e ogni AS ha un'area dorsale a cui sono collegate tutte le aree. I router che collegano due aree devono avere la tabella che mappa entrambe le aree.

Tre tipi di percorsi: interni all'area, conosce già il percorso più breve; tra aree, dove sorgente -> dorsale -> area destinazione -> destinazione;

E.6.5 BGP

Tra AS invece, si utilizza il protocollo BGP (Border gateway protocol). Nel caso delle AS c'è la politica di mezzo, quindi serve una sorta di "dogana". I criteri sono configurati manualmente. [...]

E.6.6 Internet multicasting

Tramite gli indirizzi di classe D, IP supporta il multicasting, ovvero la trasmissione di un pacchetto a più riceventi. I 28 bit sono usati per identificare i gruppi; quando vengono trasmessi i pacchetti, non c'è nessuna garanzia di consegna.

Gli indirizzi di gruppo possono essere temporanei (vanno creati) o permanenti (sempre presenti e impostati).

Il routing viene effettuato usando strutture spanning tree.

E.6.7 IPv6

IPv6 è la versione successiva a IPv4 (esiste anche il 5, ma non viene usato). Questa versione è una soluzione a lungo termine (perché tutta la rete va adattata) al problema del numero di indirizzi (e non solo).

Gli obiettivi di IPv6:

- supportare più host
- ridurre la dimensione delle tabelle di routing
- semplificare il protocollo
- renderlo più sicuro
- supportare più tipi di servizio
- aiutare il multicast
- dare la possibilità ad un host di spostarsi senza cambiare indirizzo
- permettere un'evoluzione futura

- compatibilità tra protocolli vecchi e nuovi

IPv6 non è compatibile con il 4, ma lo è con i protocolli ausiliari, come TCP, UDP, DNS, ecc.

IPv6 ha indirizzi più lunghi, ha un'intestazione più semplice (7 campi), un miglior supporto per le opzioni, più attento alla QoS e più sicuro (anche se in seguito la sicurezza di IPv4 è stata migliorata e non è così grande la differenza).

L'intestazione principale L'intestazione da 7 campi. Version indica la versione e ha sempre 6. Traffic class è usato per i pacchetti che trasportano dati in tempo reale, ma è ancora in perfezionamento il suo uso. Flow label, sperimentale, pone dei requisiti alla connessione tra sorgente e destinazione. Payload lenght indica la lunghezza del carico, senza contare l'intestazione. Next header contiene i campi opzionali usati da IPv4 per mantenere la compatibilità. Hop limit indica dopo quanti salti un pacchetto viene scartato. Infine i due campi indirizzo della sorgente e della destinazione. la notazione dell'indirizzo cambia: 8 gruppi da 4 cifre esadecimali.

Intestazione estesa L'intestazione estesa contiene dei campi che potrebbero servire in alcune situazioni (che erano in IPv4), per essere compatibile con i protocolli che usavano quei campi.

Controversie [...]

F Capitolo 6 - Strato trasporto

Il livello di trasporto si basa sul livello di rete per fornire il trasporto dei dati tra due macchine secondo il livello di affidabilità desiderato e indipendentemente dalle reti fisiche. L'obiettivo finale è fornire un servizio efficiente, efficace ed affidabile ai suoi utenti. Per fare ciò usa i servizi forniti dallo strato di rete. L'hardware/software usato per svolgere il lavoro è detto **entità di trasporto**.

Per molti aspetti lo strato trasporto può sembrare simile a quello network, ma il fatto è che questo strato è essenziale per garantire affidabilità che lo strato network, basato sulla rete, non può dare.

Grazie alle primitive fornite dallo strato, i programmatori possono scrivere codice senza preoccuparsi della sottorete.

In seguito verrà usato TPDU (transport protocol data unit) per indicare i messaggi inviati da un'entità di trasporto ad un'altra. Quindi, riprendendo gli altri "contenitori" degli altri strati, avremo TPDU dentro un pacchetto, il quale è dentro un frame (trasporto -> network -> datalink). Ogni carico utile di ogni livello ha la propria intestazione.

F.1 Richiesta connessione e protocollo Three-way Handshake

Il Three-way handshake è un protocollo che entra in gioco quando si deve stabilire una connessione. Infatti stabilire una connessione è un'operazione tutt'altro che facile. Al normale "percorso" CONNECTION REQUEST - CONNECTION ACCEPTED, la rete può perdere, ritardare, corrompere o duplicare i pacchetti, creando diversi problemi. In particolare, l'esistenza dei duplicati ritardati è il nodo centrale del problema e può essere affrontato in diversi modi. Una possibilità è l'utilizzo di indirizzi di trasporto monouso oppure si può assegnare ad ogni connessione un identificatore inserito in ogni TDPU. Entrambe le possibilità hanno diversi problemi.

La soluzione è cercare di distruggere i pacchetti obsoleti rimasti in circolo, impostando una durata massima di vita del pacchetto. Il valore massimo di durata può essere prefissato utilizzando una o più tecniche tra le seguenti:

- progettazione di sottoreti limitate che impediscono ai pacchetti di essere ripetuti ciclicamente
- inserimento di un contatore di salti in ogni pacchetto che viene decrementato ad ogni salto e se raggiunge lo zero viene scartato

- applicazione di un contrassegno temporale in ogni pacchetto; verrà scartato se diventa troppo vecchio secondo un tempo stabilito

Oltre al pacchetto, anche i suoi acknoledgment devono essere distrutti. Consideriamo quindi un valore T che indica il tempo dopo il quale si può essere certi che tutte le tracce del pacchetto sono scomparse (sia pacchetto che acknoledgement). La sorgente etichetta i segmenti con numeri di sequenza che non verranno riutilizzati per T secondi. In questo modo ci sarà un unico pacchetto con quel numero di sequenza in sospeso.

Nel caso di malfunzionamento, è possibile far rimanere le entità inattive per T secondi in modo da far scadere gli eventuali segmenti vecchi, così da essere sicuri di non usare numeri di sequenza già utilizzati. Tuttavia su reti complesse non conveniva, quindi fu proposto un orologio per ogni host implementato come contatore binario che abbia tanti bit quanti quelli del numero di sequenza. Quando viene instaurata la connessione, i k bit di ordine più basso dell'orologio sono usati come primo numero di sequenza, quindi ogni connessione inizia con numeri diversi. Una volta stabilito il primo numero di sequenza, si può utilizzare un qualsiasi protocollo sliding window.

Il metodo dell'orologio risolve il problema dei segmenti duplicati, ma non c'è modo si ricordare i numeri tra una connessione e l'altra, quindi non sappiamo se un segmento di richiesta di connessione sia duplicato o meno. La soluzione è il three-way handshake che richiede la verifica reciproca da parte dei peer utilizzando tre messaggi. Il primo host manda la richiesta di connessione con un numero di sequenza x; l'host 2 risponde con un ack che conferma x e contiene il suo numero di sequenza iniziale. L'host 1 allora invia il primo segmento dati e conferma a sua volta la scelta del numero di sequenza iniziale dell'host 2. Nel caso di richiesta di connessione duplicata, l'host 2 reagisce normalmente, ma al terzo messaggio l'host 1 rifiuta il tentativo di connessione. Se invece si hanno sia la richiesta che l'ack ritardati, l'host 2 reagisce normalmente restituendo il numero y, successivamente l'host riceve il secondo segmento ritardato che ha però un ack su un numero diverso da y, per cui capisce che è un duplicato.

F.2 Rilascio della connessione

Il rilascio della connessione è più semplice e può essere simmetrico o asimmetrico. In quello asimmetrico, una delle due parti interrompe la connessione; è improvviso e può far perdere di dati. Il rilascio simmetrico tratta la connessione come se fosse composta da due connessioni separate unidirezionali,

quindi le rilascia separatamente. In questo caso, anche se una delle due parti ha inviato il pacchetto DISCONNECT, può continuare a ricevere dati.

Anche per il rilascio conviene usare il three-way handshake, anche se in questo caso non è infallibile. Ogni messaggio passa la richiesta di disconnessione e il ricevente deve confermare con una richiesta di rilascio; infine il primo risponde con l'ack. in questo caso, ogni messaggio ha un timer per triggerare la rispedizione nel caso qualcosa vada storto.

F.3 Introduzione all'UDP

UDP (User Datagram Protocol) è un protocollo di trasporto senza connessione, permette cioè di inviare datagrammi IP senza dover stabilire una connessione. UDP trasmette segmenti con un'intestazione di 8 byte seguita dal carico utile. L'intestazione contiene le porte dell'origine e della destinazione. Il campo UDP lenght include l'intestazione e i dati, mentre UDP checksum contiene il checksum.

UDP non si occupa del controllo del flusso, degli errori o della ritrasmissione.

Questo protocollo è particolarmente utile per il multimediale (streaming) e per le situazioni client/server, dove è richiesta una risposta breve ad una breve richiesta al server. Se non viene ricevuta la risposta, allora va in timeout e riprova. Questo tipo di utilizzo viene effettuato dal DNS.

F.4 TCP

F.4.1 Introduzione

TCP (Transport Control Protocol) è un protocollo di trasporto creato per fornire affidabilità per un internetwork inaffidabile. Un internetwork ha diversi parametri che possono variare e TCP cerca di adattarsi dinamicamente. Un'entità di trasporto TCp riceve i dati dell'utente, li suddivide in pezzi di dimensione massima uguale a 64KB e invia ogni pezzo in un datagramma IP autonomo. Nel ricevente i datagrammi vengono usati per ricostruire il flusso di byte originali. TCP ha il compito di segnalare gli errori, richiedere la ritrasmissione e riordinare i datagrammi se non sono nell'ordine corretto.

F.4.2 Modello di servizio di TCP

Il servizio TCP è ottenuto creando punti finali da parte del mittente e ricevente, ovvero i socket. Ogni socket ha un indirizzo composto dall'indirizzo

IP dell'host e da un numero di 16 bit locale all'host, che indica la porta. Per avere un servizio è necessario stabilire una connessione tra i due socket.

Un socket supporta più connessioni alla volta e una connessione è identificata dalla coppia dei due socket utilizzati.

I numeri di porta inferiori a 1024 sono le well-known ports, porte speciali dedicate ai servizi standard.

Tutte le connessioni TCP sono full-duplex punto a punto. Non supporta né il broadcsting, né il multicasting.

Una connessione TCP è un flusso di byte e non di messaggi, quindi un messaggio può essere trasmesso spezzato in blocchi di byte più piccoli o con altri messaggi.

TCP ha la capacità di decidere se inviare subito i dati ricevuti da un'applicazione o se salvarli in un buffer per raggrupparli e inviarli insieme ad altri. L'applicazione può avere però richieste particolare e chiedere che sia spedito subito tramite il flag PUSH.

F.4.3 Protocollo TCP

Una funzionalità importante del protocollo è il fatto che ogni byte ha un proprio numero di sequenza a 32bit.

I dati vengono scambiati sotto forma di segmenti. Un segmento consiste di un'intestazione di 20 byte seguita da 0 (ack) o più byte di dati. Sta a TCP decidere la grandezza massima dei segmenti e può decidere se dividere o combinare i messaggi. Il limite superiore però è di 65615 byte, che deve starci nel carico utile di IP. Ogni rete ha un MTU (Maximum Transfert Unit) e il segmento deve stare sotto la soglia. Di solito è di 1500 byte.

Le entità TCP usano il protocollo sliding window.

F.4.4 Intestazione TCP

L'intestazione di un segmento è di 20 byte. Due campi sono dedicati alla porta d'origine e a quella di destinazione. I campi *numero di sequenza* e *numero di acknowledgement* svolgono le solite funzioni. Il campo *lunghezza dell'header TCP* indica quante parole di 32 bit sono contenute nell'intestazione; è necessario perchè il campo options ha una lunghezza variabile. Seguono 6 bit inutilizzati e 6 bit per 6 flag, come URG (puntatore urgente), ACK (acknowledgement è valido), PSH (push), RST (reimposta la connessione), SYN (stabilisce una connessione), FIN (rilascia la connessione). Il campo successivo *window size* indica la dimensione della finestra per lo sliding window e in particolare quanti byte possono essere inviati a partire

da quello che ha ricevuto l'acknowledgement. Seguono il campo checksum e l'urgent pointer. Una volta finita l'intestazione, sono presenti il campo *options* per opzioni aggiuntive e i dati effettivi.

F.4.5 Connessione TCP

Le connessioni vengono stabilite secondo il three-way handshake. Un host richiede la connessione inviando un segmento con bit SYN a 1 e ACK a 0 e attende la risposta. L'host ricevente controlla se alla porta indicata nel frame è in ascolto; in caso negativo risponde rifiutando la connessione, altrimenti risponde con un segmento di acknoledge per dare il via libera al primo host, che manda il segmento di dati.

Se due host tentano una connessione sugli stessi socket, solo una delle due andrà a buon fine in quanto i socket sono identificativi della connessione.

F.4.6 Rilascio connessione TCP

Il rilascio avviene in maniera simmetrica, dove ogni parte può inviare un segmento con il bit FIN impostato per dire che ha finito di trasmettere e può essere chiusa la connessione. Nel senso opposto può continuare la trasmissione finché non termina e viene rilasciata del tutto la connessione.

Per rilasciare la connessione servirebbero 4 segmenti (2 FIN e 2 ACK), ma è possibile raggruppare il primo ACK con il secondo FIN in modo da averne solo tre.

Se ad un FIN non arriva la risposta, un timer rilascia la connessione nella direzione del FIN inviato.

G Capitolo 7 - Strato applicazione

Lo strato applicazione e dove si trovano effettivamente le applicazioni. Ci sono comunque dei protocolli di supporto per permettere alle applicazioni di funzionare. Uno di questi è il DNS.

G.1 DNS

Il DNS (Domain name system) è un protocollo per la gestione dei nomi. I siti web e le altre risorse possono essere accedute direttamente tramite l'indirizzo IP, ma non risulta molto user-friendly in quanto per l'utente è difficile memorizzare l'indirizzo della risorsa richiesta. Il DNS serve per tradurre gli indirizzi IP in nomi comprensibili e viceversa. Infatti, se per l'utente il nome è più comprensibile, il network comprende solo l'indirizzo IP, per cui è richiesta la traduzione inversa da nome a indirizzo. Un altro problema che ha portato alla creazione del DNS era la necessità di un sistema centralizzato, che permettesse di gestire i nomi senza avere duplicati.

Il DNS quindi è un sistema centralizzato con un database distribuito dove viene implementato lo schema gerarchico dei nomi basato su dominio. Viene utilizzato principalmente per mappare indirizzi IP e nomi del relativo host. Per mappare un nome con il suo indirizzo IP, viene chiamata una procedura detta `resolver` con il nome come parametro. Questa invia la query al server DNS e viene ritornato l'indirizzo IP; sia la query, sia la risposta sono spediti come pacchetti UPD.

La gerarchia dei nomi è divisa in diversi livelli. Internet è diviso in più di 250 domini di primo livello contenenti i vari host. Ogni dominio è partizionato in sottodomini, anch'essi partizionati ecc. Il primo livello è distinto tra generici (com, org, edu, ecc) e nazioni (it, uk, jp, ecc). Il secondo livello spesso indica l'azienda. Il nome di un dominio può essere assoluto o relativo. Se termina con il punto è assoluto; se è relativo, il reale significato dipende dal contesto. I nomi sono case-insensitive e di lunghezza massima di 255 caratteri.

Ogni dominio può essere associato ad un insieme di record delle risorse. Quando il DNS riceve un nome, restituisce i record associati, tra cui quello che indica l'indirizzo IP. Un record è identificato dalla quintupla:
`Domain_name Time_to_live Class Type Value`

Il Type A è il più importante in quanto è il record che contiene l'indirizzo IP. Questo record può non essere univoco.

Il server del DNS non è unico, altrimenti verrebbe sovraccaricato. Quindi i nomi sono divisi in zone, che risiedono su server diversi.

H Capitolo 8 - Sicurezza

H.1 Crittografia

Quando si parla di crittografia vanno distinti due termini: cifrario, ovvero la trasformazione carattere per carattere del messaggio, e codice, che rimpiazza ogni parola con un'altra parola (non più usati).

H.1.1 Introduzione alla crittografia

Un messaggio da cifrare è detto testo in chiaro ed è trasformato in testo cifrato da una funzione secondo una chiave di cifratura. Decifrare è l'operazione legittima di lettura dei dati, traducendoli nel messaggio originale, mentre decriptare è l'attività di decifrazione da parte dell'intruso.

Secondo il principio di Kerckhoff, tutti gli algoritmi di cifratura devono essere pubblici e solo le chiavi sono segrete. Infatti di solito cercare di tenere nascosto l'algoritmo non è produttivo, mentre averlo pubblico può portare a collaborazioni e miglioramenti.

Dato che la segretezza sta nella chiave, la sua lunghezza è la parte fondamentale. Più è lunga, più è difficile da decriptare.

H.1.2 Cifrari a sostituzione

Il cifrario a sostituzione sostituisce una o più lettere con una o più lettere. Uno dei cifrari più antichi è quello di Cesare, che effettuava uno slittamento dell'alfabeto di 3 lettere: A diventa D, B diventa E, ecc. In generale, si può usare questo metodo usando una chiave k per spostare di k lettere l'alfabeto. Questa cifratura è detta sostituzione monoalfabetica.

Il passaggio successivo è stato far cambiare la corrispondenza lettera in chiaro e lettera cifrata in maniera più casuale. La chiave è la stringa che corrisponde all'intero alfabeto.

Anche se questo sistema sembra sicuro per il gran numero di combinazioni, più testo cifrato si ha a disposizione e più facile è decriptare il testo grazie alle proprietà statistiche dei linguaggi. Basterà usare diagrammi o trigrammi più comuni (coppie o triple di lettere), o cercare di individuare una parola che è probabile che sia presente.

H.1.3 Blocchi monouso

Il blocco monouso (one time pad) permette di costruire un cifrario imbattibile:

1. Si genera una chiave formata da una stringa di bit casuali
2. Si converte il testo in chiaro in una stringa di bit, per esempio secondo il codice ASCII
3. Si calcola lo XOR delle due stringhe per ottenere il testo cifrato

Il risultato non è decriptabile perché in un testo grande ogni lettera comparirà con la stessa frequenza ed è immune a tutti gli attacchi.

Nonostante sia ottimo a livello teorico, nella pratica ha diversi svantaggi. La chiave per esempio non è possibile impararla a memoria, quindi entrambi i comunicanti devono averne una copia. Inoltre la lunghezza della chiave limita la quantità di dati che può essere trasmessa. Infine, se venisse persa la sincronizzazione tra i due comunicanti a causa di caratteri persi o aggiunti per errore, il resto dei dati sarebbe illeggibile.

H.1.4 Due principi crittografici fondamentali

I due principi crittografici fondamentali sono la ridondanza e l'attualità.

Il primo principio afferma che tutti i messaggi cifrati devono contenere una qualche forma di ridondanza, cioè un'informazione non necessaria al messaggio. Questo per evitare che gli intrusi possano creare dati casuali con il rischio che vengano interpretati come validi. La ridondanza però renderebbe più facile decriptare: quindi difende contro gli intrusi attivi, ma meno da quelli passivi.

Il secondo principio afferma che è necessario avere la possibilità di verificare che ogni messaggio ricevuto sia attuale, recente, in modo da poter prevenire attacchi di tipo ripetizione, dove un intruso manda messaggi vecchi spacciandoli per nuovi.

H.2 Algoritmi a chiave simmetrica

Questi algoritmi usano la stessa chiave per cifrare e decifrare. Gli algoritmi possono essere implementati in software o hardware (es: P-box, scatola di permutazione con input a 8 bit, o S-box, scatola di sostituzione).

H.2.1 DES singolo e triplo

DES (Data Encryption Standard) cifra il testo in chiaro in blocchi di 64 bit che generano 64 bit di testo cifrato. Utilizza una chiave a 56 bit e ha 19 stadi, dove nel primo viene fatta la trasposizione dei 64 bit di testo in chiaro, indipendentemente dalla chiave, mentre nell'ultimo stadio avviene l'inverso

del primo. Quelli intermedi hanno la stessa funzione, ma parametrizzati da diverse funzioni della chiave.

Ogni stadio intermedio prende due ingressi a 32 bit e produce due uscite a 32 bit: quello di sinistra è la copia dell'originale di destra, mentre quello di destra è lo XOR tra i bit di sinistra, quelli risultanti da una funzione che ha come parametri i bit di destra e della chiave di stadio.

È possibile rafforzare il DES con la tecnica dello sbiancamento, la quale effettua lo XOR di ogni blocco dati del testo in chiaro con una chiave casuale a 64bit all'entrata e all'uscita del DES.

Quando IBM si rese finalmente conto che la chiave di cifratura era troppo corta, decise di usare una cifratura tripla. Vengono usate due chiavi e tre stadi: nel primo il testo in chiaro viene cifrato con DES usando la chiave K_1, nel secondo viene usato DES in modalità di decifrazione usando K_2, infine un'altra cifratura con chiave K_1. Questa alternativa migliorata è detta **triplo DES**.
Domanda 1: perché solo 2 chiavi e non 3? Perché i 112 bit erano ritenuti sufficienti, mentre 168 avrebbe richiesto molto lavoro senza vantaggi effettivi.
Domanda 2: perché cifra-decripta-cifra e non cifra-cifra-cifra? Il motivo è per mantenere la compatibilità con i sistemi che usavano un solo DES, ponendo $K_1 = K_2$.

H.2.2 AES

AES (Advanced Encryption Standard) è lo standard successivo a DES. Questo algoritmo è un cifrario simmetrico a blocchi, con struttura interamente pubblica (DES non lo era), supporta chiavi fino a 256 bit, è implementabile sia via software, sia hardware e doveva essere pubblicato senza vincoli.

Questo algoritmo deriva da un concorso pubblico; ci furono diverse proposte e alla fine quella definita vincitrice fu quella di Rijndael.

AES definisce che la dimensione del blocco doveva essere di 128 bit, mentre quella della chiave poteva essere di 128 o 256 bit. Ci sono quindi le versioni 128/128 e 128/256, ma già la prima è sufficientemente sicura.

Come DES, AES usa sostituzioni e permutazioni in diversi round (10 a 128 bit) e a differenza di DES le operazioni coinvolgono byte interi.

AES opera utilizzando matrici di 4x4 byte chiamate stati (states). Quando l'algoritmo ha blocchi di 128 bit in input, la matrice State ha 4 righe e 4 colonne; se il numero di blocchi in input diventa di 32 bit più lungo, viene aggiunta una colonna allo State, e così via fino a 256 bit. In pratica, si divide il numero di bit del blocco in input per 32 e il quoziente specifica il numero di colonne.

C'è un passaggio iniziale:
AddRoundKey Ogni byte della tabella viene combinato con la chiave di sessione, la chiave di sessione viene calcolata dal gestore delle chiavi. Successivamente per cifrare sono previsti diversi round o cicli di processamento: ogni round (fase) dell'AES (eccetto l'ultimo) consiste dei seguenti quattro passaggi:

- SubBytes Sostituzione non lineare di tutti i byte che vengono rimpiazzati secondo una specifica tabella.
- ShiftRows Spostamento dei byte di un certo numero di posizioni dipendente dalla riga di appartenenza.
- MixColumns Combinazione dei byte con un'operazione lineare, i byte vengono trattati una colonna per volta.
- AddRoundKey Ogni byte della tabella viene combinato con la chiave di sessione, la chiave di sessione viene calcolata dal gestore delle chiavi.

Il numero di round o cicli di processamento/elaborazione crittografica dei quattro passaggi precedenti è 10 con l'ultimo round che salta il passaggio MixColumns.

La fase di decifratura non è identica a quella di cifratura dal momento che gli step sono eseguiti in ordine inverso. Tuttavia, si può definire un cifrario inverso equivalente ai passi dell'algoritmo usato per la cifratura, usando la funzione inversa a ogni step e un different key schedule. Funziona siccome il risultato non cambia quando si scambiano la fase di SubBytes con quella di ShiftRows, e quella di MixColumns con una fase aggiuntiva di AddRoundKey.

L'algoritmo è molto sicuro e veloce; nell'implementazione hardware riesce ad essere anche più veloce.

H.2.3 Modalità di cifratura

I cifrari a blocchi sono "ripetitivi", nel senso che dato un testo in chiaro e una chiave, l'output sarà sempre uguale. Questo può essere un problema per la sicurezza.

Modalità ECB Dato un testo in chiaro, con DES viene suddiviso in blocchi da 8 byte fino a raggiungere l'ultimo, che eventualmente viene riempito per raggiungere la grandezza richiesta, e vengono cifrati con la stessa chiave. Questa tecnica è nota come ECB (Electronic Code Book). Anche se i

blocchi sono cifrati, è possibile manipolare il "libro" dei blocchi sapendo il contesto, senza il bisogno di decriptarli.

Modalità stream cipher Un blocco può venire danneggiato per un errore di trasmissione su un bit e in alcune applicazioni questo è inaccettabile. La modalità stream cipher cerca di risolvere questo problema cifrando un vettore di inizializzazione per ottenere un blocco in uscita; questo blocco viene cifrato per ottenere un secondo blocco in uscita, e così via. La sequenza di blocchi cifrati è detta keystream e viene utilizzata come un blocco monouso e utilizzata in XOR con il testo in chiaro per ottenere il testo cifrato.

Il keystream dipende solo dalla chiave e dal vettore di inizializzazione, quindi non è sensibile agli errori di trasmissione del testo cifrato e permette la decifrazione generando lo stesso keystream. Un errore nel testo cifrato trasmesso genera un errore solo nel testo decifrato.

Non si deve mai usare la stessa coppia chiave-vettore, altrimenti si genera lo stesso keystream. L'uso ripetuto dello stesso keystream espone il testo cifrato ad attacchi di keystream riutilizzato.

H.3 Algoritmi a chiave pubblica

Gli algoritmi a chiave pubblica sono stati proposti per risolvere un problema: le chiavi sono il punto primario, vanno distribuite ma senza lasciare che un intruso possa ottenerle. Questi nuovi algoritmi propongono di usare chiavi di cifratura e decifratura diversi e non deducibili tra loro, e di rendere la chiave di cifratura pubblica insieme all'algoritmo.

H.3.1 RSA

RSA è un algoritmo a chiave pubblica ancora piuttosto solido, il cui principale svantaggio è l'uso di chiavi di almeno 1024 bit che lo rende un algoritmo lento.

L'algoritmo usa dei parametri pre calcolati. Presi due numeri primi di 1024 bit, p e q, vengono calcolati i prodotti $n = p * q$ e $z = (p-1) * (q-1)$. Poi viene scelto un numero primo d rispetto a z e viene calcolato e in modo che $e * d = 1 \mod z$. Il testo in chiaro viene poi diviso in blocchi di k bit in modo che ogni messaggio sia compreso tra 0 e n e $2^k < n$. Per cifrare P viene calcolato $C = P^e(\mod n)$, mentre per decifrare $P = C^d(\mod n)$. Quindi la chiave pubblica consiste nella coppia (e, n) mentre quella privata in (d, n).

Questo metodo è considerato sicuro per la difficoltà nel fattorizzare numeri molto grandi. Tuttavia, data la lentezza dell'algoritmo, viene usato principalmente per distribuire le chiavi piuttosto che per grandi dati.

H.4 Firme digitali

Nei documenti cartacei la firma ha un ruolo centrale. Anche in quelli digitali serve un modo per firmare i documenti e deve soddisfare alcune condizioni:

- il destinatario può dichiarare l'identità del mittente
- il mittente non può ripudiare il contenuto del messaggio
- il destinatario non può falsificare i messaggi del mittente

Un metodo è quello delle firme a chiave simmetrica, dove un'autorità affidabile e riconosciuta fa da intermediario. Quando un utente A manda un messaggio a B, nel mezzo viene ricevuto, decifrato e inoltrato dall'autorità centrale che conferma l'identità del mittente. Il problema è che l'entità di mezzo in questo modo può leggere i messaggi.

Un altro metodo è quello delle firme a chiave pubblica. Un utente A manda un messaggio P come $E_B(D_A(P))$ e l'utente B riesce ad ottenere il messaggio e a dimostrare che è un messaggio di A mostrando $D_A(P)$. Questo funziona se la chiave segreta rimane tale e se non viene cambiata (che è lecito), altrimenti invalida la firma.

H.4.1 Message digest

Un problema dei metodi di firma è il cercare di mettere assieme autenticazione e segretezza. Esiste una tecnica che punta solo sull'autenticazione e usa una funzione di hash detta message digest. La funzione riceve il testo in chiaro e calcola una stringa di bit a lunghezza fissa; deve essere facile calcolare MD(P) da P, ma impossibile calcolare P da MD(P). Inoltre MD(P) dovrebbe essere univoco, quindi lungo almeno 128 bit, e se cambia 1 bit di input cambia totalmente il risultato.

Message digest è più rapido di cifrare l'intero testo con chiave pubblica e fa risparmiare nei costi di trasporto, quindi è utile negli algoritmi di firma digitale. Ad esempio prendendo il metodo delle firme a chiave simmetrica, l'intermediario al posto del messaggio decifrato calcola il message digest. Funziona anche con i sistemi a chiave pubblica.

Esistono diverse funzioni di message digest, tra cui MD5 e SHA-1.

H.4.2 MD5

Questa funzione mescola i bit d'ingresso in modo che ogni bit uscito sia influenzato da tutti i bit d'ingresso. Il messaggio viene riempito fino a raggiungere la lunghezza di 448 bit (in modulo di 512) a cui vengono aggiunti 64 bit per indicare la lunghezza originale. Vengono elaborati i blocchi di 512 bit: ad ogni iterazione (x4) il blocco viene alterato usando un buffer di 128 bit inizializzato con un valore prefissato. Alla fine dei blocchi, il contenuto del buffer è il message digest.

Al momento è un metodo ancora sicuro e funzionante.

H.4.3 SHA-1

Questa funzione elabora i blocchi da 512 bit ma produce una stringa più lunga di MD5, ovvero di 160 bit.

Anche qui il messaggio viene allungato finché non diventa multiplo di 512 e viene effettuato aggiungendo il bit 1 seguito da n bit 0. La lunghezza originale viene indicata da un numero a 64 bit messo in OR con gli ultimi bit di ordine più basso. L'algoritmo usa 5 variabili di 32 bit dove viene accumulato l'hash (con un procedimento che non verrà descritto qui).

Spesso si utilizza SHA-1 assieme a RSA in questo modo:

1. il testo in chiaro dell'utente A viene sia spedito all'utente B, sia processato da SHA-1
2. l'hash risultante da SHA-1 viene processato nell'algoritmo di RSA con la chiave privata dell'utente A
3. l'hash firmato risultante viene passato all'utente B
4. l'utente B calcola l'hash SHA-1 del testo in chiaro e usa la chiave pubblica di A sull'hash firmato: se combaciano i due hash il messaggio è valido

H.5 Sicurezza delle comunicazioni

H.5.1 IPsec

Dopo una lunga disputa sul dove porre la sicurezza della rete, si è optato per lo strato network con IPsec (IP security). Questo mette a disposizione diversi servizi, resi disponibili su richiesta (es. pagando): segretezza, integrità dei dati, protezione dagli attacchi ripetizione, tutti servizi basati sulla crittografia a chiave simmetrica per motivi di performance. Inoltre permette

diverse granularità (due host, due router, altro..) e rende disponibili diversi algoritmi, in quanto basarsi su un solo algoritmo può creare problemi in casi di vulnerabilità future.

IPsec è orientato alla connessione, in quanto servono le chiavi. Nel contesto IPsec una connessione è detta Security Association. SA è una connessione simplex; se serve un traffico sicuro in due direzioni, servono due SA. Ogni SA ha un identificatore di sicurezza trasportato da pacchetti che viaggiano sulla connessione sicura.

Ci sono due modalità disponibili di IPsec:

- modalità trasporto, dove l'intestazione IPsec viene inserita dopo quella di IP.
- modalità tunnel, dove il pacchetto IP viene incapsulato in un nuovo pacchetto IP con un'intestazione diversa; è utile quando il tunnel arriva in una destinazione diversa da quella finale, per esempio una macchina con gateway sicuro. Inoltre permette una difesa parziale dall'analisi del traffico (chi sta mandando pacchetti, dove e quanti). Il problema di questa modalità è che aumenta la dimensione del pacchetto.

L'intestazione della modalità trasporto è detta AH (Authentication Header), che garantisce il controllo dell'integrità, la sicurezza dagli attacchi di ripetizione, ma non la segretezza in quanto non permette la cifratura. Nell'intestazione, il campo Next header field memorizza il valore originale del campo Protocol di IP, mentre il campo Payload length contiene il numero di word nell'intestazione -2. Security parameters index identifica la connessione e sequence number indica il numero attribuito ai pacchetti inviati in una SA, diverso da quello originale (evita l'attacco di tipo ripetizione). L'ultimo campo è Authentication data che contiene la firma digitale del payload (serve per controllare l'integrità). L'algoritmo per la firma è deciso quando viene stabilita la SA. Per motivi di performance, viene usata la crittografia a chiave simmetrica per il calcolo della firma; la chiave è definita in fase di connessione. Una tecnica per calcolare la firma è HMAC (Hashed Message Authentication Code), nella quale viene calcolato l'hash sui contenuti del pacchetto e della chiave. È più veloce di SHA-1 + RSA.

Un'intestazione alternativa è ESP (Encapsulating Security Payload), con due word da 32 bit che costituiscono i campi security parameters index e sequence number, similmente a AH. Può esserci una terza word con il vettore di inizializzazione se i dati sono cifrati. Anche ESP permette di usare HMAC, ma non viene messo nell'intestazione, bensì in coda al campo

payload, permettendo migliori prestazioni nelle implementazioni hardware. ESP fa tutto quello che fa AH e di più, oltre che in maniera più efficiente.

H.5.2 Firewall

Un'altra fonta di sicurezza per le reti è il firewall, usato per esempio nelle LAN aziendali. Di fatto il traffico di rete viene fatto passare attraverso un unico "cancello" che controlla i dati prima di farli passare, ad esempio due router con filtri dei pacchetti. Questi router filtrano i pacchetti che non soddisfano certi criteri e vengono scartati, mentre gli altri passano. Spesso i router con i filtri hanno tabelle con sorgenti e destinazioni accettate o rifiutate. Per quando bloccare l'entrata sia più fattibile, magari bloccando determinate porte, controllare l'uscita è più complesso. Inoltre le connessione UDP sono molto difficili da controllare, quindi spesso vengono bloccate in partenza.

La seconda parte del firewall è il gateway appicativo, il quale non guarda i pacchetti ma bensì funziona sulle applicazioni (es: mail).

Purtroppo il firewall non è perfetto. Un utente malevolo può inserire un indirizzo di sorgente falso per aggirare il firewall in entrata. In uscita, spacciare informazioni è più facile grazie alle immagini che non essendo testuali, sono più difficili da controllare.

Infine c'è un problema non gestibile tramite firewall: gli attacchi DoS. In questi attacchi, l'utente manda una grande quantità di pacchetti legittimi per sovraccaricare il servizio, per esempio, mandando molte richieste di connessione ma senza portarle avanti: in questo modo il servizio attaccato risponde e rimane in attesa della connessione, inutilmente.

Esiste una versione peggiore, il DDoS, ovvero quando l'intruso è già penetrato in diverse macchine e fa partire un attacco DoS simultaneo contro un servizio: aumenta il potere di fuoco e diminuisce la possibilità di essere scoperto.

H.5.3 Sicurezza wireless

Quando si introduce il wireless in una rete, la vulnerabilità aumenta.

802.11 Lo standard 802.11 usa il protocollo per la sicurezza chiamato WEP (Wired Equivalent Privacy) per lo strato data link. Ogni stazione stabilisce una chiave segreta condivisa con la stazione base. WEP usa lo stream cipher basato sull'algoritmo RC4 che genera un keystream che applicato in XOR al testo in chiaro genera quello cifrato. Il testo in chiaro è

composto dal payload e il suo checksum calcolato con CRC-32 polinomiale. Il vettore di inizializzazione IV viene mandato con il testo cifrato, in modo che il ricevente possa usare la coppia chiave-IV per decifrare il testo. Purtroppo non è un metodo sicuro in quanto presenta diverse vulnerabilità.

WAP 2.0 Supporta l'uso di IPsec nello strato network, usa TLS (?) in quello di trasporto.

H.6 Replay attack

Il replay-attack è una forma di attacco di rete che consiste nell'impossessarsi di una credenziale di autenticazione comunicata da un host ad un altro, e riproporla successivamente simulando l'identità dell'emittente. In genere l'azione viene compiuta da un attaccante che s'interpone tra i due lati comunicanti.

Questo attacco permette operazioni fraudolente come falsa autenticazione e/o transazioni duplicate, senza dover necessariamente decriptare la password, ma soltanto ritrasmettendola in un tempo successivo.

A differenza dell'attacco di tipo man in the middle che opera sempre in tempo reale, il replay attack può operare anche in modo asincrono quando la comunicazione originale è terminata.

Per esempio, si verifica un replay-attack quando Mallory intercetta la comunicazione tra Alice, che si sta autenticando con Bob, e si spaccia, agli occhi di Bob, per Alice. Quando Bob chiede a Mallory (convinto di parlare con Alice) una chiave d'autenticazione, Mallory prontamente invia quella di Alice, instaurando così la comunicazione.

Esistono diverse contromisure. Si possono usare token di sessione generati pseudocasualmente: Bob invia ad Alice uno di questi token usa e getta che Alice utilizza per criptare la propria chiave da inviare a Bob (per esempio con una funzione di hashing che calcola il message digest della chiave concatenata con il token). Bob effettua lo stesso calcolo e controlla che il suo risultato corrisponda con quello di Alice. Mallory non può fare granché anche se ha catturato tale token di sessione, perché alla prossima comunicazione Alice e Bob si accorderanno con un altro token. I token vanno memorizzati per sempre perché Mallory potrebbe attaccare anche anni dopo se non è stato memorizzato.

Un'altra contromisura è quella di utilizzare una marca temporale e di far sì che questa sia inserita nel corpo del messaggio criptato.

H.7 Sicurezza del naming

H.7.1 DNS spoofing

Il DNS spoofing è una tecnica che consiste nell'installare un indirizzo IP falso in un server DNS. Per fare ciò, l'utente malevolo manda una query ad server DNS per ottenere un certo indirizzo, ma si crea anche la risposta in modo che venga salvata nel server. Questo è possibile perchè utilizzando UDP il server DNS non ha modo di sapere chi gli fornisce la risposta. Il nuovo indirizzo viene salvato se non è presente nel server, altrimenti l'utente malevolo deve solo attendere che l'informazione scada, in modo da rimpiazzarla. Una volta inserito il nuovo indirizzo, può ingannare l'utente bersaglio mostrando una pagina a sua scelta, magari una versione modificata della pagina obiettivo che permetta di carpire informazioni.

Perché lo spoofing funzioni, l'invasore deve conoscere e utilizzare un indirizzo IP di un server top level DNS, i quali però sono pubblici e facilmente falsificabili, e conoscere il numero di sequenza. L'invasore può ottenere "facilmente" il numero se sono utilizzati sequenzialmente.

Esiste il progetto DNSsec che lavora sulla sicurezza del DNS, ma non è ancora diffuso. Utilizza la crittografia a chiave pubblica. [...]