

Rete: Livello fisico. Definizioni - 1

- **Baud:** velocità del segnale
 - Numero di configurazioni rappresentabili per unità di tempo
 - La codifica di ciascuna configurazione (il segnale) determina il numero di *bit* trasmessi per 1 secondo (*bit rate*)
 - Segnale 0/1 → 1 *bit* → 1 **baud**
 - Segnale 0..7 → 3 *bit* → 3 **baud**
 - Dato un **baud** *b*, l'invio di *N bit* richiede *N/b* secondi (bps)

Rete: Livello fisico. Definizioni - 2

- **Decibel (dB):** $10 \log_{10}$ volte il rapporto tra la potenza del segnale **S** e quella del disturbo **N**
 - $S/N = 10 \rightarrow 10$ dB
 - $S/N = 1000 \rightarrow 30$ dB
- **Teorema di Shannon**
 - La massima capacità di un canale dati disturbato con frequenza trasmissiva (banda) ϕ è data da
 - $\phi \log_2 (1+S/N)$ bps
 - Esempio
 - $\phi = 3$ kHz ; 30 dB → 29.9 kbps

Rete: Livello fisico. Definizioni - 3

- **Modulazione**
 - Tecnica di rappresentazione dell'informazione su un mezzo trasmissivo (per esempio a propagazione d'onda)
- Un dispositivo specializzato effettua la conversione da digitale ad analogico e viceversa
 - Modulatore / demodulatore (**modem**)
- L'uso combinato di più modulazioni permette di emettere più *bit* per **baud** (aumentare il *bit rate*)

Esempi di modulazione - 1

L'altezza verticale da un riferimento dato è detta **ampiezza** (*amplitude*). La distanza tra 2 massimi successivi è detta **lunghezza d'onda** (*wavelength*).

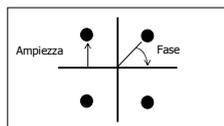
(a) Modulazione di ampiezza (**AM**): un apposito segnale modifica l'ampiezza d'onda

(b) Modulazione di frequenza (**FM**): un apposito segnale modifica la frequenza d'onda

(c) Modulazione di fase (**PM**): caso speciale di **FM**

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 315

Esempio di modulazione - 2



- Combinando **AM** e **PM** si possono ottenere 4 diverse configurazioni di segnale per ogni singola emissione
 - 2 *bit* effettivi per ogni **baud**

Rete: Livello del collegamento dati Servizi - 1

- Veicola sul livello fisico le unità informative ricevute dal livello rete correggendo gli eventuali errori di trasmissione fisica
 - Il livello fisico **non** offre garanzie di consegna né di consegna corretta
 - La soluzione è inviare unità dati delimitate (**frame**) sulle quali si possa effettuare verifica di correttezza
 - Trame con numero prefissato di caratteri
 - Delimitate da simboli noti e separatori fissati
 - Usando ridondanza eventualmente fornita dal livello fisico

Rete: Livello del collegamento dati
Servizi – 2

- Tipologie di servizio trasmissivo offerte al livello di rete
 - **Senza connessione e senza conferma**
 - Il nodo mittente invia **trame** indipendenti su percorsi non prestabiliti senza aspettare conferma di ricezione
 - Velocità più importante di qualità
 - **Senza connessione con conferma**
 - Come sopra, con conferma di ricezione per ciascuna trama
 - La conferma a questo livello è più veloce e meno onerosa che ai livelli superiori
 - **Con connessione e con conferma**
 - La connessione è ottenuta assegnando un ordinamento alle trame e preservandolo nella trasmissione
 - Massima affidabilità, massimo costo

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 318

Rete: Livello del collegamento dati
Trattamento degli errori trasmissivi – 1

- **Errore** → dato letto ≠ dato scritto
 - **Cardinalità n**: differenza in **n bit** tra letto e scritto
- Codici di **rilevazione/correzione** d'errore
 - **C (codeword) = D (dati) + P (controllo)**
 - Errore rilevato → dati scartati
 - Errore corretto → dati sostituiti
- **Distanza** → # **bit** differenti tra **codeword** di uguale lunghezza
 - Determinata da XOR tra i 2 **codeword**
 - La distanza **d** implica che un errore di cardinalità **d** converte un **codeword** nell'altro

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 319

Rete: Livello del collegamento dati
Trattamento degli errori trasmissivi – 2

- **Distanza di Hamming** (1915-98)
 - Il **minimo** delle distanze tra tutte le configurazioni legali di un codice **codeword** (dH)
 - Codice @ dH **d+1 rileva** errori di cardinalità **d**
 - Non bastano **d** errori per cambiare una **codeword** legale in un'altra legale
 - Codice @ dH **2d+1 corregge** errori di cardinalità **d**
 - La **codeword** illegale con **d** errori è **sostituita** dalla **codeword** legale a minor distanza

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 320

Rete: Livello del collegamento dati
Trattamento degli errori trasmissivi – 3

- **Rilevazione di errore** → **codice di parità**
 - **Parità pari**: il # di 1 in **C** è pari
 - **Parità dispari**: il # di 1 in **C** è dispari
 - Codice con dH ≥ 2 → rileva ≥ 1 errori singoli
- **Esempio (D: 3 bit, P: 1 bit, dH: 2)**
 - **C** legali
 - 0000, 0011, 0101, 0110, 1001, 1010, 1100, 1111
 - **C** illegali
 - 0001, 0010, 0100, 0111, 1000, 1011, 1101, 1110

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 321

Rete: Livello del collegamento dati
Trattamento degli errori trasmissivi – 4

- **Correzione di errore**
 - **Esempio (C: 10 bit, dH: 5 → correzione fino a 2 errori)**
 - **C_i** legali
 - 0000000000, 0000011111, 1111100000, 1111111111
 - **C_e** letto, ma illegale
 - 0000000111
 - $d(C_e, C_i) = \{C_e \text{ XOR } C_i\}_{i=1..4} = \{3, 2, 8, 7\}$
 - **C₂** è il codice a distanza minore
 - Se l'errore è solo doppio, allora **C_e** può essere corretto in **C₂**, altrimenti **C** non consente correzione

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 322

Rete: Livello del collegamento dati
Trattamento degli errori trasmissivi – 5

- **Codice di rilevazione di errore**
 - Quando il rapporto **D/C** è troppo oneroso si usa il metodo CRC (**cyclic redundancy code**)
 - Codice di controllo (**checksum**) aggiunto a **D**
 - **Checksum** di **k bit** calcolato come resto **R** della divisione in aritmetica a modulo 2 di un **polinomio noto G** di grado **k** per **D** esteso a $d \times$ con **k bit** posti a 0
 - Il polinomio **G**, detto **generatore**, codificato come stringa di **k+1 bit** visti, da $s \times$ a $d \times$, come i suoi coefficienti
 - Esempio di **G** standard di grado 16 ($k = 16 + 1 \text{ bit}$)
 - **CRC-16** = $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1 \rightarrow 11000000000000101$
 - La trama **T** inviata è **R** sottratto da **D** esteso a $d \times$
 - L'errore **E** in ricezione apparirà come **T + D** dove **E** ha 1 per ogni **bit** invertito (mentre **T/G = 0**)

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 323

Rete: Livello del collegamento dati

Trattamento degli errori trasmissivi – 6

$C = 1101011011$
 $G = 10011$ di grado $k=4 \rightarrow x^4 + x + 1$
 $C_e = C$ esteso a dx di $k=4$ bit posti a 0

L'aritmetica polinomiale è svolta in modulo 2. Addizione e sottrazione sono XOR.

T inviato è dato da $[C_e - Rem]$ in modulo 2 (11010110111110)

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 324

Rete: Livello del collegamento dati

Protocolli – 1

- Problemi da risolvere
 - **Bilanciamento** dei flussi e delle capacità dei livelli gerarchicamente adiacenti (rete / fisico)
 - Per non sovraccaricare alcuno e per limitare il bisogno di memoria temporanea
 - Supporto di **traffico bi-direzionale (full-duplex)**
 - Ogni nodo può essere simultaneamente mittente e destinatario
 - Gestione degli **errori** e delle **conferme** di ricezione
 - Arrivi ritardati e/o mancati
 - **Interrallacciamento (interleaving)** ottimale nell'invio di trame dati e trame controllo

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 325

Rete: Livello del collegamento dati

Protocolli – 2

- **SWP**: finestre scorrevoli, **sliding windows**
 - Stessa connessione fisica per invio dati (*forward*) e conferme di ricezione (*reverse*)
 - **Piggybacking**: conferma allegata alla 1ª trama dati emessa nella direzione giusta
 - Aggiunge ritardo, ma risparmia una trama
 - Il mittente che attende conferma deve tollerare il ritardo
 - Ciascuna trama in uscita ha numero d'ordine
 - Il mittente può emettere solo le trame con numero d'ordine in un intervallo (finestra) dato
 - Lo stesso vale per la ricezione del destinatario

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 326

Rete: Livello del collegamento dati

Protocolli – 3

- **SWP** dal lato mittente
 - **Intervallo** = numero d'ordine di trame consecutive inviate / da inviare e in attesa di conferma
 - Intervallo inizialmente vuoto e a capienza fissata,
 - Se l'intervallo è pieno il protocollo **blocca** il mittente
 - \forall nuovo pacchetto arrivato dal livello rete il numero d'ordine avanza di 1 e l'intervallo si amplia di 1 valore
 - \forall conferma di ricezione l'intervallo si riduce di $n \geq 1$ valori,
 - Dal limite inferiore fino al numero d'ordine della trama confermata
 - Ogni trama di numero d'ordine compreso nell'intervallo deve essere mantenuta in memoria fino alla conferma per l'eventualità di un possibile reinvio
 - Ogni trama non confermata entro un tempo limite (**time-out**) deve essere rimessa

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 327

Rete: Livello del collegamento dati

Protocolli – 4

- **SWP** dal lato destinatario
 - L'intervallo, sempre di massima ampiezza, racchiude il numero d'ordine delle trame accettabili
 - Ogni trama in arrivo con numero d'ordine fuori dall'intervallo viene scartata
 - La trama di numero d'ordine minore nell'intervallo viene accettata e passata al livello rete inviando conferma al mittente e spostando di 1 in avanti il limite inferiore dell'intervallo
 - Questo preserva l'ordine di invio al livello rete

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 328

Esempio di SWP (intervalli di capienza 1)

Mittente	Limite inferiore intervallo	Destinatario	
0	Nessuna trama inviata/da inviare	0	Pronto ad accettare solo trama 0
0	Trama 0 inviata e da confermare	0	Pronto ad accettare solo trama 0
0	Trama 0 inviata e da confermare	0 1	Trama 0 ricevuta, accettata; invio conferma
1	Trama 0 confermata; nessuna nuova trama da inviare	1	Trama 0 ricevuta, accettata, confermata

Tempo

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 329

Rete: Livello del collegamento dati

PPP - 2

- **Esempio:** connessione TCP/IP, via **modem**, tra PC (nodo mittente, **M**) e ISP (nodo *router*, **R**)
 - Selezione dei parametri di configurazione della connessione PPP tra **M** ed **R**
 - Le trame contengono informazioni **LCP** di controllo
 - Assegnazione di un indirizzo IP ad **M**
 - Uno tra quelli disponibili ad **R**, assegnato solo per la connessione corrente
 - Le trame contengono informazioni **NCP** di controllo per richiedere (**M**) e specificare (**R**) l'indirizzo IP
 - Fine della connessione
 - Rilascio dell'indirizzo IP → trame con informazioni **NCP**
 - Rilascio della connessione fisica → trame con informazioni **LCP**

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 336

Rete: Livello del collegamento dati

PPP - 3

- La trama **PPP** è suddivisa in 6 campi
 - **Delimitatore (flag)**, 2×1 B, obbligatorio, a contenuto fisso, posto in testa e in coda alla trama
 - **Indirizzo + Controllo**
 - **Modalità non numerata** : $1+1$ B, a contenuto fisso
 - I nodi a livello 2 non hanno indirizzo, le trame non hanno numero di sequenza
 - Possono essere omessi da configurazione **LCP** (2 B di controllo risparmiati per trama)
 - **Modalità numerata** : $2 \times 1-2$ B, con identificatore di nodo
 - Le trame hanno numero di sequenza
 - **Identificatore di Protocollo**, obbligatorio
 - $1-2$ B, definiscono il **tipo** di pacchetto trasportato, inclusi **LCP** ed **NCP**, oltre ad **IP**, **AppleTalk** e altri
 - Può essere ridotto ad 1 B da configurazione **LCP**

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 337

Rete: Livello del collegamento dati

PPP - 4

- Trama **PPP** ... (segue)
 - **Dati (payload)**, ampiezza variabile con massimo fissato da configurazione **LCP**
 - Può richiedere *padding*
 - **Controllo (checksum)**, 2-4 B
 - Ampiezza fissata da configurazione **LCP**
- PPP è un **contenitore di protocolli** che utilizzano trame
 - Si adatta a più connessioni fisiche, a diversi livelli di rete, e consente vari formati interni

Livello fisico e di collegamento dati

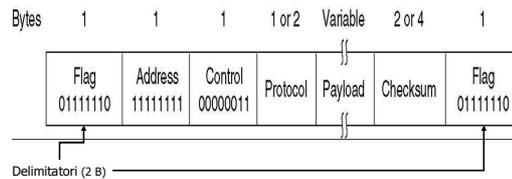
Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 338

Rete: Livello del collegamento dati

PPP - 5

Formato di 1 trama **PPP** completa per modalità non numerata



Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli Elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 339