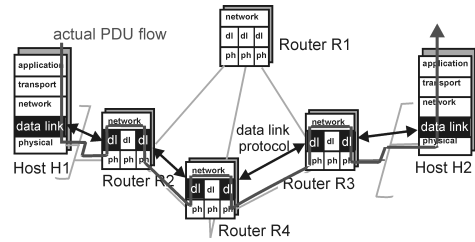


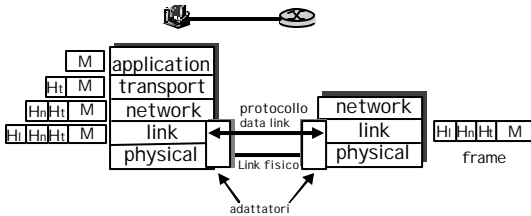
# II Livello Data Link

## II Contesto



## II Contesto (2)

- Due dispositivi *fisicamente connessi* :
  - host -router, router -router, host-host
- Unità di dati trasmessi : *frame*



## Servizi del livello Link

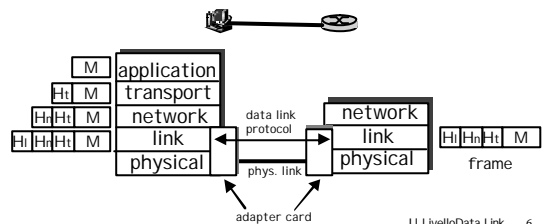
- Framing, accesso al link:
  - Incapsula i datagrammi nei frame, aggiunge header e trailer
  - Se il mezzo è condiviso implementa l'accesso al canale,
  - indirizzi fisici usati negli headers dei frame per identificare mittente e destinatari
    - Diversi dagli indirizzi IP!
- Consegna affidabile tra due dispositivi fisicamente connessi:
  - Già sappiamo come fare (il livello trasporto)!
  - Raramente usato su link con basso tasso di errore (fibra, alcuni tipi di twisted pair)
  - Se i link sono wireless: tassi di errore elevati
    - D: perchè affidabilità sia a livello link che end-to-end?

## Servizi del livello Link (2)

- Controllo del Flusso:
  - Sincronizzazione tra mittente e ricevente
- Rilevazione dell'Errore:
  - Errori causati dall'attenuazione e dal rumore
  - Il ricevente rileva gli errori:
    - segnala al mittente di ritrasmettere
- Correzione dell'Errore:
  - Il ricevente identifica e corregge gli errori senza ricorrere alle ritrasmissioni

## Link Layer: Implementazione

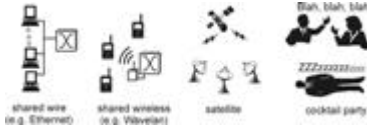
- Implementato negli "adapter"
  - Per es., schede PCMCIA, schede Ethernet
  - Includono tipicamente: RAM, chip DSP, interfaccia verso il bus dell'host e verso il link



## Protocolli di Accesso Multiplo

Tre tipi di "links":

- punto-punto (single wire, per es. PPP, SLIP)
- broadcast (shared wire or medium; per es., Ethernet, Wavelan, etc.)



- switched (per es., switched Ethernet, ATM, etc.)

## Protocolli di Accesso Multiplo

- Canale di comunicazione condiviso
- Due o più trasmissioni simultanee dai nodi : interferenza
  - Solo uno nodo alla volta può inviare con successo
- *protocollo di accesso multiplo (MAC - medium access control):*
  - algoritmo distribuito che determina come le stazioni devono condividere il canale, cioè quando una stazione può trasmettere
  - Le comunicazioni relative alla condivisione del canale utilizzano lo stesso canale!
  - Quali sono le caratteristiche di un protocollo MAC?
    - sincrono o asincrono
    - informazioni necessarie sulle altre stazioni
    - robustezza (per es., agli errori sul canale)
    - prestazione
  - In effetti gli esseri umani usano costantemente protocolli di questo tipo

## Protocolli MAC : una tassonomia

Tre classi principali :

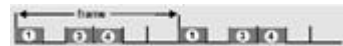
- **Suddivisione del Canale (Channel Partitioning)**
  - dividono il canale in pezzi più piccoli (divisione di tempo o frequenza)
  - allocano i pezzi ai nodi per uso esclusivo
- **Random Access (Accesso Casuale)**
  - consentono collisioni
  - Hanno meccanismi di "recupero" delle collisioni
- **"Taking Turns" (a turno)**
  - coordinano strettamente l'accesso in modo da evitare le collisioni

Obiettivo: efficienza, semplicità, struttura decentralizzata

## Protocolli MAC Channel Partitioning : TDMA

TDMA: time division multiple access

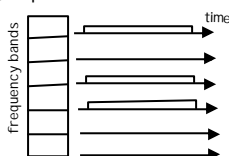
- Accesso "ciclico" al canale
- Ogni stazione ottiene un ammontare fisso di tempo ad ogni ciclo (lunghezza = tempo di trasm. del pkt)
- Gli slot inutilizzati sono sprecati
- esempio: LAN a 6-stazioni, 1,3,4 hanno pkt, gli slots 2,5,6 sprecati



## Protocolli MAC Channel Partitioning : FDMA

FDMA: frequency division multiple access

- Lo spettro del canale diviso in bande di frequenza
- Ogni stazione ottiene una banda prefissata
- Tempo trasmissione inutilizzato in banda va sprecato
- esempio: LAN a 6-stazioni, 1,3,4 hanno pkt, bande di frequenza 2,5,6 sprecate

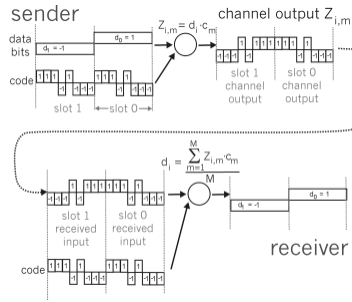


## Channel Partitioning (CDMA)

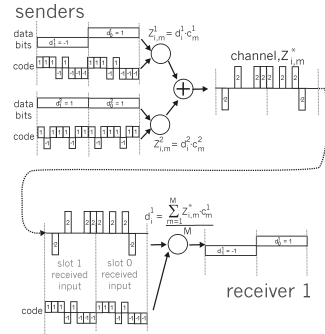
CDMA (Code Division Multiple Access)

- "codice" unico assegnato a ogni user;
- Usato principalmente nei canali wireless broadcast (cellulari, satellite, etc)
- Gli users dividono la stessa frequenza, ma ogni user ha la sua "chipping" sequence (codice) per codificare i dati
- *codifica segnale* = (dati originali) X (chipping sequence)
- *decodifica*: prodotto interno del segnale codificato e della chipping sequence
- Consente agli utenti di "coesistere" e trasmettere simultaneamente con interferenza minima (se i codici sono "ortogonali")

## CDMA Codifica/Decodifica



## CDMA: interferenza di due mittenti

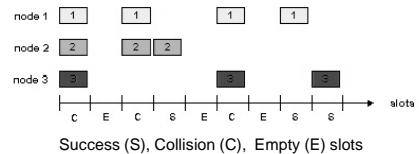


## Protocolli Random Access

- Quando un nodo ha un pacchetto da inviare
  - trasmette alla massima velocità del canale R.
  - Nessuna coordinazione *a priori* tra i nodi
- due o più nodi trasmettono -> "collisione",
- Un protocollo MAC random access specifica:
  - Come rilevare le collisioni
  - Come recuperare le collisioni (per es., con ritrasmissioni ritardate)
- Esempi :
  - slotted ALOHA
  - ALOHA
  - CSMA e CSMA/CD

## Slotted Aloha

- Tempo suddiviso in slot di eguale dimensione (= tempo di trasmissione del pkt)
- Nodo con nuovo pkt: trasmette all'inizio di ogni slot
- se c'è collisione: ritrasmetti pkt nei prossimi slot con probabilità  $p$ , fino al successo



## Efficienza dello Slotted Aloha

**D:** qual è la max frazione di slot di successo?

**R:** Supponiamo N stazioni hanno pacchetti da inviare

- Ognuna trasmette nello slot con probabilità  $p$
- La prob. di trasmissione con successo  $S$  è:

per singolo nodo:  $S = p(1-p)^{N-1}$

per uno su N nodi

$S = \text{Prob (solo uno trasmetta)}$

$= N p (1-p)^{N-1}$

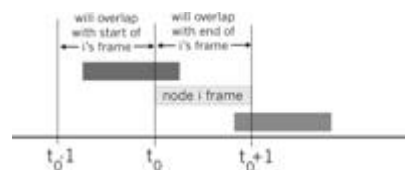
... scegliendop ottima per  $n \rightarrow \infty$ ...

$= 1/e = .37$  per  $N \rightarrow \infty$

Al max: canale usato con successo per il 37% del tempo!

## ALOHA Puro (unslotted)

- unslotted Aloha: più semplice, no sincronizzazione
- se un pkt deve essere trasmesso:
  - invia senza aspettare l'inizio dello slot
- la probabilità di collisione aumenta:
  - pkt inviato a  $t_0$  collide con altri pkt inviati in  $[t_0-1, t_0+1]$



## Pure Aloha (cont.)

$P(\text{successo di dato nodo}) = P(\text{nodo trasmetta}) \cdot$

$P(\text{nessun altro nodo trasm. in } [t_0-1, t_0]) \cdot$

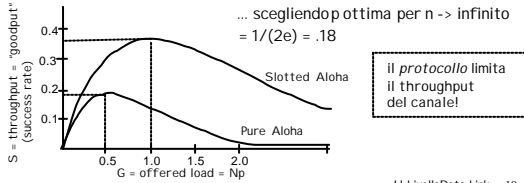
$P(\text{nessun altro nodo trasm. in } [t_0, t_0+1])$

$$= p \cdot (1-p)^{(N-1)} \cdot (1-p)^{(N-1)}$$

$P(\text{successo di uno su } N \text{ nodi}) = N p \cdot (1-p)^{(N-1)} \cdot (1-p)^{(N-1)}$

... scegliendo  $p$  ottima per  $n \rightarrow \infty$

$$= 1/(2e) = .18$$



## CSMA: Carrier Sense Multiple Access

**CSMA:** ascolta prima di trasmettere:

- Se il canale è libero: trasmetti l'interpkt
- Se il canale è occupato, ritarda la trasmissione
  - Persistent CSMA: riprova immediatamente con probabilità  $p$  appena il canale si libera (può essere instabile)
  - Non-persistent CSMA: riprova dopo un intervallo casuale
- Analogia umana: non interrompere gli altri!

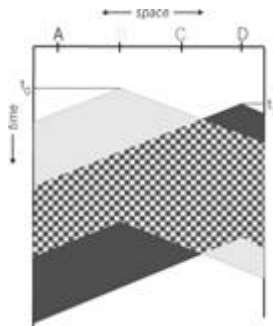
## collisioni CSMA

**collisioni possibili:**  
Il ritardo di propag. fa sì che due nodi possano non percepire le trasm. dell'altro

**collisione:**  
Tutto il tempo di trasmissione del pacchetto sprecato

**nota:**  
Ruolo della distanza e del ritardo di propagazione nel determinare la probab. di collisione

distribuz. spaziale dei nodi su ethernet

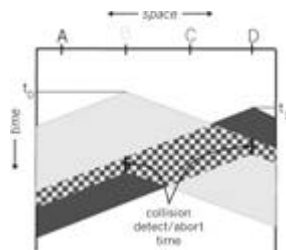


## CSMA/CD (Collision Detection)

CSMA/CD: rilevamento portante, ritardo della trasmissione come nel CSMA

- Le collisioni *rilevate* in tempo minimo
- Le trasmissioni che collidono vengono abortite per ridurre lo spreco del canale
- ritrasmissione persistente o non-persistente
- collision detection:
  - Semplice nelle LAN cablate: misuro il livello del segnale e comparo i segnali in ricezione e trasm.
  - Difficile nelle wireless LAN: il ricevitore è spento durante la trasmissione

## CSMA/CD collision detection



## protocolli MAC "a Turno"

protocolli MAC channel partitioning :

- Efficienti per carico elevato
- Inefficienti ai bassi carichi : ritardo nell'accesso al canale e  $1/N$  della banda disponibile anche se c'è solo 1 nodo attivo!

protocolli MAC Random access

- efficienti ai bassi carichi : il singolo nodo può usare l'intero canale
- Carico elevato: overhead di collisione

Protocolli MAC "a turno"

Cercano di avere il meglio dei due approcci!

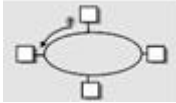
## protocolli MAC "a Turno" (2)

### Polling:

- Un nodo master "invita" i nodi slave a trasmettere a turno
- Messaggi di Request to Send, Clear to Send
- problemi:
  - polling overhead
  - latenza
  - punto critico (master)

### Token passing:

- Gettone (**token**) di controllo scambiato da un nodo al successivo sequenzialmente
- messaggio "token"
- problemi:
  - token overhead
  - latenza
  - Punto critico (token)



## Protocolli a "prenotazione"

### Distributed Polling:

- Tempo diviso in slot
- Inizia con N reservation slots (brevi)
  - La durata del reservation slot uguale al ritardo di propagazione end-end del canale
  - Una stazione con un messaggio da inviarsi prenota
  - La prenotazione è vista da tutti
- Le effettive trasmissioni seguono un ordine di priorità prestabilito

