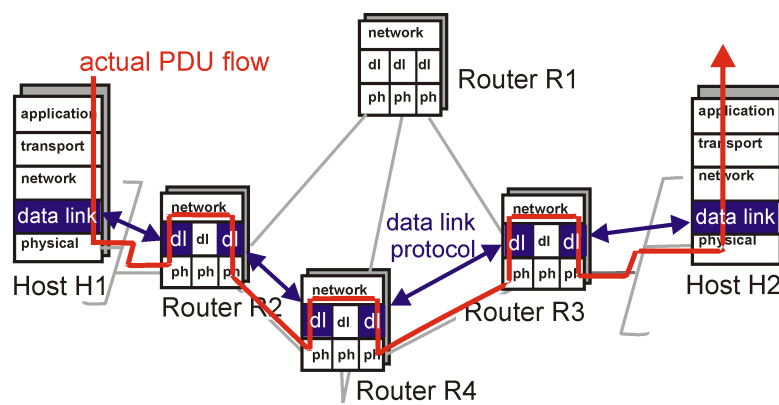


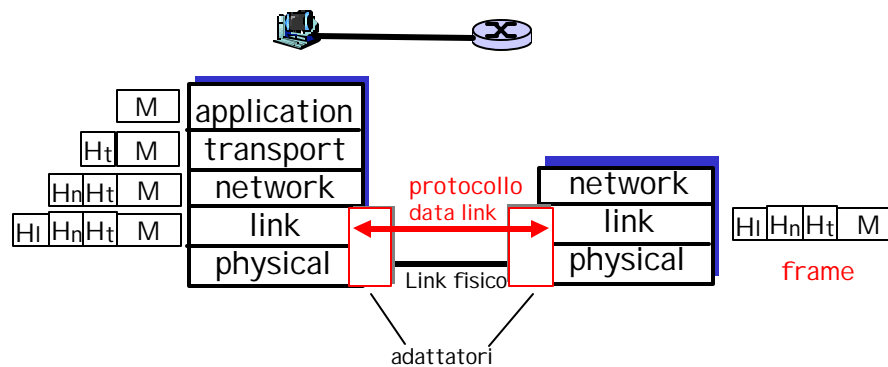
II Livello Data Link

II Contesto



Il Contesto (2)

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



Il LivelloData Link 3

Servizi del livello Link

- **Framing, accesso al link:**
 - Incapsula i datagram 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?

Il LivelloData Link 4

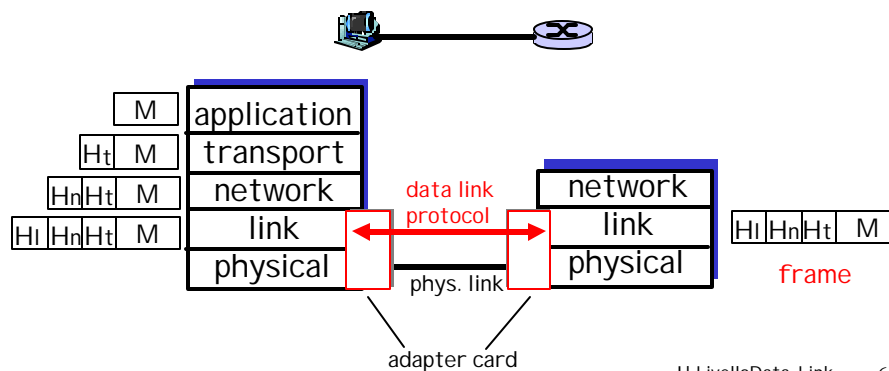
Servizi del livello Link (2)

- **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

Il LivelloData Link 5

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

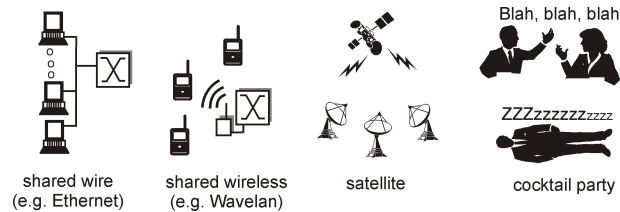


Il LivelloData Link 6

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 un 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

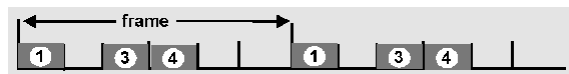
Obiettivo: efficienza, semplicità,
struttura decentralizzata

Il LivelloData Link 9

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 slot 2,5,6 sprecati

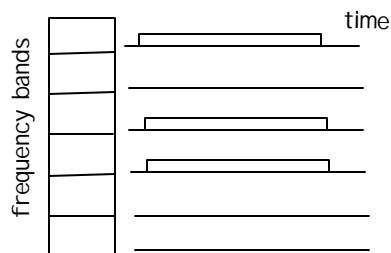


Il LivelloData Link 10

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



II LivelloData Link 11

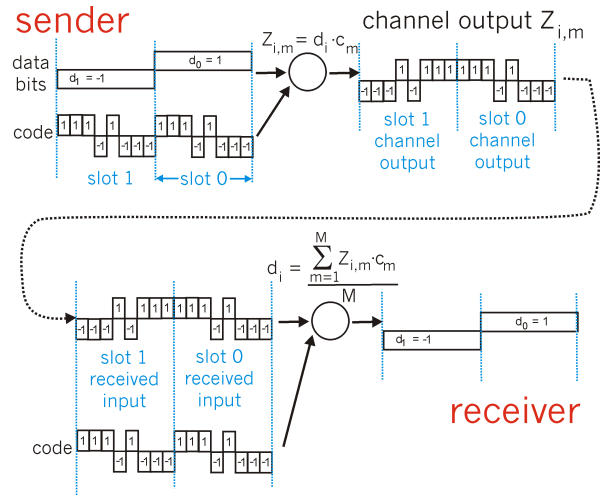
Channel Partitioning (CDMA)

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")

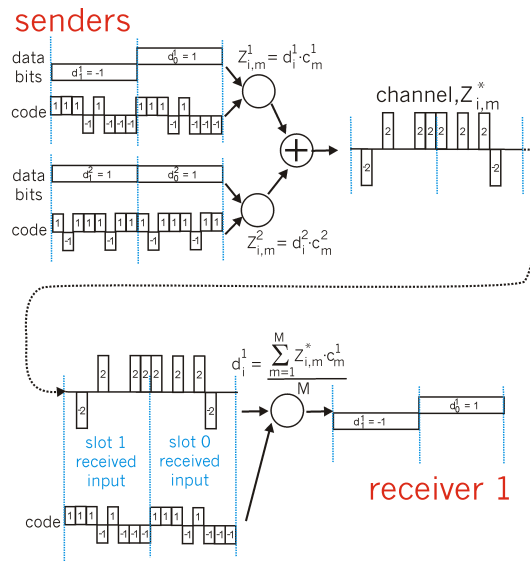
II LivelloData Link 12

CDMA Codifica/Decodifica



II LivelloData Link 13

CDMA: interferenza di due mittenti



II LivelloData Link 14

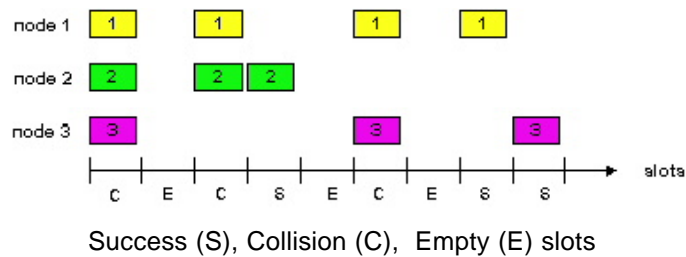
Protocolli Random Access

- 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

II LivelloData Link 15

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



II LivelloData Link 16

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

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

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

... scegliendo p ottima per $n \rightarrow \text{infinito}$...

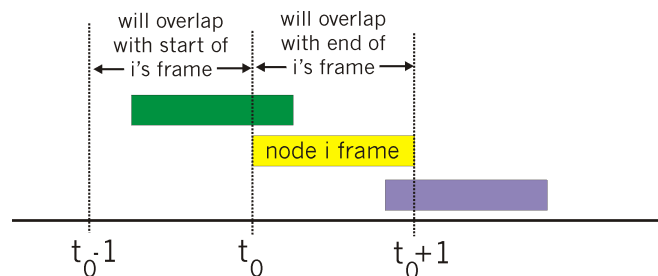
$= 1/e = .37$ per $N \rightarrow \text{infinito}$

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

Il LivelloData Link 17

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 $[t_0-1, t_0+1]$



Il LivelloData Link 18

Pure Aloha (cont.)

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

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

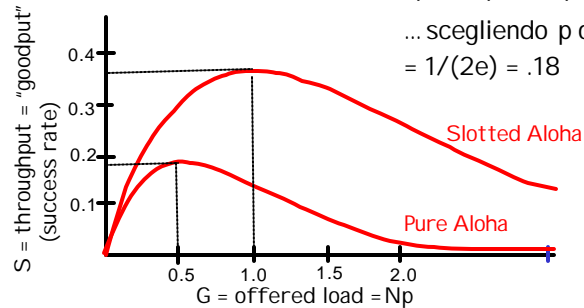
$P(\text{nessun altro nodo trasm. in } [t_0-1, t_0])$

$$= p \cdot (1-p) \cdot (1-p)$$

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

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

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



il *protocollo* limita il throughput del canale!

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:

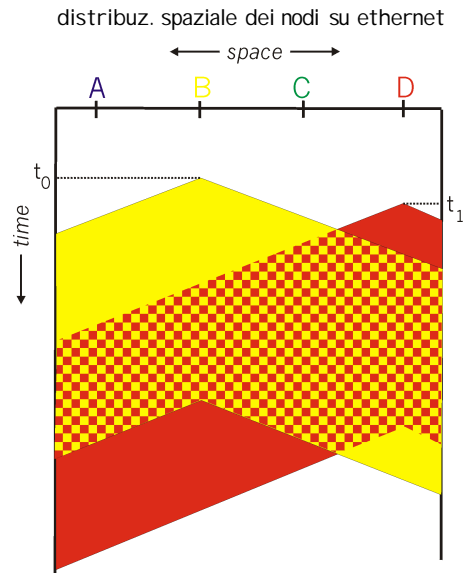
Il ritardo di propag. fa sì che due nodi possano non percepire le trasm. dell'altro

collisione:

Tutto il tempo di trasmissione del pacchetto sprecato

nota:

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



II LivelloData Link 21

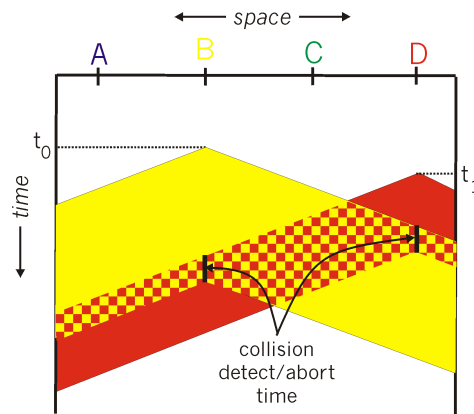
CSMA/CD (Collision Detection)

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

II LivelloData Link 22

CSMA/CD collision detection



Il LivelloData Link 23

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!

Il LivelloData Link 24

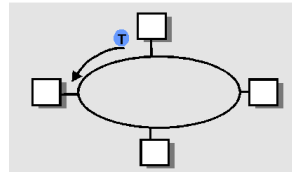
protocolli MAC "a Turno" (2)

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)

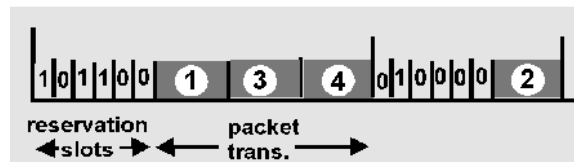


II LivelloData Link 25

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 inviare si prenota
 - La prenotazione è vista da tutti
- Le effettive trasmissioni seguono un ordine di priorità prestabilito



II LivelloData Link 26