

(da materiale preparato da Antonio Capone-  
Politecnico di Milano)

## Corso di Reti

### Canali e Multiplazione

1

### Canali punto-punto

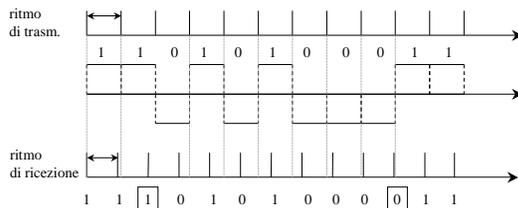
- collegamenti permanenti tra un trasmettitore ed un ricevitore
- il ricevitore può essere ottimizzato sulla base dell'unico segnale da ricevere
- trasmissione continua o in trame (può cambiare il sincronismo)



2

### Cenno sul sincronismo

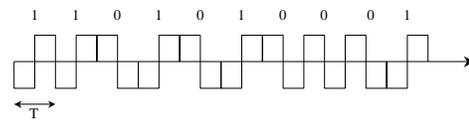
- se gli orologi non sono allineati:



3

### Metodi per garantire il sincronismo

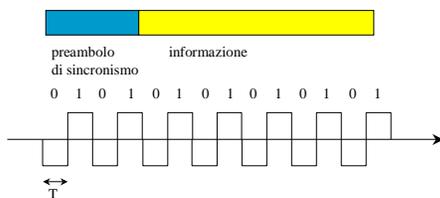
- sincronismo continuo:
  - grazie a della ridondanza della codifica è possibile derivare direttamente l'informazione di sincronismo:



4

### Sincronismo mediante preambolo

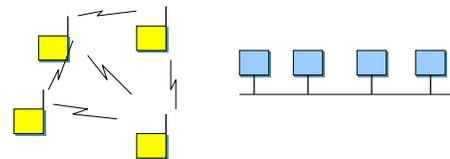
- prima della trasmissione vera e propria si trasmette un preambolo di sincronismo che consente al ricevitore di agganciarsi



5

### Canali broadcast

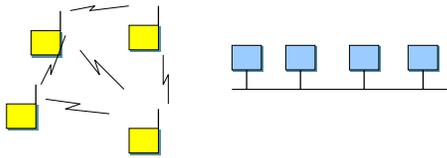
- sono canali nei quali più stazioni possono accedere in parallelo
- il segnale emesso da una stazione raggiunge tutte le altre



6

### Canali broadcast

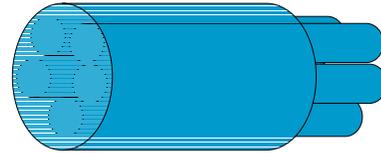
- Il ricevitore può ricevere molti segnali diversi in livello e sincronismo e deve essere in grado di adattarsi
- le trasmissioni sono sempre precedute da un preambolo di sincronismo
- esempi: reti locali ethernet, sistemi cellulari



7

### La moltiplicazione

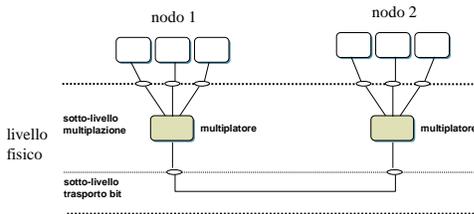
- la capacità dei mezzi trasmissivi fisici può essere divisa per ottenere più canali di velocità più bassa



8

### La moltiplicazione fisica

- la distinzione tra i flussi avviene solo sulla base di parametri del livello fisico come frequenza, tempo, codice, lunghezza d'onda, ecc.



9

### Moltiplicazione a divisione di frequenza FDM (Frequency Division Multiplexing)

- Il mezzo trasmissivo può essere caratterizzato da una banda di frequenze utilizzabili



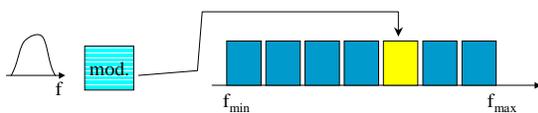
- la banda complessiva può essere divisa in sotto-bande cui associare un canale



10

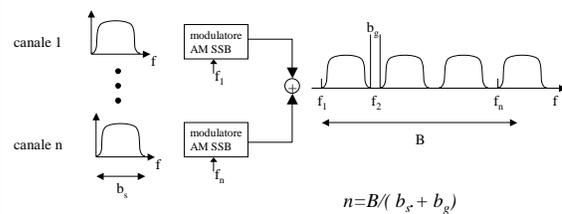
### Moltiplicazione a divisione di frequenza FDM (Frequency Division Multiplexing)

- il segnale relativo ad un canale viene trattato mediante tecniche di modulazione in modo da associarlo a ciascuna sotto banda



11

### Moltiplicazione a divisione di frequenza FDM (Frequency Division Multiplexing)



12

### FDM telefonico

- in passato l'FDM veniva come tecnica di moltiplicazione dei canali vocali tra centrali telefoniche
- banda segnale vocale: circa 4 kHz

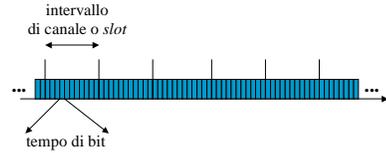


- moltiplicazione di 12 canali da 4 kHz su una banda di 48 kHz
- moltiplicazione successiva del segnale multiplo di 48 kHz con altri segnali multipli (moltiplicazione a livelli gerarchici)

13

### Moltiplicazione a divisione di tempo TDM (Time Division Multiplexing)

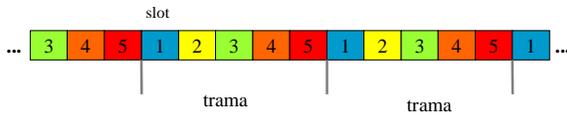
- E' una tecnica usata per segnali digitali (...)
- Dato un canale numerico a velocità  $C$  (bit/s) si costruiscono intervalli di tempo di canale costituiti da multipli del tempo di bit  $t_b=1/C$



14

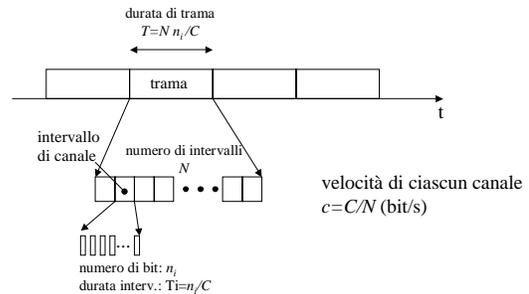
### TDM (Time Division Multiplexing)

- Un canale può usare un intervallo di canale (slot) ogni  $N$
- si definisce una struttura a trame consecutive costituite da  $N$  slot consecutivi
- se si numerano ciclicamente gli slot delle trame, un canale è associato a un numero di slot



15

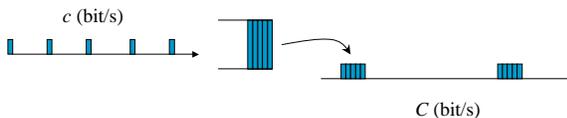
### TDM (Time Division Multiplexing)



16

### TDM (Time Division Multiplexing)

- Scelta della durata di slot:
  - $n_i$  numero di bit per slot
  - $T_i$  durata di uno slot ( $T_i=n_i/C$ )
- la velocità del canale  $c$  non dipende da  $T_i$  ma solo da  $N$  ( $c=C/N$ )
- tempo di adattamento:  $T_a=n_i/c$



17

### Esercizio

- Si consideri un canale di velocità  $C=2,048$  Mbit/s
- si vogliono ricavare canali di velocità  $c=64$  kbit/s con un ritardo di adattamento massimo di 10 ms
- si calcoli:
  - il numero di canali ottenibili
  - la durata massima di slot
  - il numero di bit per slot

- $N = C/c = 2048/64 = 32$
- $T_a = n_i / c = 10$  ms;
- $n_i = T_a c = 0,01 \cdot 64000 = 640$ ;
- $T_i = n_i/C = 0,3125$  ms

18

### Esercizio

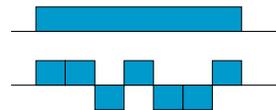
- Si consideri un canale di velocità  $C=900$  kbit/s
- si vogliono ricavare 4 canali di velocità  $c=200$  kbit/s e un canale di velocità 100 kbit/s
- si definisca allo scopo una struttura di trama TDM

*da fare a casa*

19

### Moltiplicazione a divisione di codice CDM (Code Division Multiplexing)

- La tecnica CDM consiste nel miscelare  $N$  flussi di bit previa moltiplicazione di ciascuno di questi con una parola di codice  $C_i$  scelta fra le  $N$  parole di un codice ortogonale
- le parole del codice sono costituite da  $N$  simboli binari, chiamati chip per distinguerli dai bit di informazione, di durata  $N$  volte inferiore al bit di informazione

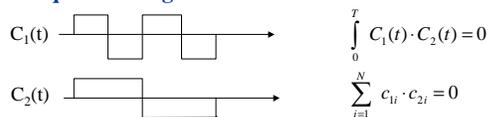


20

### Codici ortogonali

- segnali ortogonali:  $\int s_1(t) \cdot s_2(t) dt = 0$

- sequenze ortogonali:



21

### Codici ortogonali

matrici di Hadamart:

Esempio  $N=4$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$H_{2n} = \begin{bmatrix} H_n & H_n \\ H_n & -H_n \end{bmatrix}$$

$$C_0 = \{1, 1, 1, 1\}$$

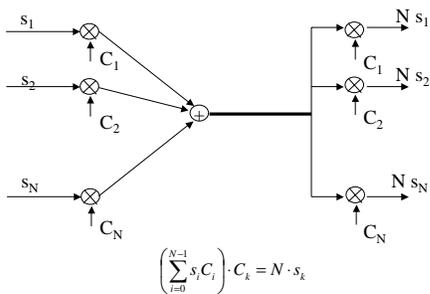
$$C_1 = \{1, -1, 1, -1\}$$

$$C_2 = \{1, 1, -1, -1\}$$

$$C_3 = \{1, -1, -1, 1\}$$

22

### CDM (Code Division Multiplexing)



23

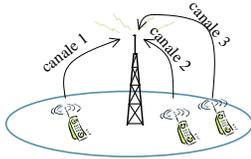
### Moltiplicazione a divisione di lunghezza d'onda WDM (Wavelength Division Multiplexing)

- è la stessa cosa che FDM, si chiama WDM per ragioni storiche legate allo sviluppo della fibra ottica
- le diverse portanti ottiche alle diverse lunghezze d'onda sono gestite con dispositivi ottici
- ciascuna portante ottica viene modulata ai limiti delle velocità elettroniche (5-10 Gbit/s)
- il limite tecnologico è dovuto alla stabilità dei laser in frequenza e alla scarsa risoluzione dei filtri ottici
- dispositivi commerciali con 16 lunghezze d'onda, ma presto avremo 128 lunghezze d'onda
- ad esempio la capacità dei cavi trasoceanici viene moltiplicata dal numero di lunghezze d'onda

24

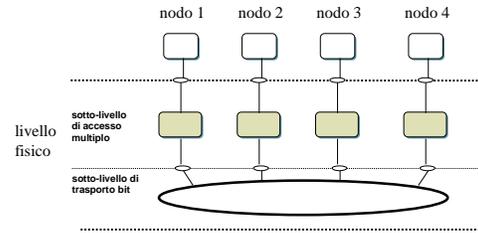
### Accesso Multiplo

- E' l'analogo della moltiplicazione ma per canali broadcast
- le stazioni che accedono sono distanti e devono coordinarsi per accedere al canale broadcast



25

### Accesso multiplo fisico



26

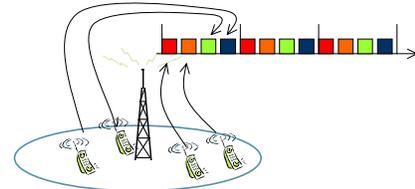
### FDMA Frequency Division Multiple Access

- E' analogo a FDM
- la necessità del coordinamento delle stazioni non crea problemi nel caso di divisione di frequenza
- esempi:
  - trasmissioni radiofoniche e televisive
  - sistema cellulare TACS (Total Access Cellular System) utilizza una portante modulata FM con banda 25 kHz per ciascun canale

27

### TDMA Time Division Multiple Access

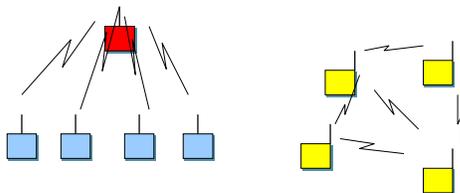
- è l'analogo del TDM
- è necessario un coordinamento per trovare una base temporale comune alle stazioni (sincronismo di trama)
- il sincronismo non può essere perfetto: tempi di guardia



28

### Sincronismo di trama

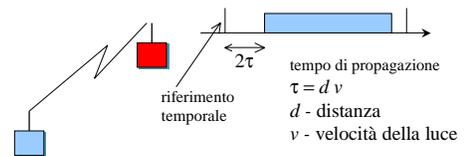
canali broadcast centrali  
canali broadcast non-centrali



29

### Canali broadcast centrali

- il punto centrale può essere di riferimento per il sincronismo
- le sue trasmissioni regolari possono sincronizzare le trasmissioni delle altre (ad es. una trasm. ogni trama, o ad intervalli multipli)



30

### Canali broadcast centrali

- tempo di guardia:  $T_g = \max_i(2\tau_i)$

31

### Canali broadcast centrali

- Timing Advance:
  - noti i tempi di propagazione le stazioni possono compensarli con una trasmissione anticipata
  - necessità di stimare  $\tau$  (possono essere variabili)
  - errore di stima: tempi di guardia
  - tecnica usata in GSM

32

### Canali broadcast non centrali

- non c'è il riferimento
- trasmissioni diverse possono combaciare in un punto ed essere distanti in un altro

- $T_g = 2 \max[\tau_{ij}]$

33

### Efficienza

$$\eta = \frac{T_i}{T_i + T_g} = \frac{1}{1 + \frac{T_g}{T_i}} = \frac{1}{1 + T_g \frac{C}{n_i}}$$

- dipende dal rapporto  $T_g/T_i$
- l'efficienza scende:
  - all'aumentare delle distanze (aumenta  $T_g$ )
  - all'aumentare della velocità del canale
  - al diminuire della durata dello slot

34

### CDMA Code Division Multiple Access

- non è possibile avere trasmissioni sincrone e quindi non si riesce a conservare l'ortogonalità dei codici
- si usano codici a bassa correlazione per qualunque sfasamento temporale
- usato nel sistema UMTS (telefonini di 3a generazione)

$$\int_0^T C_1(t) \cdot C_2(t) \neq 0$$

$$\int_0^T C_1(t) \cdot C_2(t + \Delta)$$

35

### Sistemi radiomobili

36

### Accesso radio



- Il problema dell'accesso radio è relativo al modo con il quale gli utenti della stessa cella condividono le risorse radio
- **downlink:**
  - moltiplicazione dei canali verso gli utenti
- **uplink:**
  - accesso multiplo delle stazioni mobili

37

### Accesso radio



- Sistemi di prima generazione: TACS (Europa) AMPS (Stati Uniti)
- FDM/FDMA (downlink/uplink)
- Sistemi di seconda gen.: GSM (Europa) D-AMPS (Stati Uniti)
  - multi-carrier TDM/TDMA
- Sistemi di terza gen.: UMTS (Europa e ???)
  - CDM/CDMA

38

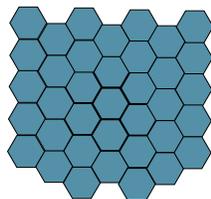
### Riuso di frequenza

- I canali disponibili non bastano per tutti gli utenti
- soluzione: usare più volte gli stessi canali in celle diverse
- il riuso degli stessi canali genera *interferenza co-canale*
- il riuso è possibile in celle sufficientemente distanti da far sì che l'interferenza sia tollerabile (buona qualità del collegamento)

39

### Riuso di frequenza

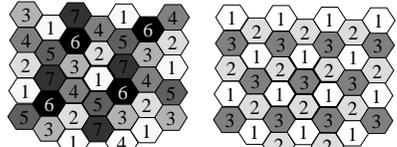
- l'interferenza è la caratteristica fondamentale dei sistemi cellulari
- Di solito si assume che la qualità sia buona se il rapporto tra potenza del segnale e potenza dell'interferenza SIR (Signal-to-Noise Ratio) sia maggiore di una soglia  $SIR_{min}$



40

### Cluster

- L'insieme delle portanti disponibili viene diviso in K gruppi
- ad ogni cella viene assegnato un gruppo in modo tale da massimizzare la distanza tra celle che usano lo stesso gruppo
- efficienza di riuso =  $1/K$
- $K=1,3,4,7,9,12,13, \dots$



K = 7                      K = 3

41

### Cluster

- dato il valore di  $SIR_{min}$  è possibile stimare l'efficienza massima del sistema, ovvero il K minimo
- potenza ricevuta:

$$P_r = P_t \cdot G \cdot d^{-n}$$

42

### Cluster

- stesse antenne e stessa potenza

$$SIR = \frac{P_i \cdot G \cdot d^{-\eta}}{\sum_{i=1}^6 P_i \cdot G \cdot d_i^{-\eta}} = \frac{d^{-\eta}}{\sum_{i=1}^6 d_i^{-\eta}}$$

- caso peggiore  $d = r$
- approssimazione  $d_i = D$

$$SIR \cong \frac{r^{-\eta}}{6D^{-\eta}} = \frac{1}{6} \left( \frac{r}{D} \right)^{-\eta}$$

43

### Cluster

- Il SIR dipende solo dal rapporto di riuso  $R=D/r$  e non dalla potenza assoluta trasmessa e dal raggio della cella
- fissato  $SIR_{\min}$  si può calcolare  $R_{\min}$
- noto  $R_{\min}$  si può ottenere K osservando che:

$$K = \frac{R^2}{3}$$

- quindi:

$$K_{\min} = \frac{(6SIR)^{2/\eta}}{3}$$

44

### Esercizio

- Si dimensiona il cluster di un sistema che tollera  $SIR_{\min} = 18 \text{ dB}$  nel caso i cui l'esponente di attenuazione della distanza  $\eta$  sia pari a 3.9

$$K_{\min} = \frac{(6SIR)^{2/\eta}}{3} = \frac{(6 \cdot 63.1)^{2/3.9}}{3} = 6.99$$

45

### Ripasso

- dB
  - scala logaritmica
  - potenze

$$P_{dB} = 10 \log_{10} P$$

$$P = 10^{P_{dB}/10}$$

46

### Ripasso

- al prodotto in scala lineare corrisponde la somma in dB
- al rapporto la differenza

$$G \cdot P \rightarrow A_{dB} + P_{dB}$$

$$P / A \rightarrow P_{dB} - A_{dB}$$

47

### Ripasso

- valori notevoli

2 → 3dB	8 → 9dB
3 → 4.77dB	9 → 9.54dB
4 = 2 · 2 → 3 + 3 = dB	10 → 10dB
5 → 7dB	100 → 20dB
6 → 7.77dB	1000 → 30dB

48