1. Cosa si intende per serie di Fourier?

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).



*f*=1/T rappresenta la frequenza fondamentale, an bn 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. Bitrate e Baudrate.

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**. La velocità di trasmissione 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.

1. 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.**

* 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. 

-Applicazione: Il sistema di applicazione più diffuso per il doppino è il sistema telefonico. I doppini si possono utilizzare per trasmettere segnali analogici e digitali, l’ampiezza di banda dipende dal diametro del cavo e dalla distanza percorsa. **Sono molto utilizzati grazie al basso costo e al discreto livello di prestazioni.**

* 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.

-Applicazione: Il cavo coassiale è molto utilizzato per le reti metropolitane e le televisioni via cavo, 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



**D**: nucleo, **C**: rivestimento isolante, **B**: conduttore cilindrico, **A**: guaina protettiva.

* **Fibra ottica:**

-Cos’è: Un sistema di trasmissione ottico è formato da: sorgente luminosa, mezzo di trasmissione e rilevatore. I cavi in fibra ottica è 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.

Applicazione: La fibra è molto utilizzata nelle LAN e nei sistemi di trasmissioni a lunga distanza e apporta diversi vantaggi rispetto al cavo in rame:

* Maggiore ampiezza di banda.
* I ripetitori possono essere installati ogni 50km rispetto all’ogni 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.

Presenta tuttavia dei svantaggi, che nonostante tutto non limitano troppo questa tecnologia, che rappresenta il futuro per le telecomunicazioni. Tra gli svantaggi troviamo:

* 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.

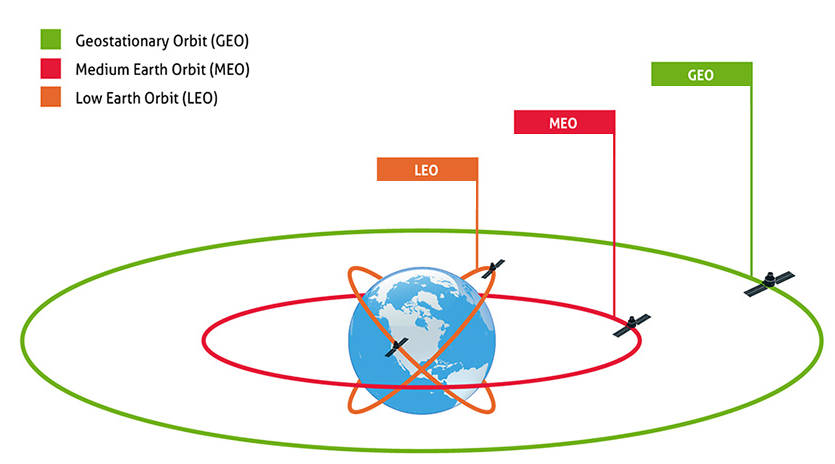
1. Caratteristiche e confronto tra i vari tipi di satellite: GEO, MEO e LEO.

Un satellite di comunicazioni può essere immaginato come un grande ripetitore di microonde posto nel cielo. Questo dispositivo contiene diversi trasponder, 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, e 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 VA inferiore e quella superiore, e i GEO: molto al di sopra della fascia VA superiore.



**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.

**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. Rispetto al GEO, il MEO permette un ritardo di propagazione inferiore, tuttavia si perde la comodità del “punto fisso” garantito dal GEO, questo perché il MEO si sposta più velocemente.

**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. D’altra parte, le stazioni terrestri non hanno bisogno di molta energia per la comunicazione e i ritardi sono di pochi millisecondi.

Questo tipo di satellite tratta prevalentemente trasmissione voce e servizi internet/GPS.

Una menzione particolare va fatta alla differenza tra satelliti e fibra, quale preferire?

Non esiste una risposta ben definita, la fibra grazie alla sua comodità sembrava avesse preso dominio nel mercato, tuttavia i satelliti avevano applicazione in campo in cui la fibra non poteva arrivare:

* La fibra non è attualmente disponibile a una gran parte dell’utenza, mentre per i satelliti, l’utente basta che innalzi un’antenna sul tetto di casa per ottenere una maggiore ampiezza di banda.
* Comunicazione mobile, la fibra ottica non è di nessuna utilità per questa categoria, mentre i collegamenti satellitari potenzialmente ce l’hanno.
* Comunicazione broadcast, un messaggio inviato da un satellite può essere ricevuto contemporaneamente da migliaia di stazioni terrestri.
* Comunicazione in luoghi con terreni inospitali o scarsamente dotati di infrastrutture.

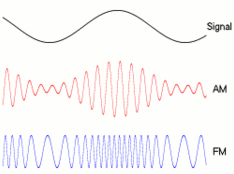
Il sistema di comunicazione principale del futuro sarà quello terrestre basato su fibre ottiche, combinato con la rete radio cellulare, tuttavia per alcune applicazioni specifiche i satelliti sono migliori.

1. Cos’è la modulazione in 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 portano 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.*



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.

Il **difetto** principale è la necessità di circuiti più complessi, sia per la generazione del segnale sia per la ricezione. L’attuale tecnologia ha permesso di superare queste problematiche, rendendo la modulazione in frequenza molto più usata rispetto a quella in ampiezza, soprattutto in ambito di broadcasting commerciale.

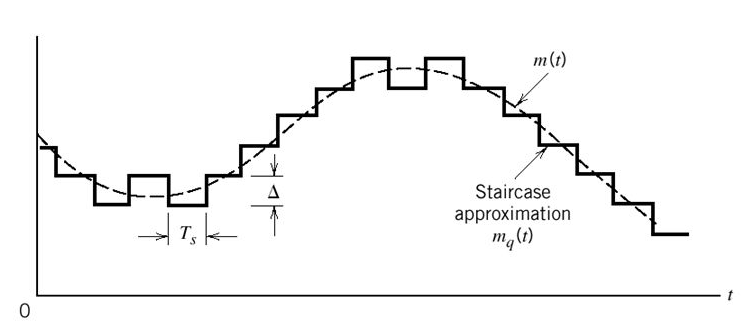
1. Cos’è la modulazione delta (delta modulation)?

La delta modulation è un metodo di digitalizzazione e compressione di un segnale analogico.

Si basa sul fatto che il segnale cambia in modo relativamente lento rispetto alla frequenza di campionamento, ciò rende gran parte dell’informazione ridondante.

Questo metodo prevede che ogni valore campionato differisca dal precedente di +1 o -1, sotto queste condizioni è possibile trasmettere un singolo bit che dice se il nuovo campione è maggiore o minore del precedente.

Un problema si ha se il segnale cambia troppo rapidamente, in quel caso si perdono informazioni.



1. 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.)

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 si 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.

1. 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.)

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 capacita 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,B,C trasmettono, A e C 1, B 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.

1. 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.)

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.

I vantaggi rispetto ai suoi predecessori stanno nel fatto che lo spreco di banda inesistente e viene utilizzata una tariffa a traffico e non a tempo. GPRS aggiunge il supporto a PPP e IP.

1. 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).

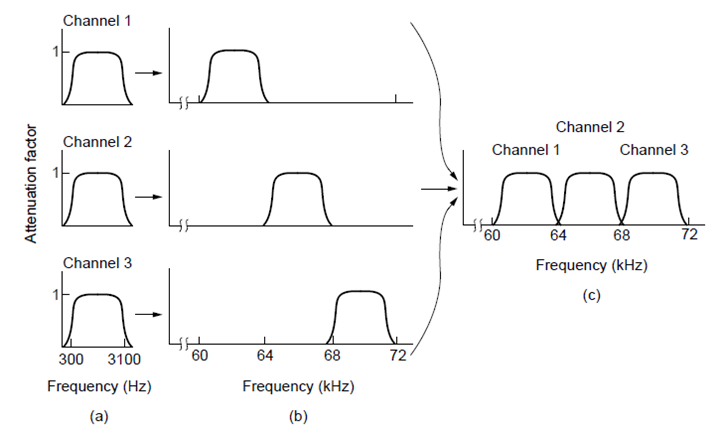
Nel caso di **hard handoff** la vecchia stazione di base rilascia il telefono prima che la nuova lo acquisisca. Se la nuova non è in grado di prendere il controllo del dispositivo (ad esempio se non è disponibile nessuna frequenza) il segnale viene interrotto bruscamente, con il risultato di terminazione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

1. FDM, TDM, CDM: Algoritmi per la selezione della banda.

**FDM** (*Frequency Division Multiplexing)* 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.

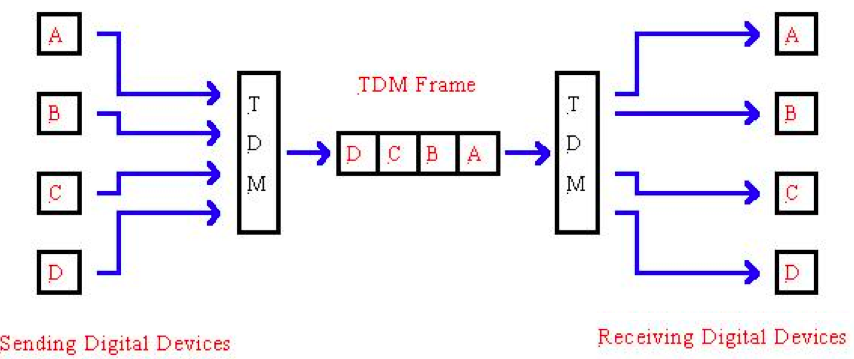
Questo permette la condivisione dello stesso canale da parte di dispositivi che utilizzano diverse regioni di frequenze e utenti che possono cosi comunicare contemporaneamente senza interferirsi tra loro.

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.



**TDM** (*Time Division Multiplexing)* 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.

Confrontato all’FDM il TDM risulta essere più efficiente in quanto elimina la necessità degli intervalli di guardia o separazione tra le varie bande di frequenza. Necessita tuttavia di un circuito di sincronizzazione temporale in ricezione per l’estrazione del time-slot di competenza.

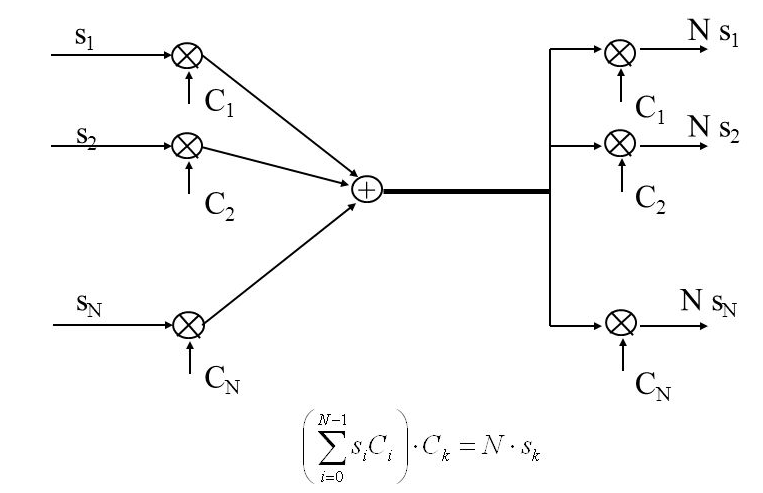


**CDM** *(Code Division Multiplexing)* o conosciuta anche come CDMA è il protocollo di accesso multiplo a canale condiviso. Offre una maggiore velocità di trasmissione di dati rispetto a TDM e FDM.

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.

La miglior efficienza rispetto alle precedenti forme di multiplazione è dovuta al fatto che ciascun canale utilizza l’intera banda di frequenza assegnata al servizio per tutto il tempo che desidera, e la non-interferenza è assicurata grazie all’uso di codici ortogonali.



1. QAM e QAM16

QAM è un sistema di modulazione numerica di ampiezza in quadratura, sia digitale che analogica.

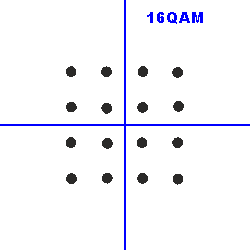
Le portanti sono sinusoidi. Il termine *quadratura* indica che differiscono di 90°.

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.

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).



1. Cos’è il 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.

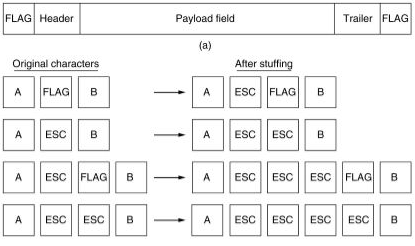
Il modo per rinvenire questi errori è quello di suddividere il flusso dei bit in frame, per poi controllarli, uno dei metodi di framing è quello di utilizzare un flag byte con il ***byte stuffing***.

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.

Per far si che un flag byte sia contenuto internamente ai dati, bisogna utilizzare un byte di escape (ESC) prima di ogni occorrenza “accidentale” del byte flag nei dati. Successivamente lo strato data link della destinazione provvederà a rimuovere i byte di escape prima di passare i dati allo strato network, se anche un carattere ESC si trova dentro i dati, va preceduto da un ulteriore carattere ESC.

Questo metodo di framing presenta notevoli svantaggi, in primis quello di essere legato all’uso di caratteri da 8 bit, non tutte le codifiche dei caratteri li usano. Un altro problema deriva dalla quantità di caratteri superflui da inserire per effettuare lo stuffing, per questo si è sentita la necessità di sviluppare una nuova tecnica di framing che consente di gestire caratteri di lunghezza arbitraria (bit stuffing).

Il byte stuffing è usato in PPP (Point-to-Point Protocol).



1. Cos’è il bit stuffing?

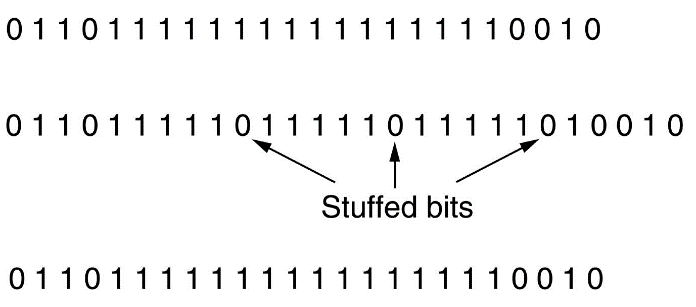
Lo strato data link deve servire lo stato network, per farlo necessita di usare a sua volta le informazioni fornite dallo strato fisico il cui scopo è quello di prendere un flusso di bit e cercare di portarli a destinazione.

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.

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.



1. 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.**

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.

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:

Nelle reti wireless, in cui è presente molto rumore, conviene utilizzare una codifica a correzione d’errore, cosi da ricostruire il messaggio in caso di errori, invece di farselo rispedire rischiandone di ulteriori.

Sui canali affidabili invece è più economico usare codifiche a rilevazione, ed eventualmente farsi ritrasmettere il blocco.

Questo perché, anche come visto dalla formula, per correggere gli errori abbiamo bisogno di molti più bit rispetto ad accorgersene solamente.

1. Si descriva cos'è il CRC (Cycle Redundancy check). Si calcoli inoltre il CRC di 10011101 usando il polinomio generatore di x4+x+1.

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 x0. 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: x5+x4 +x0.

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.

Ora proviamo con l’esempio di un frame 10011101 con polinomio generatore x4+x+1:

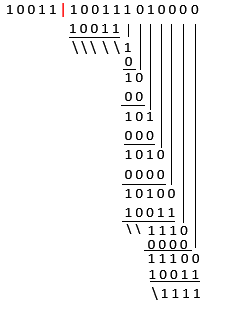
Frame: 1 0 0 1 1 1 0 1

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.

1. 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.

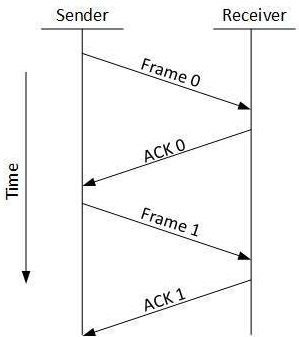
Un mittente manda solo un frame alla volta, il destinatario, dopo aver ricevuto il frame corretto, invia un ACK (*Acknowledge*) al mittente, che a sua volta provvede a spedire il secondo frame e cosi via.

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.



1. 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.

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.

Il vantaggio principale sta nel miglior uso della banda disponibile, inoltre un minor numero di frame inviati significa anche un minor numero di interrupt “frame in arrivo”, con conseguente minor necessità di buffer.

1. Si descriva la tecnica dello Sliding window.

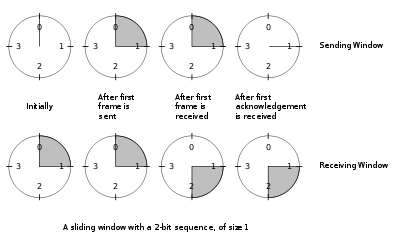
Sliding window è una classe di protocolli di controllo di flusso di dati, usato in particolare dal TCP.

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.



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.

1. 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.

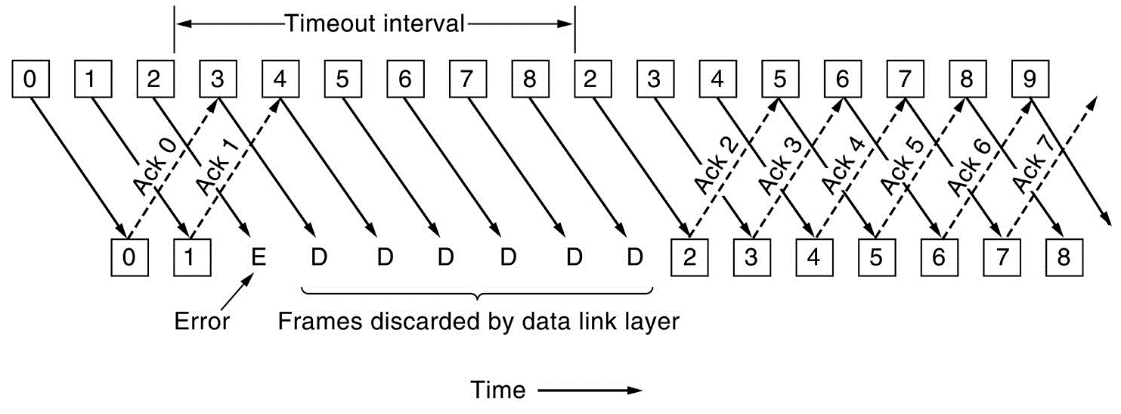
Tra questi **go back n**. Go back n è un’istanza specifica del protocollo “Automatic Repeat-reQuest” (modalità di trasmissione di pacchetti di dati) nel quale il processo mittente continua a mandare un numero di frame specificato nella window size anche senza aver ricevuto nessun ACK.

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.



1. Si descriva cos'è la tecnica del selective repeat.

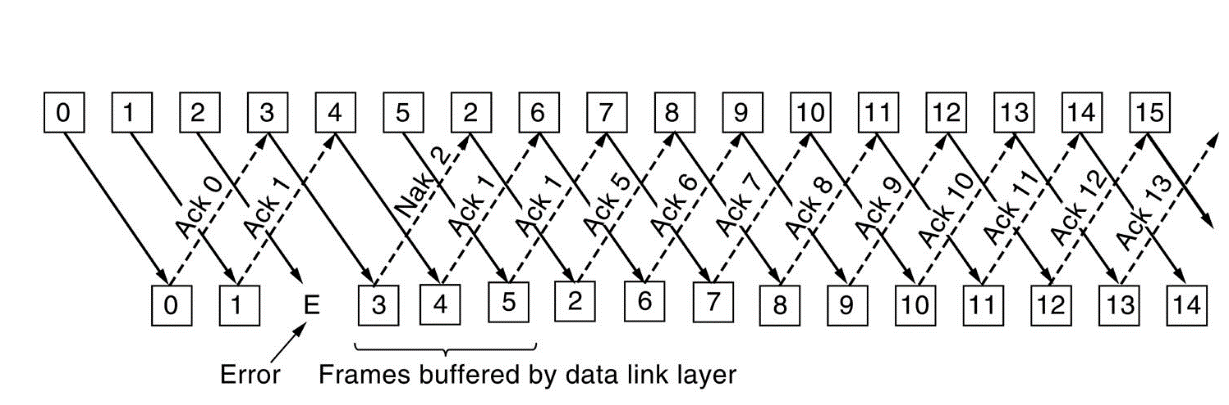
Il problema di ricezione dell’ack per ogni frame inviato, limitava di molto l’utilizzo della banda e rallentava le comunicazioni, per ovviare a questo problema viene usata la tecnica di **pipelining**. Si decide quindi di inviare più frame prima di ricevere i vari ack aumentando di parecchio l’utilizzo 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.

Tra questi troviamo il **selective repeat,** usando questo metodo 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, cosi 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 oppure un altro in base a quale risorsa è più scarsa.



1. Descrivere la differenza tra ALOHA e ALOHA-SLOTTED.

ALOHA è un protocollo di rette 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 poiché i canali broadcast danno la possibilità di verificare se il frame trasmesso è stato ricevuto correttamente o no, la stazione trasmittente ascolta il canale e determina il successo o insuccesso della trasmissione.

Le stazioni attendono un tempo variabile prima di provare a ritrasmettere un frame non andato a buon fine.

Il successo dell’ALOHA puro è di circa 18%.

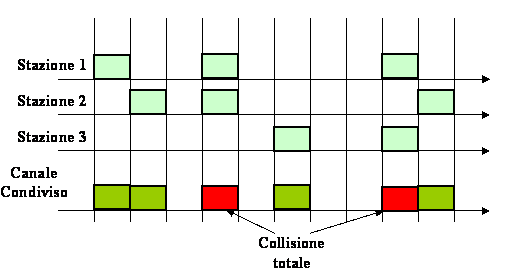
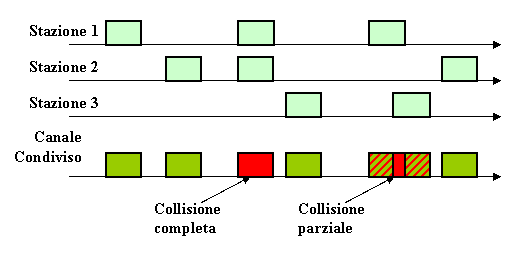
Il protocollo Slotted ALOHA aggiunge al protocollo sopracitato la divisione del tempo in intervalli discreti, chiamati slot. Ogni stazione viene vincolata a cominciare la propria trasmissione solo all’inizio di uno slot temporale, se una stazione è pronta ad un certo istante, dovrà necessariamente attendere 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.

Subito dopo l’invenzione, questi protocolli caddero in disuso, fino a quando non si presentò il problema di allocare un canale condiviso da più utenti in competizione, di conseguenza slotted ALOHA tornò ad essere utilizzato.



1. 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.**

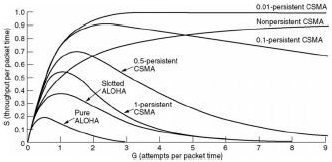
Il CSMA è una tecnica di trasmissione dati che si basa su questi principi. Ogni dispositivo prima di avviare la trasmissione dei dati deve verificare se sul canale, altri nodi stanno trasmettendo, rilevando la portante. Se il canale è libero iniziano a trasmettere, altrimenti attendono un tempo arbitrario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



1. 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.

Esistono però 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.**

Questo protocollo non è ben bilanciato, 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.

Il basic bitmap ha bisogno di 1 bit di controllo a stazione, perciò non si adatta molto bene alle reti composte da migliaia di stazioni.

1. 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.

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.

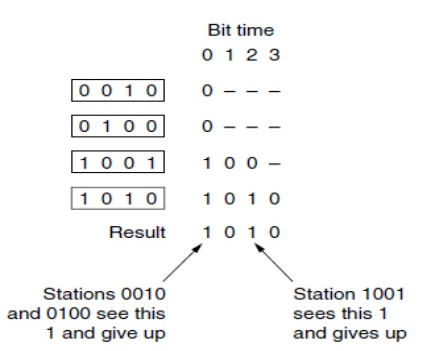
I conflitti si evitano grazie ad una regola di arbitraggio: la stazione rinuncia ad inviare non appena si accorge che un’altra stazione con un “1” in una posizione di bit di ordine elevato che nel proprio indirizzo vale “0”.

Esempio: 0010, 0100, 1001, 1010, queste stazioni vogliono inviare, vengono inviati i primi bit: 0 (0010), 0 (0100), 1 (1001), 1 (1010), 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 (1001), 0 (1010); 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\*log2N)* (con *d* numero di bit) ma può raggiungere anche il 100% se l’indirizzo del mittente costituisce l’intestazione del frame.

Si possono 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, cosi quando una stazione riesce ad inviare viene spostata alla fine della coda, cosi da permettere in egual modo a tutte le stazioni la possibilità di inviare.

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

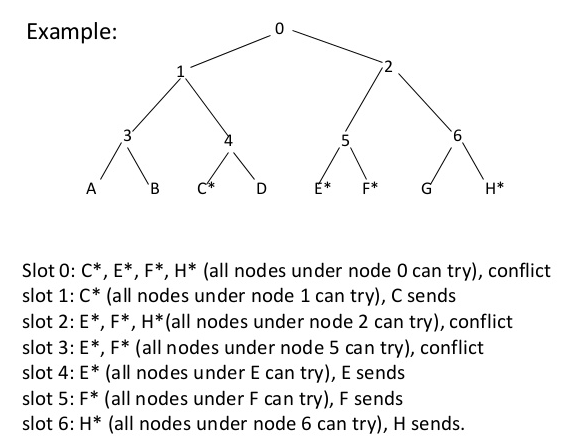


1. Spiegare cos’è l’adaptive tree walk protocol?

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.

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.



1. Ethernet e i vari tipi di cavo