

Dimensionamento reti cellulari

Mc128k

1 Reti Cellulari

A partire dagli anni '40, si iniziarono ad usare dei sistemi radio per la connettività di utenti mobili alla rete telefonica. Il tutto era gestito da una unica autorità centrale e una sola stazione radio trasmittitrice non scalabile.

In presenza di un solo trasmettitore, la attenuazione del segnale viene descritta dalla formula di Friis, quindi varia circa con il quadrato della distanza ($\nu \geq 2$):

$$P_R \propto \frac{P_T}{d^\nu} \quad (1.1)$$

Dagli anni '70 vennero create le prime reti cellulari, dove invece che usare una unica antenna per trasmettere ai terminali, si faceva uso di più basi radio disperse in aree geografiche (celle) a cui venivano assegnate diverse risorse tempo-frequenziali.

Questo approccio risolve il problema della scalabilità, dato che la quantità di energia necessaria da una sola antenna per raggiungere posti lontani sale esponenzialmente con la distanza. Trasmettere con più piccole antenne faceva in modo di sfruttare questa caratteristica (la attenuazione) come un vantaggio.

Le celle vengono normalmente rappresentate come esagoni, dato che approssimano bene una circonferenza e hanno una buona proprietà di tassellazione.

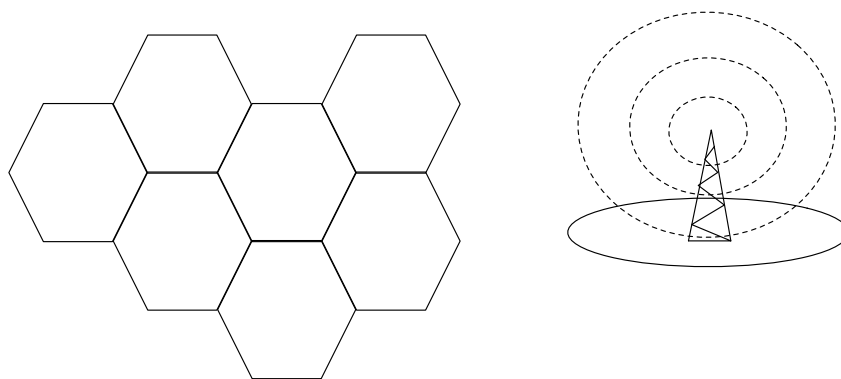


Figura 1: Tassellazione

Viene indicato in una rete cellulare con K il **fattore di riuso**, che rappresenta il numero di celle che formano un **cluster** dove sono distribuite tutte le risorse. Per fare in modo di ridurre il più possibile le interferenze, le celle uguali in un cluster devono essere più distanti possibili.

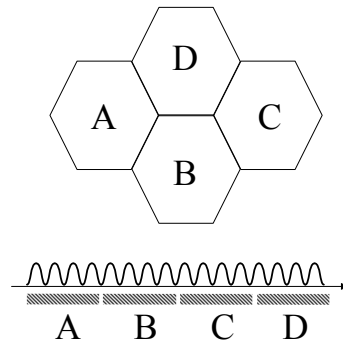


Figura 2: Cluster di celle

La interferenza si forma quando due celle con le stesse risorse sono troppo vicine, oppure quando si hanno celle con risorse adiacenti (per esempio in fig.2 le frequenze elevate di A e quelle basse di B interferiscono). Una possibile soluzione può essere quella di assegnare risorse tra di loro distanti, come in fig.3

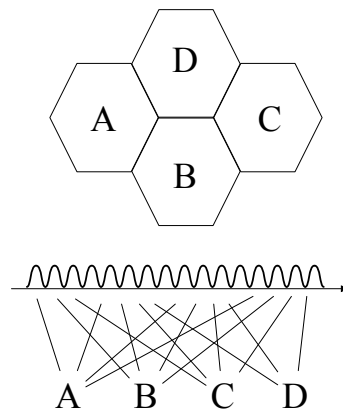


Figura 3: Diversa assegnazione delle risorse

K è legato al numero di risorse assegnate ad ogni cella, quindi al numero di utenti che si può collegare contemporaneamente, da cui quindi deriva un parametro detto **densità geografica di utenti**, misurato in utenti al chilometro quadrato; esso indica quante persone possono collegarsi entro uno spazio limitato, ed è fondamentale per il progetto di reti in aree molto popolate.

Per esempio in una zona urbana la densità è circa costante, mentre al di fuori si tende ad utilizzare meno celle più potenti per coprire più area possibile senza costi di gestione troppo elevati.

Un altro aspetto importante è la possibilità di effettuare un **handover** (o handoff), quindi passare un terminale connesso ad una base ad un'altra base adiacente perché si muove nello spazio (per esempio un cellulare usato in auto deve poter passare da una cella ad un'altra pur mantenendo la chiamata).

Nelle vecchie basi il tutto era gestito dalla base, mentre gli ultimi protocolli usano un sistema assistito dal terminale (il cellulare).

2 Densità geografica di utenti

Nei sistemi pre-cellulari la densità geografica veniva indicata come:

$$u = \frac{M}{A} \quad (2.1)$$

Dove M rappresenta il numero di risorse frequenziali, e A l'area coperta dal trasmettitore. In ogni sistema cellulare si vuole avere una densità u più alta possibile per aumentare il numero di utenti e le risorse per utente disponibili.

In questo caso si può solo giocare sul numero di risorse M . Il numero di risorse per cella è influito dalla costante di riuso:

$$M_{cella} = \frac{M}{K} \implies u = \frac{M_{cella}}{A_{cella}} = \frac{M}{K A_{cella}} \implies u = \frac{2M}{K 3\sqrt{3}R^2} \quad (2.2)$$

Dove per aumentare M cresce la complessità del sistema, e per avere più utenti si rende necessario fare celle più piccole (inversamente proporzionale a R).

3 Distanza di Riuso

È la distanza minima fra due celle analoghe (con le stesse risorse). La tassellazione è possibile se la distanza di riuso è la stessa per ogni gruppo di risorse. In altre parole, tutte le celle che condividono le stesse risorse, per ogni gruppo di risorse, devono essere sufficientemente distanti.

La distanza D dipende da K ; se D sale, allora scende la interferenza intercella, quindi sale il rapporto segnale rumore:

$$\frac{c}{I} \quad (3.1)$$

Dove c rappresenta la potenza del segnale, e I la potenza interferente.

Sperimentalmente si scopre che K non può essere scelto arbitrariamente, ma è dato da:

$$k = i^2 + j^2 + ij \quad (3.2)$$

Dove i, j sono due numeri naturali, e la loro somma è maggiore di zero.

Valori di i maggiori di 1 erano usati nei sistemi TACS, mentre il CDMA usa $i = 0, j = 1$, di conseguenza K è più basso possibile. In questo caso si fa in modo di aumentare le risorse per cella per migliorare il servizio.

Esiste un metodo grafico per **trovare le celle omologhe** adatte ad una tassellazione, è dato dai seguenti passaggi:

- Partire da una cella
- Spostarsi di i celle ortogonalmente ad un lato
- Ruotare di un angolo $\alpha = \frac{2\pi}{3}$ in senso orario o antiorario (mantenere il senso)
- Muoversi di j celle
- Ripetere per ogni lato

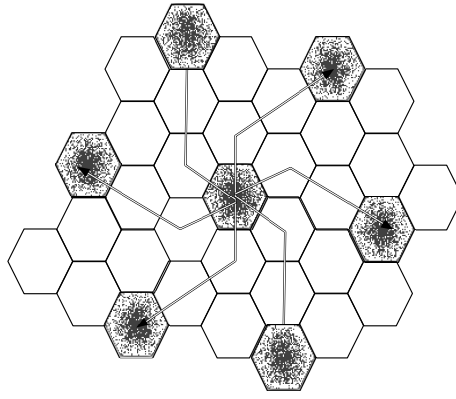


Figura 4: Celle Omologhe

Come diretta conseguenza del metodo di costruzione, esistono sempre sei celle omologhe che ricevono lo stesso livello di interferenza, per ogni possibile cella.

La distanza di riuso si ottiene risolvendo il triangolo formato dallo spostamento tramite la formula di Carnot:

$$AB = i\sqrt{3}R \quad (3.3)$$

$$BC = j\sqrt{3}R \quad (3.4)$$

$$\hat{B} = \alpha = \frac{2}{3}\pi \quad (3.5)$$

$$AC = D = \sqrt{AB^2 + BC^2 - 2AB \cdot BC \cos \alpha} \quad (3.6)$$

4 Interferenza inter-cella

All'aumentare della distanza di riuso, viene ridotta la interferenza fra le celle con le stesse risorse frequenziali. A tal proposito si vuole calcolare l'influenza delle celle omologhe e gli altri utilizzatori sul rapporto SNR in uplink e downlink.

In uplink (quando il Mobile Terminal comunica con la Base Transmitter Station) la interferenza viene percepita dalla BTS, quindi è in quel punto che si misura. Al contrario, in downlink è il MT a sentire le interferenze.

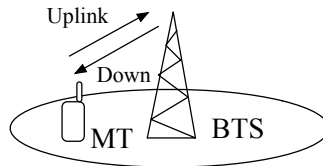


Figura 5: MT e BTS

4.1 Downlink

Si vuole calcolare la potenza del segnale utile ricevuto da un Mobile Terminal, avendo altre BTS che interferiscono.

Per semplificare i calcoli e formalizzare il problema si fanno alcune assunzioni:

- La BTS è al centro della cella
- MT e BTS irradiano l'ambiente in modo omnidirezionale
- Le celle omologhe di prima fascia interferiscono
- La potenza di trasmissione è uguale per tutte le BTS
- Il modello di propagazione è uguale per tutti i canali

Per alcuni aspetti le considerazioni fatte non sono ragionevoli, ma si tratta di una semplificazione.

Aggiungendo delle condizioni peggiorative per ricadere nel caso peggiore possibile (tutto è meglio del caso peggiore...):

- MT è in uno spigolo della cella (riceve più interferenze)
- Tutte le celle hanno attiva in quel momento le stesse risorse di MT
- Tutte le BTS delle celle omologhe sono attive su queste risorse

La potenza del segnale utile è data da:

$$c = \frac{\chi}{R^n} \quad (4.1)$$

$$I_i = \frac{\chi}{d_i^n} \simeq \frac{\chi}{D^n} (K \gg 1), \quad i = 1 \dots 6 \quad (4.2)$$

Si ha di fatto una versione della formula di Friis, dove $\chi = \alpha \cdot P_c$ per comodità. La interferenza totale sarà in generale **minore** di quella calcolata, dato che ci stiamo ponendo nel caso peggiore possibile. D rappresenta la distanza fra MT e la cella interferente, e per distanze elevate si può semplificare la sommatoria considerando il terminale equidistante da tutte le stazioni omologhe:

$$I = \sum_i I_i \simeq \frac{6\chi}{D^n} \quad (4.3)$$

Il rapporto segnale-rumore è dato dal segnale utile diviso le interferenze (R è il raggio, la distanza fra la stazione della cella corrente e il terminale connesso ad essa):

$$\frac{c}{I} \geq \frac{\frac{\chi}{R^n}}{\frac{6\chi}{D^n}} = \frac{1}{6} \left(\frac{D}{R} \right)^n \quad (4.4)$$

$$D = \sqrt{3K} \cdot R \quad (4.5)$$

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3K} \quad (4.6)$$

$$\left(\frac{c}{I} \right)_{downlink} \geq \frac{1}{6} Q^n = \frac{1}{6} (3K)^{n/2} \quad (4.7)$$

Per migliorare il rapporto SNR senza modificare il fattore di riuso si può adottare una settorizzazione della cella, quindi si sfruttano antenne direzionali (3 di solito) in ogni cella per limitare

l'interferenza delle celle omologhe (prova a disegnarlo). Se si esegue bene il progetto si hanno solo due celle omologhe interferenti invece che sei.

Il problema di questo approccio è che ovviamente risulta più costoso e complicato da implementare; inoltre si hanno handover nella stessa cella quando si passa da una antenna ad un'altra.

Si può migliorare la situazione implementando **siti tricellulari**, dove la BTS è posizionata in un vertice della cella e ne serve tre contemporaneamente. Va comunque aumentata la potenza trasmessa P_T ; K è multiplo di 3.

4.2 Uplink

In questo caso è il terminale a ricevere interferenza, e non più dalle BTS ma dagli altri terminali presenti nelle celle omologhe. Come condizioni peggiorative si assume che:

- MT è lontano dalla sua BTS
- Gli altri terminali presenti nelle celle omologhe sono più vicini possibili

$$c \geq \frac{\chi}{R^n} \quad (4.8)$$

$$I_i \leq \frac{\chi}{L_i^n} \quad (4.9)$$

$$L_i \simeq D - R \quad (4.10)$$

Con l_i si intende la distanza fra MT e gli altri terminali interferenti.

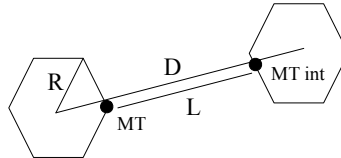


Figura 6

$$\left(\frac{c}{I}\right)_{uplink} \geq \frac{1}{6} \left(\frac{D-R}{R}\right)^n = \frac{1}{6}(Q-1)^n \quad (4.11)$$

5 Considerazioni finali

Si può costruire la tabella seguente con le considerazioni fatte. Con + vengono indicate le caratteristiche elevate, con - viceversa, = vuol dire che è indifferente. Per esempio in cui R sale, la potenza emessa P_e sale, e comporta un consumo maggiore, che è una caratteristica negativa.

	R+, K=	K+, R=
Pe	+ (bad)	=
#handoff	- (good)	=
u	- (bad)	- (bad)
$\frac{c}{I}$	=	+(good)