

Load factor nell'UMTS

I sistemi UMTS mandano segnali che coprono tutta la banda disponibile, sono continui nel tempo e vengono separati da un utente all'altro cambiando il tipo di codifica.

Normalmente una stazione UMTS trasmette i segnali di $2N$ utenti assieme, usando $2N$ codici diversi e tra loro ortogonali (all'arrivo all'utente, se siamo fortunati, sono ancora esattamente ortogonali, altrimenti lo saranno solo in parte).

Quindi i segnali, soprattutto se considero l'uplink (dagli utenti verso l'alto), ci sono tutti contemporaneamente, e sono da considerare come interferenza. In pratica, dal punto di vista di ogni utente, aumenta il livello di rumore.

Quindi la copertura che posso ottenere dipende non soltanto dall'attenuazione, ma da quanto viene sfruttato il sistema stesso.

Vediamo come si valuta la massima copertura di un segnale UMTS, cercando di capire quali sono gli effetti che contano per valutare questa copertura.

Load factor nell'UMTS

Chiaramente l'attenuazione di tratta gioca un ruolo fondamentale, ma non è l'unico fenomeno.

Valutiamo in dettaglio quantitativo questo problema dell'interferenza.

Ci possono essere variazioni di copertura anche significativa a seconda del numero di utenti che ci sono, e da che tipo di banda stanno utilizzando.

Nell'UMTS è un parametro fondamentale il cosiddetto rapporto tra l'energia trasportata da un bit e la densità spettrale di rumore (che dipende dalla temperatura del sistema e dalla cifra di rumore), che chiamiamo ε .

Questo parametro dipende anche dal tipo di collegamento che stiamo instaurando, se stiamo trasmettendo voce o dati, dal tipo di elaborazione che andiamo a fare, dalla presenza di fading, e così via.

Per un collegamento voce, ε è dell'ordine di 4, 5, 6 dB.

Se trasmetto dati invece varia tra 1 dB (non real-time) e 1.5 dB (real-time).

Load factor nell'UMTS

Il parametro che viene usato come «goal» del collegamento è il rapporto fra l'energia per bit e la densità spettrale del rumore ε (dove viene considerato rumore anche tutta l'interferenza).

Il valore di ε necessario per un BER (bit error ratio, rapporto tra i bit non ricevuti correttamente ed i bit trasmessi) accettabile dipende dal tipo di servizio, dal bit-rate, dalla presenza o meno di fading, dall'uso della diversità, dalla velocità del mobile, dalla presenza di soft-handover e così via.

Valori tipici necessari sono di 1.5 dB per la trasmissione dati e fino a 5 dB per la voce.

Load factor nell'UMTS

L'energia per bit cambia da utente a utente, poiché ogni utente ha il suo particolare tipo di collegamento, e la posso legare alla potenza del segnale ricevuto.

Stiamo considerando ora il collegamento in uplink.

Il rapporto ε (relativo all'utente j) può essere espresso come prodotto di un parametro di "velocità" per un parametro di potenza (relativi al generico utente j). Per l'utente j -esimo si ha:

$$\varepsilon_j = \frac{W}{v_j R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{tot} - P_j}$$

Load factor nell'UMTS

Esaminiamo prima il secondo fattore relativo alla potenza:

$$\varepsilon_j = \frac{W}{v_j R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{tot} - P_j}$$

P_j è la potenza che la stazione radio base sta ricevendo dall'utente j .

In un rapporto segnale rumore sarebbe il segnale.

I_{tot} è la potenza totale che la stazione sta ricevendo, e sarebbe la somma della potenza ricevuta non solo dall'utente j , ma anche da tutti gli altri utenti e da tutte le altre celle, e della potenza di rumore.

Chiaramente $I_{tot} - P_j$ è tutta la potenza che non mi interessa per il collegamento con l'utente j , e quindi il secondo fattore rappresenta una sorta di rapporto segnale rumore.

Per il momento trascuriamo la potenza che viene dalle altre celle, cioè supponiamo di avere una sola cella. Quindi il denominatore è la somma della potenza del rumore e di tutti gli altri utenti, che dal mio punto di vista è "rumore", cioè un'interferenza.

Load factor nell'UMTS

Esaminiamo ora il primo fattore di "velocità".

$$\varepsilon_j = \frac{W}{v_j R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{tot} - P_j}$$

Questo modifica il rapporto segnale rumore vero e proprio (dato dal secondo termine) per ottenere l'energia del bit.

W è il cosiddetto chip rate del sistema UMTS, pari a $3.84 \cdot 10^6$ [bit/s], ed è un valore standardizzato (uguale per tutti gli utenti).

La velocità dei collegamenti è di 384 KB/s, ovviamente legato al valore del chip rate (levando i bit di parità e di controllo).

R_j è la velocità del servizio che sta utilizzando l'utente j .

Quindi se è una trasmissione dati alla massima velocità, allora R_j vale 384 KB/s.

Load factor nell'UMTS

In caso di trasmissione dati R_j potrebbe essere addirittura uguale a W , ma anche inferiore, dato che posso trasmettere anche a velocità più bassa, intorno a 100-120 KB/s.

Come vedremo queste ultime costano meno perché occupano meno la capacità complessiva del canale.

In caso di trasmissione della voce R_j è molto più basso, intorno a 12.2 KB/s (valore legato alle massime frequenze dello spettro della voce, intorno ai 3.4 KHz).

Il parametro v_j è detto coefficiente di attività dell'utente (adimensionale), ed esprime la frazione del tempo che sta impegnando il canale in trasmissione.

Ovviamente per una trasmissione dati vale 1, mentre per trasmissione vocale è più basso, e vale intorno a $2/3$ (non si parla continuamente, cioè emettendo onde sonore in continuazione, ci sono pause).

Load factor nell'UMTS

Posso ricavare P_j dalla precedente relazione sull'energia del bit, ottenendo:

$$I_{tot} - P_j = \frac{W}{v_j R_j \varepsilon_j} \cdot P_j \quad \Rightarrow \quad P_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{v_j R_j \varepsilon_j}} \cdot I_{tot} = L_j \cdot I_{tot}$$

L'espressione che moltiplica I_{tot} viene detta fattore di carico dell'utente j , e si indica con L_j , e mi dice quale frazione di quello che la stazione radio base sta ricevendo deriva dall'utente j .

Si ha quindi, in uplink, un fattore di carico pari a:

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{v_j R_j \varepsilon_j}}$$

Load factor nell'UMTS

Risulta abbastanza chiaro che la potenza totale (che sono in grado di calcolare) è data dalla somma della potenza di rumore più la potenza di tutti i singoli utenti.

L_j è un parametro del sistema trasmissivo (del canale in senso comunicativo) ma non è un parametro radio elettrico, dato che dipende solo dalle velocità di trasmissione e da quanta energia mi serve per decodificare il segnale.

Possiamo allora scrivere (e risolvendo in favore di I_{tot}):

$$I_{tot} = P_N + \sum_j P_j = P_N + \sum_j L_j \cdot I_{tot} = P_N + \eta_{UL} \cdot I_{tot}$$

da cui:

$$I_{tot} = \frac{P_N}{1 - \eta_{UL}}$$

Load factor nell'UMTS

Il parametro η_{UL} è detto fattore di carico (in uplink) della cella, ed è dato dalla somma di tutti i fattori di attività:

$$\eta_{UL} = \sum_j L_j$$

Il rapporto fra I_{tot} e P_N è il primo parametro importante che devo ricavare.

Infatti se io ragiono in termini di collegamento standard, mi aspetto di dover realizzare un certo rapporto segnale rumore, e quindi il parametro che mentalmente considero è il rumore.

Ma nel sistema UMTS anche tutti gli altri segnali sono interferenza, e quindi rumore.

Quindi il parametro importante è quanto vale I_{tot} , dato che tutto I_{tot} ha il ruolo di rumore, tranne che per la frazione di L_j (ma che naturalmente è un numero molto piccolo, infatti nessuno fa una stazione radio base per servire pochi utenti).

Load factor nell'UMTS

Possiamo dire che praticamente tutto quello che riceve l'antenna della stazione base è rumore (dal punto di vista del singolo utente).

Definiamo allora:

$$M = \frac{I_{tot}}{P_N} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} = \text{Incremento di rumore (noise rise)}$$

Questo parametro è importante, perché se faccio i conti del collegamento utilizzando il rumore devo inserire all'interno del mio bilancio questo parametro come margine di sicurezza rispetto all'interferenza.

Cioè se posso garantirmi il segnale contro un certo valore di rumore, in realtà devo poi anche garantirmi di avere margine per tenere conto delle interferenze.

Quindi nel mio bilancio non metterò solo la potenza di rumore (che so calcolare come rumore termico e cifra di rumore del ricevitore), ma devo aggiungere un margine di sicurezza contro l'interferenza pari a questo rapporto.

Load factor nell'UMTS

Se grafichiamo il margine di interferenza rispetto a η_{UL} , in base a valori tipici, si ottiene ad esempio:

$$\eta_{UL} = 0.5 \quad \Rightarrow \quad M = 2 \div 3dB$$

$$\eta_{UL} = 0.25 \quad \Rightarrow \quad M = 4 / 3 \cong 1.3dB$$

Tipicamente i margini di interferenza variano proprio tra 1 dB e 3 dB.

Load factor nell'UMTS

Questo discorso vale se esiste un'unica cella.

In realtà tutti i segnali che arrivano da tutte le altre celle vanno inclusi perché in genere il sistema UMTS utilizza un riuso di frequenze completo, cioè gli stessi canali sono presenti in tutte le celle adiacenti.

Quindi il fattore di carico non è solo la somma degli L_j , ma ci sono anche tutti i contributi degli utenti di tutte le altre celle.

Questo naturalmente è da valutare con accuratezza, ed è complicato, ma in genere non è necessario perché gli utenti delle altre celle sono tanti e tipicamente posso fare una scelta di valutazione statistica dell'interferenza.

Load factor nell'UMTS

Valuto allora un incremento di η_{UL} che dipende dal tipo di antenna della stazione radio base, e la formula che si utilizza è di questo tipo:

$$\eta_{UL} = \sum_j L_j \cdot (1 + i)$$

Il fattore $(1+i)$ mi tiene conto dell'effetto di tutte le altre celle.

Se la stazione radio base che sto considerando nella mia cella ha una antenna omnidirezionale, il valore di i è intorno a 0.55 (con un incremento del fattore di attività del 55%).

Per antenne direttive il valore di i può arrivare ad un ulteriore 10% o 15%, fino a valori che raramente superano il 65% o 68%.

Load factor nell'UMTS

In teoria dovrei considerare l'interferenza di tutte le celle (per un calcolo accurato), ma si può tenere conto che esiste un'attenuazione di tratta sempre maggiore con il crescere della distanza e possiamo limitarci a considerare solo la prima fila di celle adiacenti.

Tra l'altro tutti i terminali mobili hanno un sistema di controllo automatico di potenza per cui vanno a valutare la potenza che serve per la propria stazione radio base, e tarano la propria potenza su quella.

Quindi in uplink, se ho un terminale che trasmette 1W come potenza massima, magari per collegarsi alla propria stazione potrebbero essere sufficienti anche solo 100mW, mentre per collegarsi ad una cella adiacente servirebbero magari almeno 150mW.

Ed in ogni caso la potenza che arriva alle stazioni delle celle adiacenti è sempre minore di quella che arriva alla propria stazione base (essendo la potenza in uplink dei mobili tarata su di essa).

Load factor nell'UMTS

Quindi l'effetto sulle celle adiacenti è ridotto, mentre sarebbe molto più grave se non ci fosse il controllo di potenza, per cui il terminale mobile sparerebbe sempre 1W.

Avremmo allora un segnale molto forte nella propria cella, che sarebbe inutile perché le curve di bit error rate tendono ad appiattirsi oltre un certo valore di SNR.

Inoltre avremmo però dei valori di interferenza inter-cella molto maggiori.

In generale invece dalle altre celle arrivano potenze che si attenuano almeno come $1/r^3$, e il contributo finale è abbastanza piccolo.

Load factor nell'UMTS

Fa eccezione il caso in cui ci troviamo nella situazione di un terminale mobile con la propria stazione radio base molto lontana, ad esempio con il terminale vicino al confine con un'altra cella, più o meno equidistante dalle due rispettive stazioni radio base.

In questo caso riuscirebbe a collegarsi ad entrambe con lo stesso valore di potenza, producendo un'interferenza molto più grande nella cella vicina.

In situazioni di questo tipo potremmo allora tenerne conto, ma in generale è raro che si vada oltre il valore di $i = 65\%$ per il fattore correttivo, salvo che per eventuali applicazioni particolari future con tecnica di accesso CDMA.

Load factor nell'UMTS

Consideriamo l'espressione per L_j :

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{v_j R_j \varepsilon_j}}$$

Se ci troviamo in una condizione in cui il sistema gestisce solo traffico voce (ad esempio) allora il rapporto W/R_j è abbastanza grande (anche 30 o 40), il termine v_j sarà minore di 1, e tutto il primo blocco potrebbe essere facilmente di 50 o più.

Il valore di ε (se L_j è relativo al traffico voce) sarà tipicamente al massimo intorno a 5dB (pari a 3 in scala naturale), e tutta la frazione a denominatore sarà molto maggiore di 1, e il termine additivo 1 non conta, e L_j sarà semplicemente:

$$L_j = \frac{v_j R_j}{W} \cdot \varepsilon_j$$

Load factor nell'UMTS

Questa è una buona approssimazione per il traffico voce, ma può essere usata come approssimazione grossolana anche per il traffico dati, per avere una forma dei parametri un po' più semplice e per avere un primo calcolo di larga massima di quello che succede.

Se tutti gli L_j sono scritti in quel modo, trovo che η_{UL} ha la seguente espressione:

$$\eta_{UL} = \frac{1}{W} \sum_j v_j \cdot R_j \cdot \varepsilon_j \cdot (1 + i)$$

Se vogliamo fare delle approssimazioni molto drastiche, allora possiamo ulteriormente semplificare il problema, supponendo che anche v_j , R_j ed ε_j siano uguali per tutti gli utenti (o comunque in media molto simile, non vale la pena tenere conto di piccolissime differenze tra diversi utenti, è sufficiente che il traffico sia tutto dello stesso tipo).

Load factor nell'UMTS

Facendo questa approssimazione si ottiene:

$$\eta_{UL} \cong \frac{\varepsilon}{W/R} \cdot v \cdot N \cdot (1+i)$$

Questa relazione mi consente di stimare (per traffico voce) o avere un'idea (per traffico misto) di quale è il numero N di utenti che corrisponde ad un certo fattore di carico della cella, ossia il massimo numero di utenti che posso gestire con una cella, che dipende dai parametri di sistema, ma anche da quanto posso tollerare per η_{UL} , ovvero in base al margine di interferenza che riesco a mettere garantendo il collegamento.

Si ottiene in particolare:

$$N = \frac{W/R}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{1}{(1+i)} \cdot \eta_{UL}$$

Load factor nell'UMTS

$$N = \frac{W/R}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{1}{(1+i)} \cdot \eta_{UL}$$

Il valore di N aumenta quanto più aumenta W/R (cioè il chip rate), o quanto più è piccolo v (dato che quanto meno impegna il canale ogni utente, tanti più utenti è possibile "allocare" in termini di W/R).

Più è piccolo l' ε di cui ho bisogno, più utenti posso gestire, dato che avrei bisogno di meno potenza per il singolo utente, e ciascun utente singolarmente contribuisce meno all'interferenza totale.

Naturalmente più interferenza viene dalle altre celle peggio è, dato che sarà maggiore $(1+i)$, con una diminuzione degli utenti gestibili.

Posso aumentare N solo se questo aumento non produce un aumento dell'interferenza.

Ogni aumento dell'interferenza produce una diminuzione di N.

Load factor nell'UMTS

Provando ad inserire dei numeri, ad esempio per il traffico voce, abbiamo che W/R (pari al rapporto tra il chip rate standard $3.84 \cdot 10^6$ fratto la velocità di servizio $100 \cdot 10^3$) vale circa 50, ε vale circa 3, v vale $2/3$, $(1+i)$ vale circa 1.5, per un valore risultante di N pari a circa $15\eta_{UL}$, ossia (con valori a spanne di η_{UL} intorno a 0.5) si ha un valore di N intorno a 7 o 8 utenti.

$$N = \frac{W/R}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{1}{(1+i)} \cdot \eta_{UL} = \frac{3.84 \cdot 10^6}{100 \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2/3} \cdot \frac{1}{(1+0.5)} \cdot 0.5 \cong 7$$

Non deve stupire il valore apparentemente piccolo di N .

Infatti occorre notare che l'espressione ricavata per N fornisce il numero di utenti massimi contemporaneamente attivi sullo stesso canale della stessa cella, e valori tipici di banda per un singolo canale di una cella sono intorno ai 600-800 Kbps (e infatti, con un traffico di circa 100 Kbps per utente si ritorna al valore di circa 8 utenti).

Load factor nell'UMTS

Tutto questo discorso è valido per l'uplink.

Riprendiamo ora in esame il downlink.

In downlink si possono fare dei ragionamenti simili al caso dell'uplink, tanto che l'espressione di η_{DL} (fattore di carico in downlink) è molto simile al caso di uplink:

$$\eta_{DL} = \sum_j v_j \cdot \frac{\varepsilon_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j]$$

Le differenze sostanziali sono due.

Load factor nell'UMTS

La prima differenza sostanziale è il fattore di interferenza dovuto alle altre celle, che nel caso di downlink dipende da dove è posizionato il mezzo mobile (in quanto è relativo ad esso stesso, mentre nel caso di uplink la stazione radio base è immobile).

In particolare influirà il fatto che il mobile si trovi al centro della cella, oppure al bordo con niente intorno, oppure al bordo verso una zona densamente popolata. Per questo avremo il coefficiente di interferenza i che dipenderà in generale dal mezzo mobile j -esimo considerato.

Per quanto riguarda il termine principale, abbiamo un fattore che possiamo indicare come $(1-\alpha_j)$, dove α_j è detto fattore di ortogonalità.

Load factor nell'UMTS

Il motivo è il seguente.

I codici che l'antenna trasmette sono ortogonali.

In DL il terminale mobile riceve tutto lo spettro dei codici trasmesso dall'antenna.

Se però questi codici sono tutti ortogonali tra loro, allora riesco a filtrarli tutti tranne il mio.

In questo caso (codici tutti rigorosamente ortogonali al ricevitore mobile j -esimo) il termine α_j vale 1 (con un contributo nullo, cioè non ho interferenza dalle trasmissioni dalla stazione radio base verso gli altri utenti, perché li filtro via grazie all'ortogonalità, e dal punto di vista del mobile è come se non venissero trasmessi).

Questa però è la situazione ideale.

Load factor nell'UMTS

Al contrario nel collegamento reale esiste il fenomeno del multipath, con un ritardo variabile, che produce un effetto di delay spread, ovvero mi arriveranno tante copie ritardate dei miei codici. In tal caso è ovvio che, anche se prendo un codice ortogonale al mio, ma lo prendo ritardato di 1 bit (ad esempio), allora quel codice sarebbe tutt'altro che ortogonale al mio, ma potrebbe essere anche molto simile al mio.

Nel caso reale avremo allora che α_j sarà minore di 1, tanto minore quanto più è "veloce" il terminale mobile, per via dell'aumento dello spread delay.

Se sono in automobile con una certa velocità, posso aspettarmi $\alpha_j=0.6$ (e anche qualcosa in meno, a seconda della velocità e dell'ambiente circostante, che influisce sul multipath).

Se invece io sono fermo o sto camminando posso aspettarmi circa $\alpha_j=0.9$.

Load factor nell'UMTS

Il fattore di carico in downlink (e quindi la potenza disponibile) non dipende dal numero di utenti collegati (è "costante" a prescindere dal numero dei terminali mobili, e costituisce la risorsa da dividere tra tutti gli utenti).

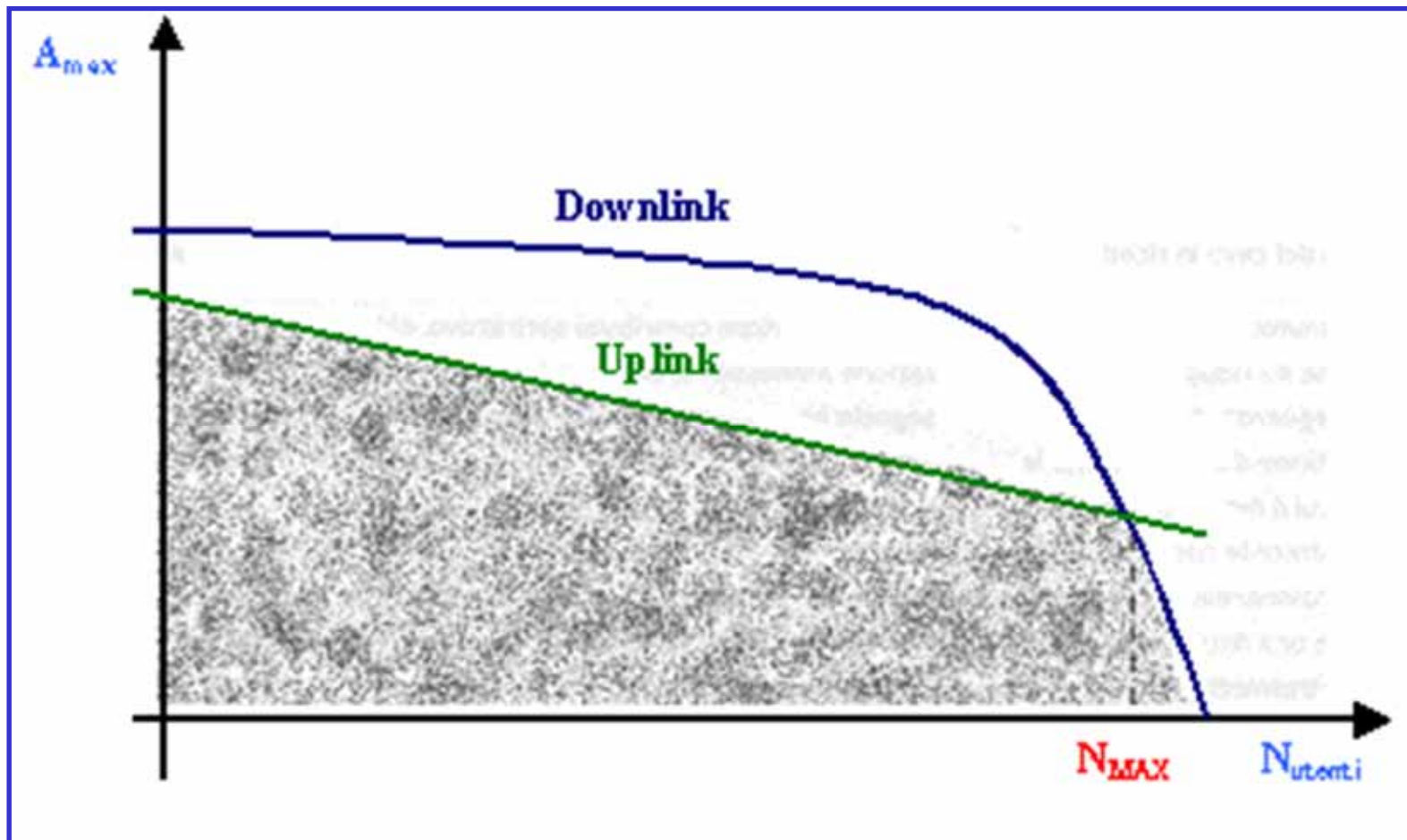
$$\eta_{DL} = \sum_j v_j \cdot \frac{\varepsilon_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j]$$

Viceversa in uplink la potenza che deve essere fornita non dipende da quanto è grande la cella, ma piuttosto dipende in maniera molto più forte da quanti sono gli utenti collegati.

$$\eta_{UL} \cong \frac{\varepsilon}{W/R} \cdot v \cdot N \cdot (1 + i)$$

Load factor nell'UMTS

In altri termini, se vado a considerare una stazione radio base, e riportiamo su un grafico l'attenuazione massima accettabile per una data capacità di traffico (in downlink e uplink), si trova:



Load factor nell'UMTS

Il significato è il seguente: fissato un determinato punto sul grafico, quel livello di capacità di traffico (in ascissa) è ottenibile con qualunque valore di attenuazione (di tratta) fino a quello corrispondente al punto stesso (in ordinata).

In uplink l'andamento è praticamente lineare, quasi piatto.

In downlink invece l'andamento dapprima scende lentamente, per poi iniziare a scendere in modo molto più brusco verso il basso.

L'intervallo ammissibile è ovviamente quello che mi consente di gestire sia l'uplink sia il downlink, corrispondente alla regione tratteggiata, che risulta approssimativamente rettangolare.

Per una data capacità che voglio ottenere, il fattore limitante per la copertura è l'uplink, cioè tipicamente è sufficiente garantire il collegamento in uplink perché sia automaticamente garantito anche quello in downlink.

Load factor nell'UMTS

Se arriviamo ad una combinazione di valori corrispondenti all'intersezione delle due curve, allora il sistema si blocca.

Il fatto che si blocchi è dovuto al limite di uplink per quanto riguarda la massima distanza di collegamento, mentre è dovuto al limite di downlink per quanto riguarda la massima capacità gestibile dalla rete.

Da un punto di vista pratico possiamo dire che il downlink mi determina quale sia la massima capacità che posso gestire, e una volta fissata questa capacità massima, il massimo raggio di copertura lo ottengo dall'uplink.

Load factor nell'UMTS

Possiamo dire che in un certo senso in downlink la potenza non gioca un ruolo vincolante per la copertura, e la potenza erogata dalla stazione base deve essere divisa tra gli utenti, a prescindere dalla distanza con la stazione base.

Pertanto la potenza di trasmissione in downlink dovrà essere calcolata considerando come distanza dagli utenti un valore medio nella cella (e non l'utente più lontano a bordo cella).

Infatti da un certo punto di vista la potenza non mi serve per arrivare all'utente più lontano, ma la devo andare a dividere tra tutti gli utenti. Se io avessi tutti gli utenti vicini, la potenza la dovrei dividere come se li avessi tutti molto più lontani.

Load factor nell'UMTS

In altri termini, dal punto di vista del downlink è la stessa cosa che io mi trovi (come terminale mobile) vicino o lontano dalla stazione base.

Questo significa che io posso andare a valutare la potenza in trasmissione (emessa dalla stazione base in downlink) che richiede un certo utente j con la seguente formula:

$$P_{T,j} = \left[W \cdot \frac{ENR_j}{W/R_j} \cdot v_j \cdot \overline{L} \right] \cdot \frac{1}{1 - \overline{\eta}_{DL}} \cdot N_{RIC}$$

Il parametro \overline{L} rappresenta qui il valore di attenuazione media tra tutti gli utenti (e non il valore massimo), che posso approssimare come l'attenuazione media nella cella di copertura, anche se in realtà dovrei fare la media sulla posizione effettiva degli utenti.

Ad esempio in aeroporto dovrei pesare molto di più la zona aeroportuale piuttosto che sulle piste, in cui ci sarà mediamente molta meno gente.

Load factor nell'UMTS

Anche il parametro η_{DL} deve essere considerato come il valor medio sulla cella, che si ottiene sostituendo α_j ed i_j con i loro rispettivi valori medi.

In altre parole, nell'espressione precedente tutto ciò che riguarda la propagazione radio (attenuazione di tratta, ortogonalità tra i codici, interferenza dalle altre celle) deve essere considerato in termini medi, e non rispetto al singolo utente.

Quello che cambia da utente a utente sono solo le sue richieste di "sistema" (che hanno a che fare con la parte di elaborazione).

Ogni utente lavora in base al valore di attenuazione media, e questo implica che aumentare la potenza in downlink serve a poco.

Load factor nell'UMTS

Se ad esempio raddoppiamo la potenza della stazione radio base, allora la curva della attenuazione massima accettabile nel grafico precedente (in scala logaritmica) si alzerà di 3 dB.

In corrispondenza la capacità totale sostenibile aumenterà solo di un pezzetto molto piccolo (dell'ordine stimato del 5% - 10%).

Per questa ragione, se ho la possibilità di avere più codici ortogonali, è preferibile avere due stazioni indipendenti su codici ortogonali nello stesso punto, piuttosto che una sola stazione con potenza doppia su un solo set di codici.

Per il sistema UMTS è quindi inutile aumentare la potenza se non posso anche aumentare le "portanti indipendenti" (in un certo senso).

Non a caso infatti le stazioni UMTS hanno potenze in gioco molto più basse dei sistemi GSM. Parallelamente si sono sviluppati studi per i sistemi GSM con antenne intelligenti (che rendono adattativa la cella di copertura tramite un controllo di potenza).

Link Budget

Andiamo a valutare (nel caso del sistema UMTS) il cosiddetto LINK BUDGET.

La valutazione del link budget si articola in 4 sezioni:

- Trasmettitore
- Ricevitore
- Collegamento (propagazione)
- Affidabilità (di norma è presente, ma talvolta non viene considerata)

Link Budget

Trasmittitore

Il problema al trasmettitore è abbastanza semplice, e il valore di uscita da questa sezione è l'EIRP, che posso valutare (in dB) come:

$$EIRP = P_{IN} + G_{AT} - A_{SS}$$

Qui consideriamo la P_{IN} come la potenza in ingresso all'antenna trasmittente.

Tipicamente dobbiamo considerare anche l'eventuale assorbimento del cavo (dell'ordine di 1 o 2 dB).

Il parametro G_{AT} è il guadagno dell'antenna trasmittente.

Link Budget

Trasmittitore

$$EIRP = P_{IN} + G_{AT} - A_{SS}$$

Inoltre ci può essere anche un fattore di assorbimento del corpo umano, dato che l'essere umano è composto principalmente di acqua, e l'acqua alle frequenze di qualche GHz assorbe energia elettromagnetica, e si valuta questo assorbimento intorno ai 3 dB (metà della potenza viene assorbita).

Questa è in genere una sovrastima, ma molti studi dimostrano che si può arrivare fino a 3 dB (ad esempio nella mano).

Nella testa si hanno valori un po' inferiori perché la scatola cranica tende a schermare.

Link Budget

Ricevitore

Per quanto riguarda il ricevitore, si va a considerare la sua sensibilità, ossia ciò che mi serve per ottenere una risposta.

Possiamo valutare in dB nel seguente modo:

$$S_R = ENR + G_P + (P_N + M)$$

In pratica il rapporto tra il segnale che ricevo e il rumore deve essere pari al valore di ε .

Se quindi voglio il livello minimo di segnale, questo deve essere uguale (di base) ad ε , a cui aggiungere il guadagno di elaborazione G_P , la potenza di rumore P_N e il margine di interferenza M .

Link Budget

Ricevitore

La potenza di rumore può calcolarsi semplicemente come:

$$P_N = -174 \left[\frac{dBm}{Hz} \right] + 65.8[dB] + NF$$

Nella precedente il valore -174 dBm/Hz rappresenta la densità spettrale di rumore, il valore 65.8 dB rappresenta la banda di lavoro del sistema in esame (nel caso dell'UMTS si ha $3.84 \cdot 10^6$ Hz), il termine N_F è la cifra di rumore del ricevitore, che tipicamente ha valori intorno a 3-5 dB.

Link Budget

Ricevitore

Per quanto riguarda G_p dobbiamo considerare che la banda totale della trasmissione vale 3.84 MHz, ma naturalmente la banda effettivamente utilizzata potrebbe essere inferiore (ad esempio perché sto effettuando una trasmissione dati a bassa velocità, o semplicemente una trasmissione vocale).

Questo parametro è semplicemente espresso come rapporto tra il chip rate dell'UMTS e la velocità effettiva che mi viene richiesta.

Nel caso di trasmissione dati a 384 Kbps il valore di G_p è 10, mentre nel caso di trasmissione vocale il suo valore arriva anche a 25 dB.

Link Budget

Propagazione

Per quanto riguarda la propagazione, abbiamo come uscita di questa fase la massima attenuazione ammissibile (non quella che dovrò implementare, ma quella massima ammissibile).

Fondamentalmente posso valutarla in questo modo:

$$L_{MAX} = EIRP_{TX} - S_R + G_{AR} - A_{CAVO} - M_{FF}$$

Ossia si ottiene come differenza tra la potenza che mando meno quella di cui ho bisogno.

Link Budget

Propagazione

A questo bisogna aggiungere il guadagno dell'antenna in ricezione, che mi aumenta la potenza ricevuta, e quindi anche la massima attenuazione ammissibile (qualunque cosa mi aumenti il segnale mi aumenta anche la massima attenuazione accettabile, dato che il mio vincolo è la sensibilità del ricevitore S_R).

Inoltre si deve sottrarre l'attenuazione del cavo in ricezione, che non ci sarebbe nel caso di collegamento verso i terminali mobili.

Nel caso di comunicazioni UMTS abbiamo anche un ulteriore contributo sottrattivo, chiamato margine di Fast Fading, che mi riduce la massima attenuazione ammissibile, come se fosse equivalente ad una perdita.

Link Budget

Propagazione

Abbiamo infatti visto che il segnale ha oscillazioni grosse e molto rapide, e normalmente il sistema di gestione del cellulare ha la capacità di compensare il fading variando la potenza in trasmissione.

Nelle zone in cui il fading è più pronunciato si aumenta la potenza, in modo da tenerlo approssimativamente costante.

Questo significa che se il mio cellulare ha 1W di potenza massima, non posso farlo funzionare a 1W, dato che si dovrebbe lavorare sul valor medio del fast fading.

Se infatti il segnale avesse una diminuzione, non potrei compensare il fading perché sono già al limite.

Quindi si fanno i conti come se trasmettessi meno potenza.

Link Budget

Propagazione

Ad esempio, con 1W di potenza massima, faccio conto di lavorare con solo 0.5W di potenza.

Se poi a causa del fading il segnale scende di 3dB, allora sono ancora in grado di compensare, perché posso aumentare la potenza fino a 1W.

Potrei tenere conto di questo imponendo di avere una potenza disponibile più bassa di quella effettiva.

In alternativa (ed è quello che si fa di solito, come nella formula precedente) si può semplicemente includere un margine di fast fading, che mi dice che devo lavorare come se l'attenuazione fosse più alta.

Link Budget

Propagazione

I valori di M_{FF} arrivano anche a 6dB, ma naturalmente dipendono dal tipo di servizio.

Se infatti il mezzo che stiamo utilizzando si muove a velocità elevata non riesco più a compensare il fast fading, perché non ne avrei il tempo.

Compensare il fast fading significa valutare l'attenuazione nel punto in cui mi trovo, e modificare la potenza di uscita per tenerne conto.

Se mi muovo a 100 Km/h (ad esempio) allora probabilmente nel tempo in cui sto effettuando la misura avrei già attraversato altri nulli di segnale, e allora la cosa risulterebbe inutile.

Il sensore farà comunque una media dei valori di segnale, ma questa media "filtra" via il fast fading se vado troppo veloce.

Link Budget

Affidabilità

Per quanto riguarda l'affidabilità, possiamo dire quanto segue.

Le valutazioni precedenti mi forniscono un valore per L_{MAX} che mi garantisce il collegamento.

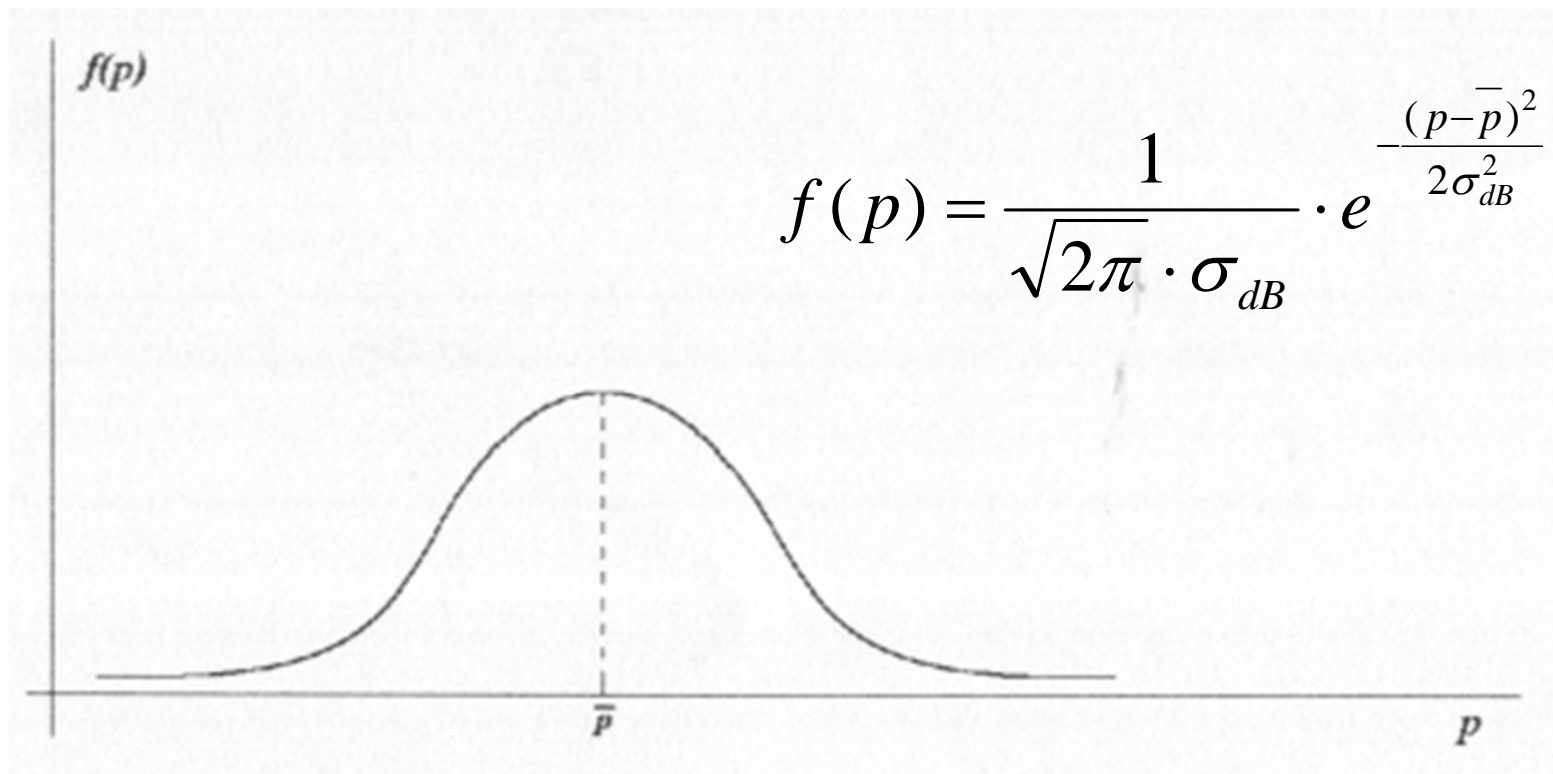
Però c'è un problema da considerare.

Tutte le espressioni che si utilizzano per valutare l'attenuazione (come ad esempio Okumura-Hata) mi forniscono più precisamente la mediana dell'attenuazione, dato che è presente un fenomeno di fading lento.

Link Budget

Affidabilità

Questo significa che in realtà la potenza ricevuta non è un dato noto, ma posso solo stimare quel valore che è superato con probabilità 0.5, su una distribuzione di probabilità con andamento log-normale (gaussiano):



Link Budget

Affidabilità

Se utilizzo questo L_{MAX} che ho trovato, allora garantisco il collegamento solo per il 50% del tempo, perché in pratica se vado a considerare la $f(p)$, con quel valore mi garantisco il collegamento solo se la potenza ricevuta p supera il valore di \bar{p} (cioè il valor medio della potenza).

Se la potenza ricevuta è più bassa (a causa del fading lento) questo equivale a dire che l'attenuazione è diventata superiore a L_{MAX} .

Di questo fatto ne devo tenere conto, ovvero l'attenuazione su cui andare a dimensionare la distanza del collegamento è pari a:

$$L = L_{MAX} - M_{SF} + G_{SH}$$

Link Budget

Affidabilità

Quindi, l'attenuazione su cui dimensionare la distanza è pari (di base) al valore L_{MAX} trovato in precedenza, a cui sottrarre il cosiddetto margine di Slow Fading (che dipende dall'affidabilità che si vuole dare al sistema), e aggiungere un termine di guadagno (dovuto alla ricezione in diversità).

Per quanto riguarda G_{SH} diciamo quanto segue.

Nel sistema UMTS ogni terminale mobile mantiene il collegamento contemporaneo con almeno due stazioni radio base, in modo da poter fare handover tra una cella e l'altra, se necessario.

Questo però ha un ulteriore vantaggio.

Se sono in collegamento con due stazioni, e mi trovo in una zona lontana della cella in cui l'attenuazione inizia a diventare critica, mi trovo nella condizione di poter effettuare una ricezione in diversità.

Link Budget

Affidabilità

Nei punti in cui l'attenuazione è critica, avrò questo guadagno di soft handover, mentre nei punti in cui l'attenuazione non è critica (ad esempio a centro cella), in realtà il guadagno di soft handover non ce l'ho, ma anche la potenza ricevuta è salita di parecchi dB (data la supposta vicinanza con la stazione radio base).

Per quanto riguarda il margine di slow fading M_{SF} dobbiamo considerare la curva $f(p)$.

La valutazione di affidabilità la devo fare proprio nelle zone di bordo cella, dato che è lì che posso avere dei problemi.

Se mi dovessi spostare più vicino verso la stazione radio base, allora starei spostando verso destra (in avanti) la curva $f(p)$ rispetto al caso di bordo cella.

Link Budget

Affidabilità

Per valutare il margine di slow fading devo prima di tutto fissare il valore per l'affidabilità richiesta, ad esempio 95% (valori tipici sono almeno del 90%), e considerare la $f(p)$ a bordo cella.

Si deve cercare di spostare la curva in avanti in modo che il valore di potenza atteso (corrispondente a L_{MAX}) venga superato per almeno il 95% del tempo.

Link Budget

Affidabilità

In pratica dovrei "aumentare" la potenza mediamente ricevuta (riducendo cioè la massima attenuazione ammissibile, cioè riducendo la massima distanza accettabile), in modo che l'area sottesa da $f(p)$ a destra del punto di partenza sia pari al 95%.

Lo spostamento corrispondente al 95% (ricavabile dalle tabelle per la gaussiana normalizzata) è pari a circa 1.65σ .

Graficamente questo equivale a traslare in avanti la gaussiana.

