

ELEMENTI DI FISICA DELLA RADIO (parte terza)

Interferenza

L'interferenza è uno dei termini e dei fenomeni più incompresi nell'ambito delle reti wireless.

Alle interferenze viene spesso attribuita la colpa o quando non si è affatto interessati a trovare il vero problema, oppure quando fa comodo far chiudere la rete/servizio di qualcun altro per motivi di interesse.

Comunque, per la nostra analisi, la ragione deriva dal fatto che le persone ne danno un significato diverso anche utilizzando la stessa parola.

Un fisico ed un ingegnere in telecomunicazioni utilizzeranno la parola “interferenza” in modi molto diversi. Il punto di vista del fisico sarà quello di interessarsi del “comportamento delle onde”.

L'ingegnere parlerà invece di “... rumore che si mette di mezzo”.

Entrambe i modi di vedere hanno la loro rilevanza in campo wireless, ed è importante essere in grado di conoscerne la differenza.

Cominciamo dal punto di vista dei fisici:

Quando si lavora con le onde, l'operazione aritmetica '*uno più uno*' non è sempre '*uguale a due*'; ma può anche essere '*uguale a zero*'. Vediamo come succede:

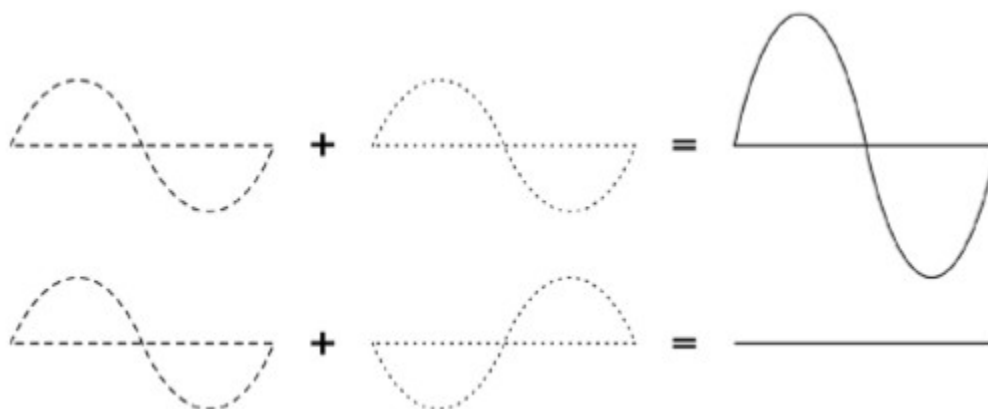


Figura 10 - *interferenza costruttiva e distruttiva*

Questo è facile da capire quando disegniamo due onde sinusoidali e ne sommiamo (*algebricamente*) le ampiezze.

Quando la *differenza di fase* è **zero**, i valori dei due picchi avranno lo stesso verso e quindi sommandoli otterremo il massimo risultato, in questo caso il doppio ($1 + 1 = 2$).

Questa si chiama **interferenza costruttiva**.

Quando la *differenza di fase* è di **180 gradi**, o $\lambda/2$, i picchi avranno senso contrario e quindi sommandoli otterremo un completo annientamento ($1 + (-)1 = 0$) – **interferenza distruttiva**.

Tale comportamento può anche essere verificato con le onde sull'acqua.

Esempi di interferenza li possiamo vedere in azione quando analizziamo il modo in cui vengono costruite le antenne del tipo “**beamforming arrays**”, cioè quelle che usano le tecniche in questione per creare la massima *interferenza costruttiva* nelle direzioni in cui si desidera indirizzare il segnale, e l'*interferenza distruttiva* (nessun segnale) dove non si desidera irradiare alcun segnale.

Tecnicamente, ciò si ottiene dalla combinazione del *dimensionamento fisico* degli elementi radianti e del *controllo degli sfasamenti*.

Facciamo un semplice esempio: immaginiamo di avere tre antenne e vogliamo che l'antenna 3 non riceva alcun segnale dalle antenne 1 e 2; da quanto espresso, posizioneremo l'antenna 3 in un punto in cui i segnali dalle antenne 1 e 2 si annullano a vicenda.

Ora diamo uno sguardo al modo in cui la parola *interferenza* è in genere utilizzata: in un senso più ampio, (serve) per indicare qualsiasi disturbo proveniente da altre fonti RF, qualsiasi rumore che potrebbe interessare il nostro sistema, ad opera di canali adiacenti o da sistemi concorrenti.

Così, quando in ambito wireless si parla di interferenza, si vogliono indicare i tipi di disturbo causati da altre reti, e da eventuali altre fonti che operano in gamma microonde, che condividono la stessa frequenza e aventi o no una relazione fissa di fase. L'interferenza di questo tipo è una delle principali fonti di difficoltà nella costruzione di collegamenti wireless, in particolare nelle aree urbane o negli spazi chiusi (come ad esempio uno spazio per conferenze) dove molte reti possono competere per l'uso del medesimo spettro.

Ma, l'interferenza di questo tipo è spesso sopravvalutata: per esempio, immaginiamo di realizzare un collegamento punto-punto che deve attraversare la zona interna di una città affollata, prima di raggiungere il suo bersaglio sull'altro lato della città.

Tale fascio altamente direzionale attraverserà il cosiddetto *elettrosmog* del centro urbano, senza nessun problema. Il tutto può essere immaginato come se due fasci di luce uno di colore rosso e uno di colore verde si attraversassero con un angolo di 90 gradi: mentre entrambi i fasci si sovrappongono in una certa zona, non si produrrà nessun effetto distruttivo fra i due nei punti di arrivo.

In generale, la gestione dello spettro e la convivenza dei servizi è diventata di vitale importanza specialmente negli ambienti interni e in dense aree urbane.

Line-of-sight (linea di vista)

Il termine *line of sight*, spesso abbreviato come **LOS**, è abbastanza facile da capire quando si parla di luce visibile: se possiamo vedere un punto B (distante) da un punto A (in cui siamo), i due punti sono in visuale l'un l'altro e quindi sono in *linea di vista*. In generale, basta tracciare una linea da A a B, e se non c'è nessun ostacolo nel percorso diciamo che siamo in linea di vista.

Le cose si fanno un po' più complicate quando abbiamo a che fare con le microonde. Ricordate che la maggior parte delle caratteristiche di propagazione delle onde elettromagnetiche dipende dalla loro *lunghezza d'onda* ed anche dal fatto che le onde si espandono mentre viaggiano. La luce ha una lunghezza d'onda di circa 0,5 micrometri; le microonde usate nelle reti wireless hanno una lunghezza d'onda di pochi centimetri.

Di conseguenza, i loro fasci (*beams*) sono molto più ampi quindi occupano uno spazio maggiore e quindi bisognerà spiegare facendo qualche esempio.

Anche un fascio di luce visibile si allarga all'aumentare della distanza della sorgente e questo fatto è apprezzabile anche ad occhio nonostante la piccolissima lunghezza d'onda in gioco.

Anche quando si punta un concentratissimo laser sulla luna, il suo raggio si allargherà a oltre 100 metri nel punto in cui raggiunge la superficie lunare. È possibile osservare questo effetto utilizzando un puntatore laser economico e un buon binocolo in una notte chiara.

Naturalmente non lo punteremo sulla luna, ma su un punto noto, per esempio un campanile, un serbatoio dell'acqua, etc.

Il raggio aumenterà all'aumentare della distanza e questo è dovuto al fenomeno della *diffrazione*.

La linea di vista è il requisito necessario per realizzare un collegamento wireless ottimale fra i punti A a B ed è molto più ampia di una linea sottile - la sua forma è molto simile a quella di un *sigaro*, cioè, detto meglio, a quella di un *ellissoide*.

La sua *ampiezza* può essere descritta utilizzando il concetto di *zona di Fresnel* che spiegheremo subito. Nella letteratura troveremo anche l'abbreviazione NLOS, (*non line of sight*) “non linea di vista”, che è il termine utilizzato per descrivere e pubblicizzare le tecnologie che permettono di gestire le onde facendo uso di tecniche cosiddette di *multipath* (cioè attraverso molteplici traiettorie) o di *diffrazione*, per raggiungere il sito ricevente.

Quanto appena detto non indica che il singolo *beam* (fascio elettromagnetico) giri/ruoti “attorno agli angoli” (se non attraverso la *diffrazione*) o che “attraversa gli ostacoli” meglio che usando altre tecnologie. Ad esempio, è possibile chiamare *spazio bianco* la tecnologia NLOS, in quanto le frequenze più basse (lunghezze d'onda più lunghe) permettono di permeare oggetti e utilizzano la diffrazione molto meglio di quanto non avvenga nelle trasmissioni a 2.4 GHz o a 5 GHz.

La zona di Fresnel (semplici cenni per comprenderla)

La teoria esatta della *zona di Fresnel* (si pronuncia 'frèsnèll') è abbastanza complicata. Tuttavia, spero che il concetto sia (reso) abbastanza facile da capire. Abbiamo già studiato il *principio Huygens* e sappiamo che: in ogni punto di un nuovo fronte d'onda circolare si originano nuove onde; sappiamo anche che i fasci di microonde che lasciano l'antenna si allargano; sappiamo che le onde di una certa frequenza possono interferire con altre.

La teoria della zona di Fresnel si interessa semplicemente ad una *linea da A a B*, e poi, allo *spazio* intorno a quella linea, che contribuisce al segnale che arriva al punto B.

È facile intuire che alcune onde viaggiano direttamente da A a B, mentre altre viaggiano su percorsi fuori asse e raggiungono il ricevitore per riflessione. Di conseguenza, essendo il loro percorso più lungo, introducono uno sfasamento tra il fascio diretto e quello indiretto.

Ogni volta che lo sfasamento (*phase shift*) è pari a una *mezza lunghezza d'onda*, si ottiene una *interferenza distruttiva*: i segnali si annullano.

Ragionando in questo modo noteremo che, quando il percorso dell'onda riflessa è più lungo ma minore a mezza lunghezza d'onda rispetto al percorso diretto, le riflessioni si sommano al segnale ricevuto. Viceversa, quando la lunghezza del percorso dell'onda riflessa supera il percorso diretto più di una mezza lunghezza d'onda, il suo contributo sarà quello di diminuire la potenza ricevuta.

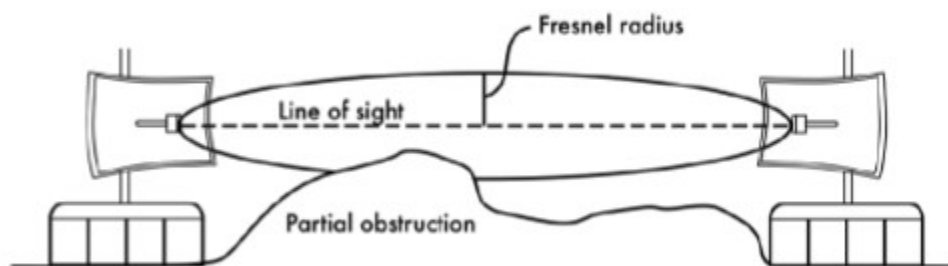


Figura 11: La zona di Fresnel è parzialmente bloccata su questo link, anche se la linea di vista appare evidente.

Si noti che ci sono molte possibili zone di Fresnel, ma è interessante soltanto la prima zona, in quanto i contributi della seconda zona sono negativi. I contributi della terza zona tornano ad essere positivi, ma non c'è modo pratico per sfruttarli perché (nei calcoli) bisogna tener presenti i contributi negativi della seconda zona di Fresnel.

Se la prima zona di Fresnel è parzialmente interrotta/bloccata da un ostacolo, ad esempio un albero o un edificio, il segnale che arriva all'estremità risulta attenuato.

Quando allestiamo i nostri collegamenti wireless (*wireless links*), dobbiamo verificare che la *prima zona* sia libera da ostruzioni.

In pratica però, non è strettamente necessario che tutta questa zona sia libera, in quanto ci basterà che sia in chiaro almeno il 60 per cento del *raggio della prima zona di Fresnel*.

Ecco la formula per calcolare il raggio della prima zona di Fresnel:

$$r = 17.31 \sqrt{\left(\frac{d_1 * d_2}{f * d} \right)}$$

... dove **r** è il raggio della zona in metri, **d₁** e **d₂** sono le distanze dall'ostacolo ai punti A e B (*link end points*), in metri, **d** è la distanza totale del link metri, ed **f** è la frequenza in Mhz.

Il primo raggio della zona di Fresnel può essere calcolato anche direttamente usando la lunghezza d'onda:

$$r = \sqrt{\left(\frac{\lambda * d_1 * d_2}{d} \right)}$$

con tutte le variabili in metri

È evidente che il valore massimo della prima zona di Fresnel si attua esattamente al centro della traiettoria e quindi il suo valore può essere trovato impostando $d_1 = d_2 = d/2$ nelle precedenti formule.

È appena il caso di far notare che le formule calcolano il *raggio della zona*, non l'altezza dal suolo.

Per calcolare l' altezza da terra, è necessario sottrarre il risultato da una linea tracciata direttamente tra le cime delle due torri.

Ad esempio, supponiamo di calcolare la dimensione della prima zona di Fresnel nel mezzo di un link di 2 km, che opera a 2,437 GHz (802.11b canale 6):

$$r = 17.31 \sqrt{\left[\frac{(1000 * 1000)}{(2437 * 2000)} \right]}$$

$$r = 17.31 \sqrt{\left(\frac{1000000}{4874000} \right)}$$

$$r = 7.84 \text{ metres}$$

Supponendo che entrambe le nostre torri siano alte dieci metri, la prima zona di Fresnel passerebbe a soli 2,16 metri sopra il livello del suolo nel punto a metà distanza del link.

E, quanto alta potrebbe essere una struttura (ostacolo) posta in quel punto per non bloccare più del 60 % della prima zona?

$$r = 0.6 * 7.84 \text{ metri}$$

$$r = 4,70 \text{ metri}$$

Sottraendo il risultato dai 10 metri, possiamo vedere che una struttura di 5.3 metri di altezza posta al centro del link potrebbe bloccare fino al 40 % della prima zona di Fresnel.

Come abbiamo già detto questo risultato è normalmente accettabile, ma per migliorare la situazione dovremo posizionare le nostre antenne più in alto, oppure cambiare la direzione del collegamento allo scopo di evitare l'ostacolo.

Potenza

Ogni onda elettromagnetica trasporta energia, ad esempio il *calore* del sole che percepiamo.

La *quantità di energia* divisa per il *tempo* durante il quale si misura è chiamato **potenza**.

La **potenza P** si misura in **W** (watt) ed è di fondamentale importanza per i collegamenti wireless: bisognerà trasmettere una potenza adeguata per ottenere un segnale utilizzabile nel ricevitore.

Se sarà il caso, torneremo in modo dettagliato sulla potenza di trasmissione, le perdite, i guadagni e la sensibilità della radio; qui discuteremo brevemente come la potenza P è definita e misurata.

Il campo elettrico si misura in **V/m** (differenza di potenziale per metro), la potenza contenuta in esso è proporzionale al quadrato del campo elettrico:

$$P \sim E^2$$

In pratica, misuriamo la potenza in watt per mezzo di una qualche forma di ricevitore, ad esempio con un'antenna e un voltmetro, un misuratore di potenza, un oscilloscopio, un analizzatore di spettro o anche con una scheda radio e un computer portatile.

La potenza del segnale si ricava direttamente dividendo il quadrato del segnale in volt e la resistenza elettrica in gioco.

Calcolo in dB

Di gran lunga utile è la tecnica che usiamo quando calcoliamo la potenza in *decibel* (**dB**).

Non c'è alcuna nuova fisica sconosciuta, ma è solo un metodo conveniente per semplificare i calcoli.

Il decibel è un'unità *adimensionale*, perché definisce una relazione tra due misure di potenza.

Essa è definita da:

$$dB = 10 * \log (P_1/P_0)$$

dove P_1 e P_0 possono essere due valori qualsiasi che vogliamo confrontare. Tipicamente, nel nostro caso, questo valore esprimerà *quantità di potenza*.

Perché quindi farà comodo usare i *decibel*? Per il fatto che molti fenomeni, in natura, si comportano in un modo che noi chiamiamo *esponenziale*.

Per esempio, l'orecchio umano percepisce un suono il *doppio* più forte rispetto ad un altro se la

potenza del segnale fisico è *dieci volte* più grande.

Un altro esempio, molto vicino al nostro campo di interesse, è l'*assorbimento*.

Supponiamo che un muro si trovi lungo il percorso del nostro link wireless, e ogni metro di muro sottragga metà del segnale disponibile. Il risultato sarebbe:

0 metri = 1 (segnale pieno)

1 metro = $1/2$

2 metri = $1/4$

3 metri = $1/8$

4 metri = $1/16$

n metri = $1/2^n = 2^{-n}$

Questo è un tipico *comportamento esponenziale*.

Ma una volta che usiamo il trucco di applicare i logaritmi (*log*), le cose diventano molto più facili: invece di prendere un valore alla potenza *n-esima*, dobbiamo soltanto moltiplicare per *n*. Invece di moltiplicare i valori, basterà addizionarli.

Qui ci sono alcuni valori comunemente usati che sono importanti da ricordare:

+3 dB = potenza doppia

-3 dB = metà della potenza

+10 dB = ordine di grandezza (10 volte potenza)

-10 dB = un decimo potenza

Oltre al adimensionale dB, ci sono una serie di definizioni che sono sulla base di un certo valore base P_0 . Le più importanti per noi sono:

dBm relativo a $P_0 = 1 \text{ mW}$

dB_i relativo ad un'*antenna isotropica* ideale

Un'antenna isotropica è un'antenna ipotetica che distribuisce uniformemente potenza in tutte le direzioni.

Anche se negli studi teorici viene approssimata ad un *dipolo elementare*, una perfetta antenna isotropica non può essere costruita nella realtà. Il modello isotropo è utile però per descrivere il *guadagno relativo di potenza* di un'antenna reale.

Un'altra (anche se meno conveniente) convenzione comune per esprimere la potenza è in *milliwatt*. Ecco un esempio di equivalenze di valori di potenza espressi in *milliwatt* e in *dBm*:

1 mW = 0 dBm

2 mW = 3 dBm

100 mW = 20 dBm

1 W = 30 dBm

La Fisica nel mondo reale

Non preoccupatevi se i concetti espressi in queste trattazioni sembrano difficili.

Capire come le onde radio si propagano e interagiscono con l'ambiente è di per sé un campo di studio molto complesso.

La maggior parte delle persone trovano difficoltà a capire i fenomeni che non possono (anche) vedere con i propri occhi.

A questo punto però dovremmo aver capito che le onde radio non si propagano/viaggiano solo secondo un percorso prevedibile.

Per rendere le reti di comunicazione affidabili è necessario essere in grado di calcolare quanta potenza sia necessaria per raggiungere una data distanza, e prevedere come le onde viaggeranno lungo il percorso.

Per il momento fermiamoci con la “*fisica della radio*” e prendiamo in esame altri settori di grande interesse. Grazie per l'attenzione prodigata!

73, gus i0ojj

1 giugno 2014