

Modelli di Propagazione Indoor

La propagazione indoor di onde elettromagnetiche è fondamentale per il funzionamento di LAN wireless, telefoni cordless, e ogni altro sistema indoor che si basa su comunicazioni RF.

L'ambiente indoor è molto diverso dal tipico ambiente outdoor e per molti versi assai più ostile.

Modellizzare la propagazione indoor è complicato dalla grande variabilità nella conformazione degli edifici e nei materiali costruttivi.

Inoltre, l'ambiente può cambiare radicalmente a causa del semplice movimento della gente, di porte che si chiudono, e così via.

Per queste ragioni, piuttosto che utilizzare modelli deterministici, per la propagazione indoor si preferiscono modelli statistici (site-general).

Se adattati ai dati empirici, i modelli statistici possono fornire una ragionevole rappresentazione dell'ambiente indoor.

Modelli di Propagazione Indoor

Un elemento molto importante degli ambienti indoor wireless che deve essere considerato è l'interferenza.

Negli ambienti outdoor le distanze in gioco sono elevate, mentre in ambienti indoor è comune avere un sistema interferente che lavora a pochi centimetri da un altro sistema: ad es. un computer connesso ad una wireless LAN e che utilizza anche tastiera e/o mouse wireless.

Tastiera e mouse utilizzano lo standard Bluetooth (2.4 GHz).

Se la LAN wireless è un sistema 802.11b o 802.11g (direct sequence spread spectrum DSSS o ortogonal frequency division multiplexing OFDM), funzionerà nella stessa banda e ci può essere interferenza.

Inoltre, un computer ha al suo interno più clock digitali ad alta frequenza che generano armoniche, che possono ricadere all'interno della banda del sistema.

Modelli di Propagazione Indoor

Anche un monitor può produrre una quantità notevole di interferenza.

Anche le luci fluorescenti possono irradiare energia a radiofrequenza, così come altre apparecchiature di comune uso in ambienti indoor.

E' facile quindi capire come gli ambienti indoor siano molto complessi.

E' fondamentale tenere conto di queste interferenze e capire che i problemi di collegamento in ambienti indoor più che essere relativi alla propagazione del segnale sono relativi all'interferenza fra i numerosi segnali presenti.

A volte è sufficiente spostare qualche strumento di pochi centimetri per risolvere i problemi di collegamento indoor.

Modelli di Propagazione Indoor

L'effetto di vari interferenti può essere stimato calcolando il rapporto segnale-interferenza al ricevitore di interesse, detto anche “ricevitore vittima”.

In generale il rapporto S/I dovrebbe essere, per avere un collegamento accettabile, almeno pari al richiesto rapporto S/N .

Un altro effetto, chiamato de-sensing, può capitare anche quando l'interferente sta utilizzando una differente frequenza o un differente canale rispetto al ricevitore vittima.

L'effetto più immediato si manifesta quando il segnale interferente è interno alla banda del ricevitore vittima e forza il controllo automatico del guadagno (AGC) del ricevitore a ridurre il guadagno di quest'ultimo.

Un altro effetto è dovuto al fatto che il segnale interferente può sovraccaricare il ricevitore vittima, saturandolo e portandolo a lavorare in regione non lineare.

Modelli di Propagazione Indoor

Le principali caratteristiche di un ambiente di propagazione indoor a RF che lo distinguono da un ambiente outdoor sono dovute al fatto che il multipath è spesso critico, un collegamento in LOS può non esistere, e le caratteristiche dell'ambiente possono cambiare drasticamente in un intervallo di tempo molto rapido o in distanze molto piccole.

I collegamenti coinvolti tendono ad essere molto brevi, dell'ordine di 100 m o meno.

Muri, porte, arredamento, persone possono causare perdite di segnale elevate.

Il path loss in ambienti indoor può cambiare drasticamente sia nel tempo che rispetto alla posizione, a causa della elevata presenza del multipath e a causa del movimento di persone, porte, arredamento, ecc.

Inoltre, riflessioni multiple possono causare deformazioni del segnale (delay spread) e parziale cancellazione del segnale (signal fading).

Modelli di Propagazione Indoor

Quando si considera un canale di propagazione indoor, è ovvio che in molti casi non ci sarà un collegamento diretto in LOS fra Tx e Rx.

In questi casi, la propagazione dipende dalle riflessioni, diffrazioni, trasmissioni e scattering (diffusioni).

In aggiunta al fading, questi effetti, sia individualmente che congiuntamente, possono degradare il segnale.

Il ritardo di propagazione (delay spread) e il doppler spread sono spesso meno importanti in ambienti indoor date le minori distanze dei collegamenti e le inferiori velocità dei dispositivi portatili rispetto al caso di ambienti outdoor.

Modelli di Propagazione Indoor

Vi sono due tipi di modelli di propagazione: site-specific e site-general.

➤ Il modello site-specific richiede dettagliate informazioni sulla conformazione dell'edificio, sull'arredamento, e sul posizionamento dei dispositivi trasmettenti/riceventi (transceivers, ricetrasmittitori), ed è ricavato utilizzando metodi di ray tracing in un programma CAD. Per ambienti statici su larga scala, questo approccio può essere fattibile. Per moltissimi ambienti tuttavia, la conoscenza del layout dell'edificio e dei materiali è limitata e l'ambiente stesso può cambiare, semplicemente modificando l'arredamento o le porte. Quindi la tecnica site-specific non è di uso comune.

➤ I modelli site-general forniscono predizioni statistiche grossolane del path loss per il progetto di collegamenti e sono utili strumenti per realizzare un progetto iniziale di sistemi wireless indoor. Due modelli molto usati per stimare il path loss indoor sono il modello ITU e il modello log-distance.

Modelli di Propagazione Indoor

La International Telecommunication Union (**ITU**) è la più importante agenzia delle Nazioni Unite per la regolamentazione delle tecnologie informative e della comunicazione, e costituisce il punto focale a livello mondiale per i governi e per il settore privato nello sviluppo delle reti e dei servizi.

Per quasi 145 anni, la ITU:

- ha coordinato l'uso condiviso a livello mondiale dello spettro radio, ha promosso la cooperazione internazionale per la assegnazione di orbite satellitari
- ha lavorato per migliorare le infrastrutture per le telecomunicazioni nel mondo
- ha stabilito gli standard mondiali che favoriscono l'interconnessione senza soluzione di continuità di una vasta gamma di sistemi di comunicazione

Modelli di Propagazione Indoor

Il modello ITU (International Telecommunication Union) per previsioni del path loss per propagazione indoor site-general è:

$$L_{TOT} = 20 \cdot \log(f) + N \cdot \log(d) + Lf(n) - 28dB$$

dove:

N è il coefficiente di attenuazione della potenza con la distanza

f è la frequenza in MHz

d è la distanza in metri ($d > 1$ m)

Lf(n) è il fattore di perdita dovuto all'attraversamento del pavimento

n è il numero di pavimenti (piani) interposti fra Tx e Rx

Modelli di Propagazione Indoor

Le tabelle seguenti mostrano valori rappresentativi per il coefficiente di attenuazione della potenza con la distanza N, forniti dall'ITU, e valori per il fattore di perdita dovuto all'attraversamento del pavimento.

Frequency	Residential	Office	Commercial
900 MHz	-	33	20
1.2-1.3 GHz	-	32	22
1.8-2 GHz	28	30	22
4 GHz	-	28	22
5.2 GHz	-	31	-
60 GHz ⁽¹⁾	-	22	17

⁽¹⁾ 60 GHz is assumed to be in the same room

TABLE 1 – Power Loss Coefficient Values, N, for the ITU Site-General Indoor Propagation Model

Frequency	Residential	Office	Commercial
900 MHz	-	9 (n=1)	-
		19 (n=2)	
		24 (n=3)	
1.8-2 GHz	4n	15+4 (n-1)	6+3 (n-1)
5.2 GHz	-	16 (n=1 only)	-

n is the number of floors penetrated (n≥1)

TABLE 2 – Floor Penetration Loss Factor, Lf(n), for the ITU Site-General Indoor Propagation Model

Modelli di Propagazione Indoor

Si può dimostrare facilmente che il modello ITU, quando il coefficiente di attenuazione della potenza con la distanza è pari a $N=20$ e quando non si attraversano piani ($n=0$), è equivalente all'equazione che fornisce l'attenuazione per la propagazione in spazio libero.

Quindi il modello ITU è essenzialmente un modello che modifica la legge di attenuazione della potenza con la distanza.

Si ha infatti che l'espressione per il path loss in spazio libero espressa in dB è data da:

$$L_{dB} = -20 \cdot \log(\lambda) + 20 \cdot \log(4\pi) + N \cdot \log(d)$$

quando $N=20$.

Modelli di Propagazione Indoor

Essendo:

$$20 \cdot \log(\lambda) = 49.54 - 20 \cdot \log(f \text{ (MHz)}) \quad \text{e} \quad 20 \cdot \log(4\pi) = 22$$

si ha per il path loss in free space ($L_f(n)=0$ in freespace):

$$L_{dB} = 20 \cdot \log(f) + N \cdot \log(d) - 27.54$$

che è in perfetto accordo con il modello di propagazione ITU per ambienti site-general visto in precedenza:

$$L_{TOT,ITU} = 20 \cdot \log(f) + N \cdot \log(d) + L_f(n) - 28dB$$

Modelli di Propagazione Indoor

Commentiamo i valori in tabella.

Un coefficiente di attenuazione in potenza pari a $N=20$ corrisponde all'attenuazione in spazio libero ($1/r^n$, con $n=2$ nella potenza ricevuta, dove $n=2$ diventa in dB $N=20$), e questo si applicherà spesso in aree aperte (sempre in ambienti indoor).

I corridoi possono canalizzare l'energia a RF e quindi in tal caso il coefficiente di attenuazione in potenza si abbassa a $N=18$ (un po' meno che in spazio libero).

Nel caso di propagazione attorno a spigoli o attraverso muri, si utilizza $N=40$.

Per lunghi percorsi, il percorso del raggio riflesso può interferire, e ciò da luogo ad un coefficiente di attenuazione pari a $N=40$.

Modelli di Propagazione Indoor

Esempio:

Si consideri una applicazione a 5.2 GHz che fa uso di una LAN wireless in un edificio con uffici.

Se il percorso del collegamento più lungo è 100m, quale è il massimo path loss?

La perdita fra un piano e l'altro (interfloor loss) è sufficiente a permettere il riuso delle frequenze?

Modelli di Propagazione Indoor

Soluzione:

Dai valori per il coefficiente di attenuazione della potenza forniti dalle tabelle ITU per un edificio con uffici, il valore di N è pari a:

$$N=31$$

Il fattore di perdita dovuto all'attraversamento del pavimento per un singolo piano dalle tabelle ITU è:

$$L_f(n=1)=L_f=16 \text{ dB}$$

Per $d=100 \text{ m}$, il path loss previsto è quindi dato dalla:

$$\begin{aligned} L_{TOT} &= 20 \cdot \log(f) + N \cdot \log(d) + L_f(n) - 28 \text{ dB} = \\ &= 20 \cdot \log(5200) + 31 \cdot \log(100) + 16 - 28 \text{ dB} = 108 \text{ dB} \end{aligned}$$

Frequency	Residential	Office	Commercial
900 MHz	-	33	20
1.2-1.3 GHz	-	32	22
1.8-2 GHz	28	30	22
4 GHz	-	28	22
5.2 GHz	-	31	-
60 GHz ⁽¹⁾	-	22	17

⁽¹⁾ 60 GHz is assumed to be in the same room.

Frequency	Residential	Office	Commercial
900 MHz	-	9 (n=1)	-
		19 (n=2)	
		24 (n=3)	
1.8-2 GHz	4n	15+4 (n-1)	6+3 (n-1)
5.2 GHz	-	16 (n=1 only)	-

n is the number of floors penetrated (n≥1)

TABLE 1 – Power Loss Coefficient Values, N, for the ITU Site-General Indoor Propagation Model

TABLE 2 – Floor Penetration Loss Factor, $L_f(n)$, for the ITU Site-General Indoor Propagation Model

Modelli di Propagazione Indoor

Quindi ho un path loss di 108 dB sullo stesso piano.

La differenza di 16 dB nell'attraversare un piano probabilmente non è sufficiente per permettere il riuso delle frequenze fra piani adiacenti senza avere rischio di significativa interferenza.

Nella precedente analisi si è supposto il ricevitore del piano adiacente posto anche esso a 100 m dal trasmettitore, ma in pratica il Rx del piano adiacente può essere molto più vicino di 100 m al Tx, e addirittura potrebbe essere situato proprio sopra o sotto il Tx.

Modelli di Propagazione Indoor

Il modello ITU site-general è in grado di includere anche il delay spread, che rappresenta un effetto tempo-variante e deformante sul segnale desiderato, caratterizzato dal power delay spread.

Basandoci sul modello ITU, la risposta impulsiva del canale può essere modellizzata come:

$$h(t) = \begin{cases} e^{-t/S} & \text{per } 0 < t < t_{\max} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

con S : rms delay spread (varianza del delay spread) e t_{\max} : massimo ritardo (ovviamente deve essere $t_{\max} \gg S$)

Le caratteristiche dell'rms delay spread dell'ambiente indoor devono essere necessariamente considerate dal progettista del sistema di comunicazione, e il progettista di rete può fare molto poco, a parte riposizionare i Tx ed i Rx per evitare ogni inaccettabile delay spread.

Modelli di Propagazione Indoor

TABLE 3 – Typical RMS Delay Spread Parameters at 1.9 and 5.2 GHz

Frequency	Environment	Often	Median	Rarely
1.9 GHz	Residential	20 ns	70 ns	150 ns
1.9 GHz	Office	35 ns	100 ns	460 ns
1.9 GHz	Commercial	55 ns	150 ns	500 ns
5.2 GHz	Office	45 ns	75 ns	150 ns

Modelli di Propagazione Indoor

Il Modello LOG-DISTANCE del path loss è un altro modello site-general ed è dato da:

$$L_{TOT} = PL(d_0) + N \cdot \log(d / d_0) + X_s \quad \text{dB}$$

con

$PL(d_0)$: path loss alla distanza di interesse, spesso preso come (teorico) path loss in spazio libero ad 1 m;

$N/10$: esponente a cui elevare la distanza per il path loss (è l'n di $1/r^n$);

X_s : v.a. gaussiana con media nulla e deviazione standard pari a σ dB

Il Modello LOG-DISTANCE del path loss è una legge della potenza modificata considerando una variabilità di tipo log-normale, simile allo shadowing log-normale.

Modelli di Propagazione Indoor

TABLE 4 – Typical Log-Distance Path Model Parameter Measurements

Building	Frequency (MHz)	N	σ(dB)
Retail stores	914	22	8.7
Grocery stores	914	18	5.2
Office, hard partition	1500	30	7.0
Office, soft partition	900	24	9.6
Office, soft partition	1900	26	14.1
Textile/Chemical	1300	20	3.0
Textile/Chemical	4000	21	7.0/9.7
Paper/Cereals	1300	18	6.0
Metalworking	1300	16/33	5.8/6.8

Modelli di Propagazione Indoor

Esempio 9.2:

Si consideri una applicazione a 1.5 GHz che fa uso di una LAN wireless in un edificio con uffici. Se il percorso del collegamento più lungo è 100m, quale è il massimo path loss se si vuole avere una copertura del 95%?

Dalle tabelle per il modello log-distance del path loss si ricava per un edificio con uffici:

$N=30$

$\sigma = 7 \text{ dB}$

Building	Frequency (MHz)	N	σ (dB)
Retail stores	914	22	8.7
Grocery stores	914	18	5.2
Office, hard partition	1500	30	7.0
Office, soft partition	900	24	9.6
Office, soft partition	1900	26	14.1
Textile/Chemical	1300	20	3.0
Textile/Chemical	4000	21	7.0/9.7
Paper/Cereals	1300	18	6.0
Metalworking	1300	16/33	5.8/6.8

Dalle tabelle per la funzione erf, il valore di $p=0.05$ (copertura del 95%, quindi probabilità di non copertura del 5%, ossia pari a 0.05) corrisponde ad un valore della variabile z pari a $z=1.645$, con:

$$z = X_s / \sigma$$

Modelli di Propagazione Indoor

Quindi, la profondità del fading X_S è pari a 11.5 dB:

$$X_{S,dB} = 20 \cdot \log(z \cdot \sigma) = 20 \cdot \log(z) + 20 \cdot \log(\sigma) = 20 \cdot \log(1.645) + 7 = 11.5$$

Il path loss previsto è quindi:

$$L_{TOT} = PL(d_0) + N \cdot \log(d / d_0) + X_S = 36 + 60 + 11.5 = 107.5dB$$

essendo $d_0=1$ m e:

$$PL(d_0) = -20 \cdot \log(\lambda) + 20 \cdot \log(4\pi) + 20 \cdot \log(1) = 36dB$$

$$N \cdot \log(d / d_0) = 30 \log(100) = 60dB$$

Per confronto, il path loss in free space alla stessa frequenza di 1.5 GHz e alla stessa distanza di 100 m sarebbe di 76 dB.