

Ricezione Impulsi

La presenza di cammini multipli, in trasmissione di onde continue, ha solo l'effetto di produrre fading.

Nella trasmissione di impulsi, a causa del multipath, per un dato impulso trasmesso si riceve la somma di più impulsi con ritardi diversi.

Ciò equivale a ricevere un impulso molto più lungo di quello trasmesso, con evidente rischio di sovrapposizione tra un impulso trasmesso ed il successivo.

Sia $w(t) * e^{j\omega t}$ la tensione, normalizzata all'attenuazione in spazio libero, che sarebbe ricevuta se il trasmettitore ed il ricevitore fossero in spazio libero e a piccola distanza fra loro (per evitare ritardi di tempo).

Quando siamo in un ambiente che può presentare cammini multipli per il segnale, la tensione ricevuta sarà $V(\underline{r}, t) * e^{j\omega t}$, dove $V(\underline{r}, t)$ è l'ampiezza complessa di tale tensione.

Ricezione Impulsi

Supponiamo di trasmettere un impulso rettangolare modulato.

In spazio libero si riceverà l'impulso traslato in avanti nel tempo:

$$w(t - L/c) \cdot e^{j\omega(t-L/c)}$$

il ritardo è pari alla lunghezza del cammino L divisa per la velocità della luce c .

Nel caso di cammini multipli si ha invece:

$$V(\underline{r}, t) = \sum w(t - \tau_i(\underline{r})) \cdot V_i(\underline{r}) \cdot e^{j\phi_i(\underline{r})} \cdot e^{j\omega(t - \tau_i(\underline{r}))}$$

$\tau_i(\underline{r}) = L_i/c$: ritardo temporale del raggio i -esimo, con L_i percorso del raggio

$V_i(\underline{r})$: ampiezza del raggio i -esimo

$\omega \cdot \tau_i(\underline{r})$: ritardo di fase dovuto al tempo necessario a percorrere il cammino.

Trascurando la distorsione dei singoli impulsi a causa della riflessione, della diffrazione e dello scattering, la ampiezza della tensione complessa ricevuta è infatti la somma dei vari contributi dovuti a ciascun cammino.

Ricezione Impulsi

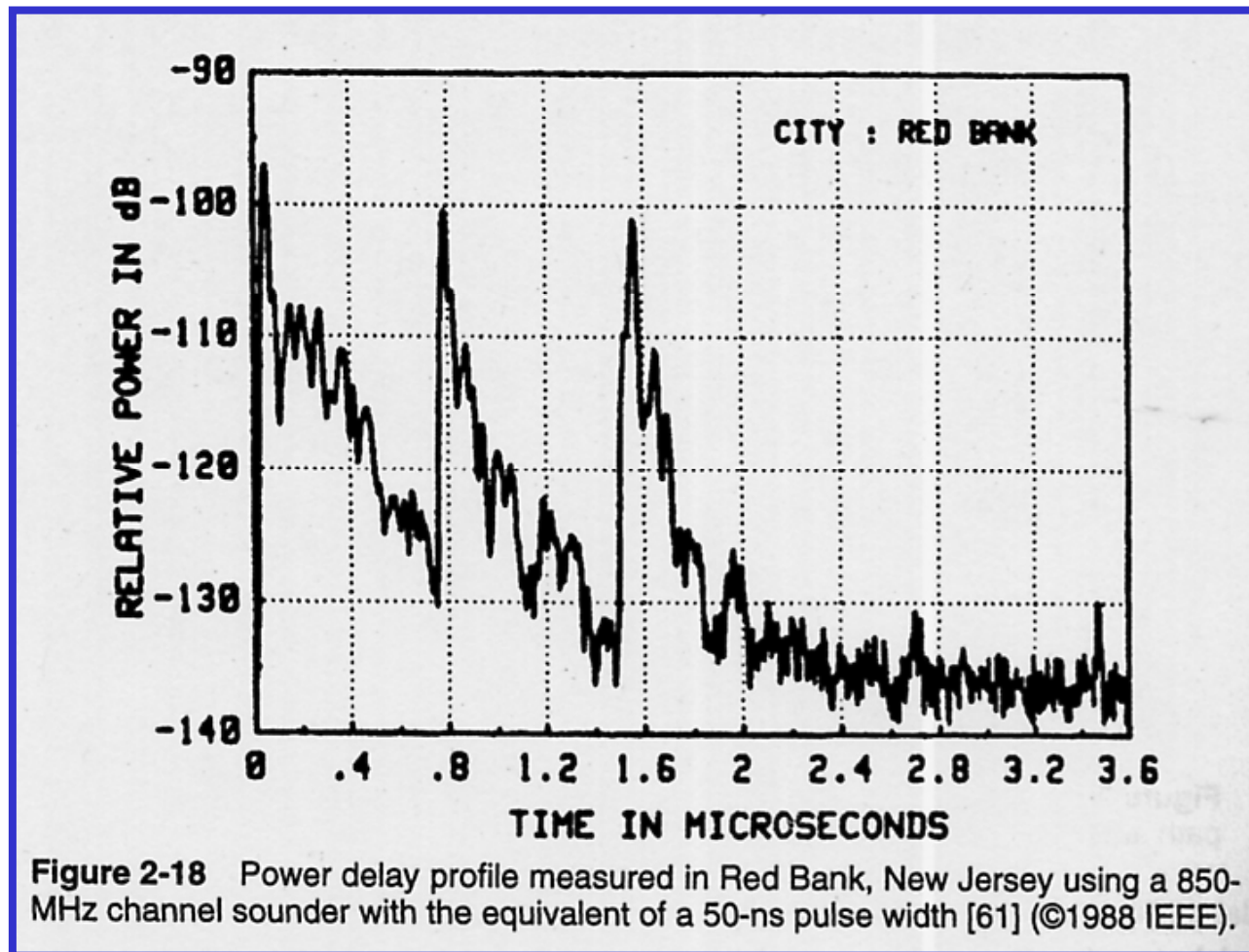
Caratteristiche del segnale ricevuto:

- dipende da r (in base al punto di ricezione, i cammini multipli cambiano);
- è la somma di più impulsi ricevuti;
- il ritardo dipende dalla posizione (ogni raggio un ritardo diverso, perché percorre un cammino diverso, dipendente da r);
- dipende da un'ampiezza che può essere diversa da un segnale all'altro;
- il ritardo di fase Φ_i è dovuto alla variazione di fase tra un segnale e l'altro a causa delle riflessioni nei vari cammini;
- nella riflessione la forma del segnale potrebbe cambiare.

Ricezione Impulsi

In un punto fissato \underline{r} , l'involuppo del segnale di tensione ricevuto è $|V(\underline{r}, t)|$, e l'involuppo della potenza ricevuta $P(\underline{r}, t)$, è proporzionale a $|V(\underline{r}, t)|^2$.

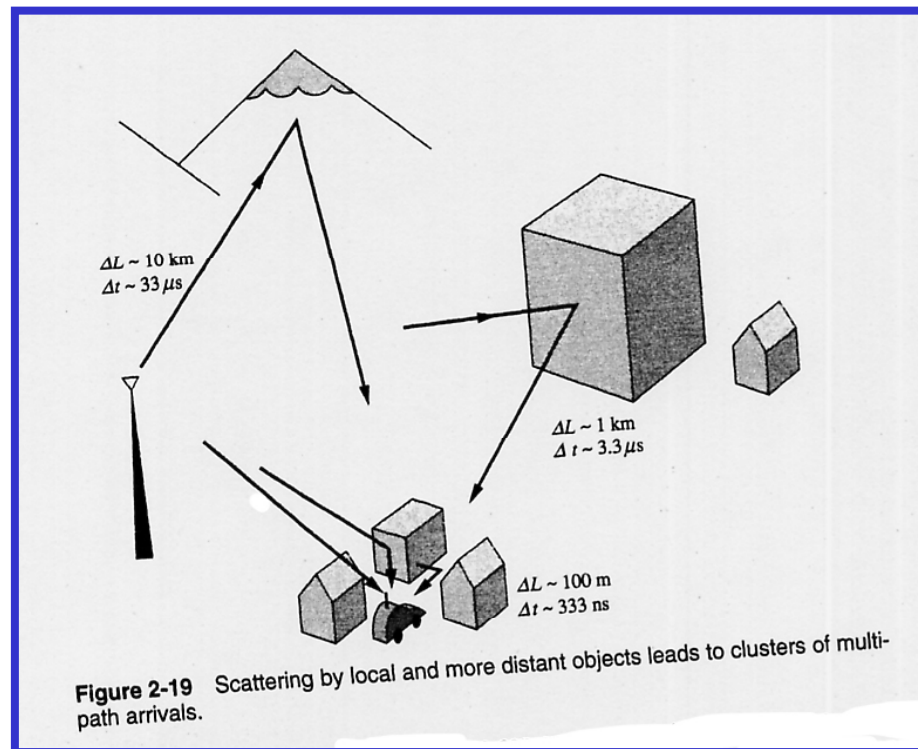
L'involuppo della potenza, plottato in funzione del tempo, è detto *Power Delay Profile*.



Ricezione Impulsi

Dopo i $2 \mu s$, la potenza ricevuta decresce col tempo fino a confondersi col rumore.

In ambiente urbano, veicoli, edifici, alberi, e altri oggetti vicini all'utente rappresentano una classe di ostacoli diffusori che causano cammini multipli e, essendo le dimensioni di un city block dell'ordine di 100m, questi oggetti vicini possono produrre ritardi di tempo nel segnale prossimi a $0.3 \mu s$.

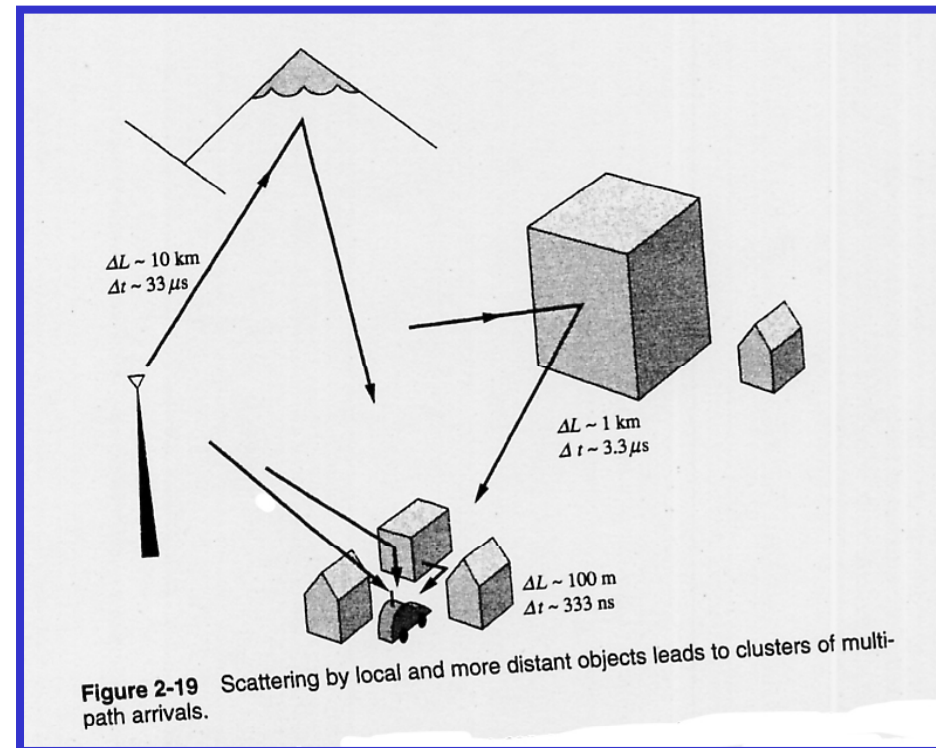


Ricezione Impulsi

Edifici grandi e strutture poste a distanze maggiori possono causare segnali diffusi più forti che arrivano con ritardi maggiori di $1\mu s$.

In regioni montuose, lo scattering da pareti ripide può produrre segnali di ampiezza rilevante che possono avere ritardi anche maggiori di $10\mu s$.

Segnali riflessi da grandi edifici e terreni irregolari possono essere ulteriormente riflessi e diffusi da oggetti vicini all'utente, provocando una cascata di segnali riflessi/diffusi che arrivano all'utente con ritardi ancora maggiori.



Ricezione Impulsi

A livello di sistema di elaborazione si va a valutare di quanto è ritardato il segnale rispetto al caso ideale.

Se si usa come origine del sistema di riferimento l'istante in cui comincia ad arrivare qualcosa, si possono utilizzare per la stima di questi effetti due parametri, che forniscono la misura dello spread dell'impulso nel tempo:

- L'eccesso di ritardo medio (mean excess delay), indicato con T_0
- La larghezza efficace del ritardo (RMS delay spread) τ_{RMS} .

Dato che l'involuppo della tensione ricevuta dipende dalla posizione \underline{r} dell'utente, tali quantità saranno anch'esse funzioni della posizione:

$$T_0(\underline{r}) = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot |V(\underline{r}, t)|^2 dt}{\int_0^{\infty} |V(\underline{r}, t)|^2 dt}$$

$$\tau_{RMS}^2(\underline{r}) = \frac{\int_0^{\infty} (t - T_0)^2 \cdot |V(\underline{r}, t)|^2 dt}{\int_0^{\infty} |V(\underline{r}, t)|^2 dt}$$

Ricezione Impulsi

Il grafico dell'involuppo della tensione ricevuta evidenzia come esso dipenda dalla posizione *r* dell'utente

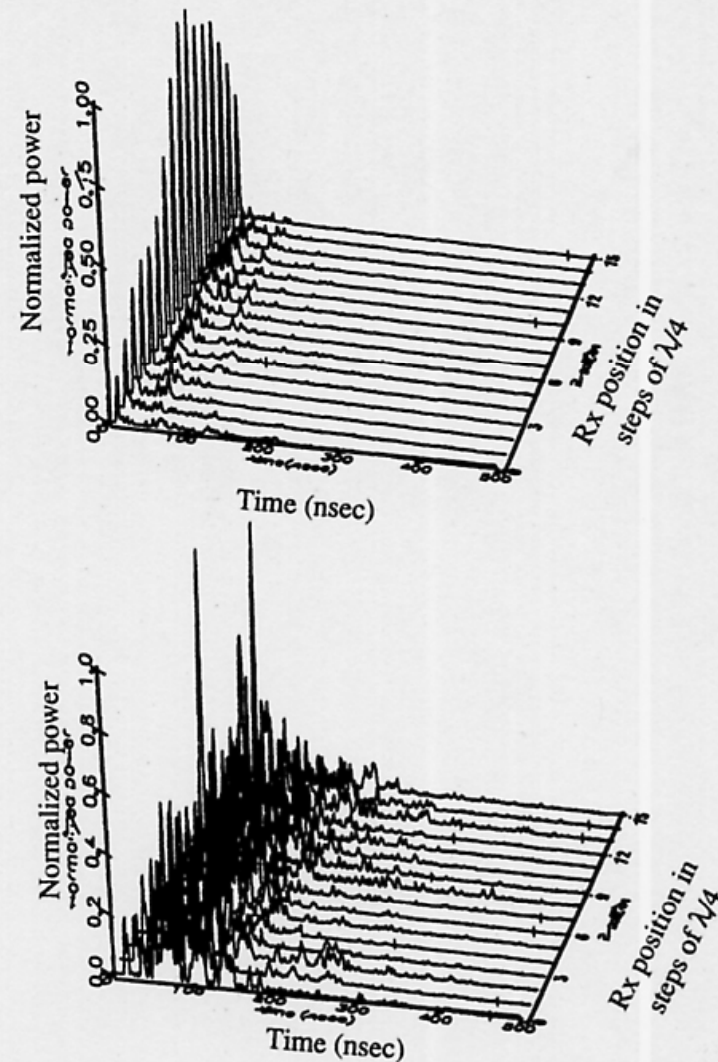


Figure 2-20 Power delay profiles measured at 16 locations separated by $\lambda/4$ on indoor links using a 5-ns-wide pulse at 2.4 GHz: (a) LOS path; (b) obstructed path [62] (©1996 IEEE).

Ricezione Impulsi

Per collegamenti in LOS, dove il fading del picco legato al raggio principale influenza fortemente gli integrali precedenti, $T_0(\underline{r})$ e $\tau_{\text{RMS}}(\underline{r})$ possono subire variazioni notevoli con la posizione (fino ad un fattore 3).

Per percorsi fortemente ostruiti (NLOS), dove non c'è nessun raggio prevalente rispetto agli altri (e quindi il grafico del fading non presenta nessun picco dominante), le variazioni di $T_0(\underline{r})$ e $\tau_{\text{RMS}}(\underline{r})$ sono molto più contenute (il fattore di variazione è inferiore a 2), ma i loro valori medi sono più grandi che nel caso di collegamento in LOS.

Per sistemi outdoor, il valore medio di τ_{RMS} in collegamenti in LOS cresce con la distanza fino a $0.2 \mu\text{s}$ per $R=1\text{Km}$.

In collegamenti NLOS in città, invece, il valore medio di τ_{RMS} è più grande, ma generalmente inferiore ad $1\mu\text{s}$.

Rispetto alle aree suburbane, in aree molto collinose il ritardo medio è ancora superiore.

Ricezione Impulsi

Per link indoor, il valore medio di τ_{RMS} è tipicamente inferiore ai 50 ns, ossia un ordine di grandezza più piccolo che per link outdoor; ciò è dovuto alle piccole differenze di lunghezza fra i cammini multipli percorsi dai raggi in ambienti chiusi rispetto alle differenze molto maggiori che le lunghezze dei cammini possono avere in ambienti aperti.

Per ottenere una misura dell'allargamento (dovuto al multipath) della durata dell'impulso ricevuto rispetto a quello trasmesso che sia indipendente dall'esatta posizione dell'utente e che sia relativa all'intera piccola zona attorno a tale utente piuttosto che ad un punto specifico di tale zona, si calcola la media spaziale del segnale ricevuto su tutta la piccola area di interesse (su un dominio di una decina di lunghezze d'onda), e si utilizza questa media per ricavare le espressioni di T_0 e τ_{RMS} (che dopo avere fatto la media non dipenderanno più dalla posizione).

Ricezione Impulsi

Espandiamo il segnale ricevuto in una sommatoria di singoli raggi; l'involuppo della potenza è proporzionale a $|V(x_k, t)|^2$, che può essere espresso come:

$$|V(\underline{r}, t)|^2 = \sum_i \sum_j V_i(\underline{r}) \cdot V_j(\underline{r}) \cdot w(t - \tau_i) \cdot w^*(t - \tau_j) \cdot e^{j[\phi_i(\underline{r}) - \phi_j(\underline{r})]}$$

Per impulsi di durata sufficientemente breve da non sovrapporsi nel tempo, la doppia sommatoria precedente si riduce ad una singola somma (sono diversi da zero solo i termini con $i=j$):

$$|V(\underline{r}, t)|^2 = \sum_i V_i^2(\underline{r}) \cdot |w(t - \tau_i)|^2$$

Tuttavia, per impulsi di durata più realistica, i raggi che provengono da diversi cammini si sovrappongono nel tempo al ricevitore, e quindi il termine di fase per $i \neq j$ dà luogo al fading spaziale di cui si è già discusso.

Ricezione Impulsi

Consideriamo ora la media spaziale fatta su distanze ad esempio di 20λ .

Per piccoli spostamenti, l'ampiezza dell' i -esimo raggio non varierà significativamente, ed il cambiamento nel ritardo t_i dell'impulso i -esimo sarà piccolo rispetto alla larghezza dell'impulso.

Tuttavia, il termine di fase per $i \neq j$ potrà variare di 2π o anche di più, e quindi la media spaziale del corrispondente termine esponenziale sarà piccola.

Eseguendo la media spaziale, la doppia sommatoria si riduce a:

$$\left\langle |V(\underline{r}, t)|^2 \right\rangle = \sum_i |V(\underline{r}, t)|^2 \cdot |w(t - \tau_i)|^2$$

La media spaziale rimuove il fading generato dalla sovrapposizione degli impulsi e fornisce un inviluppo di potenza medio nel dominio del tempo che è la somma dei singoli raggi di potenza associati ad ogni cammino.

Questa potenza, ed i relativi valori di T_0 T_{RMS} , descrivono il comportamento della piccola area in cui si trova l'utente.

Banda di Coerenza

Nelle trasmissioni a banda stretta si è visto come la fase di ogni singolo raggio, e quindi anche l'interferenza fra i vari raggi, siano dipendenti dalla frequenza

Ciò è causa di un fading in frequenza che ha caratteristiche simili al fading spaziale.

Dato che la risposta impulsiva contiene informazioni sul canale in una ampia banda di frequenze, la trasformata di Fourier della risposta impulsiva misurata può essere utilizzata per caratterizzare una tale dipendenza dalla frequenza.

Per ottenerne la trasformata di Fourier a partire dalle misure, è necessario misurare la risposta impulsiva.

Poichè effettuare tali misure (specialmente la misura della fase) con precisione è complicato, la dipendenza dalla frequenza di un canale può essere studiata mediante la funzione di coerenza $R_c(\omega)$ senza effettuare alcuna misura.

Banda di Coerenza

$R_c(\omega)$ è la trasformata di Fourier dell'involuppo di potenza medio:

$$R_c(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \langle |V(\underline{r}, t)| \rangle \cdot e^{-j\omega t} dt$$

La larghezza di banda di coerenza è definita come la banda per cui la funzione di coerenza, normalizzata al suo valore di picco, è maggiore di 0.5.

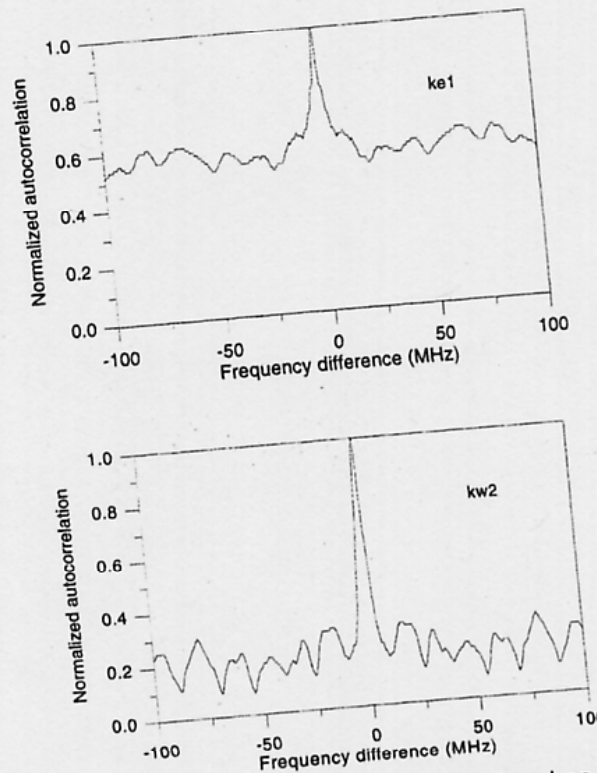


Figure 2-21 Normalized coherence function obtained on indoor links using a 5-ns-wide pulse at 2.4 GHz for (a) LOS path; (b) obstructed path [36] (©1996 IEEE).

Banda di Coerenza

Per la propagazione in spazio libero, dove non è presente il fenomeno del multipath, l'impulso ricevuto non avrà spreading nel tempo e quindi il canale sarà indipendente dalla frequenza (in tal caso la banda di coerenza sarebbe infinita).

Per collegamenti in LOS, dove il raggio diretto fornisce il contributo dominante, l'impulso ricevuto mostrerà solamente un piccolo spreading nel tempo.

In questo caso ci sarà solamente una debole dipendenza dalla frequenza e la banda di coerenza è larga.

In collegamenti con percorsi ostruiti l'impulso è molto allargato nel tempo a causa della presenza di cammini multipli tutti con ampiezze molto simili. La risposta del canale in questo caso mostrerà rapide variazioni con la frequenza e di conseguenza una banda di coerenza stretta.

Quindi la banda di coerenza è inversamente proporzionale alla larghezza efficace del ritardo (RMS delay spread).

Conclusioni

Anche la RBS subisce il fenomeno dei cammini multipli (principio di reversibilità dei raggi).

Il fenomeno è più chiaramente visibile se la RBS utilizza antenne direttive per ricevere gli impulsi trasmessi dall'utente mobile, in modo che i raggi che arrivano alla RBS possano essere analizzati sia rispetto alla direzione di arrivo che rispetto al tempo.

Tipicamente i primi raggi che arrivano alla RBS sono contenuti in un fascio angolare di qualche grado e sono dovuti a fenomeni di scattering vicini all'utente.

Un secondo blocco di raggi arriva con un ritardo di circa $0.9\mu\text{s}$ con una larghezza angolare di circa 8° , e gli altri raggi arrivano da direzioni molto diverse e con ritardi molto maggiori.

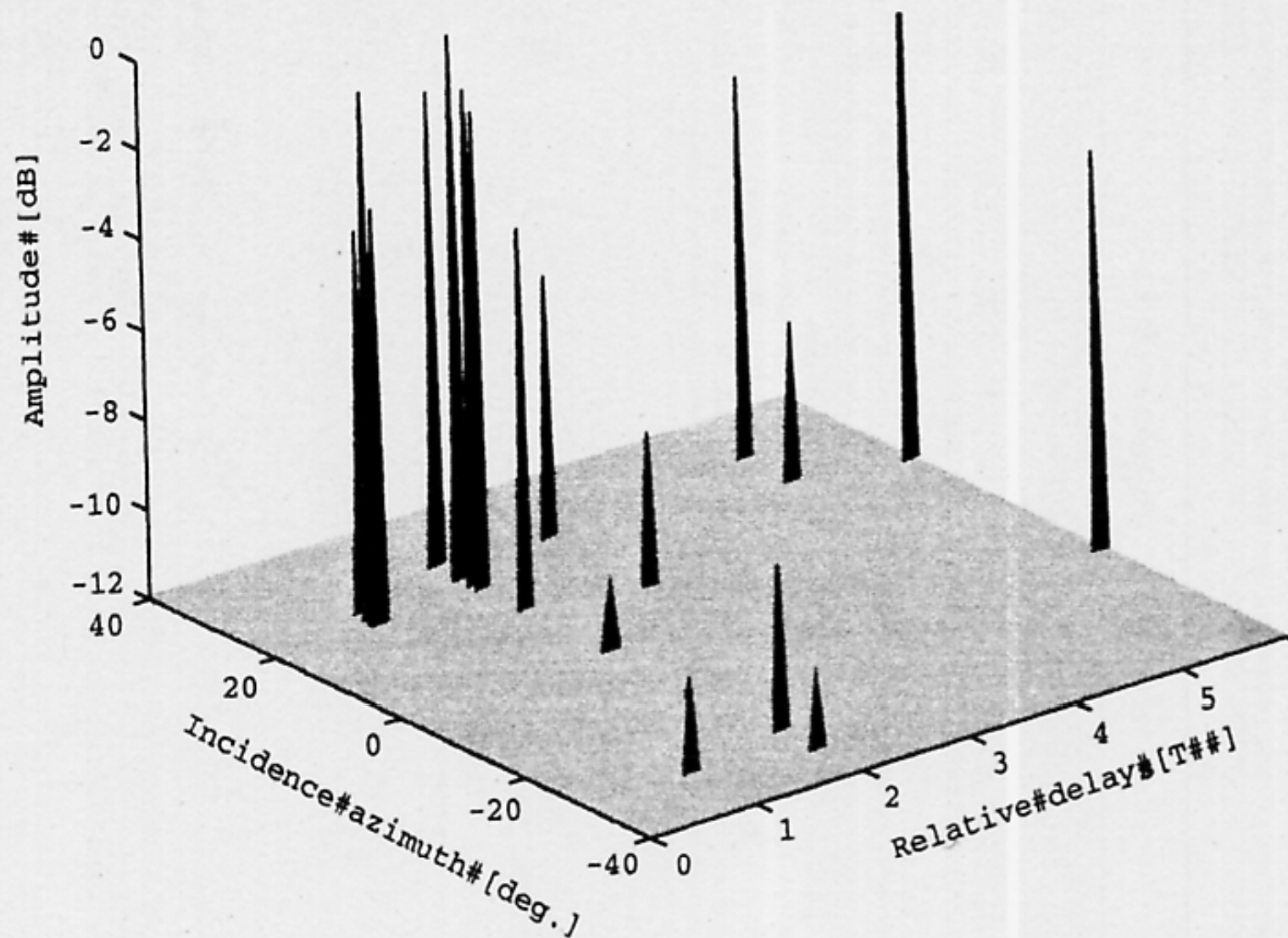


Figure 2-22 Estimated angle of arrival and time delay of individual rays for pulsed signals received at an elevated base station antenna in Aalborg, Denmark [51].

Conclusioni

Per superare questo fading dovuto al multipath, la RBS monta due o più antenne separate da sei o sette lunghezze d'onda per sfruttare la ricezione in diversity spaziale.

Da misure sulla correlazione spaziale effettuate in siti urbani si è visto che i cammini multipli giungono da una regione che si estende per una distanza di circa 100m dall'utente mobile.

Per esempio, se la RBS dista $R=1\text{Km}$ dall'utente, la regione da cui proviene il multipath è vista dalla RBS in un intervallo angolare di $\pm 3^\circ$.

Conclusioni

In conclusione, le misure effettuate in ambienti urbani mostrano che gli edifici giocano un ruolo fondamentale nel determinare le caratteristiche del canale trasmissivo (canale radio).

I fenomeni di riflessioni e scattering dagli edifici producono molti percorsi attraverso i quali il segnale si può propagare dal trasmettitore al ricevitore.

A seconda del tipo di sistema utilizzato per trasmettere e per ricevere, il multipath provoca un fading spaziale su scale dell'ordine di una lunghezza d'onda, oppure un aumento (spreading) della durata nel tempo degli impulsi ricevuti rispetto a quelli trasmessi, un arrivo degli impulsi dipendente dalla posizione del trasmettitore.

Su scale paragonabili alle dimensioni degli edifici (e quindi di decine di lunghezze d'onda), il segnale medio ricevuto presenta ampie variazioni legate allo shadowing dagli edifici, mentre su scala di variazione ancora più ampia il segnale mostra un decadimento sistematico con la distanza.