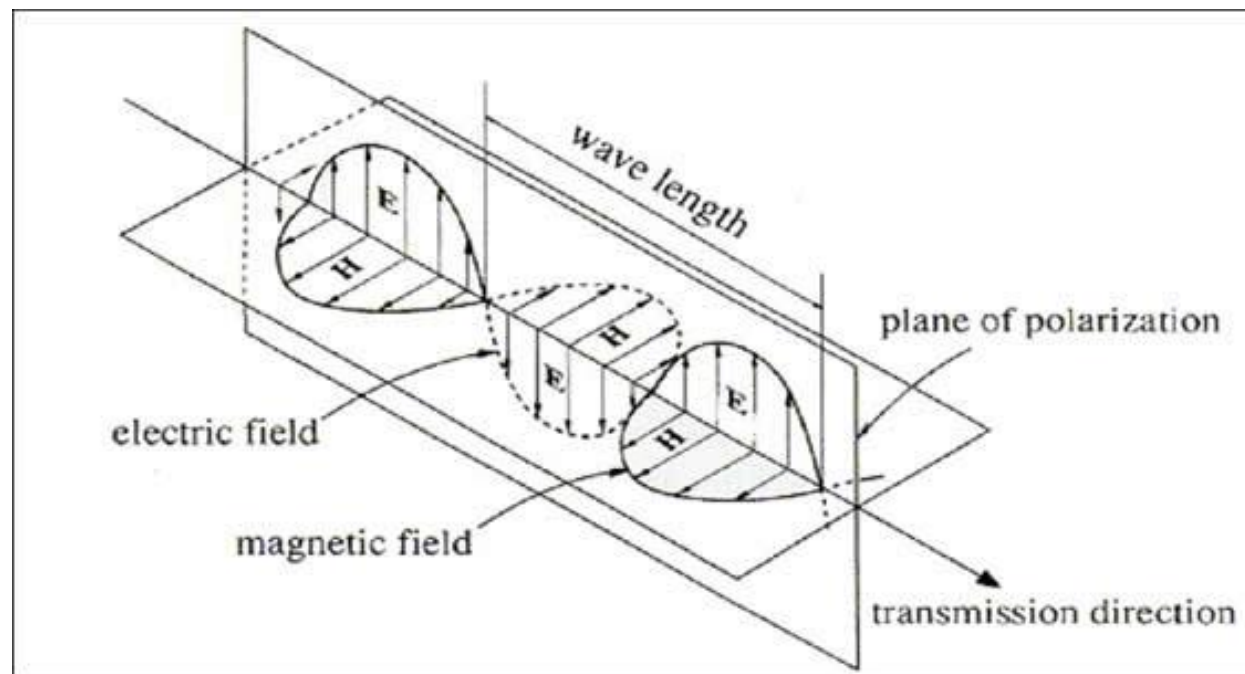


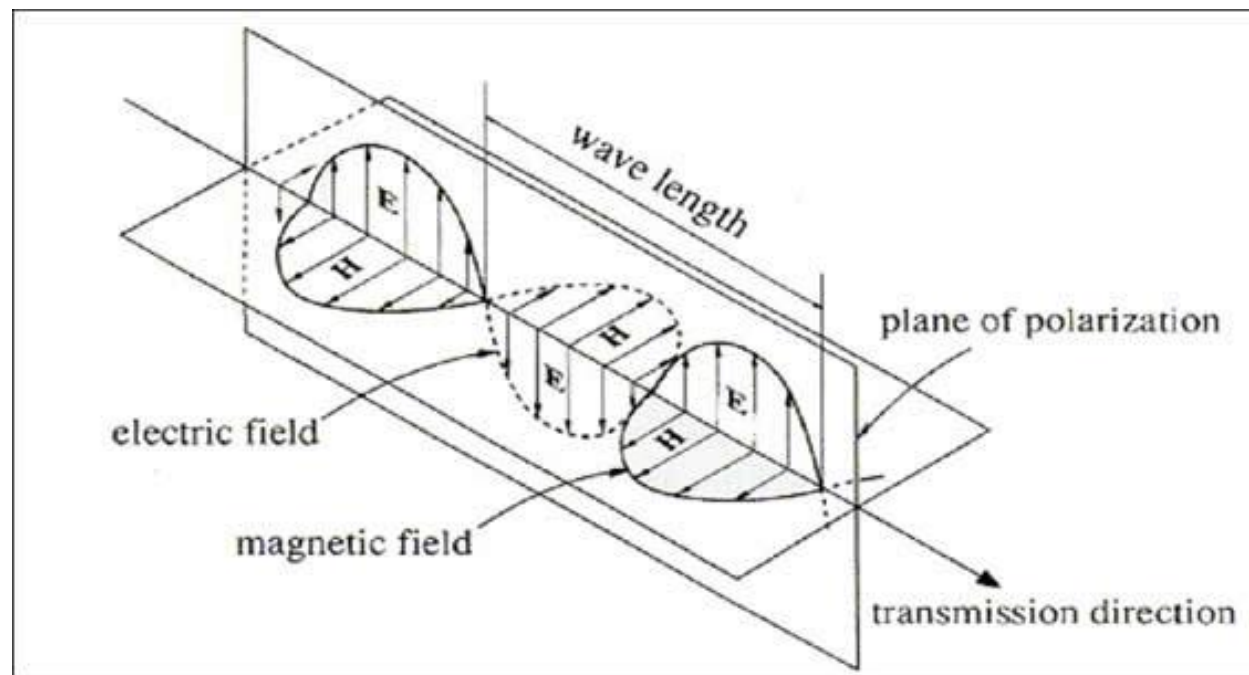
فصل پنجم: انتشار سیگنال و مهندسی پوشش

تئوری و الگوریتم‌های شبکه‌های بیسیم

سید وحید ازهری

دانشگاه علم و صنعت ایران





$$P_r(d) = \frac{P_t}{d^2} \left(\frac{G_t G_r}{L} \right) \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 = \frac{P_t}{d^2} \left(\frac{G_t G_r}{L} \right) \left(\frac{c}{4\pi f} \right)^2$$

$$P_r(d)[dB] = P_t[dB] + G_t[dB] + G_r[dB] - L[dB] + K - 20 \log d$$

$$K = 20 \log \left(\frac{c}{4\pi f} \right)$$

خودآزمایی) برای تکنولوژی IEEE802.11b/g که در طیف 2.4GHz
کار میکند میزان توان دریافتی در فاصله یک متری و یک کیلومتری از
یک AP را برحسب dBm بدست آورید در شرایطی که توان ارسالی
AP برابر ۱۰۰ میلی وات و محیط خلاء باشد. همچنین فرض کنید
تاثیر بهره آنتنها و افت سیستم جمعاً برابر یک باشد.

افت مسیر (Path Loss)

- افت مسیر میزان تضعیف توان سیگنال دریافتی نسبت به توان ارسال شده است و برابر است با نسبت توان ارسال شده به دریافت شده

$$PL = \frac{P_t}{P_r} = P_t[dB] - P_r[dB]$$

$$PL(d) = P_t[dB] - P_r(d)[dB] = 20 \log d - G_t - G_r + L - K$$

$$P_r(d) = P_r(d_0) - 20 \log d/d_0$$

- میتوان فرض کرد که فرستنده‌ای با توان ارسالی در نقطه d_0 قرار دارد و مقیاس واحد طول به d_0 تبدیل شده. از اینرو مقدار را بعنوان افت مسیر در فاصله d نسبت به d_0 تلقی میکنیم

$$PL\left(d/d_0\right) = 20 \log d/d_0$$

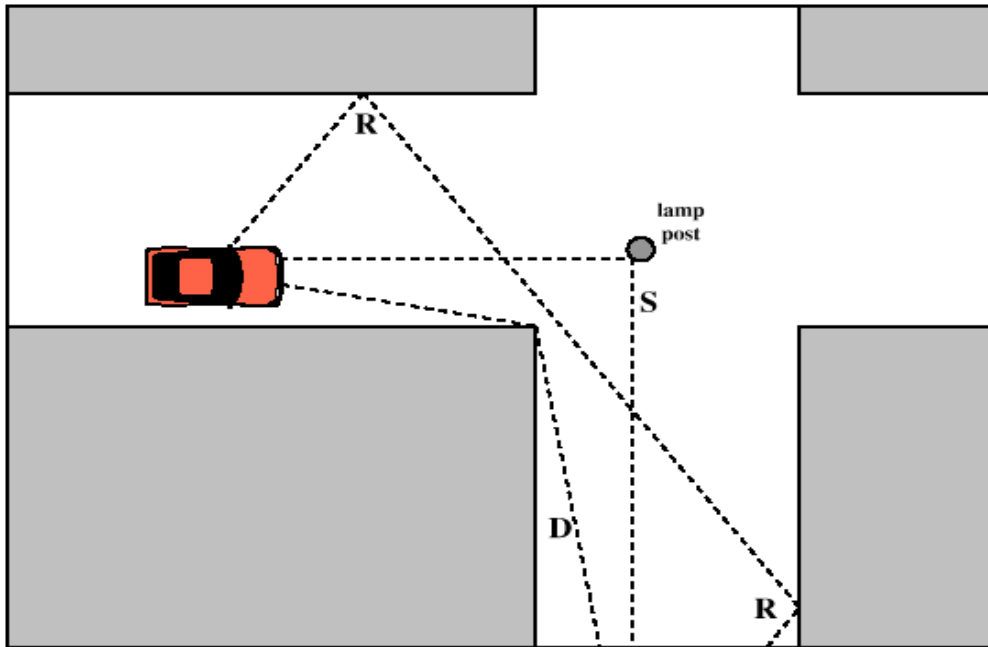
$$P_r(d) = P_r(d_0) - 20 \log d/d_0$$

در شرایطی که بدلیل پیچیده بودن محیط انتشار امکان محاسبه ساده توان دریافتی وجود ندارد، میتوان با انجام اندازه گیری میدانی، افت مسیر را در فاصله ی مشخصی (فاصله مرجع) از فرستنده بدست آورد. سپس توان دریافتی در هر فاصله دیگر برابر توان ارسالی منهای این افت مسیر و مجدداً منهای افت مسیر بین نقطه مرجع و نقطه مورد نظر خواهد بود.

$$PL\left(d/d_0\right) = 20 \log d/d_0$$

خودآزمایی) برای تکنولوژی IEEE802.11b/g که در طیف 2.4GHz
کار میکند میزان افت مسیر در فاصله یک متری از AP را برحسب dB
بدست آورید. فرض کنید محیط خلاء است و تاثیر بهره آنتنها و افت
سیستم جمعا برابر یک باشد.

مکانیزمهای انتشار موج



- **بازتابش (Reflection):**
سیگنال با یک سطح با ابعاد خیلی بزرگتر از طول موج خود برخورد کند

- **شکست (Diffraction):**
سیگنال به لبه یک جسم غیر قابل نفوذ که ابعاد آن خیلی بزرگتر از طول موج است برخورد کند.

- **پاشیدگی (Scattering):**
سیگنال به شیای برخورد کند که ابعادش در حدود طول موج سیگنال یا از آن کوچکتر باشد

چند تذکر

- شیوه های انتشار سه گانه فوق باعث انتشار سیگنال در مسیر غیر مستقیم می شوند.
- در صورتیکه این مکانیزمهای فیزیکی انتشار وجود نداشتند فقط در شرایط دید مستقیم سیگنال قابل دریافت بود
- یک سیگنال در مسیر خود بسوی گیرنده ممکن است دچار ترکیبی از بازتابش، شکست و پاشیدگی شود
- یک گیرنده معمولا سیگنال را از مسیرهای متعدد دریافت می کند و هر نسخه از سیگنال دچار بازتابش، شکست و پاشیدگی متفاوتی شده است.
- مکانیزمهای سه گانه فوق در برخی شرایط باعث بیشتر/کمتر رسیدن سیگنال به یک نقطه می شوند

خودآزمایی) در کدام حالت شدت سیگنال دریافتی بیشتر است؟

الف) در خلاء در فاصله ۱۰۰ متری فرستنده ایستاده‌ایم.

ب) در انتهای راهرویی به طول ۱۰۰ متر که فرستنده در سر دیگر آنست ایستاده‌ایم.

ج) در فاصله ۱۰۰ متری یک فرستنده درون شهر ایستاده‌ایم ولی دید مستقیم وجود دارد.

د) در فاصله ۱۰۰ متری یک فرستنده درون شهر ایستاده‌ایم و دید مستقیم وجود ندارد.

توصیف توان سیگنال دریافتی

- افت مسیر (Path Loss):

- بر اثر برخوردهای مکرر سیگنال با پستی و بلندی‌های مسیر و جذب شدن توسط موانع
- باعث می‌شود سیگنال با دور شدن از فرستنده ضعیف تر شود
- افت مسیر برای تمامی نقاطی که به یک فاصله از فرستنده قرار دارند مساوی فرض می‌شود
- میزان افت مسیر با تغییرات کوچک فاصله از فرستنده تقریباً ثابت می‌ماند
- مقدار افت مسیر وابسته به محیط انتشار است

توصیف توان سیگنال دریافتی

• افت مسیر (Path Loss):

– بر اثر برخوردهای مکرر سیگنال با پستی و بلندی‌های مسیر و جذب شدن توسط

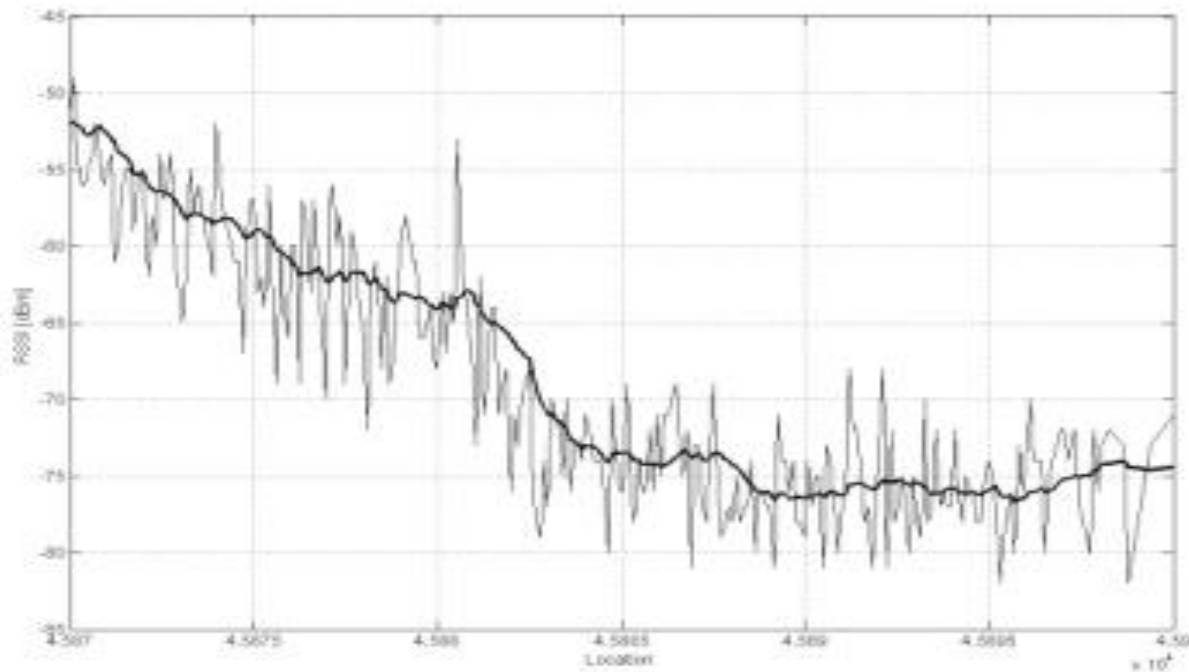
– باعث

– افت م

فرض

– میزان

– مقدار



ساوی

ماند

توصیف توان سیگنال دریافتی

- سایه افکنی (Shadowing):
 - محیط انتشار یک فضای ناهمگن است
 - نوع و آرایش موانع در جهات مختلف تفاوت دارد
 - موانع به شکلهای متفاوت بر مسیر انتشار سیگنال در محیط سایه می افکنند
 - مشابه سایه انداختن یا روشنایی انداختن اشیا در برابر نور خورشید است
 - بدلیل سایه افکنی، میزان توان دریافتی در فاصله ثابت از فرستنده برای مکانهای مختلف فرق می کند
 - بنابراین افت مسیر به تنهایی نمی تواند توجیه کننده تغییرات توان سیگنال باشد
 - به نوسانات افت مسیر در فاصله ثابت از فرستنده، سایه افکنی می گویند
 - میزان (افت) سایه افکنی با تغییرات مکانی در حد ۲۰ الی ۴۰ طول تقریبا موج ثابت می ماند.

توصیف توان سیگنال دریافتی

- سایه افکنی (Shadowing):

— محیط انتشار، یک فضاء، ناهمگن است

— نوع و آرایش

— موانع به شد

— مشابه سایه

— بدلیل سایه

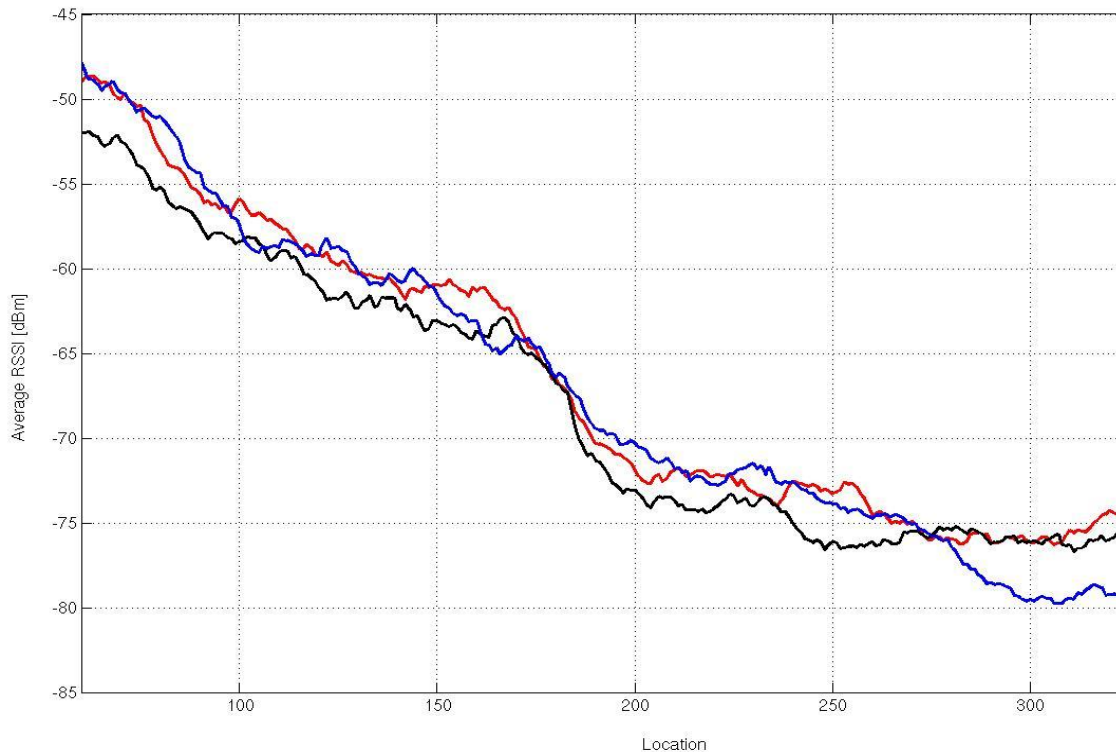
مختلف فر

— بنابراین اف

— به نوسانات

— میزان (افت

ثابت می‌ما



ای
شد
ج

توصیف توان سیگنال دریافتی

• محو شدگی (Fading)

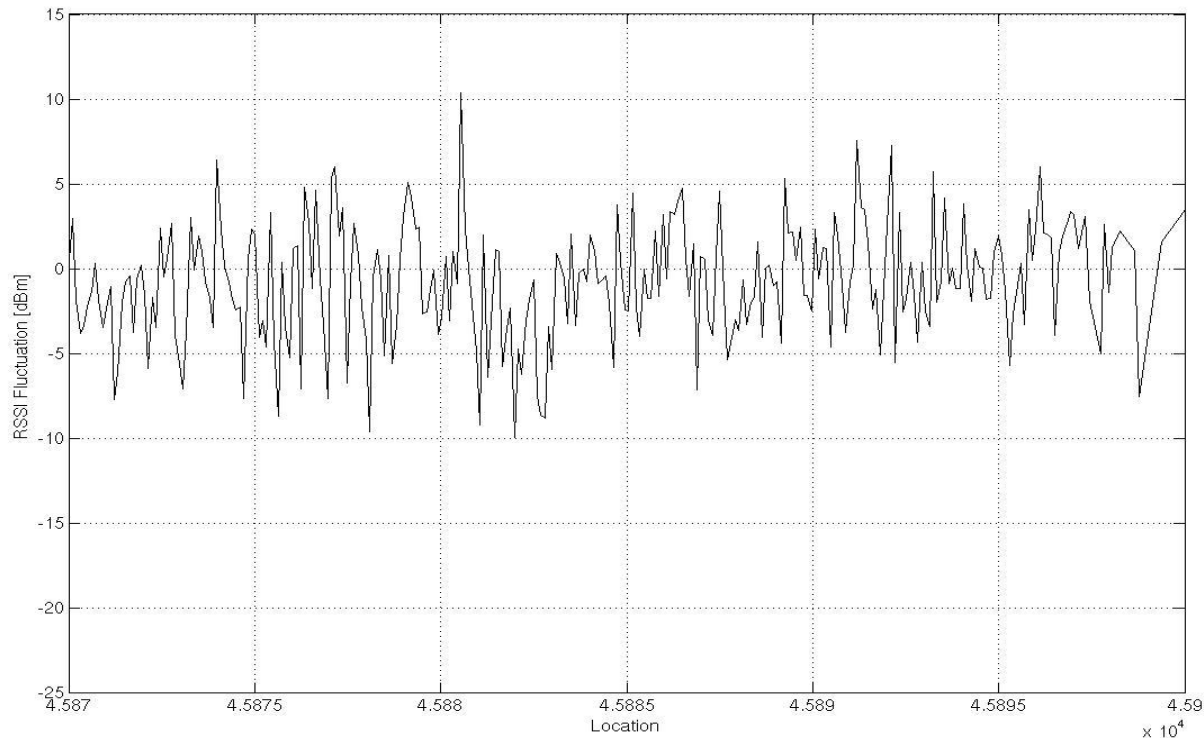
- سیگنال دریافتی از مسیرهای متنوع که هر کدام دارای تاخیر و در نتیجه فاز مختلفی هستند میرسد
- سیگنالهای دریافتی از این مسیرهای چندگانه، گاهی اثر مخرب و گاهی اثر سازنده بر یکدیگر می گذارند
- سیگنال دریافتی دارای نوسانات شدید دامنه است که به این نوسانات محوشدگی می گویند
- مقدار محوشدگی با جابجایی های کمتر از یک طول موج تغییر میکند

توصیف توان سیگنال دریافتی

• محو شدگی (Fading)

فاز

اثر



— سیگنال

مختلف

— سیگنال

سازنده

— سیگنال

محو شد

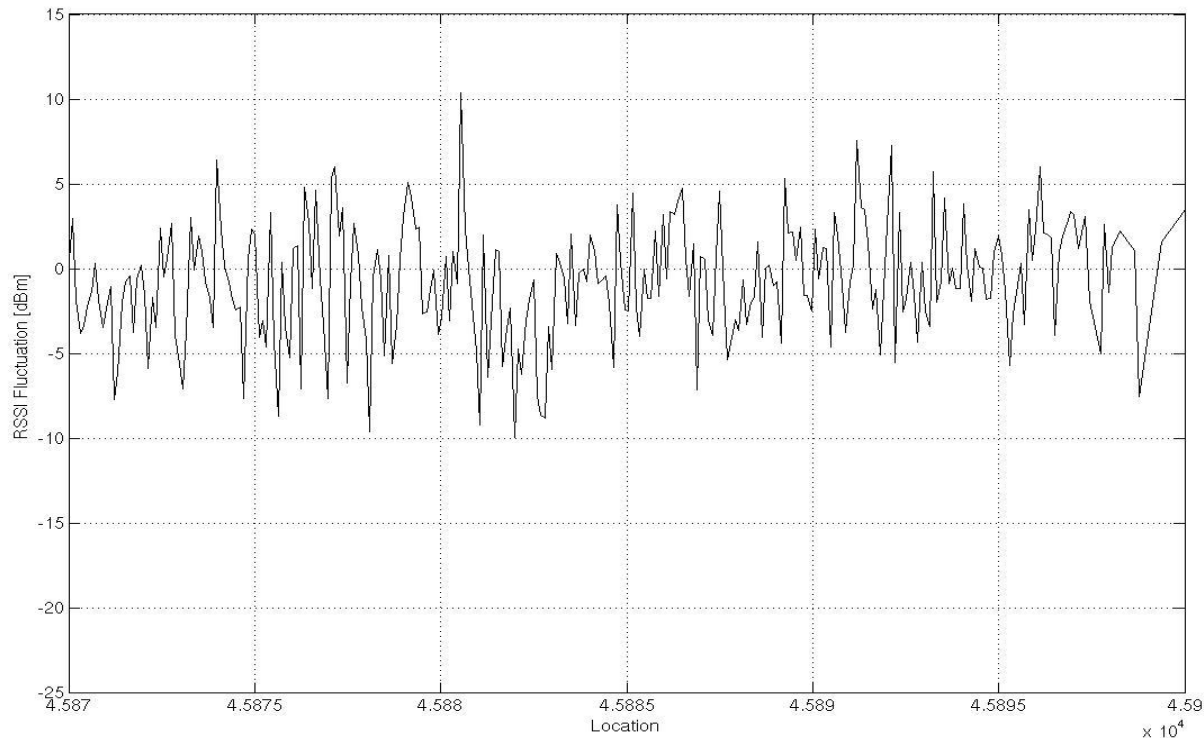
— مقدار

توصیف توان سیگنال دریافتی

• محو شدگی (Fading)

فاز

اثر



— سیگنال

مختلف

— سیگنال

سازنده

— سیگنال

محو شد

— مقدار

- میزان افت شدت سیگنال در یک نقطه مشخص (در مقیاس دسیبل) برابر حاصل جمع افت مسیر، سایه افکنی و محوشدگی در آن نقطه است.

$$P_r(d) = P_{tx} - PL(d) - X(d) - Y$$

خودآزمایی) هنگامیکه در حال پیاده روی هستیم و از گوشی موبایل خود استفاده می‌کنیم، نوسانات شدت سیگنال دریافتی بدلیل کدام پدیده است؟

الف) افت مسیر

ب) سایه افکنی

ج) محوشدگی

یک مدل انتشار ساده

- مدل‌های انتشار مبتنی بر اندازه‌گیری (Empirical Models)
- مدل‌های انتشار مبتنی بر ریاضی (Analytical Models)

یک مدل انتشار ساده

- مدل‌های انتشار مبتنی بر اندازه‌گیری (Empirical Models)
 - مدل‌های انتشار مبتنی بر ریاضی (Analytical Models)
- مدل انتشار افت مسیر نمایی و سایه‌افکنی لاگ‌نرمال

یک مدل انتشار ساده

- مدل‌های انتشار مبتنی بر اندازه‌گیری (Empirical Models)
 - مدل‌های انتشار مبتنی بر ریاضی (Analytical Models)
- مدل انتشار افت مسیر نمایی و سایه‌افکنی لاگ‌نرمال

$$PL(d) = 10n \log d \quad X [dB] \sim N(0, \sigma)$$

Building	Frequency (MHz)	<i>n</i>	σ (dB)
Retail Stores	914	2.2	8.7
Grocery Store	914	1.8	5.2
Office, hard partition	1500	3.0	7.0
Office, soft partition	900	2.4	9.6
Office, soft partition	1900	2.6	14.1
Factory LOS			
Textile/Chemical	1300	2.0	3.0
Textile/Chemical	4000	2.1	7.0
Paper/Cereals	1300	1.8	6.0
Metalworking	1300	1.6	5.8
Suburban Home			
Indoor Street	900	3.0	7.0
Factory OBS			
Textile/Chemical	4000	2.1	9.7
Metalworking	1300	3.3	6.8

محاسبه توان سیگنال دریافتی در فاصله معین از یک فرستنده

- فرستنده‌ای داریم که با توان مشخص P_{tx}
- همچنین مقادیر n, σ را میدانیم
- توان سیگنال دریافتی در فاصله معین d از این فرستنده چقدر است؟

$$P_r(d) = P_{tx} - 10n \log d + X$$

محاسبه توان سیگنال دریافتی در فاصله معین از یک فرستنده

- فرستنده‌ای داریم که با توان مشخص P_{tx}
- همچنین مقادیر n, σ را میدانیم
- توان سیگنال دریافتی در فاصله معین d از این فرستنده چقدر است؟
$$P_r(d) = P_{tx} - 10n \log d + X$$
- تاثیر X چگونه باید لحاظ شود؟

محاسبه توان سیگنال دریافتی در فاصله معین از یک فرستنده

- فرستنده‌ای داریم که با توان مشخص P_{tx}
- همچنین مقادیر n, σ را میدانیم
- توان سیگنال دریافتی در فاصله معین d از این فرستنده چقدر است؟

$$P_r(d) = P_{tx} - 10n \log d + X$$

- تاثیر X چگونه باید لحاظ شود؟

$$P_r(d) \sim N(P_{tx} - 10n \log d, \sigma)$$

- حال که فهمیدیم توان سیگنال دریافتی، خود یک متغیر تصادفی است، دیگر انتظار بدست آوردن مقدار آن غیر منطقی است.

محاسبه توان سیگنال دریافتی در فاصله معین از یک فرستنده

- فرستنده‌ای داریم که با توان مشخص P_{tx}
- همچنین مقادیر n, σ را میدانیم
- توان سیگنال دریافتی در فاصله معین d از این فرستنده چقدر است؟
$$P_r(d) = P_{tx} - 10n \log d + X$$
- تاثیر X چگونه باید لحاظ شود؟
$$P_r(d) \sim N(P_{tx} - 10n \log d, \sigma)$$
- در عوض می‌توان محاسبه نمود که مثلاً به احتمال خیلی زیاد از چه عددی کوچکتر نیست؟

محاسبه توان سیگنال دریافتی در فاصله معین از یک فرستنده

$$\left. \Pr\{P_r(d) \geq S\} = \alpha \right\} \Rightarrow S = ?$$

d, n, σ, α معلوم

$$\begin{aligned} \Pr\{P_r(d) \geq S\} &= \Pr\{P_{tx} - 10n\log d + X \geq S\} \\ &= \Pr\{X \geq S - P_{tx} + 10n\log d\} \\ &= \Pr\left\{\frac{X}{\sigma} \geq \frac{S - P_{tx} + 10n\log d}{\sigma}\right\} = \alpha \end{aligned}$$

- X/σ دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار یک (توزیع نرمال استاندارد) است
- با مراجعه به جداول توزیع نرمال، مقدار متناظر با احتمال α را برابر طرف سمت راست نامعادله داخل احتمال قرارداد

تابع توزیع احتمال نرمال استاندارد

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990

تابع توزیع احتمال نرمال استاندارد

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	$Z \sim N(0,1) \rightarrow \Pr\{Z \leq z\}$ مقدار هر خانه جدول برابر						0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032							0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192							0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332							0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452							0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	$\Pr\{Z \leq z\} = \Pr\{Z \geq -z\}$						0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641							0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713							0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990

محاسبه توان سیگنال دریافتی در فاصله معین از یک فرستنده

$$\begin{aligned}\Pr\left\{\frac{X}{\sigma} \geq \frac{S - P_{tx} + 10n\log d}{\sigma}\right\} \\ = \Pr\left\{\frac{X}{\sigma} \leq -\frac{S - P_{tx} + 10n\log d}{\sigma}\right\} = \alpha\end{aligned}$$

$$-\frac{S - P_{tx} + 10n\log d}{\sigma} = z \Rightarrow$$

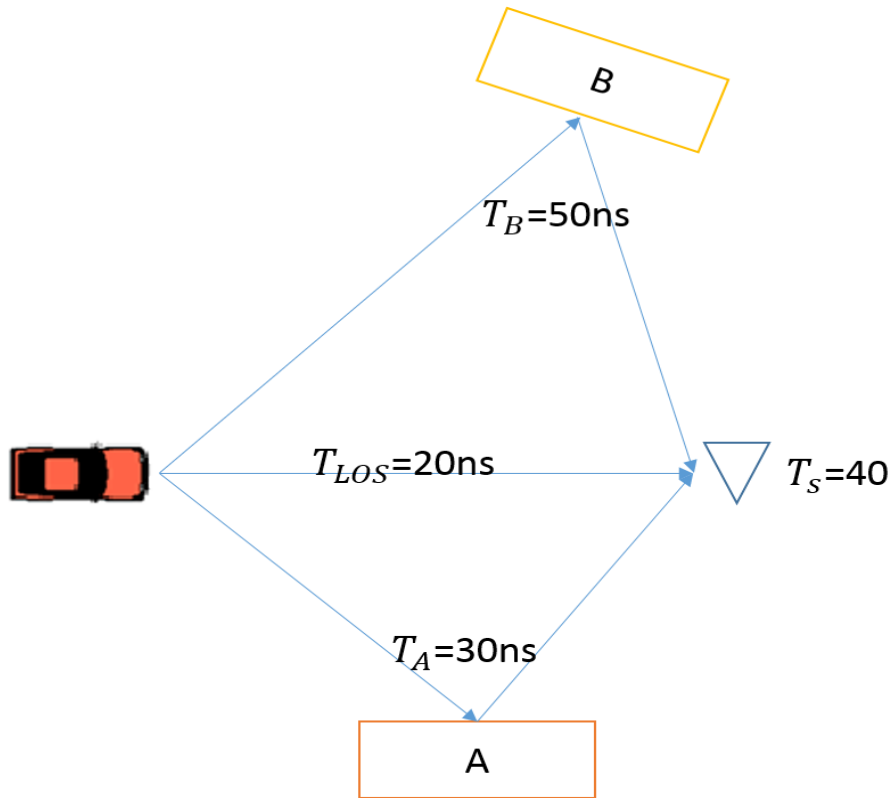
$$S = P_{tx} - 10n\log d - z\sigma, \text{ (with probability } \alpha \text{)}$$

چند نمونه مسئله عملی

- محاسبه برد پوشش یک فرستنده
- محاسبه توان فرستنده مورد نیاز برای برد مشخص
- تاثیر نمای افت مسیر بر برد لینک بیسیم
- تاثیر سایه اندازی بر برد لینک بیسیم
- مصالحه گذردهی و برد لینک/توان ارسالی/پهنای باند کانال
- برای مدولاسیون QAM اگر پهنای باند کانال را یک مگاهرتز فرض کنیم و از فیلترینگ ایده آل نایکویست در فرستنده استفاده کنیم، آنگاه در هر فاصله چه مرتبه ای از مدولاسیون؟

محوشدگی

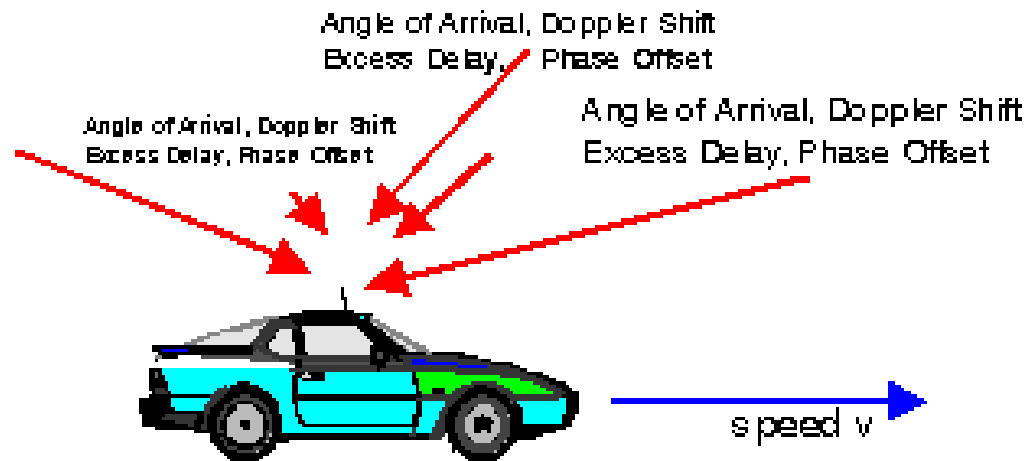
- پدیده انتشار چند مسیری



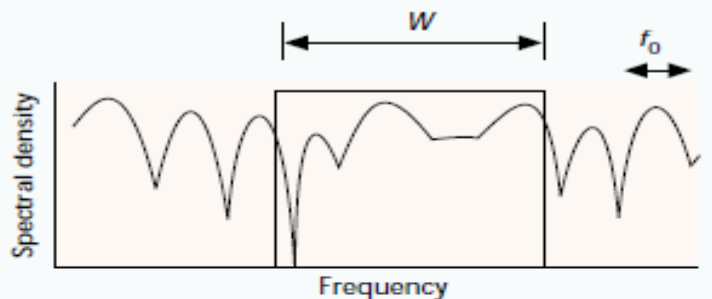
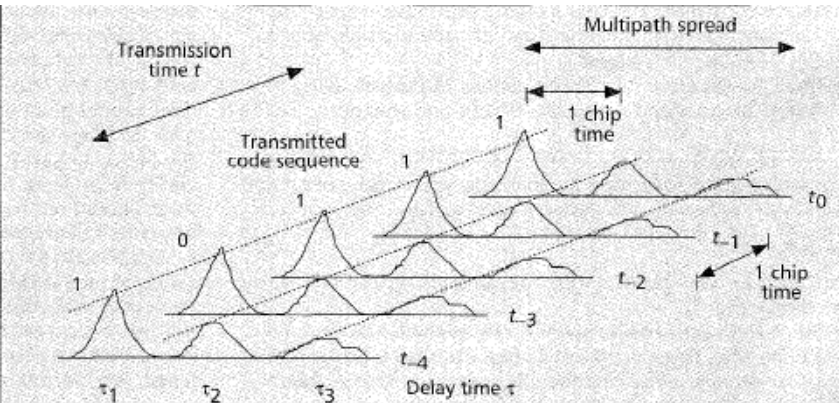
- پدیده داپلر

محوشدگی

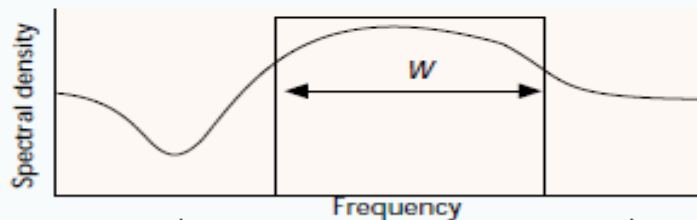
- پدیده انتشار چند مسیری
- پدیده داپلر



توصیف نوسانات شدت سیگنال حول میانگین (Fading)



(a) Typical frequency-selective fading case ($f_0 < W$)



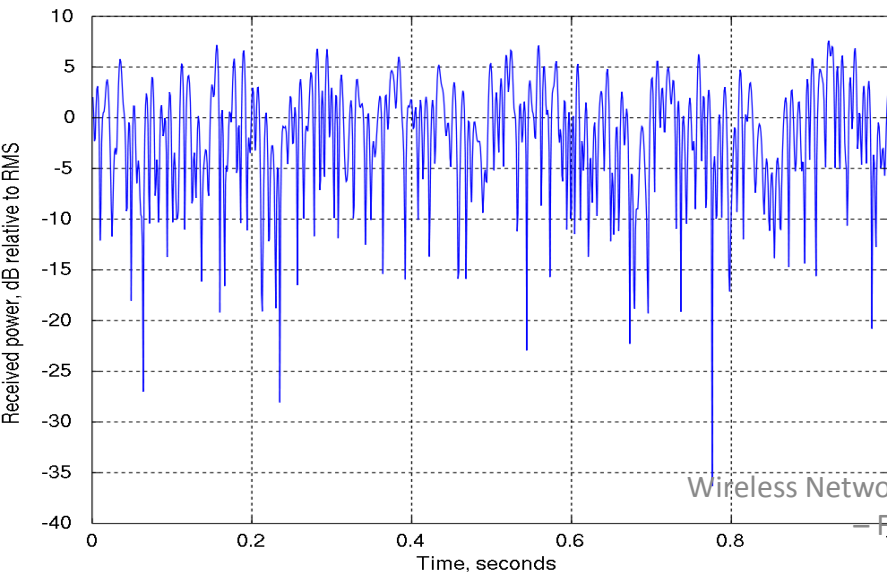
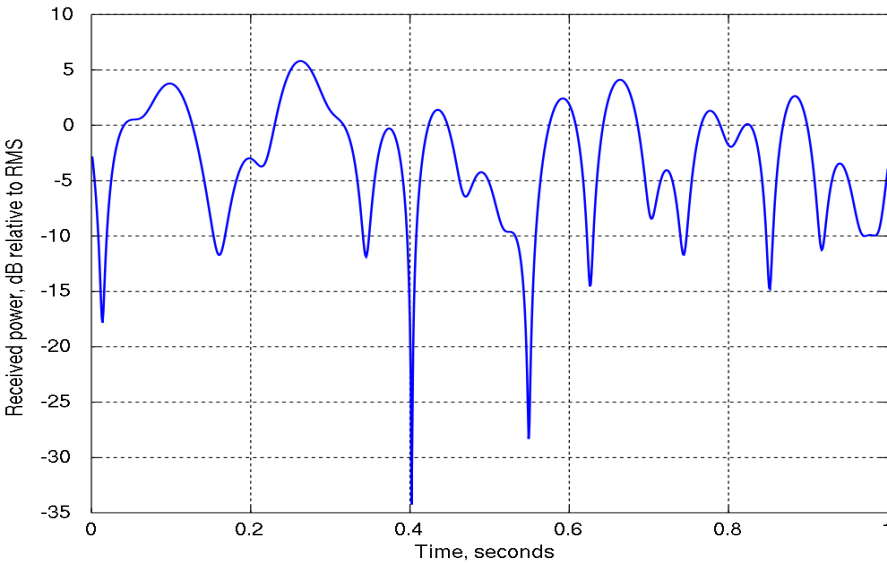
(b) Typical flat-fading case ($f_0 > W$)

- پدیده انتشار چند مسیری
- انحراف معیار تاخیر مسیرهای مختلف را Delay Spread میگویند (همان متوسط اختلاف تاخیرها)

- نرخ سمبل قابل مقایسه با DS: نوسانات شدت سیگنال حول جابجاییهای کوچک داریم (برهم نهی تصادفی چند کپی از یک سمبل) = **Flat Fading**

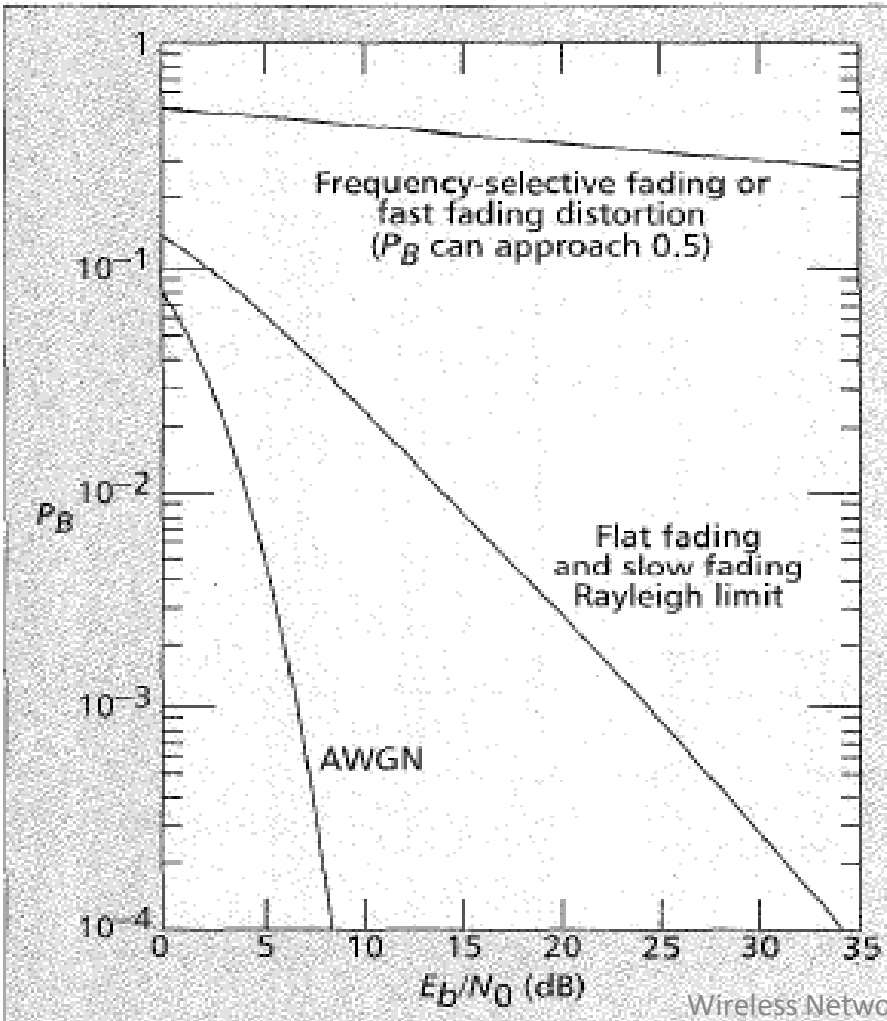
- نرخ سمبل خیلی بزرگتر از DS: سمبلهای متوالی با هم تداخل میکنند (پدیده ISI) = **Selective Frequency Fading**

توصیف نوسانات شدت سیگنال حول میانگین (Fading)



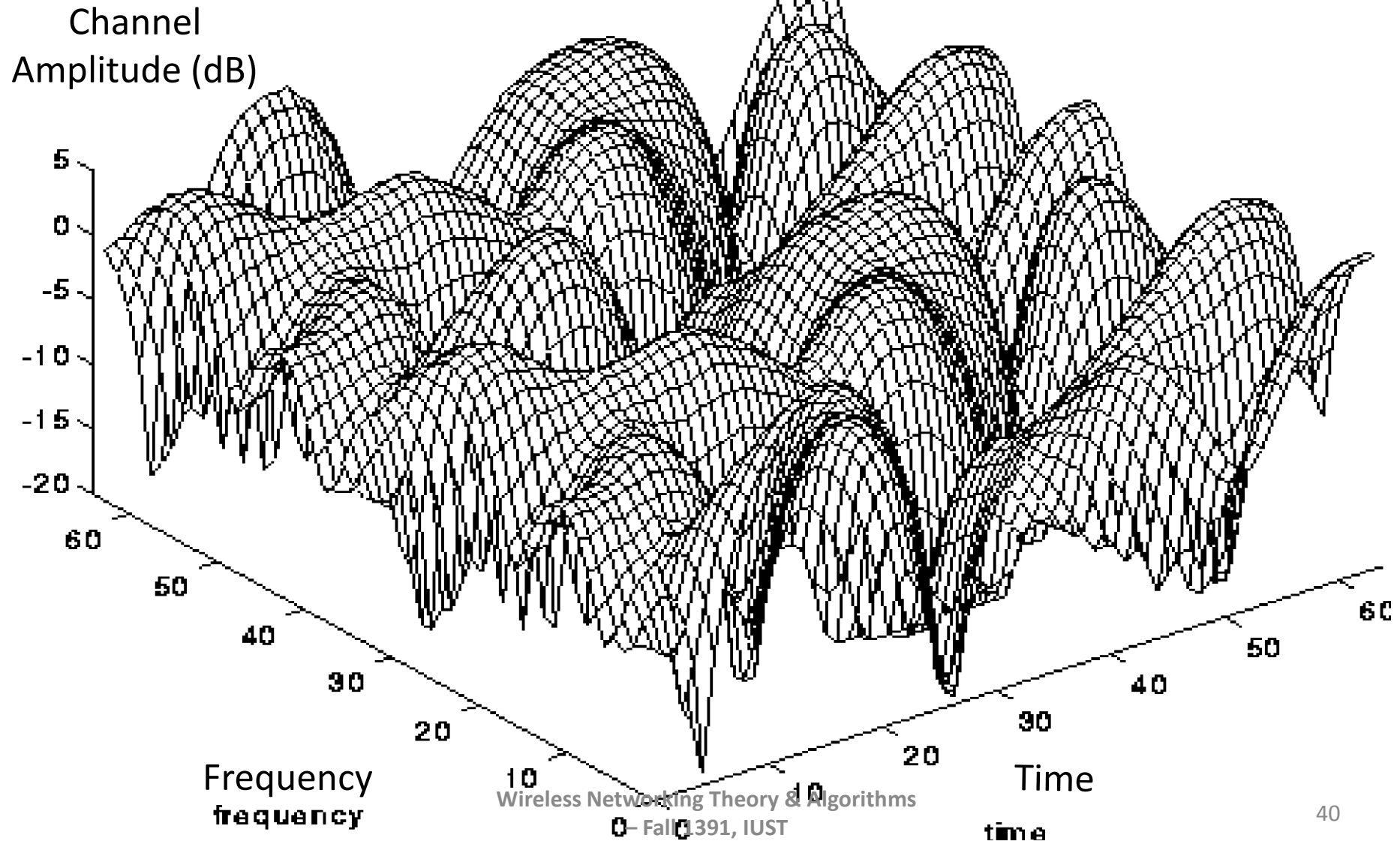
- پدیده شیف داپلر
- تغییرات فرکانس سیگنال بدلیل تحرک فرستنده، گیرنده یا محیط
- تغییرات شدید شدت سیگنال بدلیل عبور از داخل نواحی دارای مشخصه های چند مسیری متفاوت و مستقل
- نرخ تغییرات سیگنال متناسب با سرعت
- به بیان ساده تر مشخصه کانال در حال تغییر است
- نرخ سمبل کمتر از سرعت تغییرات کانال: نوسانات شدید سیگنال طی یک سمبل
Fast Fading
- نرخ سمبل بزرگتر از سرعت تغییرات کانال: نوسانات آرام طی سنبلهای مختلف
Slow Fading

تأثیر موارد مختلف بر روی کیفیت سیگنال دریافتی



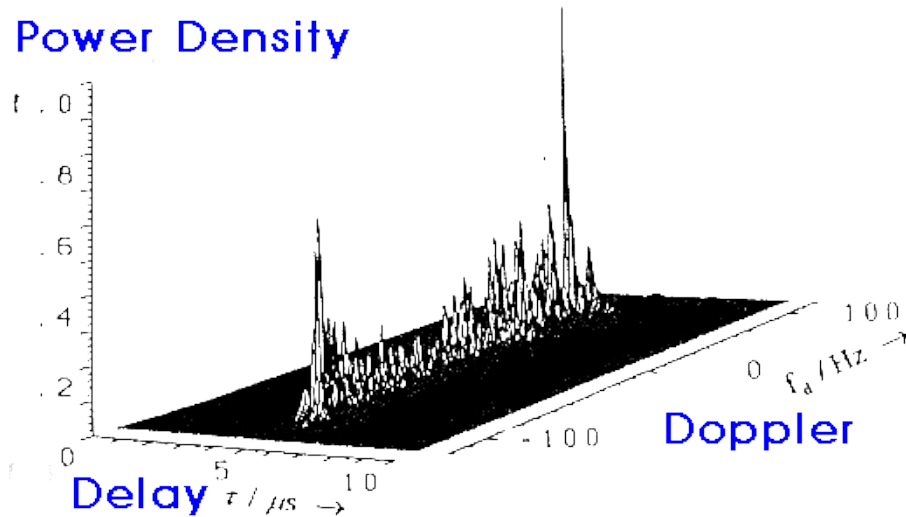
- کیفیت سیگنال = نرخ خطای بیت
- نرخ خطای بیت تابعی از نسبت توان سیگنال به توان نویز و تداخلات
- به بیان دیگر تابعی از نسبت انرژی هر بیت به چگالی انرژی نویز
- معمولاً ۱۰ الی ۲۰ دسیبل بعنوان Fade Margin در نظر میگیرند
- گاهی افت کیفیت سیگنال را نمیتوان با افزایش شدت سیگنال جبران نمود

A Fading Channel Transfer Function

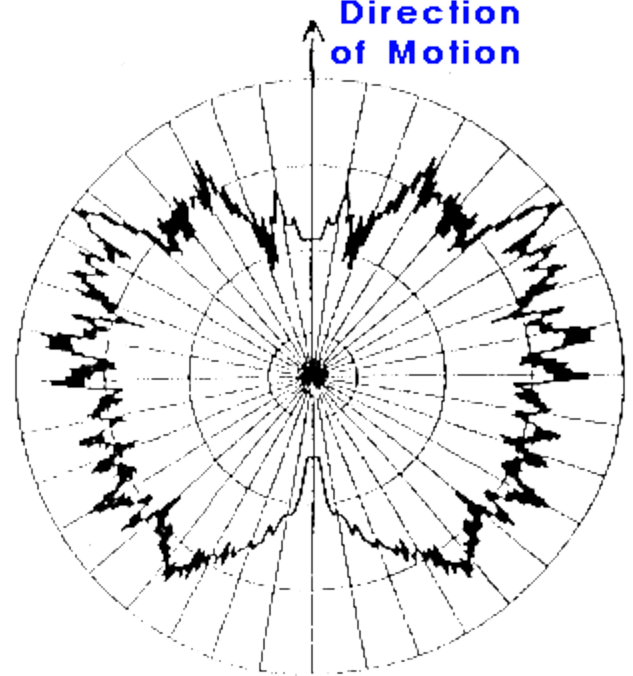


Fading Channel Scatter Function 2

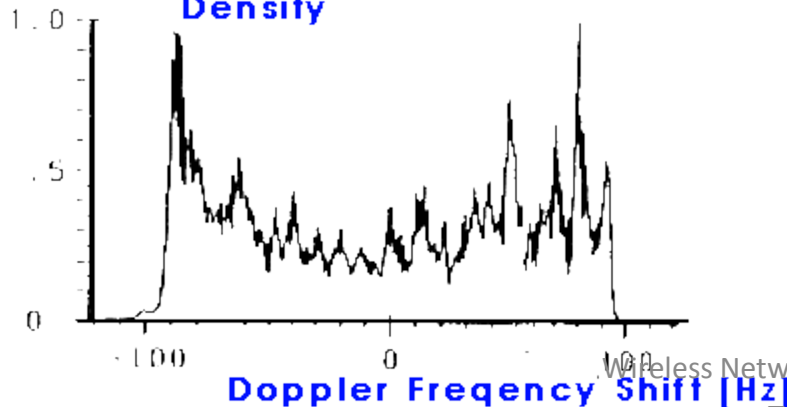
Power Density



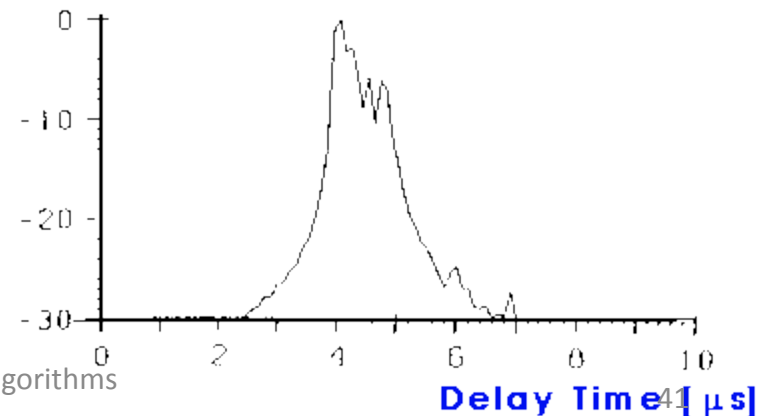
Direction of Motion



Spectral Power Density



Power [dB]



Rayleigh and Ricean Fading Channels

- Many multipath components
- No LoS component
- → Urban macrocells



$N=4$ waves with
amplitude ρ_n
and phase shift
due to delay T_n

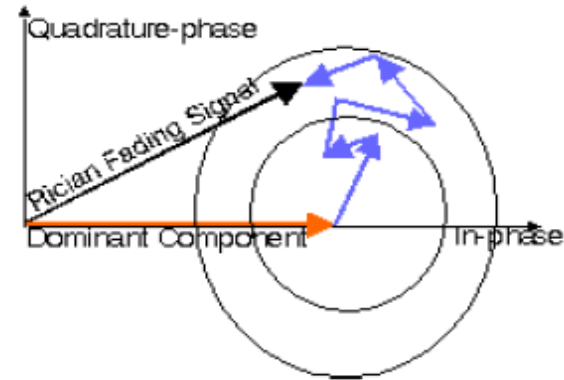
- Signal envelope has Rayleigh distribution (rho is local mean power, p is total scattered power):

$$f_P(\rho) = \frac{\rho}{p} \exp\left\{-\frac{\rho^2}{2p}\right\}$$

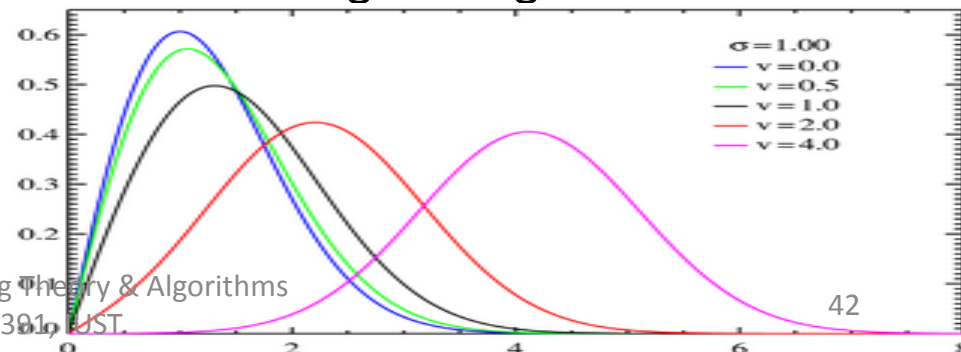
- Instantaneous power in **Watts** has exponential distribution (power = $\rho^2/2$):

$$f_p(p) = f_\rho(\rho) \left| \frac{d\rho}{dp} \right| = \frac{1}{p} \exp\left\{-\frac{p}{p}\right\}$$

- Many multipath components
- Dominant LoS component
- → Micro cellular



- Signal envelope has Ricean distribution with parameter K
- $K = \text{DirectPower} / \text{ScatteredPower}$
- Heavier fading → Larger K → Gaussian



Effect of Fading on BER

- BPSK BER when instantaneous power is p

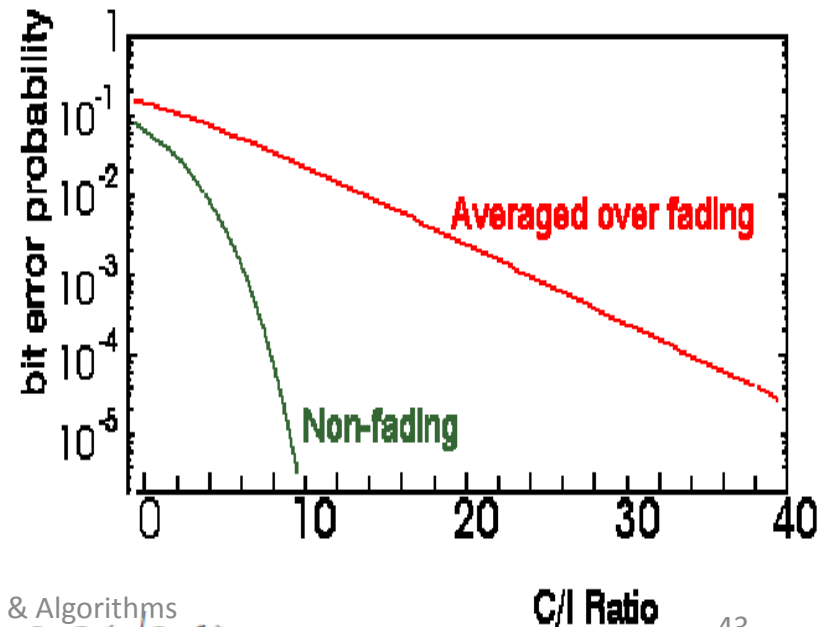
$$P = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}}$$

- Flat-Slow fading causes error burst during fades

- BER averaged over pdf

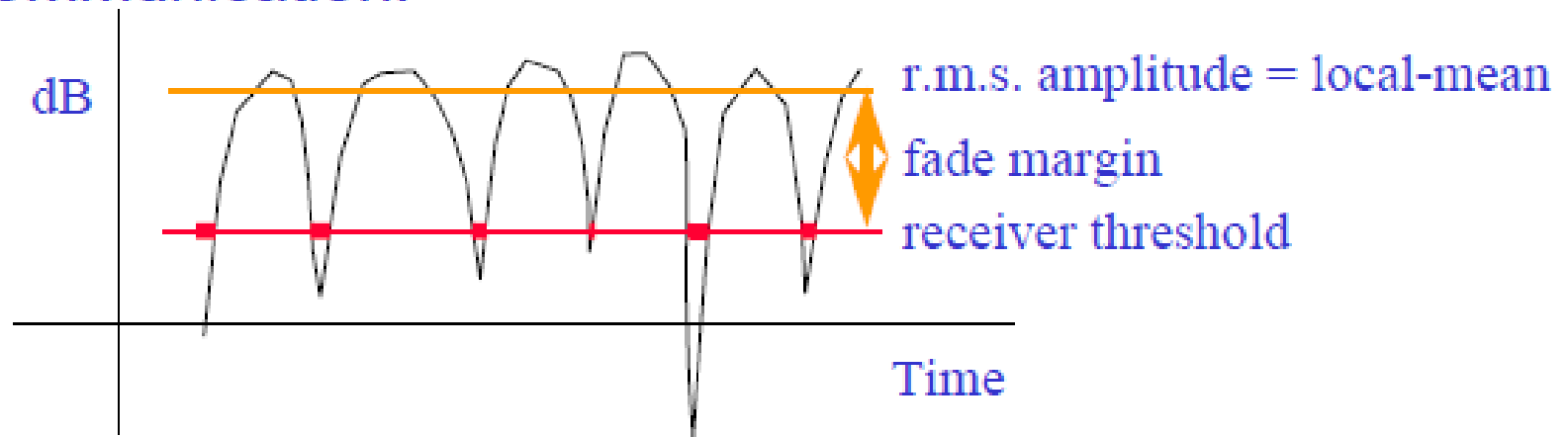
$$\bar{P} = \int_0^{\infty} \frac{1}{p} \exp\left\{-\frac{p}{\bar{p}}\right\} \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{pT_b}{N_0}} dp = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\bar{p}T_b}{N_0 + \bar{p}T_b}}$$

power



Fade Margin

Fade margin is the ratio of the average received power over some threshold power, needed for reliable communication.



PDF of signal amplitude

Fade margin

Outage probability

Outage Probability

- Find the probability that the instantaneous power of a Rayleigh-fading signal is x dB or more below its local-mean value.
- If the receiver can choose the strongest signal from L antennas, each receiving an independent signal power, what is the probability that the signal is x dB or more below the threshold

Outage Probability: Solution

Define fade margin η as $\eta = p_{\text{local-mean}}/p_{\text{threshold}}$

Define the fade margin x in dB, where $\eta = 10^{x/10}$

$$\eta = \frac{\bar{p}}{p_T}$$

The signal outage probability is

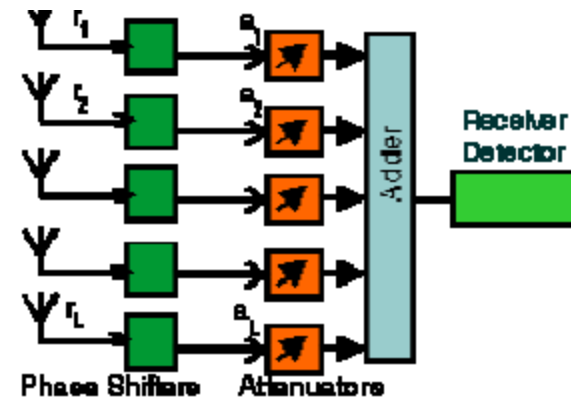
$$\Pr(p < p_T) = \int_0^{p_T} \frac{1}{p} \exp\left\{-\frac{p}{\bar{p}}\right\} dp = 1 - \exp\left\{-\frac{p_T}{\bar{p}}\right\}$$

$$\Pr(p < p_T) = 1 - \exp\left\{-\frac{1}{\eta}\right\} \xrightarrow{\text{large } \eta} \frac{1}{\eta}$$

Effect of Diversity

Diversity rule:

Select strongest signal.



Outage probability for selection diversity:

$$\Pr(\max(p) < p_{\text{thr}}) = \Pr(\text{all}(p) < p_{\text{thr}}) = \prod_i \Pr(p_i < p_{\text{thr}})$$

For L -branch selection diversity in Rayleigh fading:

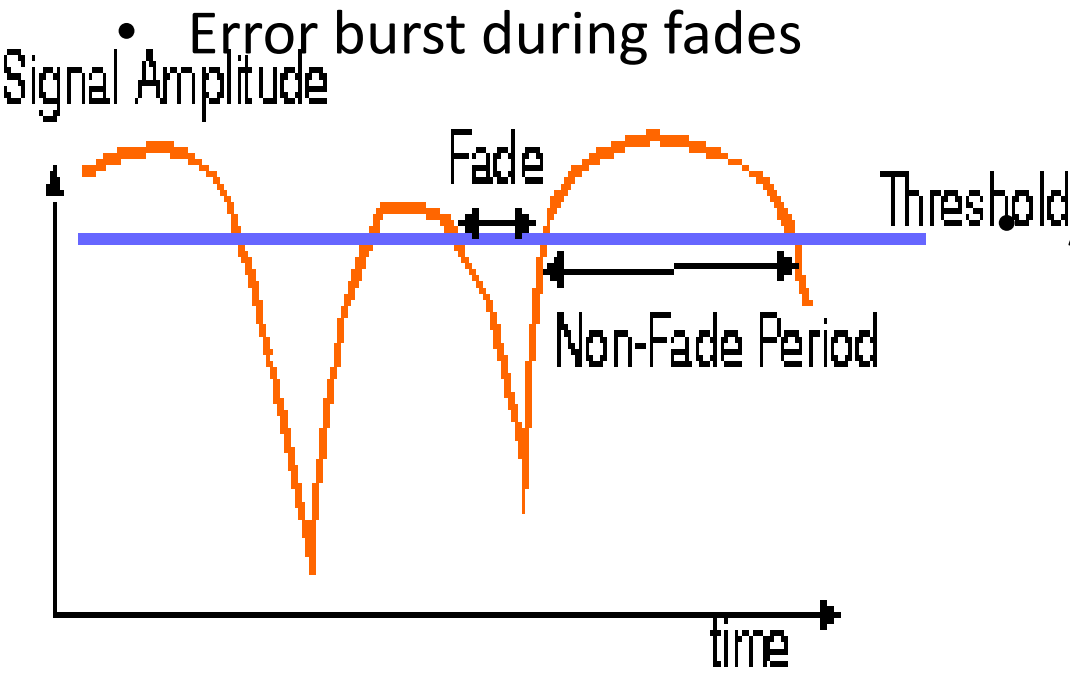
$$\Pr(\max(p) < \bar{p} / \eta) = [1 - \exp \{-1 / \eta\}]^L \rightarrow \frac{1}{\eta^L}$$

Effect of Diversity: Cont.

- Performance improves very slowly with increased transmit power
- Diversity Improves performance by orders of magnitude
- Slope of the curve is proportional to order of diversity
- Only if fading is independent for all antennas

Average Fade and Non-Fade Durations

- Flat-Slow fading causes channel fluctuations.
- Channel can be viewed as going through a sequence of FDs and NFDs.
- Error burst during fades



- Average Fade Duration
 - Inversely proportional to Doppler spread
 - Inversely proportional to fade margin
 - Determines interleaving depth

- Average Non-Fade Duration
 - Inversely proportional to Doppler spread
 - Proportional to fade margin
 - Determines packet length

سوال:گیرنده RAKE در سیستم CDMA بر کدام مشکل غلبه میکند؟

- **Fast Fading**
خود گیرنده در این زمینه اثری ندارد اما بدلیل استفاده از Fast نرخ چپ افزایش یافته و کانال از حالت CDMA خارج میشود
- **Slow Fading**
خیر، کماکان تعدادی از چپها دچار محوشدگی عمیق میشوند اما بقیه نجات میابند که آنها قابل استفاده خواهند بود.
- **ISI**
بله، بدلیل خود متعامد بودن دنباله شبه تصادفی بکار رفته و قابلیت تفکیک مسیرها
- **Flat Fading**
اگر در سیگنال اصلی محوشدگی تخت داشته باشیم سبملهای رسیده از مسیرهای متفاوت قابل تفکیک نیستند. اما در سبمل ها کوچک و لذا قابل تفکیک هستند، DSSS سیگنال پس بله، بشرطیکه طول چپ به اندازه کافی کوچک باشد

سوال: گیرنده RAKE در سیستم CDMA

- یک سیستم داریم که از DSSS و گیرنده RAKE استفاده میکند.

- این سیستم در محیط بیرون خوب کار میکند اما در محیطهای داخل ساختمان کارایی بدی دارد (BER زیاد)

- دلیل چیست؟

مثال: بکارگیری IEEE802.11a برای محیط بیرون

- مدولاسیون OFDM با 64 حامل در باند فرکانسی 5GHz
- نرخ داده بین 6 تا 54 مگابیت بر ثانیه
- محیط بیرون شدیداً چند مسیره است و DS بالایی دارد بنابراین پهنای باند کوهرنس کمی دارد.
- البته OFDM در برابر ISI مقاوم است ولی باتوجه به نرخ ارسال بالای IEEE802.11a در برابر ISI دچار مشکل میشود.
- کاربردهای موبایل دارای سرعت تحرک بالا هستند و میتواند برای OFDM ایجاد مشکل کند.
- در مجموع OFDM طراحی شده برای IEEE802.11a شرایط کانال را طی ارسال یک بسته ثابت فرض میکند.
- بنابراین برای این محیط مناسب نیست.
- کاهش برد پوشش هر فرستنده برای اینکه مسیر بین فرستنده و گیرنده دارای LOS بوده موانع کمتری داشته باشد.
- باعث افزایش دگرسپاری میشود.

مثال: طرح ریزی یک شبکه MANET

- یک شبکه تاکتیکی برای عملیات امداد و نجات
- محیط پوشش چند کیلومتر مربع و طبیعت (جنگل/دشت/کوهستان)
- حرکت وجود دارد اما با سرعت کم
- کاربرد انتقال صوت بلادرنگ و گاهی تصویر یا متن کوتاه
- ارتباط به صورت چند پرشه و بین گره‌های مجاور است
- محدودیت مصرف توان داریم پس توان ارسال باید کم باشد
- دید مستقیم در مناطق جنگلی و کوهستانی بعضاً مشکل است
- باید از فرکانس حامل پایین استفاده نمود که باتوجه به پهنای باند پایین کاربردها قابل قبول است همچنین افت کمتری دارد
- محیط غالباً دارای Flat/Slow Fading خواهد بود
- بدلیل کاهش مصرف باتری جبران افت شدت سیگنال با افزایش توان ارسالی ممکن نیست.
- استفاده از تنوع:

— DSSS+RAKE

— FHSS

— Error Correction Coding +

Interleaving

مثال: طرح ریزی یک شبکه حسگر بیسیم

- کاربرد تشخیص نفوذ عوامل بیگانه برای پایش بیانهای مرزی سیستم توسط رادارهای کوچک
- محیط هموار و کم تحرک \leftarrow نه داپلر و نه چند مسیری و ISI
- همه گرهمها در یک فرکانس کار میکنند
- در اثر وقوع رخداد در یک ناحیه طوفانی از ترافیک پدید می آید \leftarrow تداخل \leftarrow مکانیزمهای SS مانند FHSS و DSSS
- نرخ داده کم \leftarrow چون داپلر نداریم مشکلی نیست
- اگر محیط دارای تحرک باشد استفاده از DSSS نرخ بیت را بالا میبرد
- استفاده از کدهای تصحیح خطا جهت کاهش SNR مورد نیاز \leftarrow مصرف توان کمتر همچنین تعداد ارسال مجدد کمتر
- وسعت زیاد ناحیه \leftarrow افزایش برد پوشش بیسیم \leftarrow کار در فرکانسهای پایینتر، عدم استفاده از FHSS، استفاده از کدهای تصحیح خطا
- Bluetooth مناسب نیست چون از FHSS استفاده میکند نرخ بیت بالا و فرکانس 2.4GHz دارد
- IEEE 802.11 پیچیده و پرمصرف است. فرکانس 2.4GHz مناسب نیست. نرخ بیت زیاد است (حداقل 1Mbps). اما از DSSS استفاده میکند.
- ZigBee در فرکانس 900MHz با استفاده از DSSS مناسب است.

ادامه: طرح ریزی یک شبکه حسگر بیسیم

- مساحت $100\text{Km} \times 100\text{Km}$ باید پوشش داده شود
- هر بسته 10000 بیت قابل ارسال با نرخ 250Kbps \leftarrow مدت ارسال برابر 40msec
- توان ارسال برابر ۱۰ میلی وات
- باتری قلمی با ۱۰۰ میلی آمپر ساعت ظرفیت \leftarrow یک بسته = ۱۰ میلی وات ضربدر ۴۰ میلی ثانیه تقسیم بر یک و نیم ولت = ۰.۲۵ میلی آمپر \leftarrow تقریبا 1,440,000 رخداد را حس میکند \leftarrow بسیار کمتر از این بدلیل مصرف خود سخت افزار همچنین وجود False Alarms
- اگر حساسیت گیرنده -95dBm- باشد برد تقریبا ۴۰۰ متر خواهد بود.
- استفاده از کدهای تصحیح خطا امکان 4dB گین وجود دارد و برد به ۶۰۰ متر میرسد.
- همین گین را باید با دونیم برابر کردن توان و کاهش ۶۰ درصدی عمر بدست می آوریم.
- توزیع حسگرها در یک ناحیه کوچک پواسن است
- احتمال اینکه در دایره ای به شعاع ۳۰۰ متر حداقل یک حسگر باشد برابر ۹۹ درصد
- چند حسگر پخش کنیم؟
- ۱۷ حسگر بر کیلومترمربع
- میتوان با کاهش طول عمر به ۴۰ درصد، پوشش را به ۱۰۰۰ متر رساند و تعداد حسگرها را بازهم کم نمود
- میتوان از گیرنده های پیچیده تر و حساستر یا کدینگ بیشتر استفاده نمود

