

**МОДЕЛИРАНЕ НА КАНАЛИ СЪС ЗАТИХВАНЕ И ОЦЕНКА НА
КОРЕЛАЦИОННИТЕ И СПЕКТРАЛНИ СВОЙСТВА НА ПРОЦЕСИТЕ,
КОИТО ПРОТИЧАТ В ТЯХ**

Теодор Илиев, Божидар Стефанов

*University of Rousse, Department of Communication Technique and Technologies,
e-mail: tediliev@yahoo.com, e-mail: b_stefanow@yahoo.co.uk*

Keywords: fading channels, Doppler frequency, fast and slow fading

Abstract. *A precise mathematical description of the fading channels and determination of the correlation and spectral properties of the signals in the fading channels is involves a considered difficulties. Radiowave propagation through wireless channels is a complicated phenomenon characterized by various effects such as multipath and shadowing. The result is a range of relatively simple and accurate statistical models for fading channels that depend on the particular propagation environment and underlying communication scenario.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Когато приеманият сигнал претърпява затихване по време на предаването, то и кривата и фазата му варират във времето. За последователни честотни модуляции, затихването въздействащо върху фазата може да влоши много силно сигнала, освен ако не се вземат мерки за компенсирание на това негативно въздействие в приемника. Най-често анализите на системите занимаващи се с такова колебание приемат за дадено, че последствията, които претърпява фазата поради затихване, се коригират напълно в приемника и в резултат се получава така наречената „идеална“ последователна демодулация. За непоследователни модуляции не е необходима информация в приемника за фазата и ето защо колебанията на фазата в резултат на затихването не се отразяват на приемания сигнал. От това следва, че анализът на сигнала, както на идеалните последователни модуляции, така и на непоследователните модуляции през каналите със затихване, изискват познания само за статистиката на кривата на затихване. По отношение на така нареченото бавно затихване, където затихването е постоянно поне през цялото обозначено време, процесът на затихване на произволната крива може да бъде представен чрез произволна променлива величина (*RV – random variable*) през цялото обозначено време.[5]

ИЗЛОЖЕНИЕ

Разграничаването между бързото и бавно затихване (*fast and slow fading*) е важно за математическото моделиране на каналите със затихване и за оценката на сигнала на комуникационните системи работещи с тези канали. Тази идея е свързана с времето на съгласуване T_C на канала, което измерва периода от време, с който процесът на затихване се намира в съотношение. Времето на корелация също така е свързано с честотата на Доплер f_d чрез следното отношение [1] :

$$T_C \cong \frac{1}{f_d} \quad (1)$$

Процесът на затихване се определя като бавен, ако продължителността на обозначеното време T_s е по-малка от времето на съгласуване на канала T_C , в противен случай той се определя като бърз. При бавното затихване (*slow fading*), определеното ниво на затихване ще се отрази върху следващите символи, което води до увеличаване на грешките, докато при бързо затихване (*fast fading*), процесът декорелира от символ на символ. В последния случай, когато решенията на комуникационния приемник се базират на наблюдения на получавания сигнал по време на две или повече обозначени времена (като например диференцирано съгласувани или кодирани комуникации), става необходимо да се вземат в предвид колебанията на канала със затихване от един обозначен интервал до друг. Това се прави от верига корелационни модели, които зависят главно от съответната среда на разпространение и лежащия в основата комуникационен сценарий. Тези разнообразни автокорелационни модели и съответната на тях спектрална плътност на мощността са представени в таблица 1, в която за удобство варирането на процеса на бързо затихване е нормализирано до единица.[6]

Вид на спектъра на затихването	Автокорелационна функция на затихването p	Нормализирана PSD
Правоъгълен	$\sin(2\pi \cdot f_d \cdot T_s) / (2\pi \cdot f_d \cdot T_s)$	$(2 \cdot f_d)^{-1}; f \leq f_d$
Гаусов	$\exp[-(\pi \cdot f_d \cdot T_s)^2]$	$\exp\left[-\left(\frac{f}{f_d}\right)^2\right] \cdot (\sqrt{\pi} \cdot f_d)^{-1}$
Мобилен	$J_0(2\pi \cdot f_d \cdot T_s)$	$[\pi^2 \cdot (f^2 - f_d^2)]^{-1/2}; f \leq f_d$
Първи ред по Бътъруърт	$\exp(-2\pi \cdot f_d \cdot T_s)$	$\left[\pi \cdot f_d \cdot \left(1 + \frac{f}{f_d}\right)^2\right]^{-1}$
Втори ред по Бътъруърт	$\exp\left(-\frac{\pi \cdot f_d \cdot T_s }{\sqrt{2}}\right) \cdot x \left[\cos\left(\frac{\pi \cdot f_d \cdot T_s}{\sqrt{2}}\right) + \sin\left(\frac{\pi \cdot f_d \cdot T_s }{\sqrt{2}}\right) \right]$	$\left[1 + 16 \cdot \left(\frac{f}{f_d}\right)^4\right]^{-1}$

Таблица 1. Корелация на спектрални свойства на различни видове процеси на затихване с практическо значение

където: PSD – спектрална плътност на мощността; f_d - честота на Доплер; T_s - време на символа;

Честотно – монотонно и честотно – селективно затихване

Честотната селективност е също важна характеристика на каналите със затихване. Ако всички спектрални компоненти на предавания сигнал се повлияват по подобен начин, то затихването се нарича честотно – селективно или казано по – друг начин честотно – монотонно. Такъв е случаят със системите с тесен честотен спектър, при които ширината на честотната лента на предавания сигнал е много по-малка от съгласуващата ширина на честотната лента на канала f_C . Тази ширина на честотната лента измерва честотния обхват, с който се съгласува процеса на затихване и се определя като честотния обхват, в която корелационната функция на два отчета от реакцията на канала, направени по едно и също време, но при различни честоти, пада под подходяща за случая стойност. Съгласуващата честота на обхвата е свързана с максималното време на задържане τ_{\max} чрез:

$$f_c \cong \frac{1}{\tau_{\max}} \quad (2)$$

От друга страна, ако спектралните компоненти на предавания сигнал се влияят от различните нива на амплитудата и промените във фазата, затихването се нарича честотно – селективно. Това се отнася за системите с разширен спектър, при които предаваната честотна лента е по-голяма от съгласуващата ширина на канала.

Когато затихването влияе на системите с тесен честотен обхват, получената носеща амплитуда се модулира от амплитудата на затихване α , където α е произволна променлива величина (*RV – random variable*) със средна квадратична стойност $\Omega = \alpha^2$ и вероятностна функция на плътността (*PDF-probability density function*) $p_\alpha(\alpha)$, които зависят от естеството на средата на разпространение. След преминаване през канал със затихване, сигналът получава смущения в приемника чрез добавъчен бял Гаусов шум (AWGN), за който символично се приема, че е статистически независим от амплитудата α и който се характеризира с едностранна спектрална плътност на мощността N_0 W/Hz. [1] Получената моментна мощност на сигнала се модулира чрез α^2 . По този начин се дефинира коефициента на моментното отношение на мощността на сигнала спрямо шума (SNR) за единица символ чрез $\gamma = \alpha^2 \cdot E_S / N_0$ и средния SNR за единица символ чрез $\bar{\gamma} = \Omega \cdot E_S / N_0$, където E_S е енергията за единица символ. Вероятностната функция на плътността на γ се получава като се въведе промяна на променливите величини в израза отнасящ се до вероятностна функция на плътността на затихване $p_\alpha(\alpha)$ на α , което води до:

$$p_\gamma(\gamma) = \frac{p_\alpha \left(\sqrt{\frac{\Omega \cdot \gamma}{\gamma}} \right)}{2 \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot \gamma}{\Omega}}} \quad (3)$$

Моментната генерираща функция (*MGF – moment generating function*) $M_\gamma(S)$ е свързана с вероятностната функция на плътността на затихване (*PDF-probability density function*) $p_\gamma(\gamma)$ и се определя чрез:

$$M_\gamma(S) = \int_0^{\infty} p_\gamma(\gamma) e^{S \cdot \gamma} d\gamma \quad (4)$$

Големината на фединга (*AF-amount fading*) е свързано с вероятностната функция на плътността на затихване и се дефинира чрез:

$$AF = \frac{\text{var}[\alpha^2]}{(E[\alpha^2])^2} = \frac{E[(\alpha^2 - \Omega)^2]}{\Omega^2} = \frac{E[\gamma^2] - (E[\gamma])^2}{(E[\gamma])^2} \quad (5)$$

където с $E[.]$ се означава с средната стойност, а с $\text{var}[.]$ се означава промяната. Тази зависимост е въведена от Чараш като унифицирана мярка за изискванията към затихването и символично е независима от средната мощност на затихването Ω .

Многолъчевото затихване се дължи на конструктивна и деконструктивна комбинация на безразборно забавени, отразени, разпръснати и раздробени компоненти на сигнала. Този вид затихване е относително бързо и затова е причина

за кратковременното вариране на сигнала. В зависимост от вида на средата на разпространение има различни модели описващи статистическото поведение на кривата на многолъчевото затихване.[4,6]

Разпространението по Релей се използва често за моделиране на многолъчевия фединг при липса на директна връзка. В този случай амплитудата на затихване на канала α се определя според зависимостта:

$$p_{\alpha}(\alpha) = \frac{2\alpha}{\Omega} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{\Omega}\right), \alpha \geq 0 \quad (6)$$

и следователно, изхождайки от (3), то отношението SNR за единица символ на канала γ , се определя според експоненциалното разпространение изразено чрез:

$$p_{\gamma}(\gamma) = \frac{1}{\gamma} \exp\left(-\frac{\gamma}{\gamma}\right), \gamma \geq 0 \quad (7)$$

Моментната генерираща функция съответстваща на този модел на затихване се дава чрез:

$$M_{\gamma}(s) = (1 - s\bar{\gamma})^{-1} \quad (8)$$

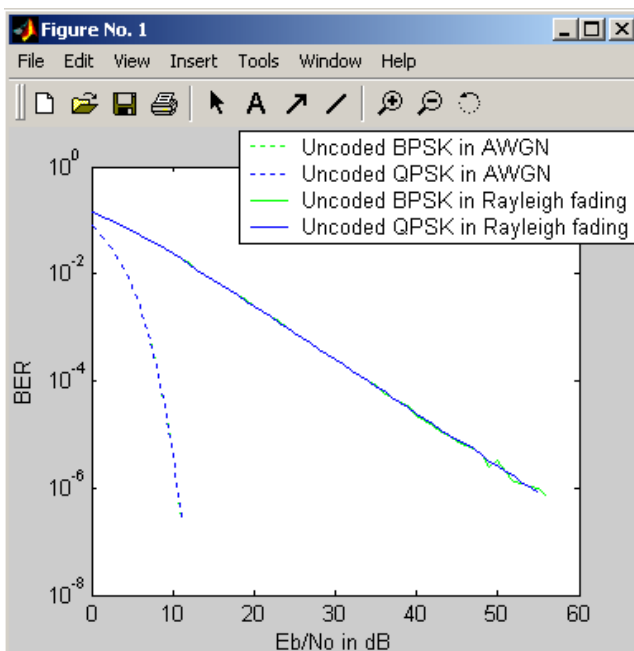
В допълнение, моментите свързани с този фединг модел могат да се изразят чрез:

$$E(\gamma^k) = \Gamma(1 + k) \bar{\gamma}^{-k} \quad (9)$$

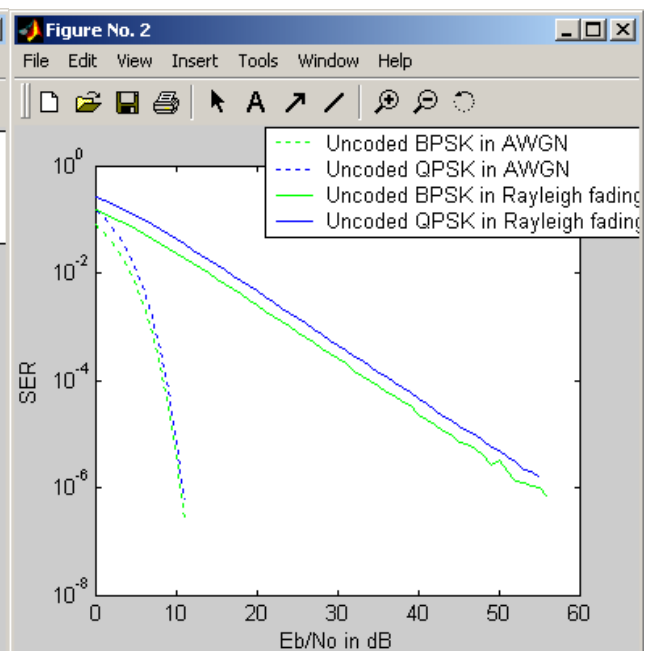
където $\Gamma(\cdot)$ е гама функцията.

РЕЗУЛТАТИ ОТ СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ

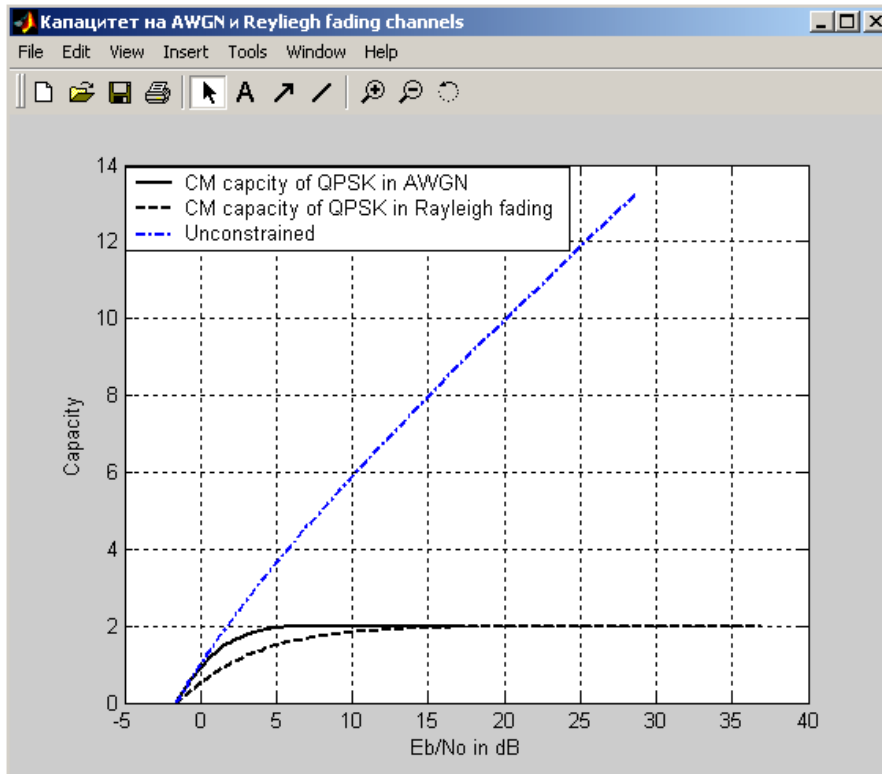
Извършено е симулационно изследване на вероятността за битова грешка (*Bit error rate* – BER) и вероятността за символна грешка (*Symbol error rate* – SER) при предаване на некодирана последователност през канал с бял Гаусовски шум (AWGN) и канал с разпределение по Релей (*Reyleigh fading channel*) модулирана с BPSK и QPSK модулация. Направен е и симулационен анализ на капацитета на канала при предаване на информация с QPSK модулация през канал с бял Гаусовски шум (AWGN) и канал с разпределение по Релей (*Reyleigh fading channel*).



Фиг.1 Зависимост между вероятността за битова грешка (*Bit error rate* – BER) от отношението E_b/N_0



Фиг.2 Зависимост между вероятността за символна грешка (*Symbol error rate* – SER) от отношението E_b/N_0



Фиг.3 Зависимост на капацитета на канала от отношението E_b/N_0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените симулационни изследвания и разсъждения в работата, могат да се обосноват математически модели на канали със затихване, позволяващи изследване на същите при различните им практически приложения. Моделът на канала със затихване по Релей има големината на фединга (*AF-amount fading*) равно на 1 и символично добре се вписва с експерименталните данни за мобилни системи, където не съществува пряка видимост между антените на предавателя и приемника. Също така се прилага за разпространението на рефлексирани и рефрактирани сигнали през тропосферата, йоносферата както и за радиовръзките между корабите.

ЛИТЕРАТУРА

1. Илиев, Т., Петков, Г., „Цифрова обработка и пренос на сигнали”, Печатна база при РУ „Ангел Кънчев”, 2005 г.
2. Biglieri, E.; Proakis, J.; Shamai, S., „Fading channels: information-theoretic and communications aspects”, IEEE Transactions, Vol. 44, Issue 6, Oct 1998, pp. 2619 - 2692
3. Proakis, J., G., „Digital communications“, 3rd ed., New York, McGraw – Hill, 1995
4. Radev, D., Petkov, G., Iliev T., Iliev, M., “Modeling of communication channels with random structure”, Proceedings VII National Conference ETAI'2005, Ohrid, Macedonia, T79-T82
5. Siemon, M., Slim - Alouini, M., „Digital communication over fading channels”, 2nd Edition, Wiley-IEEE Press, 2005 г.
6. Sklar, B., „Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems Part I: Characterization” IEEE Communications Magazine, July 1997, pp. 90 – 100
7. Sklar, B., „Digital Communications“, 2nd ed., Prentice Hall PTR, New Jersey, 2002