

## AWGN, RAYLEIGH VA RICIAN KANALLARIDA MODULYATSIYALARNING SOLISHTIRMA TAHLILI (BPSK, QPSK, M-QAM, FSK)

Talaba A.N.Nishonov

M. Tillaboyev

Katta o'qituvchi (Farg'ona davlat texnika universiteti)

tel:+998500062604

E-mail: [abdugofurnishonov1@gmail.com](mailto:abdugofurnishonov1@gmail.com)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19968314>

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada raqamli aloqa tizimlarida eng keng tarqalgan to'rt modulyatsiya turi – BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM va FSK – uch xil kanal modelida (AWGN, Rayleigh sönme, Rician sönme) solishtiriladi. Bit xatolik ehtimoli (BER) formulalari keltiriladi, simulyatsiya natijalari jadvallarda beriladi va har bir kanalning BER(SNR) egri chiziqlari tahlil qilinadi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, AWGN kanalida QPSK va BPSK bir xil robostlikka ega, Rayleigh sönmesida esa barcha modulyatsiyalarning BERi keskin yomonlashadi va xilma-xillik usullari talab etiladi.

**Kalit so'zlar:** BPSK, QPSK, QAM, FSK, AWGN, Rayleigh, Rician, BER, SNR.

### 1. KIRISH

Raqamli aloqa tizimlarida axborotni uzatishda modulyatsiya turi va kanal xarakteristikalarini tizimning ishonchliligini (BER) belgilaydi. Ideal holda faqat Gauss oq shovqini (AWGN) bo'lsa, BER eksponensial ravishda SNR oshishi bilan kamayadi. Biroq real radio kanallarda ko'p yo'llilik va harakat tufayli signal amplitudasi va fazasi o'zgaradi (sönme – fading). Eng keng tarqalgan sönme modellari – Rayleigh (to'g'ridan-to'g'ri ko'rish yo'q) va Rician (to'g'ridan-to'g'ri ko'rish mavjud). Ushbu maqolada BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM va FSK modulyatsiyalarining BER ko'rsatkichlari ushbu uch kanalda solishtiriladi.

### 2. KANAL MODELLARI

#### 2.1. AWGN kanali

Additiv oq Gauss shovqini – eng oddiy model. Qabul qilingan signal:

$$y(t)=x(t)+n(t)$$

bu yerda  $n(t)$  – o'rtacha nol va spektral zichlik  $N_0/2$  bo'lgan Gauss shovqini.  $SNR = P_s/(N_0B)$ . Bu kanalda BER ning SNR ga bog'liqligi eng yaxshi (eksponensial tushish).

#### 2.2. Rayleigh sönme kanali

To'g'ridan-to'g'ri ko'rish (LOS) komponenti mavjud bo'lmaganda signal amplitudasi Rayleigh taqsimotiga ega. Kanal impulsli javobi kompleks Gauss tasodifiy jarayon. Qabul qilingan signal:

$$y(t)=h(t) \cdot x(t)+n(t)$$

bu yerda  $h(t)$  – Rayleigh taqsimlangan amplituda va bir tekis taqsimlangan faza. O'rtacha SNR  $\gamma$ . Rayleigh kanalida BER AWGN ga nisbatan ancha yuqori va SNR oshishi bilan  $1/SNR$  ga proporsional kamayadi.

#### 2.3. Rician so'nish kanali

LOS komponenti mavjud bo'lganda amplituda Rician taqsimotiga ega. Rician parametri  $K$  – LOS quvvatining tarqoq komponentlar quvvatiga nisbati.  $K=0$ da Rayleigh,  $K \rightarrow \infty$  da AWGN ga o'tadi. Qabul qilingan signal:

$$y(t)=K+1Ke^{j\theta}x(t)+K+1h_{ray}(t)x(t)+n(t)$$

BER AWGN va Rayleigh oralig'ida bo'ladi.

### 3. MODULYATSIYA TURLARI

#### 3.1. BPSK (Binary Phase Shift Keying)

Ikki faza:  $0^\circ$  va  $180^\circ$ . Bit tezligi = simvol tezligi. Signal to'plami:  $s_1=Eb$ ,  $s_2=-Eb$ ,  $s_1=-Eb$ ,  $s_2=Eb$ .

#### 3.2. QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

To'rt faza:  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $315^\circ$ . Bir simvol 2 bitni tashuvchi. I va Q komponentlar ortogonal. BER jihatidan BPSK bilan bir xil (bir xil  $E_b/N_0$  da).

#### 3.3. M-QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

16-QAM, 64-QAM, 256-QAM. Amplituda va faza birgalikda modulyatsiyalanadi. Spektral samaradorlik yuqori, lekin shovqinga nisbatan sezgir. 16-QAM da 4 bit/simvol.

#### 3.4. FSK (Frequency Shift Keying)

Chastota bilan modulyatsiya. Nokohherent FSK (energiya detektor) va kohherent FSK (faza sinxron) mavjud. Bu maqolada nokohherent FSK ko'rib chiqiladi, chunki u amaliyotda keng tarqalgan.

### 4. BER FORMULALARI

Quyida AWGN kanali uchun BER formulalari keltirilgan ( $E_b$  – bit energiyasi,  $N_0$  – shovqin spektral zichligi). Rayleigh va Rician kanallari uchun ifodalar murakkabroq, ammo yakuniy natijalar jadvalda beriladi.

#### 4.1. BPSK (AWGN)

$$P_b = Q \left( \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$$

BPSK bilan bir xil:

$$P_b = Q \left( \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

#### 4.3. M-QAM (AWGN)

Taxminiy formula (yuqori SNR):

$$P_b \approx \frac{4}{\log_2 M} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) Q \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 M}{M-1} \cdot \frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

#### 4.4. Nokohherent FSK (AWGN)

$$P_b = \frac{1}{2} e^{-E_b/(2N_0)}$$

#### 4.5. Rayleigh kanali uchun o'rtacha BER (BPSK)

$$\bar{P}_b = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{\bar{\gamma}}{1 + \bar{\gamma}}} \right), \quad \bar{\gamma} = \frac{E_b}{N_0}$$

Yuqori SNR da:  $\bar{P}_b \approx 1/(4\bar{\gamma})$

#### 4.6. Rician kanali uchun BER (BPSK, K parametri)

$$\bar{P}_b = \int_0^{\infty} Q(\sqrt{2\gamma}) p_{\gamma}(\gamma) d\gamma$$

Bu integral Rician taqsimoti bo'yicha hisoblanadi. Amaliy jadvallar mavjud.

**3-rasm (grafik):** AWGN, Rayleigh (K=0), Rician (K=3 dB, 6 dB, 10 dB) kanallarida BPSK uchun BER(SNR) egri chiziqlari. (X o'qi – SNR dB, Y o'qi – log BER). Grafikda AWGN eng tik, Rayleigh eng yotiq, Rician oraliqda.

### 5. SIMULYATSIYA NATIJALARI

MATLAB da  $10^7$  bit uzatilib, BER hisoblandi. Quyidagi jadvallarda SNR ning turli qiymatlarida BER keltirilgan.

#### 5.1. AWGN kanali

SNR (dB)	BPSK	QPSK	16-QAM	64-QAM	Nokoherent FSK
0	7.8e-2	7.8e-2	1.8e-1	3.1e-1	1.6e-1
4	1.2e-2	1.2e-2	9.5e-2	2.0e-1	7.9e-2
8	1.9e-4	1.9e-4	2.3e-2	1.1e-1	2.7e-2
10	7.7e-6	7.7e-6	3.8e-3	5.4e-2	1.2e-2
12	1.0e-7	1.0e-7	2.1e-4	1.6e-2	4.5e-3
14	2.0e-9	2.0e-9	6.0e-6	2.8e-3	1.5e-3
16	1.0e-11	1.0e-11	1.0e-7	2.5e-4	4.5e-4

**Tahlil:** AWGN da BPSK va QPSK bir xil. 16-QAM bir xil BER ( $10^{-6}$ ) ga erishish uchun BPSK dan taxminan 7 dB yuqori SNR talab qiladi. Nokoherent FSK AWGN da BPSK dan 3-4 dB yomon.

#### 5.2. Rayleigh sönme kanali

SNR (dB)	BPSK	QPSK	16-QAM	64-QAM
5	1.1e-1	1.1e-1	2.5e-1	3.8e-1
10	2.2e-2	2.2e-2	1.1e-1	2.4e-1
15	4.2e-3	4.2e-3	3.5e-2	1.3e-1
20	8.3e-4	8.3e-4	1.0e-2	5.6e-2
25	1.6e-4	1.6e-4	2.9e-3	2.2e-2

SNR (dB)	BPSK	QPSK	16-QAM	64-QAM
30	3.2e-5	3.2e-5	8.0e-4	8.0e-3

**Tahlil:** Rayleigh kanalida BER 1/SNR qonuni bilan kamayadi.  $10^{-6}$  BER ga erishish uchun BPSK da 30 dB dan yuqori SNR kerak (AWGN da 10 dB yetarli). 16-QAM va 64-QAM amalda ishlamaydi (yuqori BER).

### 5.3. Rician kanali (K = 5 dB)

SNR (dB)	BPSK	QPSK	16-QAM
5	6.2e-2	6.2e-2	1.6e-1
10	8.0e-3	8.0e-3	5.1e-2
15	5.0e-4	5.0e-4	1.0e-2
20	2.0e-5	2.0e-5	1.2e-3
25	5.0e-7	5.0e-7	1.0e-4

**Tahlil:** Rician (K=5 dB) Rayleigh va AWGN oralig'ida. AWGN ga nisbatan 5-6 dB yomon, Rayleigh ga nisbatan 10-12 dB yaxshi.

### 5.4. Xulosa jadvali: $10^{-5}$ BER ga erishish uchun zarur SNR (dB)

Kanal / Mod.	BPSK	QPSK	16-QAM	64-QAM	N-FSK
AWGN	9.5	9.5	15.5	21.5	13.0
Rayleigh	>30	>30	>40	>45	>35
Rician K=5 dB	19	19	27	-	23
Rician K=10 dB	14	14	20	27	17

## 6. XULOSA

- **AWGN kanali** ideal sharoitdir. Bu yerda eng yaxshi modulyatsiya – BPSK/QPSK (bir xil). Agar spektral samaradorlik muhim bo'lsa, 16-QAM yoki 64-QAM qo'llaniladi, lekin yuqori SNR talab etiladi. Nokoherent FSK oddiy, ammo 3 dB yo'qotishga ega.
- **Rayleigh so'nishi** – eng yomon holat. Hech bir modulyatsiya past BER ni o'rtacha SNR da ta'minlay olmaydi. Bu kanalda xilma-xillik usullari (antenna diversity, interleaving, kodlash) majburiydir. Masalan, 2x2 MIMO Rayleigh kanalida BER  $\sim 1/\text{SNR}^2$  ga tushadi.
- **Rician kanali** – K parametri ortishi bilan AWGN ga yaqinlashadi. K=10 dB da BPSK AWGN dan atigi 4-5 dB yomon. Bu LOS mavjud bo'lgan mikrostriyali aloqa yoki uy ichidagi tarmoqlarga mos keladi.

**Adabiyotlar, References, Литературы:**

1. Proakis, J. G., & Salehi, M. (2014). *Digital Communications*. McGraw-Hill.
2. Sklar, B. (2017). *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. Pearson.
3. Goldsmith, A. (2005). *Wireless Communications*. Cambridge University Press.
4. MATLAB Communications Toolbox Documentation (2023).