

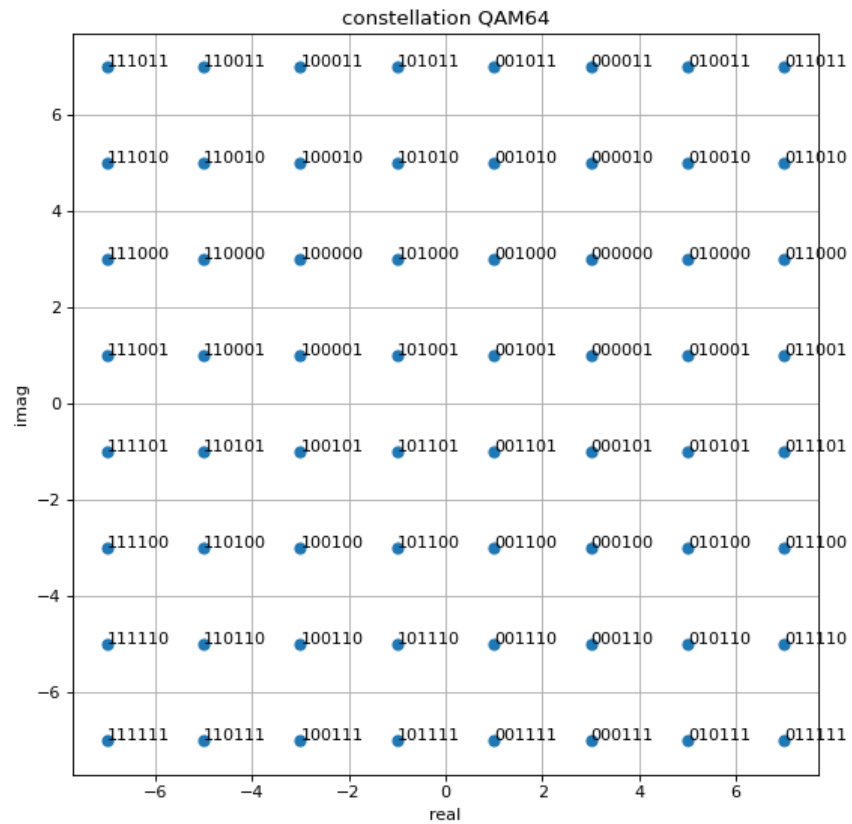
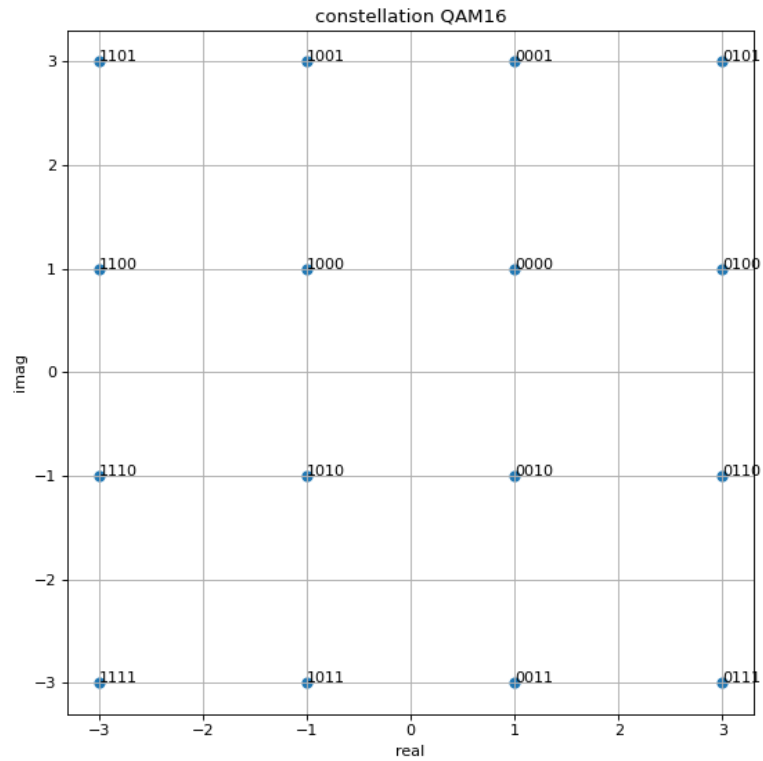
Московский физико-технический институт  
Кафедра мультимедийных технологий и телекоммуникаций

## Самостоятельная работа №1

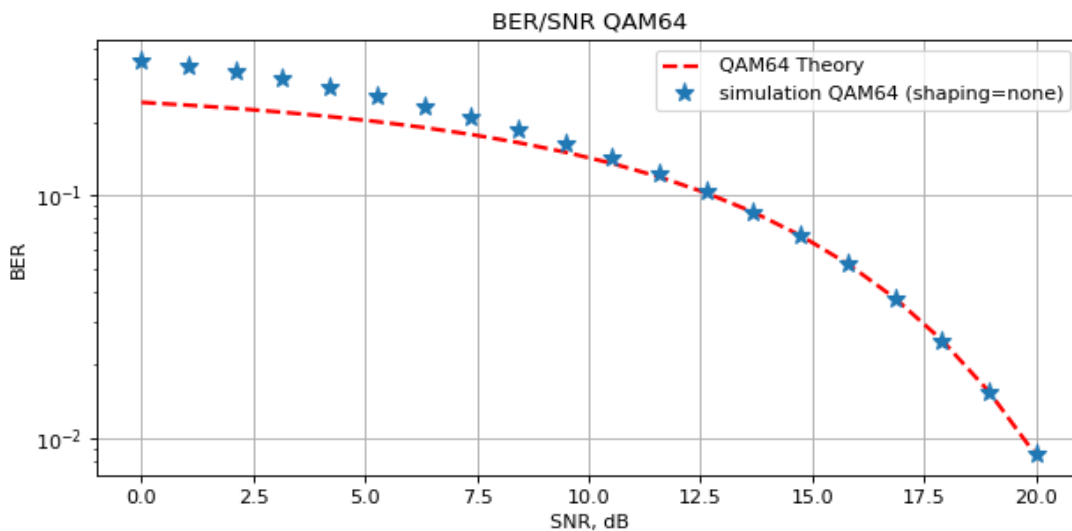
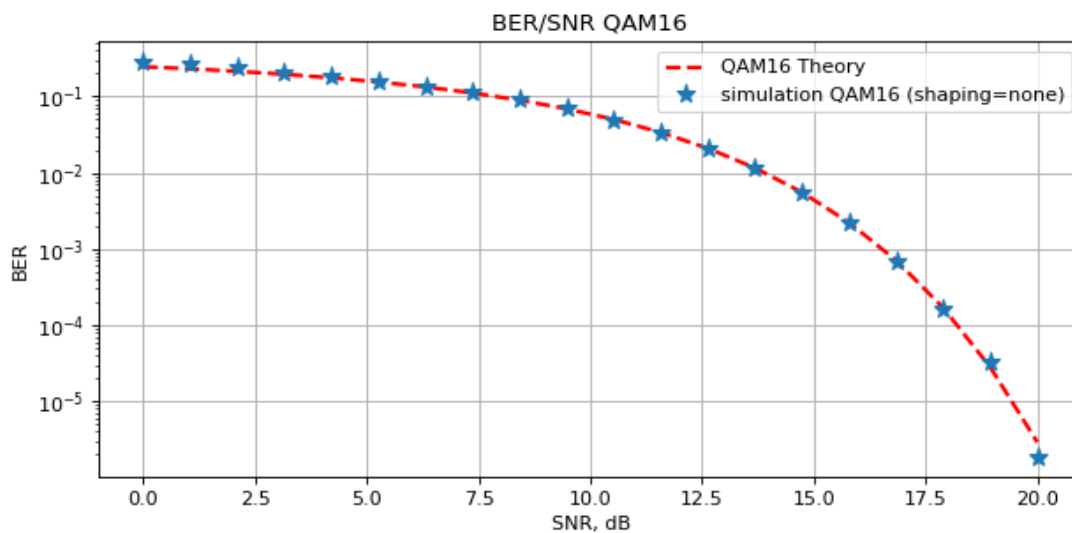
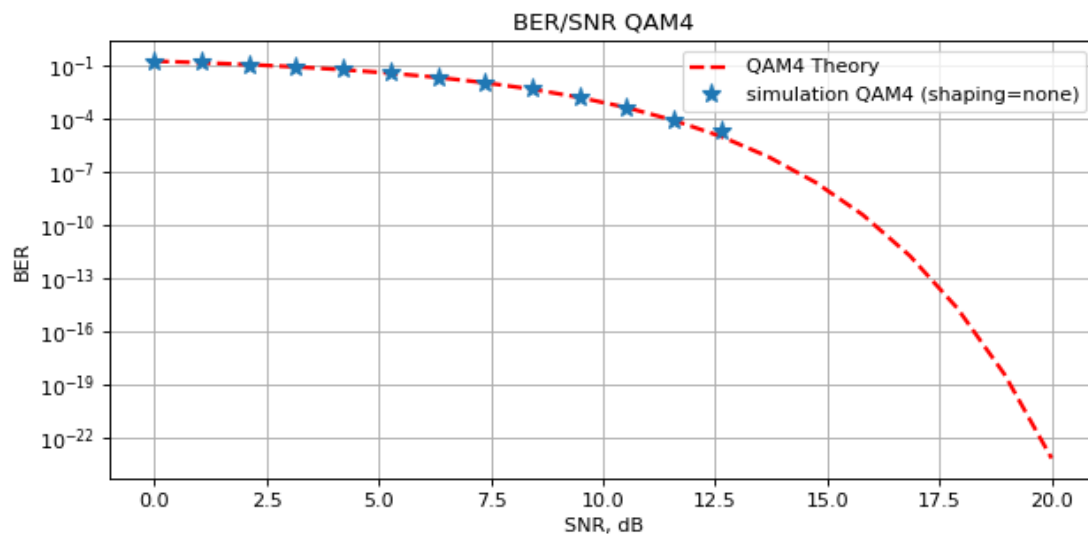
Работу выполнил

Буссе А. А.

Был реализован код грея. Созвездия QAM16/64 приведены ниже.



Путем симуляции были получены кривые BER/SNR и сравнены с теоретическими:



Теоретическая зависимость вычислялась по формуле:

$$BER = \frac{2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \operatorname{erfc} \left(10^{\frac{snr}{20}} \sqrt{\frac{3}{2(M-1)}}\right)}{\log_2 M}$$

$M$  – порядок созвездия

$$2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)$$

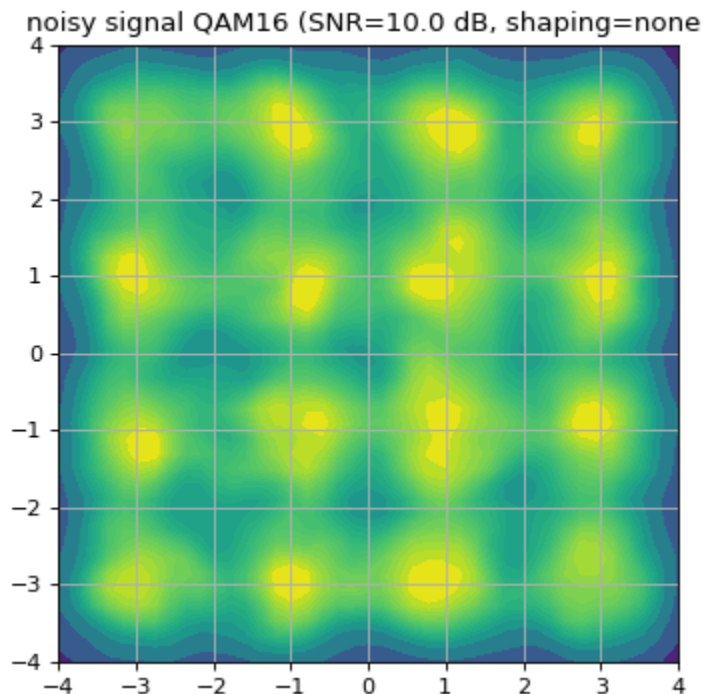
– множитель связанный с отношением количества внутренних и внешних областей

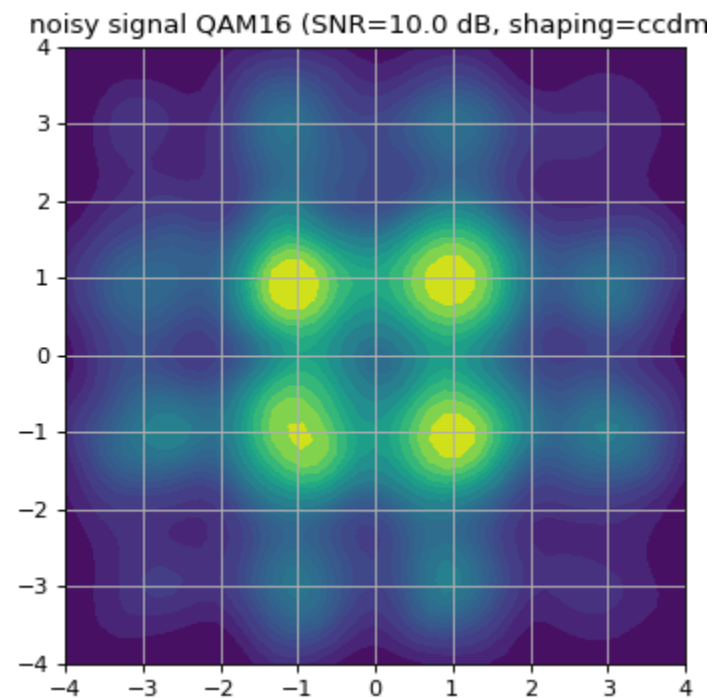
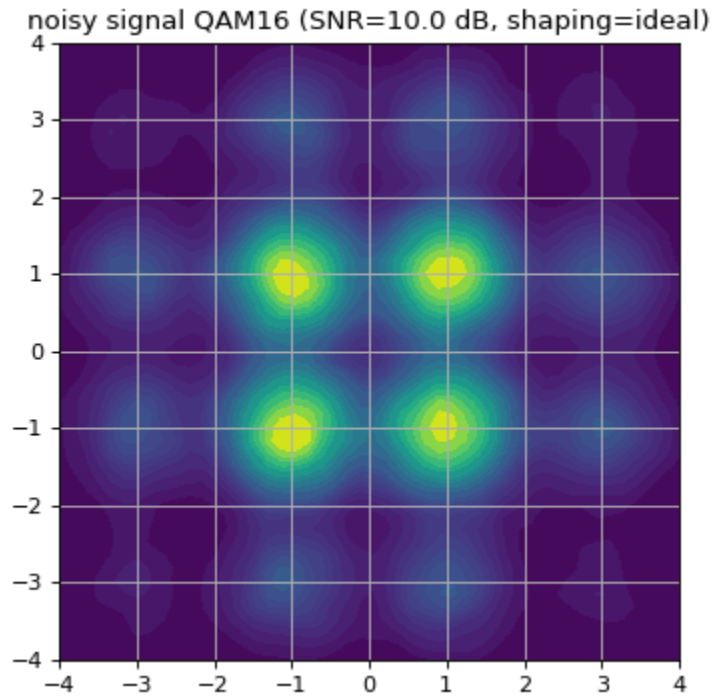
$$\operatorname{erfc} \left(10^{\frac{snr}{20}} \sqrt{\frac{3}{2(M-1)}}\right)$$

– вероятность попасть в соседнюю область (не по диагонали) для угловой точки

Для вывода данной формулы сделано предположение, что шум достаточно мал, что все ошибки связаны с попаданиями в соседние области по вертикали/горизонтали. Вследствие сделанного допущения BER, полученный в результате симуляции при низких SNR для QAM64, оказался выше предсказанного теоретически.

Был реализован вероятностный шейпинг:





Для идеального шейпинга вероятность нуля вычислялась следующим образом. Численным решением уравнения (с  $C$  заданным как 3.5):

$$C = -\sum p(x_k) \log_2 p(x_k)$$

$$p(x_k) \sim e^{-\alpha |x_k|^2} - \text{нормальное распределение}$$

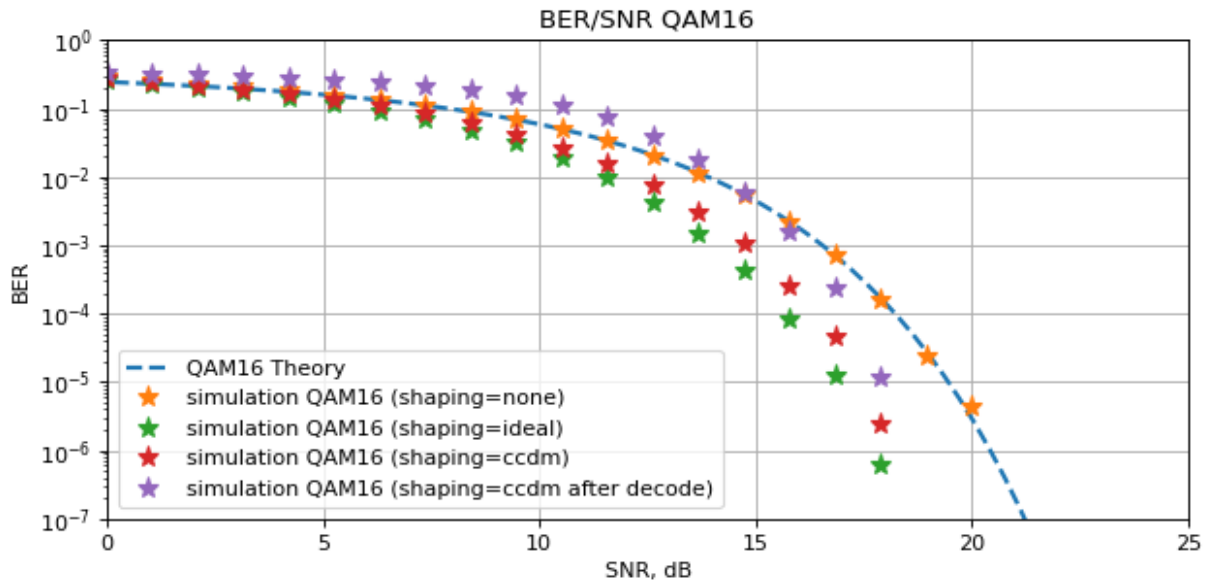
Таким образом получали значение  $\alpha$  с помощью которой получалось значение  $p_0$ :

$$p_0 = \sqrt{p(x_{00})}$$

Для CCDDM был использован код Ковера. Размеры блоков были заданы  $k_{in} = 24, k_{out} = 32; C_{ccdm} = 2 + 2 * \frac{k_{in}}{k_{out}} = 3.5$ .

Для CCDDM можно заметить, что соседние биты скореллированы и  $p_{11} > p_{01} = p_{10}$ , что должно ухудшить результаты.

Ниже приведены результаты симуляции BER/SNR как видно шейпинг дает выигрыш по BER, но код ковера следует сверху еще защитить каким либо помехоустойчивым кодом, иначе как видно возникает большое кол-во ошибок при декодировании.



Чтобы увидеть преимущество шейпинга рассмотрим зависимость пропускной способности канала.

Видно, что шейпинг позволяет немного приблизиться к пределу при низких SNR.

