

Практическое занятие: модуляция и демодуляция QAM сигнала, построение кривых BER/SNR + вероятностный шейпинг

www.huawei.com

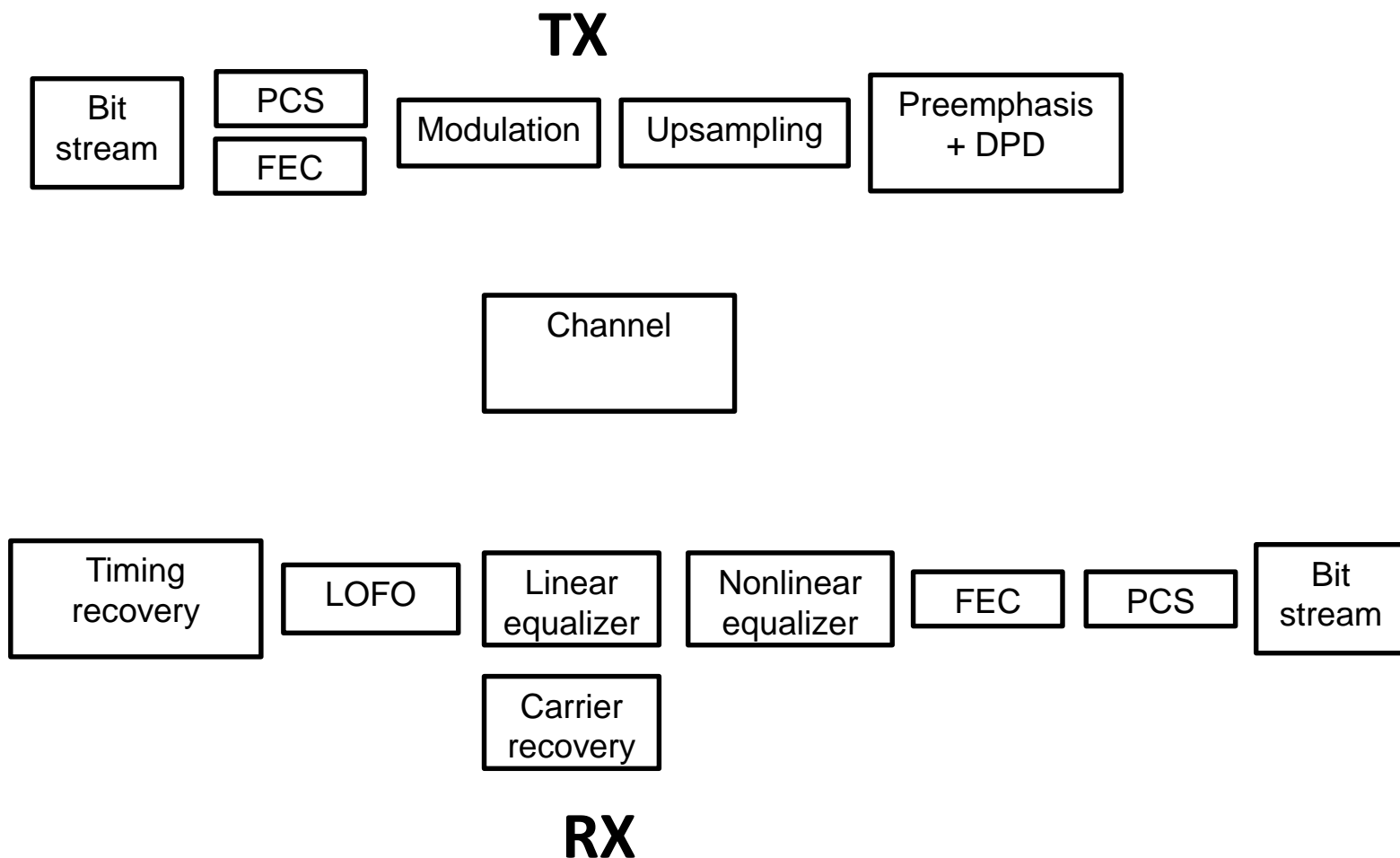
Автор/ Email: Сидельников Глеб / sidelnikov.gleb2@huawei.com

Version: V1.0(20220314)

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.



Общая схема (упрощенная)



Теоретические оценки

В основе теории лежит анализ BPSK

$$\gamma_b := \frac{E_b}{N_0} = \frac{A^2}{N_0} = \frac{d_{min}^2}{4N_0} \quad - \text{Энергия бита к шуму}$$

$$P_b = P\{n > A\} = \int_A^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2/2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2/2}} \quad - \text{BER}$$

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{d_{min}^2}{2N_0}}\right) = Q\left(\frac{d_{min}}{\sqrt{2N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{2\gamma_b}\right)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad - \text{Q-фактор}$$

$$\operatorname{erf} z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt \quad \operatorname{erfc} z = 1 - \operatorname{erf} z,$$

https://www.unilim.fr/pages_perso/vahid/notes/ber_awgn.pdf

E_b/N_0 – также называется SNR per bit

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} \frac{f_b}{B} \quad - \text{Carrier to noise ratio}$$

QPSK – это две ветки BPSK модуляций.
Символьная ошибка выражается через битовую для BPSK

$$P_s = 1 - [1 - Q(\sqrt{2\gamma_b})]^2$$

Энергетика разделена поровну между I и Q компонентами

$$\gamma_s = 2\gamma_b$$

Теоретические формулы для созвездий высокого порядка довольно громоздки, можно воспользоваться упрощенной формулой

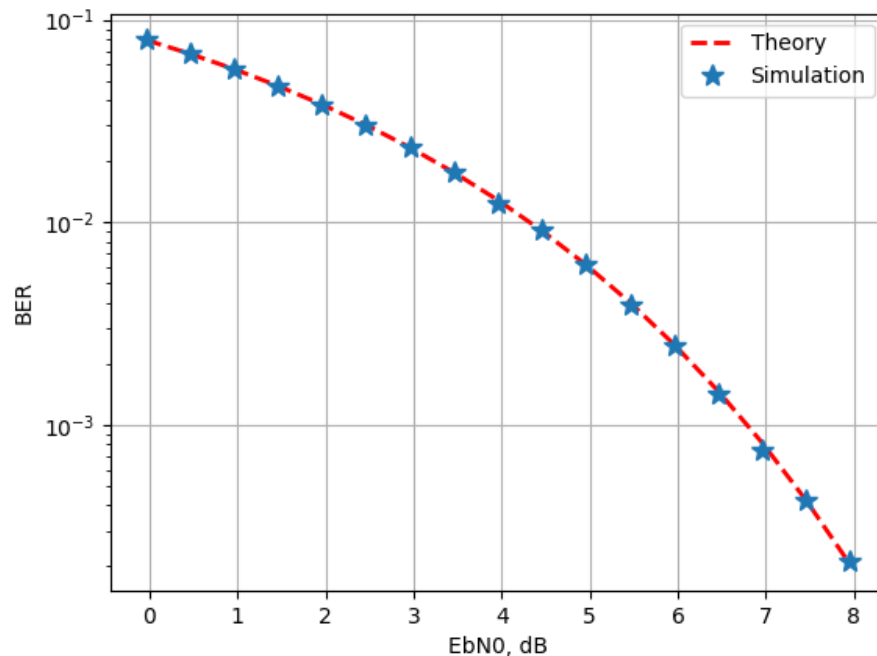
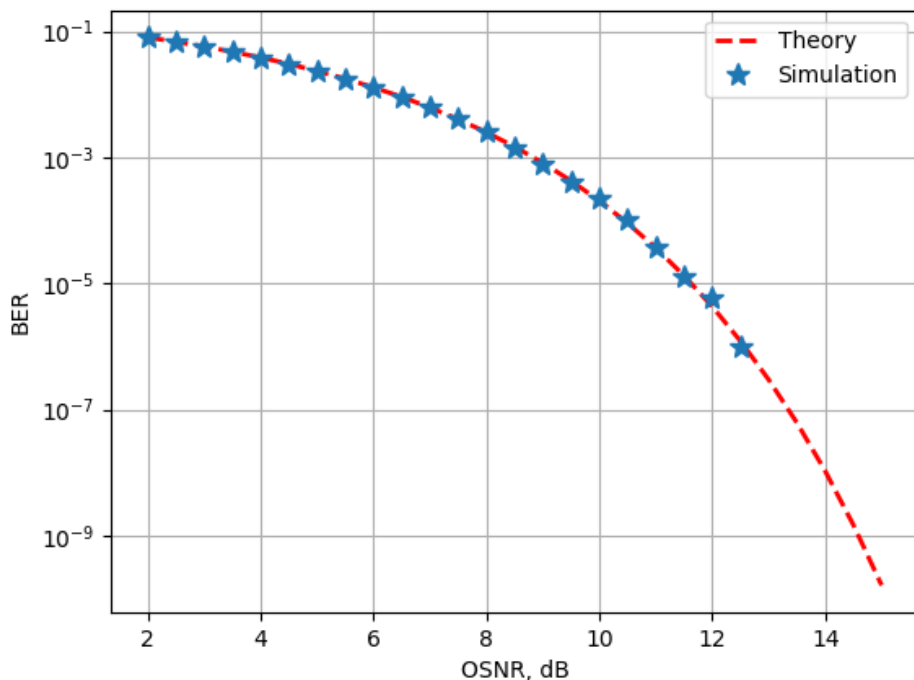
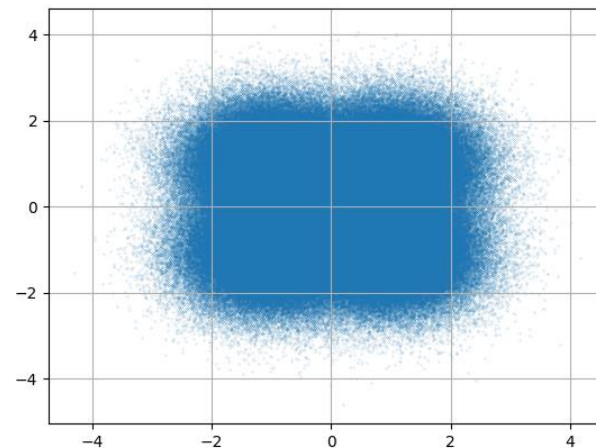
$$P_b\left(\frac{E_b}{N_0}\right) \approx 2 \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \cdot \operatorname{erfc} \left[\sqrt{\frac{3 \log_2(M)}{2(M-1)}} \cdot \frac{E_b}{N_0} \right]$$

Теоретические оценки

Оптический SNR

$$OSNR = SNR + 10\log_{10}(F/12.5GHz)$$

$$EbN0 = \frac{SNR}{\log_2(M)} = \frac{OSNR - 10\log_{10}(F/12.5GHz)}{\log_2(M)}$$

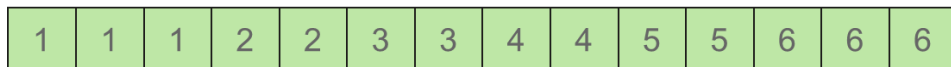


Upsampling

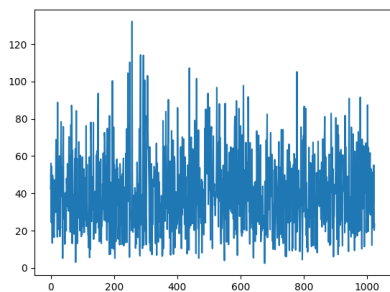
Апсемплинг с перекрытием, возможность сразу применить согласованный фильтр



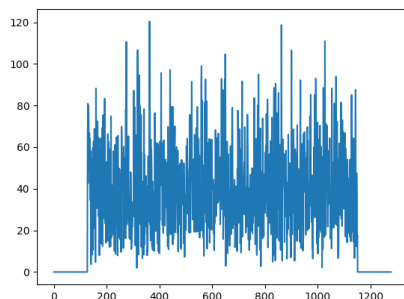
Block Summation with 2 overlapping, block size lb



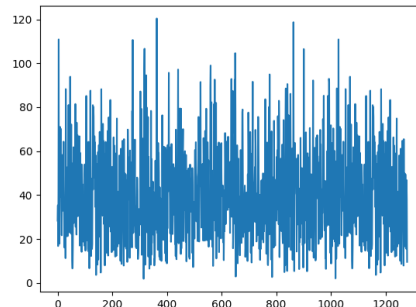
FFT



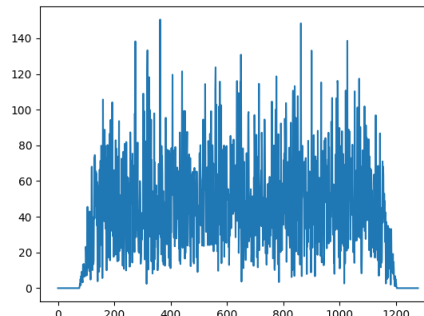
Добавление нулей по краям



Заменяем нули копией сигнала



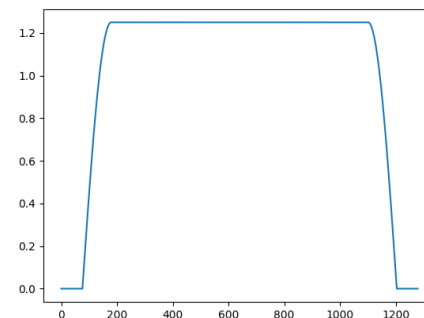
Накладываем согласованный фильтр



В частотной области фильтр с преподнятым косинусом

$$H(f) = \begin{cases} 1, & |f| \leq \frac{1-\beta}{2T} \\ \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi T}{\beta} \left[|f| - \frac{1-\beta}{2T} \right] \right) \right], & \frac{1-\beta}{2T} < |f| \leq \frac{1+\beta}{2T} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

RRC представляет собой квадратный корень RC фильтра в частотной области



Добавление шума

$$X_n = 10^{-SNR/10} \cdot (N(0,1) + i \cdot N(0,1)) \cdot \sqrt{P_s/2} \cdot \sqrt{n_{ups}}$$

$N(0,1)$ - Нормальное распределение

n_{ups} - upsampling rate

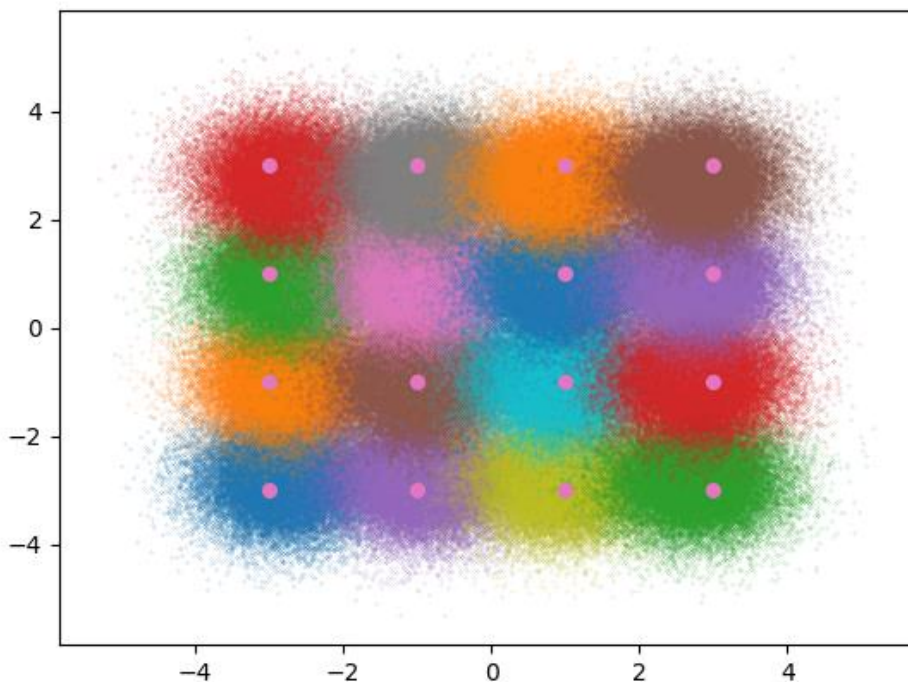
P_s – мощность сигнала

Схема добавления шума



Влияние эквализации

Адаптивный эквалайзер, основанный на методе минимизации среднеквадратичной ошибки, дает смещенную оценку, т.е. мат. ожидание облака точек, соответствующего конкретной точке созвездия будет смещено.



Коэффициенты LS

$$\vec{c} = (V^H V)^{-1} V^H \vec{X}$$

Предположим, что в модельной матрице есть аддитивный шум

$$V(X + X_n) = V(X) + V(X_n) = V_x + V_n$$

$$\vec{c} = (V_x^H V_x + \cancel{V_x^H V_n} + \cancel{V_n^H V_x} + V_n^H V_n)^{-1} \cdot (V_x^H \vec{X} + \cancel{V_n^H \vec{X}})$$

В случае AWGN поправить ошибку можно нормировочным коэффициентом

$$\overrightarrow{c_{scale}} = (X^H Y)^{-1} X^H \vec{X}$$

Вероятностный шейпинг

Оптимальным распределением вероятностей при фиксированной пропускной способности является распределение Максвелла-Больцмана

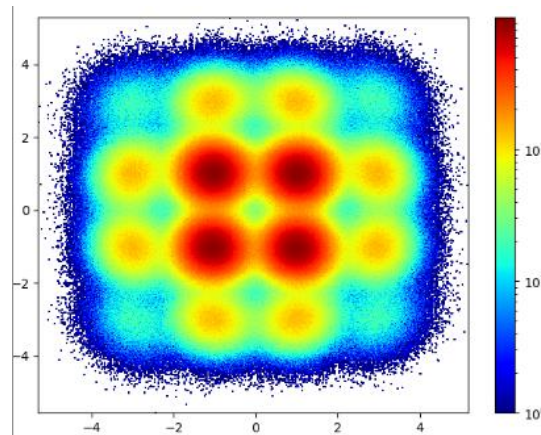
$$p(x) = e^{-\alpha|x|^2} \quad C = - \sum_{k=1}^K p(x_k) \log_2(p(x_k))$$

$$f(\alpha) = -C + \sum_{k=1}^K \alpha \cdot e^{-\alpha|x_k|^2} |x_k|^2 \log_2(e)$$

Коэффициент альфа можно определить, например, методом бисекции, как нахождение нуля следующей функции.

В случае применения CCDM для 16 QAM пропускная способность напрямую определяет параметры шейпинга

$$C_{ccdm} = 2 + 2 \frac{k_{inp}}{k_{out}}$$



Задание

- Построить графики BER/EbN0, BER/OSNR для созвездий 16QAM и 64QAM. Сравнить результат с теоретической формулой. (Включить ресемплинг, опционально использовать эквалайзер и комплексную нормализацию)
- Реализовать вероятностный шейпинг для 16QAM, 3.5 бит/символ. (Идеальный или CCDFM).

Thank you

www.huawei.com

Copyright©2011 Huawei Technologies Co., Ltd. All Rights Reserved.

The information in this document may contain predictive statements including, without limitation, statements regarding the future financial and operating results, future product portfolio, new technology, etc. There are a number of factors that could cause actual results and developments to differ materially from those expressed or implied in the predictive statements. Therefore, such information is provided for reference purpose only and constitutes neither an offer nor an acceptance. Huawei may change the information at any time without notice.