

Методология моделирования.

*Крюков Яков Владимирович
к.т.н., доцент каф. ТОР, ТУСУР
Email: kryukov.tusur@gmail.com*

Фундаментальный вопрос моделирования

- Как сопоставить реальный объект с его моделью?

Полностью описать все свойства
исследуемого объекта

- Дорого
- Времязатратно
- Сложно



Описать свойства исследуемого
объекта с требуемым приближением
(управляемое приближение)

- Поиск компромисса

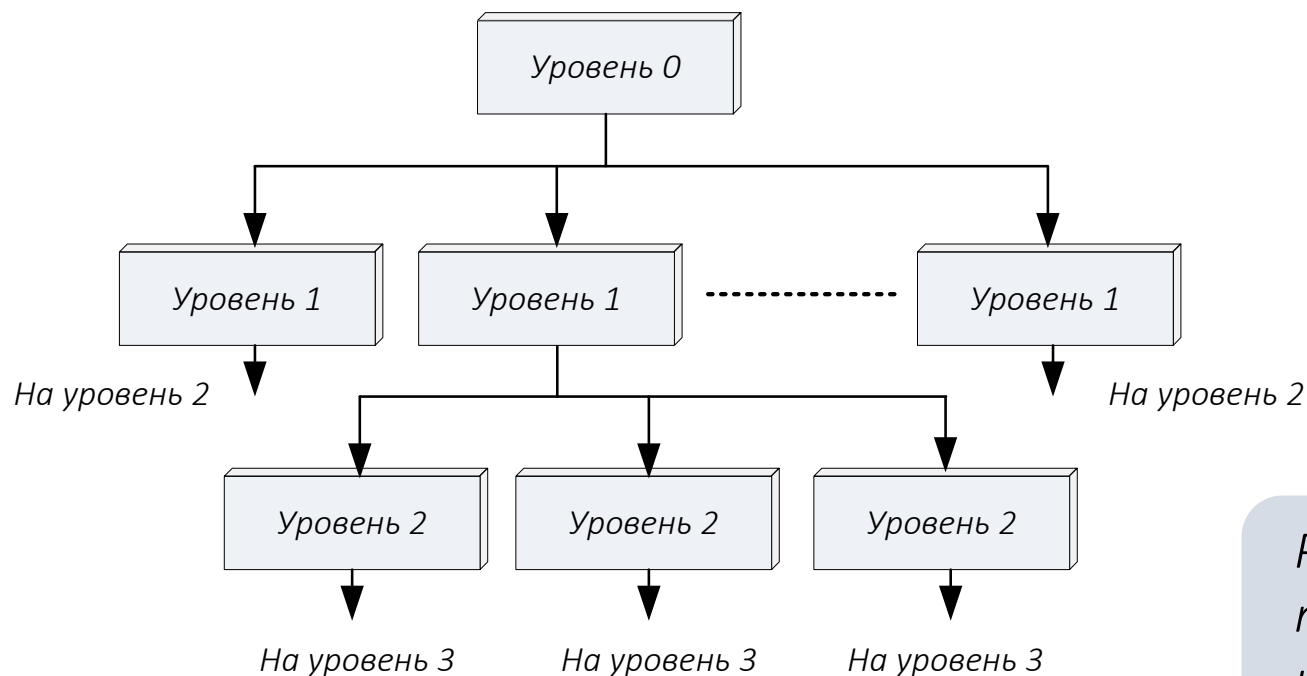


Базовые принципы моделирования

- Модель всегда описывает процесс с некоторой степенью приближения.
- Чем выше степень приближения (точность), тем сложнее модель, тем больше время расчета.

Цель – получить максимальную точность при минимальной сложности.

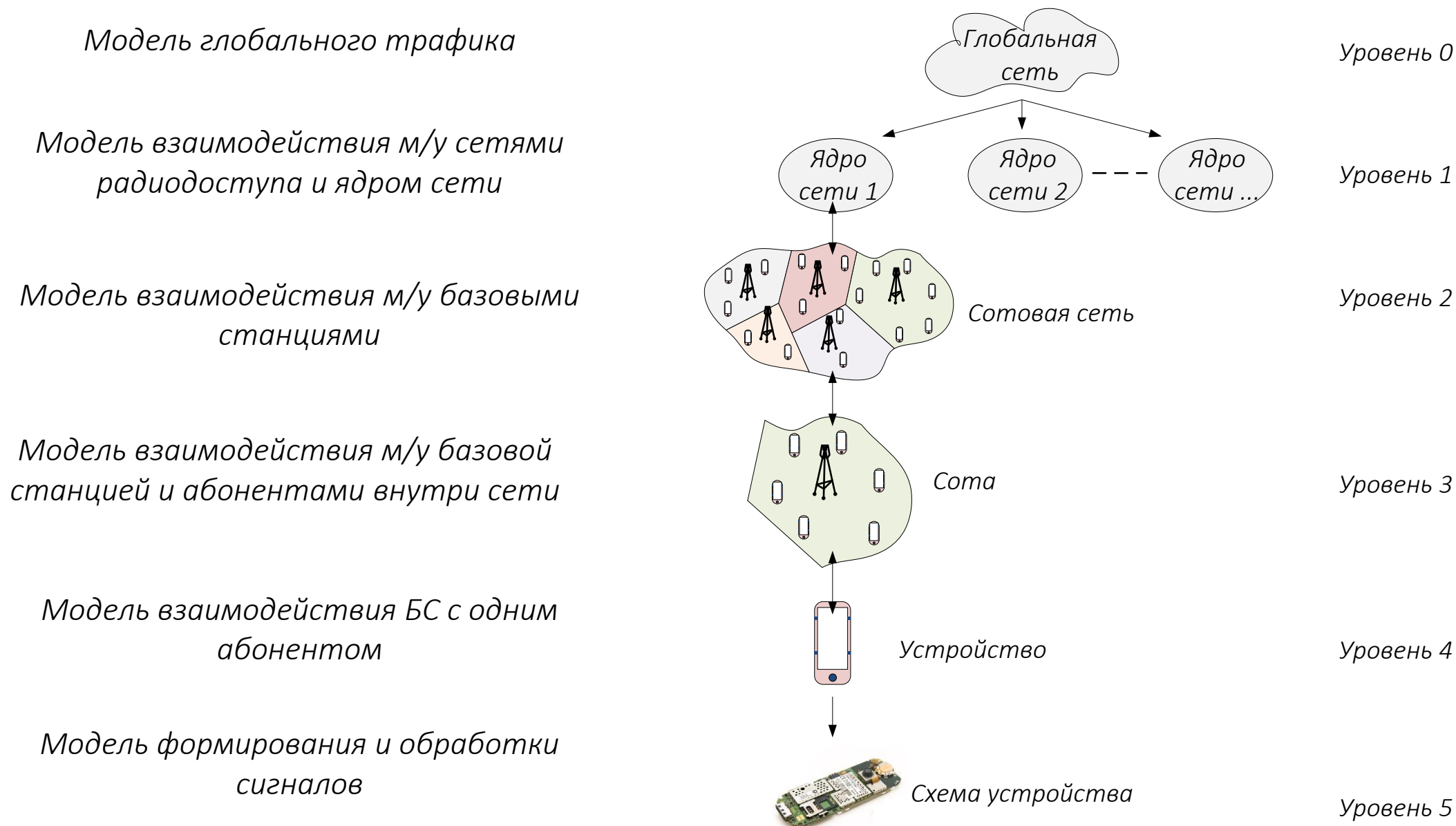
т.е. найти компромисс (!)



Иерархическая структура систем связи

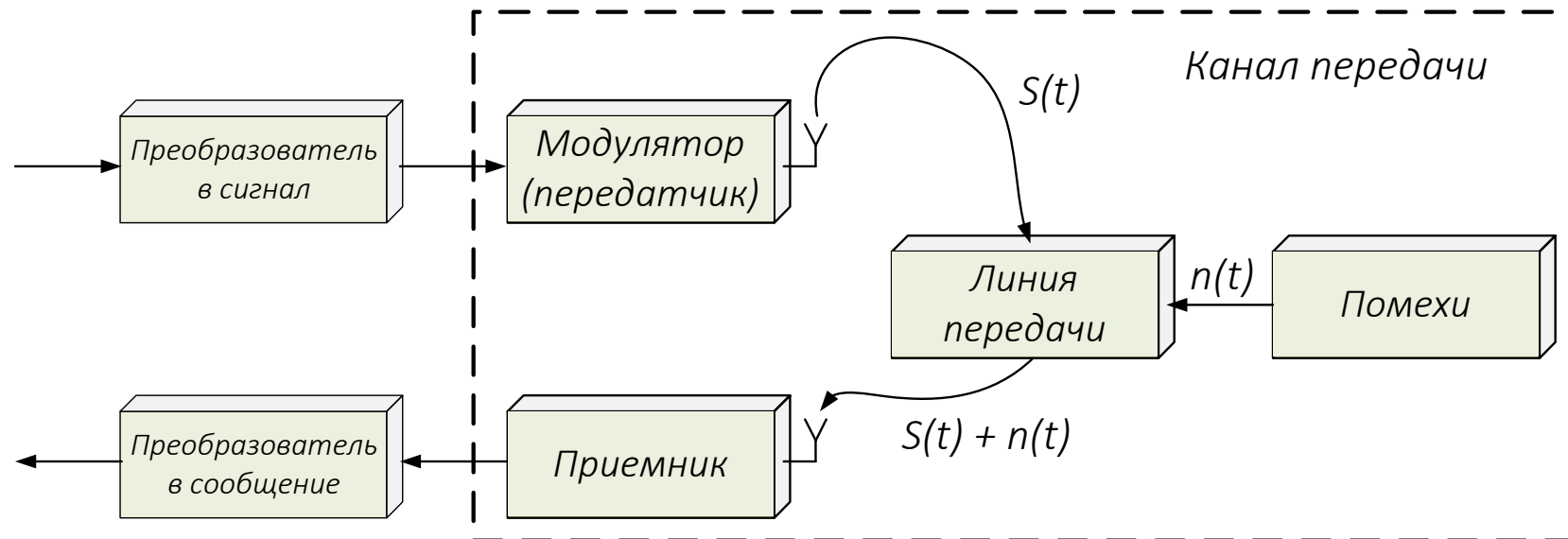
Разделение системы на множество сложных подсистем, каждую из которых разделяем на множество подсистем попроще и т.д.

Разделение системы на уровни



Допущения при моделировании систем связи

- Идеальная синхронизация
- Идеальная оценка характеристик канала передачи -> идеальное эквалайзирование
- Идеальная элементная база
- Использование статичного канала
- и т.д.



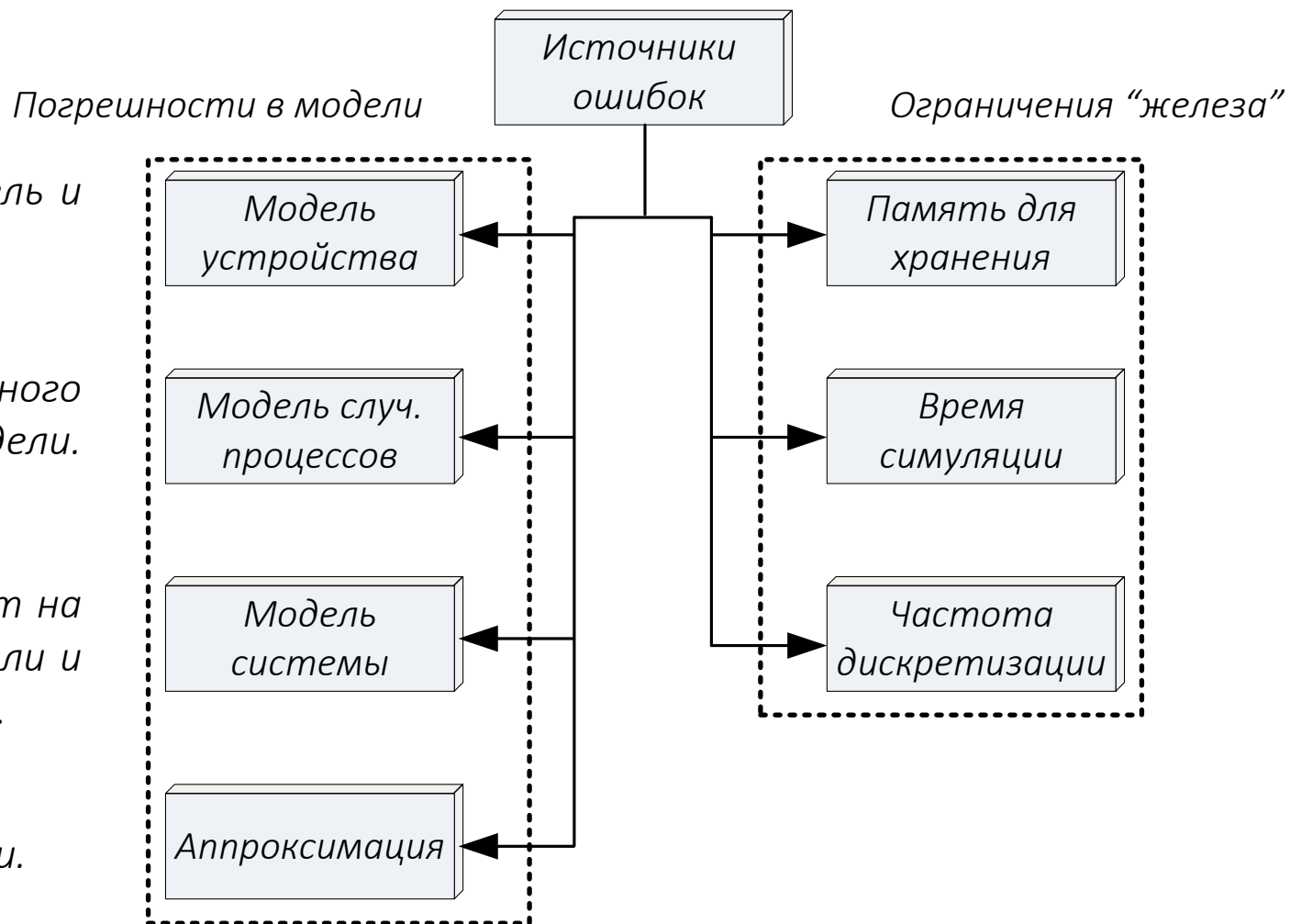
Источники ошибок в моделировании

Неточная модель устройства (фильтр, усилитель и т.д.). Применение приближения.

Упрощения в модели. Не совпадения реального случайного процесс его эквивалентной модели. Неидеальный генератор случайных чисел.

Упрощения в модели. Замена реальных компонент на эквивалентные идеальные (генераторы, усилители и т.д.). Замена нелинейных элементов на линейные.

Степень приближения. Алгоритмы аппроксимации.



Метрики производительности в связи

- Метрики помех

$$SNR, E_b/N_0$$

(сигнал / шум)

- Метрики производительности

$BER, EVM, BLER, SER$

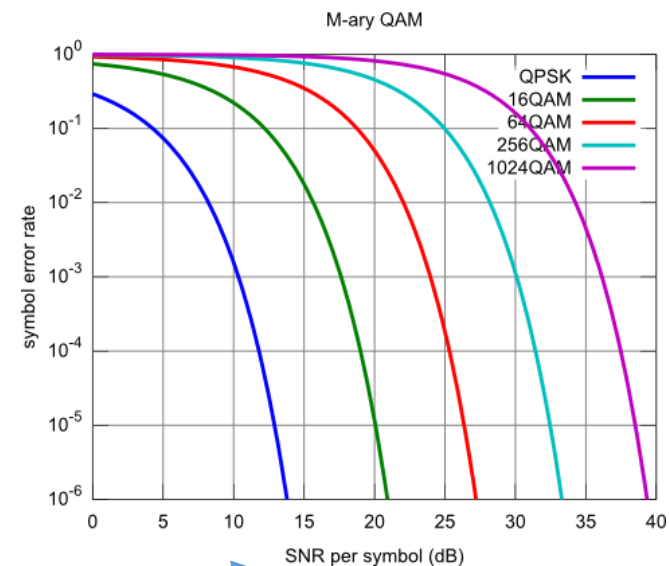
(вероятность неверного приема)

$$SNR = 10 \lg \frac{P}{N}$$

- мощность сигнала
- мощность шума

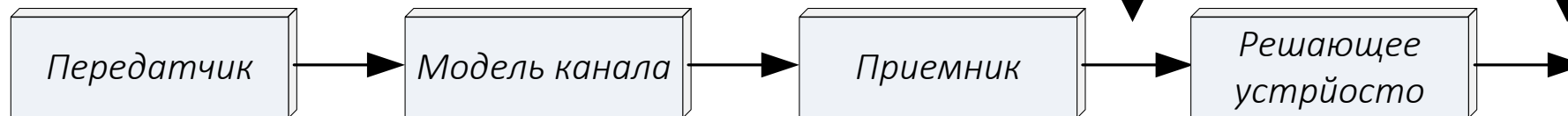
$$BER = \frac{B_{err}}{B}$$

- кол-во ошиб. бит
- Общее кол-во бит



Измерение уровня
помехи на входе

Измерение
производительности
на выходе



Собственные шумы
передатчика

Искажения в
канале

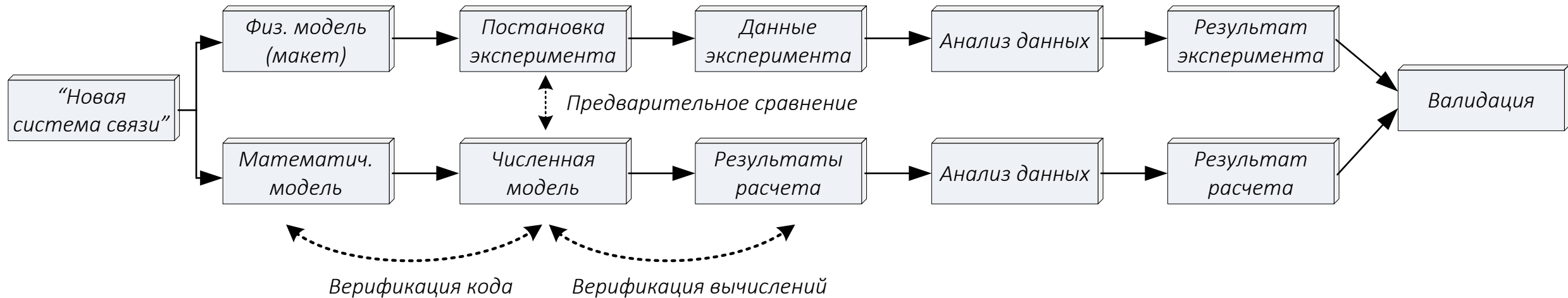
Собственные шумы
приемника

Верификация и валидация

- Верификация – установление соответствия между численной и математической моделью.

(вычисления, программный код)

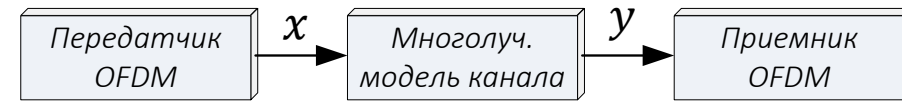
- Валидация – опред. степени соответствия расчетной модели реальному физическому объекту.



Этапы моделирования

1. Определение цели моделирования
2. Разработка концептуальной модели
3. Формализация модели
4. Разработка программного кода
5. Верификация модели
6. Планирование модельных экспериментов
7. Моделирование
8. Анализ результатов
9. Валидация модели

Оценка помехоустойчивости OFDM сигналов



$$y(i) = x(i) \otimes \mathbf{H} + n(i)$$

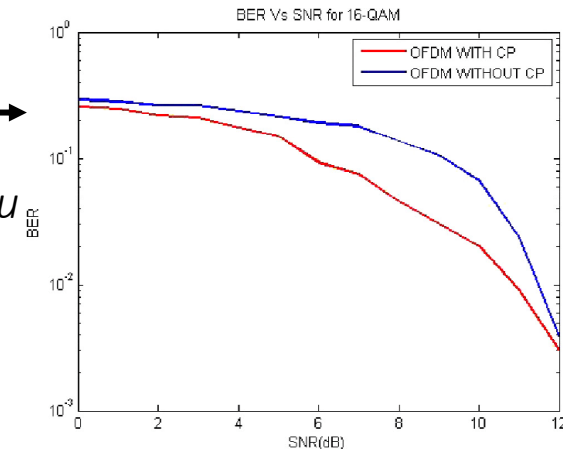
for $i = 1:N$ { ... } end

for $i = 1 : N - 1$ { ... } end

Получить зависимость BER от канальных коэф. \mathbf{H}

Симуляция 10000 раз

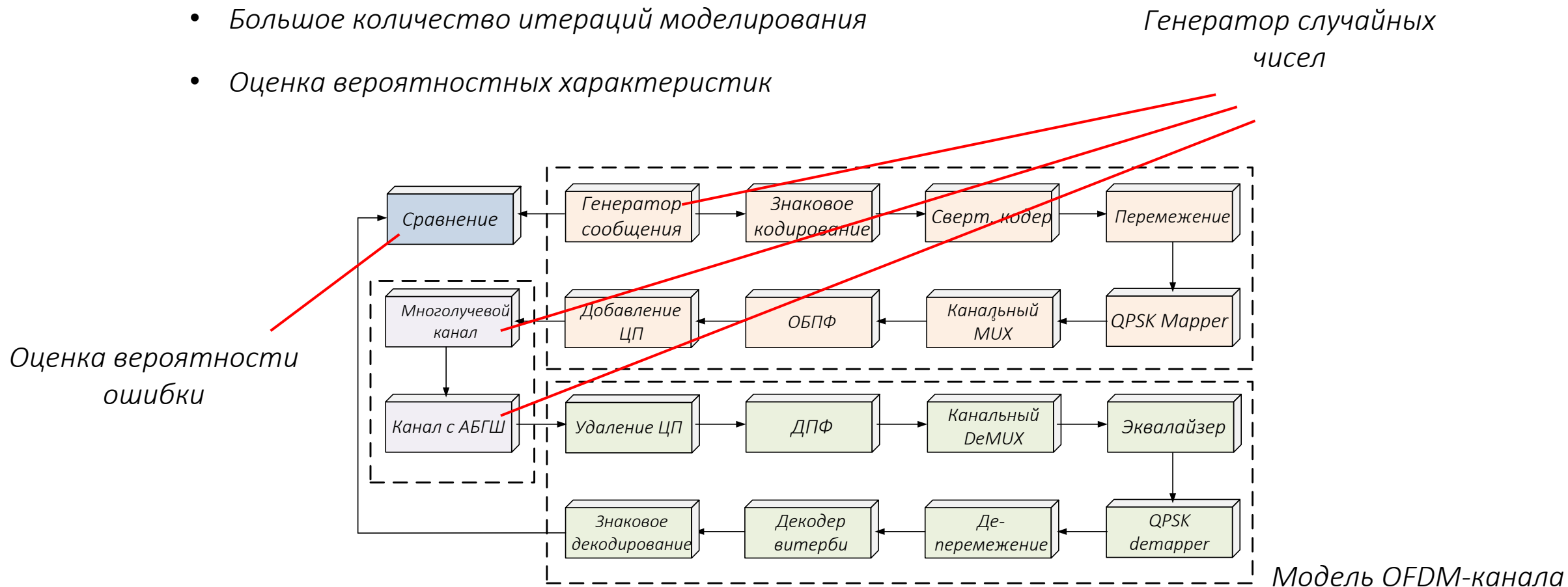
Проверка адекватности модели
(проведение эксперимента)



Моделирование методом Монте Карло

Метод Монте Карло – самый популярный метод для моделирования систем связи.

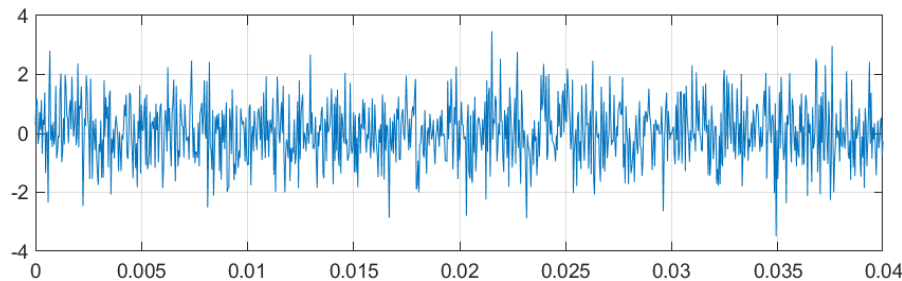
- Использование генератора случайных чисел
- Большое количество итераций моделирования
- Оценка вероятностных характеристик



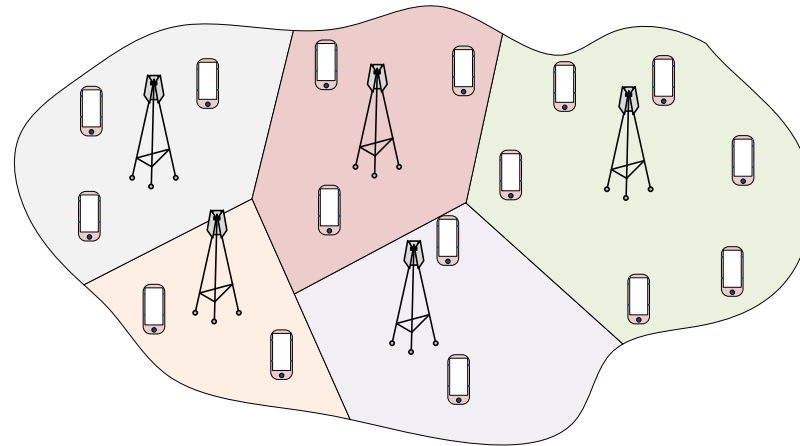
Моделирование случайных процессов

- Случайные процессы в моделях системах связи

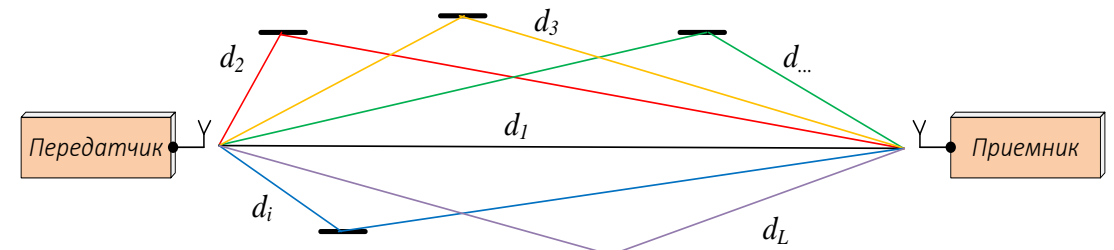
1) Аддитивный шум (тепловой, фазовый и т.д.)



3) Расположение абонентов в соте, время отправки сообщения и т.д.

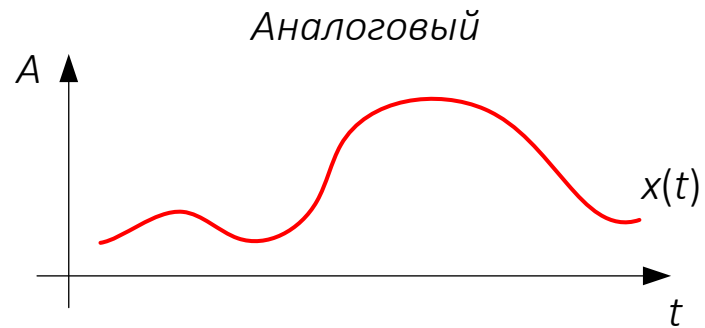


2) Параметры канала передачи (канальные коэффициенты, затухание и т.д.)



- Для моделирования случайных процессов используется генератор случайных чисел или реальный случайный процесс заменяется эквивалентным.

Аналоговый (непрерывный)



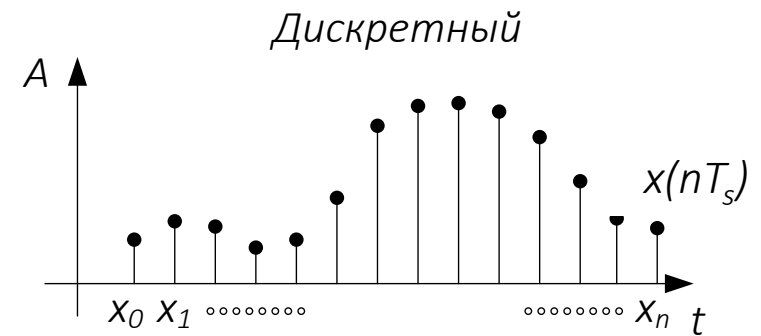
Любой волновой процесс в природе

(световая волна, звуковая волна,
механическая волна и т.д.)



Аналитический расчет

Дискретный

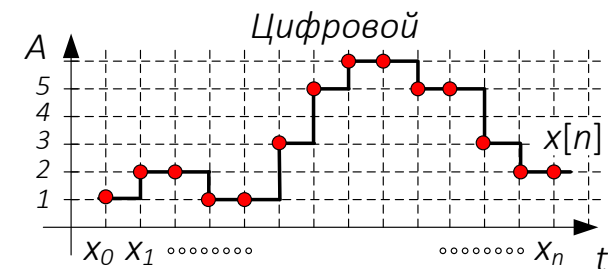
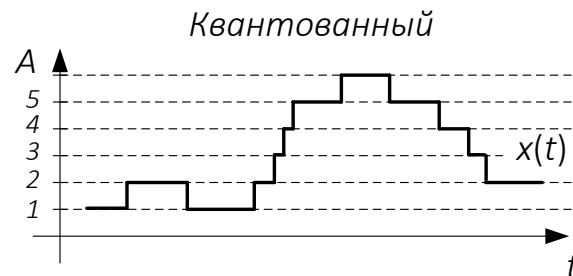
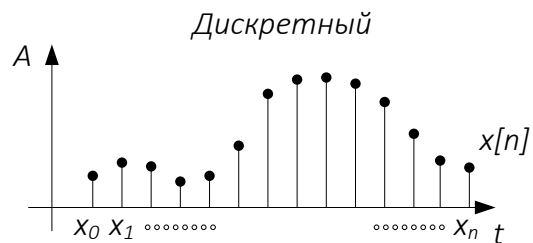
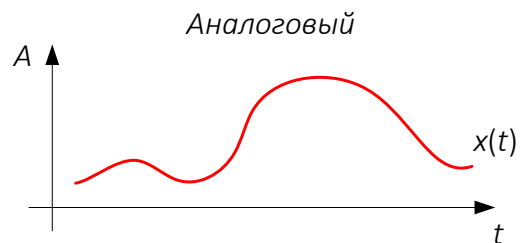


В цифровой технике



Моделирование

Дискретизация сигналов



Вход:

- Теорема Котельникова:

$$F_s \geq 2F$$

F_s – частота дискретизации
 F – полоса сигнала

- Частота Найквиста:

$$F_s = 2F$$

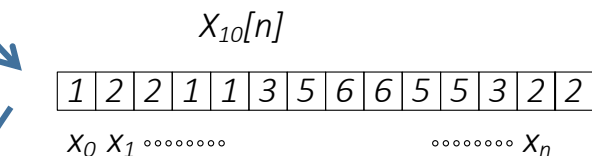
- Временной шаг:

$$T_s = 1/F_s$$

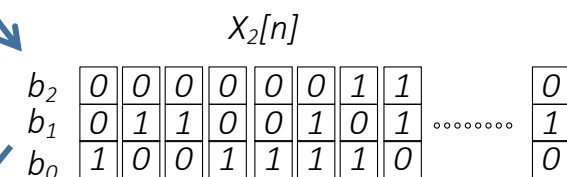
- Шум квантования:

$$\sigma^2 = \frac{q^2}{12}$$

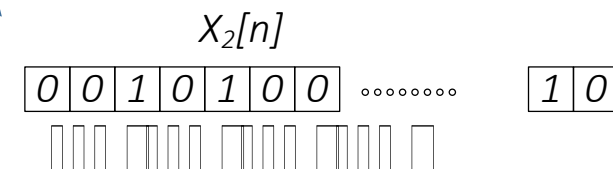
q – интервал квантования



Кодирование



Выход:

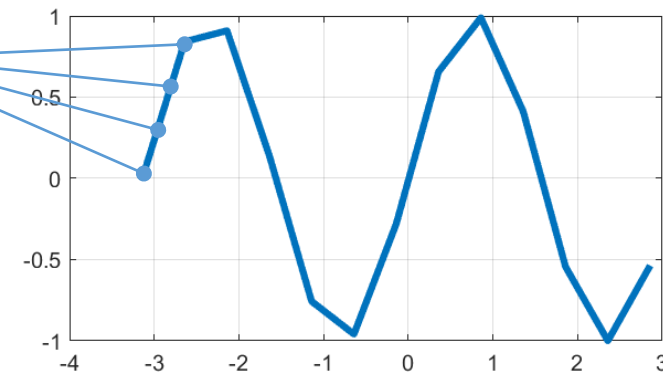


Представление синусоидального сигнала

```
x(:,1)=-pi:0.5:pi;  
s(:,1) = sin(2*x);
```

Программный код (Matlab)

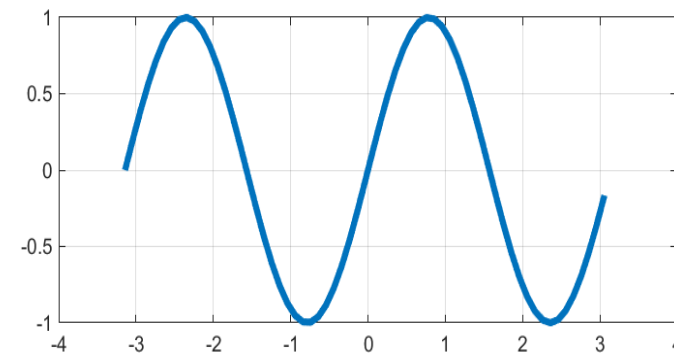
<i>m</i>	<i>x =</i>	<i>s =</i>
1	-3.14159265358979	0
2	-2.64159265358979	0.841470984807897
3	-2.14159265358979	0.909297426825682
4	-1.64159265358979	0.141120008059867
5	-1.14159265358979	-0.756802495307928
6	-0.641592653589793	-0.958924274663138
7	-0.141592653589793	-0.279415498198926
8	0.358407346410207	0.656986598718789
9	0.858407346410207	0.989358246623382
10	1.35840734641021	0.412118485241756
11	1.85840734641021	-0.544021110889370
12	2.35840734641021	-0.999990206550704
13	2.85840734641021	-0.536572918000435



Синусоида на графике

Отсчеты синусоиды
(13 отсчетов)

Повышение частоты дискретизации в 4 раза:
(63 отсчета)



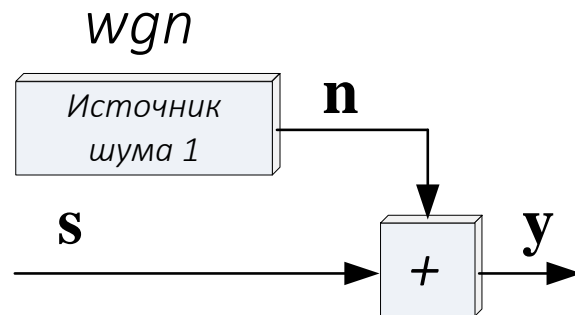
Синусоида на графике

Добавление шума на синусоиду

- Математическое описание модели: $y = s + n$

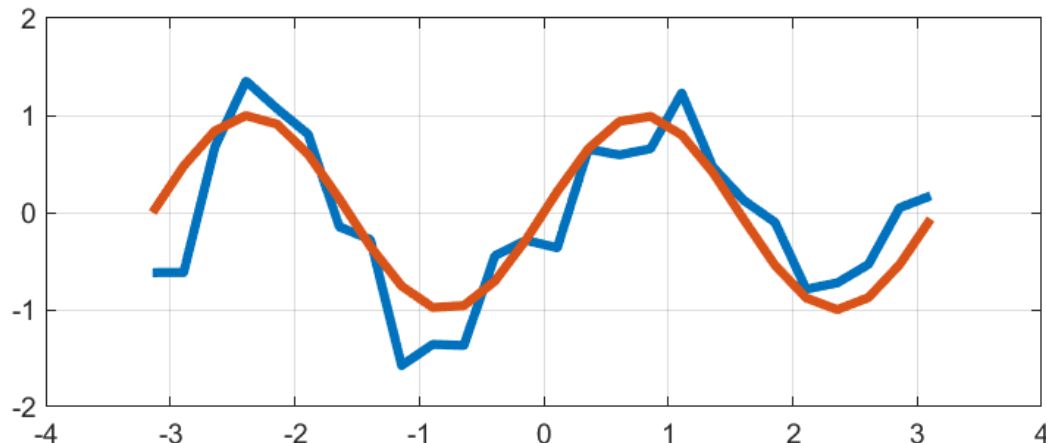
$$n \sim N(0, 0.25)$$

- Схема модели:



- Программный код:

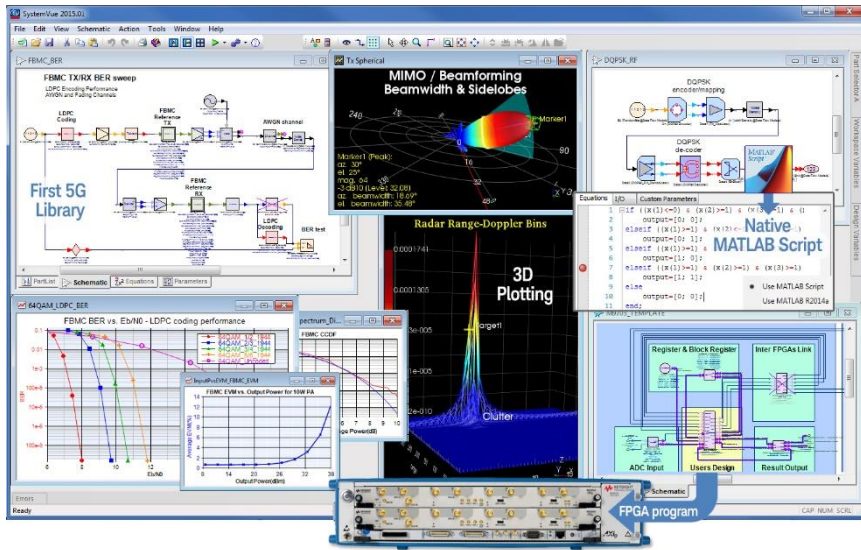
```
x(:,1)=-pi:0.25:pi;  
s(:,1) = sin(2*x);  
n(:,1) = wgn(1,length(s),0.25,'linear');  
y=s+n;
```



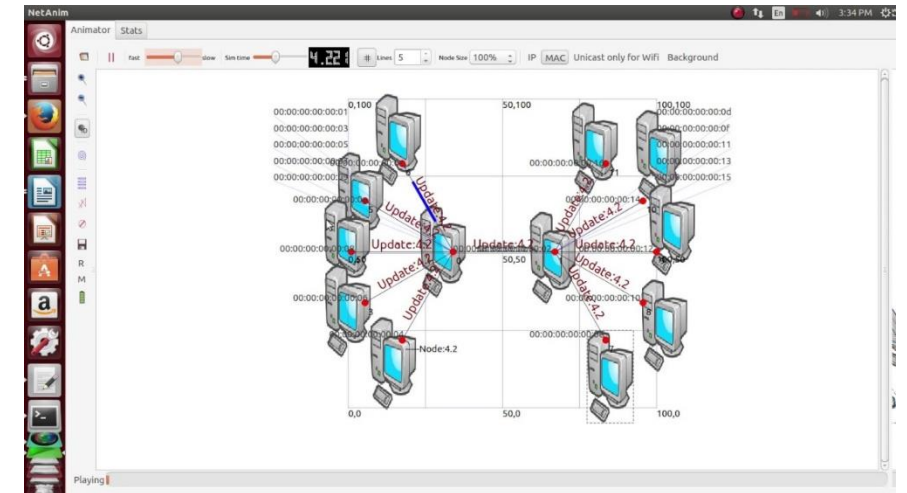
Внутри программы

m	$s =$	$n =$	$y =$
1	0	-0.618559842331315	-0.618559842331315
2	0.479425538604203	-1.09674713941730	-0.617321600813100
3	0.841470984807897	-0.166703533631867	0.674767451176030
4	0.997494986604054	0.356771651282030	1.35426663788608
5	0.909297426825682	0.158703866617248	1.06800129344293
6	0.598472144103956	0.206805195146565	0.805277339250521
7	0.141120008059867	-0.288542791818970	-0.147422783759103
8	-0.350783227689620	0.0720009007022324	-0.278782326987388
9	-0.756802495307928	-0.819332864966944	-1.57613536027487
10	-0.977530117665097	-0.380044999317634	-1.35757511698273
11	-0.958924274663138	-0.409396548125128	-1.36832082278827
12	-0.705540325570392	0.259864444066810	-0.445675881503582
13	-0.279415498198926	-0.00708002954860235	-0.286495527747528
14	0.215119988087816	-0.577764684143621	-0.362644696055805
15	0.656986598718789	-0.00476245804908278	0.652224140669707
16	0.937999976774739	-0.344905268815855	0.593094707958884
17	0.989358246623382	-0.333349576800582	0.656008669822800
18	0.798487112623490	0.432074710582563	1.23056182320605
19	0.412118485241756	0.0567097181134339	0.468828203355190
20	-0.0751511204618096	0.199181423082997	0.124030302621188
21	-0.544021110889370	0.441984945117335	-0.102036165772035
22	-0.879695759971670	0.0901288469935234	-0.789566912978147
23	-0.999990206550704	0.275427261028735	-0.724562945521968
24	-0.875452174688428	0.341482138055969	-0.533970036632460
25	-0.536572918000435	0.585304330017802	0.0487314120173673
26	-0.0663218973512005	0.237930293639171	0.171608396287971

Некоторые ПО для моделирования

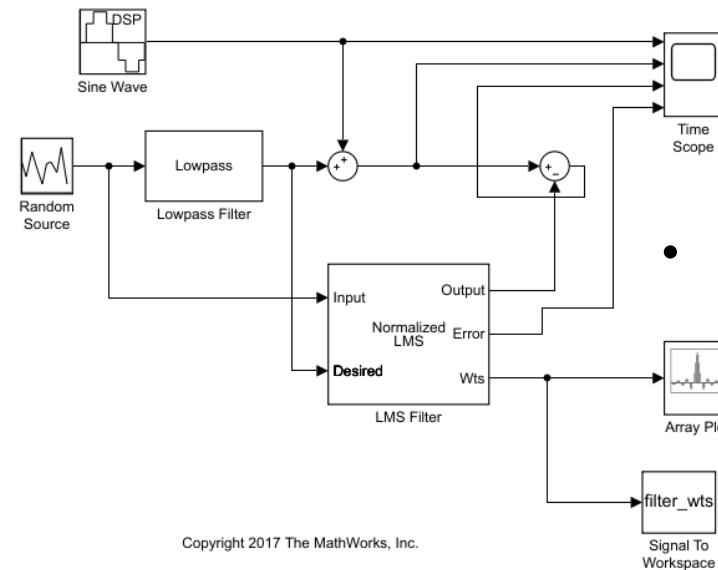


- SystemVue



- NS-3 Симулятор

- Matlab (Octave)



- Simulink (matlab)

Резюмируем

- Чем выше точность оценки производительности системы, тем сложнее мат. модель.
 - Поэтому, удобно разбить сложную модель на более простые функциональные блоки и уровни.
 - При моделировании можно использовать допущения, которые не влияют на результаты.
 - Любая мат. модель должна проходить этапы верификации и валидации.
 - Чаще всего при моделировании систем связи требуется получить зависимость вероятности ошибки (BER, SER, BLER) от условий в канале передачи (SNR, E_b/N_0 , SINR).
 - Чаще всего для этого применяется метод моделирования Монте Карло.
-
- При моделировании мы всегда работаем с дискретными сигналами и системами, потому что невозможно моделировать аналоговый процесс с помощью цифровой техники.
 - Удобно изображать функции системы в мат. модели в виде блоков, где каждый блок – это конкретная процедура (или математическая операция) в системе связи.
 - При моделировании в любом программном обеспечении все сигналы – это сигнальные вектора или сигнальные матрицы. А процесс моделирования сводится к операциям над матрицами.