

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Кафедра телекоммуникационных систем и вычислительных средств  
(ТС и ВС)

Лабораторная работа № 3  
По дисциплине  
«Корреляция дискретных сигналов.»

Студент:

*Группа № ИА331*

Р. К. Рубцов

Преподаватель:

В. Г. Дроздова

Новосибирск 2025 г.

### Цель занятия:

- Получить представление о том, что такое корреляционная функция и нормализованная взаимная корреляционная функция, как они вычисляются и какое отношение имеют к процедурам синхронизации в сетях мобильной связи.

### Краткие теоретические сведения:

- **Корреляция** – это статистическая зависимость двух и более случайных величин. Корреляционная взаимосвязь в случае с сетями мобильной связи и используемыми в них радиосигналами позволяет обнаруживать сигналы синхронизации для того, чтобы с их помощью корректно разбивать ось времени на интервалы, предусматриваемые стандартами связи (например, слоты, кадры и пр.).
- **Положительная корреляция** - когда два процесса на прямую зависят друг от друга.
- **Отрицательная корреляция** - свидетельствует об обратной взаимосвязи процессов
- **Нейтральная корреляция** - когда явная взаимосвязь между процессами отсутствует (курс \$\$\$)

### Используемые формулы:

$$Corr_{x,y} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n y_n \quad (3.2)$$

Формула корреляции (3.2)

$$Corr_{x,y} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} x_n y_n}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} x_n^2 \sum_{n=0}^{N-1} y_n^2}} \quad (3.3)$$

Формула нормализованной корреляции (3.2)

Вариант 20

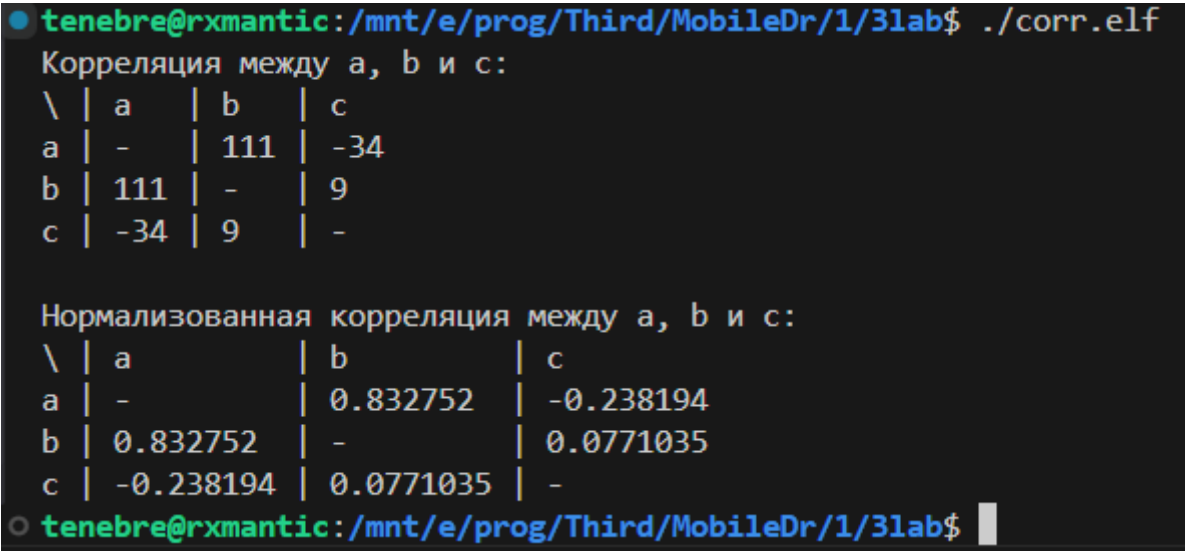
20		$\begin{aligned} a &= [8 \ 3 \ 7 \ 2 \ -2 \ -4 \ 1 \ 4] \\ b &= [4 \ 2 \ 5 \ -1 \ -3 \ -7 \ 2 \ 1] \\ c &= [-1 \ 0 \ -3 \ -9 \ 2 \ -2 \ 5 \ 1] \end{aligned}$
20		$\begin{aligned} a(t) &= 2s_1(t) + 4s_2(t) + s_3(t) \\ b(t) &= s_1(t) + 1/3 * s_2(t) \end{aligned}$

### Порядок выполнения работы:

1. Напишите на языке C/C++ функцию вычисления корреляции и нормализованной корреляции между массивами a, b и c, заданными в таблице 2, согласно варианту, используя формулы (3.2) и (3.3). Номер варианта – порядковый номер в журнале группы.

```
1. using namespace std;
2.
3. // Ф-ия для расчёта корреляции
4. double corr(const vector<int>& arr1, const vector<int>& arr2) {
5.     double sum = 0.0;
6.     for (size_t i = 0; i < arr1.size(); ++i) {
7.         sum += arr1[i] * arr2[i];
8.     }
9.     return sum;
10. }
11. // Ф-ия для расчёта нормализованной корреляции
12. double norm_corr(const vector<int>& arr1, const vector<int>& arr2) {
13.     double sum1 = 0.0;
14.     double sum2 = 0.0;
15.     double sum3 = 0.0;
16.
17.     for (size_t i = 0; i < arr1.size(); ++i) {
18.         sum1 += arr1[i] * arr2[i];
19.         sum2 += arr1[i] * arr1[i];
20.         sum3 += arr2[i] * arr2[i];
21.     }
22.
23.     return sum1 / sqrt(sum2 * sum3);
24. }
25.
```

2. Выведите в терминале полученные значения в виде таблицы: Корреляция между a, b и c:



```
tenebre@rxmantic:/mnt/e/prog/Third/MobileDr/1/3lab$ ./corr.elf
Корреляция между a, b и c:
\ | a | b | c
a | - | 111 | -34
b | 111 | - | 9
c | -34 | 9 | -

Нормализованная корреляция между a, b и c:
\ | a | b | c
a | - | 0.832752 | -0.238194
b | 0.832752 | - | 0.0771035
c | -0.238194 | 0.0771035 | -
tenebre@rxmantic:/mnt/e/prog/Third/MobileDr/1/3lab$
```

3. – 5. Используя Matlab определите корреляцию и нормализованную корреляцию между сигналом  $s_1(t)$  и сигналами a и b.

```
1. %% 3 - 5 задания
2. t = linspace(0, 3, 3000);
3.
4. f1 = 20; % Мой порядковый номер в журнале
5. f2 = 24; % Мой порядковый номер в журнале + 4
```

```

6. f3 = 41; % Мой порядковый номер в журнале * 2 + 1
7.
8. s1_t = cos(2*pi*f1*t);
9. s2_t = cos(2*pi*f2*t);
10. s3_t = cos(2*pi*f3*t);
11.
12. a_t = 2*s1_t + 4*s2_t + s3_t;
13. b_t = s1_t + 1/3*s2_t;
14.
15. cor_sa = corr(s1_t, a_t);
16. cor_sb = corr(s1_t, b_t);
17.
18. norm_cor_sa = normcorr(s1_t, a_t);
19. norm_cor_sb = normcorr(s1_t, b_t);
20.
21. fprintf("Корелляция S(t) и a(t): %.4f\n", cor_sa);
22. fprintf("Корелляция S(t) и b(t): %.4f\n", cor_sb);
23. fprintf("Нормализованная корелляция S(t) и a(t): %.4f\n", norm_cor_sa);
24. fprintf("Нормализованная корелляция S(t) и b(t): %.4f\n", norm_cor_sb);
Корелляция S(t) и a(t): 3006.0000
Корелляция S(t) и b(t): 1500.8333
Нормализованная корелляция S(t) и a(t): 0.4370
Нормализованная корелляция S(t) и b(t): 0.9487
>> |

```

6. Возьмите два массива значений и выведите их на графиках друг под другом
7. Сдвигайте последовательность b поэлементно вправо и на каждом шаге сдвига вычисляйте значение взаимной корреляции между a и сдвинутой последовательностью b. Постройте зависимость взаимной корреляции последовательностей от величины циклического сдвига. Определите значение сдвига, при котором достигается максимальная корреляция. Нарисуйте графики a и b, сдвинутой на величину, где зафиксирована максимальная корреляция. Сформулируйте выводы.

```

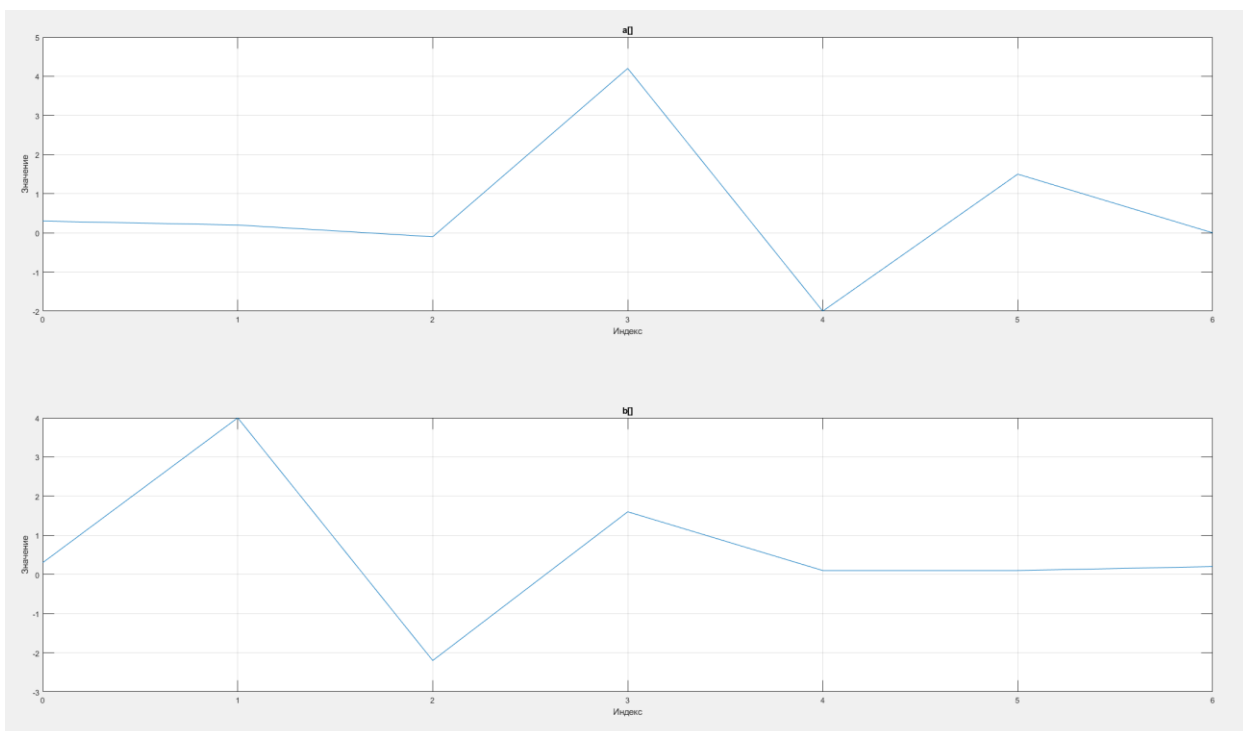
8. a = [0.3, 0.2, -0.1, 4.2, -2, 1.5, 0];
9. b = [0.3, 4, -2.2, 1.6, 0.1, 0.1, 0.2];
10.
11. figure;
12. subplot(2, 1, 1);
13. plot(0:length(a)-1, a);
14. grid;
15. title("a[]");
16. xlabel("Индекс");
17. ylabel("Значение");
18. subplot(2, 1, 2);
19. plot(0:length(b)-1, b);
20. grid;
21. title("b[]");
22. xlabel("Индекс");
23. ylabel("Значение");
24. n = length(b);
25.
26. corr_val = zeros(n);
27.
28. b_s = b;
29.
30. corr_val(1) = normcorr(a, b_s);
31.
32. for j = 2:n

```

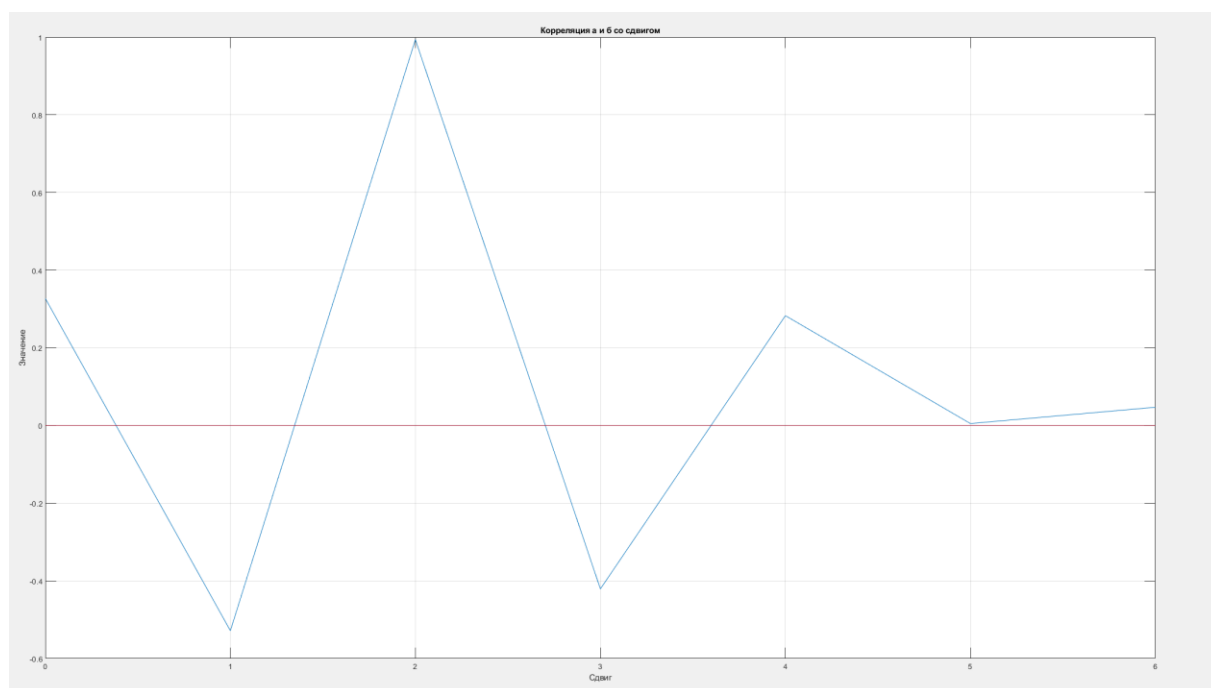
```

33.     for i = 1:n
34.         swap = b_s(i);
35.         b_s(i) = b_s(n);
36.         b_s(n) = swap;
37.     end
38.
39.     corr_val(j) = normcorr(a, b_s);
40. end

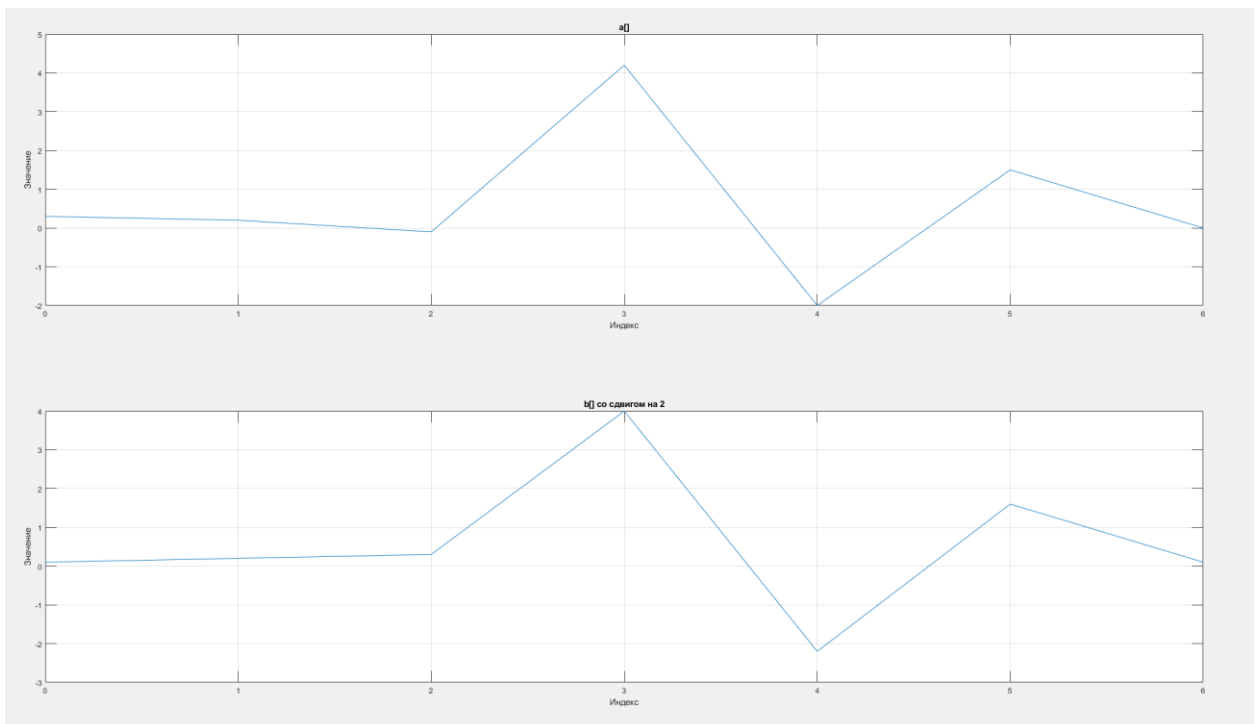
```



*Массивы a и b (6.1)*



*Зависимость корреляции от числа сдвигов (6.2)*



*Сравнение  $b$  с пиковой корреляцией и  $a$  (6.3)*

Видно что пик корреляции достигнут за счет того, что массивы  $a$  и  $b$  очень совпали по значениям.

### Контрольные вопросы:

1. Какие виды корреляции существуют?
  - Автокорреляция – сходство сигнала с самими собой. (Повторяемость шума)
  - Кросс-корреляция – сходство двух сигналов. (совпадение форм волн)
  - Нормализованная корреляция – сила связи в диапазоне -1,1
2. Что значит положительная корреляция сигналов?
  - Положительная корреляция – когда два процесса напрямую зависят друг от друга, то есть увеличение одной величины вызывает пропорциональный рост другой и наоборот.
3. Что такое корреляционный прием сигналов?
  - $r(t) = s(t) + n(t)$ ,  $s(t)$  – полезный сигнал,  $n(t)$  – шумы,  $r(t)$  – полученный сигнал
  - В приемнике хранится  $s_0(t)$  некий опорный сигнал, который должен быть похожим на  $s(t)$ , приемник вычисляет корреляцию между  $r(t)$  и  $s_0(t)$ , если результат высок, значит сигналы похожи -> сигнал обнаружен
4. Как вычисление корреляционных функций помогает синхронизироваться приемнику и передатчику в сетях мобильной связи?
  - В случае DL:

БС отправляет синхросигналы и SIB

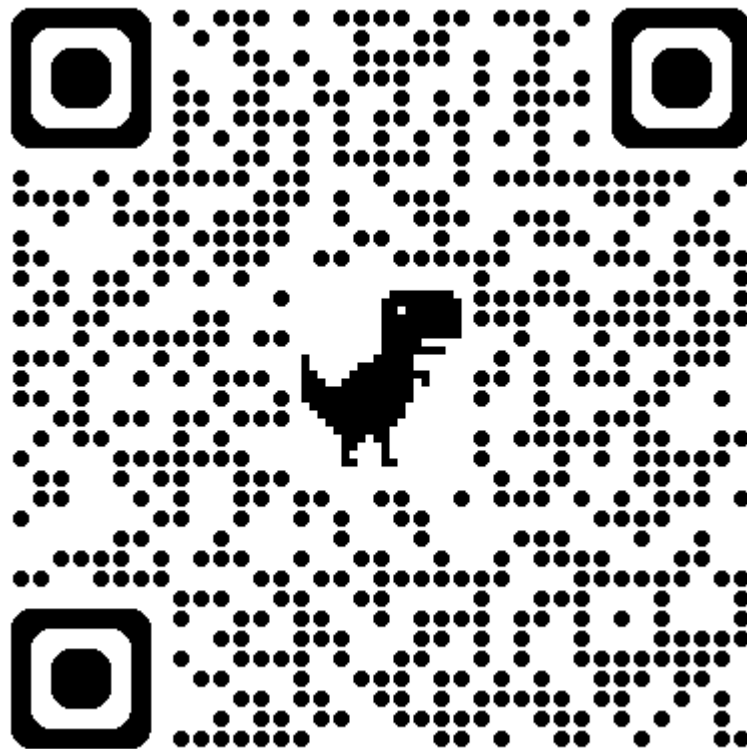
Телефон его ловит и сравнивает с шаблоном (корреляционный прием)

Телефон находит совпадение и понимает, где ожидать следующий блок данных
  - В случае UL:

Телефон получает от БС TA – те UE должны отправить свой сигнал на TA раньше, чем нужно

Как он получает TA? – Random Access – телефон отправляет сигнал, базовая станция его ловит и сравнивает с помощью корреляционного приема реальное время получения с ожидаемым временем получения

Гитхаб



<https://github.com/ohfuckinglucy/OSMS>



## Контрольные вопросы

1. Какие модели распространения сигналов используются для расчета радиопокрытия сетей мобильной связи?
  - FSPM(Free Space Propagation Model) – видимость без препятствий,
  - UMiNLOS(Urban Micro Non-Line-of-Sight) – подходит для городских застроек с низкими зданиями,
  - COST231-Hata – подходит для городских макро сайтов,
  - Walfish-Ikegami – подходит для урбанизированных районов
2. Какие основные составляющие бюджета восходящего (UL) и нисходящего (DL) каналов в радиосетях?
  - $P_{UE/BS}$  – мощность ue/bs,
  - $G_{UE/BS}$  – усиление антенны ue/bs,
  - Feeder\_loss – потери в корпусе, кабелях, разъёмах ue/bs,
  - MIMO gain – прибавка к мощности за счет мультиплексирования,
  - $M_{penetration}$  – потери при проникновении,
  - $M_{int}$  – потери при интерференции,
  - $RxSens_{BS,UE}$  – чувствительность bs/ue
  - $MAPL_{UL} = P_{UE} - Feeder\_loss + G_{MIMO} + G_{BS} - M_{pen} - M_{int} - RxSens_{Bs}$
  - $MAPL_{DL} = P_{BS} - Feeder\_loss + G_{MIMO} + G_{UE} - M_{pen} - M_{int} - RxSens_{Ue}$

$RxSens = N_{thermal} + NF + SINR$ ,  $N_{Th} = -174 + 10\log_{10}(BW)$
3. Чем отличается чувствительность приемника базовой станции E и пользовательского терминала UE?

BS более чувствителен потому что ему нужно принимать сигналы с малой мощностью от многих UE, антенны и шумовой фактор у базовой станции определенно лучше чем у мобильного ус-ва

Со стороны UE – размер ус-ва маленький + мощность в разы
4. Что такое тепловой шум и как он определяется?

Тепловой шум – это случайный шум, который возникает из-за теплового движения зарядов, он существует везде и создается от всего.

Формула  $N_{Th} = -174 + 10\log_{10}(BW)$  (для  $T = 290$ ), или  $10\log_{10}(k \cdot T \cdot BW) + 30$ , где  $k$  – постоянная Больцмана =  $1.38 \cdot 10^{-23}$  дж/К
5. Что ограничивает радиус соты мобильных сетей в нисходящем и восходящем каналах?

MAPL (Maximum allowed past loss) – обычно ограничивают радиус соты по аплинку (там уровень потерь меньше, чтобы наверняка и от туда сюда и от сюда туда)
6. Из чего состоят потери сигнала в антенно-фидерном тракте базовой станции BS?

Потери в антенно-фидерном тракте базовой станции – это все потери, которые происходят от выхода передатчика до излучения сигнала антенной  
Feeder\_loss +/- 2 db, МШУ +/- 0.4 db, джампер +/- 0.5 db