

Федеральное агентство связи
Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и
Информатики

Кафедра ТС и ВС
Лабораторная работа № 3

По дисциплине:
Основы системы мобильной связи



Выполнил: Бурнашев К. Ф.
Группа: ИА-131
Вариант: 8
Проверила: Дроздова В.Г.

Новосибирск, 2023 г

Цель работы

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.).

Корреляция бывает *положительная*, когда два процесса на прямую зависят друг от друга, то есть увеличение одной величины вызывает пропорциональный рост другой и наоборот. Например, можно проследить рост объемов продаж мороженого при повышении суточной температуры. *Отрицательная* корреляция свидетельствует об обратной взаимосвязи процессов – рост суточной температуры приводит к снижению объема продаж пуховиков. Бывает также *нейтральная* корреляция, когда явная взаимосвязь между процессами отсутствует (например, связь курса доллара и среднего балла за ЕГЭ у выпускников неочевидна).

Существуют различные подходы к измерению корреляции. Рассмотрим один из вариантов оценить ее значение (3.1)-(3.2):

$$Corr_{x,y} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \quad (3.1)$$

или

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

Рассмотрим пример вычисления взаимной корреляции между массивами дискретных временных отсчетов, показанных на рисунке 16.

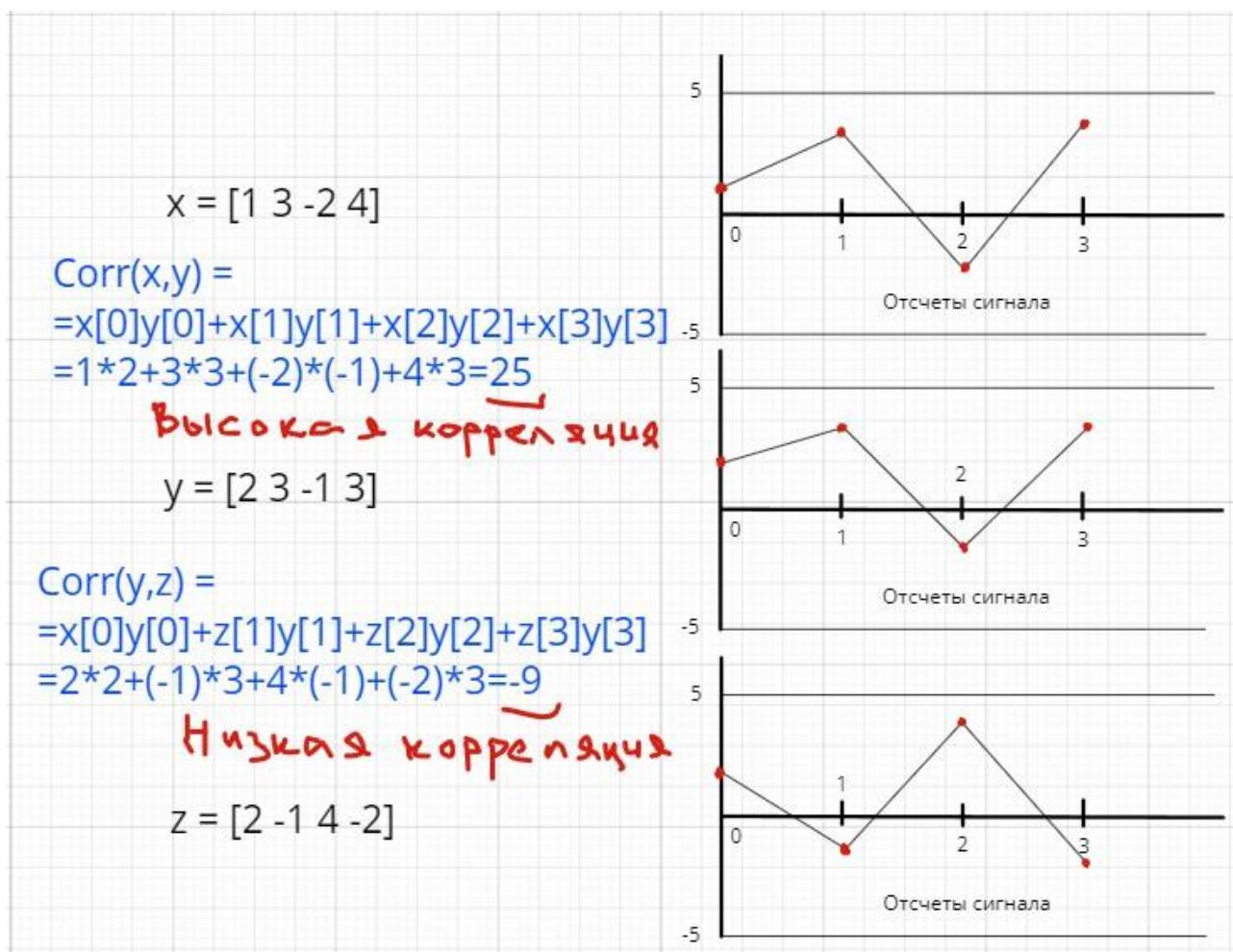


Рис. 16. Пример определения взаимной корреляции массивов с временными отсчетами.

На данном рисунке визуализированы временны отсчеты сигнала, сохраненные в трех массивах. Невооруженным глазом видно сходство массива x с массивом y и различия с z . Вычисление корреляции по формуле (3.2) подтверждает интуитивные догадки о том, что между x и y корреляция высокая (25), а между y и z слабая (-9).

Однако у данного способа подсчета корреляции есть существенные недостатки.

Рассмотрим пример, представленный на рисунке 17. Визуально совершенно очевидно, что сходство между массивом x и y гораздо больше, чем между y и z , однако результаты вычисления по формуле (3.2) свидетельствуют об обратном.

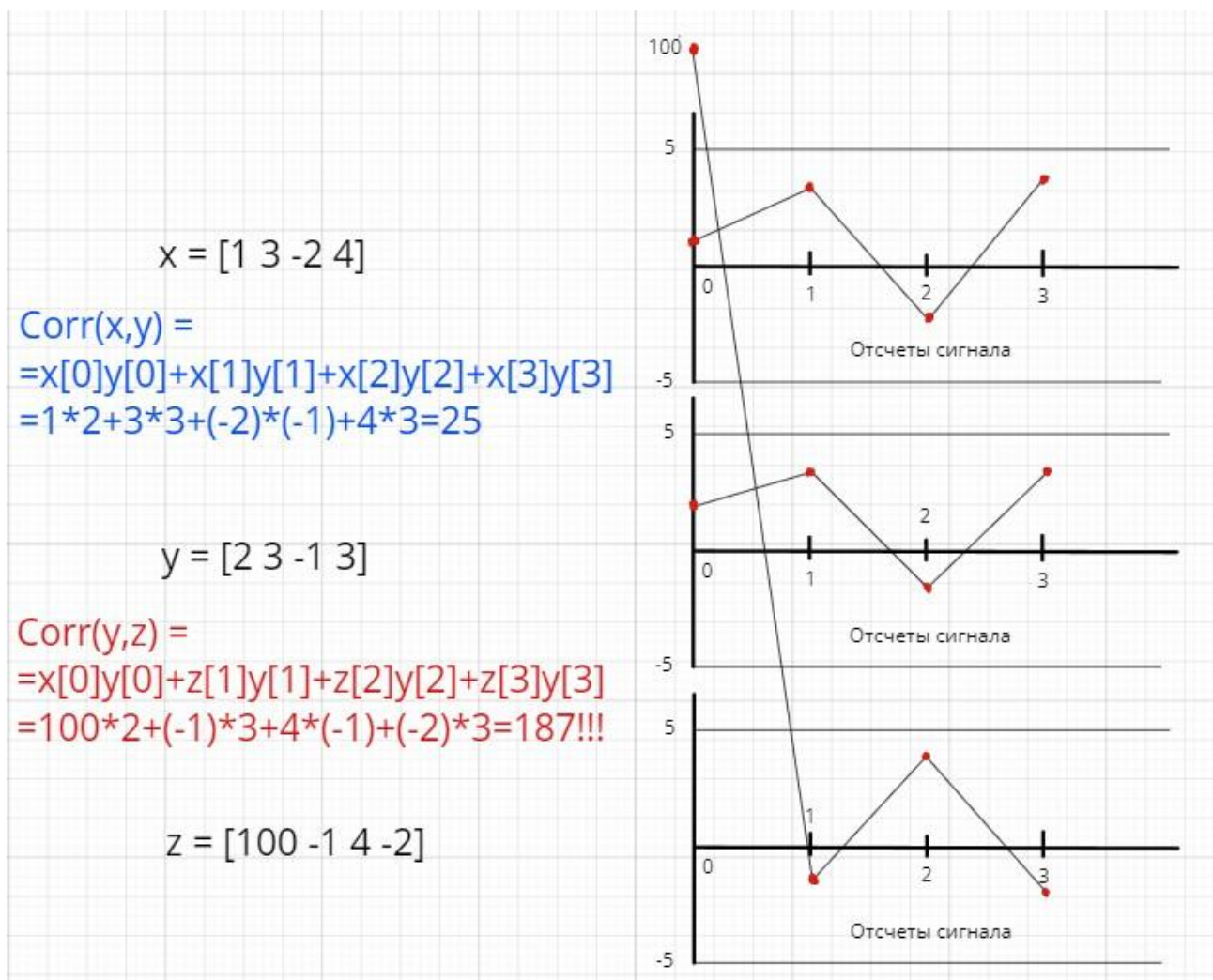


Рис. 17. Пример определения взаимной корреляции массивов с временными отсчетами.

Для того, чтобы корректно определять корреляцию между функциями/процессами «энергия», которых столь различна, используется нормализованная функция корреляции (3.3).

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

Рассчитав нормализованную корреляцию для x и y , можно получить значение, равное 0.95, а для y и z - 0.38. Диапазон возможных значений для нормализованной корреляции от -1 до 1, где 1 и -1 – это максимальные значения положительной и отрицательной корреляции, 0 и близкие к нему значения – означает отсутствие корреляции.

1. Задание для выполнения практической работы

В рамках данной работы студенты должны выполнить расчеты автокорреляции и взаимной корреляции, в том числе нормализованной, для различных сигналов, описанных ниже, используя языки C/C++ и Matlab.

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.

Табл. 2. Варианты заданий.

№ варианта	Непрерывная периодическая функция
8	$a = [8\ 3\ 7\ 2\ -2\ -4\ 1\ 4]$ $b = [4\ 2\ 5\ -1\ -3\ -7\ 2\ 1]$ $c = [-2\ -1\ 3\ -6\ 5\ -1\ 4\ -1]$

- 2) Выведите в терминале полученные значения в виде таблицы:

Корреляция между a , b и c :

\	a	b	c
---	---	---	---

a	-	11	23
---	---	----	----

b	11	-	4
---	----	---	---

c	23	4	-
---	----	---	---

Нормализованная корреляция между a , b и c :

\	a	b	c
---	---	---	---

a	-	11	23
---	---	----	----

b	11	-	4
---	----	---	---

c	23	4	-
---	----	---	---

- 3) Используя Matlab определите корреляцию и нормализованную корреляцию между сигналом $s1(t)$ и сигналами a и b .

$$s1(t) = \cos(2\pi f_1 t)$$

$$s2(t) = \cos(2\pi f_2 t)$$

$$s3(t) = \cos(2\pi f_3 t)$$

где f_1 = ваш порядковый номер в журнале;

f_2 = ваш порядковый номер в журнале + 4;

f_3 = ваш порядковый номер в журнале * 2 + 1.

Сигналы a и b заданы согласно вариантам в таблице 3.

Табл. 3. Варианты заданий.

№ варианта	Непрерывная периодическая функция
8	$a(t)=2s_1(t)+4s_2(t)+s_2(t)$ $b(t)=2s_1(t)+s_2(t)$

4) Для того чтобы задать время в Matlab можно воспользоваться выражением:

```
1 time = [0:100-1]/100;
```

5) Пример реализации цикла в Matlab:

```

1 for n = 1:N
2     mult = a(n)*b(n)
3 end
4
5 % Или альтернативная реализация цикла
6 % внутри которого сумма произведений:
7
8 corr = sum(a.*b)
```

6) Возьмите два массива значений и выведите их на графиках друг под другом

```
a = [0.3 0.2 -0.1 4.2 -2 1.5 0];
b = [0.3 4 -2.2 1.6 0.1 0.1 0.2];
```

Определите значение функции взаимной корреляции.

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) Составьте отчет. Отчет должен содержать титульный лист, содержание, цель и задачи работы, теоретические сведения, исходные данные, этапы выполнения работы, сопровождаемые скриншотами и

графиками, демонстрирующими успешность выполнения, и промежуточными выводами, результирующими таблицами, ответы на контрольные вопросы, и заключение и ссылка в виде QR-кода на репозиторий с кодом (git).

2. Контрольные вопросы

1) Какие виды корреляции существуют?

Ответ: Нейтральная, нормализованная, положительная, отрицательная

2) Что значит положительная корреляция сигналов?

Ответ: процессы зависят друг от друга, рост одного процесса влияет на рост второго

3) Что такое корреляционный прием сигналов?

Ответ: обнаруживает сигналы синхронизации, для того, чтобы с их помощью корректно разбить ось времени на интервалы

4) Как вычисление корреляционных функций помогает синхронизироваться приемнику и передатчику в сетях мобильной связи?

Ответ: позволяет определить задержку сигнала между передатчиком и приемником.

Задание 1 (СИ):

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
int main() {
    int a [] = {8, 3, 7, 2, -2, -4, 1, 4};
    int b [] = {4, 2, 5, -1, -3, -7, 2, 1};
    int c [] = {-2, -1, 3, -6, 5, -1, 4, -1};
    int correlation(int a[], int b[], int n) {
        int cor_sum = 0;
        for (int i = 0; i < n; i++) {
            cor_sum += a[i] * b[i];
        }
        return cor_sum;
    }
    double Corr(int a[], int b[], int n) {
        double cor_sum = 0;
        double a_2 = 0;
        double b_2 = 0;

        for (int i = 0; i < n; i++) {
            cor_sum += (double) a[i] * b[i];
            a_2 += (double) a[i] * a[i];
            b_2 += (double) b[i] * b[i];
        }

        double Corr1 = cor_sum / (sqrt(a_2) * sqrt(b_2));

        return Corr1;
    }
}
```

```
}
```

```
int n = sizeof(a) / sizeof(a[0]);
```

```
int ab = correlation(a, b, n);
int bc = correlation(b, c, n);
int ac = correlation(a, c, n);
printf("Корреляция\n");
printf(" | a | b | c |\n");
printf("-----\n");
printf(" a| - |%5.d|%5.d|\n", ab,ac);
printf("-----\n");
printf(" b|%5.d| - |%5.d|\n", ab,bc);
printf("-----\n");
printf(" c|%5.d|%5.d| - |\n", ac,bc);
```

```
float ab_2 = Corr(a, b, n);
float bc_2 = Corr(b, c, n);
float ac_2 = Corr(a, c, n);
printf("\n");
printf("\n");
printf("Нормализованная корреляция\n");
printf(" | a | b | c |\n");
printf("-----\n");
printf(" a| - |%.2f |%.2f |\n", ab_2,ac_2);
printf("-----\n");
printf(" b| %.2f | - |%.2f|\n", ab_2,bc_2);
printf("-----\n");
printf(" c| %.2f |%.2f | - |\n", ac_2,bc_2);
return 0;
```

```
}
```

Вывод

Корреляция				
	a	b	c	
a	-	111	-16	
b	111	-	10	
c	-16	10	-	

Нормализованная корреляция				
	a	b	c	
a	-	0.83	-0.13	
b	0.83	-	0.10	
c	-0.13	0.10	-	

Задание 2 (Matlab)

```
f1 = 8;
f2 = 8 + 4;
f3 = 8 * 2 + 1;
t = [0:100-1]/100;
s1 = cos(2*pi*f1*t);
s2 = cos(2*pi*f2*t);
s3 = cos(2*pi*f3*t);
a = 2*s1 + 4*s2 + s3;
b = s1 + s2;
% формула 3.2
corr_ab = sum(a.*b);
corr_ac = sum(a.*s1);
corr_bc = sum(b.*s2);
% формула 3.3
corr_ab_norm = corr_ab / sqrt((sum(a.^2)) * (sum(b.^2)));
corr_ac_norm = corr_ac / sqrt((sum(a.^2)) * (sum(s1.^2)));
corr_bc_norm = corr_bc / sqrt((sum(b.^2)) * (sum(s2.^2)));

fprintf('Корреляция между a и b: %f\n', corr_ab);
fprintf('Корреляция между a и s1: %f\n', corr_ac);
fprintf('Корреляция между b и s2: %f\n', corr_bc);
fprintf('Нормализованная корреляция между a и b: %f\n', corr_ab_norm);
fprintf('Нормализованная корреляция между a и s1: %f\n', corr_ac_norm);
fprintf('Нормализованная корреляция между b и s2: %f\n', corr_bc_norm);
```

Вывод:

```
Command Window

>> untitled
Корреляция между a и b: 300.000000
Корреляция между a и s1: 100.000000
Корреляция между b и s2: 50.000000
Нормализованная корреляция между a и b: 0.925820
Нормализованная корреляция между a и s1: 0.436436
Нормализованная корреляция между b и s2: 0.707107
```

Задание 3(Matlab)

```
a = [0.3 0.2 -0.1 4.2 -2 1.5 0];
b = [0.3 4 -2.2 1.6 0.1 0.1 0.2];

figure;
subplot(4,1,1);
plot(a);
title('Массив a');
subplot(4,1,2);
plot(b);
title('Массив b');

% Вычисление взаимной корреляции
corr = zeros(1,length(b));
for i=1:length(b)
    b_shift = [zeros(1,i-1) b(1:end-i+1)];
    corr(i) = sum(a.*b_shift);
end
% Построение зависимости взаимной корреляции от величины сдвига
corr_1 = [0 corr(1:end-1)]; % измененная часть кода
subplot(4,1,3:4);
plot(corr_1);
title('Зависимость взаимной корреляции от величины сдвига');

% Определение максимальной корреляции и соответствующего сдвига
[max_corr, max_index] = max(corr);
shift = max_index - 1;

% Сдвиг массива b на величину максимальной корреляции
b_shifted = [zeros(1,shift) b(1:end-shift)];

figure;
subplot(2,1,1);
plot(a);
title('Массив a');
subplot(2,1,2);
plot(b_shifted);
title('Массив b, сдвинутый на максимальную корреляцию');
```

Вывод

