**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра АПУ**

отчет

**по лабораторной работе №2**

**по дисциплине «Корреляционный метод измерения задержки сигнала»**

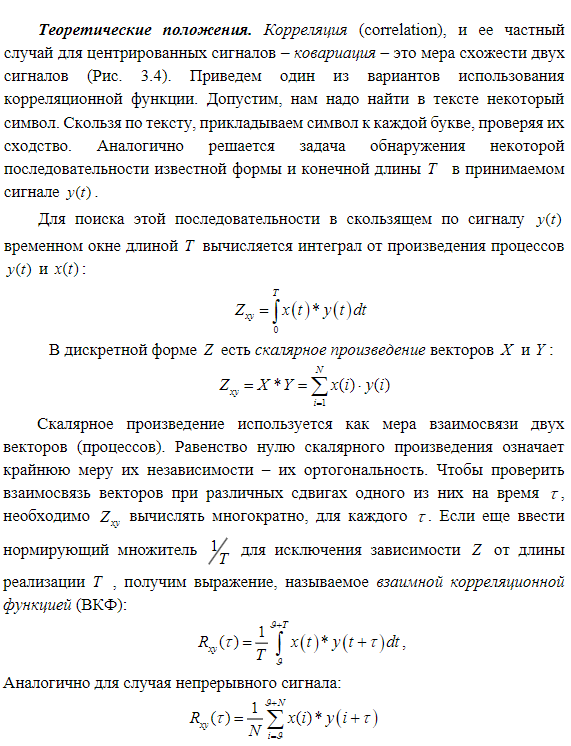
Тема: Матричные преобразования и трехмерная графика

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент гр. 2392 |  | Жук Ф.П. |
| Преподаватель |  | Каплун Д.И. |

Санкт-Петербург

2024

**Цель работы:** освоение специфики матричных преобразований MATLAB и сравнительный анализ различных форм графического отображения результатов.

****

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, документ

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как текст, диаграмма, снимок экрана, Шрифт

Автоматически созданное описание

Рис. 1 - Сравнение операций свертки, кросс-корреляции и автокорреляции

**Ход работы.**

1. В качестве решаемой задачи рассмотрим задачу измерения высоты полета самолета. Проще всего послать вертикально вниз короткий радиоимпульс и измерить при помощи корреляционной функции задержку импульса, отраженного от земли.

Создадим 2 импульса рисунок 1.1.

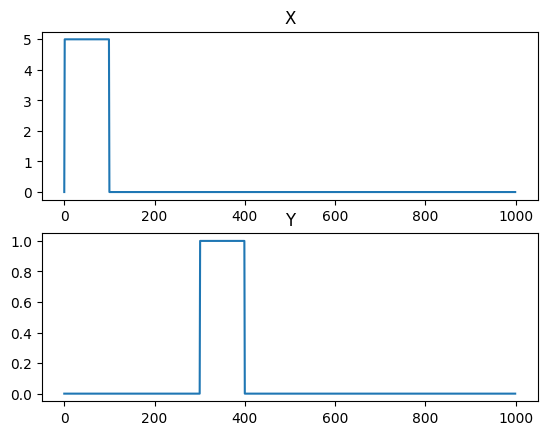


Рис. 1.1 – Графики сигналов

Построим график Rxy (t) (рис. 1.2)

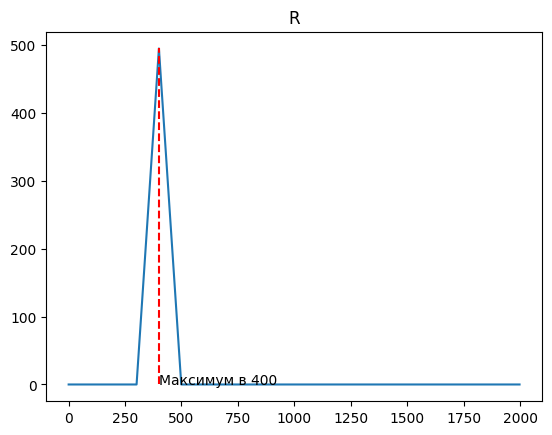


Рис. 1.2 – График Rxy (t)

Усложним сигнал добавив дополнительные импульсы (рис. 1.3)

Изображение выглядит как диаграмма, линия, текст, снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как диаграмма, линия, Параллельный, График

Автоматически созданное описание

Рис. 1.3 – Графики сигналов с 2-мя и 3-мя импульсами

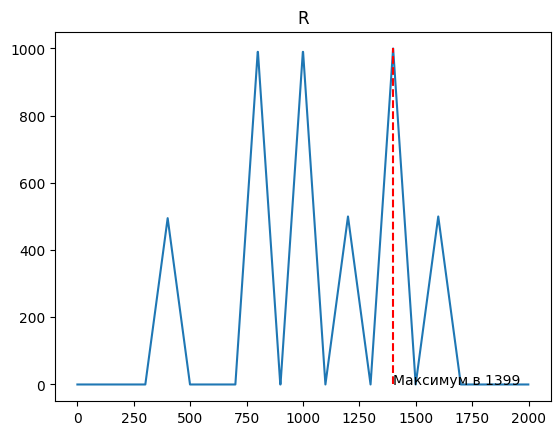
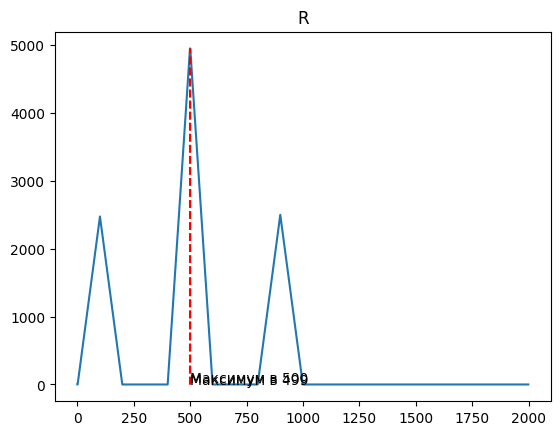


Рис. 1.2 – Графики Rxy (t) сигналов с 2-мя и 3-мя импульсами

1. Создадим еще более сложный сигнал, в котором нет периодических повторов импульсов. Сымитируем задержку распространения (рис. 2.1).

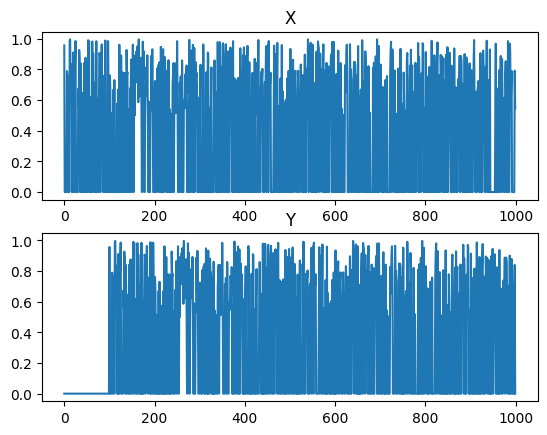


Рис. 2.1 - Сложный сигнал

Получим графики Rxx(t) и Cxy(t).

Изображение выглядит как текст, График, линия, снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

Рис. 2.2 - графики Rxx(t) и Cxy(t).

Автокорреляция (RXX) показывает, как сигнал совпадает сам с собой с учетом смещения. Из-за чего формируется пик при полном совпадении.

Ковариация (CXY) показывает, как один сигнал совпадает с другим вариантом сигнала.

1. Проделаем ряд экспериментов: наложим на принятый (задержанный)   
   сигнал шум с соотношением ОСШ от −15 до 15 дБ. Построим график (рис. 3.1) вероятности правильного определения расстояния при заданном ОСШ.

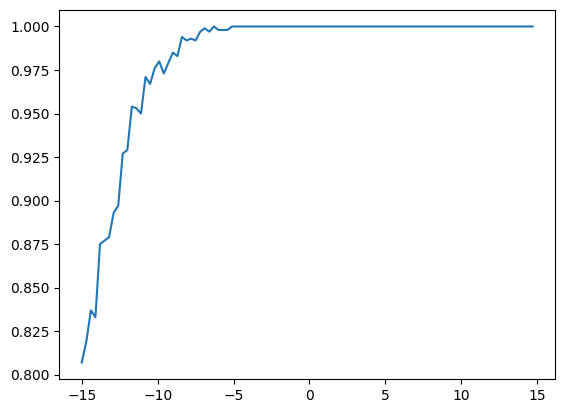


Рис. 3.1 - график вероятности правильного определения расстояния

Из чего следует, что минимальное соотношение SNR , при котором еще возможно измерение задержки, примерно равно -5 Дб. В качестве критерия выступало верное определение задержки между сигналами.

Так же рассмотрим критерий корреляции сигнала с шумом и без (рис. 3.2).

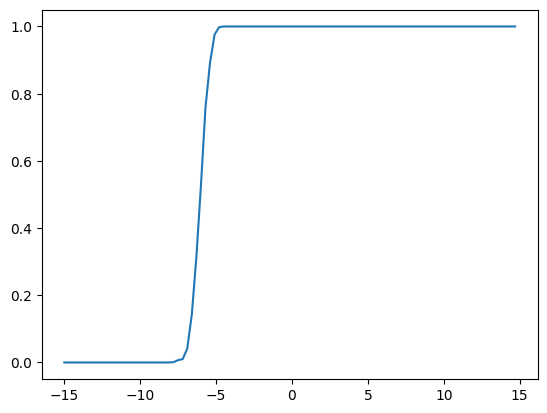


Рис. 3.2 - график вероятности правильного определения расстояния

1. В качестве посылаемого сигнала возьмем отрезок синусоиды (рис. 4.1)

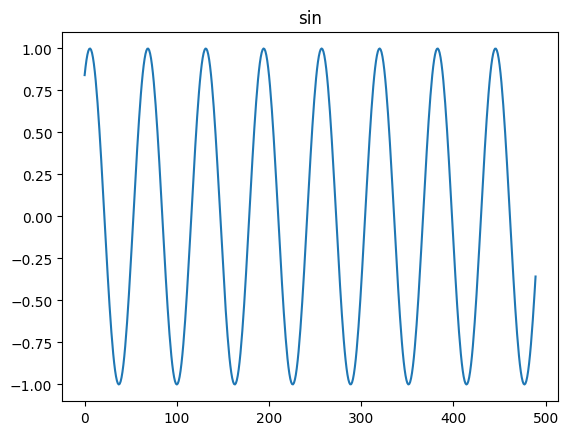


Рис. 4.1 - Синус

Наложим на сигнал шум (рис. 4.2)

Изображение выглядит как снимок экрана, текст, График

Автоматически созданное описание

Рис. 4.2 – Синусойда с шумом

Построим график Rxy (t) (рис. 4.3)

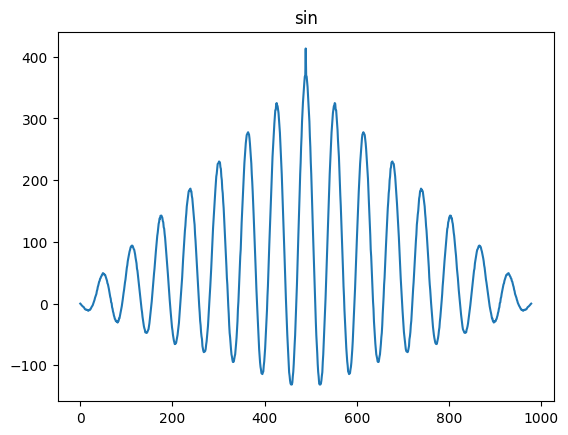


Рис. 4.3 - график Rxy (t)

Сравнив рисунки 4.4 и 1.2, можно увидеть что у синуса имеется более ярко выраженный пик, чем у прямоугольного квадрата. Из-за чего легче будет определить задержку при синусоидальном сигнале.

1. Используем код Баркера (рис. 5.1) и шумоподобный (rand) с длиной 13 символов сигнал (рис. 5.2) для анализа автокорреляционных свойств сигнала.

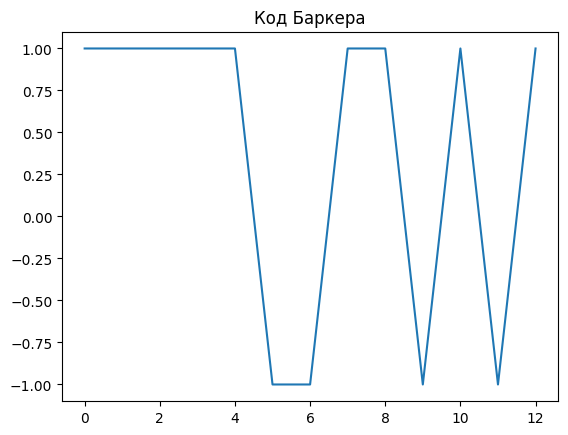


Рис. 5.1 – Код Баркера

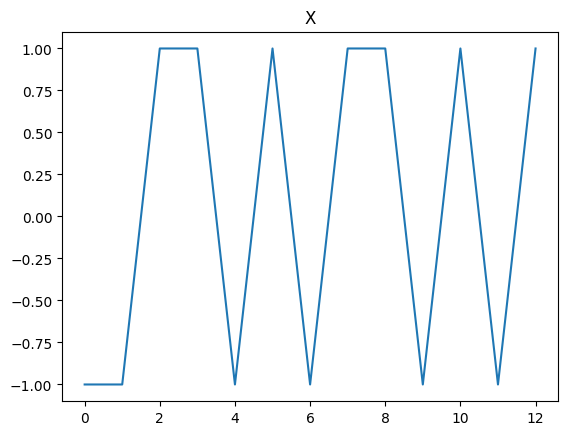


Рис. 5.2 – Случайный сигнал длиной 13

Применим на данных функциях автокорреляцию (рис. 5.3)

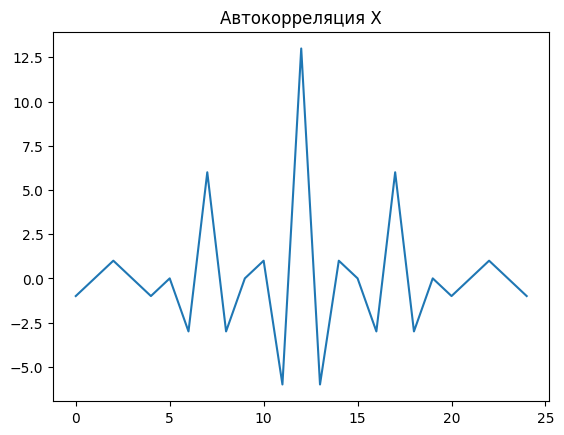
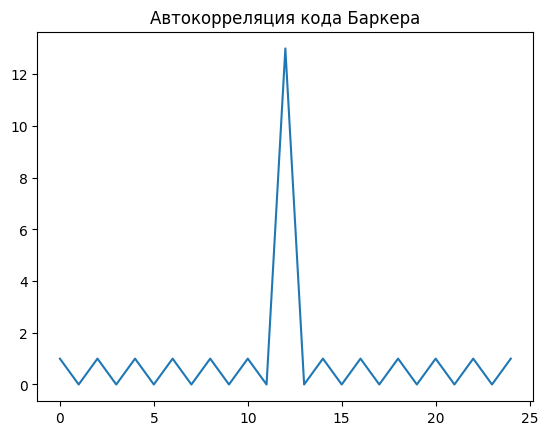


Рис. 5.3 – Автокорреляция сигналов

Сигнал автокорреляции кода Баркера имеет более выраженный пик, что даёт нам преимущество в определении задержки сигнала, чем при случайных значениях.

1. Повторим опыт из пункта 3, но используя код Бракера и шумоподобный сигнал.

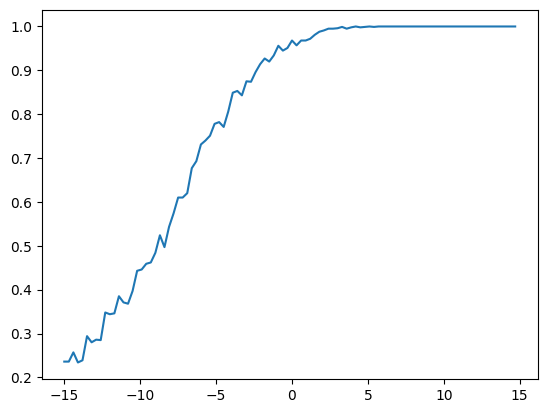
\

Рис. 6.1 - график вероятности правильного определения задержи используя код Баркера

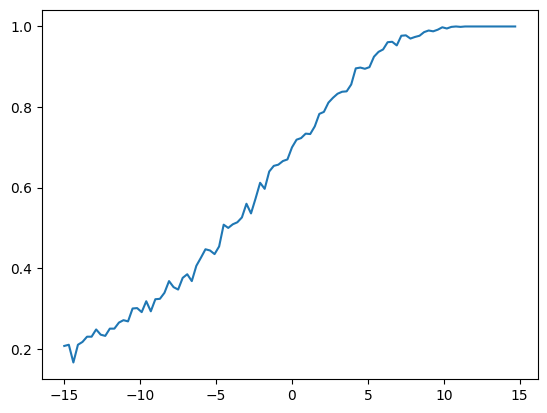


Рис. 6.2 - график вероятности правильного определения задержи используя шумоподобный сигнал

Проанализировав данные графики, заметим что:

* Код Бракера более устойчив к помехам чем случайный сигнал
* Минимальный ОСШ кода бракера 5 Дб
* Минимальный ОСШ шумоподобного сигнала 10 Дб

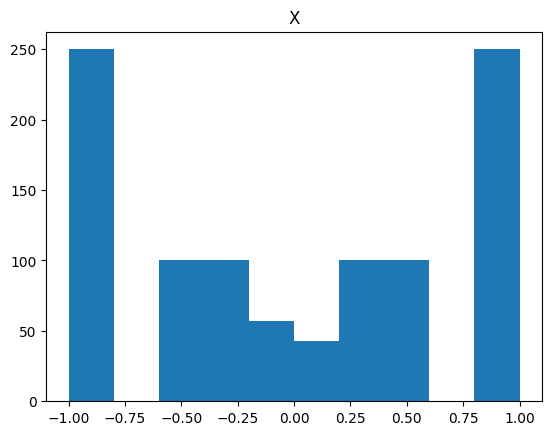
1. Найдем E (мат.ожидание), σ, σ2 , построить гистограмму w(t) для   
   сигналов:  
   - Моногармонический: s=sin(2πf t)

При f = 5, t = [0:10:0,01]

Mean -7.993605777301127e-17

Std 0.7071067811865468

Vairance 0.499999999999999



Гистограмма

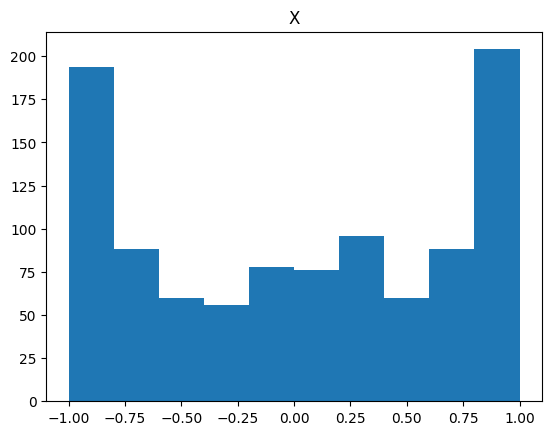
- C линейной частотой модуляцией: s=sin(2πf t2)

При f = 5, t = [0:10:0,01]

Mean 8.171241461241152e-17

Std 0.7071067811865476

Vairance 0.5



Гистограмма

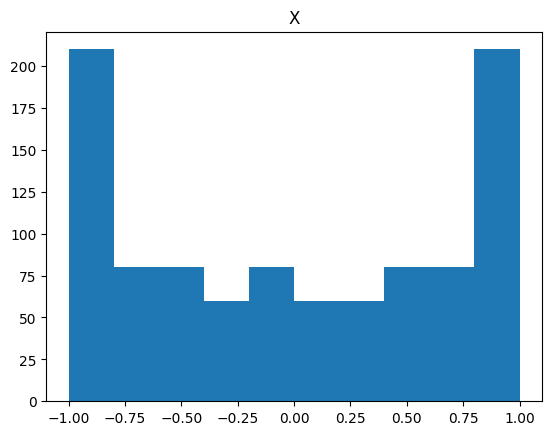
* С амплитудной модуляцией: s=sin(2πfн t)\*(1+ m\* sin(2πfс t) ), где

При fн=1, fс=10000, m = 0.7

Mean 5.048761408943392e-14

Std 0.7071067811852684

Vairance 0.499999999998191



Гистограмма

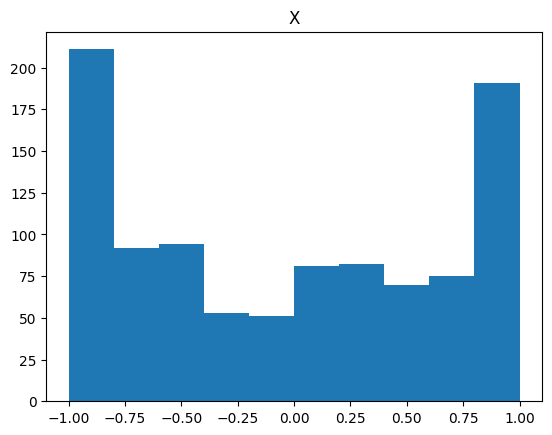
* С частотной модуляцией: s=sin(2πfс(t) t)

При f(t) = et

Mean -0.027591396022672448

Std 0.7011632301522005

Vairance 0.4916298753174677



Гистограмма

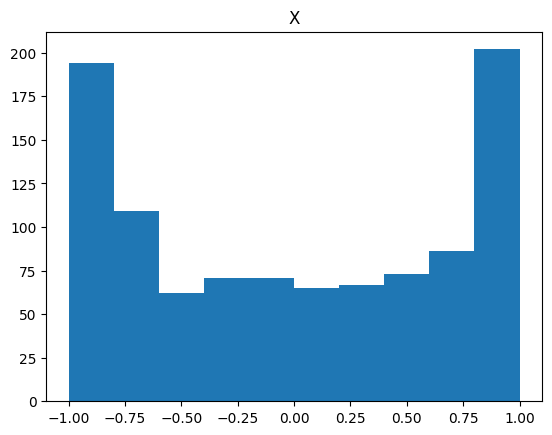
* С фазовой модуляцией: s=sin(2πfн t+ϕ(t))

При fн = 5 ϕ(t) = et

Mean -0.004069529200334246

Std 0.7002146026047587

Vairance 0.49030048970094003

****

Гистограмма

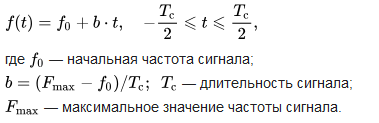
**Определения:**

**1. Корреляция – **

**2. Ковариация – **

**3. Автокорреляция – где k - шаг**

**4. Отношение сигнал-шум (SNR) – безразмерная величина, равная отношению мощности полезного сигнала к мощности шума**

**5. ЛЧМ – **

**Изображение выглядит как текст, рукописный текст, Шрифт, каллиграфия

Автоматически созданное описание6. АМ – uАМ = Um(1+m\*cos (t)) \* sin () . где m - коэффициент глубины модуляции,**

**7. ЧМ –**

**Изображение выглядит как текст, Шрифт, снимок экрана, линия

Автоматически созданное описание**

**8. ФМ –**

**9. Гистограмма – это диаграмма частот, позволяющая наглядно представить характер изменчивости данных**

**10. Теорема Котельникова – любой аналоговый сигнал может быть восстановлен с какой угодно точностью по своим дискретным отсчётам, взятым с частотой f > 2 fс, f>2fс, где fс — максимальная частота, которая ограничена спектром реального сигнала; если максимальная частота в сигнале равна или превышает половину частоты дискретизации (наложение спектра), то способа восстановить сигнал из дискретного в аналоговый без искажений не существует**

**Выводы.**

Значение корреляционных методов: Проведенное исследование подтвердило, что корреляционные методы являются важным инструментом для выделения сигналов на фоне шума. Они позволяют точно определять задержку, фазу, частоту и амплитудные характеристики сигналов, что находит применение в радиолокации, связи и других областях.

Скалярное произведение и его роль: В работе показано, что скалярное произведение эффективно используется для оценки сходства между сигналами. Применение взаимной и автокорреляционных функций дало возможность идентифицировать временно задержанные сигналы, что полезно для задач пеленгации и измерения расстояний.

Влияние соотношения сигнал/шум (SNR): Исследование выявило, что при высоких значениях SNR (более 10 дБ) вероятность правильного обнаружения сигнала значительно увеличивается. В условиях низкого SNR (<0 дБ) шум затрудняет выделение сигнала, что снижает точность анализа. Графическое представление зависимости вероятности правильного обнаружения от уровня SNR подтвердило эту закономерность.

Автокорреляционная функция и периодичность: Применение автокорреляции к периодическим сигналам, таким как синусоиды, показало, что даже при высоком уровне шума структура автокорреляционной функции остается неизменной. Это делает метод эффективным для выявления скрытых периодических компонентов сигналов.

Эффективность кодов Баркера: Исследование кода Баркера продемонстрировало наличие выраженного центрального пика в автокорреляции, что делает его полезным для точного определения задержки. Напротив, автокорреляционная функция случайных сигналов имела более размытый профиль, что подтверждает уникальность кода Баркера в задачах обнаружения.

Корреляционные методы в шумовых условиях: При наложении шумов с различными уровнями SNR на сигнал, основанный на коде Баркера, было замечено, что вероятность успешного обнаружения значительно возрастает с улучшением SNR. При высоких значениях SNR корреляционный пик остается четким, что упрощает идентификацию сигнала даже на фоне значительных шумов.Приложение

Код на python: