Министерство образования и науки Российской Федерации

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

—

Институт компьютерных наук и технологий

**Кафедра «Программная инженерия»**

**Отчет**

**Лабораторная работа №4**

по дисциплине «Цифровая обработка сигналов»

Выполнил

Студент группы

3530904/00103 Солодовников С.Ф.

Преподаватель Тутыгин В.С.

Санкт-Петербург

2022 г

**Вариант 12**

Количество периодов сигнала 2…3 шаг 0.2

Коэффициент сходства Ковариация

# Цель работы

Требуется исследовать зависимость погрешности определения количества периодов короткого сигнала с нецелым количеством периодов от количества периодов и величины СКО шума на входе при использовании БПФ и аппроксимационно- корреляционного метода при использовании различных методов определения сходства: коэффициента ковариации и корреляции, суммы модулей разности, суммы модулей суммы, квадратного корня из суммы квадратов разности.  
Программа работы

1. При исследовании эффекта увеличения точности определения количества периодов и частоты сигнала по сравнению с БПФ за счет дополнительных операций цифровой обработки произведите измерения (программа lab4) количества периодов сигнала в диапазоне количества периодов от К до К+1 с шагом 0.2 и постройте графики погрешности определения количества периодов сигнала на этом интервале с помощью БПФ и комбинированного способа.
2. При исследовании достижимой точности определения количества периодов и частоты сигнала комбинированным способом при различных уровнях зашумленности сигнала произведите оценку точности определения количества периодов и частоты сигнала в диапазоне количества периодов от К до К+1 с шагом 0.2 при значениях СКО шума от 0 до 0.2 с шагом 0.1. Для этого произведите статистические испытания (программа lab4\_statistica), и вычислите значения среднеквадратической погрешности и величину доверительных интервалов определения для каждого значения количества периодов сигнала и каждого уровня шума.
3. Исследуйте влияние способа сравнения эхо-сигнала с эталонными (с помощью ковариации, корреляции, нормы Минковского, нормы Поддорогина) на точность определения количества периодов и частоты сигнала.

# Результаты

## Таблица 1, сравнение БПФ и АКМ (коэф ковариации)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| СКО шума на входе | Кол-во периодов сигнала | Результаты цифровой обработки | | | |
| кп\_БПФ | отн\_погрешность кп\_БПФ, % | кп\_АКМ | отн\_погрешность кп\_АКМ, % |
| 0 | 2,00 | 2 | 0,00 | 2,01 | 0,33 |
| 2,20 | 2 | 9,09 | 2,21 | 0,27 |
| 2,40 | 2 | -16,67 | 2,40 | 0,00 |
| 2,60 | 3 | 15,38 | 2,60 | 0,00 |
| 2,80 | 3 | 7,14 | 2,80 | 0,03 |
| 3,00 | 3 | 0,00 | 3,00 | 0,00 |
| 0,1 | 2,00 | 2 | 0,00 | 2,01 | 0,33 |
| 2,20 | 2 | -9,09 | 2,20 | 0,06 |
| 2,40 | 2 | -16,67 | 2,40 | 0,00 |
| 2,60 | 3 | 15,38 | 2,60 | 0,00 |
| 2,80 | 3 | 7,14 | 2,80 | 0,03 |
| 3,00 | 3 | 0,00 | 3,00 | 0,00 |
| 0,2 | 2,00 | 2 | 0,00 | 2,01 | 0,67 |
| 2,20 | 2 | -9,09 | 2,20 | 0,06 |
| 2,40 | 2 | -16,67 | 2,41 | 0,33 |
| 2,60 | 3 | 15,38 | 2,60 | 0,00 |
| 2,80 | 3 | 7,14 | 2,79 | 0,25 |
| 3,00 | 3 | 0,00 | 2,99 | 0,22 |

## Таблица погрешностей определения количества периодов сигнала с помощью БПФ и исследуемого способа комбинированной обработки (АКМ).

## Таблица расчетов статических испытаний

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| СКО шума на входе | Кол-во периодов сигнала | Результаты цифровой обработки | | |
| МО | σ, % | β, % |
| 0 | 2,00 | 2 | 0 | 0 |
| 2,20 | 2,2006 | 0 | 0 |
| 2,40 | 2,4 | 0 | 0 |
| 2,60 | 2,6 | 0 | 0 |
| 2,80 | 2,8 | 0 | 0 |
| 3,00 | 3 | 0 | 0 |
| 0,1 | 2,00 | 2.0004 | 0.0029 | 0.0058 |
| 2,20 | 2.1999 | 0.0031 | 0.0062 |
| 2,40 | 2.4004 | 0.0031 | 0.0062 |
| 2,60 | 2.6005 | 0.0030 | 0.0059 |
| 2,80 | 2.8000 | 0.0029 | 0.0058 |
| 3,00 | 3 | 0.0030 | 0.0060 |
| 0,2 | 2,00 | 2.0004 | 0.0056 | 0.0113 |
| 2,20 | 2.1995 | 0.0054 | 0.0108 |
| 2,40 | 2.4003 | 0.0058 | 0.0116 |
| 2,60 | 2.6004 | 0.0056 | 0.0113 |
| 2,80 | 2.8001 | 0.0057 | 0.0114 |
| 3,00 | 2.9998 | 0.0055 | 0.0109 |
|  |  |  |  |  |

## Гистограммы распределения вычисленных значений

## количества периодов для исследуемого способа

## комбинированной обработки (АКМ) при различных уровнях

## шума.

### Q=0.1:

Graphical user interface, application, Word, Excel, PowerPoint

Description automatically generated

### Q=0.2

Graphical user interface, application, table, Excel, histogram, PowerPoint

Description automatically generated

## График зависимости среднеквадратической погрешности

## определения количества периодов и частоты сигнала от

## уровня зашумленности исходного сигнала при

## использовании АКМ.

# Вывод

Относительная погрешность при использовании БПФ много больше, чем погрешность при использовании АКМ на основе коэффициента ковариации. БПФ не может определить нецелое количество периодов, поэтому его погрешность высока. Погрешность же АКМ при входных СКО до 0.2 не превышала и 1%.

Среднеквадратическая погрешность определения количества периодов и частоты сигнала от уровня зашумленности исходного сигнала при использовании АКМ крайне мала и составляет

Менее 0.01%. Также по графику видно, что при увеличении СКО на входе, погрешность также увеличилась линейно.

# Программы

## Lab4.m

## %Комбинированное использование ключевых операций ЦОС

%Для повышения точности определения частоты

%"короткого" сигнала используется комбинация

%БПФ, кросскорреляции, сплайн-аппроксимации,передискретизации

%В качестве показателя сравнения исходного и эталонных сигналов

%предусмотрена возможность использования коэффициента ковариации,

%коэффициента корреляции, суммы модулей разности (нормы Минковского),

%суммы модулей суммы (нормы Поддорогина)

clc;%очистка Command Window

kt=1024; % количество отсчетов

Q=0.2;%шум

kp=3%количество периодов сигнала

%1. ГЕНЕРАЦИЯ МОДЕЛЬНОГО СИГНАЛА

for i=1:kt %обнуление массива сигнала

y(i)=0;

end

noise=randn(kt);

%noise=wgn(kt,1,0);

for i=1:kt %генерация модельного сигнала с экспоненциальной модуляцией

w(i)=exp(-20\*((i-kt/2)/kt)^2);

y(i)=sin(2\*pi\*kp\*i/kt)\*w(i);

y(i)=y(i)+Q\*noise(i);

end

i=1:kt; %отображение модельного сигнала во временной области

figure

plot(i,y);

axis tight;

title('Original signal')

xlabel('Sample number')

%2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ (БПФ)

bpfy=fft(y,kt);%БПФ

bpf=bpfy.\*conj(bpfy)/kt;%БПФ

%нахождение макс. знач. функции БПФ для массива Y

C=max(bpf);

for i=1:kt %поиск количества периодов, соответствующих максимуму БПФ

if (bpf(i)==C)

kpbpf=(i-1);

break

end

end

kp\_bpf=kpbpf

%3. СОЗДАНИЕ ЭТАЛОНОВ И КРОССКОРРЕЛЯЦИЯ

kp1=kpbpf;

seach\_area=0.8/kp1;%область поиска относит. kp\_bpf

for ki=1:3 %количество итераций

shagkor=kp1\*seach\_area/3;%шаг поиска

k=0;

for j=kp1-kp1\*seach\_area:shagkor:kp1+kp1\*seach\_area %цикл для создания 6 эталонов в окрестности приближенного

%значения количества периодов, определенных с помощью БПФ.

k=k+1;

xkor(k)=j;

kor(k)=0;

for i=1:kt

x(i)=0;

end

%Вычисление массивов эталонных сигналов

for i=1:kt

x(i)=sin(2\*pi\*j\*i/kt)\*w(i);

end

%вычисление средних значений модельного и эталонных сигналов

x\_sr=mean(x);

y\_sr=mean(y);

x\_sko=0;

y\_sko=0;

kor1(k)=0;%%начальное значение показателя сравнения

%вычисление показателя сравнения модельного и эталонных сигналов

for i=1:kt

x\_sko=x\_sko+(x(i)-x\_sr)\*(x(i)-x\_sr);

y\_sko=y\_sko+(y(i)-y\_sr)\*(y(i)-y\_sr);

kor(k)=kor(k)+(x(i)-x\_sr)\*(y(i)-y\_sr);%вычисление коэф. ковариации

% sxy(i)=abs(x(i)-y(i));%вычисление модуля разности

% kor1(k)=kor1(k)+sxy(i); %вычисление суммы модулей разности

%(нормы Минковского)

% sxy(i)=abs(x(i)+y(i));%вычисление модуля суммы

% kor1(k)=kor1(k)+sxy(i); %вычисление суммы модулей суммы

%(нормы Поддорогина)

end

%kor1(k)=kor(k)/(sqrt(x\_sko\*y\_sko));%вычисление коэф. корреляции

kor1(k)=kor(k);

end %конец цикла создания эталонов и вычисления массива коэф. корр.

%СПЛАЙН-АППРОКСИМАЦИЯ И ПЕРЕДИСКРЕТИЗАЦИЯ

xx=1:k;

xi=1:0.1:k;

r1=sin(xx); %только для тестирования сплайн-аппроксимации

yint=interp1(xx,kor1,xi,'spline');% сплайн-аппроксимация коэф корреляции

r1=kor1;

apr=spaps(xkor,kor1,0.000001);

figure

fnplt(apr)

hold on

plot(xkor,r1,'ro');

hold off

%НАХОЖДЕНИЕ УТОЧНЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ПЕРИОДОВ СИГНАЛА

cmax=max(yint); %нахождение максимума коэф. корр., ковар.,суммы модулей суммы

% cmax=min(yint); %нахождение минимума коэф. Минковского.

for i=1:round((k-1)/0.1+1)

if (yint(i)==cmax)

kp\_int=kp1-kp1\*seach\_area+(i-1)\*shagkor/10; %уточненное значение частоты по МАХ функции коэф. корр.

end

end

seach\_area=seach\_area/2;

kp1=kp\_int;

end

res=kp1

pause;

close all;%закрытие всех окон графического вывода

clear;%очистка Workspace

## %Программа определения частоты короткого сигнала

%Для повышения точности определения количества периодов и частоты

%короткого сигнала используется комбинация

%БПФ, кросскорреляции, сплайн-аппроксимации,передискретизации

% и итерационное уточнение количества периодов

%Предусмотрена возможность использования в качестве показателя

%сравнения исходного и эталонных сигналов коэффициента ковариации,

%коэффициента корреляции, суммы модулей разности (нормы Минковского),

%суммы модулей суммы (нормы Поддорогина)

%Время работы программы при 1024 испытаниях - 1 мин. 20 сек.

kt=1024; % количество отсчетов

shum=0.2 ;%шум

kp=2.2;%количество периодов сигнала

clc;%очистка Command Window

for kp = [2, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3] %[2.0,2.2, 2.4, 2.6,2.8, 3]

for i4=1:1024 %количество испытаний

%1. ГЕНЕРАЦИЯ МОДЕЛЬНОГО СИГНАЛА

for i=1:kt %обнуление массива сигнала

y(i)=0;

end

%ГЕНЕРАЦИЯ НОРМАЛЬНОГО И БЕЛОГО ШУМА

noise=randn(1024);

%noise=wgn(kt,1,0);

for i=1:kt %генерация модельного сигнала

w(i)=exp(-20\*((i-kt/2)/kt)^2);

y(i)=cos(2\*pi\*kp\*i/kt)\*w(i);

y(i)=y(i)+shum\*noise(i);

end

i=1:kt; %отображение модельного сигнала во временной области

%2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ (БПФ)

bpfy=fft(y,kt);%БПФ

bpf=bpfy.\*conj(bpfy)/kt;%БПФ

%нахождение макс. знач. функции БПФ для массива Y

C=max(bpf);

for i=1:kt %поиск количества периодов, соответствующих максимуму БПФ

if (bpf(i)==C)

kpbpf=(i-1);

break

end

end

kp\_bpf=kpbpf;

%3. СОЗДАНИЕ ЭТАЛОНОВ И КРОССКОРРЕЛЯЦИЯ

kp1=kpbpf;

search\_area=0.8/kp;%начальная область поиска относит. kp\_bpf

for i3=1:3 %задание количества итераций

shagkor=kp1\*search\_area/3;%шаг поиска

k=0;

for j=kp1-kp1\*search\_area:shagkor:kp1+kp1\*search\_area %цикл для создания 6 эталонов в окрестности приближенного

%значения количества периодов, определенных с помощью БПФ.

k=k+1;

xkor(k)=j;

kor(k)=0;

for i=1:kt

x(i)=0;

end

%Вычисление массивов эталонных сигналов

for i=1:kt

x(i)=cos(2\*pi\*j\*i/kt)\*w(i);

end

%вычисление средних значений модельного и эталонных сигналов

x\_sr=mean(x);

y\_sr=mean(y);

x\_sko=0;

y\_sko=0;

kor1(k)=0;%%начальное значение показателя близости

%вычисление показателя сравнения модельного и эталонных сигналов

for i=1:kt

x\_sko=x\_sko+(x(i)-x\_sr)\*(x(i)-x\_sr);

y\_sko=y\_sko+(y(i)-y\_sr)\*(y(i)-y\_sr);

kor(k)=kor(k)+(x(i)-x\_sr)\*(y(i)-y\_sr);%вычисление коэф.ковариации

% sxy(i)=abs(x(i)-y(i));%вычисление модуля разности !

% sxy(i)= (x(i)-y(i))^2;%вычисление квадрата разности !

% sxy(i)=abs(x(i)+y(i));%вычисление модуля суммы !

% kor(k)=kor(k)+sxy(i); %вычисление суммы модулей разности, суммы

% квадратов разности, суммы нормы Минковского и Поддорогина !

end

kor1(k)=kor(k);%вычисление коэф. близости (кроме коэф. корр.)

%kor1(k)=kor(k)/(sqrt(x\_sko\*y\_sko));%вычисление коэф. корреляции

end %конец цикла создания эталонов и вычисления массива коэф. корр.

%СПЛАЙН-ИНТЕРПОЛЯЦИЯ И ПЕРЕДИСКРЕТИЗАЦИЯ

xx=1:k;

xi=1:0.1:k;

yint=interp1(xx,kor1,xi,'spline');% сплайн-аппроксимация коэф корреляции

r1=kor;

%%apr=csaps(xx,r1);

apr=spaps(xkor,kor,0.00000001);%%%%%%%%%%%%%%%

%НАХОЖДЕНИЕ УТОЧНЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ПЕРИОДОВ СИГНАЛА

cmax=max(yint); %нахождение максимума коэф. ковар., коэф. корр., коэф. Поддорогина

% cmax=min(yint); %нахождение миниимума коэф.Минковского и суммы квадратов разности.

for i=1:round((k-1)/0.1+1)

if (yint(i)==cmax)

kp\_int=kp1-kp1\*search\_area+(i-1)\*shagkor/10; %уточненное значение частоты по МАХ функции коэф. корр.

end

end

kp1=kp\_int;%очередное приближение количества периодов

search\_area=search\_area/2;%сокращение области поиска

end %конец цикла по количеству итераций

kp2(i4)=kp\_int;

end %конец цикла стат.испытаний

kp

MO1=mean(kp2)

SKO1=std(kp2)

Confidence\_interval=2\*SKO1 %Доверительный интервал погрешности при доверительной вероятности 0.95

figure;

hist(kp2, 5); %построение гистограммы. 5 - количество столбцов

title(kp)

end

pause;

close all;

clear;