**Project 2：Basic Practice of OFDM Technology**

|  |  |
| --- | --- |
| **成员** | 11813226 张一弛 12012709 杨恒宇  12011923 张旭东 12011918 张宇潇 |
| **介绍**  在这个项目中，我们学习了如何使用OFDM，来减少信号传输的符号间干扰（ISI）现象，并通过MARLAB进行了仿真。  **2.1 OFDM的基带**  block 1和block 2是输入信号的预处理和后处理。我们在频域中将发送的信号视为离散样本，乘法将对应于时域中的周期卷积。因此，循环前缀（CP）被添加到块1中的DT信号，以便可以模拟周期卷积。循环前缀（CP）的长度，𝑀, 应大于或等于DT通道等效脉冲响应的非零间隔长度。这里我们将𝑀取4。而在block 2, 循环前缀（CP）会被移除。      **Task a**  % block 4  function sig\_demodulated = receiver(recv\_sig)  % basic signal parameters  wc=100000000;  wc\_rad = wc.\*2.\*pi;  fs = 10\*wc;  sig = recv\_sig;  timestep = 1/fs;    %demodulation  np = length(sig);%number of points  t = 0:timestep:(np.\*timestep-timestep);    sigcos = cos(wc\_rad.\*t).\*sig;  sigsin = sin(wc\_rad.\*t).\*sig;    sig\_real=fft(sigcos);  sig\_imag=fft(sigsin);  figure;  subplot(2,1,1);  plot(-length(sigcos)./2:length(sigcos)./2-1,fftshift(abs(sig\_real)));  title("fft of the received signal---real part");  subplot(2,1,2);  plot(-length(sigcos)./2:length(sigcos)./2-1,fftshift(abs(sig\_imag)));  title("fft of the received signal---imaginary part");    figure;  subplot(2,2,1);  plot(-length(sigcos)./2:length(sigcos)./2-1,fftshift(abs(sig\_real)));  title("fft of the received signal---real part");  subplot(2,2,2);  plot(-length(sigcos)./2:length(sigcos)./2-1,fftshift(abs(sig\_imag)));  title("fft of the received signal---imaginary part");    subplot(2,2,3);  sig\_real(length(sigcos)./8:length(sigcos)\*7./8)=0;  plot(-length(sigcos)./2:length(sigcos)./2-1,fftshift(abs(sig\_real)));  title("fft of the filtered signal---real part");  subplot(2,2,4);  sig\_imag(length(sigsin)./8:length(sigsin)\*7./8)=0;  plot(-length(sigsin)./2:length(sigsin)./2-1,fftshift(abs(sig\_imag)));  title("fft of the filtered signal---imaginary part");    sigcos = 2.\*ifft(sig\_real);  sigsin = 2.\*ifft(sig\_imag);    % final synthesis  sig\_dem = sigcos+sigsin.\*1j;  %ADC  %sig\_dem = [sig\_dem,0]  figure;  subplot(2,1,1);  plot(0:length(sig\_dem)-1,real(sig\_dem));  xlabel("time/s");  title("Demodulated signal---real part");  subplot(2,1,2);  plot(0:length(sig\_dem)-1,imag(sig\_dem));  xlabel("time/s");  title("Demodulated signal---imaginary part");  N = length(sig\_dem)/(1000);  yd = zeros(1,N);  for k = 1:N  yd(k) = mean(sig\_dem(((k-1).\*1000+100):(k.\*1000-100))); % here 1000 = fs.\*T matlab gives warning because fs.\*T is calulated as 1000.00(float type)  end %求取一个采样周期内的平均值 作为ADC  figure;  sig\_demodulated = yd; % 与原信号相比，存在很小的复数部分  subplot(2,1,1);  stem(0:length(sig\_demodulated)-1,real(sig\_demodulated));  title("Signal demodulated---real part");  subplot(2,1,2);  stem(0:length(sig\_demodulated)-1,imag(sig\_demodulated));  title("Signal demodulated---imaginary part");    end    **Task b**      figure;  stem(0:length(H)-1,ifft(H));  警告: 仅使用复数数据的实部。  title("Verifying the calculated h[n]");  legend("inverse FFT of H");    figure;  subplot(3,1,1);  stem(0:length(recovered\_sig)-1,recovered\_sig);  hold on;  stem(0:length(data)-1,data);  legend("Recovered data", "Data");  subplot(3,1,2);  stem(0:length(data)-1,(recovered\_sig-data));  title("Absolute Error ");  subplot(3,1,3);  stem(0:length(data)-1,(recovered\_sig-data)./data);  title("Relative Error ");  根据推测，cp的长度在3左右。将cp=2，3，4，5分别带入，得误差为：      由图可得，当cp大于3时接收信号与原信号的误差较小，所以cp的最小长度应为3.  **Task c**  %signal and system project 2  clear  clc  close all  % 求取信道增益 channel gain  M = 4;%cp  xp = randn(1,32);  stem(0:31,xp);  title("xp");  H = channel\_est(xp,M);  figure;  subplot(2,1,1);  stem(0:length(H)-1,real(H));  title("Channel gain-real component");  subplot(2,1,2);  stem(0:length(H)-1,imag(H));  title("Channel gain-imaginary component");  %重新生成随机信号进行仿真  data = randn(1,32);  figure;  stem(0:length(data)-1,data);  title("Data to be sent");  datasig\_cp = trans\_end(data,M);  wireless\_sig = transmitter(datasig\_cp);  signal\_picked\_up = wireless(wireless\_sig);  sig\_demodulated = receiver(signal\_picked\_up);  recovered\_sig = recv\_end(sig\_demodulated(1:length(datasig\_cp)),M,H);  figure;  subplot(3,1,1);  stem(0:length(recovered\_sig)-1,recovered\_sig);  hold on;  stem(0:length(data)-1,data);  legend("Recovered data", "Data");  subplot(3,1,2);  stem(0:length(data)-1,(recovered\_sig-data));  title("Absolute Error ");  subplot(3,1,3);  stem(0:length(data)-1,(recovered\_sig-data)./data);  title("Relative Error ");  figure;  stem(0:length(H)-1,ifft(H));  title("Verifying the calculated h[n]");  legend("inverse FFT of H");                              **Task d**  OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)即正交频分复用技术，实际上OFDM是MCM(Multi Carrier Modulation)，多载波调制的一种。通过频分复用实现高速串行数据的并行传输, 它具有较好的抗多径衰落的能力，能够支持多用户接入。  OFDM技术由MCM（Multi-Carrier Modulation，多载波调制）发展而来。OFDM技术是多载波传输方案的实现方式之一，它的调制和解调是分别基于IFFT和FFT来实现的，是实现复杂度最低、应用最广的一种多载波传输方案。  在20世纪90年代，OFDM广泛用于各种数字传输和通信中，如移动无线FM信道，高比特率数字用户线系统(HDSL)，不对称数字用户线系统(ADSL)，甚高比特率数字用户线系统(VDSI)，数字音频广播(DAB)系统，数字视频广播(DVB)和HDTV地面传播系统。  OFDM存在很多技术优点见如下，在3G、4G中被运用，作为通信方面其有很多优势：  (1) 在窄带带宽下也能够发出大量的数据。  (2) OFDM技术能够持续不断地监控传输介质上通信特性的突然变化，由于通信路径传送数据的能力会随时间发生变化，所以OFDM能动态地与之相适应，并且接通和切断相应的载波以保证持续地进行成功的通信。  (3) 该技术可以自动地检测到传输介质下哪一个特定的载波存在高的信号衰减或干扰脉冲，然后采取合适的调制措施来使指定频率下的载波进行成功通信。  (4) OFDM技术特别适合使用在高层建筑物、居民密集和地理上突出的地方以及将信号散播的地区。高速的数据传播及数字语音广播都希望降低多径效应对信号的影响。  (5) OFDM技术的最大优点是对抗频率选择性衰落或窄带干扰。  (6) 可以有效地对抗信号波形间的干扰，适用于多径环境和衰落信道中的高速数据传输。  (7) 通过各个子载波的联合编码，具有很强的抗衰落能力。  (8) OFDM技术抗窄带干扰性很强，因为这些干扰仅仅影响到很小一部分的子信道。  (9) 可以选用基于IFFT/FFT的OFDM实现方法。  (10) 信道利用率很高，这一点在频谱资源有限的无线环境中尤为重要。  2001年，IEEE802.16通过了无线城域网标准，该标准根据使用频段的不同，具体可分为视距和非视距两种。其中，使用2~11GHz许可和免许可频段，由于在该频段波长较长，适合非视距传播，此时系统会存在较强的多径效应，而在免许可频段还存在干扰问题，所以系统采用了抵抗多径效应、频率选择性衰落或窄带干扰上有明显优势的OFDM调制，多址方式为OFDMA。2006年2月，IEEE802.16e形成了最终的出版物，采用的调制方式仍然是OFDM。  2004年11月，根据众多移动通信运营商、制造商和研究机构的要求，3GPP通过被称为Long Term Evolution (LTE)即“3G长期演进”的立项工作。项目以制定3G演进型系统技术规范作为目标。3GPP经过激烈的讨论和艰苦的融合，终于在2005年12月选定了LTE的基本传输技术，即下行OFDM，上行SC(单载波)FDMA。OFDM由于技术的成熟性，被选用为下行标准很快就达成了共识。而上行技术的选择上，由于OFDM的高峰均比(PAPR)使得一些设备商认为会增加终端的功放成本和功率消耗，限制终端的使用时间，一些则认为可以通过滤波，削峰等方法限制峰均比。不过，经过讨论后，最后上行还是采用了SC-FDMA方式。拥有我国自主知识产权的3G标准——TD-SCDMA在LTE演进计划中也提出了TD-CDM-OFDM的方案B3G/4G是ITU提出的目标，并希望在2010年予以实现。B3G/4G的目标是在高速移动环境下支持高达100Mb/S的下行数据传输速率，在室内和静止环境下支持高达IGb/S的下行数据传输速率。而OFDM技术也将扮演重要的角色 。  在数字音频、视频广播业务方面，数字音频广播 (DAB) 与模拟广播相比可以提高更高质量的语音数字业务，在1995年, 欧洲电信标准协会通过了第一个DAB标准—ETS300401。此外，日本的ISDB-T和美国的IBOC方案也都包括了OFDM技术，在数字视频广播 (DVB) 的DVB-T标准中OFDM技术也得到了应用。  在无线局域网领域，在高速无线局域网的相关标准中，OFDM技术应用在了HiperLAN/2物理层中，同时IEEE802.11标准的ISM频段中，在2.4GHz和5.8GHz两个频段均采用了该技术的IEEE802.11a和IEEE802.11g标准。  在4G蜂窝系统方案中，在考虑设计4G蜂窝网络的系统中的空中接口时，OFDM技术凭借自身在对抗多径衰弱方面有着显著的优势而被采用。如日本NTT DoCoMo以及中国的FuTURE方案等，大大提高了系统的性能。  第五代移动通信 (5G) 中，与OFDM技术相比, OQAM-OFDM技术更低带外频谱泄露，因此也成为5G关键技术的重要组成部分。由于OQAM-OFDM技术对各载波之间不需要同步，要求没有OFDM那么严格，因此具有更好的兼容性，从而适应更多的业务需求。 | |
| **Score** |  |



%signal and system project 2

clear

clc

close all

% 求取信道增益 channel gain

M = 4;%cp

xp = randn(1,32);

stem(0:31,xp);

title("xp");

H = chanSnel\_est(xp,M);

figure;

subplot(2,1,1);

stem(0:length(H)-1,real(H));

title("Channel gain-real component");

subplot(2,1,2);

stem(0:length(H)-1,imag(H));

title("Channel gain-imaginary component");

%重新生成随机信号进行仿真

data = randn(1,32);

figure;

stem(0:length(data)-1,data);

title("Data to be sent");

datasig\_cp = trans\_end(data,M);

wireless\_sig = transmitter(datasig\_cp);

signal\_picked\_up = wireless(wireless\_sig);

sig\_demodulated = receiver(signal\_picked\_up);

recovered\_sig = recv\_end(sig\_demodulated(1:length(datasig\_cp)),M,H);

figure;

subplot(3,1,1);

stem(0:length(recovered\_sig)-1,recovered\_sig);

hold on;

stem(0:length(data)-1,data);

legend("Recovered data", "Data");

subplot(3,1,2);

stem(0:length(data)-1,(recovered\_sig-data));

title("Absolute Error ");

subplot(3,1,3);

stem(0:length(data)-1,(recovered\_sig-data)./data);

title("Relative Error ");

figure;

stem(0:length(H)-1,ifft(H));

title("Verifying the calculated h[n]");

legend("inverse FFT of H");

% block 1

function sig\_with\_cp = trans\_end(sig,M)

%to find the signal with cp

%here set M as the length of cyclic prefix

%sig is the input signal

x = ifft(sig).\*length(sig);

figure;

subplot(2,1,1);

stem(0:length(x)-1,real(x));

title("Inverse fft of data---real part");

subplot(2,1,2);

stem(0:length(x)-1,imag(x));

title("Inverse fft of data---imag part");

figure;

sig\_with\_cp = [x(end-M+1:end),x];

subplot(2,1,1);

stem(0:length(sig\_with\_cp)-1,real(sig\_with\_cp));

title("Inverse fft of data(with CP)---real part");

subplot(2,1,2);

stem(0:length(sig\_with\_cp)-1,imag(sig\_with\_cp));

title("Inverse fft of data(with CP)---imag part");

end

% block2

function recovered\_sig = recv\_end(recsig,M,H)

de\_cp\_sig = recsig(M+1:end);

figure;

subplot(2,1,1);

stem(0:length(de\_cp\_sig)-1,real(de\_cp\_sig));

title("Received signal without CP---real part");

subplot(2,1,2);

stem(0:length(de\_cp\_sig)-1,imag(de\_cp\_sig));

title("Received signal without CP---imaginary part");

sig = fft(de\_cp\_sig)./length(de\_cp\_sig);

recovered\_sig = real(sig(1:length(H))./H);

figure;

subplot(2,1,1);

stem(0:length(recovered\_sig)-1,real(recovered\_sig));

title("Recoverd signal ---real part");

subplot(2,1,2);

stem(0:length(recovered\_sig)-1,imag(recovered\_sig));

title("Recovered signal---imaginary part");

end

% block3

function wireless\_sig = transmitter(sig\_with\_cp)

% T = 1 us;

T = 0.000001;

%carrier frequency

wc = 100000000;

wc\_rad= wc.\*2.\*pi;

%because sampling frequency should be larger than 2\*wc

%we can set sampling frequency as 10\*wc

fs = wc.\*10;

x = sig\_with\_cp;

N = length(x);

%time step

timestep= 1/fs;

t0 = 0:timestep:(T-timestep);

%number of points in one T

np = length(t0);

t = 0:timestep:(N.\*T-timestep);

xp = zeros(1,N\*length(t0));

for k = 0:1:N-1

xp(k\*np+1) = x(k+1);

end

%

xc = zeros(1,N\*np);

for k = 0:1:N-1

xc((k\*np+1):(k\*np+np)) = x(k+1);

end

% real and imaginary parts

xr = real(xc);

xi = imag(xc);

%generate sinsig

sinsig = sin(wc\_rad.\*t);

cossig = cos(wc\_rad.\*t);

%modulation

xcos = xr.\*cossig;

xsin = xi.\*sinsig;

%the final output

wireless\_sig= xcos+xsin;

%plot figures

figure;

%xc

subplot(2,1,1);

plot(real(xc));

hold on;

stem(real(xp));

hold off;

legend("xc","xp");

title("Real part of xp and xc");

subplot(2,1,2);

plot(imag(xc));

hold on;

stem(imag(xp));

hold off;

legend("xc","xp");

title("Imaginary part xp and xc");

figure;

plot(t,wireless\_sig);

xlabel("time/s");

title("Modulated signal");

figure;

fft\_wireless\_sig = fft(wireless\_sig);

subplot(2,1,1);

plot(-length(fft\_wireless\_sig)./2:length(fft\_wireless\_sig)./2-1,fftshift(real(fft\_wireless\_sig)));

title("Real part of fft of modulated signal");

subplot(2,1,2);

plot(-length(fft\_wireless\_sig)./2:length(fft\_wireless\_sig)./2-1,fftshift(imag(fft\_wireless\_sig)));

title("Imaginary part of fft of modulated signal");

end

% block 4

function sig\_demodulated = receiver(recv\_sig)

% basic signal parameters

wc=100000000;

wc\_rad = wc.\*2.\*pi;

fs = 10\*wc;

sig = recv\_sig;

timestep = 1/fs;

%demodulation

np = length(sig);%number of points

t = 0:timestep:(np.\*timestep-timestep);

sigcos = cos(wc\_rad.\*t).\*sig;

sigsin = sin(wc\_rad.\*t).\*sig;

sig\_real=fft(sigcos);

sig\_imag=fft(sigsin);

figure;

subplot(2,1,1);

plot(-length(sigcos)./2:length(sigcos)./2-1,fftshift(abs(sig\_real)));

title("fft of the received signal---real part");

subplot(2,1,2);

plot(-length(sigcos)./2:length(sigcos)./2-1,fftshift(abs(sig\_imag)));

title("fft of the received signal---imaginary part");

figure;

subplot(2,2,1);

plot(-length(sigcos)./2:length(sigcos)./2-1,fftshift(abs(sig\_real)));

title("fft of the received signal---real part");

subplot(2,2,2);

plot(-length(sigcos)./2:length(sigcos)./2-1,fftshift(abs(sig\_imag)));

title("fft of the received signal---imaginary part");

subplot(2,2,3);

sig\_real(length(sigcos)./8:length(sigcos)\*7./8)=0;

plot(-length(sigcos)./2:length(sigcos)./2-1,fftshift(abs(sig\_real)));

title("fft of the filtered signal---real part");

subplot(2,2,4);

sig\_imag(length(sigsin)./8:length(sigsin)\*7./8)=0;

plot(-length(sigsin)./2:length(sigsin)./2-1,fftshift(abs(sig\_imag)));

title("fft of the filtered signal---imaginary part");

sigcos = 2.\*ifft(sig\_real);

sigsin = 2.\*ifft(sig\_imag);

% final synthesis

sig\_dem = sigcos+sigsin.\*1j;

%ADC

%sig\_dem = [sig\_dem,0]

figure;

subplot(2,1,1);

plot(0:length(sig\_dem)-1,real(sig\_dem));

xlabel("time/s");

title("Demodulated signal---real part");

subplot(2,1,2);

plot(0:length(sig\_dem)-1,imag(sig\_dem));

xlabel("time/s");

title("Demodulated signal---imaginary part");

N = length(sig\_dem)/(1000);

yd = zeros(1,N);

for k = 1:N

yd(k) = mean(sig\_dem(((k-1).\*1000+100):(k.\*1000-100))); % here 1000 = fs.\*T matlab gives warning because fs.\*T is calulated as 1000.00(float type)

end %求取一个采样周期内的平均值 作为ADC

figure;

sig\_demodulated = yd; % 与原信号相比，存在很小的复数部分

subplot(2,1,1);

stem(0:length(sig\_demodulated)-1,real(sig\_demodulated));

title("Signal demodulated---real part");

subplot(2,1,2);

stem(0:length(sig\_demodulated)-1,imag(sig\_demodulated));

title("Signal demodulated---imaginary part");

end

function H = channel\_est(commonsig,M)

%channel gain

commonsig\_cp = trans\_end(commonsig,M);

wireless\_sig = transmitter(commonsig\_cp);

signal\_picked\_up = wireless(wireless\_sig);

sig\_demodulated = receiver(signal\_picked\_up);

H = ones(1,32);

recsig = sig\_demodulated(1:length(commonsig\_cp));

de\_cp\_sig = recsig(M+1:end);

sig = fft(de\_cp\_sig)./length(de\_cp\_sig);

recovered\_sig = sig(1:length(H));

% recovered\_sig = recv\_end(sig\_demodulated(1:length(commonsig\_cp)),M,H);

figure;

stem(0:length(commonsig)-1,recovered\_sig(1:length(commonsig)));

hold on;

H = recovered\_sig./commonsig;

end

function sig\_picked\_up = wireless(wireless\_sig)

% 这个函数计发射信号和无线系统的h(t)进行卷积

fs = 1000000000;

T = 0.000001;

timestep = 1/fs;

t0 = 0:timestep:4.\*T;

h = [0.5,zeros(1,1499),0.4,zeros(1,999),0.35,zeros(1,499),0.3,zeros(1,1000)];

sig\_picked\_up = conv(wireless\_sig,h);

N = (length(wireless\_sig)+length(h))./1000;

t = 0:timestep:(N).\*T-2.\*1/fs;

figure;

subplot(2,1,1);

plot(t0,h);

xlabel("time/s");

title("h(t) of actual wireless channel");

subplot(2,1,2);

plot(t,sig\_picked\_up);

xlabel("time/s");

title("In-air modulated signal");

end