

[ 결과보고서 ]

# 통신 시스템 설계 실습

## Sound-Connect

(음성 데이터의 아날로그 신호 통신)

담당 교수	오 용 선 교수님
분 반	11 분반
조 장	1260053 정희현
조 원	1260014 김철언
	1260030 오연중

제출 일자 : 2017년 12월 06일

# -목차-

개발 목적 및 필요성

이론

시스템 구성도

작품의 내용 및 결과

개선점

결과 및 고찰

## 1. 개발 목적 및 필요성

### (1) 개발 목적

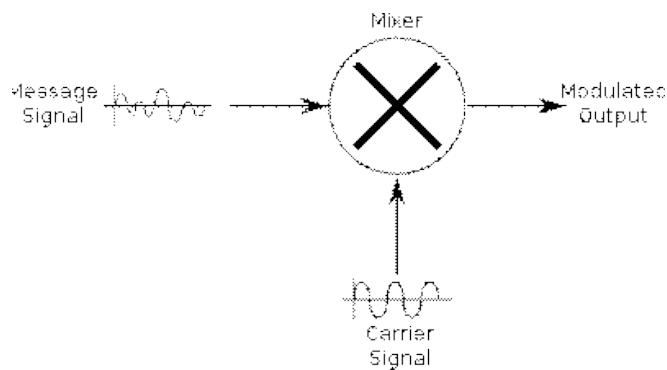
데이터의 송수신 방법은 여러 가지가 있다. 이중에서 가청대역의 소리 신호의 데이터 송수신을 모델링 하고 이를 해석하여 아날로그 통신의 특징을 파악해보고자 한다.

### (2) 개발 필요성

아날로그 신호를 특정 채널을 통하여 전달하기 위해서는 일정한 대역폭이 필요하다. 또한 해당 대역폭에서 데이터 송수신이 이루어 질 경우, 해당 송수신을 끝낼 때까지 데이터 송수신이 불가능하다. 이 때, 서로 직교 관계의 반송파 신호에 데이터를 실어서 보내면 동시에 두 개의 데이터를 실어서 보낼 수 있어, 대역폭 효율이 개선된다.

## 2. 이론

### [AM 변조 (DSB-SC)]



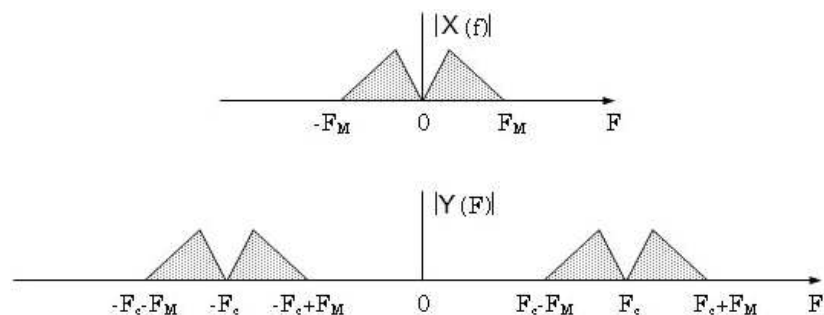
[DSB-SC 개념도]

AM 변조방식에는 대표적으로 DSB-SC 변조방식이 있다. 대체로 정보신호는 신호의 주파수가 작지만, 고주파의 반송파에 신호를 실어서 데이터를 송수신하면 유리한 점이 있다. 반송파 송신은 기저대역 통신에 비해 무선에서 사용 가능하며, 속도가 빠르며 원거리 송수신이 가능하다. 이러한 반송파에 데이터를 실기 위해서는 간단하게 정보 신호에 반송파를 곱하면 된다. 이러한 변조 신호를  $s_{DSB-SC}(t)$ 라 하면 변조된 신호는 다음과 같다.

$$s_{DSB-SC}(t) = m(t) \times \cos \omega_c t = m(t) \cos \omega_c t$$

DSB-SC 신호만을 보내고 반송파를 억압(suppress)하기 때문에 이 변조 방식을 양측대파 반송파 억압(Double Sideband Suppressed Carrier : DSB-SC) 변조 방식이라 한다. DSB-SC 변조된 신호의 스펙트럼은 푸리에 변환을 하면 다음과 같다.

$$S_{DSB-SC}(\omega) = \frac{1}{2} [M(\omega - \omega_c) + M(\omega + \omega_c)]$$



[기저대역 신호와 DSB-SC 변조된 신호의 스펙트럼]

[QAM(Quadrature Amplitude Modulation); 직교 진폭 변조]

(1) QAM 변조

동일한 채널 대역에 서로 다른 신호를 전송하는 방법으로 하나의 신호에는 일정한 반송파에 데이터를 실어서 전송하고, 또 다른 신호에는 먼저 사용된 반송파와 직교(Quadrature)한 신호에 전송하여 데이터를 보내면 두 신호간의 간섭없이 모두 복호가 가능하다. 두 정보 신호를 각각  $m_1(t)$ ,  $m_2(t)$ 로 두고 이를 증명하면 다음과 같다.

(Tx.)

$$\begin{aligned}\phi_1(t) &= m_1(t)\cos w_c t, \phi_2(t) = m_2(t)\sin w_c t \\ \phi_{QAM}(t) &= m_1(t)\cos w_c t + m_2(t)\sin w_c t\end{aligned}$$

(2) QAM 복조

QAM 신호는 서로 직교한 반송파로 DSB-SC 변조된 신호이므로 동기 검파기를 사용하여 복조할 수 있다. QAM 복조를 위해서는 해당 정보 신호에 반송파와 동일한 반송파를 곱하고 저역통과 필터를 통과하면 저주파 성분인 정보 신호만 남게 되어 원래의 정보 신호를 얻을 수 있다.

(Rx.)

$$\begin{aligned}x_1(t) &= 2\phi_{QAM}(t)\cos w_c t = 2[m_1(t)\cos w_c t + m_2(t)\sin w_c t]\cos w_c t \quad (\text{In-phase Channel}) \\ &= 2m_1(t)\cos^2 w_c t + 2m_2(t)\sin w_c t \cos w_c t \\ &= m_1(t)(1 + \cos 2w_c t) + m_2(t)\sin 2w_c t \\ &\Rightarrow (LPF\text{통과}) m_1(t)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_2(t) &= 2\phi_{QAM}(t)\sin w_c t = 2[m_1(t)\cos w_c t + m_2(t)\sin w_c t]\sin w_c t \quad (\text{Quadrature-phase Channel}) \\ &= 2m_1(t)\sin w_c t \cos w_c t + 2m_2(t)\sin^2 w_c t \\ &= m_1(t)\sin 2w_c t + m_2(t)(1 - \cos 2w_c t) \\ &\Rightarrow (LPF\text{통과}) m_2(t)\end{aligned}$$

[White Noise 백색 잡음]

모든 주파수 영역에서 존재하는 불규칙한 크기의 전력을 가진 신호로 일반적인 환경에서 통신을 시뮬레이션할 때 포함한다.

[LPF(Low-pass Filter) 저역 통과 필터]

필터란, 신호에서 원하는 부분만 추출해서 출력하기 위해 필요하다. 이 중에서 저역 통과 필터는 낮은 대역의 신호를 추출하기 위해 사용되는데 현재의 시스템에서는 정보 신호를 복원하기 위해 쓰였다.

저역 통과 필터도 종류가 다양한데, 그 중에서도 아날로그 Butterworth 필터를 사용했다. Butterworth 필터는 통과 대역의 신호가 평탄하며, Cutoff 주파수는  $1/\sqrt{2}$ (-3dB) 지점으로 잡으며, 필터의 차수가 증가할수록 필터가 천이되어 (날카롭게 되어) 통과대역과 저지대역의 기능이 향상된다.

N차 Butterworth 저역 필터의 특징

- 1. 원 주위에 n개의 극점
- 2.  $z=-1$ 에 n차의 영점
- 3. 극점은 단위원 안쪽에 있는  $P_m$  값에 의해 주어짐
- 4.  $P_m$ 의 실수부와 허수부는 별개

$$PR_m = \left\{ 1 - \tan^2 \left( \frac{\Omega_1}{2} \right) \right\} / d$$
$$PI_m = 2 \tan \left( \frac{\Omega_1}{2} \right) \sin \left( \frac{m\pi}{n} \right) / d, m = 0, 1, \dots, (2n-1)$$

[  $P_m$ 의 실수부와 허수부]

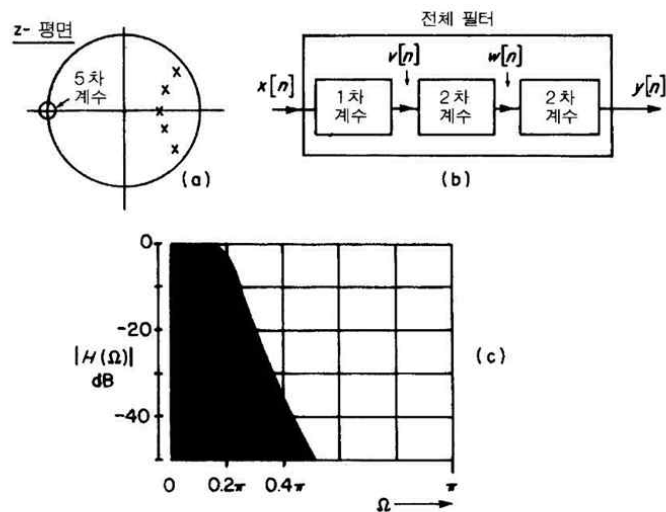


그림 6.7 5차 Butterworth 디지털 저역 필터(그림 (c)의 횡좌표: 320 샘플).

## [FFT(Fast Fourier Transform) 고속 푸리에 변환]

디지털 영역에서 푸리에 변환을 하기 위해서는 우선 이산 푸리에 변환이 필요하다. 신호를 샘플링하게 되면 비주기 신호라고 할지라도 신호의 스펙트럼이 주기를 가지게 되는데 이 중에서 주기 하나를 정하여 푸리에 변환하여 신호를 해석한다. 이러한 이산 푸리에 변환은 주기를 가지게 되므로 샘플링 수와 점의 개수에 따라 같은 값의 곱셈 연산이 필요할 때마다 새로 계산되어 사용되므로, 이러한 과정을 간소화하고자 코사인 사인값을 메모리에 미리 저장하였다가 필요할 때 불러서 쓰는 방법으로 계산 속도를 향상시킨다.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	$\frac{(1-j)}{\sqrt{2}}$	$-j$	$\frac{-(1+j)}{\sqrt{2}}$	-1	$\frac{-(1-j)}{\sqrt{2}}$	$j$	$\frac{(1+j)}{\sqrt{2}}$
2	1	$-j$	-1	$j$	1	$-j$	-1	$j$
3	1	$\frac{-(1+j)}{\sqrt{2}}$	$j$	$\frac{(1-j)}{\sqrt{2}}$	-1	$\frac{(1+j)}{\sqrt{2}}$	$-j$	$\frac{-(1-j)}{\sqrt{2}}$
4	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
5	1	$\frac{-(1-j)}{\sqrt{2}}$	$-j$	$\frac{(1+j)}{\sqrt{2}}$	-1	$\frac{(1-j)}{\sqrt{2}}$	$j$	$\frac{-(1+j)}{\sqrt{2}}$
6	1	$j$	-1	$-j$	1	$j$	-1	$-j$
7	1	$\frac{(1+j)}{\sqrt{2}}$	$j$	$\frac{-(1-j)}{\sqrt{2}}$	-1	$\frac{-(1+j)}{\sqrt{2}}$	$-j$	$\frac{(1-j)}{\sqrt{2}}$

그림 7.3  $W_N^k$  표

[8점 기수 - FFT의 테이블]

## [STFT(Short-Time Fourier Transform)]

기존 FFT의 경우 해당 신호 전체 영역에 대하여 주파수 분포를 살펴볼 수 있지만 시간영역을 주파수 영역으로 변경하였으므로 시간에 따른 주파수의 변화를 살펴볼 수 없었다. 그러나 MATLAB 내부에서 짧은 구간 별로 FFT를 하여 짧은 시간 내에서 FFT를 통해 시간별로 FFT를 하여 시간 흐름에 따른 신호의 주파수와 진폭을 파악할 수 있다.

## [Window 함수]

무한한 길이의 신호를 제한하기 위해 유한한 길이의 창함수를 이용하여 신호를 적절하게 조절할 수 있다. 이 시스템에서는 이중에서도 가장 성능이 우수한 Hamming 창을 이용하여 FFT의 분석에 사용하였다. 창함수를 이용하여 특정 구간을 한정하고 주엽(main lobe)과 부엽(side lobe)의 크기를 조절하게 되면, FFT의 연산을 하면 스펙트럼 누설의 문제를 해결할 수 있다.

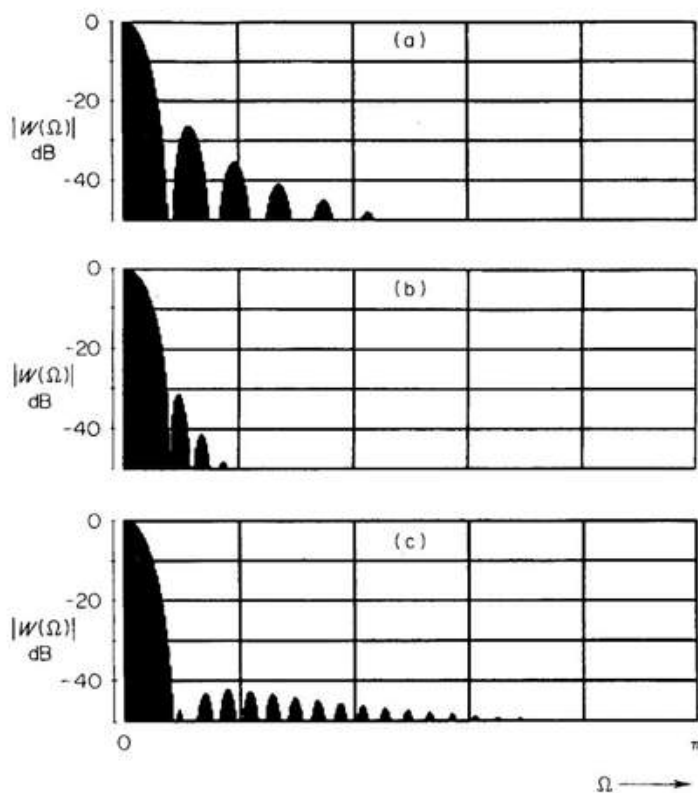
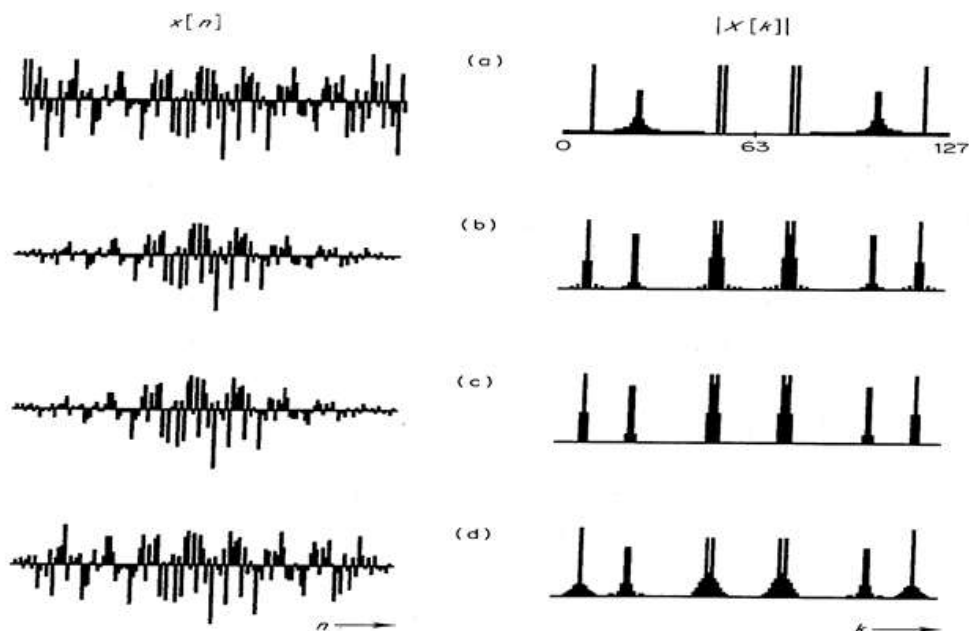


그림 5.16 계수가 51개인 경우의 창: (a) 삼각 창 (b) von Hann 창 (c) Hamming 창.

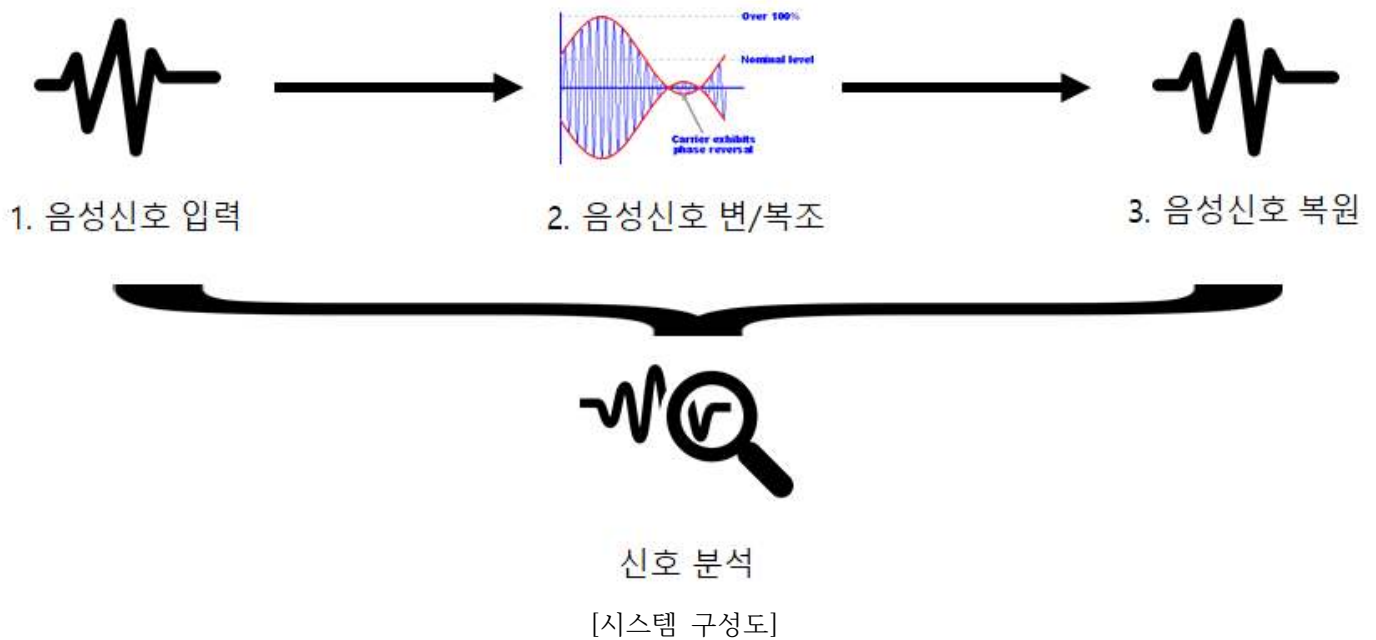
$$x(n) = \sin\left(\frac{2\pi n}{128}9\right) + \sin\left(\frac{2\pi n}{128}24.5\right) + \sin\left(\frac{2\pi n}{128}51\right) + \sin\left(\frac{2\pi n}{128}53\right), 1 \leq n \leq 128$$



[FFT에서의 창함수 사용: (a)직사각형, (b)삼각, (c)와 (d) Hamming (각 횡좌표:128 샘플)]

### 3. 시스템 설계도

#### (1) 개념도



#### [음성 신호 입력]

: 음성 파일의 데이터를 MATLAB 작업 공간에 입력하여 데이터 처리를 위한 준비를 한다.

#### [음성 신호 분석]

: 입력된 음성 신호를 시간 영역, 주파수 영역에서 관찰하며 데이터의 성질을 파악한다.

#### [음성 신호 변/복조]

: 입력된 음성 신호를 SIMULINK에서 반송파를 곱하여 DSB-SC 신호로 복조하고, 무선 통신 환경을 시뮬레이션하여 백색 잡음을 삽입한 후, 무선으로 수신 받은 신호를 다시 복조한다.

#### [음성 신호 복원]

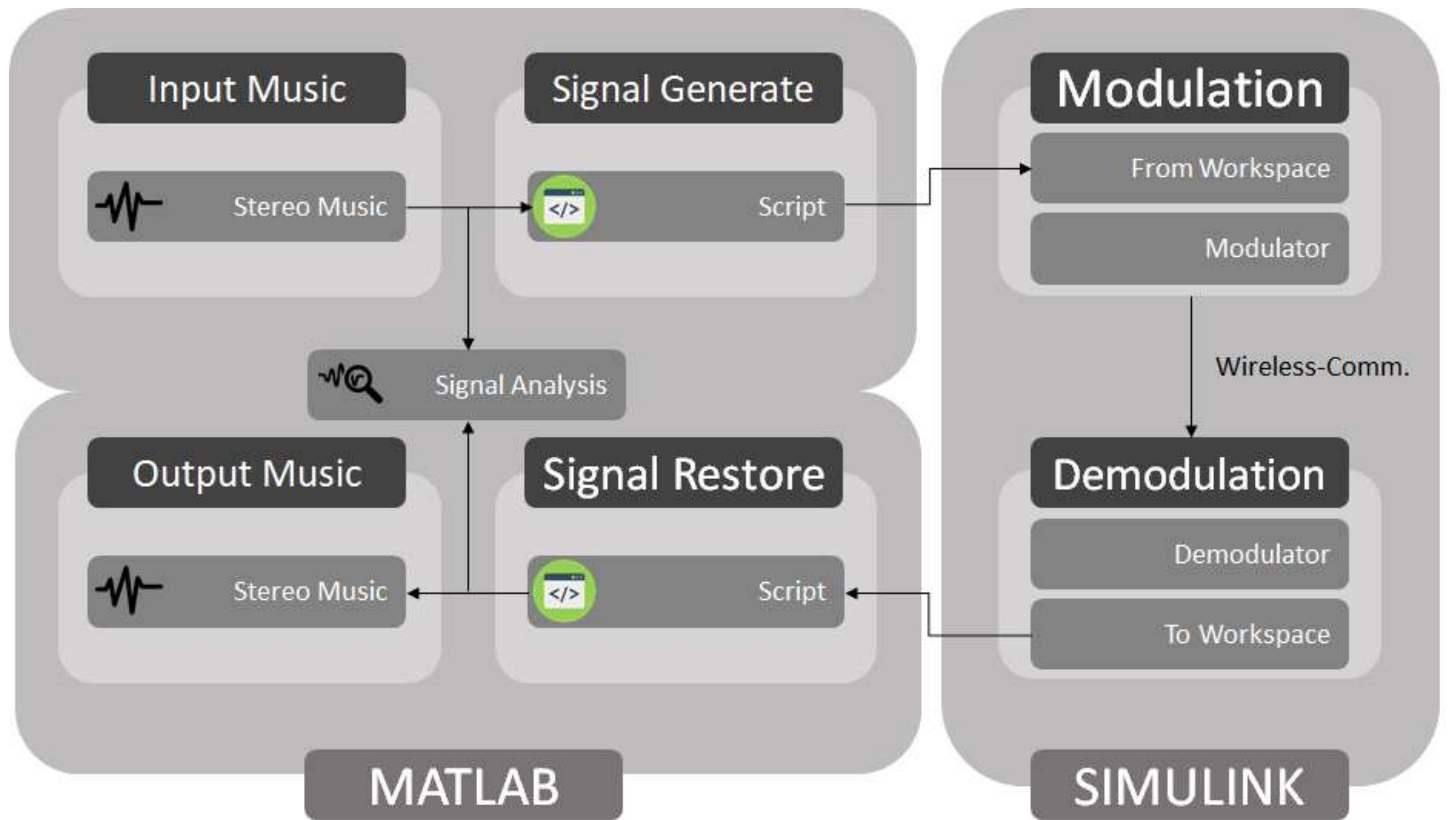
: 복조된 신호를 다시 MATLAB 작업 공간으로 호출한 후 해당 데이터를 재생하여 원본 파일과 비교한다.

#### [음성 신호 분석]

: 복조된 음성 신호를 시간 영역, 주파수 영역에서 관찰하며 데이터의 성질을 파악한다.



## (2) 시스템 흐름도



### [MATLAB]

컴퓨터에 저장된 음성 신호를 읽어 들여 음성 신호를 추출하고 스크립트를 통해 분석 복조된 신호를 처리하는 과정, 스크립트를 통해 처리

### [SIMULINK]

작업 공간에서 불러온 신호를 송수신을 위해 반송파를 이용하여 변조하여 신호를 송신 무선 통신을 거친 신호를 다시 복호화해서 작업 공간으로 반환

#### 4. 작품의 내용 및 결과

우선 음성 신호를 입력하여 데이터를 저장하는 MATLAB 스크립트 파일(store audio.m)

```
clc, clear, close all
N = 10; % Set Playtime

filename='track.wav'
S=audioread(filename);
S1=transpose(S(1:44100*N+1,1));
S2=transpose(S(1:44100*N+1,2));

ts=1/44100;
time=0:ts:N;

[y,Fs]=audioread(filename,[1,N*1/ts]);
Origin_Song=audioplayer(S,1/ts);
start=1;
stop=Origin_Song.SampleRate * N;
play(Origin_Song, [start, stop]);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% load a .wav file
[x, fs] = audioread('track.wav'); % load an audio file
x = x(:, 1); % get the first channel

% define analysis parameters
xlen = length(x); % length of the signal
wlen = 1024; % window length (recommended to be power of 2)
hop = wlen/4; % hop size (recommended to be power of 2)
nfft = 4096; % number of fft points (recommended to be power of 2)

% perform STFT
[S, f, t] = stft(x, wlen, hop, nfft, fs);

% define the coherent amplification of the window
K = sum(hamming(wlen, 'periodic'))/wlen;

% take the amplitude of fft(x) and scale it, so not to be a
% function of the length of the window and its coherent amplification
S = abs(S)/wlen/K;

% correction of the DC & Nyquist component
if rem(nfft, 2) % odd nfft excludes Nyquist point
    S(2:end, :) = S(2:end, :).*2;
else % even nfft includes Nyquist point
    S(2:end-1, :) = S(2:end-1, :).*2;
end

% convert amplitude spectrum to dB (min = -120 dB)
S = 20*log10(S + 1e-6);

% plot the spectrogram
figure(1)
surf(t, f, S)
shading interp
axis tight
box on
view(0, 90)
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 14)
xlabel('Time, s')
ylabel('Frequency, Hz')
title('Amplitude spectrogram of the signal')

handl = colorbar;
set(handl, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 14)
ylabel(handl, 'Magnitude, dB')

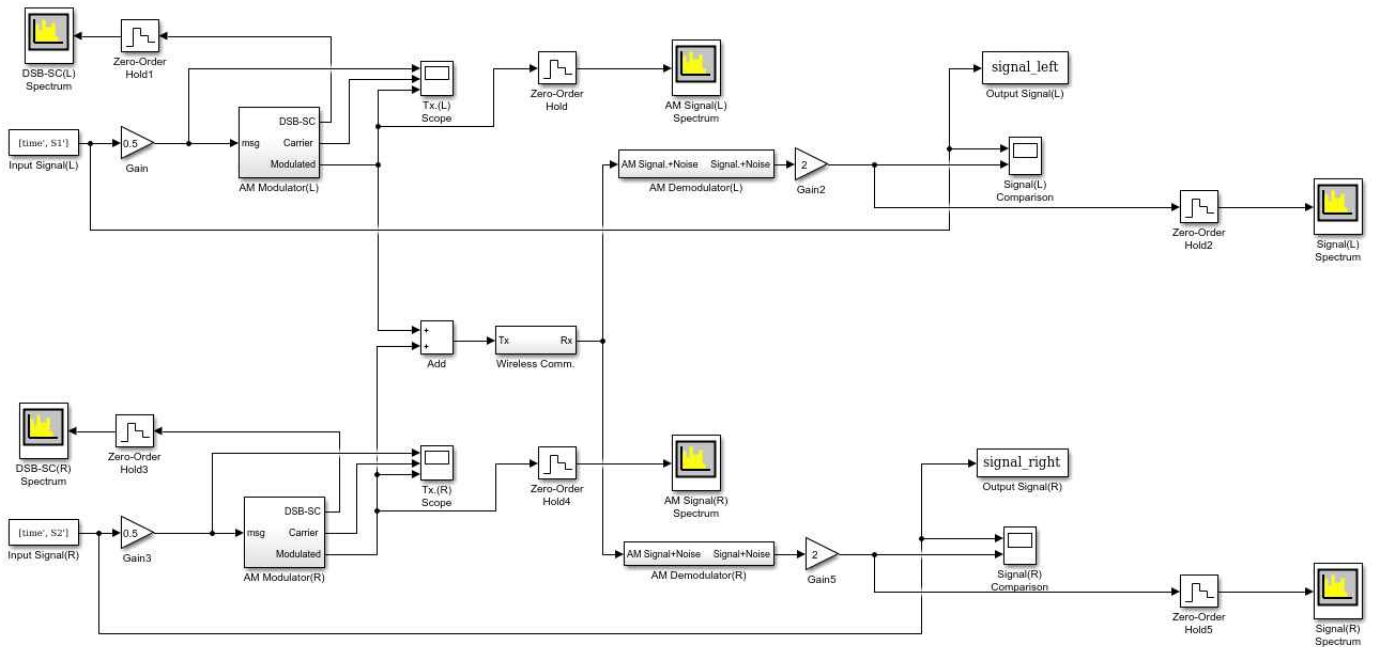
s2 = S(1:745,:); % ~ 8kHz Freq. Spectrum
[X,Y] = meshgrid(t,f(1:745)); % Generate Meshgrid
Z = abs(s2);
figure(2)
mesh(X,Y,Z); % display Mesh
```

해당 스크립트를 실행하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

두 그림의 경우 입력된 음성 신호 전체에 대한 STFT(Short-Time Fourier Transform)의 결과로 음성신호를 짧은 시간별로 FFT하여 해당 신호를 도식화 한 것으로 낮은 대역의 주파수에 높은 진폭의 신호들이 분포한 것을 확인 할 수 있다.

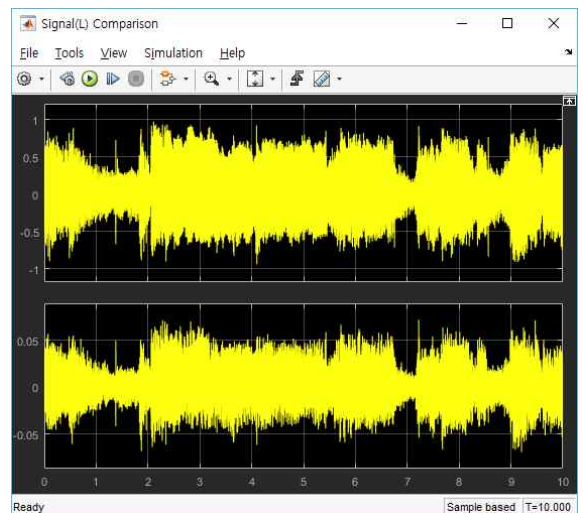
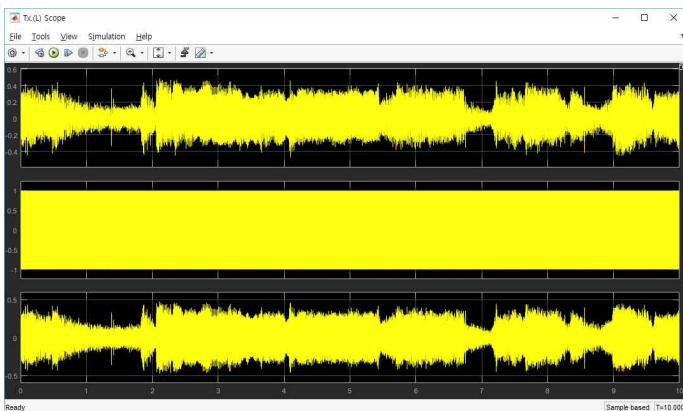
또한 원본 음성 신호를 재생하여 원본 음성을 파악할 수 있다.

이후, SIMULINK를 이용하여 전체적인 Block Diagram을 보면 다음과 같다.

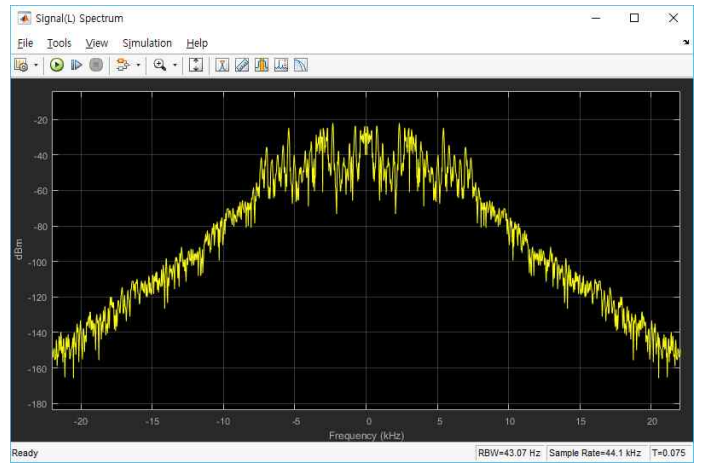
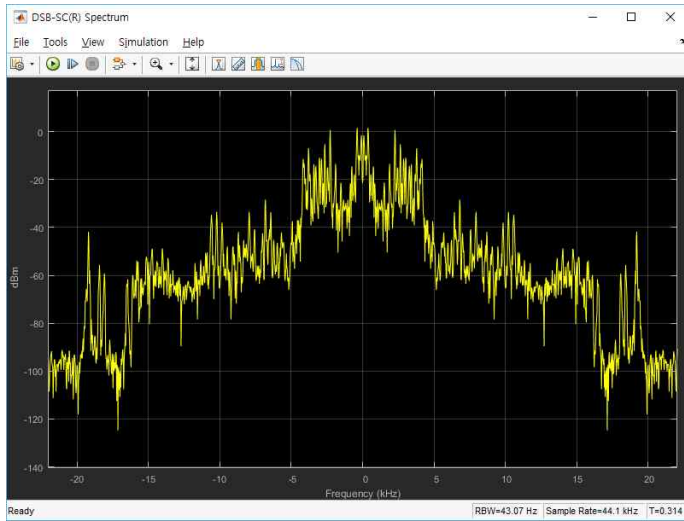


[QAM Block Diagram]

최근 음성 신호는 Stereo 신호로 좌우 신호 2개로 이루어져 있으므로, 좌우 신호를 나누어서 입력하여 두 신호에 대해 QAM 변조를 통해 두 신호간의 간섭 없이 두 신호 전부 하나의 채널에서 완벽하게 무선 신호를 복원할 수 있다.



[음성 신호 : 위에서부터 원본 신호, 반송파, 변조신호]    [비교 음성 신호 : 위에서부터 원본 신호, 잡음이 섞인 복원 신호]  
원본 신호와 각종 신호를 시간 영역에서 비교하여 신호의 변화를 파악할 수 있다.



[음성 신호 주파수 영역 : 왼쪽에서부터 원본 신호, 변조신호]

이후 복조된 신호를 MATLAB 작업 공간에 불러와서 다시 신호 분석을 거치고 신호를 분석하는 코드는 다음과 같다.

```

N = 10;

Demod_Signal = [signal_left.signals.values';signal_right.signals.values'];
Received_Song=audioplayer(Demod_Signal',1/ts);
start=1;
stop=Received_Song.SampleRate * N;
play(Received_Song, [start, stop]);

x = Received_Song(:, 1);                % get the first channel

% define analysis parameters
xlen = length(x);                      % length of the signal
wlen = 1024;                           % window length (recommended to be power of 2)
hop = wlen/4;                          % hop size (recommended to be power of 2)
nfft = 4096;                           % number of fft points (recommended to be power of 2)

% perform STFT
[S, f, t] = stft(x, wlen, hop, nfft, fs);

% define the coherent amplification of the window
K = sum(hamming(wlen, 'periodic'))/wlen;

% take the amplitude of fft(x) and scale it, so not to be a
% function of the length of the window and its coherent amplification
S = abs(S)/wlen/K;

% correction of the DC & Nyquist component
if rem(nfft, 2)                        % odd nfft excludes Nyquist point
    S(2:end, :) = S(2:end, :).*2;
else                                  % even nfft includes Nyquist point
    S(2:end-1, :) = S(2:end-1, :).*2;
end

% convert amplitude spectrum to dB (min = -120 dB)
S = 20*log10(S + 1e-6);

% plot the spectrogram
figure(3)
surf(t, f, S)
shading interp
axis tight
box on
view(0, 90)
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 14)
xlabel('Time, s')
ylabel('Frequency, Hz')
title('Amplitude spectrogram of the signal')

```

```

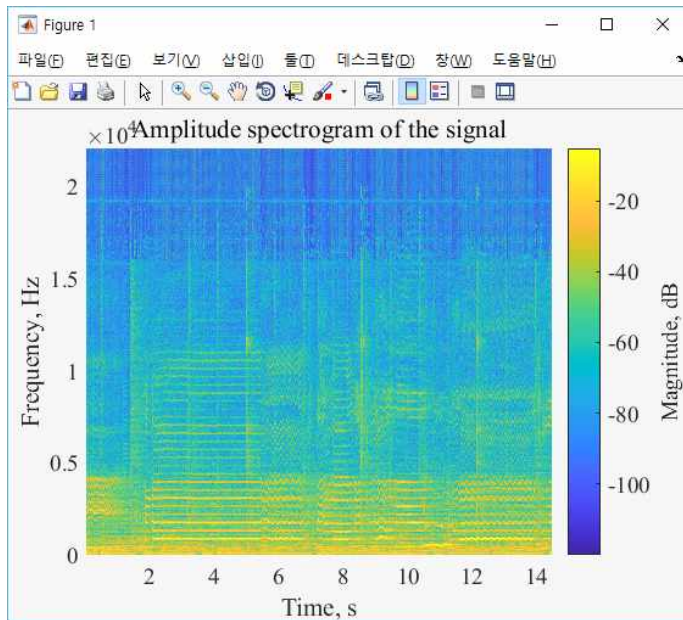
handl = colorbar;
set(handl, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 14)
ylabel(handl, 'Magnitude, dB')

s2 = S(1:745,:); % ~ 8kHz Freq. Spectrum

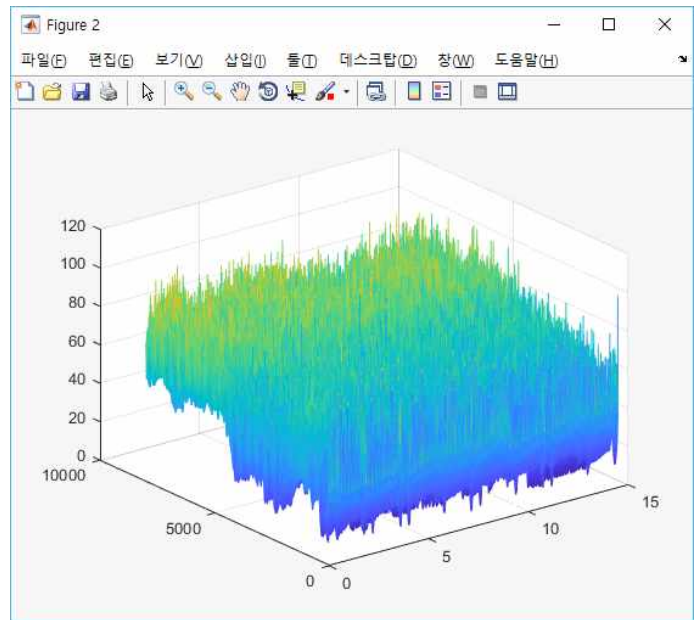
[X,Y] = meshgrid(t,f(1:745)); % Generate Meshgrid
Z = abs(s2);
figure(4)
mesh(X,Y,Z); % Display Mesh Graph

```

스크립트를 실행하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.



[Figure 1]



[Figure 2]

두 그림의 경우 입력된 음성 신호 전체에 대한 STFT(Short-Time Fourier Transform)의 결과로 음성신호를 짧은 시간별로 FFT하여 해당 신호를 도식화 한 것으로 백색 잡음이 추가된 신호가 LPF를 통해 전체 주파수 영역에서의 주파수의 진폭의 신호들이 저역에서 분포한 것을 확인 할 수 있다.

## 5. 개선점

아날로그 통신은 디지털 통신에 비해 상대적으로 잡음에 약한 특성을 가지고 있다. 하지만 디지털 통신은 아날로그 통신에 비해 더 넓은 대역폭을 차지하므로 대역폭 상의 이득을 취할 수 있다. 우리는 여기에서 직교 변조 방식을 통해 동일한 채널에서 서로 다른 데이터의 송수신이 가능하므로 대역폭 상의 이득을 조금 더 극대화한 통신을 할 수 있었다.

## 6. 결과 및 고찰

이론적으로만 학습했던 아날로그 통신을 실제 시뮬레이션 환경에서 구현해 봄으로써 통신 이론에 대한 이해도를 좀 더 향상시킬 수 있었다. 또한 조사 과정에서 데이터 통신에서도 QAM 방식을 통해 진폭과 위상을 변조하여 데이터를 송수신하는 점을 이용해 동일 대역폭을 좀 더 효율적으로 사용할 수 있다는 것을 미리 알아 볼 수 있었다.