

# 수신 다이버시티를 이용한 음향 통신 시스템의 성능 향상 분석

준회원 북 준 영\*, 정회원 유 흥 균\*

## Performance Improvement analysis of Acoustic Communication System using Receive Diversity

Jun-yeong Bok\* Associate Member, Heung-Gyoon Ryu\* Regular Member

### 요 약

음향 통신 시스템은 오디오와 데이터를 동시에 전송하는 기술이다. 음향 통신 시스템은 데이터 신호의 파워를 높게 할수록 데이터 신호가 소리로 들리는 문제점을 가진다. 데이터 신호의 송신 파워가 낮아질수록 전송 가능한 거리는 감소된다. 따라서 음향 통신 시스템에서 전송 거리를 증가시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 데이터 전송 효율을 높이기 위해 사용되는 수신 다이버시티 기법을 음향 통신 시스템에 적용하여 송신 거리를 향상 시키고자 한다. 동일한 송신 파워로 전송될 때 제안된 시스템과 기존 시스템의 수신 성능을 거리에 따라 측정 하였다. Single Input Sing Output (SISO) 시스템에서  $7 \times 10^{-3}$ 의 Bit Error Rate (BER) 성능을 만족 시키는 거리가 약 2m 일 경우, Selection Combining (SC) 기법을 적용하게 되면 약 3m로 거리가 증가하고, Equal Gain Combining (EGC) 기법을 적용하면 약 4m 에서도 수신 성능을 만족 시킬 수 있다.

**Key Words** : Acoustic OFDM, OFDM, Diversity, Audio, SIMO

### ABSTRACT

Acoustic communication system is a transmission technology sending sound and data simultaneously. However, data signal can be audible in this system when data is transmitted with high transmission power. The more transmission power is reduced, the more distance that can transmit data is shortened. Therefore, the study that increase the transmission distance is needed. In this paper, we would like to increase transmission distance by adapting receive diversity in acoustic communication system. We measure received performance of both proposed system and Single Input Sing Output (SISO) system according to distance with same transmission power. When SISO satisfies Bit Error Rate (BER) of  $7 \times 10^{-3}$  at about 2m, Selection Combining (SC) technique satisfies 2 meters, and Equal Gain Combining (EGC) technique satisfies 4 meters.

### I. 서 론

최근 스마트폰과 휴대기기의 발전으로 음파를 이용한 데이터 전송 방식이 관심을 받고 있다. 음파를 이용한 데이터 전송은 근거리 통신 방식이며, 누구나 사용 가능한 주파수 대역이란 장점이 있다. 음향 통신

기술은 별도의 추가적인 장비 없이도 데이터 전송이 가능하기 때문에 여러 가지 분야에서 이용 될 수 있다. 음향 통신 방식의 단점으로는 음파의 주파수 대역이 좁다는 것이다. 이러한 단점을 보완하기 위한 방법 중 하나로 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 기반의 데이터 전송 기법이 연구 되었다<sup>1,2)</sup>.

\* 충북대학교 전자정보대학 전자공학과(ecoma@cba.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-10-503, 접수일자 : 2010년 10월 21일, 최종논문접수일자 : 2011년 2월 22일

음향 통신 시스템은 사운드와 함께 데이터를 전송하기 때문에 데이터의 파워 전력을 높게 전송할 수 없다. 데이터 신호는 음악등과 다르게 사람들에게 마치 잡음처럼 들리게 된다. 따라서 데이터 신호의 파워를 높게 전송 할수록 잡음과 같은 소리가 커지게 된다. 데이터 소리를 사람들이 인식 하지 못하도록 낮은 파워로 전송 하게 되면 전송 가능한 거리는 줄어들게 된다. 한편 다중 안테나 기술은 2개 이상의 안테나를 사용하여 수신 성능을 향상 시키는 방식이다. 다중 안테나 기술은 추가적인 전력을 요구하지 않은 채로 송신기/수신기의 안테나 수를 늘림으로써 시스템 성능을 향상 시키는 방법이다<sup>3-6)</sup>.

본 논문에서는 음향 통신 시스템에서 데이터 수신 성능 향상을 위하여 수신 다이버시티 기술을 이용한 음향 통신 시스템을 제안해 본다. 또한 추가적으로 수신 성능을 향상 시켜 전송거리를 증가 시키는 방법을 제안한다. 음향 통신을 하기 위해서 스피커와 마이크로폰이 송신기와 수신기로 사용된다. 수신 다이버시티 기법을 이용하기 위하여 두 개의 마이크를 사용 한다. 이때 두 마이크 사이의 간격은 일정 거리 이상을 유지하도록 하였다. 음향 통신 시스템에서 송신 파워가 동일 할 경우, 거리에 따른 수신 성능과 다이버시티 기법을 사용함에 따라서 향상되는 수신 성능을 측정 하였다.

## II. 음향 통신 시스템

그림 1은 OFDM 기반의 데이터와 오디오 신호를 동시에 전송 시키는 음향 통신 방식의 개념도이다. 낮은 주파수 대역에는 오디오나 음성 신호를 전송하게 되며, 오디오 신호 대역 이상에는 텍스트나 이미지 등

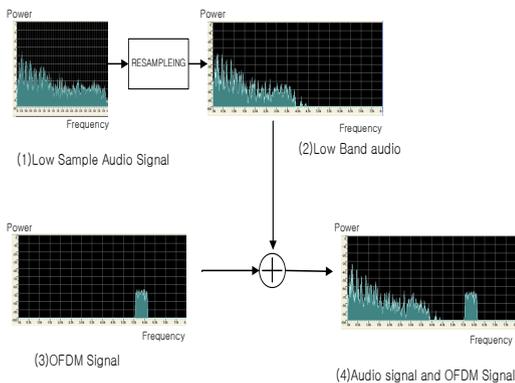


그림 1. 병렬 음향 통신 시스템의 개념도  
Fig 1. Concept of parallel acoustic communication system.

과 같은 데이터 신호를 OFDM 데이터로 변환 하여 동시에 전송 가능한 시스템이다. 오디오 신호와 데이터 신호는 서로 다른 주파수 대역에 위치하게 된다. 각기 다른 주파수 대역을 사용하기 때문에 오디오 신호는 데이터 신호의 수신시에 영향을 주지 않는다. 하지만, OFDM 신호 역시 가청 주파수 대역에 존재하므로, 스피커로 재생하게 되면 마치 잡음처럼 들리게 된다. OFDM 신호는 오디오를 듣는데 간섭으로 발생된다. 따라서 OFDM 신호를 오디오 신호에 비해 상대적으로 낮은 파워로 전송하게 된다. 음파는 상대적으로 두 신호의 차가 크면 작은 신호는 잘 들리지 않는 특성이 있다. 오디오 신호에 비해 상대적으로 많이 낮은 OFDM 신호는 잘 들리지 않는다.

사람의 귀는 주파수가 높은 음파일수록 잘 인지할 수 없다. 따라서 OFDM 신호를 높은 주파수 대역을 사용하여 전송 할수록 잘 인지 할 수 없다. 그러나 일반적으로 사용되는 마이크 폰은 보통 10KHz 이내의 신호만 수신 가능하다. 따라서, OFDM 신호는 10KHz 보나 낮은 주파수 대역을 사용하여 전송해야 된다. 음성과 같은 오디오 신호는 약 4KHz 주파수 대역의 신호에 주된 주파수 성분의 신호가 존재 한다. 따라서 Nyquist-Shannon 샘플링 이론을 만족하기 위해서 오디오 신호를 8KHz로 샘플링 한다.

그림 1과 오디오 신호는 낮은 주파수 대역에 전송하며, OFDM 신호는 오디오 신호 이상의 주파수 대역에 전송하게 된다. OFDM 데이터는 IFFT 과정을 통하여 손쉽게 생성 가능하며, 시간영역에서 더해진 두 신호는 스피커를 통하여 전송 되게 된다. OFDM 신호는 부 반송파 수를 고정하여 일정 주파수 대역마다 OFDM 신호가 전송 가능한 방식을 사용하였다.

그림 2 는 병렬 음향 통신 시스템의 블록도 이다. 낮은 샘플링으로 녹음된 오디오 신호를 Re-sampling

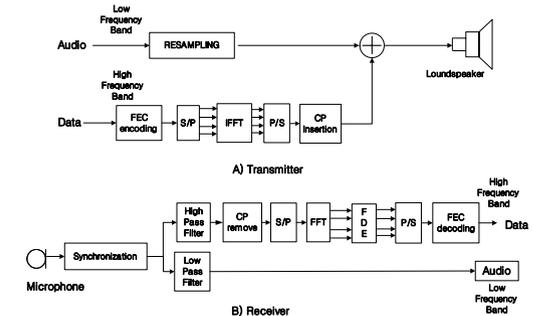


그림 2. 병렬 음향 통신 시스템 구조  
Fig 2. Block diagram of parallel acoustic communication system.

과정을 통하여 오디오 신호 이상의 주파수가 표현 가능하게 한다. Re-sampling 과정을 이용하여 오디오 신호 이상의 대역에 OFDM 데이터를 전송 할 수 있게 된다.

OFDM신호는 채널에서의 왜곡을 보상하기 위해 FEC 코딩을 사용한다. IFFT 과정을 통하여 OFDM 변조를 쉽게 할 수 있다. Cyclic Prefix를 각 OFDM 심볼의 일정 부분에 삽입 하여 다중 경로로 인해 발생하는 ISI를 영향을 줄인다. 생성된 OFDM 신호와 Re-sampling 된 오디오 신호는 시간영역에서 더해져서 스피커를 통하여 음파로 전송 된다. OFDM 신호와 오디오 신호는 서로 다른 주파수 대역으로 전송되기 때문에 OFDM 신호를 수신 할 수 있게 된다. 수신 단에서는 음향 통신 시스템은 정보데이터를 수신하기 위하여 동기화 과정을 수행 한다. 수신된 신호는 저주파 필터를 이용하여 오디오 신호만을 수신 한다. 대역 통과 필터를 이용하여 일정대역에 삽입된 OFDM 신호를 수신 한다.

데이터 신호의 OFDM 변조 과정은 아래와 같다. 데이터 신호  $X_l(k)$ 는 IFFT 과정을 통하여, N개의 부 반송파를 가지는 OFDM 신호로 변조 가능하다. 변조된 OFDM 심볼은 식 (1)과 같이 표현 가능하다.

$$x_l(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X_l(k) \cdot e^{j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (1)$$

식(1)에서  $n=0,1,\dots,N-1$ ,  $X_l(k)$ 는 l번째 OFDM 심볼의 k 번째 부 반송파에 실려 전송되는 데이터의 의미한다. 변조된 OFDM 심볼은 채널  $h_l(n)$ 을 거쳐 마이크를 통해 수신된다. 수신된 l번째 OFDM 심볼  $y_l(n)$ 은 다음 식 (2)와 같다.

$$y_l(n) = x_l(n)*h_l(n) + z_l(n) \quad (2)$$

식(2)에서  $x_l(n), h_l(n), z_l(n)$ 은 각각 l번째 OFDM 송신 심볼, 채널 이득, 백색 잡음을 나타내며, \* 는 컨볼루션 연산을 나타낸다.

수신된 OFDM 신호는 FFT 과정을 통하여 복조를 할 수 있으며 식 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$Y_l(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_l(n)*h_l(n) + z_l(n)e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (3)$$

식 (1) 을 이용하여 식(3)을 정리하면 식(4) 같이 표현 가능하다.

$$Y_l(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{\infty} h_l(m) \left( \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X_l(i) e^{j\frac{2\pi(n-m)i}{N}} \right) e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} + Z_l(k) \quad (4)$$

$$= H_l(k)X_l(k) + Z_l(k)$$

식 (4)에서  $Y_l(k), X_l(k), H_l(k)$ 는 각각 FFT 과정 후 주파수 영역에서 l번째 OFDM 심볼의 k번째 부 반송파에서 수신된 신호, 데이터, 채널 계수를 나타낸다.  $Z_l(k)$ 는 백색 잡음을 나타낸다. 수신기에서 수신 된 신호에서는 채널의 영향과 ADC, DAC 에서 발생하는 샘플링 클럭 오프셋 영향으로 주파수 영역에서 데이터 신호의 위상 회전이 발생하게 된다. 이러한 주파수 오프셋은 Comp type 파일럿을 이용하여 보상이 가능하다. 주파수 영역에 삽입된 파일럿 신호를 이용하여 매 수신된 OFDM 심볼의 평균 적인 위상 회전을 추정한다. 수신된 파일럿은 위상회전과 신호의 감쇄가 발생하므로 매 심볼에 수신된 파일럿 심볼의 평균 값을 이용하여 위상회전과 신호감쇄를 역으로 보상해준다. 위상회전의 영향을 보상 한 후 주파수 등화기를 이용하여 파일럿 신호를 이용하여 선형 보간 법으로 채널의 영향을 보상해준다.

### III. 수신 다이버시티를 이용한 음향 통신 시스템

2개 이상의 수신 안테나를 사용하는 수신 다이버시티 기법은 간단히 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 단일 스피커로부터 서로 떨어진 두 개의 수신 마이크를 이용 할 때, 수신 안테나 결합 기법을 이용하면 성능을 향상시킬 수 있다. 두 개의 스피커에서 부 반송파마다 가중치를 달리 두어 수신 할 수 있다.

그림 3은 스피커로부터 OFDM 신호 x가 전송될 경우 두 개의 수신 마이크를 사용 하여 수신 할 때 수신 기법이다. 오디오 신호와 OFDM 데이터가 스피커를 통해 두 개의 마이크 A, B 로 수신 될 경우, 각각의

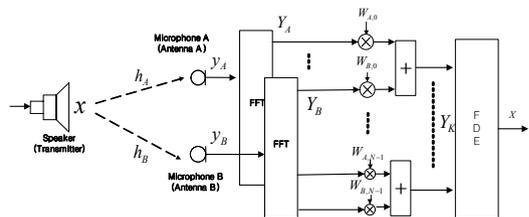


그림 3. 수신 안테나 결합 기법.  
Fig 3. Receive-antenna combining technique.

시간영역 채널 계수  $h_A, h_B$ 의 영향을 받고, 수신 마이크를 통해 두 신호  $y_A, y_B$ 가 수신된다. 수신된 두 신호는 OFDM 복조 과정인 FFT 연산을 하게 되면 식 (3)과 (4)에 의해서 식 (5)으로 표현 가능하다.

$$\begin{aligned} Y_A &= H_A X + Z_A \\ Y_B &= H_B X + Z_B \end{aligned} \quad (5)$$

X는 OFDM의 부 반송파의 데이터,  $Y_A, Y_B$ 는 각각 복조된 OFDM 데이터 심볼,  $H_A, H_B$ 는 주파수 영역에서의 각각의 채널계수이고,  $Z_A, Z_B$ 는 각각의 수신기에서의 백색 잡음이다. 수신된 OFDM 신호는 각 부 반송파마다 가중치를 다르게 선택할 수 있다. 그림 3에서 가중치  $W_A, W_B$ 는 각각 수신된 OFDM 심볼 A, B의 가중치이다. 가중치  $W_A, W_B$ 는 부 반송파 별로 아래와 같이 표현 된다.

$$\begin{aligned} W_A &= \begin{bmatrix} W_{A,0} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & W_{A,N-1} \end{bmatrix} \\ W_B &= \begin{bmatrix} W_{B,0} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & W_{B,N-1} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

$W_{A,0}, W_{A,N-1}$ 는 수신 마이크 A의 첫 번째 부 반송파와 N 번째 부 반송파의 가중치이며,  $W_{B,0}, W_{B,N-1}$ 는 수신 마이크 B의 첫 번째 부 반송파와 N 번째 부 반송파의 가중치를 나타낸다. 두 마이크를 통해 수신된 신호에 가중치가 고려되면 식 (7)과 같이 표현 할 수 있다.

$$Y_k = \begin{bmatrix} W_{A,0} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & W_{A,N-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{A,0} \\ \vdots \\ Y_{A,N-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_{B,0} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & W_{B,N-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{B,0} \\ \vdots \\ Y_{B,N-1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

가중치가 고려된 두 신호는 동일한 부 반송파마다 더해진 데이터  $Y_k$ 가 생성된다. 생성된  $Y_k$ 는 채널 등화기를 거쳐 데이터 X를 수신 할 수 있다. 이때 가중치를 선택하는 방식에 따라 수신 다이버시티 기법이 달라진다. 우리는 SC 기법과 EGC 기법만을 고려하였다.

### 3.1 Selection combining (SC)

SC 기법은 두 개의 수신 마이크를 통해 수신된 신호 전력의 큰 신호를 선택하는 기법이다. 만약 수신

마이크 A의 신호 전력이 클 경우, 신호  $Y_A$ 와 채널 계수  $H_A$ 를 이용하여 채널 등화 후 데이터를 수신한다. 이때  $W_A$ 의 N 개의 값은 1을 주고,  $W_B$ 는 모두 0이 되어 신호 전력의 큰 신호를 수신 하게 된다. 수신 마이크 B의 신호 전력이 클 경우는 데이터  $Y_B$ , 채널 계수  $H_B$ 를 이용해 채널 등화 한다. 이 경우  $W_A$ 의 N 개의 값은 0이 되며,  $W_B$ 는 모두 1이 된다.

### 3.2 Equal gain combining (EGC)

EGC 기법은 두 수신 마이크로 수신된 데이터 심볼에 동일한 가중치를 주는 방법이다 수신된 신호에 위상 동기를 맞춘 후 결합할 수 있으며 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_k = Y_A(e^{-j\arg(H_A)}) + Y_B(e^{-j\arg(H_B)}) \quad (8)$$

위상 동기를 맞춘 후 부 반송파마다 결합된 신호  $Y_k$ 가 생성된다.  $Y_k$ 의 부 반송파에 파일릿신호를 이용하여 채널 추정을 하게 된다. 이 때 채널 추정한 계수를 이용하여 Minimum Mean Square Error (MMSE) 기법으로 등화를 한다.

## IV. 시뮬레이션 및 실험

### 4.1 시뮬레이션

우리는 비선형적 페이딩 채널과 백색 잡음만 존재한다고 가정하고 시뮬레이션 하였다. 수신 다이버시티 기법으로 SC 기법과 EGC 기법만을 고려하여 시뮬레이션 하였다.

표 1과 같은 파라미터를 가지고 시뮬레이션을 하였다. 사운드 신호는 4KHz의 저주파대역으로 전송되며, OFDM 신호는 오디오 신호 보다 상위 주파수 대역으로 전송된다.

그림4는 수신 다이버시티 기법을 사용하였을 경우

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Sampling frequency	16KHz
Audio signal frequency	0 - 4000Hz
OFDM carrier frequency	4234-8000Hz
Carrier modulation	QPSK
Number of carriers	34(+4 pilot)
Symbol interval	2048sample(128ms)
Guard interval	512samples (32ms)

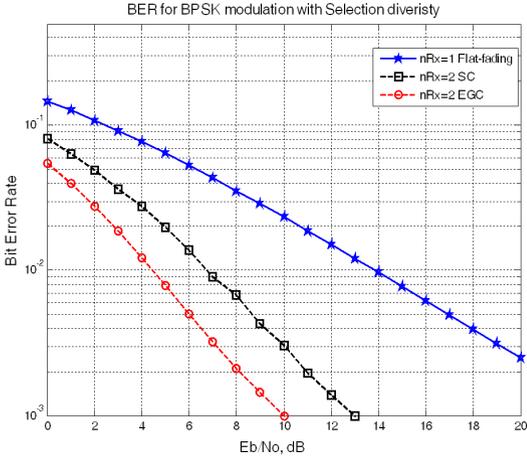


그림 4. 다이버시티 기법에 따른 BER 성능 비교  
Fig 4. BER performance according to diversity technique.

Signal to noise ratio (SNR) 에 따른 수신 성능을 보여 준다. Rayleigh 채널과 백색 잡음만 고려했을 때 수신 성능이다. 다이버시티 기법을 적용 하게 되면 SC 기법과 EGC 기법 모두 수신 성능이 향상된다.

송신된 신호는 서로 다른 채널 환경을 겪기 때문에 더 좋은 채널 환경을 거친 신호를 검출하기 위하여 SC 기법을 사용한다. SC 기법은 두 개의 수신 마이크에서 신호 전력이 큰 신호를 선택 적으로 수신 하여 좋은 수신 BER 성능을 얻을 수 있다. EGC 기법은 SC기법과 달리 두 개의 수신 안테나에서 수신된 두 신호를 모두 이용하기 때문에 수신 에너지가 2배가 되게 된다. EGC기법은 SC 기법에 비해서 약 3dB의 추가적인 에너지 이득이 발생하게 된다. 추가적인 에너지 이득으로 인해서 EGC 기법이 SC 기법에 비해 수신 BER 성능이 향상된 것을 그림 4에서 볼 수 있다.

4.2 음향 통신 시스템의 실험 결과

실험에서는 송신기와 수신기로 표 2 와 같은 스피커와 마이크 장비를 사용하였다. 음파는 공기라는 매질의 압력 변화에 의해 종파의 형태로 전달되기 때문에 스피커와 수신 마이크의 방향성이 수신 성능에 중요한 요인이 된다. 따라서 수신 마이크의 방향은 스피

표 2. 실험 장비

	스피커	마이크	앰 프
장비 명칭	SONY SS-NX1	ONESTEC OST-101	PA-630
주파수 응답	20 ~ 20kHz	50~20kHz	

커를 향하도록 하였다.

시뮬레이션에선 Rayleigh 채널과 백색 잡음만을 고려하여 시뮬레이션 하였다. 하지만 실험에서는 스피커의 증폭기의 비선형성, 샘플링 클럭 불일치, RF 불균형 등 여러 가지 수신 방해 요인이 발생하게 된다. 이러한 방해 요인 중 음향 통신 시스템에서는 샘플링 클럭 불일치가 심하게 발생된다. 음파를 송/수신하기 위해서는 사운드 카드에서 ADC 와 DAC 의 동작을 하게 되며, 송수신시에 클럭 불일치가 발생한다. 이러한 샘플링 클럭 불일치로 인해 수신 성능이 열화 된다.

그림 5는 스피커와 마이크의 거리가 1m, 각도는 약 5도인 곳에서 수신된 신호의 정상도 이다. 수신된 OFDM 신호가 변조 과정을 거치면 그림 5와 같이 위상 회전된 신호가 수신 된다. 이러한 오프셋 영향은 주파수 영역의 파일럿 신호를 이용하여 위상을 회전 시켜 주게 된다. 오프셋 영향을 보상 한 뒤 MMSE 등화 과정을 거쳐 수신 신호의 채널 영향을 보상 할 수있다.

그림 6과 같이 서로 다른 두 마이크를 통해 수신된 신호의 정상도 이다. 오프셋 보상후 채널 등화 과정을 거치게 되면 채널의 영향으로 인해 수신 신호의 성능 열화 요인을 줄일 수 있다. 송수신 거리가 동일하더라도 수신 마이크의 위치가 다르면 수신 성능에 차이가 발생하게 된다. 이러한 점을 이용하기 위하여 수신 다이버시티 기법을 적용한다.

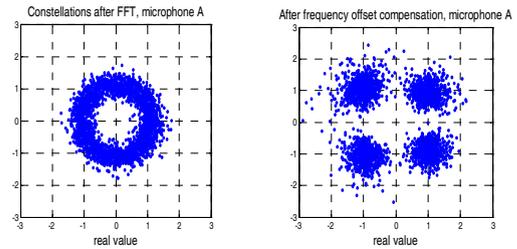


그림 5. 수신 신호와 보상된 주파수 오프셋 정상도  
Fig 5. The constellations of received and offset compensation signal.

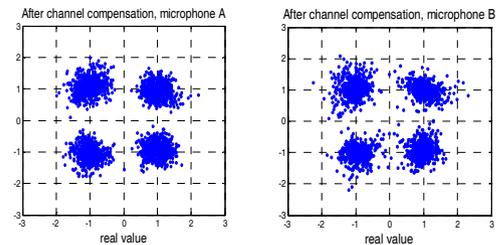


그림 6. 두 마이크에서의 채널 보상에 따른 정상도  
Fig 6. Constellations according to channel compensation.

### 4.3 다이버시티 기법을 적용한 음향 통신 시스템

다이버시티 기법을 적용하기 위하여 2개의 수신 마이크를 사용 하였으며, 데이터의 소리가 들리지 않고 음악 소리만 들리는 상황에서 스피커의 볼륨 및 OFDM 신호 파워를 변화 하지 않고 측정 거리를 달리 하였을 경우에 대하여 수신 성능을 측정하였다. 수신기로 사용된 마이크 A 와 마이크 B 는 동일한 마이크를 사용 하였으며, 송신기로는 고정된 스피커 하나를 사용하였다. 또한, 1/3 컨볼루션 코딩을 사용하였다.

그림 7은 문자 정보를 음향 통신 시스템을 이용하여 동일한 파워로 전송할 경우 송수신 거리를 달리하며 측정하였다. 스피커와 수신 마이크 A, B의 거리가 증가 할 경우 수신 파워가 낮아져서 수신 성능은 열화된다. 이때 동일한 거리에서도 두 스피커에서 수신 성능은 차이를 보이게 된다. 수신 마이크 A 와 B 에서 수신 성능에 차이가 발생 할 경우, SC 기법을 사용하게 되면 수신 성능이 향상 된다. SC 기법을 사용하게 되면 수신 마이크 A 와 B 중에서 좋은 수신 성능을 따라가는 경향을 보인다. EGC 기법을 적용한 수신 성능은 SC 기법에 비해 수신 성능이 좋은 경향을 보인다. 그림 7에서 SISO 시스템은  $7 \times 10^{-3}$ 의 수신 성능을 만족시키는 송신 거리가 약 2m 일 경우, SC 기법을 적용하게 되면 약 3m로 거리가 증가하고, EGC 기법을 적용하면 약 4m 에서도 수신 성능을 만족 시킬 수 있었다. 음향 통신 시스템에서 수신 다이버시티 기법을 적용한 경우 수신 성능이 향상 되었으며, 수신 성능의 향상은 기존의 시스템에 비해 전송 가능 거리가 증가되었음을 보인다.

## V. 결 론

본 논문에서는 데이터 전송 거리를 증가시키기 위하여 다이버시티 기법을 도입한 음향 통신 시스템의 수신 성능을 실험을 통해 확인 하였다. Rayleigh 채널에서 다이버시티 기법을 적용 하게 되면 수신 성능이 향상 된다. 본 논문에서는 다이버시티 기법을 사용한 음향 통신 시스템을 구현 및 수신 성능을 측정하였다. 실험 환경에서 동일한 송신 전력을 가지고 전송 하였을 경우, 다이버시티 기법을 적용한 음향 통신 시스템의 수신 성능이 향상됨을 확인하였다. SC 기법과 EGC 기법을 적용하여 측정 거리를 달리 하며 측정 한 결과, BER 이  $7 \times 10^{-3}$ 인 경우를 기준으로 단일 수신 마이크 사용시 보다 SC 기법은 1m, EGC 기법은 2m 이상 송신 가능거리가 증가 하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. Matsuoka, Y. Nakashima, and T. Yoshimura, "Acoustic communication system using mobile terminal microphones," *NTT DoCoMo Tech. J.*, Vol.8, No. 2, pp.2 - 12, Sep. 2006.
- [2] H. Matsuoka, Y. Nakashima, and T. Yoshimura, "Acoustic communication with OFDM signal embedded in Audio," *in Proc. Int. Conf. 29thAES*, pp.1-6, Sep. 2006.
- [3] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE Journal in Communication*, Vol.16, No.8, pp. 1451-1458, Oct.1998.
- [4] J. H. Winters, "The diversity gain of transmit diversity in wireless systems with Rayleigh fading," *Proc. InICC/SUPERCOMM*, Vol.2, pp.1121-1125, May 1994.
- [5] Lorphichian, A. et al., "Performance analysis of space diversity for OFDM transmission," *Proc. IEEE Int. Conf. Control, Automation and Systems, ICCAS*, pp.1797-1801, Oct.2008.
- [6] Sugbong Kang, and J.S Lehnert, "Receiver diversity scheme for OFDM systems," *IET journal in electronics letters*, Vol.39, No.18, pp.1359-1361, Sept. 2003.

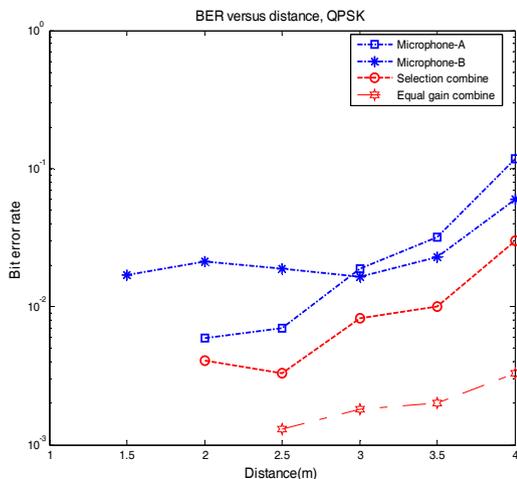


그림 7. 송신 전력이 동일한 경우 거리에 따른 수신 성능.  
Fig 7. Receive performance according to distance with same transmission power.

복 준 영 (Jun-yeong Bok)

준회원



2010년 2월 충북대학교 전기  
전자컴퓨터공학부(공학사)  
2010년 3월부터~현재 충북대  
학교 전자공학과 석사과정  
<관심분야> 무선 통신 시스템,  
음향 통신 시스템

유 흥 균 (Heung-Gyoon Ryu)

정회원



1988년~현재 충북대학교 전자  
공학과 교수  
2002년 3월~2004년 2월 충북  
대학교 컴퓨터정보통신연구  
소 소장  
1996년~현재 IEEE, IET 논문  
심사위원

2002년 한국전자과학회 학술상 수상

2008년 ICWMC 2008 국제학술대회 “Best Paper  
Award’ 수상

<관심분야> 무선 통신 시스템, 위성통신, B3G/4G  
이동통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리