



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

실내 음향 채널의 상관 대역폭 변화를
기반으로 한 침입자 탐지

Intruder Detection Based on Coherence Bandwidth
Variation in Room Acoustic Channel



2016年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電波工學科

李 昌 恩

本 論文을 李昌恩의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長 : 工學博士 鄭 智 元 (印)

委 員 : 工學博士 趙 炯 來 (印)

委 員 : 工學博士 金 基 萬 (印)



2016年 2月

韓國海洋大學校 大學院

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	v
제 1 장 서론	1
제 2 장 실내 음향 채널 특성	
2.1 다중 경로 전달	5
2.2 잡음	7
제 3 장 침입자 탐지를 위한 파라메타	
3.1 기존의 음향 탐지 파라메타	9
3.1.1 Spectral centroid	9
3.1.2 Spectral roll-off	11
3.1.3 Spectral flux	12
3.1.4 영 교차율	12
3.1.5 선형 예측 계수	13
3.1.6 선형 예측 캡스트럼 계수	13
3.1.7 선형 주파수 캡스트럼 계수	14
3.2 제안된 침입자 탐지 파라메타	15

제 4 장 실험 및 결과	
4.1 실험 설계	23
4.2 주파수 대역에 따른 실험 결과	27
4.3 잡음 종류에 따른 실험 결과	31
4.4 기존 방법과의 비교	34
 제 5 장 결론	 36
 참고문헌	 38
 감사의 글	 41



List of Tables

Table 4.1 Parameters for experiment	24
Table 4.2 SNR of the received signal with broadband noise	29
Table 4.3 SNR of the received signal according to noise type	32



List of Figures

Fig. 2.1 Multipath in room environment	6
Fig. 2.2 Spectrum of noise used in experiment	7
Fig. 3.1 Spectral centroid calculate process	10
Fig. 3.2 Spectral centroid according to the type of music	11
Fig. 3.3 Calculation process of linear frequency cepstral coefficient	14
Fig. 3.4 Example of multipath propagation in room	16
Fig. 3.5 Relationships between power density functions and channel correlation functions	17
Fig. 3.6 Classified fading channels according to frequency variation	18
Fig. 4.1 Setup for experiments	24
Fig. 4.2 Room acoustic channel impulse responses without intruder	26
Fig. 4.3 Variations of the measured room acoustic channel impulse with broadband noise	27
Fig. 4.4 Variations of coherence bandwidth	30
Fig. 4.5 Variations of the measured room acoustic channel impulse with narrow-band noise	31
Fig. 4.6 Variations of coherence bandwidth	33
Fig. 4.7 Compare coherence bandwidth with variance of spectral centroid at 3.5 kHz in case 2	35

Intruder Detection Based on Coherence Bandwidth Variation in Room Acoustic Channel

Chang-Eun Lee

Department of Radio Communication Engineering
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University



Abstract

Traditional security systems include which is video camera continuously recode and transmit for surveillance and system requiring password for preventing entry to unauthorized persons. Actually those systems have weakness such as blind spot or danger of steal. Using of acoustic processing for detection applications has been researched in recent years. Numerous acoustic detection systems are available but it has not been completely probed. Because It depend on the sound that the intruder. It is vulnerable in noisy environments or that intruder make little noise. So this thesis focus on intruder detection in indoor environment, which is based on acoustic channel characteristics. Basic concept of this paper is to compute coherence bandwidth from measured room impulse

response. Coherence bandwidth is influenced to channel delay profiles. Intruders give rise to room channel impulse response change inside room. This variation causes change of channel delay profile. Experiments are designed to measure mutation of room impulse response according to some cases using only a single microphone data. One is existence or nonexistence of intruder and another is distance which changing between transmitter and microphone intruder in room and the other is background noise. Experiments have been performed to present the effectiveness of the proposed method.

KEY WORDS: Room Acoustic Channel, Intruder Detection, Room Impulse Response, Coherence Bandwidth



제 1 장 서 론

현대 사회의 변혁에 따른 기술 발전과 더불어 각종 범죄 수법 또한 나날이 정교해지고 있다. 현대에서는 범죄의 사후처벌보다는 예방이 강조되지만 범죄의 예방을 위한 치안활동이 인력경비에 의한 단순 시설경비는 한계가 있다. 따라서 시스템 경비를 접목시킴으로써 보안 산업이 확대, 발전되고 있다. 과거 일반적인 보안 시스템으로 비디오카메라에 의존하는 시각적 감시방식을 사용해왔다. 하지만 이러한 방식의 경우 지속적인 모니터링이 필요하며, 사각지대가 존재한다는 단점이 있다. 따라서 무인 경비시스템의 중요성이 증대되면서 전통적인 카메라와 같은 비디오 센서를 이용한 시스템 외의 다른 센서들을 사용하는 방안들이 연구되고 있다. 대표적으로 비밀번호를 입력하거나 카드를 접촉시키는 등의 출입통제 시스템들이 널리 보급되어 사용되고 있다.

유인 경비 시스템에서 많이 사용되어지고 있는 비디오 센서는 무인 경비시스템에도 적용 되어질 수 있다. 그 예로 얼굴 인식 시스템을 들 수 있는데 이는 데이터베이스에 저장된 사람만 출입을 허용하는 생체 인식 기술이다[1]. 생체 인식 기술은 사람의 신체적인 특징을 개인 식별에 이용하는 것으로, 사람의 지문이나 손 모양, 음성, 홍채, 망막, 혈관과 같이 개인에 따라 그 특징이 명확하게 구분되는 신체부위나 행동 특성으로 사람을 식별한다. 이러한 생체적 특징들은 비밀번호나 카드키와 같이 망각, 유출되거나 분실할 우려가 없으며 복제나 위조가 거의 불가능하다는 장점이 있다. 이러한 장점 때문에 신분증명, 치안 등의 분야에 많이 적용되고 있다. 하지만 이는 비디오 센서를 이용하는 영상 인식 방식이므로 여러 인식 환경 변화에 아주 민감한 특성을 가지고 있어 조명, 배경, 얼굴

표정 등의 변화로 이미지가 왜곡될 경우 시스템이 정상 작동하지 않는다는 단점이 있다. 광센서를 이용한 보안 시스템의 경우 압력에 따라 광 스펙트럼이 변화하여 침입을 탐지하는데 바람과 같은 환경적 요인에 많은 영향을 받기 때문에 적용하는데 어려움이 있다[2].

최근 음향 감시 시스템 적용 또한 중요도가 증가 하고 있다. 몇몇 침입 탐지 시스템은 음향 또는 전자기파의 방출에 기초한다[3]. 이러한 방법은 공간 전달 함수 또는 도플러 천이를 계산한다. Zieger는 광대역 마이크로 폰 네트워크로부터 얻어진 음향 신호의 정보를 기반으로 침입자 탐지 시스템을 제안하였다[4]. 다른 연구에서는 스펙트럼으로부터 도출된 탐지 파라미터를 사용하였다[5]. 보안 시스템에서 전형적으로 사용되고 있는 비디오 카메라에 오디오 정보를 융합하면 침입 탐지 성능을 개선할 수 있다 [6,7]. 비디오 센서가 감지해야 할 상황에서 제대로 작동하지 않을 때 오디오 센서는 목표물이 내는 어떠한 소리를 추정하여 감지할 수 있다. 예를 들어, 목표가 막혀 있거나 어두울 때 그리고 사각지대에 침입자가 존재할 경우에 비디오카메라는 제 역할을 수행할 수 없다. 이러한 상황에서는 오디오 센서는 걷는 것과 뛰는 상황의 소리를 수집하는 등 비디오 센서보다 더 중요한 정보를 제공한다. 또한 오디오 센서는 수동적으로 단순히 소리를 수집하는 것뿐만 아니라 능동적으로 신호를 송수신 함으로써 음향 채널을 측정하여 채널 변화에 따른 침입자를 탐지하기에 적절하다. 경비 시스템은 국가기관, 연구소 및 금융회사 등 대규모의 시설이 아닌 상가 및 일반 가정에서 사용하기에 가격 면에 있어 적지 않은 부담이 되는 것이 사실이다. 오디오 센서를 이용하는 것은 다른 센서들을 사용하는 것과 비교했을 때 많은 상황에서 효과적이고 저렴하다는 장점이 있다.

본 논문에서는 실내 환경에서 측정된 음향 채널 응답 특성으로부터 구한 상관 대역폭의 변화를 이용하여 침입자를 탐지하는 파라미터를 제안한다. 제안하는 방법은 음향 신호를 송수신하는 능동형으로써 오디오 센서만을 이용하여 데이터를 수집한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다.

제 2 장에서는 실내 음향의 성질 및 특징에 대해 기술한다.

제 3 장에서는 과거 연구 되어진 음향 시스템을 이용하여 침입자를 탐지하는 방식과 제안하는 침입자 탐지 파라메타를 기술한다.

제 4 장에서는 제안한 침입자 음향 탐지 파라메타를 사용하였을 때의 탐지 성능을 분석하기 위해 일반 실내 환경에서 실시한 실험 결과를 기술한다.

마지막으로 제 5 장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 기술한다.



제 2 장 실내 음향 채널 특성

일반적으로 공기 중에서는 전자파를 이용한 전파 통신이 주로 사용되고, 수중에서는 음파를 이용한 음향 통신이 주로 사용되고 있다. 음파는 수중에서 전자파나 광파보다 손실이 적고 장거리까지 전파할 수 있기 때문에 음향 통신이 큰 장점을 가지고 있다. 반면에, 소리는 공기 중에서 전파 거리가 전자기파와 비해 매우 짧고, 감쇠와 느린 전파 속도 때문에 공기 중에서 음향 통신은 거의 사용되지 않는다. 음향 신호가 주로 사용되는 분야는 이동체의 위치 추적이나 식별 등의 분야이다. 음향 신호를 기반으로 한 탐지는 음성 및 음악의 자동 판별이 필요한 멀티미디어 애플리케이션에 사용될 뿐만 아니라 교통상황 모니터링과 전장 감시와 같은 애플리케이션 센서 네트워크에서 사용되었다[8]. 실내 음향 특성을 표현하는데 있어서 가장 중요하게 여겨지는 매개 변수로 잔향 시간[9]이 있고 그 이외에도, 음향 채널의 품질을 나타내는 매개 변수가 중요하다.

음압이 거리에 반비례하여 변화하는 환경을 자유공간이라 부른다. 음원을 충분히 작은 하나의 점이라 가정하고, 이 음원이 반사체 및 수신부로부터 떨어져있다고 가정하면, 음파는 음원에서 발산하게 된다. 자유공간에서의 음압은 거리에 반비례하므로 거리가 2배가 될 때 음압은 절반값으로 떨어진다. 이를 데시벨로 환산하면, 거리가 2배씩 늘어날 때 마다 음압은 6 dB씩 감소한다. 일반적인 좁은 실내공간에서는 이 자유공간의 조건이 성립되지 않으며, 이를 위해서는 무향실(anechoic room)을 따로 꾸며 음의 반사가 일어나지 않도록 하여야 한다. 실내에서는 음파가 벽이나 장애물과의 접촉을 피하여 이동할 수 있는 거리는 매우 짧다. 이러한 장애물들은 음파를 반사하거나 흡수하는데, 이러한 현상이 바로 실내에서의

음향학적인 특성을 결정짓게 된다.

2.1 다중 경로 전달

다중 경로 전달이란 신호가 산란, 회절, 반사 등을 통해 수신 경로의 길이가 다른 여러 개의 경로를 가지게 되고 또한 크기와 위상이 다른 여러 개의 다중파로 수신되는 것을 말한다. 음향 신호는 벽이나 장애물에 닿으면 그 에너지의 일부는 그 물체 속으로 열로 흡수되고, 또 일부는 투과되며 나머지가 실내 쪽으로 반사된다. 음향 신호가 전달되는 과정에서 수신기로 직접 도달되는 직접파와 벽, 천정 그리고 바닥 등으로부터의 반사음이 서로 중첩되어 다중 경로 전달에 의해 잔향 현상(reverberation phenomenon)이 발생하고 이는 복잡한 음장을 형성한다. 송신 신호를 $s(t)$ 라 하면 다중 경로를 통해 수신된 신호는 N 개의 다중 경로 신호의 합으로써 다음과 같이 나타난다[10,11].

$$r(t) = \sum_{n=1}^N \alpha_n(t) s[t - \tau_n(t)] \quad (1)$$

여기서 $\alpha_k(t)$ 은 시변 특성을 가지는 진폭 감소 값을 나타내며, $\tau_k(t)$ 는 시간 지연 항을 나타낸다. 이러한 반사음을 시간 축 상에서 보면, 음원 발생 후에 청취자에게 제일 먼저 직접파가 도달하고, 계속해서 천정과 벽면으로부터 1차, 2차 반사음 등이 도달한다. 직접파의 도래 후 도달하는 반사음을 초기 반사음(early reflection)이라고 하고, 초기 반사음 뒤에 도래하는 음을 잔향(reverberation)이라고 한다.

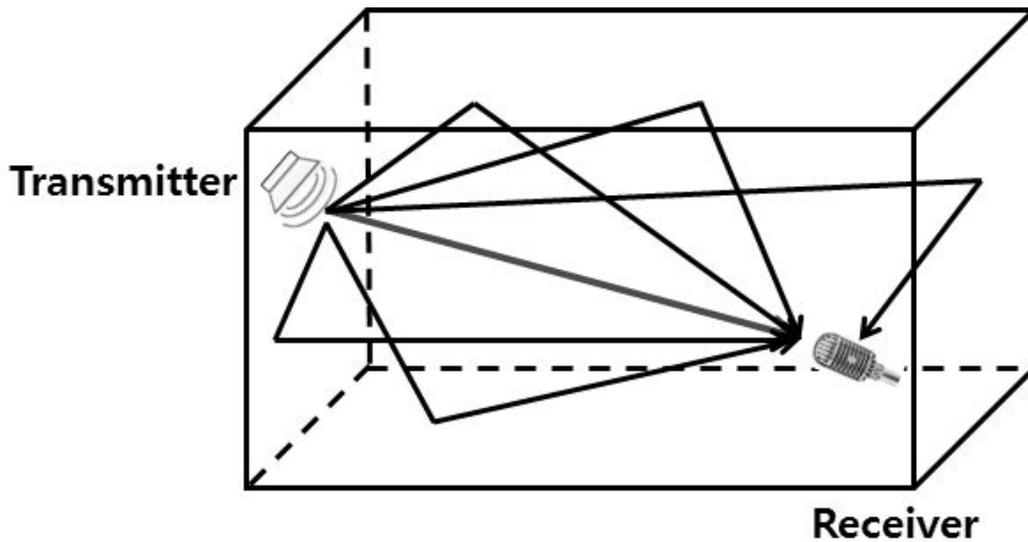


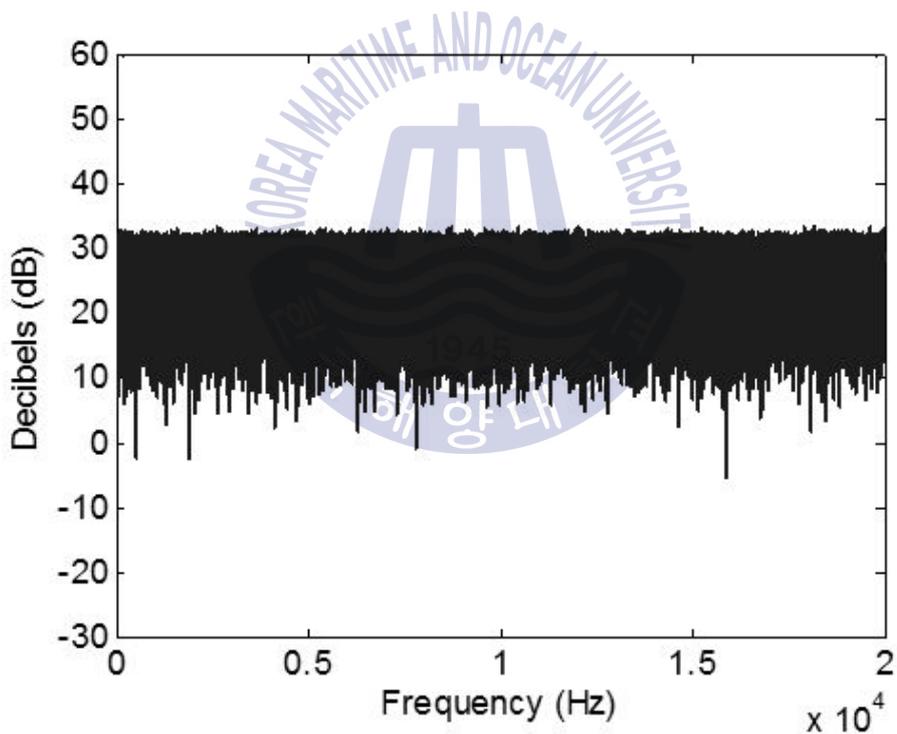
그림 2.1 실내 환경에서 다중경로 전달
 Fig. 2.1 Multipath in room environment

그림 2.1은 실내 환경에서의 다중 경로 전달의 예이다. 이러한 다중 경로 전달로 인한 잔향은 공간에서 발생한 공간 왜곡(spatial distortion)이다. 실내의 음향 특성을 나타내는 중요한 특성 중의 하나로 잔향시간이 있다. 잔향시간은 음의 평균 에너지 밀도가 초기 값에서 60 dB까지 감쇠하기까지 걸리는 시간을 말하며 W.C. Sabine이 처음으로 음향 척도로서 공식화하였다. 음향 신호가 반사될 때 그 에너지의 일부가 흡수되기 때문에 잔향의 크기는 보통 지수 함수적으로 감소하여 마지막에는 소멸한다. 이는 실내의 용적과 흡음력에 의해 결정된다. 초기 반사음은 위치에 따라 다르고 공간이 일정할 때 후기 반사음은 거의 일정하기 때문에 잔향 시간의 변화를 통해 채널의 변화를 알 수 있다. 공기 중에서 주파수에 따라 잔향 시간이 다르게 나타나는데 이는 저주파 성분에 비해 고주파 성분이 공기 에 의해서 빠르게 감쇠되기 때문이다.

2.2 잡음

음향 신호를 기반으로 하는 통신이나 탐지의 성능은 채널의 잡음에 영향을 받는다. 특히 음향 통신에 있어서 통신이 가능한 거리와 대역폭 (bandwidth), SNR(signal-to-noise ratio)을 결정짓는 중요한 요소이다.

본 논문에서는 무반향실이 아닌 일반적인 실내 환경에서 제안하는 파라메타를 적용하기 위해 광대역 잡음과 각 송신 신호의 주파수 대역을 차지하는 협대역 잡음이 있는 환경을 고려하였다. 그림 2.2은 실험에 사용된 잡음의 스펙트럼이다.



(a)

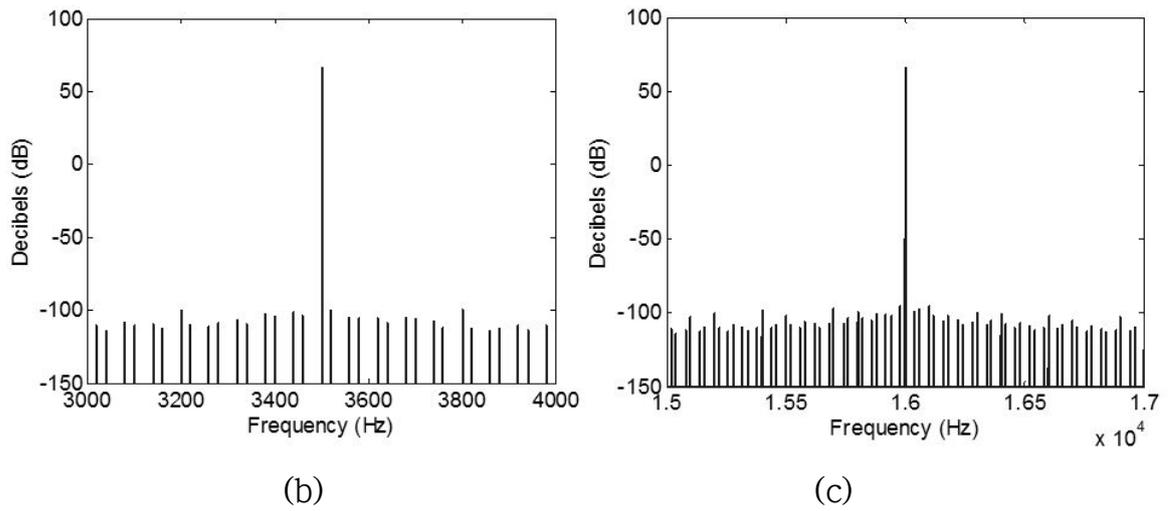


그림 2.2 실험에 사용한 잡음 스펙트럼

(a) 광대역 잡음, (b) 협대역 잡음(3.5 kHz), (c) 협대역 잡음(16 kHz)

Fig. 2.2 Spectrum of noise used in experiment (a) broad-band noise,

(b) narrow-band noise(3.5 kHz), (c) narrow-band noise(16 kHz)



제 3 장 침입자 탐지를 위한 파라메타

음향 신호 기반 탐지는 음성 및 음악의 자동 판별이 필요한 멀티미디어 어플리케이션에 사용될 뿐만 아니라 교통상황 모니터링과 전장 감시와 같은 어플리케이션 센서 네트워크에서 사용되었다. 본 논문에서는 실내에 허가받지 않은 침입자의 출입을 탐지하는 데에 적용하고자 하였다. 음향 센서를 이용한 침입자 탐지 기법은 일반적으로 수신된 음향 신호의 주파수 성분, 파워 스펙트럼의 변화를 측정 및 분석하여 탐지한다.

3.1 기존의 음향 탐지 파라메타

기존에 연구 되어진 음향 탐지 파라메타는 실내 음향 전달함수를 기반으로 구한다[5]. 푸리에 변환을 통해 신호의 주파수 무게중심, 파워 스펙트럼 변화 속도 등 신호의 주파수 성분 특징을 구하고 그 변화를 측정함으로써 침입자를 탐지 하게 된다. 기존의 음향 탐지 파라메타는 수신된 음향 신호의 주파수 특성 변화를 측정하는 방식이기 때문에 진폭 변화의 영향을 크게 받는다. 즉, 침입으로 인해 발생한 소리가 작을 경우 진폭 변화 또한 작아지고 잡음이 있는 환경에서는 잡음이 발생시키는 변화인지 침입자가 발생시킨 변화인지 구분해내기 어려워 성능 저하의 원인이 된다. 다음은 기존의 음향 탐지 목적으로 연구된 대표적 파라메타의 예이다.

3.1.1 Spectral centroid

Spectral centroid는 STFT(Short Time Fourier Transform)을 통해 구한 신호 스펙트럼의 무게중심에 해당하는 주파수를 말한다[17]. 이는 그림

3.1과 같은 과정을 통하여 추출한다.

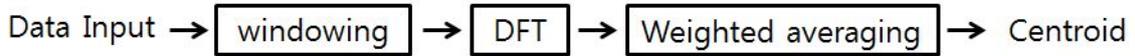


그림 3.1 spectral centroid 계산 과정

Fig. 3.1 Calculation process of spectral centroid

centroid의 수식 표현은 다음과 같다.

$$Spectral\ centroid = \frac{\sum_{k=1}^N kF[k]}{\sum_{k=1}^N F[k]} \quad (6)$$

여기서 $F[k]$ 는 창함수를 씌운 음향 신호의 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)의 결과이며, N개의 샘플로 구성되어 있다. centroid는 신호에 존재하는 주파수의 가중 평균으로 계산된다. 때문에 드럼 소리와 같은 높은 주파수의 성분들이 많은 음악 신호는 centroid 값이 증가한다. centroid는 음악 종류를 분류하기 위한 목적으로 널리 사용되어 지고 있다. 그림 3.2에서 몇 가지의 음악 종류에 따른 centroid 측정값을 볼 수 있다. 이때 사용한 음악은 classic : 베토벤 로망스 1번, pop : Flo Rida의 Whistle, rock : Broken valentine의 Get your gun, jazz : Claire Littley의 Fly me to the moon이다. 그림으로부터 고주파 성분이 많은 팝 음악이 클래식에 비해 높은 값을 갖는 것을 확인 할 수 있다.

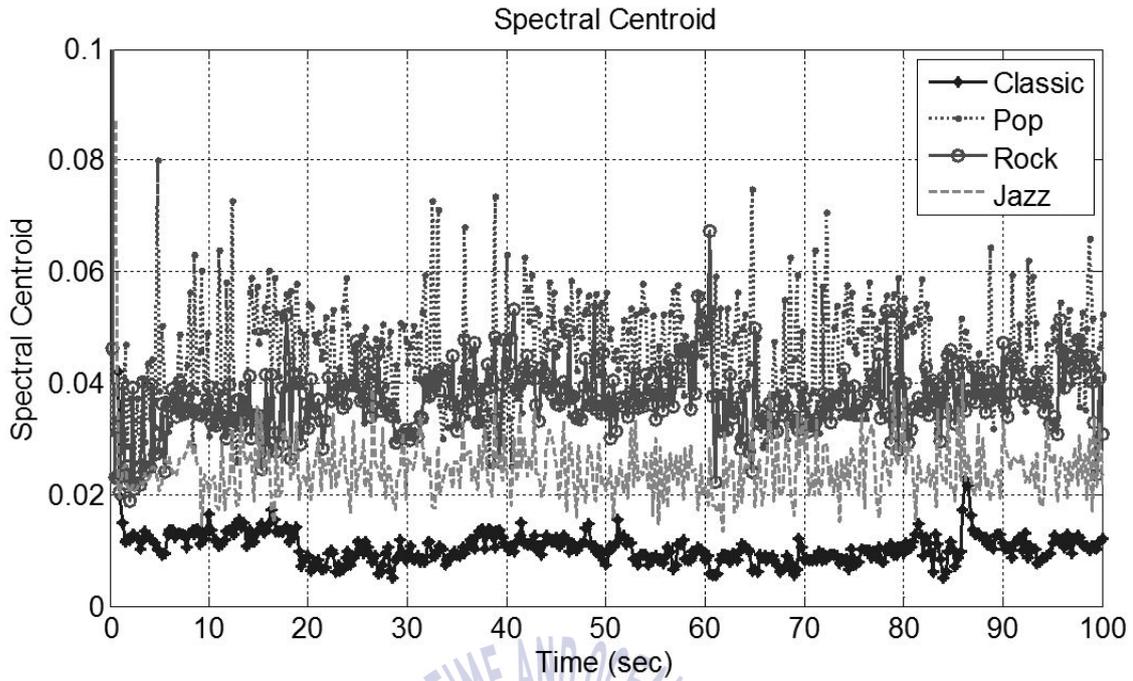


그림 3.2 음악 종류에 따른 spectral centroid
 Fig. 3.2 Spectral centroid according to the type of music

3.1.2 Spectral roll-off

Spectral roll-off는 스펙트럼의 형태와 특정 주파수 이하의 영역에 신호의 에너지가 얼마나 집중되어 있는지를 보여준다. Roll-off가 R_t 일 때 다음과 같이 나타낸다.

$$\sum_{k=1}^{R_t} M_t[k] = TH \times \sum_{k=1}^N m_t[k] \quad (7)$$

여기서 $M_t[k]$ 는 프레임 t 와 주파수 Bin n 에서의 스펙트럼 크기이고, TH는 threshold로써 0.85에서 0.99사이 값을 사용한다.

3.1.3 Spectral flux

Spectral flux는 신호의 파워 스펙트럼이 변화하는 속도를 추정한 값이다. 지속적으로 스펙트럼의 세기의 변화를 측정하는데 갑작스럽거나 과도한 충격이 가해지는 경우 에너지는 변화가 생기게 되고 이때 연속된 스펙트럼 분포에서 정규화 된 값들 간의 차이를 제공하여 구한다.

$$\text{Spectral flux} = \sum_{k=1}^N (N_t[k] - N_{t-1}[k])^2 \quad (8)$$

여기서 $N_t[k], N_{t-1}[k]$ 는 각각 현재 프레임 t 와 이전 프레임 $t-1$ 에서의 정규화 된 크기이고 flux는 스펙트럼 변화량을 계산할 수 있다.

3.1.4 영 교차율

영 교차율(zero crossing rate)은 음향 신호 파형의 위상이 단위 시간당 중심축을 통과하는 회수를 나타내는 것으로, 신호에 고주파 성분, 즉 잡음 성분이 많으면 영 교차율이 높아지게 된다. 시간 영역에서 음성신호를 $x[k]$ 라 할 때 다음과 같이 계산할 수 있다[18].

$$\text{ZCR} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N |\text{sgn}(x[k]) - \text{sgn}(x[k-1])| \quad (9)$$

$$\text{sgn}(x[k]) = \begin{cases} 1, & x[k] \geq 0 \\ -1, & x[k] < 0 \end{cases} \quad (10)$$

영 교차율은 신호의 주파수 내용을 측정하는 가장 간단한 특징으로 음악 정보 검색 및 음성인식에서 유, 무성음의 판별에서 많이 적용된다.

3.1.5 선형 예측 계수

선형 예측 분석법은 인간의 발성 모델을 토대로 음성 신호를 부호화하는 방법이다. 이는 오디오 파형의 샘플 값으로부터 필터 계수를 구하여 성대에서 입, 코까지의 성도 특성을 8~12차의 전극형(all-pole) 필터에 근사시키는 방법이다. 음성 표본은 인접하고 있는 표본의 값만이 아닌 여러 개 이전까지의 모든 표본 값과 상관성을 가지고 있다. 따라서 현재의 표본 값은 과거 몇 가지 표본 값에서 예측할 수 있고 다음과 같은 식으로 나타난다[19].

$$s[k] = \sum_{p=1}^m a_p s[k-p] + e_n \quad (11)$$

여기서 $s[k]$ 는 음성파형이고 e_n 은 오차, a_p 는 예측 계수를 의미한다. a_p 는 오차 e_n 의 제곱 평균값이 최소가 되는 것으로 하여 파형에서 얻은 표본 값 사이의 상관관계의 행렬에서 구할 수 있다. 선형 예측 분석법은 음성분석, 합성, 압축 등 음성처리의 여러 분야에서 광범위하게 사용되는 기법이다.

3.1.6 선형 예측 캐스트럼 계수

선형 예측 캐스트럼 계수는 선형 예측 계수에서 파생되는 값이다. 이 계수는 음성 모델의 임펄스 응답으로부터 유도되어지기 때문에 신호의 갑작스러운 변화나 잡음에 강하다. 이 방법의 기본적인 개념은 현재 음성의 샘플을 과거 음성 샘플의 선형 조합에 의해 예측 할 수 있다. 과거 음성 샘플 p 개를 가지고 다음과 같은 공식으로 나타낼 수 있다.

$$s[k] \approx a_1 s[k-1] + a_2 s[k-2] + \dots + a_p s[k-p] \quad (12)$$

이 방법은 음성의 전달함수를 전극 필터를 이용하여 모델링하는 것이며 전극 시스템이다. 선형 예측 cepstrum 계수는 자기상관 방법 (autocorrelation method)을 통해 구할 수 있으며, 예측 오차의 평균 자승을 최소화 하는 계수를 선택하는 것이다.

3.1.7 선형 주파수 cepstrum 계수

선형 주파수 cepstrum 계수는 필터 뱅크 분석에 의해 구해지는 cepstrum 계수이다. 선형 주파수 cepstrum 계수의 특징 파라미터를 추출하는 과정은 그림 3.3과 같다.

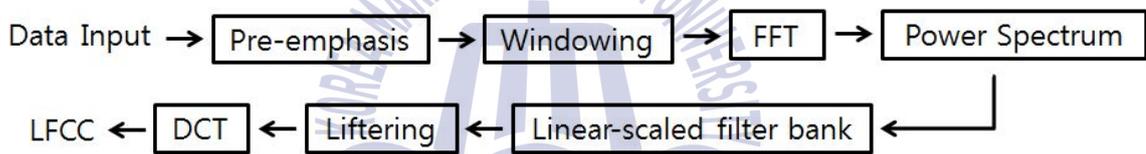


그림 3.3 선형 주파수 cepstrum 계수 계산 과정

Fig. 3.3 Calculation process of linear frequency cepstral coefficient

필터 뱅크는 선형 척도에 따라 구성하여 삼각 밴드 패스 필터들의 중심 주파수가 동일한 간격으로 배치된다. 음성신호의 평균 스펙트럼을 살펴보면 고주파 성분이 저주파 성분보다 많이 감쇠되기 때문에 고주파 성분을 강조해주기 위해 우선 신호를 수신 받으면 음성신호의 발생과정에서의 주파수에 따른 감쇠현상을 보상해주기 위한 과정을 거치는데 보통 1차 FIR 필터를 이용한다. 이를 pre-emphasis라 하고 다음과 같이 계산한다.

$$s[k] = s[k] - a_p s[k-1] \quad (13)$$

여기서 k 는 시간 영역에서 인덱스 값이며, a_p 는 pre-emphasis 계수로서 0.95와 1 사이의 값을 주로 사용한다. 이 과정을 거친 음성신호는 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 통해서 전력 스펙트럼을 구한다. 전력 스펙트럼을 필터뱅크를 거친 후 로그 스케일로 이산 코사인 변환(discrete cosine transform)을 취한다. 고차의 켈스트럼 값이 매우 작기 때문에, 저차와 고차의 켈스트럼 값의 분포가 매우 큰 분산을 가지게 된다. 그래서 켈스트럼 계수들의 스케일을 조정해서 비슷한 크기를 갖도록 해주는데 이를 liftering이라 하며, 다음과 같은 공식을 이용한다.

$$c'_m = [1 + \frac{Q}{2} \sin(\frac{\pi m}{Q})] c_m, \quad 1 \leq m \leq Q \quad (14)$$

여기서 c_m 은 로그 스케일로 이산 코사인 변환을 취한 결과를 나타내고, Q 는 lifter의 가중치, m 은 켈스트럼의 차수이다.

3.2 제안된 침입자 탐지 파라메타

본 논문은 실내 음향 채널 응답 특성을 기반으로 하는 침입자 탐지 파라메타를 제안한다. 음향 신호가 전달되는 과정에서 벽, 천정 그리고 바닥 등으로부터 반사되어 발생하는 다중 경로 채널을 추정한다. 음향 신호가 송수신 되는 환경이 무반향실과 같은 이상적인 경우 반사파가 존재하지 않기 때문에 지연 프로파일에서 처음으로 나타나는 피크 이후에는 어떤 신호도 나타나지 않는다. 하지만 일반적인 실내 환경에서 음향 신호는 벽, 바닥, 가구 등에 반사되어 다중경로 전달이 발생하면서 그림 3.4와 같은 지연 프로파일을 갖게 된다. 그림 3.4는 실제로 실내에서 측정된 지연

프로파일의 한 예를 보여준다.

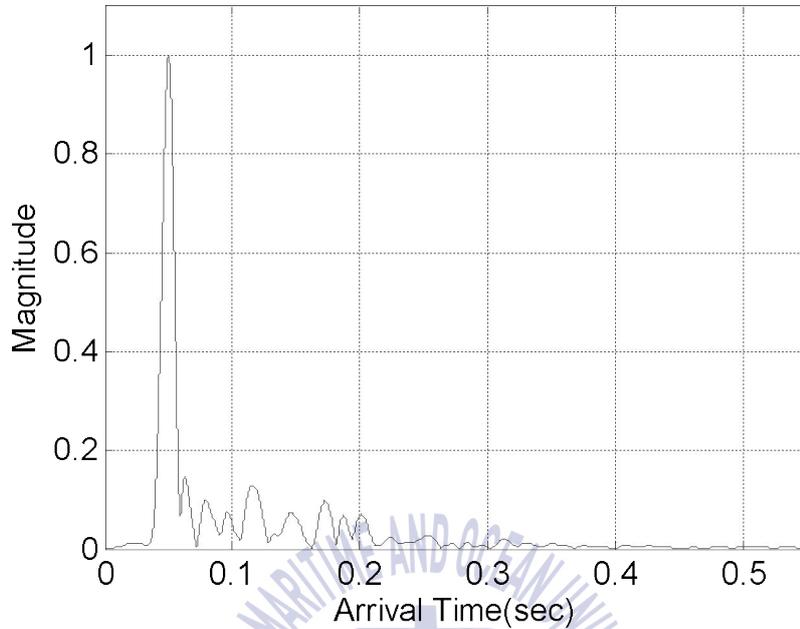


그림 3.4 실내에서 다중 경로 전달의 예

Fig. 3.4 Example of multipath propagation in room

시간 확산은 시간 지연의 관점에서 보면 다중 경로 지연의 확산으로 특성화할 수 있으며, 주파수 영역의 관점에서 보면 채널의 동기 대역폭으로 특성화 할 수 있다. 또한 시간적인 변화 특성은 시간 영역에서 채널의 상관 시간(coherence time)으로 표현되며 도플러 천이(doppler shift)영역에서는 채널의 속도 또는 도플러 확산으로 나타난다. 수신된 신호는 여러 개의 이산적인 다중 전파 경로 성분으로 구성된다. 이러한 다른 지연 시간을 가지고 수신되는 신호들을 모든 시간과 모든 주파수에 대하여 적용 가능한 함수로 표현 가능하다.

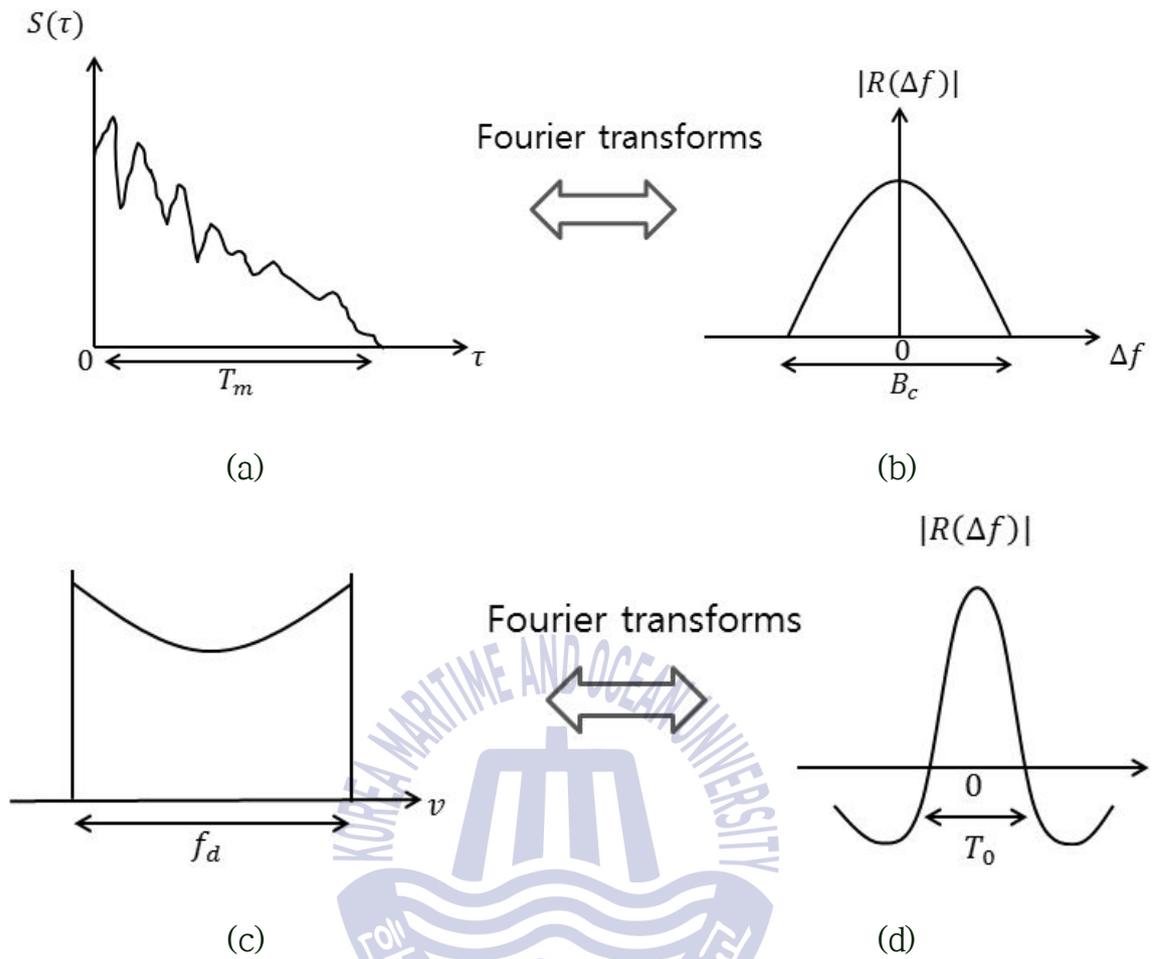


그림 3.5 전력 밀도 함수와 채널 상관 함수 관계

(a) 다중 경로 강도 프로파일, (b) 주파수 상관 함수,

(c) 도플러 전력 스펙트럼, (d) 시간 상관 함수

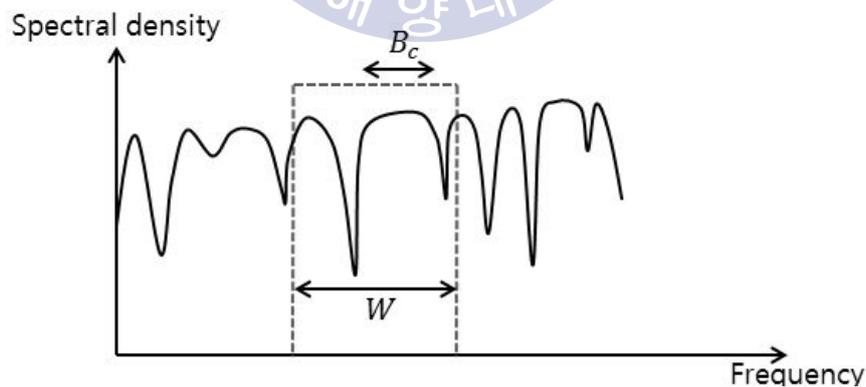
Fig. 3.5 Relationships between power density functions and channel correlation functions

(a) Multipath intensity profile, (b) Spaced-frequency correlation function,

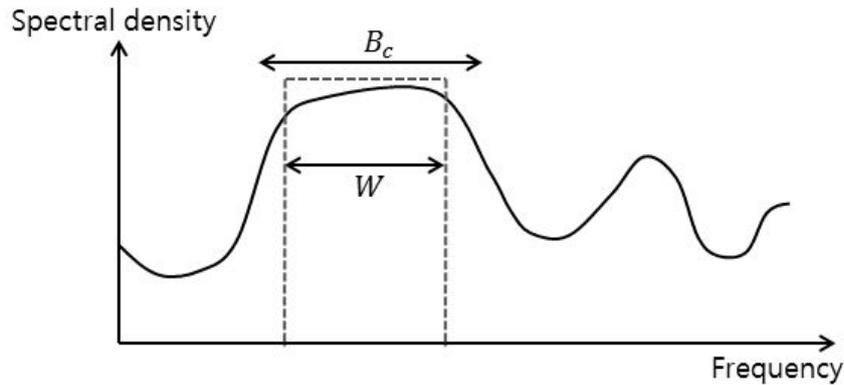
(c) Doppler power spectrum, (d) Spaced-time correlation function

그림 3.5은 전력 밀도 함수와 상관 함수 간의 관계를 나타낸 것으로 채널 모델로 적용되는 네 가지 함수를 보여 준다. 주파수 영역에서 Δf 만큼 떨어진 두 신호가 가지는 상관관계를 나타내며 여기서 평균 수신 전력 변

화는 송신 임펄스의 시간 지연 τ 에 대한 함수이다. 그림 3.5(a)의 T_m 는 하나의 임펄스를 전송한 후 처음으로 수신된 신호 성분과 마지막 신호 성분과의 시간차인 최대 초과 지연(maximum excess delay)이다. 또한 신호의 분산에 대한 동일한 형태의 특성화는 주파수 영역에 있어서도 가능하다. 예를 들어, 두 신호가 있을 때 채널의 주파수 영역에서 각 신호에 대한 채널 응답의 상관 값을 전달 함수로 고려할 수 있고 신호 간의 주파수 차이의 함수로써 나타낼 수 있다. 상관 대역폭(coherence bandwidth)은 특정한 다중경로 페이딩에 의해 주파수 의존적인 채널에서 채널이 변하지 않는다고 가정할 수 있는 대역폭으로 주파수 채널 응답이 어떠한 주파수 구간동안 균일한 이득과 선형적인 위상 특성을 보이는 대역폭 범위를 말한다. 모든 상황에서 적용 가능한 상관 대역폭과 최대 초과 지연에 대한 일반적인 관계식은 존재하지 않고 다양한 실제 채널의 신호 분산 실험을 통하여 얻어진 결과를 푸리에 변환을 이용하여 그 근사값을 구할 수 있다.



(a)



(b)

그림 3.6 주파수 변동 정도로 분류한 페이딩

(a) 주파수 선택적 페이딩, (b) 주파수 비선택적 페이딩

Fig. 3.6 Classified fading channels according to frequency variation
 (a) frequency selective fading, (b) frequency non-selective fading

그림 3.6는 주파수 선택적 페이딩 채널과 주파수 비선택적 페이딩 (frequency non-selective fading)에서 채널 전달 함수를 나타낸다. W 는 전송 신호의 주파수 대역이고 B_c 는 상관 대역폭을 의미한다. 그림 3.6 (a)와 같이 상관 대역폭 B_c 이 송신 신호의 주파수 W 보다 작을 경우 주파수 선택적 페이딩이 발생하며 대역별 페이딩 상태가 매우 다르게 나타난다. 반면에 상관 대역폭이 송신 신호의 주파수보다 클 경우에는 신호 주파수 대역에서 수신 강도가 대체로 균일하게 변동하며 주파수 비선택적 페이딩이 발생한다. 신호를 송수신하는 채널 내에 침입자가 나타나면 실내 다중 경로 채널에 변화를 가져오기 때문에 실내 음향 임펄스 응답이 변화하게 되고 채널 지연 프로파일의 변화가 발생한다. 채널 지연 프로파일은 상관 대역폭을 결정하는 중요한 파라미터로 이용되므로 침입으로 인한 실내 채널 지연 프로파일의 변화는 상관 대역폭의 변화를 야기하여 침입자를 탐

지할 수 있다.

채널의 응답 특성인 임펄스 응답을 구하는 방법으로 흔히 두 가지 방법이 쓰이고 있다[20]. 첫째로 일반 전파 모델의 매개 변수의 추정치를 사용하여 재구성 하는 방법이 있는데 이는 다중경로를 따라 평면파의 전달이 기여하는 채널 임펄스 응답 구성을 추정한다는 가정 아래 사용된다. 다른 방법으로 송신 신호와 수신 신호의 상관관계를 통하여 구할 수 있는데 이 논문에서는 후자를 선택하였다. 음향 신호 처리 시스템에서 다중 경로 채널은 시간 분포 특성에 의해 추정되는데 초과 지연 평균(mean excess delay), 초과 지연 확산(excess delay spread), RMS(root mean square) 지연 시간 등의 파라미터들이 사용된다. 제안하는 방법에서 사용되는 상관 대역폭을 계산하기 위해 시간 지연 성분들의 분산을 고려해야 한다. 이때 매개변수로 초과 지연 평균과 RMS 지연 확산이 있다. 지연 파워 스펙트럼의 처음 순간을 통해 초과 지연 평균을 측정 할 수 있다[21]. RMS 지연 확산은 시간 영역에서 다중경로 전달에 의한 분산을 나타낸다.

채널이 선형 시불변하다면 수신된 신호 $y(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (16)$$

윗 식에서 *은 컨볼루션(convolution)을 의미 하고, $x(t)$ 는 송신 신호, $h(t)$ 는 실내 임펄스 응답을 나타낸다. 식 (16) 양변에 $x(t)$ 를 각각 곱하고 기대치(expectation)를 취하면 다음과 같다.

$$\Phi_{xy}(t) = \Phi_{xx}(t) * h(t) \quad (17)$$

여기서 $\Phi_{xx}(t)$ 는 신호 $x(t)$ 의 자기상관 함수이고, $\Phi_{xy}(t)$ 는 송신 신호

$x(t)$ 와 수신 신호 $y(t)$ 사이의 상호 상관 함수이다. 이때 송신 신호 $x(t)$ 가 광대역 신호라면 $\Phi_{xx}(t)$ 는 이상적인 임펄스 함수로 볼 수 있고, 따라서 $\Phi_{xy}(t)$ 는 실내 임펄스 응답 $h(t)$ 와 같으므로 채널 지연 프로파일을 추정할 수 있다.

다중경로가 N 개라고 가정할 때 i 번째로 수신되는 지연 프로파일의 크기를 a_i 라 하고 지연 시간을 τ_i 라 하면 지연 시간의 평균값은 식(18), 분산값은 식(19)와 같이 표현 할 수 있다.

$$E[\tau] = \left(\sum_{i=0}^{N-1} a_i \tau_i \right) / \sum_{i=0}^{N-1} a_i \quad (18)$$

$$E[\tau^2] = \left(\sum_{i=1}^{N-1} a_i \tau_i^2 \right) / \sum_{i=1}^{N-1} a_i \quad (19)$$

식(18)과 식(19)을 이용하여 RMS 지연시간을 계산 할 수 있다.

$$\tau_{\text{rms}} = \sqrt{E[\tau^2] - E[\tau]^2} \quad (20)$$

상관대역폭은 주파수 영역에서 채널 변화가 없다고 가정할 수 있는 대역폭으로 RMS 지연 시간의 역으로 정의된다[22]. 예를 들어 상관대역폭이 주파수 상관함수의 0.5 이상에 걸친 대역폭일 때 실효 지연 확산 값과 상관대역폭 B_c 의 관계는 다음과 같이 근사화 된다[12].

$$B_c \approx 1/5\tau_{\text{rms}} \quad (21)$$

실내에 침입자가 없는 경우와 있는 경우 음향 신호의 전달 경로가 변화하여 실내 음향 채널 특성도 변화한다. 따라서 지속적인 실내 음향 임펄스 응답의 추정과 비교를 통해 침입자로 인한 실내 음향 채널에 변화를 이용하여 탐지하게 된다.



제 4 장 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 실내 음향 채널 응답 특성을 기반으로 하는 침입자 탐지 방법의 성능을 알아보기 위해 일반 실내 환경에서 실험을 수행하였다. 제안하는 파라메타는 음향 신호를 송수신하는 능동형으로써 오디오 센서를 이용하여 데이터를 수집한다. 이를 이용하여 탐지에 제안한 파라메타를 사용한 경우 주파수 대역과 배경 잡음의 종류에 따라 어떠한 성능 차이를 나타내는지 비교·분석하였다.

4.1 실험 설계

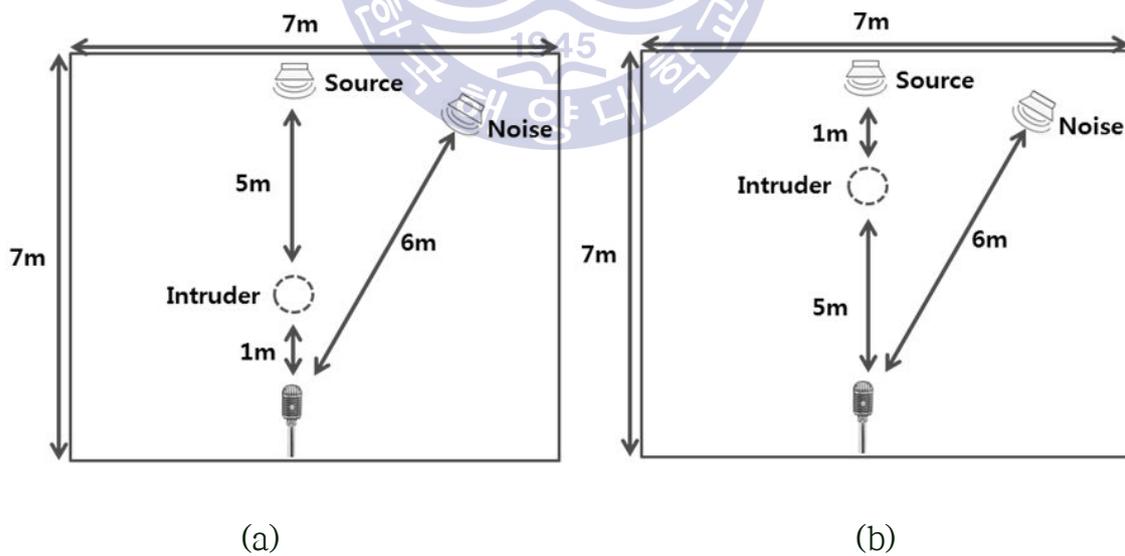
실질적인 침입 탐지 성능을 측정하기 위해 배경잡음이 있는 실험 환경을 구성하였다. 배경 잡음으로 광대역 잡음과 협대역 잡음을 사용하였다. 이 때 주파수 대역에 따른 성능을 측정하기 위해 송신 신호의 주파수 대역을 두 가지로 설정하였다. 광대역 잡음은 모든 주파수 성분을 포함하는 백색 잡음이고 협대역 잡음은 두 송신신호의 중심 주파수에 해당하는 주파수 대역을 가지도록 설계하였다. 잡음 또한 송신신호가 송출된 송신기와 같은 모델의 장비를 사용하였다.

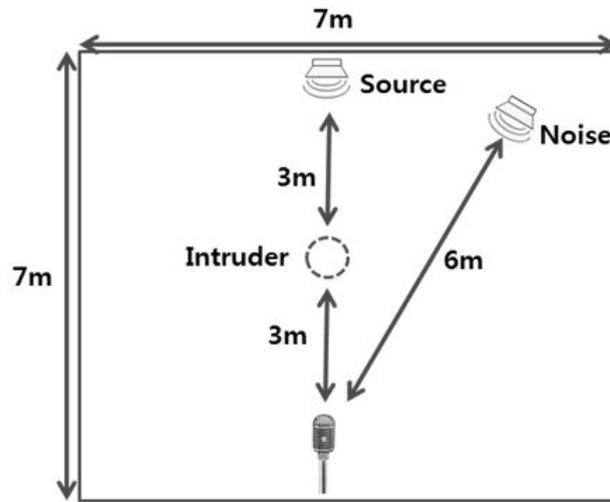
음향 채널 특성을 구하기 위한 음원 신호는 자기상관특성이 좋은 LFM(linear frequency modulation) 펄스 신호를 0.05초 길이로 생성하였다 [23]. 인접한 펄스 사이에는 신호의 지연으로 인한 왜곡을 피하기 위해 0.5 초의 무음구간을 두어 0.55초 간격으로 반복하여 전송하였다. 실험을 위한 여러 매개변수와 송수신기 모델, 실험 환경은 표 4.1과 같이 정하였다.

Table 4.1 Parameters for experiment

Center frequency	3.5 kHz, 16 kHz
Bandwidth	200 Hz
Room size	7 m × 7 m × 2.7 m
Speaker height	1 m
Microphone height	1 m
Speaker model	Bose 101
Microphone model	Sennheiser

침입자의 위치에 따른 성능을 비교하기 위해 그림 4.1과 같이 침입자 위치를 다르게 하여 두 가지 경우에서 진행하였고, 실험을 시작했을 때로부터 10초 후부터 각 4번씩 수신기 근처와 송신기 부근에서 사람이 출입하도록 하였다.





(c)

그림 4.1 실험 모식도 (a) 침입자가 마이크 근처에 있을 경우(case 1),
 (b) 침입자가 스피커 근처에 있을 경우(case 2) (c) 침입자가 중앙에
 있을 경우(case 3)

Fig. 4.1 Setup for experiments

- (a) the case of appearance of intruder close to microphone (case 1),
- (b) the case of appearance of intruder close to speaker (case 2),
- (c) the case of appearance of intruder on the center (case 3)

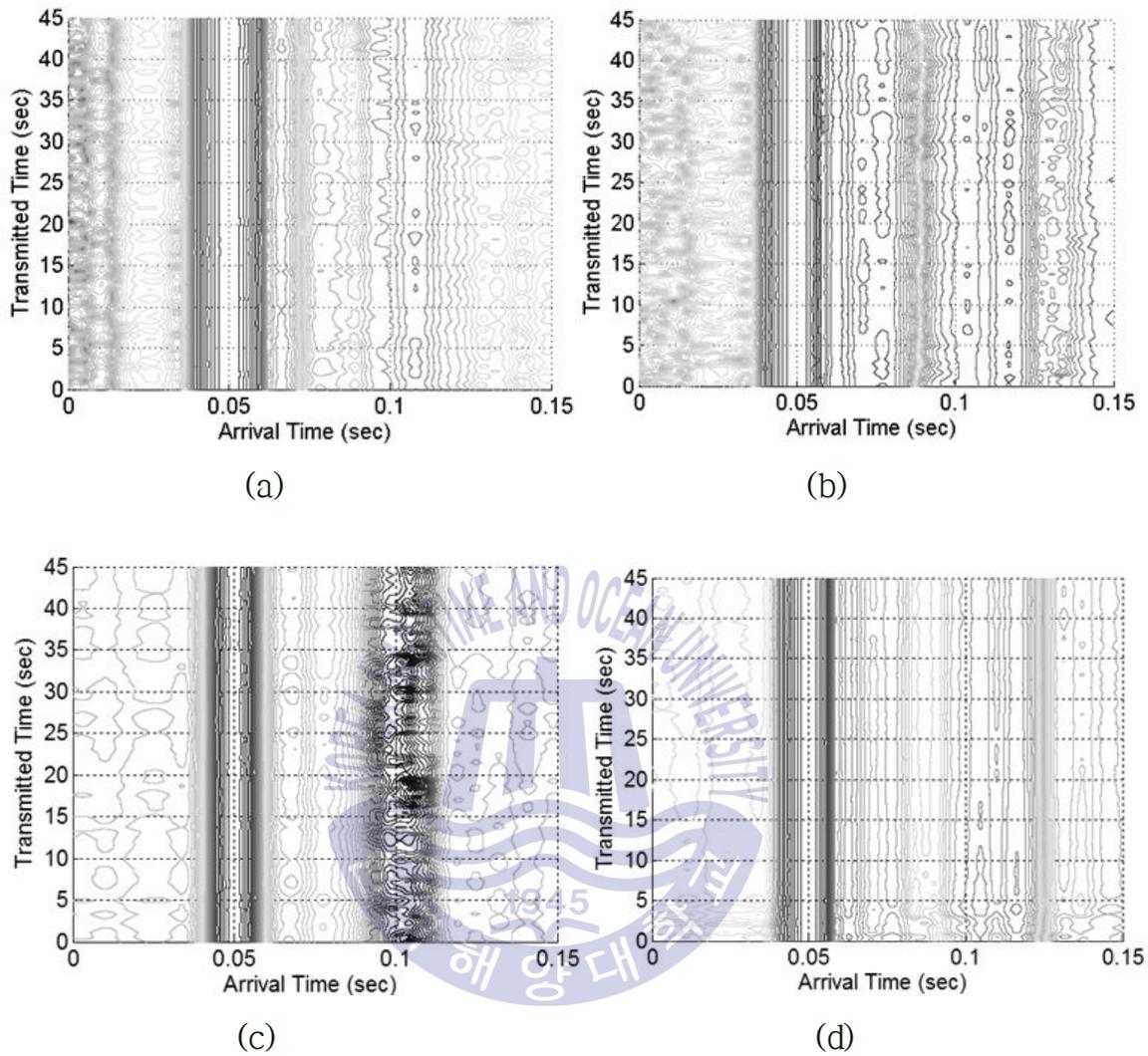
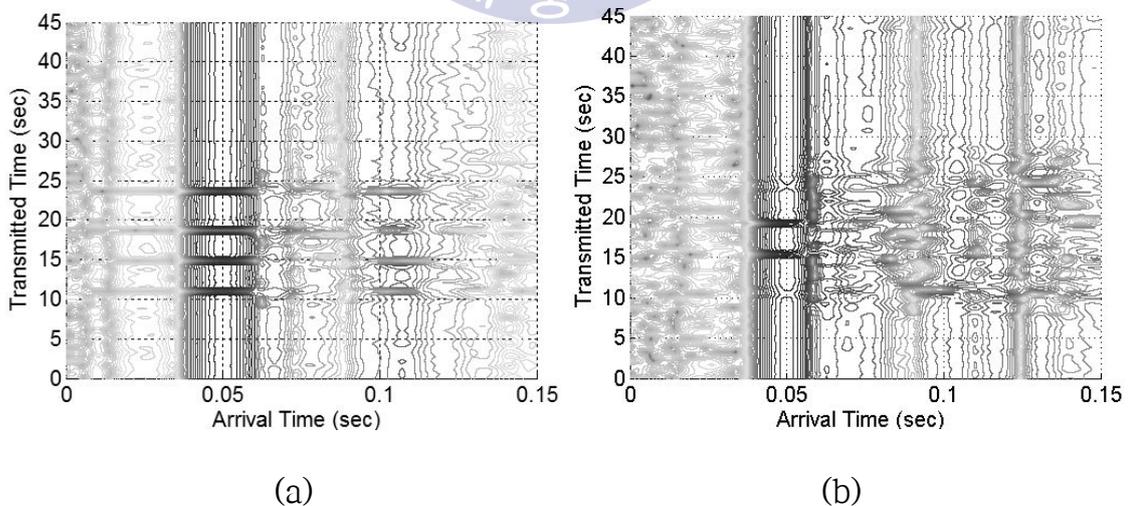


그림 4.2 침입자가 없을 때 실내 음향 채널 임펄스 응답
 (a) f_c : 16 kHz, 광대역 잡음 환경, (b) f_c : 3.5 kHz, 광대역 잡음 환경,
 (c) f_c : 16 kHz, 협대역 잡음 환경, (d) f_c : 3.5 kHz, 협대역 잡음 환경
 Fig. 4.2 Room acoustic channel impulse responses without intruder
 (a) f_c : 16 kHz with white noise, (b) f_c : 3.5 kHz with white noise,
 (c) f_c : 16 kHz with narrowband noise (d) f_c : 3.5 kHz with narrowband
 noise

그림 4.2는 침입자가 없을 때의 실내 음향 채널 응답을 구하여 LFM 펄스 하나를 포함하는 한 핑(ping)인 0.55초에서 직접파가 존재하는 부분을 포함하여 0.15초까지만 나타낸 것이다. x축은 지연 시간을 나타내고 y축은 전송 시간으로 간격은 한 핑의 시간 즉, 0.55초이다. 잡음이 있고 침입자가 없는 일반 실내 환경에서 채널 응답 특성은 변화가 없는 것을 확인할 수 있다.

4.2 주파수 대역에 따른 실험 결과

본 논문에서 제안하는 파라메타를 사용한 경우 주파수 대역에 따른 성능을 비교·분석하기 위해 중심주파수 두 가지로 설정하여 LFM 펄스 신호를 생성하여 실험하였다. 사용된 주파수는 3.5 kHz와 16 kHz이다. 실험은 각각 마이크 근처, 스피커 근처 그리고 마이크와 스피커의 중앙에 침입을 발생하는 경우로 진행 되었다.



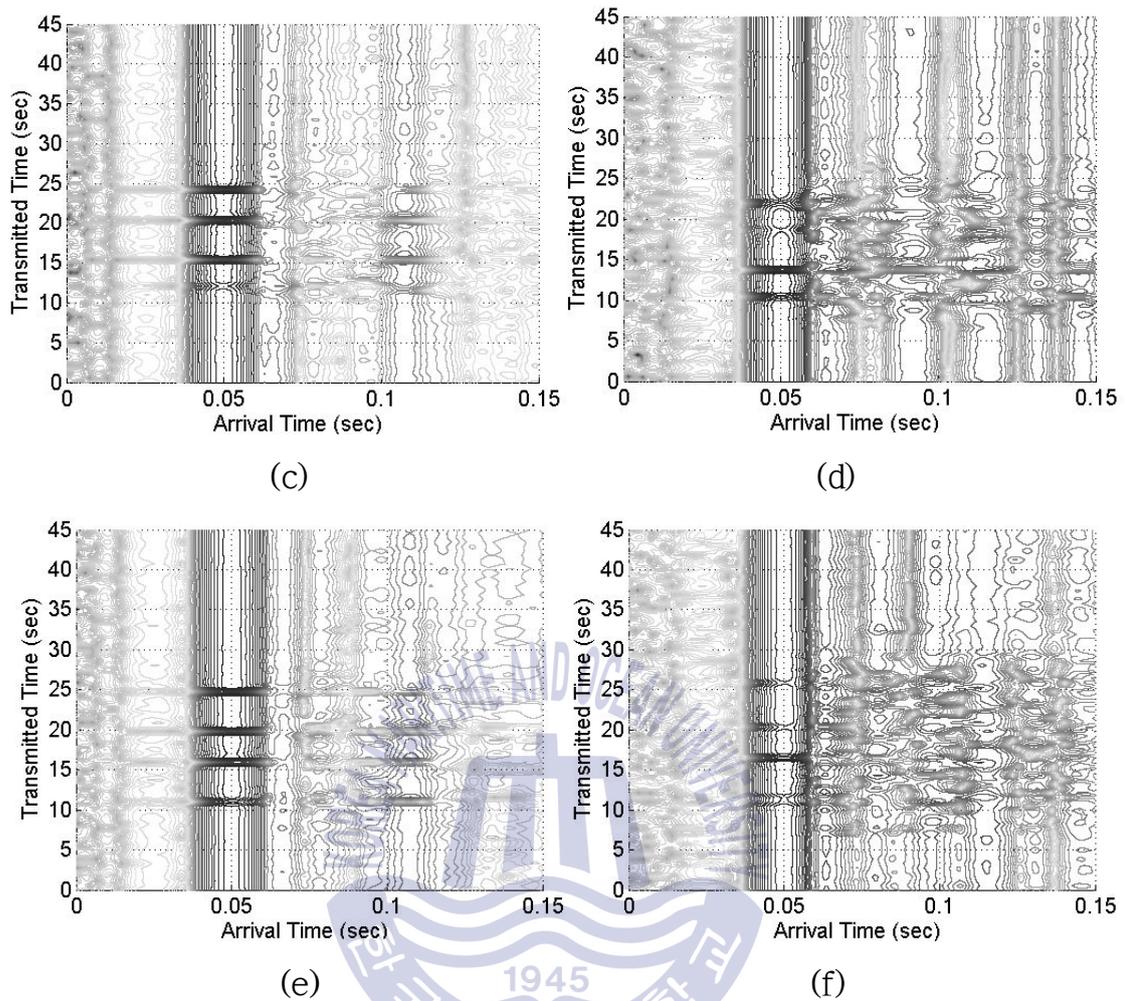


그림 4.3 광대역 잡음 환경에서 실내 음향 채널 임펄스 응답의 변화

- (a) f_c :16 kHz (case 1), (b) f_c :3.5 kHz (case 1),
- (c) f_c :16 kHz (case 2), (d) f_c :3.5 kHz (case 2),
- (e) f_c :16 kHz (case 3), (f) f_c :3.5 kHz (case 3)

Fig. 4.3 Variations of the measured room acoustic channel impulse with broadband noise

- (a) f_c :16 kHz (case 1), (b) f_c :3.5 kHz (case 1),
- (c) f_c :16 kHz (case 2), (d) f_c :3.5 kHz (case 2),
- (e) f_c :16 kHz (case 3), (f) f_c :3.5 kHz (case 3)

그림 4.3는 주파수와 침입자의 위치가 다를 때 측정된 시간에 따른 실내 임펄스 응답의 변화를 나타낸 것으로 그림의 가로축 방향은 지연 시간 프로파일을 나타내고, 세로축은 신호가 송신되는 시간을 의미한다. 모든 경우 중간 중간에 채널이 순간적으로 변화한 것을 확인할 수 있으며, 이러한 채널 변화를 통해 해당 시점에 침입자가 나타났다는 사실을 알 수 있다. 하지만 3.5 kHz 신호를 사용한 경우 지연 시간이 길수록 변화가 퍼지는 형태로 나타났으며, 이에 비해 16 kHz 신호의 경우 침입자 출현 시점에서만 간결하게 채널 임펄스 응답의 변화가 나타났다.

Table 4.2 SNR of the received signal with broadband noise

Data	SNR (dB)
f_c :16 kHz (case 1)	-26
f_c :16 kHz (case 2)	-26
f_c :16 kHz (case 3)	-24
f_c :3.5 kHz (case 1)	-15
f_c :3.5 kHz (case 2)	-17
f_c :3.5 kHz (case 3)	-14

표 4.2는 수신 신호의 SNR을 나타낸다. 중심 주파수가 16 kHz일 때 3.5 kHz일 때 보다 SNR이 낮은 것을 확인할 수 있다. 이러한 주파수에 따른 차이는 실험에 사용된 마이크와 스피커의 주파수 특성에 기인한다.

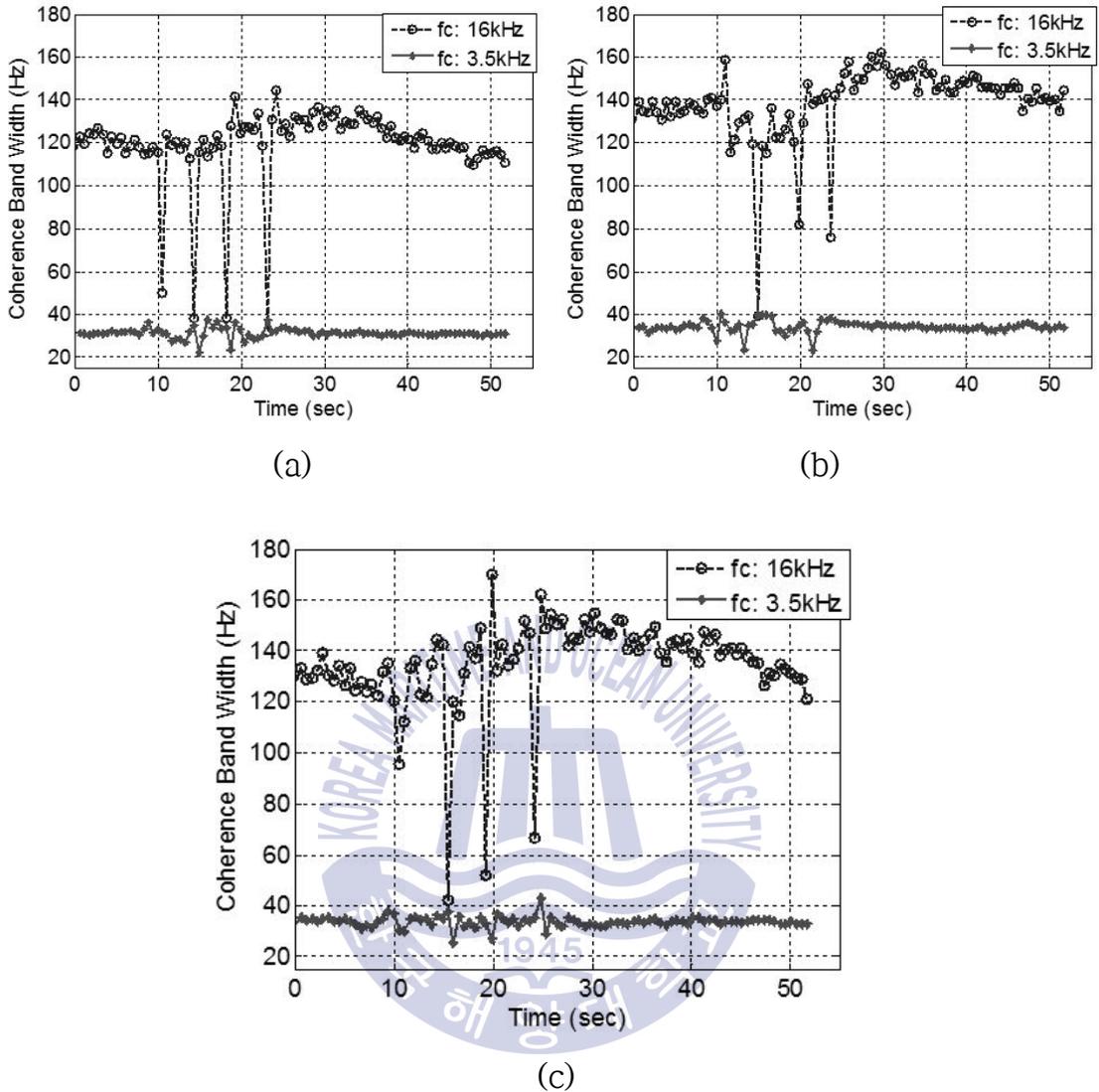


그림 4.4 상관 대역폭의 변화, (a) case 1, (b) case 2, (c) case 3

Fig. 4.4 Variations of coherence bandwidth,

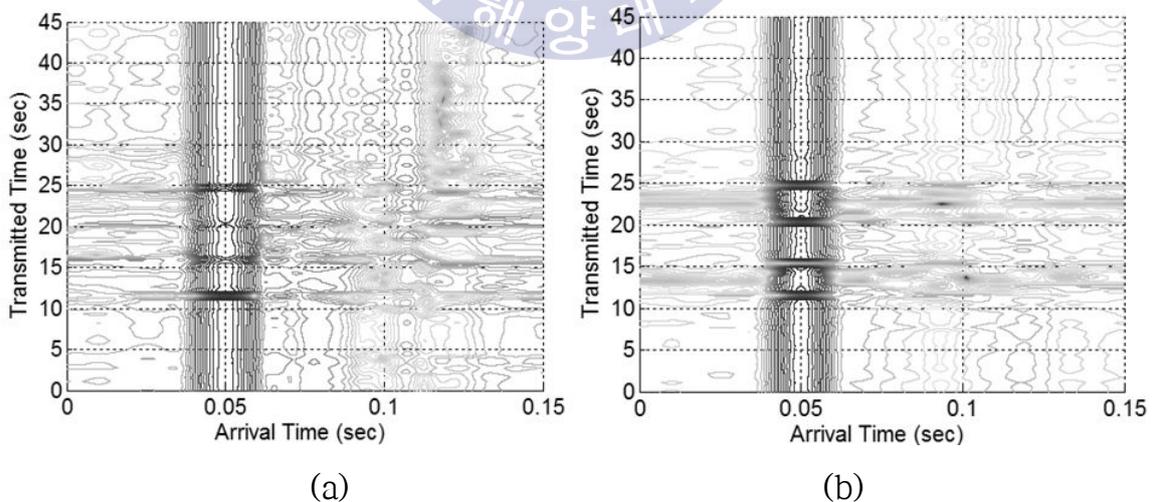
(a) case 1, (b) case 2, (c) case 3

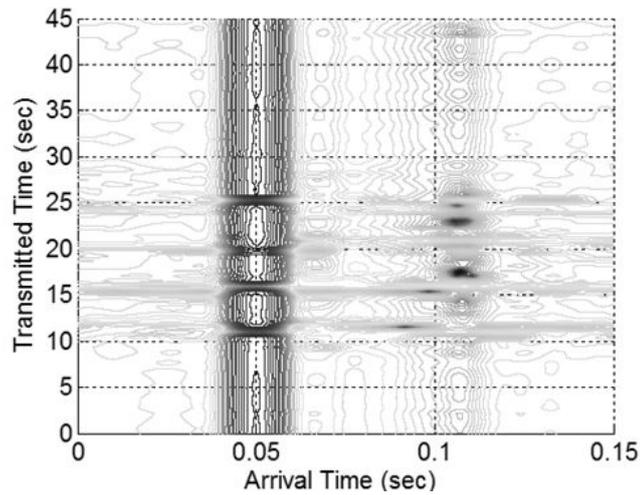
실내 음향 채널 응답으로부터 계산된 상관 대역폭의 변화를 나타낸다. LFM 펄스 신호가 송출되고 아무도 없는 10초 동안 상관 대역폭은 안정된 수치를 보이다 침입자가 존재하는 순간 상관 대역폭 값이 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 실험은 10초부터 4번에 걸쳐 침입자가 나타나도록 진행 하였고, 실험이 이루어진 모든 경우에서 침입자는 완벽히 같은 시점에 침

입한 것이 아니었기 때문에 그래프 상의 감소 시점이 약간의 차이를 보이
나 이는 성능 평가에 있어 영향을 미치지 않는다. 두 그림을 비교하였을
때 LFM 펄스의 중심 주파수가 16 kHz일 경우 3.5 kHz 보다 상관 대역폭
의 변화가 훨씬 크게 나타났다. 즉, 중심 주파수가 클 경우 신호의 파장이
짧아 침입자 유무를 감지하는 감도가 높다는 것을 알 수 있다. 결과들을
통해 제안하는 파라메타가 지정된 구역에서 무단으로 침입하는 사람을 탐
지하는데 적용될 수 있다는 것을 알 수 있다.

4.3 잡음 종류에 따른 실험 결과

채널의 잡음은 음향 신호를 기반으로 하는 통신이나 탐지에 있어서 통
신 가능한 거리와 대역폭, SNR과 같은 성능에 영향을 주는 요소 중 하나
이다. 무반향실과 같은 이상적인 환경이 아닌 일반적인 환경에서 제안하
는 파라메타를 적용하기 위해 잡음이 있는 환경에서 실험을 시행 하였고
이때 모든 주파수 성분을 다 포함 하고 있는 백색 잡음과 송신 신호의 각
중심 주파수에 해당하는 협대역 잡음을 배경 잡음으로 사용하였다.





(c)

그림 4.5 협대역 잡음 환경에서 실내 음향 채널 임펄스 응답의 변화 (f_c :16 kHz) (a) case 1, (b) case 2, (c) case 3

Fig. 4.5 Variations of the measured room acoustic channel impulse with narrow-band noise (f_c :16 kHz) (a) case 1, (b) case 2, (c) case 3

Table 4.3 SNR of the received signal according to noise type

Data		SNR (dB)	
16 kHz	Broad-band noise	case 1	-26
		case 2	-26
		case 3	-24
	Narrow-band noise	case 1	-15
		case 2	-18
		case 3	-16
3.5 kHz	Broad-band noise	case 1	-15
		case 2	-17
		case 3	-14
	Narrow-band noise	case 1	-14
		case 2	-16
		case 3	-14

그림 4.5는 중심 주파수가 16 kHz인 송신 신호를 16 kHz의 sine wave가 배경 잡음으로 주어진 환경에서 측정한 실내 음향 채널 임펄스 응답의 변

화를 나타낸다. 실험은 주파수 대역에 따른 성능을 비교 할 때와 같이 침입자가 각각 마이크와 스피커 부근 그리고 마이크와 스피커로부터 중앙에 나타났을 경우로 설계 하였다. 표 4.3은 잡음에 따른 수신 신호의 SNR을 나타낸다. 협대역 잡음을 배경으로 할 때 광대역 잡음 환경에 비해 높은 SNR을 보인다.

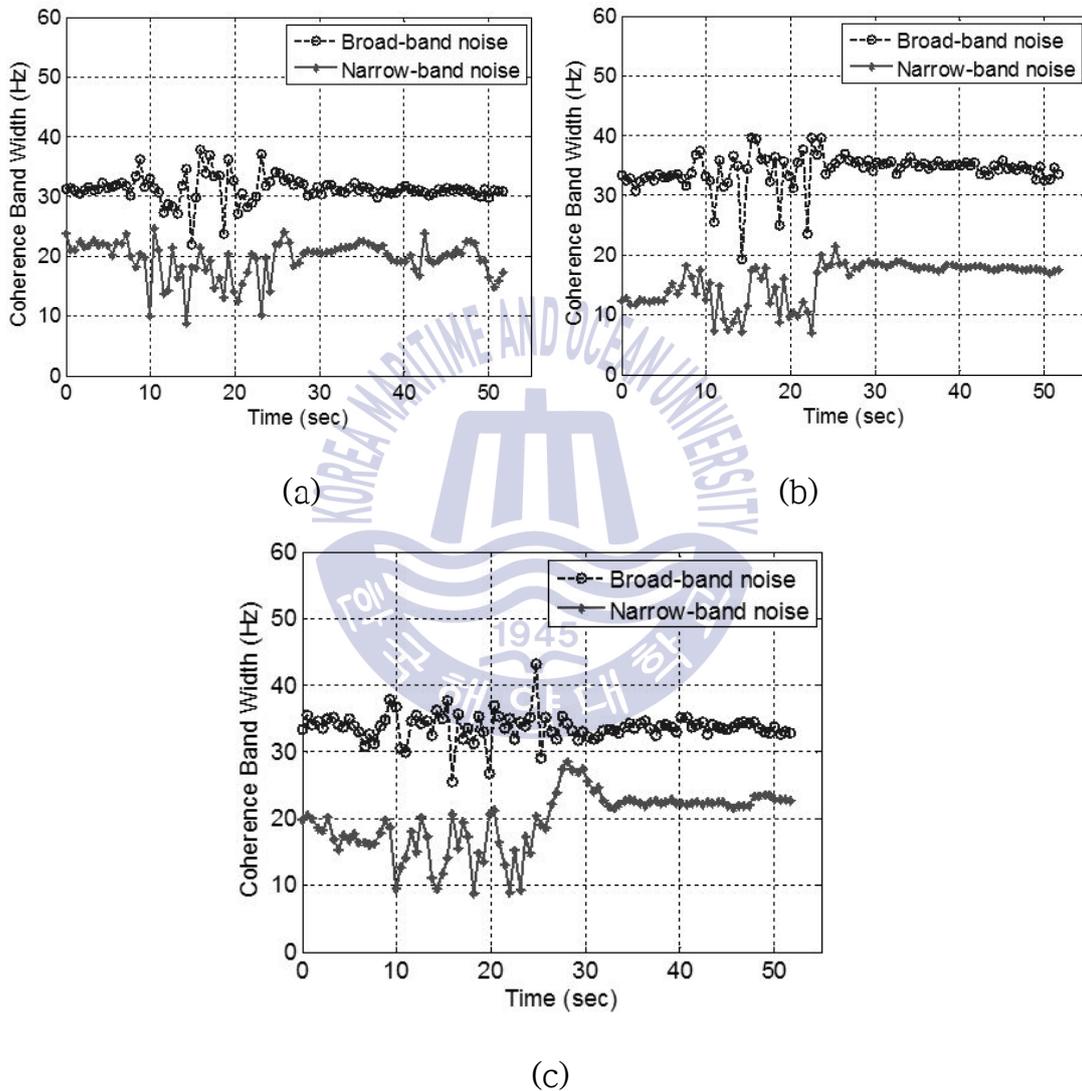


그림 4.6 잡음에 따른 상관 대역폭의 변화(f_c :16 kHz)

(a) case 1, (b) case 2, (c) case 3

Fig. 4.6 Variations of coherence bandwidth(f_c :16 kHz)

(a) case 1, (b) case 2, (c) case 3

그림 4.6은 배경 잡음에 따라 측정된 상관 대역폭의 변화를 보여준다. 이때 송신 신호는 16 kHz를 중심 주파수로 하는 신호이다. 대체적으로 광대역 잡음 환경에서 상관 대역폭이 비교적 높은 값을 가지며, 변동은 협대역 잡음 환경에서 더 크게 나타났다. 협대역 잡음 환경의 경우 침입자가 지나간 후에도 상관 대역폭이 원래의 값으로 돌아오기까지의 시간이 더 걸리는 현상을 보여 변화가 퍼지는 형태로 나타났다.

4.4 기존 방법과의 비교

음향 센서를 이용한 침입자 탐지 기법은 일반적으로 수신된 음향 신호의 주파수 성분, 파워 스펙트럼의 변화를 측정 및 분석하여 탐지 하는데, 기존에 연구된 방법 가운데 spectral centroid의 변화를 보는 방법과 제안한 방법 사이의 성능을 비교하였다.

그림 4.7은 스피커로부터 1 m 거리에서 침입이 일어났을 경우에 기존의 음향 탐지를 위해 적용된 파라미터와 제안하는 파라미터를 비교하기 위한 그림이다. 그림 4.7 (a)는 그림 4.4 (b)의 중심 주파수가 3.5 kHz인 그래프를 확대한 것이고 그림 4.7 (b)는 (a)를 추출한 것과 같은 수신 신호를 이용하여 실내 음향 채널 특성 중 spectral centroid의 분산 값을 계산한 것이다. 점선 화살표로 표시한 곳이 침입자가 존재하는 시점으로 제안한 파라미터를 이용한 경우 침입자의 탐지가 보다 용이한 것으로 나타났다.

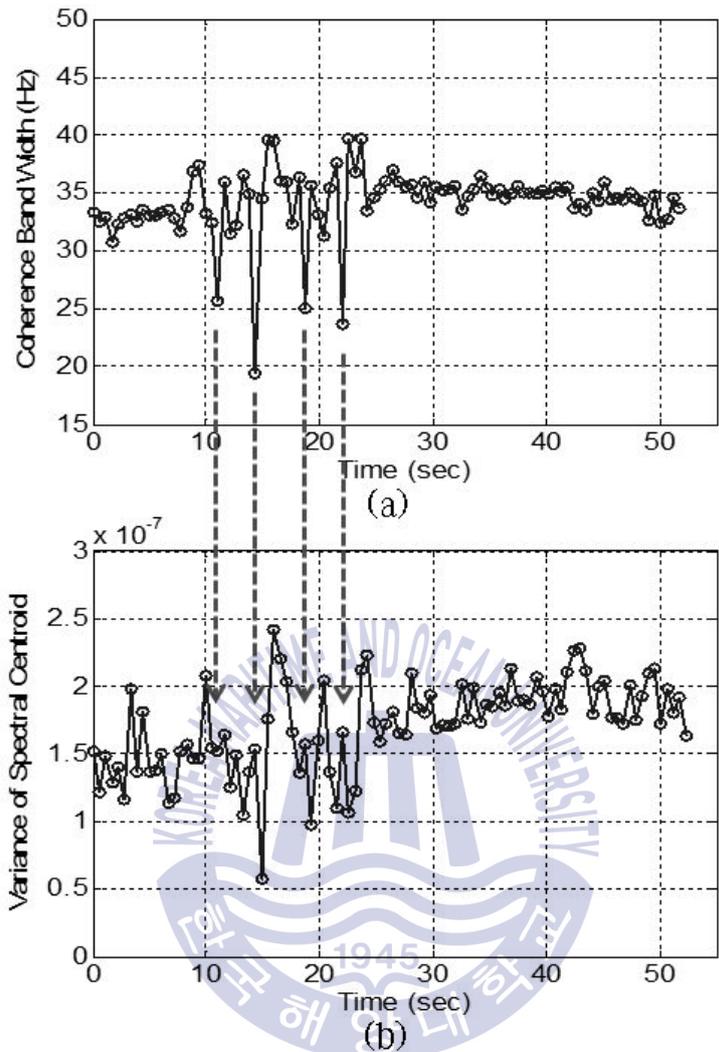


그림 4.7 침입에 따른 상관 대역폭 변화와 spectral centroid의 변화
 비교(f_c : 3.5 kHz in case 2)

(a) 상관 대역폭 변화, (b) spectral centroid 변화

Fig. 4.7 Compare coherence bandwidth with variance of spectral
 centroid at 3.5 kHz in case 2

(a) Variation of coherence bandwidth, (b) variation of spectral centroid

제 5 장 결 론

공기 중에서의 음파는 전자기파에 비하여 전파 거리가 매우 짧고, 감쇠와 느린 전파 속도의 문제가 있다. 음향 신호는 산란, 회절, 반사 등을 통해 수신 경로가 길이가 다른 여러 개의 경로를 가지게 되어 다중 경로 전달 현상이 발생한다. 무선 채널에서 수신된 신호는 여러 개의 이산적인 다중 전파 경로 성분으로 구성된다. 침입은 실내 다중 경로 채널에 변화를 가져오므로 실내 음향 임펄스 응답이 변화하게 되고 채널 지연 프로파일의 변화가 발생한다. 채널 지연 프로파일은 상관 대역폭을 결정하는 중요한 파라미터로 이용되므로 침입으로 인한 실내 채널 지연 프로파일의 변화는 상관 대역폭의 변화를 일으킨다.

본 논문에서는 실내 음향 채널에서 지연 프로파일의 변화를 실제 선형 주파수 변조 신호를 이용해 측정된 채널 응답 특성을 이용하여 구하였다. 그리고 측정된 실내 임펄스 응답 특성을 통해 상관 대역폭 값을 산출하여 침입자의 출입이 상관 대역폭에 미치는 영향을 살펴보고, 그 변화를 이용하여 침입자를 탐지하는 기법을 제안하였다.

상관 대역폭이 가구가 있는 일반적인 방안에서 주파수 대역과 배경 잡음의 종류 그리고 침입자의 위치에 따라 어떠한 변화를 보이는 지 살펴보기 위해 여러 가지 경우를 설계하여 실험하였다. 주파수 대역에 따른 성능을 평가하기 위해 두 가지 주파수 대역을 가지는 신호를 이용하여 실험을 수행하였다. 그 결과 중심 주파수를 16 kHz로 갖는 신호를 사용한 경우 3.5 kHz 신호에 비해 큰 변화를 나타내었다. 또한 배경 잡음의 종류에 따라 제안하는 방법의 성능 차이를 확인하기 위해 LFM 펄스 신호가 송출된 송신기와 같은 모델의 장비를 이용하여 모든 주파수 성분을 포함

하는 백색 잡음과 각 송신 신호의 중심 주파수에 해당하는 협대역 잡음을 사용하였다. 상관 대역폭은 기본적으로 협대역 잡음이 가해졌을 때 백색 잡음이 있는 환경에 비해 수신 SNR이 낮게 나타났다. 침입자 출입에 따른 변동은 협대역 잡음 환경에서 더 크게 일어났으며, 침입에 따라 변화한 상관 대역폭이 기존의 값으로 돌아오기까지의 시간이 오래 걸려 변화가 퍼지는 현상을 보였다. 기존에 음향 신호 처리를 이용한 탐지 파라메타로 연구 되어진 spectral centroid와 상관 대역폭을 비교한 결과 본 논문에서 제안한 방법이 침입자 탐지하는데 보다 용이한 것으로 나타났다.

향후 주파수 대역을 높여 적용 범위를 늘리고, 더 정확한 채널 추정 및 탐지를 위해 송수신기를 어레이로 배열하는 등의 연구가 필요하다.



참 고 문 헌

- [1] Jain. A., Uludag. U. and Hsu. R.: “Hiding a Face in a Fingerprint Image,” *Proc. ICPR Inter. Conf. on Pattern Recognition*, vol.3, pp.756-759, 2002.
- [2] Ahmed. N., Fogler. R. J., Soldan. D. L., Elliott. G., and Bourgeois. N. A.: “On an intrusion-detection approach via adaptive prediction,” *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, vol.AES-15, pp.430-438, 1979.
- [3] Ono. K., Ohta. K., Matsunami. I., and Kajiwara. A.: “Home Security Sensor Using 2.4GHz ISM Band,” in *Proc. IEEE Inter. Conf. Radio and Wireless Symposium (RWS)*, pp.9-12, 2010.
- [4] Zieger. C., Brutti. A., and Svaizer. P.: “Acoustic based surveillance system for intrusion detection,” in *Proc. IEEE Inter. Conf. Advanced Video and Signal Based Surveillance*, pp.314-319, 2009.
- [5] Choi. Y. K., Kim. K. M., Jung. J. W., Chun. S. Y., and Park. K. S.: “Acoustic intruder detection system for home security,” *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol.51, no.1, pp.130-138, 2005.
- [6] Park. J. H., Jeong. B. g., Lee. M. Y., and Sim. G. B.: “Sound localization and object tracking for intelligent surveillance system,” *Korean Institution of Intelligent Systems*, vol.17, no.2, pp.21-24, 2007.
- [7] Lefter. I., Burghouts. G. J., Rothkrantz., and Leon. J.: “Automatic Audio-Visual Fusion for Aggression Detection Using Meta information,” *IEEE Inter. Conf. Advanced Video and Signal Based Surveillance*, pp.19-24, 2012.
- [8] Sun. Z., Bebis. G., and Milleri. R., “On-road vehicle detection: A review,” *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.28, no.5, pp.694-711, 2006.

- [9] Ratnam. R., Jones. D. L., Wheeler. B. C., O' Brien Jr. W. D., Lansing. C. R., & Feng. A. S.: "Blind estimation of reverberation time," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.114, no.5, pp.2877-2892, 2003.
- [10] Pop. M. F., and Beaulieu. N. C.: "Design of Wide-Sense Stationary Sum-of-Sinusoids Fading Channel Simulators", *IEEE Trans. Commun.*, vol.2, pp.709-716, 2002.
- [11] Clarke. R. H.: "A Statistical Theory of Mobile Radio Reception," *Bell System Technical Journal*, vol.47, no.6, pp.957-1000, 1968.
- [12] Rappaport. T. S.: *Wireless Communications: Principles and Practice*, IEEE Press, New York, vol.2, 2002.
- [13] Cavers. J. K.: *Mobile Channel Characteristics*, Springer Science & Business Media, vol.555, 2002.
- [14] Patzold. M.: *Mobile Fading Channels*, John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- [15] Simon, Marvin. K., and Alouini. M. S.: *Digital communication over fading channels*, John Wiley & Sons, vol.95, 2005.
- [16] Barry. J. R., Lee. E. A., and Messerschmitt. D. G.: *Digital communication*, Springer Science & Business Media, 2003.
- [17] Gray. J. M.: "An Exploration of Musical Timbre. PhD thesis," Dept. of Psychology, Stanford University, 1975.
- [18] Carey. M. J., Parris. E. S., and Lloyd-Thomas. H.: "Acomparison of features for speech, music discrimination", *In Proc. ICASSP*, vol.1, pp.1432-1436, 1999.
- [19] Makhoul, J.: "Linear prediction: A tutorial overview," *in Proc. IEEE*, vol.63, no.4, pp561-580, 1975.
- [20] Yin. X., Zhou. J., Kwak. B. J., and Chung. H. K.: "Estimation of Channel Temporal Auto-Correlation and Coherence Time based on Propagation

Paths,” in *Proc. IEEE Inter. Conf. Fifth International Conference on Communications and Networking*, pp.1-5, 2010.

[21] Adams. S. L., and Doubek. J. W.: “Frequency coherence and time coherence in random multipath channels,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.62, no.2, pp.286-294, 1977.

[22] Park. K. C., Park. J. H., Lee. S. W., Jung. J. W., Shin. J. C., and Yoon. J. R.: “Performance Evaluation of Underwater Acoustic Communication in Frequency Selective Shallow Water,” *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, vol.32, no.2, pp.95-103, 2013.

[23] Simanjuntak. L.: “A Novel Chirp Slope Keying Modulation Scheme for Underwater Communication,” University of New Orleans MS Thesis and Dissertations, 2004.



감사의 글

3학년 말부터 연구실 생활을 시작하여 약 3년이라는 시간이 지났습니다. 무엇을 모르는지, 무엇을 해야 하는지 갈피를 잡지 못하는 저를 미소 속의 카리스마로 이끌어주시고 연구하는 동안 많은 실수와 실패를 거듭 하였을 때도 호통 한 번 없이 앞으로의 길을 가도록 일러주신 김기만 교수님 덕분에 석사 생활동안 했던 것을 남들에게 떳떳하게 말할 수 있게 되었습니다.

미완의 논문을 지도해주신 정지원 교수님, 조형래 교수님, 전파공학도로 저에게 열정을 다해 가르침을 주신 김동일 교수님과, 강인호 교수님, 민경식 교수님, 그리고 윤영 교수님께도 감사드립니다.

도움을 요청하기도 전에 도움의 손길을 내밀어 주었던 외형이 오빠, 매트랩의 신세계를 알려준 정우오빠, 교수님을 떠올리게 하는 미소뿜 카리스마와 독보적인 디테일의 소유자 태진오빠, 취업 후에도 많은 교훈을 전해주고 경각심을 심어준 민수오빠, 걸으론 티 안내도 속 깊고 누구보다 동생들을 아끼는 병철이 오빠에게 감사합니다. 오빠들의 조언과 보살핌 덕분에 연구실 생활에 빠르게 적응할 수 있었습니다. 연구실은 다르지만 많은 도움을 준 창욱 오빠와 동수 오빠, 장난스럽지만 듬직한 장현이 오빠와 해찬이오빠, 태훈오빠에게도 감사합니다. 실험실 시작을 함께하면서 버릇없는 저를 친구처럼 오빠처럼 대해주면서 서로 협력하는 법을 알려준 찬호오빠, 늘 아무것도 관심 없는 표정으로 있다가도 힘들 때면 어김없이 도와준 형우오빠, 모르는 것은 꼭 알아내고야 마는 지홍이오빠와 걱정했던 것이 아까울 정도로 연구실 생활에 적응을 잘하고 잘해내고 있는 은혜, 연구실 큰 형님을 떠올리게 하는 내 친구 택익이에게도 감사의 마음을 전하고 몸이 약한 막내 세림이도 건강하게 연구실 생활을 잘할 수 있기를 응원합니다. 대학교 친구는 진짜 친구가 아니라는 속설을 깨주었던 내 친구들 현 조교 현정이, 엉뚱한 행동과 특유의 입담으로 기쁨을 주는 수연이, 실수를 해도 끝내 감싸주었던 은옥이에게 감사합니다.

마지막으로 그 누구보다 저를 믿어주시고 응원해주신 부모님과 엄마보다 진한 잔소리로 나태해지지 않게 채찍질 해주고 군소리 없이 하소연 들어주고 위로해 주었던 제홍이오빠에게 사랑과 감사의 마음을 전합니다.