

# Sound Visualization Method using Joint Time-Frequency Analysis for Visual Machine Condition Monitoring

Jung-Hee Seo\*, Hung-Bog Park\*\*

## Abstract

Noise from the surrounding environment, building structures and machine equipment have significant effects on daily life. Many solutions to this problem have been suggested by analyzing causes of noise generated from particular locations in general buildings or machine equipment and detecting defects of buildings or equipment. Therefore, this paper suggests a visualization technique of sounds by using the microphone array to measure sound sources from machines and perform the visual machine condition monitoring (VMCM). By analyzing sound signals and presenting effective sound visualization methods, it can be applied to identify machine's conditions and correct errors through real-time monitoring and visualization of noise generated from the plant machine equipment.

▶ Keywords : Machine Condition Monitoring, Sound Visualization, JTFA

## I. Introduction

다양한 소리는 우리의 일상에서 흔히 발생하는 현상이지만 소리를 구별하거나 소리가 나는 정확한 위치를 알기는 쉽지 않다.

최근 몇 년 동안, 우리는 편안한 생활을 위해 환경 문제에 더 많은 관심을 가져왔다. 그러나 소음 문제는 편안한 삶을 살아가는데 많은 방해 요소가 되었다. 소음 문제는 오염의 여러 형태를 통해 우리의 삶에 영향을 미친다. 우리가 잠을 레

벨을 측정할 때, 우리는 일반적으로 사운드 레벨 미터를 사용한다. 그러나 많은 소음이 있는 환경에서는 기존의 사운드 레벨 미터를 사용하여 소음 소스를 식별하는 것은 곤란하다 [2].

일부 연구는 인간이 일상 생활에서 객체의 소리에 관한 자

세한 물리적 정보와 일치할 수 있는 것으로 나타나는 반면 로 봇 및 기타 지상 이동 플랫폼은 그들에게 수집된 환경 정보가 대부분의 경우 소리가 포함되지 않기 때문에 여전히 인간처럼 생생하게 자연 세계로의 탐험을 할 수 없다[3].

또한 일상의 소리 인식과 지각에 관한 응답 질문은 음악을 청취하거나 음성 인식에만 초점을 맞추므로써 어려웠다[5].

기존의 연구에서는 소리와 소음의 가시화를 위해서 카메라 영상 처리와 마이크로폰 어레이 처리를 조합하여 음압 분포를 시각화하는 방법[2, 10], 이미지 현출 기능 및 음성 신호의 청각 현출 기능 모두를 사용하여 자연 환경 소리 신호 처리를 위한 가시 현출 음향 특징 추출(VASFE) 방식[3], 초음파 분야를 시각화하는 간단한 센서 개발[6], 키르히 호프의 헬름홀츠 - 적분 방식식에 기초하여 광학적으로 가시 음장의 특별한 보간 방법[7], 주변에서 발생하는 소리를 정의함으로써 특정 소리

• First Author: Jung-Hee Seo, Corresponding Author: Hung-Bog Park

\*Jung-Hee Seo(jhseo@tu.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Tongmyong University

\*\*Hung-Bog Park(git@pknu.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Pukyong National University

• Received : 2015. 05. 27, Revised : 2015. 07. 05, Accepted : 2015. 07. 23.

• This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2015 year)

에 대한 소리의 ID(Identification)를 부여하는 것[5] 등의 기법들이 제안되었다.

소리의 시각화는 질적인 평가를 위해 매우 효과적인 도구이다. 기존 연구에서의 시각화 기법들은 Short-Time Fourier Transform(STFT)과 Mel-Frequency Cepstrum Coefficient(MFCC)[3], 웨이블릿 기반[1]의 신호 처리, 광학적 방법으로서의 시각화[7], 음향 카메라[4]를 이용한 시각화 등이 제시되고 있다.

다양한 소리의 특징들을 구별하여 나타내는 방법으로 소리의 특성에 대한 시각화 기법들은 건축 구조물, 기계 장비, 산업 현장 또는 군사 목적으로 다양하게 응용될 수 있다.

사실, 대부분의 상용 솔루션은 신호를 처리하고 측정의 목적에 따라 원하는 결과를 해석할 수 있는 도구의 기본 세트를 포함한다[8].

소음의 시각화는 소음의 문제를 다루는 비교적 새로운 접근 방식을 제공한다. 소음의 시각화를 위해서는 적절한 기술을 선택하는 것이 중요하고 소프트웨어 도구는 소음 소스들의 식별 및 분석을 수행한다. 적합한 소프트웨어를 사용하여, 그것의 소스의 상세한 분석을 수행할 수 있고, 소음과 그래픽 형태로 결과(음향 영상, 음향 이미지)를 제시한다[4].

일부 연구 작업은 오디오 및 로봇 또는 다른 플랫폼을 인식하고 인식 작업을 수행할 시각 신호 정보를 모두 융합하여 행해지지만 사용된 융합 화상 특징이 전체 화상이며, 따라서, 융합 처리는 많은 컴퓨팅 자원이 필요하고 음향 신호의 이미지 특징은 아직 현출 특징(Saliency Features)이 아니다[3].

주변 환경, 건물 구조와 머신 장비에서의 소음은 사람들에게 민감하게 반응하게 하고, 일상 생활에 많은 영향을 미친다. 따라서 일반 건축물이나 머신 장비의 특정 위치에서 발생하는 소음의 발생 근원을 분석하여 건축물 또는 장비의 결함을 찾아서 문제를 해결하기 위한 방안이 제기되고 있다.

본 논문은 마이크로폰 어레이를 이용하여 머신 장치에서의 음원을 측정하고, 비주얼 머신의 상태 모니터링(VMCM)을 위한 소리의 시각화 기법을 제안한다. 소리에 대한 신호 분석과 이에 따른 효과적인 소리 시각화 방법을 제시함으로써 공장의 머신 장비에서 발생하는 소음의 실시간 모니터링 및 시각화를 통해 머신의 상태를 파악하고 오류를 수정하는데 적용할 수 있다.

따라서 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 소리와 소음의 시각화를 위한 다양한 기법들에 대해서 논하고, 3절은 본 논문에서 제안하는 비주얼 머신의 상태 모니터링(VMCM)을 위한 소리의 시각화 기법에 대해서 기술한다. 4절은 구현 결과 및 분석, 5절은 결론, 참고 문헌 순으로 기술한다.

## II. Related Works

기존 연구는 주로 음악, 음성 등과 같은 사운드 카테고리에 대한 소리의 분류에 집중되었고, 특징 벡터의 표현 방식 기반을 사용하였다. 일반적으로 벡터 기반의 방법은 두 개의 연속

된 블록 사이에 떨어지는 이벤트를 탐지하는데 어려움을 겪고 있다. 또한, 특징 벡터를 생성하기 위해 평균화 블록 위에 주어진 신호의 특정한 특성의 손실을 야기한다[5].

마이크로폰 어레이 측면의 음압 신호를 이용하여 측정면 이외의 음장을 예측하고 음향 홀로그래피를 구현하여 음원의 위치와 강도를 시각적으로 표현할 수 있다[10].

Seichi Shin은 사운드와 웨이블릿 변환에 기반한 통신 방법 중 하나를 나타낸다. 웨이블릿 변환은 인간의 이해를 위해 소리를 가시화하고, 기계의 이해를 위해 필터된 사운드를 제공한다. 인간과 기계 사이의 통신은 사운드와 같은 미디어와 웨이블릿과 같은 기술을 기반으로 유비쿼터스 시대의 상호 이해에 중요하다. 여기서는 인간과 기계 사이의 의사 소통의 도구로 소리와 웨이블릿 변환(WT)에 중점을 둔다. 소리는 인간을 위해 좋은 감각이고, 소리의 시각화는 기계의 상태를 이해하는데 유용한 도구이다[1].

Goseki M. 등은 마이크로폰 어레이 처리 및 카메라 이미지 프로세싱을 결합하여 음압 분포를 시각화에 대해 기술하고 있다. 카메라의 화상 처리에 의해 촬영된 3D 위치 음향을 캡처하여 사운드 레벨을 계산한다. 음압 분포를 시각화하기 위해, 계산된 사운드 레벨은 카메라 화상에 겹쳐진다. 실험은 상이한 잡음과 다른 음압 레벨을 사용하여 음압 분포의 시각화를 조사하기 위해 실시되었다[2].

Jingyu Wang 등은 무인 차량과 로봇의 환경을 인식하는 문제를 다루고 있다. 이 논문은 이미지 현출 기능 및 음성 신호의 청각 현출 기능 모두를 사용하여 자연 환경 사운드 신호 처리를 위한 가시 현출 음향 특징 추출(VASFE) 방식을 제안하였다. 모두 단시간 푸리(STFT)에 기초하고, 지각 능력을 향상시키기 위해 가시 현출 음향 특징 추출(VASFE)에 있어서는 환경 음성 신호 처리를 위한 Short-Time Fourier Transform(STFT) 변환과 Mel-Frequency Cepstrum Coefficient(MFCC)를 기반으로 제안되었다. 음성 신호는 로컬 이미지 특성에 따라 STFT 알고리즘을 이용하여 가시화되고, MFCC는 로컬 신호의 음향 특성을 나타내는 데 사용된다. 이 논문에서 제안된 VASFE 방법은 실내와 실외 환경의 현실 세계에서 수집된 자연스러운 사운드 데이터에 의해 테스트되었다. 그 결과, 이 논문에서 제안된 방법은 성공적으로 장기 및 단기 음성 신호 모두 현출 특징을 추출할 수 있으며, 환경 음향 정보의 향후 처리를 위해 아주 잘 구별할 수 있는 특성에 적용하는 것을 보여준다[3].

Nakamura K.와 Sugimoto T.는 복잡한 데이터 수집 시스템이 없는 초음파 분야를 시각화하는 간단한 센서를 발표했다. PZT 요소에 의해 LED의 직접 공급은 우리의 육안을 통해 초음파 음압 분포의 관찰을 수행할 수 있다. 팁 LED를 이용한 카드형 어레이는 실용상 편리하다. LED의 발광 지향성은 모든 방향에서 가시성에 대해 폭 넓게 해야 한다[6].

Yatabe K.와 Oikawa Y.는 음장을 측정 한 후, 데이터의 보간은 매끄러운 시각화가 필요하다. 이전의 보간 방법은 물리적으로 의미있는 결과를 제공할 수 없다. 이 논문에서 키르히

호프의 헬름홀츠-적분 방정식에 기초하여 광학적으로 가시 음장의 특별한 보간 방법을 제안하였고, 실험은 소음에 대한 효율성과 견고성을 확인할 수 있었다[7].

음압과 입자 속도는 음장의 완전한 계산을 수행하기 위해 측정한다. 기본적으로, 음향 센서의 세 가지 유형이 존재한다. 첫 번째 유형은 압력을 측정하는 센서를 기반으로 한다. 두 번째 유형은 음향 마이크론의 스캔 압력인 음향 센서를 포함한다. 이러한 유형의 음향 센서는 압력 차이에 민감하다. 세 번째 유형은 Microflown으로 음향 입자 속도 및 음향 압력을 측정하는 결합된 센서이다[4].

### III. Sound Visualization using Joint Time-Frequency Analysis for Visual Machine Condition Monitoring

우리는 비주얼 머신의 상태 모니터링(Visual Machine Condition Monitoring: VMCM)을 위해서 머신 장비의 부품들에 대한 소리의 시각화 도구로 가보 스펙트로그램 기반의 2차 시간-주파수 공통 분석 기법을 사용한다.

그림 1은 본 논문에서 제안한 전체적인 시스템 구조를 나타낸다. 소리 수집(Sound Acquisition)은 소음의 시각화를 위해 하드웨어를 설정한 후 마이크론 어레이를 이용하여 음압을 측정한다. 그리고 신호처리 및 분석, 소리의 특성(Analyze and Feature Extract)을 분석한 결과를 소리 시각화(Sound Visualization) 처리를 위해 수행한다. 소리의 주파수 영역에서의 특성 분석은 시간의 변화에 따른 특성을 분석하지 못한다. 따라서 본 논문은 머신 장치의 상태를 시간의 변화에 따라 시각적으로 모니터링하기 위해서 필터링 도구로 가보 스펙트로그램을 사용하여 시간-주파수 분석에 대한 신호의 시각화를 얻을 수 있다.

소리의 신호 처리는 마이크론에서 얻은 신호를 시간-주파수 영역으로 변환하여 잡음을 제거하고, 소리의 주파수 특성을 구한다. 음압의 계산된 추정치는 색상에 음압을 부호화하여 시각화한다. 그리고 임계치를 적용하여 노이즈가 제거된 시간-주파수 영역에서 다시 신호를 재구성(Signal Reconstruction)한다.

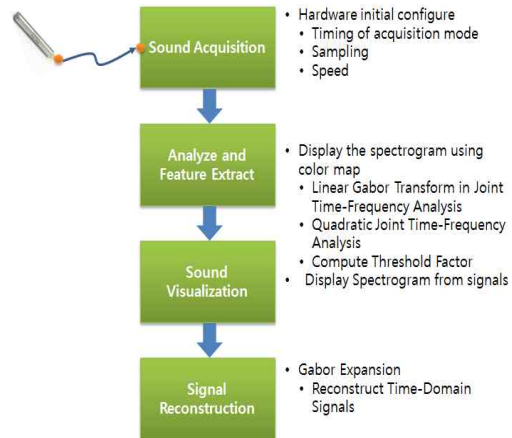


Fig. 1. Entire System Structure

#### 3.1 Hardware Configuration

본 논문에서 제안한 기법의 하드웨어 환경은 G.R.A.S의 Type 40PH의 마이크론 어레이와 NI 9234 모듈, USB-9162를 포함한다. 그림 2는 하드웨어 구성을 나타낸다. 마이크론 어레이는 멀티 채널 측정, 소리 필드 분석, 음향 파워 측정, 정전류 전원 공급 장치를 요구한다. 또한 20 kHz와 약 135dB의 넓은 동적 범위 토핑에 도달하는 폭 넓은 유용한 주파수 범위를 가지고 있다.

NI 9234 모듈은 4 채널의 동시 샘플 아날로그 입력 채널에 연결할 수 있는 BNC 커넥터가 있고, ±5V, 24 비트 ADC를 지원하고, 채널별로 구동 전류를 활성화하여 IEPE(Integrated Electronics Piezoelectric) 센서에 연결한다. NI USB-9162는 컴퓨터와 NI 9234 모듈을 USB 모드로 연결한다. 따라서 NI 9234의 I/O 모듈을 NI USB-9162에 연결하고, USB 케이블의 한쪽 끝을 NI USB-9162에, 다른 한쪽 끝을 컴퓨터의 USB에 연결한다.



Fig. 2. Sensing Hardware Organization

#### 3.2 Process procedures and visualization of sound

비주얼 머신의 상태 모니터링(VMCM)을 위해서 가보 스펙트로그램(Gabor Spectrogram) 방법에 기반한 2차 JTFA(Joint Time-Frequency Analysis)[11] 알고리즘을

사용한다. 2차 JTFA의 기법은 Adaptive, CWD, Conic Distribution, Gabor, PWVD, STFT 등이 있다. Adaptive는 매우 높은 해상도를 지원하고 교차 성분(Cross-terms)과 Non-negative가 없다. 그리고 처리 속도는 느리다. CWD는 PWVD 보다 적은 교차 성분을 가지고, 처리 속도는 매우 느리다. Conic Distribution은 PWVD 또는 CWD 보다 교차 성분의 간섭이 적고, 처리 속도는 느리다. Gabor는 좋은 해상도를 지원하고 견고하고 최소한의 교차 성분을 가진다. 그리고 처리 속도는 보통이다. PWVD는 다양한 신호 유형으로 최고의 해상도를 지원하고 교차 성분의 양이 중요하다. 그리고 처리 속도는 빠르다. STFT는 낮은 해상도와 견고성, Non-negative를 가지고, 처리 속도는 빠르다.

따라서 본 논문은 머신에서 발생하는 소리를 분석하고 특징을 추출하여 머신 장비의 각 부품의 상태를 모니터링하는 것을 목표로 한다.

VMCM의 시각화를 위해서는 음원 데이터를 마이크로폰 어레이를 통해서 수집하고, 스펙트럼 분석 함수를 통해 수집된 음압을 시간-주파수 공통 분석(JTFA)에 의해서 주파수 데이터로 변환한다. JTFA 알고리즘을 적용하면 신호의 주파수 콘텐츠뿐만 아니라 시간에 따른 신호의 콘텐츠가 어떻게 변화하는지를 구별할 수 있다. 이산 가보 변환을 적용할 때 시간 영역 또는 주파수 영역의 각각에서 시간에 따라 명확하지 않게 변화하는 신호의 특성은 시간-주파수 영역에서 명확해질 수 있다.

본 논문의 JTFA 알고리즘은 선형 알고리즘과 2차 알고리즘의 모두를 사용한다. 2차 알고리즘은 신호에 유용한 시간-주파수 공통 영역에서 신호의 에너지 분포를 분석하는데 사용한다. 그러나 위상 정보가 2차 시간-주파수 표현에서 손실되기 때문에 신호를 복원할 수 없다. 따라서 선형 알고리즘은 시간 신호를 재구성하는 역변환이 있어 신호를 재구성하는데 사용한다.

따라서 본 논문은 신호의 분석은 2차 알고리즘을 사용하여 머신 장비의 소리 상태를 분석하고, 임계치에 따른 신호의 재구성은 선형 알고리즘을 사용하여 신호를 재구성한다.

2차 알고리즘은 가보 스펙트로그램(Gabor Spectrogram) 방법을 사용하여 입력 신호에 대한 2차 공통 시간-주파수(Quadratic Joint Time-Frequency) 표현을 계산한다.

본 논문에서 제안하는 비주얼 머신의 상태 모니터링(VMCM)에 대한 소리 시각화 알고리즘은 다음과 같은 단계로 구성된다.

Step 1. 머신 장비의 부품들의 소리는 Type 40PH의 마이크로폰 어레이에 의해 측정되고, 소리 데이터를 처리하기 위해서 소리 입력 채널을 어플리케이션에 추가한다. 수집 모드의 타이밍은 연속 모드, 입력 샘플은 25.6k, 속도(Hz)는 25.6k로 설정한다.

Step 2. 가보 변환과 가보 확장을 위해서 윈도우를 계산한다. 가보 변환을 위해 분석 윈도우를 사용하고, 가보 확장을 위해 합성 윈도우를 사용한다. 여기서 시간-주파수 공통 영역

에서 정확한 신호의 로컬 시간과 주파수 특성을 특성화하기 위해 합성 윈도우 정보를 조정한다. 윈도우의 타입은 가우시안, 윈도우의 길이는 256, Time Steps는 4, Frequency bins은 256으로 설정한다. Time Steps는 기본 함수 사이의 샘플 타임 시프트를 지정한다. 주파수 영역에서의 신호의 시간 샘플링 간격은 (Time Steps)/(신호의 샘플링률)이다. Frequency bins은 가보 기본 함수의 반송 주파수의 수를 지정한다. 시간-주파수 영역에서 신호의 주파수 샘플링 간격은 (신호의 샘플링률)/(Frequency bins)이다. Frequency bins은 2의 거듭제곱보다 크거나 같다.

Step 3. 임계치가 적용된 신호의 재구성을 처리하기 위해 선형 알고리즘인 이산 가보 변환을 수행한다.

가보 기본 함수의 선형 조합으로 신호를 분해한다. 여기서는 가보 변환을 위해서 Step 1에서 정의한 분석 윈도우를 사용하여 가보 계수를 계산한다.

선형의 이산 가보 변환은 (식 1)과 같이 정의한다.

$$s(i) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} c_{m,n} h_{m,n}(i) \quad (\text{식 1})$$

여기서  $s(i)$ 는 가보 확장으로 기본 함수  $h_{m,n}(i)$ 의 선형 조합으로서 시간 영역 신호를 나타낸다.  $h_{m,n}(i)$ 는 시간-주파수 기본 함수이고,  $c_{m,n}$ 은  $h_{m,n}(i)$ 의 가중치로 가보 계수이다. 가보 변환은 신호  $s(i)$ 를 위해 가보 계수  $c_{m,n}$ 을 계산한다.

Step 4. 신호의 분석을 위한 시각화 처리 과정을 수행한다. Step 2에서 샘플링된 데이터는 가보 스펙트로그램(Gabor Spectrogram) 방법을 이용하여 2차 공통 시간-주파수 표현을 계산하면 입력 데이터에 대한 복소수가 생성된다.

가보 스펙트로그램(2차)은 (식 2)와 같이 정의된다.

$$GS_D[i, k] = \sum_{|m-n|+|n'-n| \leq D} C_{m,n} C_{m',n'} WVD_{h,h'}[i, k] \quad (\text{식 2})$$

여기서  $WVD_{h,h'}[i, k]$ 는 주파수 변조 가우스 함수의 크로스 WVD(Wigner-Ville Distribution)를 의미한다. D는 평활화 정도로서, 가보 스펙트로그램의 순서에 의해 제어된다. 만약  $D = 0$ 의 경우,  $GS_D[i, k]$ 는 양의 값을 가지고, STFT 스펙트럼과 유사하다. D가 무한대로 갈 때, 가보 스펙트로그램은 WVD로 수렴된다.

[i, k] 위치에서의 신호의 에너지에 대응하는 각 단위의 의미는 식별될 수 있다. [i, k] 위치에서 신호의 에너지에 미치는 영향을 미치는 단위를 제거한다.

Frequency bins은 512, Time Steps는 4, 가우시안 윈도우 길이는 256으로 설정하고, 시간-주파수 해상도와 크로스 단위 간섭(Cross-Term Interference)의 균형을 설정한다.

Step 5. 정확한 시각화 처리를 위해서 4단계에서 생성된 복소수들에 대한 임계값 처리를 수행한다. 임계값 처리는 다음과 같다.

(5.1) 복소수를 극좌표 구성 요소  $r$  과  $\theta$  로 분해한다.

$$z = a + bi \text{ 이면,}$$

$$r = |z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\theta = \arg(z) = \arctan2(b, a)$$

(5.2) if( $r > ((r \text{의 최대값} - r \text{의 최소값}) \times \text{Threshold} + r \text{의 최대값})$ )

then  $r \times 1$

else  $r \times 0$

(5.3) (5.2)에서 계산된  $r$  과  $\theta$  를 입력으로 해서 다시 극좌표로 표시된 두 값으로부터 복소수를 생성한다.

(5.4) 임계값이 적용된 복소수 신호인 스펙트로그램을 색상 매핑에 의해서 디스플레이 한다. 따라서 신호의 특징을 시각화하여 시간-주파수 도메인에서의 신호의 유용한 특징을 추출한다.

Step 6. 따라서 머신 장치의 시각적인 상태를 가보 스펙트로그램에 의해 계산되고, 사용자는 기계 장비의 오류의 한계를 시각적으로 확인할 수 있다.

Step 7. 마찬가지로 Step 3의 가보 계수를 Step 5의 임계값 처리를 적용한다. 즉, 시간-주파수 영역에서 노이즈와 같은 유해한 성분을 제거한 후 노이즈가 제거된 시간 파형을 획득할 수 있다. 즉, 가보 기본 함수로부터 시간 영역의 신호를 재구성하기 위해서 합성 윈도우를 사용하고 이산 가보 확장을 수행하여 신호를 재구성한다.

#### IV. Implementation Results and Analysis

본 논문에서 비주얼 머신의 상태 모니터링(VMCM)을 위해 JTFA 기반으로 처리된 신호는 분명히 서로 다른 두 주파수 성분(Y축) 및 시간(X축) 변화를 나타낸다. JTFA는 1차원의 시간 영역을 시간과 주파수 대 에너지(광 광도)의 2차원 표현으로 변환되고, 신호의 주파수 성분과 시간의 변화를 나타낸다. 가보 스펙트로그램은 시간-주파수 영역에서 에너지의 보다 정확한 추정치를 얻을 수 있다.

표 1은 기존 연구의 시각화 방법과 본 논문에서 제안한 방법에 대한 적용 분야를 비교한 결과를 나타낸다. 표 1에서와 같이 시각화의 응용 분야는 모터사이클, 무인 자동차와 로봇의 환경 인식, 초음파, 머신 상태 모니터링 등 매우 다양하다.

그림 3 ~ 그림 6의 (a)는 원 신호를 나타내고, (b)는 JTFA의 선형 가보 변환을 수행한 후 임계치를 적용한 후 신호를 재구성한 것을 나타낸다. 그리고 (c)는 JTFA의 2차 가보 스펙트로그램을 수행한 결과로 임계치를 적용하지 않았으며, (d)는 (c)의 과정을 거친 후 임계치를 적용하여 특정 주파수를 추출한 후 시각화 결과를 나타낸다.

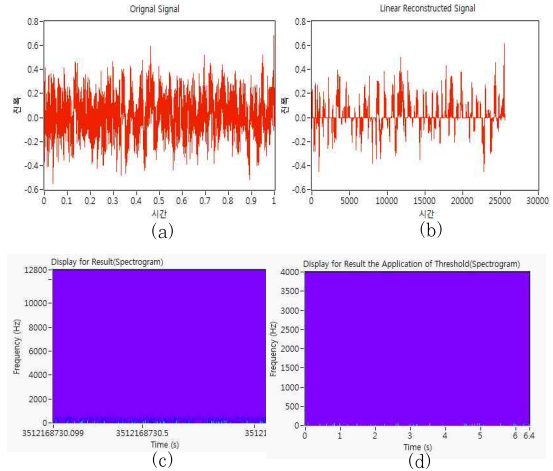


Fig. 3. The actual computer fan noise(Pattern 1)

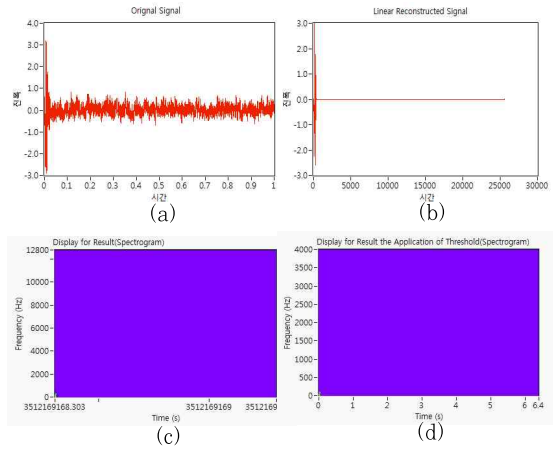


Fig. 4. The actual computer fan noise(Pattern 2)

본 논문에서 제안한 비주얼 머신의 상태 모니터링은 실내 환경에서 실제 머신에서 수집된 소리 데이터(그림 3, 그림 4)와 소리의 시각화에 대한 검증을 위해서 샘플 데이터(그림 5, 그림 6)로 테스트하였다.

그림 3, 그림 4는 실제 컴퓨터에서 측정된 팬 소리로 실시간 모니터링한 결과 두 가지의 패턴으로 인식되었다.

그림 3과 그림 4는 실제 컴퓨터의 팬 소리를 마이크로폰 어레이로부터 측정된 후 그림 3과 그림 4는 실제 컴퓨터의 팬 소리를 마이크로폰 어레이로부터 측정된 후 가보 스펙트로그램(Gabor Spectrogram) 방법을 기반한 2차 JTFA 알고리

Table 1. Analysis of Visualization Methods

Paper	Characteristic	Method of Sound Visualization	Application Area of Visualization	Result Display
Machine Status Measuring (1)		Wavelet Transform	Visualization of Motorcycle Engine Sound	Graph
Visualizing Sound Pressure Distribution (2)		Combination of Microphone Array Processing and Camera Image Processing	Visualization of Sound Pressure Distribution	Image (dB display)
Acoustic Saliency Feature Extraction (3)		Visualized Acoustic Saliency Feature Extraction(STFF, MFCC)	Environment Perception of Unmanned Ground Vehicles and robots	Image
Ultrasonic Field Using LEDs and Piezo-Elements (6)		Configuration of Hydrophone	Ultrasonic Field	LED/Video
PDE-based interpolation Method (7)		Optically Visualized	Sound Field	Image
Real-Time Acoustic Camera Prototype(9)		FPGA-based Prototype	Acoustic Camera	Spectrogram
Proposed Paper		Gabor Spectrogram	Visual Machine Condition Monitoring	Spectrogram

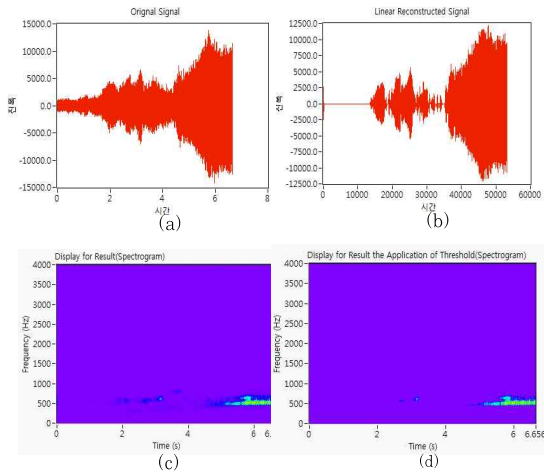


Fig. 5. Computer fan noise(Sample Data)

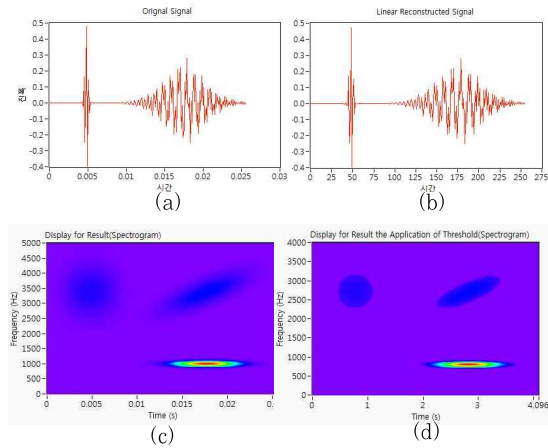


Fig. 6. Three gaussian noise(Sample Data)

음을 사용하여 특정 주파수를 시각화하였다.

그림 5와 그림 6은 샘플 데이터로 실험하였다. 그림 5는 컴퓨터의 팬 소리로 팬에 탁한 소리가 발생했을 때, 그림 6은 3개의 가우시안 노이즈가 발생했을 때의 시각화 결과를 나타낸다.

일반적으로 컴퓨터 팬의 정상적인 소리를 나타내는 그림 3~그림 4와 컴퓨터 팬에 탁한 소리가 발생한 그림 5의 시각화에는 확연한 차이가 나타나는 것을 시각적으로 확인할 수 있다.

따라서 머신에서 발생하는 소리를 분석하고 특징을 추출하여 머신 장비의 각 부품의 상태를 모니터링할 수 있었다.

### V. Conclusion

본 논문은 비주얼 머신 상태 모니터링(VMCM)을 해결하기 위해서 가보 스펙트로그램에 기반한 2차 JTFA 알고리즘을 사용하여 머신에서 발생하는 소리를 분석하고 특징을 추출하여 머신 장비의 각 부품의 상태를 시간의 변화에 따른 주파수 특성을 추출하여 시각화하였다.

실험 결과는 비주얼 머신 상태 모니터링(VMCM)을 위한 시간-주파수 공통 분석 방법이 머신 장비의 전형적인 음의 특징을 추출하여 시각화할 수 있었으며 단기적인 머신의 상태 모니터링뿐만 아니라 장기적인 모니터링에서 소리의 시각화에 모두 강인함을 보여주었다.

따라서 실제 공장의 환경에서 머신의 상태를 실시간으로 모니터링하여 소리 정보에서 발생하는 소리를 분석하고 특징을 추출하여 머신 장비의 각 부품의 상태를 구별하는데 적용 가능함을 보여준다.

### REFERENCES

[1] Seiichi Shin, "Human Machine Communication via Sound with Wavelet Transformation,"



- Systems, Man and Cybernetics, 2005 IEEE International Conference on., Vol. 2, pp. 1984-1988, Oct. 2005.
- [2] Goseki M., Ding M., Takemura H., Mizoguchi H., "Combination of Microphone Array Processing and Camera Image Processing for Visualizing Sound Pressure Distribution," Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference on., pp. 139-143, Oct. 2011.
- [3] Jingyu Wang, Ke Zhang, Madani, K., Sabourin, C., "A Visualized Acoustic Saliency Feature Extraction Method for Environment Sound Signal Processing," TENCON 2013 - 2013 IEEE Region 10 Conference, pp. 1-4, Oct. 2013.
- [4] Ervin L., Marcel B., Monika B., Zuzana F., "Application of modern technical tools for sound visualization in the teaching process," ICETA 2012 · 10th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, pp. 247-251, Nov. 2012.
- [5] Adiloglu K., Anniés R., Wahlen E., Purwins H., Obermayer K., "A Graphical Representation and Dissimilarity Measure for Basic Everyday Sound Events," Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on. Vol. 20, No.5, pp. 1542-1552, Jan. 2012.
- [6] Nakamura K., Sugimoto T., "A Visualization Tool for High Intensity Focused Ultrasonic Field Using LEDs and Piezo-Elements," Ultrasonics Symposium, IEEE, pp. 733-736, Oct. 2007.
- [7] Yatabe K., Oikawa Y., "PDE-based interpolation method for optically visualized sound field," Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2014 IEEE International Conference on., pp. 4738-4742, May 2014.
- [8] Francesco Martellotta, "On the use of microphone arrays to visualize spatial sound field information," Applied Acoustics, Vol. 74, No. 8, pp. 987-1000, August 2013.
- [9] Zimmermann B., Studer C., "FPGA-based Real-Time Acoustic Camera Prototype," Circuits and Systems (ISCAS), Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on., pp. 1419-1422, June 2010.
- [10] Shin Hur, Hongsoo Choi, Joonsik Park and Tang-Han Kim, "Recent Trends in MEMS Microphone and Application for Hearing Aid System," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 11, pp. 20-28, Nov. 2009.
- [11] Zhuang Li and Malcolm J. Crocker, "A Study of Joint Time-Frequency Analysis-Based Modal Analysis," IEEE Transactions on., Vol. 55, No. 6, pp. 2335-2342, Dec. 2006.

## Authors



Jung-Hee Seo received a B.S. degree in Computer Science from Silla University in 1994, M.S. degree in Computer Science and Statistics from Kyungsoong University in 1997,

and Ph.D. degree in Electronic Commerce System from Pukyong National University in 2006. She has been an assistant professor with the Department of Computer Engineering, Tongmyong University, since 2000. Her research interests include Remote Education, Multimedia, Image Processing, Information Protection, Mobile Application.



Hung-Bog Park received B.S and M.S. degree in Computer Engineering from Kyung-pook National University in 1982 and 1984. Ph.D. degree in Computer Science from Inha University in 1995.

Since 1996, he has been a professor with the Department of Computer Engineering, Pukyong National University.

His research interests include Multimedia Application, Remote Education, Compiler, Mobile System.