

## 고래 사운드 재생 시스템 구현

정의필\*, 전서윤, 홍정필  
울산대학교 IT융합학부

### System Realization of Whale Sound Reconstruction

Ui-Pil Chong\*, Seo-Yun Jeon, Jeong-Pil Hong  
School of IT Convergence, University of Ulsan

**요약** 본 논문에서는 가중치를 고려한 L2-norm 최소화 기법으로 역 MFCC 알고리즘을 이용하여 고래 사운드 재생 시스템을 구현하였다. 고래소리 콘텐츠와 3D 프린팅을 결합하여 제작된 본 연구의 결과물은 고래관광 산업 및 멀티미디어 콘텐츠 산업에 기여를 하게 될 것이다. 먼저 다양한 고래 소리를 재생하는 소프트웨어를 개발하고 개발된 소프트웨어를 3D 프린팅된 고래의 내부에 있는 라즈베리 파이 하드웨어에 업로드한다. 이 시스템을 개발하는데 사용된 프로그래밍 언어는 고래소리분류를 위한 C++, 고래 소리 재생 알고리즘을 위한 MATLAB 및 Python, 고래 모형의 3D 프린팅을 위한 Rhino 6 등이다.

• 주제어 : 고래소리, 소리복원, 고래콘텐츠, 3D 프린팅, 라즈베리파이

**Abstract** We develop the system realization of whale sound reconstruction by inverse MFCC algorithm with the weighted L2-norm minimization techniques. The output products from this research will contribute to the whale tourism and multimedia content industry by combining whale sound contents with the prototype of 3D printing. First of all, we develop the softwares for generating whale sounds and install them into Raspberry Pi hardware and fasten them inside a 3D printed whale. The languages used in the development of this system are the C++ for whale-sounding classification, MATLAB and Python for whale-sounding playback algorithm, and Rhino 6 for 3D printing.

• Key Words : Whale Sounds, Sound Reconstruction, Whale Contents, 3D Printing, Raspberry Pi

Received 24 September 2019, Revised 27 September 2019, Accepted 30 September 2019

\* Corresponding Author Ui-Pil Chong, School of IT Convergence, University of Ulsan, 93 Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan, Korea.  
E-mail: upchong@ulsan.ac.kr

## I. 서론

고래는 해양생물에 적응한 포유동물 가운데 하나로 서 생물학적 특징으로서 현재의 모든 척추동물 가운데 몸이 가장 크며, 지질시대의 어느 공룡보다도 몸이 크다. 고래의 몸은 방추형이며, 지방층과 가슴지느러미가 있고, 목이 짧고 꼬리지느러미가 수평이고 대개 등지느러미가 있다. 고래의 뇌는 인간의 뇌보다 크며 아직 잘 알려지지 않는 대단히 정교한 음향 수송장치를 가지고 있다. 또한 이빨고래는 대양의 수중에서 먹이를 찾을 수 있는 음파 탐지 기능을 가지고 있다[1].

본 연구는 고래의 발생 원인에 충실하면서 고래소리 재생 알고리즘상의 파라미터들을 수정하여 고래가 만들어 내는 다양한 소리들을 재생하여 보고자 한다. 고래가 발생하는 신호는 간헐적, 비선형적, 짧은 지속시간을 갖는 것이 특징으로 신호의 표준 모델링에 어려움이 있으나, 다수의 연구자에 의하여 수중 신호 분석 및 분류에 관한 연구가 국내외에 꾸준히 진행되어 왔다[2-8]. 고래 관광 산업의 활성화를 위하여 지속 가능한 고래 관광의 생태적 특성을 최대한 고려한 하드웨어와 소프트웨어의 조화된 상품 개발이 선행되어야 하고 해양과 육지를 연계한 울산지역의 고래 관광 개발 전략이 필요하다[9]. 울산광역시에는 남구 장생포에 조성된 고래문화특구와 울주군에 위치한 반구대 암각화가 있는 국내 유일의 고래관광 및 고래 역사 도시의 요소들을 잘 갖추고 있다. 이러한 관점에서 고래 소리 재생 시스템을 3D 프린팅과 융합하고 제작하여 울산지역의 고래관광 및 콘텐츠 산업에 기여를 하고자 한다. 연구 대상으로 삼은 고래류는 과거 한반도 주변에서 서식하였던 대형 고래들, 특히, 대왕고래/밍크고래/귀신고래/범고래/흑등고래 등 5종류이다.

본 시스템 개발에 사용된 언어는 고래소리 분류에 사용된 C++, 고래소리 재생 알고리즘에 사용된 매트랩(MATLAB), 고래하드웨어에 내부에 탑재된 파이썬(Python) 및 3D프린팅에 사용된 라이노(Rhino) 6 등이다.

## II. 관련 연구

[3]에서는 Sinusoidal model을 기반으로 MFCC에서 소리의 파형을 재생하는 기법을 제안하였고, [4]는 시간에 따른 복잡한 소음이 섞여있는 흑등고래의 소래를 자동으로 감지하는 방법을 제안하였다. [5]에서는

L1-norm 최소화를 이용하여 MFCC로 소리를 재생하는 방법을 제안하였다.

[6]은 수중 신호의 특성들을 분석하고 분류하는 연구로서 수중 신호를 프레임별로 작게 분할하여 분석하고 신호들의 특징점을 DB화하여 고래소리를 분류하는 방법을 제안하였다. [7]은 수중에서 측정된 고래 신호로부터 개발된 알고리즘에 의해 분석되며 그 결과를 데이터베이스에 저장하고, 데이터베이스에 저장된 MFCC 계수를 선택하여 가중치를 고려한 L2-norm 최소화 기법을 통해 고래 소리를 재생하였다.

[8]은 3D 프린팅 기술을 활용하여 울산 해역에 서식하였던 고래들의 사진 자료를 참고하여 Rhinoceros라는 소프트웨어 툴을 PC에서 사용하여 모델링하고, FDM방식으로 출력한 후 모델링이 잘 된 완성품을 골라 CJP방식으로 출력하였다

## III. MFCC와 재생 알고리즘

### 3.1 라즈베리파이 탑재 임베디드시스템

고래소리재생을 위한 알고리즘을 탑재하기 위하여 라즈베리파이 제로W를 선택하여 사용자가 원하는 고래 소리를 재생하는 파이썬코딩을 한 후 고래 내부의 하드웨어에 탑재하였다. 다양한 고래 소리는 MFCC 역변환을 이용하여 MATLAB 코딩으로된 알고리즘을 통하여 다양한 소리를 재생할 수 있도록 DB에 저장하였다. 임베디드시스템은 라즈베리파이에 스피커와 배터리를 연결하고 내장메모리에 소프트웨어를 탑재하여 패키지 형태로 만들어 3D 프린팅 하드웨어 내부에 고정하도록 설계하였다. 이렇게 완성된 하드웨어는 PC와 블루투스 통신으로 원하는 고래소리를 재생시킬 있도록 설계되었다.

### 3.2 3D 프린팅 고래 디자인

고래의 외형 디자인은 그림 1과 같으며 라이노 소프트웨어를 이용하여 고래를 3D 모델링한 후 3D 프린팅으로 출력을 하였다. 내부에는 라즈베리파이, 스피커 및 배터리 하드웨어를 넣을 수 있도록 빈 공간을 확보하고 프로토타입으로 귀신고래를 선정하여 귀신고래의 특징이 잘 표현되도록 주둥이, 머리, 등, 꼬리 등을 모델링하였다. 하부에는 출력된 고래를 고정하도록 별도의 케이스를 3D 모델링하여 출력하고 그 위에 제작된 고래를 부착하였다. 내부의 빈 공간에 개발한 임베디

드 시스템을 탑재하고 블루투스로 사용자와 통신 하도록 설계하였다.



Fig. 1. Whale 3D Printing Output

### 3.3 소프트웨어 구성도

PC에서 파이썬 코딩은 사용자에게 GUI 제공, 인공지능 경향을 이용한 음성분류, 입력된 소리를 필터를 통과시켜 노이즈를 감소, 블루투스 소켓을 통해 음성분류 값을 전송하는 등의 기능을 하도록 설계하였다. 라즈베리파이에서는 PC의 GUI프로그램으로부터 중요신호를 받을 때까지 무한 루프를 하게 되며, 블루투스 소켓으로 받은 음성분류 결과 값에 맞는 고래 소리를 재생하게 된다. PC에 탑재된 MATLAB 소프트웨어는 5가지 종류의 고래 소리를 L2-norm의 최소화와 MFCC 역변환을 통하여 다양한 고래 소리를 재생하게 된다. 여기서 L2-norm의 가중치 변경에 따라 고래 소리를 생성한 후에 PC와 라즈베리파이에 저장한다. 그림 2는 이러한 전체적인 시스템의 소프트웨어 구성도를 나타낸다.

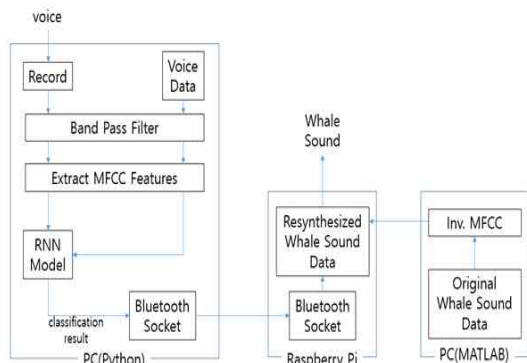


Fig. 2. Software Design for Whale Sound Reconstruction

### 3.4 사용자 인터페이스(GUI) 설계

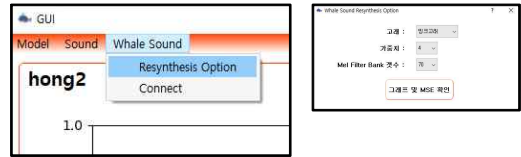


Fig. 3. GUI for Whale Sound System

그림 3은 사용자 인터페이스를 나타내는데 사용자가 먼저 희망하는 대상 고래, 가중치, 멜필터 बैं크 개수를 입력한 후 그 출력을 그래프 및 MSE로 확인할 수 있다. 그림 4는 입력된 고래의 선택에 따라 해당고래의 원음과 재생된 고래의 소리를 시간 및 주파수로 각각 나타낸다.

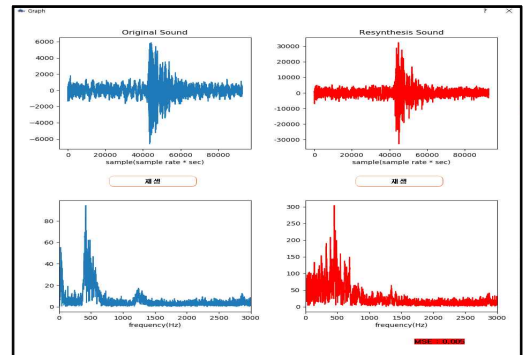


Fig. 4. Original/Reconstructed for Whale Sound

## IV. 실험 결과

시스템 구현을 위한 소프트웨어의 개발은 고래소리 재생 알고리즘은 MATLAB 코딩, 음성인식과 고래 내부에 탑재되는 라즈베리 구동은 파이썬코딩, 고래 3D 프린팅은 라이노 6를 사용하였고 하드웨어 연결은 다음과 같다.

### 4.1 고래모형 내 라즈베리파이 연결

그림 5는 실험에 사용된 라즈베리파이, 스피커, SD 메모리, 배터리와의 연결을 표시하고, 3D 프린팅된 고래 모형 내부에 고정되며, 외부 PC와 블루투스로 통신하게 된다.

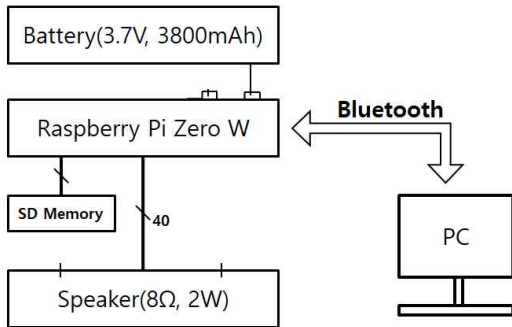


Fig. 5. Connections with Raspberry Pi W

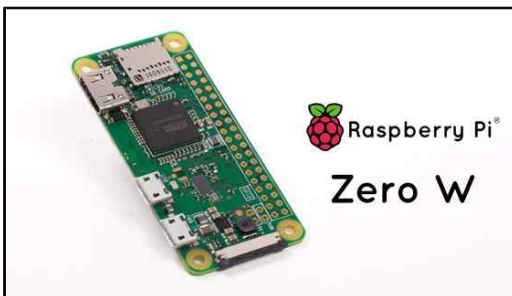


Fig. 6. The Model of Raspberry Pi Zero W

그림 6은 실험에 사용된 라즈베리파이로서 Raspberry Pi Zero W이며, 사용된 OS는 윈도우 10기반의 Raspbian Lite CLI OS이다. 사양으로는 1GHz 프로세서, 512MB RAM, 마이크로 USB2.0, 단일 USB 커넥션, 카메라포트, 마이크로 SD 슬롯, 그리고 와이파이 및 블루투스를 지원하는 초소형 컴퓨터라고 할 수 있다.

#### 4.2 완성된 고래소리 재생 시스템

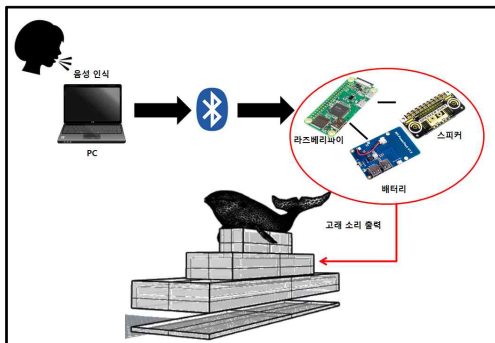


Fig. 7. Realized Whole Hardware System

그림 7은 제작된 하드웨어 시스템으로서, 간략히 설명하면 다음과 같다. 사용자 발성으로 듣고 싶은 고래 이름을 PC앞에서 이야기한다. PC에서는 신경망 소프트웨어로 이를 인식하고 필요 정보를 3D 프린팅에 탑재된 임베디드 시스템에 블루투스로 통신한다. 라즈베리파이는 3D 프린팅된 고래 하드웨어 내부 공간에 내장된 파이션 소프트웨어에 의해 해당 고래 소리를 출력하여 스피커를 통하여 고래소리를 낸다.

#### 4.3 GUI를 통한 실제 고래소리 재생 및 MFCC 계수

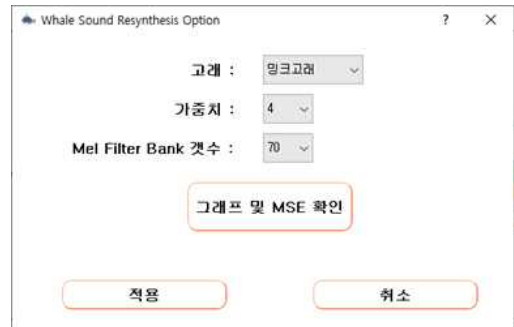


Fig. 8. Selection on GUI for Necessary Whale Sound

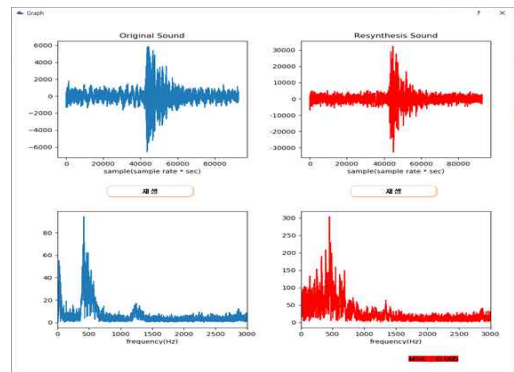


Fig. 9. Comparison for Selected Whale Sounds

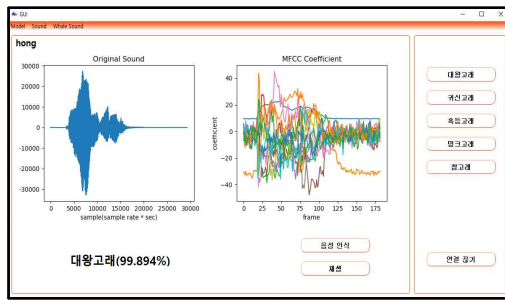


Fig. 10. Sound Recognition and MFCC Coeff. for Blue Whale

그림 8은 사용자가 원하는 고래 소리를 지정하는 GUI로서 고래의 명칭, 가중치, 필터 뱅크 수를 선택하게 된다. 여기서는 밍크고래, 가중치 4, 필터뱅크 수는 70으로 세팅하였다. 그림 9는 선택된 고래가 라즈베리파이 내에서 프로세서를 거쳐서 해당고래 소리의 원음과 재생 및 합성된 소리를 시간 및 주파수 축 상에 그래프로 보여주고 있다. 그림 10에서 사용자가 원하는 고래이름을 부를 때의 음성인식율의 예를 보이고 그때의 MFCC계수를 그래프로 나타내었다.

## V. 결론 및 향후연구

본 연구의 결과물은 고래 탐지, 고래 관광 산업, 고래 게임 개발, 고래 음악 콘텐츠 등 다양한 고래 관련 분야에 적용될 수 있다. 제작된 결과물이 상품화하기까지는 더 많은 다양한 고래 소리가 수집되어야 한다. 또한, 3D프린팅으로 만든 고래모형에 내장된 라즈베리파이 칩을 제어하는 애플리케이션을 제작함으로써 사용자가 원하는 다양한 종류의 고래 소리를 출력할 수 있다. 본 연구의 한계점으로는 라즈베리파이와 스피커 연결 시 전압의 크기가 작아 양질의 소리 출력이 어려웠으며, 3D 프린팅으로 제작할 수 있는 고래의 크기 제한 등을 들 수 있다.

## ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 한국연구재단 2019 이공분야기초연구사업 [과제번호 : 2017R1D1A3B05030815]의 지원을 받아 수행되었음.

## REFERENCES

- [1] Soon-Keun Chang, "Classification and Evolution of the Cetacea", Journal of Korean Earth Science Society, Vol. 18, No. 4, Pp. 339-345, 1997.
- [2] Laxmi Narayana M, Sunil Kumar Kopparapu "Choice of Mel Filter Bank in Computing MFCC of a Resampled Speech", ? , 2014.
- [3] T.G. Lim, K.S. Bae, C.S. Hwang, H.U. Lee, "Classification of Underwater Transient Signals using MFCC Feature Vector", J. of Korea Communication Association, Vol. 32, No. 8, pp. 675-679, 2007.
- [4] J.G. Jung, J.H. Park, D.W. Kim, C.S. Hwang, "Feature Extraction and Classification of Underwater Transient Signal using MFCC and Wavelet Packet Based on Entropy", The Proceeding of Korea Univ.-Industry Tech Association, Pp 781-784, Spring of 2009.
- [5] Gang Min, Xiongwei Zhang, Jibin Yang, Xia Zou, "Speech Reconstruction from Mel-frequency Cepstral Coefficients via L1-norm Minimization", MMSP'15, Oct. 2015, Xiamen, China.
- [6] U., Chong, U., Ahn, U., Lee, N., Lee, "Classification of Whale Sounds using LPC and Neural Networks", KIPS Conference 2017, Nuri-Ara Convention Hall, Pusan, Korea.
- [7] U. Chong, S., Jeon, S., Cho, J., Hong, "Whale Sound Reconstruction using MFCC and L2-norm Minimization", KICSP Fall Conference 2018, Hanbat Univ., Korea.
- [8] U., Chong, B., Kim, "Whale Contents using 3D Printing Technology", J., of The Whale Culture Association of Korea, Vol. 5, No. 1, pp. 19-23, 2016.
- [9] W. Byun, T. Lee, H. Han, "The responsiveness and Evaluation of Recognition Degree for Commodity Development of Whale Watching Tourism", Journal of Tourism Science, Vol. 33, No 1, Pp 203-224, Feb. 2009.

---

## 저자 소개

---

### 정 의 필 (Ui-Pil Chong)



1978년 2월: 울산대학교

전기공학과 (공학사)

1980년 2월: 고려대학교

전기공학과 (공학석사)

1985년 8월: 오레곤주립대학교

전기및컴퓨터공학과(공학석사)

1997년 8월: 뉴욕대학교

전기공학과(공학박사)

1997년 3월~2017년2월 : 울산대학교 IT융합학부 교수

2017년4월 ~ 현재 : 울산대학교 IT융합학부 연구교수 및

산업대학원 글로벌스마트IT 책임교수

관심분야 : Signal Processing, Drones, Whale Contents

### 전 서 윤 (Seo-Yun Jeon)



2014년 3월~현재 : 울산대학교

IT융합학부 학사과정

관심분야 : 신호처리, 인공지능경망

### 홍 정 필 (Jeong-Pil Hong)



2014년 3월~현재 : 울산대학교

IT융합학부 학사과정

관심분야 : 신호처리, 인공지능경망