

표적 식별을 위한 수중 음향 분석 시스템 설계 및 구현

이택준*, 류근호*

*충북대학교 데이터베이스 연구실

e-mail : {tjyi, khryu@dblabb.chungbuk.ac.kr}

Design and Implementation of Underwater Sound Analysis System for Target Identification

TaekJoon Yi*, KeunHo Ryu*

*Database Laboratory, Chung-Buk National University

요 약

수중 표적을 식별하기 위해서는 표적이 방사하는 소음의 특징을 미리 알고 있어야 한다. 소음의 특징은 스펙트럼상의 상이한 주파수나 특징적 패턴을 형성하는데 수중에서 표적을 구별하는 주요 성분이다. 이 논문에서는 이런 표적의 고유 식별 정보를 모델링하고 구축하는 수중 음향 분석 시스템을 설계, 구현하였다. 이로써 표적관련 음파 특징 정보를 수치화하고 체계적으로 구축해 정밀분석의 토대를 마련하였다.

1. 서론

수중환경에서 음파를 분석하고자 하는 욕구는 해양 정보 기술의 발달과 더불어 증가되어 왔다. 빛과 더불어 음파도 수중환경에서 각종 물질에 의해 흡수되거나 산란된다. 이때 주파수가 높은 음파는 파장이 짧기 때문에 주파수가 낮은 음파보다 쉽게 바닷물에 흡수된다. 파장이 긴 저주파수대의 음파는 쉽게 흡수되지 않고 먼 곳까지 전달되어 수중통신에 사용된다. 또한 짧은 파장의 음파는 해수면, 해저면, 공기방울, 부유물질, 생물체, 선박, 잠수함 등에 의해 쉽게 산란돼 반사가 되며 이 성질을 이용함으로써 음파탐지기의 발전을 가져왔다. 수온과 염분 그리고 수압이 증가함에 따라 음파 전파속도도 증가하며 평균 1500m/s 를 나타내어 공기 중의 330m/s 보다 약 5 배 빠른 속도를 나타낸다. 이런 음파는 지구온난화에 따른 해수 온도상승의 측정과 해류의 현상과약을 위한 토모그래피와 해수표면 파랑의 토모그래피 실험 그리고 군사적 목적의 표적 탐지에 활용되고 있다. 특히 군사적 목적의 표적을 탐지하고 분석하는 것은 전술적인 측면에서 매우 중요한 요소로 작용하게 된다.

음향 감지기관을 가진 해양생물들은 먹이와 포식자

를 탐지하는데 음파를 사용한다. 먹이가 방사하는 음파를 분석하거나 먹이에 음파를 방사하여 반사파가 돌아오면 경험적으로 축적한 음향 데이터를 이용하여 판별한다. 군사적 목적의 수중표적 탐지 시스템도 해양생물과 비슷한 원리로 표적을 구별한다. 수중 표적에 대한 분석을 명확히 하기 위해서는 표적이 방사한 음향특성을 정보화하여 축적해 놓아야 한다. 이 정보는 그 표적을 구별하는 판단 기준이 되며 보다 정밀한 분석을 위한 기초자료가 된다.

수중소음은 기계를 움직이는 과정에서 발생하는 피할 수 없는 부산물이다. 작동하는 힘은 항상 조금은 불안정하고 진동이 발생하며 이러한 진동은 기계의 표면에 전달되어 소리처럼 방사된다. 마찬가지로 물체가 유체속을 움직일 때 난류 유동이 형성된다. 이러한 난류 유동들은 결국 열로 변하면서 소멸되지만 또한 미소한 양의 소리를 방사한다. 단지 진공에서만 소리의 발생 없이 유용한 일을 할 수 있다. 건조 기술의 발달과 스텔스화(Acoustic Stealth) 그리고 정숙 항해(Silencing)로 인해 표적의 소음준위는 점점 낮아지고 있는 추세다. 따라서 소음 발생요인이 복잡한 해양환경에서 수신된 음향 데이터로 표적을 분석

하여 식별하는 것은 매우 어려운 작업이다. 지문인식이나 홍채 인식과 달리 식별할 수 있는 정보의 대부분이 손실되며 감쇄된다. 표적과의 거리를 줄임으로써 소음의 명확성을 높일 수도 있지만 반대로 표적이 될 수 있는 단점을 안고있다. 이와 같은 표적 식별의 어려운 점을 해결하기 위해 이 논문에서는 수중환경에서 저주파를 이용한 원거리 표적 분석에 필요한 표적 방사소음 특징을 구축하는 시스템을 소개한다.

이를 위해 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2 장에서는 이 논문의 기본이 되는 수중음향과 소나 시스템을 살펴본다. 다음으로 3 장에서는 수중 방사소음의 종류를 분류하고 4 장에서는 수중 음향 분석 시스템을 소개한다. 그리고 5 장에서는 시스템 구현에 대해 기술하고 6 장에서 결론으로 마무리 한다.

2. 관련연구

2.1. 수중음향

전파의 발사로 지상의 물체에서 반사되는 반사파를 이용하여 목표물의 존재와 그 거리를 탐지하는 장치가 레이더(RADAR, Radio Detecting And Ranging)이다. 수중에서는 전자기파의 감쇠가 크기 때문에 소나(SONAR, SOund Navigation Ranging)가 레이더를 대신한다.

해수중에서 전자기파의 감쇠계수는 다음 식으로 표현된다.

$$a_E = 3.45 \times 10^{-2} \sqrt{f}$$

여기에서 a_E 는 전자기파의 감쇠계수(dB/m)이고 f 는 주파수(Hz)이다. 반면 해수중 음파의 경우에 감쇠계수는 5~40 kHz 에 대해서 다음과 같은 수식으로 표현될 수 있다.

$$a_A = 10.3 \times 10^{-3} f^2$$

여기에서 a_A 는 음파의 감쇠계수(dB/km)이고 f 는 주파수(kHz)이다. 예를 들어 전자기파중 상대적으로 감쇠가 적은 초저주파 영역의 10 kHz 의 전자기파는 3.45 dB/m 의 감쇠를 받아 10m 진행하는 동안 평면 전자기파의 세기(Intensity)는 약 1/2800 로 약해지는 반면 해수중에서의 10kHz 음파는 1km 진행되는 동안에도 1.03 db 만이 감소하여 음파의 세기는 약 79/100 만큼의 감소만이 일어난다[1]. 따라서 해수중에서는 전자기파에 비해 상대적으로 낮은 전달손실로 인하여 음파가 탐지와 통신에 이용되는 것이다[2].

2.2. 소나(SONAR) 시스템

수중음향을 이용한 소나체계는 방법에 따라 그림 1 과 같이 수동소나와 능동소나로 나눌수 있다[2]. 수동소나는 음파를 송신하지 않고 수신만으로 해양환경이나 표적에 대한 정보를 얻는 소나 시스템을 의미한다. 반면 능동소나는 먼저 음파를 송신하여 표적이거나 해양환경에서 산란 또는 반사되어 들어오는 신호를

이용하는 방식이다. 지상에서는 박쥐나 수중에서 돌고래가 표적에 대한 정보를 얻기 위하여 음파를 송신하고 수신하는 것이 능동소나의 대표적인 경우이다 [3].

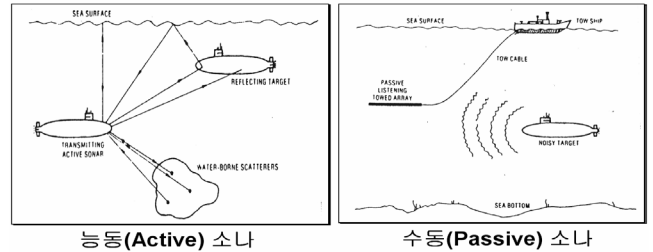


그림 1. 소나 시스템의 종류

3. 방사소음의 분류

수중 방사소음은 수동소나가 탐지대상으로 하는 수중 음향 표적이라 할 수 있다. 따라서 수동소나 운용자는 표적탐지 수행 이전에 다양한 표적들에 대한 방사소음을 측정, 분석하여 개별 표적 고유의 음향 특징을 수집함으로써 실전상황에서 미지 표적이 탐지되는 경우 이들 자료를 식별의 기초자료로 활용한다.

수중 표적의 방사소음은 그림 2 와 같이 크게 프로펠러가 회전하면서 내는 추진소음(Propeller Noise), 함내에 설치된 각종 장비와 기계류에서 나는 기계류 소음(Machinery Noise), 해수를 가르고 항해할 때 나는 유체소음(Flow Noise), 그리고 승조원에 의해 발생하는 순간 소음(Transient Noise) 등이 있다 [4,5,6,7].

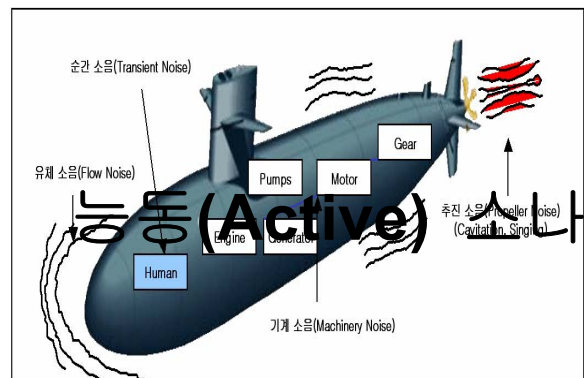


그림 2. 소음 발생원

4. 수중 음향 분석 시스템

4.1. 음향 신호처리

음원에서 발생하는 소음의 특징을 추출하기 위해서는 소나 배열로부터 수중음향 데이터를 수신받아 전기적인 신호로 변환하여 음원의 거리, 방위 등 요구되는 목적에 맞게 신호처리를 해야한다. 이를 위해서 소나 센서 어레이 형태 추정기법, 빔형성기법, 소음 제거기법, 보간기법, 데이터 결합기법 및 추적기법 등이 사용된다. 신호처리된 데이터는 운용자가 인식

할 수 있는 형태로 다양하게 전시되며 음향적 특징을 내포한다.

센서부로부터 음향신호 및 비 음향신호를 수신하여 빔 형성 후 해당 빔에 대한 광대역, 협대역 신호를 산출하여 음원에 대한 탐지, 추적정보를 전시부로 송신하며 음원의 거리를 산출하기 위해 초점 빔 형성을 수행하여 거리별 주파수 분석데이터와 정밀 분석데이터를 제공한다. 또한 신호 전처리단으로부터 입력되는 아날로그 신호를 전기신호로 변환한 후 FFT(Fast Fourier Transform)에 의해 1-time frame 에 대한 스펙트럼을 산출 이와 같은 작업을 반복하여 스펙트럼을 밝기와 컬러로 변환하고 시간에 대한 누적을 데이터로 구성한다. 전시부에서는 제공받은 데이터를 그림 3 과 같이 전시하며 음향 특징을 추출하기 위한 준비를 하게된다.

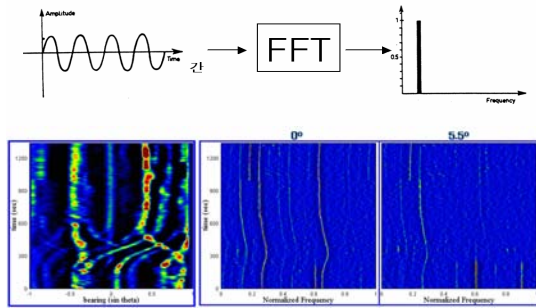


그림 3. 음향 데이터 변환 과정 및 전시

전시단에서 음원의 방향과 진폭별 음향의 세기가 전시되어 많은 토널이 나타난다. 이런 토널(Tonal)들은 소음원의 특징을 나타내는 징표로 추출 대상이 된다. 그림 3 에서 아래 좌측 그림은 음원의 방향을 나타내며 오른쪽 그림은 진폭별 음향의 세기를 나열한 그림이다. 음향 데이터의 전시는 저주파 대역의 탐지, 캐비테이션 소음을 포함한 추진형태의 추정, 복잡한 축계(multi-blade)에서 발생하는 저소음 탐지등 다양한 형태를 가지게 된다. 전시된 그림은 다양한 커서를 이용한 음향신호 수치화에 사용된다.

4.2. 음향 분석 시스템 구조

복잡한 해양 환경에서 수신된 음파를 이용하여 음향의 특징을 파악하기 위해서는 음향 데이터의 처리와 함께 전시된 그림으로부터 특징적인 형태를 파악해야 한다. 신호처리 과정의 선 스펙트럼을 이용하여 명암과 색으로 구분되는 토널성분을 전시하고 소음원에서 발생한 특징과 그렇지 않은 특징을 구분하여 처리하고 이 토널 성분은 수치화된 값으로 데이터베이스에 저장된다. 전시된 그림 또한 차후 분석을 위해 특징이 추출된 부분을 데이터베이스에 저장 한다. 그리고 저장된 데이터는 운용자가 손쉽게 검색할 수 있다.

신호처리된 음향 데이터는 전시부에서 그림형태로 보여지고 음향 특징을 분석하게 된다. 그림의 형태는 다양하게 전시되며 각 소음원별 음향 특징을 추출하기 위해서는 소음 발생원을 분류하여 각각의 방사되

는 소음을 구별하여 음향 신호로 받아들여져야 하고 이런 작업이 선행된 후 음원으로부터 방사되는 모든 신호를 함께 전시하며 분석해야 한다.

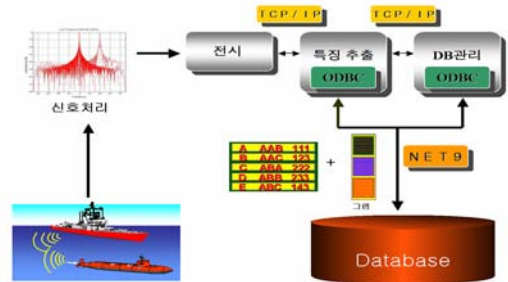


그림 4. 음향 분석 시스템 구조

그림 4 는 수중 음향 분석 시스템의 구조이다. 분석을 위한 시스템은 두개의 하부 시스템으로 구분되는데 하나는 그림을 보고 분석한 수치값을 데이터베이스에 저장하는 음향특징 추출 시스템이며 둘째는 소음의 특징이 어떤 형태로 나타나는지 미리 예측하기 어렵기 때문에 데이터베이스의 스키마를 유동적으로 정의하기 위한 음향정보 관리 시스템이 있다.

■ 음향특징 추출 시스템

전시시스템과는 TCP/IP 를 이용하여 분석용 음향 데이터 파일을 연동한다.

■ 음향정보 관리 시스템

구축된 정보를 종합적으로 전시하고 데이터베이스를 관리한다.

5. 시스템 구현

이 논문에서는 수중에서 방사되는 소음 정보의 특성을 분석하고 구축하는 음향 분석 시스템을 구현하였다. 표 1 은 시스템 구현을 위한 개발 환경과 도구에 대한 제반 사항이다.

표 1. 시스템 구현 환경

| 구분 | 구현환경 |
|--------|---------------------------------|
| 서버 | Windows 2000 Server |
| 클라이언트 | Windows 2000 Professional, ODBC |
| 개발 언어 | Visual C++, Portran |
| DBMS | Oracle 9i |
| CASE 툴 | ERWin 4.0 SP1 |

음향 신호를 수신하기 위해서는 표적의 운행이 필수적이다. 표적의 운행은 고비용을 초래하기 때문에 음향신호의 저장은 원음의 확보라는 차원에서 매우 중요하다. 수동소나 시스템으로부터 수신되는 음향신호는 실시간으로 처리되기 때문에 대용량의 데이터를 처리할 수 있어야 한다. 데이터의 확보와 더불어 재해시 신속한 데이터 복구가 가능해야 한다. 이런 이유로 대용량을 처리할 수 있는 DBMS 와 디스크 미러링이 가능한 운영체제를 선택했다. 추출된 음향 정보를 빠르게 인지할 수 있도록 인터페이스에는 가능

한 많은 데이터를 전시하도록 구현하였다.

음향정보의 분석 전 실험 대상이 되는 표적의 일반적인 정보와 소음 발생원을 미리 입력하고 다른 소음 발생요인을 제거해야 한다. 수신된 방사 소음은 신호처리를 거치면서 시간대별 그래프 파일로 저장되며 동시에 실시간으로 전시된다. 전시 운용자는 전시되는 그래프에서 토널의 일정한 패턴이나 특정 주파수가 생성된 부분을 분리하여 또다른 파일로 저장하며 이 파일은 다시 분석 운용자가 전시하여 음향의 특징을 추출한다.



그림 5. 분석용 음향 데이터 전시

그림 5는 운용자가 분석용 음향 데이터를 전시한 것이다. 그래프를 살펴보면 특정 주파수대에 토널들이 강하게 나타나며 특이한 패턴을 형성하는 것을 보여준다. 이런 패턴은 하모닉을 형성하여 표적의 음향특성을 분명하게 만든다. 표적이 운행중일 경우에는 추진계통은 물론 여러 장비가 동시에 작동되기 때문에 장비별 고유의 기본 주파수 성분과 다수의 조화성분이 나타남으로 인해 많은 토널들이 확인된다. 이런 특성들은 다양한 커서로 추출되며 데이터베이스에 저장된다. 이렇게 추출된 음향의 특징과 추출그래프는 특정 표적의 특정 소음 발생원과 관계를 맺게된다.

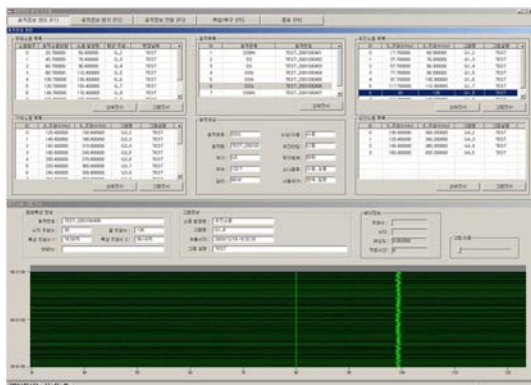


그림 6. 음향 데이터 관리 시스템

그림 6은 특정 표적의 음향특징과 그래프정보가 구축된 모습을 보여준다. 표적목록에서 특정 표적을 선택하면 관련있는 소음원별 특징들이 나열되고 각 특징들은 상세보기와 그래프전시를 할 수 있다. 그래프전시는 적분시간과 주파수를 기준으로 전시된다. 구축된

음향특징 정보는 다른 시스템과 연동할 수 있도록 연동파일로 생성할 수 있으며 백업과 복구가 가능하다.

6. 결론

이 논문에서는 소나 시스템에서 수신한 음향신호를 분석하여 표적의 음향적 특징을 추출하는 시스템을 설계하고 구현하였다. 이를 위해 수중에서 음파를 사용하게된 배경과 수중 물체 탐지에 사용되는 소나 시스템을 살펴보았다. 또한 표적의 소음발생 요인을 분류하여 세분화 시키고 표적정보를 중심으로한 음향정보를 모델링하였다. 신호처리된 음향정보 중 특징이 내포되어 있는 부분을 분리하여 분석용 음향특징 파일을 만듦으로써 분석시간을 단축시켰다. 이 파일은 다시 분석용 전시화면에서 전시하게 한 후 정밀분석을 통해 소음특징을 추출할 수 있도록 구현하였다. 데이터베이스는 표적정보와 소음원별 음향특성을 기준으로 설계 되었으며 기본적인 인덱싱 기법과 SQL 튜닝 그리고 내장 프로시저(Stored Procedure)를 사용하여 DBMS의 성능을 최적화 했다. 이 시스템을 통해 표적 식별에 필요한 음향정보를 체계적으로 구축하고 정밀분석할 수 있는 방법을 제시하였다.

수중 음향 분석 시스템으로 구축될 음향 데이터는 해양환경과 표적정보의 다변화로 더 많은 개체타입과 속성이 요구될 수 있다. 향후 이 시스템에 데이터베이스 스키마를 보다 더 유동적으로 구성할 수 있게 된다면 복잡해지는 음향특징을 수용할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 변화된 해양환경과 표적에 대한 연구가 선행되어야 한다.

참고문헌

- [1] 김재수, "수중음향학에 대한 소개" 한국소음진동공학회지, 제 8 권, 제 2 호, 1998.
- [2] R.J Urick, Principles of Underwater Sound. New York : MxGraw Hill. 1983.
- [3] L. E Kinsler and A. R Frey, Fundamentals of Acoustics, John Wiley & Sons, Inc., 1982.
- [4] D.Ross. Mechanic of Underwater Noise. Pergamon Press. 1976.
- [5] N. Okamura and T.Asano. 1988. "Prediction of Propeller Cavitation Noise And its Comparison with Full-Scale Measurements", J.S.N.A Japan, Vol. 164
- [6] T.Hoshino, 1993. "Hydrodynamic Analysis of Propellers in Unsteady Flow Using a Surface Panel Method", J.S.N.A Japan, Vol. 174
- [7] 윤종락, "선박방사소음의 측정 및 평가방법", 한국소음진동공학회, 제 8 권 제 2 호, 1998.
- [8] William S. Burdic, Underwater Acoustic System Analysis, Prentice-Hall, Signal Processing Series, Alan V. Oppenheim, Editor. 1984.
- [9] 이화식, "대용량 데이터베이스솔루션 I", 엔코아컨설팅, 1996.
- [10] 이춘식, "데이터베이스 설계와 구축", 한빛미디어, 2002.