

해저상태 패턴인식을 위한 초음파의 디지털 신호분석

김재갑* 조이기** 김원중**

*순천청암대학 컴퓨터정보과학부

**순천대학교 컴퓨터과학과

e-mail:kwj@sunchon.ac.kr

The Signal Analysis of Supersonic Waves for Seabed Pattern Recognition

Jae-Gab Kim* Lee-Gi Cho** Won-Jung Kim**

*Dept. of School of Computer Information Science, Sunchon Cheongam College

**Dept. of Computer Science, Sunchon National University

요 약

해저면의 상태가 빨, 모래, 자갈, 바위, 또는 기타 오물들의 퇴적 상태인지를 판단할 수 있다면 패류 서식지의 발견, 어류 양식장의 관리, 해저 생태계의 관리 등에 크게 도움을 받을 수 있다. 본 논문에서는 현재 대부분의 중소형 선박에도 설치되어 있는 어군 탐지기로부터의 초음파를 디지털 신호로 변환하여 해저 상태에 따른 패턴을 분석한 후, 패턴 데이터베이스에 저장하여, 실시간으로 해저면의 상태를 판별하기 위한 시스템에 대해 연구하였다.

1. 서 론

우리나라 서해안과 남해안은 넓은 대륙붕의 발달과 복잡한 해안 지형에 의해 생성된 만(灣)들이 산재해 있어 어패류의 산란장 및 생육장으로서 중요한 역할을 하고 있다. 특히 충남서산 태안반도, 고흥, 여수, 장흥 등에서 생육하는 키조개는 양식이 아닌 자연상태로 채취하기 때문에 맛이 좋고 영양이 풍부하여 전량 일본으로 수출하여 외화획득에 한 몫을 하고 있다. 현재 수심 20m~30m의 빨 속에 묻혀 있는 키조개를 탐지하기 위해서는 잠수부가 직접 바다 속에 들어가는데, 수압으로 인한 질병, 식인상어의 위험성, 낮은 발견 확률에 따른 시간 및 경제적인 손실 등 많은 어려움을 겪고 있다. 최근에는 무인 카메라를 줄에 매달아 바다 밑을 탐색하기도 하는데, 이를 위해서는 배 위에 출력이 강한 발전시설을 갖추어야 하고 빛의 확장성과 카메라의 굴절 현상 때문에 사용하기가 쉽지 않다. 또한 바다 밑은 조류가 세고, 투명도가 좋지 않아 실용성이 부족하다.

현재 대부분의 중소형 선박에도 설치되어 있는 어군 탐지기는 정보통신부에서 지원하는 대학기초연구지원 사업으로 수행되었음

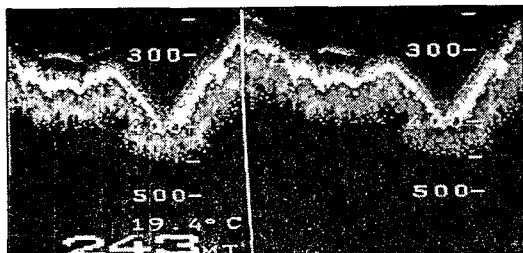
탐지기로부터 송출된 초음파 신호는 해저저질성분의 상태(빨, 모래, 자갈, 모래와 자갈, 빨과 패류 등)에 따라 서로 다른 형태의 반사파를 만들어낸다[4,5]. 그러나 아날로그 신호를 이용하여 생성된 현재의 어군탐지기 화면으로는 이들의 차이를 구별하기가 불가능하다.

본 연구에서는 어군탐지기에 수신된 아날로그 신호를 A/D변환기에서 디지털 신호로 변환하여 데이터를 가공, 분석한 후, 이미 데이터베이스에 저장된 각 해저상태별 신호패턴과 비교하면 해저저질 상태의 판독이 가능함을 보였다. 따라서 해저면 판독시스템이 실용화 되면 잠수부가 직접 바다 속에 들어가지 않고서도 키조개 등의 서식지에 대한 기초자료를 손쉽게 얻을 수 있을 것이다. 또한 짧은 시간에 넓은 해역에 대한 해저저질 판독과 키조개의 분포해역 및 자원량을 파악함으로써 자원관리형 어업의 좋은 모델이 될 뿐만 아니라, 잠수부들의 작업시간 단축으로 인한 인력절감, 생산량의 조절, 어민들의 소득증대에 크게 기여할 수 있을 것이다.

2. 초음파의 디지털 신호패턴 분석

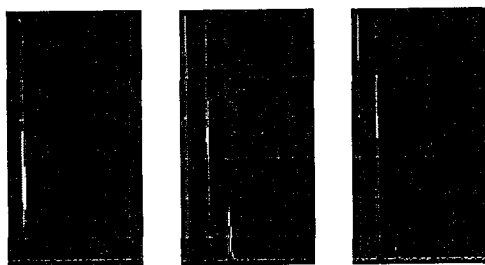
2.1 해저상태별 디지털 신호패턴

현재의 어군 탐지기는 [그림 1]과 같이 초음파신호를 통하여 어군 등 바다 속 물체의 존재유무 및 밀도를 8가지 색상을 사용하여 보여 주지만, 뱀, 모래, 자갈, 패류 서식지 등의 해저면의 상태를 표시하지는 못한다. 따라서 어군탐지기에 표현된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 재분석하는 과정이 필요하다.



[그림 1] 어군탐지기 화면

[그림 2]는 각각 고흥 녹동 지역에서 어군탐지기로 초음파신호를 탐지한 후, A/D 변환기에서 디지털 신호로 변환하여 표현한 뱀, 패류 서식지, 자갈밭의 디지털 신호패턴이다. 이 결과를 통하여 해저상태에 따라 서로 다른 디지털 신호패턴을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 데이터를 분석하면 기존의 어군탐지기로는 식별이 불가능하였던 바다 밑의 상태를 판별하는 것이 가능하다.



(a) 뱀 (b) 패류 (c) 자갈

[그림 2] 해저 상태별 신호패턴

2.2 반복주기와 주파수

초음파신호 파형은 같은 신호위상과 모양이 반복되는 것이 있는데 이런 주기성분을 기본주기라고 한다.

아날로그 신호의 디지털 신호로의 계수 표본화는 나중에 다시 디지털 신호로부터 원래의 아날로그 신호를 복원할 수 있는 정도가 되어야 함을 기본조건으로 한다. 필요한 정보가 손실되는 표본화는 당연히 의미가 없다. 원래신호를 재생할 때, 유한한 신호인 디지털 신호로써 무한의 정보인 아날로그 신호를 완전히 복원하기는 불가능하다. 그렇지만 원래의 아날로그 신호에서

의 반복성만은 반드시 지켜져야 한다.

반복성을 나타내기 위한 가장 최소의 정보는 단순양복신호이다. 즉 한 주기에 두 개의 디지털 신호가 있다면 비록 그 형태는 극히 단순하지만 반복 그 자체는 완전히 표현할 수 있을 것이다.

즉 한정된 구간에서 디지털 신호가 나타낼 수 있는 가장 최저의 주파수는 신호분석 구간의 절반의 길이에 해당하는 주기를 가진 신호이다. 예를 들어 256개의 신호마다 한 구간을 만들어 그 안에서 어떤 반복성을 가지고 있나 살펴보는 것이다. 반복성이란 2회 이상 유사한 상황이 되풀이되는 것을 말하므로 구간내의 최소의 반복횟수는 2이다. 그러므로 128개의 데이터를 주기로 가지는 신호가 256개의 데이터를 한 분석구간으로 삼는 디지털 신호분석에서의 최저 주파수가 되는 것이다.

이에 따라 디지털 신호처리가 나타낼 수 있는

$$\text{최고주파수} = \text{표본화율} / 2$$

$$\text{최저주파수} = \text{표본화율} / (\text{분석구간길이} / 2)$$

의 정리가 성립된다.

이러한 최저주파수에서 최고주파수 사이에 걸쳐 있는 각 주파수의 성분들이 저마다 얼마 만큼씩의 영향력을 전체에 미치고 있는나 하는 것으로 초음파에 따른 해저 상태의 특성이 결정된다[2].

본 논문에서는 초음파 아날로그 신호를 225,000 클럭 펄스로 샘플링한 디지털신호 1,000개의 전압 값에서 기본주기 값인 최저값을 찾아내어 해저 침전물의 상태를 구별할 수 있었다.

2.3 디지털 신호분석

아날로그 신호에서 디지털 신호로 변화되어 표본화(Sampling)된 초음파신호의 일정 구간에서, 반복되는 신호를 면밀히 살펴보면 어느 일정 간격을 둔 부호화 신호끼리는 서로 유사한 위상 값을 가진다는 것을 알 수 있다.

또한 정해진 구간 내에서 반복의 횟수가 많은 반복파형은 그 반복의 정도가 강하게 나타날 수밖에 없고 마찬가지로 반복의 횟수가 적은 반복 파형은 그 정도가 약하게 나타날 수밖에 없다.

이 일정한 간격을 계수화 표본의 개수 단위로 구하면 이것이 바로 표본의 개수로서 나타내어진 기본주기의 값으로서 초음파에 의한 목표물을 결정하는 성분이 된다. 기본 주기의 값이 낮을수록 목표물에 대한 음파의 반사가 많고, 높을수록 흡수의 성분을 가진다.

이런 기본 주기를 구하는 방법에는 자기상관 계수법, 평균차 함수법, 단순화 역여과 추적법, 역 주파수 표 방식 등이 있는데 본 논문에서는 평균차 함수(Average Magnitude Difference Function)법을 참고하

여 기본 주기 값을 구하였다.

자기상관계수법은 계수 신호열에서 표본단위 k만큼 떨어져 있는 신호표본끼리의 유사도를 다음과 같이 나타낸다.

$$R(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)x(n+k)$$

즉 유사도라는 것은 어느 한 시점 n에서 표본 x(n)의 값과 그로부터 k만큼 떨어져 있는 표본의 값을 서로 곱한 것을 모든 n에 대하여 합한 것이다.

수많은 자료에 대한 곱셈의 연속적 반복은 그 계산량을 기하 급수적으로 증가시켜 이론의 실제적 활용에 부담을 주는 것을 알 수 있다. 전산기에서 곱셈 하나는 수많은 덧셈을 한꺼번에 하는 것과 같기 때문에 계산의 효율화를 위해서는 될 수 있는 한 최대한 곱셈을 줄이고 덧셈으로 대체하는 것이 그 효율성을 높일 수 있다. 이런 점에서 자기상관계수와 같은 의미를 가지면서도 많은 곱셈을 덧셈으로 대체할 수 있는 방법이 평균차 함수법인데 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$R(k) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} |x(n+m)-x(n-m-k)|$$

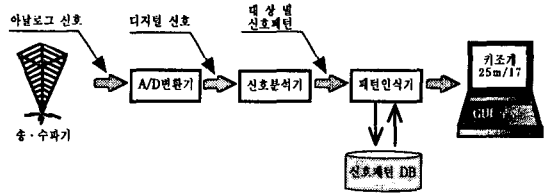
즉, 계수신호표본 x(n)의 주변에서 서로 k만큼 떨어져 있는 두 신호 값의 차들을 구하여 합한 것으로서, 이 값이 작을수록 k만큼 떨어져 있는 두 신호는 서로 유사하다는 의미이다. 따라서 반복주기를 P라 할 때 k=0, P, 2P, 3P,... 등의 위치에서 R(k)는 극소 값을 가진다. 이것은 주기성을 나타내는데 있어 자기상관계수와 대응되나 곱셈 대신 덧셈을 이용하므로 산출이 훨씬 용이한 장점이 있다.

그러나 평균차 함수에 의한 방법은 시간영역으로부터 주파수(또는 전압) 영역으로의 변환이 적은 계산량으로도 가능하지만, 결과 값이 개개의 신호의 위상에 민감하기 때문에 기본 주기의 2배 혹은 3배의 거리에 해당하는 것을 주기로 오검출할 위험이 따른다[2].

본 논문에서는 이런 문제점을 보완하고자 일정구간 1,000개의 데이터를 정렬시킨 후 예상되는 기본주기의 범위에서 평균차 함수 값을 구하고 그들 중의 최대 빈도수값을 찾아 반복주기인 기본 값으로 결정하였다.

3. 해저상태 판별 시스템 구성

어군탐지기로부터의 초음파 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 해저상태를 판별하기 위한 시스템은 [그림 3]과 같이 송·수파기, A/D 변환기, 신호분석기, 패턴인식기, 신호패턴 DB 그리고 사용자 인터페이스(GUI)로 이루어져 있으며, 각 모듈들의 기능은 다음과 같다.



[그림 3] 해저판별 시스템 구조

3.1 초음파 발생기 및 송수파기

초음파 발생기는 송수파기에 전력을 공급하는 부분으로 본 논문 실험에서는 해양전자에서 생산한 어군탐지기 HF142(2주파-50kHz, 200kHz 겸용)를 사용하였으며, 수심이 35m정도이고 전압은 중간, 감도는 최소로 사전에 조절을 하였다.

송수파기는 조류와 바람 등을 고려하여 선박의 측면에 고정하였다. 기존의 송수파기는 선박 밑 부분에 고정되어 있는데 선박의 피칭(앞뒤로 움직인다)과 롤링(좌우로 움직인다)이 있을 때 송수파기가 같이 움직여서 정확한 신호를 획득하기 어려웠다.

이러한 문제는 해저상태를 판별하는데 심각한 영향을 미칠 수 있다. 즉, 초음파가 해저의 목표물에 부딪히지 않을 수도 있고, 부딪혔다할지라도 난반사를 일으킬 수 있는 요인으로 작용하여 획득한 데이터의 정확성에 문제가 발생할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 가능한 문제점을 줄이기 위해서 무거운 송수파기를 줄로 묶어서 배의 흔들림에 의한 영향을 최소화 하였다.

또한 수중에는 눈으로 볼 수 없는 다양한 변화(스쿠류 와류현상, 수온의 경계면 차이, 플랑크톤 군, 해저의 요철, 조류 등)가 존재하고 있기 때문에 밀도에 따른 감도 조절이 문제가 될 수 있다. 이러한 해저 목표물에 잡음을 일으킬 수 있는 요인이 많을 경우는 적절한 감도를 사용하여 초음파 흡수 및 반사파 등의 데이터를 정확히 획득하여야 한다.

3.2 A/D변환기

어군탐지기로부터 수신된 아날로그신호를 디지털신호로 변환하는 기능을 수행하는 부분으로 변환된 값은 측정 기계마다 다르게 나타나지만 대략 0~10V사이이며 평균적으로 5V 전후로 측정이 이루어지고 있다.

샘플링 속도는 A/D변환기에 따라 다르지만 본 논문에서 사용한 장비는 303ks/s로서 수신된 하나의 아날로그 신호를 초당 225,000의 클럭 펄스에서 데이터를 획득하고 있으며, 송·수파기는 50kHz를 사용하였는데 해저 목표물을 탐지하기 위한 A/D 변환기는 적어도 주파수의 4배인 200ks/s를 요구하므로 조건을 충족한다고 할 수 있다. 또한 해저면으로부터 A/D변환 장치

로 입력되는 초음파 신호는 미약하게 수신되기 때문에 증폭단에서 증폭과정을 거쳐야 한다.

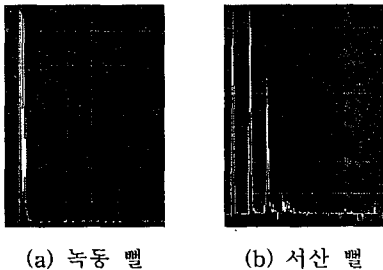
3.3 신호 분석기

Visual HP VEE 및 Java 프로그램으로 개발한 신호 분석기는 디지털 값으로 변환된 전압 값을 해저 목표물의 특징별로 분석하게 되는데, 뿔은 초음파를 흡수하는 특징 때문에 반사파가 거의 없어 일정한 범위 내에서 값이 고르게 나타나고 패류나 모래, 자갈 등은 반사파가 2차, 3차에 걸쳐 다양한 전압 값을 가진다.

일정한 범위란 강한 신호를 나타내는 기본값(Median)과 최대치 값(Max)을 일컫는데, 이 두 값 사이의 범위에 나타나는 값들의 빈도에 의해 해저상태의 판별이 가능하다. 즉, 기본값은 각 해저상태에 따라 가장 빈번하게 나타나는 값으로 완전히 뿔 발인 경우 대부분의 값들이 기본값 부분에 존재하여 최대값과 거의 같게 된다. 그러나 뿔 발에 키조개 등의 패류가 서식하는 경우에는 뿔 발의 반사파 특성을 나타내는 기본값과 키조개 반사파의 특성을 나타내는 최대값 사이에 많은 값들이 존재하게 된다. 신호분석기는 이러한 정보들을 분석하여 패턴인식기에 넘겨준다. 또한 그림에 점선으로 나타난 부분은 신호분석기가 각 지역별, 각 해저상태별 신호패턴을 분석하여 향후 패턴인식기가 패턴의 비교에 사용할 수 있도록 기본정보를 구축하는 것을 나타낸다.

3.4 패턴 인식기

패턴 인식기는 선박 위에서 실시간으로 수집하여 신호분석기에 의해 분석된 데이터 값을 넘겨받아 패턴 DB에 저장된 값과 비교하여 해저 상태를 판별하게 된다. [그림 4]에서 볼 수 있는 것처럼 같은 해저 상태일 지라도 지역에 따라 신호패턴이 다르므로 각 지역 및 해저 종류에 따른 판별 기능을 제공하여야 한다. [그림 4]에서와 같이 동일한 해저상태에 대해 서로 다른 신호패턴이 나오는 것은 각 지역의 수온, 염분 등의 차이에 기인할 것으로 예상된다.



[그림 4] 동일한 해저상태에서 서로 다른 신호패턴

3.5 사용자 인터페이스

일반 어민들도 쉽게 사용할 수 있도록 한글로 화면을 설계하고, 버튼을 사용자가 쉽게 인식할 수 있도록 하며, 향후 터치스크린으로의 전환을 고려하여 제작한다.

또한 신호 분석기에서 분석된 데이터를 실제와 같은 3차원 형상의 이미지로 표현하면 현실감을 높일 수 있을 것이다.

4. 결론 및 활용방안

바다 속에는 여러 지형 형태, 물질, 특수한 변화 등 보이지 않는 것들이 많이 있다.

이들 중 수중에 있는 목표물 식별은 잘 이루어지고 있지만, 해저면을 중심으로 나타나는 현상, 즉 뿔의 상태 구별(부드러운 뿔, 딱딱한 뿔, 굴곡이 많은 뿔 등), 뿔과 모래와 자갈이 섞여있는 상태, 버려진 패류 껍질, 살아 있는 패류 등 많은 종류의 물질이 있어 경사가 완만하면서 뿔이 많은 우리 나라에서는 이들을 식별할 수 있는 연구가 필요하다.

이러한 연구가 이루어지면 충남서산의 서해안 및 고흥, 여수를 비롯한 남해안 일대에서 서식하고 있는 키조개를 잠수부가 바다 속에 들어가지 않고 선박 위에서 키조개의 존재여부를 알아내는 곳에 활용할 수 있으며, 기존의 어군탐지기에서 저질 속의 여러 물체를 구별하지 못한 것을 이 시스템을 통해 정확히 구별할 수 있어서 외국에서만 수입되어 왔던 어군탐지기를 개선된 국산 어군탐지기로 전환하여 활용할 수 있다.

향후 연구과제로는 대형 수조 및 바다 현장에서 여러 가지 환경을 고려한 실험을 통하여 정확한 패턴 데이터베이스를 구축하는 것과 효율적인 패턴 검색 알고리즘을 개발하는 것이다.

참고문헌

- [1] 김장근의 3인, "어군의 음향학적 형태 및 분포특성과 어종식별에 관한 연구", 韓國漁業技術學會誌 34(1), P52-61, 1998.
- [2] 박경범, 음성의 분석 및 합성과 그 응용, 그린, P21-70, 2001.
- [3] 신현옥의 1인, "디지털 원격 어군탐지기의 개발에 관한 연구", 韓國漁業技術學會誌 34(2), P135-138, 1998
- [4] 辛亨鎰의 4인, "魚體의 超音波 散亂特性에 관한 研究", 漁業技術 27(1), P21-29, 1991.
- [5] 李昊在, "어군탐지용 저주파·고출력 음향 변환기의 설계", 韓國漁業技術學會誌 36(1), P1-11, 2000.
- [6] 李昊在, "魚群探知機에 의한 魚群量推定에 관한 基礎的 研究- I", 漁業技術 27(1), P1-12, 1991.
- [7] 李元羽의 3인, "遠隔魚群探知機의 試作 및 그 應用에 관한 研究- I - 시스템 시뮬레이션", 韓國漁業技術學會誌, 30(3), P135-140, 1994.