

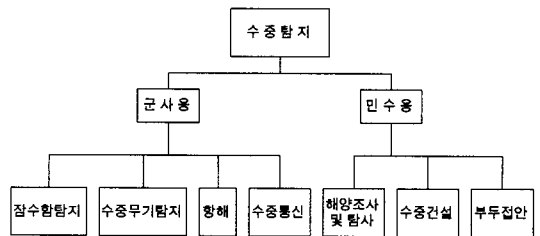
SONAR의 응용 및 기술 동향

盧貞鎭, 柳存夏, 許容碩
國防科學研究所

I. 서론

수중에 존재하는 물체는 빛, 자기, 음향 등의 매체를 통하여 수신된 신호의 특성을 분석하여 방위 및 식별, 영상에 의한 형태정보를 종합할 때 파악이 가능하다. 이와같은 정보획득의 방향은 대상물체에 따라 달라지는데 일반적으로 군사용과 민수용으로 나눌 수 있다. 군사적인 목적은 말할것도 없이 수중에서 은밀히 활동하는 잠수함을 탐지하는 것이며 기뢰, 어뢰, 수영자등과 같은 특수한 표적의 탐지도 중요한 요소가 된다. 군사용의 특징은 표적과의 상대적인 전력으로 평가될 수 있는 탐지거리와 식별에 주안점을 두고 설계된다는 점이다.

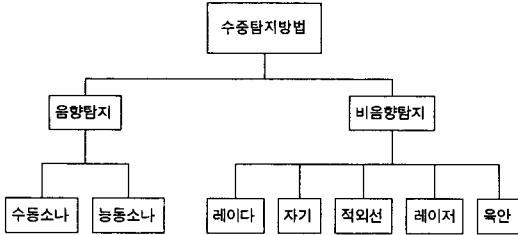
이와 반대로 민수용의 목적은 해저수심에 대한 profile, 해저질 분석, 석유와 같은 해저 자원의 탐사, 해저 케이블 내지는 수중구조물 설치와 같은 건설분야, 대형선박의 부두접안을 위한 속도제어 분야 등이며, 따라서 탐지거리와 같은 추상적인 개념보다는 영상에의한 사실적인 정보의 획득을 목표로 하기 때문에 정확도 내지는 정밀도에 주안점을 둔 시스템이 된다. 이와 같은 목적 및 응용분야를 도식화 하면 그림1과 같다.



〈그림 1〉 수중탐지의 응용분야

수중에 존재하는 물표를 찾아내는 방법은 탐지 수단인 매체가 수중이란 매질에 어떻게 적용될 수 있는느냐에 달려있다. 이런 관점에서 볼 때 수중의 물표를 알아내는 방법은 크게 음향탐지와 비음향탐지로 구분할 수 있다. 음향탐지는 수백KHz이하의 음파를 이용한 것이며 비음향탐지는 빛(백색광), 전파^[1], 자기, 적외선 등을 이용하거나 특수 목적으로 레이저^[2,3] 등을 이용한다. 군사적인

측면에서 볼 때 잠수함 탐지, 식별, 추적 및 위치 확인의 과정을 대잠수함전(ASW; Anti-Submarine Warfare)이라 하며 이를 수행하기 위해서는 그림 2와 같은 탐지방법 모두가 동원된다. 효과도 측면에서 볼 때 잠수함을 원거리에서 탐지해야 한다는 것이 매우 중요하므로 이 목적을 달성하기 위해서는 음파, 전자파, 빛과 같은 모든 탐지매체가 바다라는 매질내에서 잘 전달될 수 있어야 한다. 그러나 현재까지는 압력파인 음파가 가장 멀리 전달되므로 거의 대부분 이를 사용하며 전자파나 빛계열은 전달거리가 극히 짧기 때문에 자기센서와 같이 수백미터 이내의 근거리용으로만 적용된다. 그림에도 불구하고 잠수함기동에 따른 수면상의 웨이크를 레이더에 의해 탐지한다든지 열변화에 따른 생물의 발광상태를 적외선 등으로 탐지한다든지 하는 비음향 센서에 의한 원격탐사기술의 적용은 끊임없이 연구되고 있어 향후에는 이의 활용도가 크게 높아질 지도 모른다^[4]. 그러나 현재는 음향탐지에 의존하고 있다해도 과언이 아닐 정도로 비음향 탐지 분야에 의한 뚜렷한 진전이 없다. 음향탐지 장치를 소나(SONAR; SOund Navigation And Ranging)라 하며 크게 수동형과 능동형으로 구분된다.



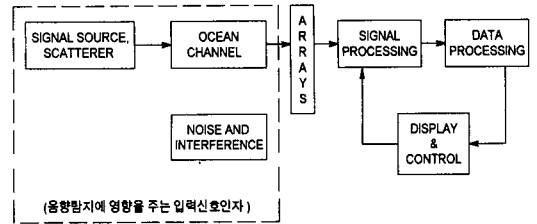
〈그림 2〉 수중표적에 대한 탐지방법

본문에서는 군사용을 중심으로한 기술 동향과 응용 분야를 알아본다.

II. 신호 및 데이터 처리개념^[5]

소나의 신호 및 데이터 처리는 물리적 자료의 적절한 처리를 통해 어떤 결정(decision)을 내리기

위한 정보를 산출하는데 있다. 수중음향 탐지환경에서 신호 및 데이터 처리에 영향을 미치는 주요 인자는 세가지 인데 첫째는 도래신호의 특성, 둘째는 잡음의 형태와 영향 그리고 셋째는 신호와 잡음의 전달 및 상호작용에 영향을 주는 해양환경(여기서는 Ocean Channel)이다.



〈그림 3〉 음향탐지 흐름도

여기서 신호란 음계(sound field)내에 존재하는 것중 어느 순간에 뽑아내어 결정을 내리는데 쓸 수 있는 것을 말하며 추출과정에서 이를 제외한 나머지 모든 것은 잡음 및 간섭으로 처리된다. 음파에 공통적으로 포함되는 음원(source)을 살펴보면

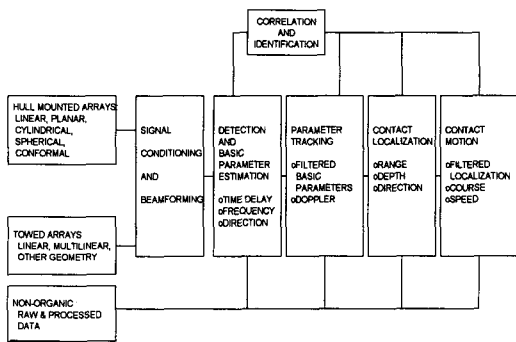
- 수상함이나 잠수함에 탑재된 기계장치를 포함하여 인간에 의해 만들어진 2kHz이하의 소음
- 분자동요(molecular fluctuation)에 의한 30kHz이상의 열잡음
- 새우의 갑작스런 움직임과 같이 수중생물에 의해 발생되는 0.1~100kHz의 소음
- 수Hz의 지진동
- 해상의 결빙 내지는 깨지는 소리로서 수Hz에서 수kHz의 소음

등이다. 다음, 전달매질인 해양의 음파전달 채널은 매우 복잡하고 해석이 어려운 분야이다. 왜냐하면 시, 공간적으로 변하는 음파전달속도, 다중경로, 비균질성, 해저나 수면의 거칠기 등에 의한 변화요인이 너무 많기 때문이며 이로부터 신호 및 데이터 처리도 입력되는 파형, 진폭, 위상 및 주파수에 대한 시변화의 요인들에 의거 많은 영향을 받게된다. 그러므로 장비운용에 대한 유형, 즉 선저고정형(hull mounted type), 예인형(towed type), 부유형(floated type) 등에 따라 이로부터

받는 영향이 달라지게 됨은 자명한 사실이다. 이와 같이 복잡한 요인들이 영향을 주는 환경에 대해서 장비 성능을 결정하는 신호, 잡음, 해양환경 및 프로세서간의 연결관계를 전력손실에만 영향을 받는 신호대 잡음비의 dB관계로 표시하면 식 1과 같으며 이를 소나방정식(SONAR equation)이라 한다^[6].

$$\begin{aligned} & \text{transmission loss} + \text{target strength(if active)} \\ & = \text{noise level} - \text{receiver directivity index} + \\ & \text{receiver detection threshold} \text{「dB」} \end{aligned} \quad (1)$$

식1의 관계로부터 지시된 신호나 영상으로부터 표적의 존재유무를 결정하는 것을 탐지라 하며, 이의 성능을 향상시키기 위해서는 소나 방정식 관계로부터 소음이 낮고 댐핑이 적은 환경에서 사용하며 배열크기를 키우고 탐지문턱을 낮추는 설계가 필요하다. 그러나 이 관계식에서 보여줄 수 없는 것이 접촉시의 식별(contact classification), 확인(identification), 추적(tracking), 위치결정(localization) 및 기동분석(motion analysis) 등의 정보이며 보다 확고한 결정을 위해서는 이 모든 것들이 다 필요하다.

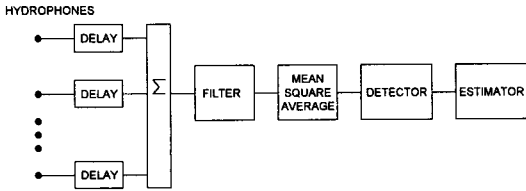


(그림 4) 소나의 일반적인 신호 및 데이터처리 다이어그램

수중음향에 대한 신호처리와 같은 복잡한 문제를 취급함에 있어 필수적으로 수행되어야 할 처리 과정은 공간분해(spatial decomposition), 스펙트럼 분해(spectral decomposition) 및 시점분해(temporal decomposition) 등이다. 공간분해는 방위 정보를 얻기위한 것으로서 빔형성(beamforming)

에 의해 이루어지며, 스펙트럼 분해는 FFT 연산을 통한 주파수 분석을 위한 것이다. 또한 시점분해를 통해서 random 데이터에 대한 stationary process와 평균값을 통한 처리이득을 얻을 수 있다^[7]. 이 모든 것중 공간적인 분해과정이 첫 번째 절차인데 센서배열(sensor array)에 의한 시공간적 처리에 의해 달성된다. 센서배열의 수신단을 기준으로 할 때 하이드로폰은 기하학적인 형태로 배치되어 있다. 이 형태는 판형, 구형, 원통형, 선형 및 선체의 형태에 따라 배열되는 conformal형 등이 있는데 각 형태는 플랫폼의 탑재공간, 가격, 탑재가능성, 공간 및 스펙트럼 분해능 요구등에 의해 결정된다. 이중에 판형배열은 직각방위 즉 broadside방위에 가까운 방위를 관찰할 때 가장 효과적이다. 원통배열은 각방위에 직각인 여러개의 판형배열이 원주상에 모여서 이루어진 것으로 볼 수 있으며 각 방위에 대해 최대효과를 얻게 되므로 결과적으로 전방위에 대해 최대응답을 구할 수 있다. 그러나 소나의 경우 음속이 약 1500m/sec밖에 되지 않아 거리에 따른 정보획득 속도가 매우 느려 360° 스캔을 위해 RADAR와 같이 회전용 페데스탈(Pedestal)을 거의 쓰지않는다는 점이다. 따라서 위상배열에 의거 시간지연이나 위상천이에 의한 빔 조향(beam steering)을 하게되며 공간적인 분해는 각 배열이 주어진 방위의외의 신호를 억제함으로써 가능하다. 즉 주어진 방향에 대해서는 신호를 그대로 받고 다른각도에 대해서는 빔패턴에 의해 감쇄시킴으로서 지향하고 있는 방위의 신호대 잡음비를 최대로 하는 것이 빔형성기이며 모든방위에 대해 다중빔을 동시에 형성하여 공간 샘플링(spatial sampling)에 의거 병렬로 수행하면 전방위를 동시에 스캔하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 시간영역이 아닌 주파수 영역에서는 신호를 도래 방위에 해당하는 만큼 위상을 천이시켜 더하면 된다^[8]. 그림4는 빔형성기, 탐지문턱 처리기, 방위 및 거리 추정기로 구성된 간단한 소나의 블럭도(block diagram)을 표시한 것이다.

다음, 스펙트럼 분해는 주어진 빔으로부터 수신된 시간함수가 주파수에 대해 진폭과 위상으로 표시될 때 일어나는 것이며 FFT의 포인트 수에 의



(그림 5) 공간분해를 위한 블록도

거 주파수 bin의 정밀도가 결정된다. 이와같은 스펙트럼추정의 응용은

- 음향징표(acoustic signature)에 의한 식별 및 source확인
- 도플러 추적(doppler tracking) 및 source의 속도추정

등이며 고전적인 방법이던 현대적인 방법이던 스펙트럼 추정(spectral estimation)이 적용되는 바 고전적인 방법은 periodogram^[9], blackman-tukey, 현대적인 방법은 autoregressive / moving average 기법으로서 ARMA, ML(maximum likelihood), Prony, Pisarenko 등을 들수 있다. 스펙트럼분해의 기본은 fourier transform으로 부터 비롯된다. 유한에너지를 갖는 특정의 연속신호에 대해 fourier transform을 거치면 유한개의 스펙트럼이 얻어 지는 데 이것을 periodogram이라 한다. 그러나 소스로 부터 전해지는 신호는 앞서 언급한 바와 같이 random signal에 가까워 periodogram으로 처리된 결과는 bias와 variance를 갖게 마련이다. 이를 최소화 하기 위해서 고전적인 방법들은 개별 periodogram을 평균하거나 spectral window와의 convolution을 통해 smoothing하는 방법이 적용 되어 왔다. 그러나 평균기법이 적용될 경우 시간영역상 short data window는 spectral window와의 convolution시 일부가 인접 스펙트럼에 먹혀들어 가기 때문에 스펙트럼의 분리도가 떨어 지게 되어 스펙트럼의 분리도와 variance간의 적절한 타협이 불가피하였다. 또한 smoothing을 적용할 경우 periodogram이 저역통과 필터를 거친것과 같이 크기가 급격히 변하는 스펙트럼을 따라가지 못하는 경우가 발생할 수 있으므로 이에 대한 개선이 요구 되었다. 이와 같은 문제를 개선하기 위해서 현대적인 방법에

서는 신호모델을 선택하고 이에대한 오차를 최소화 할수 있는 입력신호를 추정한후 스펙트럼을 추정하는 3단계의 접근방법을 채택한다. 즉 입력 샘플이 zero mean에 σ^2 의 variance를 갖는 백색잡음이라 가정하였을 때 오차가 e_n 인 신호 x_n 은

$$x_n = x_n + e_n$$

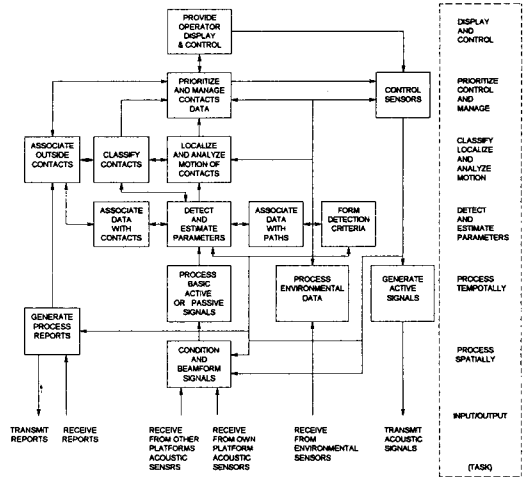
$$x_n = \sum_{i=1}^p a_i x_{n-i} \tag{2}$$

에 의하여 e_n 을 최소화 하는 a_i 를 추정하는 것으로서 대표적인 것이 ARMA 모델이다. 그런데 잡음에 묻혀 있는 신호에 대한 주파수 추정은 주기성 신호에 가까워야 하며 처리 결과는 이의 특성에 좌우된다. 관측에 필요한 긴 시간동안 주파수와 위상이 고정된 동질성(coherence)을 갖는 신호가 가장 바람직 하나 다소 움직이는 platform으로 부터 방사되기 때문에 도플러가 발생하고 기계장치에서 발생된 것이기 때문에 대역이 제한된 신호가 된다. 이와같이 신호의 동질성과 시간적으로 중심 주파수 근처로 형성되는 대역 제한 신호에 대해서 적합한 것이 ML모델이다.

다음, 시점분해는 매순간 다양하게 변하는 현상을 들여다 보는 데 있다. 즉, 관측시간내에서 신호, 잡음 및 전달과정에서 변화되는 것을 관찰하는 것이다. 공간분해와 스펙트럼분해는 잡음의 영향을 억제할 만큼의 충분한 시간동안 관측이 필요한데 이 기간 동안의 입력신호는 stationary한 것으로 간주한다. 그러나 실제의 신호는 거의다 source와 receiver의 움직임, channel특성의 변화 등에 의해 nonstationary source가 되며 관측은 process가 마치 국부적으로 stationary하다고 생각되는 주기내의 시간으로 제한되기 때문에 주어진 경과시간내에서 납득할만한 해를 얻어 내야한다. 시스템에서는 단위시간 동안 단 한번의 관측에서 얻어진 fuzzy picture로 부터 연속적으로 얻어지는 결과와 누적평균을 취함으로써 시점 분해에 대한 이득을 얻을 수 있다. 소프트웨어적으로는 snap shot 결과를 시간 및 주파수 혹은 시간 및 방위 형태의 그래프(gram)으로 표시할 수 있으며 일명 폭포수 지시(Waterfall display)라고도 한다.

처리기의 총이득은 공간 혹은 배열이득이나 매

질의 전달특성, 스펙트럼과 시간누적 이득등으로부터 얻어진다. 공간, 스펙트럼 및 시간에 대한 처리의 상호 작용은 데이터 상관관계 획득, 운동해석, 위치 확인 및 대응 행위등 일련의 총체적인 view를 구현하는데 함께 적용되나 배열의 안정, 비용, 공간적인 동질성, 플랫폼의 치수, 공간분별이득 등의 실질적인 문제들과 부딪히게 되며, 하드웨어에 적절한 알고리즘을 구현한 후 사실에 가까운 신호에 의한 계수들을 보정하므로써 이론과 실제간의 성능격차가 적은 시스템의 구현이 필요하다.



III. 하드웨어 구조 및 구현

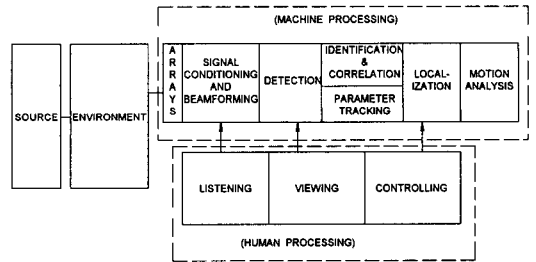
<그림 6> 임무수행 기능도

1. 신호처리의 구조

신호 및 데이터프로세싱의 응용분야로는 광물자원의 위치와 식별을 위해 해저나 해저밑의 지하에 대해 echo sounding에 의한 해저자원 탐사, 어군 탐지, 수중항해 및 수중장비 내지는 구조물의 위치 결정과 수중운동체의 탐지를 위한 수동 및 능동소나, front나 eddy와 같은 해양환경 변화의 원격탐지등을 들 수 있으며 기본적인 프로세싱을 다이어그램으로 표시하면 그림6과 같고 수행내용에 대한 절차를 요약해 보면 다음과 같다.

- 첫째;전체 시스템의 처리요구를 임무(task)로 분할하고
- 둘째;임무를 프로세서와 인간이 수행하도록 적절히 배분하고
- 전체시스템이 원활하게 작동되도록 분할된 프로세서와 인간간을 동기시키며 제어한다.

이와같은 일을 효과적으로 수행하는 데는 사람과 기계의 효율적인 결합 즉 MMI(man / machine interface)가 반드시 필요하다. 가장 간편한 MMI는 하이드로폰과 인간의 귀와의 관계이며 이관계는 탐지와 식별간의 기본틀을 형성한다. 이를 근거로 기본파라미터의 추정과 지시기능의 부여는 인간으로 하여금 다양한 신호 및 데이터프로세싱 기능을 수행할 수 있도록 해준다. 이와같은 관계와 절차를 도식화하면 그림7과 같은데 인간과 기계간



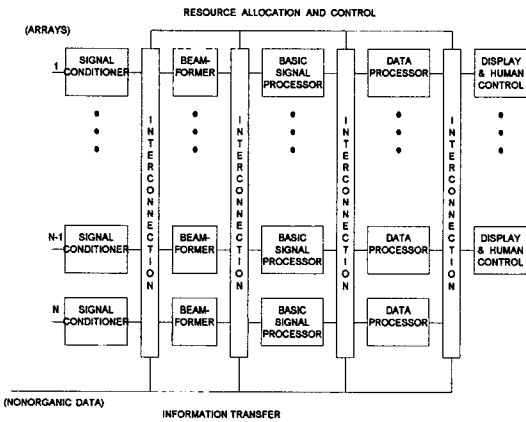
<그림 7> 인간과 기계간의 프로세싱 관계

의 임무 분할 개념도 함께 나타내고 있다. 기계와 인간간의 연동에 의하여 표적의 탐지, 식별, 추적 및 위치 확인을 위해서는 공간, 스펙트럼, 시점에 대한 분해가 동시에 해결 될 수 있는 체계의 구현이 필요하다. 이와같은 인자들의 분해 결과는 모든공간, 모든대역, 모든시간에 대한 총체적인 해결을 제시하도록 누적되어야 하는데 이렇게 구현하는 데에는 여러 가지 장애요인이 있다. 장애요인들로는 주로

- 구현시 복잡도 및 비용
- 최적가정과 데이터의 시,공간적 특성
- 하이드로폰의 기하학적인 구조 및 집적도
- 고정형인지 예인형인지와 같은 설치위치 및 운용방식

등이다. 이와같은 장애요인이 있음에도 불구하고 효율적인 운용을 위해서는 높은 데이터 처리능

력을 갖도록 multistream frontend system 즉, 각 센서배열이 높은 데이터율로 사전에 프로그램되고 연산되는 pipeline구조를 형성하므로써 실시간의 처리결과가 운용자와 기계간의 상호작용에 의거 적절히 표출될 수 있도록 하고 process parameter 를 선택함에 있어서는 data driven이 아닌 event driven방식을 채택하도록 구성하는 것이 필요하다. 따라서 운용자인 인간은 기계에 구현된 여러기능이 수행될 수 있도록 알고리즘 즉, 메뉴를 선택하기만 하면 된다.



〈그림 8〉 대역 분할에 따른 병렬처리 구조

2. 탐지방식의 구현

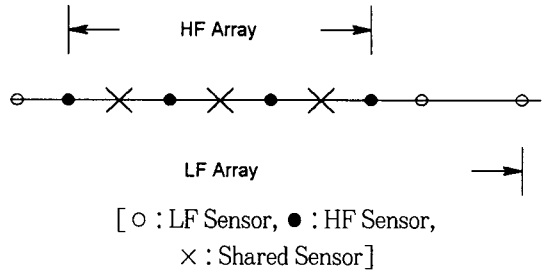
소나가 음향을 매체로한 탐지체계이므로 음향의 발생원을 일방적으로 듣는 수동방식과 적절한 음향을 수중에 방사하여 수중의 물표에 부딪혀 돌아오는 에코를 이용하여 방위 및 거리를 알아내는 능동방식으로 대별된다.

1) 수동탐지방식

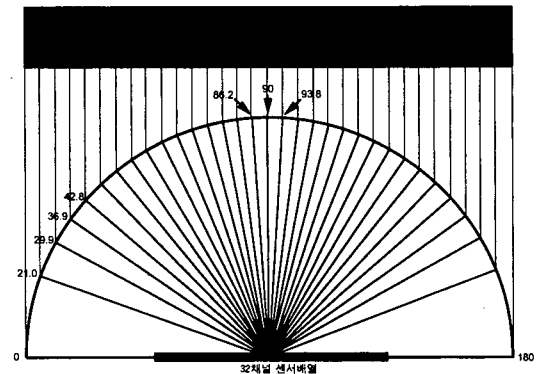
수동탐지는 표적이 방사하는 소음을 하이드로폰 배열(hydrophone array)에 의해 검출한 신호에 대한 공간필터링(spatial filtering, 일명 빔형성)과 에너지 및 주파수 분석을 통해 도래신호의 방위정보와 신호성분의 특성을 알아내는 탐지방식이다. 이 경우 필요한 정보는 표적이 방사하는 소음에 의존할 수 밖에 없으므로 정보의 획득을 보다 효과적이고 정확하게 하기 위해서는 가능한 많은 정보가 있어야 한다. 따라서 광대역 신호처리

(wideband signal processing)가 필요하다. 광대역 신호처리 방법은 입력측인 하이드로폰에서 필요한 대역만큼 열어 놓고 단일대역에 의한 공간필터를 구성할 경우 빔형성기를 통한 빔폭의 불균일성 때문에 저주파로 내려올수록 빔폭이 넓어져 공간분해능력을 상실하므로 그림 8과 같이 필요한 주파수 대역을 여러개의 부대역(subband)으로 분할하고 각각에 대해 공간필터를 구성하여 동시에 병렬로 처리하는 방식이 보편화 되어 있다. 이와같은 방법은 각 대역별 PFB(preformed beam)에 의해 구현될 수 있는데 이를 위해 센서배열은 배열중심을 기준으로 여러개의 대역센서를 담당하는 부배열(subarray)들을 배열 중심에 복합하므로써 nested array를 구성한다. 이와같이 구성된 센서 각각은 수신기 초단에서 각 대역별로 분류되므로 한 개의 센서엘레멘트가 여러개의 입력에 적용될 수 있으며 각 대역별로 동시간에 같은수의 PFB를 형성하여 병렬처리가 가능하게 된다.

배열에 의한 빔을 형성할 경우 배경소음에 의한



〈그림 9〉 부배열의 구성개념

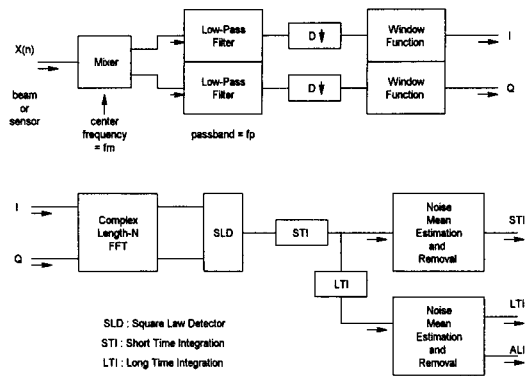


〈그림 10〉 PFB에 의한 공간분해 개념도(32개)

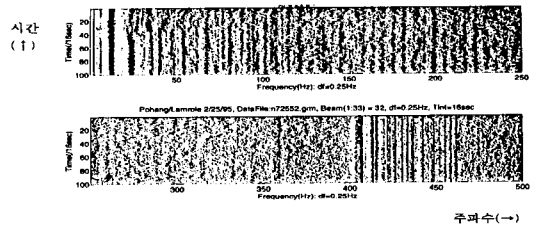
far field에서 도래한 신호에 대해 신호대 잡음비를 증대시키기 위해서는 도래방위쪽의 신호에 대해 최대의 크기로 만들어 줘야 하는 데 이와같은 방법은 지연합(time delay and sum) 혹은 위상천이합(phase shift and sum)방식이 있으며 합의 값이 항상 커지는 방향으로 구성되려면 대역폭의 상측 차단 주파수의 반과장 간격이내로 센서엘레먼트가 배열되어야 한다. 따라서 대역폭의 하측차단 주파수와 상측차단 주파수간의 배열이득은 주파수비에 의한 상용대수 함수 만큼의 차이를 갖게된다. 이 차이가 3dB를 넘게되면 에너지에 대한 값의 차이가 크므로 상하측 간에는 3dB를 넘지 않도록 대역폭을 결정하게 되며 이것을 기초로 옥타브대역(octave bandwidth)을 형성한다. 그러므로 옥타브대역으로 형성된 대역별 배열이득은 각 주파수의 상대적인 위치별로 같은 값을 갖게된다.

빔형성기 출력에 대해 에너지크기와 주파수성분에 대한 분석을 위해 FFT연산을 거치게 되며 각 주파수 소자의 에너지를 지시기상에 방위와 매핑(mapping)시켜 누적시키면 시간-방위기록(BTR : Bearing Time Recording), 주파수-방위기록(BFR : Bearing Frequency Recording) 혹은 시간-주파수 기록(FTR : Frequency Time Recording)와 같은 그래를 얻게 되는 데 주파수가 표시된 것을 LOFAR(LOW Frequency Analysis and Recording)그래프이라 한다. LOFAR 그래프는 일정시간마다 주파수성분에 대한 지시가 반복되어 시각적인 적분효과가 크므로 협대역신호처리 일수록 미소신호에 대한 신호대 잡음비 상승효과가 크다.

이와같이 BTR, FTR, BFR 등에 의해 신호의 도래방위와 크기 및 존재유무를 알아내는 것이 탐지와 관련된 기본적인 신호처리가 된다. 이때 광대역 에너지에 의한 방위 탐지 후 해당방위에서 들어오는 신호를 분석하여 식별하는 방법과 방위정보와 주파수분석을 동시에 수행하는 협대역 탐지방식으로 구분할 수 있는 데 데이터처리 연산능력이 뒷받침될수록 협대역 탐지방식이 강조되나 협대역과 광대역을 동시에 수행한 후 결과를 함께 지시하는 방법이 훨씬 효과적이다.



(그림 11) 협대역 신호처리의 기본적인 Blockdiagram^[10]

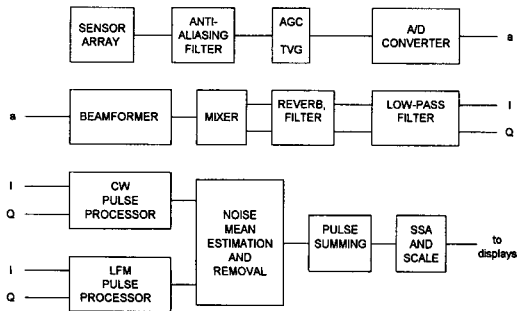


(그림 12) FTR 모드의 LOFAR 그래프(80-320Hz, 2대역의 waterfall display 예)

2) 능동탐지방식

표적이 방사하는 소음을 수신하여 도래방위와 신호성분을 분석하고 무슨 표적인지 알아내는 수동방식에 비하여 적용주파수의 음향펄스를 방사하여 표적에 부딪혀 돌아오는 에코의 도래방위, 시간 및 도플러량을 분석하여 방위 및 거리를 동시에 알아내는 것이 능동탐지방식이다. 이방식은 수동방식에 비해 왕복경로상에서 발생하는 여러 가지 자연현상의 영향을 많이 받고 송수파기의 특성상 적용주파수를 중심으로한 협대역으로 인해 이에 포함된 정보량이 적기 때문에 군사용으로는 개별 식별에 대한 개념이 없이 공간적인 위치벡터를 얻는데 주력하는 탐지방식이다. 탐지자체가 수중의 표적에 대한 유무는 물론 방위와 거리에 의한 위치를 알아낸다는 개념에서는 수동탐지에 비해 비교도 않될만큼 효율적이다. 그러나 송수신이 같은 주파수이고 송신센서가 협대역 특성을 갖고 있기 때문에 단독적으로 식별이나 개체 확인과 같은 정

보 획득이 어려운 단점을 갖고 있다. 한편, 진동특성과 연관시켜보면 저주파일수록 크고 무거워져야 하며 이로부터 배열센서를 구성하면 탑재가 가능한가의 문제와 결부된다. 따라서 현존하는 소나들의 실체를 살펴보면 원통형이나 구형의 배열형태를 취하며 약 3kHz이상의 주파수를 사용하고 있어 수동소나에 비해 적용 주파수가 높다. 민수용 능동소나는 고주파 영상처리를 기본으로 하므로 수신신호에 대해 AGC나 TVG 등의 이득 제어를 제한하고 충분히 낮은 탐지문턱을 넘는 모든 신호에 대해 강도 내지는 Color에 대한 양자화를 통해 영상을 구현하는 것을 우선으로 하고 있다.



(주) AGC : Automatic Gain Control
TVG : Time Variable Gain

(그림 13) 능동소나 신호처리기의 개략적인
블럭 다이어그램

능동소나의 신호전달특성을 살펴보면 양방향 전달에 의한 반사, 굴절의 반복에 의거 위상성분이 매우 복잡하게 얽혀 있고 복반사음에 의한 신호와 잡음의 구별 또한 모호해져 군사용의 경우 수중소음한계성능(noise limited performance)과 복반사음한계성능(reverberation limited performance)^[10,11]으로 구분되는데 이 모두는 음파전달환경과 음파의 비직선성으로부터 기인된 것이다. 수직면상에서 볼 때 상하가 속박된 경계를 형성하고 특히 아래쪽인 해저면의 복잡한 구조에 반사와 굴절을 반복하며 전달될 때 수신되는 신호는 동질성이 매우 떨어지며 음속 또한 1500m/sec 근처로서 매체로서는 매우 느린편에 속해 레이다와 탐지방식은

매우 유사하지만 신호처리는 훨씬 복잡하다. 소나의 경우 하드웨어가 허락하는 한 안테나인 센서는 위상배열(phase array)을 적용하고 CW(Continuous Wave)와 같은 협대역 신호 대신 LFM(Linear Frequency Modulation) 혹은 PRN(Pseudo Random Noise) 신호에 의한 광대역을 적용하며 필터를 통과한 에너지의 빔출력을 이용한 방위탐지와 송신빔과의 파형유사성을 검출하는 replica correlation, matched filter에 의한 PDPC(Post Detection Pulse Compression), split beam에 의한 PCC(Polarity Coincidence Correlation) 등 에너지탐지 및 상관관계 탐지를 복합^[12]하여 복잡한 소음으로부터 원하는 정보를 얻기 위한 처리기술이 꾸준히 개발되고 있다.

IV. 기술동향 및 발전전망

1. 신호처리 분야

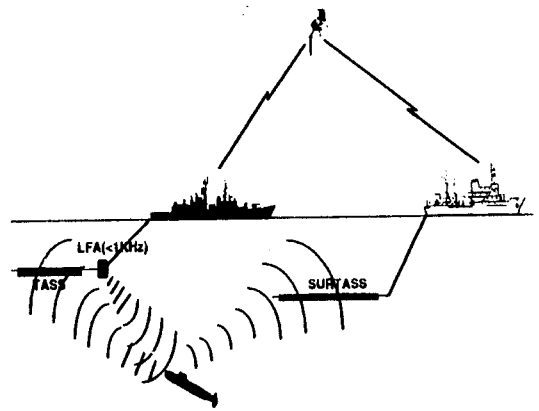
소나신호 및 데이터처리를 통해 탐지, 식별 및 추적을 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 공간, 스펙트럼 및 시점분해를 통해 이루어 지는 데 공간적인 면은 배열센서를 입력으로 한 시간영역(time domain)이나 주파수 영역(frequency domain)에서 PFB를 만들므로써 가능하다. 이를 전형적인 빔형성기법(conventional beamforming)이라 한다. “이방법은 방위 분해능이 낮기 때문에 이를 높이기 위해서 고분해능 빔형성기법들이 제시되었는데 대표적인 기법으로 MVDR, MUSIC(Multiple Signal Classification), ESPRIT, MIN-NORM 등이 있다. 이들은 eigen space의 dominant subspace를 이용하며 이상적인 경우 근접한 두 개 표적의 분해능은 고전적인 기법에 비해 비교가 안될 정도로 우수하다. 이 기법들은 배열센서 신호의 CSDM(Cross Spectral Density Matrix)로 부터 표적방위를 추정한다. 이방법은 이상적인 조건에 대해서는 매우 성능이 우수하나 모델파라미터의 오차에 견실하지 못하고 하드웨어 제작에 비용이 많이 들며 센서의 위상이나 감도오차, 신호나 잡음의 통계

적오차 등에 민감하게 반응하여 아직은 실용화 되지 않고 있다. 이밖에 센서가중수신을 확실적이거나 고정적인 값을 사용하지 않고 신호특성에 따라 개선시켜 간섭신호에 대한 응답을 최소화한 기법등이 제시되어 있으며 SAA(Synthetic Aperture Array)나 MFP(Matched Field Processing)등이 있다^[13]”.

2. 잠수함탐지 분야

잠수함이 방사하는 소음에 대해 시공간적 신호 처리와 시간-주파수 처리결과로 잠수함의 유무, 식별, 위치확인 및 추적등 일련의 과정을 살펴보면 탐지와 피탐지에는 시소게임 형태로 발전되어 왔다. 즉 탐지와 피탐지 간에서는 시대적으로 우월성을 갖으며 진보되어 왔으나 근래에는 피탐지 측면에서 유리한 위치를 점하지 않았나 생각된다. 왜냐하면 피탐지 측면에서는 방사소음준위를 낮추는 것과 음파의 반사계수를 낮추는 노력이 꾸준히 진행되어 과거에 비해 상당수준의 스텔스(stealth)화가 이루어진 것으로 알려져 있기 때문이다^[14]. 결과적으로 탐지측면에서 볼 때 과거보다 훨씬 많은 비용이 들어가야만 균형을 맞출 수 있게 되었으며 수동탐지의 경우 연속성 소음으로 간주될 수 있는 기계장치의 소음이 많이 줄어 들게 되어 불규칙적이고 짧은 시간동안 발생하는 천이소음(transient noise) 탐지에 눈을 돌리지 않을 수 없게 되었다. 한편 해상교통량이 급증하면서 공간상 소스의 분포가 많아져 간섭원의 상대적인 증가는 공간분해의 정밀도를 한차원 높게 요구하고 있다. 즉 고분해능 빔형성(high resolution beamforming)이나 고분해능 주파수 추정(high resolution spectral estimation)과 같이 고속 연산 능력을 고려해 볼 때 computer-intensive SONAR signal processing의 적용이 요구되고 있는데 이는 matrix 연산능력에 기초를 두고 있다. 오늘날 parallel processor의 출현과 이들의 병렬구조 배열에 matrix 알고리즘을 mapping하는 방법들이 개발되면서 복잡한 알고리즘들의 실시간구현이 점차 현실화 되고 있다^[15]. 그런데 수동탐지 만으론 한계가 있고 능동소나의 경우에도 정보처리능력 뿐만

아니라 운용상 환경조건에 많은 제약성을 갖고 있기 때문에 선체에 부착하여 운용하는 송수신 겸용 센서에 의한 단상태소나(monostatic SONAR)에서 송수신 센서를 별도로 운용하는 양상태 소나(bistatic SONAR) 내지는 다상태소나 (multi-static SONAR)구조로 바뀌고 있다. 따라서 체계의 형식에 구애없이 잠수함 탐지 영역인 10Hz에서 15kHz정도의 광대역에 걸친 full spectrum 탐지체제로 통합되고 있으며 C³I이상의 구조에 의한 데이터 융합(data fusion)처리기인 대잠전투체계(ASW combat system)로 발전되고 있다.



(그림 14) 선배열 소나를 중심으로한 다상태 소나의 개념도

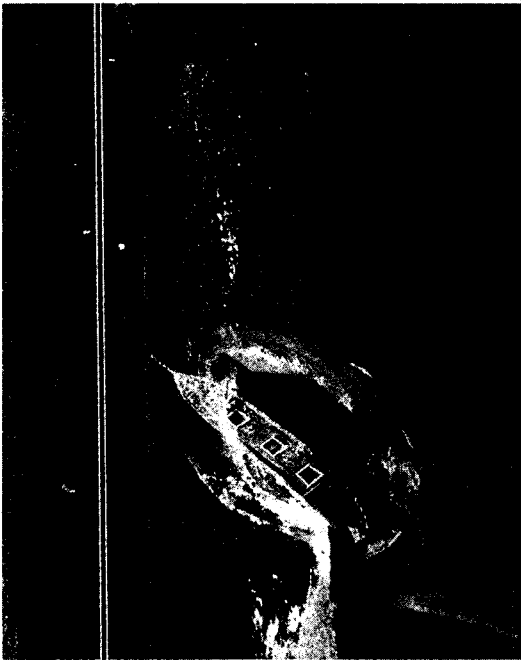
3. 수중탐사 및 자원개발분야

잠수함탐지외의 목적으로는 군사용으로 볼 때 기뢰탐지소나, 어뢰와 같은 병기의 추적센서(seeker)를 들 수 있고 수중탐사나 항해용으로는 수중에서의 장애물 회피용 소나, 탐사용으로는 해저수심 profile장비나 side scan SONAR 등을 들 수 있다. 이들 장비의 특징은 수십kHz이상의 고주파에 고분해능 빔형성기 내지는 연속적으로 수신되는 신호에 대해 시간과 거리, 그리고 에너지 강도를 적절히 조화시켜 전체윤곽이 들어날 수 있을 정도의 깨끗한 영상을 얻을 수 있다. 특히 depth profile 측면은 해양에 대한 수중의 지도를 만드는 것이므로 GPS(Global Positioning System)과 같은 정밀 위치확인장비와 연동된 침

단기술에 해당된다. 앞으로 해양에 대한 자원개발은 물론 패권화를 대비할 때 이 분야는 매우 중요한 분야에 속한다^[16,17]. 이와같은 고분해능 소나는 수중케이블이나 구조물을 설치하고 확인할 때도 유용하며 앞으로는 음향카메라(acoustic camera)의 역할까지 담당할지도 모른다. 한편, 잠수함 탐지용 양상태소나와 같은 운용개념을 갖고 있고 광대역의 짧은 펄스성 탄성파를 보내 해저의 여러 지층을 통과하여 수신된 신호를 처리하므로써 지층구조를 알아내고 석유의 존재유무를 파악하는데에도 소나기법이 적용된다.

된 하이드로폰 신호에 대해 digital shift register에 의한 빔형성을 소나에 적용하였고 1950년대 중반에 고속변환기술이 발표된 이래 오늘날에는 복잡한 음파전달모델의 해석과 대량의 데이터로 정보를 추출할 수 있는 컴퓨터의 계산능력이 힘입어 미소신호에 대한 탐지능력이 매우 향상되었다. 군사용의 경우 지금까지 탐지, 피탐지간의 시소게임 형태로 기술이 발전되어 왔음을 고려하고 스텔스화의 추세를 놓고 볼 때 탐지측면이 점점 어려워지지 않을까 생각된다. 그런데 저주파의 경우 스텔스화에는 여러 가지의 장애요인들이 있기 때문에 1KHz이하의 대역에 중점을 둔 TASS(Towed Array Sonar System), SOSUS(Sound Surveillance System) 등과 같은 저주파 선배열소나, ATAS(Active TASS)와 같은 양상태소나의 개발과 full spectrum탐지에 걸맞는 고속 정보융합 종합처리 시스템을 구성하는 방향으로 꾸준히 발전될 것으로 보인다. 이로부터 저주파 탐지능능을 유지하고 센서, 신호처리 및 해양환경분야의 각 요소들에 대해 실제의 음향신호 분석결과로 알고리즘의 변수 추정에 필요한 계수들을 보정해 나갈때 이론과 실제간의 격차가 큰 수중음향탐지 분야의 gap은 물론 탐지 측면의 불리한 여건도 극복할 수 있을 것이다.

이제 바다는 더 이상 방치할 수 없는 미래의 자원이요 영토라는 인식이 높아 지면서 앞으로 바다에 대한 투시요구는 점점 커질 것이다. 과거가 잠수함사냥에 모든 노력을 집중 했었다면 앞으로는 정밀 해저수심도 작성, 원격탐사장비의 항해 및 수중 작업용 1°이하의 고분해능 능동소나, 해저유전 발굴을 위한 수십Hz용 초 저주파 탐사장비등 민수용 장비의 신호 및 영상처리 기술개발에도 노력을 기울일 때가 온 것이다. 삼면이 바다이고 대부분의 자원을 해외에 의존해야 하는 우리의 처지로서는 이분야에 많은 관심을 가져야 할것이다.



(그림 15) 해저 탐사도(Side Scan Soanr의 image)

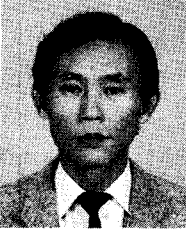
V. 결 론

제2차 세계대전 후 1960년 DIMUS(Digital MULTibeam Steering system)^[17]이 hard clipping

참 고 문 헌

- [1] David Foxwell, "Satellite Surveillance Ocean Observation with Synthetic-aperture Radar", *International Defense Review*, pp811-815, Aug., 1991.
- [2] Duane Bright, "Hydrographic Airborne LASER Sounder(HALS)", *Naval Engineering Journal*, pp54-60, April, 1980.
- [3] "Swedish Laser sounder has tactical application", *International Defense Review*, pp60, Aug., 1993.
- [4] Tom Stefanik, *Strategic Antisubmarine Warfare and Naval Strategy*, Lexington Book, Chap.1, pp15-25, 1987.
- [5] Joseph C. Hassab, *Underwater Signal and Data Processing*, CRC Press Inc., Chapter 1, pp3-26, April, 1980.
- [6] R.J. Urick, *Principles of Underwater Sound, 3rd Ed.*, McGraw-Hill Book Co., chap.2, the Sonar Equation, pp17-30, 1983.
- [7] Julius S. Bandat and Ailan G. Piersol, *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, Wiley-Interscience, Chap. 1., pp7-31, 1971.
- [8] Richard O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, Artech House, Chap.2., pp51-94, 1991.
- [9] Welch, P.D., "The Use of the Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging over short, Modified Periodograms," *IEEE Trans. on Audio, Electroacoustics*, Vol. AU-15, No.2, pp70-73, June, 1967.
- [10] Richard O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, Artech House, Chap.4.4, Narrow Band Processing, pp158-173, 1991.
- [11] Williams S. Burdic, *Underwater Acoustic System Analysis*, Prentice Hall, Chap.14, pp411-436, 1984.
- [12] M.A. Chramiec and J.F. Bartram, "Shoreline detection with sonar using spatial correlation", *Fifth Annual Combined Conference; OCEANS '79*, pp17-19, September, 1979.
- [13] 오원천, "소나 신호처리 기술", *대한전자공학회지* 제 20권, 제10호, pp75-76, Oct., 1993.
- [14] Tom Stefanik, *Strategic Antisubmarine Warfare and Naval Strategy*, Lexington Books. Appendix 6. 1987.
- [15] Richard O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, Artech House, Chap.7, Matrix Processing for Sonar, pp259-314, 1991.
- [16] Anthony Marino, "Multibeam, Wide-swath, Parametric, Sub-Bottom Profiler", *Sea Technology*, pp39-44, June, 1996.
- [17] L.M. Linnett et al, "Tools for Sonar Processing and Seabed Mapping", *Sea Technology*, pp89-93, Jun, 1996.
- [18] Anderson, V.C., "Digital Array Phasing", *J.Acoust. Soc. Am.*, Vol 32, pp867, 1960.

저 자 소 개



盧 貞 鎬

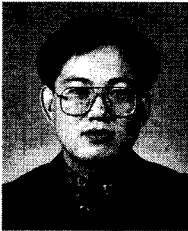
1948年 1月 15日生

1972年 2月 한국항공대학전자공학과, 학사

1987年 8月 경북대학교 전자공학과, 석사

1976年 11月~1996年 8月 국방과학연구소 제2연구개발본부

주관심 분야: 소나시스템설계, 디지털회로시험



柳 存 夏

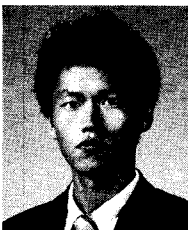
1964年 8月 5日生

1987年 2月 경북대학교 공과대학 전자공학과(학사)

1990年 2月 경북대학교 공과대학 전자공학과(석사)

1990年 3월~1996年 8월 국방과학연구소 제2연구개발본부

주관심 분야: 소나표적추적 및 기동분석



許 容 碩

1967年 8月 4日生

1990年 2月 경북대학교 공과대학 전자공학과(학사)

1993年 2月 경북대학교 공과대학 전자공학과(석사)

1993年 3월~1996年 8월 국방과학연구소 제2연구개발본부

주관심 분야: 소나 신호처리 및 표적추적