

1. 정합장처리에서 오정합에 의한 바이어스와 민감도

해양개발공학과 박재은
지도교수 김재수

수중에서 음원이 발생시키는 음파를 탐지하여 음원에 대한 정보를 획득하기 위해서 일반적으로 수동 소나체계를 사용한다. 최근에 운용되는 수동 소나체계는 신호처리 기법과 컴퓨터 계산 속도 등의 향상으로 음원 탐지와 위치 식별 및 징표(signature)에 대한 식별의 과정이 순차적 또는 병렬적으로 진행되어 원하고자 하는 음원에 대한 상세한 정보를 제공한다. 수동 소나를 이용한 음원 위치에 관련된 정보의 확보는 수중음향 분야에서 매우 기초적이며 중요한 목적이 될 수 있다. 이를 위해 신호 대 잡음비의 향상을 가져올 수 있는 배열(array)을 이용한 정합장처리(Matched Field Processing : MFP) 기법에 관한 연구가 진행되고 있다.

기본적으로 정합장처리는 평면파 빔형성(plane wave beamforming) 기법의 일반화된 형태이다. 일반적으로 사용되어온 평면파 빔형성 기법은 균질한 매질내의 신호 전파를 가정하여 평면파 신호의 위상과 가중치(weights)를 상관시키는 방법으로 방위를 추정한다. 그러나 실제 해양 음장에서의 신호는 다중 경로를 통해 전달되므로 평면파를 가정한 빔형성 기법으로는 음원 위치에 대한 정보를 파악하기가 어렵다. 정합장처리 기법은 배열에서 측정된 음장과 예상되는 모든 음원의 위치에 대하여 신호전달 모델을 적용하여 예측된 음장을 상관시킴으로써 방위와 거리, 수심 등의 위치 정보를 획득하여 음원 위치에 대한 추정 성능을 크게 향상시킨다. 층상화된 해양 도파관(waveguide)에서의 복제(replica)음장은 평면파가 아니고 완전한 파동방정식의 해로 표현된다. 그러므로 해양 도파관의 환경을 모두 고려하는 정합장처리는 음원신호에 잡음이 포함되어 있을 경우 잡음의 전달까지 고려해야 됨으로 더욱 복잡해진다. 따라서 정합장처리에서 음원 위치 추정 문제는 상관되는 잡음으로부터 음원 정보가 포함되어 있는 신호를 추출하는 매개변수 역산(inversion) 문제라고 할 수 있으며, 예측된 해양 도파관 내에 수많은 정해(forward solution)를 만들어 어떤 해가 잡음이 포함되어 있는 관측 신호와 가장 상관되는가를 검색함으로써 역산 문제를 해결한다.

정합장처리는 관측된 신호와 모사된 음장(복제음장)을 상관시켜 미지의 음원 위치 또는 음장에 관한 매개변수를 추정하는 기법으로서 신호가 발생되어 전달된 음장이 정확하게 모사된 정합장처리는 매우 높은 상관값이 출력되며, 추정된 매개변수의 오차가 없는 이상적인 결과를 보인다. 그러나 수신된 신호의 음장과 예측된 복제음장 사이에는 매우 다양한 종류의 매개변수 오차가 포함되어 있다. 이러한 매개변수들의 오차를 정합장처리에서는 특별히 오정합(mismatch)이라고 일컫는다.

정합장처리에서 고려해야 되는 매개변수의 오정합은 크게 세 가지 분야로 구분된다. 첫 번째는 시스템 오정합으로 신호를 수신하는 배열에 관한 매개변수들이 해당되며, 이는 실제로 설치된 배열이 해/조류 등의 영향으로 원래의 배열 형상과 위치를 유지하지 못함으로 발생된다. 두 번째는 해양환경에 관한 매개변수의 오정합으로 복제음장을 계산하기 위해 사용되는 음향전파 모델의 입력 매개변수가 대부분 해당되며 그 예로서 수층의 음속분포 및 수심, 해저퇴적층의 층별 두께와 음속분포, 음향 감쇠계수, 밀도 등의 지음향계수가 해당된다. 세 번째는 통계적인 오정합으로 추정된 공분산행렬을 사용한 적응 알고리즘에서 신호단편의 부족 또는 유한한 자유

도 문제이다.

오정합으로 인한 영향으로는 수신된 신호와 복제음장과의 상관값인 정합장 프로세서의 출력이 낮아지며, 상관된 최대 출력값이 실제 음원 위치에서 이동되어 매개변수 추정 결과에 바이어스를 유발하는 것으로 잘 알려져 있다.

본 논문에서는 거리독립 및 종속 환경에서 수직배열을 사용하는 경우에 대해 선형 프로세서를 사용하여 매개변수 오정합이 프로세서 상관계수 값과 음원 위치 추정에 미치는 영향에 대하여 수치실험을 통해 살펴보았다. 그리고 유전자 알고리즘을 이용한 매개변수 역산으로 종합적인 오정합 상황에서 프로세서 출력에 의한 추정된 매개변수의 바이어스와 정합장치 처리 출력에 미치는 매개변수들의 민감도에 대해 고찰하였으며, 실측 자료를 사용하여 매개변수 역산을 통한 음원의 위치 추적과 함께 역산된 매개변수들의 오정합의 영향을 분석하였다.

그 결과 정합장치 처리에서 매개변수 오정합의 영향을 다음과 같이 확인할 수 있었다.

- (1) 매개변수 오정합에 따라 추정된 음원 위치는 매개변수별로 일정한 범위에서 바이어스를 갖는다.
- (2) 매개변수 오정합의 양이 증가될수록 출력 상관계수 값이 저하되며 위치 추정 오차도 증가 된다.
- (3) 동일한 음장에서는 주파수가 낮아질수록 출력 상관계수 값의 저하가 감소되며, 추정된 음원 위치에 대한 바이어스 범위도 증가된다.
- (4) 음원 위치 바이어스의 일관성이 유지되는 프로세서 출력 상관계수 값의 한계는 주파수에 따라 변화되며, 주파수가 낮아질수록 높아진다.
- (5) 결합된 매개변수에 대한 오정합의 영향은 개별 매개변수들간의 오정합의 영향을 충실히 반영된다. 따라서 종합적인 오정합의 영향도 개별 오정합의 영향에 대한 결과로 해석이 가능하다.
- (6) 개별 매개변수들의 오정합에 대한 민감도를 정량화하여 계산한 결과 오정합에 가장 민감한 매개변수는 수층에서 운용되거나 작용하는 시스템과 해양 환경의 매개변수들이며, 8월의 음속분포를 갖는 경우에는 수층의 수심이 가장 민감하며, 그 다음으로 수층의 음속분포, 배열경사, 배열 수심 등의 순서로 나타났다.
- (7) 해저퇴적층과 저층의 음향특성 계수에 대한 민감도는 (6)에서 언급된 매개변수들에 비해 상대적으로 약하였으나, 해저퇴적층 상부 음속의 오정합은 음원의 거리에 비교적 많은 양의 위치 바이어스를 유발하였다.
- (8) 예측된 매개변수의 값이 실제 매개변수 값보다 클 경우 추정된 음원 거리를 증가시키는 매개변수는 주파수, 수층의 수심, 해저면 경사, 해저퇴적층 두께와 밀도 등이며, 음원 거리를 감소시키는 매개변수는 수층과 해저퇴적층의 음속, 배열 수심이다.
- (9) 오정합에 따라 추정된 음원의 수심에 영향을 주는 매개변수는 수층의 수심과 해저면 경사, 배열 수심, 배열 경사이다.

이와 같은 매개변수 오정합의 영향에 대한 수치실험 결과는 해양에서 실제 수신된 신호를 사용하여 정합장치 처리를 수행할 경우 프로세서 출력 결과를 해석하는데 유용하며 정확도가 부족한 매개변수 값에 대한 보정 과정이 추가로 수행된 후에 출력 결과의 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것이다. 그리고 민감도가 강한 매개변수는 정합장치 처리에서 복제음장을 계산하기 위한 모델링에서 매개변수 값의 범위를 선택함에 있어 보다 상세한 자료의 정보가 요구됨으로 사전에 양질의 자료를 확보하기 위한 과정이 선행되어야 한다. 또한 상대적으로 민감도가 떨어지는 해저퇴적

층과 저층의 매개변수들의 값에 대해 정확도를 향상시키려는 추가적인 역산의 노력을 줄일 수 있다.

본 연구와 관련된 향후의 연구 방향을 제안하면 다음과 같다. 첫째는 수직 선배열의 경우에 해당되는 매개변수들에 대해서만 연구가 수행되었는데 수평배열이나 수직과 수평이 복합된 배열 등을 사용할 경우에 추가되는 배열의 형상 등에 대한 오정합의 연구가 필요하다. 둘째는 주파수와 수층의 수심, 해지면 경사 오정합인 경우 근사적인 해석이 제시되었으나, 이것을 제외한 나머지 매개변수들의 오정합에 대해서는 해석적인 해를 구하는 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

2. 마이크로폰 어레이를 이용한 船舶汽笛音源 追跡에 관한 연구



해사수송학과 문성배
지도교수 전승환

최근 세계경제의 지속적인 성장과 무역규모의 증가 및 수산업의 발달 등 여러 가지 이유로 연안해역에서의 해상교통밀도가 꾸준히 증가하고 해양사고도 빈발하고 있으며, 이러한 해양사고는 막대한 경제적 손실과 심각한 해양환경오염을 초래하고 있는 실정이다. 특히, 최근 5년간 해양사고 중에서 선박간의 충돌사고가 약 22%를 차지하고 있고, 이 충돌사고 중에서도 약 20%가 시정이 제한된 상황에서 발생하였다. 이러한 충돌사고의 원인으로 항해자의 경계소홀이 상당한 비중을 차지하고 있는데, 이 항해자의 경계소홀이라는 것은 항해자가 타 선박에 관한 정보수집과 타 선박에게 자선에 관한 정보의 제공을 소홀히 한다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 한편, 선박에는 자선의 존재 및 의사를 간단 명료하게 타 선박에게 전달할 수 있는 장비로서 기적(Whistle)이 있다. 그러나, 기적음의 청취를 오로지 인간의 감각기관에만 의존하여야 하기 때문에 항해자가 이를 통하여 안전항해를 도모하기 위한 일련의 의사결정을 하기에는 여러 가지 어려움이 있고, 그 효용성은 더욱 저하되고 있는 실정이다. 이에 IMO에서는 선교가 완전히 폐위된 선박의 경우 타 선박이 발신하는 기적음에 관한 정보를 마이크로폰을 통하여 수신하여, 그 기적음에 관한 개략적인 정보만을 항해자에게 제공할 수 있는 '음향수신장치'를 강제 탑재요건으로 규정하게 되었다.

본 연구는 마이크로폰 어레이를 이용하여 상대선박이 발신하는 기적음을 수신하고, 일련의 신호처리를 함으로써, 그 선박까지의 거리 및 상대방위를 자동적으로 측정할 수 있는 시스템을 개발하고자 하는 것이다. 상대선박이 발신하는 기적음을 어떤 일정한 형태로 배치되어 있는 마이크로폰 어레이를 통하여 수신할 때, 마이크로폰의 위치, 배열 및 간격 등의 제요소에 따라 각 마이크로폰에 수신된 신호음 사이에는 도달시간차가 발생하게 된다. 이 신호음의 도달시간차를 검출하여, 음향신호를 발신한 선박까지의 거리 및 상대방위를 측정하는 것이 기본적인 알고리즘이다.