

능 점검이 정기적으로 이루어져야 하고 성능 점검에 필요한 항목 또한 국제법에 준하여 엄격하게 수행되어야 할 것이며 본 연구의 결과는 이를 수행할 수 있는 한 가지 방안을 제정한 것이라 할 수 있다.

## 10. 해양 정합장처리와 시계열반전처리의 적응성

해양개발공학과 신 기 철  
지도교수 김 재 수

수동소나 배열 신호처리에서 해양환경 정보를 이용하는 방법은 최근 수중음향 분야의 일반적인 추세라 할 수 있다. 그중 정합장처리는 컴퓨터의 고속화와 계산용량의 증대 및 개선된 음향전파모델의 개발로 모델링을 기초로 하는 신호처리 기법의 가능성을 높여주고 있다.

배열 신호처리(array signal processing)에서 적응(adaptivity) 개념은 여러 가지로 해석될 수 있으나, 일반적으로 시스템의 특성이 수신한 자료에 의존하거나 관측된 자료로부터 주요한 특성들을 추론하여 그 특성에 따라 배열 센서의 가중치를 적응적으로 조절하는 것이다. 이러한 특성들로는 신호의 주파수, 시·공간적인 소음의 특성과 신호의 파수 등을 들 수 있다. 만약 충분한 관측치들로부터 신호의 특성들을 추론할 수 있다면, 입력에 따라 가변적인 최적의 적응 시스템 및 알고리즘을 구현할 수 있을 것이다.

정합장처리(Matched Field Processing, MFP)와 시계열반전처리(Time Reversal Processing, TRP)는 배열에 수신된 신호를 원래 음원 신호가 도래한 공간으로 다시 전파시켜 음원의 위치에 음향에너지를 집중시킨다는 점에서 동일한 의미를 갖는다. 그러나 정합장처리에서 배열에 의한 빔형성의 과정은 음장에 대한 수치해석을 통해서 이루어지는 반면, 시계열반전처리는 송신기 배열에 의해서 실제 역방향으로 전파를 수행한다. 따라서 시계열반전처리는 정합장처리의 실제 수행과정이라 할 수 있다.

정합장처리는 평면파 빔형성(beamforming)의 일반화된 형태이다. 평면파 빔형성의 차원은 방위(bearing) 또는 고저각(elevation)에 한정되며, 정합의 과정은 평면파에 의해서 수행된다. 정합장처리는 해양환경에서 발생하는 음향전파의 복잡한 간섭패턴을 이용하여, 이를 정합시키는 방법을 사용한다. 따라서 정합장처리는 해양 도파관에서 신호가 전파하는 음장을 예측하여 음원의 3차원적 위치 또는 음향전파와 관련된 매개변수들의 역산(inversion)을 가능하게 한다.

정합장처리에서 적응처리의 목적은 정합장처리를 이용하여 배열에 수신된 신호에 따라 빔형성된 배경소음의 감소와 간섭의 제거 및 부엽준위의 억제 등이며, 이를 위하여 적응 알

고리즘의 개발에 대부분의 노력을 집중하고 있다. 해양 도파관에서의 정합장처리는 예측된 음장을 이용하여 음원의 위치추정과 음향환경 매개변수들의 추정을 가능하게 하지만, 배열에 수신된 신호와 예측된 음장과의 상관과정에서 소음 또는 간섭성 음원 및 오정합(mismatch)된 환경으로 인해 빔형성된 음장에서 높은 배경준위와 부엽준위를 발생시킨다. 본 논문에서는 정합장처리의 빔형성된 음장에서 적극적으로 부엽과 배경준위를 제어할 목적으로 배열에 수신된 신호들을 빔형성 과정에서 음의 전파환경에 따라 적응적으로 변하는 적응 최적화 신호벡터의 개념을 도입하였다.

목적에 부합한 신호벡터를 유도하기 위해 탐색공간과 음원공간의 평균 음향에너지 밀도와 두개의 함수를 정의하였다. 첫 번째는 배열의 입력 신호의 파워가 제한된 상황에서 음원공간의 평균 음향에너지 밀도를 최대로 하는 함수이고, 두 번째는 빔형성된 음장에서 탐색공간과 음원공간의 평균 음향에너지 밀도의 비를 최대로 하는 함수이다. 위의 두 함수의 고유치 해석을 통하여 목적에 맞는 적응 최적화 신호벡터를 찾게 된다. 음원공간이 한 점으로 주어질 경우에 첫 번째 함수에 의한 신호벡터의 빔형성 결과는 재래식 빔형성 결과와 동일하였기 때문에 재래식 신호벡터라 칭하고, 두 번째 함수에 의한 신호벡터를 대비 신호벡터라 칭하였다.

정합장처리에서 재래식 신호벡터와 대비 신호벡터들에 의해서 빔형성된 음장들의 비교 및 정량적 분석을 위해서 서로 다른 음원공간을 정의하여 수치실험을 수행하였다. 음원공간의 크기에 따라 약간의 차이는 있지만 대비 신호벡터에 의한 결과들이 재래식 신호벡터에 의한 결과보다 부엽 제어 및 감소의 효과가 우수하였다. 음향전파 환경에서 해저층 감쇠계수의 증가는 전파하는 고차 모드들의 소멸을 유발하기 때문에 배열 소자들 사이의 음장에 대한 상관성을 높이는 원인이 된다. 대비 신호벡터에 의한 정합장처리는 음원공간과 탐색공간 사이의 평균 음향에너지 밀도의 대비를 최대로 하여 해저층 감쇠계수가 큰 음향환경에서 빔형성된 음장의 배경준위 감소와 부엽준위 제어 효과가 있음을 보였다.

실제 해양환경에서 대비 신호벡터에 의한 정합장처리의 수행성능을 분석하고자 SwellEx-96 Event 59 해양 실험자료를 이용하여 정합장처리를 수행하였다. 실제 해양환경에서의 정합장처리는 배열에 수신된 음장과 복제음장 사이의 오정합 뿐만 아니라 배경소음 및 간섭성 음원에 대한 영향이 상존하여 음원에 대한 위치추적을 어렵게 한다. 앞서 수치실험에서 보였던 대비 신호벡터의 배경준위 감소와 부엽준위 제어의 효과는 실제 해양자료를 처리한 결과에서도 그 성능을 발휘하고 있음을 입증할 수 있었으며, 공분산행렬의 형태로 기존에 사용되어온 적응 및 비적용 정합장처리기의 입력신호로 적용할 수 있었다.

해양에서 음향전파 환경의 시·공간적인 변화로 인해 수중음향 전파의 채널은 신호 저감의 특성을 갖는다. 일반적으로 수중음향 환경에서 주파수와 거리가 증가할수록 전달손실이 커지기 때문에 가용한 주파수 대역폭이 제한되며, 이는 음파를 이용한 소나 시스템 설계에 가장 큰 제한조건으로 작용한다. 특히, 수중음향 디지털 통신 시스템에서 음의 다중경로 전파는 부호 간 간섭 및 강한 위상동요와 시가변 전파특성으로 인한 신호의 페이딩을 발생시킨다.

해양에서의 시계열반전처리는 배열에 수신된 신호들을 시계열-반전된 형식에서 다시 전달하는 처리과정으로 매질 자체의 특성을 모르는 경우에도 음이 발생된 위치에 음향에너지의 집중을 가능하게 하기 때문에 비균질한 매질에서의 표적의 탐지와 통신에 매력적인 방법으로 제안되고 있다. 본 논문에서는 해양 도파관에서의 시계열반전처리에 대한 다양한 수치 시뮬레이션을 통해 기본적인 특성을 살펴보고, 시계열반전처리를 수중통신 시스템에 응용하고자 시도하였다. 특히 적응 시계열반전처리를 이용한 수중통신에서 자기동화를 여러 위치에 동시에 달성할 수 있는 알고리즘을 유도하여 수치 시뮬레이션을 통해 그 적용 가능성을 제시하였다.

다양한 음향전파모델의 개발과 컴퓨터 처리 속도의 향상은 모델링을 기초로 하는 정합장 처리와 같은 신호처리 기법의 가능성을 높여주고 있다. 국내에서도 최근의 연구 성과를 토대로 연근해 정합장처리 시험이 수행되었으며 짧은 연구기간에도 불구하고 좋은 성과를 보이고 있다. 본 논문에서 제안한 적응 최적화 신호벡터를 이용한 정합장처리는 실제적인 적용에 앞서 음향환경 매개변수의 오정합 및 시스템 오정합 상황 그리고 낮은 신호 대 잡음비의 상황에서의 수행성능에 대한 연구가 필요하다.

최근의 시계열반전처리에 대한 연구는 수중음향 분야에서 중요한 관심으로 대두되고 있다. 선진 외국에서는 이론을 기초로 한 수치 시뮬레이션과 해양에서의 실험을 통해 기본적인 특성을 이해하고 이를 이용해 다양한 응용분야에 대한 연구가 지속되고 있다. 본 논문에서 제시한 적응 시계열반전처리를 이용한 수중통신은 수치 시뮬레이션에 의해 그 가능성을 제안한 것이다. 실제 적용 및 응용을 위해서는 이에 대한 실용연구와 실험적인 연구가 병행되어야 한다.

## 11. 유기주석을 함유한 선박 방오페인트 폐기물의 물리·화학적처리

### A Physico-Chemical Treatment of Ship's Antifouling Paint Waste Including Organotin

토목환경공학과 김 동 근  
지도교수 김 인 수

Tributyl-tin(TBT)는 유기주석화합물로 주석에 3개의 부틸기가 결합되어 있는 형태의 유독 물질이며 1925년 방충제로 처음 사용된 이래 PVC(polyvinylchloride)안정제, 각종 플라스틱 첨가제, 산업용 촉매제, 살충제, 살균제, 목재 보존제 및 선저 방오제 등 산업 전반에 걸쳐 광