
능동소나 표적인식을 위한 시뮬레이터

석종원* · 김태환** · 배건성**

Simulator for Active Sonar Target Recognition

Jongwon Seok* · Tachwan Kim* · Keunsung Bae**

이 논문은 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음.(계약번호: UD100002KD)

요 약

수중환경 하에서 표적을 탐지하고 식별하는 문제는 군사적인 목적은 물론 비군사적 목적으로도 많은 연구가 수행되어 왔다. 수중환경에서의 수중음향 신호가 시간·공간적으로 특성이 변화하며 천해 다중경로 환경을 반영하는 복잡한 특성을 보이는 점으로 인해 능동 표적인식 기술은 매우 어려운 기술로 여겨져 왔다. 또한 실제 데이터 수집의 어려움이 따르게 된다. 본 논문에서는 수중환경 하에서 능동 표적신호를 합성, 특징추출 및 표적식별을 수행할 수 있는 시뮬레이터를 구현하였다. 표적신호의 합성에는 하이라이트 모델과 3차원 모델을 사용하였으며, 표적신호의 식별을 위해서는 다중각도에 기반한 은닉 마코프모델을 사용하였다.

ABSTRACT

Many studies in detection and classification of the targets in the underwater environments have been conducted for military purposes, as well as for non-military purpose. Due to the complicated characteristics of underwater acoustic signal reflecting multipath environments and spatio-temporal varying characteristics, active sonar target classification technique has been considered as a difficult technique. And it has a difficult in collecting actual underwater data. In this paper, we implemented the simulator to synthesize the active target signal, to extract feature and to classify the target in the underwater environment. In target signal synthesis, highlight and three-dimensional model are used and multi-aspect based hidden markov model is used for target classification.

키워드

능동소나, 다중각도, 표적합성, 수중표적, 표적식별, 시뮬레이터

Key word

Active Sonar, Multiaspect, Target Synthesis, Underwater Target, Target Recognition, Simulator

* 정희원 : 창원대학교 정보통신공학과 (교신저자, jwseok@changwon.ac.kr)

접수일자 : 2012. 05. 22

** 정희원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부

심사완료일자 : 2012. 07. 10

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.10.2137>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

능동 표적인식의 경우 기존의 시스템에서는 주로 단상태(monostatic) 소나를 이용한 표적의 탐지가 주로 이루어지며 이때 수신된 펄스 신호의 반향음만을 이용하여 표적을 인식하기에는 많은 어려움이 있다. 최근 들어 선박 및 잠수함 등의 저소음 운항기술 발달과 미래의 해전에서 전개될 네트워크 중심전 등을 대비해 선진국에서는 다중·다수의 수신 센서를 이용한 표적의 자동탐지, 추적 및 인식 기법에 대한 연구들을 장기적으로 활발하게 진행하고 있다[1-3]. 능동 표적인식과 관련하여 선진국에서는 이와 관련된 기초연구와 함께 기반 기술 확립을 위한 연구가 상당히 진행되고 있지만 국내에서는 아직 수중환경에서의 능동 표적인식에 관한 연구가 미미한 실정이다[4].

본 논문에서는 수중환경이라는 특성으로 인하여 관련 연구를 위한 실제 해상 데이터를 이용한 표본 수집이 어렵기 때문에 하이라이트 모델과 3차원 모델을 사용하여 표적신호를 합성하였다. 또한 합성된 표적신호의 분석을 위한 다양한 분석 툴을 제공하도록 하였으며, 표적신호의 식별을 위해서는 다중각도(Multi-aspect)에 기반한 HMM (Hidden Markov Model)을 사용하여 표적식별 결과를 확인할 수 있도록 하였다.

II. 능동소나 표적신호 합성

능동소나 표적신호 인식 연구의 가장 큰 문제점은 능동소나 표적신호의 분석 및 개발된 인식 기법의 검증을 위한 데이터 수집이 어렵다는 점이다. 짧은 시간의 반향음만을 이용하는 능동 표적인식의 경우 신호 분석 및 인식에 적합한 특징파라미터 추출을 위해 다양한 조건에서의 많은 데이터가 필수적이므로 다양한 표적 및 환경을 고려한 합성기법이 필요하다.

2.1. 표적신호 합성을 고려한 채널환경

능동소나 표적신호를 합성하기 위해서 그림 1과 같은 간단한 수중환경을 고려하였다. 소나는 단상태 또는 다중상태 소나 환경 모두를 고려 할 수 있으며 수신신호는 다중 경로 및 추후 잔향 환경을 고려하도록 하였다.

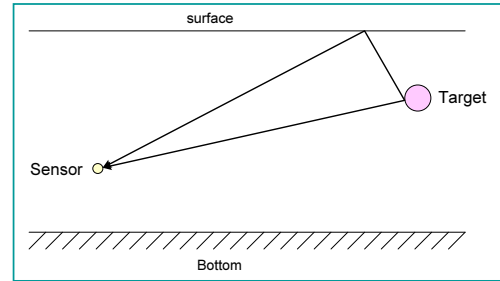


그림 1. 표적신호 합성을 위한 채널환경
Fig. 1 Channel environment for target signal synthesis

2.2. 하이라이트 모델을 이용한 표적신호 합성

하이라이트 모델을 이용하여 다중각도 상태 소나 신호 합성 환경을 가정하였다. 수심은 대략 300m로 가정하고 해수면 반사 및 해저면 반사 경로만 고려되어 있다. 각 표적은 4개의 3차원의 서로 다른 구조를 갖는 하이라이트 모델을 이용하여 생성하였다. 각각의 점은 하이라이트 위치를 나타내며 각 표적 하이라이트 모델의 상세한 좌표는 각각의 표에 함께 나타내었다. 송신된 신호는 각 하이라이트에서 전방향으로 반사하므로 인접 하이라이트와의 상관성은 고려하지 않았다. 신호 합성에는 음선 추적 기법을 이용하였다. 그림 2는 사용된 4가지 형태의 하이라이트 모델을 보여주고 있다.

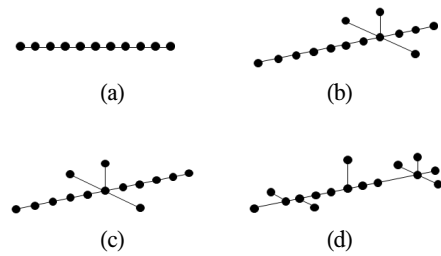


그림 2. 하이라이트 모델
(a) Type1 (b) Type2 (c) Type3 (d) Type4
Fig. 2 Highlight Model
(a) Type1 (b) Type2 (c) Type3 (d) Type4

2.2. 3차원 표적 모델을 이용한 표적신호 합성

3차원 입체 모델을 이용한 표적 신호를 합성하기 위해서 국방과학연구소에서 제공받은 표적신호 합성 프로그램을 이용하였다. 일반적인 상용 캐드(CAD) 프로그램을 이용하여 3차원 표적 모델을 생성하고 유한요소

해석 틀을 이용하여 재질 정보 및 전체 모델을 완성하도록 하였다. 또한 모델 분석 및 사용 시의 편의를 위한 통합 GUI를 제작하였다. 그림 3은 3차원 표적신호합성을 위한 GUI화면의 예를 보여주고 있다.

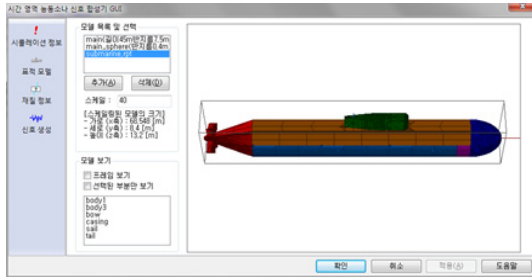


그림 3. 3차원 표적신호 합성을 위한 GUI
Fig. 3 GUI for 3D target signal synthesis

III. 능동소나 표적인식

능동소나 신호는 탐지하고자 하는 대상 및 거리에 따라 신호의 길이 및 중심주파수를 다르게 하여 CW (Continuous Wave) 또는 LFM(Linear Frequency Modulated wave) 신호를 방사한다. 표적으로부터 반사된 신호에서 특징인자를 추출하기 위해서는 시간, 주파수, 시간-주파수 영역등과 같은 다양한 영역에서의 분석 방법을 필요로 한다. 본 논문에서는 표적인식을 위한 특징추출로 MP(Matching pursuit) 기법[5]과 정준상관분석(Canonical Correlation Analysis; CCA)기법[6]을 사용하였으며, 인식을 위한 식별기로는 다중각도 환경에서의 HMM인식기를 사용하였다.

3.1. MP 기법을 이용한 특징추출

MP기법은 임의의 신호를 사전 D에 포함된 함수들의 선형 조합으로 분해하는 방법이다. 사전에 포함된 각각의 원소를 기저라고 하면 각각의 기저 가운데 가장 큰 정합도를 갖는 기저를 atom 이라고 한다. MP 기법은 주어진 신호로부터 반복적으로 atom 을 추출하고 이를 소거하여 신호를 분해하는 방법으로써 적절한 사전 집합을 선택하면 적은 수의 atom을 이용하여 신호를 근사화 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 chirp 신호 기반의 특징 추출 기법을 사용하였다.

3.2. 정준상관분석을 이용한 특징추출

정준상관분석은 두 변수군이 주어질 때 각 변수군의 선형결합 간의 상관(correlation)에 관심을 둔다. 이 상관을 가장 크게 하는 첫 번째 선형결합 짝을 찾고 다음으로 이 선형결합 짝과 상관관계가 없는 모든 짝들 가운데 가장 큰 상관을 가지는 두 번째 선형결합 짝을 찾는다. 이런 과정은 선형결합의 짝의 수가 크기가 가장 작은 변수군의 변수 수와 일치될 때까지 계속된다. 여기서 선형결합의 짝을 정준변수라 하고 그들의 상관을 정준상관(canonical correlations)이라 한다. 따라서 정준상관은 두 변수군 사이의 연관성의 정도를 나타낸다.

3.3. HMM을 이용한 표적인식

최근 HMM 기반의 Multi-aspect 표적 인식 기법이 제안되었는데[7], 본 연구에서는 합성 신호를 이용한 수중 표적 모의 인식 실험을 위해 이를 사용하였다. 초기 상태를 할당하기 위해서 모든 표적 특징벡터를 이용하여 벡터 양자화를 수행하여 코드북을 생성하고, 그런 다음 정보 이론적 접근 방법의 최적 상태 할당 알고리즘을 수행하였다. 이렇게 생성된 초기 HMM 모델들은 Baum-Welch 재추정 알고리즘을 이용하여 모델이 수렴할 때까지 훈련된다.

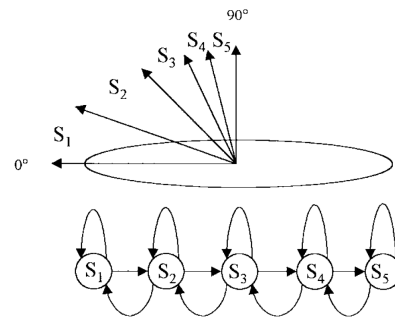


그림 4. Multi-aspect HMM의 구조
Fig. 4 Multi-aspect HMM Structure

그림 4는 Multi-aspect HMM 모델의 구조를 나타낸다. 전체적으로 실린더 형태의 표적의 자세각을 0도를 기준으로 90도 까지 5개의 상태를 갖는 HMM 모델로 설계하고 실린더 모델의 대칭성을 이용하여 90도에서 360도까지의 표적을 미리 훈련된 상태 천이 모델을 공유하여 사용하고 있다. 이러한 모델 설계 방식은 좌우가 대칭인 표

적의 경우 높은 인식 성능을 보이지만 좌우가 대칭이 아닌 일반적인 표적의 경우에는 적절하게 상대 천이가 이루어지지 않기 때문에 인식 성능이 떨어진다. 따라서 상대 천이 모델을 표적 자세각의 0~180도 부분으로 확장함으로써 일반적인 비대칭 표적에 대해서 보다 모델이 견고해 지도록 하였다.

IV. 시뮬레이터

구현된 시뮬레이터는 전체 능동소나 인식 과정을 순차적으로 보여주도록 구성하였으며, 개별적으로도 접근이 가능하도록 하였다.

4.1. Undersea Environment

Undersea Environment에서는 능동소나 표적인식에서 기본적으로 가정하고 있는 수중에서의 인식 환경을 설정할 수 있도록 하였다. 즉, 그림 5와 같이 Multi-aspect 환경에서 수중표적에서 산란된 신호를 수신하는 환경을 설정할 수 있도록 하였다. 산란된 신호를 수신하는 수신기의 각도를 설정하고, 수중표적이 이동함에 따라 활성화되는 센서를 표시하도록 구성하였다.

4.2. Sonar Signal Generation

Sonar Signal Generation에서는 능동소나 표적신호 인식에 사용되는 소나신호를 만들어 낼 수 있도록 구성하였다. 기본적으로 CW 신호와 LFM 신호를 만들어 낼 수 있도록 구성하였으며, 추후에 사용자가 임의로 정의한 신호를 만들어 낼 수 있는 기능을 추가할 예정이다. 만들어질 CW 신호와 LFM 신호는 샘플링주파수, 펄스 폭, 중심주파수, 대역폭 등을 조절할 수 있도록 구성하였으며, 합성된 소나신호의 분석을 위해 Spectrogram, Wigner-Ville distribution, Wavelet Scalogram 등을 살펴볼 수 있는 기능을 포함하고 있다.

4.3. 수중 표적 모델

능동소나 표적인식에 사용되는 표적모델은 4 종류의 하이라이트 모델과 3 종류의 3차원 합성표적모델을 사용한다. 그림 6은 능동소나 표적인식에 사용되는 3차원 합성표적모델의 예를 보여준다. 수중 표적모델은 향후 계속 추가될 예정이다.

4.4. 능동소나 표적 합성신호 분석

시간 및 주파수 영역에서 합성된 4 종류의 하이라이트 모델과 3 종류의 3차원 합성모델을 시각적으로 보여주고 분석할 수 있도록 구성하였다. Multi-aspect 환경에서 수중표적에서 산란된 수신된 합성신호를 수신 각도에 따라 다양하게 볼 수 있게 하였다. 그림 7은 3차원 합성모델 중에 잠수함 모델을 대상으로 하여, 10도의 각도 차이를 두고 0도에서 180도까지 수신기 위치를 변화시키면서 수신된 신호들을 보여주고 있다. 각각의 각도에서 수신된 신호는 시간 및 주파수 영역에서의 형상을 볼 수 있도록 구성하였으며, 다양한 분석 툴을 활용하여 신호를 분석할 수 있도록 구성하였다.

4.5. 수중표적 인식

합성된 4 종류의 하이라이트 모델과 3 종류의 3차원 합성모델을 대상으로 하여 3장에서 기술한 MP기법에 기반한 특징벡터를 추출하고, Multi-aspect HMM 인식기를 적용하여 인식결과를 보여줄 수 있도록 하였다. 그림 8은 하이라이트모델을 대상으로 하여 10개의 관측열을 이용하여 인식한 결과를 Log-Likelihood ratio 값으로 표시한 예를 보여주고 있으며, 그림 9는 백색잡음을 첨가한 다양한 SNR 환경에서 관측열의 수에 따른 표적인식 실험 결과를 보여주고 있다.

IV. 결 론

수중표적 인식에서는 표적의 형상/재질에 따른 수신 표적신호의 공간적인 정보를 특징인자로 추출하여 식별하고자 하는 특징추출하고, 표적신호의 수신 위치에 덜 민감한 특징파라미터 추출을 위해 다양한 신호처리 기법을 적용하는 연구가 수행되어왔다.

본 논문에서는 수중환경하에서 능동 표적신호를 합성, 특징추출 및 표적식별을 수행할 수 있는 시뮬레이터를 구현하였다. 수중환경이라는 특성으로 인한 표본 수집이 어려움 때문에 하이라이트 모델과 3차원 모델을 사용하여 표적신호를 합성하였으며, 합성된 표적신호의 분석을 위한 다양한 분석 툴을 제공하도록 하였다. 또한, 표적신호의 식별을 위해서는 Multi-aspect에 기반한 HMM을 사용하여 표적식별 결과를 확인할 수 있도록 하였다.

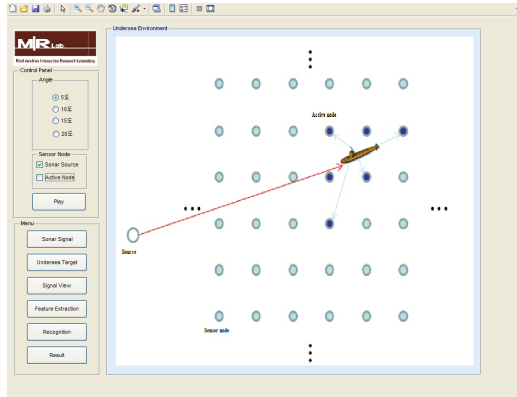


그림 5. Multi-aspect 수중환경
Fig. 5 Multi-aspect Underwater Environment

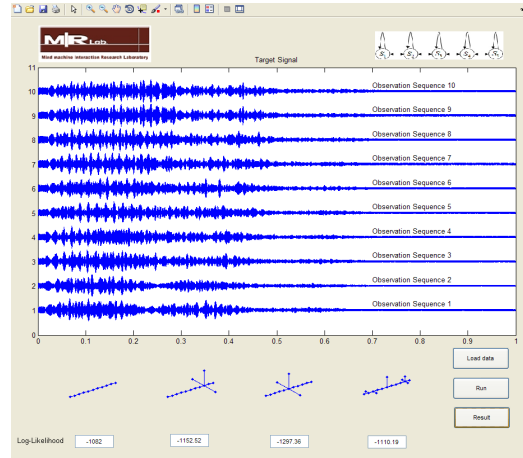


그림 8. 표적 인식결과
Fig. 8 Target Recognition Result

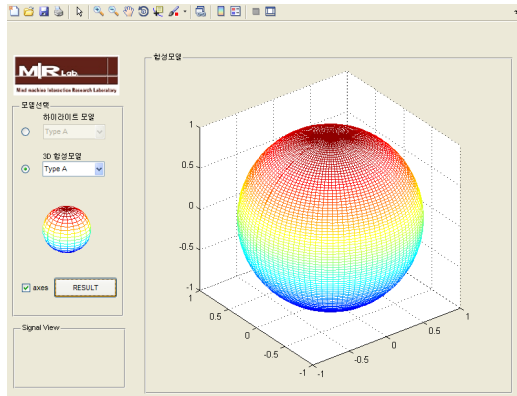


그림 6. 수중표적신호 모델
Fig. 6 Underwater Target Model

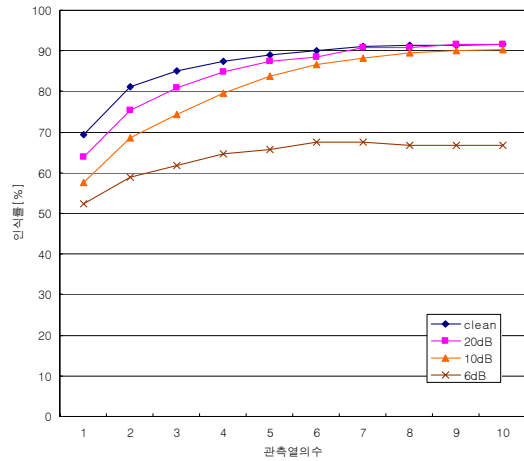


그림 9. 관측열에 따른 인식결과
Fig. 9 Recognition Result according to Observation Sequences

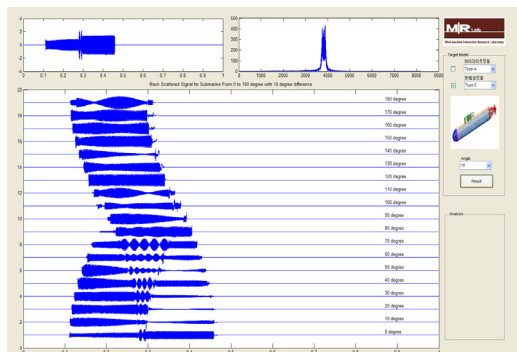


그림 7. 수신된 표적신호 분석
Fig. 7 Received Target Signal Analysis

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.
(계약번호: UD10002KD)

참고문헌

- [1] A. C. Coon, A. Ross, R. W. Chalmers, and P. C. Gallati, "The Extended Echo Ranging Aural and Visual Support Trainer," *Johns Hopkins APL Technical Digest*, vol. 18, no. 1, pp. 113-124, 1997.
- [2] A. C. Coon, "Spatial Correlation of Detections for Impulsive Echo Ranging Sonar," *Johns Hopkins APL Technical Digest*, vol. 18, no. 1, pp. 105-112, 1997.
- [3] C. A. Prins, N. Versteeg, P.C. Breen, D.G. Simons, J.D. Wilgenhof, J.J. Reijmers, E.L. Jansen and A.C. van Koersel, "A submerged remote sensing reconnaissance system," in *Proc. of UDT Europe 2008*, SECC, Glasgow, UK, June 10-12, 2008
- [4] 오원천, "수중 탐지 기술 발전 추세," 국방과학기술플러스, 국방과학연구소, vol. 28, 2007.
- [5] P. R. Runkle, L. Carin, L. Couchman, T. J. Yoder, and J. A. Bucaro, "Multiaspect Target Identification with Wave-Based Matched Pursuits and Continuous Hidden Markov Models," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 12, pp. 1371-1378, Dec. 1999.
- [6] A. Pezeshki, R. Azimi, and L. Scharf, "Undersea Target Classification Using Canonical Correlation Analysis," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 32, No. 4, 2007
- [7] P.R. Runkle, P.K. Bharadwaj, L. Couchman, and L. Carin, "Hidden Markov models for multiaspect target classification," *IEEE Trans. on Signal Pro.*, vol. 47, issue 7, pp. 2035-2040, July 1999.

저자소개



석종원(Jongwon Seok)

1995년 경북대학교
전자공학과(공학석사)
1999년 경북대학교
전자공학과(공학박사)

2004년~현재 창원대학교 정보통신공학과 부교수
※관심분야: 디지털신호처리, 수중음향신호처리,
패턴인식, 디지털콘텐츠보호관리



김태환(Taehwan Kim)

2008년 2월 경북대학교
전자공학과(공학석사)
2008년 3월~현재 경북대학원
전자공학과 박사 과정

※관심분야: 수중음향신호처리, 디지털신호처리,
음성신호처리, 패턴인식 등



배건성(Keunsung Bae)

1977년 2월 서울대학교 전자공학과
1979년 2월 한국과학기술원
전기및전자공학과
(공학석사)

1989년 5월 University of Florida(공학박사)
1979년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수
※관심분야: 음성신호처리, 디지털신호처리,
적응필터링, 웨이브렛 변환, 패턴인식,
수중음향신호처리 등