

논문 2008-45TC-12-22

천해환경에서 선-백색화 정합필터의 성능 분석

(Performance Analysis of the Pre-Whitening Matched Filter in Shallow Water Environment)

유석근*, 김정구**, 주언경***

(Seog Kun Yu, Jeong Goo Kim, and Eon Kyeong Joo)

요 약

천해 환경에서 정합필터와 LFM(linear frequency modulation) 펄스를 사용하는 능동소나의 탐지성능은 비백색잡음인 잔향에 의해 크게 저하될 수 있다. 이 경우 잔향의 영향을 줄이기 위해 일반적으로 정합필터에 선행하여 백색화 필터를 사용한다. 기존에는 탐지 블록과 선행 블록의 잔향이 통계적으로 정상성을 유지한다고 가정하고 선행 블록의 잔향 특성을 이용하여 탐지 블록의 잔향을 추정하고 백색화 하였다. 잔향의 정상성은 인접 블록 사이 뿐 만 아니라 좀 더 넓은 범위에서 유지될 수 있다. 이 경우 더 많은 인접 블록을 이용하면 탐지 블록의 잔향을 더 정밀하게 추정할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 실제 해안에서 획득한 잔향 신호를 분석하여 적절한 추정 블록의 범위를 구한다. 그리고 추정 블록의 범위에 따른 선-백색화 정합필터의 성능을 비교, 분석한다.

Abstract

In shallow water environment, the detection performance of an active sonar using matched filter with LFM(linear frequency modulation) pulse can be seriously degraded by reverberation which is considered as non-white noise. To reduce the effect of reverberation, a whitening filter preceding the matched filter is usually adopted. In the conventional pre-whitening filter, it is assumed that local stationarity is preserved between detection block and its right ahead block. And then by using the characteristics of the reverberation of preceding block, the reverberation of detection block is estimated and whitened. According to the environment of shallow water, the stationarity of reverberation may be preserved for more blocks. In this case, the reverberation of the detection block can be estimated more accurately if more blocks are used. In this paper, the real reverberation signal which is obtained from shallow sea is analyzed and its proper region of estimation block is examined. And the performance of pre-whitening matched filter is compared and analyzed according to the region of estimation block.

Keywords : 잔향, 능동소나, 잔향 추정범위, 백색화 필터, 탐지기

I. 서 론

능동소나를 사용한 수신신호에서 표적신호를 탐지하기 위해 일반적으로 정합필터가 사용된다. 정합필터는 가산성 백색잡음 환경에서 출력 첨두신호 전력대 평균

잡음전력이 최대가 되도록 설계된 최적의 탐지기이다^[1~2]. 그러나 잔향은 일반적인 잡음과 달리 능동 소나의 송신신호와 같은 스펙트럼 특성을 가진 비백색 잡음이다. 그리고 천해에서 능동소나를 운용하게 되면 낮은 수심 때문에 해표면과 해저면에 의해 발생된 잔향이 잡음의 주를 이룬다. 이 경우 잔향 산란자의 면적이 표적의 면적보다 크기 때문에 탐지하고자 하는 표적신호보다 잔향이 큰 강도를 가지게 되어 표적탐지에 많은 문제를 야기한다^[3~11]. 따라서 능동소나를 사용한 천해 환경에서 정합필터 탐지기의 성능을 개선시키기 위한 연구들이 진행되어져 왔다^[3~9]. 이들 중 수신신호의 잔향을 먼저 백색화 한 후 그 신호를 정합필터에 적용시키는

* 학생회원, *** 평생회원-교신저자,
경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

** 평생회원, 부산대학교 정보컴퓨터공학과
(Computer Science and Engineering,
Pusan National University)

접수일자: 2008년8월13일, 수정완료일: 2008년12월11일

선-백색화 정합필터^[5~9]를 사용한 탐지기법이 많이 연구되고 있다.

기존 선-백색화 정합필터에서는 탐지수행 블록의 잔향과 인접한 이전 블록인 추정 블록의 잔향 간에 정상성이 유지된다는 가정을 통해 탐지수행 블록에 적합한 AR(autoressive)-모델을 추정한다^[5~9,12]. 만약 좀 더 넓은 구간에서 잔향이 정상성 특징을 유지한다면 더 많은 잔향 정보를 이용하여 탐지수행 블록에 필요한 AR-모델의 추정 오차를 감소시킬 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 실제 천해 능동소나 수신신호를 사용하여 추정 블록의 범위를 변경하며 모의실험 과정을 수행한다. 모의실험 결과를 통해 AR-모델의 추정을 위한 적당한 추정 블록 범위를 획득한다. 그리고 표적탐지 모의실험 결과를 통해 기존 선-백색화 정합필터의 성능과 비교, 분석한다.

II. 선-백색화 탐지 기법과 향상 방안

백색화 필터는 일반적으로 잔향의 AR-모델을 이용하여 구현한다. 잔향은 비정상성 특성을 가지므로 잔향의 AR-모델을 추정하기는 힘들다. 그러므로 기존 탐지기법의 백색화 과정에서는 잔향이 지역적 정상성(local stationarity)^[3~6]을 가진다고 가정하여 백색화 필터구현에 필요한 AR-모델의 변수들을 추정한다^[5~9]. 지역적 정상성 가정을 사용하는 백색화 필터를 구현하기 위해서는 우선 수신 신호 $y(t)$ 를 N 개의 블록으로 나눈다^[5~6]. 만약 이전 블록인 k 번째 블록에 표적 신호가 포함되어 있지 않다면 지역적 정상성에 의해 $k+1$ 번째 블록의 잔향과 k 번째 블록의 잔향이 유사한 특성을 가진다. 그러므로 k 번째 블록을 이용하여 $k+1$ 번째 블록을 위한 AR-모델의 변수들을 추정한다. k 번째 블록의 추정된 AR-모델은 다음과 같이 표현할 수 있다^[5~9].

$$y_k(t) = - \sum_{j=1}^{\hat{p}_k} \hat{a}_k(j) y_k(t-j) + \epsilon_k(t) \quad (1)$$

여기서, $y_k(t)$ 는 k 번째 블록의 수신신호이며, $\hat{a}_k(j)$ 는 추정된 AR-모델의 j 번째 계수, \hat{p}_k 는 필터의 추정된 차수를 나타내며, 그리고 $\epsilon_k(t)$ 는 백색잡음을 나타낸다. 필터의 차수 \hat{p}_k 는 다음 식 (2)에 표현된 MDL (minimum description length) 기준(criterion)에 따라 선택된다^[7~8].

$$MDL(p_k) = n \ln(\hat{\sigma}_{wp}^2) + p_k \ln(n) \quad (2)$$

여기서 n 은 한 블록의 표본 수를 나타내며, $\hat{\sigma}_{wp}^2$ 는 p_k 번째 차수를 갖는 AR-모델의 $\epsilon_k(t)$ 의 분산을 나타낸다. 백색화 필터에 사용되는 차수는 MDL 식에 다양한 차수를 대입하여 그 식을 계산한 후 MDL 기준값을 최저로 하는 차수가 선택되게 된다^[3~6].

계수 $\hat{a}_k(j)$ 의 추정은 MDL 기준을 통해 선택된 차수를 이용하여 수정 공분산 기법을 통해 얻어진다. 이렇게 얻어진 AR-모델의 차수와 계수를 이용하여 백색화 필터의 전달함수를 얻을 수 있다. 얻어진 백색화 필터를 탐지수행 블록에 적용하면 탐지수행 블록의 잔향이 백색잡음으로 변한다. 따라서 백색잡음환경 하에서 정합필터를 이용한 탐지과정으로 간단하게 바뀐다. 그림 1은 기존 선-백색화 탐지 기법의 이와 같은 처리 과정을 흐름도로 표현한 것이다.^[5~9]

기존 잔향환경 탐지기에서 탐지성능에 가장 큰 영향을 주는 것은 백색화 필터이며 백색화 필터의 성능을 향상시키기 위해서는 잔향의 스펙트럼을 정확히 추정하여 AR-모델의 추정오차를 줄여야 한다.

지역적 정상성이 유지된다면 탐지성능은 지역적 정

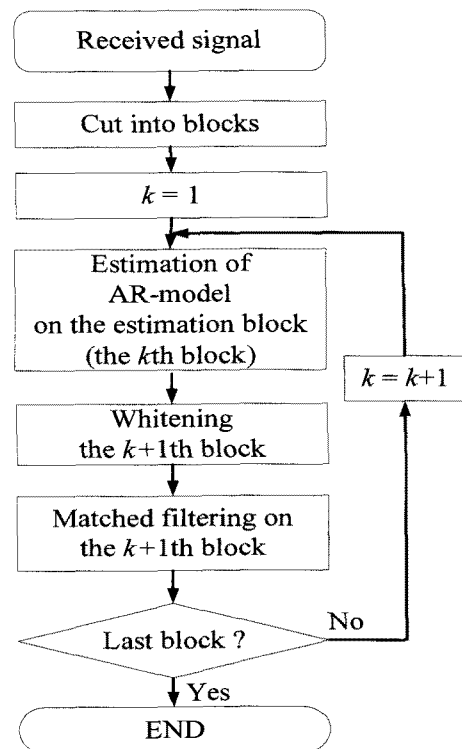


그림 1. 기존 선-백색화 정합필터의 흐름도.
Fig. 1. Flowchart of the conventional pre-whitening matched filter.

상성이 유지되는 범위 안에서는 추정 블록 개수를 늘리면 향상 될 것이다. 그러나 사용되는 추정 블록들이 탐지 수행블록과 멀어지면서 추정 블록과 탐지수행 블록 간의 유사성은 감소 될 것이다. 따라서 추정블록 개수가 증가 할수록 탐지성능의 향상 폭은 감소 될 것으로 사료된다. 그리고 탐지블록과 추정블록이 더 멀어져 블록들 사이에 정상성이 유지되지 않으면 탐지성능이 열화될 것이다. 또한 시간간지연과 복잡도는 추정 블록마다 동일한 계산량을 가질 것이므로 추정 블록의 개수에 따라 일정하게 늘어날 것이다.

III. 모의실험 결과 및 분석

중심주파수 7,400Hz, 대역폭이 600Hz 이며, 송신 길이가 50ms인 LFM펄스 신호^[14]를 능동소나의 송신신호로 사용했다. 이를 통해 실제 해상에서 획득한 실제 수신신호를 모의실험에 사용하였다. LFM 펄스 신호는 탐지 거리를 늘리기 위해 송신 신호 길이를 늘이더라도 탐지 정밀도를 좋게 유지 할 수 있는 장점이 있기 때문에 수중 탐지에 널리 사용된다^[14].

실제 해상에서 획득된 신호에는 표적이 포함되어 있지 않으며 잔향이 주변잡음보다 우세한 형태를 나타내고 있다. 수신된 신호는 31,250Hz의 표본화 주파수로 표본화 했다.

그림 2는 실제 해상에서 LFM 펄스를 이용한 능동소나를 통해 획득한 잔향 수신 신호와 모의 표적신호가 합성된 신호이다. 모의 표적신호는 구형 표적을 가정하여 송·수신기 사이의 직접 경로 수신신호를 모델로 했다. 그림에서 가로축은 시간, 세로축은 음파의

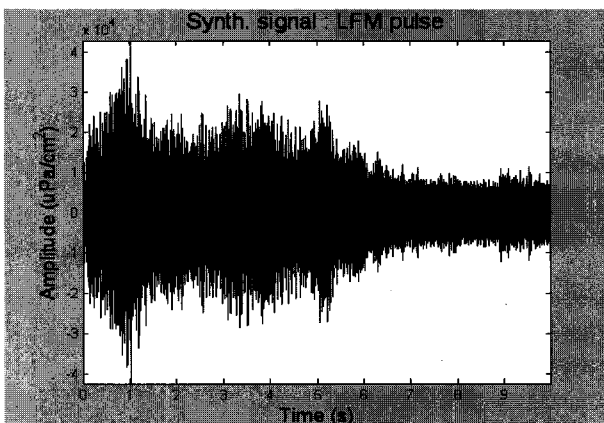


그림 2. LFM 수신신호.
Fig. 2. The received LFM pulse signal.

압력크기를 나타내며, 단위는 $\mu\text{P}/\text{cm}^2$ 이다. 모의 표적신호는 시간상으로 약 3.5초에 위치하며, 50Hz의 도플러 주파수를 갖는다. 이때 표적전력대 잔향전력비는 -6dB로 실제 환경과 유사하게 설정하였다^[3~7].

모의실험에서는 그림 2의 신호를 기저대역으로 옮긴 후 4,096Hz로 하향 표본화를 하고, 탐지 정밀도를 위해 합성신호를 블록 간에 2ms의 시간지연을 갖는 5000개의 겹쳐진 블록으로 나누었다. 이 때 한 블록의 길이는 송신신호 길이와 같다. 블록으로 나누어진 신호는 수신된 거리에 비례하여 전력 정규화를 수행하였다^[4].

그림 3은 탐지수행 블록과 겹치지 않는 이전의 블록만을 추정 블록으로 사용한 기존 선-백색화 정합필터^[7~8,10~13]의 결과이다.

탐지수행 블록과 겹치지 않는 이전블록을 추정 블록으로 사용하는 것은 탐지수행 블록과 추정 블록이 겹쳐 있다면 탐지수행 블록에 표적이 있을 때, 추정 블록에 의해 표적 역시 잔향으로 취급되어 백색화 될 수 있기 때문이다. 그림에서 x 축은 시간을 나타내며 y축은 도플러 주파수를 나타낸다. 그리고 z축은 탐지기의 출력을 전력값으로 나타냈다. 잔향 영향으로 발생된 침두전력들 보다 표적에 의한 침두전력이 작기 때문에 표적을 정확히 검출 하는 것은 어려운 것으로 판단된다. 백색화를 수행했지만 추정된 잔향 모델과 실제 잔향 간의 오차 때문에 잔향 영향이 제대로 제거 되지 않은 것으로 사료된다.

그림 4는 2개의 인접한 이전 블록을 추정 블록으로 사용한 선-백색화 정합필터의 결과로 기존 기법보다 많은 정보를 사용함으로써 추정 오차가 줄어든 결과를 나타낸다. 그림 3과 비교했을 때 잔향의 영향이 감소함을

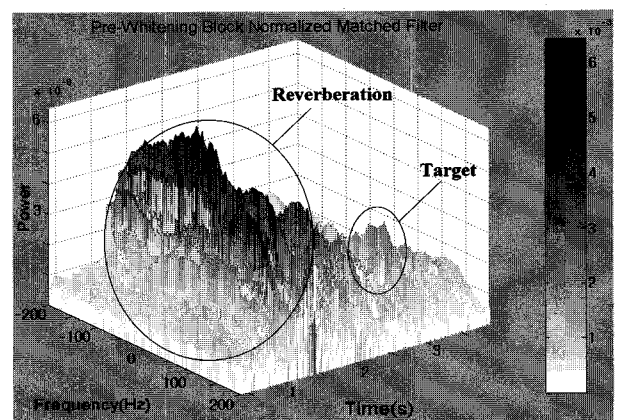


그림 3. 기존 선-백색화 블록정규화 정합필터의 출력.
Fig. 3. The output of the conventional pre-whitening block normalized matched filter.

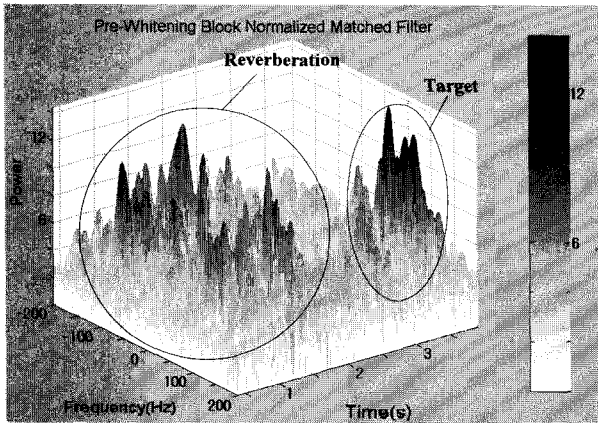


그림 4. 이전 2개의 추정블록을 사용한 경우.
Fig. 4. The output by 2 preceding estimation blocks.

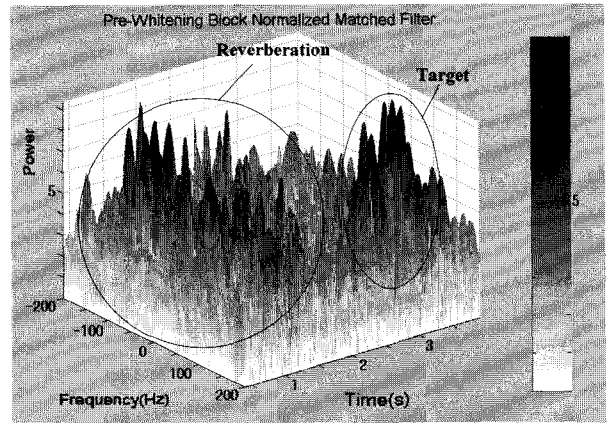


그림 7. 이전 5개의 추정블록을 사용한 경우.
Fig. 7. The output by 5 preceding estimation blocks.

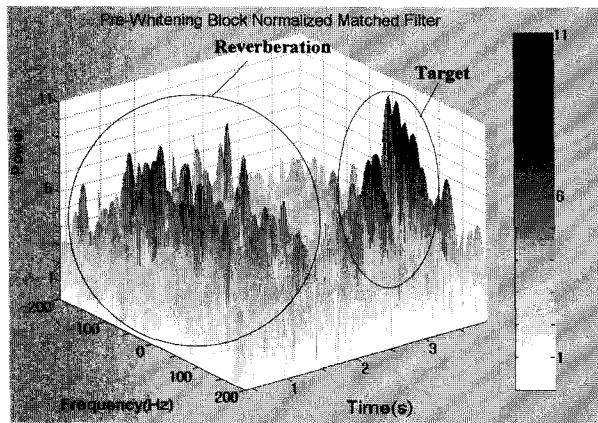


그림 5. 이전 3개의 추정블록을 사용한 경우.
Fig. 5. The output by 3 preceding estimation blocks.

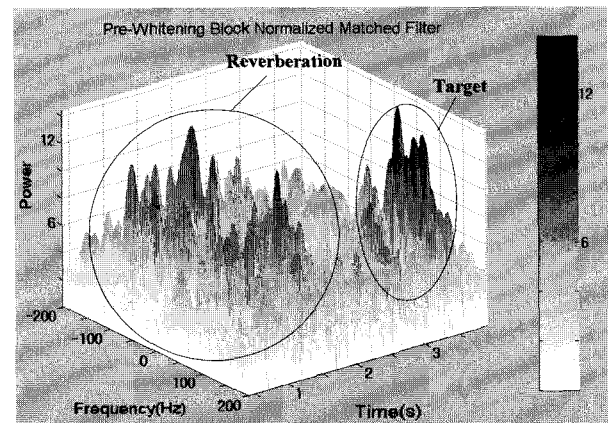


그림 8. 전·후 각 1개의 추정블록을 사용한 경우.
Fig. 8. The output by 1 preceding and 1 succeeding estimation block.

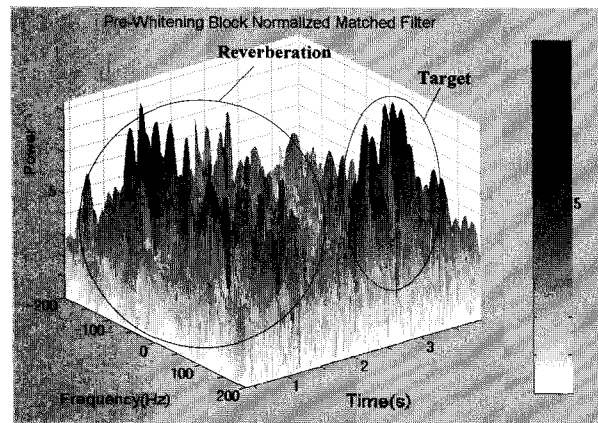


그림 6. 이전 4개의 추정블록을 사용한 경우.
Fig. 6. The output by 4 preceding estimation blocks.

확인 할 수 있다.

그림 5는 3개의 이전 블록을 추정 블록으로 사용한 경우의 결과이며, 그림 6은 4개의 이전 블록을 사용한 결과이다.

그림 5와 그림 6의 경우 더 많은 정보를 이용하였으나 그림 4와 결과가 거의 동일함을 알 수 있다. 이것은

앞서 예상한 것과 마찬가지로 추가로 사용한 3번째, 4번째 추정 블록과 탐지수행 블록 간의 거리가 멀어 신호간의 유사성이 떨어지기 때문에 더 많은 데이터를 사용하더라도 향상 폭이 크지 않은 것으로 사료된다.

그림 7은 5개의 이전 추정 블록을 사용한 선·백색화 정합필터 결과이다. 잔향의 영향이 그림 3~6의 경우보다 증가한 것으로 보인다. 그러므로 실험에 사용된 실제 해상 신호는 탐지수행 블록과 5개 이상 떨어지게 되면 정상성이 유지되지 않는다고 할 수 있다.

예상했던 것처럼 정상성이 유지되더라도 추정 블록이 탐지수행 블록과 멀어질수록 그 성능 향상 폭이 낮아지는 것을 모의실험을 통해 알 수 있다. 따라서 이전 블록뿐 만 아니라 탐지수행 이후 블록을 사용하면 정상성이 유지되는 추정 블록의 개수를 증가 시킬 수 있을 것이다. 이 경우 AR-모델 추정 오차가 줄어들어 탐지 성능이 향상 될 것으로 기대된다.

그림 8은 탐지수행 블록의 전·후 각 1개의 추정 블

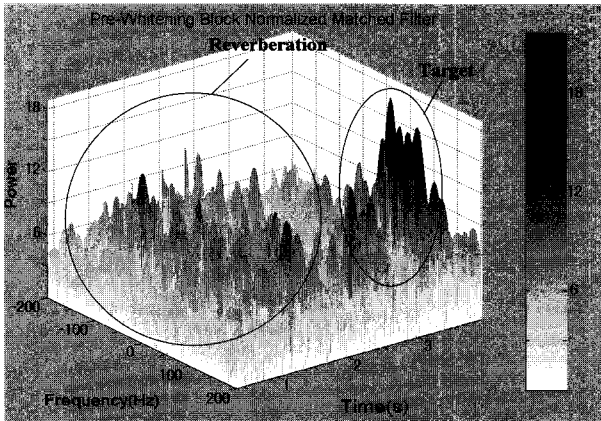


그림 9. 전·후 각 2개의 추정블록을 사용한 경우.
Fig. 9. The output by 2 preceding and 2 succeeding estimation blocks.

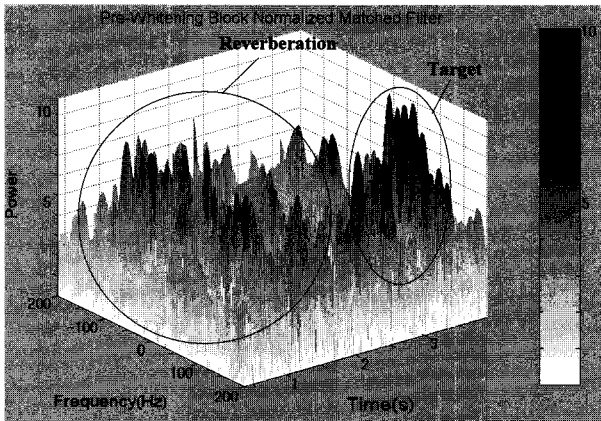


그림 10. 전·후 각 3개의 추정블록을 사용한 경우.
Fig. 10. The output by 3 preceding and 3 succeeding estimation blocks.

록을 사용한 경우로 인접한 2개의 이전 블록을 추정 블록으로 사용한 경우와 거의 유사한 성능을 나타낸다.

그림 9는 전·후 각 2개의 추정블록을 사용한 경우이다. 4개의 이전 블록만을 사용한 것보다 우수한 결과를 나타내고 있다. 이러한 이유는 추정 블록들이 이전 4개를 사용한 경우보다 탐지수행 블록에 가깝게 위치하므로 이전 4개의 추정 블록을 사용한 경우에 비해 탐지수행 블록과 좀 더 유사한 추정 블록만을 사용했기 때문이다.

그림 10은 전·후 각 3개의 추정 블록을 사용한 경우이다. 그림 9의 전·후 각 2개의 추정 블록을 사용한 경우에 비해 잔향에 의한 침투 전력들이 증가했음을 알 수 있다. 가장 앞의 추정 블록과 가장 뒤의 추정 블록 간에는 7개의 거리차이가 발생하여 추정 블록 간에 서로 다른 신호특성을 가지기 때문에 잔향 추정 오차가 증가된 것으로 사료된다.

각 그림에서 표적에 의한 침투전력을 제외한 나머지

침투전력들은 잔향의 영향에 의해 발생된 것이며, 잔향에 의해 발생된 침투전력들이 표적에 의해 발생된 침투전력 보다 크거나 유사하면 잘못된 위치의 침투전력을 표적으로 탐지 할 수 있다.

그림 3부터 그림 10까지의 결과를 살펴보면 선-백색화 필터에 의해 잔향의 영향이 많이 감소 될수록 탐지 성능 역시 향상되는 것을 알 수 있다. 잔향의 침투전력이 표적 침투전력의 1/2 보다 큰 경우에는 표적으로 오인 할 수 있으므로 이러한 잔향 침투를 유사침투로 정의한다. 다양한 추정 블록 길이를 사용한 백색화 필터의 성능을 알아보기 위해서 각 결과에서 유사침투의 개수를 구하고 아래와 같이 정의된 침투전력비를 구해 표 2에 나타냈다.

$$PPR = \frac{P_{target}}{\bar{P}_{pseudo}} \quad (3)$$

여기서 PPR(peak power ratio)는 침투전력비를 나타낸다. P_{target} 는 표적침투전력(peak power of target), 그리고 \bar{P}_{pseudo} 는 평균 유사침투전력을 나타낸다. PPR는 표적과 유사침투간의 차이를 나타내므로 그 값이 크면 클수록 잘못된 표적을 선택할 확률은 줄어든다.

표를 살펴보면 추정블록을 탐지블록 앞의 1개만 사용했을 경우 유사침투가 207개이며 PPR이 -0.40dB로 잘못된 표적이 선택될 확률이 상당히 큼을 알 수 있다. 2개 이상의 추정블록을 사용한 경우 유사침투의 개수가 많이 줄어들었고 PPR도 2dB 정도로 잘못된 표적을 선택할 확률이 크게 줄어든 것을 알 수 있다. 정상성이 유지되는 범위 안에서 추정 블록의 개수를 늘릴수록 정합필터를 이용한 탐지기의 성능은 향상된다. 이전 추정블록을 4개까지 사용했을 때는 유사침투의 개수도 점점 줄어들며 PPR은 점차 증가하고 있다. 추정블록의 범위를 이전 5개의 블록으로 한 경우 4개의 추정블록을 사용한 것 보다 유사침투의 개수가 오히려 늘어난 것을 확인 할 수 있다. 그러므로 본 수신 신호에서는 5개의 연속적으로 인접한 블록 간에는 정상성이 유지된다고 할 수 있다. 또한, 4개의 추정 블록을 사용하면서 탐지블록과 가장 가까운 추정 블록을 사용한 전·후 각 2개의 추정 블록을 사용한 경우 유사침투가 11개로 가장 적었으며 PPR도 2.29dB로 가장 컸다. 그리고 전·후 각 3개의 추정 블록을 사용한 경우에는 전·후 각 2개의 추정 블록을 사용한 경우보다 유사침투의 개수도 증가하고 PPR도 감소하여 백색화 필터의 성능이 열화 되

표 2. 추정블록의 개수에 따른 잔향영향 감소량.

Table 2. Reduction of the reverberation effect according to the number of the estimation blocks.

Number of estimation blocks		Number of pseudo peaks	PPR
preceding block	succeeding block		
1		207	-0.40 dB
2		32	2.00 dB
3		28	2.16 dB
4		28	2.18 dB
5		31	2.14 dB
1	1	27	2.18 dB
2	2	11	2.29 dB
3	3	33	2.14 dB

있음을 보이고 있다.

이 결과를 통해 예상했던 대로 정상성이 유지되는 범위 안에서는 되도록 많은 추정 블록을 사용 할수록 탐지 성능이 향상된 것을 알 수 있다. 또, 정상성이 유지되는 블록이라도 탐지수행 블록과 거리가 멀어질수록 탐지 성능의 향상 폭이 감소되는 것을 확인했다. 각각의 추정 블록과 탐지수행 블록 간에 거리를 줄여 되도록 탐지수행 블록과 가까운 추정 블록들을 사용하면 향상된 탐지 성능을 얻을 수 있다는 것 역시 확인되었다. 그러나 탐지수행 이후 블록을 추정 블록으로 사용할 경우 사용한 추정 블록의 길이만큼의 시간지연이 생긴다. 그러므로 탐지수행 이후 블록을 사용하더라도 시간지연이 탐지에 큰 영향을 주지 않는다면 탐지수행 블록 이전의 추정 블록만을 사용하는 것 보다는 탐지수행 블록 이후의 추정 블록도 함께 사용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

정합 필터를 탐지기로 사용할 경우 잔향 환경에서는 선-백색화 과정이 필요하다. 이러한 선-백색화 정합 필터는 백색화 필터가 탐지 성능에 많은 영향을 미친다. 백색화 필터의 성능은 AR-모델의 추정 정확도에 큰 영향을 받는다. 만약 지역적 정상성이 좀 더 넓은 범위에서도 유지 된다면 더 많은 잔향 정보를 통해 보다 정확한 AR-모델을 구성 할 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 천해 능동 소나 수신신호에서 모의실험을 통

해 지역적 정상성이 유지되는 범위가 바로 인접한 블록 뿐 만 아니라 좀 더 넓은 범위에서도 사용 가능하다는 것을 확인하였다. 탐지수행 블록 이전 블록만을 추정 블록으로 사용하면 탐지수행 블록과 인접한 4개의 추정 블록까지 정상성이 유지되었다. 하지만 추정 블록과 탐지수행 블록 간의 거리가 가까울수록 우수한 탐지 성능을 보였다. 따라서 시간 지연이 탐지에 큰 영향을 끼치지 않는다면 탐지수행 이전 블록 뿐 만 아니라 탐지수행 블록 이후의 블록을 동시에 AR-모델 추정에 사용하면 더 우수한 탐지기 성능을 얻을 수 있을 것이다.

앞으로 여러 해역의 다양한 수신 신호를 분석하여 해역마다 정상성이 유지되는 범위에 대한 데이터를 얻는다면 이를 바탕으로 기존 탐지기보다 우수한 성능의 선-백색화 정합필터 탐지기를 설계 할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] B. Sklar, *Digital Communications : Fundamentals and Applications*, 2nd ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001.
- [2] H. L. Van Trees, *Detection, Estimation and Modulation Theory*, Vol. III, Wiley, New York, 1968.
- [3] G. Ginolhac and G. Jourdain, "Principal component inverse algorithm for detection in the presence of reverberation," *Proc. IEEE OCEANS 2002*, Copenhagen, Denmark, vol. 27, pp. 310-321, Apr. 2002.
- [4] V. Carmillet, P. O. Amblard, and G. Jourdain, "Detection of phase- or frequency-modulated signals in reverberation noise," *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 105, no. 6, pp. 3375-3389, June 1999.
- [5] G. Ginolhac and G. Jourdain, "Detection in presence of reverberation," *MTS/IEEE Conf. OCEANS 2000*, Providence, RI, vol. 2, pp. 1043-1046, Sep. 2000.
- [6] V. Carmillet and G. Jourdain, "Wideband sonar detection in reverberation using autoregressive models," *Proc. IEEE OCEANS'96*, Fort Lauderdale, FL, vol. 3, pp. 1435-1440, Sep. 1996.
- [7] V. Carmillet and G. Jourdain, "Low-speed targets sonar detection using autoregressive models in reverberation: experimental performance for wide band signals," *Proc. IEEE OCEANS'98*, Nice, France, vol. 3, pp. 1285-1289, 28 Sept.- 1 Oct. 1998.
- [8] S. Kay and J. Salisbury, "Improved active sonar detection using autoregressive pre-whitening,"

- J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 87, no. 4, pp. 1603-1611, Apr. 1990.
- [9] R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1983.
- [10] P. C. Etter, *Underwater Acoustic Modeling*, 2nd ed., E&FN SPON, London, 1996.
- [11] S. Kay, *Modern Spectral Estimation : Theory and Application*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1988.
- [12] N. Lofgren, K. Lindecrantz, A. Flisberg, R. Bagenholm, I. Kjellmer, and M. Thordstein, "Spectral distance for ARMA models applied to electroencephalogram for early detection of hypoxia," *J. Neural Eng.*, no. 3, pp227-234, July, 2006.
- [13] T. Collins and P. Atkins, "Doppler-sensitive active sonar pulse designs for reverberation processing," *Proc. IEE Radar, Sonar and Navigation*, vol. 145, pp. 347-353, Dec. 1998.

 저 자 소 개



유 석 근(학생회원)
 2004년 경북대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2007년 경북대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 <주관심분야 : 채널코딩, 변/복조,
 신호탐지>

주 언 경(평생회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 39권 TC편 제 11호 참조



김 정 구(평생회원)
 1988년 경북대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1991년 경북대학교 전자공학과
 석사 졸업
 1995년 경북대학교 전자공학과
 박사 졸업

1995년~2005년 국립밀양대학교 정보통신공학과
 부교수
 2006년~현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수
 <주관심분야 : 부호이론, 통신시스템, 방송전송기
 술>