

분산센서망 수중표적 탐지를 위한 근사 FFT 기법의 적용 연구

Application of Approximate FFT Method for Target Detection in Distributed Sensor Network

최 병 웅*, 류 창 수**, 권 범 수*, 홍 순 목*, 이 균 경*
(Byung-Woong Choi*, Chang-Soo Ryu**, Bum-Soo Kwon*, Sun-Mog Hong*, Kyun-Kyung Lee*)

*경북대학교 전자전기컴퓨터학부, **영남이공대학 전자정보계열
(접수일자: 2008년 1월 4일; 수정일자: 2008년 2월 21일; 채택일자: 2008년 3월 25일)

일반적인 수중표적 탐지 기법에서는 표적의 도플러를 추정하기 위해서 수신된 신호를 Short-time FFT (STFT)하는 기법이 적용되고 있다. 본 논문에서는 효율적인 신호처리 기법이 요구되는 분산센서망에서 수중표적 탐지를 위해 기존의 FFT 기법 대신 연산량을 줄일 수 있는 근사 FFT 기법 (approximate FFT)을 이용한 효율적인 신호처리 기법을 적용한 탐지기법을 제안한다. 제안한 기법에서는 수신된 신호를 일정한 단계로 양자화하여 각 양자화 단계에서 동일한 FFT 출력을 가지도록 함으로써 연산량을 감소시켰다. 그리고 능동 소나 표적 탐지 기법 및 실제 해상 실험 데이터에 제안한 알고리즘을 적용하여 기존의 FFT 기반 신호처리와의 성능 및 연산량을 비교하였다.

핵심용어: 분산 센서망, 근사 FFT, 능동 소나, FFT 기반 탐지기

투고분야: 수중음향 분야 (5.6)

General underwater target detection methods adopt short-time FFT for estimate target doppler. This paper proposes the efficient target detection method, instead of conventional FFT, using approximate FFT for distributed sensor network target detection, which requires lighter computations. In the proposed method, we decrease computational rate of FFT by the quantization of received signal. For validation of the proposed method, experiment result which is applied to FFT based active sonar detector and real oceanic data is presented.

Keywords: Distributed sensor network, Approximate FFT, Active sonar, FFT based detector

ASK subject classification: Underwater acoustics (5.6)

I. 서론

분산센서망 수중표적 탐지는 여러 개의 센서노드 (sensor node)를 특정 해역에 분산 설치하여 표적을 탐지하는 개념으로써, 무선통신을 통해 각 센서노드의 표적 정보를 공유함으로써 기존의 단일 플랫폼을 이용하는 것에 비해 보다 광범위한 탐지범위를 가진다 [1]. 이러한 표적 정보의 공유를 위해 각 센서노드에서는 표적의 탐지를 위한 신호처리뿐만 아니라 통신을 위한 신호의 송/수신 과정 또한 필요하다. 이러한 일련의 처리를 제대로 수행하기 위해서는 많은 양의 전력 (power)의 공급이 필요하다. 그러나 분산되어 있는 개별 센서노드에서는 탐지 및

통신과정에 필요한 전력을 무제한 공급할 수 없는 어려움이 있으므로 소모 전력의 적절한 감소방안이 필요하다. 표적 탐지에 있어서 신호처리의 과도한 연산량은 탐지 소요시간뿐 아니라 소모 전력측면에서도 주된 성능 저하 요인 중 하나이다.

신호처리의 연산량을 감소하는 방법에는 여러 가지 기법들이 제안된 바 있으며, 능동 소나 신호처리에 적합한 방법으로는 최근의 근사 FFT (approximate FFT) 기법을 이용하여 기존 FFT의 연산량을 감소하는 기법이 있다 [2]. 따라서 본 논문에서는 기존의 능동 소나 표적 탐지에서 사용되고 있는 FFT 기반 신호처리기법의 연산량 감소를 위해 근사 FFT 기법을 이용한 표적 탐지기법을 분석하고 이를 실제 해상 실험 데이터에 적용하여 그 성능의 유지 및 연산량 감소효과를 확인하였다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 2장에서는 근사 FFT 기법에 대해서 설명을 하고 3장에서는 능동 소나 표적 탐지 기법 및 실제 해상실험 데이터를 이용한 모의 실험 결과를 제시하고 4장에서 결론을 맺는다.

II. 근사 FFT 기법

수신신호 $x(n)$ 에 대한 일반적인 FFT 기법은 다음의 식 (1)과 같이 표현된다.

$$X_m(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)w(m-n)e^{-j2\pi kn/N} \quad (1)$$

여기서 $w(n)$ 은 창함수 (window function)이다.

식 (1)에서와 같이 일반적인 FFT 기법의 경우 특정한 주파수 응답을 획득하기 위해 시간영역 신호 $x(n)$ 의 모든 샘플 (samples)에 대해서 곱 (\times) 연산과 합 ($+$) 연산을 수행한다. 근사 FFT 기법은 이러한 연산 중 곱 연산을 줄이기 위한 하나의 방안으로써 수신신호의 샘플 중 가장 크기가 큰 샘플이 A 의 크기를 가진다고 할 때, 수신된 신호의 샘플을 A 로 정규화 한 후, 0, -1 그리고 1의 3단계로 양자화하여 모든 시간 샘플에서 곱 연산을 감소할 수 있다. 그림 1에 근사 FFT를 위한 수신신호의 정규화 및 양자화 개념을 나타내었다. 이와 같은 과정을 수행함으로써 각각의 신호 샘플들은 3가지 값만을 가지게 되며 식 (2), (3)과 같은 과정을 통해 주파수 응답을 계산할 수 있다.

$$X_{approx}(k) = \sum_{n=1}^N \tilde{x}[n]e^{-j2\pi kn/N} = \sum_{n=1}^N c[n] \quad (2)$$

$$c[n] = \begin{cases} e^{-j2\pi kn/N} & \text{for } \tilde{x}[n] > 1/3 \\ -e^{-j2\pi kn/N} & \text{for } \tilde{x}[n] < -1/3 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (3)$$

where, $\tilde{x}[n] = x[n]/A$

식 (1)에서 나타낸 기존의 FFT 기법에 비해 근사 FFT 기법은 식 (2), (3)에서 나타난 바와 같이 신호를 0 또는 ± 1 로 양자화하여 기존의 곱 연산을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 각 양자화 단계의 값만으로 주파수 응답을 나타낼 수 있기 때문에 반복적인 연산을 감소할 수 있다.

그림 2는 단일 주파수 신호의 주파수 응답을 기존의

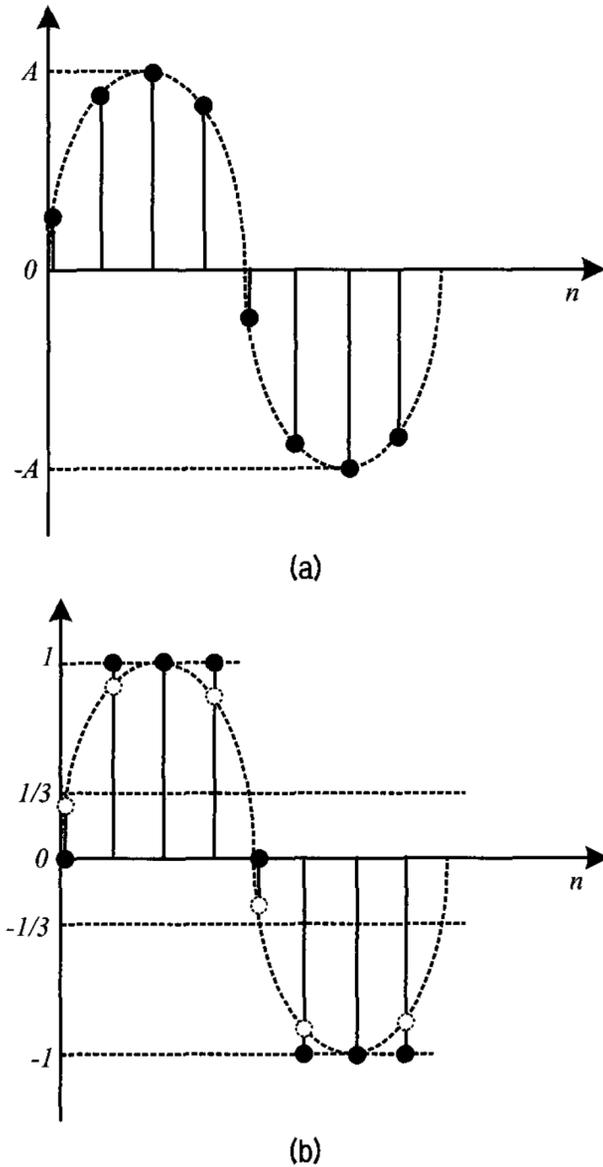


그림 1. 근사 FFT를 위한 신호의 양자화 (a) 수신 신호 (b) 정규화 및 양자화된 신호

Fig. 1. Signal quantization for approximate FFT (a) Received signal (b) Normalized and quantized signal.

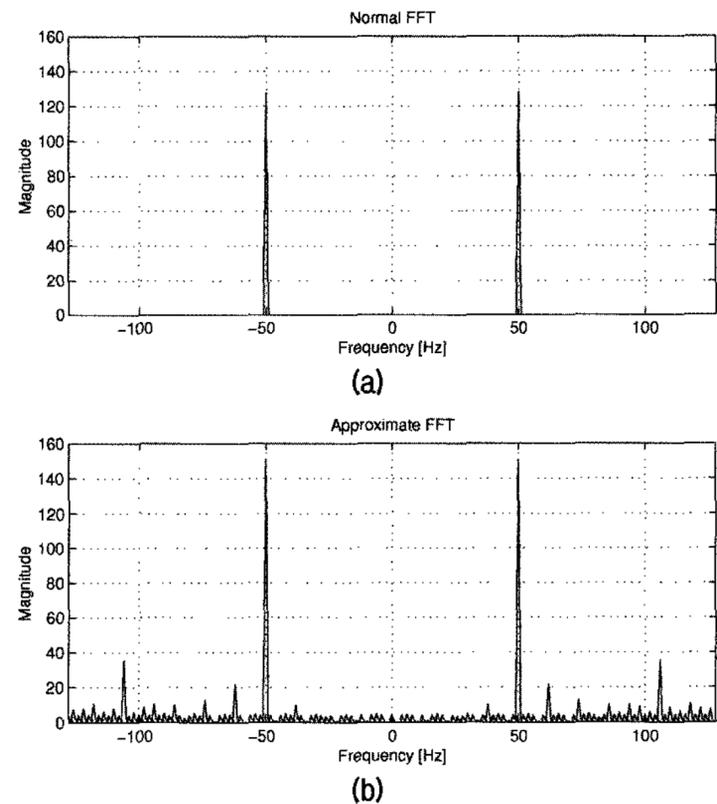


그림 2. 단일 주파수 신호의 주파수 응답 (a) 기존의 FFT 기법 (521,477 flops) (b) 근사 FFT 기법 (130,816 flops)
Fig. 2. Frequency response of sinusoidal signal (a) Conventional FFT (521,477 flops) (b) Approximate FFT (130,816 flops).

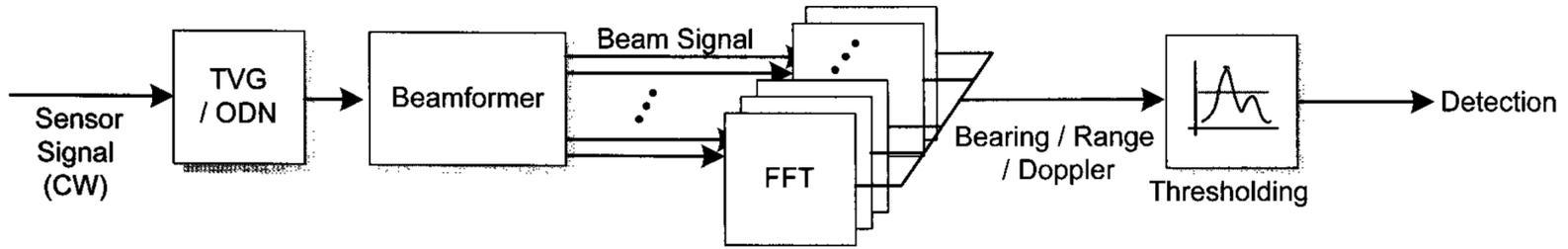


그림 3. FFT 기반 능동 소나 탐지기의 블록선도
 Fig. 3. Block diagram of FFT based active sonar detector.

FFT 및 근사 FFT 기법을 이용하여 나타낸 것이다. 신호의 주파수는 50 Hz이고 신호의 진폭(amplitude)은 1, 샘플링 주파수는 256 Hz이다. 나타낸 결과는 1초 신호를 256-FFT 한 것이다. 그림 2와 함께 나타낸 연산량은 Matlab 프로그램에서 제공하는 'flops' 명령어를 통해 획득한 연산량이다 [3]. 그림 2 (b)의 근사 FFT 기법의 주파수 응답에서는 신호의 양자화로 인한 오차로 인해 다른 주파수 성분에 의한 간섭 현상을 볼 수 있으나, 신호의 주파수인 50 Hz 성분을 비교적 잘 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 또한 연산량 측면에서는 근사 FFT 기법이 130,816 flops이며 기존의 FFT 기법이 521,477 flops로 근사 FFT 기법의 연산량이 기존 기법의 연산량을 75% 정도 감소 시킨 효과가 있음을 확인할 수 있다.

III. 실험 및 결과 분석

3.1. 탐지 성능 분석

소나 탐지 환경에서 근사 FFT 기법의 성능을 분석하기 위해 근사 FFT 기법을 그림 3에 나타낸 FFT기반 능동 소나 탐지기에 적용하여 모의 실험을 수행하였다. FFT 기반 능동 소나 탐지기는 능동 소나에서 CW 신호를 송신하여 표적을 탐지할 때 수신된 빔신호를 FFT 하여 표적의 거리 및 도플러 변이를 추정하는 탐지기이다 [4]. 모의 실험에서는 이론적 탐지 성능 분석을 위해 백색 잡음 환경 하에서의 표적 반사신호를 탐지하도록 설정하였으며 기존의 FFT 및 근사 FFT를 능동 소나의 FFT 기반 탐지기에 적용하여 탐지 성능을 분석하였다. 송신신호는 중심 주파수 1000 Hz, 신호길이 100 msec의 CW 신호를 사용하였으며 표적은 자함으로부터 400 m 떨어진 거리에 위치해 있다고 가정하였다. 신호는 기저대역으로 이동하여 1250 Hz로 다운샘플링 하였다. FFT 기반 탐지기에서는 128-FFT를 통해 표적의 시간-도플러 정보를 제공한다. 그림 4는 기존의 FFT 및 근사 FFT를 적용한 능동 소나 탐지기에서 동일한 문턱값을 적용한 탐지 결과 (시간-도플러) 와 연산량을 나타낸 것이다. 그림 4 (b)의 근사 FFT

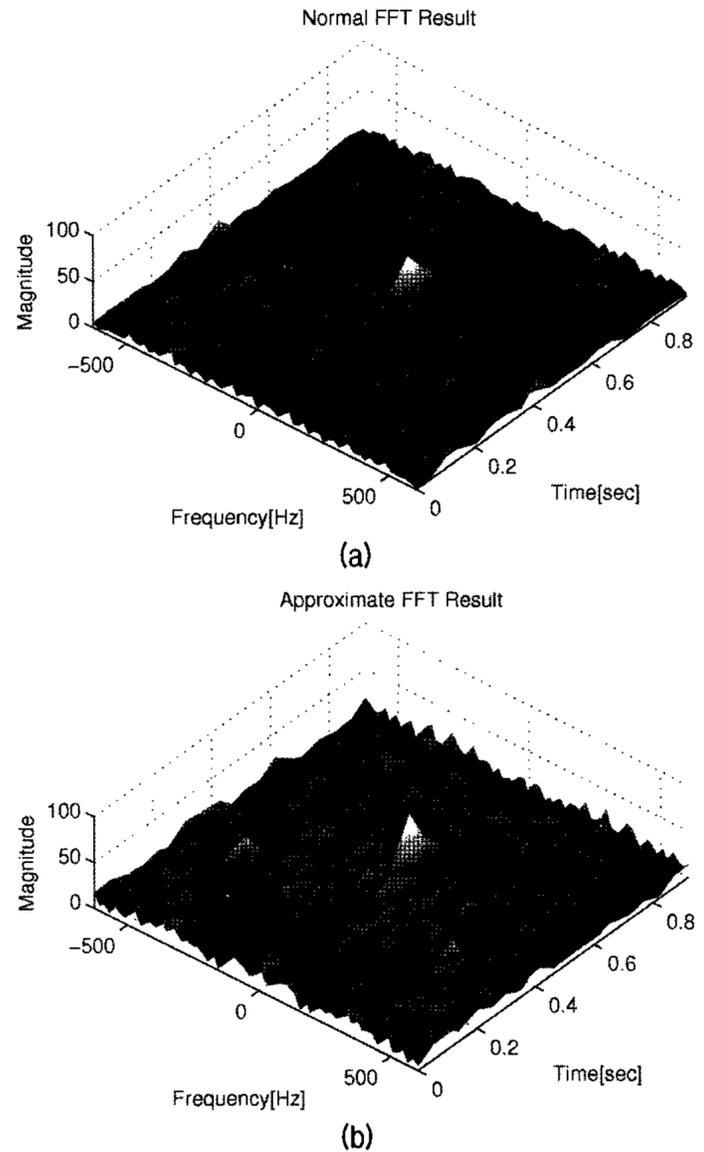


그림 4. 표적 탐지 결과 (a) 기존의 FFT 기법 (23,078,464 flops) (b) 근사 FFT 기법 (16,884,864 flops)
 Fig. 4. Target detection results (a) Conventional FFT (23,078,464 flops) (b) Approximate FFT (16,884,864 flops).

의 경우 신호의 양자화로 인해 다른 주파수 성분의 간섭 현상이 발생하게 된다. 따라서 기존의 FFT의 결과인 그림 4 (a)와 비교해 볼 때 실제 표적이 나타내는 값 이외의 다른 값 (false alarm)들이 비교적 증가하였으나 표적으로 인한 침투값이 여전히 가장 두드러진 값을 가짐을 확인할 수 있다. 또한 연산량 측면에서는 근사 FFT 기법이 16,884,864 flops를 나타내어 기존의 FFT 기법이 나타낸 23,078,464 flops에 비해 약 26.9% 정도 감소한 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 동일한 모의 실험 환경 하에서 50회의 몬테-카를로 (Monte-Calro) 수행을 통해 얻은 탐지 특성 곡선 (ROC curves)이다. 기존의 FFT 기법 및

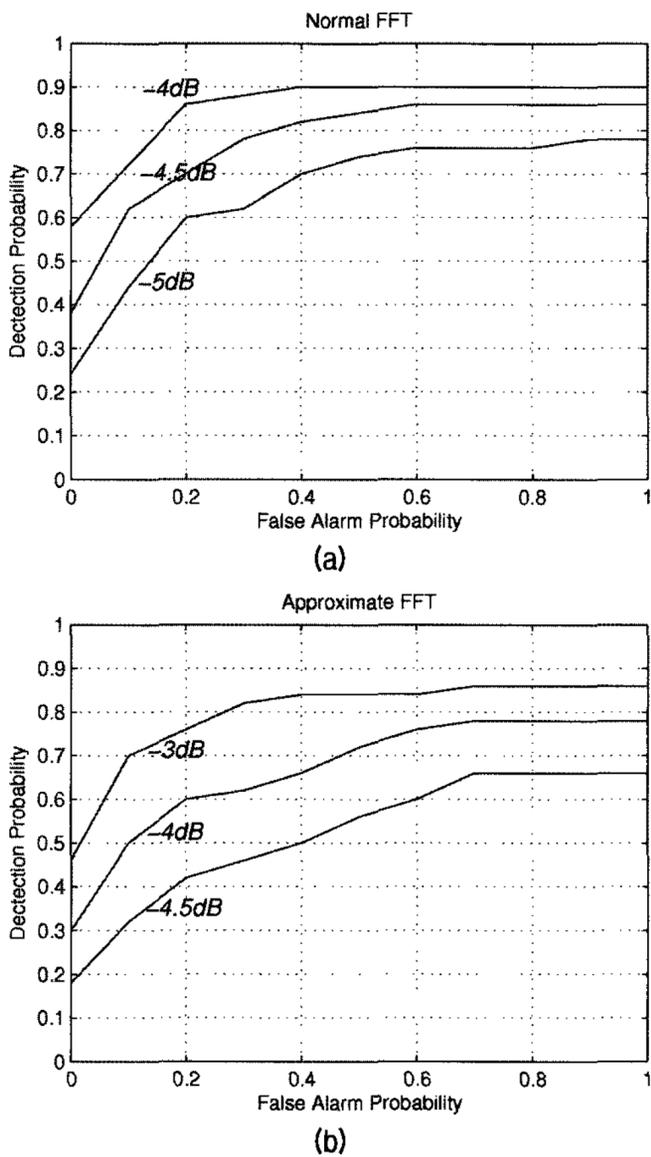


그림 5. 탐지 특성 곡선 (a) 기존의 FFT 기법 (b) 근사 FFT 기법
 Fig. 5. Experimental ROC curves (a) Conventional FFT (b) Approximate FFT.

근사 FFT 기법 모두 동일한 그래프 양상을 나타내고 있으나 신호대 잡음비 (SNR)에 따라 상이한 탐지 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 이는 그림 2 및 그림 4에서 나타난 바와 같이 근사 FFT 기법에서의 거짓 침투값 (false alarm)에 의한 것으로 신호대 잡음비의 향상 및 문턱값의 적절한 설정에 따라 기존의 FFT 기법과 동일한 성능향상을 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

3.2. 실제 해상 실험 데이터에의 적용

잔향환경 및 실제 소나 운용환경에서의 기존의 FFT 기법 및 근사 FFT 기법의 성능 및 연산량의 분석을 위해 위의 기법들을 실제 해상 실험 데이터에 적용하여 실험을 수행하였다. 실험 환경은 그림 6에 나타난 바와 같이 자함의 선저 고정형 소나 (HMS)를 이용하여 표적을 탐지하는 상황이다. 수신된 신호를 이용하여 빔형성 과정을 수행하고 빔 신호로부터 FFT 기반 탐지기법을 이용하여 표적을 탐지한다. 모의 실험에서는 표적이 자함으로부터 3000 m 떨어진 거리에 위치하고 있으며 4 knots의 속도로 기동하고 있다. 실제 해상 실험을 통해 획득한 잔향 신호

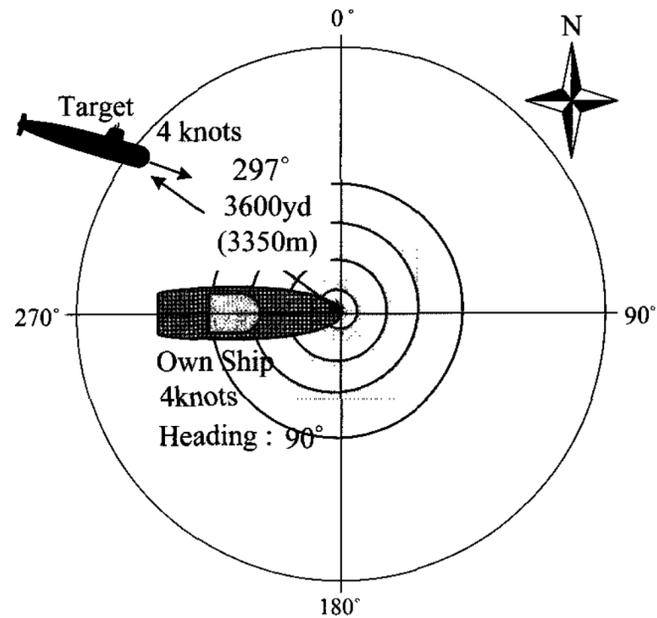


그림 6. 해상 실험 환경
 Fig. 6. Description of oceanic experiment.

를 사용하였으며, 표적 신호는 해양 환경을 고려하여 합성한 후 실제 잔향 신호에 첨가 하였다. CW 신호를 송신하였으며 송신신호의 길이는 50 msec이다. 수신단에서 A/D 변환기의 샘플링 주파수는 31250 Hz이다. HMS는 64개의 stave로 구성되어 있으며 시간 지연-합 빔형성 과정을 통해 64개의 빔 신호를 획득한다 [4]. FFT 기반 탐지기는 수신된 빔 신호를 기저대역으로 이동한 후 데시메이션 과정을 거치며 이때의 데시메이션 후의 샘플링 주파수는 1250 Hz이다. FFT 기반 탐지기에서는 펄스길 이만큼의 빔 신호로부터 64-FFT를 통해 표적의 시간-도플러 정보를 제공한다.

그림 7은 기존의 FFT 및 근사 FFT를 해상 실험 데이터에 적용한 결과이다. 잔향은 송신신호가 표적 외의 산란체로부터 반사되는 신호이므로 송신신호와 그 특성이 매우 유사하다. 실험 결과에서 송신신호와 같은 주파수를 가지는 잔향들이 시간에 따라 지속적으로 유입되는 것을 확인할 수 있으며, 약 4.5초 정도에 표적의 도플러로 인해 약간의 주파수 변이를 가지는 침투값이 나타남을 확인할 수 있다. 그림 7 (a) 및 그림 7 (b)를 통해 두 기법의 결과가 유사함을 확인할 수 있다. 이는, 실제 능동 소나 환경의 경우 배경 잡음에 비해 잔향 신호 및 표적 반사신호 등의 단일 주파수 신호 성분이 더 두드러진 크기를 가지고 있으므로 앞 절에서 나타난 잡음 성분에 의한 탐지성능의 감소가 크지 않기 때문으로 판단된다. 연산량의 경우 기존의 15,180,648 flops에 비해 근사 FFT 기법이 11,182,654 flops를 나타내어 약 26.4%정도 연산량을 감소한 것으로 나타났다. 근사 FFT 기법의 연산량은 단일 주파수 성분의 신호를 양자화할 때 '0'의 값으로 양자화되는 비율에 따라 그 감소 정도가 달라지며, 또한 신호의 크기를

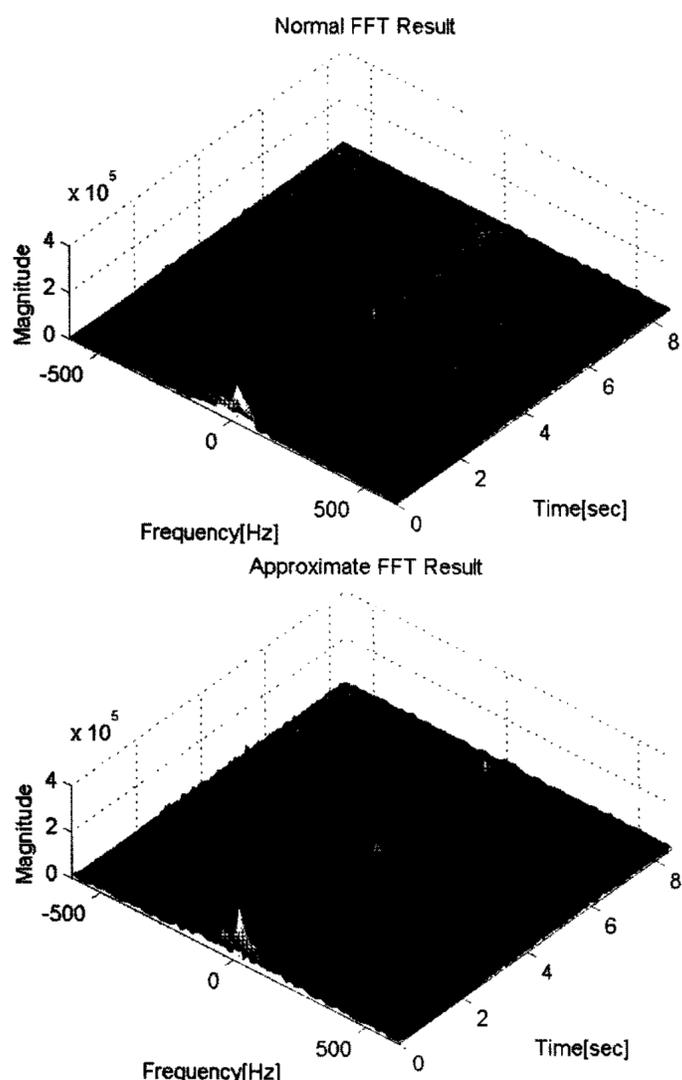


그림 7. 해상 실험 데이터 적용 결과 (a) 기존의 FFT 기법 (15, 180,648 flops) (b) 근사 FFT 기법 (11,182,654 flops)
 Fig. 7. Oceanic data application results (a) Conventional FFT (15,180,648 flops) (b) Approximate FFT (11, 182,654 flops).

정규화 해야하는 과정이 필요하다. 따라서 3.1 및 3.2의 모의실험의 경우 신호의 크기를 정규화하는 과정을 포함한 연산량을 나타낸 것이므로 그림 2에서의 연산량 감소율에 비해 적은 감소율을 보이고 있으나, 여전히 기존의 FFT 기법에 비해서는 연산량 측면의 우월성을 보유하고 있다고 판단된다.

IV. 결론

본 논문에서는 근사 FFT 기법을 이용하여 분산센서망 표적 탐지에 적합한 적은 연산량의 신호처리 기법을 기존의 FFT 기반 표적 탐지 기법에 적용하여 기존의 기법과 성능 및 연산량을 비교 분석하였다. 기존의 탐지 기법 및 실제 해상 데이터에의 적용 결과 근사 FFT 기법은 기존 기법의 표적 탐지 성능을 비교적 유사하게 유지하면서도 연산량에서는 약 26~27% 정도의 절감효과를 나타내어 추후 낮은 연산량을 요구하는 분산 센서망 표적 탐지에 효율적으로 적용할 수 있을 것이라 기대한다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다. (계약번호 UDO70054AD)

참고 문헌

1. J. R. Benedict Jr., "Future underwater warfare perspectives," *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 21(2), 269-279, 2000.
2. S. Nawab and E. Dorken, "Efficient STFT approximation using a quantization and differencing method," *ICASSP 93 proceedings*, 587-590, April, 1993.
3. *MATLAB User's Guide*, (Mathworks, 1992).
4. R. O. Nielson, *Sonar Signal Processing, Chapter 5*, pp. 219-222, (Artech House, 1991).

저자 약력

• 최 병 웅 (Byung-Woong Choi)

한국음향학회지 제25권 제4호 참조

• 류 창 수 (Chang-Soo Ryu)



1992년 2월: 경북대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2002년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1994년 3월~1997년 12월: 국방과학연구소 연구원
 2002년 3월~현재: 영남이공대학 전자정보계열 조교수
 ※주관심분야: 수중음향신호처리, 분산센서망 표적 탐지, 표적탐지 및 추적

• 권 범 수 (Bum-Soo Kwon)



2004년 2월: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2006년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2006년 3월~현재: 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 ※주관심분야: 수중음향신호처리, 분산센서망 표적 탐지, 표적탐지 및 식별

• 홍 순 목 (Sun-Mog Hong)



1978년 2월: 한국항공대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
 1980년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
 1989년 8월: University of Michigan (공학박사)
 1995년 7월~1995년 8월: University of Michigan, Visiting Professor
 1999년 3월~2000년 2월: University of Melbourne, Research Fellow
 1981년 4월~현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수
 ※주관심분야: 표적탐지 및 추적, 분산센서망 표적 탐지

• 이 균 경 (Kyun-Kyung Lee)

한국음향학회지 제26권 제2호 참조