

# 누적처리기법을 이용한 능동표적식별 시스템의 실시간 구현

## Real-Time Implementation of Active Classification Using Cumulative Processing

박 규 태\*, 배 은 현\*\*, 이 균 경\*\*

(Gyu-Tae Park\*, Eun-Hyon Bae\*\*, Kyun-Kyung Lee\*\*)

\*넥스원퓨처주, \*\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부,

(접수일자: 2006년 10월 17일, 수정일자: 2007년 1월 19일, 채택일자: 2007년 2월 2일)

LFM 신호를 이용한 능동소나 신호처리에서는 Split-beam을 이용한 좌우 두 빔 사이의 상호상관관계를 측정함으로써 표적의 자세각과 길이 정보를 추정할 수 있다. 그러나 탐지된 원거리 표적의 정보를 추정하기 위해서는 고분해능의 방위각 및 거리 해상도가 요구된다. 이를 위해 나이퀴스트(Nyquist) 샘플링 주파수보다 높은 샘플링 주파수가 필요하므로, 일반적으로 보간기법을 이용하여 과도샘플링(over-sampling)을 해야 한다. 하지만 과도 샘플링된 좌우 빔신호를 이용하여 상호상관관계를 구할 경우, 요구되는 연산량과 메모리 용량이 일반적으로 상용 DSP 프로세서들의 처리용량과 내부 메모리 용량을 초과하게 되어 DSP를 이용한 실시간 구현이 어렵게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 누적처리기법을 이용한 Split-beam 처리 방법을 제안하였다. 제안한 기법의 성능을 모의실험을 통하여 검증하고, ADSP-TS101을 사용하여 실시간 시스템으로 구현하였다.

**핵심용어:** HMS, LFM, 표적식별, Split-beam, 누적처리

**투고분야:** 수중음향 분야 (5.6)

In active sonar system, aspect angle and length of a target can be estimated by calculating the cross-correlation between left and right split-beams of a LFM (Linear Frequency Modulated) signal. However, high-resolution performances in bearing and range are required to estimate the information of a remote target. Because a certain higher sampling frequency than the Nyquist sampling frequency is required in this performance, an over-sampling process through interpolation method should be required. However, real-time implementation of split-beam processing with over-sampled split-beam outputs on a COTS (commercial off-the-shelf) DSP platform limits its performance because of given throughput and memory capacity. This paper proposes a cumulative processing algorithm for split-beam processing to solve the problems. The performance of the proposed method was verified through some simulation tests. Also, the proposed method was implemented as a real-time system using an ADSP-TS101.

**Key words:** HMS, LFM, Classification, Split-beam, Cumulative processing

**ASK subject classification:** Underwater Acoustics (5.6)

### I. 서론

표적의 소음을 이용한 수동소나 시스템은 수동동작에 의한 은폐성, 협대역 신호분석에 의한 표적식별 기능 등의 많은 장점으로 인해 지난 20여년 동안 각국에서 성공적으로 사용되어 왔으나, 최근 잠수함기술의 발달로 인

하여 잠수함의 방사소음이 감소됨에 따라 수동소나의 탐지거리가 줄어들 가능성이 존재하게 되었다. 이에 대처하기 위해 최근에는 여러 가지 능동소나에 대한 연구와 개발이 시도되고 있으며, 대표적인 능동소나로는 HMS (Hull Mounted Sonar), VDS (Variable Depth Sonar), 능동형 TASS (Active TASS) 등이 있다 [1]. 이 중에서 HMS는 다른 예인 소나들이 배열센서에 의한 기동성 제약, 좌우구별의 모호성 등의 단점을 가지는데 비해 운용

책임저자: 이 균 경 (kklee@ee.knu.ac.kr)  
702-701 대구광역시 북구 산격동 1370 경북대학교 공과대학  
전자전기컴퓨터학부  
(전화: 053-950-5546; 팩스: 053-950-5505)

이 용이하다는 장점을 가지고 있어서 이를 이용한 능동 소나 시스템이 널리 이용되고 있다.

HMS를 이용한 능동소나 신호처리에서 일반적 Sum-beam 결과는 그림 1 (a)와 같이 빔폭이 센서구조에 따라 제한을 받게 되어 고분해능의 표적 식별이 어렵게 된다 [2]. 따라서 그림 1 (b)와 같이 좌우 Split-beam을 이용한 상호상관관계를 구하여 방위각 해상도를 증가시킴으로써 표적의 길이 (length)와 자세각 (aspect angle)의 식별을 수행한다 [3][4].

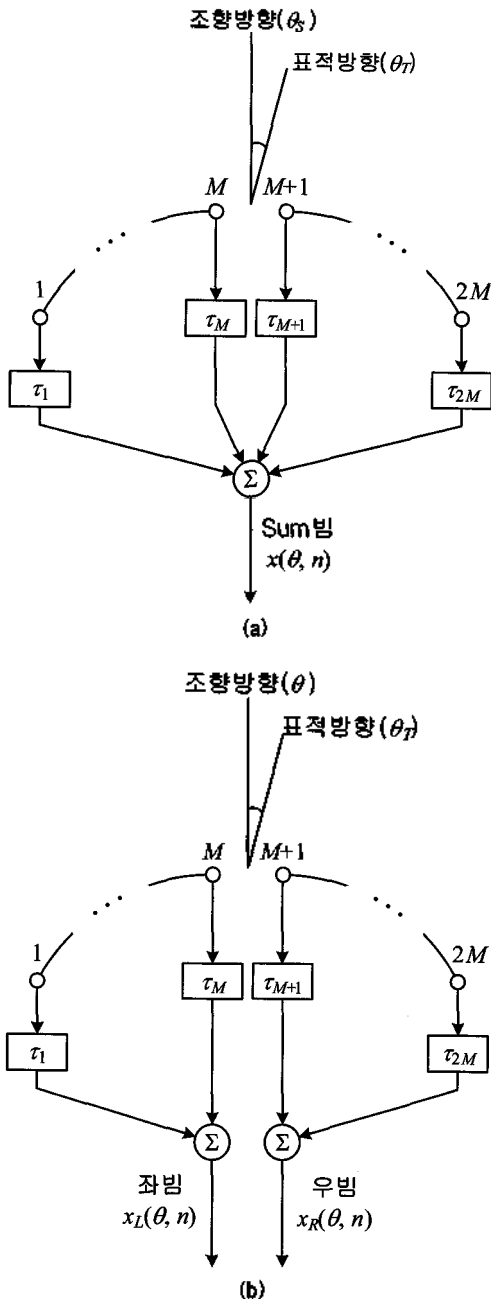


그림 1. HMS 시간영역 빔형성 (a) Sum 빔 (b) Split 빔  
 Fig. 1. Time-domain beamforming of HMS. (a) Sum-beam (b) Split-beam.

상호상관관계를 통한 Split-beam 처리의 방위각 해상도는 Split-beam 출력주기에 비례하므로 고분해능의 방위각 해상도를 얻기 위해서는 빔신호의 보간 (interpolation)이 필요하다. 그러나 보간에 따른 처리 데이터의 증가는 상호상관관계 계산시 필요한 연산량과 메모리 용량이 증가되는 문제점을 발생시킨다. 특히 상용DSP를 이용하여 실시간으로 Split-beam 처리를 구현할 경우, DSP의 처리용량과 내부 메모리 용량이 제한되어 있으므로 고분해능의 방위각 해상도를 얻기 위해 보간 배수를 높일 경우 DSP를 이용한 실시간 구현이 어렵게 된다. 따라서 본 논문에서는 상용DSP를 이용하여 고분해능 Split-beam 처리 구현시 요구되는 연산량과 메모리 용량 문제를 해결하기 위해 누적처리 기법을 이용한 Split-beam 처리 방법을 제안한다. 제안된 기법은 상호상관관계 계산시 송신펄스길이에 해당하는 Split-beam 출력 데이터를 이용하는 기존의 방법과는 달리 Split-beam 처리의 거리 해상도에 해당하는 데이터를 이용하여 상호상관관계를 누적 계산함으로써 기존의 방법이 가지는 연산량과 메모리 용량 문제를 해결한다 [3].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Split-beam 처리 설계 사양을 설명하고, 3장에서 기존의 일반적인 Split-beam 처리 기법과 그 문제점에 대하여 설명하고, 4장에서는 기존 방법의 문제점을 해결한 누적처리 기법을 이용한 Split-beam 처리 방법을 제안한다. 5장에서는 모의실험을 통하여 제안한 기법의 성능을 분석하고, 6장에서는 상용 DSP인 ADSP-TS101을 이용하여 제안한 기법을 실시간으로 구현한 다음 7장에서 결론을 맺는다.

## II. Split-beam 처리 설계 사양

일반적으로 원통형 센서 구조에서 Split-beam을 이용하여 표적의 길이와 자세각을 추정하는 방법은 그림 2와 같은 과정을 수행하게 되며 그 결과는 그림 3의 예제와 같이 가시화할 수 있다. 빔형성단에서 특정방향으로 지향된 Split-beam 신호를 형성하고 이를 이용하여 거리와 방위각에 따른 상호상관관계 출력을 구하게 된다. 상호상관관계 출력은 표적의 경우 표적의 하이라이트에 의해 주변보다 큰 상관관계 값을 갖는 측정치가 연속적으로 나타나게 되고, 배경잡음의 경우는 임의의 위치에 표적에 비해 낮은 상관관계 출력이 나타난다. 이 때 두 빔

사이의 상관관계 피크값을 나타내는 시간지연 정보로부터 고분해능의 방위각 정보를 거리에 따라 추정하고, 이를 이용하여 표적의 자세각과 길이 정보를 추정한다.

전체  $N$ 개의 센서 중 조향 방향을 기준으로 좌우  $M$ 개의 센서를 이용하여 Split-beam을 형성하는 경우, 최소 방위각 편차  $\Delta\theta$ 는 식 (1)과 같다 [5].

$$\Delta\theta = \frac{\alpha_0 c M T_s}{4R[\sin(M\alpha_0/2)]^2} \quad (1)$$

여기서  $\alpha_0 = \frac{2\pi}{N}$ 는 인접 센서사이 방위간격이고,  $c$ 는 음속,  $T_s$ 는 샘플링주기,  $R$ 은 원통형 센서의 반지름이다. 식 (1)에서 Split-beam 처리시 최소 방위각 편차는 샘플링 주기에 비례함을 알 수 있다. 따라서 고분해능의 방위각 해상도를 얻기 위해서는 Nyquist 샘플링 주파수보다 높은 샘플링 주파수를 요구하게 되고, 이를 위해서는 빔 신호의 보간이 필요하게 된다.

보간된 빔 신호를 이용한 Split-beam 처리를 실시간 시스템으로 구현할 때 설계 사양은 다음과 같다. Split-beam 처리를 위하여 사용할 능동 펄스는 중심주파수 ( $f_0$ )가 7,400 Hz이고 대역폭이 400 Hz인 LFM 신호를

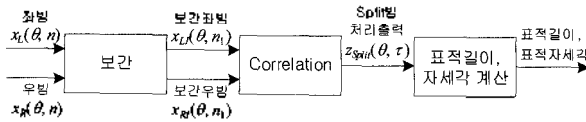


그림 2. Split-beam 처리를 이용한 표적의 길이 및 자세각 추정과정  
Fig. 2. Process of estimating a target's length and aspect angle through Split-beam processing.

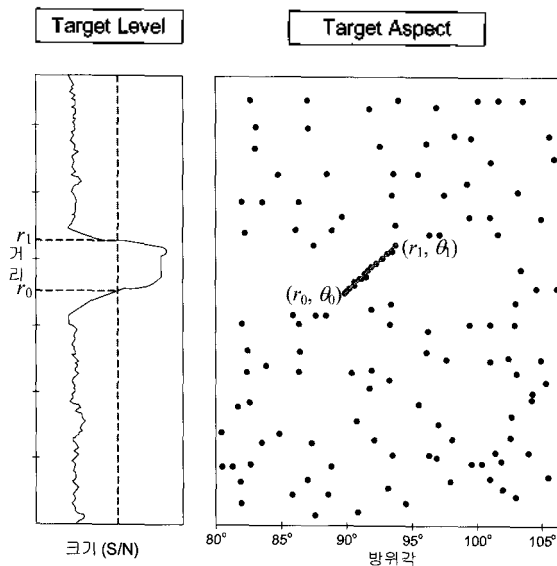


그림 3. 표적의 길이 및 자세각 추정의 예  
Fig. 3. Example of a target's estimated length and aspect angle.

표 1. ADSP-TS101 주요 사양  
Table 1. Key features of ADSP-TS101.

사 양	내 용	비 고
클럭 스피드	300 MHz (3.3 ns Instruction Cycle Rate)	출력주기 내 허용 사이클 수 : 960,000 cycles / 3.2 msec
내부 메모리 용량	6M Bits of Internal-On-Chip-SRAM Memory	허용 메모리 용량 : 768 k byte

사용하고, 송신신호의 송신신호의 펄스 길이를 50msec로 설정한다. 표적탐지를 위한 HMS 센서는 64 스테이브에 3링 구조로 설정하고 3링 데이터를 평균하여 방위각 방향으로만 Sum-beam 128빔과 Split-beam 좌, 우 각각 64빔을 형성한다. 이 때 센서의 반지름은 0.94m로 설정하고 빔형성시 사용한 센서 개수는 조향빔 방향을 기준으로  $\pm 60$ 도에 해당하는 좌우 11개 센서, 총 22개 센서를 사용한다. 샘플링 주파수는 31,250Hz로 설정하고, Split-beam 처리를 위한 보간배수는 32배, 출력주기는 3.2msec로 설정하여 Split-beam 처리시 방위각 해상도가 0.00934도, 거리해상도가 2.4m가 되게 설정한다. 이때 보간배수에 따른 각 빔당 상호상관관계 출력 개수 ( $N_{Delay}$ )는 64이다.

Ehud와 Anthony 에 따르면, 협대역에서의 시간 지연만 다른 두 LFM 신호의 상관관계 값은  $2\pi/\omega_0$ 의 준-주기 (quasi-periodic)를 갖는다 [6]. 여기서  $\omega_0 = 2\pi f_0$ 는 중심 주파수를 나타낸다. 본 설계사양에 따른 LFM 신호의 준-주기에 해당하는 시간을 방위각으로 나타내면, 약 8.6도에 해당하며 준-주기에 해당하는 방위각마다 가상의 표적이 나타나게 된다. 따라서 본 논문에서는 각 빔 별로 조향빔을 중심으로 인접 센서 사이 방위간격에 해당하는 방위각에 대해서만 Split-beam 처리를 수행하여 가상 표적에 의한 모호성을 배제하고, 표적방위각 좌우 2빔씩 총 5빔에 대해서만 Split-beam 처리를 수행한다.

실시간 시스템 구현을 위하여 신호처리 시스템은 최근 소나 신호처리에서 널리 쓰이는 Analog Device사의 ADSP-TS101 DSP프로세서를 선정한다. ADSP-TS101 DSP프로세서의 연산에 관련된 주요 사양은 표 1과 같다.

표 1에서 6M bit의 내부 메모리는 M0, M1 그리고 M2의 2M bit짜리 메모리 블록 3개로 구성되어 있다. 따라서 하나의 변수는 2M bit 즉 256K byte를 넘어서지 않는 것이 좋다. 또한 3개의 메모리 블록 중 하나를 프로그램 코드 메모리로 사용할 경우, 한 개의 DSP 칩당 데이터가 차지할 수 있는 총 요구 메모리 용량이 4M bit 즉 512K byte를 넘지 않도록 설계하여야 한다.

### III. 기존의 Split-beam 처리

그림 4는 일반적으로 사용되는 보간된 좌우 빔신호를 이용하여 상호상관관계를 구하는 과정이다 [3]. 여기서  $T_s$ 는 샘플링 주기,  $m$ 은 보간배수,  $\tau_{out}$ 은 Split-beam 처리 거리 해상도에 따른 출력주기,  $D_{in} = \tau_{out}mf_s$ 는 출력주기 내 데이터 개수,  $T$ 는 송신신호의 펄스 길이, 그리고  $L_{in} = Tmf_s$ 는 보간된 송신신호의 펄스길이에 따른 펄스 샘플 개수이며,  $f_s$ 는 샘플링 주파수이다. Split-beam 처리 출력으로 주어지는 상호상관관계 출력은 식 (2)와 같다.

$$z_{Split}(\theta, \tau) = \frac{1}{L_{in}} \sum_{n=0}^{L_{in}-1} x_{Ll}(\theta, n)x_{Rl}(\theta, n + \tau) \quad (2)$$

여기서  $x_{Ll}(\theta, n)$ 와  $x_{Rl}(\theta, n)$ 는 각각  $\theta$ 방향의 보간된 좌빔 신호와 우빔 신호이며,  $\tau$ 는 상호상관관계 계산을 위한 시간지연에 해당하는 샘플 개수이다.

그림 4와 같은 방법으로 Split-beam 처리하는 경우 연산량과 요구 메모리 용량을 수식과 설계 사양에 따른 예를 들어 나타내면 표 2와 같다. 여기서  $N_{Beam}$ 은 Split-beam 처리 빔개수로써 설계사양에 의해 5개이다. 그리고 메모리 용량 계산시 1 word를 4 byte로 계산하였고, 연산량 계산시 곱셈연산과 덧셈연산은 각각 1 cycle로 계산한다.

표 1과 표 2에서 설계 사양에 따른 기존의 기법의 요구 메모리 용량은 한 개의 DSP 프로세서의 허용 메모리 용량의 약 3배를 차지하고, 요구 연산량은 허용 연산량의 약 33배임을 볼 수 있다. 따라서 주어진 설계 사양에

표 2. 연산량과 메모리 용량 (기존의 기법)

Table 2. Computational load and used memory amount (conventional algorithm).

구분	내용	일례	
메모리 용량	보간 좌빔	$N_{Beam}L_{in}$	2,001,280 byte
	보간 우빔	$N_{Beam}L_{in}$	
	상관관계 출력	$N_{Beam}N_{Delay}$	
연산량	$N_{Beam}N_{Delay}L_{in}$ $N_{Beam}N_{Delay}(L_{in}-1)$	곱셈연산 + 덧셈연산	31,999,680 cycles

따라 기존의 기법으로 시스템을 구현할 경우 최소 33개의 DSP 프로세서가 필요하다는 것을 알 수 있다. 하지만 이렇게 33개의 프로세서를 사용하여 각각의 프로세서에 일을 나누어 할당할 경우 데이터의 입출력 및 취합 경로를 설계하기가 어려운 단점이 있다. 또한 기존의 처리 방법의 요구 메모리 용량은 펄스 길이와 보간배수가 증가하면 이에 비례하여 증가하고, 연산량도 보간배수가 증가하면 펄스 데이터 길이와 빔 당 상호상관관계 출력 개수가 비례하여 증가하기 때문에 결국 제공에 비례하여 증가함을 볼 수 있다. 따라서 기존의 방법은 보간배수나 펄스 길이가 증가하면 일반적으로 상용 DSP 프로세서를 이용하여 실시간 시스템으로 구현하기가 어렵게 된다.

다음 장에서 기존 방법의 연산량과 메모리 용량 문제를 해결한 누적처리기법을 이용한 Split-beam 처리 기법을 제안하였다.

### IV. 누적처리기법을 이용한 Split-beam 처리

본 논문에서 제안하는 누적처리기법을 이용한 Split-beam 처리 기법을 이용하여 상호상관관계를 구하는 과

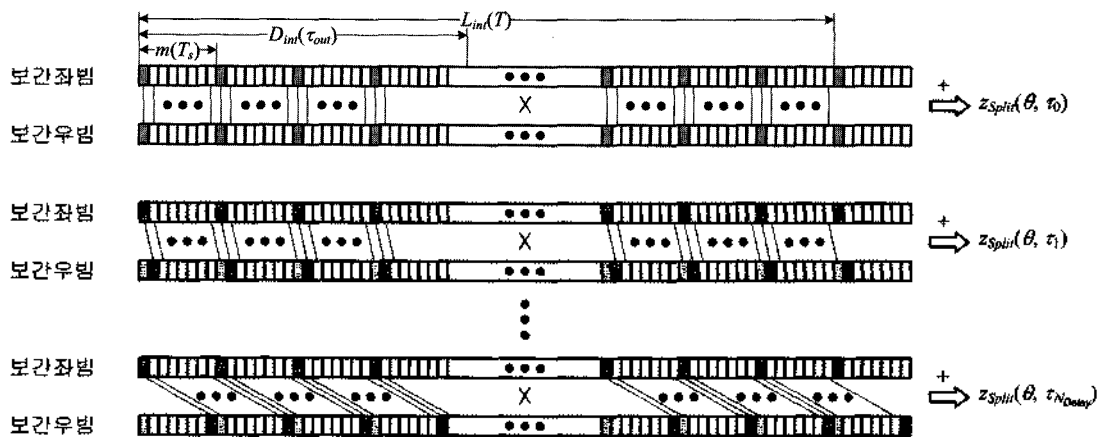


그림 4. 기존의 Split-beam 처리과정  
Fig. 4. Conventional Split-beam processing.

정은 그림 5와 같다. 여기서  $D = \tau_{out} f_s$ 는 출력주기  $\tau_{out}$ 에 따른 샘플 개수이며  $L = T f_s$ 은 보간하기 전 샘플링 주파수에 따른 펄스 샘플 개수,  $CorrMtrx(\theta, k, \tau)$ 는 상호상관관계 누적행렬이다. 그림 5에서 상관관계 누적행렬과 상호상관관계 출력  $z_{Split}(\theta, \tau)$ 은 각각 식 (3)과 식 (4)로 표현된다.

$$CorrMtrx(\theta, k, \tau) = \frac{1}{D} \sum_{n=0}^{L-D} x_{r_1}(\theta, kD+n) x_{r_2}^*(\theta, kD+n+\tau), \quad k=0,1,2,\dots,(L/D-1) \quad (3)$$

$$z_{Split}(\theta, \tau) = \frac{D}{L} \sum_{k=0}^{L/D-1} CorrMtrx(\theta, k, \tau) \quad (4)$$

제안된 기법의 핵심은 아래와 같이 크게 두 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 보간된 데이터 전체를 이용하여 상호상관관계를 계산하는 기존의 방법과는 달리, 우빔 데이터만 보간하고 보간된 우빔 데이터를 보간된 샘플링 주기  $T$ , 만큼 천이하면서 보간된 샘플링 주기로 데이터를 추출하여 좌빔 데이터와 상호상관관계를 계산하는 것이다. 이러한 방법은 샘플링 이론을 만족함으로써 표적식별 성능에는 기존의 방법과 유사하게 유지하면서 기존 방법보다 연산량 감소 효과를 가져온다.

둘째, 기존의 방법이 펄스 길이  $T$ 에 해당하는 데이터를 가지고  $T - \tau_{out}$  만큼 오버랩하면서 상호상관관계를 계산한 반면, 제안된 기법은 거리 해상도에 해당하는 출력 주기  $\tau_{out}$ 에 해당하는 데이터를 가지고 상호상관관계 누적행렬을 구한 다음 이를 이용하여 상호상관관계 출력을 계산하는 것이다. 이러한 방법은 펄스 길이에 해당하는 데이터를 메모리에 가지고 있을 필요가 없이 출력 주기에 해당하는 데이터와 상호상관관계 누적행렬만 메모리

표 3. 연산량과 메모리 용량 (제안한 기법)  
Table 3. Computational load and used memory amount (proposed algorithm).

구분	내용	일대	
메모리 용량	좌빔	$N_{Beam} D$	86,480 byte
	보간 우빔	$N_{Beam} D_{int}$	
	상관관계 누적행렬	$N_{Beam} N_{Delay} L / D$	
	상관관계 출력	$N_{Beam} N_{Delay}$	
연산량	$N_{Beam} N_{Delay} D$ 곱셈연산 + $N_{Beam} N_{Delay} [(D-1) + (L/D-1)]$ 덧셈연산	68,480 cycles	

에 가지고 있으면 되기 때문에 기존의 방법보다 요구하는 메모리 용량을 줄일 수 있다.

제안된 방법으로 Split-beam 처리하는 경우 연산량과 요구 메모리 용량을 수식과 설계사양에 따른 예를 들어 나타내면 표 3과 같다. 표 2와 비교해볼 때 제안된 기법은 기존의 기법에 비해 메모리 용량이 4.3%로 감소했고, 연산량이 0.2%로 감소한 것을 볼 수 있다.

### V. 모의 실험

본 논문에서 제안된 기법의 성능을 기존의 방법과 비교하기 위하여 모의 HMS 센서신호를 이용한 실험을 실시하였다. 모의 실험에서 표적은 그림 6과 같이 방위 60도, 거리 6000m 떨어진 곳에 자세각 45도를 유지하게 설정하고, 표적의 길이는 100m로 설정하였다. 표적의 하이라이트 구조는 그림 6 (b)와 같이 10m 간격으로 11개의 하이라이트 포인트를 가지도록 설정하였다. 그 외 모의 실험에 사용된 설정값들은 2장의 설계 사양과 동일하다.

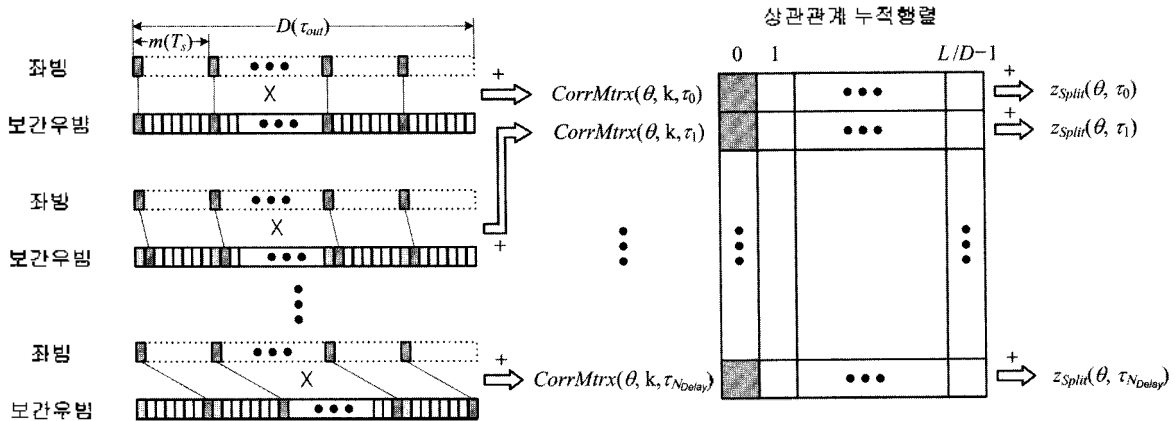


그림 5. 제안된 Split-beam 처리과정  
Fig. 5. Proposed Split-beam processing.

그림 7은 Sum-beam처리의 경우와 기존의 기법과 제안된 기법의 Split-beam 처리를 통한 표적 주위 상관관계 출력을 나타낸 것이다. 그림 7 (a)와 그림 7 (b)의 결과를 비교할 때 Sum-beam의 출력은 표적의 정보를 추정하기에는 해상도가 낮음을 알 수 있다. 그림 7 (b)와 그림 7 (c)의 결과를 비교하면 상관관계 출력이 육안으로 보기에 거의 동일하게 나온 것을 알 수 있다. 두 상관관계 출력의 정규화된 상호상관관계 계수를 구하면 0.995로서 두 결과가 동일함을 나타내는 값 1.0에 근접하게 구해진다. 따라서 두 기법은 거의 동일한 식별 성능을 가진다고 할 수 있다. 그림 8은 제안된 기법의 표적 주위 상관관계 출력을 포물선으로 나타내고 그 첨두치를 \* 로 표시하였다. 참고로 표적의 실제 하이리트 포인트를 ‘-’ 로 표시하여 추정된 Split-beam 처리 결과와 비교하였다. 그림 8에서 알 수 있듯이 제안된 기법에 의해 추정된 표적의 형태는 실제 설정한 표적의 하이리트 분포와 육안으로 보기에 유사함을 알 수 있다. 추정된 표적의 형태로부터 표적의 길이와 자세각 정보를 추출할 수 있다.

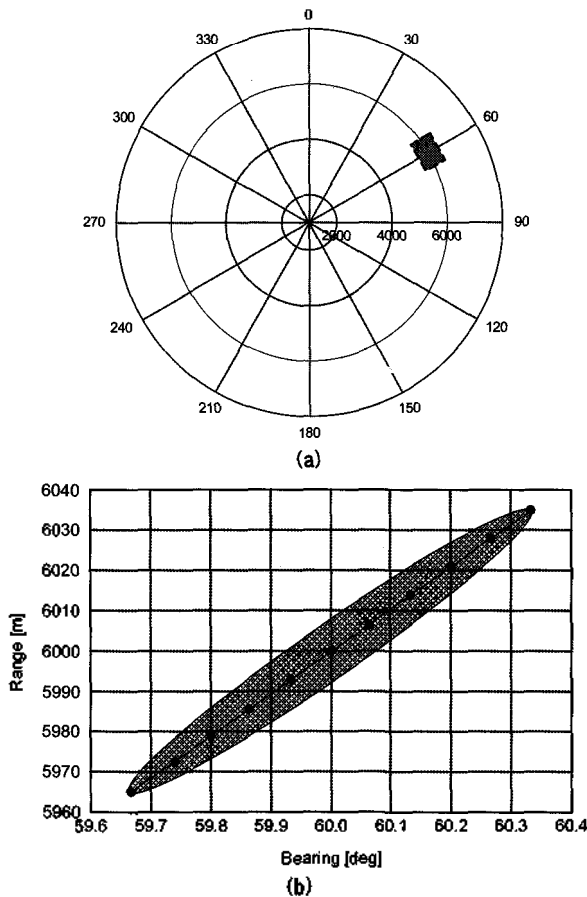


그림 6. 모의 실험 환경 (a) 표적의 위치 (b) 하이리트 구조  
 Fig. 6. Simulation Environment (a) Target's location (b) Highlight structure.

그림 7, 표 2, 표 3의 결과를 통하여 제안된 기법은 식별 성능 관점에서 기존의 기법과 유사한 성능을 가지면서도 연산량과 메모리 용량 관점에서 기존의 기법에 비해 우수함을 알 수 있다.

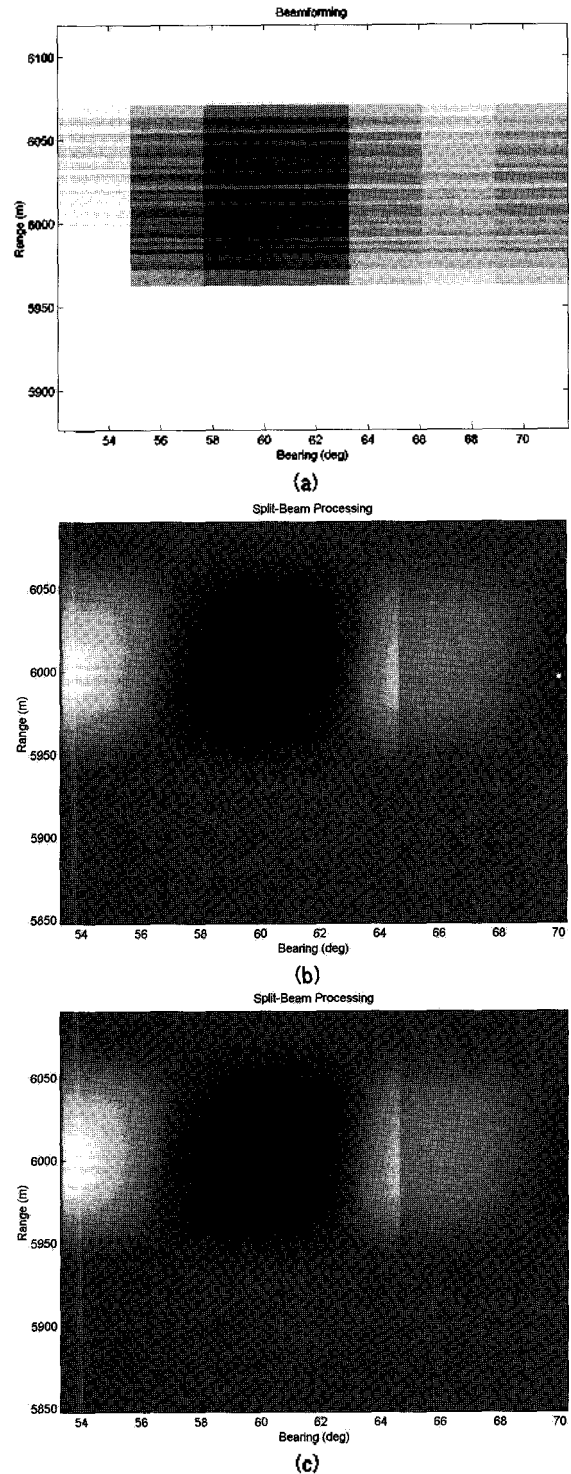


그림 7. 상관관계 출력 (a) Sum-beam 처리 (b) 기존의 Split-beam 처리 (c) 제안된 Split-beam 처리  
 Fig. 7. Correlation results (a) Sum-beam processing (b) Conventional Split-beam processing (c) Proposed Split-beam processing.

표 4. ADSP-TS101를 이용하여 실시간 구현시 연산량 및 메모리 용량  
Table 4. Computational load and used memory for real-time implementation with ADSP-TS101.

메모리 용량	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 세부 데이터량</li> <li>• 입력 Split-beam : <math>2 \times 2 \times 5 \text{ beam} \times 20 \text{ sample} \times 4 = 1,600 \text{ byte}</math></li> <li>• Split-beam 처리 입력 : <math>2 \times 2 \times 5 \text{ beam} \times 120 \times 4 = 9,600 \text{ byte}</math></li> <li>• 보간 우빔 데이터 : <math>2 \times 5 \text{ beam} \times 3232 \text{ sample} \times 4 = 129,280 \text{ byte}</math></li> <li>• 상관관계 누적행렬 : <math>5 \text{ beam} \times 94 \times 64 \text{ bearing} \times 4 = 120,320 \text{ byte}</math></li> <li>• 상관관계 출력 : <math>5 \text{ beam} \times 64 \text{ bearing} \times 4 = 1,280 \text{ byte}</math></li> <li>• Split-beam 처리 출력 : <math>2 \times 320 \text{ bearing} \times 4 = 2,560 \text{ byte}</math></li> <li>◆ 총 데이터량 : 264,640 byte</li> </ul>
연산량	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 세부연산량</li> <li>• 데이터 입출력 관련 연산 : 81,643 cycles / 3.2 msec</li> <li>• 우빔 데이터 보간 : 364,590 cycles / 3.2 msec</li> <li>• Split-beam 처리 : 53,669 cycles / 3.2 msec</li> <li>• Spline 보간 : 253,334 cycles / 3.2 msec</li> <li>◆ 총 연산량 : 753,236 cycles / 3.2 msec</li> </ul>
비고	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 칩당 내부 메모리 용량 (768K byte) &gt; 실제 소요 메모리 용량 (264,640 byte)</li> <li>◆ 출력주기 내 칩당 허용 사이클수 (960,000 cycles / 3.2 msec)</li> <li>&gt; 실제 소요 연산량 (753,236 cycles / 3.2msec)</li> <li>◆ 소요 DSP 칩 개수 : 1 개</li> </ul>

### VI. 제안한 기법의 DSP 구현

본 논문에서 제안된 Split-beam 처리 기법을 Analog Device사의 ADSP-TS101 DSP프로세서를 이용하여 하드웨어로 구현을 하였다. 구현시 ADSP-TS101 DSP 칩을 8개를 탑재한 Transtech사의 TS-V39 상용보드를 이용하였다.

설정된 설계 사양에 따라 제안된 Split-beam 처리 기법을 DSP상에 구현 시 소요되는 데이터량과 연산량을 계산하여 표 4에 정리하였다. 여기서 입출력 변수들은 더블 버퍼를 사용하여 실시간 처리가 가능하도록 데이터

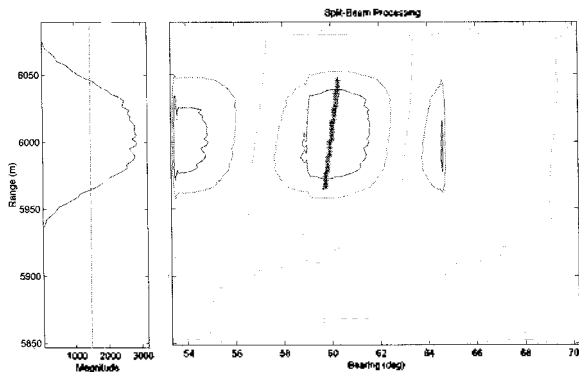


그림 8. 표적의 길이 및 자세각 추정 결과  
Fig. 8. Target's estimated length and aspect angle.

량을 계산하였고, Visual DSP++ 3.5 통합환경에서 EZ-DSP TSLib ver. 2.02를 이용하여 제안된 기법을 Cycle-Accurate Simulator 상에서 구현하여 계산한 연산량을 제시하였다.

표 4에서 실제 총 연산량이 모의실험에서 이론적으로 계산한 연산량보다 크게 나타남을 볼 수 있는데, 이는 데이터 입출력 관련 연산과 우빔 보간 연산, 그리고 Split-beam 처리 후 방위각 방향으로 동간격 정렬을 위한 Spline 보간 연산이 추가되었기 때문이다. 표 4에서 나타나듯이 총 데이터량과 연산량이 ADSP-TS101 DSP 프로세서 한 개의 처리용량을 벗어나지 않기 때문에 제안한 Split-beam 처리를 한 개의 DSP 프로세서를 이용하여 실시간 구현하였다.

### VII. 결론

능동소나 환경에서 효과적인 표적의 식별을 수행하는 것은 효과적인 대잠작전의 수행을 위해 필수적이다. 본 논문에서는 표적의 식별성능을 향상하기 위해 고분해능의 방위각을 가지는 Split-beam 처리를 할 경우 발생하는 연산량과 메모리 용량 문제를 해결하는 새로운 Split-beam 처리 기법을 제안하였다.

LFM 모의신호를 이용한 모의실험을 통하여 제안된 기법이 기존의 기법에 비해 연산량과 요구 메모리 용량이 적으면서도 유사한 성능을 가지는 것을 확인하였다. 또한 제안된 기법에 의해 추정된 표적의 형태가 설정된 표적의 하이라이트 분포와 유사한 형태를 가짐을 확인하였다.

이런 일련의 모의실험 결과와 Visual DSP++ Cycle-Accurate Simulator 상에서의 연산량과 데이터량 계산을 근거로 제안된 Split-beam 처리를 상용 DSP인 ADSP-TS101 DSP프로세서를 이용하여 실시간 시스템으로 구현하고 성능을 검증하였다.

### 감사의 글

본 논문은 국방과학연구소의 선채고정형 소나 자함 소음 적용 제거 및 능동표적 자동인식 기법 연구 위탁과제와 2단계 BK21사업에 의해 지원되었음.

## 참고 문헌

1. B. Reise and P. C. Etter, "Performance Assessment of Active Sonar Configuration Options," UDT97, 408-413, Jun. 1997.
2. R. O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, (Artech House, 1991)
3. C. H. Knapp and G. C. Carter, "The Generalized Correlation Method for Estimation of Time Delay," IEEE Trans. on acoustics, speech and signal processing, Vol. ASSP-24, 4 320-327, Aug. 1976.
4. A. George and K. Kim, "Parallel Algorithms for Split-Aperture Conventional Beamforming," Journal of Computational Acoustics, 7 (4) 225-244, Dec. 1999.
5. QIHU LI, "A precise bearing estimation method of digital split-beam array system," Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP '86, Volume 11, Apr 1986, 1817 - 1820
6. EHUD WEINSTEIN, ANTHONY J. WEISS, "Fundamental Limitations in Passive Time-Delay Estimation - Part 2 : Wide-Band System," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-32, 5 OCT, 1984.

## 저자 약력

• **박규태 (Gyu-Tae Park)**

한국음향학회지 제23권 제3호 참조

• **배은현 (Eun-Hyon Bae)**



2001년 2월: 경북대학교 공과대학 전자전기공학부 (공학사)  
 2003년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 2003년 3월~현재: 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정  
 \* 주관심분야: 수중음향신호처리, 표적탐지 및 추적, 식별

• **이균경 (Kyun-Kyung Lee)**



1977년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
 1984년 5월: University of Texas at Austin (공학석사)  
 1987년 8월: University of Texas at Austin (공학박사)  
 1977년 3월~1982년 8월: 국방과학연구소 연구원  
 1987년 8월~1989년 6월: Oklahoma State University 조교수  
 1989년 6월~현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수  
 \* 주관심분야: 수중음향신호처리, 표적위치추정, 표적탐지 및 추적, 분산센서망 표적탐지