

# 능동표적신호합성 알고리즘의 실시간 구현

김희성<sup>1)</sup>, 김載洙<sup>2)</sup>

## Realtime Active Target Signal Simulation

by

Hee Seong Kim, Kee Chul Shin, Jea Soo Kim

Key Words : Target Signal(표적신호), IIL(HighLight)모델, Scattering(산란)



### Abstract

The simulation target-scattered echo with moving sonar platform and target in 3 dimensional ocean environment is essential to validate and evaluate the performance of the sonar system.

In this paper, the improved target signal simulation model based on highlight(HL) and its realtime algorithm with experimental results are presented. In order to simulate the scattering highlight, the highlight is represented as an directional scatterer. the realtime generation algorithm of the target signal is realized by use of DSP chip, TMS320C40, where the 40 channels are equally separated to form a parallel processing task in each 4 processors.

The developed realtime-version of target signal simulation can be used as a target signal simulator in developing a decoy, ACM(Acoustic Counter Measure), and advanced sonar signal processing techniques.

---

1) 한국해양대학교 조선해양공학부 대학원  
2) 한국해양대학교 조선해양공학부 교수

## 1. 서 언

3차원 해양 환경에서 음원과 표적이 움직이는 경우에 능동표적신호합성기의 이론적 배경은 운동학적 모델과 음향학적 모델로 나눌 수가 있다. 그리고 표적신호의 시뮬레이션을 위하여 표적강도, 주파수 천이, 펄스신장등이 알려져 있어야 한다. 본 연구에서는 각 HL에서 반사되는 표적신호의 산란을 합하여 개발된 기존의 MOST알고리즘<sup>(1)(2)</sup>을 보완 수정하여 다중채널 능동표적신호합성 알고리즘을 개발하고, 이를 실시간으로 처리하기 위하여 고속처리 기법인 병렬처리를 도입하였다.

## 2. 능동표적신호합성 알고리즘

### 2.1 운동학적 모델

움직이는 음원과 표적은 해양 환경에서 3차원 운동을 한다. 음원과 표적의 상대적인 운동은 송·수신되는 음향신호의 시간 영역과 주파수 영역에서의 특성을 좌우하게 된다. 따라서, 음원에서 송신할 때 음원과 표적의 지구좌표계와 음원의 국부좌표계에서 바라본 표적의 좌표계는 송·수신시 모두 고려되어야 한다. 즉, 표적과 음원은 전체 좌표계를 기준으로 서로 운동하고 있으나 표적의 운동은 음원의 입장에서는 음원의 좌표계에서 정의된 물리량만이 의미가 있으므로 전체 좌표계에서 정의되는 표적의 좌표, 속도 등을 음원의 좌표계로 변환을 해 주어야만 한다. Fig. 1은 지구좌표계 및 음원과 표적에 대한 국부좌표계를 각각 정의하고 있다.

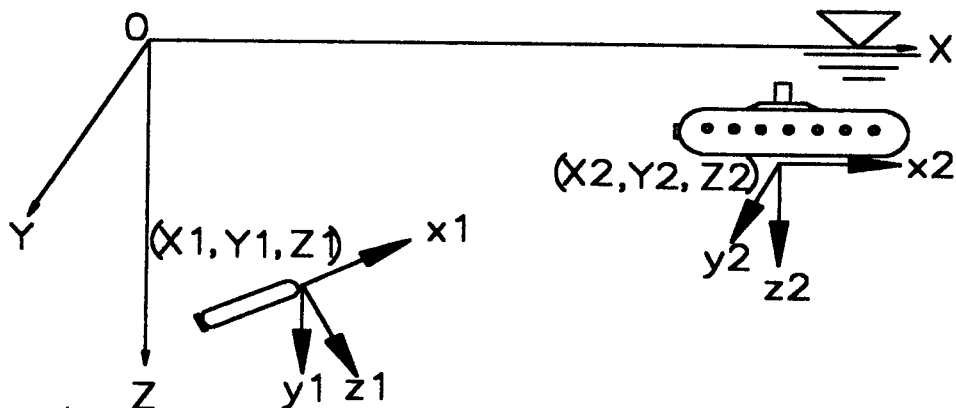


Fig. 1 Definition of global coordinates and local coordinates attached to the target

## 2.2 음향학적 모델

능동표적신호합성 알고리즘에 대한 연구에서는 표적신호의 크기, 도플러효과, 표적신호신장, 채널간 위상차 및 위 항들의 간섭 현상까지를 시뮬레이션 하는 것이 요구된다.

본 연구에서 사용된 HL(Highlight)모델은 표적산란신호의 물리적인 현상변수들을 반영하기가 쉽고, 표적의 종류에 따라 데이터베이스를 구축하기에 용이하여 기존에 개발된 모델은 HL모델을 사용하고 있다<sup>(3-7)</sup>.

HL모델은 송신신호  $s(t)$ 가 주어지면, 수신신호  $r(t)$ 는 다음과 같이 시스템의 충격 응답(impulse response)  $h(t)$ 와의 컨볼루션에 의해 표현되는 것에 기반을 두고 있다.

$$r(t) = s(t) \otimes h(t) \tag{1}$$

이를 주파수영역에서 표현하면 곱셈이 된다. 즉,

$$R(\omega) = S(\omega) \cdot H(\omega) \tag{2}$$

여기에서  $H(\omega)$ 는 표적의 산란현상을 표현하는 주파수 영역에서의 전달함수가 된다. 각 표적의 HL는 거울같은 반사, 또는 2차방사의 경우 방향성(directionality)을 갖게 된다. 표적의 일부분은 마치 송신을 위한 음향변환자 배열처럼 음파를 방사하기 때문에 그의 방향은 평면배열 변환자(plane array)로 모델링할 수 있으며, 빔 패턴은 Sinc 함수의 형태를 취하게 된다. 문제는 Sinc 함수의 주기를 주는 것인데, 이는 내부 구조물의 종류에 따라 달라져야 한다. 따라서, 표적신호의 방향성 분포에 대한 모델은 다음과 같이 가정한다.

$$\begin{aligned} B_j(\theta, m_j) &= \frac{\sin(m_{j,h}\theta) \sin(m_{j,v}\phi)}{m_{j,h}\theta m_{j,v}\phi} \\ &= \text{Sinc}(m_{j,h}\theta) \text{Sinc}(m_{j,v}\phi) \end{aligned} \tag{3}$$

여기에서,  $\theta$ 와  $\phi$ 는 표적의 j-번째 HL에서 음원을 바라보았을 때의 수평 및 수직 각을 나타낸다.  $m_{j,h}$ 와  $m_{j,v}$ 는 j-번째 HL의 수평과 수직 빔 패턴의 변화를 나타내는 자연수로 구조물의 종류에 따라 결정된다.

이러한 HL의 빔 패턴은 관측된 점멸표적(fluctuating target)의 현상과도 일치한다.

능동표적에서는 음원과 표적 모두가 움직이기 때문에 주파수천이가 일어나고, 주파수천이의 정도는 음원의 자세각, 음원속도의 크기 및 방향, 표적의 자세각, 표적속도의 크기 및 방향, 사용되는 주파수, 그리고 매질에서의 음속 등에 의해 결정된다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$f_{d,j} = f_o \cdot \frac{c + \vec{v}_{t,2} \cdot \vec{n}_{j,2}}{c - \vec{v}_{s,1} \cdot \vec{n}_{j,1}} \cdot \frac{c + \vec{v}_{s,3} \cdot \vec{n}_{j,4}}{c - \vec{v}_{t,2} \cdot \vec{n}_{j,3}} \quad (4)$$

여기에서  $t_1, t_2, t_3$ 는 각각 송신펄스가 음원을 떠나는 순간, 송신펄스가 표적의  $j$ 번째 HL에 입사되는 시간, 표적의  $j$ 번째 HL에서 산란된 신호가 새로운 위치의 음원에 수신되는 시간을 나타낸다.  $f_{d,j}$ 와  $f_o$ 는 각각  $j$ 번째 HL에서의 주파수천이와 송신주파수를 나타내고,  $\vec{v}_{s,1}$ 과  $\vec{v}_{t,2}$ ,  $\vec{v}_{s,3}$ 는 각각 시간  $t=t_1, t=t_2, t=t_3$ 에서 음원의 속도를 나타낸다.

$\vec{n}_{j,1}$ :  $t=t_1$ 의 음원위치에서  $t=t_2$ 의 표적의  $j$ 번째 HL를 향한 단위벡터,  
 $\vec{n}_{j,2}$ :  $t=t_2$ 의 표적의  $j$ 번째 HL위치에서  $t=t_1$ 의 음원을 향한 단위벡터,  
 $\vec{n}_{j,3}$ :  $t=t_2$ 의 표적의  $j$ 번째 HL위치에서  $t=t_3$ 의 음원을 향한 단위벡터,  
 $\vec{n}_{j,4}$ :  $t=t_3$ 의 음원위치에서  $t=t_2$ 의 표적의  $j$ 번째 HL를 향한 단위벡터.

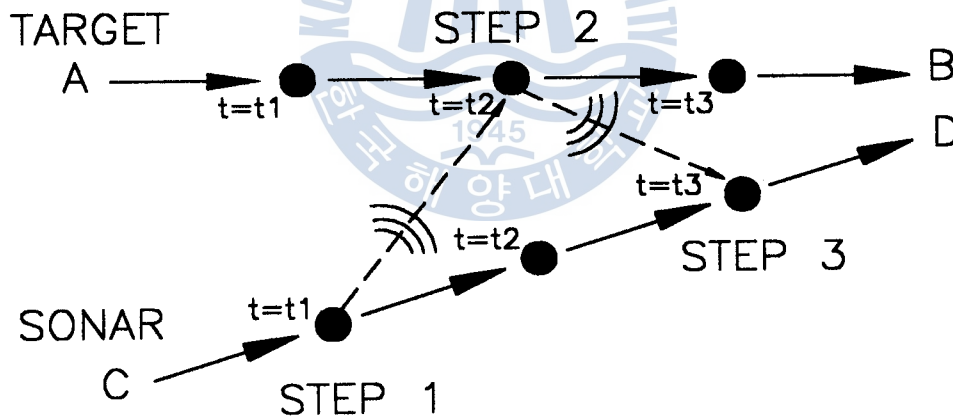


Fig. 2 Geometry and definition of variables of the source and the target

### 2.3 수치적인 모델

복잡한 형상인 표적의 경우는 기하학적 형상에 의한 검증이 거의 불가능하므로 HL이 하나인 단위 표적에 대한 이론적 계산과 이상의 알고리즘으로 발생한 표적신호의 도플러와 펄스신장, 각 채널에서의 도달시간에 관하여 검증을 하였다. 음향중심에서 채널간의 거리는  $0.5\lambda$  ( $\lambda = C/F_o$ )로 하였다. 아래 그림은 모의신호에 대한 표적과 음원의 기하학적 구조를 보인다.

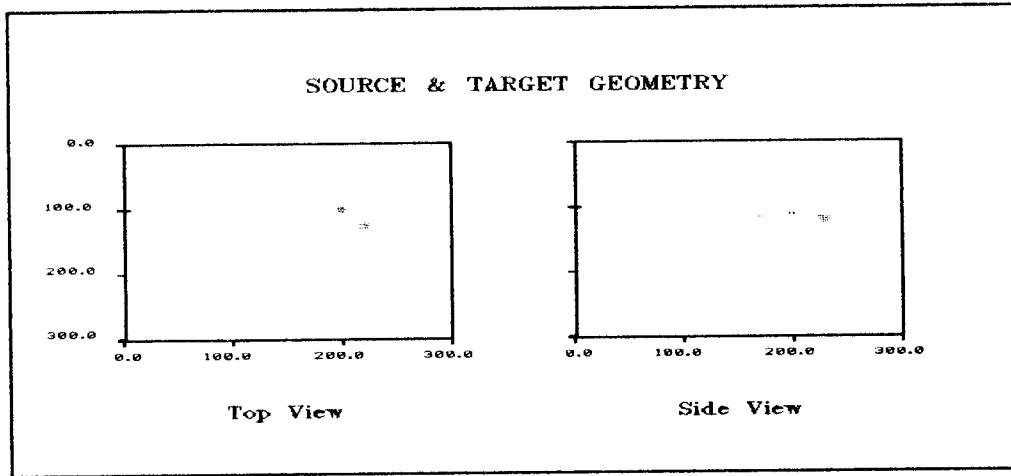


Fig. 3 Geometrical structure the target and the source

다음은 MOST신호합성기를 이용해 모의 출력한 표적신호이다. 중심주파수를 5kHz로 하고 샘플링 주파수를 25kHz로 하였으며 HL개수는 31개로 하였고 전체좌표계에 대한 음원과 표적의 중심좌표는 각각 x, y, z순으로 (0, 100, 100)과 (200, 100, 120)이다. 표적의 길이는 100m, 높이와 폭은 각각 10m, 전체좌표계에 대한 음원의 좌표는 x, y, z순으로 (0m, 100m, 100m), Euler Angle( 0°, 0°, 0° ), 표적의 좌표는 200m, 100m, 120m이고, Euler Angle은 0°, 0°, 45°로 설정하였다. 또한 이러한 모의 신호는 음원과 표적이 둘다 움직이고 있는 상태 즉, 음원이 20knots(10.288 m/s)의 속도로 표적을 향해 움직이고 표적은 10knots(5.144 m/s)의 속도로 음원에서 멀어져 가고 있다. HL가 많은 경우에 각 HL들 간의 신호간섭이 일어나 실제의 표적신호와 유사한 형태를 얻을 수가 있다.

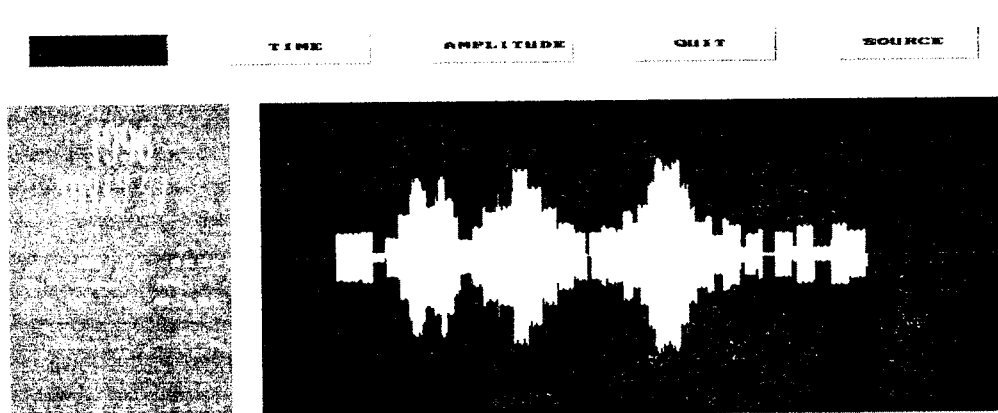


Fig. 4 Simulated target signal

### 3. 능동표적신호합성 알고리즘에 대한 실시간구현

개발된 능동표적신호합성 알고리즘이 HILS에 적용되기 위해서는 실시간 처리가 요구된다. 고속처리를 실현하기 위한 방법론으로 다중처리 및 병렬처리가 가능하고 6개의 통신 채널과 초당 120Mbytes의 전송속도를 가진 TMS320C40이라는 디지털 신호처리 전용 칩을 이용하여 능동표적신호합성 알고리즘을 실시간으로 구현하였다.

실시간 구현은 크게 두 부분으로 설명할 수 있다. 첫째, 능동표적신호 알고리즘을 병렬처리에 적합하도록 재구성하여야 하며, 두 번째, 구성된 프로그램 모듈을 DSP와 TDM431이라는 A/D(Analog to Digital) 또는 D/A(Digital to Analog)가 가능한 칩에 분산처리 알고리즘을 적용하였으며 이에 대한 신호의 검증은 다중채널 능동표적신호중 한 개의 채널로 수신되는 디지털 표적신호를 실시간 아날로그 신호로 변환시켜 오실로스코프와 스피커로 최종 확인하게 된다.

실시간 구현을 위해서 능동표적신호합성 알고리즘을 가능한 효율적으로 분산시켜야 하며, 구체적인 단계로서 다중처리와 병렬처리의 연구가 선행되어야 한다<sup>(8-9)</sup>. 분산처리 알고리즘을 구성하기 위해서는 모듈간 균등한 하중(load) 즉, 구성된 프로세서의 효율을 최대한 활용하여야 한다. 그리고 통신시간과 태스크 분리와 상관관계를 능동표적신호합성 알고리즘에 적합하도록 고려하여야 한다.

프로그램을 실행하여 생성된 디지털 데이터는 곧바로 아날로그 신호로 변환을 해주어야만 하는데 이러한 D/A변환 처리는 TDM431에서 하게 된다<sup>(10)</sup>. TDM431모듈의 제원은 해상도는 12bit, 샘플링 속도(sampling rate)는 250kHz까지 가능하며, 아날로그 신호의 입력은 +10V에서 -10V까지의 범위를 갖는다<sup>(9)</sup>. D/A의 출력은 12bit 또는 4096크기의 값이 아날로그 출력전압(voltage)의 최대 범위 -3V에서 +3V사이에서 조정된다.

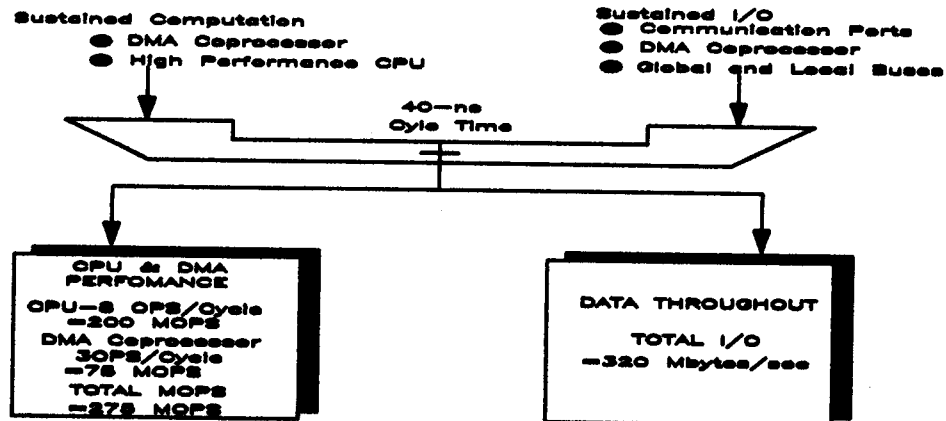


Fig. 5 TMS320C40 Performance

알고리즘에서 샘플링 속도와 전압변환식을 다음과 같이 설정하였다. 식(5)와 (6)은 샘플링 간격, 즉  $\Delta t$  와 샘플링 속도, 즉  $f_s$  간의 관계를 표현한 식이다.

$$f_s = \frac{1}{(\Delta t + 1) \times 100ns} \quad (5)$$

$$\Delta t = \frac{1}{f_s \times 100 \times e^{-9}} - 1 \quad (6)$$

D/A의 출력은 12bit 또는 4096크기의 값이 아날로그 출력전압범위 -3V에서 +3V사이로 조정된 값이 출력되는데, Fig. 7은 최대 전압범위로 설정한 경우이며, 아날로그 신호출력 단은 약 1.465 mV (6/4096 V)가 된다.

프로그램에서 D/A전압과 D/A코드간 환산은 아래 식과 같이 계산한다.

전압이 0 V 보다 같거나 큰 경우에 대해서,

$$D/A_{code} = 2048 \times \left( \frac{V_{out}}{3} \right) \quad (7)$$

전압이 0 V 보다 작은 경우에 대해서,

$$D/A_{code} = 4096 + 2048 \times \left( \frac{V_{out}}{3} \right) \quad (8)$$

결국 위 식(7)와 (8)에 대한 역 계산 관계식은 다음과 같이 정의할 수가 있다.

$$0 (0x000) \leq D/A_{code} \leq 2047 (0x7FF),$$

$$V_{out} = 3 \times \left( \frac{D/A_{code}}{2048} \right) \quad (9)$$

$$2048 (0x800) \leq D/A_{code} \leq 4095 (0xFF),$$

$$V_{out} = 3 \times \left( \frac{D/A_{code} - 4096}{2048} \right) \quad (10)$$

여기에서  $D/A_{code}$ 는 프로그램 상에서 출력 전압을 위한 수치 데이터가 된다. 형식은 십진 수 또는 16진수로 표현하고,  $V_{out}$ 은 물리적인 출력 전압이 된다.

다중채널에 수신되는 표적 신호는 실시간으로 처리된다. 데이터를 입력받아서 디지털 신

호를 생성함과 동시에 곧바로 아날로그 신호로 변환되는 과정까지 실시간 처리가 가능하다. 다음 그림은 실시간을 위한 병렬처리의 알고리즘을 도시화 한것인데, 입력 부분인 소스에서 분리가 가능한 각각의 모듈식 프로그램으로 데이터를 분산하여 처리한다.

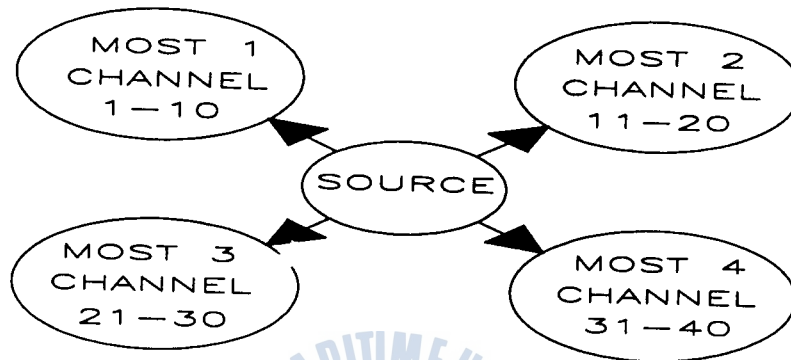


Fig. 6 Physical layout of each TASK

다중채널에 수신되는 표적신호는 실시간으로 처리된다. 데이터를 입력받아서 디지털신호를 생성함과 동시에 곧바로 아날로그 신호로 변환되는 과정까지 실시간 처리가 가능하다. 출력된 아날로그신호는 두단계로 검증이 가능하다. 먼저 오실로스코프를 통하여 파형을 확인하고 주파수 및 주기를 알 수가 있으며 그리고 나서 스피커를 통하여 모의신호를 발생시킬 수가 있다. Fig. 7은 다중채널 중 한 개의 채널에서 수신되는 아날로그 표적 신호를 표현한다.

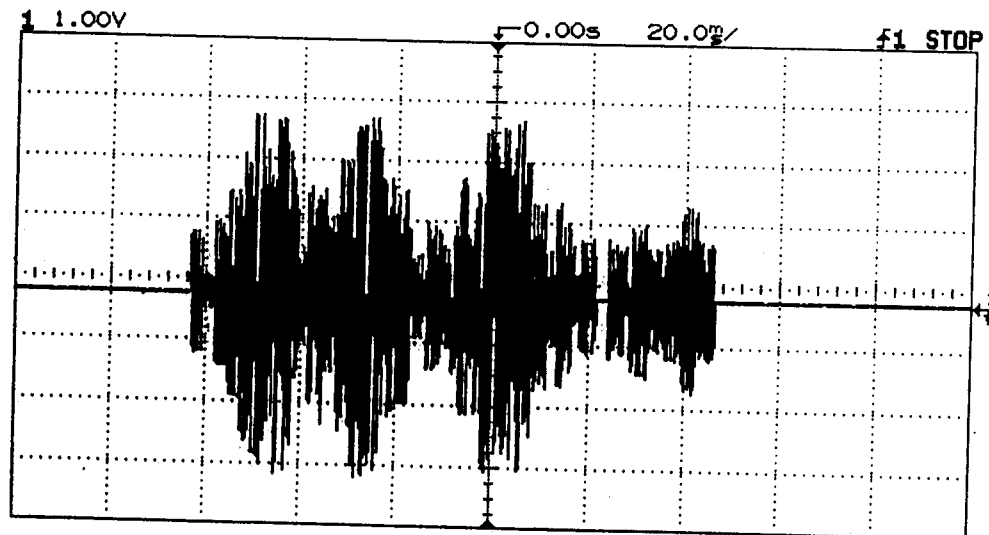


Fig. 7 Simulated analog target signal



각각의 디지털 값은 0부터 4096크기로 값을 변환된 후, 양자화 되어 출력이 된다. 결국 4096개의 데이터가 출력되는데 총 걸리는 시간은  $25kHz \times 4096 = 0.164sec$ 가 된다.

Fig. 7에서 아날로그 표적신호의 출력시간을 확인한 결과 계산상 걸리는 시간과 일치함을 알 수가 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 능동표적신호합성 알고리즘에 대한 실시간 구현을 다루었다.

HL모델과 콘볼루션 모델을 바탕으로 개발된 능동표적신호합성 알고리즘을 시간 영역에서 표적의 HL를 임의 가중치를 가지는 단위 임펄스로 가정함으로써 많은 계산 시간을 절약할 수 있기 때문에 실시간 구현에 있어 최적의 방법으로 고려하였다. 실시간 아날로그 표적신호의 구현 방법으로는 병렬처리 방법과 다중처리 방법을 도입하였으며, 결국 실시간 아날로그 표적신호를 합성하는 병렬처리 알고리즘을 개발하였다. 이러한 실시간 능동표적신호합성 알고리즘은 HILS에서 표적신호 발생기로서의 역할을 수행할 수 있으며, 소나개발 및 성능예측등, 표적신호를 필요로하는 분야에서 이용될 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 성낙진, 김재수, 이상영, 김강, “능동 표적 신호 합성”, 한국음향학회지, 제 13권, 제 2호, PP.30~37, 1994
- 2) 이창호, 김재수, 이상영, 김 강, 오원천, 조운현, “공분산 행렬 분석기법을 이용한 모노펄스 소나 표적상태추정 성능향상 기법”, 한국음향학회지, 제 15권, 제 1호, PP.34~39, 1996.
- 3) J. C. Bol, “Some Developments in Simulating SONAR Target”, UDT Conference Proceedings, London, England, Oct. PP.637~642, 1988
- 4) S.G. Chamberlin and A.M. Berlinsky, “Coherent Target and Environmental Modeling for Torpedo Terminal Homing Simulation”, Electronic Progress, Vol.XXIV, No.1, Raytheon Company, Spring, PP.19~22, 1982
- 5) D.L. Folds, and N.F. Anderson, “High Resolution SONAR Simulation Techniques”, Technical Report Number NCSR TR-322-77, Naval Coastal Systems Laboratory, Panama City, Florida, USA, 1977

- 6) R. Ludwig, L. Hogrefe, and W. Tietz, "Acoustic Underwater Target System", UDT Conference Proceedings, Paris, France, April PP.864~869, 1991
- 7) D.E. Nelson, A Statistical Scattering Model for Time-Spread SONAR Targets, Ph.D. Dissertation, Dept. of Electrical Eng., Univ. of Rochester, Rochester, New York, U.S.A., 1975
- 8) Texas Instruments, "TMS320C4x User's Guide", 1991
- 9) Parion System, "Parallel C for C40", 1995
- 10) TRANSTECH, "TDM431 User Manual", 1996

