

1차원 합성 개구면을 가진 초광대역 레이더의 시영역 기반 영상화 기법 비교

Comparison of Time-Domain Imaging Algorithms for Ultra-Wideband Radar with One-Dimensional Synthetic Aperture

김 대 만 · 홍 진 영* · 김 강 욱

Daeman Kim · Jin-Young Hong* · Kangwook Kim

요 약

본 논문에서는 Delay-Sum Back Projection(DSBP) 기법과 finite-difference time-domain 방법으로 구현된 time reversal(FDTD-TR) 기법을 실험 데이터에 적용하고, 그 결과를 비교한다. 두 기법은 모두 시영역에 기반을 둔 기법으로서 초광대역 레이더 신호를 처리하여 표적의 실제 위치와 모양에 가까운 영상을 생성할 수 있다. 실험을 위한 초광대역 레이더는 네트워크 분석기, 저항성 V 다이폴 안테나, 스캐너, 제어 컴퓨터로 구성되며, 레이더 개구면은 안테나를 1차원 스캔하여 합성된다. 실험 데이터는 신호 왜곡과 클러터를 포함하는데, 이를 제거하는 보정 절차가 수행된다. 두 기법은 동일한 플랫폼에서 동일한 데이터에 적용되며, DSBP 기법은 FDTD-TR 기법에 비해 더 나은 영상을 생성하지만 더 많은 시간이 걸린다는 것을 보인다.

Abstract

Delay-sum back projection(DSBP) algorithm and the time reversal algorithm based on the finite-difference time-domain method are compared. The two algorithms, which operate in the time domain, can process the ultra-wideband (UWB) radar data to generate images that are close to the original location and shape of the target. For the experiment, the UWB radar consists of a network analyzer, a resistive V dipole antenna, a scanner, and a control computer. The radar aperture is synthesized by linearly scanning the antenna. A calibration procedure is applied to the measured data to remove signal distortion and clutter. The two algorithms are applied to the same data on the same platform. It is shown that the DSBP algorithm produces better images but takes longer time to produce the images than the FDTD-TR algorithm.

Key words : Ultra-Wideband Radar, Delay-Sum Back Projection, Finite-Difference Time-Domain Time Reversal

I. 서 론

초광대역 레이더는 전자기 신호를 방사하고 되돌아온 신호를 분석하여 표적의 정보를 얻는 시스템이다. 여기에 사용되는 신호는 중심 주파수가 낮아 투과성이 높고, 대역폭이 넓어 해상도가 높다^[1]. 이런

특성은 지반 침투 레이더, 벽 투과 레이더, 수목 지형 형상감지 레이더, 의료 이미징 시스템 등에 사용되기에 적합하여, 최근 이들 분야에 초광대역 레이더 연구가 활발하다^{[2],[3]}.

이러한 분야에서 연구되는 초광대역 레이더는 대개 1차원 또는 2차원 안테나 배열로 이루어진 개구

「본 연구는 삼성탈레스주식회사의 지원으로 연구되었음(계약번호: STC-BD3-08-JY01).」

광주과학기술원 정보기전공학부(School of Information and Mechatronics, Gwangju Institute of Science and Technology)

*삼성탈레스주식회사(Samsung Thales Co. Ltd.)

· 논문 번호 : 20080820-109

· 수정완료일자 : 2008년 9월 29일

면을 가진다. 개구면에 위치한 각각의 안테나는 초광대역 신호를 방사하고 표적으로부터 반사되어 돌아온 신호를 수신한다. 표적으로부터 반사된 신호는 개별 안테나와 표적 사이의 거리에 따라 지연되어 나타나는데, 지연되는 시간은 전자파가 안테나와 표적 사이를 왕복하는데 걸리는 시간과 같다. 이 때 안테나와 표적 사이의 거리는 개구면상의 안테나의 위치에 따라 달라지므로 수신 신호는 그림 1(a)에 보이는 것과 같이 쌍곡선의 형태로 나타난다. 그림에서 x 축은 안테나의 위치를 나타내며, t 축은 신호가 수신된 시간을 나타낸다. 각각의 선이 편향되는 정

도는 안테나에서 수신된 신호의 강도를 나타낸다. 이렇게 쌍곡선의 형태로 분산된 신호를 수학적으로 처리하여 그림 1(b)와 같이 표적의 실제 위치와 모양에 가깝게 영상화하는 기법으로 frequency-wavenumber migration 기법, delay-sum back projection(DSBP) 기법, time reversal 기법 등이 있다^{[4]~[6]}.

본 논문에서는 앞서 언급한 영상화 기법 중에서 시영역에 기반을 둔 DSBP 기법과 time reversal 기법을 비교하며, 레이더의 개구면은 1차원 안테나 배열로 구성된 경우만을 고려한다. DSBP 기법은 개구면상의 안테나와 표적 사이의 거리를 이용한 기하학적 기법이며, time reversal 기법은 개구면상의 안테나에서 수신된 신호를 시간의 역순으로 재방사하여, 신호가 표적의 실제 위치에 집중되도록 하는 방식이다. 본 논문에서는 이를 구현하기 위해 Yee cell로 구성된 FDTD 방법을 이용한다.

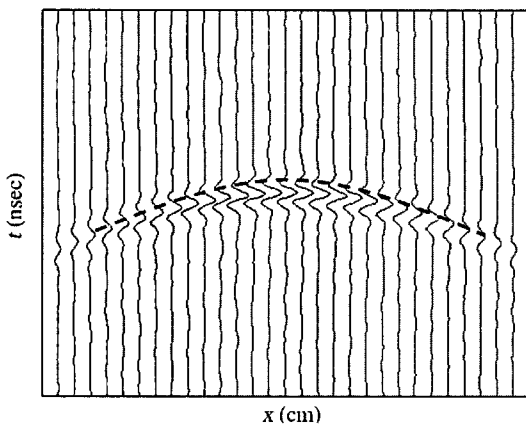
본 논문의 II장에서는 DSBP 기법과 time reversal 기법의 원리를 살펴본다. III장에서는 초광대역 레이더 실험 과정을 기술하고, 측정된 데이터에 두 영상화 기법을 적용한 결과를 비교한다. IV장에서는 결론을 맺고 앞으로의 연구 방향을 제시한다.

II. 초광대역 레이더 영상화 기법

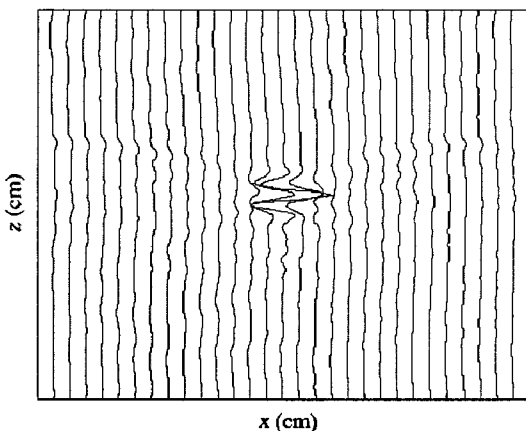
2-1 Delay-Sum Back Projection 기법

레이더의 개구면에서 수신된 신호를 안테나의 위치와 안테나에 수신된 시간의 그래프로 도시하면 그림 1(a)와 같이 표적의 실제 위치에 꼭지점을 갖는 쌍곡선의 형상으로 나타난다. DSBP 기법은 표적의 반사 신호를 기하학적 모델을 이용하여 쌍곡선의 꼭지점으로 집중시키는 기법이다.

그림 2는 1차원 배열의 안테나로 구성된 레이더의 개구면과 표적의 위치를 나타낸다. x 축은 레이더의 개구면 방향과 동일하게 설정되며, z 축은 개구면에서 표적을 향하는 방향으로 설정된다. x 축을 따라서 N 개의 안테나로 개구면이 구성되고, 개구면 상에서 임의의 지점에 위치한 안테나로부터 r 만큼 떨어진 지점 (x_0, z_0) 에 표적이 위치한다. 이 때 $(x, 0)$ 에 위치한 안테나에서 방사된 신호가 표적에서 반사되어, 다시 안테나에 수신되는 시간 t 는 다음과 같다.



(a) 개구면에 수신된 미처리 $x-t$ 영역 신호
(a) Aperture-received raw signals in $x-t$ domain



(b) 수신된 신호를 처리한 $x-z$ 영역 영상
(b) Processed image in $x-z$ domain

그림 1. 개구면에 수신된 미처리 신호와 이를 처리한 영상

Fig. 1. Raw signals received from the aperture and the processed image.

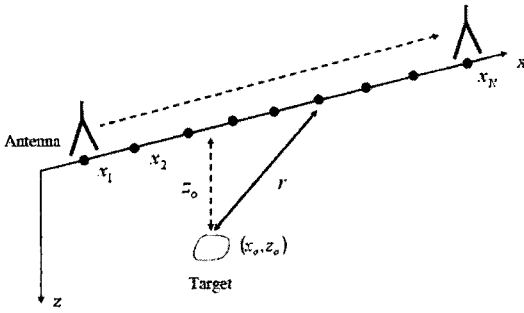


그림 2. 개구면과 표적의 배치
Fig. 2. Configuration of the aperture and the target.

$$t = \frac{2r}{c} = \frac{2\sqrt{(x-x_0)^2 + z_0^2}}{c} \quad (1)$$

여기서 c 는 진공 중 신호의 전파 속도이다. 위 식을 정리하면 다음과 같이 $x-t$ 영역에서 (x_0, t_0) 에 꼭지점을 갖는 쌍곡선 방정식을 유도할 수 있다.

$$\frac{c^2 t^2}{4z_0^2} - \frac{(x-x_0)^2}{z_0^2} = 1 \quad (2)$$

여기서 $t_0 = 2z_0/c$ 로써 전파가 개구면과 표적의 최단 거리를 왕복하는 시간이다.

이 식을 이용하면 그림 1(a)의 점선과 같은 쌍곡선으로 나타나며, 이 쌍곡선은 수신된 신호의 형태와 같다는 것을 알 수 있다. 따라서 쌍곡선이 지나는 곳에 위치한 신호의 값을 쌍곡선의 꼭지점에 모아주면 표적의 실제 위치와 모양에 가까운 영상을 얻을 수 있다. 이러한 과정은 다음의 연산을 통해 진행된다.

$$u_c(x, z) = \sum_{i=1}^N u_m(x_i, t_i), \quad t_i = \frac{2\sqrt{(x_i-x)^2 + z^2}}{c} \quad (3)$$

여기서 $u_m(x_i, t_i)$ 는 개구면상의 지점 x_i 에 위치한 안테나에 수신되는 시영역 신호이며, $u_c(x, z)$ 는 처리된 영상에서 (x, z) 에 해당하는 픽셀의 값이다. N 은 개구면상의 안테나 개수이고, 시간 t_i 는 전자파가 $(x_i, 0)$ 에 위치한 안테나와 (x, z) 에 위치한 표적 사이를 왕복하는데 걸리는 시간이다.

식 (3)의 연산을 영상화 대상 영역에서 수행하면 그림 1(b)와 같이 나타난다. 그림 1(b)에서 실제로 표적이 위치한 지점 (x_0, z_0) 주위에서 상대적으로

큰 값이 나타난다.

DSBP 기법은 직관적으로 이해할 수 있는 물리적 모델을 기반으로 하기 때문에 측정 데이터에 적용하여 구현하기 용이하므로 많이 사용되는 기법 중의 하나이다.

2-2 FDTD Time Reversal 기법

그림 3(a)는 실험 모델로서 개구면의 각각의 안테나가 시간 $t=0$ 에 신호를 보내고 표적으로부터 반사된 신호를 수신하여 저장하는 구조를 나타낸다. 여기서 신호는 c 의 속도로 전파된다. 이러한 구조는 그림 3(b)와 같이 exploding reflector model로 등가적으로 대체될 수 있다^[7]. 이 모델에서는 표적이 시간 $t=0$ 에 신호를 방사(explode)하고, 안테나가 신호를 수신한다. 여기서 신호는 $c/2$ 의 속도로 전파된다. 이 두 모델은 결과적으로 동일한 개구면 수신 신호를 발생시킨다.

Exploding reflector model의 신호도 파동 방정식을 만족하는데, 파동 방정식의 한 해가 $\vec{f}(\vec{r}-ct)$ 의 형태를 갖는다면 $\vec{f}(\vec{r}+ct)$ 도 수학적으로 정당한 해이다^[8]. 여기서 $\vec{f}(\vec{r}-ct)$ 가 신호원으로부터 바깥으로 퍼지는 해에 해당된다면, $\vec{f}(\vec{r}+ct)$ 는 바깥으로부터 신호원으로 모이는 해에 해당된다. Time reversal 기법은 개구면에서 수신된 신호를 exploding reflector model 공간에 시간의 역순으로 재방사시키면 그림 3(c)와 같이 시간 $t=0$ 인 순간에 신호가 원래 표적의 위치에 집중될 것이라는 이론을 이용한다.

이것은 시영역 기반의 전자기 해석에 자주 사용되는 FDTD 방법을 이용하여 구현할 수 있다. FDTD 공간 내에서 전자파는 $c/2$ 의 속도로 전파된다. 유한한 FDTD 공간을 이용하여 균질한 무한 공간을 모사하기 위해 FDTD 공간의 경계면은 흡수 경계 조건으로 처리해야 할 수도 있다^[9]. 이 FDTD 공간에서 안테나의 위치에 해당되는 지점에서, 수신된 신호가 시간의 역순으로 재방사된다. 재방사된 신호는 FDTD 공간에서 표적의 원래 위치에 집중된다.

이와 같이 time reversal 기법은 시영역에서 구현되므로 기법의 이해와 구현이 쉽다. 그리고 FDTD 공간에 다양한 매질을 구현할 수 있으므로, 지반 침투 레이더, 의료 영상 시스템 등 비 균질 공간의 영상화

에도 효과적으로 사용될 수 있다.

III. 실험 및 결과

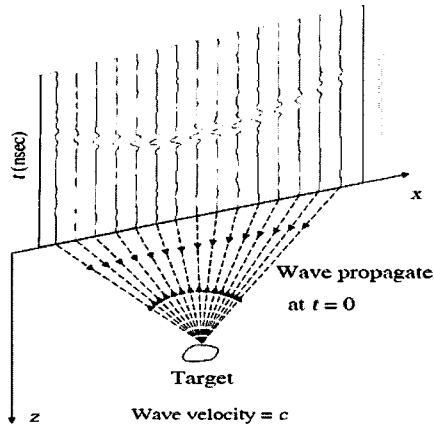
3-1 초광대역 레이더 실험

앞서 소개된 두 영상화 기법은 실험 데이터에 적용되어 비교되었다. 실험에서 초광대역 레이더는 네트워크 분석기, 저항성 V 다이폴 안테나, 스캐너, 그리고 제어 컴퓨터로 구성된다. 레이더 개구면은 안테나를 수평으로 1차원 스캔하여 합성하였다. 네트워크 분석기는 실험 주파수 범위에서 처프 변조된 신호를 발생시키며, 신호의 주파수가 설정된 주파수일 때 반사 신호를 샘플한다. 본 실험에서 네트워크 분석기는 60 MHz에서 8.06 GHz를 스위핑하는 처프 변조 신호를 발생시키고, 20 MHz 간격으로 801 주파수에서 반사 신호를 샘플한다. 이러한 스캔, 신호 발생, 샘플링 등의 동작은 제어 컴퓨터에 설치된 LabVIEW 소프트웨어를 사용하여 제어되는데, 제어 컴퓨터와 네트워크 분석기는 general purpose interface bus(GPIB) 통신 방식을 이용하여 연결되었다^[10].

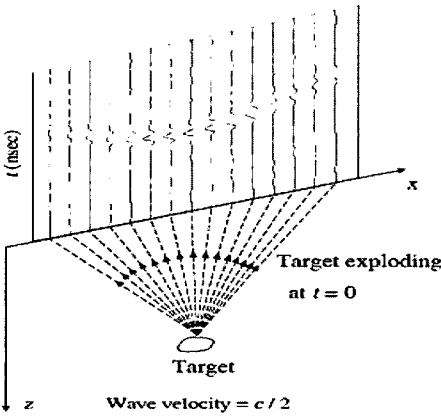
표적으로는 직경 2 cm 금속구와 compact disk(CD)를 사용하였다. 표적은 그림 4와 같이 50 cm 높이의 스티로폼 지지대 위에 위치시키고 안테나를 지면으로부터 1 m 높이에서 수평으로 스캔하였다. 수평 스캔은 -30 cm에서 30 cm까지의 범위를 2 cm 간격으로 진행하는데, 매 2 cm 간격에서 신호를 송수신한다. 이를 이용하여 총 31개의 안테나를 갖는 개구면을 합성할 수 있다. 개구면 상의 각각의 안테나는 60 MHz에서 8.06 GHz 사이에 균일하게 분포된 801 주파수에서 신호를 송수신하고, 수신된 신호는 네트워크 분석기를 통해 제어 컴퓨터로 전송된다. 전송된 신호는 시영역 영상화 기법에 사용하기 위해 시영역으로 변환된다.

3-2 측정 데이터 보정

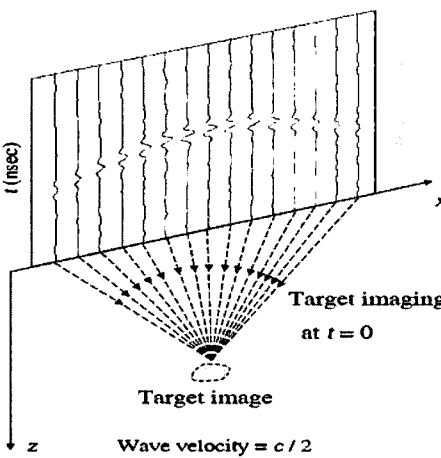
실험에서는 안테나와 표적이 포함된 공간을 1포트 소자로 보고 S 파라미터의 S_{11} 을 측정한다. 이것은 표적이 존재할 때의 안테나의 반사 계수와 같다. 그러나 실제 측정 상황에서는 안테나의 반사 계수는 그림 5와 같이 케이블을 통하여 네트워크 분석기에 전달되므로, 이 과정에서 반사 계수의 왜곡이 발



(a) 실험 모델의 구조
(a) Geometry of the experiment model



(b) Exploding reflector 모델
(b) Exploding reflector model



(c) Time reversal 기법의 원리
(c) Schematic explanation of the time reversal algorithm

그림 3. Time reversal 기법
Fig. 3. Time reversal algorithm.

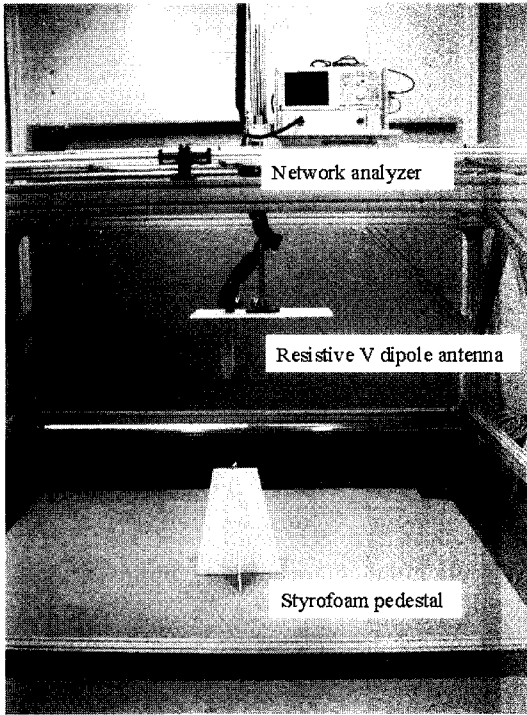


그림 4. 초광대역 레이더 시스템 구조
Fig. 4. Photograph of the ultrawideband radar system.

생한다. 왜곡을 발생시키는 메커니즘은 그림 6과 같이 안테나와 네트워크 분석기 사이에 위치하는 2 포

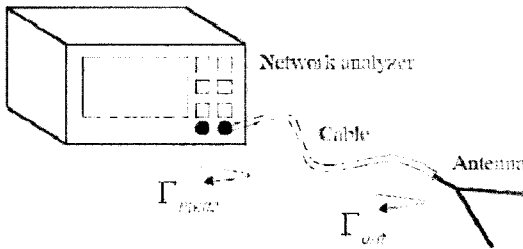


그림 5. 네트워크 분석기와 안테나 연결
Fig. 5. Network analyzer and antenna connection.

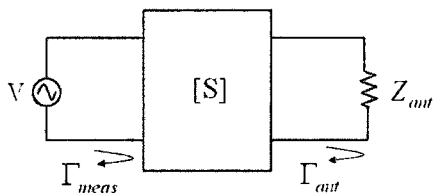


그림 6. 네트워크 분석기와 안테나 연결 다이어그램
Fig. 6. Diagram of network analyzer and antenna.

트 소자로 모델이 될 수 있으며, 이는 다음과 같이 보정될 수 있다.

네트워크 분석기로 연결된 케이블에서 안테나를 제거하고, 임피던스 값을 이미 알고 있는 open, short, matched 소자를 각각 연결하여 레이더 실험과 같은 주파수로 각각의 반사 계수를 측정한다. 이들 소자가 연결되었을 때 측정된 값 Γ_{open} , Γ_{short} , $\Gamma_{matched}$ 을 이용하여 2포트 소자의 S 파라미터를 다음과 같이 구할 수 있다^{[11],[12]}.

$$S_{11} = \Gamma_{matched} \quad (4)$$

$$S_{22} = \frac{2S_{11} - \Gamma_{short} - \Gamma_{open}}{\Gamma_{short} - \Gamma_{open}} \quad (5)$$

$$S_{12}S_{21} = (\Gamma_{open} - S_{11})(1 - S_{22}) \quad (6)$$

위의 식들로부터 왜곡이 제거된 안테나 반사 계수 Γ'_{ant} 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\Gamma'_{ant} = \frac{\Gamma_{meas} - S_{11}}{(\Gamma_{meas} - S_{11})S_{22} + S_{12}S_{21}} \quad (7)$$

여기서 $\Gamma_{matched}$ 는 왜곡 메커니즘이 포함된 측정값이다.

측정된 신호에는 표적 신호 외에 지면, 스캐너, 레이더 하드웨어 등 실험 주위 환경에서 오는 외부의 클러터 신호도 포함된다. 이를 제거하기 위한 실험을 진행한다. 표적을 그림 4와 같이 설치하여 측정할 경우 표적의 반사 신호와 클러터 신호가 섞인 신호가 안테나에 수신된다. 이 때 표적을 제거한 상태에서 실험을 반복하면 표적의 반사 신호가 제거된 클러터 신호만이 수신된다. 따라서 표적 신호와 클러터 신호를 포함한 처음 측정값에서 클러터 신호만을 포함한 두 번째 측정값을 빼주면 표적 신호만을 포함한 측정값을 얻을 수 있다. 이와 같은 과정은 다음과 같이 수식적으로 나타낼 수 있다.

$$\Gamma_{ant} = \Gamma'_{ant} - \Gamma'_{ant, notarget} \quad (8)$$

여기서 Γ'_{ant} 는 표적이 있을 때의 측정값이고, $\Gamma'_{ant, notarget}$ 는 표적을 제거한 상태에서의 측정값이다. 따라서 Γ_{ant} 는 클러터가 제거된 표적의 반사 신호만을 포함한 측정값이다.

그림 7은 실험 과정의 이해를 돕기 위해 나타낸

순서도이다. 실험 과정은 케이블 왜곡 파라미터 측정, 표적 스캔, 클러터 제거, 시영역 변환, 영상화 순으로 진행된다.

보정이 완료된 측정값은 다음과 같이 시영역으로 변환된다.

$$V_{ref}(t) = \text{IFFT} \{ \Gamma_{ant}(f) \cdot \text{FFT} \{ V_{in}(t) \} \} \quad (9)$$

여기서 $\text{IFFT}(\cdot)$, $\text{FFT}(\cdot)$ 는 푸리에 변환 연산자

3-3 결과 및 분석

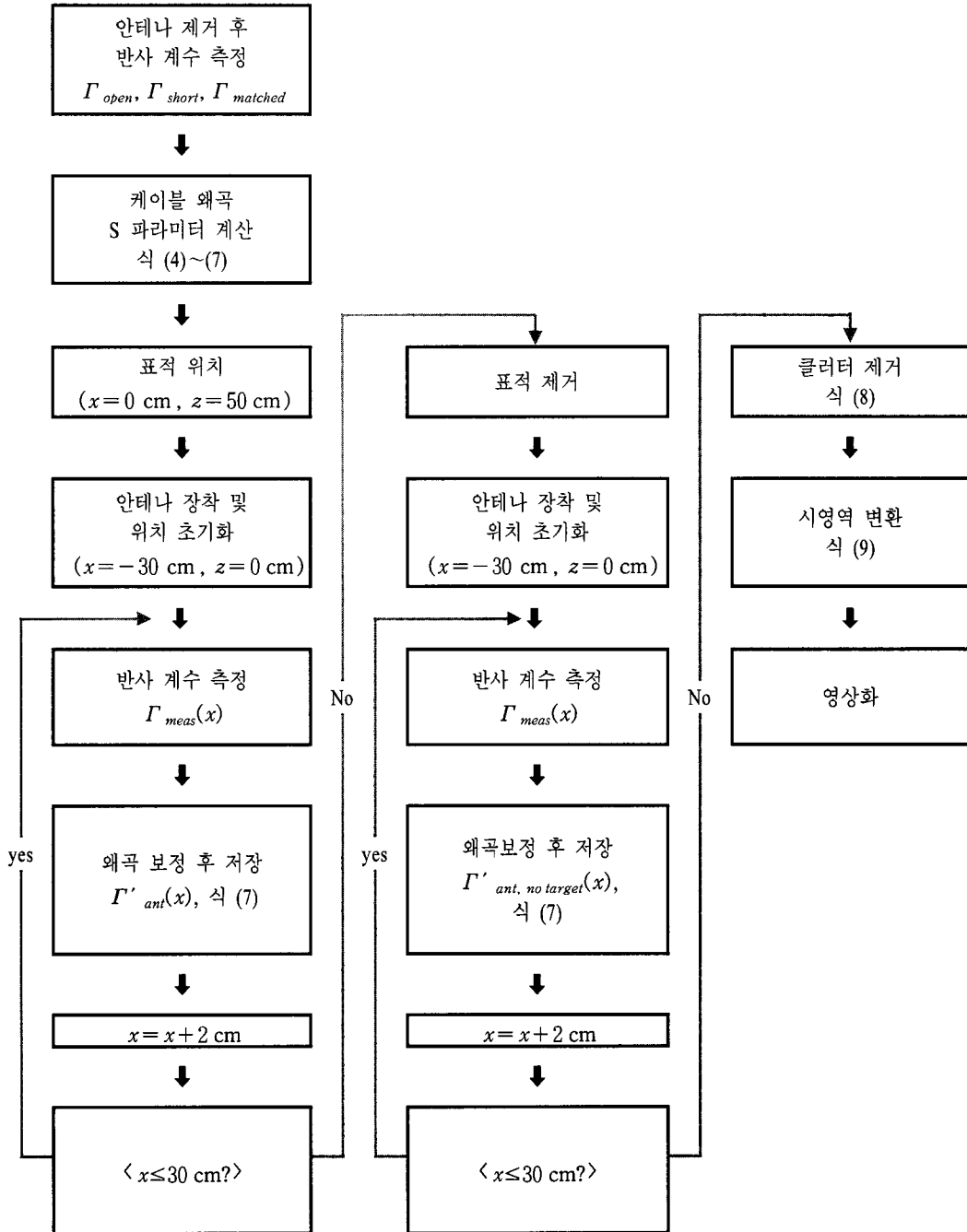


그림 7. 실험 과정의 순서도
Fig. 7. Flow chart of the experiment procedure.

들이고, $V_{ref}(t)$ 는 안테나에 수신되는 시영역 신호이다. 그리고 $V_{in}(t)$ 는 안테나에 인가되는 입력 신호로써 본 논문에서는 다음과 같은 미분된 가우시안 함수를 사용한다.

$$V_{in}(f) = \text{FFT} \left\{ \frac{\partial}{\partial t} \exp \left[\left(\frac{t}{2t_{pp}} \right)^2 \right] \right\} \quad (10)$$

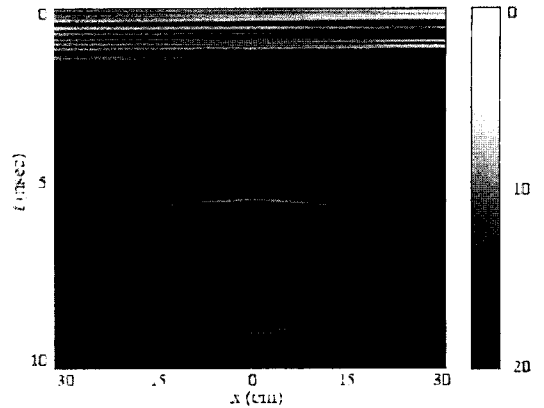
여기서 $t_{pp} = 0.159$ nsec는 미분된 가우시안 함수의 피크와 피크간의 시간 간격이며, 피크 주파수는 2 GHz에 해당된다.

시영역으로 변환된 측정 데이터를 의사 색상 영상(pseudo-color) 형식으로 영상화하였다. 그림 8(a), (b)는 각각 직경 2 cm 금속구와 CD의 측정 데이터를 20 dB 스케일로 나타낸 영상이다. 그림에서 영상의 가로축은 -30 cm에서 30 cm까지의 범위를 가지는 공간축이며, 세로축은 0 nsec에서 10 nsec까지의 범위를 가지는 시간축이다. 레이더 개구면상의 안테나와 표적 사이의 거리로 인해 측정 데이터 영상은 쌍곡선 형태를 가진다는 것을 볼 수 있다. 영상에서 공간과 시간이 각각 0 cm와 5 nsec인 지점에서 표적의 신호가 제일 먼저 나타나며, 신호의 강도가 가장 크다는 것을 알 수 있다. 이 지점은 표적으로부터 가장 가까운 안테나에 수신된 신호이며, 수신된 시간은 전자파가 표적과 안테나를 왕복하는 시간과 같다.

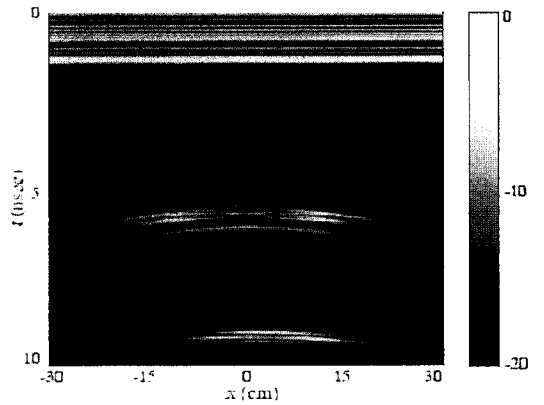
그림에서 약 0 nsec에서 1 nsec 사이에 나타난 신호는 케이블과 안테나에서 나타나는 신호로써, 보정 과정에서 케이블의 위치가 변화되면서 생긴 결과라고 추정된다. 이는 semi-rigid 케이블 등을 사용하여 레이더 하드웨어를 보다 잘 고정시키면 감소될 것으로 보인다. 그림에서 약 9 nsec인 지점에서 나타난 신호는 지표면에 해당되는 신호로서 표적과 지면 간의 상호 작용에 기인한다.

그림 8에 보인 측정 데이터를 DSBP 기법과 FDTD 방법을 이용한 time reversal(FDTD-TR) 기법을 사용하여 처리하였다. 그림 9(a), (b)는 각각 직경 2 cm 금속구와 CD의 측정 데이터에 DSBP 기법을 적용하여 20 dB 스케일로 나타낸 영상이다.

그림에서 영상의 가로축은 -75 cm에서 75 cm까지의 범위를 가지는 수평 공간축으로 안테나가 스캔된 방향과 평행이며, 세로축은 0 cm에서 120 cm까지의 범위를 가지는 수직 공간축으로 레이더의 개구



(a) 직경 2 cm 금속구의 미처리 신호 영상
(a) Raw image of the 2 cm metal sphere in diameter



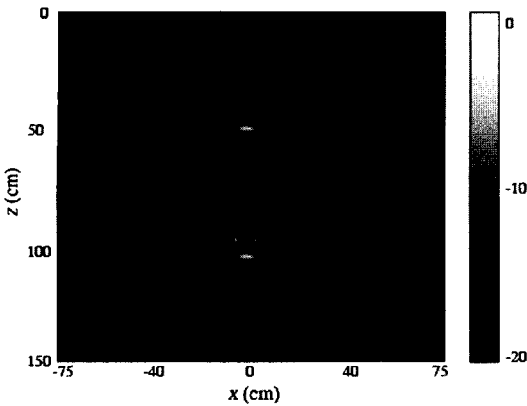
(b) CD의 미처리 신호 영상
(b) Raw image of the CD

그림 8. 표적의 미처리 신호 영상
Fig. 8. Raw image of targets.

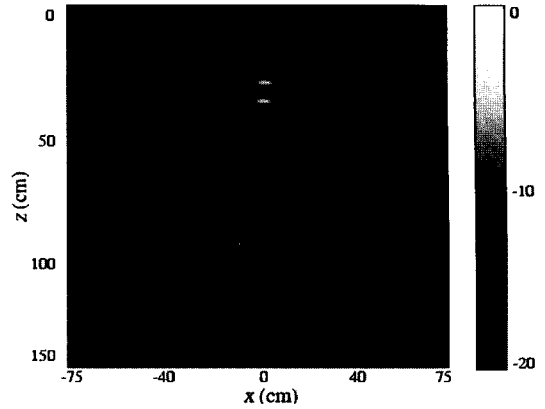
면에서 표적을 향하는 거리를 나타낸다. 신호가 수신된 시간 대신 표적의 물리적 위치를 나타내기 위해 수직축에 시간 대신 거리를 사용하였다.

그림 10(a), (b)는 각각 직경 2 cm 금속구와 CD의 측정 데이터에 FDTD-TR 기법을 적용하여 20 dB 스케일로 나타낸 영상이다. FDTD 공간은 Yee cell로 구성되었으며, FDTD 공간의 외곽은 Berenger PML (Perfectly Matched Layers) 흡수 경계 조건을 사용하였다. 신호원은 additive source로 처리하였다. 그림 9는 그림 8과 동일한 공간 영역을 처리하여 보인다.

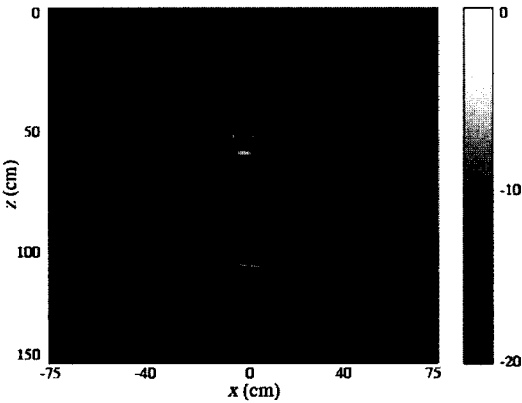
그림 9의 DSBP 기법을 적용한 영상과 그림 10의 FDTD-TR 기법을 적용한 영상에서 모두 ($x=0$ cm, $z=50$ cm)인 지점에 표적의 영상이 나타난다. 영상에서 밝은 부분은 파동의 마루와 골에 해당하는



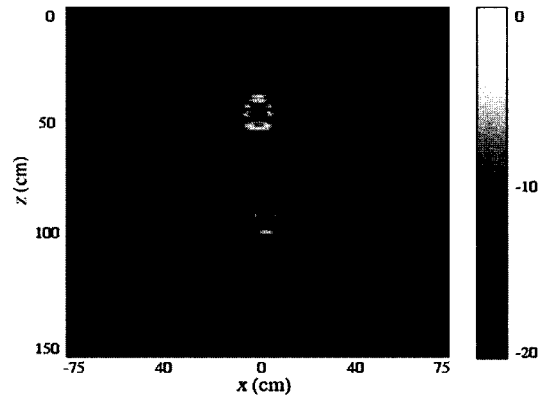
(a) 직경 2 cm 금속구의 DSBP 영상
(a) 2 cm metal sphere in diameter image processed by DSBP algorithm



(a) 직경 2 cm 금속구의 FDTD-TR 영상
(a) 2 cm diameter metal sphere in diameter image processed by FDTD-TR algorithm



(b) CD의 DSBP 영상
(b) CD image processed by DSBP algorithm



(b) CD의 FDTD-TR 영상
(b) CD image processed by FDTD-TR algorithm

그림 9. DSBP 기법을 사용하여 처리한 영상
Fig. 9. Target images processed by DSBP algorithm.

그림 10. FDTD-TR 기법을 사용하여 처리한 영상
Fig. 10. Target images processed by FDTD-TR algorithm.

부분으로 신호의 에너지가 강한 부분이다. 두 그림 모두에서 다수의 밝은 부분이 나타나는데, 이것은 입력 신호와 표적의 모양에 관련이 있다. 특히 FDTD-TR 기법에서는 신호원이 미분되어 전파되므로 표적 영상이 더 복잡하다. 이것은 DSBP 기법으로 생성된 영상이 FDTD-TR 기법으로 생성된 영상보다 나아 보이는 이유 중의 하나이다.

두 기법은 모두 2.66 GHz 클럭 속도를 가진 Intel (R) core(TM)2 Duo CPU E6750를 장착한 컴퓨터에서 Matlab R2006b ver. 7.3을 사용하여 수행되었다. DSBP 기법과 FDTD-TR 기법은 모두 409×409 셀을 가진 영상을 생성하도록 수행되었는데, DSBP 기법은 1.246 sec가 걸리고 FDTD-TR 기법은 0.857 sec가 걸려서

FDTD-TR 기법이 상대적으로 빠르게 수행되었다. 그 이유 중 하나로 벡터화 여부를 들 수 있다. 일반적으로 Matlab은 벡터화된 프로그램을 더 빠르게 처리하는데, FDTD-TR 기법은 벡터화가 쉬운 반면 DSBP 기법은 벡터화하기 힘들므로 FDTD-TR 기법이 더 빠르게 수행된다. 또 다른 이유로는 연산의 복잡성을 들 수 있다. FDTD-TR은 덧셈과 곱셈만 관련되지만, DSBP 기법은 덧셈과 곱셈 외에 제곱근 연산이 수행된다. 벡터화 여부와 제곱근 연산은 많은 CPU 시간을 소모하는 것으로 알려져 있다^[13].

IV. 결 론

본 논문에서는 초광대역 레이더를 구성하여 실험을 통하여 데이터를 획득하고, 획득된 데이터에 DSBP 기법과 FDTD-TR 기법을 적용하고 두 기법의 특징을 비교하였다. 초광대역 레이더는 네트워크 분석기, 저항성 V 다이폴 안테나, 스캐너, 그리고 제어 컴퓨터로 구성되고, 안테나를 1차원 스캔하여 레이더의 개구면을 합성하였다. 실험 데이터에서 실험 장비로 인한 내부 잡음의 보정과 실험 주위 환경에서 오는 외부 클러터를 보정하는 절차를 수행하여 왜곡이 제거된 신호를 얻었다. 보정된 데이터에 DSBP 기법과 FDTD-TR 기법을 적용하여 영상을 생성하였다. 두 기법은 모두 같은 플랫폼에서 사용되었는데, 둘 다 원래 표적의 위치와 모양에 가까운 영상을 생성하였다. DSBP 기법으로 처리된 영상이 FDTD-TR 기법으로 처리된 영상에 비하여 질이 더 나아보였다. 그러나 DSBP 기법은 FDTD-TR 기법에 비해 약 1.4배 느리게 수행된다는 단점이 있다.

영상은 신호원과 표적의 모양에 따라 다수의 골과 마루를 포함하므로 표적의 실제 모양과는 다소 차이가 있다. 향후 연구는 생성된 영상이 표적의 실제 모양과 보다 가깝도록 하는데 집중될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] James D. Taylor, *Ultra-wideband Radar System*, CRC press, 1995.
- [2] C. Ozdemir, S. Lim, and H. Ling, "A synthetic-aperture algorithm for ground penetrating radar imaging", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 42, pp. 412-414, Jul. 2004.
- [3] Cheng Yan, Zhang Jian Zhong, "Diffraction tomography algorithm for ground penetrating radar", *IEEE Int. Sym. Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications*, Hangzhou, pp. 913-916, Aug. 2007.
- [4] Colin Gilmore, Ian Jeffrey, and Joe LoVetri, "Derivation and comparison of SAR and frequency-wavenumber migration within a common inverse scalar wave problem formulation", *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, pp. 1454-1461, Jun. 2006.
- [5] Lei Wentai, Huang Chunlin, and Su Yi, "A real-time back projection imaging algorithm for impulse surface penetrating radar", *IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 1734-1737, Jul. 2005.
- [6] José M. F. Moura, Yuanwei Jin, "Detection by time reversal: single antenna", *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 55, pp. 187-201, Jan. 2007.
- [7] E. Maeland, "Seismic migration in stratified media", *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol. 29, pp. 798-800, Sep. 1991.
- [8] N. Chakroun, M. A. Fink, and F. Wu, "Time reversal processing in ultrasonic nondestructive testing", *IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, vol. 42, pp. 1087-1098, Nov. 1995.
- [9] Allen Taflove, Susan C. Hagness, *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*, Artech House, 2005.
- [10] Data Sheet for NI GPIB-ENET/100, National Instruments Corporation, 2004.
- [11] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, 2005.
- [12] Kyungryul Kam, Kangwook Kim, "Detection of buried objects using ultra-wideband radar: Newly launched mine detection project in South Korea", *Proc. of SPIE*, Florida, vol. 6953, Apr. 2008.
- [13] MATLAB 7 Getting Started Guide, The MathWorks, Inc.

김 대 만



2008년 8월: 경희대학교 전자전파 공학과 (공학사)
2008년~현재: 광주과학기술원 정보기전공학부 석사과정
[주 관심분야] 초광대역 레이더 영상화 기술, 초광대역 레이더 시스템

김 강 욱



1997년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 8월: Georgia Institute of Technology (공학석사)
2003년 5월: Georgia Institute of Technology (공학박사)
2003년~2005년: Georgia Institute of Technology, Postdoctoral Fellow
2005년~2006년: 삼성종합기술원 전문연구원
2006년~현재: 광주과학기술원 정보기전공학부 조교수
[주 관심분야] 안테나 소형화, 초광대역 안테나, 초광대역 레이더 영상화 기술

홍 진 영



2000년 2월: 홍익대학교 전파공학과 (공학사)
2002년 2월: 홍익대학교 전파통신공학과 (공학석사)
2008년 8월: 홍익대학교 전파통신공학과 (공학박사)
2002년 2월~2004년 8월: 삼성전기

중앙연구소 RF Lab.

2008년 2월~현재: 삼성탈레스 레이더 시스템 그룹
[주 관심분야] 레이더 시스템, 전파 산란, 마이크로파 원격 탐사