

# 레이다 표적 인식에서 3D MEMP 기법을 이용한 표적의 3차원 산란점 예측

## Estimating Three-Dimensional Scattering Centers of a Target Using the 3D MEMP Method in Radar Target Recognition

신 승 용 · 명 로 훈

Seung Yong Shin · Noh Hoon Myung

### 요 약

본 논문은 레이다 표적 인식에서 레이다 산란신호에 대한 3차원 산란점 추출을 위한 고해상도 기법에 대해 기술하고 있다. 또한, 3차원 산란점 추출에서 신호의 극점을 획득하기 위해 3차원 짝 맞춤 절차를 소개하고 있다. 짝 맞춤 절차는 기존의 일반적인 방법보다 더 정확하고 견고한 특징을 가지고 있다. 3차원 산란점을 추출하기 위해서는 우선 주어진 3차원 레이다 산란 데이터로부터 상호 분산 행렬을 생성해야 한다. 그리고 matrix pencil 기법을 이용하여 3차원 산란점을 추출한다. 본 논문에서 MSSP를 이용하여 상호 분산 행렬을 생성하였으며, 관측 행렬은 sparse scanning order conception 방법을 이용하여 만들었다. 제시한 기법의 성능을 보여주기 위해서 본 논문에서는 이상적인 점 산란체를 생성하여 이에 대한 결과를 보여주고 있다.

### Abstract

This paper presents high resolution techniques of three-dimensional(3D) scattering center extraction for a radar backscattered signal in radar target recognition. We propose a 3D pairing procedure, a new approach to estimate 3D scattering centers. This pairing procedure is more accurate and robust than the general criterion. 3D MEMP(Matrix Enhancement and Matrix Pencil) with the 3D pairing procedure first creates an autocorrelation matrix from radar backscattered field data samples. A matrix pencil method is then used to extract 3D scattering centers from the principal eigenvectors of the autocorrelation matrix. An autocorrelation matrix is constructed by the MSSP(modified spatial smoothing preprocessing) method. The observation matrix required for estimation of 3D scattering center locations is built using the sparse scanning order conception. In order to demonstrate the performance of the proposed technique, we use backscattered field data generated by ideal point scatterers.

Key words : Radar Target Recognition, Scattering Center, 3D MEMP, MSSP, Pairing Procedure

### I. 서 론

레이다 시스템을 이용하여 미지의 표적을 빠르고 정확하게 인식하고 구별하는 것은 레이다 표적 인식(radar target recognition)에서 매우 중요한 요소이다. 탐지된 표적에 의해 산란된 신호를 적절히 분석하여

탐지 표적이 무엇인지 알아내는 것이 표적 인식의 목적이며, 표적의 위치와 속도의 정보도 정확하게 제공해야 한다. 표적에 대한 산란점과 ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) 영상은 표적을 이루는 산란점의 위치와 크기의 정보를 제공하기 때문에 오래전부터 표적 인식 단계에 널리 이용되고 있다. 또

「이 연구는 KAIST의 RDRC 연구센터를 통한 국방과학연구소의 연구비 지원으로 연구되었음.」

한국과학기술원 전자전산학과(School of Electrical Engineering & Computer Science, KAIST)

· 논문 번호 : 20071130-06S

· 수정완료일자 : 2008년 2월 4일

한, 표적의 산란점 및 ISAR 영상은 표적의 산란 분석을 하거나, 레이다 표적에 대한 모델링을 하는데 있어서 널리 사용되고 있다.

표적 인식을 하는데 있어서 일반적으로는 2차원 산란점이 널리 사용되고 있다. 그러나 이는 표적의 상대적인 고도(altitude)의 정보를 제공하지 못한다는 단점이 있다. 따라서 표적의 정확한 산란점 위치를 알아내기 위해서는 표적의 산란점에 대한 고도 정보를 제공하는 3차원 산란점 추출이 필요하다. 표적의 산란점을 추출하기 위해서는 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 기반 기법을 주로 이용한다. IFFT 기반 기법은 구현이 간단하고 계산 시간이 매우 빠르다는 장점을 가지고 있는 반면에 영상의 해상도 면에서 질이 떨어지는 단점이 있다. IFFT 기반 기법을 이용하여 영상의 해상도를 높이기 위해서는 레이다 운용 주파수의 대역폭이 커야 하고, 관측 각도가 넓어야 한다는 문제점이 있다<sup>[1]</sup>. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 지금까지 여러 가지 고해상도 기법들이 개발이 되어왔다.

고해상도 기법들은 신호의 부공간과 잡음의 부공간이 서로 직교하다는 사실을 바탕으로 이루어지며, 좁은 대역폭과 작은 관측각도에서도 좋은 해상도를 제공한다. 그러나 이러한 고해상도 기법들도 산란점의 개수를 선택함에 있어서 문제점이 발생하는데, 이를 해결하여 자동적으로 산란점의 개수를 정해주는 MDL(Minimum Description Length) 또는 AIC(Akaike Information Criterion) 방법이 개발되었다<sup>[2]</sup>. 본 논문에서는 MDL 방법을 이용하여 산란점의 개수를 자동적으로 정해 주었다.

본 논문에서는 레이다 표적의 3차원 산란파에 대한 수학적 모델을 제시하고, 제안한 고해상도 기법인 3D MEMP 기법을 구현하도록 한다. 그리고 구현한 3차원 산란점 추출 알고리즘의 성능을 나타내기 위해서 이상적인 점 산란체에 대한 산란파를 생성하여 이에 대한 산란점의 위치를 예측한 결과를 나타내었다.

## II. 레이다 표적의 3차원 산란점 모델

레이다의 관점에서 표적은 일반적으로 표적에 상응하는 여러 유한개의 산란점의 분포로써 표현이 가능하다. 또한 레이다의 측정 주파수를 고주파로 제

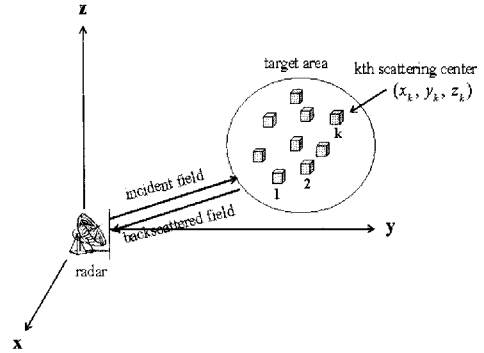


그림 1. 레이다 표적 인식에서 표적의 3차원 산란점에 대한 기하학적 모델

Fig. 1. The geometric model of 3D scattering centers of a target in radar target recognition.

한다면, 그림 1에서 보여주는 것과 같이 표적의 산란파는 여러 산란점들에 의해 산란된 전자파의 합으로 나타낼 수 있다<sup>[3]</sup>. 즉, 레이다의 표적에 대한 각 산란점은 비분산적인 특징을 가진다.

표적의 산란점이 비분산적인 특징을 가진다는 사실을 바탕으로 주파수 영역에서  $N_1$ 개로 샘플링하여  $f_{n_1}$ 을 얻고, azimuth 방향의 각도 영역에서  $N_2$ 개로 샘플링하여  $\theta_{n_2}$ 을 얻으며, elevation 방향의 각도 영역에서  $N_3$ 개로 샘플링하여  $\phi_{n_3}$ 을 얻어서 표적의 산란파를 표현하면 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$s(n_1, n_2, n_3) = \sum_{k=1}^K \alpha_k e^{-\frac{jA\pi n_1}{c}(x_k \cos \theta_{n_2} \cos \phi_{n_3} + y_k \sin \theta_{n_2} \cos \phi_{n_3} + z_k \sin \phi_{n_3})} + u(n_1, n_2, n_3) \quad (1)$$

여기서  $K$ 는 표적상에 존재하는 산란점의 개수를 나타내며,  $u(n_1, n_2, n_3)$ 은 분산과 평균이 0(zero)인 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이다.

정확한 산란점의 위치를 획득하기 위해서는 좌표 변환(coordinate transform)이 먼저 수행되어야 한다. 이러한 좌표 변환을 하는 것을 내삽 과정(interpolation procedure)이라고 하며, 그림 2는 내삽 과정을 이용한 좌표변환을 나타내고 있다.

위의 식 (1)에서 획득한 산란 데이터에서 내삽 과정을 적용한 다음 최종적으로 데이터를 얻으면, 주파수-각도(frequency-angular) 영역의 데이터가 다음의 식 (2)와 같이 직교 좌표(Cartesian coordinate)의

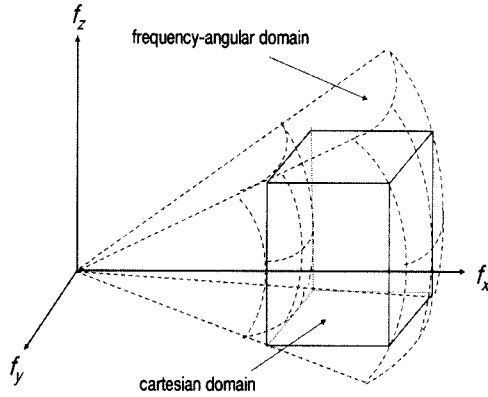


그림 2. 좌표 변환  
Fig. 2. The coordinate transform.

영역의 데이터로 표현이 된다.

$$s(n_1, n_2, n_3) = \sum_{k=1}^K \alpha_k e^{-j2\pi(f_n x_k + f'_n y_k + f''_n z_k)} + u(n_1, n_2, n_3) \quad (2)$$

여기서 직각 좌표계의 변수  $f^x, f^y$  그리고  $f^z$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} f^x &= \frac{2f \cos \theta \cos \phi}{c} \\ f^y &= \frac{2f \sin \theta \cos \phi}{c} \\ f^z &= \frac{2f \sin \phi}{c} \end{aligned} \quad (3)$$

위의 식 (2)을 행렬식으로 표현하면 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$s = A\alpha + u \quad (4)$$

여기서 행렬  $s, A, \alpha, u$ 는 열벡터로서 다음의 식 (5)와 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} s &= [s_{111}, s_{211}, \dots, s_{N_1 11}, x_{121}, \dots, x_{N_1 N_2 N_3}]^T \\ A &= [a(x_1, y_1, z_1), a(x_2, y_2, z_2), \dots, a(x_K, y_K, z_K)]^T \\ \alpha &= [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K]^T \\ u &= [u_{111}, u_{211}, \dots, u_{N_1 11}, u_{121}, \dots, u_{N_1 N_2 N_3}]^T \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $T$ 는 행렬의 전치(transpose)를 나타내며,  $a(x_k, y_k, z_k)$ 는 각 신호에 대한 모드 벡터(mode vector) 또는 방향 벡터(direction vector)이다.

### III. 3D MEMP Method

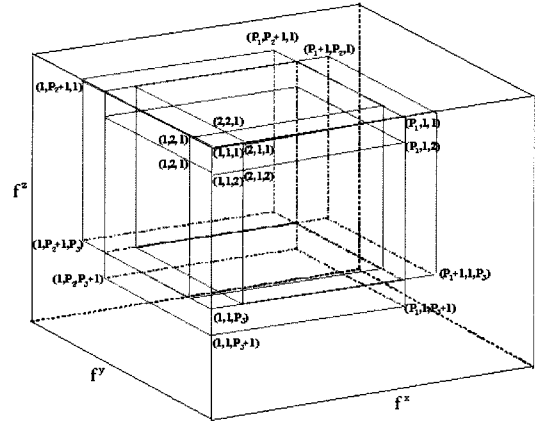


그림 3. 3차원 spatial smoothing preprocessing에 대한 부 어레이

Fig. 3. The sub-arrays for three-dimensional spatial smoothing preprocessing.

3차원 MEMP 기법을 이용하여 표적의 3차원 산란점을 예측하기 위해서는 SSP(Spatial Smoothing Preprocessing)를 이용하여 주어진 3차원 산란파에 대한 상호 분산 행렬(autocorrelation matrix)을 만들어야 하며, 이에 대한 기본적인 개념을 그림 2에서 나타내었다<sup>[4]</sup>. SSP를 이용하여 산란 데이터에 대한 상호 분산 행렬을 다음의 식으로 나타낸다.

$$R_{ssp} = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N s_m s_m^H \quad (6)$$

여기서  $H$ 는 복소 공액 전치(complex conjugate transpose)를 나타내며,  $s_m$ 은  $m$ 번째 부공간에 해당하는 3차원 행렬의 행(column) 성분을 나타낸다.

MSSP 기법은 SSP 기법의 성능을 개선한 방법으로 신호 성분들 사이의 상관(coherence)을 제거하는 효과를 가지고 있으며, SSP 기법보다는 더 우수한 성능을 가진다는 것은 잘 알려진 사실이다. 따라서 본 논문에서는 MSSP 기법을 이용하여 3차원 산란파에 대한 상호 분산 행렬을 얻었으며, 다음의 식과 같이 주어진다<sup>[5]</sup>.

$$R_{mssp} = \frac{1}{2N} \sum_{m=1}^N (R_m + JR_m^*J) \quad (7)$$

여기서  $R_m$ 은  $R_m = s_m s_m^H$ 으로 주어지며,  $*$ 는 공액 복소수(complex conjugate)를 나타낸다.  $J$ 는 교환 행렬(exchange matrix)을 나타내며, 다음의 식 (8)과

같이 나타낼 수 있다.

$$J = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 & 1 \\ 0 & \cdots & 1 & 0 \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ 1 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

다음으로 3차원 산란점을 추출하기 위해서는 획득된 데이터들에 대한 관측 행렬(observation matrix)이 필요하다. 3차원 고해상도 방법을 이용하여 산란점의 위치를 예측하기 위해서 필요한 관측 행렬은 sparse scanning order conception을 이용하여 간단하게 나타낼 수 있다<sup>[6]</sup>. 3차원 sparse scanning order에 상응하는 차수는 or  $d_1 = \{1, 2, 3\}$ , or  $d_2 = \{2, 3, 1\}$ , 그리고 or  $d_3 = \{3, 1, 2\}$ 으로 정의할 수 있다.

Sparse scanning order conception로 구해진 관측 행렬에 고유치 분해(eigenvalue decomposition)를 적용하여 다음의 식과 같이 분리할 수 있다<sup>[7]</sup>.

$$R_{mssp} = E_{m,ord_k} \Lambda_{m,ord_k} E_{m,ord_k}^H \quad (9)$$

여기서  $E_{m,ord_k}$ 와  $\Lambda_{m,ord_k}$ 는 각각 상호 분산 행렬  $R_{mssp}$ 의 고유 벡터와 고유값을 나타낸다.

레이더에 대한 3차원 산란 데이터를 위에서 소개한 sparse scanning order에 의해서 구성된 상호 분산 행렬에 대한 고유 벡터는 다음의 식 (10)과 같이 신호에 대한 고유 벡터와 잡음에 대한 고유 벡터로 분리할 수 있으며, 신호에 관련된 고유 벡터만을 선택하여  $E_{s,ord_k}$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} E_{m,ord_k} &= [e_1 e_2 \cdots e_K e_{K+1} \cdots e_{p_1 p_2 p_3}] \\ &= [E_{s,ord_k} E_{n,ord_k}] \end{aligned} \quad (10)$$

다음으로 신호의 고유 벡터 행렬  $E_{s,ord_k}$ 의 마지막 열을 뺀 나머지 부분으로 구성된 행렬  $\underline{E}_{s,ord_k}$ 과 첫 번째 열을 뺀 나머지 부분으로 구성된 행렬  $\overline{E}_{s,ord_k}$ 를 구한다. 여기서 구한 matrix pencil pair 형태의 두 행렬  $\underline{E}_{s,ord_k}$ 과  $\overline{E}_{s,ord_k}$ 을 이용하여 다음의 식 (11)과 같이 새로운 행렬로 재구성한다<sup>[8],[9]</sup>.

$$F_{ord_k} = (\underline{E}_{s,ord_k})^+ \overline{E}_{s,ord_k} \quad (11)$$

행렬  $F_{ord_1}$ ,  $F_{ord_2}$  그리고  $F_{ord_3}$ 을 구하고 나면 세 행렬의 대각 행렬을 구하기 위해서 세 행렬의 선형 결합으로 이루어진 행렬을 구하고 나서, 여기에 고유치 분해를 적용하여 다음과 같이 변환 행렬  $T$ 을 구한다.

$$\begin{aligned} &\beta F_{ord_1} + \left(\frac{1-\beta}{2}\right) F_{ord_2} + \left(\frac{1-\beta}{2}\right) F_{ord_3} \\ &= T^{-1} D T \end{aligned} \quad (12)$$

여기서  $\beta$ 는 스칼라 값을 나타낸다.

그리고 다음의 식 (13)에서 나타난 것과 같이  $F_{ord_1}$ ,  $F_{ord_2}$ ,  $F_{ord_3}$ 에 대해 고유치 분해를 적용하여 각각의 행렬에 대해서 고유 벡터  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ 를 구한다.

$$\begin{aligned} F_{ord_1} &= E_1 \Lambda_1 E_1^H \\ F_{ord_2} &= E_2 \Lambda_2 E_2^H \\ F_{ord_3} &= E_3 \Lambda_3 E_3^H \end{aligned} \quad (13)$$

위에서 구한 고유 벡터  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ 와 변환 행렬  $T$ 를 이용하여 행렬  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ 을 구한다.

$$\begin{aligned} P_1 &= T^{-1} E_1 \\ P_2 &= T^{-1} E_2 \\ P_3 &= T^{-1} E_3 \end{aligned} \quad (14)$$

행렬  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ 의 각각의 열성분에서 최대 값을 가지는 위치를  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ 라 하고,  $F_{ord_1}$ 의 고유값들 중에서  $p_1$ 의 위치를 선택하면 down-range 방향에서의 극점을 구할 수 있다. 이와 같은 방법으로 cross-range 방향의 극점과 vertical-range 방향에서의 극점을 구할 수 있다. 이렇게 모든 방향에서의 극점이 주어지면 다음의 식 (15)을 이용하여 각 산란점의 위치를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_n &= \frac{\angle p_{xn}}{2\pi} X_u \\ y_n &= \frac{\angle p_{yn}}{2\pi} Y_u \\ z_n &= \frac{\angle p_{zn}}{2\pi} Z_u \end{aligned} \quad (15)$$

여기서,  $X_u, Y_u$  그리고  $Z_u$ 는 최대 비 모호 거리 (maximum unambiguous range)를 나타내며, 다음의 식 (16)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_u &= \frac{c}{2\Delta f^x} \\ Y_u &= \frac{c}{2\Delta f^y} \\ Z_u &= \frac{c}{2\Delta f^z} \end{aligned} \quad (16)$$

여기서,  $\Delta f^x, \Delta f^y$  그리고  $\Delta f^z$ 는 직각 좌표계의 공간 주파수의 증가치를 나타낸다.

#### IV. 모의실험 결과

제안한 산란점 추출 기법의 성능을 평가하는데 일반적으로 이상적인 점 산란체로 구성된 표적의 산란 데이터는 매우 중요한 지표가 된다. 따라서 본 논문에서는 그림 4에서 보여주는 것과 같이 산란점의 개수를 10개로 하여 이상적인 점 산란체의 표적을 구성하였다. 표 1은 표적을 이루는 점 산란체의 위치와 크기를 나타내고 있다. 본 논문에서 나타낸 3차원 산란점 추출 기법인 3D MEMP의 성능을 보여주기 위해서 사용한 파라미터는 다음과 같다. 레이더 산란파를 얻기 위해 사용한 주파수는 9.5~10.5 GHz로 대역폭(bandwidth)을 1.0 GHz로 하였으며, 주파수의 개수를 30개로 샘플링을 하여 주파수의 간격을 34.48 MHz로 하였다. 그리고 azimuth 방향으로 관측 각도를  $-5.73^\circ \sim +5.73^\circ$ 로 각도의 간격을 0.395°

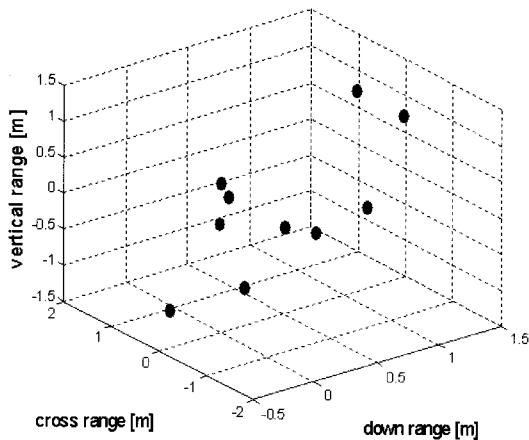


그림 4. 3차원의 이상적인 산란점에 대한 위치  
Fig. 4. Actual locations of 3D ideal scattering centers.

표 1. 3차원 산란점 추출을 위한 이상적인 점 산란체에 대한 실제 위치와 크기

Table 1. Actual location and amplitude of ten ideal point scatterers for 3-D scattering center extraction.

Number	Scattering centers location			Amplitude
	x [m]	y [m]	z [m]	
# 1	0.0	0.0	0.0	0.3+j0.4
# 2	-0.4	0.0	-1.0	0.3+j0.4
# 3	0.2	0.0	-1.0	0.7+j0.8
# 4	1.2	0.0	-0.4	0.3+j0.2
# 5	0.3	0.6	0.0	0.5+j0.6
# 6	0.3	-0.6	0.0	0.5+j0.6
# 7	0.4	1.0	0.0	0.2+j0.5
# 8	0.4	-1.0	0.0	0.2+j0.5
# 9	1.3	0.5	1.0	0.4+j0.3
# 10	1.3	-0.5	1.0	0.4+j0.3

로 하여 각도에 대한 샘플링 개수를 30개로 실험을 하였으며, 또한 elevation 방향의 관측각도를  $-5.73^\circ \sim +5.73^\circ$ 로 각도의 간격을 0.395°로 하여 각도에 대한 샘플링 개수를 30개로 실험을 하였다.

그림 5는 내삽(interpolation) 과정을 수행하지 않은 상태에서 본 논문에서 제안한 3D MEMP 기법을 이용하여 표적의 3차원 산란점의 예측 결과를 나타내었다. 여기서 (\*)는 실제 산란점의 위치를 나타내고 있으며, (○)는 제안한 방법인 3D MEMP 기법으로 예측한 산란점의 위치를 나타낸다. 그림의 결과를 보면 본 논문에서 제안한 방법으로 예측한 산란점의 위치는 실제 산란점의 위치와 다소 일치하는 것을 볼 수 있다. 그림 5의 결과는 내삽 과정을 거치지 않았기 때문에 원점(0, 0, 0)의 위치에서는 예측한 산란점이 실제 산란점과 정확하게 일치하지만 원점에서 멀어지면 멀어질수록 실제 산란점과 비교해서 볼 때 오차가 나는 것을 볼 수 있다. 표 2는 내삽 과정을 수행하지 않고 추출해낸 산란점의 위치와 실제 산란점의 위치를 보여준다.

그림 6은 획득한 레이더 산란 데이터에 내삽 과정을 수행하고 난 후 본 논문에서 제안한 3D MEMP 기법을 이용하여 이상적인 점 산란체에 대한 3차원 산란점의 예측 결과를 나타내었다. 여기서 (\*)는 실제 산란점의 위치를 나타내며, (○)는 제안한 방법인 3D MEMP 기법으로 예측한 산란점의 위치를 나타

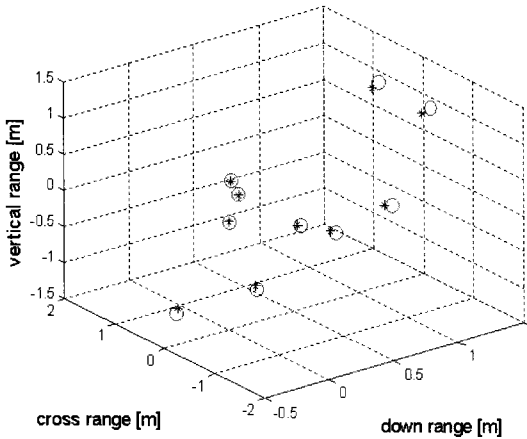


그림 5. 내삽 과정 수행 없이 3D MEMP 기법을 이용한 3차원 산란점 추출, (\*)는 실제 산란점의 위치, (o)는 예측한 산란점의 위치

Fig. 5. 3D scattering center extraction using the 3D MEMP method without interpolation procedure, actual scattering centers are marked with the symbol (\*), extracted scattering centers are plotted with the symbol (o).

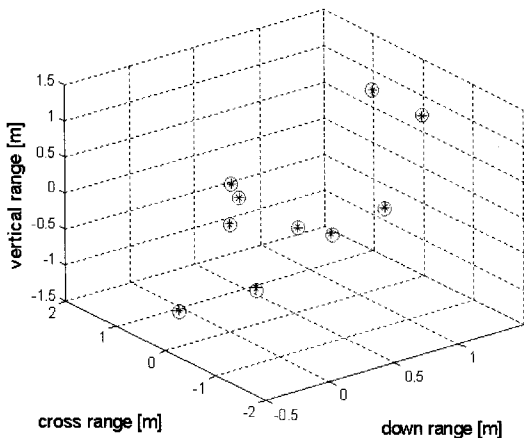


그림 6. 내삽 과정 수행 후 3D MEMP 기법을 이용한 3차원 산란점 추출, (\*)는 실제 산란점의 위치, (o)는 예측한 산란점의 위치

Fig. 6. 3D scattering center extraction using the 3D MEMP method with interpolation procedure, actual scattering centers are marked with the symbol (\*), extracted scattering centers are plotted with the symbol (o).

낸다. 그림 6의 결과를 보면 예측된 산란점의 위치는 실제 산란점의 위치와 정확하게 일치하는 것을

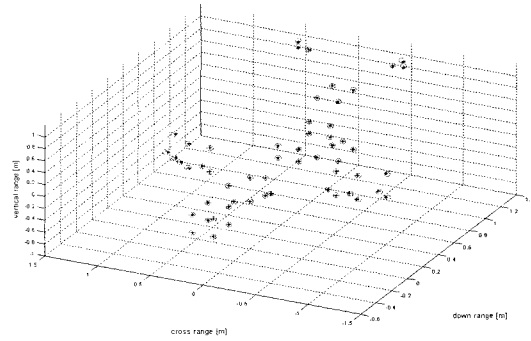


그림 7. 내삽 과정을 수행한 후 3D MEMP 기법을 이용한 3차원 산란점 추출, 산란점의 개수=56, (\*)는 실제 산란점의 위치, (o)는 예측한 산란점의 위치

Fig. 7. 3D scattering center extraction using the 3D MEMP method with interpolation procedure, Number of scattering center=56, actual scattering centers are marked with the symbol (\*), extracted scattering centers are plotted with the symbol (o).

볼 수 있다. 그림 6의 결과는 내삽 과정을 수행하였기 때문에 원점의 위치뿐만 아니라 원점에서 떨어진 산란점의 위치 또한 정확하게 예측할 수 있음을 볼 수 있다. 표 3은 내삽 과정을 수행한 후 실제 산란점의 위치와 추출해낸 산란점의 위치를 보여준다.

실제 상황에서의 표적은 표적을 이루는 산란점의 개수가 상당히 많다. 따라서 본 논문에서는 산란점의 개수를 56개로 많은 수의 산란점을 이용하여 실험을 해 보았다.

산란점의 개수가 56개의 상태에서 레이더 산란 데이터를 생성하기 위해서 사용한 주파수와 대역폭, 관측각도 그리고 샘플링의 개수와 간격은 앞서 실험한 산란점의 개수가 10개인 상태에서의 파라미터와 동일하다.

그림 7은 표적을 이루는 산란점의 개수가 56개인 상황에서 제안한 기법인 3D MEMP를 이용하여 3차원 산란점 추출을 예측한 결과이다. 여기서 (\*)는 실제 산란점의 위치를 나타내며, (o)는 제안한 기법으로 예측한 산란점의 위치를 나타낸다. 그림의 결과를 보면 산란점의 개수가 많은 상태에서도 예측된 산란점의 위치가 실제 산란점의 위치와 정확하게 일치하는 것을 확인할 수 있다.

표 2. 내삽 과정이 없는 상태에서 산란점에 대한 실제 산란점의 위치와 예측한 산란점의 위치

Table 2. Actual and extracted scattering center locations of ten scattering points without interpolation procedure.

No.	Actual scattering centers location			Extracted scattering centers location		
	x[m]	y[m]	z[m]	x[m]	y[m]	z[m]
# 1	0.0	0.0	0.0	0.0003	0.0000	0.0000
# 2	-0.4	0.0	-1.0	-0.4294	0.0000	-1.0519
# 3	0.2	0.0	-1.0	0.2178	0.0000	-1.0519
# 4	1.2	0.0	-0.4	1.3115	0.0000	-0.4191
# 5	0.3	0.6	0.0	0.3277	0.6282	0.0000
# 6	0.3	-0.6	0.0	0.3277	-0.6282	0.0000
# 7	0.4	1.0	0.0	0.4478	1.0482	0.0000
# 8	0.4	-1.0	0.0	0.4478	-1.0482	0.0000
# 9	1.3	0.5	1.0	1.4202	0.5240	1.0477
# 10	1.3	-0.5	1.0	1.4202	-0.5240	1.0477

표 3. 내삽 과정을 수행한 후 산란점에 대한 실제 산란점의 위치와 예측한 산란점의 위치

Table 3. Actual and extracted scattering center locations of ten scattering points with interpolation procedure.

No.	Actual scattering centers location			Extracted scattering centers location		
	x[m]	y[m]	z[m]	x[m]	y[m]	z[m]
# 1	0.0	0.0	0.0	0.0001	0.0000	0.0000
# 2	-0.4	0.0	-1.0	-0.3973	0.0000	-1.0228
# 3	0.2	0.0	-1.0	0.1983	0.0000	-1.0228
# 4	1.2	0.0	-0.4	1.1989	0.0000	-0.4006
# 5	0.3	0.6	0.0	0.3001	0.5989	0.0000
# 6	0.3	-0.6	0.0	0.3001	-0.5989	0.0000
# 7	0.4	1.0	0.0	0.3954	1.0175	0.0000
# 8	0.4	-1.0	0.0	0.3954	-1.0175	0.0000
# 9	1.3	0.5	1.0	1.2940	0.5001	1.0177
# 10	1.3	-0.5	1.0	1.2940	-0.5001	1.0177

### V. 결 론

본 논문에서는 레이더 표적의 3차원 산란점을 예측하는 방법인 3D MEMP 기법을 기술하였다. 또한, 레이더 산란신호에 대한 3차원 모델을 제시하였으며, modified spatial smoothing preprocessing(MSSP) 방법을 3차원으로 확대하였다. 본 논문에서 제안한 방법인 3D MEMP 기법으로 이상적인 점 산란체에 대

한 예측한 산란점의 위치가 실제 산란점의 위치와 정확하게 일치하는 것을 확인할 수 있다. 표적에 대한 정확한 산란점의 예측은 레이더 자동 표적 인식 (automatic target recognition)에서 매우 중요한 지표가 된다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. G. Inder, J. B. Mark, and Ali Moghaddar, "Data extrapolation for high resolution radar imaging", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, 42(11) pp. 1540-1545, 1994.
- [2] M. Wax, T. Kailath, "Detection of signals by information theoretic criteria", *IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 33(2), pp. 387-392, 1985.
- [3] L. C. Potter, D. M. Chiang, R. Carriere, and Michael J. Gerry, "GTD-based parametric model for radar scattering", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, 43(10), pp. 1058-1067, 1995.
- [4] B. Gue, Y. Wang, and J. Li, "Microwave imaging via adaptive beamforming methods for breast cancer detection", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 20(1), pp. 53-63, 2006.
- [5] J. W. Odendaal, E. Barnard, and C. W. I. Pistorius, "Two-dimensional superresolution radar imaging using the MUSIC algorithm", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, pp. 1386-1391, 1994.
- [6] A. Quinquis, E. Radoi, and R. C. Totir, "Some radar imagery results using superresolution techniques", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, pp. 1230-1244, 2004.
- [7] X. Yang, "A survey of various conjugate gradient algorithms for iterative solution of the largest/smallest eigenvalue and eigenvector of a symmetric matrix", *PIER* 5, pp. 567-588, 1991.
- [8] Hua, "Estimating two-dimensional frequencies by matrix enhancement and matrix pencil", *IEEE Trans. on Signal Processing*, pp. 2267-2280, 1992.
- [9] Gene H. Golub, Charles F. Van Loan, *MATRIX Computations* Third Edition, The Johns Hopkins

University Press, 1996.

신 승 용



2002년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)  
 2004년 2월: 포항공과대학교 정보통신학과 (공학석사)  
 2005년 3월~현재: 한국과학기술원 전자전산학과 박사과정  
 [주 관심분야] 레이더 신호 처리, 산란점 추출 알고리즘, ISAR 영상 형성 기법, 구분기

명 로 훈



1976년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1982년 12월: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학석사)  
 1986년 8월: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학박사)  
 1986년 9월~현재: 한국과학기술원 전자전산학과 교수  
 2006년 1월~2006년 12월: 한국전자과학회 학회장  
 2004년 3월~현재: 전파탐지 특화연구센터 소장  
 2008년 1월~현재: 한국과학기술원 인공위성센터 소장  
 [주 관심분야] 전파 예측 모델, 마이크로웨이브 공학, 안테나, 이동 및 위성 통신, EMI/EMC/EMS 등