

기동표적에 대한 ISAR Cross-Range Scaling

ISAR Cross-Range Scaling for a Maneuvering Target

강병수 · 배지훈 · 김경태 · 양은정*

Byung-Soo Kang · Ji-Hoon Bae · Kyung-Tae Kim · Eun-Jung Yang*

요 약

본 논문에서는 두 개의 순차적인 inverse synthetic aperture radar(ISAR) 영상들을 활용하여 표적의 회전 속도(Rotation Velocity: RV) 추정을 통한 수직 거리 스케일링(cross-range scaling: CRS)을 수행한다. 순차적으로 형성된 두 개의 ISAR 영상들에 각각 scale invariant feature transform(SIFT)를 적용함으로써 관측각도의 변화에 강인한 산란원(scatterer)들을 추출한다. 추출된 산란원과 각 영상 내 표적의 회전 중심(Rotation Center: RC) 사이의 거리가 같다는 점을 이용하여 비용함수(cost function)를 설정한 후, 전역 탐색 기법(exhaustive search method)과 결합된 particle swarm optimization(PSO)의 최적화를 통해 표적의 RV를 RC 정보 없이 추정한다. 시뮬레이션에서는 시나리오 기반으로 기동하는 표적에 대한 ISAR 영상 형성 후, 제안된 기법을 통해 RC의 정보 없이 RV를 추정함으로써 ISAR 영상의 CRS가 성공적으로 수행됨을 보여준다.

Abstract

In this paper, a novel approach estimating target's rotation velocity(RV) is proposed for inverse synthetic aperture radar(ISAR) cross-range scaling(CRS). Scale invariant feature transform(SIFT) is applied to two sequently generated ISAR images for extracting non-fluctuating scatterers. Considering the fact that the distance between target's rotation center(RC) and SIFT features is same, we can set a criterion for estimating RV. Then, the criterion is optimized through the proposed method based on particle swarm optimization(PSO) combined with exhaustive search method. Simulation results show that the proposed algorithm can precisely estimate RV of a scenario based maneuvering target without RC information. With the use of the estimated RV, ISAR image can be correctly re-scaled along the cross-range direction.

Key words: Cross-Range Scaling(CRS), Inverse-Synthetic Aperture Radar(ISAR) Image, Scale Invariant Feature Transform(SIFT)

I. 서 론

거리-도플러(range-Doppler: RD) 기법을 통해 형성된 inverse synthetic aperture radar(ISAR) 영상은 표적에 대한 산란원(scatterer)들의 분포를 거리(range) 및 도플러(Doppler) 방향의 평면에서 2차원의 형태로 나타낸다. 거리

방향 성분은 레이더 대역폭을 통해 미터(m) 단위로 나타낼 수 있으며, 도플러 방향 성분은 영상 합성 시간(image integration time)을 통해 헤르츠(Hz) 단위로 나타낼 수 있다. 여기서 표적의 회전 속도(rotation velocity: RV)를 추정할 수 있다면, 영상 합성 시간과 RV를 이용하여 헤르츠 단위로 분포된 산란원의 분포를 미터(m) 단위의 수직 거

「본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 레이더/IR 표적식별 특화연구실 사업의 일환으로 수행되었습니다.」

포항공과대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Pohang University of Science and Technology)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received July 16, 2014 ; Revised August 27, 2014 ; Accepted September 4, 2014. (ID No. 20140716-052)

· Corresponding Author: Kyung-Tae Kim (e-mail: kkt@postech.ac.kr)

리(cross-range)방향으로 나타낼 수 있다. 이 과정을 수직 거리 스케일링(cross-range scaling: CRS)이라 정의한다. CRS는 표적의 산란정보를 미터 단위의 거리 및 수직 거리 방향에서 나타냄으로써 automatic target recognition(ATR) 및 non-cooperative target recognition(NCTR)을 통한 표적의 피아 식별을 보다 더 효율적으로 수행할 수 있게 한다^[1~4]. 그러나 표적의 기동정보를 알 수 없는 ISAR 영상 형성에 대한 기하학적 특성은 RV의 추정을 통한 CRS의 수행을 어렵게 한다.

최근에 짧은 coherent processing interval(CPI) 동안 관측 각도의 변화율이 일정하다는 전제를 조건으로 다양한 RV 추정 연구가 진행 중에 있으며, 이는 크게 두 가지 방법으로 분류된다. 먼저, 특정 거리 빈(range bin)을 따라 형성된 처프 신호(chirp signal)의 처프율(chirp rate)을 계산함으로써 RV를 추정하는 방법들이 있다^{[1][2]}. 그러나 이들은 낮은 signal to noise ratio(SNR) 환경과 잘못된 이산점(outlier) 제거시 큰 추정 오차를 가지는 단점이 있다. 두 개의 ISAR 영상들 내 표적의 회전 각도(rotation angle)를 통해 RV를 계산하는 방법은 상기 언급된 방법들의 단점을 보완하여 정확한 RV의 추정을 수행한다^{[3][4]}. 그러나 이들은 영상 내 표적의 회전 중심(rotation center: RC) 정보를 필요로 하기 때문에 실제 기동 표적에 대한 ISAR 영상에 대해서는 적용이 불가능하다.

본 논문에서는 시나리오 기반으로 기동하는 표적에 대해 순차적으로 두 ISAR 영상들을 형성한 후, 이를 활용하여 RV 추정을 통한 CRS 수행 기법에 관해 연구하였다. 이를 위해 먼저 각 영상에 scale invariant feature transform(SIFT)를 적용하여 관측각도의 변화에 민감하지 않은 산란원들의 위치 정보를 추출하였다^[4]. 다음으로 추출된 산란원들의 각 영상 내 위치 정보와 전역 탐색 기법(exhaustive search method)과 결합된 particle swarm optimization(PSO)를 이용하여 RC 정보 없이 RV를 추정함으로써 ISAR 영상의 CRS를 수행하였다.

II. 본 론

2-1 회전 운동하는 표적에 대한 ISAR 영상 형성

짧은 CPI 동안 관측된 기동 표적에 대해 거리 이동 보

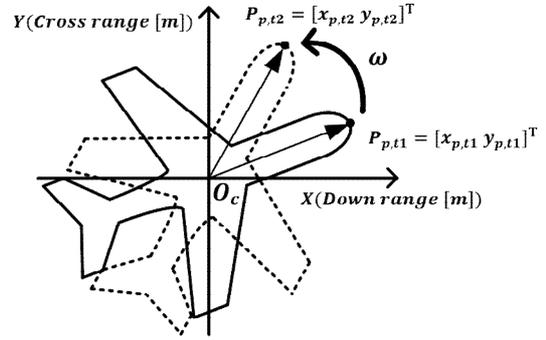


그림 1. 일정한 RV로 회전 운동하는 표적
Fig. 1. Rotating object with constant RV.

상(translational motion compensation)^[5]이 수행된다면 표적은 그림 1과 같이 $O_c = [x_c y_c]^T$ 를 중심으로 일정한 $RV = \omega$ 로 회전 운동하는 형태로서 나타낼 수 있다. 그림 1 내의 $P_{p,t1} = [x_{p,t1} y_{p,t1}]^T$ 과 $P_{p,t2} = [x_{p,t2} y_{p,t2}]^T$ 는 각각 t_1 과 t_2 에서 관측각도의 변화에 민감하지 않은 p 번째 산란원의 위치 정보이며, 식 (1)과 같은 관계식을 가진다.

$$P_{p,t1} = R(\omega \Delta t) P_{p,t2}, \tag{1}$$

여기서,

$$R(\omega \Delta t) = \begin{bmatrix} \cos(\omega \Delta t) & -\sin(\omega \Delta t) \\ \sin(\omega \Delta t) & \cos(\omega \Delta t) \end{bmatrix}, \tag{2}$$

$\Delta t = |t_1 - t_2|$ 는 t_1 과 t_2 사이의 시간차이다. CPI 동안 수집된 레이더 수신 신호에 대한 거리 이동 보상 후 그림 2와 같이 t_1 과 t_2 를 중심으로 순차적인 두 ISAR 영상 I_{t1} 과 I_{t2} 를 형성할 수 있다. 여기서 T_{CPI} 는 CPI, M 은 전체 버스트(burst) 개수 그리고 T_{burst} 는 한 버스트에 대한 시간 구간이다.

ISAR 영상의 형성을 통해 $P_{p,t1}$ 과 $P_{p,t2}$ 는 I_{t1} 과 I_{t2}

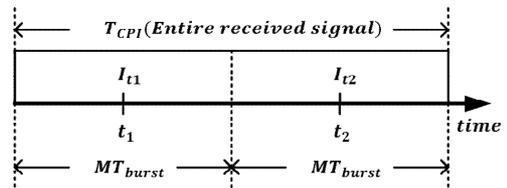


그림 2. 두 개의 순차적인 ISAR 영상 형성
Fig. 2. Generation of two sequenced ISAR images.

내 픽셀(pixel) 위치 벡터 $p_{p,t1} = [n_{p,t1} m_{p,t1}]^T$ 과 $p_{p,t2} = [n_{p,t2} m_{p,t2}]^T$ 으로 각각 매핑(mapping)된다. 여기서 전체 수신 신호에 대하여 거리 이동 보상이 수행되었기 때문에 RC의 위치 벡터 O_c 는 I_{t1} 과 I_{t2} 모두에서 $o_c = [n_c m_c]^T$ 의 동일한 픽셀 위치 벡터로 매핑된다. 식 (1)을 ISAR 영상 내 픽셀 위치 벡터에 관한 식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$S(\omega)(p_{p,t1} - o_c) = R(\omega \Delta t)(p_{p,t2} - o_c) \quad (3)$$

여기서 $S(\omega) = \text{diag}[\eta_r, \eta_a]$ 는 스케일링 매트릭스(matrix), $\eta_r = c/(2f_{BW})$ 는 거리 방향 스케일링 인자(factor), $\eta_a = \lambda_c/(2\omega MT_{burst})$ 는 수직 거리 방향 스케일링 인자, c 는 빛의 속도, f_{BW} 는 레이더 대역폭, λ_c 는 중심주파수에 대한 파장이다. 여기서 관측각도의 변화에 민감하지 않은 산란원의 정보는 SIFT 특징 벡터를 활용하여 추출할 수 있다⁴⁾.

2-2 SIFT 특징 벡터 추출 및 매칭

SIFT는 컴퓨터 비전 분야에서 광학 영상(optical image)에 대한 특징 벡터(feature vector) 추출을 위해 널리 활용되는 기법 중 하나이다⁶⁾. 이는 영상 내 크기 및 회전 그리고 조도(illumination) 변화에 강인한(robust) 특징 벡터를 추출하여 영상 매칭(matching) 및 식별을 성공적으로 수행하게 한다. 여기서 상기 언급된 SIFT의 특성은 순차적으로 형성된 두 ISAR 영상들 사이에서 관측각도의 변화에 강인한 산란원 쌍들을 추출할 수 있게 한다⁴⁾.

SIFT 특징 벡터 추출을 위해 먼저 DOG(difference of Gaussian)를 통한 스케일 공간(scale space) 형성 후⁶⁾, 각 스케일 공간에서 영상의 크기 변화에 강인한 키포인트(keypoint) 후보들을 추출한다. 여기서 추출된 후보들 중 대비(contrast)가 낮고 에지(edge) 성분에 해당되는 키포인트들을 제거하는⁶⁾ 키포인트 지역화(keypoint localization)를 수행함으로써, 영상 내 코너(corner) 성분에 해당되는 추출한다. 다음으로 추출된 키포인트들의 각 픽셀 위치를 중심으로 4×4 배열 영역 내 기울기(gradient) 성분 에 대한 방향을 할당한다. 여기서 배열은 4×4의 픽셀 단위로서 구성된다. 다음으로 할당된 방향 성분에 대한 8-

빈(bin) 기울기 방향 히스토그램(gradient oriented histogram)을 형성함으로써 회전 및 조도 변화에 강인한 128 차원(4×4×8)의 SIFT 특징 벡터를 추출할 수 있다⁶⁾.

순차적으로 형성된 두 ISAR 영상들에 상기 언급된 기법을 각각 적용함으로써 각 영상 내 SIFT 특징 벡터를 추출한다. 각 영상 간 추출된 특징 벡터들의 유클리드 거리가 문턱치 T_{th} 범위 내에서 최소가 되는 키포인트들을 매칭(matching)시킴으로써, 영상 간 관측각도의 변화에 강인한 산란원 쌍들을 추출할 수 있다.

2-3 RV 추정 알고리즘

그림 1에서 도시된 바와 같이 표적 내 산란원이 RC를 중심으로 회전 원 운동을 한다면, t_1 과 t_2 에서 O_c 와 산란원 간 거리는 $\overline{O_c P_{p,t1}} = \overline{O_c P_{p,t2}}$ 로 같다. 이를 픽셀 위치 벡터에 관한 식으로 나타내면 식 (4)와 같다.

$$\| S(\omega)(p_{p,t1} - o_c) \| = \| S(\omega)(p_{p,t2} - o_c) \| \quad (4)$$

SIFT 특징 벡터 추출 및 매칭 과정 후 K 쌍의 산란원들에 대한 픽셀 위치 벡터 쌍들을 획득할 수 있다. 이들은 모두 식 (4)를 만족하기 때문에, ω 의 추정은 식 (5)에 정의된 ω 와 $o_c = [n_c m_c]^T$ 에 대한 3차원 비용함수(cost function) 최소화를 통해 수행될 수 있다.

$$h = \sum_{i=1}^K \left| \left(\frac{\| S(\omega)(p_{i,t1} - o_c) \|}{\| S(\omega)(p_{i,t2} - o_c) \|} \right) \right| \quad (5)$$

여기서 두 변수 ω 와 m_c 는 $\eta_a m_c = \lambda_c m_c / (2\omega MT_{burst})$ 에서 서로 종속적인 관계에 있기 때문에 일반적인 최적화 알고리즘을 통해 제시된 최적화 문제를 해결할 수 없다.

PSO는 집단의 전역적(global) 행동에 기반을 둔 다차원 탐색 공간(search space)에서 최적의 해를 찾는 기법이다. 이는 빠른 연산시간 내 전역 최적값(global optimum)에 수렴하기 때문에 다차원 최적화 문제 해결 시 널리 활용되고 있다⁷⁾. 그러나 ω 와 m_c 의 종속적 관계로 인해 상기 언급된 최적화 문제는 PSO를 통해 해결할 수 없다. 이를 위해 본 논문에서는 전역 탐색 알고리즘과 결합된 PSO를 적용함으로써 h 의 최소화를 통한 ω 추정을 수행하였다.

먼저 제시된 알고리즘을 수행하기 위해 RV 후보 벡터를 식 (6)과 같이 정의한다.

$$\Psi = [\hat{\omega}_1 \dots \hat{\omega}_l \dots \hat{\omega}_L]^T, \quad (6)$$

여기서 $\hat{\omega}_l = (l-1)\Delta\theta/\Delta t$ 는 l 번째 탐색 RV, $\Delta\theta$ 는 RV 추정을 위한 각도 증가분(angular increment)이다. l 과 L 은 각각 $\hat{\omega}_l$ 의 인덱스(index)와 Ψ 를 구성하는 원소의 수를 나타낸다. $\hat{\omega}_l$ 을 식 (5)에 대입하면, 3차원 최적화 문제는 식 (7)과 같이 $o_c = [n_c m_c]^T$ 에 관한 2차원 최적화 문제로 줄어든다.

$$h_l = \sum_{i=1}^K \left| \left(\frac{\|S(\hat{\omega}_l)(p_{i,t1} - o_c)\|}{\|S(\hat{\omega}_l)(p_{i,t2} - o_c)\|} \right) \right|. \quad (7)$$

각각의 $h_l(l = 1, 2, \dots, L)$ 에 대하여 PSO를 통한 최적화를 수행함으로써 h_l 을 최소화 하는 $o_{c,l} = [n_{c,l} m_{c,l}]^T$ 을 찾을 수 있다. 다음으로 최소화 된 각 h_l 에 대하여 식 (8)을 만족하는 최적의 인덱스를 찾음으로써 표적에 대한 RV를 $\hat{\omega}_{l_{opt}}$ 으로서 추정할 수 있다.

$$l_{opt} = \operatorname{argmin}[h_1 \dots h_l \dots h_L]. \quad (8)$$

III. 시뮬레이션 결과

본 절에서는 시나리오 기반 기동 표적에 대한 CRS 수행 결과를 보인다. 표적의 위치 및 이동방향은 레이더를 원점으로 하는 직교좌표 $[x \ y \ z]^T$ 를 기반으로 표기하였으며, 표적은 88개의 점 산란원으로 구성된 Boeing-737 여객기 모델을 사용하였다(그림 3). 시뮬레이션은 표 1의 처프 레이더(chirp-radar)를 통해 표 2의 두 개의 시나리오를 기반으로 각각 시행하였다. 각 시나리오에 대하여 버스트별 HRRP(high resolution range profile)을 형성하기 위해 디처핑(de-chirping) 과정을 거친 후 전체 데이터에 대한 거리 이동 보상 과정을 수행하였다^[5]. 다음으로 그림 2를 기반으로 순차적인 ISAR 영상 I_{t1} 과 I_{t2} 를 형성하였다. 여기서 시나리오 1, 2 각각에 대한 레이더와 표적 간의 관측 각도는 $90^\circ \sim 96.26^\circ$ 으로 동일하게 변하며, 이에 대한 변화량은 일정하다(그림 4).

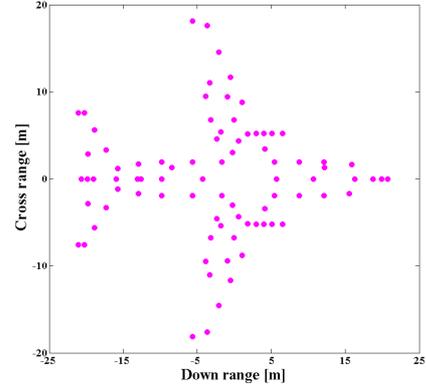


그림 3. Boeing-737 여객기 모델
Fig. 3. Boeing-737 aircraft model.

표 1. 레이더 파라미터

Table 1. Chirp radar parameters.

중심 주파수	9.25 GHz
주파수 대역폭	500 MHz
펄스 반복 주파수	500 Hz
펄스 폭	10 μ sec

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Table 2. Simulation parameters.

	시나리오 1	시나리오 2
초기 위치	$[10 \ 0 \ 1]^T$ km	$[10 \ 0 \ 10]^T$ km
표적 이동 방향	$[0 \ 1 \ 0]^T$	$[0 \ 1 \ 0]^T$
표적 이동 속도	100 m/sec	100 m/sec
총 관측 각도	0.109 rad	0.109 rad
CPI	1.103 sec	1.552 sec
$MT_{burst}(\Delta t)$	0.5515 sec	0.776 sec
원래의 RV	0.0996 rad/sec	0.0718 rad/sec
SNR	30 dB	30 dB

순차적으로 형성된 I_{t1} 과 I_{t2} 에 각각 SIFT를 적용함으로써 관측각도의 변화에 강인한 산란원 쌍들을 추출할 수 있다. 그림 5는 각 시나리오 별 두 ISAR 영상들 간 매칭된 산란원 쌍들을 도시한다. 여기서 $T_{th} = 0.15$ 일 때 SIFT 특징 벡터의 정확한 매칭 과정을 통해 관측각도의 변화에 강인한 산란원 쌍들의 추출이 이루어짐을 여러 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다. 매칭 과정 후의 산란원

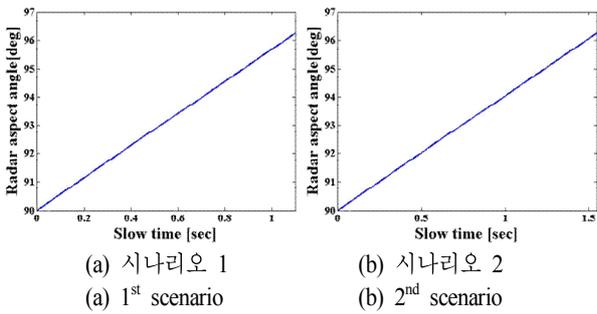


그림 4. 레이더 관측각도 변화
Fig. 4. Change of radar aspect angle.

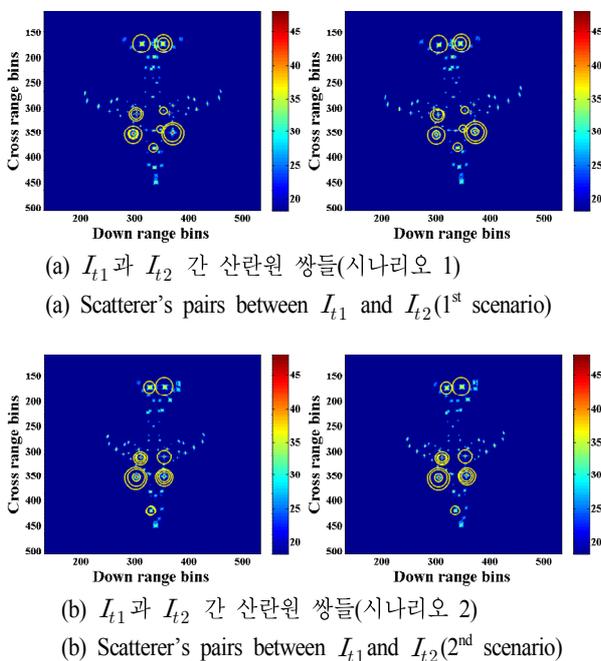


그림 5. SIFT를 통해 추출된 산란원 쌍들
Fig. 5. Scattering points pairs extracted from SIFT.

쌍들은 노란색 원으로 표시되었다. 추출된 산란원 쌍들과 본 논문에서 제시한 알고리즘을 이용하여 각 시나리오 상에서의 RV를 추정하였다. 알고리즘 수행을 위해 식 (6)에 정의된 $\Delta\theta$ 와 L 은 각각 0.01° 와 500으로 설정하였다.

표 3은 시나리오 별 100번의 몬테-카를로 시뮬레이션 (Monte-Carlo simulation) 수행 후의 추정된 RV에 대한 평균과 표준편차를 나타낸다. 표 3에서 표적에 대한 원래의 RV와 추정된 RV의 평균값은 낮은 표준편차에서 근소한

표 3. 몬테-카를로 시뮬레이션 결과

Table 3. Results of 100 Monte-Carlo simulations.

		시나리오 1	시나리오 2
원래의 RV(rad/sec)		0.0996	0.0718
추정된 RV (rad/sec)	평균	0.0990	0.0704
	표준편차	0.0018	0.0043

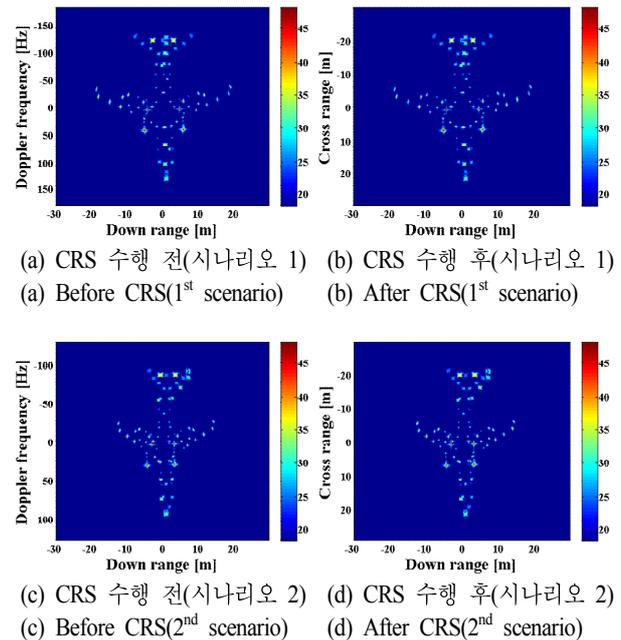


그림 6. CRS 수행 전후의 ISAR 영상

Fig. 6. Unscaled and scaled ISAR images.

오차를 가진다. 이를 통해 제안된 알고리즘을 활용한 기동 표적의 RV 추정이 정확하게 이루어진다는 것을 알 수 있다.

추정된 RV를 활용하여 CRS를 수행함으로써 각 시나리오에 대한 ISAR 영상을 거리 및 수직거리 방향에서 나타내었다. 그림 6(a), (b)는 시나리오 1에 대한 CRS 수행 전후의 ISAR 영상을, 그림 6(c), (d)는 시나리오 2에 대한 CRS 수행 전후의 ISAR 영상을 도시한다. 상기 결과를 통해 CRS 수행 후 도플러 주파수 방향의 산란 분포를 m 단위로 나타냄으로써, ISAR 영상 내 각 산란원의 위치 정보를 m -Hz 단위의 거리-도플러 영역에서 m - m 단위의 거리-수직거리 영역으로 도시할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기동 표적에 대한 두 개의 순차적인 ISAR 영상들을 활용하여 RV 추정 후 CRS를 수행하였다. 이를 위해 먼저 각 영상에서 SIFT를 통해 추출한 산란원들에 대하여 영상 간 매칭과정을 수행함으로써 관측각도의 변화에 강인한 산란원 쌍들을 획득한다. 여기서 산란원의 픽셀 위치 벡터와 RC 간 거리가 두 영상 사이에서 같다는 점을 통해 비용함수를 설정한다. 다음으로 전역탐색 알고리즘과 결합된 PSO를 활용하여 설정된 비용함수를 최적화함으로써 기동 표적의 RV를 추정한다. 시나리오 기반의 기동 표적에 대한 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 방법을 활용함으로써 RC 정보 없이 RV를 추정하여 성공적인 CRS가 수행됨을 확인하였다.

References

[1] M. Martorella, "Novel approach for ISAR image cross-range scaling", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 44, no. 1, pp. 281-294, Jan. 2008.
 [2] J. M. Munoz-Ferreras, F. Perez-Martinez, "Uniform rota-

tional motion compensation for inverse synthetic aperture radar with non-cooperative targets", *IET Radar Sonar Navig.*, vol. 2, no. 1, pp. 25-34, Feb. 2008.
 [3] C. Yeh, J. Xu, Y. Peng, X. Wang, and F. Perez-Martinez, "Cross-range scaling for ISAR based on image rotation correlation", *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 6, no. 3, pp. 597-601, Jul. 2009.
 [4] Z. Xu, L. Zhang, and M. Xing, "Precise cross-range scaling for ISAR images using feature registraion", *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 11, no. 10, pp. 1792-1796, Oct. 2014.
 [5] X. Li, G. Liu, and J. Ni, "Autofocusing of ISAR images based on entropy minimization", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 35, no. 4, pp. 1240-1251, Oct. 1999.
 [6] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant key-points", *Int J. Comput. Vis.*, vol. 60, no. 2, pp. 91-110, Nov. 2004.
 [7] K. Kennedy, R. C. Eberhart, "Partice swarm optimization", in *Proc. IEEE International Conference on Neural Networks*, vol. 4, pp. 1942-1948, Nov. 1995.

강 병 수



2012년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
 2014년 2월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2014년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정
 [주 관심분야] 레이더 영상, 자동 표적 인식

식

배 지 훈



2000년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2013년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 박사과정
 2002년 1월~2006년 12월: 한국전자통신연구원 연구원

2007년 1월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 [주 관심분야] 레이더 신호 처리, HF/UHF RFID 시스템, RFID 디지털 모델, 배열안테나 빔형성, 최적화 기법

김 경 태



1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2002년 3월~2011년 2월: 영남대학교 전

자공학과 교수

2011년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수

2012년 9월~현재: 레이더/IR 표적식별 특화연구실 실장

[주 관심분야] 레이더 표적인식, 레이더 영상, 레이더 신호처리, 패턴인식, 전자기수치해석 및 RCS 측정

양 은 정



2004년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
2006년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2011년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2011년 1월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더 신호처리, ISAR 이동보상