

논문 2014-51-8-11

펄스 간 위상오차 보상을 통한 후방 감시 차량용 레이더의 ISAR 영상형성

(Removal of Inter-pulse Phase Errors for ISAR Imaging Using Rear View Radars of an Automobile)

강 병 수*, 김 경 태*

(Byung-Soo Kang and Kyung-Tae Kim[©])

요 약

최근 선형 주파수 변조-주파수 편이(Linear Frequency Modulation-Frequency Shift Keying: LFM-FSK) 신호를 사용한 후방 감시용 차량용 레이더 신호 처리 기법이 고안 되었다. 두 개의 계단 주파수(stepped frequency)신호를 순차적으로 연결한 LFM-FSK 신호의 특성을 이용 할 경우 후방 관측을 통해 차량에 대한 inverse synthetic aperture radar(ISAR) 영상을 형성 할 수 있다. 이 때 관측 차량에 대한 ISAR 영상의 형성 시 펄스 간 위상 오차(inter-pulse phase error)로 인해 영상의 초점이 흐려지게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 particle swarm optimization(PSO)를 활용한 high resolution range profile(HRRP)의 엔트로피(entropy) 최소화를 통해 펄스 간 위상 오차의 보상을 시행하였다. 여기서 LFM-FSK 신호를 이용하여 추정 한 관측 차량의 상대속도는 비용함수의 탐색공간(searching space)을 적절히 설정하는데 도움을 준다. 시뮬레이션 결과는 제시 된 기법을 적용하여 펄스 간 위상오차의 보상을 수행함으로써 초점이 맞는 ISAR 영상이 형성됨을 보여준다.

Abstract

Signal processing technique of linear frequency modulation-frequency shift keying (LFM-FSK) waveform has been introduced for rear view radars of an automobile. LFM-FSK waveform consists of two sequential stepped frequency waveforms with some frequency offset, and thus, can be used to generate inverse synthetic aperture radar (ISAR) images of rear view target of an automobile. However, ISAR images can often be blurred due to inter-pulse phase errors. To resolve this problem, one-dimensional (1-D) entropies of high resolution range profiles (HRRP) are minimized with the help of particle swarm optimization (PSO). The searching space used in PSO is adaptively adjusted by the use of information on the target's velocity obtained from LFM-FSK waveforms. Simulation results show that the proposed method can generate well-focused ISAR images.

Keywords : ISAR, LFM-FSK waveform, MOCOM, PSO, rear view radars of an automobile.

* 정회원, 포항공과대학교
(Pohang University of Science and Technology)

© Corresponding Author(E-mail: kkt@postech.ac.kr)

※ 「본 연구는 미래 창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 'IT명품인재양상사업'의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-H0203-13-1001).

접수일자: 2014년06월11일, 수정일자: 2014년06월30일
수정완료: 2014년07월31일

I. 서 론

최근 외부 환경 인식 감지기를 이용한 탑승자의 안정성 향상이 자동차 기술의 핵심 중 하나가 되었다. 외부 환경 인식 감지기로는 카메라, 광선레이더(Light Detection and Ranging: LIDAR), 초음파, 레이더 등이

있다. 이 중 전자기파를 신호원으로 이용하는 레이더는 주야 및 날씨에 구애 받지 않고 사용가능하며 충분한 탐지거리가 확보되기 때문에 자동차의 외부 환경 인식 감지기로서 널리 활용되고 있다.

후방 감시 차량용 레이더는 운전자 후방 차량에 대한 상대속도 및 거리 추정을 통해 사각 지대 감시(Blind Spot Detection: BSD) 및 차선 변경 보조(Lane Change Assistance: LCA)의 기능을 수행하여 사고를 미연에 방지한다. 과거에는 주파수 변조 연속 파형(Frequency Modulation Continuous Wave: FMCW)을 사용하는 후방 감시 차량용 레이더를 이용하여 주변 차량의 상대속도 및 거리를 추정하였다. 이는 단일표적의 거리와 속도를 추정하는 데는 문제가 없지만, 다중표적상황 시 고스트(ghost) 표적으로 인한 문제를 야기한다^[1]. 이를 해결하기 위해 최근 선형 주파수 변조-주파수 편이(Linear Frequency Modulation-Frequency Shift Keying: LFM-FSK)신호를 사용하는 후방감시 차량용 레이더 신호처리 기법이 고안되었다^[1-2].

LFM-FSK 신호는 두 개의 계단주파수 펄스 열(steppped frequency pulse train)을 순차적으로 연결한 형태이다. 따라서 계단 주파수 신호에 대한 inverse synthetic aperture radar(ISAR) 영상 형성 기법^[3]을 LFM-FSK 신호에 적용함으로써 운전자 후방의 차량에 대한 ISAR 영상을 형성할 수 있다. 후방 감시를 통한 주변 차량의 ISAR 영상은 보다 더 정확한 주변 도로 상황 정보를 제공하기 때문에 운전의 안전한 주행을 가능하게 한다.

계단주파수 신호는 버스트(burst) 단위의 펄스열로써 구성된다. 여기서 단일 버스트 내 펄스 간 표적의 움직임은 펄스 간 위상오차(inter-pulse phase errors)를 형성하여 각 버스트 별 1차원 high resolution range profile(HRRP)의 초점을 흐리게 한다. 이는 2차원 ISAR 영상의 형성 시 영상의 초점을 흐리게 하는데 기인하므로, 초점이 맞는 ISAR 영상을 형성하기 위해서는 펄스 간 위상 오차 성분이 보상되어야 한다.

본 논문에서는 LFM-FSK 신호를 사용하는 후방 감시 차량용 레이더의 ISAR 영상 형성 시, 펄스 간 위상 오차 보상을 위해 particle swarm optimization(PSO)를 이용한 비용함수(cost function) 최적화 기법을 활용하였다^[4]. 여기서 LFM-FSK 신호를 이용하여 추정 한 관측차량의 상대속도^[1]는 PSO의 탐색구간(searching

space)을 적절히 설정하는데 도움을 준다.

II. 본 론

1. LFM-FSK 신호

그림 1에 도시 된 LFM-FSK 신호는 FMCW 신호에 주파수 편이(Frequency Shift Keying: FSK) 변조 방식을 결합한 신호이다^[1]. 이 신호는 주파수 간격 Δf 와 주파수 대역 폭(frequency band width) f_{sweep} 이 같고, 시작 주파수 가 각각 f_{A0} 와 f_{B0} 인 두 개의 계단주파수 신호를 순차적으로 연결한 형태이다. f_{step} 은 두 개의 계단 주파수 신호의 주파수 차이이고 T_{CPI} 는 LFM-FSK 신호에 대한 주기이다. T_p 는 하나의 계단주파수 신호에 대한 pulse repetition interval(PRI) 이다.

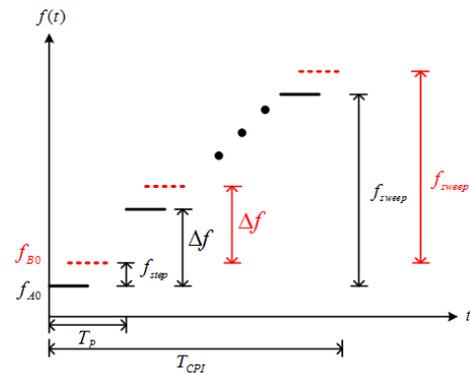


그림 1. LFM-FSK 파형
Fig. 1. LFM-FSK waveform.

(1) LFM-FSK신호를 이용한 ISAR 영상 형성

앞서 언급 한 바와 같이 LFM-FSK 신호는 두 개의 서로 다른 계단주파수 신호로써 구성 된다. 이 중 하나의 계단주파수 신호만을 사용하여 기존의 계단주파수 신호에 대한 ISAR 영상 형성 기법^[3]을 적용한다면 관측차량에 대한 ISAR 영상을 형성할 수 있다.

레이더 관측각도의 범위가 작고 주파수 대역 폭이 중심 주파수 f_c 에 비해 작다고 가정할 경우, 계단주파수 신호에 대한 레이더 수신신호는 식 (1)과 같이 근사된다^[3]. 여기서 레이더 수신신호 $R_s(m,n)$ 은 표적의 레이더 가시선(radar line of sight: RLOS) 방향에 대한 이동성분이 없고 레이더와 관측차량 사이의 각도 변화율이 일정한 상황에서의 수신신호이다.

$$R_s(m, n) = \sum_{i=1}^p A_i \exp(-j \frac{4\pi f_n}{c} x_i) \exp(-j \frac{4\pi f_c}{c} \phi_m y_i) \quad (1)$$

식 (1)에서 m 과 n 은 각각 계단주파수 신호에서의 버스트와 펄스 인덱스를 나타낸다. 여기서 버스트와 펄스의 개수는 각각 M, N 개이다. ϕ_m 은 m 번째 버스트에서의 레이더와 관측차량 간 상대적인 각도이고, f_n 은 n 번째 펄스에서의 주파수이다. 표적이 p 개의 산란원(scatterer)으로 구성되어 있다고 한다면, (x_i, y_i) 와 A_i 는 각각 i 번째 산란원의 위치와 크기이다. 표적의 ISAR 영상은 식 (1)에 2차원 역 이산푸리에 변환(inverse discrete time Fourier transform: IDFT)을 적용함으로써 형성할 수 있다.

2. 펄스 간 위상오차보상

그림 2는 m 번째 버스트에서의 계단주파수 펄스열을 이용한 후방차량의 관측을 도시한다. 레이더 가시선(radar line of sight: RLOS) 방향에 대한 펄스 간 관측차량의 움직임이 있다면 레이더 수신신호는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$R'_s(m, n) = R_s(m, n) \exp(-j \psi_n) \quad (2)$$

식 (2)에서 ψ_n 은 펄스 간 위상오차로써 $\frac{4\pi f_n}{c} r(n)$ 으로 정의된다. 이는 각 버스트 별 HRRP의 형성 시 초점을 흐리게 하고, 이로 인해 2차원 ISAR 영상의 초점 또한 흐려지게 된다. 여기서 $r(n)$ 은 표적의 n 번째 펄스에서 RLOS 방향으로의 움직임 성분이고, 테일러 급수(Taylor series)를 통해 식 (3)과 같이 2차 다항식의 형태로써 근사된다.

$$r(n) = v_r(m)(nT_p) + \frac{1}{2} a_r(m)(nT_p)^2 \quad (3)$$

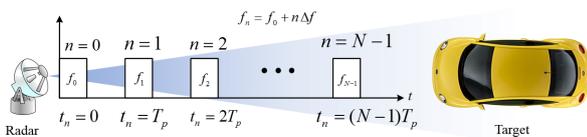


그림 2. $\hat{v}_r(m)$ 에 대한 탐색구간의 감소
Fig. 2. Reduced searching space of $\hat{v}_r(m)$.

식 (3)에서 $v_r(m)$ 과 $a_r(m)$ 은 각각 m 번째 버스트에서 레이더와 표적 간 RLOS 방향으로의 상대속도와 상대가속도이다.

식 (2)에 1차원 IDFT를 적용하여 초점이 맞는 HRRP를 형성하기 위해서는 펄스 간 위상오차를 보상해야 한다. 이를 위해 식 (4)과 같이 $\hat{v}_r(m)$ 과 $\hat{a}_r(m)$ 의 추정을 통한 위상오차의 보상이 수행 되어야 한다.

$$\hat{R}'_s(m, n) = R'_s(m, n) \exp(j2\pi \frac{2f_n}{c} (\hat{v}_r(m) nT_p + \frac{1}{2} \hat{a}_r(m)(nT_p)^2)) \quad (4)$$

(2) HRRP의 엔트로피 최소화

HRRP의 엔트로피(entropy)를 최소화 하는 $\hat{v}_r(m)$ 과 $\hat{a}_r(m)$ 의 추정을 통해 위상오차 보상을 시행함으로써 각 버스트 별 초점이 맞는 HRRP 형성할 수 있다. 여기서 엔트로피를 최소화 시키는 $\hat{v}_r(m)$ 과 $\hat{a}_r(m)$ 은 각각 $\hat{v}_{ropt}(m)$ 과 $\hat{a}_{ropt}(m)$ 으로 정의된다. 위상 오차 보상 후 1차원 IDFT를 수행하여 형성 한 HRRP는 식 (5)과 같고, 이때의 엔트로피는 식 (6)과 같이 정의된다.

$$\hat{H}'_s(m, u) = \sum_{n=0}^{N-1} \hat{R}'_s(m, n) \exp(-j \frac{2\pi un}{N}) \quad (5)$$

$$E = - \sum_{u=0}^{N-1} \hat{H}'_s(m, u) \ln(\hat{H}'_s(m, u)) \quad (6)$$

본 논문에서는 $\hat{v}_{ropt}(m)$ 과 $\hat{a}_{ropt}(m)$ 의 추정을 위해 PSO(Particle Swarm Optimization)을 활용하였다.

(3) Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO는 집단의 전역적(global) 행동에 기반을 둔 비유함수의 최적화 기법이다.

파티클(particle) 벡터라고 불리는 l 차원 위치벡터들은 l 차원 비유함수 상에서 임의의 위치에 분포한다. 본 논문에서의 비유함수는 $\hat{v}_r(m)$ 과 $\hat{a}_r(m)$ 을 변수로 가지는 HRRP의 엔트로피이다. 따라서 모든 파티클 벡터들은 2차원 벡터로 구성된다.

PSO는 인지 부(cognitive part)와 전역 부(social part)으로 나뉜다. 인지 부는 각 파티클 벡터의 과거 위치벡터 중 엔트로피가 최소가 되는 위치벡터인 국부최

적(particle best: pbest)을 찾는 과정이다. 전역 부는 집단 내 파티클 간 상호 정보교류를 통해 국부최적 중 엔트로피가 가장 작은 위치벡터인 전역최적(global best: gbest)을 찾는 과정이다. 국부최적과 전역최적을 이용하여 i 번째 파티클 벡터 \vec{p}_i 의 이동벡터 $\vec{m}_i(t)$ 을 정의할 수 있으며, 이는 식 (7)과 같이 정의 된다.

$$\vec{m}_i(t) = \vec{m}_i(t-1) + r_1c_1(\vec{p}_{i,pbest} - \vec{p}_i(t)) + r_2c_2(\vec{p}_{gbest} - \vec{p}_i(t)) \quad (7)$$

식 (7)에서 $\vec{p}_{i,pbest}$ 은 \vec{p}_i 의 국부최적 벡터이고, \vec{p}_{gbest} 는 전역최적 벡터이다. $\vec{p}_i(t)$ 는 i 번째 파티클 벡터의 현재 위치이고, $\vec{m}_i(t-1)$ 은 이전 이동벡터이다. r_1 과 r_2 는 0과 1 사이에서 균일분포(uniform distribution)를 가지는 임의의 상수이고, c_1 과 c_2 는 0보다 크고 $c_1+c_2 \leq 4$ 인 조건을 만족하는 임의의 상수이다. 식 (7)의 $\vec{m}_i(t)$ 을 이용하여 i 번째 파티클 벡터의 다음 위치 $\vec{p}_i(t+1)$ 을 식 (8)과 같이 정의 할 수 있다.

$$\vec{p}_i(t+1) = \vec{p}_i(t) + \vec{m}_i(t) \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)을 \vec{p}_{gbest} 에서의 엔트로피가 최소가 될 때 까지 반복적으로 수행함으로써, 모든 파티클 벡터들이 HRRP의 엔트로피가 최소가 되는 $\hat{v}_{ropt}(m)$ 과 $\hat{a}_{ropt}(m)$ 으로 수렴하게 된다.

(3) 관측 차량의 상대속도 추정을 이용한 탐색구간설정

각 버스트 별 펄스 간 위상오차보상을 위해, PSO를 활용함으로써 m 번째 버스트에서의 HRRP의 엔트로피를 최소화 시키는 $\hat{v}_{ropt}(m)$ 과 $\hat{a}_{ropt}(m)$ 을 추정한다.

일반적인 주행상황에서 버스트 간 상대속도의 변화율이 크지 않기 때문에 $\hat{a}_r(m)$ 의 탐색구간은 0 (km/h)/s을 중심으로 좁은 범위를 가진다. 반면에 $\hat{v}_r(m)$ 의 탐색구간은 차량의 최고 속도를 고려 해 보았을 때 -200 ~ 200 km/h의 넓은 범위를 가지게 되기 때문에 적절한 탐색구간의 설정이 필요 하다. 이 때, 기준속도 $\hat{v}_{ref}(m)$ 이 제시된다면 $\hat{v}_{ref}(m)$ 을 중심으로 식 (9)와 같이 $\hat{v}_r(m)$ 의 탐색구간을 정의 할 수 있다.

$$\hat{v}_r(m) \in [\hat{v}_{ref}(m) - \Delta v, \hat{v}_{ref}(m) + \Delta v] \quad (9)$$

식 (9)에서 Δv 는 버스트 간 상대속도가 변할 수 있는 최대 변화량이다. 일반적으로 관측차량에 대한 상대가속도는 등가속도이고, CPI(Coherent Processing Interval) 동안 발생 가능한 최대 상대가속도를 $|a_{max}|$ 라고 정의 한다면 Δv 는 식 (10)과 같다.

$$\Delta v = |a_{max}|NT_p \quad (10)$$

식 (10)에서 차량출발로 부터 100 km/h 까지 도달하는 속도-시간 데이터^[5]를 분석 해 보면 $|a_{max}|$ 는 대략 20 (km/h)/s정도이다. 또한 일반적인 계단 주파수 펄스 열에 대한 주기 NT_p 는 수백 ~ 수천 μs 정도의 값을 가진다. 이를 토대로 도출 한 Δv 는 큰 값을 가지지 않기 때문에, 식 (9)에서 정의 된 $\hat{v}_r(m)$ 의 탐색구간은 좁은 범위를 가진다.

LFM-FSK 신호를 사용하여 추정 한 상대속도 v_0 ^[1]는 첫 번째 버스트에서 탐색구간의 설정을 위한 기준속도 $\hat{v}_{ref}(1)$ 이 된다. $\hat{v}_{ref}(1)$ 과 Δv 을 활용하여 식 (9)을 통해 탐색구간을 설정함으로써 첫 번째 버스트에서의 탐색구간의 범위를 줄일 수 있다. 줄어든 탐색구간은 $\hat{v}_{ropt}(1)$ 과 $\hat{a}_{ropt}(1)$ 의 추정을 위한 PSO의 수렴속도를 증가시킨다. 이후, $m|_{m=2,3,\dots,M}$ 번째 버스트에서 탐색구간의 설정을 위한 $\hat{v}_{ref}(m)$ 은 $\hat{v}_{ropt}(m-1)$ 이 된다. 이는 버스트 간 상대속도의 변화가 크지 않기 때문에 이전 버스트에서 추정 한 상대속도 $\hat{v}_{ropt}(m-1)$ 을 기준으로 $2\Delta v$ 의 범위 내에 $\hat{v}_{ropt}(m)$ 이 존재한다는 특성을 활용한 것 이다. 그림 3은 위의 과정을 통해 줄어든 $\hat{v}_r(m)$ 에 대한 탐색구간을 도시한다.

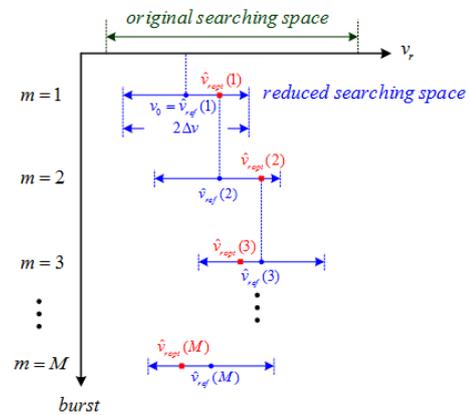


그림 3. $\hat{v}_r(m)$ 에 대한 탐색구간의 감소
Fig. 3. Reduced searching space of $\hat{v}_r(m)$.

III. 시뮬레이션 결과

그림 4는 후방감시 차량용 레이더를 이용하여 ISAR 영상의 형성을 위한 도로 상황을 나타 낸 것 이다. m 번째 버스트에서 레이더와 관측차량간의 수직거리 및 수평거리는 좌표 (x_m, y_m) 로 표기하였다.

ISAR 영상의 형성을 위해 표1에 제시 된 조건 하에서 시뮬레이션을 시행하였다. 초점이 맞는 ISAR 영상 형성을 위해 먼저 본 논문에서 제시 한 펄스 간 위상오차 보상을 시행하여 버스트 별로 초점이 맞는 HRRP를 형성한다. 다음으로, 버스트 간 RLOS 방향으로의 관측 차량의 움직임과 레이더와 관측 차량사이의 일정하지 않은 각도 변화율을 순차적으로 보상함으로써^[6~7] 초점이 맞는 ISAR 영상을 형성한다.

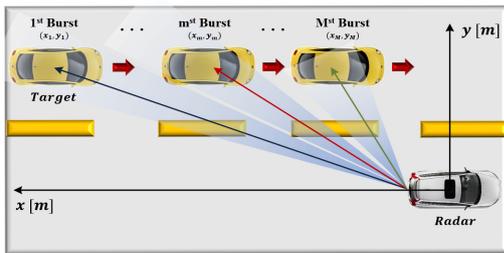


그림 4. ISAR 영상형성을 위한 후방도로상황
Fig. 4. Rear view of road for ISAR imaging.

표 1. 이동차량 및 레이더 파라미터
Table 1. Moving car and radar parameter.

중심 주파수	24 GHz
주파수 대역폭	1 GHz
펄스 반복 주파수	5 kHz
펄스 개수	101 개
버스트 개수	102 개
상대속도	-70 km/h
상대가속도	-10 (km/h)/s
관측 차량의 초기위치	$(x_1, y_1) = (3, 100) m$

(1) 점 산란원으로 모델링 된 관측차량의 ISAR 영상 형성

15개의 점산란원(point scatterer)으로 모델링 된 관측 차량에 대하여 ISAR 영상을 형성하였다. 이를 위해 3.1절에서 언급된 시뮬레이션 조건 하에서 관측차량에 대한 레이더 수신신호를 획득하였다.

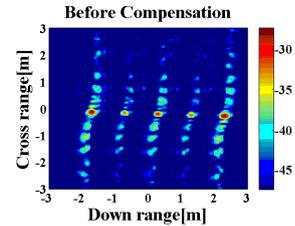


그림 5. 위상오차 보상 전의 ISAR 영상
Fig. 5. ISAR image before removing inter-pulse phase errors.

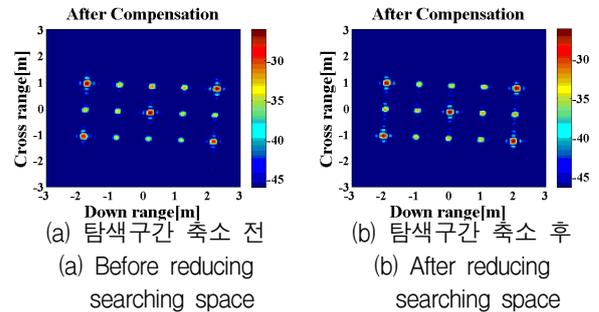


그림 6. 위상오차 보상 후의 ISAR 영상
Fig. 6. ISAR image after removing inter-pulse phase errors.

그림 5는 펄스 간 위상오차 성분으로 인해 초점이 흐려진 ISAR 영상이다. 초점이 맞는 ISAR영상을 형성하기 위해 PSO를 활용하여 펄스 간 위상오차 보상을 시행하였다^[4]. 여기서 PSO를 통한 보상 과정 시 탐색구간을 줄이기 전, 후의 결과를 비교 해 보았다.

그림 6(a),(b)는 PSO 과정에서 탐색구간을 줄이기 전, 후의 ISAR 영상이다. 두 영상 모두 펄스 간 위상오차가 보상되었기 때문에 초점이 맞는 ISAR영상이 형성됨을 확인할 수 있다. 그러나 모든 버스트에서의 펄스 간 위상오차 보상을 위한 계산시간은 각각 4.5초, 2.8초로 차이를 보였다. 이는 PSO의 최적화 과정에서 줄어든 탐색구간으로 인해 위상오차 보상시간이 더 빨라졌기 때문이다.

(2) 3차원 CAD 모델의 PO 계산데이터에 대한 ISAR 영상형성

그림 7에 도시 된 관측차량의 3차원 CAD 모델에 대하여 PO(Physical Optics)를 통해 레이더 수신신호를 계산할 수 있다. 계산 된 2차원 데이터에 3.1절에서 언급 한 시뮬레이션 상황을 적용하여 관측차량에 대한 레이더 수신신호를 획득하였다.

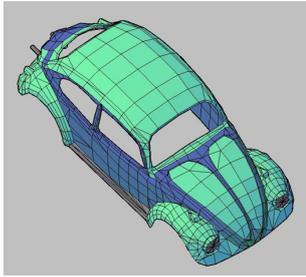


그림 7. 관측차량의 3차원 CAD 모델
Fig. 7. 3D CAD model of an automobile.

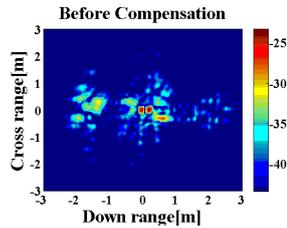


그림 8. 위상오차 보상 전의 ISAR 영상
Fig. 8. ISAR image before removing inter-pulse phase errors.

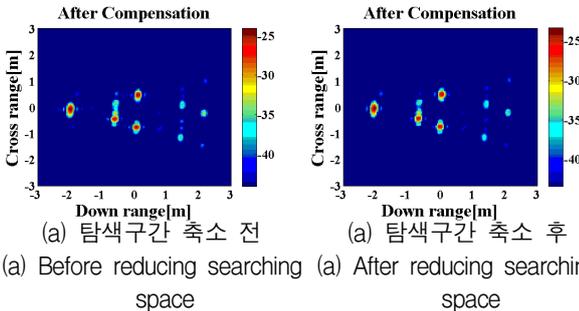


그림 9. 위상오차 보상 후의 ISAR 영상
Fig. 9. ISAR image after removing inter-pulse phase errors.

펄스 간 위상오차가 보상되기 전의 ISAR 영상은 그림 8과 같고, PSO를 이용하여 펄스 간 위상오차가 보상된 후의 ISAR 영상은 그림 9(a),(b)와 같다. 그림 9(a),(b)는 각각 PSO과정에서 탐색구간을 줄이기 전, 후의 ISAR 영상으로써 계산시간은 각각 5초 2.5초 소요되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 LFM-FSK 신호를 사용하는 후방 감시 차량용 레이더의 ISAR 영상 형성에 있어, 펄스 간 위상오차 성분을 보상하는 기법에 대해 연구하였다. PSO를 이용한 1차원 HRRP 엔트로피 최소화를 통해

모든 버스트에서의 펄스 간 위상오차 성분을 보상할 수 있다. 여기서 LFM-FSK 신호를 통해 추정된 상대속도는 PSO 최적화 과정에서 탐색구간을 설정하는 기준을 제시하기 때문에 탐색구간을 줄일 수 있다. 실험결과는 PSO를 통해 위상오차 보상을 시행함으로써 초점이 맞는 ISAR 영상이 형성됨을 보여준다. 또한 PSO의 최적화 과정에서 추정된 속도를 이용하여 탐색구간을 줄임으로써 위상오차 보상 시간을 단축시킬 수 있는 것을 확인할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Gak-Gyu Choi, Seung-Ku Han, Hyo-Tae Kim, Kyung-Tae Kim, "A Study on Signal Processing of Rear Radars for Intelligent Automobile." *The journal of KOERAN institute electromagnetic engineering and science*, vol. 22, no. 11, pp. 1070-1077, Nov. 2011.
- [2] M.-M. Meinecke, H. Rohling, "Combination of LFM CW and FSK modulation principles for automotive radar systems." *German Radar Symposium GRS2000*, Berlin, Oct. 11-12, 2000.
- [3] C. Ozemir, *Inverse synthetic aperture radar imaging with MATLAB algorithms*, New York: WILEY.
- [4] S.-H. Park, H.-T. Kim, "Stepped-frequency ISAR motion compensation using Particle Swarm Optimization with island model," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 85, pp. 25-37, 2008.
- [5] en.wikipedia.org/wiki/List_of_fastest_production_cars_by_acceleration.
- [6] L. Xi, X. Liu, J. Ni, "Autofocusing of ISAR images based on entropy minimization," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 35, no. 4, pp. 1240-1252, Oct. 1999.
- [7] Sang-Won Jung, Kyung-Tae Kim, "Improvement of Radar Images Using Time-Frequency Transform." *The journal of KOERAN institute electromagnetic engineering and science*, vol. 21, no. 11, pp. 14-19, Jan. 2010.

저 자 소 개



강 병 수(정회원)
2012년 2월 영남대학교
전자공학과 학사 졸업.
2014년 2월 포항공과대학교 전자
전기공학과 석사 졸업.
2014년 3월~현재 포항공과대학교
전자전기공학과 박사과정

<주관심분야 : 레이더 영상 신호처리, 자동 표적
인식>



김 경 태(정회원)
1994년 2월 포항공과대학교 전자
전기공학과 학사 졸업
1996년 2월 포항공과대학교 전자
전기공학과 석사 졸업
1999년 2월 포항공과대학교 전자
전기공학과 박사 졸업

2002년 3월~2011년 2월 영남대학교 전자공학과
교수

2011년 3월~현재 포항공과대학교 전자전기공학
과 교수

2012년 9월~현재 레이더/IR 표적식별 특화연구
실 실장

<주관심분야 : 레이더 영상, 자동 표적 인식, 패턴
인식, 전자기수치해석>