

근거리 Bistatic 전방 관측 레이더의 시간 영역 영상화 기법

Imaging Method in Time Domain for Bistatic Forward-Looking Radar in Short Range Application

선선구 · 조병래 · 이정수 · 박규철 · 하종수 · 한승훈*

Sun-Gu Sun · Byung-Lae Cho · Jung-Soo Lee · Gyu-Churl Park · Jong-Soo Ha · Seung-Hoon Han*

요 약

무인 차량의 야지 자율 주행을 위한 근거리 초광대역 bistatic 레이더에 적합한 시간 영역 영상화 기법의 구현에 대해 기술한다. 기존의 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상화 기법에서 주파수 영역에 기반을 둔 방법은 원전계 조건을 만족하는 응용 분야에는 잘 적용되지만, 근거리 적용할 경우 근사화에 따른 위상 오차가 크게 되어 영상의 품질을 떨어뜨린다. 따라서 근거리 영상 레이더에서는 시간 영역에 기반을 둔 back-projection 방법이 적합하다. 그러나 back-projection의 경우 수행 시간이 매우 긴 단점이 있다. 따라서 시간 영역에 기반을 두고 영상의 품질은 back-projection과 유사하며, 수행 시간을 줄일 수 있는 방법으로 개발된 것이 FFBP(Fast Factorized Back-Projection) 방법이다. 야지에서 획득한 레이더 원시데이터를 사용하여 back-projection 방법과 FFBP 방법을 구현하고 영상의 품질 및 수행 시간을 비교하여 bistatic 전방 관측 레이더의 시간 영역 영상화 기법의 적용 가능성을 입증한다.

Abstract

This study describes the time domain imaging algorithm which can be well applied to short-range UWB(ultra wideband) bistatic radar. In the imaging method of SAR technology, the frequency domain method is well applied to the areas which satisfy far-field condition. However in the near-field environment, the image quality is not good due to phase error. However back-projection method based on time domain is well applied to short-range imaging radar. Meanwhile because its processing time is very long, real time-processing is very difficult. To resolve this problem FFBP(Fast Factorized Back-Projection) was proposed. Using the raw data gathered on field we implemented back-projection and FFBP method. Then image quality and processing time were analyzed using these methods.

Key words : Back-Projection, Forward Imaging Radar, Synthetic Aperture Radar, Ultra Wideband, Unmanned Ground Vehicle

I. 서 론

무인 차량이 야지 자율 주행을 할 때 차량의 전방 및 주변에 대한 지형 정보, 즉 장애물, 웅덩이 및 바위와 같은 지형의 판곡에 대한 정보 획득을 위해서

영상 센서, 적외선 센서, 레이저레이더 센서 및 영상 레이더가 복합적으로 사용될 수 있다. 레이더는 다른 센서와 달리 주파수 선택에 따라 수풀을 투과할 수 있는 능력을 가질 수 있어 다른 센서들의 단점을 보완할 수 있는 장점이 있다. 또한, 영상 레이더는

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

*삼성탈레스(SamsungThales)

· 논문 번호 : 20110729-079

· 교신저자 : 조병래(e-mail : chobl@add.re.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 10월 7일

전자파를 이용하는 능동형 센서이므로 모래, 흙먼지 및 안개 등의 기상조건이나 주, 야간에 관계없이 전천후로 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다^{[1][2]}.

무인 차량의 자율 주행을 위해 전방의 장애물이나 물체를 영상화하기 위해서는 정밀한 거리 해상도 및 방위각 해상도가 요구된다. 정밀한 거리해상도는 송신파형의 대역폭을 증가시켜야 하므로 초광대역 신호를 사용한 레이더를 설계해야 한다. 반면, 방위각 해상도는 안테나의 개구면 크기와 관련되어 있고, 일반적인 레이더에서는 개구면의 크기에 반비례하여 방위각 해상도가 증가한다. 그러나, SAR에서는 합성 빔의 원리를 이용하여 과장이나 탐지 거리에 무관하게 고해상도의 영상을 얻을 수 있는 장점이 있다. SAR 영상화 방법이 민수 분야 및 군사용 분야에 광범위하게 사용되고 있을지라도 대부분의 SAR에 대한 연구는 항공기 및 위성에서 사용하는 monostatic 구조 및 협대역 안테나를 사용하는 옆 방향 관측(side-looking) SAR가 대부분이었다. 따라서 무인 항공기의 자동 이, 착륙 및 무인 차량의 항법 기술과 관련된 전방 관측(forward-looking) SAR 및 bistatic SAR에 대한 연구가 진전되지 못했다. 그러나 최근에 bistatic 구조를 이용하면 수신 안테나의 움직임 방향으로 영상을 생성할 수 있으므로 bistatic 전방 관측 SAR에 대한 연구가 진행되고 있다^{[3]~[8]}.

무인 차량에 장착될 전방 관측 영상 레이더를 개발하는 것은 매우 도전적인 과제로 국내에는 개발된 적이 없고 가능성 연구만 수행되었으며^[6], 해외에서도 미국의 ARL(Army Research Lab)연구소에서 SI-RE(Synchronous Impulse Reconstruction) UWB 레이더 시스템을 연구하고 있으며, 아직 실용화 되지 못하고 있다^[4]. 또한, 독일의 DLR 연구소에서 헬리콥터의 이착륙을 보조하는 시스템으로 연구한 SIREV(Sector Imaging Radar for Enhanced Vision) 레이더 시스템이 있다^[8].

SAR 영상화 방법에는 FFT에 기반을 둔 주파수 영역 방법과 back-projection에 기반을 둔 시간 영역 방법으로 크게 구분된다. 잘 알려진 주파수 영역 방법에는 Chirp Scaling, Range Migration, Range Doppler 방법이 있다^[1]. 시간 영역 알고리즘에는 GBP(Global Back-Projection), Fast Back-Projection 및 FFBP(Fast Factorized Back-Projection) 방법이 있다^[9]. 주파수 영역

알고리즘은 계산 시간이 짧고, 협대역 SAR에서 좋은 영상 품질을 얻을 수 있다. 그러나, 이 방법들은 원전계 조건에서 유도된 수식을 바탕으로 주파수 영역에서 근사화된 수식으로 근거리 응용 분야에서는 영상의 품질을 떨어뜨릴 수 있다. 시간 영역 영상화 방법들 중에서 GBP 가장 직접적이고 오차가 적은 방법으로 초광대역 SAR 시스템에 잘 동작하지만, 계산 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 계산 시간에 대한 어려움을 극복하기 위한 방법으로 개발된 것이 FFBP이다^{[9]~[11]}.

이 논문에서는 기존의 FFBP를 개선하여 계산 시간을 더 짧게 하기 위해 방위각 방향으로 극좌표계를 사용하고, 수신 안테나를 2개의 그룹으로 분할하고, 각 그룹에서 기존의 FFBP를 독립적으로 수행하여 영상을 생성한 후 합 영상을 생성하여 알고리즘 수행 시간을 줄이는 방법을 제안한다. 실제 야지에서 획득된 원시 데이터를 GBP 및 FFBP에 기반을 둔 제안 방법의 방위각 해상도, PSLR(Peak to Sidelobe Ratio) 및 수행 시간을 비교하여 제안한 방법의 근거리 영상 레이더에 대한 적용 가능성을 입증한다.

II. 영상화 알고리즘 분석

무인 차량에 bistatic 전방 관측 영상 레이더의 장착 구조는 그림 1과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 송신 안테나와 수신 안테나는 차량 전방에 독립적으로

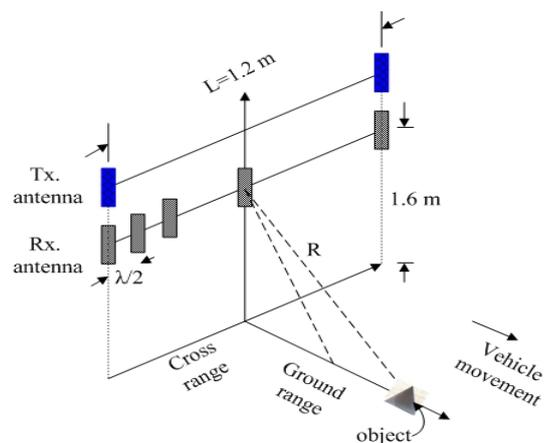


그림 1. 무인 차량 장착을 위한 bistatic 전방 관측 영상 레이더 기하학적 구조

Fig. 1. Geometry of bistatic forward-looking imaging radar applicable to UGV.

장착되며, 차량이 전방으로 움직이면서 전방의 물체를 영상화하는 구조이다. 수신 안테나의 장착 높이는 1.9 m이며, 송신 안테나의 장착 높이는 2.2 m이다. 차량이 주행하면서 실시간으로 영상화하는 것이 필요하여 수신 안테나를 수평 방향으로 움직이는 SAR를 구성하지 않고, 32개의 수신 안테나를 배열로 장착하여 각 수신 안테나 별로 수신기를 구성하여 동시에 신호를 획득하고, 근사적인 실시간으로 영상화를 구현하고자 한다.

따라서 무인 차량에서는 영상화 알고리즘의 계산 시간 또한 매우 중요한 설계 요소이며, 이 연구에서는 영상의 품질 저하를 최소화하면서 알고리즘 계산 시간을 최소화하는 연구를 수행한 것이다. 레이더 영상화 방법 중 GBP 방법은 구현이 간단하고, 원전계를 가정한 근사화 오차를 포함하고 있지 않아 근거리 초광대역 레이더 영상화에 가장 적합하다. 그러나, 알고리즘 계산 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 먼저 bistatic 구조에서 Global Back projection 알고리즘에 대해 분석하고, 계산 시간을 줄이기 위해 극좌계를 적용하여 제안한 FFBP에 대해서 알고리즘을 분석하고자 한다.

2-1 Global Back Projection 분석

GBP는 마이크로파가 방사되는 전방의 영상 맵에서의 한 픽셀에 대한 값을 구하기 위해 각 안테나 위치에서 수집된 표적 반사 신호를 시간 영역에서 동기화된 위상으로 더한 것이다. Bistatic 레이더 신호의 영상화 모델은 그림 2와 같다. 그림 2에서 좌표축 X 는 방위각 방향, Y 는 거리 방향을 나타낸다고 가정한다. 송신 안테나의 위치를 $(x_t, 0)$, 수신 안테나의 위치를 $(u, 0)$ 라고 할 때, 점표적 $I(x, y)$ 에서 송신 안테나까지의 거리는 식 (1)과 같다.

$$r_t = \sqrt{y^2 + (x - x_t)^2} \quad (1)$$

수신 안테나로부터 점표적 $I(x, y)$ 는 식 (2)와 같다.

$$r = \sqrt{y^2 + (x - u)^2} \quad (2)$$

전체 신호 송신 및 수신에 대한 왕복 거리 R 은 식 (3)과 같다.

$$R = (r + r_t) = \sqrt{y^2 + (x - u)^2} + \sqrt{y^2 + (x - x_t)^2} \quad (3)$$

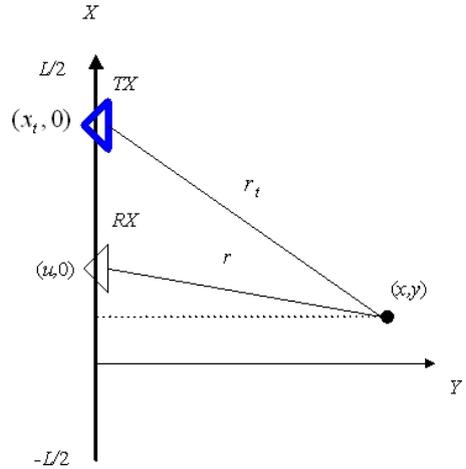


그림 2. Bistatic 신호 모델
Fig. 2. Bistatic signal model.

왕복 시간 τ 는 식 (1)에서 식 (3)으로부터 식 (4)로 표현된다.

$$\tau = \frac{R}{c} = \frac{1}{c} (\sqrt{y^2 + (x - u)^2} + \sqrt{y^2 + (x - x_t)^2}) \quad (4)$$

영상 맵에서의 위치 (x, y) 에 위치한 표적으로부터의 안테나 위치 u 에서의 수신신호는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$s(k, u) = \exp\{ikR\} \quad (5)$$

여기서 k 는 파수(wave number)를 나타낸다. LFM 파형을 송신하는 레이더의 경우 $s(k, u)$ 의 본질은 LO (Local Oscillator) 신호와 수신신호를 혼합한 후의 비트신호이다. $s(k, u)$ 에 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 적용하면 거리-공간 상의 신호를 얻을 수 있고, 식 (6)과 같다.

$$s(r', u) = IFFT\{s(k, u)\} \approx \delta(r' - R) \exp\{i2\pi k_0 R\} \quad (6)$$

모든 수신 안테나들이 표적으로부터의 반사 신호를 수신하였을 때 (x, y) 위치에서의 픽셀값 $I(x, y)$ 는 식 (7)과 같이 계산된다.

$$I(x, y) = \int_{-L/2}^{L/2} s(r', u) \exp\{ik_0 R\} du \quad (7)$$

여기서 L 은 수신 안테나 배열의 길이이다. 일반적으로 안테나의 길이 $L=N$ 이라고 가정하고, 영상의 크기

도 $N \times N$ 이라고 했을 GBP의 계산 시간은 N^3 에 비례한다.

2-2 Fast Factorized Back Projection 분석

FFBP는 수신 안테나의 개구면을단계적으로 부분할 해나가면서 동시에 직교좌표계의 영상을 동시에 분할해 나가는 방법이다.

알고리즘 계산 시간은 영상의 크기가 $N \times N$ 및 안테나 개구면의 크기를 N 이라고 할 때 알고리즘 계산 시간은 $N^2 \log_2 N$ 이다^[9]. FFBP의 개략적인 절차는 다음과 같다.

- 절차 a) 초기 조건은 N 개의 수신 안테나가 있을 때 M 개의 거리방향 샘플 데이터를 취하면 $N \times M$ 데이터 배열로부터 시작한다.
- 절차 b) 그림 3과 같이 안테나 배열을 작은 부 배열(예를 들어 2개의 안테나)로 묶는다. 1개의 영상을 부 영상(예를 들어 2×2)로 나눈다.
- 절차 c) 식 (8)을 사용하여 각 부 배열로부터 각 부 영상으로 초점을 맞춘다. q 번째 분할 단계에서 (m, n) 번째 부 영상에서의 초점을 맞추는 과정은 식 (8)과 같다.

$$s_q^{mn}(u_l, r) = \sum_{u_q = -L_q/2}^{u_q = L_q/2} s_{q-1}^{m'n'}(u_p, r - \Delta_{lpmn}) \exp\{ik_o \Delta_{lpmn}\} \quad (8)$$

여기서 u_l 은 새로운 부 안테나 배열의 중심이고, u_p 는 이전의 부 안테나 배열의 중심이다. Δ_{lpmn} 은 (m, n) 번째 부 영상에서 이전단계의 부 배열 중심과 새로운 부 배열 중심과의 차를 나타낸다. 각 부 배열은 저 해상도의 부 영상들을 생성한다. 위의 과정을 통해 묶음된 부 배열의 수는 줄어들고, 안테나의 위상 중심은 부 배열의 중심에 있다.

- 절차 d) 부 배열의 수가 한 개가 될 때까지 반복적으로 절차 b) 및 절차 c)을 수행한다.

안테나 및 영상 분할 방법과 관련된 세부적인 구현은 영상의 품질 및 개발된 레이더의 요구조건과 직접적으로 관계되어 있어 근거리 전방 관측 레이더에 적합한 구현 방법이 필요하다.

2.3 제안한 FFBP에 의한 레이더 영상 구현

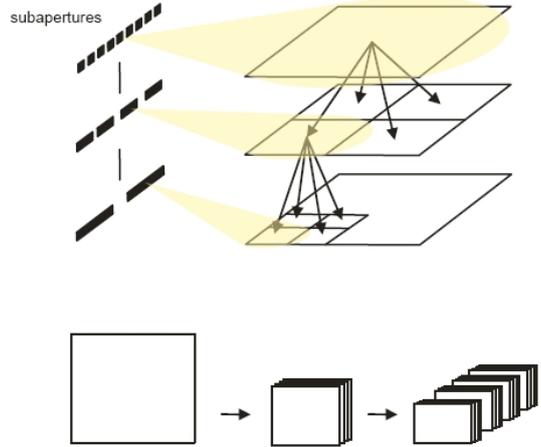


그림 3. FFBP 알고리즘에 의한 영상 형성 구조
Fig. 3. Structure of imaging by FFBP algorithm.

그림 4는 제안한 FFBP 알고리즘의 구조를 나타낸다. 그림 4에서와 같이 32개의 수신 안테나를 두 개의 그룹으로 나누고, 각 그룹에 대해 아래에 설명하며, FFBP를 병렬적으로 수행하여 영상을 형성하며, 각 그룹에서 형성된 영상을 픽셀별로 결합하여 최종 영상을 형성한다. 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 16개의 수신 안테나에 수행되는 FFBP는 독립적이므로 병렬처리가 가능하여 2개의 DSP 코어를 갖는 신호처리 하드웨어를 적용할 경우 계산 시간을 거의 절반 수준으로 줄일 수 있다. 아래 절차는 그림 4의 FFBP에 의한 영상 생성 절차를 세부적으로 기술한 것이다. 그림 1에서 수신 안테나 배열의 수가 32개이고, 영상의 크기를 거리 방향으로 시작거리부터 18 m로 하고, 1 픽셀 간격을 0.074 m로 한다. 방위각 방향으로로는 60° 의 전방 영역을 0.25° 의 픽셀 간격으로 영상화 하고자 한다. 영상의 크기는 243×243 픽셀이다. 수신 안테나의 높이는 지면으로부터 1.9 m, 송신 안테나의 높이는 2.2 m이며, 수신 안테나의 중심으로부터 좌로 0.48 m 위치에 장착된 경우에 전방에 대해 획득한 영상을 얻고자 한다. 그림 4에서 두 그룹으로 구분된 16개의 안테나에서 수신 안테나를 2개씩 묶어나가면 5단계를 구성할 수 있으며, 243×243 픽셀의 영상을 5단계로 묶기 위해서는 영상의 한 축을 3의 지수승으로 분할하기로 한다. 그림 5는 영상의 분할 절차를 나타낸다. 그림 5에서 검정색 원은 수신 안테나를 나타낸다. 1단계(stage)에서는 3×3 크기의 부 영상이며, 5단계에서는 243×243 크

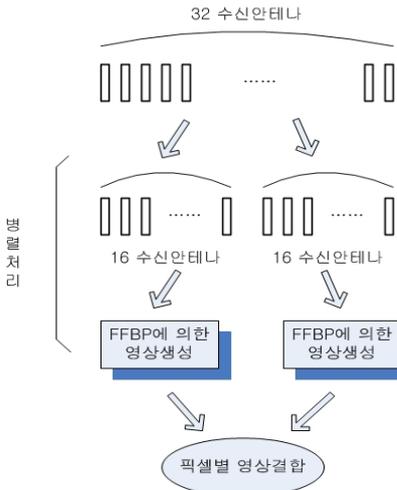


그림 4. 제안한 FFBP 방법 개념도
Fig. 4. Conceptual diagram of the proposed FFBP method.

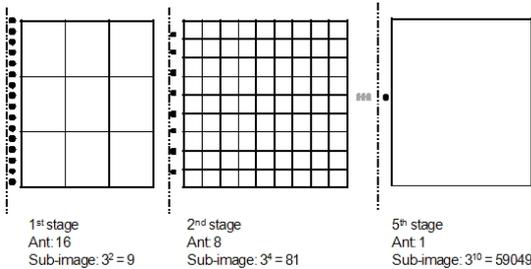


그림 5. 영상의 부영상 분할 절차
Fig. 5. Partitioning procedure of sub-images in an image.

기의 부영상으로 59049 픽셀을 갖는다. 근거리 전방 관측 레이더에 FFBP를 구현한 세부 절차는 아래 절차와 같다.

- 절차 a) 그림 5에서 1단계에서 5단계까지 각 부영상(sub-image)의 중심 위치 및 네 모서리의 위치를 계산하여 메모리에 저장해 둔다.
- 절차 b) 그림 5에서 1단계에서 5단계까지 각 부영상의 중심 위치 및 네 모서리의 위치에서 각 안테나의 부개구면(sub-aperture) 중심까지의 거리 중에서 최대 거리(d_s), $s=1, \dots, 5$ 를 모든단계에 대해 메모리에 저장해 둔다.
- 절차 c) 1단계($s=1$ 일 경우)에서는 그림 5와 유사하

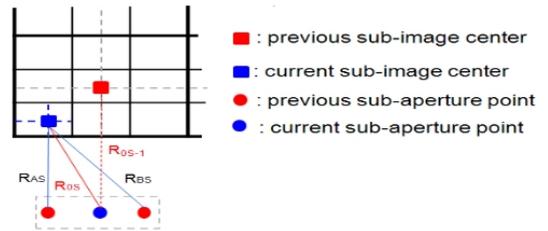


그림 6. 부영상의 중심과 부개구면 중심 간의 거리 계산 절차
Fig. 6. Range computing procedure between sub-image center and sub-aperture center.

게 현재의 부영상 중심과 부개구면의 중심과의 거리를 R_{0s} 라고 하고, 이전의 부개구면과 현재의 부영상의 중심과의 거리를 각각 R_{As} , R_{Bs} 라고 할 때 각 부영상에서 $\exp\{ik_0(R_{0s} - R_{As})\}$, $\exp\{ik_0(R_{0s} - R_{Bs})\}$, R_{As} , R_{Bs} 를 계산하여 저장한다.

절차 d) 2단계에서 4단계까지($s=2, \dots, 4$ 일 경우)는 그림 6과 같이 이전단계의 부영상 중심과 현재 부개구면의 중심과의 거리를 R_{0s-1} , 현재의 부영상의 중심과 현재 부개구면의 중심까지의 거리를 R_{0s} , 이전의 부개구면과 현재의 부영상의 중심과의 거리를 각각 R_{As} , R_{Bs} 라고 할 때 각 부영상에서 $\exp\{ik_0(R_{0s} - R_{As})\}$, $\exp\{ik_0(R_{0s} - R_{Bs})\}$, $\Delta r_s = R_{0s} - R_{0s-1}$ 를 계산하여 저장한다.

절차 e) 마지막단계인 5단계($s=5$ 일 경우)는 이전 단계의 부영상 중심과 현재 부개구면의 중심과의 거리를 R_{0s-1} , 현재의 부영상의 중심과 현재 부개구면의 중심까지의 거리를 R_{0s} , 이전의 부개구면과 이전의 부영상의 외곽점들과의 거리를 각각 R_{1s} , R_{2s} 라고 할 때 각 부영상에서 모든 외곽점들에 대해 $\exp\{ik_0(R_{0s} - R_{1s})\}$, $\exp\{ik_0(R_{0s} - R_{2s})\}$, $\Delta r_s = R_{0s} - R_{0s-1}$ 를 계산하여 저장한다.

절차 f) 이전단계에서 메모리에 저장된 위상 정보 및 각 안테나에서 측정된 데이터를 거리 방향으로 10배 zero padding한 데이터를 이용하여 부영상을 생성해 나간다. 먼저 1단계($s=1$)에서 부영상 생성은 그림 7과 같이 각 부개구면을 이루는 각 안테나에서

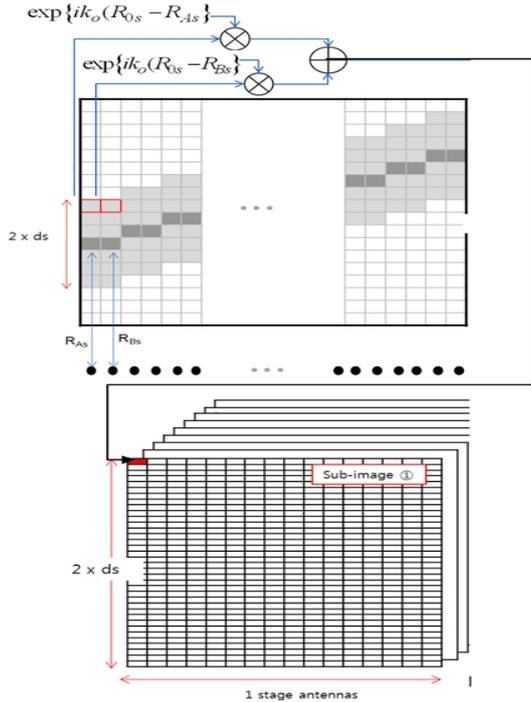


그림 7. 1단계에서 부영상 형성 개념도
Fig. 7. Conceptual diagram of sub-image generation in stage 1.

R_{As} , R_{Bs} 거리에 있는 두 개의 데이터를 중심으로 $P_{sy}=(2 \times d_s)$ 거리 내에 있는 데이터에 절차 c)에서 저장해둔 위상 정보를 곱한 후 위상 정보의 합을 구해 부영상의 한 픽셀 정보를 생성한다. 생성된 부영상은 $3^2=9$ 장이며, 크기는 부개구면 수 $\times P_{sy}=8 \times P_{sy}$ 이다.

절차 g) 2단계에서 4단계까지의 부 영상 생성은 절차 d)에서 저장된 Δr_s 및 위상 정보를 활용하여 절차 f)에서 저장된 부영상에 대해 부 개구면의 중심과 $(d_{s-1} + \Delta r_s)$ 의 거리에 있는 픽셀을 중심으로 $P_{sy}=(2 \times d_s)$ 거리에 있는 두 영상의 픽셀과 위상 정보를 곱한 후 위상 정보의 합을 구해 부영상의 한 픽셀 정보를 생성한다. 생성된 부영상은 $3^4=81$ 장이며, 크기는 부개구면 수 $\times P_{sy}=4 \times P_{sy}$ 이다.

마지막 5단계의 영상 형성은 절차 g)와 동일한 절차를 수행하면 부 영상은 $3^{10}=59,049$ 장이며, 그 크

기는 1 픽셀이 된다. 다시 말하면 243×243 픽셀을 갖는 한 장의 레이더 영상이 형성된다.

III. 전방 관측레이더 영상화 실험

FFBP 알고리즘의 근거리 전방 관측 레이더에의 적용 가능성을 확인하기 위해 운동장에 1 개의 코너 반사기를 놓고 원시 데이터를 획득한 후 GBP 및 FFBP 알고리즘을 실행하여 방위각 해상도, PSRL (Peak to SideLobe Ratio) 및 수행 시간을 비교한다. 표적의 위치는 안테나 전방에 대략 10 m 위치에 두었다. 그림 8(a)와 (b)는 각각 GBP 및 FFBP 알고리즘

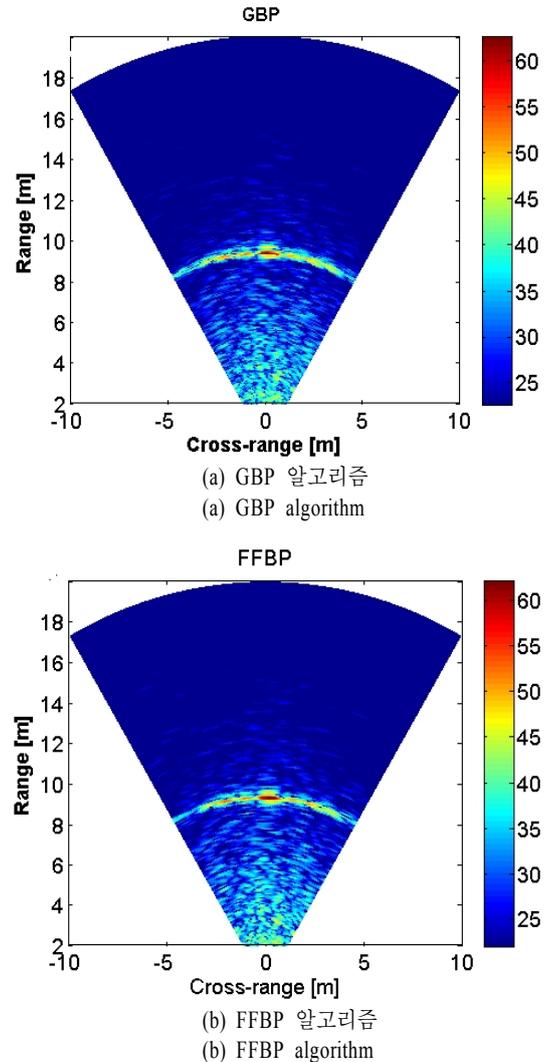


그림 8. 1개 표적에 대한 영상화
Fig. 8. Imaging of a target.

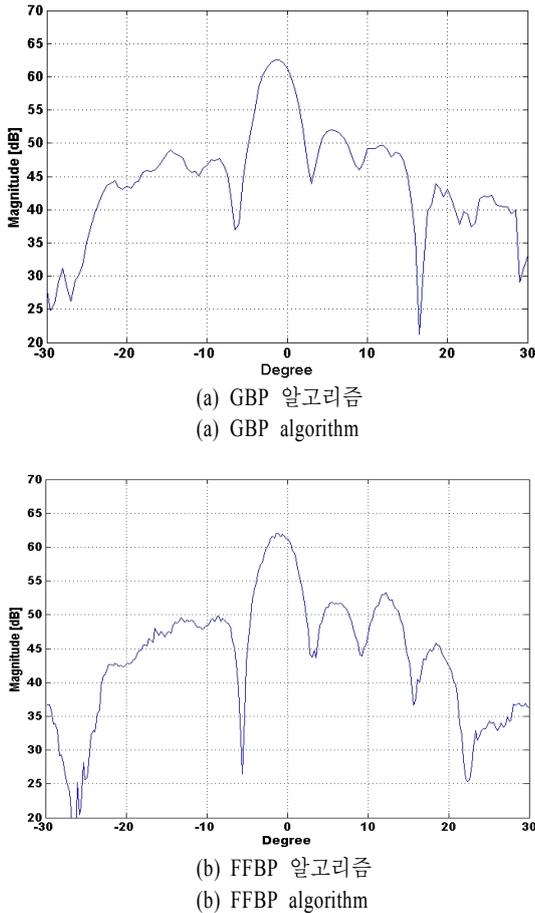


그림 9. 방위각 단면 그래프
Fig. 9. Azimuth-cut graph.

표 1. GBP 및 FFBP 알고리즘 성능 비교
Table 1. Performance comparison between GBP and FFBP algorithm.

항 목	GBP	FFBP
수행 시간 [초]	2.42	1.07
방위각 해상도 [도]	3.93	3.72
PSLR [dB]	10.55	10.34

을 이용하여 생성된 영상을 보인 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 약 10 m 근방에 표적이 형성되었다.

그림 8에서 표적 근처에 부엽 신호가 다소 크게 나타나는 현상과 영상 분할 절차를 거치면서 발생하는 분할 영상 간 불연속 지점이 발생하나, 이 레이더의 사용 목적인 무인 차량의 장애물 식별에는 사용 가능할 것으로 판단된다. 그림 9(a) 및 (b)는 그림 8

의 영상에서 최대 크기를 갖는 위치에서의 방위각 방향의 단면을 나타낸 그래프이다. 방위각 해상도를 계산하기 위해 두 그래프에서 피크를 기준으로 3 dB 작은 점의 폭을 계산하면 이것이 방위각 해상도이다. 그림 9(a)에서 GBP 알고리즘 이용시 방위각 해상도는 3.93°이며, FFBP 알고리즘을 이용할 경우는 3.72°이다. PSLR은 레이더 영상의 화질을 나타내는 척도로 이용되며, 그림 9의 (a) 및 (b)에서 주엽과 첫 번째 부엽간의 차를 나타낸 것이다. GBP를 이용했을 경우는 그림 9(a)에서 10.55 dB이며, FFBP를 이용했을 경우는 그림 (b)에서 10.34 dB이다. 표 1은 두 개의 알고리즘을 적용할 경우 성능 비교를 요약한 것이다. 알고리즘의 중요 요소인 수행 시간은 3.3 GHz의 클럭을 갖는 PC에서 알고리즘을 MATLAB으로 구현하고 측정했을 때 GBP의 경우는 2.42초, FFBP의 경우는 1.07초로서 제안한 FFBP 알고리즘을 사용했을 경우 GBP의 약 44 % 수행 시간으로 거의 유사한 방위각 해상도 및 PSLR을 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

이 논문에서는 무인 차량의 전방에 장착하여 야지 자율 주행에 사용될 수 있는 전방 관측용 초광대역 레이더에서 영상 생성을 위한 시간 영역 신호처리 방법을 기술하였다. 수신 안테나의 개구면 크기를 크게 할 수 없는 무인 차량용 전방 관측 레이더의 특성상 시간 영역의 GBP 알고리즘이 레이더 영상 생성에 가장 적합한 방법이다. 그러나, 알고리즘 수행 시간이 매우 긴 단점이 있어서 실시간 처리가 요구되는 응용 분야에서는 GBP의 적용이 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 GBP의 단점을 보완하여 거의 유사한 해상도를 가지면서 무인 차량에 적용 가능한 FFBP 알고리즘의 구조를 제안하고, 무인차량에 장착가능한 전방 관측 레이더에의 적용 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] J. C. Curlander, R. N. Mcdonough, Edde, *Synthetic Aperture Radar: System and Signal Processing*, John Wiley and Sons, New York, 1991.
[2] 광영길, "위성 탑재 영상 레이더 기술 동향", 전

자공학회지, 34(11), pp. 61-74, 2007년 11월.

[3] L. Nguyen, J. Sichina, "SAR image formation using phase-history data from non-uniform aperture", *Proc. SPIE*, vol. 6547, pp. 65470F-1~65470F-10, 2003.

[4] M. Ressler, L. Nguyen, F. Koenig, D. Wong, and G. Smith, "The Army Research Laboratory(ARL) synchronous impulse reconstruction(SIRE) forward looking radar", *Proc. SPIE*, vol. 6561, pp. 656105-1~656105-12, 2007.

[5] L. Nguyen, M. Soumekh, "System trade analysis for an ultra-wideband forward imaging radar", *Proc. SPIE*, vol. 6230, pp. 623003-1~623003-11, 2007.

[6] 선선구, 조병래, 박규철, 남상호, "무인 차량 탑재형 전방 관측 영상 레이더 가능성 연구", 한국전자과학회논문지, 21(11), pp. 1285-1294, 2010년 11월.

[7] L. Nguyen, D. Wong, B. Stanton, and G. Smith, "Forward imaging for obstacle avoidance using ul-

tra-wideband synthetic aperture radar", *Proc. SPIE*, vol. 5083, pp. 519-528, 2003.

[8] G. Krieger, J. Mittermayer, S. Buckreuss, M. Wandler, T. Sutor, F. Witte, and A. Moreira, "Sector imaging radar for enhance vision", *Aerospace Science and Technology*, vol. 7, pp. 147-158, 2002.

[9] L. M. H. Ulander, H. Hellsten, and G. Stenström, "Synthetic aperture radar processing using fast factorized back projection", *IEEE Trans. on Aeros. and Elect. Sys.*, vol. 39, no. 3, pp. 760-776, 2003.

[10] J. Wu, J. Yang, Y. Huang, H. Yang, and H. Wang, "Bistatic forward-looking SAR: Theory and challenges", *Proc. IEEE Radar Conf.*, 2009.

[11] L. G. Cumming, F. H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar: Algorithms and Implementation*, Boston: Artech House, 2005.

선 선 구



1987년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1989년 2월~현재: 국방과학연구소

책임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 영상 레이더, 컴퓨터비전

이 정 수



2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
 2002년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2002년 3월~2005년 12월: LG 전자 연구원
 2006년 1월~현재: 국방과학연구소

선임연구원

[주 관심분야] 안테나 설계, 영상 레이더 등

조 병 래



1999년 2월: 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2001년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2005년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
 2005년 3월~2006년 1월: 포항공과대학교 전자전기공학과 연구원

2006년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 영상 레이더 등

박 규 철

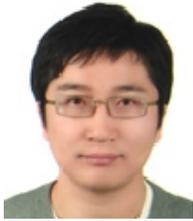


1989년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2010년 8월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
 1991년 2월~현재: 국방과학연구소

선임연구원

[주 관심분야] 근거리 특수레이더 시스템, Transceiver 등

하 중 수



2001년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)

2003년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] UWB 레이더 시스템, 펄스도플러 레이더 시스템, 시스템 M&S, 영상 신호처리

한 승 훈



1999년 8월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)

2001년 8월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)

2001년 6월~현재: 삼성탈레스(주) 전문연구원

[주 관심분야] 레이더 시스템