THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2014 Feb.; 25(2), 255～258.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2014.25.2.255
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

바이스태틱 레이더에서 아이소레인지-아이소도플러 컨투어 맵을 이용한 이미징 기법

Imaging Method Using Isorange-IsoDoppler Contours Map in Bistatic Radar

윤재혁 · 정용식 · 정원주* · 정명득** · 양훈기

Jae-Hyuk Youn · Yong-Seek Chung · Won-zoo Chung* · Myung-Deuk Jeong** · Hoon-Gee Yang

요 약

바이스태틱 레이더 환경에서 지상 표적의 이미징은 수신 데이터 획득 시간 동안에 송신부 및 수신부의 이동에 따른 레인지 및 도플러 정보의 변화가 복잡하여 이에 대한 보상과정, 즉 이미징 과정이 모노스태틱 레이더 환경에 비해 상당히 어렵다. 본 논문에서는 아이소레인지(isorange)와 아이소도플러(isoDoppler) 컨투어 정보를 이용하여 이미징이 가능한 resolution 격자를 추출할 수 있는 바이스태틱 레이더 송수신기 geometry를 제시하고, 고정된 표적을 이미징할 수 있는 알고리즘을 제시한다. 또한, 이때 얻을 수 있는 해상도를 분석하고, 시뮬레이션으로 성능을 검증한다.

Abstract

Imaging in bistatic radar has been known a more difficult task than that in monostatic radar. It is because the behavior of the bistatic range and the bistatic Doppler due to the motion of a transmitter and a receiver is so random that the compensation procedure, which we call an imaging algorithm, is quite complicated. This paper presents a bistatic radar imaging algorithm that can be used in some specific bistatic radar geometry. We show this geometry can present rectangular-like resolution cell on isorange-isoDoppler contours map. We also present the associated resolution and simulation results.

Key words: Bistatic Radar, Imaging, Isorange Contour, IsoDoppler Contour

Ⅰ. 서 론

송신부와 수신부가 분리된 바이스태틱 레이더 시스템은 forward-looking 이미징, 고해상도 3차원 이미징을 가능하게 하고, forward-scattering을 이용한 high-SNR 환경 제공 등 모노스태틱 레이더 대비 차별화된 장점을 갖는다[1],[2]. 그러나 송신부와 수신부가 분리되어 있어 레인지 및 도플러 정보의 변화가 모노스태틱 레이더의 경우와 상이하고, 이에 따른 복잡한 신호처리 과정이 요구된다는 단점이 있다.

송신부와 수신부가 임의의 독립적인 속도로 이동하는 환경에서 이미징을 하는 것은 현실적인 어려움이 있기

「본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 피탐지 감소 기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.」

광운대학교 전파공학과(Department of Electronics Convergence Engineering, Kwangwoon University)
*고려대학교 전파통신공학과(Department of Radio Communications Engineering, Korea University)
**국방과학연구소(Agency of Defence Development)

· Manuscript received December 10, 2013 ; Revised January 6, 2014 ; Accepted January 7, 2014. (ID No. 20131210-125)

· Corresponding Author: Hoon-Gee Yang (e-mail: hgyang@kw.ac.kr)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

때문에 대부분의 연구는 송신부와 수신부가 동일한 속도로 일정한 거리를 유지하며, 이동하는 환경 또는 송수신부의 이동 경로는 서로 다르지만, 일정한 속도를 유지하는 환경에서 진행된다[3].

본 논문에서는 송신기는 원거리에 고정되어 있고, 수신부만 이동하는 특수한 바이스태틱 레이더 환경에서 획득되는 아이소레인지-아이소도플러 컨투어 맵을 분석하고, 코히어런트 신호처리 구간이 비교적 짧은 환경에서 바이스태틱 이미징 획득 기법을 제시한다.

Ⅱ. 바이스태틱 레이더 시스템 Geometry

그림 1은 일반적인 바이스태틱 geometry 환경을 나타낸 것이다. 아래첨자 T, R은 각각 송신부와 수신부를 의미하고, V는 플랫폼의 속력, δ는 플랫폼의 위치에서 y축과 플랫폼의 속도 벡터가 이루는 각(시계 방향), θ는 플랫폼과 표적 지형 내의 산란점이 이루는 각이다. 또한, R_T, R_R은 각각 송신부-산란점 간의 거리, 산란점-수신부 간의 거리이고, β는 송신부-산란점-수신부가 이루는 바이스태틱 각이다.

송신부가 표적 지형을 향해 펄스열을 송신하면 수신부는 표적 지형으로부터 산란된 신호들을 수신하는데 플랫폼이 이동하고 있으므로 각 산란점들은 그 위치에 따라 수신부에 서로 다른 레인지 및 도플러 정보를 제공하게 된다.

아이소레인지 컨투어는 송신부-표적-수신부 경로에 대한 거리, 즉 $R_T + R_R$이 동일한 지점들을 연결한 선으로

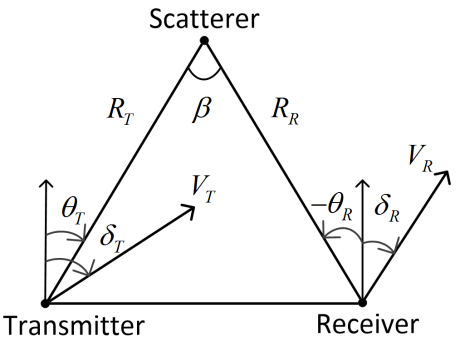

그림 1. 바이스태틱 geometry
Fig. 1. Bistatic geometry.

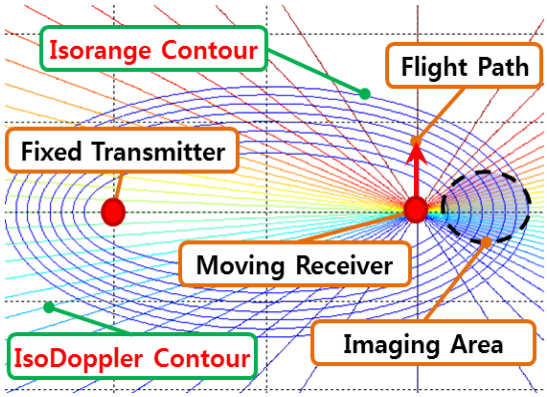

그림 2. 아이소레인지 컨투어 및 아이소도플러 컨투어
Fig. 2. Isorange contours and isoDoppler contours.

써 송·수신부를 두 정점으로 하는 타원의 형태가 된다. 아이소도플러 컨투어는 도플러가 일정한 지점들을 연결한 선으로써 도플러 주파수는 다음과 같이 표현된다[4].

$$f_d = (V_T/\lambda)\cos(\delta_T - \theta_T) + (V_R/\lambda)\cos(\delta_R - \theta_R) \quad (1)$$

여기서 λ는 중심 주파수의 파장이다. 식 (1)로부터 아이소도플러 컨투어는 송·수신 플랫폼의 속력과 이동방향에 따라 상이한 형태를 갖게 됨을 알 수 있다.

본 논문에서 제시하는 바이스태틱 이미징 환경은 송신부는 정지 상태이고, 수신부만 이동하는 환경이다. 이 경우, 식 (1)의 우변은 두 번째 항만 남게 되어, 아이소도플러 컨투어의 형태는 단순해진다. 그림 2는 $\delta_R = 0°$인 조건에 대한 아이소레인지 컨투어와 아이소도플러 컨투어를 함께 나타낸 것으로써 아이소도플러 컨투어가 수신 플랫폼을 중심으로 직선으로 방사하는 형태가 됨을 확인할 수 있다.

아이소레인지 및 아이소도플러 컨투어가 이루는 격자는 표적 지형이 이미징되었을 때의 거리 분해능과 방위 분해능이 되므로, 이를 고려하여 표적 지형의 위치 및 수신부의 이동방향이 결정되어야 한다. 본 논문에서는 이러한 관점에서 송신부는 정지하고, 수신 플랫폼만 이동하면서 이동방향에 수직인 영역을 표적 지형으로 하는 이미징 환경을 제안하며, 분해능 수식으로부터 이에 대한 타당성을 확인할 수 있다. 바이스태틱 레이더 환경에서 거

리 분해능(range resolution) ΔR_B와 방위 분해능(azimuth resolution) ΔCR_B는 다음과 같다[4].

$$\Delta R_B = \frac{c\tau_0}{2\cos(\beta/2)} \tag{2}$$

$$\Delta CR_B = \Delta\theta_R R_R \cos(\beta/2) = \frac{\lambda R_R}{V_R T \cos(\beta/2)\left|\sin(\delta_R - \theta_R)\right|} \tag{3}$$

식 (2)의 τ_0와 c는 각각 펄스폭과 빛의 속도를 나타내고, 식 (3)의 $\Delta\theta_R$은 수신 레이더의 빔폭, T는 CPI(Coherent Processing Interval)이다. 식 (2), (3)으로부터 송신 신호의 펄스폭이 짧을수록 거리 분해능이 향상됨을, CPI가 증가하고 수신부의 이동 방향과 표적 지형이 수직을 이룰 때 방위 분해능이 향상됨을 알 수 있다.

Ⅲ. 이미징 기법

바이스태틱 레이더는 송·수신 모드 스위칭으로 인한 수신 신호의 손실이 없으므로 high PRF(pulse repetition frequency)가 가능하다. 송신 펄스의 개수를 고정시키면 high PRF 조건에서 CPI가 짧아지므로 방위 분해능은 열화되지만, 바이스태틱 레인지의 변화량이 작아지므로 RCMC(Range Cell Migration Correction) 과정이 없는 unfocused SAR 영상을 기대할 수 있다.

LFM(Linear Frequency Modulation) 펄스열을 송수신하고 수신 플랫폼만 이동하는 geometry 환경에서 제안하는 바이스태틱 레이더의 이미징 알고리즘 과정은 다음과 같다.

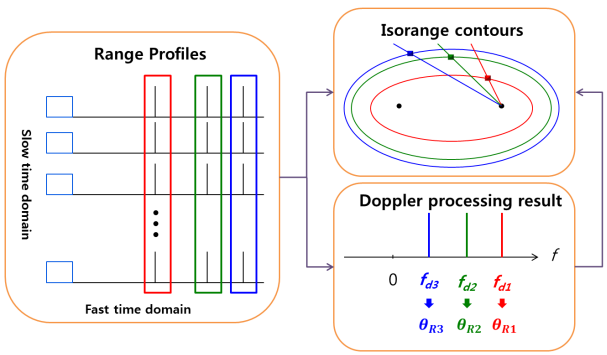

그림 3. 제안하는 이미징 기법의 개념도
Fig. 3. Conceptual diagram for proposed imaging method.

첫째, 수신 신호를 펄스 압축하고, 표적 지형 내의 산란점들에 대한 바이스태틱 레인지 정보를 획득한다. 송신 펄스의 개수만큼 레인지 프로파일이 생성되며, 각 레인지 프로파일에는 표적 지형의 관측 폭에 대응되는 레인지 빈에 대하여 표적 반사 신호가 존재하게 된다.

둘째, 각 레인지 빈의 데이터를 도플러 프로세싱하여 표적의 도플러 및 신호 세기 정보를 획득한다. 이때 도플러 프로세싱은 각 빈의 데이터들을 푸리에 변환하는 것으로서 모노스태틱 레이더의 도플러 프로세싱 과정과 동일하다[5]. 표적이 존재한다면 도플러 도메인의 프로세싱 결과에서 특정 도플러 빈에서 피크가 존재할 것이다. 피크의 크기는 표적의 신호세기에 대응되는 값이고, 피크가 존재하는 도플러 빈의 값이 해당 표적의 도플러 주파수가 된다.

셋째, 추정된 도플러 정보로부터 각 산란점의 θ_R을 획득한다. 두 번째 과정에서 획득된 f_d를 식 (1)에 대입하면 θ_R을 제외한 다른 변수는 시스템 파라미터 또는 측정 가능한 값이므로 θ_R을 계산할 수 있다. 단, 코사인 함수의 특성으로 인해 2개의 값이 얻어지나 Ⅱ장에서 언급하였듯이, 레이더 시스템은 영상의 해상도를 고려하여 표적 지형을 이미 결정한 상태이므로 표적 지형의 범위를 벗어나는 θ_R을 제거함으로써 유일한 θ_R를 얻을 수 있다.

넷째, 획득된 정보들을 이용하여 바이스태틱 영상 결과를 얻는다. 위 과정들로부터 표적 지형 내의 모든 산란점에 대한 바이스태틱 레인지 정보, 신호 세기 정보, 방위각 정보인 θ_R이 획득되었다. 그러므로 모든 산란점에 대하여 각 산란점의 바이스태틱 레인지 정보로부터 아이소레인지 컨투어를 생성할 수 있고, 해당 아이소레인지 컨투어와 θ_R이 만나는 교점을 구함으로써 해당 산란점의 좌표를 얻을 수 있다. 해당 좌표에 표적의 신호 세기에 대응되는 색상을 1:1로 맵핑시킴으로써 제안하는 이미징 기법의 영상을 획득할 수 있다.

Ⅳ. 시뮬레이션

표 1의 파라미터 값을 이용하여 수신부만 이동하는 바이스태틱 geometry 환경에서 이미징 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 CPI는 35.8 ms로서 비교적 짧은 시

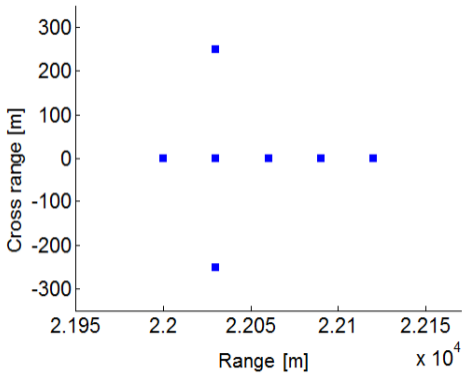

그림 4. 실제 표적의 위치
Fig. 4. True positions of targets.

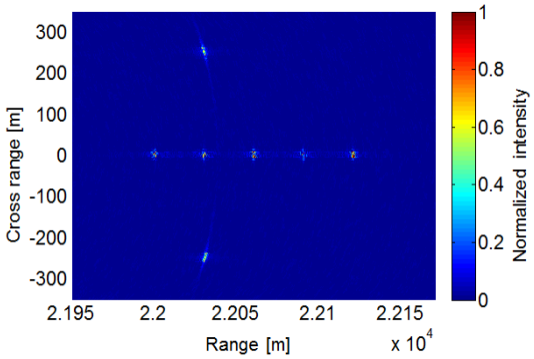

그림 5. 이미징 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Imaging simulation result.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters.

Parameter	Value
Carrier frequency	10 GHz
Signal bandwidth	150 MHz
Pulse width	3.5 us
PRI	35 us
CPI (# of pulse)	35.8 ms (N=1,024)
Platform velocity	250 m/s (δ_R=0)
Tx / Rx position	(−20, 0) / (20, 0) km
Range resolution	1 m
Cross range resolution	6.7~7.1 m

간이고, CPI 동안 총 1,024개의 펄스를 송수신하여 이미징 신호처리에 사용하였다. CPI 동안 수신 플랫폼의 총 이동 거리는 약 9 m이고, 수신 플랫폼으로부터 가장 가까운 표적의 거리는 약 200 m이다. 이러한 조건에서 바이스태틱 레인지의 변화량은 매우 작기 때문에 RCMC 신호처리 과정 없이 바이스태틱 이미징 영상을 획득할 수 있었다. 그림 4는 제안한 이미징 기법을 통해 얻은 영상 시뮬레이션 결과로서 약 1 m의 거리 분해능과 약 7 m의 방위 분해능을 갖는다.

Ⅴ. 결 론

본 논문은 바이스태틱 레이더의 geometry 특성을 고려하여 송신부만 이동하는 환경에서 영상 획득을 위한 플랫폼 이동 경로 및 표적 지형 위치 결정에 대한 기법을 제시하였다. High PRF가 가능한 바이스태틱 레이더 시스템에서 짧은 CPI 동안 거의 일정한 바이스태틱 레인지가 유지되는 특성을 이용하여 RCMC 과정 없이 영상을 획득하는 기법을 제시하였고, 주어진 조건에서 약 7 m의 방위 분해능을 갖는 이미징 시뮬레이션 결과를 보였다.

References

[1] X. Qui, D. Hu, and C. Ding, "Some reflections on bistatic SAR of forward-looking configuration", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 5, no. 4, pp. 735- 739, Oct. 2008.

[2] G. Krieger, A. Moreira, H. Fiedler, I. Hajnsek, M. Wemer, M. Younis, and M. Zink, "TanDEM-X: A satellite formation for high-resolution SAR interferometry", *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 45, no. 11, pp. 3317-3341, Nov. 2007.

[3] S. Jun, X. Zhang, and J. Yang, "Principle and methods on bistatic SAR signal processing via time correlation", *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 46, no. 10, pp. 3163-3178, Oct. 2008.

[4] N. J. Willis, *Bistatic Radar 2/e*, Scitech Publishing, North Carolina, 2005.

[5] I. Cumming, F. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation*, Norwood, MA: Artech House, 2005.