

Running Sum Average CFAR을 이용한 TDM-MIMO FMCW 레이더의 Multi-Target Detection 성능 향상

이용빈, 송원재, *이성주

전자정보통신공학과, *전자정보통신공학과 및 지능형드론융합전공, 세종대학교

lyngbn99@itsoc.sejong.ac.kr, wonjae@itsoc.sejong.ac.kr, *seongjoo@sejong.ac.kr

Improved Multi-Target Detection Performance at TDM-MIMO FMCW with Running Sum Average CFAR

Yongbin Lee, Wonjae Song, *Seongjoo Lee

Dept. of Electrical Engineering, Sejong Univ.

*Dept. of Electrical Engineering and Dept. of Convergence Engineering for Intelligent Drone, Sejong Univ.

요약

본 논문은 Frequency Modulated Continuous Wave(FMCW) 레이더 시스템의 탐지 성능을 향상시키기 위해 SOCA CFAR 알고리즘을 개선한 새로운 SOCA RSA-CFAR 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 Multi-Target 상황에서의 CFAR Masking을 줄이기 위해 Running Sum Average를 활용한다. MATLAB 시뮬레이션 결과는 이 새로운 알고리즘이 기존 SOCA CFAR보다 성능이 우수함을 보여준다.

I. 서론

최근, frequency modulated continuous wave(FMCW) 레이더는 다양한 분야에서 많은 주목을 받고 있다. Radar의 신호는 Background Noise, Masking effect, Side lobe 등과 같은 이유로 Target을 구분해 내는 것이 간단하지 않다. 그러므로 환경에 동적으로 적응 가능한 Threshold의 설정이 중요하며, 이를 위한 알고리즘이 Constant False Alarm(CFAR)이다. 본 논문은 SOCA CFAR을 개선한 새로운 알고리즘을 제안한다. Running Sum Average(RSA)를 활용한 새로운 알고리즘은 Multi-Target Situation에서 기존 SOCA(Smallest of Cell Average) CFAR에 비해 더 나은 성능을 보인다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 본문의 1과 2에서는 FMCW의 기본적인 원리와 CFAR의 개념에 대해 다룬다. 3에서는 새로운 알고리즘인 SOCA RSA-CFAR을 소개한다. 4와 5에서는 시뮬레이션을 위한 MATLAB 환경 세팅과 결과에 대해 설명한 후, 결론을 서술한다.

II. 본론

1. FMCW RADAR의 동작 원리

FMCW 레이더는 주파수 변조를 이용하여 거리 및 속도 정보를 모두 측정할 수 있는 레이더 시스템이다. FMCW Radar에서 TX 안테나는 시간에 따라 주파수가 선형적으로 증가하는 연속 신호(Cripr)를 송신한다. 이후 송신된 신호는 Target에 부딪혀 반사되고, RX 안테나에 의해 수신된다. 이후, 레이더는 송신한 신호와 수신된 신호 사이의 주파수 차이(beat frequency, IF frequency)를 측정한다. 이 beat frequency는 신호가 목표물까지 이동하는 데 걸린 시간에 비례하며, 이를 통해 Target의 거리를 계산할 수 있다. 또한, 도플러 효과를 이용해 목표의 속도를 측정할 수 있다

본 논문에서는 FMCW Radar의 각도 분해능을 향상시키기 위해 TDM(Time Division Multiplexing) MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술을 기반으로 가상 배열을 합성하여 가상 수신기 안테나의 수를 늘려 시뮬레이션을 진행했다.[1]

2. CFAR의 개념

CFAR 알고리즘은 레이더 시스템에서 Target을 탐지하는 데 사용되는 중요한 신호처리 기법의 하나이다.[2] 이 알고리즘은 변화하는 Noise level에 적응하여, Detection Threshold를 동적으로 조정한다. 이 Threshold는 Target cell을 기준으로, 주변의 reference cell들을 분석하며 FFT된 beat Frequency의 모든 bin(cell)에 대해 개별적으로 정의된다. CFAR 알고리즘은 이러한 과정을 통해 False Alarm Rate를 일정한 수준으로 유지하려고 하는데, 설정한 False Alarm Rate가 낮으면 Target Detection 확률이 감소하지만, False Alarm의 확률 역시 감소한다. 반대로, False Alarm Rate가 높으면 Target Detection 확률이 증가하지만, 동시에 False Alarm의 확률도 증가한다. 레이더 시스템에서는 필요한 False alarm Rate를 설정하고 달성하기 위해 CFAR을 사용한다. 현재까지 연구되고 개발된 CFAR 알고리즘은 다양하다. 그중, 본 논문에서 선택한 SOCA CFAR은 비대칭적 Noise 환경에 강하다는 특징을 가지고 있지만, Threshold의 감도가 낮다. 이는 Noise에 강하게 대응하기 위해 Threshold를 보수적으로 설정한다는 뜻이며, 약한 Target의 신호는 무시되는 CFAR Masking이 발생할 위험이 높아진다는 뜻이다. 이는 특히 Target이 두 개 이상 존재하는 Multi-Target Situation에서 취약하다. 하나의 Target이 강한 신호를 반사할 때, 강한 신호에 의해 SOCA CFAR의 Threshold가 급격히 상승하게 되고, 두 번째 Target의 신호가 무시될 수 있다. 이러한 현상을 CFAR Masking이라고 한다.

* 교신저자: 이성주

3. 새롭게 제안하는 SOCA RSA-CFAR 알고리즘

본 논문에서는 SOCA CFAR의 단점을 보완하기 위해 Threshold 값과 그 기울기의 Running Sum average를 활용한 SOCA RSA-CFAR 알고리즘을 고안했다. 먼저 SOCA를 기반으로 Threshold를 계산한다. 이후, 이 SOCA Threshold를 이용해 FFT bin마다 Detection을 진행하는데, 동시에 Threshold의 RSA와 Threshold 경사도(기울기)의 RSA를 계산한다. 이때, 만약 현재 경사도가 경사도의 RSA보다 클 경우, 알고리즘은 현재 Threshold의 값을 Threshold의 RSA 값으로 교체하여 Detection을 진행한다. 이런 방식을 통해 Noise나 신호의 peak에 의한 Threshold의 급격한 상승을 방지하고, CFAR Masking을 완화하여 Target detection의 성능을 향상시킬 수 있다.

4. MATLAB Simulation Setting

본 논문에서는 3가지 Scenario에 대한 simulation을 Matlab에서 진행했다. Radar는 77GHz에 Max Range는 200m, Range Resolution은 1m로 설정하였다. 각 3가지 시나리오에 대한 세팅은 아래의 [표 1]과 같다.

	(a)	(b)	(c)
distance[m]	50, 80	30, 50	105
angle [degree]	-10, 10	10, -15	-10

[표 1] Scenario Setting

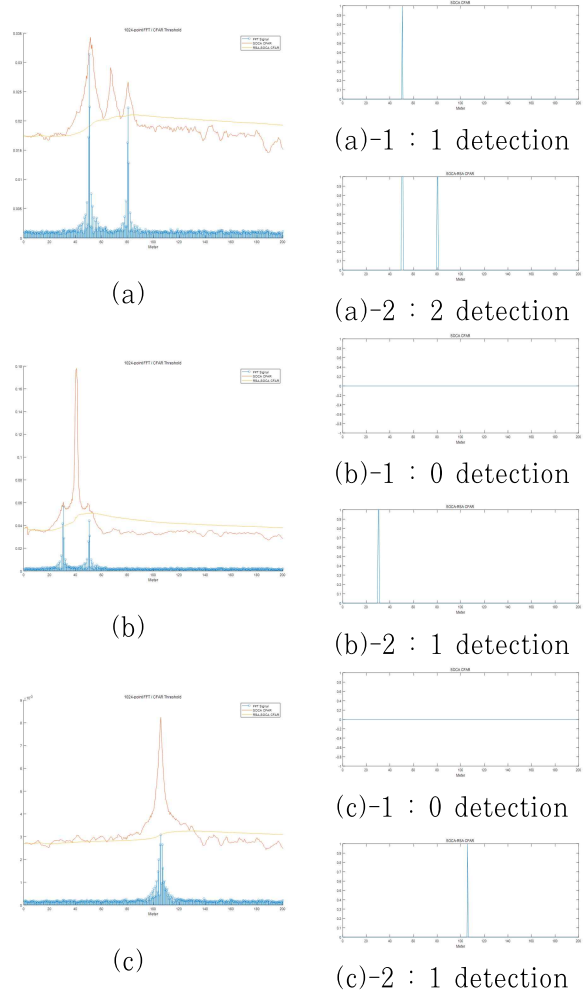
(a)와 (b)는 두 개의 Target이 존재하는 경우이며, (c)는 한 개의 Target만 존재하는 경우이다. angle은 레이더의 정면을 기준으로 측정된다.

5. 실험 결과 및 분석

본문에서 설명한 SOCA RSA-CFAR 알고리즘의 시뮬레이션과 기존의 CFAR의 시뮬레이션의 결과를 비교하여 설명하겠다. Figure 1.(a)에서 기존의 SOCA CFAR은 (a)-1처럼 Detect 하지 못한다. 그러나 SOCA RSA-CFAR의 경우 Threshold의 증가를 차단하여 (a)-2과 같이 두 Target을 모두 Detect 하는 결과를 보여준다. Figure 1.(b)의 FFT 결과는 FMCW가 Figure 1.(a)보다 더 높은 amplitude로 두 개의 peak가 나타난다. 때문에 SOCA CFAR은 강한 신호 값으로 인해 Threshold가 급격히 상승하여 Target을 검출하지 못하지만, SOCA RSA-CFAR의 경우 Threshold의 상승을 완화시켜 하나의 Target을 detect 해낸다. 마지막으로 Figure 1.(c)의 FFT 결과는 하나의 Target이 매우 높은 amplitude를 가지는 peak와 sidelobes가 나타난다. 이로 인해, SOCA CFAR은 Threshold가 급격히 상승하여 Target을 Detect 하지 못한다. 반면, RSA-CFAR은 하나의 Target을 정확히 Detect 하는 결과를 보여준다.

III. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 Radar Target Detection을 위해 향상된 SOCA RSA-CFAR 알고리즘을 제안하였다. SOCA CFAR 결과에 Running Sum Average를 적용하여 Threshold의 증가율을 제한하였고, 기존의 CFAR Masking이 일부 해결되는 것을 MATLAB 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 SOCA CFAR과 직렬로 연결되어 순차 실행되었지만, Computational power를 줄이기 위해서는 SOCA CFAR 알고리즘과의 유기적인 융합에 대한 연구가 필요하다. 또한 SOCA 이외에도 다른 CFAR 알고리즘들과의 비교와 적용에 대한 연구도 진행되어야 할 것으로 보인다.



[Figure 1] Matlab Simulation result; (a), (b), (c): 각각 3가지 Scenario에 대한 FFT와 SOCA RSA-CFAR, SOCA CFAR 결과; (a)-1, (b)-1, (c)-1: SOCA CFAR detection 결과; (a)-2, (b)-2, (c)-2: SOCA RSA-CFAR detection 결과;

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단, 무인이동체원천기술개발사업단의 지원을 받은 무인이동체원천기술개발사업(No. 2023M3C1C1A01098414) 및 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2023R1A2C1006340)을 받아 수행하였으며, 검증을 위한 EDA관련 툴은 IDEC의 지원을 받았음.

참고 문헌

[1] Q. Zheng et al., "An Improved Scheme for High-Resolution Point Cloud Map Generation Based on FMCW Radar," 2020 IEEE 11th Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop (SAM), Hangzhou, China, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/SAM48682.2020.9104348.

[2] C. Xu, Y. Li, C. Ji, Y. Huang, H. Wang and Y. Xia, "An improved CFAR algorithm for target detection," 2017 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), Xiamen, China, 2017, pp. 883-888, doi: 10.1109/ISPACS.2017.8266600.