

프랙탈 차원을 이용한 밀리미터파 탐색기 표적인식 알고리즘 연구

Target Identification Algorithm Using Fractal Dimension on Millimeter-Wave Seeker

노 경 아¹ · 정 준 영² · 송 성 찬³

Kyung A Roh¹ · Jun Young Jung² · Sung Chan Song³

요 약

대지 유도무기의 명중률 개선을 위해 지상 클러터 사이에서 표적을 정확하게 탐지하고 인식하는 연구가 많이 수행되고 있다. 지상 표적보다 클러터의 신호가 다양하고 복잡한 특성을 보이는 점으로 인해 능동 표적인식 기술에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 자기유사성(self-similarity)의 특징을 가지는 프랙탈 차원(fractal dimension) 계산을 통해 표적의 고유한 특징을 추출하고, 이를 기반으로 표적을 인식하고 종류를 구분하는 알고리즘을 제안한다. 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 수행 결과, 전차와 트럭으로 인식하는 확률이 각각 100 %, 98.89 %로 나오며, 98 % 이상 확률로 표적의 종류를 구분한다.

Abstract

Many studies have been conducted on the accurate detection and identification of targets from ground clutter, in order to improve the accuracy rate of land guided weapons. Due to the variety and complicated characteristics of the ground clutter signal compared to the target, an active target identification technique is needed. In this paper, we propose a new algorithm to identify targets and divide them into different types by extracting the unique characteristics of the target through fractal dimension calculation with the characteristics of self-similarity. In the simulation using the algorithm, the probabilities of identifying the tank and truck were 100 % and 98.89 %, respectively, and the type of the target could be identified with a probability of 98 % or more.

Key words: Target Identification, Fractal Dimension, Self-similarity

I. 서 론

대전차 유도탄용 탐색기는 지상 클러터 환경하에서 표적을 탐지한 후, 상대적 위협도가 높은 표적 하나를 선택하여 정밀추적, 타격하기 위해 전차, 트럭 등 지상표적을 구분 및 인식하는 기능이 필요하다. 밀리미터파 탐색기는 마이크로파 탐색기에 비해 분해능이 높아 표적을 더욱 정확하게 탐지하고 정밀추적이 가능하다. 또한 밀리미터파의 대기 중 수분 함유량에 의한 신호 감쇄도가 적외선/

가시광선에 비해 낮으므로 탐색기의 전천후 운용에 적용 가능하다. 이러한 장점들로 밀리미터파 탐색기는 전천후 환경에서 표적과 클러터의 구분이 가능하다. 탐색기가 표적을 인식하는 여러 방법 중 영국 MBDA사의 브림스톤 밀리미터파 탐색기는 대상 표적과의 상대 거리 및 각도에 따라 이중편파 수신신호(HH, HV)를 획득한 다음, HH와 HV 수신신호 비에 따른 확률밀도(probability density)와 누적확률(cumulative probability) 차례로 계산하여 표적을 인식하는 방법^{[1],[2]}을 사용하고 있다. 하지만 클러터로부

한화시스템(Hanwha Systems)

1: 연구원, 2: 선임연구원, 3: 수석연구원

· Manuscript received July 11, 2018 ; Revised August 24, 2018 ; Accepted August 29, 2018. (ID No. 20180711-072)

· Corresponding Author: Sung Chan Song (e-mail: sungchan.song@hanwha.com)

터의 수신신호가 표적으로부터의 수신신호보다 강하면 표적별 이중편파 수신신호 특성상 클러스터와 표적을 구분하기 어렵다. 본 논문에서는 레이더 표적인식 분야에서 응용되지 않았던 프랙탈^{[3][4]} 차원을 이용한 알고리즘을 제안한다. 자기 유사성의 특징을 가진 프랙탈은 신호처리, 영상, 안테나 등 공학 분야에 응용되고 있다^{[5][6]}. 밀리미터파 신호처리에 의해 계산된 고해상도 거리 프로파일(high range resolution profile: HRRP)로부터 프랙탈 차원을 계산하고, 이를 통해 고유한 특징을 추출하여 표적을 인식하고 종류를 구분하는 방법을 제안한다.

II. 표적 인식을 계산

II 절에서는 제안한 표적인식 알고리즘을 소개한다. 여러 종류의 프랙탈 계산 방법 중 레이더 신호처리에 있어 오차율이 적은 Higuchi 계산 방법을 이용하여 프랙탈 차원을 계산한다^[7].

그림 1은 프랙탈 차원을 이용한 표적인식 순서도이다. 표적으로부터 실시간으로 들어오는 정보를 밀리미터파 신호처리를 통해 고해상도 거리 프로파일을 추출한다. 추출한 프로파일로 시계열(X)을 구성한 후 시계열의 평균을 식 (1)로 계산한다. L 은 계산된 시계열의 평균, N 은 시계열의 개수, m 과 k 는 각각 시계열에서 초기 시간, 시간 간격이며, km 은 시계열의 누적 횟수, ik 는 반복하는 시뮬레이션 횟수를 의미한다. 시계열의 평균을 구한 후 시계열의 길이를 식 (2)로 계산한다. 시계열의 길이는 k 의 평균값으로 계산한다. 구한 시계열의 길이는 식 (3)에 의해 기울기 $-D$ 로 표현되며, 계산된 D 는 프랙탈 차원이다. 계산된 프랙탈 차원과 표적별로 데이터베이스화된 기준 프랙탈 차원을 비교하는 방법으로 표적을 인식하여 종류를 구분한다.

$$L_m(k) = \frac{1}{k} \left\{ \left(\sum_{i=1}^M |X(m+ik) - X(m+(i-1) \cdot k)| \right) \frac{N-1}{Mk} \right\},$$

$$M = \left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor \quad (1)$$

$$\langle L_m(k) \rangle = \sum_{m=1}^k L_m(k)/k \quad (2)$$

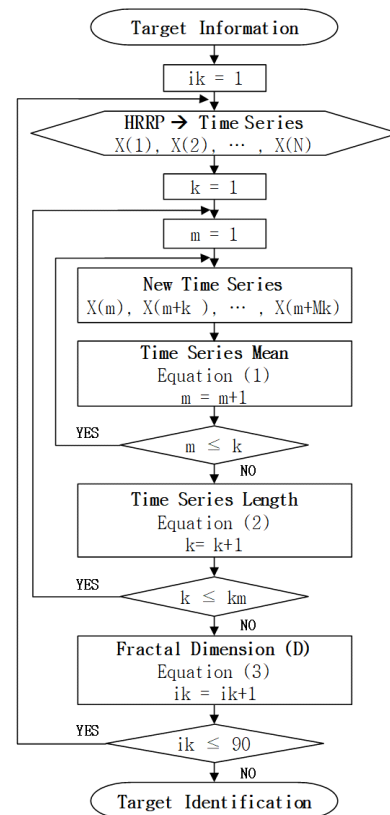


그림 1. 표적인식 알고리즘 순서도

Fig. 1. Target identification algorithm flow chart.

$$\langle L(k) \rangle > \propto k^{-D} \quad (3)$$

III. 표적 인식 시뮬레이션 결과 및 분석

III 절에서는 II 절의 알고리즘으로 표적인식 시뮬레이션 한 결과 및 분석을 보여준다. 프랙탈 차원을 계산하기 위해 사용한 전차와 트럭의 고해상도 거리 프로파일(HRRP)을 그림 2와 그림 3에 도시하였다. 실시간으로 들어오는 신호를 FMCW 신호처리를 통해 특정한 각도에서 추출한 결과^[8]이다. 각 표적의 고해상도 거리 프로파일을 이용하여 계산한 전차와 트럭의 시계열 길이는 그림 4에 도시하였다. 시계열의 길이를 구하기 위해 $N=200$, $k=20$, $m=1, 2, \dots, k$, $km=30$, $ik=90$ 으로 정의하였다. 계산된 시계열의 길이와 km 을 비례하여 기울기 $-D$ 를 그림 5에 도시하였다. 구해진 전차의 평균 기울기는 -1.46 이며 $D=1.46$ 이고, 트럭의 평균 기울기는 -1.92 이며 $D=1.92$ 이다.

D 는 $\log(k)$ 의 0에서 3까지 구간 전체에서 선형 근사 방법으로 계산된 기울기다. 그림 6은 전차와 트럭의 프랙탈 차원으로, 반복시킨 프랙탈 차원 데이터를 평균화시켜 smoothing한 그래프이다. 그림 7은 전차와 트럭의 데이터 베이스화된 기준 프랙탈과 비교 프랙탈을 함께 나타낸 그래프이다. 여기서 비교 프랙탈은 표적으로부터 실시간으로 들어오는 밀리미터파 수신 신호를 제안한 알고리즘으로 계산한 값이다. 그래프를 통해 전차는 전차의 기준 프랙탈과 트럭은 트럭의 기준 프랙탈과 유사한 것을 확인할 수 있다. 클러터와 노이즈에 따른 기준 프랙탈과의 분산과 오차를 분석하기 위하여 각 표적마다 90번의 시뮬레이션을 수행하였다.

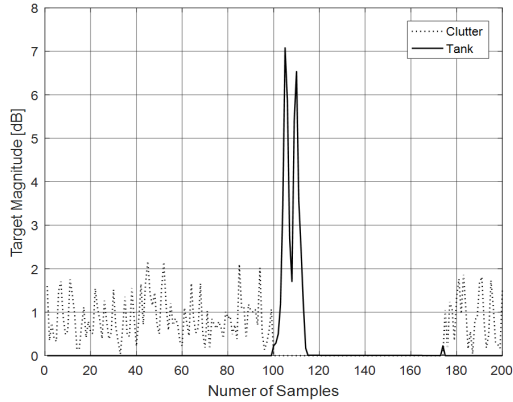


그림 2. 전차의 고해상도 거리 프로파일(HRRP)
Fig. 2. High range resolution profile(HRRP) of the tank.

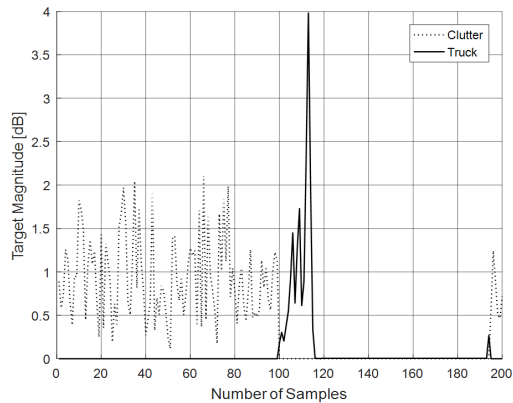


그림 3. 트럭의 고해상도 거리 프로파일(HRRP)
Fig. 3. High range resolution profile(HRRP) of the truck.

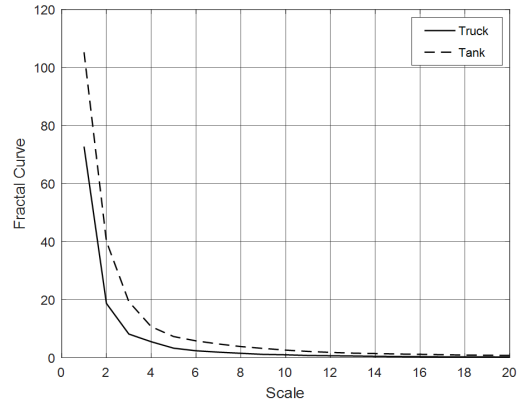


그림 4. 표적의 시계열 데이터에 대한 길이
Fig. 4. Length of curve about time series data of target.

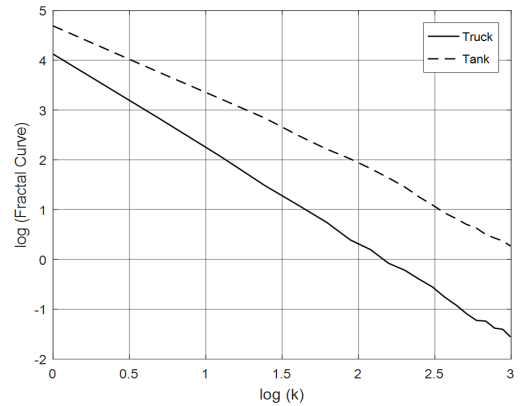


그림 5. 표적의 기울기가 $-D$ (프랙탈 차원)인 그래프
Fig. 5. Graph with slope $-D$ (fractal dimension) of the target.

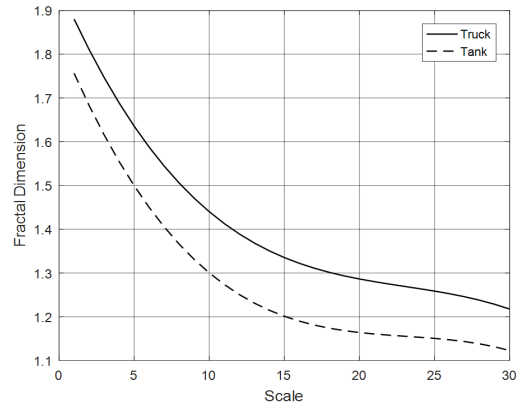


그림 6. 표적의 프랙탈 차원 그래프
Fig. 6. Fractal dimension graph of target.

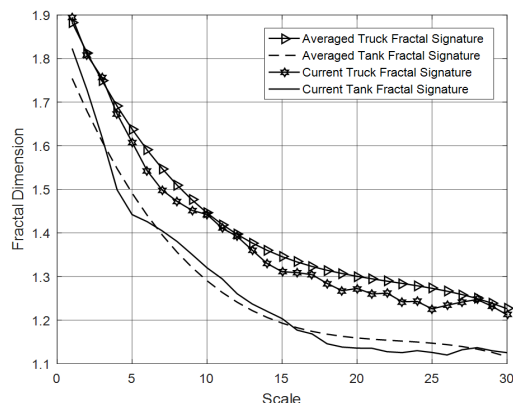


그림 7. 평균 프랙탈 시그니처
Fig. 7. Average fractal signature.

표 1. 표적인식 시뮬레이션 결과

Table 1. Simulation results of target identification.

	Classified as tank	Classified as truck	Percent classified as tank, %	Percent classified as truck, %
Tank	90	0	100	0
Truck	1	89	1.11	98.89

Number of tests=90

표 1의 표적인식 시뮬레이션 결과 중 전차 인식률은 전차의 기준 프랙탈에서 전차의 비교 프랙탈을 뺀 값이 전차의 기준 프랙탈에서 트럭의 비교 프랙탈을 뺀 값보다 작았을 때 전차로 인식하는 방법으로 계산하였다. 트럭인식률도 동일한 방법으로 수행하였다. 총 90번의 시뮬레이션 중에 전차로 인식되는 횟수는 90번, 트럭으로 인식되는 횟수는 총 89번이고, 각각 확률은 100 %, 98.89 %이다. 트럭의 인식 과정에서 1회 오차가 발생한 원인으로는 트럭의 프랙탈 차원이 트럭 기준 프랙탈 차원보다 전차 기준 프랙탈 차원에 더 가까웠기 때문이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 표적을 탐지하고, 표적의 종류를 구분하기 위한 대전차 유도탄용 밀리미터파 탐색기 신호처리의 표적인식 알고리즘을 제안하였다. 자기유사성의 특징을 가지는 프랙탈 차원 계산을 통해 표적의 고유한 특징을 추출하여 표적을 인식하고 종류를 구분하였다. 프랙탈 차

원은 Higuchi 계산 수식을 통해 계산^[7]하였고, 알고리즘을 적용하여 반복 시뮬레이션 결과 전차와 트럭을 100 %, 98.89 %로 인식하여 구분하는 것을 확인할 수 있었다.

새로운 알고리즘을 적용하여 실시간으로 들어오는 표적 신호를 인식하기 위해서는 비교하여 분석할 수 있는 다양한 기준 데이터가 필요하다. 표적이 있는 환경, 표적의 위치, 각도, SNR, power 세기 등이 전부 다르고 고유한 특성을 가지기 때문에, 이를 특징별로 구조화하는 추가적인 연구가 필요하다. 구조화된 기준 데이터와 이를 프랙탈 차원으로 만드는 알고리즘은 지상의 다양한 표적을 인식하고, 종류를 구분하는 탐색기 신호처리 개발에 있어 핵심적인 연구로 사료된다.

References

- [1] G. Brooker, *Introduction to Sensors for Ranging and Imaging*, SciTech Publishing, 2009.
- [2] G. S. Beard, "Performance Factors for Airborne Short-dwell Squinted Radar Sensors," Ph.D. dissertation, University College London, 2010.
- [3] M. Benoit, *Fractals: Form, Chance and Dimension*, San Francisco, Freeman, 1977.
- [4] B. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, San Francisco, Freeman, 1982.
- [5] D. Dasgupta, G. Hernandez, and F. Nino, "An evolutionary algorithm for fractal coding of binary images," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 4, no. 2, pp. 172-181, Jul. 2000.
- [6] B. Wohlberg, G. de Jager, "A class of multiresolution stochastic models generating self-affine images," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 47, no. 6, pp. 1739-1742, Jun. 1999.
- [7] T. Higuchi, "Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory," *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 31, no. 2, pp. 277-283, 1988.
- [8] 이혁중, 전주환, 송성찬, "밀리미터파(W 밴드) FMCW SAR 기반 전방의 이동지상표적 탐지 및 위치와 속도 추정," *한국전자과학회논문지*, 28(6), pp. 459-469, 2017년 6월.