

FMCW 레이더 RCS 를 이용한 EM 알고리즘 기반 표적 식별 기법

이윤진°, 김홍석, 추호성, 김수진

서강대학교 전자공학과, 홍익대학교 전자공학과, 국방과학연구소(ADD)

Target Recognition using RCS with FMCW Radar by EM Algorithm

Yoonjin Lee°, Hongseok Kim, Hosung Choo, Soojin Kim

Department of Electronics Engineering, Sogang University, Hongik University and ADD

hongseok@sogang.ac.kr

요 약

이 논문은 FMCW 레이더를 사용하여 얻은 신호의 분포가 감마 분포를 따른다는 가정 하에, 차량용 근거리 레이더에서 시스템 상으로 실시간으로 표적 식별이 가능하고 추적이 가능하도록 하는 것이 목적이다. 우선 FMCW 근거리 차량용 레이더를 이용하여 얻은 표적으로부터 반사되어 돌아 온 레이더 신호는 1-dimensional Fast Fourier Transform 을 적용하여 얻은 거리 값을 RCS 계산 시 적용한다. 그리고 계산 된 RCS 분포의 파라미터는 EM algorithm 을 적용하여 파라미터를 추정하였다. 이 파라미터 추정이 얼마나 신뢰성 있는 지, 성능 분석은 Kolmogorov-Smirnov distance 를 통해 확인하였다. 또한 최종적으로 Maximum Likelihood 기법을 이용하여, 표적이 특정 표적일 확률 또한 구할 수 있다.

1. 서론

장차 자율 주행 차량의 대두는 미래의 일이 아니며, 이에 대한 선행 연구는 필수적이다. 이미 유럽 및 미국에서 제조되는 자동차에는 차량용 레이더가 옵션으로 장착된 모델들이 개발되고 출시 되어있다. 이에 대한 연구는 활발하게 이루어지고 있으며, 제작 용이성 측면에서 그리고 신호처리 및 성능적 측면에서 가까운 거리에서 측정된 신호의 거리 분석 및 속도 분석이 가능한 FMCW 변조방식을 사용한 레이더를 차량용 레이더로 전방 후방에 많이 사용한다. 이러한 차량용 레이더의 많은 적용으로, 이에 따라 FMCW 레이더를 적용하여 사물을 식별하는 것은 점점 더 중요해졌다. 특히 차량에 탑재되는 근거리 FMCW 레이더를 이용하여 차량 앞의 사물을 실시간 추적하며 식별 및 분류하는 것은 매우 중요하다. 그리하여 이 논문에서는 실시간으로 레이더로 측정하면서 표적 인식할 수 있는 효율적인 방법을 제안하고, 실제 측정된 데이터로 실험하고 분석하였다.

2. 시스템 모델

앞으로 무인차량의 대두에 대비하여, 차량에 탑재되는 차량용 근거리 FMCW 레이더를 이용하여 차량 앞의 표적을 실시간 추적하며 식별 및 분류하는 것은 매우 중요하다. 그리하여, 표적의 특성을 나타내는 것 중의 하나인 RCS 는 물체에서 반사된 레이더의 신호 세기와 레이더와 차량 사이의 거리로 계산 된 값으로, 이 값을 이용하여 표적 식별 가능케 한다. 이 RCS 는 확률 변수로, 이 RCS 의 각 표적

별로 따르는 분포가 다름을 이용하여 표적 식별하고자 한다.

이에 앞서 차량용 근거리 FMCW 레이더의 수신 신호 분석은 다음과 같은 순서로 하였다. 표적으로부터 반사되어 돌아온 신호는 한 번 FFT(1-dimensional Fast Fourier Transform)하여 그 물체의 속도와 레이더와 표적 사이의 거리를 얻을 수 있다. RCS 값의 수식상의 의미는 멀리 있는 표적에 대한 값으로, 거리가 무한대라는 가정 하의 값이지만, 차량에 탑재되는 레이더의 경우는 근거리에 있는 물체를 측정하여 얻는 경우가 많으므로, 이와 같이 계산하여 얻은 거리를 RCS 계산 시 거리 보정을 함으로써, 더 정확한 표적의 RCS 값을 얻어, 정확한 분석을 할 수 있다.

이렇게 위와 같은 과정을 통해 얻은 RCS 값은 표적의 특성으로, 물체에서 반사된 레이더의 신호 세기로, 이를 통하여 우리는 물체를 인식하고 구분할 수 있다. 이에 대한 연구는 앞서 카이 제곱 분포 및 가우시안 혼합 모델 등 여러 종류의 분포에 대해, RCS 의 통계적 모델링을 한 바 있다. 이 연구에서는 이와 유사하게 표적의 RCS 의 통계적 모델링을 통하여 표적 인식 및 분별하였다.

표적 RCS 의 분포 추정 시, 표적의 RCS 값이 감마 분포를 따른다는 가정 하에 파라미터 추정에 중점을 두어 표적 식별을 하고자 하였다. 특히 EM(expectation Maximization) 알고리즘을 적용하여 감마 분포의 파라미터 m (분포의 모양을 정하는 파라미터)을 추정하여 분포를 그려 실측데이터로 얻은 PMF 와 비교하여 보았으며, 감마 분포를 잘 따르는

것을 확인하였으며, 그 결과는 아래에 자세히 설명하였다. 이때, 두 추정된 분포를 실측 데이터로 얻은 PMF 와 비교할 때, 앞에서 언급하였던 KS-distance 로 확인하였다.

$$d = \max|f(x) - g(x)|$$

위 식에서 KS-distance 에 대한 식이며, $f(x)$ 와 $g(x)$ 는 서로 다른 두 분포의 확률 분포 함수이다.

3. RCS 분포의 파라미터 추정

EM 알고리즘은 언급한 불완전한 데이터와 주어지지 않은 측정되지 않은 데이터(hidden data)로 이루어진 확률 분포의 파라미터를 추정할 때 사용되는 하나의 알고리즘이다. 그리고 특히 구하고자 하는 분포의 모델이 Mixture model 일 경우와 같이 계산이 복잡할 경우에 파라미터를 추정하기에 적합한 알고리즘이다.

EM 알고리즘은 두 개의 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 Expectation 단계(E-step)이다. 이 단계에서는 측정되지 않은 모르는 데이터에 대해 기존에 가지고 있는 파라미터와의 조건부 확률을 통해 기댓값을 계산하는 단계($\text{argmax}_{\theta} p(x|\theta)$, x 의 조건부 확률이 최대가 되게 하는 θ 를 찾는 단계)이다.

두 번째 단계는 Maximization 단계(M-step)로, 앞에서 계산한 파라미터에 대한 측정된 data 와의 likelihood function 을 계산하는 단계이다. 이러한 과정은 M-step 에서 계산한 likelihood function 값이 최대가 될 때까지 반복한다.

4. 실험 결과

본 연구에서 측정한 데이터는 사람, 차량, 헬리캠 이렇게 세 가지 표적이 근거리에서 있는 경우에 대해 측정한 것으로, 이를 바탕으로 확률분포를 얻어 각 표적의 RCS 의 PDF 와 CDF 을 측정한 데이터로 파라미터 추정하여 얻은 감마 분포와의 조건부 확률을 통해, 표적들을 분류할 수 있음을 보였다. 아래 그림 1 은 각 표적에 따라, 8 번의 측정을 통해 얻은 데이터로, EM 알고리즘을 적용하여 파라미터를 추정하여 얻은 분포와 함께 표현한 것이다.

8 개의 파란색 CDF 는 사람에 대해 측정한 실제 데이터의 CDF 이며, 마찬가지로 8 개의 빨간색 CDF 는 헬리캠의 실측 데이터의 분포이고, 초록색은 차량의 실측 데이터의 분포이다. 굵은 선의 하늘색, 검정색, 그리고 빨간색 분포는 실측 데이터로 파라미터 추정하여 얻은 분포이다. 위 그림 1 을 통해, EM 알고리즘을 적용한 파라미터 값 추정이 잘 된 것을 KS-distance 를 계산하여, 더욱 수치적으로 보였으며, 그 결과는 분량상 생략하였다.

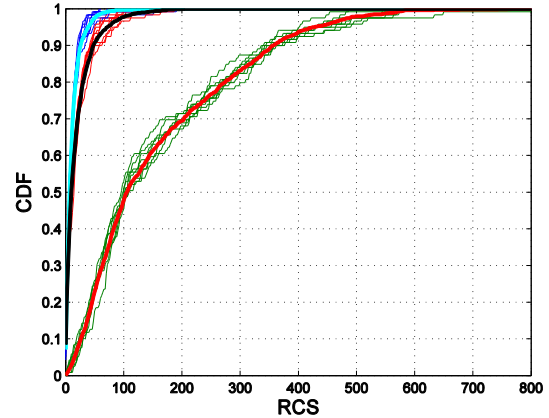


그림 1. 각 표적에 대한 CDF

또한 최종적으로 target recognition 할 수 있는 priori probability 를 각 표적이 발생할 초기확률이 동일하다는 가정 하에 계산하였다.

$$p_{\text{man}}(x) = \frac{p(x|\theta_{\text{man}})}{p(x|\theta_{\text{man}}) + p(x|\theta_{\text{car}}) + p(x|\theta_{\text{hel}})}$$

위 식은 데이터 x 에 대한 priori probability 를 계산한 것이다. $p_{\text{man}}(x)$ 는 데이터 x 가 사람일 확률의 의미한다.

이 확률 값의 의미는 어떠한 표적이 특정 표적일 확률로 구분이 잘 되는 것을 확인하였다. 그 결과 또한 분량상 생략하였다.

5. 결론

실측 데이터를 이용하여 EM 알고리즘을 적용하여 얻은 추정된 파라미터로 표적 RCS 의 분포를 추정하고, 또한 표적이 특정 표적일 확률 또한 얻을 수 있었다. 그리고 이 확률 값은 추후 표적 추적시, 적용하는 데 유용한 결과이다.

6. 감사의 글

이 논문은 2014 년도 국방과학연구소(ADD)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 "표적 RCS 정보를 이용한 추적 성능 향상 기법 연구" 라는 과제의 결과물임. (No.)

7. 참고 문헌

- [1] Skolnik, M., *Introduction to Radar Systems: Third Edition*. New York, McGraw-Hill, 2001.
- [2] J. A. Bilmes, "A Gentle Tutorial of the EM Algorithm and its Application to Parameter Estimation for Gaussian Mixture and Hidden Markov Models," Technical Report TR-97-021, Berkeley, CA, April, 1998.
- [3] Christopher M. Bishop, "Pattern Recognition and Machine Learning", Springer, 2006
- [4] Andrew R. Webb, "Gamma Mixture Models for Target Recognition", The journal of the pattern recognition

society, Pattern Recognition 33(2000) 2045-2054