한국군사과학기술학회지 제12권 제1호, pp. 1~7, 2009년 2월

학술논문 유도무기 부문

마이크로파 탐색기의 HPRF 파형에 대한 지표면 부엽 클러터 분포의 추정

The Estimation of the Surface Sidelobe Clutter Distribution for the HPRF Waveform of the M/W Seeker

김 태 형* 변 영 진* 이 재 웅*
Tae-Hyung Kim Young-Jin Byun Jae-Woong Yi

Abstract

Tracking and detecting targets by the M/W seeker is affected by the clutter reflecting from the earth's surface. In order to detect the look-down retreating targets, which appear in the sidelobe clutter region, in the M/W seeker of High PRF mode, it is necessary to understand statistical characteristics of the surface sidelobe clutter. Statistical analysis of sidelobe clutter is conducted for several configurations of the surface using data obtained by the CFT (Captive Flight Test) of the M/W seeker in High PRF mode. The probability density function(PDF) fitting is conducted for several configuration and conditions of the surface. PDFs and PDF parameters, which best describe statistical distribution of sidelobe clutter, are estimated.

Keywords : M/W Seeker(마이크로파 탐색기), Sidelobe Clutter(부엽 클러터), Probability Density Function(확률 밀도 함수), Probability Distribution(확률 분포), HPRF(High Pulse Repetition Frequency)

1. 서 론

지면 클러터는 안테나의 시선각 방향의 지면에서 반사되는 주엽 클러터(MLC : Mainlobe Clutter)와 안테나의 부엽으로 수신되는 부엽 클러터(SLC : Sidelobe Clutter)로 구별된다. 특히 안테나와 가장 가까운 거리에서 반사되는 AR(Altitude Return)은 부엽 클러터 중 가장 큰 전력을 가진다. High PRF 모드를 사용하는 마이크로파 탐색기에서, 표적이 기수(nose) 방향으로 탐색기로 다가오는 경우 표적 신호가 클러터가 없는 구간에서 획득되므로 표적의 탐지 및 추적에서 클러터의 영향을 받지 않는다. 그러나 표적이 직각(abeam) 방향으로 이동하거나(표적 신호가 MLC 안으로 사라지게 된다), 표적이 꼬리(tail) 방향으로 퇴각하는 경우에 표적 신호가 클러터의 영향을 받게 된다[1]. 표적이 MLC 영역에 존재할 때는 추적이 불가능하나, MLC의 주파수를 예측할 수 있으므로 어느 정도 피할 수 있다. 그러나 SLC 영역에 존재하는 퇴각 표적을 탐지, 추적하기 위해서는 SLC 전력을 고려하여 부엽의 이산 클러터 신호를 제거하고 표적 탐지 임계값

† 2008년 10월 6일 접수~2009년 1월 9일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
책임저자 : 김태영(thyunkim@pusan.ac.kr)

(threshold)을 설정해야 한다. 탐색기의 표적 탐지 성능의 추정 및 표적 탐지 임계값의 설정, 그리고 클러터 신호의 간섭 제거를 위한 알고리즘 개발을 위해서는 클러터 신호의 분포를 적당한 확률 밀도 함수(PDF)로 표현하는 것이 필수적이며, 클러터 분포 모양의 꼬리 길이는 표적 탐지 임계값 결정에 결정적인 역할을 한다[2~5].

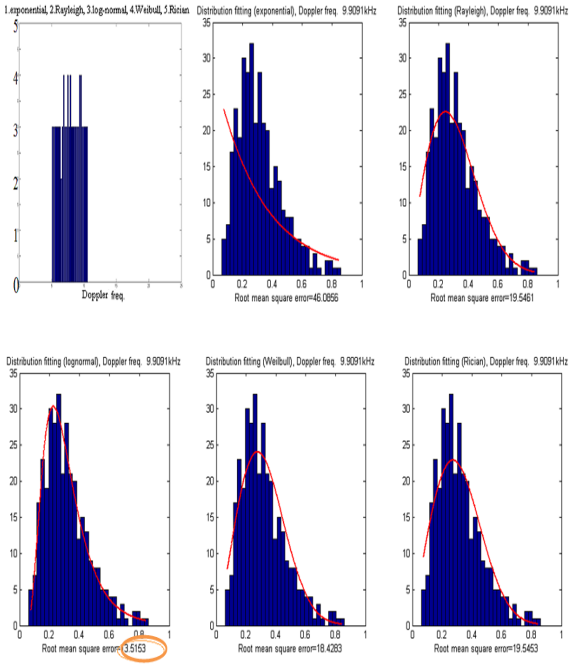
탐색기의 분해능(resolution capabilities)은 안테나 빔 폭(beam width), 송신 펄스폭, 도플러 대역폭 및 레이더 파형 등에 따라 결정된다. 탐색기의 분해능에 따라 클러터의 특성이 달라지는데, 탐색기의 분해능이 낮으면, 지면 클러터의 경우에 클러터 스펙트럼의 전력 분포는 가우시안 모델로 근사화될 수 있다. 클러터는 탐색기의 분해능이 높으면, 비가우시안(non-Gaussian) 전력 분포 특징을 가진다[2~4]. 다시 말해서, 탐색기의 분해능이 높으면, 클러터 전력 분포에서 변화가 심하고, 보다 긴 오른쪽 꼬리를 가지는 확률 밀도 함수의 특징을 가지는 전력 분포를 가진다. 과거에는 클러터 전력 분포를 가우시안으로 모델링하였지만, 현대에는 비가우시안 클러터 전력 분포 특징을 모델링하고 있다[2~5]. 레이더 클러터의 분포는 주로 Rayleigh, Weibull, log-normal, 그리고 K distribution 등으로 분류되며, 각종 레이더에서 클러터 분포에 대한 최적의 모델을 구하려는 많은 연구가 있어 왔다[2~9]. 본 논문에서는 High PRF 모드를 사용하는 탐색기의 항공기 탑재시험(CFT : Captive Flight Test)에서 획득한 지표면 클러터의 전력 자료를 기반으로, 각 지형과 안테나 시선각 등의 상황에 따라 SLC의 확률 분포 특성을 가장 근접하게 표현하는 PDF를 구하고 그 PDF의 파라미터를 추정하여, SLC 전력을 확률 통계적으로 분석한다. 본 분석 자료는 표적 탐지 방법 개발 및 CFAR(Constant False Alarm Rate) 처리 등의 다양한 분야에 주요하게 이용될 수 있다[8,9].

2. 부엽 클러터의 확률통계적인 특성 분석

CFT에서 지표면 클러터 전력 자료는 non-coherent integration 방법으로 획득하였으며, n×CPIs(coherent processing intervals)동안 획득한 클러터 신호를 이용하여 각 도플러 주파수 셀에서의 클러터 전력 평균값(n×CPIs 동안의 평균)을 일정 시간 동안 지속적으로 구하였다. 또한 샘플링 주파수와 항공기의 속도, 그리고 안테나 숙임각 및 안테나 빔 폭 등의 정보를 고려하여 MLC와 SLC가 존재하는 도플러 주파수 대역에서 클러터 신호를 획득하도록 하였다. CFT에서 각 주파수 셀에서의 클러터 전력을 해면, 농지, 공단의 지형별로, 1500ft, 3000ft, 4000ft, 5000ft, 6000ft의 고도별로, 그리고 0도와 20도의 안테나 숙임각별로 구하고 있다. 해면 지형은 넓고 편평하며 선박의 왕래가 적고 아주 잔잔한(smooth) 구역을 대상으로 하였다. 농지 지형은 가능한 넓고 평평한 곳은 대상으로 하였으나 주변 산이나 건물의 영향을 다소 받을 수 있다. 공단 지형은 반사 계수가 두드러진 인공 구조물이 많은 구역을 대상으로 하였다. 시험 중에 날씨 상태는 대부분 맑았으며 평균 풍속은 2m/s 정도로 낮았다.

각각의 CFT 시나리오에 대하여 항공기의 속도 및 안테나 숙임각 등의 정보로부터 MLC 및 SLC의 영역을 예측한 후, 측정 자료로부터 구한 도플러 스펙트럼을 분석하여 SLC 영역을 추출하였으며, SLC가 존재하는 도플러 주파수 셀들에서 SLC에 대한 전력 분포 정보를 획득하였다. CFT 결과 자료를 이용하여, 각 고도, 안테나 숙임각, 및 지형별로, 각 주파수 셀에서 SLC의 확률 분포 특성이 어떤 PDF와 가장 근접한 지를 판단하고, SLC의 확률 분포 특성을 근접하게 표현하는 PDF의 파라미터를 추정한다. 그리고 다음 절에서 SLC의 확률 분포 특성을 표현하는 대표 PDF와 대표 파라미터를 구해볼 것이다.

SLC의 확률 분포와 비교해 보는 PDF들은 exponential($f(x|\mu)$), Rayleigh($f(x|\sigma)$), log-normal($f(x|\mu,\sigma)$), Weibull($f(x|a,b)$), Rician($f(x|s,\sigma)$) PDF들이다. 여기서 K-distribution은 Rician, Rayleigh, log-normal PDFs 등으로 표현되므로 생략하였다. SLC에 가장 근사하는 PDF를 구하기 위해, 먼저 SLC 전력의 확률 분포에 근사하는 각 PDF의 파라미터를 Maximum Likelihood Estimation (MLE) 기법을 이용하여 구한다. 구한 그 파라미터들을 이용하여 그린 각 PDF 곡선과 SLC 전력의 히스토그램과의 차이 값을 근사 PDF와 실제 SLC 전력의 확률 분포와의 적합도 차이라고 본다. 이 적합도 차이를 이용하여 각 SLC의 확률 분포 특성을 가장 근접하게 표현하는 PDF와 그 파라미터를 추정한다. 그림 1은 SLC 전력의 히스토그램과 근사 PDF 곡선들과의 적합도 차이를 이용하여 각 주파수별 가장 근접한 PDF를 구한 예이다. 그림 1의 첫 그래프는 SLC가 존재하는 도플러 주파수 대역에 대하여, 주파수별로 SLC 전력 분포가 어떤 PDF에 가장 근사한 가를 보여주는 예로



[그림 1] 각 주파수별로 SLC 전력 분포에 가장 근접한 PDF들을 구한 예

서, *y*축의 값은 각 PDF를 타나내며(1. exponential, 2. Rayleigh, 3. log-normal, 4. Weibull, 5. Rician), *x*축은 도플러 주파수이다. 그림 1의 예의 클러터는 log-normal PDF에 대체로 근사함을 볼 수 있다. 첫 그래프 외에 나머지 그래프들은 한 주파수 셀의 SLC 신호 전력의 히스토그램과 그 SLC 신호에 대해 MLE 기법으로 각 PDF(차례로 exponential, Rayleigh, log-normal, Weibull, Rician)에 근사화한 파라미터를 이용해 각 PDF 곡선(붉은선)을 겹쳐 그렸다. 그리고 각 히스토그램 아래에 히스토그램의 각 bin위치에서 히스토그램 막대의 높이와 붉은 곡선의 높이와의 평균 자승 오차의 제곱근 값을 표시하였으며, 이 값이 각 근사 PDF와 SLC 분포와의 적합도 차이를 나타낸다. 그림 1에서 각 PDF와의 적합도 차이 중에서 가장 적은 값에 주황색 타원을 둘러쌌다. 즉, 해당하는 예의 주파수 셀의 SLC는 log-normal PDF가 가장 적합한 PDF임을 알아낸 것이다. 이 사실이 첫 그래프의 한 주파수 셀에 반영되어 있는 것이다.

그림 1의 예와 같은 방법으로 각 고도, 안테나 숙임각, 및 지형별로 가장 근사하는 PDF를 조사하였다. 표 1에서 지형과 고도 및 안테나 숙임각 별로 각 PDF와 가장 근사하는 SLC 전력 분포를 가지는 주파수 셀의 개수를 정리하였다. 조사결과를 보면, (1) 지형별로 보았을 때, 공단 지형이 log-normal PDF의 특성을 가진다고 말할 수 있으며, log-normal과 Weibull PDF의 특성을 가진 것의 개수비가 100:12정도이다. 해면 지형은 log-normal과 Weibull PDF의 특성을 가진 것의 개수비가 100:43이며, 농지 지형은 그 개수비가 100:30 정도이다. (2) 고도3000ft, 숙임각이 20도인 경우에 log-normal PDF의 특성을 더 강하게 드러낸다. (3) 각 주파수 셀에 SLC의 히스토그램들과 거기에 근사한 PDF들을 보면, 대부분이 log-normal 또는 Weibull PDF에 근사하는 것을 볼 수 있으며, SLC 확률 분포 특징을 크게 log-normal과 Weibull PDF로 분류할 수 있다. Log-normal PDF로 분류되는 SLC의 분포는 exponential

[표 1] 지형, 고도 및 숙임각 별로 각 PDF와 가장 근사하는 SLC 전력 분포를 가지는 주파수 셀의 개수

		각 PDF에 가장 근사한 주파수 셀의 개수 (주파수 셀의 총수는 28 또는 56개)		
		해면	농지	공단
숙임각 0도	고도 1500 ft	Rayleigh: 0 lognormal: 17 Weibull: 11	Rayleigh: 1 lognormal: 20 Weibull: 7	
	고도 3000 ft	exponential: 0 Rayleigh: 1 lognormal: 22 Weibull: 5	exponential: 6 Rayleigh: 0 lognormal: 15 Weibull: 7	exponential: 3 Rayleigh: 0 lognormal: 17 Weibull: 8
	고도 4000 ft		exponential: 0 Rayleigh: 0 lognormal: 20 Weibull: 8	exponential: 1 Rayleigh: 0 lognormal: 26 Weibull: 1
	고도 5000 ft	exponential: 0 Rayleigh: 1 lognormal: 18 Weibull: 9	exponential: 0 Rayleigh: 0 lognormal: 18 Weibull: 10	exponential: 1 Rayleigh: 0 lognormal: 25 Weibull: 2
숙임각 20도	고도 3000 ft	Rayleigh: 1 lognormal: 45 Weibull: 10 Rician: 0	Rayleigh: 2 lognormal: 47 Weibull: 7 Rician: 0	Rayleigh: 0 lognormal: 47 Weibull: 8 Rician: 1
	고도 5000 ft	Rayleigh: 0 lognormal: 33 Weibull: 23	Rayleigh: 1 lognormal: 40 Weibull: 15	Rayleigh: 1 lognormal: 51 Weibull: 4
	고도 6500 ft	Rayleigh: 0 lognormal: 41 Weibull: 13 Rician: 2	Rayleigh: 0 lognormal: 49 Weibull: 7 Rician: 0	Rayleigh: 1 lognormal: 51 Weibull: 4 Rician: 0

과 log-normal PDF에 가장 근사하는 것들이고, Weibull PDF로 분류되는 SLC의 분포는 Rayleigh, Weibull, Rician에 가장 근사하는 것들이다. (4) SLC 전력 분포의 오른쪽 꼬리 부분을 어떤 PDF가 가장 잘 근사하는 지를 집중하여 보았을 때, 그림 1의 예에서 보듯이 SLC 전력의 히스토그램과 각 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리 부분의 적합도 여부는 log-normal PDF 곡선이 가장 좋다. log-normal PDF가 아닌 다른 PDF에 전체적으로 적합도가 좋은 SLC 전력 자료라 할지라도 SLC 전력 분포의 오른쪽 꼬리 부분은 거의 대부분이 log-normal PDF와 가장 적합도가 좋았다. 즉, 거의 모든 SLC 전력 자료에서 SLC 전력 분포의 오른쪽 꼬리 부분을 log-normal PDF가 가장 잘 근사한다. (5) Log-normal PDF 곡선은 전력의 표준편차와 관련 있는 파라미터 σ의 값이 클수록 오른쪽 꼬리가 길어진다. (6) Weibull PDF에서 파라미터 a의 값은 평균 전력이 클수록 커지며, 이 값이 커질수록 곡선의 오른쪽 꼬리가 길어진다. 또한 파라미터 b의 값은 그 값이 작을수록 곡선의 오른쪽 꼬리를 길어지게 한다.

3. SLC 분포의 근사 PDF와 대표 파라미터

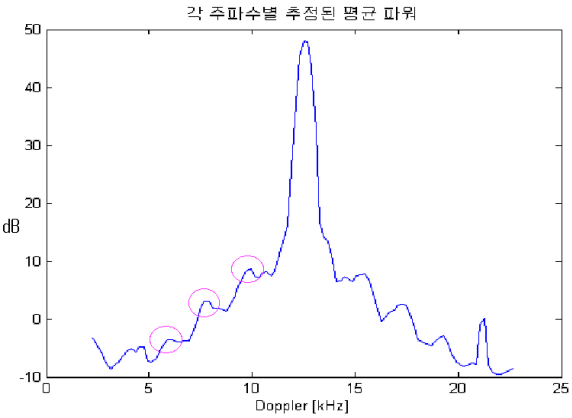
앞 절에서 SLC 전력의 확률 분포에 관한 분석 결과를 바탕으로, SLC 전력의 확률 분포를 log-normal 또는 Weibull PDF로 보았을 때의 PDF 대표 파라미터를 뽑아 본다.

SLC 확률 분포를 표현하는 PDF의 대표 파라미터를 각기 다른 3가지 방법으로 구하여 본다. 첫 번째 방법은 확실한 SLC 신호로 생각되는(그리고 분포의 꼬리가 길 것으로 예상되는), 부엽 영역에서 평균 전력이 이산적이고 뚜렷한 peak를 보이는 지점들(그림 2의 분홍색 원내의 지점)의 SLC 전력 자료로부터 PDF 파라미터를 추정하여 그 값을 대표치로 삼아 본다.

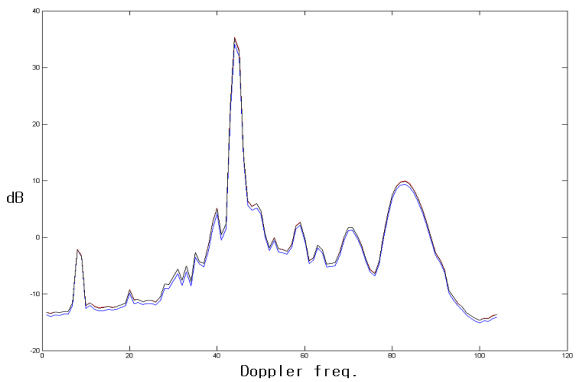
대표 파라미터를 구하는 두 번째 방법은, 각 지형별로 모든 고도와 숙임각의 SLC 전력 자료들을 이용하여(각 주파수 셀의 SLC 전력들을 각 주파수 셀의 평균 전력 값으로 나누어 정규화(normalization) 하였다), 각 지형을 표현하는 PDF 파라미터의 대표치를 구하여 본다. Log-normal PDF에 잘 근사하는 주파수 셀들에서만 모은 SLC 전력 자료와 Weibull PDF에 잘 근사하는 주파수 셀들에서만 모은 SLC 전력 자료로 분류하고, 두 부류의 SLC 전력 자료를 이용하여 각각 log-normal과 Weibull PDF의 대표 파라미터를 구한다.

대표 파라미터를 구하는 세 번째 방법은, 각 주파수 셀의 SLC 전력들을 각 주파수 셀의 평균 전력 값으로 나누어 정규화하고, 각 지형과 고도 및 숙임각 별로 SLC 전력의 확률 분포를 표현하는 PDF 파라미터의 대표치를 구한다. 두 번째 방법에서와 마찬가지로 SLC 전력 자료를 log-normal과 Weibull PDF로 분류하고, 두 부류의 SLC 전력 자료를 이용하여 각 지형과 고도 및 숙임각 별로 각각 log-normal과 Weibull PDF의 대표 파라미터를 구한다.

각기 다른 방법으로 구한 대표치들을 비교하여, 구한 파라미터 대표치 값들의 신뢰성을 확인해 볼 수 있을 것이다.



[그림 2] SLC 평균 전력이 뚜렷한 peak를 보이는 지점(분홍색 원내의 지점)



[그림 3] 각기 다른 방법으로 구한 클러터 평균 전력들의 비교

그림 3은 각 도플러 주파수의 클러터 신호를 log-normal PDF와 Weibull PDF에 근사시킨 후 구한 PDF 파라미터를 이용하여 구한 클러터의 평균 전력들과 실제 클러터 평균 전력과의 비교이다. 그림에서 파란 선은 실제 클러터 평균 전력이고, 붉은 선은 log-normal PDF 파라미터를 이용하여 구한 클러터 평균 전력이며, 검은 선은 Weibull PDF 파라미터를 이용하여 구한 클러터 평균 전력이다. 그림 3에서 보듯이 부엽 영역에서 각기 다른 방법으로 구한 클러터 평균 전력의 차이가 거의 없음을 볼 수 있다. 즉, SLC 평균 전력은 PDF 파라미터를 가지고 추정하여도 타당한 평균 전력 값을 얻을 수 있다. 그리고 log-normal PDF의 경우, 평균 전력과 관계있는 파라미터 μ는 전력의 표준 편차와 관계있는 파라미터 σ와 실제 평균 전력을 이용하여 구할 수가 있으며(Weibull PDF의 경우도 마찬가지), 평균 전력이 항상 주어지거나 부엽 영역 판단을 위한 임계값 설정 및 표적 탐지 임계값 설정과 같은 문제에서는 파라미터 σ가 중요한 정보가 되고(PDF 곡선의 오른쪽 꼬리의 길이 및 표적 오경보 확률은 거의 파라미터 σ만 관련 있다) 파라미터 μ의 값은 파라미터 σ로 부터 충분히 타당하게 추정할 수 있다. 그래서 앞으로 구한 대표치를 표시할 때 파라미터 μ는 생략하고 파라미터 σ만 표시할 것이다(Weibull PDF의 경우도 마찬가지).

첫 번째 방법을 통해서 뚜렷한 peak들의 SLC 전력 자료가 보다 긴 오른쪽 꼬리를 가지는 PDF를 가지는 것을 확인할 수 있었으며, 첫 번째 방법으로 대표치를 구하는 것이 유효하다(보다 안전한 임계값 설정을 요하는 응용에서 PDF의 오른쪽 꼬리 부분을 더 안전하게 표현하는 것이 좋을 것이다). 표 2에서 Average 대표치는 구한 PDF 파라미터들의 평균값을 대표치로 삼아 표현한 것을 말하고, Long tail 대표치는 구한 PDF 파라미터들 중에서 PDF곡선의 오른쪽 꼬리를 가장 길어지게 하는 값을 대표치로 삼은 것을 말한다.

[표 2] 첫 번째 방법으로 구한 대표 파라미터

	Log-normal PDF		Weibull PDF	
	Average 대표치	Long tail 대표치	Average 대표치	Long tail 대표치
해면	σ =0.4799	σ =0.6971	b =2.2926	b =1.5661
농지	σ =0.6124	σ =1.2964	b =1.8588	b =1.0014
공단	σ =0.7441	σ =1.4144	b =1.4703	b =0.8455

첫 번째 방법과는 다른 방법으로 대표 파라미터를 구하여 서로 다른 방법으로 구한 대표치들의 신뢰성을 확인해 볼 수 있을 것이다. 표 3의 값을 표 2의 값과 비교해 보면, PDF 곡선의 오른쪽 꼬리의 길이와 관련한 파라미터 값이 거의 비슷하고 공단의 경우 더 차이 값이 적다. 표 2와 표 3중에서 어떤 값을 사용하는 가에 대한 선택은 응용 분야에 따라 다를 것이다.

세 번째 방법으로 구한 PDF들의 대표 파라미터를 표 4에 정리하였다. 지형, 고도, 및 숙임각 별로 대표 파라미터가 어떠하며, 어떠한 경우에 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 길어지는지 분석해 볼 수 있다. 표 4에서 각 지형과 숙임각 별로 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 길어지는 고도의 파라미터 글자색을 달리하여 표시하였다. 표 4에서 보듯이 log-normal PDF 곡선의 오른쪽

[표 3] 두 번째 방법으로 구한 대표 파라미터

	Log-normal PDF의 대표치	Weibull PDF의 대표치
해면	σ =0.50208	b =2.2823
농지	σ =0.65413	b =2.0458
공단	σ =0.74348	b =1.3081

[표 4] 세 번째 방법과 지형, 고도, 숙임각별 대표 파라미터

		Log-normal PDF		Weibull PDF	
	고도	숙임각 0도	숙임각 20도	숙임각 0도	숙임각 20도
해면	1500ft	σ =0.5448		b =2.0182	
	3000ft	σ =0.5479	σ =0.4976	b =2.1582	b =2.2547
	5000ft	σ =0.4912	σ =0.5226	b =2.3323	b =2.2705
	6500ft		σ =0.4187		b =2.3413
농지	1500ft	σ =0.5973		b =2.1797	
	3000ft	σ =0.9033	σ =0.5507	b =1.7458	b =2.2141
	4000ft	σ =0.5012		b =2.2677	
	5000ft	σ =0.4997	σ =0.5532	b =2.2903	b =2.2743
	6500ft		σ =0.4438		b =2.3234
공단	3000ft	σ =1.0115	σ =0.6320	b =1.0017	b =1.684
	4000ft	σ =0.8152		b =1.9468	
	5000ft	σ =0.8836	σ =0.6395	b =0.9526	b =1.8674
	6500ft		σ =0.6205		b =1.8107

꼬리가 가장 긴 경우는 모든 지형에서 고도 3000ft, 숙임각 0도 일 때이다. 숙임각 0도와 숙임각 20도에서의 log-normal PDF 곡선의 오른쪽 꼬리 길이를 비교해 보면, 숙임각 0도에서 꼬리가 더 길어지는 경향이 있다(Weibull PDF의 특성을 가지는 SLC 전력 자료에서도 마찬가지 경향이 나타난다). 숙임각 20도인 경우에 log-normal PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 가장 길 때는 모든 지형에서 고도 5000ft일 때이다. 가장 긴 Weibull PDF 곡선의 오른쪽 꼬리를 가지는 경우는 공단 지형의 고도 5000ft, 숙임각 0도에서이다. 이것은 log-normal PDF와 다른 고도인 듯하지만, Weibull PDF가 SLC 확률 분포의 오른쪽 꼬리 부분을 제대로 근사화하지 못하는 경향이 있음을 참고한다면, 실제로 확률 분포 곡선의 오른쪽 꼬리가 길어질 때는 log-normal PDF와 잘 근사하는 SLC 전력 자료와 마찬가지로 공단 지형의 고도 3000ft, 숙임각 0도에서 이다(실제 SLC 전력의 확률 분포에 대한 곡선을 그려서, 확인해 본 결과는 공단 지형의 고도 3000ft, 숙임각 0도에서 분포의 오른쪽 꼬리가 가장 길다).

표 4의 각 PDF에서 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 가장 길어지는 PDF파라미터들을 표 2의 Long tail 대표치 파라미터들과 비교해 볼 만하다. 표 2의 Long tail 대표치는, 모든 SLC 전력 자료들 중에서 평균 전력이 이산적이고 뚜렷한 peak를 보이는 주파수 셀들의 SLC 전력 자료에 대하여 PDF 근사화를 통해 PDF 파라미터 값을 추정하고, 그 추정한 PDF 파라미터 값들 중에서 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리를 가장 길어지게 하는 값을 대표치로 삼은 것을 말한다. 그리고 표 4의 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 가장 길어지는 PDF 파라미터들은 어떤 지형, 고도 및 숙임각에서 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 길이가 가장 길어지는 지를 보여준다. 표 5는 표 2와 표 4의 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 가장 길어지는 파라미터들을 비교하여 보여주고 있다. 부엽 영역에서 평균 전력이 이산적이고 뚜렷한 peak를 보이는 모든 지점들에 대한 PDF 파라미터들이 보다 긴 오른쪽 꼬리를 보여준다. 표 5의 값들 중에서 어떤 값을 사용하는 가에 대한 선택은 응용 분야에 따라 다를 것이다.

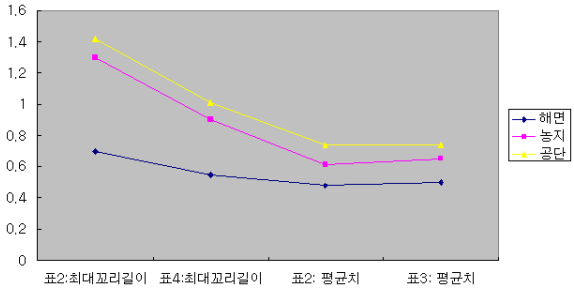
PDF 파라미터의 대표치로서 PDF 파라미터들의 평

[표 5] 각 지형에서 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 가장 길어지는 대표 파라미터

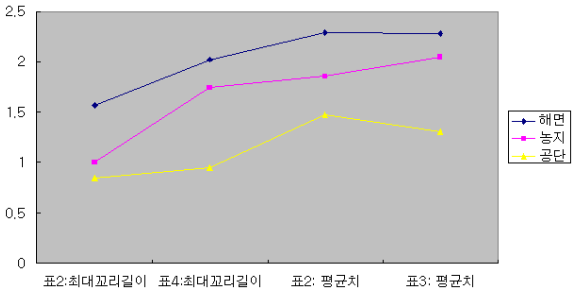
	Log-normal PDF		Weibull PDF	
	출처	파라미터	출처	파라미터
해면	표 2	σ =0.6971	표 2	b =1.5661
	표 4	σ =0.54788	표 4	b=2.0182
농지	표 2	σ =1.2964	표 2	b =1.0014
	표 4	σ =0.90325	표 4	b=1.7458
공단	표 2	σ =1.4144	표 2	b =0.8455
	표 4	σ =1.0115	표 4	b=0.9526

[표 6] PDF들의 대표 파마미터(PDF 파라미터들의 평균치)

	Log-normal PDF		Weibull PDF	
	출처	파라미터	출처	파라미터
해면	표 2	σ =0.47986	표 2	b =2.29261
	표 3	σ =0.50208	표 3	b =2.2823
농지	표 2	σ =0.61242	표 2	b =1.85881
	표 3	σ =0.65413	표 3	b =2.0458
공단	표 2	σ =0.74412	표 2	b =1.47033
	표 3	σ =0.74348	표 3	b =1.3081



[그림 4] 대표 lognormal PDF 파라미터 값들



[그림 5] 대표 Weibull PDF 파라미터 값들

균의 의미가 있는, 첫 번째와 두 번째 방법으로 구한 파라미터 대표치 값을 표 2와 표 3으로부터 표 6에 정리하였다.

그림 4는 표 5와 6의 대표 log-normal PDF 파라미터 값들을 비교하여 그린 그래프이다. 그림 5는 표 5와 6의 대표 Weibull PDF 파라미터 값들을 비교하여 그린 그래프이다. 그림 4와 5에서 확인 가능하듯, 해면, 농지, 공단 지형의 차례로 갈수록 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 길어진다.

4. 결 론

CFT 결과 자료를 이용하여, 여러 지형 및 상황에 대한 SLC 전력의 확률 분포를 표현하는 PDF 및 PDF 파라미터를 구함으로서, SLC를 확률 통계적으로 분석하였다. SLC를 확률 통계적으로 분석한 본 논문의 자료는 마이크로파 탐색기에서 SLC의 영향이 주요해지는 하방 퇴각 표적의 탐지, 추적에 관한 방법 연구 및 다양한 분야에 이용될 수 있다.

High PRF모드를 사용하는 탐색기의 CFT 결과로부터 획득한 지표면 SLC 전력의 확률 분포는 log-normal과 Weibull PDF로 표현할 수 있었으며, 공단 지형의 SLC 전력은 확실한 log-normal PDF의 분포 특징을 보였다. 해면, 농지, 공단 지형의 차례로 갈수록 SLC 전력의 확률 분포를 표현하는 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 길어졌다. 모든 지형의 고도 3000ft에서 그리고 안테나 숙임각 0도에서 대체로 SLC 전력의 확률 분포를 표현하는 PDF 곡선의 오른쪽 길이가 가장 길어졌다.

각 지형, 고도, 그리고 안테나 숙임각 별로 SLC 전력의 확률 분포를 표현하는 log-normal과 Weibull PDF의 대표적인 파라미터를 구하여 표로 정리하였다. 또한 지형별로 SLC 전력의 확률 분포를 표현하는 PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 가장 길어지는 경우를 표로 정리하였다. 본 논문의 결과 자료들은 응용분야에 따라 적절히 선택하여 사용하여야 할 것이다. 예를 들면, 원하는 수준의 표적 오경보 확률을 가지는 표적 탐지 임계값 설정의 문제에서 오경보 확률이 원하는 수준 이상으로 유지되는 엄격한 임계값을 구하고자 한다면, PDF 곡선의 오른쪽 꼬리가 가장 길어지는 파라미터를 이용하여(최악의 경우를 고려하여) 임계값을 정하는 것이 좋을 것이다.

Reference

[1] G. W. Stimson, “Introduction to Airborne Radar”, Second Edition, SciTech Publishing, Inc., 1998.

[2] G. Davison, H. D. Griffiths and S. Ablett, “Analysis of High-resolution Land Clutter”, IEE Proc.-Vis. Image Signal Process., Vol. 151, No. 1, pp. 86~91, 2004.

[3] K. R. Menon, N. Balakrishnan, M. Janakiraman and K. Ramchand, “Characterization of Fluctuation Statistics of Radar Clutter for Indian Terrain”, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 33, No. 2, pp. 317~324, Mar. 1995.

[4] J. B. Bllingsley, A. Farina, E. Gini, M. V. Greco, and L. Verrazzani, “Statistical Analysis of Measured Radar Ground Clutter Data”, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 35, No. 2, pp. 579~593, Apr. 1999.

[5] G Davidson, H. D. Griffiths, and S Ablett, “Statistical Analysis of High Resolution Land Clutter”, IEEE International Conf. on Radar, pp. 434~438, Oct. 2002.

[6] F. T. Ulaby, M. C. Dobson, “Handbook of Radar Scattering Statistics for Terrain”, Artech House, 1989.

[7] R. M. Thompson, “Distribution Losses for Weibull and Lognormal Clutter Types”, IEEE Digital Avionics Systems Conf., Vo1. 2, pp. 7c7/1-7c7/5, Oct. 2000.

[8] S Wang, W Hu, J Liu, Y Wang, “Method for Radar Clutter Distribution Test Based on Distribution Transform”, IEEE International Conf. on Radar, pp. 1~3, Oct. 2006.

[9] E. K. Al-Hussaini, “Performance of an Ordered Statistic CFAR Processor in Log-normal Clutter”, Electronics Letters, Vol. 24, No. 7, pp. 424~425, Mar. 1988.