

저 출력 레이더의 도플러필터의 처리속도 개선

박 정 호, *정 홍
(주)LG이노텍, *포항공과대학교

Improvement of Processing Speed of the Doppler Filter in a Low Power Radar

Jeong-Ho Park, *Hong Jeong
LG Innotek Co. Ltd., *Dept. of E.E., POSTECH
E-mail : jhparks@lginnotek.com

Abstract

A low power pulse Doppler radar should integrate a large number of data to provide a required maximum detectable distance. Doppler filter needs a window that has good out-of-band rejection level to maintain high dynamic range. From these facts, we can apply decimation and presumming to increase the speed of Doppler processing.

This paper investigates the efficiencies of several decimation methods and the loss of presumming. And I propose a method to increase processing speed but to maintain the maximum detectable distance.

I. 서론

저 출력 펄스 도플러 레이더는 표적 반사파의 세기가 약하므로 적절한 최대탐지거리를 확보하기 위해서는 많은 수의 반사신호를 적분하여 신호대잡음비(SNR)를 개선해야만 한다. 즉 도플러필터뱅크에 사용하는 FFT의 크기를 크게 할수록 SNR을 개선하고 탐지거리를 키울 수 있다[1]. 그러나, FFT의 크기를 크게 하면 도플러처리에 필요한 연산량이 증가하고, 속

도셀의 개수가 증가하므로 오경보확률이 일정하더라도 전체적인 오경보의 개수가 증가하는 단점이 있다.

FFT의 크기를 크게 함으로써 속도분해능을 개선할 수 있으나, 대개의 경우 레이더 시스템이 요구하는 속도분해능이 이보다 크기 때문에 잇점이라 할 수 없다.

본 논문에서는 위와같이 반사신호의 적분을 많이 해야만 하는 저출력 도플러레이더에서 도플러필터의 연산량을 데시메이션(decimation)기법을 사용하여 줄이는 경우에 저역통과필터의 종류에 따른 성능을 시뮬레이션을 통하여 비교한다.

또한, 도플러필터의 속도분해능이 시스템의 요구성능보다 좋은 경우에는 presumming을 사용하여 연산량을 줄일 수 있다[2]. 본 논문에서는 presumming을 사용하는 경우 SNR의 변화를 시뮬레이션을 통하여 확인하고 표적의 거리에 따라 다른 처리방법을 사용하는 것을 제안한다.

II. 도플러필터

2.1 펄스 도플러 레이더

펄스 도플러 레이더는 펄스변조가 된 RF신호를 받아서 표적에 반사된 신호의 도플러 성분을 도플러필

터뱅크라고 부르는 여러 개의 대역통과필터를 사용하여 검출한다[1].

도플러필터뱅크를 구성하는 각각의 도플러필터의 부엽(side-lobe)레벨을 낮추면 표적 신호의 동적 범위가 넓어지고, 통과대역(passband)을 좁히면 SNR이 좋아진다. 이 두 가지 특성은 레이더의 탐지 거리를 키우는데 필수적인 것이다. 부엽레벨이 높은 경우에는 표적이 근거리로 이동하면서 반사신호가 강해지면 부엽성분이 표적으로 탐지되는 경우도 발생한다.

도플러필터를 설계하는 과정은 다음과 같다. 표적 탐지의 동적 범위(dynamic range)가 주어지면, 이 것으로부터 도플러필터의 out-of-band rejection레벨을 정하고, 이를 만족하는 윈도우를 선택해야한다. 윈도우의 out-of-band rejection 레벨이 높아질 수록 통과대역도 넓어진다. 또한, 윈도우를 취하면 필터의 통과대역이 넓어지므로 SNR이 떨어지게 된다. 이것을 윈도우 손실(window loss)라고 한다. 표적의 신호에 비해 지상 반사파가 훨씬 강하므로, MTI[1]방식을 사용하여 지상 반사파를 제거하면 동적범위를 줄일 수 있다. 이와같이 동적범위를 줄이면 통과대역이 작은 윈도우를 사용할 수 있으므로 윈도우 손실을 줄일 수 있다. 레이더에서는 부엽레벨이 낮은 Kaiser 윈도우를 주로 사용한다. 이 때 최대탐지거리를 만족시키는 SNR을 얻을 수 없는 경우에는 윈도우의 크기를 늘리거나, 펄스반복 주파수(PRF : pulse repetition frequency)를 올리는 방법으로 표본 데이터의 개수 N을 증가시켜서 해결할 수 있다. PRF를 증가시키는 방법은 거리모호성을 발생시키므로 한계가 있다[1]. 그러나, 거리모호성을 발생시키지 않는 범위에서 PRF를 증가시키는 것은 데이터를 얻는데 필요한 시간을 줄일 수 있다.

2.2 Decimation에 의한 처리속도 개선

요구된 최대탐지거리를 위한 N개 데이터를 얻기 위해 PRF를 증가시키는 경우에는 도플러필터의 탐지가능한 최대속도가 실제 표적의 최대속도보다 커지게 되므로 decimation을 사용하여 연산량을 줄일 수 있다. 이와같은 경우에 데이터를 하위블록으로 나누고 각각을 FFT처리를 하여 논코히어런트 적분하는 방법을 많이 사용하지만 이 방법은 적분 손실이 많고 처리시간을 단축하기 어렵다[3].

Decimation에 사용하는 저역통과필터를 탭수가 많은 FIR필터를 사용하면 연산량이 많아진다. 그래서, 본문에서는 연산량이 작은 moving average 필터, CIC

필터[4], half band 필터에 대하여 각각의 성능을 비교하였다. 비교를 위한 조건은 다음과 같이 설정하였다: 표본 데이터 개수 N = 2,048, decimation rate = 2, moving average 필터의 길이 = 2, half band 필터의 탭수 p = 7.

Analog Device의 DSP프로세서 ADSP-21060에서 복소수 FFT를 하기위해 필요한 사이클은 표 1과 같다 [5].

표 1. ADSP-21060의 복소수 FFT 사이클

포인트	사이클
256	4,724
512	10,060
1,024	21,618
2,048	46,744
4,096	101,054

복소수 데이터에 대한 저역통과필터의 연산량은 표 2와 같다. 이 표에서 CIC 필터는 1단 필터에 필요한 연산량이므로 차수(order)가 증가하면 선형적으로 증가한다.

표 2. 저역통과필터의 연산량

필터 종류	연산량
Moving average 필터	2D
CIC 필터	6D
Half band 필터	26D

표 1과 표 2로부터 각 방식에 필요한 연산량을 계산하면 MA 필터의 연산량이 가장 작아서 49% 감소되는 반면에 HB 필터는 오히려 연산량이 증가한다. 각 방식의 연산량은 표 3에 있다.

다음에는 각 방식의 성능을 시뮬레이션을 통하여 비교한다. 성능 비교를 위해서 decimation 후에 사용할 신호 대역을 정해야한다. 2:1 decimation을 하는 경우 이상적으로는 원래 신호의 대역의 절반까지 사용할 수 있어야하지만, 필터의 특성이 좋지 않으므로 decimation 후에 사용할 수 있는 대역을 원래 신호 대역의 1/4로 정한다. 또한, 레이더의 특성상 규정된 표적의 최대 속도이상의 신호는 존재하지 않으므로, decimation의 out-of-band rejection 특성은 비교하지 않는다. 즉, 요구하는 저역필터는 DC에서부터 1/4 대역까지 SNR이 원래의 도플러필터와 동일하게 유지되어 탐지성능에 손실이 발생하지 않고, 잡음전력이 평탄하게 유지되어 CFAR의 성능 저하가 없도록 방지할

저 출력 레이더의 도플러필터의 처리속도 개선

수 있어야 한다.

시뮬레이션에서는 CIC필터의 차분지연(differential delay) $M = 1$, CIC필터의 decimation rate $R = 2$. CIC필터는 1차에서 4차까지를 사용하였고, half band 필터는 Intersil의 programmable downconverter HSP50214B의 7탭 필터를 사용하였다[6].

표 3. 연산량의 비교

필터 종류	연산량	FFT	필터
2048 FFT	46,744 (1.00)	46,744	0
1024 FFT (MA 필터)	23,666 (0.51)	21,618	2,048
1024 FFT (CIC 1단)	27,762 (0.59)	21,618	6,144
1024 FFT (CIC 2단)	33,906 (0.73)	21,618	12,288
1024 FFT (CIC 3단)	40,050 (0.86)	21,618	18,432
1024 FFT (CIC 4단)	46,194 (0.99)	21,618	24,576
1024 FFT (HB 필터)	48,242 (1.03)	21,618	26,624

시뮬레이션은 매트랩을 사용하여 잡음과 도플러 신호를 발생시키고, 이 신호를 2,048개를 샘플링한 후 도플러필터로 처리한 결과와 2:1 decimation을 하여 얻어진 1,024개의 데이터를 도플러필터로 처리한 결과를 비교하였다. 잡음은 표준편차가 도플러 신호의 크기와 같은 가우시안백색잡음을 사용하였고, 도플러 필터에는 $\beta = 2.5\pi$ 인 Kaiser 원도우를 사용하였다. 잡음의 전력레벨은 가드셀의 개수가 3, 평균셀의 개수가 16인 셀평균(cell averaging) CFAR를 사용하여 계산하였다[1].

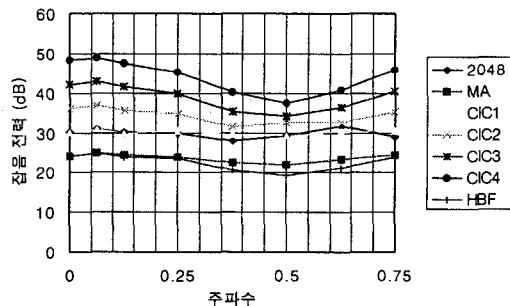


그림 1. 잡음 전력

도플러필터의 주파수에 따른 잡음 전력은 그림 1과

같다. 사용하는 주파수 범위는 0에서 0.25이지만 시뮬레이션은 이보다 넓은 범위에 대하여 하였다. CIC3과 CIC4는 잡음 전력의 변화가 큰 것을 알 수 있다.

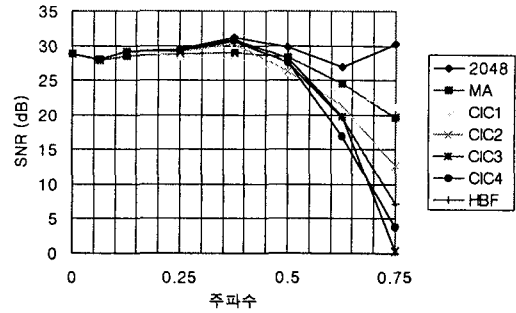


그림 2. SNR

그림 2는 주파수에 따른 SNR의 변화를 나타낸다. 실험결과에 의하면 0에서 0.25 주파수 범위에서는 CIC2, CIC3, CIC4, HBF의 SNR이 유사하고, CIC1과 MA 필터는 SNR이 다소 떨어진다. 그러나, CIC2, CIC3, CIC4의 경우에는 잡음전력의 변화가 심하므로 바람직하지 않다. 그러므로, HBF가 가장 적합하지만 표 3에 의하면 연산량이 오히려 증가하므로 사용할 수 없다. MA의 경우에는 0.25 주파수에서 필터의 특성에 의하면 0.7dB의 SNR의 손실이 있다. 표 4에 의하면 MA의 SNR손실은 탐지거리를 4%감소하지만 처리속도는 96%증가하므로 가장 바람직한 방식이다.

표 4. SNR에 대한 최대탐지거리

SNR	최대탐지거리
-0.5dB	0.97
-0.7dB	0.96
-1db	0.94
-3dB	0.84

2.2 Presumming에 의한 처리속도 개선

레이더의 최대탐지거리를 길게 하려면 동적 범위를 넓게 해야한다. 이를 위해서 윈도우함수의 out-of-band rejection 레벨을 크게 하면 주엽의 폭이 넓어진다. 이 경우에 presumming을 이용하여 주파수 영역에서 downsampling을 하면 연산량을 줄일 수 있다[2]. 2:1 decimation을 통하여 2,048 데이터를 1,024 데이터로 줄인 후에 2:1 presumming을 수행하는 경우에는 FFT의 크기가 1,024에서 512로 감소하고,

presum을 위한 복소수 덧셈이 필요하다. 표 5에 presumming에 필요한 연산량을 정리하였다. 이에 의하면 presumming에 의하여 처리속도를 2.0배로 할 수 있다.

표 5. Presumming의 연산량

방식	연산량	FFT	Presum
원래	21,618 (1.00)	21,618	0
Presumming	11,084 (0.51)	10,060	1,024

Presumming에 의한 탐지 성능의 변화를 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 시뮬레이션에서는 decimation에 의하여 얻어진 데이터를 2:1 presumming하였다. 그림 3에서는 decimation에 의해 얻어진 신호의 전력과 presumming에 의해 얻어진 신호의 전력을 비교하고 있다. 이것에 의하면 presumming의 주파수 셀이 원래 방식의 주파수 셀과 일치하는 경우에는 신호의 세기가 같지만, 이것이 일치하지 않는 경우에는 전력의 차이가 있는데 시뮬레이션에 의하면 약 0.8dB가 된다. 표 4에 의하면 presumming에 의해 손실이 0.8dB 발생하는 경우 최대탐지거리가 약 5% 짧아짐을 알 수 있다.

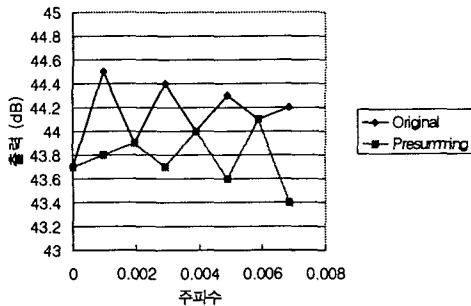


그림 3. Presumming의 주파수 특성 비교

Decimation과 presumming이 필터의 처리속도를 개선할 수 있지만 손실에 의하여 탐지거리가 짧아지므로, 이것을 방지하기 위해서 표 6과 같이 거리별로 처리방식을 달리하면 최대탐지거리를 줄이지 않고 처리속도를 개선할 수 있다.

표 6. 거리별 처리방식

정규화 거리	처리방식
0 - 0.91	decimation + presumming
0.91 - 0.96	decimation 만 적용
0.96 - 1.0	기존의 방식

III. 결론

레이더에서 탐지거리를 확보하기 위해서는 신호처리 손실을 최소로 해야하기 때문에 다른 신호처리분야와 구분되는 특징이 있다. 연산량을 줄인 도플러필터를 구현하기 위하여 Moving average 필터를 사용한 decimation이 가장 효율적임을 연산량 분석과 시뮬레이션을 통하여 보였다. 또한 presumming을 사용하여 연산량을 줄였으나, presumming은 필터의 통과대역에 리플이 존재하여 최대탐지거리가 감소되는 단점이 있어 거리에 따라 다른 처리방식을 적용하면 연산량을 줄이면서 최대탐지거리를 확보할 수 있는 도플러필터 처리속도 개선 방법을 제안하였다.

Presumming에서 통과대역의 리플을 줄이기 위해서는 윈도우의 선택이 중요하나, 본 논문에서는 Kaiser 윈도우만을 사용했다. 앞으로 Presumming에 효과적인 윈도우에 대한 연구와 처리속도 개선 방법이 오경보 확률에 미치는 영향에 대한 분석을 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] M. Skolik, "Introduction to Radar Systems," McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1980.
- [2] C. Gumas, "Window-presum FFT achieves high-dynamic range, resolution," Personal Engineering & Instrumentation News, pp. 58-64, July 1997.
- [3] N. Levanon, "Radar Principles," A Wiley-Interscience Publication, New York, NY, USA, 1988.
- [4] E. B. Hogenuer, "An economical class of digital filters for decimation and interpolation," IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, ASSP-27(2), pp. 155-162, 1981.
- [5] "ADSP-21K Optimized DSP Library User's Manual," Version 2.6, Wideband Computers, Inc.,
- [6] "HSP50214B Data Sheet, File number 4450.3," Intersil, 2000.