광대역 소나를 위한 융합 HFM 펄스의 설계
A hybrid active pulse design based on HFM for wideband SONAR systems

신종우*†, 김완진**, 도대원**, 김형남*
Jong-Woo Shin, Wan-Jin Kim, Dae-Won Do, Hyoung-Nam Kim
*부산대학교 전자공학과, **국방과학연구소
발표자† 연락처: 051-510-3813, sjjoly@pusan.ac.kr

Abstract

Since the recent issue of SONAR systems is to classify and separate the signals received from multiple targets, the bandwidth of active pulse has became increased and it requires wideband signal processing. The performance of wideband SONAR systems is highly affected by the characteristic of transmitting pulse. In this paper a hybrid active pulse that named '*X*-shaped' HFM is proposed for a candidate of wideband active pulse. The proposed hybrid pulse does not make a performance degradation in terms of slope mismatch due to the doppler tolerant property of HFM. It also has an advantage in obtaining doppler information which could not be achieved with a single HFM pulse. Computer simulation shows that the '*X*-shaped' HFM can be used for extracting doppler information while it does not cause any correlation loss by slope mismatch in wideband SONAR systems.

Keywords : 광대역 능동 펄스, 소나, HFM, 펄스 융합

1. 서 론

현대의 소나 시스템에서는 단일 목표의 탐지뿐만 아니라 인접한 다중 목표의 분해 및 식별 또한 중요한 목표가 되어가고 있다. 따라서 기존의 협대역 소나 시스템보다 향상된 거리 분해능 (range resolution)을 가지는 광대역 소나 시스템 (wideband SONAR system)으로의 발전이 요구되고 있다. 광대역 소나에서 일반적으로 사용되고 있는 linear frequenc modulation (LFM) 펄스는 확장된 대역폭으로 인해 높은 거리 분해능을 가지지만, 이로 인해 기울기 부정합 (slope mismatch)이 발생하여 정합 필터 (matched filter)에서 상관 손실 (correlation loss)이 커지므로 탐지 성능이 저하되는 단점도 동시에 가지고 있다. 이러한 LFM 펄스의 단점을 극복하기 위해, 기울기 부정합이 발생하지 않는 hyperbolic frequency modulation (HFM) 펄스가 제안되었다 [1]. 하지만, 단일 HFM 펄스를 이용하면 탐지 성능은 우수하나 도플러 정보를 추출하는데 어려움이 있다 [2]. 본 논문에서는 HFM을 이용하여 도플러 정보까지 얻기 위해 상향 HFM 펄스와 하향 HFM 펄스를 융합한 '*X*-형' HFM 펄스를 제안한다.

본 논문에서 제안하는 '*X*-형' HFM 펄스는 분리 가능한 두 개의 주파수 함수를 사용하므로, in-phase와 quadrature 성분을 동시에 관찰하므로 위상변화에 상대적으로 둔감한 특성이 있다. 또한, '*X*-형' HFM 펄스는 참고 문헌 [2]에서 제안된 '*V*-형' HFM 펄스와 유사하나 동일한 대역폭에 두 배의 시간을 사용하므로 상대적으로 낮은 기울기 증가율을 가지는 장점을 가진다. 따라서 광대역 소나시스템에서 기존의 능동펄스들의 단점을 보완할 수 있는 대안으로 고려될 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 단일 능동 펄스의 특성에 대해 논의하고, 3장에서는 '*X*-형' HFM 펄스를 제안하였다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 단일 능동 펄스의 특성

능동 소나에서는 목표물에 대한 정보를 알아내기 위해 능동 펄스를 송신하여 목표물에 의해 반사되어 나오는 신호로부터 정보를 추출한다. 이 때 송신 신호를 $s(t)$라고 하면, 수신되는 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$s_r(t) = s((1-\delta)t-\tau). \quad (1)$$

여기서 $\delta = 2v/c$, $\tau = 2R/c$이며 v는 표적의 속도, c는 음파의 속도, 그리고 R은 표적과의 거리를 의미한다. 능동 소나에서는 송신에 사용되는 펄스의 종류에 따라 표적의 속도, 거리 등의 파라미터 추정에 있어서 성능의 차이가 발생하게 되며 짧은 송신 구간을 가지는 short CW (SCW) 펄스, 긴 송신 구간을 가지는 long CW (LCW) 펄스, 광대역 LFM (linear frequency modulation) 펄스, 그리고 광대역 HFM 펄스의 특성을 표 1에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 단일 능동 펄스를 이용해서는 거리 분해능 및 속도 분해능 측면에서

표 1. 광대역 소나에서 사용하는 단일 펄스의 특성

	Short CW	Long CW	LFM for WB	HFM for WB
잔향음 억제	Bad	Bad	Good	Good
도플러 내성	Good	Good	Bad	Good
거리 분해능	Good	Bad	Good	Good
속도 분해능	Bad	Good	Bad	Bad
탐지 거리	Short	Long	Long	Long
복잡도	Low	Low	High	Low

모두 좋은 성능을 얻기 어려우므로 이러한 요건을 동시에 만족시키기 위해서 각각의 장점을 보이는 LCW 펄스, LFM 펄스, HFM 펄스를 적절히 융합하여야 한다.

3. 융합 HFM 펄스

가. 제안하는 X-형 HFM 펄스

HFM 펄스는 탐지 측면에서 매우 우수한 성능을 보이나 속도 정보 추정에는 어려움이 있다. 상향 HFM 펄스와 하향 HFM 펄스를 융합할 경우 단일 HFM펄스의 장점을 유지하며 속도 추정까지도 가능해지는데 본 논문에서는 이를 'X-형' HFM 펄스라 하며 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$s(t) = f_1(t) + f_2(t), \tag{2}$$

$$f_1(t) = \exp(jk_u \ln[1 + r_w(1 - 2t/T)]) \text{ (상향 HFM)}, \tag{3}$$

$$f_2(t) = \exp(jk_u \ln[1 - r_w(1 - 2t/T)]) \text{ (하향 HFM)}. \tag{4}$$

여기서 $k_u = 2\pi f_c(r_w^2 - 1)T/2r_w$, $k_d = -k_u$ 이며 T는 송신구간, r_w는 비대역폭을 의미한다. $f_1(t)$와 $f_2(t)$는 서로 직교 (orthogonal)하는 특성을 가지며 시간 영역 확산 문제를 보이지 않으면서 분리가 가능하므로 하나의 융합 능동펄스로 사용할 수 있다.

나. X-형 HFM 펄스를 이용한 속도 추정

상향 HFM과 하향 HFM은 서로 분리가 가능하므로 목표물이 수신단으로부터 멀어지거나 접근할 때의 시간 편이량을 도플러에 의한 압축파라미터(β)를 이용하여

$$\tau_{up} = \frac{(\beta - 1)(r_w + 1)T}{2r_w\beta}, \tag{5}$$

$$\tau_{down} = \frac{(\beta - 1)(r_w - 1)T}{2r_w\beta}, \tag{6}$$

와 같이 표현되고 상향 HFM과 하향 HFM의 시간 편이량의 차이는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\tau_d = \tau_{up} - \tau_{down} = \frac{2(\beta - 1)T}{2r_w\beta} \tag{7}$$

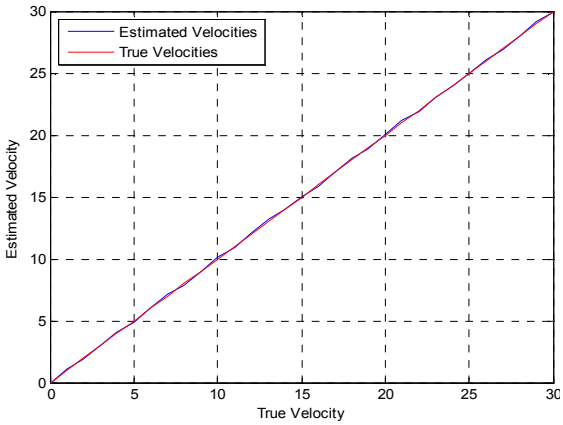

그림 1. X-형 HFM을 이용한 속도 추정 결과
(잡음 제한 환경, SNR=0dB, $r_w = 0.33, T = 0.2s$).

정합필터의 출력에서 시간 편이량을 얻게 되면 식 (7)로부터 β와 목표물의 속도 (v)를 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

$$\beta = \frac{T}{T - r_w\tau_d}, \tag{8}$$

$$v = c(\beta - 1)/2. \tag{9}$$

그림 1을 통해 X-형 HFM 펄스를 이용하면 잡음제한 환경에서 목표물의 속도를 매우 정확히 추정하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

제안된 'X-형' HFM 펄스는 기울기 부정합에 의한 상관 손실이 발생하지 않으므로, 표적의 속도에 관계없이 표적을 검출하고 속도를 추정해 낼 수 있는 이점이 있다. 따라서 제안된 'X-형' HFM 펄스는 소나 시스템의 성능향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2009년 국방과학연구소의 "광대역 소나의 신호처리 최적화 기법 연구"에 대한 연구용역으로 이루어 졌음.

참고문헌

[1] D. W. Ricker, Echo Signal Processing, Klewer Academic Publishers, 2003.

[2] S.Hirata, M.K.Kurosawa, and T. Katagiri, "Ultrasonic distance and velocity measurement by low-calculation-cost Doppler-shift compensation and high-resolution Doppler velocity estimation with wide mearsurement range," Acoust.Sci.&Tech, Vol.30, No.3, pp.220- 223, 2009.