

도약 주파수 코딩 기반 연속파를 이용한 거리 추정을 위한 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기

서영광, 손우성, 김완진*, 김형남

부산대학교, *국방과학연구소

hnkim@pusan.ac.kr

Delay and Sum based Doppler Correlator for Estimating a Distance using Hopping-Frequency Coding Based Continuous Wave

YoungKwang Seo, Woo-Sung Son, Wan-Jin Kim*, Hyoung-Nam Kim

Pusan National Univ., *The Agency of Defense Development.

요약

본 논문에서는 도약 주파수 코딩 (HFC : hopping-frequency coding) 기반 연속파 신호의 거리 추정을 위한 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기를 제안한다. HFC 신호는 반사신호의 지연시간, 도플러 효과, 그리고 체적 잔향음에 관계없이 근거리에서 기동하는 수중운동체의 정보를 짧은 주기로 갱신하기 위해서 설계된 신호이며, 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기는 모든 코드워드의 HFC 신호에 대한 상관 출력을 효과적으로 획득하기 위해 설계된 방법이다. 잔향음 환경에서 HFC 기반 연속파 신호와 제안된 도플러 상관기에 대한 거리 추정 성능을 모의실험을 통해 검증한다.

I. 서론

Autonomous underwater vehicle (AUV)과 unmanned underwater vehicle (UUV)이 다양한 분야에서 활용되면서 관련 기술도 발전하고 있다. 이러한 기술 중 하나인 근거리 수중 소나는 AUV와 UUV가 고속으로 움직이거나 미확인 물체가 빠르게 접근할 때 발생하는 충돌을 방지하기 위해서 필수적으로 요구된다 [1], [2]. 이러한 충돌을 방지하기 위해서는 다음의 세 가지 조건을 만족하는 근거리 수중 소나가 필요하다. 첫 번째, 거리 추정치는 반사신호의 지연 시간에 무관하게 갱신될 필요가 있다. 두 번째, 큰 도플러 효과가 발생하는 환경에서도 거리 추정이 가능해야 하며, 마지막으로 연속파에 의한 체적 잔향음 환경에서 표적의 거리 추정이 가능해야 한다.

본 논문에서는 근거리 수중 소나에 활용하기 위해서 설계된 도약 주파수 코딩 (HFC : hopping-frequency coding) 기반의 연속파와 거리 추정을 위한 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기를 제안한다. HFC 기반 연속파는 반사신호의 지연보다 짧은 주기로 거리 및 도플러의 추정 값을 갱신하기 위해서 설계되었으며, 추정치의 갱신주기는 수신 HFC 신호의 도약 주기와 동일하다. HFC 신호의 거리 추정을 위한 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기는 단일 주파수의 상관기 3개와 다수의 시간 지연 블록을 활용하여 모든 코드워드의 HFC 신호에 대한 상관 출력을 획득할 수 있으며, 임의의 길이의 모든 코드워드에 대한 상관기를 사용하지 않기 때문에 구현 측면에서 효과적이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 HFC 기반의 연속파 신호를 간략히 소개하고, 제안된 도플러 상관기를 III장에서 설명한다. IV장의 모의실험에서 체적 잔향음 환경에서 제안된 도플러 상관기의 거리 추정 성능을 제시하고 마지막 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. Hopping Frequency Coding 기반 연속파 신호

HFC 기반 연속파 신호는 수신기에서 거리 추정치를 자주 갱신할 수

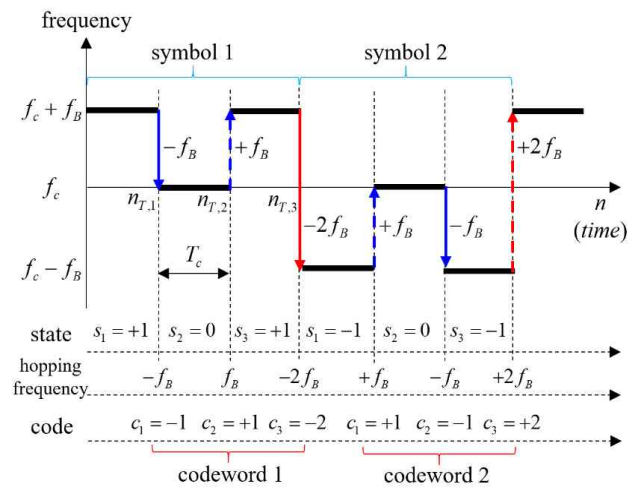


그림 1. HFC 기반 연속파 신호의 예.

있도록 다음의 3가지 사항을 고려하여 설계되었다.

- 반사신호의 지연 시간에 관계없이 추정치를 갱신할 수 있어야 한다.
- 거리 추정에서 도플러 효과의 영향을 받지 않아야 한다.
- 수신기가 근거리 잔향음 환경에서 주파수 도약을 탐지할 수 있도록 송신신호의 대역폭을 설정해야 한다.

HFC 기반 연속파는 3개의 주파수 대역 $f_c - f_B$, f_c , $f_c + f_B$ 를 일정한 주기 T_c 로 도약하는 신호이다. HFC 신호에서 코드는 도약 주파수를 나타내고 연속된 L 개의 코드로 하나의 코드워드가 구성되며, 그림 1은 $L = 3$ 인 경우에 대한 HFC 기반 신호의 예를 나타낸다. 코드워드 내에서의 $+f_B$ 또는 $-f_B$ 의 도약 주파수가 발생하고 이는 +1 또는 -1 코드로 할당되며, 코드워드 사이에서는 $+2f_B$ 또는 $-2f_B$ 의 도약 주파수가 발생하고 이는 +2 또는 -2 코드로 할당된다.

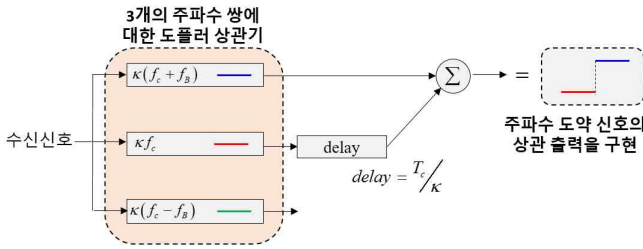


그림 2. $N = 2$ 경우에 대한 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기의 예시.

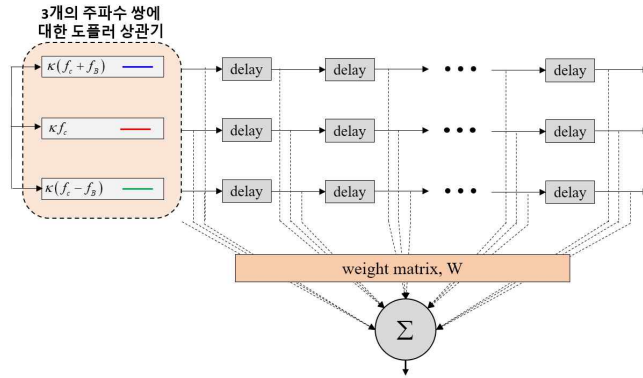


그림 3. 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기.

III. 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기

중심 주파수에 대비 도플러 주파수 발생 비율이 κ 일 때, 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기는 T_c/κ 길이의 상관기와 $(N-1)$ 개의 시간지연 블록을 활용하여 NT_c/κ 길이의 도플러 상관기에 대한 추정 성능을 얻기 위한 방법이며, 그림 2는 $N=2$ 인 경우에 대한 제안된 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기의 예를 나타낸 것이다. 임의의 N 에 대해서는 그림 3과 같이 시간지연 및 누적 합 기반의 상관기를 구성하며, 누적 합을 위한 가중치 행렬 W 설정에 따라서 코드워드의 길이가 N 이하인 HFC 신호에 대한 상관 출력을 획득할 수 있다.

IV. 모의실험

근거리 잔향음 환경에서 도약 주파수 코딩 기반 연속파 신호와 $N=2$ 인 시간지연 및 누적 합 기반의 도플러 상관기와 단일 주파수의 sine 펄스와 도플러 상관기의 거리 추정 성능을 비교 분석하기 위한 모의실험을 수행하였다. 펄스 신호에 대한 도플러 상관기 기반의 거리 추정 방법과 성능의 비교 분석을 수행한 이유는 HFC 기반 신호는 연속파이지만 거리 추정을 위해 도플러 상관기를 사용하기 때문이다.

중심 주파수 f_c 대비 7.5%의 도플러 주파수 $f_D = 0.075f_c$ 가 발생하는 운동 상황에서 신호 대 잔향음의 파워 비 (SRR : signal to reverberation ratio) 를 $-10 \sim 10$ dB로 설정하고 모의실험을 수행하였다. 충분한 도플러 주파수가 발생하는 상황에서는 잔향음 대역과 수신신호의 대역이 구분되며, 거리 추정에서 체적 잔향음의 영향을 받지 않기 위해서 도플러 주파수의 1/2보다 큰 주파수 대역의 도플러 상관기만 활용하였다.

그림 5는 SRR에 대한 HFC 신호와 sine 펄스에 대한 거리 추정의 root mean squares error (RMSE) 를 나타낸 그림이다. 세부적인 파라미

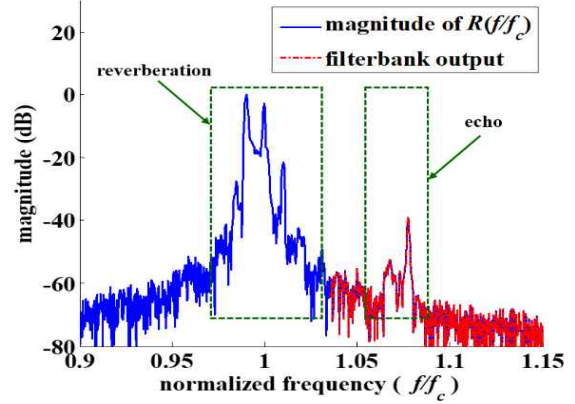


그림 4. 주파수 스펙트럼과 도플러 상관기 출력.

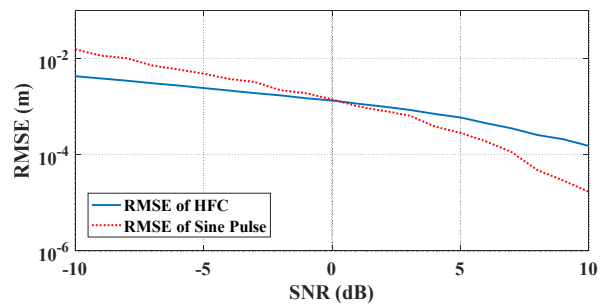


그림 5 HFC 신호와 sine 펄스의 거리 추정 RMSE.

터의 설정에 따라 추정 성능은 변하지만, 전체적인 경향은 SRR이 높은 상황에서는 sine 펄스가 우수한 성능을 보이며 SRR이 낮은 환경에서는 HFC 신호가 뛰어난 성능을 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 HFC 기반 연속파 신호의 거리 추정을 위한 시간지연 및 누적 합 기반의 상관기를 제안하였다. 제안된 상관기는 도약 주기의 길이인 상관기 3개와 시간지연 블록으로 특정 도플러 주파수에 대한 모든 코드워드의 상관출력을 획득하기 위해 설계되었다. 동일한 길이의 상관기를 활용하는 펄스 신호와 비교하여 SRR이 낮은 환경에서 상대적으로 우수한 거리 추정 성능을 보인다. 본 논문에서 제안된 도플러 상관기는 근거리 고속 수중운동체의 정보 추정이 필요한 응용 분야에서 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 국방과학연구소의 “수중복합음향환경 모델링 및 고속 수중운동체 탐지/식별 기법 연구 (계약번호 UD150002DD)”에 대한 연구용역으로 수행하였음.

참고 문헌

[1] Russell B. Wynn, “Autonomous Underwater Vehicles (AUVs): Their past, present and future contributions to the advancement of marine geoscience,” Marine Geology, vol. 352, 2014, pp.451-468.
 [2] Liam Paull, “AUV Navigation and Localization - A Review,” IEEE Oceanic Engineering Society, vol. 38, no. 9, 2014, pp.131-149.