

# 고속 수중운동체의 정보 추정을 위한 주파수 차이 코딩 기반 신호 송신 방법

서영광, 손우성, 김완진, 김형남<sup>Ⓞ</sup>

부산대학교, \*국방과학연구소

hnkim@pusan.ac.kr<sup>Ⓞ</sup>

## The Signal Transmission method based on the Frequency Difference Coding for Parameter Estimation of a High Speed Underwater Vehicle

Seo Young-Kwang, Son Woo-Seong, Kim Wan-Jin\*, Kim Hyoung-Nam<sup>Ⓞ</sup>

Pusan National University, \*Agency for Defense Development

### 요약

본 논문은 근거리 수중 상황에서 고속 기동 송/수신기가 고속 기동 표적에 정확히 접근하기 위해 필요한 거리 및 도플러 주파수의 추정 정보를 짧은 주기로 갱신하기에 적합한 송신신호 모델과 추정 기법을 제안한다. 제안된 신호모델은 3개의 주파수 대역을 사용하는 주파수 도약 기반 연속파 신호이며, 정보 추정치의 갱신 주기가 짧아지면서 발생하는 송/수신 시점의 모호성을 해결하고 도플러 효과에 영향을 받지 않기 위해서 도약되는 주파수 차이에 코딩을 적용한다. 제안된 신호모델을 사용하면 근거리 수중 상황에서 도플러 효과에 영향을 받지 않으면서 짧은 주기로 정보 추정치를 얻을 수 있음을 시뮬레이션을 통해서 보인다.

### I. 서론

Frequency modulated continuous wave(FMCW) 레이더는 근거리 상황에서 표적의 거리 및 도플러 주파수 정보를 연속적으로 추정할 수 있는 대표적인 기술이다 [1]. FMCW 기반 거리 및 도플러 주파수의 추정 기술은 거리 도플러 커플링(range Doppler coupling) 현상의 영향이 무시할 수 있을 만큼 작을 때 유효하다. 하지만, 음파를 사용하는 소나에는 레이더에 비해서 거리 도플러 커플링 현상이 크게 발생하기 때문에 FMCW 기술을 적용하기에는 어려움이 있다. 또한, 고속 기동 표적의 예상 거리에 맞게 FMCW의 반복주기를 설정하면 반복주기가 길고 일정하게 사용할 수 없는 문제점이 있다 [2].

본 논문에서는 근거리 수중 상황에서 고속 기동 표적의 거리 도플러 커플링 현상에 영향을 받지 않으면서 신호의 반복주기를 짧게 사용하여 정보 추정치의 갱신 주기를 줄이기 위한 주파수 차이 코딩 기반 연속파 신호 모델을 제안한다. 제안된 신호 모델은 반향신호의 지연시간보다 짧은 주기로 3개의 주파수를 도약하며, 도약 주기가 지연시간보다 짧기에 발생하는 송신시점의 모호성은 도약 주파수에 코딩을 적용함으로써 해결한다.

### II. 주파수 차이 코딩 기반 연속파

주파수 차이 코딩 기반 연속파는 그림 1과 같이  $f_c - W/2$ ,  $f_c$ ,  $f_c + W/2$ 에 해당하는 3개의 주파수를 도약하는 신호로 구성된다. 기본적으로 주파수 도약 주기가 지연시간보다 아주 짧기에 수신된 신호가 언제 송신되었는지의 모호성이 존재하며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서 도약 주파수에 코딩을 적용한다. 코드워드의 길이는 항상 홀수로 그림 1과 같이 송신 시점을 알기위한 짝수개의 코드와 코드워드를 구분하기 위한 헤더 코드로 구성된다. 코드 -1은 주파수가 감소할 때를 나타내며, 코드 1은 주파수가 증가할 때를 나타내고 코드 -2와 2는 코드워드가 변경될 때를 나타낸다. 제안된 신호는 주파수 차이에 코딩을 적용하기 때문에

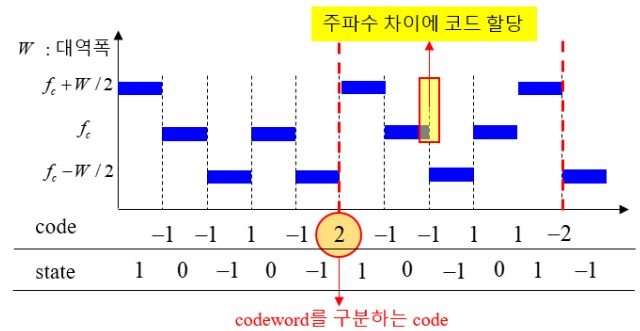


그림 1. 주파수 차이 코딩 기반 연속파 신호의 설명.

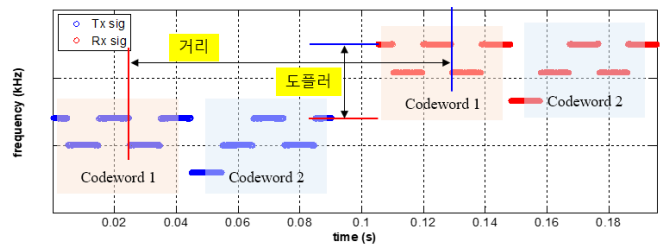


그림 2. 거리 및 도플러 주파수 추정의 개념도.

동일한 코드가 세 번 연속인 [-1, -1, -1]과 [1, 1, 1]을 포함한 코드워드는 사용할 수 없다.

제안된 신호를 이용한 정보 추정 기술은 그림 2와 같이 수신신호와 동일한 코드워드를 가지는 송신신호를 비교하여 거리 및 도플러 주파수 정보를 추출하는 방법이다. 이 방법은 단일 주파수인 코드 신호의 길이  $T_c$ 가 길어지면, 정보 추정치의 갱신 주기는 늘어나지만 추정 성능이 향상되고 송/수신신호의 대역폭이 구분되어 잔향음에 강건해지는 특징이 있다.

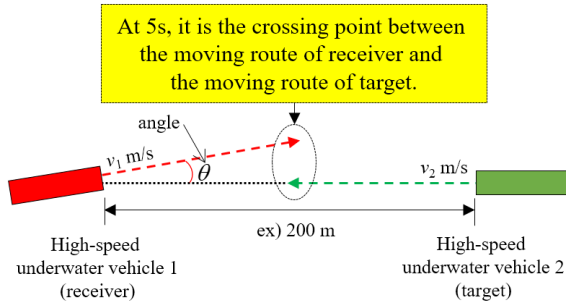


그림 3. 송/수신기와 표적의 기동 시나리오.

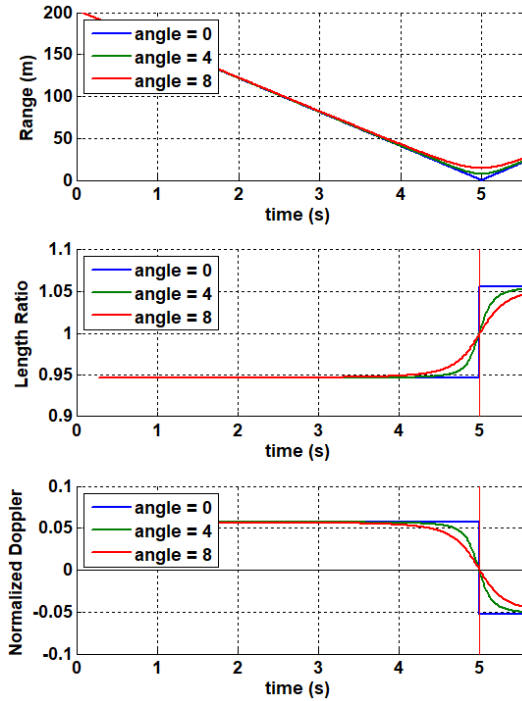


그림 4. 거리, 신호 길이 비율, 도플러 주파수.

III. 수중 근거리 상황에서 고속운동체의 거리 추정 시뮬레이션

송/수신기와 표적이 그림 3과 같이 고속으로 접근하는 상황에서는 수신 신호의 길이와 도플러 주파수가 변하며, 송/수신기와 표적의 속도를 그림 1과 같이 설정한 상황에서 시간에 대한 거리, 신호 길이 비율(수신신호 길이/송신신호 길이), 도플러 주파수는 그림4와 같다. 송/수신기와 표적의 거리가 가까워질수록 신호 길이 비율은 1에 가까워지고 도플러 주파수는 0에 근접하며, 거리가 가까워질수록 급격히 변하는 것을 알 수 있다. 이러한 수중 근거리 상황에서 제안된 신호 모델이 도플러 효과에 영향을 받지 않고 짧은 주기로 거리를 추정할 수 있음을 보이기 위해 잡음이 없는 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 200m까지 수신시점의 모호성이 없이 거리 추정하기 위해서 코드워드의 길이는 9, 단일 주파수인 코드 신호의 길이  $T_c$ 는 2 ms로 임의 설정하였다.

제안된 신호 모델을 이용한 거리 추정에서 송신시점의 모호성을 해결하지 못하면 잘못 선택된 송신시점과 비교한 거리 추정을 수행하여 아주 큰 거리 추정 오차가 발생하게 되고, 근거리 환경에서 급격히 변하는 도플러 효과의 영향을 받게 되면  $0.5v_c T_s N_s$  이상의 추정 오차가 발생하게 된다. 여기서  $0.5v_c T_s N_s$ 는 정상적으로 거리 추정이 되었을 때 발생하는 최대 추정 오차이며,  $v_c$ 는 음파의 속력,  $T_s$ 는 샘플링 주기,  $N_s$ 는 short time Fourier transform (STFT)의 shift 샘플수이다. 그림 5와 6은 표적과의

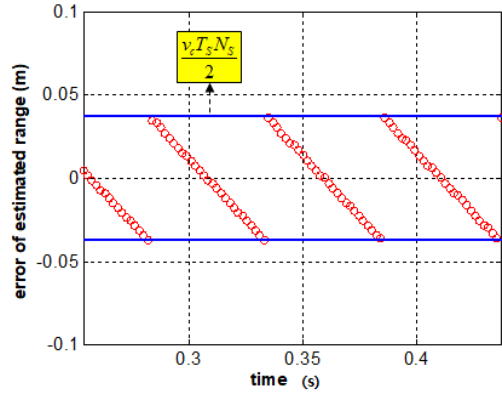


그림 5. 180m 부근에서의 거리 추정 결과.

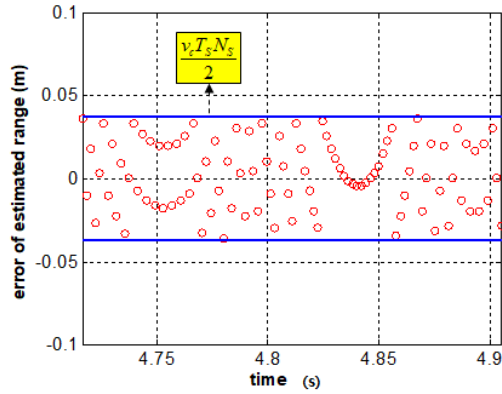


그림 6. 10m 부근에서의 거리 추정 결과.

거리가 각각 180m, 10m 부근에서의 거리 추정 오차를 나타내며, 이 두 그림의 결과에서 제안된 신호를 이용한 거리 추정이 도플러 효과에 영향을 거의 받지 않는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 근거리 수중 상황에서 고속 기동 표적의 거리 및 도플러 추정을 위한 주파수 차이 코딩 기반 연속파 신호를 제안하였다. 제안된 신호를 이용한 정보 추정 기술은 표적 반향신호의 지연시간 내에 다수의 정보 추정치를 얻을 수 있으며, 추정 성능이 도플러 효과에 영향을 받지 않는다. 본 논문에서 제안된 신호 모델과 정보 추정 기술은 근거리 고속 수중운동체의 정보 추정이 필요한 분야에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

[1] SİNAN KURT, “Range Resolution Improvement of FMCW radars”, Electrical and Electronics Engineering Department of Middle East Technical University, 2007  
 [2] Masanori Kunita, “Range Measurement in Ultrasound FMCW system”, Electronics and Communications in Japan, vol. 90, no.1, 2007.