

코드상관 거리측정센서의 시뮬레이션 기법 연구

김웅식, 강병무, 김완주
국방과학연구소

A Study on the Simulation Method of the Code Correlation Range

Ungsik Kim, Byoungmoo Kang, Wanjoo Kim
Agency for Defense Development

Abstract -

This paper describes a simulation method of the correlation-signal output, which has Doppler effect (variation of amplitude, phase, and frequency) caused by the moving-effect of target and encounter conditions. Using these results, we can develop and verify the algorithm of the signal processing parts of the code correlation range sensor with ease.

1. 서 론

코드상관 방식의 거리측정센서는 의사무작위 코드(pseudo-random code)를 변조하여 이를 송신하고 표적으로부터 반사되어 돌아온 수신신호에서 코드를 검출하여 송수신 코드사이의 상관값을 구하여 표적과의 거리를 구하는 기본 동작원리를 가지고 있다. 이러한 방식의 장점으로는 제한된 거리창 기능을 갖는 점과 무작위 코드를 변조한 광대역의 스펙트럼을 사용하는 확산스펙트럼(spread spectrum) 기술을 응용하므로 전자파 방해가능성을 최소화 할 수 있다는 점이 있다. 그림 1은 이 방식의 거리측정 원리를 나타낸 것이며, 송수신 신호 사이에 지연이 존재하지 않을 경우는 상관신호는 일정한 값을 계속 가지며, 정규화된 결과값은 1이 된다. 송신 신호의 한코드폭 이상의 지연을 발생시키는 원거리 표적에 대해서는 정규화된 상관값이 0.5로 고정되어 나타난다. 따라서 그이상의 거리는 측정하지 않을 수 있으며 그사이의 목표물과의 거리정보는 상관값이 0.5에서 1까지 선형적으로 변하게 되어 거리측정이 가능하게 된다.^[1] 측정하고자 하는 최대거리는 무작위 코드의 폭으로 조절 할 수 있으며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta t = \frac{2R}{c} \quad \text{----- (1)}$$

Δt : 무작위 코드폭, R : 측정할 거리, c : 광속

식(1)에서 최대 측정거리를 15m로 할 경우는 코드 폭은 100nsec로 정하면 15m이내의 거리에 있는 표적에 대해서는 변별력을 가지고 측정이 가능하게 된다.

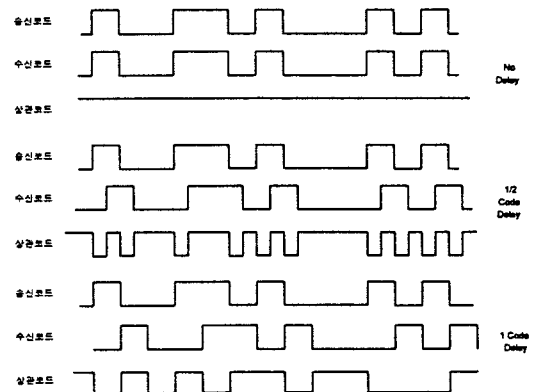


그림 1. 코드상관 방식의 거리탐지원리

본 연구에서 시뮬레이션하고자 하는 거리 측정센서는 다음과 같은 방식으로 구현되어 있다. 먼저 무작위코드를 발생시킨 다음 X-밴드의 RF-Carrier로 BPSK(Bi-Phase Shift Keying) 변조하여 약간 Tilt각이 있는 부채꼴 모양의 빔패턴(beam pattern)을 가지는 안테나를 이용하여 진행방향과 직각으로 송신하고 반사신호를 받아 수신신호를 처리하여 거리를 측정하는 방식이다. 이러한 거리측정센서의 신호처리부 설계 및 알고리즘의 개발을 위해서는 표적이 되는 대상물과의 여러 형태의 조우조건에서의 출력 데이터들을 필요로 한다. 실제 실험을 통한 데이터들의 수집은 시험장소 및 목표물 제작과 조우조건 생성의 제약으로 인하여 용이하지 않아서 거리측정 센서 신호의 시뮬레이션이 필요하며, 본 논문에서는 보다 효과적인 시뮬레이션 기법을 언급한다.

2. 거리측정센서 시스템

2.1 거리측정센서의 분석

전술한 바와 같이 거리측정센서는 RF-Carrier를 BPSK변조하여 송신신호로 사용하며, 코드로 변조된 송신신호 F(t)는 식(2)와 같다.

$$F(t) = A \cdot \cos(\omega_c t + C(t)) \quad \text{-----}(2)$$

BPSK변조는 위상변수 C(t)를 코드의 값("1", "0")에 따라 0 또는 π 로 변화시키는 것이다. 그림 2는 거리측정센서의 RF전단부를 나타낸 것이며, Mixer 출력인 M(t)가 상관신호출력이 되며 본 연구에서 구현하고자 하는 신호이기도 하다.

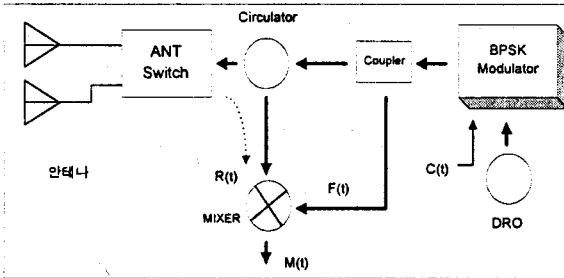


그림 2. 거리측정센서의 RF전단부 구성

목표물에 대한 수신신호 R(t)를 수식으로 나타내면 식(3)과 같으며,

$$R(t) = B \cdot \cos[(\omega_c t + \omega_d t) + C(t - \tau) + \theta_r] \quad \text{--}(3)$$

ω_c : Carrier Frequency, C(t) : 코드신호의 위상
 θ_r : 위상차, ω_d : Doppler Frequency
 C(t - τ) : C(t)의 경로지연 결과

식(3)에서 수신신호 R(t)는 이동중인 목표물에 적용할 경우 도플러 주파수 ω_d 가 발생하며 코드에 따른 위상변화 C(t)는 거리경로에 의한 시간지연 τ 가 발생한 C(t - τ)형태가 된다. 그림 2의 Mixer의 출력 M(t)는 F(t)와 R(t)의 곱으로 나타나며 다음과 같이 식의 전개가 이루어진다.

$$\begin{aligned} M(t) &= F(t) \cdot R(t) \\ &= K \cdot [\cos[2\omega_c t + \omega_d t + C(t - \tau) + C(t) + \theta_r] \\ &\quad + \cos[\omega_d t + C(t - \tau) - C(t) + \theta_r]] \end{aligned} \quad \text{-----}(4)$$

그림 2의 Mixer의 출력은 저역통과필터로 $2\omega_c$ 성분을 제거하게 되므로 식(4)는 다음과 같이 변환된다.

$$M(t) = K \cdot \cos(\omega_d t + C(t - \tau) - C(t) + \theta_r) \quad (5)$$

C(t - τ) - C(t)는 송신코드성분과 수신된 지연코

드 성분과의 상관코드 성분이 되며, 이를 $\theta(t)$ 라 표현한다. 식(5)를 정리하면 아래와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} M(t) &= K \cdot \cos(\theta(t)) \cdot \cos(\omega_d t + \theta_r) \\ &\quad - K \cdot \sin(\theta(t)) \cdot \sin(\omega_d t + \theta_r) \end{aligned}$$

$$M(t) = K \cdot \cos(\theta(t)) \cdot \cos(\omega_d t + \theta_r) \quad \text{--}(6)$$

식(6)에서 상관신호 출력은 코드지연에 의한 상관코드와 도플러주파수 성분과의 곱의 형태로 나타난다는 것을 알 수 있다.

2.2 모의상관신호의 생성

실제 Mixer에서 출력되는 상관신호를 모의 구현하기 위해서는 식(6)의 상관코드 $\cos(\theta(t))$ 는 원래의 무작위코드와 시간지연된 코드와의 논리연산으로 얻을 수 있으며, 도플러주파수 성분 ω_d 는 단순한 형태의 목표물에 대한 경우는 계산에 의해 간이적으로 구할 수 있으나, 실제 목표물인 비행체 등에 적용할 경우는 형상의 복잡성 및 송수신 빔패턴의 불균일성 등의 이유로 수치적 계산 및 결과에 대한 예측은 매우 어렵게 된다. 본 연구에서는 축소 목표물에 대한 조우모의 실험의 결과를 근거로 실제 조우상황시의 결과에 가깝도록 처리하여 사용한다.

2.3 도플러 효과에 대한 고려

이동중인 목표물에 대해 거리측정을 시도하면 도플러효과가 반드시 나타나게 되며, 이는 상관신호 출력에 영향을 미친다. 그결과 수신신호의 진폭 및 위상, 주파수변화를 수반하게 되어 상관신호출력은 상관코드가 변형된 복잡한 출력형태를 가지게 된다. 안테나 빔패턴이 전방을 향한 경우 발생하는 도플러 주파수는 식(7)와 같이 나타난다.

$$f_d = \frac{2 \cdot V_r}{\lambda} \cdot \cos \theta \quad \text{-----}(7)$$

V_r : 거리측정센서와 목표물과의 상대속도

시뮬레이션의 대상이 되는 거리측정센서와 같이 빔패턴이 목표물의 진행방향과 수직을 이루는 경우는 도플러 주파수는 표적형상에 의한 단위시간당 변위에 의해 주로 결정되어지며 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_d = \frac{2}{\lambda} \cdot \frac{\Delta R}{l} \cdot V_r \quad \text{-----}(8)$$

l : 진행거리, ΔR : 변위

식(8)의 적용은 주로 원거리의 표적일 경우이며, 본 연구에서의 거리측정센서와 같이 근거리일때는 목표물 표면에 빔패턴이 퍼지게되어 반사계수가 다른 표적표면의 각 부분에서 반사되어온 신호들의 조합

과 표면전류등의 영향으로 식(8)을 이용한 도플러 주파수의 계산 및 예측이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 축소목표물과의 여러 조우상황에서 도플러 주파수값들을 얻고 이를 근거로 실제 조우시의 상대속도등을 고려한 처리과정을 거쳐 시뮬레이션에 사용하였다. 이렇게 하므로써 앞으로 얻을 수 있는 여러 상황에서의 결과값들의 계속적인 갱신이 가능하고 적용환경에 맞는 변환이 용이하게 되는 장점을 가진다.

3. 시뮬레이션 시스템의 구현 및 실험

식(6)에서 상관신호 출력은 코드지연에 의한 상관 코드값 $\cos \theta(t)$ 항과 도플러 효과에 대한 $\cos(\omega_d t)$ 항의 곱으로 나타남을 알았다. 이를 근거로 시뮬레이션 시스템을 다음과 같이 구성 하였다. 무작위코드를 발생하고 이를 특정거리만큼의 지연시키고 논리 연산을 통해 상관코드를 만드는 부분과 도플러 효과에 의한 영향을 생성하고 제어하는 부분, 그리고 이들을 곱하기 위한 RF Mixer 및 레벨 조절을 위한 감쇄기로 구성 된다. 그리고 최종신호 출력의 진폭변화를 위해 디지털 가변 감쇄기가 사용된다. 그림 3은 시뮬레이션 시스템의 구성도이며, 모든 부분의 제어는 마이크로 컨트롤러에 의해 제어되므로 얻을 수 있는 상관신호출력은 고정된 하나의 상황에서의 결과 뿐아니라 조우상태에 따른 거리, 속도등의 여러 변수들을 연속적으로 가변시켜 실제 경우를 그대로 재현할 수 있는 장점을 가진다. 그림 4는 구현된 상관신호출력을 나타낸 것으로 위의 파형은 도플러 주파수성분이고 중간은 임의로 만들어진 (40ns 지연) 상관코드이며 아래 파형은 두신호가 Mixer를 거쳐 만들어진 상관신호 출력이다.^[2]

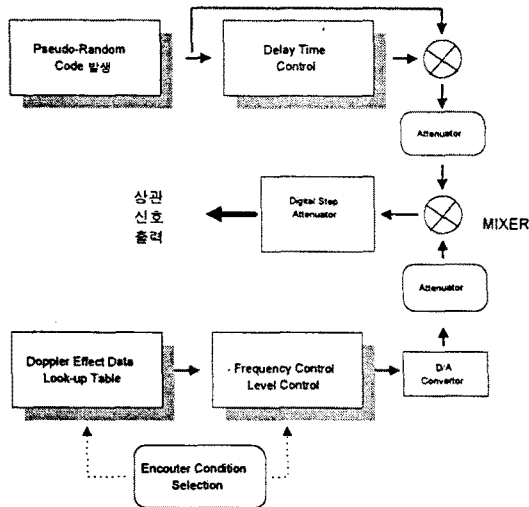


그림 3. 시뮬레이션 시스템의 구성도

이 상관신호출력이 시뮬레이션된 거리측정센서의 신호가 되며, 이것을 이용하여 코드상관 방식 거리측정센서의 신호처리부 설계 및 알고리즘 수립을 효과적으로 수행 할 수 있다.

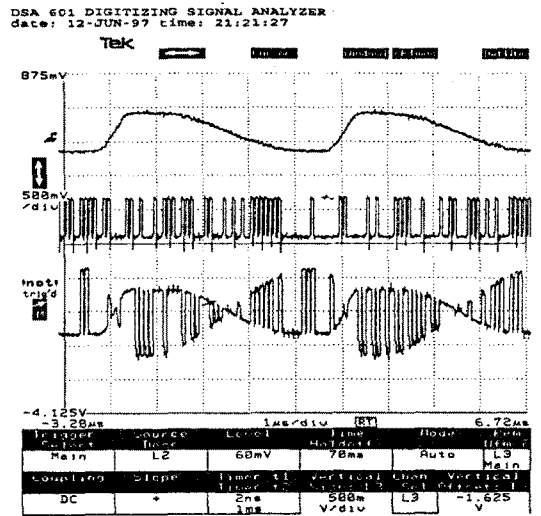


그림 4. 구현된 상관신호 출력

4. 결 론

본 논문에서는 상관코드 방식 거리측정센서의 신호처리부 알고리즘 개발 및 검증을 보다 용이하게 수행 할 수 있는 새로운 시뮬레이션 기법을 제안하였으며, 이는 이동중인 목표물에 대해 적용할 경우 발생하는 도플러효과까지 포함하여 실제 상황에 보다 가깝도록 하였다. 구현에서 있어서는 상관코드 발생 및 제어부를 EPLD를 이용한 설계를 채택하여 시간지연 효과의 정밀도 및 조작성을 향상시킬 수 있었으며, 도플러 효과를 주기 위해 축소모형과의 조우조건에서의 결과를 가지고 실제 조우조건에 맞게 처리하여 디지털시스템으로 구현하였다. 이렇게 하므로써 앞으로 얻을 수 있는 실험 결과의 계속적인 갱신이 가능하여 적용환경에 맞는 변환이 용이하므로, 보다 실제 상황에 가까운 조건에서의 모의 신호출력신호의 제공이 가능하여 거리측정센서의 설계 및 시험평가에 많은 도움을 줄 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] "Missile Proximity Fuzes form Thomson-CSF", International Defense Review, pp85-87, 1984.
- [2] Mini-circuits, RF/IF Designer's handbook, 1997.