

## 고속 이동체에 대한 전파형 코드상관방식 근거리 측정 시스템

임태욱 · 이석우 · 정종철  
국 방 과 학 연 구 소

### A Code Correlation Type RF Short Range Measurement System for High-Speed Mobile Targets

Tae-Wook Lim · Seok-Woo Lee · Jong-Chul Jung  
Agency for Defense Development

**Abstract** - Generally, in the best-known Pulse-type type and Frequency Modulated Continuous Wave(FM/CW)-type RF range measurement systems, the nearest measurable distance between antenna of system and targets is limited to several tens of meters. Moreover, in case of high-speed targets it is more difficult to measure the distance precisely.

In this paper we design our own RF(X-band) range(up to 15 meters) measurement system using code correlation for high-speed targets. It is the correlation value between transmitting receiving PN (Pseudo-Noise) codes. So we determine the distance between antenna of system and targets using this correlation value. We fabricated it using MIC techniques and experimental results show that the proposed system is fully qualified for a short range measurement system

되어 근거리 측정에는 한계가 있다.

FM/CW방식은 가장 널리 알려진 거리 측정방식으로 표적과의 거리에 따른 송·수신 신호의 주파수차를 이용하는 시스템이다. 이것은 펄스방식보다 비교적 단거리에서 사용하며 다른 방식에 비해 정확도가 뛰어난 장점이 있다. 주요 적용 시스템으로는 고도계 및 차량 충돌방지 레이더 등이 있다. 그러나 이 방식 또한 측정거리의 오차비가 거리가 가까워지면 점차 커지기 때문에 십여 미터 이내의 근거리 측정에는 많은 어려움이 있으며 특히 표적이 고속의 이동체인 경우에는 더욱 그러하다. 예로 주로 사용되고 있는 FM/CW방식 시스템의 측정거리 갱신 주기를 보면 고도계의 경우 약 100 Hz, 차량 충돌방지장치의 경우 약 10 Hz 정도이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 근거리 및 고속 이동체에 대한 거리 측정의 제한을 최소화한 코드상관방식 거리측정시스템을 제안하고 측정거리 15미터 이내, 표적의 속도는 1500m/s 이하에서 동작하는 시스템을 초고주파 단일 모듈로 설계, 제작하고 실험을 실시하였다.

## 1. 서 론

어떠한 목표물과의 거리를 측정하는 방법으로는 정해진 길이의 물체와 비교하는 실측과 같은 직접적인 측정법과 정해진 전달속도를 갖는 음파, 전자파 혹은 광파 목표물을 향해 조사하고 목표물에 의해 산란되는 일부의 신호를 측정하여 송수신 신호간의 시간 지연을 측정하여 거리를 알아내는 방법이 있다. 이러한 원격 거리측정 시스템의 대표적인 응용이 레이더인데 이것은 전자파를 이용하는 전파형(Radio Frequency)시스템과 레이저를 이용하는 광학식(Optical)시스템으로 크게 구분된다. 이 두 시스템은 목표물의 종류, 측정거리, 사용환경 등에 따라 각각의 장단점을 가지며 이에 따라 적용되는 용도가 구분되게 된다. 전파형 시스템은 비, 구름 등의 기후에 영향을 받지 않아 전천후 사용이 가능하고 먼지 등의 주위 환경성이 좋은 반면 사용되는 전파환경에 따라 전자파 간섭이 발생될 우려가 있다. 이 시스템의 응용 예는 주로 레이더, 신관(fuze), 고도계(altimeter), 차량 충돌방지 레이더(CAR; Collision Avoidance Radar) 등이 있다. 또한 광학식 시스템은 사용 환경에서의 간섭이 없는 장점이 있으나 기후영향에 민감하고 먼지 등 주위 환경성이 취약한 단점이 있다. 이 시스템은 Range Finder, 신관 등에 적용된다.

주로 사용되는 전파형 거리측정 시스템을 변·복조 방식으로 구분하면 펄스방식과 FM/CW 방식 그리고 코드변조방식 등이 있다.

펄스방식은 표적과의 거리에 따른 송·수신 펄스간의 시간차를 측정하는 방식으로 송·수신간의 혼신이 없는 특징이 있어 큰 전력의 펄스원을 이용하여 장거리 측정에 유리하다. 그러나 근거리 측정을 위해서는 펄스 폭을 줄여야 하는데 이렇게 되면 넓은 시스템 대역폭이 요구

## 2. 코드상관방식 거리측정시스템 설계

### 2.1 구성 및 거리측정 원리

본 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

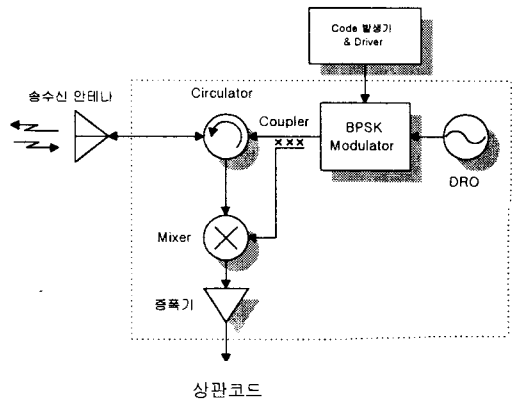


그림 1. 코드상관방식 거리측정 시스템 구성도

본 코드상관방식 거리측정시스템은 DRO(Dielectric Resonator Oscillator)에서 발생된 초고주파(X-대역) 연속파(Continuous Wave)를 디지털 위상변조기에서 가무작위(Pseudo-Noise) 코드열에 의해 0도, 180도로 위상 변조되고, 이는 서클레이터(Circulator)를 거쳐 안테나를 통해 밖으로 송신된다. 표적에서 반사되어 돌아온 수신신호는 안테나를 통해 들어와 서클레이터를 거쳐 신호혼합기에서 송신신호의 일부와 혼합되어 송·수신 신호의 위상차에 해당하는 신호가 출력되는데, 이 출력 코드신호의 펄스폭은 표적과의 거리에 따른 송·수신코드의 상관을 취한 값, 즉 상관코드가 나타나게 된다.

그림 2의 위는 거리측정 원리를 거리에 따라 예를 들어 나타낸 것이며, 아래의 그래프는 상관코드를 적분한 상관값을 나타낸 것으로 15m 이내에서 거리에 따라 선형적으로 변하는 값이다. 즉, 상관값을 측정하면 표적과의 거리를 알 수 있게 된다.

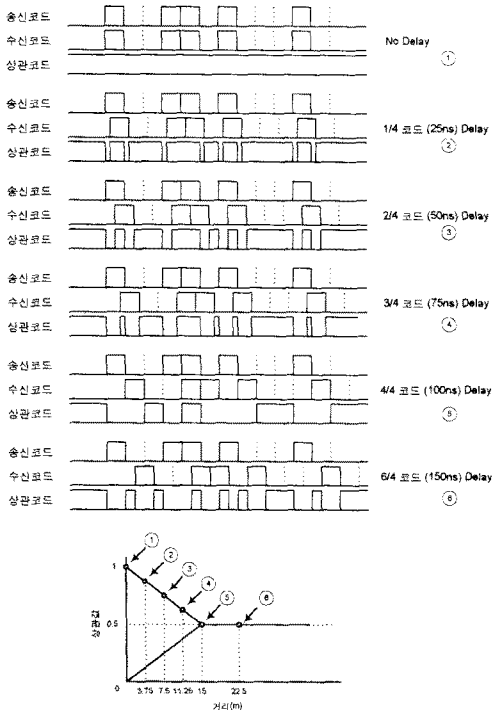


그림 2. 거리에 따른 상관값의 변화

## 2.2 시스템 설계 변수

### 가. 변조 방식

본 시스템에서는 그림 3과 같이 0도, 180도의 이상 위상변조(BPSK : Bi-Phase Shifted Keying) 방식을 사용하였는데 이것의 특징은 초고주파 회로를 가장 간단하고 소형화할 수 있는 변조방식이다. 이밖에 적용 가능한 변조방법으로 QPSK(QuadriPhase Shifted Keying)와 FSK(Frequency Shifted Keying)를 사용할 수 있는데 시스템이 다소 복잡해지는 단점이 있다.

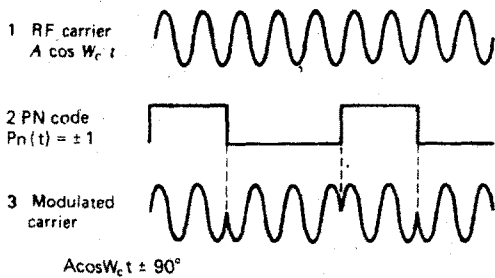


그림 3. BPSK 신호 파형

### 나. 변조코드

사용한 변조코드의 종류는 거리창(range gate) 기능(측정거리 이상에서 상관값을 일정하게 하는 기능)을 실현하기 위해 maximal code sequence(m sequence)를 사용하였다. 이 maximal code의 대표적인 특징은

요구되는 코드열을 만들기 위해 최소한의 Flip-Flop이 사용된다는 것과 식(1)과 같이 표현되는 auto-correlation(동일한 코드열간의 상관) 특성이 그림 4와 같이 1 chip(code) 밖에서는 일정한 값을 갖는다는 것이다.

$$\psi(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)f(t-\tau) dt \quad (1)$$

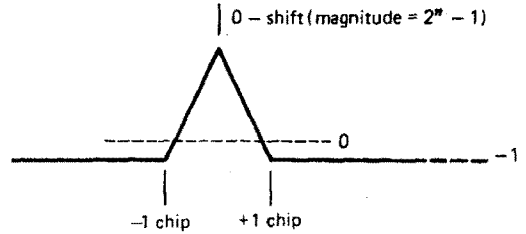


그림 4. Maximal code의 Auto-correlation

그리고 코드의 폭( $T_b$ )은 최대 측정거리( $R$ )가 정해지면 전자파의 왕복시간 즉, 식(2)에 의해 선정된다. 이것은 시스템의 사용 조건에 따라 수신전력이 수신감도 이상인 거리 내에서 임의로 선정이 가능하다. 본 시스템에서는 최대 거리측정 범위를 15미터로 설정하였고 이에 따라 폭 100ns의 코드를 사용하였다.

$$T_b = \frac{2R}{C} \quad (2)$$

(여기서, C : 광속)

## 3. 코드상관방식 거리측정시스템 제작 및 실험

### 3.1 제작

본 시스템의 초고주파회로는 유전율이 9.9이고 두께는 25mil인 세라믹 기판을 사용하여 MIC(Microwave Integrated Circuit) 기술을 이용하여 제작하였다. 제작한 초고주파 회로부 모듈의 외형은 그림 5와 같다. 고주파 발진부는 유전체 공진기를 이용한 DRO로 설계하였고 발진 주파수는 X-대역을 사용하였다. BPSK 변조기는 180도 위상차가 나는 두 마이크로스트립 선로를 선택적으로 스위칭 하는 방식으로 설계하였으며 스위칭 time은 3 ns 이하의 성능을 갖는다. 또한 신호혼합기는 90도 Hybrid Coupler를 이용한 single-balanced mixer로 설계, 제작하였다.

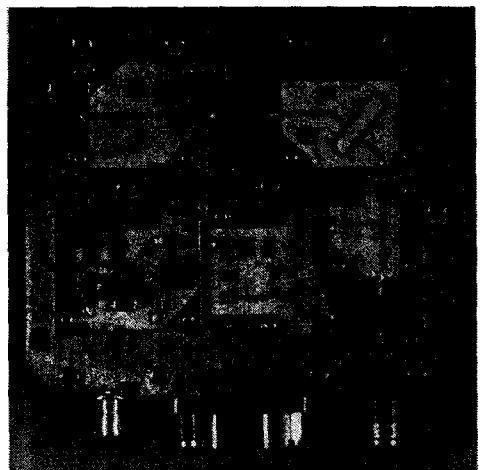


그림 5. 제작된 초고주파 회로부

### 3.2 송·수신 실험

먼저 제작된 초고주파 회로부에 안테나를 연결하고 RCS(Radar Cross Section)가 0.1m<sup>2</sup>인 표준 구 (sphere)를 거리 3m에 설치하고 송수신실험을 실시하였다. 실험을 통해 그림 6의 (b)에 나타난 상관코드의 폭이 3m 거리에 해당하는 약 20ns임을 확인하였고 (c)는 (b)상태에서 표적을 조금(정확히는 반파장) 움직인 상태의 상관코드이다. 이와 같이 거리에 비례하여 상관코드의 폭이 커지게 되고, 표적이 고속으로 움직이는 경우에는 움직임에 따른 위상차 때문에 (b)와(c)가 도플러 주파수로 반복되게 된다.

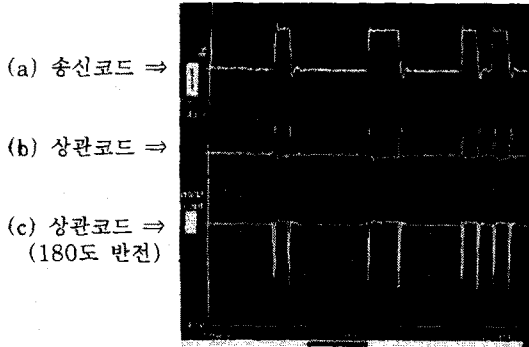


그림 6. 표준 구에 대한 실험결과 (거리 3m)

움직임에 따른 시스템의 성능을 확인하기 위해 출력되는 상관코드를 적분하여 상관값을 구해 거리를 계산하는 신호처리부를 연결하고, 길이가 약 4m이고 직경이 약 30cm인 알루미늄 원통모양의 표적에 대해 실험을 수행하였다. 움직임이 있어야 거리 측정이 가능한 본 시스템의 특성상 표적을 움직이는 대신 제작된 본 시스템을 cart 위에 설치하고 일정한 거리를 두고 옆으로 지나가면서 이때의 거리를 측정하였다. 그림 7에서 (a)는 표적이 없는 경우의 상관값 출력으로 x-축은 시스템의 이동 길이이다. (b)와 (c)는 각각 2m, 6m의 거리를 두고 표적 옆을 지나면서 실험한 결과로 나타나는 전압의 최대치가 상관값을 나타내게 된다.

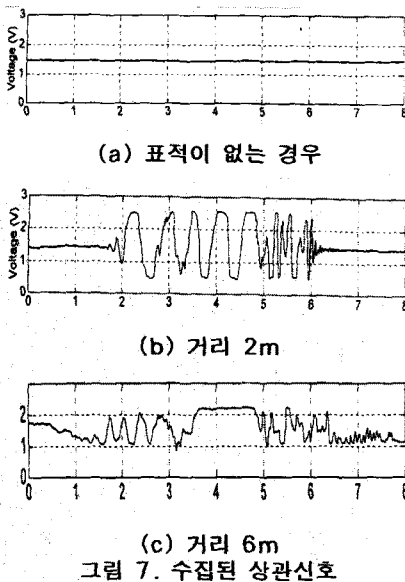


그림 8은 거리에 대한 상관값의 측정결과이며, 설계 시에 계산된 값과 유사함을 알 수 있다. 반복된 실험을

통해 거리 측정오차는 이 경우에 ±70cm이내의 결과를 얻을 수 있었다.

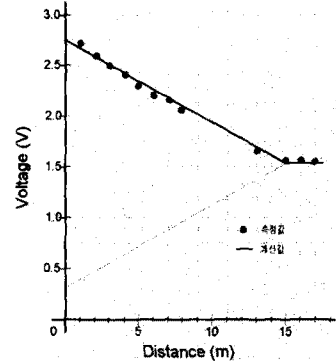


그림 8. 거리에 따른 상관값 측정결과

### 4. 결 론

본 연구에서는 최근의 디지털통신에 주로 이용되고 있는 코드에 의한 위상 변복조 기술을 응용하여 고속 이동체에 대한 코드상관방식 근거리 측정 시스템을 제안하고 이를 설계, 제작하고 실험을 통해 그 성능을 확인하였다. 제작에 있어서는 각종 운용조건을 감안하여 외형, 크기 및 경제적인 측면 또한 고려하였다.

각종 실험을 통해 본 방식의 거리 측정시스템이 근접 거리 측정에 알맞은 거리 측정방식임을 확인할 수 있었고 특히 표적의 이동속도에 따라 측정거리 갱신주기가 가변 되기 때문에 다른 방식에 비해 고속의 거리측정이 가능한 장점이 있다. 또한 시스템의 하드웨어 변경 없이 거리 측정범위를 설정하고 가변 할 수 있으며 거리 측정오차는 최대 측정거리의 ± 5% 이내임을 확인하였다. 반면에 표적의 움직임이 없으면 거리 측정을 못하는 단점이 있기 때문에 적용에 있어 제한이 있게 된다. 따라서 본 시스템은 저고도용 고도계, 고속 이동표적 탐지센서 및 차량 충돌방지 장치 등과 같이 상대적인 움직임이 있는 경우에 적용이 가능하다.

### (참 고 문 헌)

- (1) Merrill Skolnik, Radar Handbook, 3rd Edition, McGraw-Hill Co., 1990.
- (2) G.W.Stimson, Introduction to airborne radar, Huges Aircraft Co. Radar Systems Group, 1983.
- (3) W.K. Saunders, "Post War Developments in Continuous-Wave and Frequency-Modulated Radar", IRE Trans. Aeronautical and Navigational Elec., pp7-19, Mar. 1961.
- (4) A.E. Carr, L.G. Cuthbert, and A.D. Olver, "Digital Signal Processing for Target Detection in FMCW Radar", IEE Proc. vol.128, pp331-36, Oct. 1981.
- (5) Robert C. Dixon, Spread Spectrum System, Wiley Interscience, 1994.
- (6) Simon, Omura, Scholtz, Levitt, Spread Spectrum Communications Handbook, McGraw-Hill, 1994.
- (7) Thomson-CSF's RCM Division, "Missile proximity fuzes from Thomson- CSF", International Defense Review, p85-87, Jan. 1984.
- (8) R.L.A.Gooding and J.M.Robinson, "Design and specification of a broadband R.F. QPSK modulator for and 11GHz 140Mbit/s digital radio system using MIC techniques", Symp. Dig. 9th European Microwave Conf., p243-248, 1979.