

코드상관 근거리 측정센서의 실시간 신호처리 기법

강병무, 임태욱, 이석우, 김웅식, 김완주
국방과학연구소

A Real Time Signal Processing Technique
for the Code Correlation Short Range Measurement

Byoungmoo Kang, Taewook Lim, Seokwoo Lee, Ungsik Kim, Wanjoo Kim
Agency for Defense Development

Abstract - In this paper we describe a real time signal processing technique for the code correlation short range measurement sensor. Code correlation values are acquired via simple RC charging circuits within several tens of microsecond. Because the range measuring process is very fast and simple, the proposed technique is applicable to common near range targets as well as fast moving targets in real time. Some experimental results show the validity and usefulness of the proposed method.

1. 서론

일반적으로 RF(radio frequency)를 이용하여 거리를 측정하는 방법으로는 펄스방식, FM/CW(frequency modulated/continuous wave)방식, 코드변조방식 등이 있는데, 근거리 측정방식으로는 FM/CW방식과 코드변조방식이 유용하나 FM/CW방식은 실제 구현에 있어 거리정보의 갱신 주기가 수 Hz에서 수백 Hz로 제한되어 수십 μsec 이내에 거리를 측정해야하는 고속 이동체와 같은 경우에는 실시간 거리측정에 많은 제약이 따르며, 또한 수 미터 이내의 거리측정에는 시스템이 복잡해지는 단점이 있어 실시간으로 근거리(10여m 이내)를 측정하는 센서로는 코드변조방식이 많이 쓰인다[1][2][3].

코드상관 근거리 측정방식은 의사무작위 코드(pseudo random noise code)화된 신호를 이용하여 반송파(carrier)를 위상변조시켜 송신하고 측정하고자 하는 거리를 왕복하여 수신된 코드와의 상관값을 이용하는 방식으로서, 상관값은 송신코드와 수신코드간의 베타논리합으로 구할수 있는 출력코드로서 거리에 따라 비례하여 코드폭이 가변되므로 이 출력코드를 적절히 신호처리하면 거리정보를 얻을 수 있다.

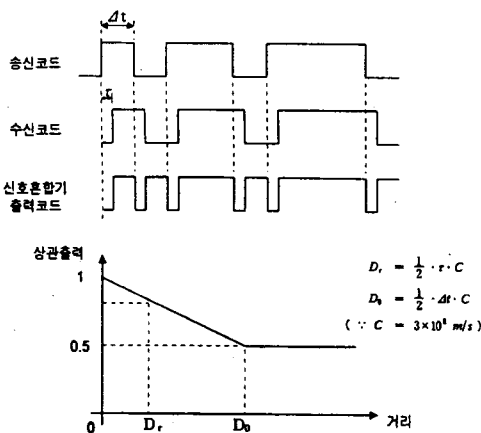


그림 1. 코드상관에 의한 거리측정 원리

그림 1은 코드상관에 의한 거리측정 원리를 나타낸 것이며 송신코드의 1 chip(λt)은 측정하고자 하는 최대거리에 따라 조절가능하며 신호혼합기(mixer)의 출력 코드는 송신코드와 수신코드의 베타논리합이고 이 출력 코드의 폭이 거리에 따라 반비례한다. 따라서 이 코드폭을 측정하면 원하는 거리정보를 얻을 수 있다. 그러나 이 코드폭은 수 nsec에서 수십 nsec에 불과하여 실시간으로 직접 측정할 수가 없으므로 적절한 신호처리 회로를 이용하여 거리에 비례하는 상관출력을 얻을 필요가 있다.

본 논문에서는 코드상관방식 근거리 측정센서의 신호혼합기 이후의 출력코드로부터 상관출력을 구해 실시간으로 거리정보를 얻어내는 신호처리부에 대해서 설계 및 실험결과를 언급하며, RF 송수신전단부의 설계 및 제작은 다른 논문[4]에 기술되어 있다.

2. 신호처리부 설계

2.1 신호처리부 구성

상관코드로부터 송수신코드간의 상관값인 상관출력을 실시간으로 얻어내는 코드상관 근거리 측정센서의 신호처리부는 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 즉, 미약한 신호혼합기 출력신호를 신호처리 가능한 레벨로 증폭하고 필요한 주파수대역만 얻기위한 수신회로와, 수신신호가 표적에 맞고 들어온 것인지의 여부를 판단하여 상관값이 유효한 거리정보인지 아닌지를 판단하는데 이용되는 도플러 검출회로 및 실시간으로 거리정보를 제공하는 상관값 검출회로로 구성되어 있으며 블록도는 그림 2와 같다.

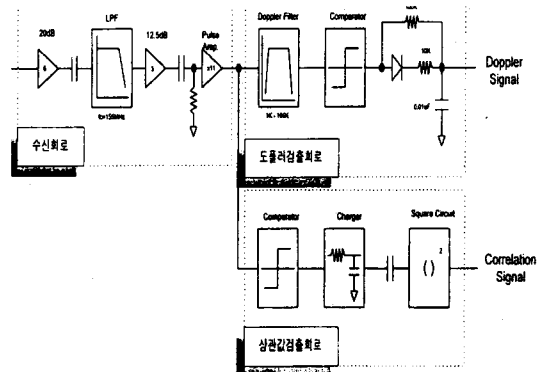


그림 2. 신호처리부의 구성

2.2 수신회로 설계

신호혼합기의 출력은 매우 미약하므로 거리정보를 얻기 위해서는 이것을 신호처리 가능한 레벨로 증폭할 필요가 있다. 따라서 실제 RF 송수신전단부의 출력신호에 대한 고효율이 초단 Amp의 설계에 필수적이며, 이것을 바

양으로 초단 Amp를 설계할 수 있다. 먼저 수신되는 전력은 식 (1)로부터 구할 수 있다. 즉, 만일 송수신단부의 설계사양이, 송신전력 P_t : 15 dBm (31.62 mW in 50Ω system), 안테나 이득 G : 15 dB (31.62 배), 사용파장 λ : 8.57×10^{-3} m, 표적의 RCS σ : 0.05 ~ 0.94, 감지거리 R : 3 m 라면,

$$P_r = \frac{P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot R^4} \quad (1)$$

수신전력 $P_r = 7.223 \times 10^{-7}$ mW에서 1.361×10^{-5} mW 사이의 값을 가지게 된다. 이를 dBm으로 환산하면 -61.4 dBm에서 -48.7 dBm이 된다. 이 값들을 수신신호의 최소전력이라 할 때 신호처리를 위한 신호의 레벨은 20 mVrms 이상 되어야 한다고 보면 초단Amp의 최대 증폭이득은 약 100배(40 dB)가 되어야 한다(50Ω 시스템).

$$\text{증폭이득} = \frac{20\text{mVrms}}{61.4\text{dBm}} = \frac{20\text{mVrms}}{0.19\text{mVrms}} = 105 = 40\text{dB}$$

또한 신호혼합기의 출력은 이론적으로 표적과의 거리에 따라 거리가 짧으면 짧을수록 펄스폭이 좁게 되는데 표적과의 거리가 1m 정도로 아주 근거리인 경우에도 충분히 신호성분을 추출하기 위해서는 1m일 때 얻어지는 펄스의 전력 스펙트럼의 첫 번째 null 지점(90% power)을 저역통과 필터의 대역폭(bandwidth)으로 설정하기로 하며 그것은 약 150MHz 정도이다.

$$\text{저역통과필터 대역폭} = \frac{1}{\tau} \approx 150\text{MHz}$$

이러한 초단 Amp와 저역통과 필터는 ERA-5SM과 SCLF-135 소자로서 구현 가능하며, 그림 3은 수신회로를 거친 상관코드의 한 예이다. 이때 상관코드에는 표적의 이동이나 표적면의 굴곡, 혹은 측정센서의 이동등에 의한 도플러 성분이 존재함을 알 수 있다.

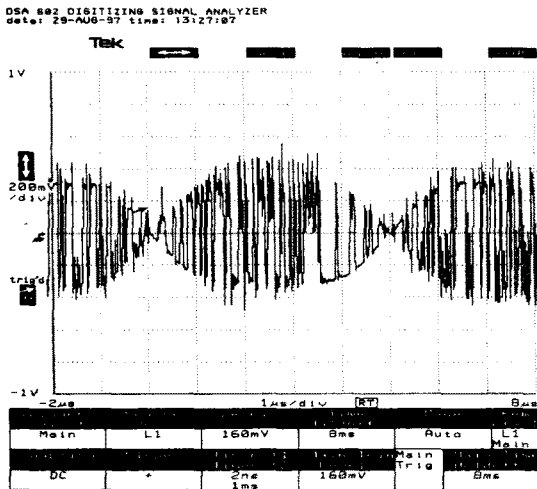


그림 3. 상관코드 출력

2.3 도플러 검출회로 및 상관값 검출회로

사용된 RF 반송파의 파장이 λ 일때 표적과의 거리가 R이면 왕복거리인 2R 경로에 포함되는 파장의 수는 $2R/\lambda$ 가 된다. 이를 위상(ϕ)의 개념으로 표현하면 왕복경로동안 $4\pi R/\lambda$ radian의 위상을 갖는다. 이때 표적과의 거리 R이 변화하게 되면 위상이 변화하게 되고 시간에 대한 위상의 변화는 식 (2)와 같은 도플러주파수를 갖게된다.

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \cdot \frac{dR}{dt} = \frac{2}{\lambda} \cdot \frac{dR}{dt} \quad (2)$$

따라서 도플러 검출회로는 표적이나 센서가 움직이는 상

황에서 유효한 거리정보를 얻기위한 부분으로 특히 고속 이동체의 거리측정에 필요하며 간단히 RLC 수동소자나 능동소자로 원하는 대역통과필터를 설계하여 필요한 신호를 얻을 수 있다.

근거리를 측정하는 여러방법들은 대부분 수십 msec에서 수sec의 측정시간이 소요되므로 고속이동체와 같은 경우에 실시간으로 거리를 측정하는데에는 한계가 있다[5][6][7]. 따라서 그림 3과 같이 도플러 성분이 실려있고 수 nsec에서 수십 nsec에 불과한 상관코드로부터 실시간으로 거리정보를 얻기 위해서는 상관값 검출회로를 설계해야 한다. 즉 비교기(comparator)등을 이용하여 도플러가 실려있는 상관코드를 정형화시킬 필요가 있으며, 이 정형화된 펄스열로부터 상관값을 얻는 방법을 모색해야 하는데 실시간으로 간단하게 RC 충전회로로 가능하다. 이때 충전값은 상관코드의 폭에 비례하므로 이 충전값이 원하는 거리정보이다. 그러나 상관코드는 도플러 신호에 의하여 위상이 180도 뒤집어진 형태로 반복하게 되므로 송신코드의 1 chip 폭, 가무작위코드로된 송신코드열의 주기 및 예상되는 도플러주파수에 따라 RC 시정수가 결정되어야 한다.

예를 들어 송신코드열의 주기가 $2.54 \mu\text{sec}$ 이고 도플러주파수가 100KHz 라면 도플러주파수 주기 동안에 충분히 코드열이 포함되므로 비교기를 거친 상관코드는 한 코드열의 주기동안 180도 위상반전이 없이 얻어지므로 이 코드열의 주기와 식 (3)으로부터,

$$1 - \exp(-t/\tau_c) \geq 90\%, t = 2.54 \mu\text{sec} \quad (3)$$

시정수 $\tau_c \leq 1.1 \mu\text{sec}$ 를 구하여 RC값을 구할 수 있다.

그림 4는 RC 충전회로 및 AC 커플링 후 얻어진 파형이며 도플러주파수(약 100KHz)에 따라 180도 위상반전된 곳에서 충전하는 모양이다. 따라서 이 파형의 진폭이 거리정보를 갖고 있는 상관값이 되므로 직접 첨두치검출(peak detection)을 하거나 제곱(square)회로를 거쳐 선형성을 보장하여 첨두치를 검출하여 거리정보를 얻으면 된다. 이때 소요되는 시간은 수십 μsec 이내의 실시간에 최종결과를 얻을 수 있다.

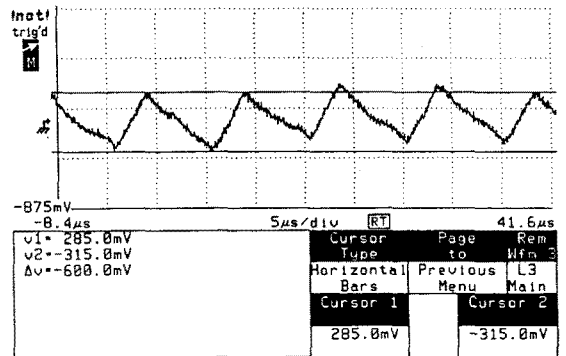


그림 4. 상관값 파형

3. 실험 및 결과

3.1 시뮬레이터를 이용한 실내실험 및 결과

수 KHz 이상의 도플러주파수가 존재하는 실제 상황 에 대한 거리측정센서의 실험은 실험장소 및 표적과의 조우조건 생성의 제약으로 인해 용이하지 않으므로 실내에서 간단히 실험할 수 있는 코드상관방식의 RF전단부 센서신호 시뮬레이터를 개발하였으며[2], 개발된 시뮬레이터를 이용하여 본 논문에서 제안된 실시간 신호처리 기법의 유용성을 파악하였다. 송신코드의 1chip 폭이 약 50nsec 이고 도플러가 10KHz 일 때의 거리에 따

른 상관값은 그림 5와 같으며, 측정하고자 하는 영역인 2m~7m에서 상관값이 선형적으로 변함을 알 수 있고 송신코드폭 범위 밖에서는 상관값이 일정함을 볼 수 있다.

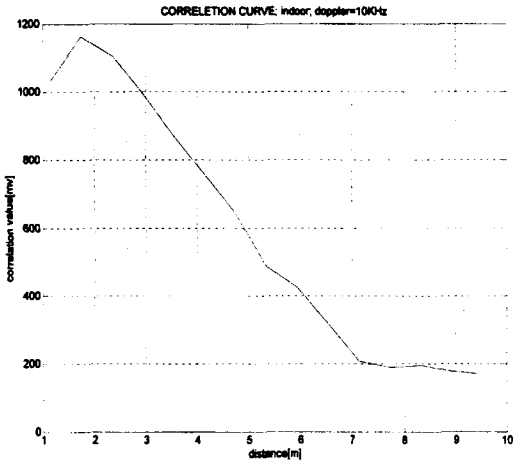


그림 5. 도플러 10KHz 일때의 거리에 따른 상관값

3.2 실제 야외실험 및 결과

제안된 신호처리기법의 실제 기능시험을 수행하기 위해 그림 6과 같은 실험장치 및 모의표적을 구성하였으며, 표적을 향하여 1m에서 10m까지 이동하면서 1m 간격으로 센서를 움직이면서 상관코드의 증방전 전압을 측정하였다. 이때 송신코드의 폭은 약 35nsec이며 그 결과는 그림 7과 같다. 이것을 상관값(진폭)으로 나타내면 그림 8과 같이 1m에서 5m 영역에서는 선형적으로 변하며 5m 밖에서는 상관값이 일정하다.

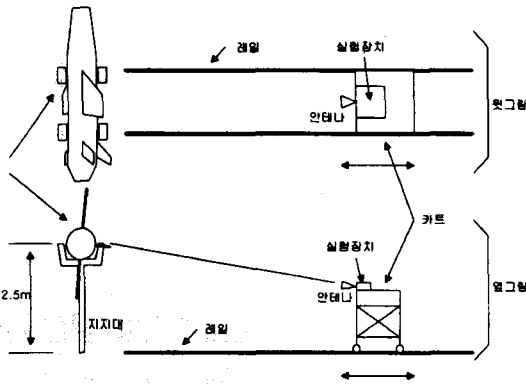


그림 6. 야외실험 장치

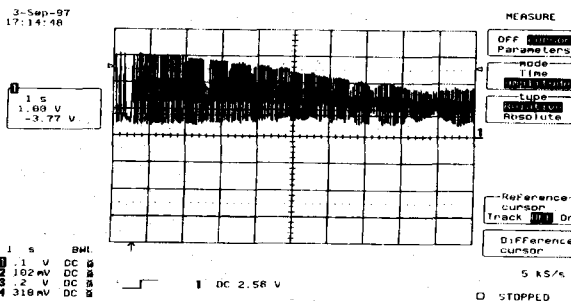


그림 7. 야외실험시 증방전 상관값 파형

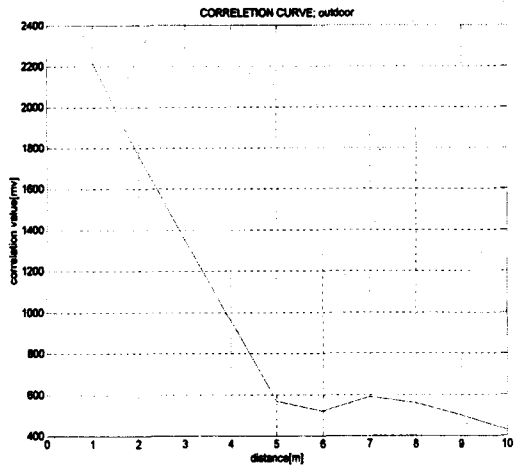


그림 8. 야외실험시 거리에 따른 상관값

4. 결 론

본 논문에서는 RF를 이용한 코드상관방식으로 10여 미터 이내의 근거리를 실시간으로 측정하는 간단한 신호처리 기법을 제안하고 신호처리 회로를 설계하여 시뮬레이터를 이용한 실내실험과 실제 야외실험을 통하여 유용성을 보였다.

본 신호처리 기법은 코드변조방식의 일반적인 근거리 측정에 적용 가능할 뿐만 아니라, 고속이동체(수~수십 마하)와 같이 수십 μ sec 이내에 거리를 측정해야 하는 곳에도 사용할 수 있다. 측정오차는 약 $\pm 0.5m$ 이며 RF송수신 전단부의 자체 전자파 지연(약 8nsec)으로 인해 2m 이내의 최근접거리 측정에는 더 많은 연구가 필요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] Thomson-CSF's RCM Division, "Missile Proximity Fuzes from Thomson-CSF", International Defense Review, pp.85-87, Jan. 1884.
- [2] 김용식, 강병무, 김완주, "코드상관 거리측정센서의 시뮬레이션 기법연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.459-461, July 1997.
- [3] 강병무, 김용식, 김완주, "코드비교에 의한 새로운 전파형 거리측정 알고리즘", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.462-464, July 1997.
- [4] 임태욱, 이석우, 정종철, "고속이동체에 대한 전파형 코드상관방식 근거리 측정시스템", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, July 1998.
- [5] G.Kompa, "Extended Time Sampling for Accurate Optical Pulse Reflection Measurement in Level Control", IEEE Trans. on Instru. & Measure., Vol.IM-33, No.2, pp.97-100, June 1984.
- [6] D.M.Delauder, C.A.Balanis, and L.G.Kazovsky, "Microcomputer-Based Signal Processor for Short Range FM Radar", IEEE Trans. on Instru. & Measure., Vol.IM-35, No.1, pp.71-77, March 1986.
- [7] G.S.Woods, D.L.Maskell, and M.V.Mahoney, "A High Accuracy Microwave Ranging System for Industrial Applications", IEEE Trans. on Instru. & Measure., Vol.42, No.4, pp.812-816, Aug. 1993.