

지상 기동 장비용 근거리 레이더의 채널 간섭 억제를 위한 펄스간 코딩 연구

Pulse-to-Pulse Coding for Channel Interference Suppression of Short Range Radar for GVES

박 규 철 · 하 종 수

Gyu-Churl Park · Jong-Soo Ha

요 약

근거리 운용 레이더는 여러 대의 레이더가 좁은 반경 내에서 동시에 운용되어야 하는 시스템으로 레이더간 간섭 배제가 매우 중요하다. 기본적으로 채널 주파수 분리를 통해서 간섭을 줄이고 있으나, 실제 구현상의 문제로 인하여 완벽하게 간섭을 배제하기가 쉽지 않다. 이에 근거리 운용 레이더에서 펄스간 코딩은 간섭을 원천적으로 배제하기 위하여 사용되었다. 본 논문에서는 펄스간 코딩의 개념, 적용 방안 및 실제 시험 결과를 제시하고자 한다.

Abstract

Since the SRRs(Short Range Radar) load on the GVESs(Ground Vehicle Equipment System) are operated within several hundred meters, it is important to suppress the interferences between the SRRs. These interference are reduced using the frequency separation between channels, however this method isn't a perfect solution owing to a difficulty of a realization for the interference suppression. Thus, a pulse-to-pulse coding used to suppress the interference fundamentally is proposed in this paper. The concept, the application method and the test results of the proposed method have been described in this paper.

Key words : Small Target Detection, Channel Interference, Short Range Radar, Soft Kill Radar, Pulse Coding

I. 서 론

일반적으로 단독으로 운용되는 레이더는 다른 시스템들에 의한 간섭 영향은 고려하지만 동일 시스템에 의한 간섭은 고려대상이 아니다. 따라서 간섭 억제 방안 또한 다른 시스템들에 의한 간섭을 억제하기 위한 방향으로 연구되어 왔다^{[1],[2]}.

그러나 지상기동 장비용인 GVES(Ground Vehicle Equipment System)에 탑재되는 레이더의 경우, 다수의 GVES가 근거리(수십 m 이내)에서 동시에 운용되기 때문에 여러 대의 레이더가 좁은 반경내에서 동

시에 운용되어 레이더간 간섭 배제가 매우 중요하다. 간섭의 억제 방법으로는 시간 영역에서의 제거 방법, 주파수 영역에서의 제거 방법^[3], 공간 영역에서의 필터링에 의한 제거 방법과 송신기에 의한 열잡음 제거 방법 등이 있다.

독립 운용을 전제로 설계된 SRR(Short Range Radar) 다수가 동시에 운용될 때, 기본적으로 채널 주파수 분리를 통해서 채널 간섭을 줄이고 있으나, 실제 구현에서 고출력 증폭기의 문제로 인하여 완벽하게 채널 간섭을 배제하기가 쉽지 않다. 이에 본 논문에서는 펄스 코딩 방식이 간섭을 원천적으로 배제하

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20090629-057

· 수정완료일자 : 2009년 9월 9일

는지를 시뮬레이션을 통해 확인하고 실내 및 야외 시험을 통하여 기존 방식에 비해 펄스 코딩 방식이 간섭 배제에 효과적인지를 확인하고자 한다.

II. 기존 방식 설계

GVES가 1 km 이내의 반경에서 여러 대가 운용되기 때문에 SRR은 동시에 좁은 공간에서 여러 대가 운용된다. 근거리에서 동일한 레이더가 운용되므로 레이더간 간섭 배제 기술이 매우 중요하다. SRR은 초기에 채널 간섭을 배제하기 위하여 채널을 13개로 운용하도록 설계하였다^[4]. 채널들의 주파수 간격은 5 MHz이고, 채널 대역폭은 500 kHz로 설계하였다. GVES 운용 거리가 50 m 이상인 조건에서 간섭에 대한 영향이 없도록 설계되어야 하므로 간섭을 받지 않기 위해서는 중심 주파수에서 5 MHz 떨어진 위치에서의 전력이 채널 전력 대비 -110 dBc 이하를 만족하여야 한다. 다음 그림은 이러한 개념을 보인 것이다.

그러나 고출력 증폭기의 특성 등의 이유로 5 MHz 떨어진 인접 채널에서의 전력은 -50 dBc 수준으로 측정되었다. 이러한 특성은 인접한 타 SRR에 대해 채널 간섭을 주며 간섭으로 인하여 탐지 성능 저하와 오경보를 유발하는 요인이 되고 있다. 간섭의 악영향 중 탐지 성능 저하보다는 능동방호장치의 제한된 연막차장 대응 특성 때문에 오위협 유발이 더욱더 많은 문제를 일으킬 수 있다.

그림 2에 기존 방식을 이용하여 좌우 채널에 대한 간섭 시험 결과를 나타내었다. 그림에서 간섭원 SRR

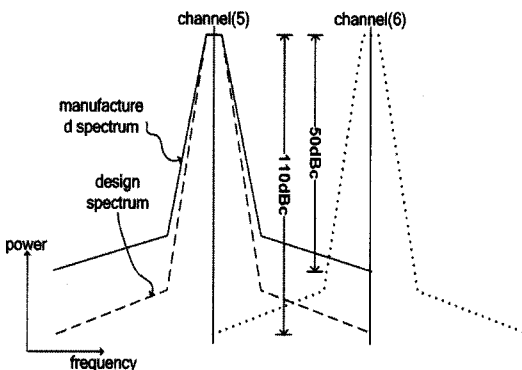


그림 1. SRR의 설계와 제작된 스펙트럼 개념도
Fig. 1. SRR spectrum concept.

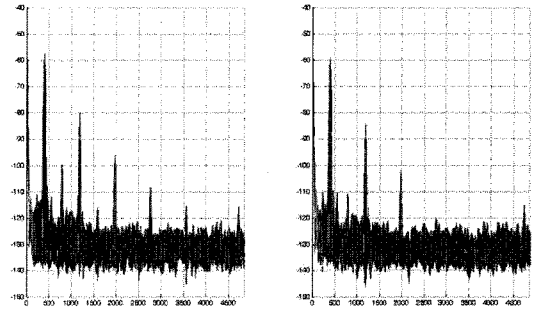


그림 2. 기존 방식의 간섭 시험 결과
Fig. 2. The interference test result of conventional method.

의 이격거리는 50 미터이며 송신 채널이 2번일 때, 내 SRR은 1번 채널로 수신하는 경우 표적 신호가 없는데도 거짓 표적이 여러 개 수신되는 간섭이 발생하였다.

III. 펄스 코딩 방식 설계

3-1 펄스간 코딩 개념

기존 방식의 채널 간섭에 의한 오경보 가능성을 없애기 위하여 송수신 펄스간에 코딩 방식을 적용한다. SRR에 적용한 펄스간 코딩은 CDMA(Code Division Multiple Access)처럼 암호화된 신호를 송신하고 암호를 해제한 후 신호 처리를 수행하여 암호가 맞지 않는 신호는 잡음으로 확산시켜 오경보를 억제하는 방식이다.

SRR은 펄스 송수신, 신호 처리 및 데이터 처리(스캔)에 0.2초가 소요되며, 1스캔의 신호를 얻기 위하여 6,144개의 펄스를 송수신한다. 6,144개 펄스의 위상을 기존 방식에서는 동일하게 유지하여 송수신하지만, 펄스간 코딩 방식에서는 매 펄스마다 상대적인

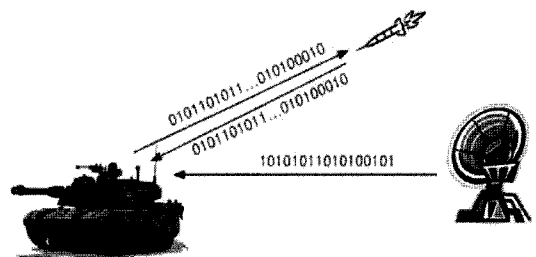
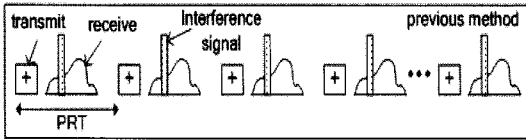
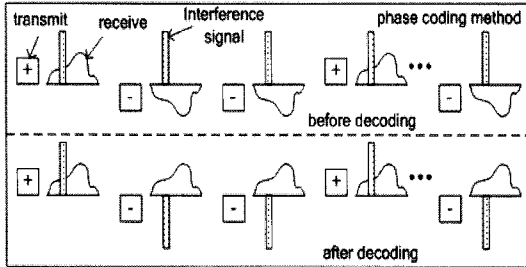


그림 3. 펄스간 코딩의 개념
Fig. 3. The concept of pulse-to-pulse coding.



(a) 기존 방식
(a) Conventional method



(b) 펄스간 코딩 방식
(b) Pulse-to-pulse coding method

그림 4. 기존 방식과 펄스간 코딩 방식의 파형 개념도

Fig. 4. The waveform concept of pulse-to-pulse coding and conventional method.

위상을 0° 와 180° 중에서 임의로 선택하여 송수신한다. 다음 그림 4는 이 개념을 보인 것이다.

그림 4에서 송신할 때 0° 의 위상으로 송신하였다면 수신할 때도 0° 의 위상으로 수신하며, 180° 위상으로 송신하였다면 수신할 때도 180° 위상으로 수신한다. 펄스간 코딩 방식의 한 예를 그림 5에 나타내었다.

그림 5의 위 그림에서 자체 신호가 수신되면 디코딩 후에 신호가 모두 "1"로 정상 수신되어 신호의 크기가 8이 되지만, 아래 그림에서 간섭원이 수신되면 신호의 크기가 0이 되어 펄스간 코딩 방식은 간섭

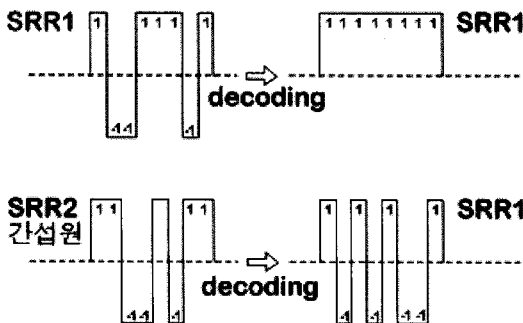


그림 5. 펄스간 코딩의 디코딩 예
Fig. 5. The decoding example of pulse-to-pulse coding.

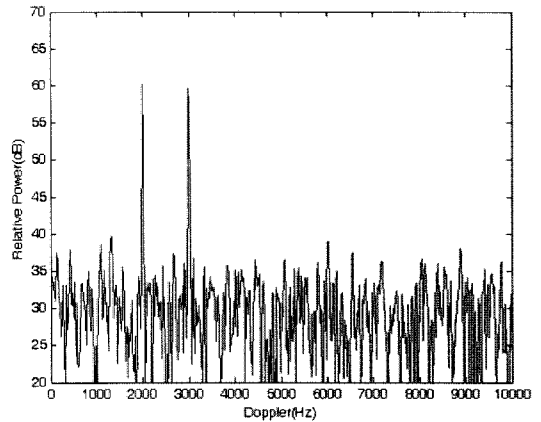
신호에 대해서 매우 강인하다.

기존 방식에 비해 펄스간 코딩 방식을 적용하는 경우 간섭 신호 억제 효과는 다음 식 (1)과 같다^[5].

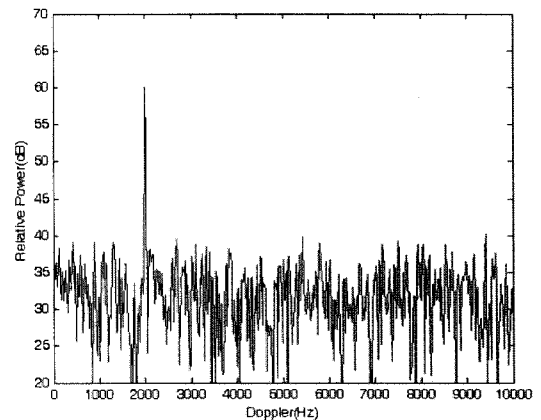
$$SF = 10 \log_{10} N_p \quad (1)$$

여기서 SF(Suppression Factor)는 억제 효과를 나타내고, N_p 는 펄스의 개수를 나타낸다. SF는 송수신 펄스 개수에 따라 달라지며, 6,144개 펄스를 사용하는 SRR의 경우 37 dB의 SF를 가지지만 신호 처리는 2,048개 펄스를 묶어서 버스트(burst) 단위로 처리하므로 버스트에서의 SF는 33 dB이다.

이러한 개념을 시뮬레이션을 통해 검증해 보았다. 시뮬레이션의 파라미터는 펄스 반복 주기 25.6 μ s,

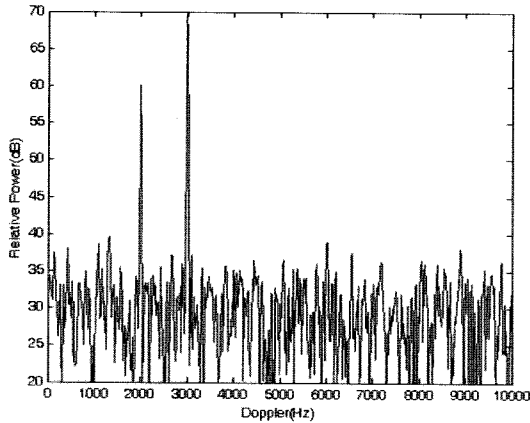


(a) 기존 방식
(a) Conventional method

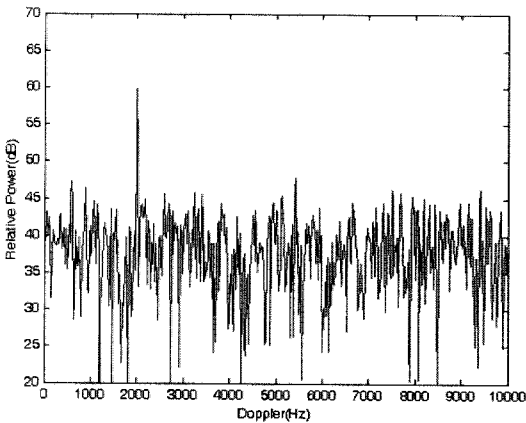


(b) 펄스간 코딩 방식
(b) Pulse-to-pulse coding method

그림 6. 간섭 신호의 SNR이 30 dB 수준인 경우
Fig. 6. Interference spectrum, SNR 30 dB.



(a) 기존 방식
(a) Conventional method



(b) 펄스간 코딩 방식
(b) Pulse-to-pulse coding method

그림 7. 간섭 신호의 SNR이 40 dB 수준인 경우
Fig. 7. Interference spectrum, SNR 40 dB.

펄스 개수 2048을 사용하였으며 표적(2 kHz) 신호와 간섭 신호(2.9 kHz)가 존재하는 경우, 또 간섭 신호의 SNR(Signal to Noise Ratio)이 30 dB인 경우와 40 dB인 경우에 간섭 신호가 얼마나 억제되고 잡음이 얼마나 상승하는지 알아보았다.

그림 6과 7은 표적 및 간섭 신호가 존재하는 경우에 간섭 신호의 SNR에 따른 간섭 배제 및 잡음이 상승하는 것을 보인 것으로 (a)의 기존 방식에서는 간섭 신호가 존재하지만 (b)의 펄스간 코딩 방식에서는 간섭 신호가 존재하지 않는다. SF가 33 dB 수준 이므로 펄스간 코딩 전 간섭 신호의 SNR이 33 dB 이상이면 펄스간 코딩 후에 잡음이 상승함을 볼 수 있다. 즉, 그림 6에서는 잡음 상승이 거의 없으나 그

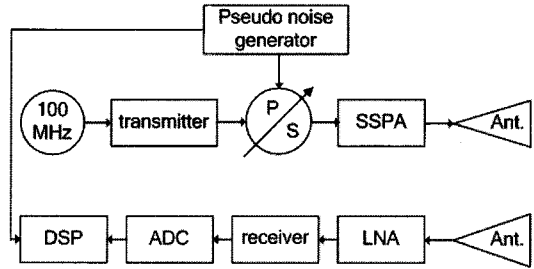


그림 8. 펄스간 코딩 방식에 대한 SRR 블록도
Fig. 8. The SRR block for pulse-to-pulse coding.

림 7에서는 잡음(약 10 dB)이 많이 상승했고 잡음 상승으로 인하여 표적 신호의 SNR이 감소함을 볼 수 있다.

3-2 구현 방안

펄스간 코딩 방식을 구현하기 위해서 위상 변위기와 Pseudo-random Noise(PN) 코드 생성기, 그리고 신호 처리기에서 소프트웨어를 통한 decoder의 구현이 필요하다. 그림 8은 SRR의 블록도로 기존 방식의 블록도에서 위상 변위기가 삽입된 위치를 보인 것이다.

위상 변위기는 가능하면 송신기의 최종 단계에 설치하여야 송수신된 신호를 제외한 모든 신호에 대한 억제 성능을 최대화 할 수 있다. 즉, 시스템 내부에서 발생하는 누설 신호 또한 간섭 신호로 취급되어 잡음으로 변환될 수 있다. 위상 변위기의 위상을 임의로 제어하기 위한 제어 신호는 PN 코드 생성기를 사용하여 생성한다. 다음 그림은 PN 코드 생성기의 구조를 보인 것이다.

PN 코드 생성기는 총 16개의 탭으로 구성되어 있으므로 코드의 반복 주기는 $2^{16}=65,536$ 이다. 따라서 SRR은 한 스캔에서 6,144개의 펄스를 송수신하므로

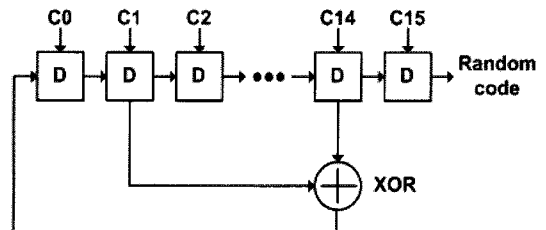


그림 9. PN 코드 생성기
Fig. 9. PN code generator.

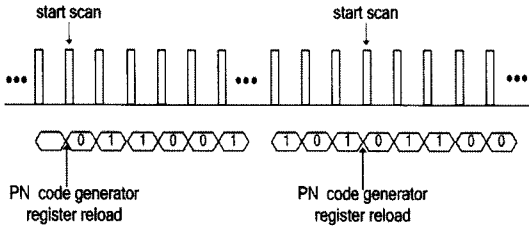


그림 10. PN 코드 생성기의 계수 재설정 타이밍
Fig. 10. The resetting timing for parameter of PN code generator.

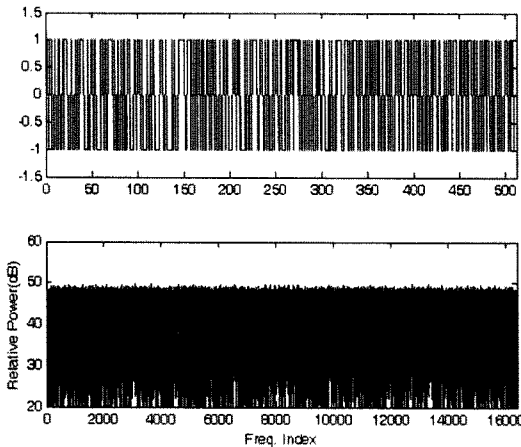


그림 11. PN 코드의 생성 결과와 전력 스펙트럼
Fig. 11. The generation and power spectrum of PN code.

스캔 내에서 코드가 반복되지 않기 때문에 문제가 발생하지 않는다. 각 탭의 계수는 신호 처리기의 소프트웨어에서 설정하며, 이 값에 따라서 코드가 달리 생성된다. 스캔 시작 시점에서 탭 계수는 D-플립 플롭에 로딩되어 스캔마다 일정한 코드가 생성되도록 한다.

이러한 방식으로 생성되는 PN 코드에 대한 코드의 생성 결과와 전력 스펙트럼의 시물레이션 결과를 그림 11에 보였고, 생성된 코드의 전력 스펙트럼 확산 형태가 백색 잡음을 알 수 있다.

3-3 내부 누설 신호에 의한 잡음의 상승 효과 및 억제

SRR은 RF부의 내부 누설 신호에 의해 도플러 0 Hz의 성분이 존재한다. 이 신호는 위상 변위기를 거치지 않았기 때문에 펄스간 디코딩시 잡음 성분으로 변환된다. 따라서 잡음 레벨이 높이 올라가기 때문

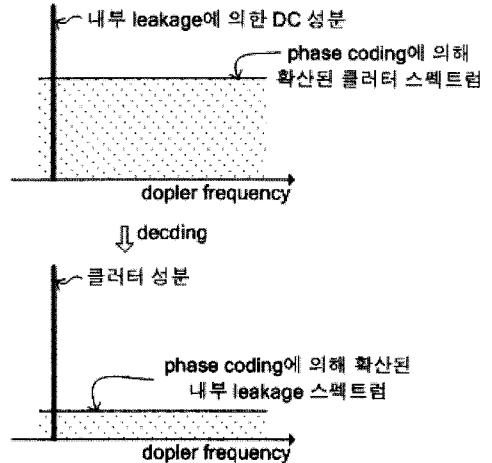


그림 12. 내부 누설 신호에 의한 잡음의 상승 영향
Fig. 12. The increase noise due to leakage signal.

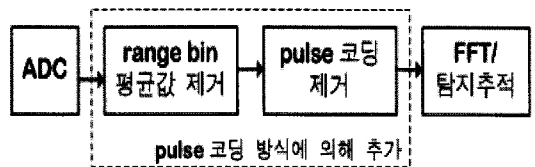
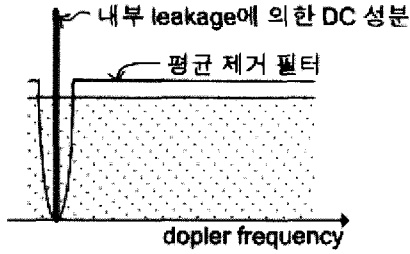


그림 13. 잡음 상승을 억제하기 위한 신호 처리 블록도
Fig. 13. The signal process block for noise suppression.

에 탐지 성능이 저하될 수 있다. 그림 12는 이러한 문제점을 보인 것이다. 펄스간 코딩된 상태에서 송수신된 자체 신호의 도플러 스펙트럼은 잡음처럼 퍼져 있고, 내부 누설 신호는 0 Hz에 라인 스펙트럼으로 존재한다. 이 신호를 디코딩하면 그림 12의 아래 그림과 같이 스펙트럼이 변환되는데 잡음처럼 퍼져 있던 자체 송수신된 신호는 라인 스펙트럼으로 변환되고 내부 누설 신호는 잡음 형태로 확산된다.

내부 누설 신호가 시스템 잡음 전력에 비해 33 dB 이상 큰 전력을 가지게 되면 디코딩 후 잡음이 상승한다. 이를 방지하기 위해서는 디코딩 전에 내부 누설 신호를 제거할 필요가 있다. 다음 그림은 이러한 개념의 신호 처리 블록도를 보인 것이다.

그림 14는 이러한 개념을 신호 처리에 적용하였을 경우 나타나는 효과를 보인 것이다. 내부 누설 신호를 제거함으로써 펄스간 코딩 복원 후에 상승하는 잡음을 억제하였고, 버스트 전체에 대해 평균을 제거하므로 송수신된 신호의 왜곡은 거의 없다.



↓ decding

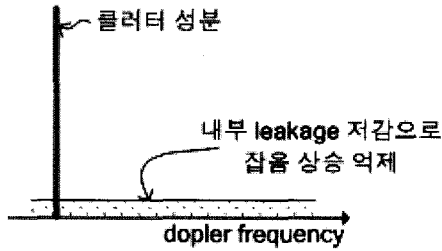


그림 14. 내부 누설 신호 제거로 잡음의 상승 억제
Fig. 14. The noise suppression due to leakage rejection.

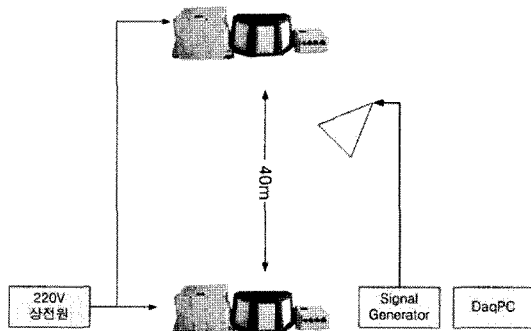


그림 15. 간섭 시험 구조
Fig. 15. Interference test structure.

IV. 시험 결과

그림 15는 간섭 시험을 위한 시험 세팅을 보인 것으로 간섭 원과 시험 대상은 40 미터 떨어져 있으며 간섭원의 채널은 2번으로 고정하였다. 시험 대상의 채널은 1번부터 10번까지 변경하면서 기존 방식과 펄스간 코딩 방식에 대한 간섭 시험을 수행하였다.

이 상태에서 그림 16에 기존 방식의 시험 결과, 데이터를 보인 것으로 간섭 신호로 인한 잡음 상승 및 라인 스펙트럼이 보인다. 이 라인 스펙트럼으로 인하여 오경보가 발생한다.

그림 17은 펄스간 코딩 방식을 적용하였을 경우

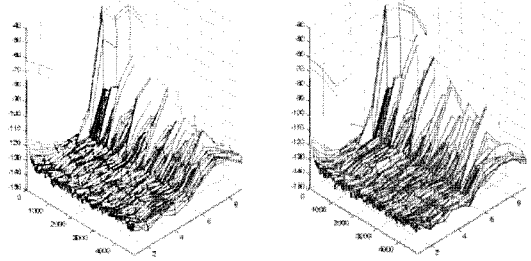


그림 16. 기존 방식의 간섭 시험 스펙트럼
Fig. 16. The interference spectrum of conventional method.

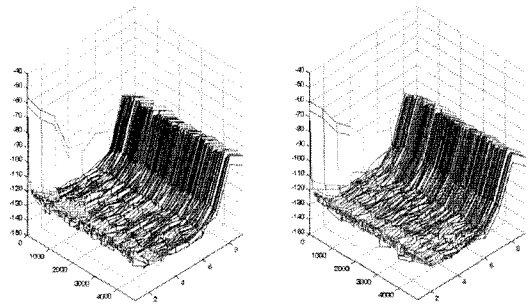


그림 17. 펄스간 코딩 방식의 간섭 시험 스펙트럼
Fig. 17. The interference spectrum of pulse-to-pulse coding.

의 시험 결과 데이터를 보인 것으로 간섭 신호가 모두 잡음 형태로 변환되었으며, 잡음이 상승하는 현상이 발생했지만 오경보가 발생하지는 않았다.

표 1에 기존 방식과 펄스간 코딩 방식을 적용하여 시험한 결과를 비교하였다. 표로부터 기존 방식에서

표 1. 간섭 시험 결과 비교

Table 1. The comparison of interference test.

| 채널 | 기존 방식 (오경보 횟수) | 펄스간 코딩 방식 (오경보/오위협 횟수) |
|----|-------------------|---------------------------|
| 1 | 149/13 | 0/0 |
| 2 | 463/39 | 0/0 |
| 3 | 30/2 | 0/0 |
| 4 | 480/47 | 0/0 |
| 5 | 224/26 | 0/0 |
| 6 | 107/5 | 0/0 |
| 7 | 220/14 | 0/0 |
| 8 | 241/25 | 0/0 |
| 9 | 165/19 | 0/0 |
| 10 | 127/8 | 0/0 |

는 오경보가 많이 발생하였지만 펄스간 코딩 방식에서는 오경보 및 능동 방호 장치에서 중요한 인자인 오위협이 전혀 발생하지 않았다.

V. 결 론

SRR의 간섭에 의한 오경보를 원천적으로 배제하기 위하여 펄스간 코딩 방식을 적용하여 채널 간섭에 대한 배제 효과를 확인하였다. 기존 방식에서는 오경보와 오위협이 발생하였으나 펄스간 코딩 방식에서는 오경보와 오위협이 전혀 발생하지 않았다. 그러나 앞으로 위상 변위기의 오차 및 내부 누설로 인한 잡음의 상승과 같은 현상 등은 좀 더 연구해야 할 분야이다.

참 고 문 헌

[1] Richard T. Lord, "Radio frequency interference su-

ppression applied to synthetic aperture radar data", *XXVIIIth General Assembly of International Union of Radio Science, USRI 2005*, New Delhi, India, Oct. 2005.

- [2] Hao Zhou, Biyang Wen, and Shicai Wu, "Dense radio frequency interference suppression in HF radars", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 12, pp. 361-364, May 2005.
- [3] 박규철, 홍성용, "지상 기동 무기 체계에 장착된 미사일 경고 레이더의 간섭에 대한 연구", *한국군사과학기술학회지*, 11(2), pp. 5-15, 2008년 4월.
- [4] 박규철, 하중수, "전차 탑재 L-밴드 펄스 도플러 레이더 설계 및 제작", *한국전자과학회논문지*, 20(6), 2009년 6월.
- [5] 박규철, 하중수, "흑표 방호용 레이더 phase coding을 이용한 채널 간섭 억제, 국방과학연구소 연구보고서, 2009년 6월.

박 규 철



1989년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 1991년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 근거리 레이더 시스템 설계, Tx/Rx 모듈 설계

하 중 수



2001년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 3월~현재: 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] 레이더 신호 처리, 센서 및 성능분석 M & S