

확장성을 갖는 다목적 코히어런트 모노펄스 레이더 시뮬레이터 구현

Realization of Multi-purpose Coherent Monopulse Radar Simulator with Expandable Feature

金 在濬* · 李 鍾必* · 李 一根**

Jae Jun Kim* · Jong Pil Lee* · Ill-Keun Rhee**

요 약

본 논문에서는 확장성을 갖는 다목적 코히어런트 모노펄스 레이더 시뮬레이터를 구현 하였다. 실제 목표물이 존재하지 않는 실내 환경에서 운영 가능토록 안테나의 기계적인 회전신호, 펄스 레이더의 운용타이밍 신호 및 표적 신호 연구를 통해 이를 모의할 수 있는 TSG(Timing Signal Generator)보드를 개발하여 시뮬레이터에 탑재 하였다. 또한 레이더 기능 알고리즘의 추가나 운용 시나리오 변경에 의한 하드웨어 재구성이나 확장이 용이하도록 다중 DSP 구조의 프로그램 가능한 레이더 신호처리를 내장 하였다. 모의실험을 통하여, 구현된 코히어런트 모노 펄스 레이더 시뮬레이터가 실제 사용 중인 레이더 전시기(RD9800)상에 움직이는 목표물의 궤적을 정확하게 지시해 주는 것을 확인할 수 있음을 보였다.

Abstract

This paper presents the realization schemes for a multipurpose coherent mono-pulse radar Simulator with extendable features. We developed and installed the TSG(Timing Signal Generator) board which can simulate a mechanically rotate signal of antenna, an operation timing signal of pulse radar and target signal, to operate the simulator without real target in the indoor environment. Also, with the insertion of the radar signal processor, it came to be easy to achieve the addition of radar function algorithms, to rebuild or extend the multi-DSP Architecture into the simulator. Throughout the simulation results, we verified that the designed coherent mono-pulse radar simulator can exactly display a moving target on the realistic monitor(RD 9800).

Keyword : 레이더 , 시뮬레이터, 전자전, 신호처리기, 제밍효과도

1. 서 론

레이더는 전자파를 사용하여 대상 물체의 거리 및 방향을 탐지하는 장비이며, 전자전(EW : electronic

warfare)장비는 레이더가 방사하는 전자파를 수집하여 레이더의 위치를 찾아내고 필요시 방해전파를 사용하여 레이더의 운용을 방해하는 장비이다. 이러한 전자전장비는 전파를 탐지하는 전자지원(ES : electronic support)장비와 레이더 신호를 방해하는 전자공격(EA : electronic attack)장비로 크게 나눌 수 있으며, 전자

* 한남대학교 전자공학과

(Dept. of Electronics Eng., Hannam University)

接受日:2003年 10月 24日, 修正完了日:2004年 6月 29日

* 교신저자 (Correspondence author)

공격장비는 방해하고자 하는 레이더의 타이밍 신호에 동기된 재밍신호를 발생하는 경우 가장 효과적 운용이 가능하다.[1] 최신 레이더들은 전자전장비의 전자파 방해 영향을 줄이기 위하여 송신신호와 수신신호의 위상차를 이용하여 표적신호를 탐지하는 코히어런트(coherent) 방식을 사용하고 있다. 따라서 최신 레이더에 대한 전자전 장비의 재밍효과도를 분석하기 위한 시험환경 구성에는 코히어런트 레이더가 반드시 필요하다. 이 경우 실제 레이더가 코히어런트 펄스 레이더 기능을 대신할 수도 있지만, 다양한 성능분석을 위하여 각종 계측장비들로 구성된 모의 레이더를 구성하는 것이 일반적이다. 코히어런트 모노펄스 레이더 시뮬레이터를 이용한 EA환경 구성도는 그림1과 같다.

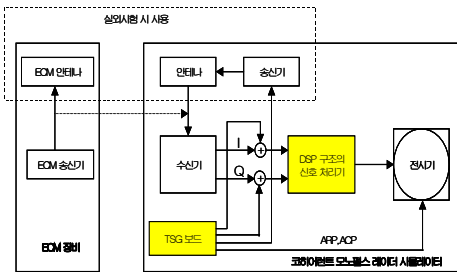


그림 1. 코히어런트 모노펄스 레이더를 이용한 EA 환경 구성도

Fig 1. Block diagram of EA environment using the coherent mono-pulse radar

본 논문에서는 실제 목표물이 존재하지 않는 실내 환경에서 재밍효과도를 시험할 수 있도록 실외에서 돌아가는 안테나의 기계적인 회전신호를 모의하고 펄스레이더의 운용타이밍 신호 및 임의의 궤적을 갖는 표적 모의 레이더 신호 처리기에서 필요로 하는 각종 신호를 연구하여 이를 모의 할 수 있는 TSG (timing signal generator)를 개발하여 실내 환경시험시 용이하도록 구성하였다. 또한 레이더 기능 알고리즘의 추가나 운용 시나리오 변경 등에 의한 하드웨어 재구성이나 확장 용이한 DSP 구조의 프로그램 가능한 레이더 신호처리기[2] 에 다양한 알고리즘을 탑재시켜, 각각의 알고리즘에 따라 변경되는 재밍 알고리즘을 적용 시의 재밍효과를 알 수 있도록 하였다. 그 외에 주변 장비들은 계측기로 구성하여 가능한 모든 주파수대역에서 사용할 수 있도록 구성하였으며, 안테나의 기계적인 회전신호, 펄스레이더의 운용타이밍 신호 및 표적신호

연구를 수행하였다. 이를 토대로 상기 신호를 모의할 수 있는 TSG (Timing Signal Generator)보드 사양을 결정하고 개발하여 측정된 결과들을 보였다. TSG보드를 시뮬레이터에 탑재하여 다중 DSP 구조 신호처리기와 실제 레이더에서 사용하고 있는 레이더 전시기(RD9800)에 TSG 보드에서 모의한 타겟 신호와 안테나의 방위가 신호를 입력하여 실제 환경에서 타겟 신호를 검출한 것과 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 구현된 코히어런트 레이더 시뮬레이터의 실제 형상은 그림 2와 같다.

본 논문에서는 먼저 제 2장에서 안테나 신호의 특성을 분석한 결과를 보이고, 이를 통해 제 3장에서 TSG 보드와 신호처리기를 포함한 시뮬레이터의 설계 원리 및 과정을 기술하였으며, 제 4장에서는 설계된 시뮬레이터를 활용한 모의실험 결과를 분석하고, 제 5장에서 결론을 내린다.

본 논문에서 구현한 시뮬레이터는 유사한 제품은 존재하지 않으며 단독으로 구현된 장비이다.

II. ARP, ACP, DT 펄스 특성 분석

EA장비의 실내시험환경을 구축하기 위해서는 기계적으로 구동하고 있는 안테나 신호를 모의할 필요성이 있다. 안테나가 회전함으로써 얻어지는 신호에는 ARP(Azimuth Reference Pulse), ACP(Azimuth Change Pulse) DP(dwel time) Pulse가 있다.



그림 2. 구현된 코히어런트 모노 펄스 레이더 시뮬레이터

Fig 2. The implemented coherent mono-pulse radar simulator

ARP와 ACP 신호는 각각 안테나의 절대적 기준방위 및 이를 기준으로 한 상대방위를 알려주는 신호이다. 일반적인 경우 ARP는 스캔 당 한번 발생하며, ACP는 ARP를 기준으로 하여 스캔 당 4,096(12-비트) 또는 16,384(14-비트)개의 펄스를 발생하는 경우가 대부분이다. DT는 안테나가 방위각 방향으로 회전하는 경우 펄스누적을 수행할 수 있는 최대 시간으로서, 안테나의 빔폭을 θ_{az} [도], 회전율을 ω [도/초]로 정의할 때 DT는 식(1)과 같이 표현되며, ARP를 기준으로 ACP 개수를 계수하여 얻어진다.

$$DT = \frac{\theta_{az}}{\omega} [\text{초}] \quad (1)$$

이 밖에도 송신기를 위한 송신펄스와 CPI 펄스 모의 표적 트리거 펄스 모의 표적신호 등이 필요하다.

코히어런트 레이더의 송신펄스는 DT펄스를 기준으로 발생하는 n 개의 펄스열로 구성됨으로, DT 내에서의 최대 송신펄스 수는 식(2)과 같이 주어진다.

$$n = \frac{\theta_{az} f_p}{\omega} \quad (2)$$

여기서, f_p 는 펄스반복주파수(PRF : pulse repetition frequency)를 의미한다. 실제 레이더 시스템에 있어서 식(1)으로 정의되는 DT는 그림 3과 같이 여러 개의 펄스열로 구성된 다수의 CPI로 나누어지며, PRI 및 캐리어(carrier)주파수가 CPI 단위로 변경되기도 한다. 즉 CPI는 코히어런트 레이더에 있어서 신호 처리기의 기본 데이터 블록을 의미한다. 송신펄스에 대한 CPI 단위의 PRI 변경은 표적의 맹속(blind speed)효과를 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 레이더 측면에서는 전자보호(EP : electronic protection) 기능을 수행하게 된다[2]. 송신신호의 펄스폭은 선형주파수변조(LFM : linear frequency modulation)등과 같이 펄스압축기법을 적용하는 경우 레이더에 따라 다양하게 변할 수 있다.[3]

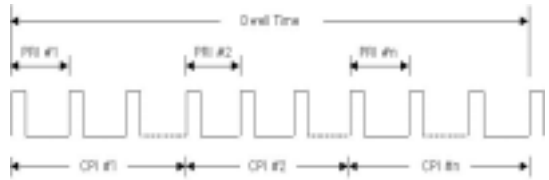


그림 3. DT 펄스의 구성

Fig 3. Configuration of DT pulse

III. TSG 보드와 신호처리기 설계 및 활용 연구

앞장에서 기술한 펄스 특성 연구 결과를 토대로 TSG 보드의 설계 규격은 표1과 같다. 최신 레이더들의 파라메타 값들과 다양한 성능을 감안하여 특정한 값으로 국한 하지 않고 일정 범위를 설정하여 다양한 모노펄스 코히어런트 레이더를 모의할 수 있도록 하였으며 구현된 보드는 그림 4와 같다.

표 1. TSG보드 설계 규격

Table 1. Design spec of TSG board

항 목	설정 범위	외부 입력	
분당 ARP 수	10~60 (10RPM 단위)	가능	
스캔당 ACP 수	4,096 / 16,384		
DT 펄스당 ACP 수	1 ~ 4,095		
A/D 클럭	20 MHz	가능	
송신 펄스	반복주기	1 ~ (2 ¹⁶ -1)A/D 클럭	가능
	펄스 폭	1 ~ (2 ⁸ -1)A/D 클럭	
DT당 CPI 펄스 수	1 ~ 15	가능	
CPI당 송신펄스 수	1 ~ 255		
표적 트리거 펄스	임의케적(거리, 방위각)		
스캔당 표적수	1 ~ 1,024		

구현된 TSG 보드는 제어프로그램에 원하는 값을 설정하여 원하는 레이더의 구현이 가능하며 사용된 프로

그림의 창은 그림5와 같다. 이렇게 만들어진 TSG 보드는 그림1과 같이 EA 환경 구성을 위한 장비에 탑재하였으며 각각의 신호들은 전시기와 다중 DSP 구조의 프로그램 가능한 레이더 신호처리기의



그림 4. VME BUS용 TSG보드
Fig 4. TSG board for VME bus

입력 단으로 출력된다. 다중 DSP 구조의 신호 처리기는 SBS사의 VP74221-NOBC(VME PC)를 Host Machine으로 하며 8 slot 19" VME Rack의 백프레임에 장착하였으며 Morocco-2를 Target Machine으로 구성하였다[4] 2채널의 비디오 신호를 5~65MHz 샘플링 주파수(12비트)로 A/D변환 가능하도록 ICS사의 ICS-550 A/D가 탑재된 DSP 보드로 선정하였다.[5]

TSG보드로부터 만들어진 표적신호는 A/D 변환을 거쳐 최대 132 Mbytes/s의 전송속도로 Morocco-2 보드로 전송된다.[6]



그림 5. TSG보드 제어프로그램 실행화면
Fig 5. The running Picture for TSG board control program

Morocco-2보드는 120 MFLOPs의 신호처리능력을 갖는 ADSP-21060 DSP 전용 칩이 8개 탑재되어 있다. 탑재된 8개의 프로세서는 2개씩 한 개의 클러스터를 구성하며, 각 클러스터는 프레임 메모리와 공유 메모리를 가지고 있다. 신호 처리기능 알고리즘 개발은 호스트에서 실시간 커널 APEX 3.2-PRO를 이용하여 개발 후, 각 DSP에 다운 로딩 한다. 신호처리기내부에서는 프로그램으로 구현된 신호처리 알고리즘을 거치게 되는데 신호처리 과정은 그림 6과 같다.

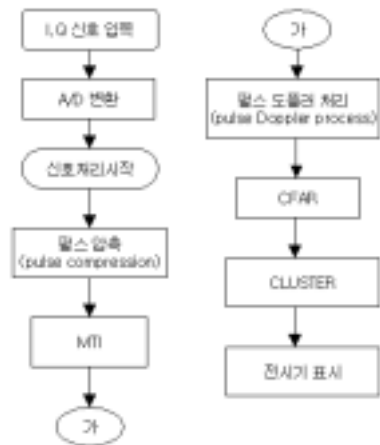


그림 6. 레이더 신호처리 순서도
Fig 6. Flow chart of radar signal processing

IV. 모의시험 및 그 결과 분석

논문의 본 장에서는 구현한 코히어런트 모노 펄스 레이더 시뮬레이터를 이용하여 모의시험을 수행하여 분석된 결과를 기술하였다.

구현된 TSG 보드와 신호 처리기를 거친 표적신호가 실제 사용하고 있는 레이더와 동일한 동작을 하는가를 알아보기 위해 실제 해안지대에서 사용하고 있는 전시기(RD9800)입력 단에 코히어런트 모노 펄스 레이더에서 모의한 신호들을 인가하여 실제 전자전 환경에서 타겟을 획득한 것과 같은 결과를 보이는지 시험하였다. 이때 사용한 TSG 보드의 설정 값은 표2와 같다.

모의시험에 사용한 시나리오는 다음과 같다.

3GHz의 송신주파수와 PW 24μs , PRI 750μs의 송

신펄스로 빔 폭이 1.5°인 안테나를 10RPM의 속도로 방사하고 있는 레이더가 3Km 지점으로부터 180m/s의 속도로 다가오고 있는 비행체를 모의하여 그 결과를 분석하였다.

그림 7은 안테나를 10RPM으로 선정한 경우 ARP 및 ACP의 측정 결과로써 ARP의 주기는 6sec로 정확하게 10RPM으로 회전하고 있음을 알 수 있다.

표 2. TSG 보드 파라메타 설정값
Table 2. Parameter setting value for TSG board

항 목	설정 값	비 고
분당 ARP 수	10RPM	
스캔당 ACP수	4096	
DT당 ACP 수	17,18	
A/D 클럭	2.5MHz	
송신펄스PRI	750 μ s	
송신펄스PW	24 μ s	
DT당 CPI수	2	
CPI당 송신펄스 수	8	
표적 트리거수	100	
스캔당 표적수	1	

ACP는 ARP 한주기를 4096개의 펄스 구간으로 나누어 준다. 즉 360도를 약 0.088도의 분해능을 갖고 있음을 알 수 있다.



그림7. ARP 및 ACP 측정 결과
Fig 7. Measured result of ARP and ACP

안테나의 빔 폭을 1.5°로 설정하였으므로 한 스캔(360도)에 240개의 DT 구간이 존재하며 이에 대한 ACP의 개수는 17.07개가 된다.

방위각정보에 대한 오차를 최소화 하기위해 DT당 ACP의 개수를 17개로 하고 15의 배수에 해당하는 TD에서의 ACP 개수는 18이 되도록 하였다. 따라서 14번째까지의 DT 펄스 간격은 24.9ms(1464.9ms x 17), 15번째의 DT 펄스 간격은 26.37ms(1464.9ms x 18)가 된다.

그림 8은 ARP를 기준으로 한 첫 번째 DT 펄스를 측정된 결과로서 24.9ms 임을 확인할 수 있다.

그림 9는 ARP를 기준으로 한 마지막 번째 DT펄스로서, 26.3669ms임을 확인할 수 있다. DT당 CPI수를 2로 각 CPI에서의 송신펄스수를 11, PRI(Pulse Repetition Interval)를 750 μ s로 설정하였기 때문에 CPI 펄스는 DT 펄스로부터 0/8.25/24.9ms(또는 26.37ms)에서 발생한다.



그림 8. ARP를 기준으로 한 첫 번째 DT펄스 측정결과

Fig 8. The first DT pulse measured result that referenced ARP



그림 9. ARP를 기준으로 한 마지막 번째 DT펄스 측정결과

Fig 9. The last DT pulse measured result that referenced ARP

그림 10은 DT펄스로부터 0ms와 8.25ms에서 CPI펄스가 발생됨을 알 수 있다.

그림 11은 PRF 주기를 측정한 결과이며 설정치와같이 PRI가 750 μ s임을 알 수 있다.

그림 12는 PRF의 펄스 폭을 측정한 결과이며 PW가 23.99 μ s로서 설정치와 같음을 알 수 있다.

그림 13은 표적 트리거 펄스 중 PRF펄스를 기준으로 하여 거리셀 트리거 펄스를 측정한 결과로서 거리셀 50번째(20 μ s)에서 트리거 되고 있음을 알 수 있다. 이는 Target 신호가 트리거 펄스에 상승 에지에서 발생하므로 20 μ s(A/D클럭(400ns)x50셀) 즉 3Km(20 μ s x150m)지점에서 Target이 발생하게 된다.



그림 10. ARP,DT 펄스를 기준으로한 CPI펄스 측정 결과

Fig 10. The CPI pulse measured result that referenced ARP, DT



그림 11. PRF 주기 측정 결과
Fig 11. The measured result of PRF interval



그림 12. PRF 펄스폭 측정 결과
Fig 12. The measured result of PRF pulse width



그림 13. 표적 트리거 펄스 측정결과(거리정보)
Fig 13. The measured result of target trigger pulse (distance information)



그림 14. 표적 트리거 펄스 측정결과 (이동 거리 정보)
Fig 14. The measured result of target trigger pulse (moving distance information)

그림 14는 발생된 Target이 3셀($1.2\mu s$)간격으로 증가하고 있다. 즉 180m/s의 속도로 이동하고 있음을 알 수 있다.

그림 15는 ARP를 기준으로 하여 방위각 셀 트리거 펄스를 측정할 결과이다. 표적의 위치를 ARP를 기준으로 2번째 CPI로 하였고 TD당 CPI수가 2이므로 표적의 위치는 방위각 셀 트리거 펄스 24.9ms($1464.9\mu s \times 17$)가 발생함을 알 수 있었다. 즉 방위각 1.5도와 3Km 지점에서 표적이 발생하여 계속 방위각과 거리를 증가시키며 선회하는 표적이 발생했음을 알 수 있다.

그림 17은 실제 표적신호를 베이스밴드 신호인 I,Q 신호로 정장한 값에 의해 트리거 펄스 발생 시점에서 정확하게 발생함을 알 수 있다.

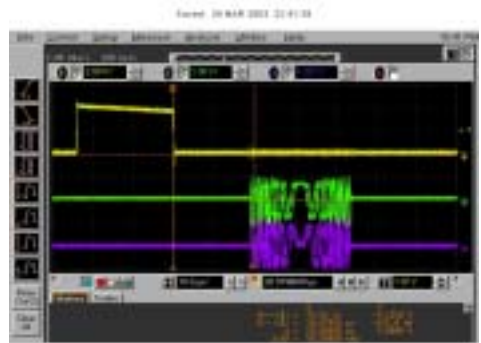


그림 17. I,Q신호 측정결과

Fig 17. The measured result of I, Q signal



그림 15. 표적 트리거 펄스 측정 결과 (방위각 정보)

Fig 15. The measured result of target trigger pulse (bearing information)



그림 16. 표적 트리거 펄스 측정 결과 (방위각 이동 정보)

Fig 16. The measured result of target trigger pulse (moving bearing information)

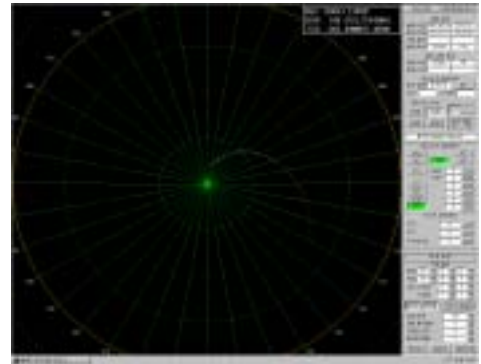


그림 18. 전시기 출력 결과

Fig 18. Output result of displayer

그림 18은 지금까지 기술한 그림 7-그림 17까지의 표적 신호를 실제 전 시기에서도 사용 가능한지를 보기 위해 전시기 입력 단에 입력한 결과를 보이고 있다. 지금까지 구현한 여러 가지 펄스들이 이 결과를 통해 처음 설정한 시나리오에 따라 목표물의 이동 속도와 경로를 표시하고 있음을 확인할 수 있었다.

V 결 론

EA(electronic attack)장비 개발 시 코히어런트 제밍 효과도의 효율적인 시험환경 구축은 필요 불가결한 과제이다. 하지만 시험 환경 구축 시 실제 레이더를 구비하여 시험한다는 것은 비용과 시간 면에서 굉장히

어려운 일이다.

따라서 본 논문에서 구현한 코히어런트 모노 펄스 레이더를 통해 다양한 레이더를 구현함으로써, 효과적인 시험 측정이 가능할 것으로 판단된다. 또한 레이더의 개발이나 활용 측면에서, 레이더 내부에서 이루어지고 있는 각종 신호를 눈으로 볼 수 있어 레이더를 이해하기에 더욱 용이 할 것으로 판단된다.

본 장비를 활용하여 실내에서 획득 할 수 없는 타겟 신호와 안테나의 기계적인 움직임에 의해 발생하는 여러 가지 신호들을 모의할 수 있으며, 모의 하고자하는 신호들은 파라미터 값으로 수정이 가능하여 설정된 시나리오대로 동작이 가능하다. 또한 다양한 레이더를 구현하기 위하여 하드웨어는 수정하지 않고 소프트웨어 알고리즘만 수정함으로써 레이더의 운영개념을 변경하는데 용이하도록 개발되었다.

개발된 시뮬레이터의 실용화 가능 여부를 판단하기 위하여 모의된 신호를 입력하여 모의실험을 수행한 결과, 실제 사용 중인 레이더 전시기를 통해 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

[1] Leroy B. Van Brunt, "APPLIED ECM," EW Engineering, Inc. Vol. 1, July 1980, pp.28-49

[2] LG이노텍(주), 최신레이더 신호 모의 발생 기술 연구 중간보고서, 2002. 1

[3] 공군전투발전단, 전자전/레이더 원리, 2002. 4, pp.187-192

[4] Morocco V8 Carrier Board Technical Reference, Spectrum, Revision 2.01, Aug. 1999

[5] ICS-550 SDK User's Manual, Interactive Circuits and System Ltd, 1999

[6] ADSP-2106x SHARC User's Manual, Analog Device Inc. Second Edition

저 자 소 개

김 재준



1998년2월 : 울산대학교 제어계측공학과(공학사)

2002년2월 : 한남대학교 전자공학과(석사)

2002년3월~현재 : 한남대학교 전자정보통신공학과(박사과정)

1998년5월~현재 : (주)미래시스템 연구개발부차장
[주 관심분야] 전자전, 시뮬레이터, 레이더, 에레이 신호처리

이 일근



1982년2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1986년6월 : 미국 Oregon State University 전자공학과(공학석사)

1990년2월 : 미국 Oregon State University 전자공학과(공학박사)

1990년3월~현재 : 한남대학교 정보통신멀티미디어공학부 교수

[주 관심분야] 에레이 신호처리, 스펙트럼 분석 및 관리

이 종필



1999년2월 : 한남대학교 전자공학과(공학사)

2004년2월~현재 : 한남대학교 전자공학과 석사과정

2000년3월~현재 : (주)미래시스템

[주 관심분야] 전자전, 레이더 신호처리