

초계함용 HMS(Hull Mount Sonar)를 이용한 어뢰방어시스템 연구

김희연* · 김영길**

*아주대학교

Torpedo defense system research using HMS(Hull Mount Sonar) of PCC(Patrol Combat Corvette)

Hee-earn Kim* · Young-kil Kim**

*Ajou University

E-mail : hekim70@ajou.ac.kr

요 약

초계함(천안함급)에 탑재된 HMS(Hull Mount Sonar) 장비는 능동모드에 적합하도록 설계되어 있다. 이에 센서 및 시스템 특성이 어뢰 탐지 주파수 대역에 적합하도록 구성되어 있지는 않다. 이에 초계함에 장착된 기존 HMS 장비를 이용한 어뢰탐지 기능 구현을 위하여, 초계함 함 별 입력 특성을 분석하고, 입력 주파수 신호에 대한 역보상 회로 설계, 입력 신호 크기에 따른 AGC(Auto Gain Control) 기능 구현 및 함별 신호특성에 따른 대역설정 기능을 통하여 함정 별 특성 및 운용환경 특성에 맞는 어뢰방어시스템을 구현한다.

ABSTRACT

HMS(Hull Mount Sonar) equipment mounted on PCC(Patrol Combat Corvette) is suitably designed for active mode, and the specific character of sensor or system is not appropriate for the frequency range to detect a torpedo. In this article, in order to implement the function of detecting torpedoes with HMS of existing PCC, I will analyze the feature of input signals each PCCs and design a circuit to compensate reversly for the input signal in certain frequency. And also, I will suggest the most adequate torpedo defense system suitable for the special operating environment and the characteristic of naval vessels, implementing functions such as AGC of input signal and fixing the frequency range of different input signals per different warships.

키워드

어뢰음향대향체계, AGC(AutoGain Control), HMS(Hull mount sonar), Sonar, 능동모드

1. 서 론

Sonar를 이용한 어뢰음향 대향체계는 센서로부터 어뢰소음을 측정하여 방위 별로 빔형성을 수행하고 각 빔 별 수신되는 데이터에 대한 주파수 특성을 확인하여 어뢰신호인지 확인하고 경보하는 기능을 가지고 있다.

북한의 어뢰공격으로 침몰한 천안함급의 초계함에는 AN/SQS-58의 HMS(Hull mount sonar)

소나 장비가 탑재되어 있다. 소나에는 크게 액티브 소나(능동소나)와 패시브 소나(수동소나)가 있으며, 액티브 소나의 경우 자신이 펄스를 송신하여 반사되는 신호를 받아 물체를 파악하는 방식이고, 패시브 소나의 경우 상대방에서 발생하는 소음을 수신하여 물체를 파악하는 방식이다. 천안함급 초계함에 장착된 sonar 장비는 능동소나 장비로 구성되어 있다. 따라서 시스템이 능동 소나의 송신 펄스 주파수를 잘 받아 들일 수 있도록 센서의 주

파수 응답특성이 설계 되어 있으며, 이는 어뢰 탐지 주파수 대역과는 상이한 부분이 있다.

천안함 사태 이후 함의 생존성을 높이기 위하여 어뢰 대항 체계에 대한 요구가 높아지게 되었으며, 기존 센서 시스템을 가지고 어뢰방어체계를 설계하도록 요구사항이 발생하게 되었다. 이에 기존 장비의 센서 신호를 분석하고 이에 적절하도록 입력단을 설계하여 어뢰 음향대항체계의 신호처리가 적절하게 동작될 수 있도록 시스템을 구성하는데 연구의 목적이 있다.

II. 센서 신호 분석

천안함 급에 장착된 HMS 센서의 경우 주파수 대역이 능동 핑 주파수에 적합하도록 설계되어 있다. 또한 AN/SQS-58 소나 시스템을 사용한 장비의 경우 센서별 및 함별로 입력 신호에 대한 편차가 많이 존재 한다. 다음은 센서 간의 수신 응답특성을 표시한 그래프이다. 가로 축이 주파수고 세로 축이 dB값을 표시한다. 가운데 실선이 센서의 평균 수치를 나타낸다. 주파수 정보는 군보안 관계상 제거하였다

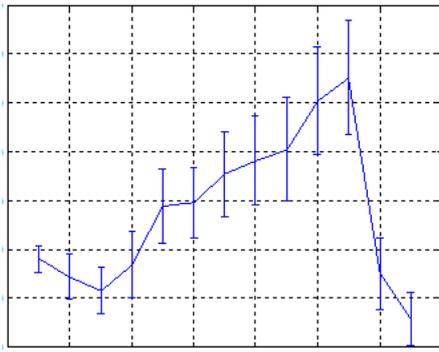


그림 1. 센서별 수신응답 특성

센서수신 데이터의 시간영역 파형을 보면 비주기적인 impulse 성분 신호들이 들어온다.

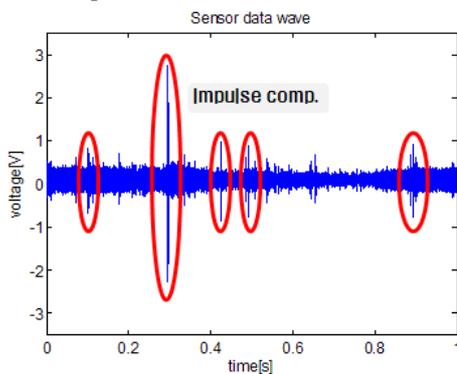


그림 2. 시간영역 입력 신호

또한 해상의 입력 신호는 해상상태에 따라 노

이즈 입력레벨이 변경되며, 조건에 따라 30~40dB 정보의 입력신호 레벨의 변화가 생긴다.

초계함에 적용되는 HMS의 경우 해상상태에 따른 노이즈 레벨 입력, 함 운항에 따른 입력 노이즈 레벨의 증가, 함 별 자체 노이즈 레벨의 차이 등을 볼 수 있다. 또한 이에 따라 상태별 입력 gain 레벨을 적절하게 변경할 필요가 있다.

AN/SQS-58의 센서에서 입력되는 신호의 경우 입력 신호가 송신 핑 주파수에 적합하게 설계되어 있고, 우리가 필요로 하는 어뢰 탐지 주파수 대역에 대해서는 신호가 감쇄 하는 특성을 보여 주고 있다. 이에, 어뢰탐지 주파수 대역간의 신호 크기 편차가 40dB 정도의 편차를 나타내 주고 있으며, 이는 전체적인 ADC의 입력 값에 대한 다이나믹 레인지를 줄이는 역할을 한다. 이렇게 입력신호의 변동폭이 크고 입력 주파수 대역에 대해 주파수간의 편차가 크므로 입력신호 레벨을 결정하는데 어려움이 있다.

또한 AN/SQS-58 장비는 능동 소나 장비로 Active 핑 송신시 큰 신호가 발생한다. 일반적인 HMS 시스템 설계 시는 Active 신호 발생 모듈과 연동하여 Active 신호 발생시 TVG(Time variable gain) 방식을 적용하여 핑 송신 구간에서 gain 값을 최소로 하는 시스템을 적용한다. 그러나 여기서 적용되는 시스템의 경우 AN/SQS-58 장비로부터 송신 신호 발생 구간에 대한 별도의 신호를 받을 수 없도록 구성되어 있다.

이에 주파수 구간 별 보상 회로 및 AGC(Auto gain control) 시스템 적용으로 센서에 입력되는 수신레벨에 따라 입력신호 레벨을 조정하고, Active 신호 입력 구간에 대해서도 A/D 컨버터의 overrange 입력구간을 확인하여 입력신호의 gain을 구성할 수 있도록 구성하였다.

III. 입력 필터단 설계

입력 필터단은 가변되는 입력 신호의 크기를 일정한 크기로 증폭하기 위한 가변 증폭단, 신호의 주파수 특성을 보정하기 위한 필터단 아날로그 신호를 디지털로 변환하는 24bit ADC로 구성된다.



그림 3. 입력단 구성

센서의 입력신호를 보면 센서 특성에 의해 원하는 대역폭에서의 주파수 특성은 주파수가 증가함에 따라 큰 신호가 나온다. 이에 센서의 주파수에 따른 크기를 일정하게 하기 위한 역 보상 회로가 필요하다.

특정 주파수 신호를 인가 하고 측정된 센서 출력 신호의 백색 잡음 특성은 다음과 같으며 주파수 특성을 보인다. 주파수 수치는 군보안 관계상 제거하였다.

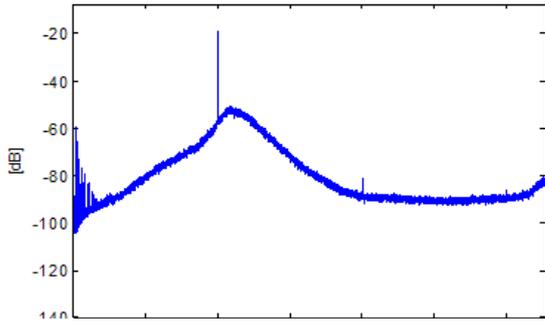


그림 4. 센서 출력 신호 특성

역보상 커브를 만들기 위해서는 위상 변위가 적은 Bessel Filter를 적용하였다. 만족스러운 주파수 보상 특성을 얻기 위하여 2차 Low pass filter 3단으로 구성하였다. 입력신호는 F1 kHz, F2 kHz Low Pass Filer를 넣어 주파수간의 다이 나민 레인지를 얻고 가변이득을 넣고 F3 kHz의 LPF를 넣었다. 마지막 F3 LPF 는 ADC의 aliasing filter도 겸하게 하기 위하여 bessel filter 가 아닌 bufferworth filer를 사용하였다.

가변이득회로의 경우 일반적인 VGA 앰프에 많이 사용되는 곱셈기를 이용한 부품의 경우 온도에 따라 감쇄 특성이 달라지는 특성을 갖는다. AD602는 저항값의 변경에 의하여 이득을 가변하는 회로이므로 온도 변화에 따른 성능변화가 적고, 증폭도에 대한 선형성도 우수하며, Full gain 변화에 대해 40 dB/μ의 응답특성을 갖는다. 한 개의 AD602에는 40dB의 가변 이득을 갖는 VGA 가 2개 내장되어 있어, 이를 직렬 연결시 80dB의 변화가 가능하다. 본 시스템의 경우 입력 가변폭을 고려하여 0.5dB 간격의 gain 스템을 갖고 64dB 변경 범위를 갖는 VGA 시스템이 되도록 적용하였다.

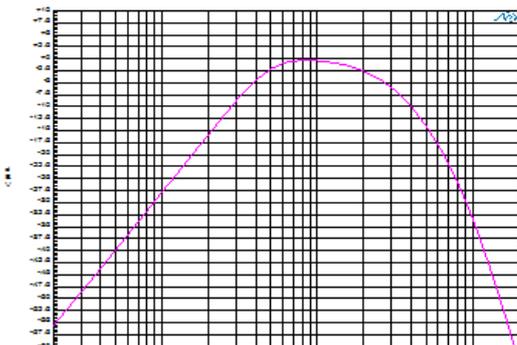


그림 5. 주파수 역보상 회로 주파수 특성

역보상 회로를 적용하여 출력되는 센서데이터 출력값은 다음과 같다.

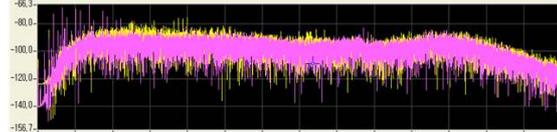


그림 6 역보상 적용 센서출력 주파수 특성

IV. Auto Gain Control 설계

AGC는 필터단의 ADC값을 입력받아 FPGA를 사용하여 실시간 적용하도록 구성하였다. AGC의 적용 주기는 gain의 적용값이 그 당시의 해상 상태나 함의 노이즈 상태에 적용하기 위한 것이지만 순간적인 신호에 대한것에 반응 하도록 하는것은 아니다. 따라서 gain 적용 주기가 너무 빠를 경우 도 문제가 발생하며, gain 적용 주기가 너무 빠르거나 및 gain의 변화량이 클 경우 gain 적용되어 환산된 데이터 값이 왜곡 되는 현상을 볼 수 있었다. gain 적용 주기는 4msec 단위로 0.5dB 값이 변경되도록 하였으며, 4msec 단위로 데이터를 저장하여 AGC에 반영하도록 하였다. AGC의 알고리즘은 다음과 같다.

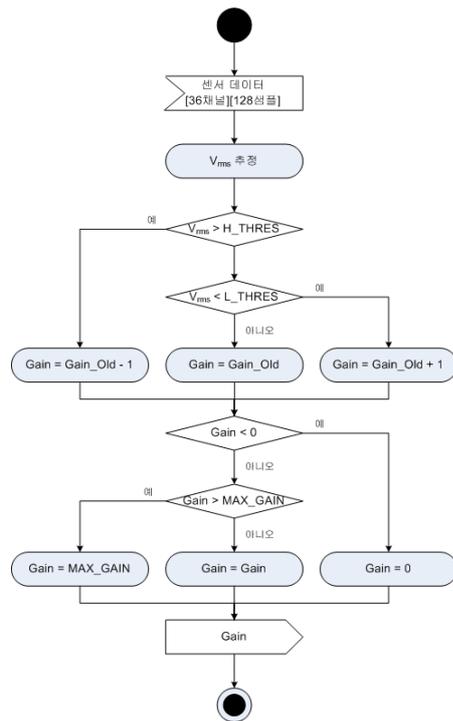


그림 7. AGC 로직 흐름도

AGC의 상한 경계값과 하한 경계값은 ADC의 입력범위는 ±2.5V range에 대해 해상 시험시의 입력데이터 레벨을 측정하여 설정하였다. 해상의 입력신호가 비주기적인 임펄스 신호가 입력 되므로 필요한 신호가 왜곡 되지 않는 레벨을 선정하였다. AGC의 설계 로직은 FPGA를 통해 구현되

으며 ADC 입력값에 대한 rms 전압값을 기준으로 적용하였다.

AGC에 적용된 수식은 다음과 같다.

$$V_m(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v_m^2(n)}, N=128 \text{ (약 4msec)},$$

$$m=1..M(M:\text{채널개수})$$

$$V_{rms}(k) = \max V_m(k)$$

$$\hat{V}_s(k) = \lambda \times \hat{V}_s(k-1) + (1-\lambda) V_s(k), \lambda = 0.5$$

각 채널별 rms 값을 추정 후 최대값을 추출한다.

rms 최대값을 지수 적분하여 누적 rms 값을 산출한다.

AGC 계산을 위한 FPGA는 Xilinx 사의 Virtex-5 계열의 FPGA 를 사용하였으며 ADC로부터 AD 된 데이터를 입력받아 4msec 단위로 128개의 sample 데이터를 입력 받아 게인값을 변경하여 적용하였다. FPGA 사용 로직량은 다음과 같다.

표 1. FPGA Resource 분석

내용	사용량
Slice Register	2263
LUTs	6788
BUFG/BUFGCTRLs	1
DSP48E1s	2

각 센서의 Gain 적용은 모두 동일하게 적용하며 각 센서별 적용 AGC 게인 값을 산출하여 최소 gain 값을 적용하여 신호의 왜곡이 발생하지 않도록 적용하였다.

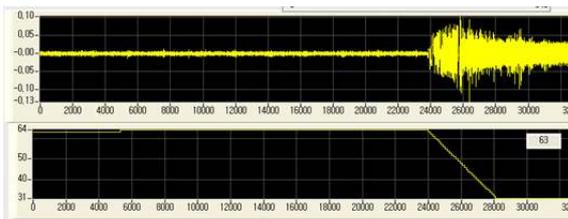


그림 8. AGC 동작 적용 화면

위의 그림은 상단의 Time 데이터 영역이고 하단이 적용 gain 값을 나타내고 있다. Active Ping 신호와 같은 큰 신호가 발생 되었을 때 입력레벨에 맞추어 gain 값이 변경되어 적용되는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

Sonar 시스템에서의 센서입력 신호는 입력신호의 다이내믹 레벨을 확보하는 것과 빔 형성시의 위상 정보 활용을 위하여 신호의 변형을 최소화할 필요가 있다. 센서 응답 특성에 맞는 역보상 회로 적용과 입력레벨에 따른 AGC 적용으로 입력신호에 대한 다이내믹 레인지를 얻을 수 있었으며, 입력신호에 따라 신호의 변형 없이 데이터 처리가 가능하게 되었으며, 어뢰 신호에 대한 탐지가 가능하였다.

어뢰음향 대항체계의 성능 향상을 위하여 추가적으로 검토하고 적용된 사항 및 시험해 볼 사항은 다음과 같다.

설계된 장비는 초계함 함정에 장착된 Sonar 장비인 AN/SQS-58 로부터 센서 신호를 입력 받는다. 이에 AN/SQS-58 장비 및 함에서 발생하는 노이즈 신호가 센서 신호와 혼합되어 입력된다. AN/SQS-58 센서의 경우 이러한 주파수 영역이 능동 구간과 상이하여 문제가 발생하지 않았으나 어뢰음향 대항체계의 경우 문제가 발생하므로 자함 노이즈 성분을 선택하여 제외하는 로직의 추가 될 필요가 있다. 또한, AGC 동작 시의 상한 경계값 확보를 위하여 능동 구간에서의 펄 신호 발생에 따른 ADC의 overrange 지속 구간을 판단하여 능동구간을 판단 한 후 타 HMS 장비에서 적용한것과 같은 TVG(Time Variable gain) 방식을 적용하는 방법에 대해서도 검토 필요해 보인다.

참고문헌

- [1] A. D. Waite, "SONAR for Practising Engineers", JOHN WILEY & SONS,LTD, Third Edition, 88page
- [2] 정재훈, "필터반 설계완료보고서", 6page
- [3] ANALOG DEVICES, "Dual, Low Noise, Wideband Variable Gain Amplifiers, AD600/AD602", 3page, Rev.F