

선체통신을 위한 새로운 AFSK 통신방식 제안

배진호, 이종현, 팽동국, 조일형 (제주대학교)

1. 서론

조선 산업은 노동·기술 집약적인 전통산업으로 고부가가치 산업으로 나아가기 위해 최근 국내에서 IT 기술과의 융합에 대한 중요성이 강조되고 있다. 특히, 조선-IT 융합 활성화 방법 중 디지털 선박 구현을 위해 현재 한국전자통신연구원 등에서 유무선 통합 SAN(Ship area network)의 연구가 시작되었다. 그러나 전자기파의 금속투과 한계에 의해 오픈된 영역만 커버할 수 있는 Point area 또는 Room area 통신이라는 한계가 있다. 이러한 가운데, 선박의 철 구조물을 하나의 통신용 전송 매질로 이용하는 초음파 선체통신망(Ship body area network, SBAN)의 개념은 조선-IT 융합 기술의 한 사례이다.

선체 구조물에 전달된 초음파는 유도파(Guided wave) 형태로 진행되며 생성된 유도파 중에서 철판에서 생성되는 램파(Lamb wave)가 선체를 이용한 통신 수단으로 사용된다. 생성된 램파는 철판의 두께와 사용되는 주파수에 따라 대칭 모드(Symmetric mode) 및 비대칭 모드(Anti-symmetric mode) 등 다양한 모드의 신호가 발생되어 서로 다른 속도로 전달되어 수신된다. 이러한 신호는 인접한 심볼에 영향을 주는 인접심호간섭(ISI, Intersymbol Interference) 현상을 일으켜 전송 복조할 때 오류를 발생시키는 문제점을 일으킨다. 또한 복잡한 구조물로 구성된 선체를 통해 전달된 초음파신호는 다양한 다중경로를 거치게 되는데 이를 효과적으로 제거하는 채널 등화기(Channel Equalizer)를 사용하지 않으면 통신 성능이 열화된다. 따라서 이동 통신에 사용되는 통신방식과는 다른 선체 통신에 적합한 변복조 방식을 연구하고 이를 적용하는 것이 중요하다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 선박내 통신을 담당하는 함상망(Shipboard Network)에서 통신이 되지 않는 불통지역의 통신을 위해 초음파를 이용한 새로운 선체통신 방법을 제안한다. 제안된 통신 방식은 주파수 변조기반 진폭 변조 방식으로 램파의 모드 분산영향과 선박 구조에 따른 다중 경로 영향으로 발생하는 인접 신호의 왜곡을 감소하기 위해 버스트 신호 생성 방법과 STFT(Short-time Fourier transform)분석을 통한 신호를 복조 방식이다. 제안된 통신 방식의 성능 검증을 위해 건조중인 유조선(Cargo-oil tank, 대우

조선해양)의 외판을 이용하여 100m 거리 통신 실험결과 100% 복조 결과를 획득하였다.

2. 제안된 통신변조기법

선체 구조물에서 금속투과 한계에 의해 전자기파를 통신 신호로 사용하기에는 어렵다. 그러나 초음파는 매질의 고유 전파 속도에 따라 구조물을 통해 빠르게 전파되므로 선체 구조물에서의 통신 신호로 사용하기에 적합하다. 철판 구조물에서 전파되는 램파는 매질 내에서 입력 주파수에 따라 진행속도가 달라지며 생성되는 모드의 개수가 달라지는 특성을 보인다. 그림 1은 군속도의 분산곡선(Dispersion curve)은 이러한 특징을 잘 표현 해준다. 만약 외판의 두께가 20mm이고 센서의 공진주파수가 45~80kHz라고 가정하면 주파수와 두께의 곱은 0.9~1.6 MHz-mm이고, 그림 1에서 보면 다양한 모드가 발생하게 되며, S모드가 A모드에 비해 빠르다는 것을 알 수 있다.

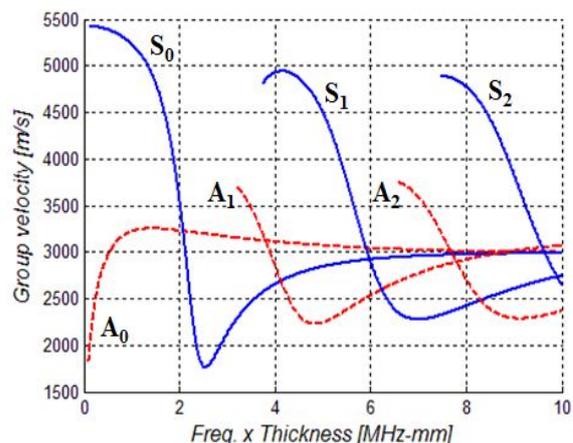


그림 1. 철판에서의 Lamb wave 분산곡선

통신 실험을 진행하기 위하여, 선체 채널에서 램파의 음파 전달 특성을 분석하였다. 사용된 선박은 (주) 대우조선해양에서 건조중인 선박을 이용하였으며 30m 이내의 근거리에서 PWAS(Piezoelectric wafer active sensors) 형의 초음파 센서

를 이용하여 선체의 모드를 분석하였다. 구조물의 두께 20mm와 초음파 센서의 운용 주파수 50kHz~90kHz에 대하여 그림 1과 같이 A0와 S0 모드가 발생되었고 이중 신호의 진폭이 가장 큰 A0모드의 전파 속도는 약 3100m/s로 측정되었다.

디지털 통신 방식 중 진폭천이(ASK, Amplitude Shift Key) 변조와 주파수천이(FSK, Frequency Shift Key) 변조 방식을 모드 분산영향이 적은 근거리에서 적용하였을 경우에는 수신 신호가 잘 복조됨을 확인하였다. 그러나 모드 분석 결과 거리가 증가함에 따라 램파의 속도 분산 및 다중 모드 분산 특성에 의해 인접 신호의 간섭이 증가하여 수신 신호에 대한 오류 판정이 크게 증가하였다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 모드 분산 및 다중 경로 영향을 극복하기 위한 주파수 변조 기반의 진폭 변복조 방식을 제안하였다. 제안된 변조 방식을 본 논문에서는 AFSK (Amplitude-Frequency Shift Key)라 명한다. 제안된 통신 방식은 인접 신호 간섭의 영향을 줄이기 위해 버스트(Burst) 방식으로 송신 신호를 생성한 후 주파수 변조 방식에서 bit '1'과 bit '0'의 진폭의 크기를 조절하여 송신 신호를 생성한다. 이진 AFSK 신호는 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$s_1(t) = A \cos(2\pi f_1 t) \text{ for 1bit, } 0 \leq t \leq T_1 \quad (1)$$

$$s_2(t) = B \cos(2\pi f_2 t) \text{ for 0bit, } 0 \leq t \leq T_2$$

여기서, A 는 '1'의 진폭, B 는 '0'의 진폭, f_1 는 '1'의 반송파 주파수, f_2 는 '0'의 반송파 주파수, T_1 는 '1'의 버스트 주기, 그리고 T_2 는 '0'의 버스트 주기를 의미한다.

송신된 신호를 복조하기 위해 제안된 AFSK 수신기의 블록도는 그림 2와 같다.

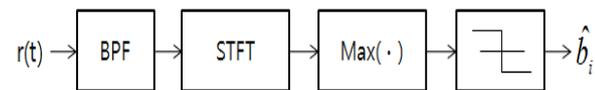


그림 2. AFSK 수신기의 블록도

여기서, $r(t)$ 는 초음파 센서를 통해 수집된 수신 신호이다. 이 수신 신호는 대역통과 필터를 이용하여 통신에 사용된 반송파 대역의 성분만을 여과한다. 이때, 여과된 신호에는 램파의 모드 분산 영향과 다중 경로 영향으로 반송파 주파수와 주변의 대역 성분이 함께 존재하여 반송파 주파수를 왜곡시켜 수신 신호에 반송파를 곱하여 기저 대역 신호를 복조하는 일

반적인 복조 방법을 적용하는 기법은 어려움이 있으며, 만약 그 주파수를 추정했다고 해도 최적의 수신 성능을 보인다고 할 수도 없다. 따라서 본 논문에서는 여과된 신호에 버스트 신호 주기를 고려하여 프레임의 크기를 설정한 후 프레임 크기의 반을 중첩하여 STFT를 취한 후 최대 에너지 값을 이용하여 신호를 복조한다. 여기서, 최대 에너지는 각 프레임의 FFT 결과에서 최대 에너지크기를 취한 후에, 한 bit 구간에서 최종적인 최대 에너지를 선택한다. 최종적으로 한 bit 구간에서의 최대 에너지는 문턱값과 비교하여 수신 신호를 복조한다.

3. 실험 결과

제안된 주파수기반 진폭 변조 방식의 통신 성능을 검증하기 위해 건조중인 유조선(Cargo-oil tank, (주)대우조선해양)의 외판을 이용하여 최대 100m까지 거리를 변화시키면서 통신 실험을 수행하였다. 실험 환경 설명을 위해 선박의 모형 이미지를 그림 3에 위 쪽 그림에 표현하였고, 그 아래 그림은 데크에서 본 연구진들이 실험을 수행하는 모습이다. 데이터는 선체의 외판에서 약 20m간격으로 100m까지 수신 센서의 위치를 변경하면서 취득하였다.

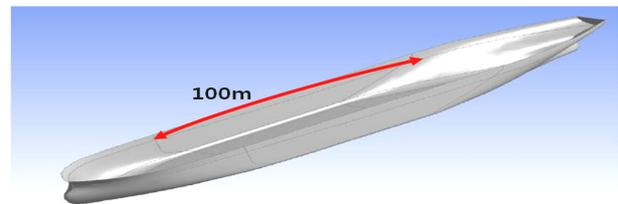


그림 3. 통신 실험 환경

송신부에서는 NI사의 LabView 2011를 이용하여 AFSK 변조 신호를 생성한 후 DAQ 보드(USB-6361, NI, USA)로 디지털 아날로그 변환하여 전력증폭기(HVA-400, TOYO, Japan)와 전치증폭기(VP1000, Reson, Denmark)로 증폭된 신호를 송신하였다. 수신부에서는 선박의 외판을 통해 수신된 신호를 전치증폭기(VP1000, Reson, Denmark)로 증폭하여 DAQ 보

드(USB-6361, NI, USA)로 아날로그 디지털 변환한 후 LabView 2011을 이용하여 신호 수집 및 AFSK 신호 복조를 수행하였다. 또한 Lame wave를 생성하기 위해 53kHz에 공진 주파수를 갖는 PWAS 타입의 초음파 센서를 송수신 센서로 사용하였다. 전체적인 통신 블록도는 그림 4와 같다.

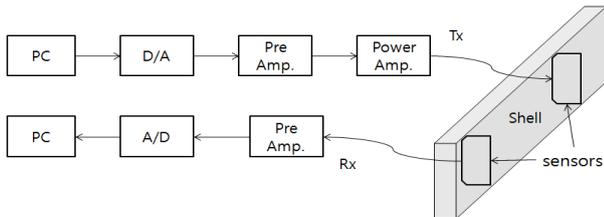


그림 4. AFSK 통신 블록도

두께가 약 20mm 되는 외판을 통해 전송된 송신 신호는 식 (1)을 이용하여 f_1 은 53kHz, f_2 는 48kHz, A 와 B 는 각각 1과 0.1, 그리고 버스트 주기 5로 신호를 생성하여 1kbps(Bits Per Second)의 전송률로 전송하였다. 그림 5는 AFSK 복조기의 수신 신호 복조 결과의 예로 선박의 외판에서 43m 거리에서 측정된 수신 신호를 분석한 결과이다.

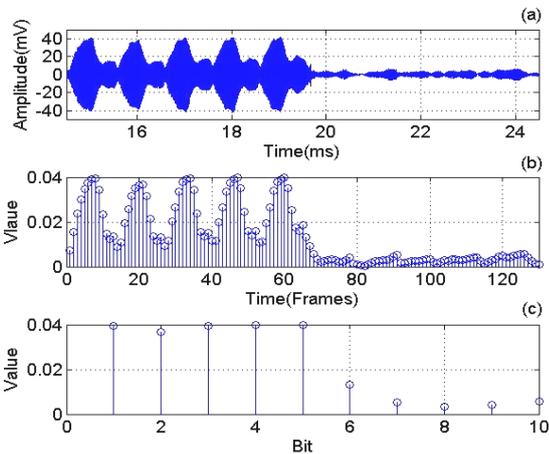


그림 5. AFSK 복조

그림 5(a)는 대역통과된 수신신호로서, 송신 신호 이외에 모드 분산에 의한 신호가 함께 나타남을 알 수 있다. 그림 5(b)는 프레임 크기 128을 이용하여 STFT 결과에서 최대 에너지 값을 표시한 것이다. 프레임 길이가 128일 경우 한 bit 구간은 13개의 프레임으로 구성된다. 그림 5(c)는 13개 프레임으로 구성된 한 bit 구간에서 최대 에너지를 선택한 결과이다.

적당한 문턱값을 선정하고 최대 에너지 값과 비교하여 최종적으로 비트를 판정하게 된다.

그림 6는 수신 신호 복조결과로 위쪽부터 25m, 80m 그리고 100m 거리에서의 수신 신호의 파형과 복조 결과를 나타낸다. 본 결과에서 25m ~ 61m 의 입력전압은 50V, 80m 의 입력전압은 100V, 그리고 100m 에서의 입력전압은 150V 을 인가하였다. 이때 각각의 bit 판정에 사용된 문턱값은 거리가 25m인 경우는 0.05V, 거리가 43m인 경우는 0.025V, 거리가 61m인 경우는 0.03V, 거리가 80m인 경우는 0.018V, 그리고 거리가 100m인 경우는 0.011V 로 추정되었고, 거리에 따른 모든 실험환경에서 100% 복조 성능을 얻었다.

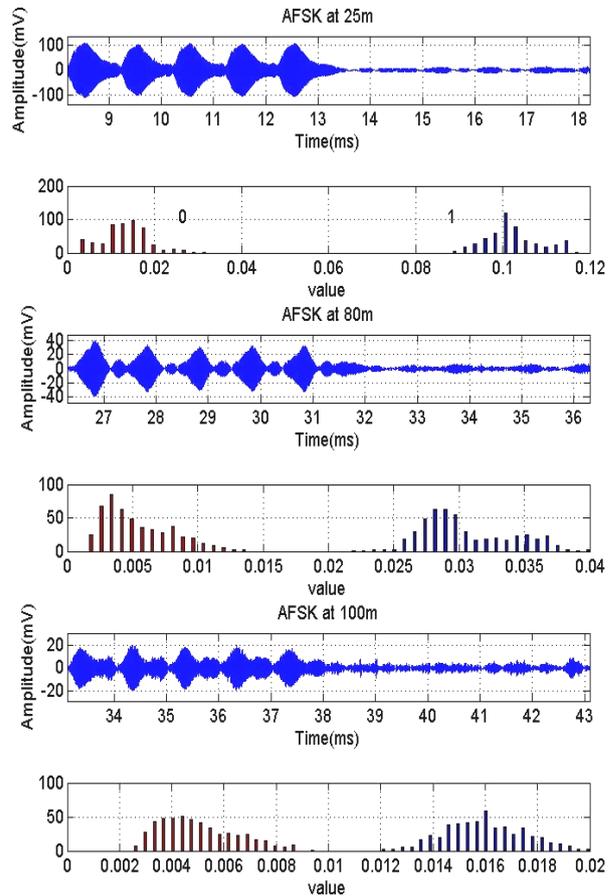


그림 6. 25m, 80m 및 100m에서 제안된 AFSK 통신방식의 성능 검증

5. 결론

본 논문에서는 선박내 통신을 담당하는 함상망으로는 통신

이 불가능한 지역의 통신을 위하여 초음파를 이용한 새로운 선체통신 방법을 제안한다. 제안된 초음파 통신 방식은 주파수 변조기반 진폭 변조(AFSK) 방식으로서, 램파의 모드 분산 영향과 복잡한 선박 구조에 따른 다중 경로 영향으로 발생하는 인접 신호의 왜곡을 최소화하기 위해 버스트 신호 생성 방법과 프레임 단위 STFT분석을 통하여 신호를 복조 방식이다. 제안된 통신 방식의 성능을 검증하기 위해 53kHz에 공진 주파수를 갖는 PWAS 타입의 초음파 센서를 이용하여 1kbps의 전송률로 송신 신호를 발생시켜 건조중인 유조선의 두께 20mm인 외판에서 100m 거리가 떨어진 지점에서 수신 성능을 평가한 결과 100%의 복조 결과를 획득하였다.

참 고 문 헌

- Giurgiutiu, V. [Structural health monitoring with piezoelectric wafer active sensors] (2008)
- Kim, J.M. [IT-based ship a total solution technology development status and future directions] (2008)
- Lee, J.H, Bae, J.H, Pang D.G, Lim Y.K, Park, J.W. [System of communication using multi-channel supersonic communication in ship body] (2011)
- J.H, Lee, J.H, Pang D.G, Lim Y.K, Park, J.W.[THE HULL COMMUNICATION NETWORK OF SHIP USING SUPERSONIC AND THEREOF] (2011)



배 진 호

- 1968년생
- 2001년 KAIST 전자전산학과 박사
- 현 재 : 제주대학교 해양시스템공학과 교수
- 관심분야 : 신호처리, 통신 및 항해용 장비
- 연 락 처 : ***-***-***
- E - mail : baejh@ejunu.ac.kr



이 종 현

- 1962년생
- 2002년 KAIST 전자전산학과 박사
- 현 재 : 제주대학교 해양시스템공학과 교수
- 관심분야 : 통신 시스템, 레이더 소나 신호처리
- 연 락 처 : ***-***-***
- E - mail : chonglee@ejunu.ac.kr



팽 동 국

- 1966년생
- 2002년 펜실베이니아주립대학교 음향학 박사
- 현 재 : 제주대학교 해양시스템공학과 학과장
- 관심분야 : 해양음향, 수중소음, 의료용 초음파
- 연 락 처 : ***-***-***
- E - mail : paeng@ejunu.ac.kr



조 일 형

- 1962년생
- 1991년 서울대학교 조선공학과 박사
- 현 재 : 제주대학교 해양시스템공학과 교수
- 관심분야 : 부유체 공학, 해양 신재생에너지
- 연 락 처 : ***-***-***
- E - mail : cho0904@ejunu.ac.kr

2014년도 신년인사회

일 자: 2014년 1월 17일(금) 오후 5시

장 소: 한국과학기술회관 신관 12층 아이리스크홀