

QPSK 방식을 이용한 수중영상 정보전송 시스템의 DSP구현 및 실험실 시험 연구

DSP Implementation and Open Sea Test of Underwater Image Transmission System Using QPSK Scheme

박 종 원*, 고 학 림**, 이 덕 환**, 최 영 철*, 김 시 문*, 김 승 근*, 임 용 곤*
(Jong-Won Park*, Hak-Lim Ko**, Deok-Hwan Lee**, Young-Chol Choi*,
Sea-Moon Kim*, Seung-Geun Kim*, Yong-Kon Lim*)

*한국해양연구원, **호서대학교 정보통신공학부

(접수일자: 2003년 12월 12일; 수정일자: 2004년 2월 2일; 채택일자: 2004년 2월 16일)

본 논문에서는 수중에서 영상정보를 초음파를 이용하여 전송하기 위한 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 방식의 수중영상 정보전송 시스템을 DSP (Digital Signal Processor)를 이용하여 구현하였다. 본 논문에서는 영상 데이터를 실시간으로 송수신하기 위하여 송수신기에 사용된 복수 개의 DSP프로세서를 BDPA (Block Data Parallel Architecture) 구조를 이용하여 병렬처리 하였다. 장비의 운용 및 실시간 디버깅을 위한 소프트웨어를 GUI (Graphic User Interface) 방식으로 구현하였다. 또한, 본 논문에서 구현한 수중영상 정보 전송 시스템의 성능을 검증하기 위하여 강원도 동해 앞바다에서 실험실 시험을 수행하여 수중 30m와 80 m 지점에서 센서간 거리 20 m에서 10 kbps의 영상정보 전송이 가능함을 확인할 수 있었다.

핵심용어: QPSK, 버스트 전송, DSP, 적응 광대역 빔형성기, 적응 동화기, 실험실 시험

투고분야: 수중음향 분야 (5, 7)

In this paper, we have been implemented the QPSK-based underwater transmission systems using DSP in order to transmit the underwater image data. We have adopted a BDPA (Block Data Parallel Architecture) to control multiple DSPs used in the transmitter and receiver in order to transmit the image data in real-time. We also have developed GUI software in order to drive and to debug the implemented system in real-time. We have executed open sea tests in order to analyze the performance of the implemented system at East Sea near Kosung in Kangwon-Do. As a result of these experiments, it has been demonstrated that 10 kbps image data can be received without errors at 30 m and 80 m depth points, while the distance between the transmitter and the receiver is up to 20 m.

Keywords: QPSK, Burst transmission, DSP, Adaptive wide-band beamformer, Adaptive equalizer, Open sea test

ASK subject classification: Underwater acoustic (5, 7)

I. 서론

최근에 해양 공간 활용, 해양 환경 보존, 심해 자원 개발 등과 같은 해양 과학 및 산업에 필수적인 바다에 관한 정보를 확보하기 위한 기술로써, 음파를 이용한 수중 정보 전송기술의 필요성이 요구되고 있다.

수중 통신에서는 대부분 음파를 활용하며 원거리 전송

을 위하여 수십 kHz의 반송 주파수를 사용하기 때문에 가용한 주파수 대역폭이 매우 협소한 특징을 가지고 있다. 따라서 많은 데이터를 전송하기 위하여 대역폭의 효율적인 전송 방법이 필요하다. 또한 수중 통신 채널은 빠른 페이딩과 도플러 효과를 동반한 시간에 따라서 매우 빠르게 변화하는 다중 경로 채널 특성을 가지며[1], 수직 채널의 경우에는 비교적 안정적인 채널 특성을 갖지만, 수평 채널의 경우에는 수심 심볼 시간에 해당하는 다중 경로 성분이 존재하는 경우도 있다[2]. 이러한 수중 통신 채널의 특성 때문에 과거에는 PSK나 QAM 등과 같은 동

책임저자: 박종원 (poetwon@kriso.re.kr)
305-343 대전광역시 유성구 장동 171번지
한국해양연구원 R-2306
(전화: 042-868-7534; 팩스: 042-868-7503)

기위상 (phase-coherent) 디지털 변조기법보다는 FSK 등과 같은 비동기 위상 (non-coherent) 변조기법을 이용해서 수중 통신 시스템을 구현하였으나[1], 미국 WHOI에서 PSK 기법을 수중 통신에 적용한 결과를 발표한 이후로는 동기 위상 변조기법을 활용한 수중 통신 시스템 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

국내에서도 변조기법에 따른 수중 데이터 통신 시스템의 성능 분석하였으며[3], 또한 송신 하이드로폰 어레이를 이용하여 데이터 전송 속도를 향상시키는 연구를 하였다[4].

본 논문에서는 바다 속에서 수집한 영상정보를 수중 채널에 적용하기 위한 채널 부호화와 동일 대역폭에서 두 배의 전송률을 갖을 수 있는 QPSK 디지털 변조 방식을 이용하여 전송하고 수신 신호에 대하여 적응 광대역 빔형성 기법과 적응 등화기법, 채널 복호화 기법을 이용하여 신호를 복원하는 수중영상 정보전송 시스템을 제안하였다. 또한 제안된 시스템을 DSP를 이용하여 하드웨어 구현을 하고, 영상정보를 전송하고 수신 영상 신호를 확인하는 실험적 성능검증 실험을 하였다.

II. 송수신 시스템의 구조도 및 전송 프레임 구조

본 논문에서 구현한 QPSK 방식의 수중영상 정보전송 시스템의 블록도는 그림 1과 같다. 그림 1에서 보여지는

바와 같이 송신기에는 영상 정보가 디지털 데이터로 변환되어 입력되어지면 전송 중 수중에서 발생하는 에러를 재전송 없이도 수신측에서 정정이 가능하도록 구속장은 3, 부호화율은 1/2인 길쌈 부호화를 수행한다. 또한 일반적으로 수중 채널 환경에서 균집으로 넓게 발생될 수 있는 에러의 영향을 최소화하기 위하여 블록 인터리버를 통과한다.

길쌈 부호화기와 블록 인터리버를 통과한 데이터는 프레임 동기 획득을 위한 13 bits의 길이를 갖는 barker 코드, pause, 그리고 공간 및 시간 필터링을 통하여 수신 신호의 신호대 잡음비를 증가시키고 수신 신호의 위상을 추정하여 보상하기 위한 훈련 신호 (training sequence)를 시분할 다중화 (Time Division Multiplexing) 방식으로 삽입하여 그림 2에서 보이는 바와 같은 하나의 프레임으로 구성한다.

본 논문에서 시스템의 개발 단계에서 데이터 전송률은 10 kbps로 정하였으며 빠르게 변화하는 채널에 대하여 적응이 가능하도록 프레임의 길이를 여러 가지 경우로 다르게 설계하였다. 그림 2에서 보이는 바와 같이 0.25 sec의 프레임인 경우에는 2500 bits, 0.1 sec의 프레임인 경우에는 1000 bits 등으로 데이터 전송률은 10 kbps로 유지하면서 프레임 길이의 변화가 가능하도록 몇 가지의 정해진 프레임 길이에 맞게 데이터 비트 수를 조절하였다. 그림 2와 같은 구조로 형성된 프레임 데이터는 S/P (serial-to-parallel) 변환에 의해 I-채널과 Q-채널의 데

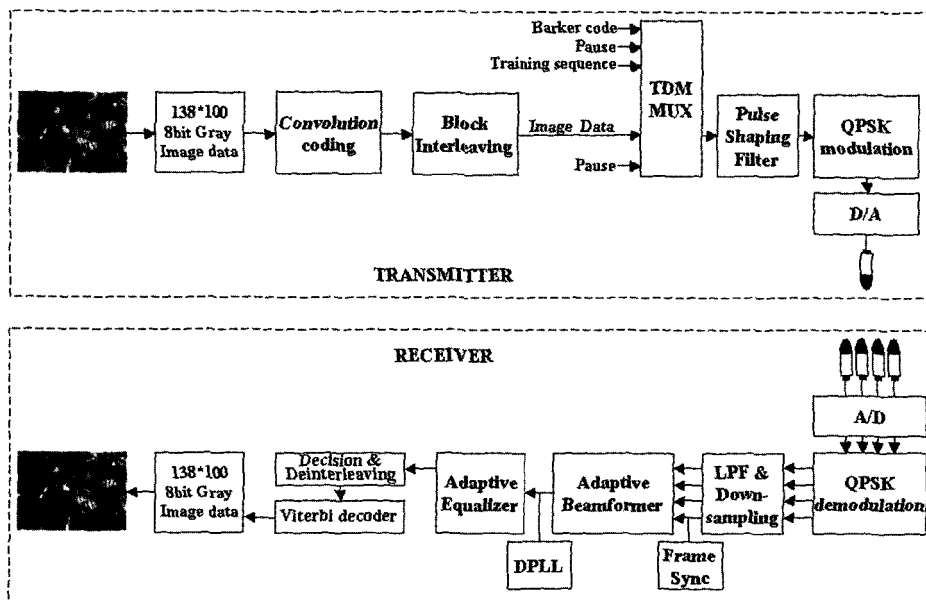


그림 1. QPSK 방식을 이용한 수중영상 정보전달 시스템의 알고리즘 블록도
Fig. 1. Algorithm block diagram of underwater image transmission system using QPSK scheme.

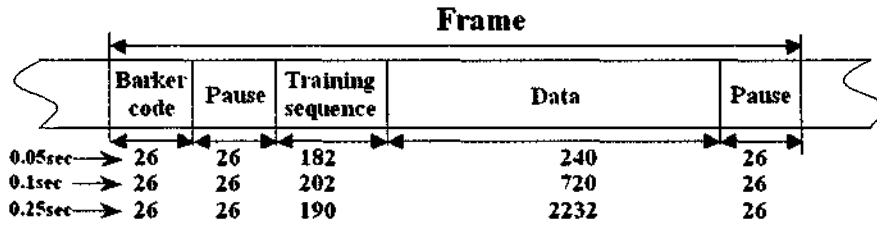


그림 2. 0.05, 0.1, 0.25sec 길이의 프레임 구조
Fig. 2. Frame structure of length 0.05, 0.1, 0.25 sec.

이더로 분리된 후 상승 여현 필터에서 인접 심볼간의 간섭을 제거하기 위한 펄스성형[5]을 한다. 펄스성형을 통하여 6.5 kHz 대역폭을 갖는 신호로 대역 제한된 데이터는 25 kHz의 반송주파수를 갖는 QPSK 방식으로 디지털 직접 변조되며, D/A 변환기에서 아날로그 신호로 변환하여 증폭기와 초음파센서를 이용하여 전송한다.

전송된 신호는 수중채널 환경을 통과하여 수신기에 수신되어진다. 수신기에서는 4개의 초음파센서를 선형 배열한 배열센서를 이용하여 신호를 수신하게 되며, 저잡음증폭기 (Low Noise Amplifier)에서 증폭된 후 A/D 변환기에서 디지털 데이터로 변환한다. 변환된 디지털 데이터는 QPSK 디지털 직접 복조가 수행된다. A/D 변환기의 샘플링 주파수는 반송주파수의 4배인 100 kHz로 하였으며, 복조된 데이터는 저역통과 필터링을 거친 후에 A/D 된 데이터의 1/5로 다운 샘플링 한 후에 프레임 동기 블록에서 프레임 동기를 획득하도록 설계하였다. 프레임 동기의 획득은 송신된 barker코드와 동일한 수신기에 저장된 barker코드와의 상관성을 이용하여 추정하였으며, 위상 부정합에 영향을 받지 않고 동기를 획득 할 수 있도록 정합 필터링 기법을 I-채널과 Q-채널에 동시에 적용 후에 더하는 방법을 사용하였다[6].

프레임 동기를 맞춘 데이터는 적응 광대역 빔형성기에 입력된다. 적응 광대역 빔형성기에서는 신호원의 방향을 추정하여 그 방향으로 빔 형성을 수행하며, 원하지 않는 다중경로 인하여 발생하는 간섭이 수신되는 방향으로 null을 형성해줌으로써 수신 신호의 신호 대 간섭 및 잡음 비를 향상 시킨다. 그 출력신호는 수중 센서 및 배의 움직임과 조류의 변화에 의해서 발생하는 도플러 효과를 보정하기 위하여 DPLL을 통과한 후에 적응 등화기에 입력된다. 적응 등화기에서는 시간 필터링을 통하여 빔형성으로도 제거되지 않은 다중경로 신호에 대한 채널 보상 및 위상 보상을 수행한다. 적응 광대역 빔형성기와 적응 등화기는 RLS (Recursive Least Square) 알고리즘을 사용하였으며, 또한 각각 8개, 20개의 탭을 사용하여 구현하

Transmitter

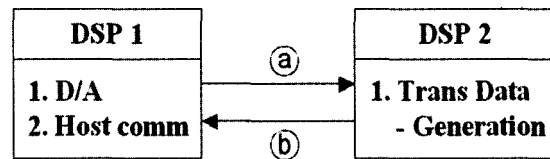


그림 3. 송신 DSP의 Task 배분 및 데이터 흐름
Fig. 3. Task distribution and data flow in the transmission DSP.

였다. 적응 등화기를 통과한 신호는 이진 데이터로 판단되어지고, deinterleaving되며, 비터비 복호기에서 에러가 정정되어 최종적으로 수신 영상을 출력하게 된다.

III. 송신기 및 수신기의 DSP 구현

본 논문에서 그림 1의 송수신 시스템의 알고리즘 블록도를 Analog Device사의 ADSP-TS101 DSP 프로세서 4개를 탑재한 TS-C43 보드를 사용하여 하드웨어 구현을 하였다. 송수신 시스템에 사용한 복수개의 DSP를 병렬처리하기 위하여 BDPA 구조[7]를 사용하였다. BDPA구조에서 각 DSP는 동기적으로 내부연산을 수행하고, DSP간의 데이터 전송은 비동기적으로 수행한다. 또한 DSP간의 데이터 통신 시에는 꼭 필요한 파라미터값과 중간 연산값만을 전송하게 함으로써 필요 없는 외부 메모리 동작을 크게 줄이고 주변 장치와의 데이터 전송 시에 충돌을 방지하는 버퍼링 방법으로 실시간 처리가 가능하게 하는 기술이다.

그림 3에서 보이는 바와 같이 송신기는 두 개의 DSP로 구현되었다.

첫번째 DSP는 호스트 컴퓨터와의 통신을 통하여 영상 데이터를 주고 받는 일을 수행하고 또한 D/A를 컨트롤하여 앰프의 입력 신호를 발생시키는 일을 수행한다. 두 번

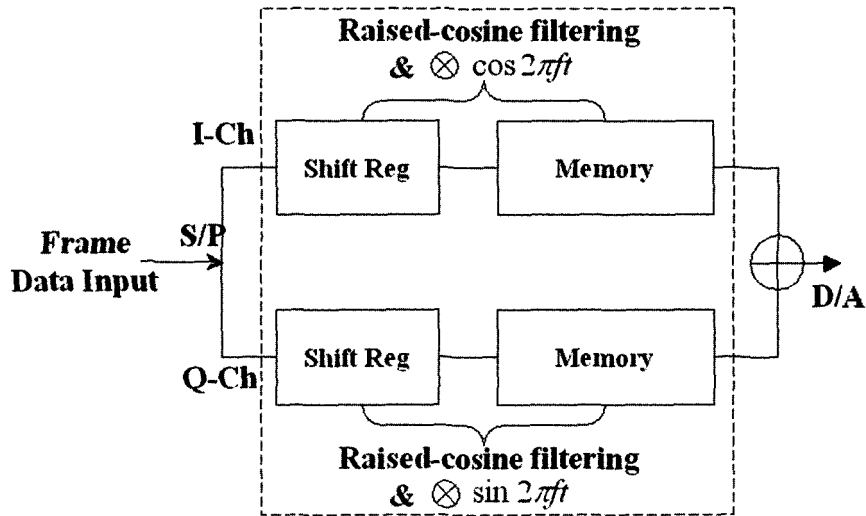


그림 4. Look up table 방식 QPSK 변조기의 구조도
 Fig. 4. Structure diagram of QPSK modulator using look up table method.

째 DSP는 첫번째 DSP에서 이미지 데이터를 전달 받아서 이전 데이터로 변환시켜 길쌈 부호화, 블록 인터리빙, 시분할 다중화, 상승 여현 필터링, QPSK 변조를 수행한 후에 첫번째 DSP가 D/A를 수행 할 수 있도록 QPSK 변조된 데이터를 전달한다. 두 번째 DSP에서 수행하는 상승 여현 필터링과 QPSK 변조 과정은 상당히 많은 곱셈과 덧셈 연산을 필요로 한다.

그러나 본 논문에서는 곱셈 연산을 수행하지 않고 적은 덧셈 연산과 메모리를 읽는 동작만으로 상승 여현 필터링과 QPSK 변조 과정을 수행할 수 있는 look up table 방식으로 시스템을 구현하였다[8]. 그림 4에서 보여지는 것처럼 시분할 다중화 방식으로 하나의 프레임이 생성되면 프레임 데이터를 S/P 변환하여 홀수 번째는 I-채널 데이터가 되고 짝수 번째는 Q-채널 데이터로 나누어져 길이가 8인 shift register를 통과하게 된다. 이때에 register의 값을 읽어서 그 값에 해당하는 메모리를 채널별로 각각 읽어 더한 값을 D/A로 출력한다. 메모리에는 이미 발생 가능한 경우의 수에 해당하는 2⁸개의 상승 여현 필터링되어 QPSK 변조가 수행된 데이터가 저장되어 있다.

수신기는 그림 5에서 보여지는 것처럼 4개의 DSP를 이용하여 구현하였다. 수신센서로 수신된 데이터는 저잡음 증폭기에서 증폭된 후 A/D 변환기에서 100 kHz의 샘플링율을 갖고 한 샘플당 16 bits인 디지털 데이터로 변환되어 첫번째 DSP에 의해 메모리에 저장된다. 메모리에 저장된 디지털 데이터는 두 번째 DSP에 입력되어 QPSK 복조 및 저역통과 필터링 그리고 다운 샘플링이 수행된다. 또한, 세 번째 DSP에서 프레임 동기를 얻기 위하여 송신기에서

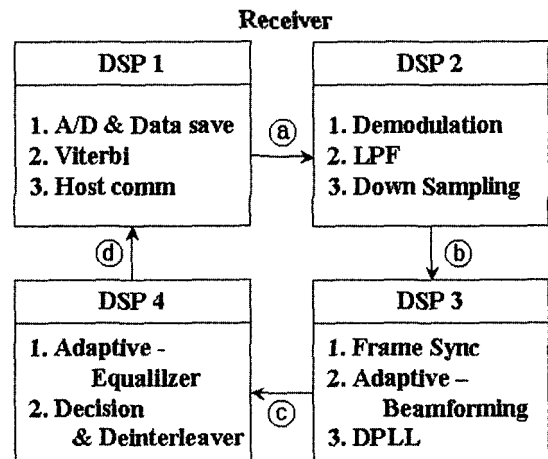


그림 5. 수신 DSP의 Task 배분 및 데이터 흐름
 Fig. 5. Task distribution and data flow in the reception DSP.

전송한 barker 코드와 동일한 코드를 갖는 정합필터에 두개의 프레임 길이에 해당하는 데이터를 통과시켜 그 출력에너지값이 가장 큰 지점을 동기가 맞은 것으로 판단하는데 이때에 다운 샘플링되어 저장되는 데이터와의 일치되는 데이터간의 메모리 동작 수행 중에 충돌이 발생하지 않고 실시간으로 동작시키기 위하여 다운 샘플링된 데이터는 세 개의 버퍼에 환형 버퍼링 방식으로 저장된다. 따라서 세 번째 DSP는 세 개의 환형 버퍼 중 두개의 버퍼에 해당되는 데이터가 수신되면 프레임 동기를 찾기 시작하며 동기가 획득되면 적응 광대역 비형성기를 거쳐 DPLL 기능이 수행되게 하였다. 네 번째 DSP에서는 DPLL을 통과한 데이터를 수신하여 적응 등화기를 수행하고 적응 등화기의 출력 데이터를 이전 데이터로 판단한 후에

deinterleaving을 수행한다. Deinterleaving이 수행된 데이터는 첫번째 DSP에서 비터비 복호화를 수행함으로써 전송 중에 발생한 에러를 정정하게 되며, 에러가 정정된 데이터는 이미지 데이터로 변환시킨 후에 호스트 컴퓨터로 전송함으로써 최종적인 수중영상이미지가 보여지게 하였다. 본 논문에서는 두 번째에서 세 번째 DSP간의 데이터 전송을 위한 버퍼만 세 개를 사용하였으며 나머지 Task 및 DSP간의 데이터 전송은 데이터를 읽고 쓸 때 발생할 수 있는 충돌을 피하고 실시간 동작을 위하여 두개의 버퍼를 사용하였다. 이러한 버퍼는 내부 메모리의 일부도 사용하지만 주로 TS-C43보드에 있는 128 Mbyte의 외부 메모리 영역을 Task별로 미리 할당하여 사용하였다. 또한, 본 논문에서 구현한 송수신 시스템은 그림 6에서 보이는 바와 같이 호스트 컴퓨터의 활용이 용이하도록 모니터와 콘솔이 갖추어진 랙 안에 장착하였으며, 시스템의 Task와 DSP 프로세서간의 데이터 교환 및 동작 신호 전달, 주변 장치와의 인터페이스 및 컨트롤을 위하여 Windriver 사의 RTOS인 VSPWorks를 사용하였다.

또한 본 논문에서는 시스템의 운용 및 동작 상태를 실시간으로 감시하여 디버깅이 가능하도록 LabWindows CVI를 이용하여 GUI방식의 소프트웨어를 개발하였다. 그림 7은 본 논문에서 개발한 시스템 운용 및 디버깅을

위한 소프트웨어의 GUI화면이다. 이 소프트웨어는 DSP 보드 및 A/D, D/A보드가 장착되어 있는 호스트 컴퓨터에 설치되어 실행되며, 조절이 가능한 파라미터값과 시스템의 일부 기능에 대한 동작결정을 하기 위한 값들을 소프트웨어 상에서 실시간으로 입력이 가능하도록 설계하였다.

IV. 실험역 실험

본 논문에서 개발한 수중영상 정보전송 DSP 시스템을 이용하여 강원도 동해 앞바다에서 수중영상 신호 송수신 실험을 실시하였다. 그림 8의 실험 환경에서 보이는 바와 같이 실험은 송신부와 수신부를 각각 두 척의 배에 나누어 이동하면서 송수신 센서의 깊이와 거리를 조절하면서 실시하였다.

실험에 사용한 초음파 센서는 경원웨어라이트사에서 제작한 것을 사용하였다. 본 실험에서 송신 센서는 해수면에 평행한 빔 패턴을 갖는 단일 센서를 사용하였으며 조류에 쉽게 흔들리지 않도록 원통 추의 바닥에 센서를 장착하였다. 또한 송신부의 파워 앰프는 약 45 dB의 전압 이득을 가지는 앰프를 사용하였으며 송신부 DSP 시스템



그림 6. 본 논문에서 개발한 DSP 시스템
Fig. 6. DSP system that developed in this paper.

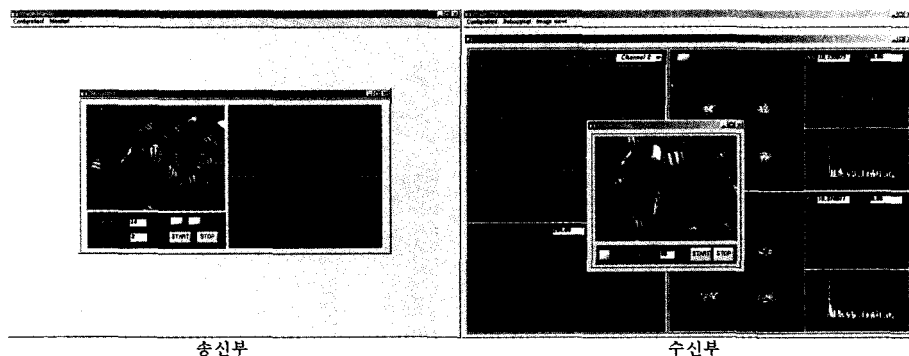


그림 7. 본 논문에서 개발한 운용 및 디버깅 소프트웨어의 GUI 창
Fig. 7. GUI window for application and debugging software that developed in this paper.

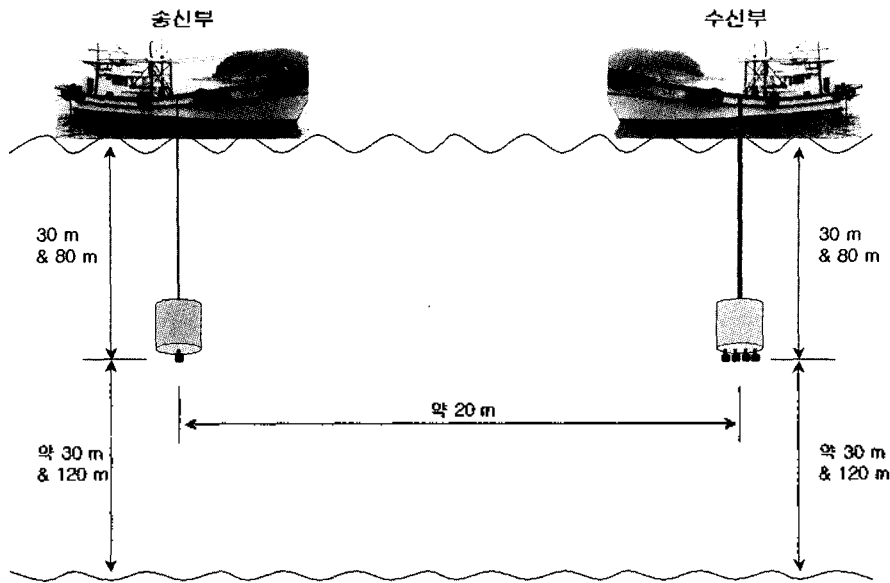


그림 8. 동해바다 실험역 실험 환경
Fig. 8. Open sea test environment in the oceans.

과 함께 송신부 뒤편에 설치하였다.

수신부는 적응 광대역 빔형성을 위하여 송신부와 같은 빔 패턴을 갖는 4개의 센서를 25 kHz 반송주파수에 대한 파장의 0.45배 간격으로 송신부와 같은 원통 추의 바닥에 수면에 평행하게 선형배열 장착하였으며, 앰프는 중심 주파수 25 kHz에서 10 kHz 대역폭을 갖는 대역통과 필터를 포함한 저잡음증폭기로서 80 dB의 이득을 가지며 수산센서가 장착된 원통 추 내에 방수 처리하여 장착하였다.

본 논문의 실험역 실험에서는 두 척의 배를 이용하여 수중에서의 수평채널에 대한 성능을 알아보기 위하여 수심이 약 60 m 인 지점에서는 수중 30 m 깊이에, 수심이 약 200 m인 지점에서는 수중 약 80 m 지점에 송신 센서 및 수신 센서를 위치하게 하고, 송신 센서와 수신 센서의 간격을 변화시켜가면서 영상 신호를 전송하였다. 신호의 프레임 길이는 0.05 sec, 0.1 sec, 0.25 sec 세가지 경우에 대하여 실험을 수행하였으며, 수중 동영상을 이미지 캡처하여 저장한 8 bit의 흑백 정지영상 10장을 반복하여 전송하였다. 그림 9는 전송되는 정지영상 중에 하나이다. 그림 10과 그림 11에 수중 60 m 지점과 200 m 지점에서 센서간 거리 20m를 두고 신호를 수신하여 복원된 영상이 보여진다.

그림 10과 그림 11에서 보이는 바와 같이 본 실험역 실험에서는 프레임 길이가 짧을수록, 그리고 수심이 깊을수록 영상 신호가 깨끗하게 수신되는 것을 알 수 있었다. 그림 2의 프레임 구조에서 보이는 바와 같이 프레임 길이가 짧을수록 수중 채널의 보상을 위한 훈련 신호가 좁은

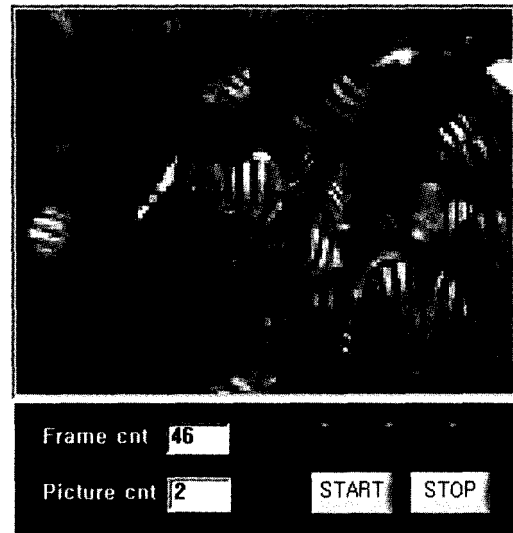


그림 9. 송신기에서 전송되어진 영상
Fig. 9. Image that is transmitted in transmitter.

시간 간격으로 포함되어있어 빠르게 변화하는 수중환경 채널에서 짧은 시간 간격으로 채널을 보상할 수 있으므로 성능향상에 유리하게 작용된 것으로 사료된다. 또한, 수심이 깊어짐에 따라 일반적으로 해수면 및 해저면으로부터의 반사파에 대한 영향이 적어지기 때문에, 수심이 깊을수록 수신된 신호가 페이딩의 영향을 덜 받은 것으로 판단된다. 그러나 향후 실제 실험한 장소의 해저면 지형을 정확하게 파악하여 이에 대한 영향을 고려한 판단이 필요한 것으로 사료된다. 또한 센서간 거리가 20m를 벗어나면서 수신된 영상이 많은 에러를 포함하여 확인이

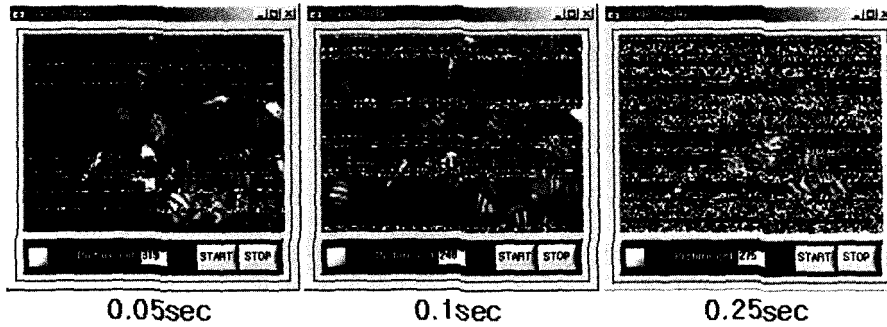


그림 10. 수심 60 m 지점에서 수신기에 수신된 영상
 Fig. 10. Image that is received to receiver at a depth of 60 m point.

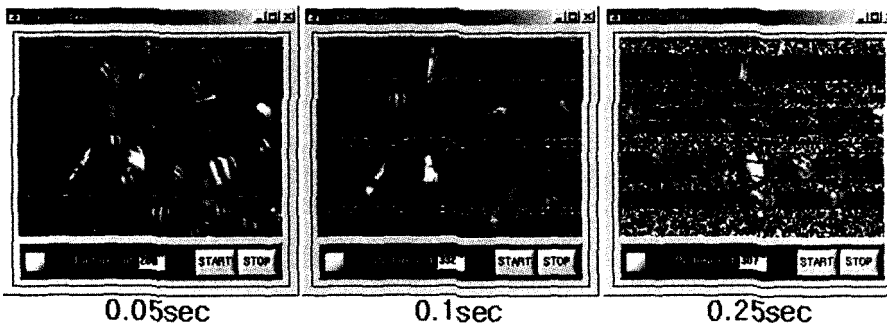


그림 11. 수심 200 m 지점에서의 수신기에 수신된 영상
 Fig. 11. Image that is received to receiver at a depth of 200 m point.

거의 불가능하였다.

본 실험역 실험은 바다 속 깊이 위치한 센서의 상태를 볼 수 없는 상황에서 실시간으로 이루어졌기 때문에 수신 배열센서의 방향에 따른 성능변화는 확인할 수 없었다. 그리고 시스템의 전원 공급에 사용된 발전기에 의해 발생하는 60 Hz 잡음이 관측되었는데 이것은 수신기의 저역 통과 필터에 의하여 제거되므로 시스템의 성능에는 영향을 주지 않는 것으로 시뮬레이션을 통하여 확인되었다.

V. 결론

본 논문에서는 수중에서 영상통신을 하기 위한 QPSK 변조 방식과 적응 광대역 빔형성기법 및 적응 등화기법을 이용한 송수신 시스템을 DSP를 이용하여 구현하였다. 또한 BDPA구조 및 RTOS를 이용하여 복수개의 프로세서를 병렬 처리하고 주변 장치를 제어함으로써 실시간 처리가 가능하도록 하였으며 장비의 운용 및 디버깅을 위한 소프트웨어를 GUI방식으로 구현하였다. 또한, 동해앞바다의 실험역 실험을 통하여 본 논문에서 개발한 송수신시스템이 20 m 이하의 근거리 수중채널 환경에서 QPSK 변조

방식으로 10 kbps의 영상데이터 전송이 가능함을 알 수 있었다. 그러나 본 논문에서 개발한 송신기와 수신기는 거리가 멀어짐에 따른 수신 신호의 신호대 잡음비가 급격히 낮아지는 문제점이 있기 때문에 향후 연구에서는 수신 배열센서의 빔패턴을 정확하게 측정하여 적응 광대역 빔형성기의 성능을 파악하고 송수신 앰프의 이득을 개선하여 시스템의 사용 범위 내에서는 일정 수준의 신호대 잡음비를 유지하도록 해야 할 것이다. 또한 개발한 시스템의 프레임 길이, 송수신센서의 깊이 및 거리에 따른 전송 효율을 측정하여 시스템의 성능을 정량적으로 검증하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부 수중 3차원 푸전영상 생성, 탐지 및 전송기술 개발과제와 결과의 일부임을 밝힙니다.

참고 문헌

1. D. Killfoyle and A. Baggeroer, "The state of the art in

underwater acoustic telemetry," *IEEE J. of Oceanic Eng.*, 25, 4-27, Jan, 2000.

2. M. Stojanovic, J. Catipovic, and J. Proakis, "Phase-coherent digital communications for underwater acoustic channels," *IEEE J. Oceanic Eng.*, 19, 100-111, Jan, 1994.
3. 손근영, 노용주, 윤종락, 수중 데이터 통신 시스템 개발 - 변조 방식의 성능비교, 한국음향학회 학술발표논문집, 19 2(s), 281-284, 2000.
4. 이외형, 손윤준, 김기만, 하이브리드 송신 어레이를 이용한 수중 음향 통신 시스템의 성능 향상, 한국음향학회지, 21 (7), 606-613, Oct. 2002.
5. J. Proakis, *Digital Communication*, McGraw Hill, 1893.
6. M. S. Roden, *Analog and Digital Communications Systems*, Prentice Hall, NJ, 1996.
7. H. Ko, A High Performance Parallel Architecture for Adaptive Beamforming, Dept. of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC, 1995.
8. Takahata, Key aspects and technologies of satellite communications toward multimedia era, *IEICE Trans. Commu.*, E80-B (1), 3-7, Jan, 1997.

저자 약력

● 박 종 원 (Jong-Won Park)



1995년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 9월~현재: 아주대학교 전자공학과 (박사과정)
 1997년 3월~현재: 한국해양연구원 해양시스템 안전 연구소 선임연구원
 ※ 주관심분야: 수중음향통신, 선박종합통신망, 해양 시스템개발, 수중로봇통신 시스템

● 고 학 림 (Hak-Lim KO)



1983년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년 8월: Fairleigh Dickson Univ. Electrical Eng. (공학석사)
 1995년 8월: North Carolina State Univ. Electrical & Computer Eng. (공학박사)
 1996년 3월~현재: 호서대학교 전기정보통신공학부 부교수
 ※ 주관심분야: 수중음향통신, 배열 신호처리, 스마트 안테나 시스템

● 이 덕 환 (Deok-Hwan Lee)



2001년 2월: 호서대학교 전파공학과 (공학사)
 2003년 2월: 호서대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2003년 3월~현재: 호서대학교 정보통신공학과 (박사과정)
 2003년 3월~현재: 한국해양연구원 해양시스템 안전 연구소 연수실습생
 ※ 주관심분야: 수중음향통신, 배열 신호처리, 디지털 신호처리

● 최 영 철 (Young-Chol Choi)



1998년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학사)
 2000년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
 2000년 3월~현재: 한국해양연구원 해양시스템 안전 연구소 연구원
 ※ 주관심분야: 수중음향 통신 및 신호처리

● 김 시 문 (Sea-Moon Kim)



1992년 2월: 한국과학기술원 과학기술대학 기계공학과 (공학사)
 1994년 8월: 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
 2001년 2월: 한국과학기술원 기계공학과 기계공학 전공 (공학박사)
 2000년 12월~현재: 한국해양연구원 해양시스템 안전 연구소 선임연구원
 ※ 주관심분야: 다채널 음향신호 처리, 수중음향통신, 수중 음향 센서

● 김 승 근 (Seung-Geun Kim)



1995년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
 2002년 8월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
 2002년 11월~현재: 한국해양연구원 해양시스템 안전 연구소 선임연구원
 ※ 주관심분야: 수중음향 통신, 통신 시스템 동기, 대역폭 효율적인 채널 부호화, 다채널 음향 신호처리기술

● 임 용 곤 (Yong-Kon Lim)



1979년 2월: 충남대학교 전기공학과 (공학사)
 1984년 2월: 충남대학교 전력전자공학 (공학석사)
 1994년 2월: 아주대학교 통신 및 신호처리 (공학박사)
 1980년 7월~현재: 한국해양연구원 해양시스템 안전 연구소 책임연구원
 ※ 주관심분야: 수중음향 신호처리 및 통신 시스템, 수중 로봇, 해양 장비개발