

수중 초음파 통신을 위한 QPSK 신호발생기의 DSP구현에 관한 연구

이덕환* · 지용일** · 김승근* · 임용곤* · 고희림**

*한국해양연구원

**호서대학교

DSP Implementation of QPSK Signal Generator for Underwater Supersonic Waves Communication.

DEOK-HWAN LEE*, YONG-IL JI**, SEUNG-GEUN KIM*, YONG-GON LIM* AND HAK-LIM KO**

*Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, KORDI, Daejeon, Korea

**HOSEO University, Asan, Korea

KEY WORDS: CCR 순환오류검사, Convolution Coding 길쌈 부호화, QPSK, Adaptive Equalizer 적응 등화기, Supersonic Wave 초음파, Raised-Cosine Filter 상승여현 필터, Reflection-Free Water Tank 무향 수조

ABSTRACT: There communicates using the supersonic waves in the underwater, that is different from the ground that use the propagation. Because using Low frequency to come under the waves, bandwidth that is able to communicate is very smaller than the mobile communication of the ground. Also, The channel environment changes rapidly in the shallow underwater than the ground. Due to such a reason, data transmission technic that is able to the maximum application to restricted bandwidth and the signal processing technics that is able to conquer the rapid changes of the channel environment are being used. Algorithm is used at the application of these technic has a lot of the calculating quantity. So this research reveals small bulk and equal performance using one DSP chip and then implements QPSK transmitter, that uses SHARC DSP of Analog Device company, for the underwater supersonic waves communication rapidly decrease the calculating quantity..

1. 서 론

최근에 해양 공간 이용, 해양 환경 보존, 심해 자원 개발 등과 같이 해양 산업에 필수적으로 필요한 바다에 관한 정보를 확보하기 위한 기술로서, 초음파를 이용한 수중 영상 정보 전송기술의 필요성이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 바다 속의 수중 로봇 (AUV : Autonomous Underwater Vehicle)이 수집한 영상 정보를 수중에서 초음파를 이용하여 배로 전송하기 위한 디지털 QPSK 신호발생기를 구현하였다.

본 연구에서 개발한 신호발생기는 AUV에서 수집한 영상 정보를 디지털 데이터로 변환하고, 수중에서 화상 데이터의 전송 시에 발생 할 수 있는 에러의 유무를 판단할 수 있도록 CRC coding과 발생된 에러를 수신 측에서 스스로 정정할 수 있도록 convolutional coding을 수행하며, 수중 채널 환경에서 군집으로 발생하는 에러의 영향을 최소화시키기 위하여 block interleaving을 수행하였다. 또한 동기 획득을 위한 baker code, pause, 그리고 다중경로에 의한 영향을 최소화시키고 수신 신호의 위상을 추정하기 위한 training sequence를 시분할 다중화 (TDM : Time Division Multiplex) 방식으로 하나의 프레임으로 구성한 후에 인접 심볼 간의 간섭을 줄이기

위하여 PSF(Pulse Shaping Filtering) 후에 QPSK로 변조하여 전송한다.

본 연구에서는 한 프레임을 2500 bits의 데이터로 구성하고, 한 프레임의 길이는 0.25 sec로써 시스템의 데이터 전송율은 10 kbps이다. 또한 전송되는 신호의 대역폭은 5 kHz, 반송 주파수는 25 kHz로 하였다. 그리고 상기와 같은 통신 알고리즘을 수행하는 신호발생기를 Analog Device사의 ADSP-21060 DSP 프로세서를 이용하여 구현하였으며, DSP의 출력 신호는 D/A 변환기를 통해 아날로그 신호로 변환한 후에 전송한다.

특히 본 연구에서는 DSP (Digital Signal Processor)로 구현 시에 가장 많은 계산량을 차지하는 PSF(Pulse Shaping Filter)와 QPSK변조 부분을 S/P되어 분리된 I-채널과 Q-채널의 데이터를 특정 구간만큼씩 읽어 판단 후 그 값을 이용하여 이미 PSF를 거쳐 QPSK변조되어 메모리에 저장되어 있는 값을 읽어 D/A로 보내는 방식을 이용하여 곱하기 연산을 없애고 더하기 연산을 상당량 줄임으로써 알고리즘 수행 시간을 단축 할 수 있었다.

본 연구에서 개발한 수중 초음파를 통신을 위한 QPSK 신호 발생기를 이용하여 무향 수조에서 신호를 송신하고 데이터 수집 보드를 통하여 수신된 데이터를 A/D하여 저장한 후 신호 발생기에 상용하는 수신기용 알고리즘을 이용하여 모의실험을 한 결과 그 성능이 우수함을 알 수 있었다.

제1저자 이덕환 연락처: 대전시 유성구 장동 171

042-868-7275 dhlee75@kriso.re.kr

2. 신호발생 시스템의 구조도 및 전송 프레임의 구조

본 논문에서 구현한 수중 초음파 통신을 위한 QPSK 신호발생기 시스템의 구조도가 Fig. 1에 보여진다.

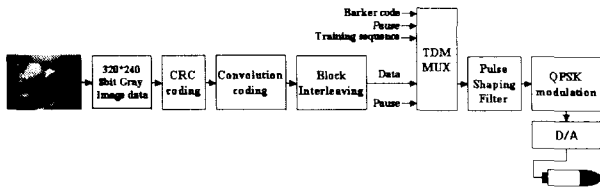
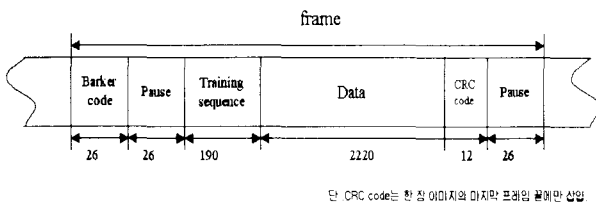


Fig. 1 수중 초음파 통신을 위한 QPSK 신호발생기의 구조도

Fig. 1에서 보여 지는 바와 같이 320×240 8bits Gray color의 화상 정보가 디지털 데이터로 변환되어 신호발생 시스템에 입력되면 전송도중 발생할 수 있는 에러의 유무를 판별할 수 있도록 12 bit CRC code를 여러 개의 프레임으로 나누어져 있는 한 장의 화상 이미지의 맨 마지막 프레임에 삽입함으로써 화상 이미지 한 장에 대한 에러의 유무를 검사하도록 하였다 (S. Haykin, 1994). 그리고 전송 시에 발생하는 에러를 재전송 없이도 수신 측에서 viterbi decoder (U. Rohde and J. Whitaker, 2001)를 통하여 정정이 가능하도록 CRC coding된 데이터를 다시 convolution coding을 수행하였다 (S. Haykin, 1994). 이때 구속장은 3으로 하고, 부호화율은 1/2로 하였다. 하지만 수중 채널 환경에서의 에러는 군집으로 넓게 발생될 확률이 매우 높기 때문에, 본 연구에서는 이러한 군집 에러에 의한 영향을 최소화하기 위하여 block interleaver를 사용하였다(T. Wysocki, H. Razavi, and B. Honary, 1997). 위와 같이 CRC coder와 convolution coder, 그리고 block interleaver를 통과한 데이터는 동기 획득을 위한 (barker code Z. Tranter, 1995), (M. S. Roden, 1996), pause, 그리고 다중경로에 의한 영향을 최소화 시키고 수신 신호의 위상을 추정하기 위한 RLS 알고리즘을 이용한 적응 등화기 용 training sequence (S. Haykin, 1991)가 시분할 다중화 방식으로 Fig. 2에서 보이는 바와 같은 하나의 프레임을 구성하게 된다.



단 CRC code는 한 장 이미지의 마지막 프레임 끝에만 삽입

Fig. 2 Frame format

Fig. 2에서 보이는 바와 같이 본 연구에서는 2500개의 bit를 하나의 프레임으로 구성하여 전송하며, 한 프레임의 길이는

0.25 sec로써, 시스템의 데이터 전송율은 10 kbps가 된다. 이러한 프레임 데이터는 serial-to-parallel에 의해 I 채널과 Q 채널의 데이터로 분리된 후 raised-cosine 필터에서 pulse shaping과 QPSK변조 방식으로 변조되어 이미 10k bps의 데이터를 5 kHz의 대역폭을 갖는 신호로 대역 제한 후 25 kHz의 반송주파수에 실려 메모리에 저장되어진 값을 읽어서 D/A변환기에서 아날로그 신호로 바뀌어 초음파 센서를 통하여 전송된다.

3. HIGH Speed Raised-Cosine Filter & Q Modulation

Flat-top multilevel pulse의 절대적 대역폭은 무한대이다. 따라서 데이터를 전송 시에 filtering을 수행하여야 한다. 또한 filtering이 부적절하게 사용되면 심볼간 간섭 (ISI : InterSymbol Interference)이 발생할 수 있다. 따라서 전송 시에 이상적인 저역 통과 필터를 사용하면 심볼 간의 간섭을 방지할 수 있으나, 이상적인 저역 통과 필터는 구현이 불가능하기 때문에 본 연구에서는 데이터 전송 시에 심볼 간의 간섭을 방지하기 위하여 raised-cosine filter[]를 사용하였다. DSP로 구현 시 보통 필터의 TAP수는 sample-point × 8T + 1이 되는데, 실제 DSP에서 이러한 수백 개의 TAP수를 갖는 필터를 구현 시에 한 심볼의 입력 때마다 TAP+1만큼의 곱하기와 TAP만큼의 더하기와 shift 연산이 이루어져야하기 때문에 상당히 많은 계산량을 가지게 된다.

또한 본 연구에서 구현한 신호발생기의 변조 방식은 제한된 신호대역폭의 두 배의 데이터를 전송할 수 있는 QPSK 방식을 사용하였다. 따라서 시분할 다중화 방식에 의해 구성된 프레임은 S/P되어 I-채널과 Q-채널로 분리된 후 raised-cosine filter를 통과한 신호에 $\cos 2\pi f_c t$ 와 $\sin 2\pi f_c t$ 를 곱한 I-채널과 Q-채널을 데이터를 합하여 D/A함으로써 신호를 전송하게 된다. 이때 한 프레임당 $1250 \times \text{sample-point}$ 만큼의 두 번의 곱하기와 한번의 더하기가 이루어져야 한다. 이때 cos 과 sine 함수를 호출하여 사용할 경우 더 많은 연산 시간을 필요로 한다. 위와 같은 raised-cosine filter와 QPSK 변조를 위해서는 고속의 DSP 또는 병렬 DSP와 DSP에 맞는 전용 라이브러리 함수가 필요하다. 따라서 시스템의 가격이 높아지고 부피가 커지게 되는 단점을 가지게 된다.

본 연구에서는 위와 같은 단점을 극복하기 위하여 시분할 다중화 방식으로 구성되어진 프레임이 S/P하여 I-채널과 Q-채널로 분리되면 Shift-Reg를 통과 시켜 한 심볼 shift될 때마다 register의 값을 읽어 이미 메모리에 저장되어진 I-채널과 Q-채널의 최종 출력 데이터를 읽어 sample_point 만큼씩 두 채널을 더하여 D/A로 보낸다. Fig. 3은 본 연구에서 구현한 High-Speed Raised cosine Filter & QPSK Modulation방식의 구조도를 나타낸다.

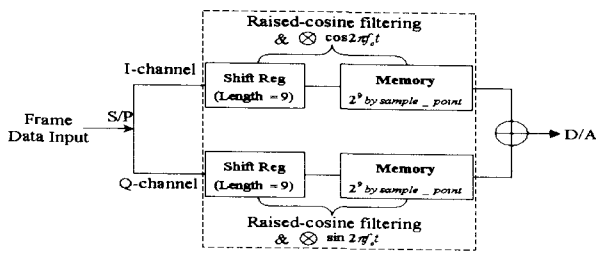


Fig. 3 High-Speed Raised cosine Filter & QPSK Modulation의 구조도

Fig. 3에 나타나 있듯이 실제 연산은 마지막 단의 더하기 밖에 존재하지 않으므로 DSP는 메모리를 읽는 시간과 한번의 더하기를 하는 시간만 필요하게 되므로 많은 연산과정이 생략되어 진다 (TAKAHATA. 1997). 따라서 저속의 DSP chip 하나만을 이용하여 간단하게 시스템을 구현할 수가 있다.

본 연구에서는 Fig. 3 에서처럼 Shift-Reg의 개수는 raised-cosine filter의 시간 간격에 맞게 9개를 사용했으며, 최종 출력 신호가 될 $2^9 \times sample - point$ 만큼의 출력 데이터는 raised-cosine filter를 통과하여 QPSK방식으로 변조된 신호를 MATLAB를 이용하여 발생한 후에 메모리에 저장하였다.

4. 신호발생기의 DSP 구현 및 무향 수조에서의 실험

본 연구에서 개발한 수중 초음파 통신을 위한 QPSK신호 발생기는 DSP를 이용하여 실시간 처리가 가능하도록 구현하였다. 본 연구에서는 DSP에 포팅 될 알고리즘은 ANSI C를 이용하여 프로그래밍 하였으며, 신호발생기의 구현 시 사용한 프로세서는 Analog Device사의 ADSP-21060이다. 이 프로세서는 40MHz의 속도를 갖으며 부동소수점 연산을 수행하는 DSP이다.

본 연구에서 구현한 신호발생기의 구조도가 Fig. 4에 보여 진다.

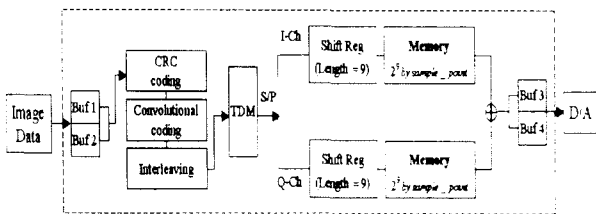


Fig. 4 수중 초음파 통신을 위한 QPSK 신호발생기의 구조도

Fig. 4에서 보이는 바와 같이 이미지 데이터를 입력 받는 버퍼는 CRC coding과 convolutional coding, interleaving 과 시분할 다중화, 그리고 raised-cosine filtering과 QPSK변조를 위한 알고리즘을 수행하는 동안에 입력되는 이미지 데이터의 저장을 위하여 두개를 사용함으로써, 버퍼 하나를 읽어서 처리하는 동

안 다른 하나의 버퍼에는 저장을 하는 스위칭 방식을 가능하게 구현하였다. 출력의 경우도 마찬가지로 D/A로 입력되어지는 데이터가 알고리즘의 수행하는 동안 끊어지지 않도록 두개의 버퍼를 사용하여 데이터를 D/A로 전송한다. 본 신호발생기에서는 각각의 알고리즘 수행 시에는 내부 메모리를 사용하며, 입력되는 이미지 데이터와 출력 데이터가 저장되는 Buf 1 ~ Buf 4는 외부 메모리를 이용하여 구현 하였다. 또한 raised-cosine filter를 통과하여 QPSK방식으로 변조된 I-채널과 Q-채널의 신호 데이터는 $2^9 \times sample - point$ 만큼의 큰 사이즈를 가지므로 이를 감당할 수 있는 외부 메모리영역을 이용하여 저장하였다. 본 연구에서 사용한 내·외부 메모리 영역의 할당은 BDPA (Block Data Parallel Architecture) 방식의 구조를 응용하여 설계하였다 (H. Ko. 1995), (S. Y. Kung. 1987).

Fig. 5 와 Fig. 6 에 본 연구에서 개발한 수중 초음파 통신을 위한 QPSK신호 발생기와 신호 발생기의 출력 신호가 보여 진다.

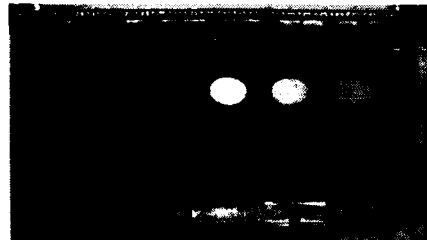


Fig. 5 개발된 QPSK 신호발생 DSP보드

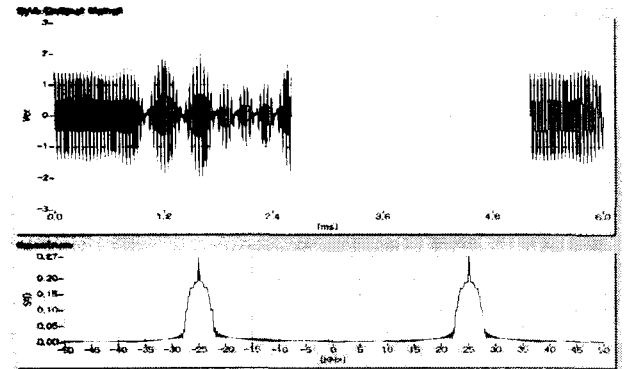


Fig. 6 QPSK 신호 발생기의 출력 신호

본 연구에서 구현 한 QPSK신호 발생기를 이용하여 무향 수조에서 신호를 전송하고 데이터 수집 보드를 이용하여 수집된 데이터를 적응 빔형성기와 적응 등화기, 그리고 프레임 동기 획득, 또한 deinterleaver와 viterbi decider, 그리고 CRC의 알고리즘을 갖춘 수신기용 DSP 시뮬레이터를 통하여 시뮬레이션 한 결과 본 연구에서 개발한 신호발생기가 기존의 신호발생기 방식과 같은 성질의 신호를 전송하는 것을 알 수 있었으며 또한, raised-cosine filter의 TAP 수와 sample-point를 증가 시켜가며 실험을 한 결과, DSP속도에 무관하게 1초에 4프레임

의 데이터를 Sampling-Frequency에 맞게 전송할 수가 있었다. 표 1에서는 본 연구에서 구현된 수중 영상의 전달을 위한 QPSK 신호 발생기에 사용된 파라메타 값들을 나타낸다.

Table 1 신호 발생 시스템을 위한 입력 파라메타

영상정보 크기	320×240 8bit Gray color	CRC code bit 수	12 bits
데이터 율	10 kbps	Pulse shaping	raised cosine filter(r = 0.1)
대역폭	5 kHz	변복조방식	QPSK
반송 주파수	25 kHz	D/A sampling rate	200 k samples/sec
컨벌루션 부호화율	1/2	프레임당 비트수	2500 bits/frame
Block Interleaver	30×37	Training sequence 개수	190 개
Barker code 길이	13 bit	sample-point 개수	40 개

5. 결 론

본 연구에서는 수중에서 영상 정보를 전달하기 위한 디지털 QPSK 신호 발생기를 구현 하였다. 또한 저속의 DSP Chip하나 만을 이용하여 부피가 작은 송신기를 BDPA방식을 응용하여 설계 구현함으로써 시스템의 구조를 하드웨어의 구조 변경 없이 쉽게 구현할 수 있었다. 또한 무향 수조의 실험을 통해 본 연구에서 개발된 송신시스템이 수중채널환경에서 기존 방식과 같이 10k bps 화상데이터를 25kHz의 초음파로 전송이 가능함을 알 수 있었다.

본 연구에서 구현한 수중 초음파 통신을 위한 신호 발생기는 수중에서 영상 정보의 전달을 목적으로 만들어 진 것이다. 하지만 신호발생기에 입력되는 이미지 데이터를 형성해주는 장비와의 인터페이스 문제로 인하여 무향 수조 실험 시에 이미 저장 되어진 영상데이터를 이용하여 송신 하였다. 추후 연구에서는 실제 수중 카메라 등의 영상장비를 통하여 전달되는 이미지를 전송할 수 있도록 해야 할 것이다.

참 고 문 헌

S. Haykin. (1994). "Communications Systems", John Willey & Sons, Inc., NY.
 T. Wysocki, H. Razavi, and B. Honary, (1997). "Digital Signal Processing for Communications Systems", Kluwer Academic Publishers, MA.
 Z. Tranter, (1995). "Principles of Communications". Houghton Mifflin, Boston.

M. S. Roden. (1996). "Analog and Digital Communications Systems". Prentice Hall, NJ.
 S. Haykin. (1991). "Adaptive Filter Theory". Prentice Hall, NJ.
 U. Rohde and J. Whitaker. (2001). "Communications Receivers : DSP, Software Radios, and Design". McGraw-Hill, NY.
 H. Ko. (1995). "A High Performance Parallel Architecture for Adaptive Beamforming". Dept. of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC.
 S. Y. Kung. (1987). "Wavefront array processor". Maecel Dekker Inc., NY.
 TAKAHATA. (1997). " Key Aspects and Technologies of Satellite Communications toward Multimedia Era". IEICE TRANS. COMMUN., VOL. E80-B, NO. 1 JANUARY.