수동 페이저 컨쥬게이션을 이용한 수중음향통신

윤종락, 박규칠, 박지현, 임춘단

부경대학교

Passive Phase Conjugation Approach in Underwater Acoustic Communication

Jong Rak Yoon, Kyu-Chil Park, Ji-Hyun Park, Chun-Dan Lin
Pukyong National University, jryoon@pknu.ac.kr

요약

수중음향채널의 다중경로에 의한 수신신호의 시간확산(Time spread)은 ISI를 유발하여 수중통신시스템의 성능을 저하시킨다. 시간확산에 의한 ISI를 줄이고 전송율이 높은 코히어런트(coherent) 시스템을 적용하기 위해서는 다중경로 영향을 제거해야 한다.

본 연구에서 적용하는 수동 페이저 컨쥬게이션(passive phase conjugation) 기법은 시역전 기술로 프로브 신호에 의한 시역전을 수행하여 다중경로에 의한 ISI가 감소하여 비트 오류율이 적어진다. 아울러 수신신호의 처리가 간단하여 다중경로에 의한 시간확산에 비례하는 탭수의 증가로 수신신호 처리시간이 과다한 적응등화기 기법에 비해 실시간 시스템 구현에 유리한 기법이다. 수치모의 실험으로 제안하는 기법의 성능을 해석하였다.

1. 서론

수중음향통신은 무인잠수정의 제어, 수중 화상 및 환경정보의 전송에서 요구된다. 그러나 천해와 같은 다중반사 환경에서 오류 없이 고속으로 정보를 전송하는 것은 어려운 기술이다. 오류 없이 정보를 보내기 위한 인코히런트 전송방식은 심볼과 심볼사이에 잔향시간에 비례하는 휴지시간(guard time)이 요구되고, 고속정보전송과 대역효율을 높이기 위해서는 코히어런트 전송기술이 요구된다. 또한 전송채널이 시간에 따라 변화하는 경우 코히어런트 전송방식은 적응처리 기술이 요구되며 시변응답을 적응처리하기 위해서는 과도한 탭수에 의해 계산시간이 과도하게 소요되어 실시간 통신이 어렵게 된다. 이와 더불어 지향성 송수신기를 이용하여 다중반사파의 효과를 경감시킬 수 있으나 이 경우에는 송수신기의 위치가 고정되어야 하고 아울러 전파경로의 직진성이 유지되어야 한다. 본 연구에서는 시역전 기술과 관계되는 수동페이저 컨쥬게이션을 적용하여 다중반사파로부터 얻어지는 신호대 잡음비를 개선하여 비트 오류를 줄이고자 하였다.

제안되는 기술은 반송주파수로 변조된 단일 심볼에 대응되는 프로브 펄스를 메세지 심볼열을 전송하기 전에 전송하고 잔향시간에 비례하는 휴지시간을 삽입한 후 메세지 심볼열을 전송하는 방식이다. 수신기 배열의 각 요소에서 수신된 신호는 각 수신기의 프로브 펄스의 시역전 신호와 컨벌류션된 후 가산 합성된 후 복조된다. 본 연구에서는 PSK 시스템에 수동페이저 컨쥬게이션을 적용하여 그 성능을 해석하였다.

2. 이론

능동 페이저 컨쥬게이션 기술은 시간영역에서의 시역전 정합필터처리기술에 기초한 기술로 기본 개념은 수신된 신호를 시역전하여 송신기로 재전송하여 전송채널의 영향을 제거함으로써 송신신호를 얻는 기술로 다양한 응용연구가 있다. 아울러 수신신호에 전송채널의 전달함수 추정치를 적용하여 송신신호의 스펙트럼이나 위치정보를 추정하는데 응용하고 있다. 본 연구에서 적용하는 수동 페이저 컨쥬게이션 기술은 프로브 신호의 전송채널 응답을 수신신호에 적용하여 능동 페이저 컨쥬게이션에서 요구되는 수신신호의 시역전 재전송과정을 대체한 기술이다.

본 연구에서는 BPSK 시스템을 고려하였고, 정보 심볼을 전송하기 전에 송신하는 프로브 펄스 $p(t)$는 1개 비트의 주기 T 구간에서 반송주파수 f_c가 여현신호로 가중치가 주어진 신호로 식(1)로 주어진다.

$$p(t) = \cos(2\pi f_c t)(1 - \cos(2\pi t/T)) \tag{1}$$

프로브 펄스를 보낸 후 잔향시간에 비례하는 휴지시간 T_g후에 메시지 심볼열이 전송된다. 수신기에서는 프로브 펄스의 전송채널 응답을 취하고 시역전 신호를 생성하여 정보심볼의 수신신호와 컨벌류션을 취하면 원래의 정보심볼의 신호가 복구된 후 복조된다. 메시지 심볼열의 전송신호 및 수신신호는 식(2)와 식(3)로 주어진다.

$$s(t) = \sum_n I_n p(t - nT) \tag{2}$$

$$r(t) = (\sum_n I_n p(t - nT)) * h(t) \tag{3}$$

여기서, $h(t)$는 채널의 임펄스 응답이다. 프로브 펄스의 응답 $p_h(t) = p(t) * h(t)$로 주어진다. 따라서 프로브 펄스 응답에 의한 수동페이져 컨쥬게이션 신호 $s_p(t)$는 식(4)로 주어진다.

$$\begin{aligned} s_p(t) &= r(t) * p_h(-t) \\ &= (\sum_n I_n p(t - nT)) * h(t) * p(-t) * h(-t) \\ &= (\sum_n I_n p(t - nT) * p(-t)) * (h(t) * h(-t)) \end{aligned} \tag{4}$$

여기서, I_n은 이진데이터의 시계열이다. 식(*)에서 $h(t) * h(-t)$는 채널의 임펄스 응답의 자기상관함수로 다중경로 반사파가 이산적으로 분포하는 경우 시간축 중심에서는 각 반사파의 세기 합으로 주어지고 그 이외의 시간에서는 각 반사파 상호간의 곱에 대응되는 값이 이산적으로 분포하게 된다. 따라서 각 반사파의 세기 합은 이산적으로 분포하는 값에 비해 상대적으로 큰 값이므로 각 비트신호의 자기상관 함수 즉 송신신호 특성인 $\sum_n I_n p(t - nT) * p(-t)$를 얻을 수 있다. 그림 1은 송신 및 수신신호로 메시지 신호에 앞서 프로브 펄스를 보낸다. 반사파의 경로는 직접파를 포함하여 7개로 하였고 해면 및 해저면 반사계수는 각각 -0.9 및 0.6으로 하였다. 그림 2는 수신된 신호를 프로브 펄스 응답의 시역전 신호로 컨벌류션 한 것으로 한개 채널의 경우와 7개 채널의 가산합성 결과이다. 그림에서와 같이 가산 합성하는 경우 이론적으로 얻을 수 있는 약 10dB의 이득을 보인다. 즉 M개의 수신기를 배열하는 경우 신호대 잡음비는 10log(M)으로 개선된다.

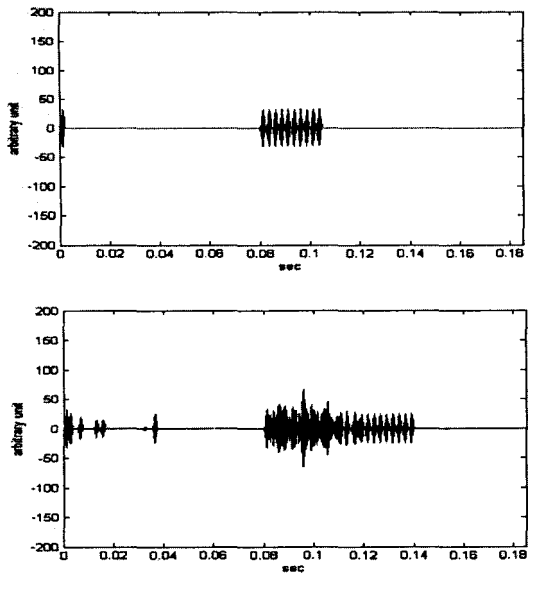


그림 1. 송신신호 및 수신신호

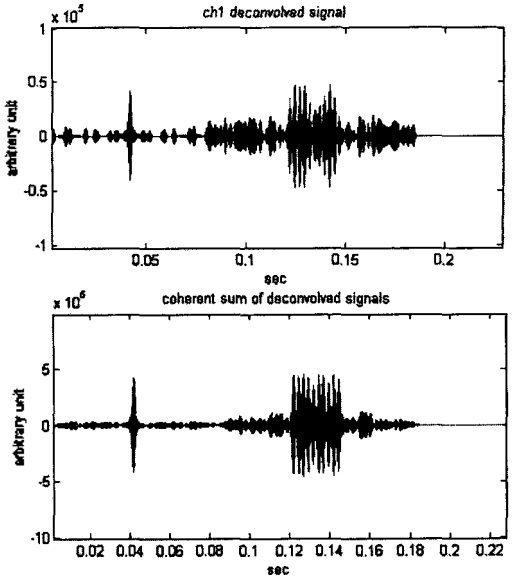


그림 2. 1개 및 7개 채널 가산합성 정합신호

3. 모의실험 및 결과

수심 100m, 다중반사파는 직접파를 포함하여 7개, 수신기 배열 수 7개로 하여 수동페이저 컨쥬게이션에 대한 성능을 모의하였다. 코히어런트 BPSK의 전송율은 2kbps로 하였고, 반송주파수는 20Khz로 하였으며 잡음이 없는 이상적인 경우와 SNR이 10dB인 2가지 경우에 대해 비트오류 특성을 조사하였다. 송신기와 수신기의 거리는 1000m와 2000m까지로 하였고, 수동페이저 컨쥬게이션을 적용하지 않은 단일 청음기 처리 결과와 7개 수신기에 수동 페이져 컨쥬게이션을 적용하여 가산 합성 처리한 결과를 비교하였다.

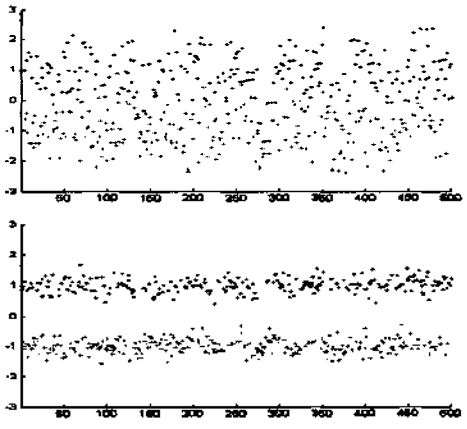


그림 3. 무잡음 조건의 단일 청음기 및 7개 채널 정합신호의 비트오류 특성(R:1000m)

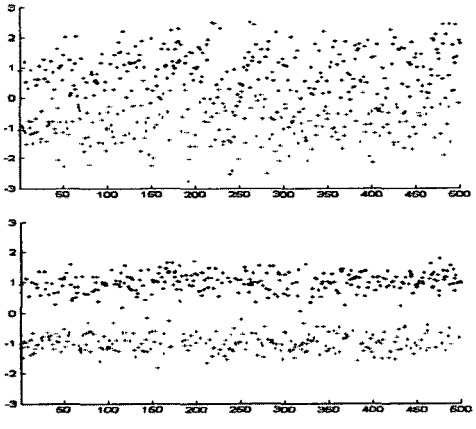
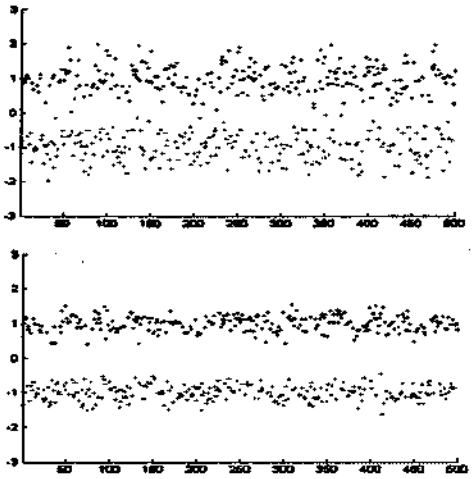


그림 4. SNR 10dB 조건의 단일 청음기 및 7개 채널 정합신호의 비트오류 특성(R:1000m)

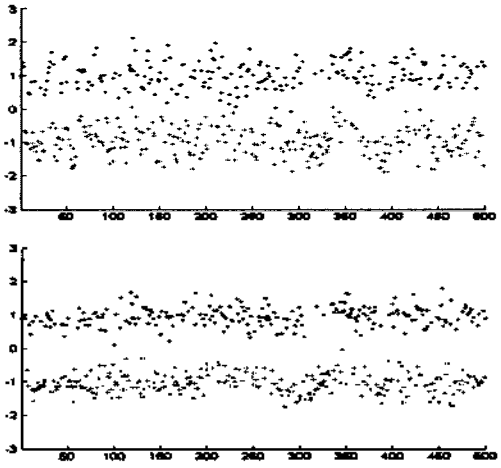
그림 3과 그림 4는 송수신기간의 거리가 1000m, 다중반사파의 최대 지연 시간이 약 80비트에 상당하는 경우에 대한 비트오류 특성이다. 그림의 왼쪽은 무잡음인 경우이고 오른쪽은 SNR이 10dB인 경우이다. 단일 청음기 처리의 경우 무잡음인 경우와 SNR 10dB의 경우 비트 오류율이 각각 0.08 과 0.11이지만 제안하는 기법을 적용한 경우에는

비트오류가 없는 것으로 분석되었다. 그림 5와 그림 6은 송수신기간의 거리가 1000m이고 다중반사파의 최대 지연시간이 약 40비트에 대한 경우로 단일 청음기 처리의 경우 무잡음인 경우 및 SNR 10dB에 대한 비트 오류율은 1000m에 비해 개선되지만 각각 0.06 과 0.07이며 제안하는 기법의 경우에는 비트오류가 없는 것으로 분석되었다.



bit number

그림 5. 무잡음 조건의 단일 청음기 및 7개 채널 정합신호의 비트오류 특성(R:2000m)



bit number

그림 6. SNR 10dB 조건의 단일 청음기 및 7개 채널 정합신호의 비트오류 특성(R:2000m)

4. 결론

수중음향채널의 다중경로에 의한 수신신호의 시간확산(Time spread)에 의한 ISI를 감소시키기 위해 수동 페이저 컨쥬게이션(passive phase conjugation) 기법을 적용한 모의 실험결과 비트 오류율이 적어져 송신 성능이 개선됨을 확인하였다. 제안하는 기법은 수신신호의 처리가 간단하여 수신신호 처리시간이 과다한 적응등화기 기법에 비해 실시간 시스템 구현에 유리한 기법으로 판단된다. 실제 시스템으로 구현하기 위해서는 송수신기의 상대적인 거리, 배열크기 및 송수신기의 상대운동에 따른 비트오류 특성에 대한 연구가 요구된다. 본 연구는 2003년도 부경대학교 해외 방문연구 및 2003년도 BB21 연구지원 결과의 일부이다.

참고문헌

[1] Aatares Parvulescu, "Matched-signal("MESS") Processing by the Ocean," J. Acoust. Soc. Am., 98(2), 943-960, 1995.

[2] Milica Stojanovic, "Recent Advance in High Speed Underwater Acoustic Communications," IEEE Journal of Oceanic engineering, Vol. 21, No. 2, pp.125-136, 1996.

[3] David R. Dowling, "Acoustic pulse compression using passive phase-conjugate processing,"

[4] Daniel Rouseff, et al., "Underwater Acoustic Communication by Passive-Phase Conjugation: Theory and Experimental Results," IEEE I. Oceanic Engr.m 26(4), 821-831, 2001.

[5] Arthur B. Baggeroer, "AcousticTelemetry -Overview," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. OE-9,No 4, October 1984.

[6] D. Billon and B. Quellec, "Performance of High Data Rate Acoustic Underwater Communication Systems Using Adaptive Beamforming and Equalizing," Proc. IEEE OCEANS 94', pp.507~512, 1994.

[7] Adam Zielinski, Young-Hoon Yoon, and Lixue Wu, "Performance Analysis of Digital Acoustic Communication in a Shallow Water Channel,"IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 20, No 4, October 1995.