OFDM을 이용한 수중채널 통신에 관한 연구

이수제, 전형원, Le Tran Tien Khanh, *이흥노

광주과학기술원 정보통신공학과

A Study on Communication in the Underwater Acuostic Channel Using OFDM

Su-Je Lee, Hyeong-Won Jeon, Le Tran Tien Khanh, *Heung-No Lee

Department of Information and Communications, GIST

요 약

수중채널에서는 다양한 파라미터들이 채널 응답에 영향을 미친다. 특히 해수면과 해저면에서 일어나는 반사와 산란에 의해 형성되는 다중경로에 의한 시간지연이 중요한 문제가 된다. 본 논문에서는 이러한 수중채널을 시뮬레이션을 통해 분석하고 시간지연으로 인한 문제들을 효과적으로 해결하기 위하여 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방법을 이용하여 통신 시스템을 디자인하였다.

1. 서 론

수중음향통신은 수중음원탐지, 잠수함, 수중 운동체 추적, UV (Underwater Vehicle)와의 통신 등 주로 군사적인 목적을 위해 제한적으로 사용되어 왔다. 최근 해양에 대한 관심이 많아지고 수중 센서네트워크에 관한 연구가 활발해지면서 그 활용분야가 확대되고 있다.

수중채널에서는 음파가 매질에 흡수 혹은 감쇄되기 때문에 대역이 제한되며 다중경로에 의한 도플러 확산(Frequency Spreading) 과 지연시간 확산(Travel time spreading)을 겪는다[1][2]. 이런 문제들을 해결하기위해 대역폭을 효율적으로 이용하며 다중경로에 의한 지연에 대한 대처능력이 좋은 OFDM 방식이 크게 관심 받고 있으며, 이를 수중채널에 적용하는 연구도 활발히 진행되고 있다[3][4].

본 논문에서는 수중채널 모델을 수립하고 시뮬레이션을 통한 분석을 토대로 시간지연 채널에서의 OFDM 시스템을 디자인하고 적절한 파라미터 값을 설정하였다.

2. 본 론

2-1 시뮬레이션을 통한 채널 모델링

수중 채널은 온도, 염도, 거리, 반송파 주파수 등 관련된 요소에 따라 매우 복잡하며 이 모든 것을 시스템에 반영하는 것은 많은 어려움을 지닌다[3] 본 논문에서는 수중채널이 시불변성이 가지는 조건을 고려해보고 그에 맞는 OFDM 시스템 방법을 강구해 보았다.

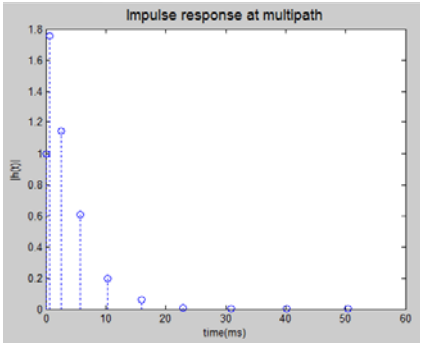

그림 1. 수중채널에서의 임펄스응답

수신단의 SNR(Singal to Noise Ratio)과 도플러 주파수는 OFDM 시스템에서의 적절한 반송파 주파수와 대역폭을 선택하기위한 중요한 요소이다.

본 논문에서는 서해 평균수심인 44m환경에서 각각 수심 22m에 위치하고 1000m 떨어진 채널을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. SNR이 가장 높은 지점인 20㎑를 반송파 주파수로 정하고 그에 따른 최대 도플

러 주파수는 풍속이 5㎧일 때 2.5Hz 가되는 것을 보였다.

그림 1은 주어진 채널에서의 임펄스 응답을 나타내고 있다. 최대지연 τmax는 16㎳ 로 이에 따른 상관대역폭(Coherent Bandwidth)은 62.5 Hz 로 최대 도플로 주파수(2.5Hz) 보다 매우 큰 값을 가지므로 시불변성을 가정할 수 있다. 채널 임펄스 응답은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$h(\tau)=\sum_{p}h_p\delta(\tau-\tau_p) \tag{1}$$

τ_p는 다중경로 신호 각각의 시간 지연을 나타낸다. h_p는 각 경로에 해당되는 감쇄를 나타내는 복소수 값을 가진다. 본 시뮬레이션 환경에서의 유효한 다중경로 신호는 5개 이다.

2-2 시간지연 채널에서의 OFDM 시스템 디자인

식 (1) 로부터 입력 $x(t)$와 출력 $y(t)$의 관계를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} y(t) &= x(t)*h(t)+n(t) \\ &= \sum_{p}h_p x[t-\tau_p]+n(t) \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 $n(t)$는 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 잡음으로 평균이 0이고 분산이 $N_0/2$이다. 전송되는 신호는 지연시간 확산에 의해 생긴 주파수 선택적 특성의 채널을 통과 하게 된다[5].

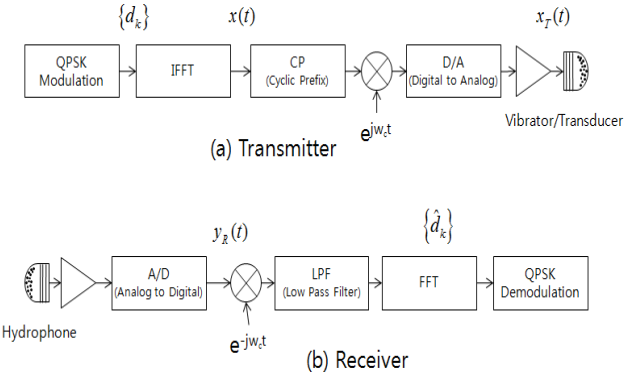

그림 2 수중채널에서 OFDM 블록 다이어그램

그림 2는 수중채널에서의 OFDM 시스템 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 입력데이터는 그림 2-(a)에서 나타난 대로 QPSK 방식으로 변조되어 d_k를 구성한다. 이 d_k 신호들은 IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform)과정을 거쳐 부반송파에 맵핑되어진다. 심볼 시간이 T 초인 OFDM 신호는 N개의 부반송파로 구성되며 각각의 부반송파는 직교성이 유지되며 $1/T$ Hz 간격으로 구성된다. 이렇게 해서 구성된 신호 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x(t)=\sum_{k=0}^{N-1}d_k e^{j\frac{2\pi}{T}kt} \tag{3}$$

$$x_T(t)=\sum_{k=0}^{N-1}d_k e^{j2\Pi(\frac{k}{T}+f_c)t} \tag{4}$$

여기서 식(3)은 기저대역에서의 신호를 나타낸다. 식(4)에서 f_c 는 반송파주파수, $x_T(t)$는 변조되어 전송되는 실제 신호를 나타낸다. 식 (2)와 (4)로부터 수신된 신호 표현할 수 있다.

$$y_R(t)=\sum_{p}h_p\sum_{k=0}^{N-1}d_k e^{j2\Pi(\frac{k}{T}+f_c)[t-\tau_p]}+n(t) \tag{5}$$

수신된 신호를 T_s에 맞추어 샘플링 하게 된다. T_s는 심볼 주기인 T를 FFT 사이즈인 N으로 나눈 값이다. 기저대역으로 천이된 신호는 다음과 같다.

$$y(mT_s)=\sum_{p}h_p\sum_{k=0}^{N-1}d_k e^{j2\Pi(\frac{k}{T}+f_c)[mT_s-\tau_p]-f_0 mT_s}+n(mT_s) \tag{6}$$

채널을 정확히 추정하였을 경우에 주파수 영역에서의 디지털 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$Y[k]=H[k]d_k+N[k] \tag{7}$$

여기서 $H[k]$는 임펄스 응답의 퓨리에 변환된 식으로 추정된 채널을 나타낸다. $Y[k]$는 k번째 부반송파에 담겨있는 데이터를 의미하고 복소수 값을 가진다. N[k]는 샘플링 된 노이즈인 $n(mT_s)$의 퓨리에 변환된 식이다[7].

이에 따라 신호를 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{d}_k=\frac{Y[k]}{\hat{H}[k]} \tag{8}$$

이때 d_k를 얻는 과정은 DFT 과정과 같으므로 OFDM 시스템 구현이 용의하다.

OFDM 시스템에서 신호의 전송은 다중경로의 영향으로 심볼간 간

섭 이 발생하여 이전 신호에 의한 영향을 받게 된다. 이러한 효과를 완화시키기 위해서 연속된 심볼 사이에 최대지연 확산(τ_{max})보다 긴 보호신호를 삽입하게 된다. 이에 따라 OFDM 심볼 주기는 유효 OFDM 심볼 주기와 보호신호 구간의 합이 된다. 직교성을 유지하기 위해 보호신호는 유효 심볼의 마지막 구간신호를 삽입하게 되는데 이 보호구간을 Cyclic Prefix(CP) 라고 한다[6].

제안된 시스템에서의 OFDM 파라미터 에 대해 분석해 보면 대역폭을 30㎑으로 설정하였을 때 FFT 사이즈는 부반송파 주파수의 값이 상관대역폭보다는 작고 최대 도플러 주파수보다는 크게 정해야 한다. 앞서 언급한 대로 도플러 주파수는2.5Hz 이고 상관 대역폭은 62.5Hz 이므로 FFT 사이즈를 1024로 정하면 부반송파 주파수는 29.3Hz.로 위의 조건을 만족하게 된다. 유효 심볼 주기는 부반송파 주파수의 역수인 34.1 ㎳ 이고 ISI를 완화시키기 위한 CP시간은 최대 시간지연과 같은 시간인 16㎳ 으로 정하였을 때 OFDM 심볼 주기는 50.1㎳ 가 된다.

3. 결론 및 연구 방향

3.1 결론

본 논문에서는 수중채널을 시뮬레이션을 통해 분석하고 주파수 선택적 특성을 보이는 임펄스 응답에 맞는 OFDM 시스템을 디자인하고 이에 적합한 OFDM 파라미터 값들을 설정해 보았다

3.2 연구방향

수중채널에서는 반송파 주파수가 높아지고 풍속이 높아질수록 도플러 주파수가 높아지기 때문에 더 이상 시불변 채널을 가정할 수 없다. 그럴 경우에는 채널을 추정하고 Water-filling 등의 최적화 방법을 적용하여 시스템을 디자인하는 방법을 적용하고자 한다.

Acknowledgement

This work was supported by the Korea National Research Foundation (NRF) Grant K20901000004-09E0100-00410.

참 고 문 헌

[1] M. Stojanovic, "On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel," Proc. of WUWNET, Los Angeles, CA, Sept. 2006.

[2] P. Qarabaqi and M. Stojanovic, "Statistical modeling of a shallow water acoustic communication channel," Proc. Underwater Acoustic Measurements Conference, Nafplion, Greece, June 2009.

[3] 배종태, 김민혁, 최석순, 정지원, 천승용, 도경철, "수중통신채널에서 고려되는 채널 부호의 성능 분석," 한국음향학회지 제27권 제6호 pp. 286~295, 2008

[4] 김병철, I-Tai Lu, "OFDM 수중음향통신 신호처리 설계와 성능평가," 2004년도 한국음향학회 학술발표대회 논문집 제23권 제2(s)호

[5] B. C. Kim and I. T. Lu, "Parameter study of OFDM underwater communications system," in Proc. of MTS/IEEE Oceans, Providence, Rhode Island, Sept. 11-14, 2000

[6] 조용수, "OFDM 기술 동향," Telecommunication Review, 12권 4호, pp. 466-478, 2002.