

수중 무선 광통신에서 태양광 잡음 제거

이경원, 오단비, 윤창현, 김기만

한국해양대학교

dino1324@naver.com

Solar noise rejection in underwater wireless optical communications

Kyung-won Lee, Dan-bi Ou, Chang-hyun Youn, Ki-man Kim

Korea Maritime and Ocean University

요약

LED(light emitting diode)나 레이저와 같이 빛을 사용하는 수중 무선 광통신 시스템에 유입되는 태양광에 따른 잡음은 수신 신호에 영향을 끼치고 시간에 따라 변화하는 특징을 갖는다. 이러한 특징은 문턱값을 사용하는 OOK(On-Off Keying) 방식에서의 복조 성능 저하의 원인이 된다. 따라서 본 발표에서는 이러한 태양광 잡음을 제거하기 위한 방법을 제시하고, 해상실험을 통해 실제 데이터를 분석하여 그 결과를 제시한다.

핵심용어 : 수중 무선 광통신, 태양광 잡음 제거, 해상실험

I. 서론

군사적 목적, 연안 탐사, 기후변화 감시 등 해양 연구가 중요해짐에 따라 수중에서 이전보다 많은 정보량의 전송이 필요하다. 수중 무선 광통신은 수중에서 주로 쓰이는 음향 통신에 비해 넓은 대역폭을 가지고 있어 높은 전송을 구현이 가능하지만 전송 거리가 짧고, 수중에서의 흡수 및 부유물에 의한 산란의 영향을 크게 받는다. 또한 광원의 파장에 따라 수중에서의 감쇠 정도도 달라지는데 적색보다는 청색 또는 녹색이 수중에서 감쇠가 적기 때문에 청록색의 광원을 주로 사용하게 된다.

빛을 이용한 수중 무선 광통신에서는 OOK 방식을 포함한 다양한 전송 방식들이 적용되어 왔다. 미국의 우즈 홀 해양 연구소가 청색 LED 어레이를 사용하여 수명장에서 2.28 Mbps의 전송 속도를 갖는 AquaOptical II라는 시스템을 소개한 이후 많은 연구가 진행되었으며, OOK 변조를 사용하여 수조 내에서 마이크로 LED의 광선을 반사하기 위해 거울을 사용하여 200 Mbps의 데이터 속도 및 3.0×10^{-6} 의 BER(bit error rate)에서 5.4 m의 데이터 전송이 실험적으로 입증되기도 하였다^[1]. 최근에는 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 방식을 적용하는 사례가 증가하고 있지만 여전히 OOK 방식은 구현이 간단하다는 장점이 있어 수중 무선 광통신 시스템의 구현에 있어서 매력적이다. 하지만 복조 과정에서 문턱값(threshold)에 따라 복조 성능이 변화할 수 있다는 단점이 있다. 따라서 실제 해양 환경의 경우, 흡수 및 산란, 탁도, 빔 확산과 정렬, 물리적 방해, 배경 잡음 등에 의해 많은 영향을 받게 된다. 그중 태양광에 의한 배경 잡음은 단순히 잡음의 증가뿐만 아니라 운용 수심이나 시간대 및 해수면의 거칠기에 따라 잡음의 크기가 지속적으로 변화하는 문제를 야기한다^[2]. 이는 고정된 문턱값을 사용하는 OOK 방식에 있어 성능을 제한하는 요소가 된다. 이에 본 발표에서는 태양광 잡음을 제거해 문턱값을 일정하게 유지함으로써 복조 성능을 유지하게 하는 기법에 대해 연구하였다.

II. 본론

수중 무선 광통신 과정에서 태양광 잡음은 배경 잡음 중 하나로 작용한다. 태양광 잡음으로 인하여 발생하는 문제점은 수신기에서 광통신의 빛

과 태양광이 모두 수신되므로 시간, 날씨, 깊이 등에 따라 광량이 시변동성을 띄게 된다. 고정된 문턱값을 통해 복조하는 OOK 방식에서 수신 데이터가 시변동성을 띄게 된다면 복조 성능이 저하를 유발하는 원인이 된다. 그림 1은 RZ-OOK(return-to-zero on-off keying) 방식으로 전송되어 이러한 태양광 잡음이 포함되어 수신된 신호를 나타낸 그림으로써 시간에 따른 변화로 인하여 복조 과정에 적용되는 고정된 문턱값으로는 정상적인 정보의 탐지가 어려운 구간이 발생함을 보여준다.

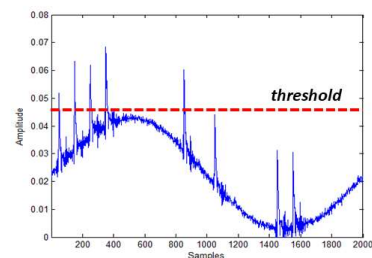


그림 1. 태양광 잡음이 포함된 RZ-OOK 신호 예

이러한 태양광 잡음 효과를 제거하기 위하여 기존에는 두 종류의 광검출기를 교차 결합하여 하나의 광검출기가 주변광과 함께 통신 신호를 수신하고 다른 종류의 광검출기는 주변광만 수신하도록 하는 차동 광학 수신기를 적용하였다^[3]. 또한 광 분리 렌즈, 2개의 광검출기 및 아날로그 대역통과 필터를 이용하여 차동 모드로 동작하는 특허가 등록되었으며^[4], 이외에도 아날로그 고역 통과 필터를 적용^[5]하는 방법 등이 제시되었다. 하지만 이들은 모두 광학적이거나 복잡한 아날로그 회로로 구성하는 방식으로 하드웨어를 구현하여야 하는 번거로움이 있어 하드웨어 구현의 특성상 일정하지 않은 성능을 보일 수 있다. 또한 2개의 광검출기를 사용하면 그만큼 비용이 증가하게 되는 문제점이 있다. 이에 하드웨어적인 방법이 아닌 소프트웨어적인 방법으로써 태양광 잡음 효과를 제거하는 방법이 요구된다. 궁극적으로 태양광 잡음이 시간에 따른 변동성을 갖고 있고, RZ-OOK 신호의 복조 과정에서 각 펄스의 길이가 원래대로 유지될수록 복조에 유리하지만 일반적인 고역 통과 필터는 이러한 조건을 모두 만족

시킬 수 없다. 이에 태양광 잡음을 제거하기 위해 본 발표에서는 다음과 같은 필터를 적용하였다. $x(n)$ 은 수신된 신호로써 필터 입력에 해당하며, $g(n)$ 은 추정된 배경 잡음, $y(n)$ 은 필터 출력이다. 여기서 α 는 상수로, 시변동성에 대한 추정 속도를 결정한다.

$$y(n) = x(n) - g(n) \quad (1)$$

$$g(n) = \alpha g(n-1) + (1-\alpha)x(n) \quad (2)$$

위 식은 가중치가 있는 순환형 필터로써 상수 α 는 0과 1 사이의 상수이다. 식 (2)에서 α 값에 따라 가중치를 주게 되는데, α 값이 커지게 되면 다음 배경 잡음 값을 추정할 때 이전 배경 잡음 값에 가중치를 주게 되고 α 값이 작아지게 되면 입력에 가중치를 주게 된다. 따라서 수신 레벨을 고려해 $g(n)$ 의 초기 배경 잡음을 설정하고 α 값에 따른 가중치를 주어 추정하게 한다. 이렇게 추정한 배경 잡음을 입력에서 제거해 출력을 도출한다. 연구된 방법의 성능을 확인하기 위한 해상실험이 수행되었으며, 그 구성은 다음의 그림과 같다. 송신단은 변조기, 구동 드라이버 및 광원으로 구성되었으며, 수신단은 집광렌즈, 광검출기 모듈, 아날로그-디지털 데이터 변환 장치 등으로 구성되었다. 광원으로써 520 nm 파장의 녹색 LED 어레이를 사용하였다. 프레임으로 만든 구조물에 송수신 시스템을 수평 방향으로 장착하여 수중으로 내렸으며, 전송 거리 3 m로 설정하였다.

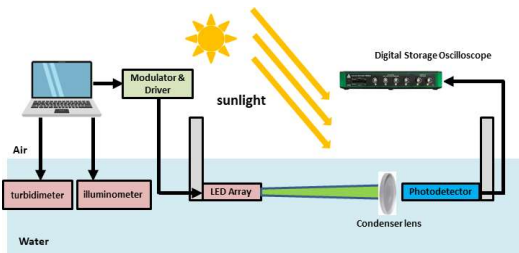


그림 2. 실험 구성도

실험 과정에 광 신호 전달에 큰 영향을 미치는 해수의 탁도를 지속적으로 측정하였으며, 그 결과 약 3.5 NTU (Nephelometry Turbidity Unit)의 탁도를 보였다. 또한 실험은 낮 시간대에 진행되었는데 수신단 근처에 조도계를 부착하여 수중에서의 주변광의 세기를 측정하였으며, 그 결과를 다음의 그림에 나타내었다. 그림에서 시간에 따라 매우 큰 변화를 확인할 수 있으며, 평균 480 LUX로 나타났다.

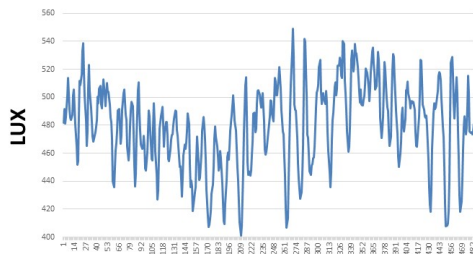


그림 3. 시간에 따른 주변광 변화값

그림 4는 실험 결과를 보여준다. (a)는 1 Mbps의 RZ-OOK 방식으로 전송되어 수신된 신호이며, (b)는 일반적인 고역 통과 필터를 적용한 결과, 그리고 (c)는 연구된 방법을 적용한 결과이다. 그림은 두 방법의 결과 모두 베이스라인의 크기가 0 근처를 유지하고 있는 것을 볼 수 있으나 일반적인 고역 통과 필터를 적용한 경우에는 각 펄스의 형태가 유지되지 못하

고 임펄스 신호 형태로 변형되는 것을 확인할 수 있다. 이는 펄스 신호가 유지되는 구간도 필터에 의해 제거 대상이 되기 때문이다. 이에 비해 연구된 방법의 결과는 베이스라인의 크기만 변화할 뿐 펄스 구간의 파형은 거의 그대로 유지되고 있음을 볼 수 있다.

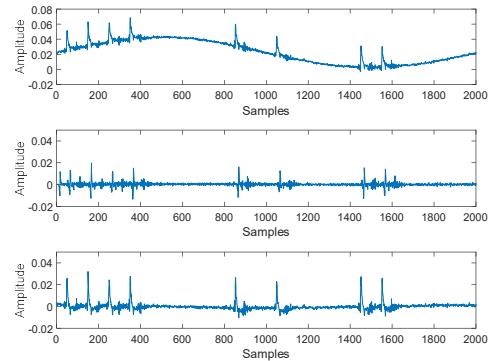


그림 4. (a) 수신 신호, (b) 고역 통과 필터 출력, (c) 가중치가 있는 순환형 필터 출력

III. 결론

본 발표에서는 수중 무선 광통신에서 영향을 주는 태양광 잡음 제거를 위한 방법에 대해 연구하고 해상실험을 통해 결과를 확인하였다. 태양광 잡음 제거를 위해 기존과 같이 하드웨어가 아닌 소프트웨어를 통해 잡음을 제거를 했다는 점에서 시변동성이 크고 환경에 영향을 많이 받는 수중에서 활용 가능성이 높을 것이라 생각된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 결과물은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3 단계 산학연협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] Pengfei, T., Xiaoyan L., Suyu Y., Yuxin H., Shuailong Z., Xiaolin Z., Laigui H., Lirong Z., and Ran L., "High-speed underwater optical wireless communication using a blue GaN-based micro-LED," Optics Express, vol.25, no.2, Jan. 2017.
- [2] Hamza T., Khalighi M., Bourennane S., Leon P., and Opderbecke J., "Investigation of solar noise impact on the performance of underwater wireless optical communication links," Optics Express, vol.24, no.22, Oct. 2016.
- [3] M.R. Alam and S. Faruque, "Prospects of differential optical receiver with ambient light compensation in vehicular visible light communication," in Proc. IEEE Vehicular Networking Conference(VNC), pp.1 - 4, Columbus, USA, Dec. 2016.
- [4] 강진일 외, 광 분리 렌즈 및 밴드패스 필터를 이용한 차동 모드 수중 광 무선통신 방법 및 시스템, 대한민국 특허 10-2328882, 2021.
- [5] Trio A. and Syifaul F., "Optical interference noise filtering over visible light communication system utilizing analog high-pass filter circuit," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, Cancun, Mexico, Dec. 2017.