

Combined Solar Panel-Photodiode 수신기 기반 수중 동시 광파 정보 및 전력 전송 시스템 구현 및 최적 운용 전략

임효진, 박영호, 송유재
영남대학교

dlagywls918@ynu.ac.kr, krik0897@yu.ac.kr, yjsong@yu.ac.kr

요약

본 논문에서는 Combined solar panel-photodiode 수신기 기반 수중 동시 광파 정보 및 전력 전송 (simultaneous lightwave information and power transfer; SLIPT) 시스템 프로토타입을 구현하고, 이를 활용하여 송수신 노드 간 field of view (FOV) 변화에 따른 energy harvesting (EH) 및 information decoding (ID) 성능을 실험적으로 측정하였다. 이를 통해 EH-ID 성능 동시 극대화를 위해서는 송수신 노드 간 거리 최적화가 필요함을 제안한다.

I. 서론

오늘날 수중 통신은 밝혀지지 않은 해양의 심층을 탐색하는 데 중요한 역할을 하며, 수중 관측 및 연구 개발에 필수적이다. 특히 수중 무선 광통신은 light emitting diode (LED), laser diode (LD) 등의 광원을 활용하여 수중에서 데이터를 전송하는 방식으로써, 전통적인 수중 음파 및 전파 통신 대비 빠른 전송 속도 및 높은 대역폭을 제공한다. 특히, 수중 무선 광통신은 solar panel 기반 simultaneous lightwave information and power transfer (SLIPT) 기술 적용을 통해 정보와 전력을 동시에 전송할 수 있으며, 이를 통해 수중 장비에 가장 큰 제약이 되는 배터리 용량 제한 문제를 극복할 수 있다. 이러한 이유로 최근 solar panel 기반 수중 SLIPT 시스템의 information decoding (ID) 및 energy harvesting (EH) 성능을 더욱 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. [1], [2]에서는 시간, 전력 및 공간 영역의 다양한 SLIPT의 다양한 기술을 소개하고 있다. [3]에서는 심층 강화 학습을 통해 수중 센서에서 빔 발산각 및 전송 파워의 최적화를 통해 수신 노드의 배터리 소모를 최소화하면서 송수신 노드 사이의 끊김 없는 통신을 제공하는 것을 목표로 한다.

본 연구에서는 수중 SLIPT 시스템 이론 연구에서 더 나아가, Combined solar panel-photodiode 수신기 기반 수중 SLIPT 시스템 프로토타입을 구현하고, 이를 활용하여 송수신 노드 간 field of view (FOV) 변화에 따른 EH 및 ID 성능을 실험적으로 측정하였다. 이를 통해 EH-ID 성능 동시 극대화를 위해서는 송수신 노드 간 거리 최적화가 필요함을 제안한다.

II. 본론

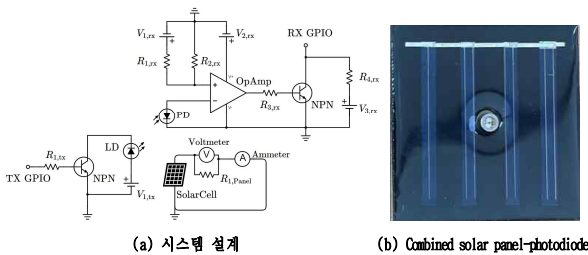


그림 1: Combined solar panel-photodiode 수신기 기반의 수중 SLIPT 시스템의 설계 및 프로토타입 구현

그림 1은 본 연구에서 제안한 Combined solar panel-photodiode 수신기 기반의 수중 SLIPT 시스템 설계 및 프로토타입 구현을 나타낸다. 송신단은 LD를 광원으로 사용하였으며, 수신단은 solar panel과 photodiode(PD)를 결합적으로 사용하여 EH-ID 성능 동시 극대화를 달성하고자 하였다. 특히, 송신단에서 한 개의 LD를 사용하더라도 수신단에서 EH-ID를 동시에 가능하도록 그림 1-(b)에서와 같이 solar panel의 중앙에 PD를 결합하였으며, 송신단의 LD는 수신단의 solar panel 중심을 타겟으로 하여 조사하도록 시스템을 구현하였다.

또한 데이터 통신을 위해 송수신단에서 Jetson Nano Development kit를 MCU로 사용하였으며, On-off keying 변조 방식을 채택하였다. PD의 출력은 operational amplifier (Op-amp) 및 transistor를 통해 디지털화되어 MCU로 입력된다. 조금 더 구체적으로 설명하면, PD는 Op-amp 비교기의 기준 전압을 활용하여 출력 전압을 결정한다. 이때,

비교기의 기준 전압은 0m에서 PD의 최대 출력을 기준으로 설정하였다. PD의 출력이 기준 전압을 넘으면 3.3V를 출력하게 되고 기준 전압을 넘지 못한다면 출력을 내지 않는다. 최종적으로, 해당 출력은 NPN transistor에 입력으로 들어가게 되며 신호를 디지털화하게 된다.

본 연구에서 개발한 수중 SLIPT 시스템의 성능 평가를 위해 EH의 양은 solar panel의 출력 전압과 전류를 측정 계산하였으며, ID 성능은 bit error rate (BER)로 측정하였다.

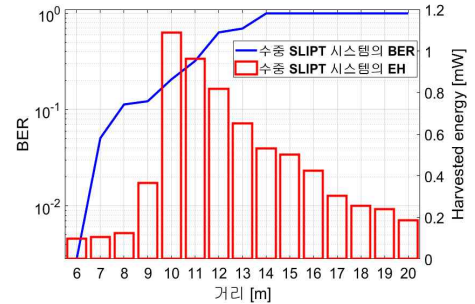


그림 2: 수중 SLIPT 시스템의 거리 변화에 따른 EH 및 BER 성능 결과

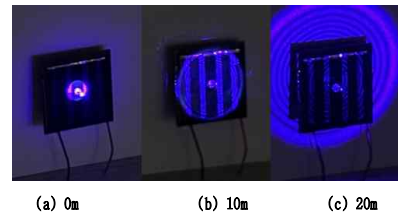


그림 3: 송수신단의 거리 변화에 따른 수신단에서의 FOV 변화

그림 2는 수중 SLIPT 시스템 송수신단의 거리 변화(FOV 변화)에 따른 EH과 BER를 측정한 결과이다. 본 실험은 송수신단 거리를 6m에서 20m까지 1m 간격으로 이동하며 진행하였다. 그림 2를 통해 송수신단 거리가 10m일 때 최대의 EH 성능(약 1.1mW)을 달성하고, 그 이전과 이후는 최대치보다 낮은 성능을 보임을 알 수 있다. 그 이유는 거리에 따른 수신단의 FOV를 보여주는 그림 3을 활용하여 설명할 수 있다. 그림 3(a)와 같이 최대의 EH 성능을 달성하는 거리(10m) 이전에는 수신단의 FOV가 solar panel의 크기보다 작게 형성된다. 그에 따라 solar panel에 빛이 조사되는 영역의 cell의 출력은 강할지라도, 조사되지 않는 solar panel의 cell은 출력을 만들어 내지 못하기 때문에 전체 solar panel의 전력이 충분히 나오지 않는다. 반면에 10m 이후에서는 그림 3(c)와 같이 수신단의 FOV가 solar panel의 크기를 넘어선다. 이때는 solar panel의 모든 cell에 빛이 조사되지만 FOV가 증가함에 따라 단위 면적당 빛의 세기가 줄어들기 때문에 solar panel의 출력이 감소한다. 위의 이유들로 그림 3(b)와 같이 FOV가 solar panel의 크기와 동일할 때 최대의 EH 성능을 달성함을 확인할 수 있다. 또한, ID 성능 관점에서는 송수신단의 거리가 멀어질수록 BER이 저하됨을 확인할 수 있다. 특히 그림 2에서 확인할 수 있듯이, 특정 거리(약 6~14m 인근)에서 BER 성능이 급격히 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 이를 조금 더 분석적으로 관찰하기 위해, 해당 거리 이내(6~14m)에서 BER과 기준 전압 초과 비율을 측정하여 그림 4에 나타내었다. 이때 기준 전압 초과 비율은

