

角度ダイバーシティ受信機を用いた 水中可視光通信におけるPDの配置に関する検討

松永 慧吾、小澤 佑介、羽瀨 裕真
茨城大学大学院理工学研究科情報工学専攻

水中可視光通信(UVLC)

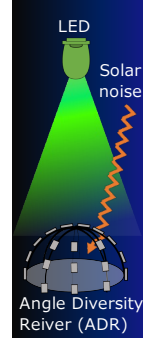
近年、海底資源の効率的な探索・発掘作業のために海中可視光通信が注目されている

UVLCの送受信機構成

送信機	レーザーダイオード(LD)	発光ダイオード(LED)
受信機	Avalanche PD(APD)	PD
利点	<ul style="list-style-type: none"> 中距離通信可能 高速通信可能 	<ul style="list-style-type: none"> 光軸合わせが不要
課題	<ul style="list-style-type: none"> 送受信機間で光軸合わせが必要 太陽光雑音による受信電流飽和 	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光雑音によってSNRが大きく劣化 受信電流値が低下

角度ダイバーシティ受信機を用いたUVLC

LED/PD-UVLCの課題を解決するために複数のPDを異なる角度で配置した角度ダイバーシティ受信機(ADR)に着目



先行研究[松永ら, 2022年3月WBS研究会]

- PDを均等に配置したADRを用いたUVLCを検討
- 各PDからの受信信号にダイバーシティ合成技術を適用
 - 送受信機間距離が小さい: SNRが向上
 - 送受信機間距離が大きい: 信号を受光できないPDが増加SNRが劣化

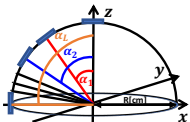
本研究: ADR上のPD配置について検討

- PD配置アルゴリズムを提案
- 変調方式としてOOK、ダイバーシティ合成技術としてMRC
- 時間に応じた太陽光雑音を考慮し、通信エリアに応じた平均SNRを理論解析により評価

PD配置アルゴリズム

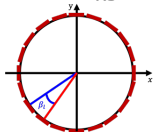
- 海面方向(z軸方向)に対して任意の角度
 - 海面と平行方向(xy軸方向)に対して均等にPDを配置するアルゴリズムを提案
- アルゴリズムは下記4step

- 受信機の形は半球体形状
- 受信機真上(z軸上)にPDを配置
- xz軸平面上にPDを角度 α_l 間隔で重ならないように配置。ここで $l=1,2,\dots,L$ であり、xy軸平面上に合計L個のPDを配置



- 所望信号を大きく
 - 太陽光雑音を小さく
- なるよう角度を調整
今回は基礎検討として $\alpha_1 = \alpha_l - \alpha_{l-1}$ とする

- 3)で配置した各PDを基準にxy軸平面上にPDを角度 β_l 間隔で重ならないように均等に配置



- 受信機がxy軸方向で回転しても安定的に受信できるように均一配置

PD配置アルゴリズムを適用したADR

下図にPD数を121個とし、xy軸平面上に配置する総PD数Lを変化させた場合のADRを示す(R=0.25m)

受信機名	Rx1	Rx2
$\alpha_l - \alpha_{l-1}$ [度]	90	45
β_l [度]	3	6
受信機名	Rx3	Rx4
$\alpha_l - \alpha_{l-1}$ [度]	30	18
β_l [度]	9	15
受信機名	Rx5(従来受信機)	Rx6
$\alpha_l - \alpha_{l-1}$ [度]	15	18
β_l [度]	18	15
受信機名	Rx7	Rx8
$\alpha_l - \alpha_{l-1}$ [度]	6	3
β_l [度]	45	90

性能評価

本研究では下図のダウンリンク型LED/ADR-UVLCにPD数121個としたRx1~Rx8を用いた場合のエリア平均SNRを評価する

- 水深24mに緑色LEDを設置
- LED放射パターンとしてランペルト放射(半角60°)
- 海中光減衰(水質Pure sea)
- SPECTRAL2によって時間に応じた太陽光雑音導出(日本8月)
- 水深29mにADRを配置
- 最大比合成技術
- OOKをしきい値判定

項目	値
送受信機間距離	5m
ビットレート	1Mbps
送信光電力	1.3W
受光感度	1A/W
受光面積	1cm ²
FOV	$\frac{\pi}{2}$ rad

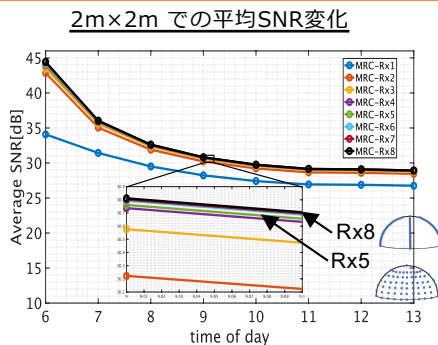
エリア平均SNR

ADRをxy軸平面の任意のエリア内に0.1m間隔で配置した際の平均SNRを導出・評価

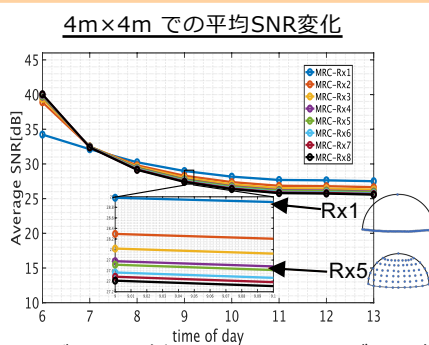
- エリア1: 2m×2m
- エリア2: 4m×4m

※受信機は最初、送信機の真下5mの地点に位置しているものとする。

各受信機のエリア平均SNRの比較



a方向の分解能が高いRx8が最も良い性能を示す。→位置に応じた最適角にPDが存在するため



ほとんどのPDを側面に配置したRx1が最も良い性能を示す。→太陽光雑音の影響を減らしながら多くの信号を取り込めるため。

まとめ

- 本研究ではダウンリンク型LED/ADR-UVLC方式のためのPD配置アルゴリズムを検討
- PD数121個としたRx1~Rx8を用いた際の平均SNRを評価
- その結果、
 - ✓ 従来のADR(Rx5)に比べてSNRが向上
 - ✓ 小さいエリアではRx8が有効
 - ✓ 大きいエリアではRx1のように受信機側面にPD配置が有効