

# MIMO 処理を用いた水中光無線通信による大容量化

1180094 竹並 竜矢 (光制御・ネットワーク研究室)  
(指導教員 岩下 克 教授)

## 1. 研究背景・目的

通信技術の発展に伴い水中における無線通信にも高速化・大容量化が求められるようになってきた。現在、水中無線通信では音波を用いた音響波通信が主流となっているが、音響波通信では伝送速度が 16kbps と非常に低速であるため[1]、動画などを伝送するには伝送速度の向上が必要である。電波では水中での減衰が非常に大きく適さない[2]。そこで、電波に比べ減衰が小さい青色光を水中光無線伝送に適用することで伝送速度の向上が可能であると考えられる。

本研究ではさらなる大容量化のため複数の LED とフォトトランジスタを用いて並列伝送によりチャンネル数を増加し大容量化をはかった。LED を用いると光の干渉は起きないが隣接するチャンネルからの信号の干渉が発生する。干渉した受信信号から必要な信号を取り出す為 MIMO(Multi Input Multi Output) 処理を適用した。MIMO 処理を用いた 4 チャンネルの並列伝送水中光無線通信について実験的に検討したのでその結果を述べる。

## 2. 送信信号フレーム構成

送信信号のフレーム構成を図 1 に示す。4×4 (送信 LED4 個, 受信 PT4 個) 水中光無線伝送を行うには、水中伝送路の状態を表すチャンネル行列  $H$  の測定が必要である。そのため、図 1 のように送信信号のフレームにチャンネル行列を測定するための特定のトレーニングパターンを用意した。トレーニングパターンは LED を順次点灯しチャンネル行列を推定した。トレーニングパターンを水中の状態変化よりはやく頻度で挿入することにより、水中での時々刻々とした変化に対応することが可能である。

## 3. 実験構成

実験構成を図 2 に示す。4×4 水中光無線伝送において伝送速度は各チャンネル 1kbps で実験を行った。送信部で疑似ランダムパターンを Arduino で作成し、フレーム毎に挿入して 4 つの青色 LED をパルス幅 1ms 変調した。トレーニングパターン 6 ビット、データ 124 ビットとし、130ms ごとにチャンネル行列推定を行いデータの最適な復元を行った。また送信する際に変調した LED の光を凸レンズを用いて集光し距離 0.6m の水槽中を通過させた後、受信器側へ送信した。受信部では 4 つのフォトトランジスタ(PT)を用いて受信した。受信した信号に Arduino を用いて MIMO 処理を適用し元の信号に復元した。また図 2 の実験構成において凸レンズを移動させることにより干渉の割合を変化させることでチャンネル行列  $H$  の値を変化させ、干渉の割合と復元可能性を示す量である条件数(k)の変動を測定した。

## 4. 実験結果

図 3 に 4×4 水中光無線伝送を行った際の送信信号・受信信号・復元信号を示す。また図 4 に条件数(k)と誤り率の関係を示す。条件数(k)は 1 で干渉が全くない状態で、それより大きくなれば復元が難しくなる。条件数は  $k(H) = \|H^{-1}\| \cdot \|H\|$  と定義される。誤り率は  $10^{-3}$  以下の場合において誤り訂正が可能であるため、その条件を考慮すると条件数 k が 3 の場合において誤り率が  $10^{-3}$  以下に抑えられているため、この条件下で正常に動作可能であるということが分かる。条件数 3 は隣接チャンネルからの干渉信号は 0.4 倍以下、対角線上からの干渉信号は 0.28 倍以下の場合に相当する。

## 5. まとめ

送信器に青色 LED、受信器にフォトトランジスタ、制御基板

に Arduino を用いて距離 0.6m の 4 チャンネル水中光無線伝送を行った。また本実験系の動作範囲を明確化することが出来た。

## 6. 参考文献

- [1] 越智 寛, “水中音響通信装置” 日本音響学会誌 72 巻 9 号 (2016), pp. 600–601
- [2] JAMSTEC | 海洋研究開発機構 | ジャムステック, “やってみよう! 海と地球の自由研究” <http://www.iamstec.go.jp/j/kids/jiyu-kenkyu/006/>

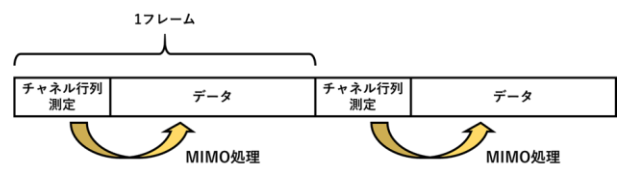


図 1 送信信号フレーム構成

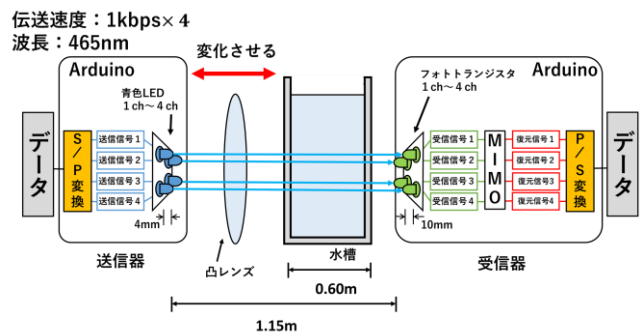


図 2 実験構成

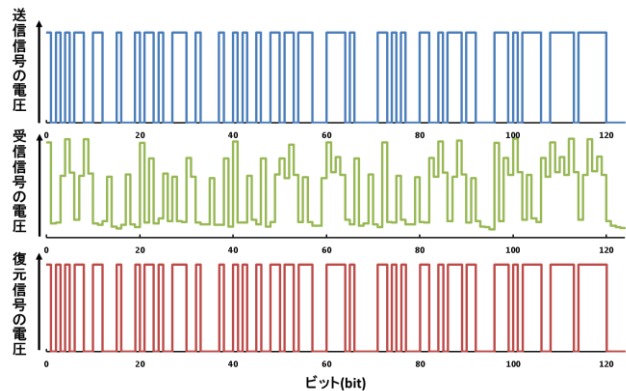


図 3 送信信号, 受信信号, 復元信号の比較

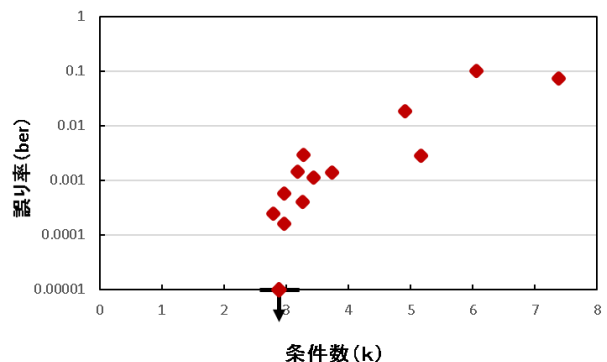


図 4 条件数 k と誤り率の関係