

**水難事故防止や海底資源調査・探索等を目的とした
OFDM 変調方式による水中音響通信の研究開発 (132311001)**
An Ultrasonic OFDM Transceiver for Underwater Acoustic Communication

研究代表者

鈴木大作 沖縄工業高等専門学校

Taisaku Suzuki Okinawa National College of Technology

研究分担者

和田知久[†] Tran Minh Hai^{††} 太田佐栄子^{†††}

Tomohisa Wada[†] Tran Minh Hai^{††} Saeko Ohta^{†††}

[†]琉球大学工学部情報工学科 ^{††}琉球大学大学院理工学研究科 ^{†††}沖縄工業高等専門学校

[†]Department of Information Engineering, University of the Ryukyus

^{††}Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus

^{†††}Department of Media Information Engineering, Okinawa National College of Technology

研究期間 平成 25 年度～平成 26 年度

概要

水中通信では、電磁波の吸収減衰率は非常に高いが、音波は非常に低く最も有効な手段であると言える。水中では、波浪雑音等の背景雑音や船舶が発する人口雑音、生物が発する雑音など様々な雑音が発生しており、また、海底の複雑な地形により音波の反射が多く発生しており、通信の高速化、高品質化が損なわれていると考えられる。現在、地上における電波を用いた通信において広く採用されている OFDM 変調方式は、これらの環境下における有効な技術として注目されており、本研究では、水中音響通信における超音波の帯域を用いた OFDM 変調技術と複数の受信機によるダイバーシチ合成技術、ターボエラー訂正等を組み合わせた高感度データ通信技術の研究開発を行った。新たに専用の水中音響通信実験システムを構築し、海洋実験と通信品質の改善の取り組みを行い、送信側トランスデューサの移動速度が 1knot の場合に QPSK/16QAM/64QAM の全変調の試験においてエラーフリーの通信が行えることを確認した。

1. まえがき

マリンレジャーを安全に楽しむための水中コミュニケーションシステムや管理システム、また、海底資源の調査・探索を行うための水中通信の高速化、高品質化が重要であると考えられる。本研究では、現在地上波デジタル放送や Wi-Fi 等で採用されている OFDM 変調技術を水中音響通信に適用し、更にダイバーシチ等の技術を組み合わせることにより広帯域伝送を実現するための研究開発を行った。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発で最終的に構築した通信システムの送受信処理ブロックを図 1 に示す。送受信処理はそれぞれ MATLAB により構築し、PC にデータ収集ボード等を組み合わせた受信装置により、リアルタイムデータ受信処理を実現している。ダイバーシチのブランチ構成は、1 送信トランスデューサ及び 4 受信トランスデューサの構成とし、受信側のブランチ数はプログラムにより容易に変更可能である。

本システムで用いる OFDM 変調方式の各パラメータ値を表 1 に示す。本システムでは、20KHz から 28KHz の 8KHz 幅の超音波帯域を用いた OFDM 通信システムで、サンプリング周波数は 96KHz である。2 つの動作モードをサポートし、MODE2 では OFDM 変調として 1KFFT に対応し、有効シンボル長は 10.667ms、MODE3 では 2KFFT に対応し、有効シンボル長は 21.333ms である。8KHz 帯域を用いるので、OFDM 変調のサブキャリア数はそれぞれ、81 (MODE2) 及び 161 (MODE3) となっている。

水中での音速は約 1500m/s 程度と、空中での電波の伝搬速度が光速であることと比較すると、水中では波の伝搬速度が著しく遅いという特徴がある。これは、言い換えれば

送受信機の移動に伴うドップラーシフトによる周波数変動が発生し、通信を行うチャネル伝搬特性が時間的に変化することを意味する。このような状況に対応するために、チャネル推定パイロットの配置を全ての時間シンボル及び全ての周波数キャリア位置に配置し、それを斜め方向に移動させる配置をした。このパイロット配置から全ての場所のチャネル伝達特性を補完するために、2 次元 DFT を用いた補完方式を適用した。

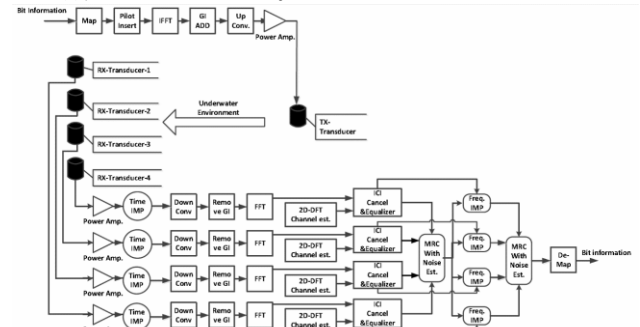


図 1 4 受信ダイバーシチシステムの送受信処理ブロック図

表 1 OFDM システムパラメータ

Parameters	MODE	
	2	3
TX-RX Elements	1 TX and 1-4 RX Transducer	
Sampling Frequency	96000 Hz	
TX Center Frequency	24000 Hz	
Band Width	8000 Hz	
FFT Size	1024	2048
OFDM symbol length T	10.667 ms	21.333 ms
GI length	0.5T	0.5T
Sub Carrier Spacing	93.75 Hz	46.875 Hz
Number of Sub Carrier	81	161

沖縄県内漁港等において送信機と受信機を海面に対して水平方向に配置した実験によりシステムの動作検証や送受信処理の改善を繰り返し行うと共に、関連企業所有の計測バージを使用し、図 2 に示すような環境で実験を行った。MODE2 では、2.0knot までの速度で送信トランスデューサを移動させて、平均 BER を計測する実験を行った。

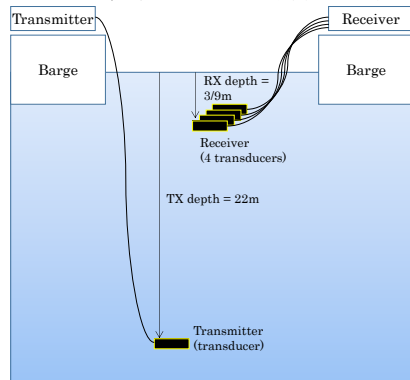


図 2 計測バージでの実験環境図

変調は、QPSK/16QAM/64QAM であり、FEC(Forward Error Correction)としてターボ符号によるエラー訂正を行っている。MODE2 における送受信トランスデューサ静止状態での平均 BER の変化を図 3 に示す。R=1/3 (R は全送受信ビット数のうちの実際の有効ビット数の割合を表す)のエラー訂正機能 ON/OFF の結果を示している。点線がエラー訂正 ON に対応する。

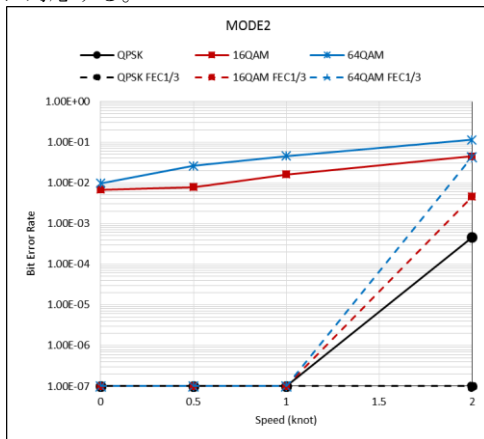


図 3 MODE2 BER 結果 (点線=FEC1/3)

[注] 対数グラフで示すためエラーフリーを 1E-7 として示している
MODE2 における送受信トランスデューサ静止 (0knot) 時の 16QAM 及び 64QAM のコンスタレーションをそれぞれ図 4 及び図 5 に示す。いずれも 4 つの個々の受信トランスデューサのダイバーシチ合成により受信品質が改善される結果となった。

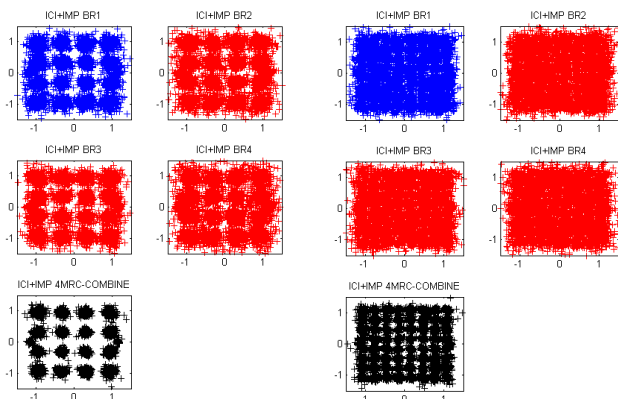


図 4 16QAM コンスタレーション (MODE2) (0knot) 図 5 64QAM コンスタレーション (MODE2) (0knot)

MODE2 における送信トランスデューサ移動時 (0knot/2.0knot) の QPSK のコンスタレーションをそれぞれ図 6 及び図 7 に示す。移動速度 2.0knot 時の各受信トランスデューサの受信品質が ICI キャンセラーにより改善される結果となっている。

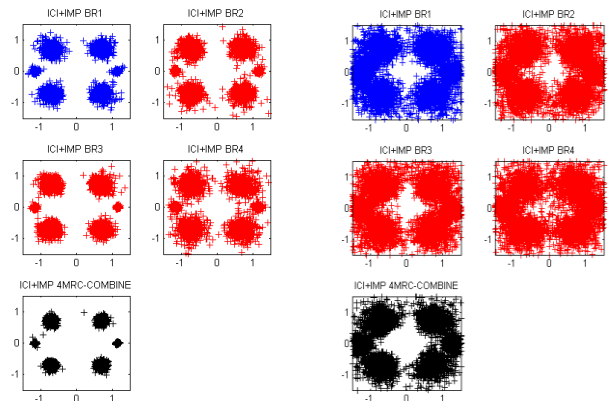


図 6 QPSK コンスタレーション (MODE2) (0knot) 図 7 QPSK コンスタレーション (MODE2) (2knot)

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究の社会応用としてレジャーダイビング等におけるダイバーの安全管理システムや海洋資源等探索ロボットの通信手段、海生物の調査・研究を行うためのモニタリング用通信手段としての活用など、幅広い分野における応用が期待できる。

4. むすび

本研究開発により、水中音響通信における超音波の帯域を用いた OFDM 変調技術と複数の受信機によるダイバーシチ合成技術、ターボエラー訂正等を組み合わせた高感度データ通信技術の有効性を確認することができた。

今後は、陸上の無線通信の技術進歩を参考に、多ユーザー同時通信への拡張、MIMO 等の方式によるデータ伝送容量の拡大などを実現し、水中音響通信ネットワークシステムの構築に向けたさらなる研究開発を行う予定である。

【誌上发表リスト】

- [1] Tran Minh Hai, Yasuto Matsuda, Taisaku Suzuki, Tomohisa Wada, "Ultrasonic Diversity OFDM Transceiver architecture with Impulsive Noise Cancelling for shallow sea communication", 2nd international conference and exhibition on Underwater Acoustic (UA2014) (Island of Rhodes, Greek) (2014/June/22-27)
- [2] Tran Minh Hai, Yasuto Matsuda, Taisaku Suzuki, Rie Saotome, Tomohisa Wada, "Adaptive Doppler Compensation for Ultrasonic OFDM Enabling 64QAM", OCEANS'15 MTS/IEEE Washington DC - USA (OCEANS'15) (Washington DC, USA) (2015/October/19-22)
- [3] Rie Saotome, Tran Minh Hai, Yasuto Matsuda, Taisaku Suzuki, Tomohisa Wada, "An OFDM Receiver with Frequency Domain Diversity Combined Impulsive Noise Canceller for Underwater Network", The Scientific World Journal (Communication), Article ID 841750, Hindawi Publishing Corporation July 2015