

水中デジタル音響通信に用いる反射鏡の設計

茅根 涼太郎[†] 水谷 孝一^{††} 若槻 尚斗^{††} 海老原 格^{††}

[†] 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 ^{††} 竹筑波大 システム情報系

1. はじめに

音波を用いてワイヤレスに情報を伝送する水中音響通信は、ドローンの制御や映像伝送への応用が期待される、通信インフラの一つである[1,2]. 既存の水中音響通信は、多くが無指向性トランスデューサを音波の送受信に用いているため、信号の減衰が問題となっている[Fig. 1(a)]. そこで、特定方向のみに音波を送受信可能な反射鏡を用いた指向性トランスデューサを設計し[Fig. 1(b)], 水中音響通信に用いた場合にどれくらいの通信品質向上が可能かシミュレーションで検証する.

2. 反射鏡の設計とシミュレーション

反射鏡の指向性は、音波の波長と反射鏡の大きさによって決定される. そこで、水中音響通信で使用する信号の要件(中心周波数: 80 kHz, 帯域幅: 5 kHz), および、ドローンに搭載可能な大きさ(最大: 300 mm)を考慮して、半値角 15° の反射鏡を設計した(Fig. 2).

次に、設計された指向性トランスデューサを受信機に使用した場合、水中音響通信の通信品質がどのくらい向上できるか、FDTD シミュレーションを用いて検討した(Fig. 3). まず、中心周波数 80 kHz, 帯域幅 10 kHz のチャープ信号を用いて線音源から反射鏡上に設置された 3 つのトランスデューサ間のインパルス応答を計測した. 次に、インパルス応答と 100 bit のトレーニング系列と、200 bit のメッセージを変調した. 搬送波周波数 80 kHz, 帯域幅 5 kHz の信号とのたたみ込みを計算することで、等価受信信号を得た. それに、加法性ガウス雑音を付加した後、3ch のマルチチャネル DFE 等化器を用いて等化した. そして、反射鏡の角度 θ を 0° から 180° まで変化させながら、各々の角度における Input signal-to-noise ratio (ISNR), および、Output SNR (OSNR)を計測した. また、反射鏡を用いない場合における ISNR, OSNR もベンチマークとして計測した.

Figure 4 にシミュレーション結果を示す. ISNR, OSNR は、反射鏡を用いない場合に中央のトランスデューサで計測された ISNR, OSNR を基準値としている. まず、 θ と ISNR の関係に着目する. 図に示されるように、反射の角度 θ が 60° を超えない場合、指向性トランスデューサを用いる通信システムの ISNR (青い線)は無指向性トランスデューサ (赤い線)を用いる通信システムの ISNR よりも大きい値となった. 次に、 θ と OSNR の関係に着目する. 反射鏡の角度 θ が 10° 付近の時に OSNR が大きく低下している. これは、反射によるものである. 一方、それ以外の場合、 $\theta < 60^\circ$ の範囲においては、指向性トランスデューサを用いる通信システムの OSNR は、無指向性トランスデューサを用いる通信システムの OSNR と比較して、平均 2.3 dB 改善しており、送受信機を向かい合わせることができれば、信号の減衰の問題を解決できることを確認した.

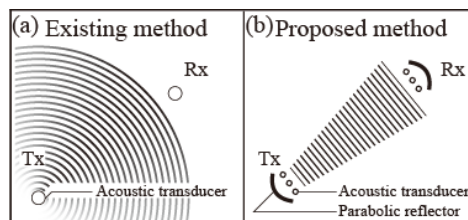


Figure 1: Underwater acoustic communication using parabolic reflector.

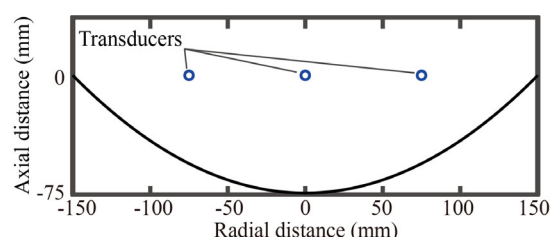


Figure 2: Designed parabolic reflector

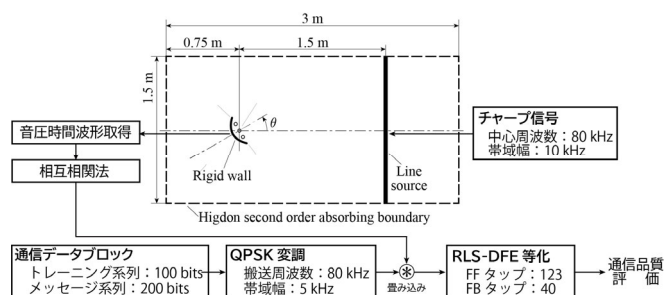


Figure 3: Simulation environment

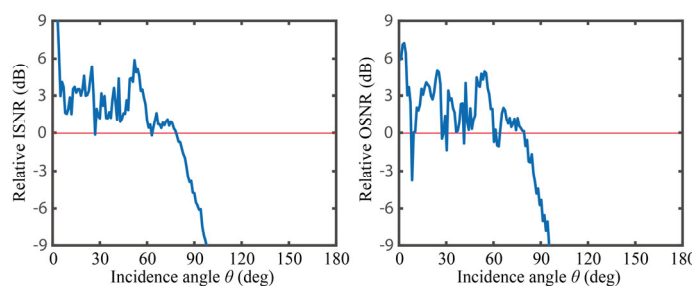


Figure 4: Simulation results; relationship between incident angle θ and ISNR and OSNR

3. まとめ

放物面反射鏡を使用した指向性トランスデューサを設計し、水中音響通信システムに用いた場合どれくらいの通信品質向上が可能かを検証した. その結果、送受信機を向かい合わせることができれば、指向性トランスデューサを用いることで、通信品質が改善できることを確認した.

参考文献

- [1] M. R. Dhanak, N. I. Xiros: Springer Handbook of Ocean Engineering (Springer, Cham, 2016) 359-386.
- [2] Climent, Salvador, et al: Sensors 14.1 (2014): 795-833.