

時間反転波を用いた局所的音響通信の数値シミュレーションと予備実験

本井 陽輝[†] 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 ^{††} 筑波大学 システム情報系

1. はじめに

情報を音としてスピーカから出力し、スマートフォンなどに搭載されているマイクロフォンで受信する空中音響通信[1]は、可聴音を用いて信号を伝送するために通信エリア内(室内)の人間に不快感を与えてしまう可能性がある。そこで、時間反転波を用いた局所的音響通信手法を提案し、その有効性を確認する。

2. 提案手法

時間反転波とは、ある音源から発信した音波をマイクロフォンアレイで受信した後、各マイクロフォンアレイでそれぞれ受信した信号を時間反転し、対応するスピーカアレイから発信すると、音波が逆向きに伝搬し、元の音源位置に収束するという現象である[2]。この現象を用いることで伝送音を局所的に集中させる音響通信を実現する。本稿では、音響通信を以下の手順で行う。

- ① 端末はプローブ信号を送信する。信号は多重反射を繰り返してマイクロフォンアレイで受信される[Fig. 1 (a)]。
- ② 受信した信号と、プローブ信号の相互相関関数を計算し、端末と各マイクロフォンの通信路のインパルス応答を求める。
- ③ ①のマイクロフォンアレイと同じ位置にあるスピーカアレイから、②で求めた通信路のインパルス応答と通信用の信号を畳み込んだ信号を送信する。
- ④ 信号は、①の伝搬経路を遡って伝搬し、元の音源位置に収束する。受信機は受信した信号を等化し、データを復調する[Fig. 1 (b)]。

3. シミュレーションによる検討

FDTD シミュレーションを用いて提案手法の有効性を検討した。シミュレーション環境、設定パラメータ、および、シミュレーションで求められた空間内の音圧分布を Fig. 2 に示す。シミュレーションの結果、端末周辺の音圧は約-31 dB であったのに対し、それ以外の領域の音圧は約-40 dB となっており、音圧が局所的に分布しているのが確認できた。また、通信品質を評価した結果、Output signal-to-noise ratio が 30.2 dB であったため、提案手法を用いて通信が行えることも確認できた。

4. 予備実験による検討

現在、提案手法の有効性を予備実験で検証している。5つのマイクロフォンアレイ、およびスピーカアレイを室内に設置し、2.の①~④の手順で通信実験を実施している。

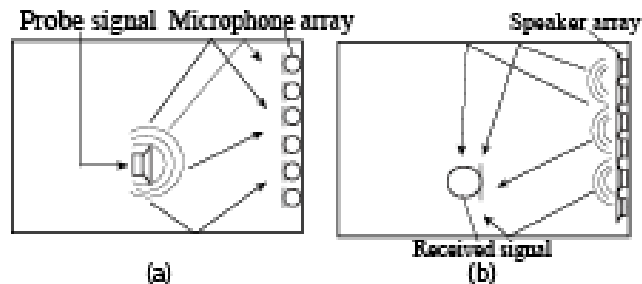


Fig. 1 Principle of acoustic communication using time-reversal wave; (a) forward direction and (b) backward direction.

Parameter of simulation environment	
Mics and Speakers	8
Boundary condition	Reflected boundary
Field discretization	1.1 mm
Time discretization	2.0 μs
Time step of forward propagation	6,000
Time step of backward propagation	9,000
Sound speed	340 m/s

Parameter of probe signal		Parameter of communication signal	
Probe signal	Chirp signal	Modulation method	QPSK
Center frequency	10 kHz	Carrier frequency	15 kHz
Bandwidth	20 kHz	Bandwidth	5 kHz
Signal length	2 ms	Training sequence	120 bit
		Message sequence	1,000 bit

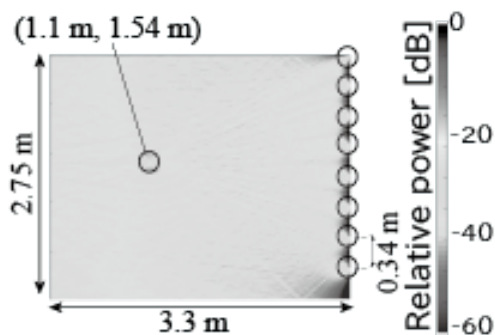


Fig. 2 Parameter of simulation and acoustic communication using time-reversal wave

5. まとめと今後の課題

室内環境において、時間反転波を用いた局所的音響通信の手法を提案し、シミュレーションでその有効性を確認した。今後は、実験により、提案手法の有効性を実証していく。

参考文献

- [1]F. Pancialdi *et. al*, Single-Carrier Frequency Domain Equalization, IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, VOL.25, NO.5, 37-56, 2008
- [2]T. Shimura *et. al*, Long-range time reversal communication in deep water: Experimental results, Journal of Acoustical Society of America, VOL.132, NO.1, 49-53, 2012