

## 共在感覚の生成を目指したリアルタイムBoSCシステムの実現 －リアルタイム逆システム処理の実現とその性能検証－

☆岩井森 渡邊祐子 伊勢史郎（東京電機大） 中本丈一朗 上野佳奈子（明治大）

### 1 はじめに

BoSC マイクロホンで収録した多チャンネル音声信号に逆システムをリアルタイムで畳み込むことにより、片方向の共在感覚を生成可能なコミュニケーションシステムを開発した。本稿ではコミュニケーションシステムにおけるリアルタイム逆システム処理の信号処理性能について検証する。

### 2 研究の背景

境界音場制御の原理[1]に基づく三次元音場再現システム“BoSC (Boundary Surface Control)”を用いた音場共有の実現において、話者や演奏者の動きの情報は含めるためには逆システムのリアルタイム畳み込みが必要となるが多大な信号処理計算が必要となるためこれまで実現できていない。例えば没入型聴覚ディスプレイ装置“音響樽”[2]の場合、96個のスピーカを有する音響樽から80chのBoSC マイクロホンへの伝達特性を打ち消す逆フィルタは80ch入力96ch出力のMIMOシステムとなり、合計7680個のFIRフィルタを実現する必要があり、そのリアルタイム畳み込みには約1.5T Flops（逆フィルタ長4096点、標準化周波数48 kHz）の計算速度と約750M

バイトの高速アクセスが可能なメモリが必要となる。現段階で最も高速なDSP専用LSI（例えばTI社製TMS320C667x 179G Flops）はメモリアクセスがボトルネックとなり上記の信号処理は難しい。一方、高速かつ大規模なメモリアクセスが可能なデスクトップPCの計算速度向上に伴い可変フレーム長のFFTを用いた低遅延畳み込みアルゴリズムを実装したシステムの実現が可能となりつつある[4]。

### 3 コミュニケーションシステム

#### 3.1 システムの概要

小林らはBoSCシステムを用いて話者の動きに関わる3D音響情報が実在感に及ぼす影響を示しており[3]、理想的には内部にBoSCマイクロホンを設置した二つの音響樽を相互接続した音場共有システムの実現が望ましい。しかし現在のBoSCマイクロホン（直径46cm）のサイズおよびフィードバックキャンセルなどの問題があるため音響樽の内部にBoSCマイクロホンを設置した双方向の音場共有は実現が難しい。しかし被験者1名を対象とした共在感を生成することは逆システムのリアルタイム畳み込みができれば実現可能である。そこで本研究ではFig. 1のように音響樽内の

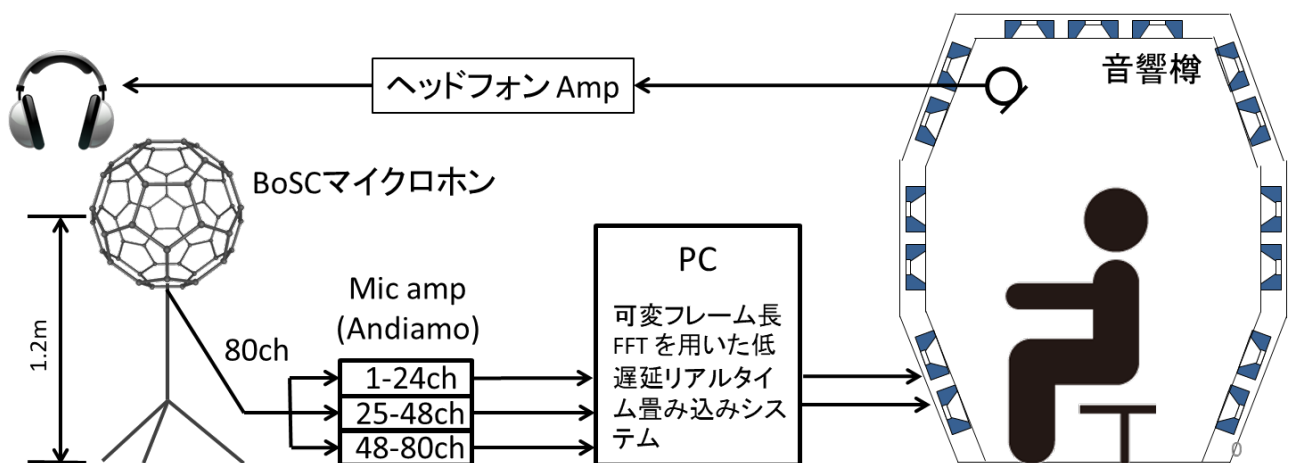


Fig. 1 片方向で共在感を生成するコミュニケーションシステム

\* Implementation of the Real-Time Bosc System for the realization of the sensation of co-being –Implementation and performance verification of the Real-Time Inverse-System- . by, IWAI, shin, WATANABE, Yuko, ISE, Shiro(Tokyo Denki University), NAKAMOTO, Joichiro, UENO, Kanako(Meiji University)

被験者のみが共在感を得られるようなコミュニケーションシステムを構築した。

### 3.2 可変フレーム長 FFT を用いた低遅延畳み込みシステム

逆システムのリアルタイム畳み込みで用いる可変フレーム長 FFT による畳み込みアルゴリズムでは、畳み込みに使用するフィルタを複数の異なる長さのフレームに分割する。その最小のフレームサイズを  $N$ 、分割数を  $L$  としたとき 畳み込み長  $M$  は以下の式(1)によって表される。

$$M = (2^L - 1) \times N \quad (1)$$

リアルタイム畳み込みに用いた逆システムは 4096 点で設計しているため  $M > 4096$  となるように  $L$  及び  $N$  を調整する。

## 4 畳み込み性能評価実験

リアルタイム畳み込みを行う PC のオーディオインターフェース (RME HDSPe MADI FX,  $F_s = 48\text{kHz}$ ) のバッファサイズを最小のフレームサイズ  $N$  と等しくすることにより畳み込みの最大計算時間を 1 フレームすなわち

Table 1 PC の性能

	CPU			Memory		OS
	型番	動作周波数	コア数 (スレッド数)			
PC 1	i7-596X	3.0GHz	8 (16)	64GB	DDR 4	Windows 10
PC 2	i7-496X	3.6GHz	6 (12)	64GB	DDR 3	Windows 10
PC 3	i7-4930k	3.4GHz	6 (12)	64GB	DDR 3	Windows 10
PC 4	i7-6700	3.4GHz	4 (8)	64GB	DDR 4	Windows 10
PC 5	i7-3820	3.6GHz	4 (8)	32GB	DDR 3	Windows 8.1
PC 6	i5-3470	3.2GHz	4 (4)	32GB	DDR 3	Windows 8.1

$N/48000$  [s] とした。Table.1 のように 6 台の異なる性能を持つ PC を用いてリアルタイム畳み込み処理に必要な性能を調べた。

評価方法はホワイトノイズをリアルタイム畳み込みシステムに入力し、その出力信号と所望の計算結果と比較することにより畳み込み計算が正しく行われているかどうかを判断し、正しく計算が行われている場合はその遅延時間を計測した。最小フレームサイズ  $N$  を 64 から 2 倍ずつ大きくし最大 4096 までの 7 段階についてリアルタイム畳み込みの動作検

証を行った。

## 5 結果と考察

PC 1, PC 2, PC 3 はフレームサイズが 256 以上のとき、PC 4, PC 5, PC 6 はフレームサイズが 2048 以上の時にリアルタイム畳み込みが可能となった。すなわち前者はより小さい遅延でリアルタイム畳み込みが可能であることがわかった。フィルタ係数を複数のフレームに分割し PC の各スレッドに割り当てて並列計算を行っているため、使用可能なスレッド数が多いほど小さいフレームサイズでも畳み込み演算が可能となる。次にフレームサイズと遅延サンプルの関係を Fig. 2 に示す。フレームサイズが小さくなると畳み込み遅延は小さくなるはずであるが、1024 に比べ 512 と 256 の遅延が大きいことがわかる。畳み込み計算の計算負荷が大きい場合に音響入出力のためのフレーム処理を行うデバイスドライバに負荷がかかったために遅延が生じたと考えられる。したがって現段階ではフレームサイズは 1024 が最適である。

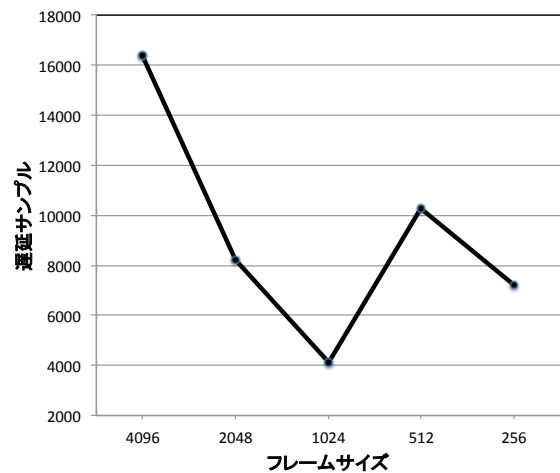


Fig. 2 フレームサイズと遅延サンプルの関係

## 6 おわりに

本稿ではリアルタイム逆システム処理の処理性能について検証を行った。双方向のコミュニケーションシステムを実現するためには BoSC マイクロホンの小型化などの検討が必要である。

### 参考文献

- [1] 伊勢, 音響学会誌, 53 (9), 706-713, 1997
- [2] 伊勢, 音講論, 3-5-13, 2011
- [3] 小林他, 聴覚研究会資料, 42(1)41-46, 2012
- [4] 伊勢, 音響学会誌, 73(9), 608-614, 2017