

高速 1 ビット信号処理を用いた音場創生のための 大規模スピーカアレイシステム

Large-scale Loudspeaker Array System for Sound Field Creation using High Speed 1 bit Signal Processing

5115E024-0 山中 悠勢 指導教員 及川 靖広 教授
YAMANAKA Yusei Prof. OIKAWA Yasuhiro

概要：近年、物理的に波面を制御する技術が発展している。一般に人間の聴覚を考慮した高い周波数まで広範囲に波面を物理的に制御するには、高密度に音場を制御し、広範囲にスピーカを設置する必要がある。しかし、そのような大規模なスピーカアレイとそれを駆動するシステムを構築するには多数の D/A コンバータやアンプが必要となり、実現には困難を伴う。そこで、高速 1 ビット信号処理を用い、高解像度かつ広帯域の音場創生の実現を目的とした大規模スピーカアレイシステムを駆動する単純かつ小規模なオーディオシステムを提案し、システムからの出力信号を測定することで性能の評価をした。また、256 ch スピーカアレイシステムを構築し提案システムを用いて波面の制御を行った。

キーワード：三次元音場、多チャンネル再生システム、FPGA、CMOS バッファ

Keywords: 3D Sound Field, Multi-channel Playback System, FPGA, CMOS Buffer

1. まえがき

一般的に、物理的に波面を制御する手法 [1, 2] を用いて、高密度かつ広範囲に音場を制御するには同じく高密度かつ広範囲にスピーカが並んだ大規模なスピーカアレイとそれを駆動するシステムが必要となるが、多数の D/A コンバータやアンプが必要となり、実現は困難である。一方、高速 1 ビット信号を用いれば非常に単純な回路で高品質の録音再生システムの構築が可能である [3]。そこで本研究では、高速 1 ビット信号を用い、大規模スピーカアレイシステムを駆動するための単純かつ小規模なオーディオシステムを提案し、その評価を行った。また、提案システムを用いた 256 ch スピーカアレイシステムの構築及び波面の制御を行った。

2. 高速 1 ビット信号処理

1 ビット信号を用いることで、D/A コンバータを用いることなく、デジタル信号をアナログ信号と同様にそのままスピーカへ入力することが可能である [3]。また、スピーカへの印加電圧もデジタル信号の High と Low の電圧を変更することによって制御可能である。高速 1 ビット信号は 1bit だけで信号が表されているので、伝送システムも非常に単純化することが可能になる。このように、高速 1 ビット信号のもつ特徴は多チャンネル再生システムを構築するにあたり非常に有効だと考えられる [4]。

3. 提案システム

3.1 システム概要

図-1 に構築したシステムの概要を示す。大規模スピーカシステムでは、スピーカを広範囲に設置する必要があ

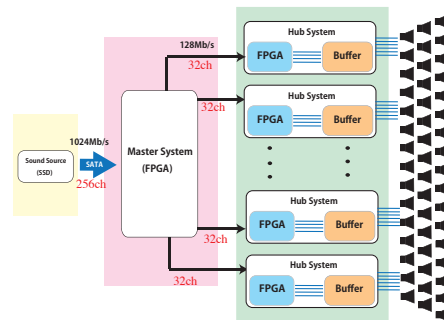


図-1 システム概要

る。したがって、単独のシステムではシステムの出力からスピーカまでのケーブルの長さが非常に長くなり、またアナログで伝送される経路が長くなってしまふのでノイズの影響を受けやすくなる。そこで、提案システムは広範囲に設置されたスピーカの付近までデジタル信号のまま多チャンネルの信号を少ないケーブルで伝送する目的で、マスタシステムとハブシステムの二つに分ける。

マスタシステムは SSD に格納されていた 256 ch の 1 ビット信号を読み出し、32 ch 毎に分割した後 8 系統のハブシステムへ伝送する。ハブシステムは送られてきた 32 ch 分の 1 ビット信号を反転と非反転の二つの CMOS ドライバへ伝送する。非反転ドライバの出力はスピーカの正極へ、反転ドライバの出力はスピーカの負極へ接続され、スピーカを駆動する。D/A コンバータを必要としないので、ハブシステムは 1 bit のデジタル信号を直接スピーカに送ることができる。また、CMOS ドライバの動作電圧を変更することで、スピーカの駆動電圧を調整

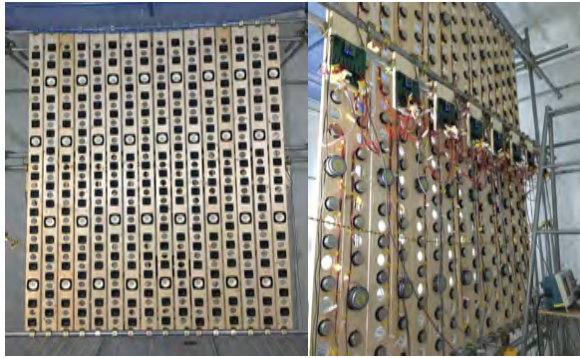


図-2 スピーカアレイ

可能である。

3.2 スピーカアレイ

図-2 に実装した 256 ch スピーカアレイを示す。スピーカアレイは 2 種類の 16 ch ラインスピーカアレイから成っており、それぞれのラインアレイには 2 種類のスピーカが使われている。ひとつのラインアレイには 14 個のスピーカ A と 2 個のスピーカ B を用いており、垂直方向、斜め方向のスピーカ間隔は共に 0.18 m である。ハブシステムはスピーカアレイ背面の中央部に取り付けられている。

4. 実験

提案システムの性能を評価するために 1 kHz 正弦波音源を SSD から読み出し、提案システムが再生する 1 ch に対して、図-3 のようにハブシステムの非反転バッファと反転バッファの出力をそれぞれ同時にデジタイザ (National Instruments 社製 PXIe-4461) へ入力する。測定した信号のパワースペクトルと高調波歪みを算出した。図-4 に差動信号のパワースペクトルを示す。基本波と二次の高調波との差が約 55 dBV となっており、ノイズフロアとの差は約 80 dBV であった。また、高調波歪は約 -55 dBc であった。提案システムを用いて実際にスピーカアレイを駆動する際、各スピーカへの入力となるのは差動信号なので、提案システムは音場創生システムに対して充分適用可能であると考えられる。

また、代表的な波面制御手法の一つである遅延和アレイ信号処理による平面波の制御 [5] を行い、実測とシミュレーション結果を比較した。図-2 の平板スピーカアレイから平面波を再生し、アレイから 1.5 m 離れた位置でマイクロホンを用いて録音した。入力信号として 30 度の指向性を付与した 500 Hz のパルス波の測定点数は 240 点とした。図-5 と図-6 にシミュレーションと実測の結果をそれぞれ示す。シミュレーション結果に近い波面が測定され、広範囲な領域に対して遅延和アレイ処理で平面波の制御が行えた。

5. むすび

本研究では、高速 1 ビット信号処理を用い、大規模ス

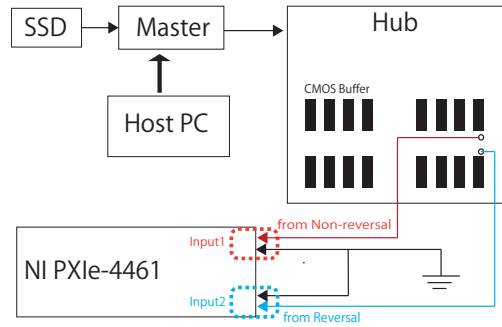


図-3 測定概要

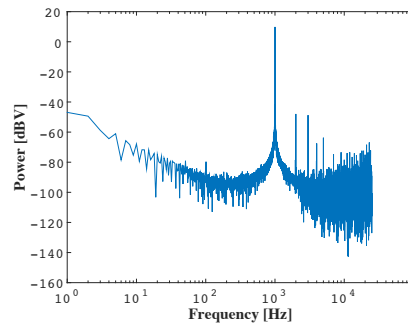


図-4 測定結果

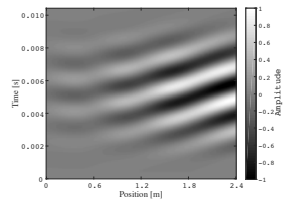


図-5 500 Hz パルス波
(シミュレーション)

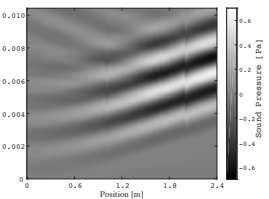


図-6 500 Hz パルス波
(実測)

スピーカアレイを駆動可能な再生システムを提案し、その評価を行った。また、256 ch スピーカアレイシステムを構築し、遅延和アレイ処理を用いて提案システムによる波面制御を実施した。実験の結果、提案システムが音場創生システムに対して適用可能であることを確認した。今後は、提案システムを拡張し、1536 ch の没入型音場創生スピーカアレイシステムの構築を目指す。

参考文献

- [1] A.J. Berkhout, D.D. Viries and P. Vogel, "Acoustic control by wave field synthesis," J. Acoust. Soc. Am., vol.93, pp.2764-2778,1993.
- [2] 伊勢史郎, "キルヒホフヘルムホルツ積分方程式と逆システム理論に基づく音場制御の原理," 日本音響学会誌, vol.3, no.9, pp.706-713, Sep.1997.
- [3] 大賀寿郎, 山崎芳男, 金田豊, 音響システムとデジタル処理, 電子情報通信学会 (編), (社) 電子情報通信学会, 東京, 1995.
- [4] 久世大, 今井亮太, 井上貴之, 小谷野雄史, 大内康裕, 池田雄介, 及川靖広, 山崎芳男, "FPGA を用いた高速 1bit 信号処理," 日本音響学会講演論文集, pp. 1631 - 1632, Mar. 2016.
- [5] 浅野 太, 音のアレイ信号処理, 日本音響学会 (編), コロナ社, pp.71-72, 東京, 2011.