

3-P-19(c)

指向性マイクロホンと境界音場制御を用いた 三次元音場再現システムにおける音響障害物の影響

木村敏幸(NICT)

1. はじめに

三次元音場再生技術

- 波面合成法
 - Kirchhoff-Helmholtz積分方程式に基づいて波面を忠実に再現
 - 複数の聴取者がヘッドホンなしに音場を体験可能

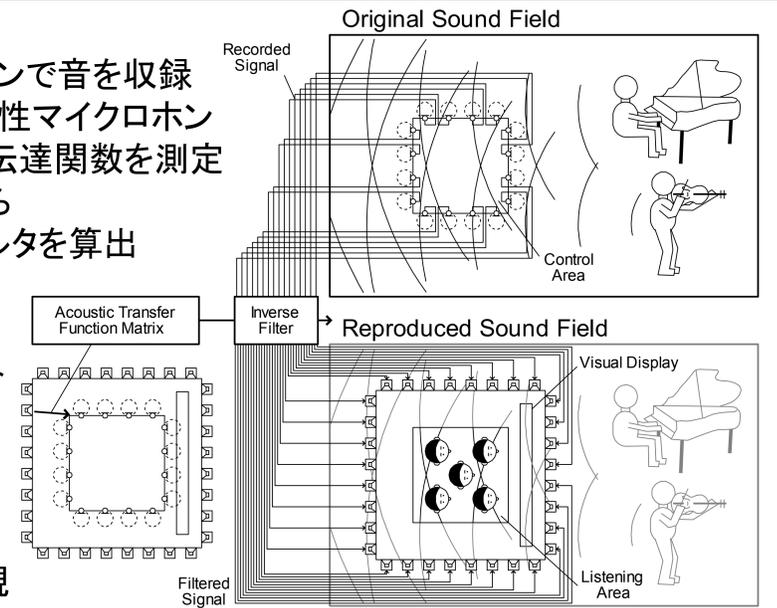
研究目的

- これまでの研究成果
 - 指向性マイクロホンを用いた波面合成技術を提案
 - さらに、境界音場制御技術を用いたシステムを提案
- これまでの研究での課題
 - 映像ディスプレイは音響透過型スクリーンを想定
 - 薄型ディスプレイを導入した際の影響を検討していない

薄型ディスプレイのような音響障害物を
配置した場合の波面の合成精度への影響を
計算機シミュレーションにより検討

提案システムの原理

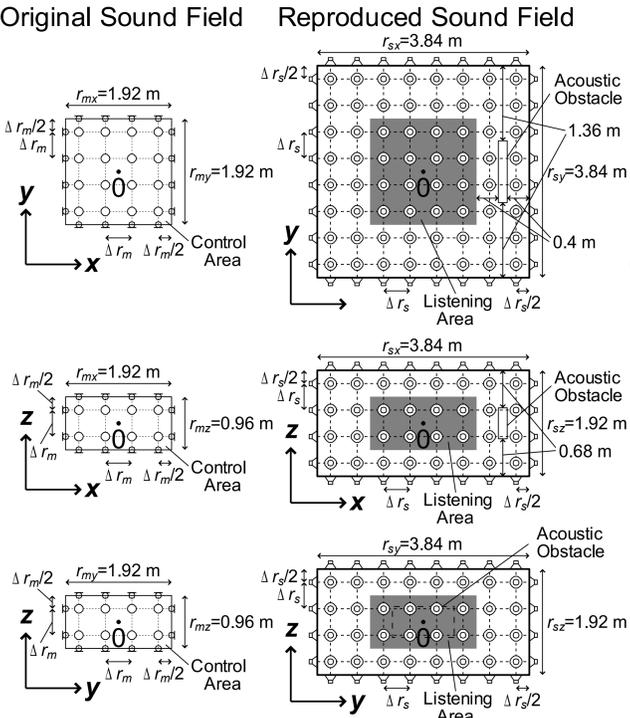
- 指向性マイクロホンで音を収録
- スピーカから指向性マイクロホンまでの音響伝達関数を測定
- 音響伝達関数から逆フィルタを算出
- 収録した音に逆フィルタを畳み込み
- 畳み込んだ音をスピーカから再生
- 聴取領域内に三次元音場が再現



2. 計算機シミュレーション

シミュレーション環境

- 音響障害物
 - 42インチ薄型ディスプレイを想定
 - 1.12 m(幅)×0.56 m(高さ)×0.16 m(奥行)



- 収録信号 $x_i(t)$ ($i=1...M$)
 - $s(t) = A \sin(2\pi f t)$: 音源信号
 - $\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_i$: 音源, 指向性マイクロホンの位置ベクトル
 - $D_m(\mathbf{r}_0|\mathbf{r}_i)$: 指向性マイクロホンの指向特性
 - $g(\mathbf{r}_0|\mathbf{r}_i, t)$: \mathbf{r}_0 から \mathbf{r}_i までの音響インパルス応答
 - $\Delta d, c$: $\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_i^+, \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_i^-$ 間の距離及び音速
 - $x_i(t) = D_m(\mathbf{r}_0|\mathbf{r}_i^+)g(\mathbf{r}_0|\mathbf{r}_i^+, t) * s(t) - [g(\mathbf{r}_0|\mathbf{r}_i, t) - g(\mathbf{r}_0|\mathbf{r}_i^-, t)] * s(t - \frac{\Delta d}{c})$
- フィルタ処理信号 $y_l(t)$ ($l=1...N$)
 - $\Xi_{il} (= |H_{il}(\omega)|), \Theta_{il} (= \arg H_{il}(\omega))$: 逆フィルタの偏角
 - \mathbf{r}'_i : スピーカの位置ベクトル
 - $D_m(\mathbf{r}'_i|\mathbf{r}_n)$: スピーカからマイクロホンの指向特性
 - $G(\mathbf{r}'_i|\mathbf{r}_n, \omega)$: \mathbf{r}'_i から \mathbf{r}_n までの音響伝達関数
 - $y_l(t) = \sum_{i=1}^M \Xi_{il} x_i(t - \frac{\Theta_{il}}{2\pi f}) \Xi_{il} = |H_{il}(\omega)|, \Theta_{il} = \arg H_{il}(\omega)$
 - $\sum_{l=1}^N D_m(\mathbf{r}'_i|\mathbf{r}_n) G(\mathbf{r}'_i|\mathbf{r}_n, \omega) H_{il}(\omega) = \begin{cases} 1 & (n=i) \\ 0 & (n \neq i) \end{cases}$
- 聴取位置 \mathbf{r} 上の音圧 $p(\mathbf{r}, t)$
 - $g(\mathbf{r}'_i|\mathbf{r}, t)$: \mathbf{r}'_i から \mathbf{r} までの音響インパルス応答
 - $p(\mathbf{r}, t) = \sum_{i=1}^N g(\mathbf{r}'_i|\mathbf{r}, t) * y_i(t)$

パラメータ条件

Amplitude (A)	1
Frequency (f)	63, 125, 250, 500, 1000 Hz
Source Position (\mathbf{r}_0)	$(1.92, 0, 0)^T, (-1.92, 0, 0)^T, (0, 1.92, 0)^T, (0, 0, 0.96)^T$
Sound velocity (c)	343.59 m/s
Microphone Pair distance (Δd)	0.04 m
Microphone number (M)	576
Microphone interval (Δr_m)	0.16 m
Loudspeaker number (N)	2304
Loudspeaker interval (Δr_s)	0.16 m

$$\mathbf{r} = (r_x, r_y, r_z)^T \quad (|r_x|, |r_y| < 1.92, |r_z| < 0.96) \quad \mathbf{r}'_i = \mathbf{r}_i + \mathbf{n}, \quad \mathbf{r}'_i = \mathbf{r}_i - \mathbf{n}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{r}'_i &= \begin{pmatrix} \frac{r_{mx}}{2}(-1)^i, \frac{r_{my}}{2}, \frac{r_{mz}}{2} + \frac{\Delta r_m - r_{mx}}{2}, \Delta r_m Q \left(\frac{i - \frac{r_{mx}}{2}}{\Delta r_m} + \frac{\Delta r_m - r_{mx}}{2} \right) \end{pmatrix}^T & (i=1 \sim 144) \\ \mathbf{r}'_i &= \begin{pmatrix} \Delta r_m R \left(\frac{i-144}{2}, \frac{r_{mx}}{\Delta r_m} \right) + \frac{\Delta r_m - r_{mx}}{2}, \frac{r_{my}}{2}(-1)^{i-144}, \Delta r_m Q \left(\frac{i-144}{2}, \frac{r_{my}}{\Delta r_m} + \frac{\Delta r_m - r_{my}}{2} \right) \end{pmatrix}^T & (i=145 \sim 288) \\ \mathbf{r}'_i &= \begin{pmatrix} \Delta r_m R \left(\frac{i-288}{2}, \frac{r_{mx}}{\Delta r_m} \right) + \frac{\Delta r_m - r_{mx}}{2}, \Delta r_m Q \left(\frac{i-288}{2}, \frac{r_{mx}}{\Delta r_m} + \frac{\Delta r_m - r_{mx}}{2} \right), \frac{r_{mz}}{2}(-1)^{i-288} \end{pmatrix}^T & (i=289 \sim 576) \end{aligned}$$

$$\mathbf{n}_i = \Delta d(-1)^i, 0, 0)^T \quad (i=1 \sim 144) \quad (0, \Delta d(-1)^{i-144}, 0)^T \quad (i=145 \sim 288) \quad (0, 0, \Delta d(-1)^{i-288})^T \quad (i=289 \sim 576)$$

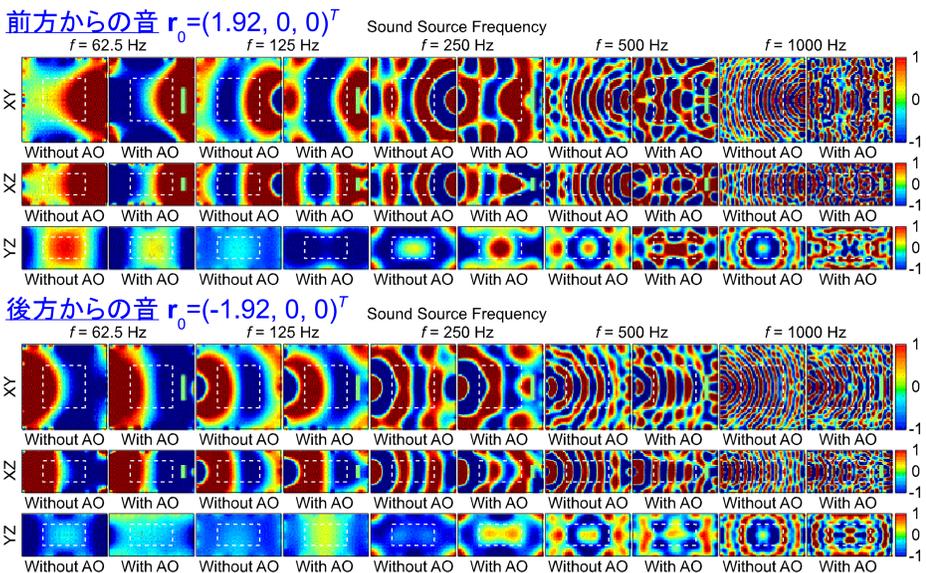
$$\mathbf{r}'_i = \begin{pmatrix} \frac{r_{sx}}{2}(-1)^i, \Delta r_s R \left(\frac{i}{2}, \frac{r_{sy}}{\Delta r_s} \right) + \frac{\Delta r_s - r_{sx}}{2}, \Delta r_s Q \left(\frac{i}{2}, \frac{r_{sy}}{\Delta r_s} + \frac{\Delta r_s - r_{sx}}{2} \right) \end{pmatrix}^T & (i=1 \sim 576) \\ \mathbf{r}'_i = \begin{pmatrix} \Delta r_s R \left(\frac{i-576}{2}, \frac{r_{sx}}{\Delta r_s} \right) + \frac{\Delta r_s - r_{sx}}{2}, \frac{r_{sz}}{2}(-1)^{i-576}, \Delta r_s Q \left(\frac{i-576}{2}, \frac{r_{sz}}{\Delta r_s} + \frac{\Delta r_s - r_{sz}}{2} \right) \end{pmatrix}^T & (i=577 \sim 1152) \\ \mathbf{r}'_i = \begin{pmatrix} \Delta r_s R \left(\frac{i-1152}{2}, \frac{r_{sx}}{\Delta r_s} \right) + \frac{\Delta r_s - r_{sx}}{2}, \Delta r_s Q \left(\frac{i-1152}{2}, \frac{r_{sx}}{\Delta r_s} + \frac{\Delta r_s - r_{sx}}{2} \right), \frac{r_{sz}}{2}(-1)^{i-1152} \end{pmatrix}^T & (i=1153 \sim 2304) \end{aligned}$$

• $Q(u, v), R(u, v)$: u を v で割ったときの商と余り

シミュレーション結果

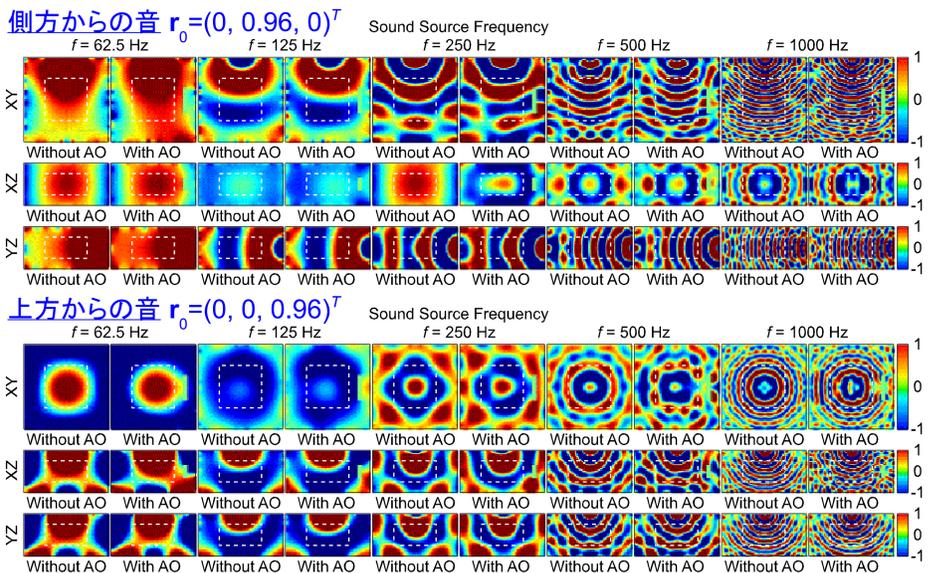
- 前方, 後方からの音の場合
 - 「障害物あり」の配色が「障害物なし」と明らかに異なる
 - 音像からの同心円構造や音波の動きは保たれている

三次元空間は忠実に再現されないが、
音像の定位方向は保持される



- 側方, 上方からの音の場合
 - 「障害物あり」の配色が「障害物なし」とほとんど同じ

三次元空間が忠実に再現される



3. まとめ

- 指向性マイクロホンと境界音場制御を用いた三次元音場再生技術における音響障害物による波面合成精度への影響を検討
 - 側方, 上方からの音: 三次元音場が忠実に再現, 前方, 後方からの音: 三次元音場は忠実に再現されないが, 音像の定位方向は保持
- 今後の課題: パルス音源を用いた検討, 聴取実験による提案システムの実環境性能の評価