2-2-14

日本音響学会 2005 年秋季研究発表会

# 包囲型マイクロホンアレイを用いた 音源位置推定に関する検討

### 岡本拓磨, 西村竜一, 岩谷幸雄

東北大学 大学院情報科学研究科/電気通信研究所

# 研究背景

# ある空間での事象をまるごと保存,認識し, そっくりそのまま別の空間で再現する

### FiR<sup>3</sup> Field Recording, Recognition, and Reproduction Project



#### 音空間でいえば...



ある部屋の音をまるごと

録音

その部屋にいるかのような音 空間を別の部屋(空間)で再現

時空間を超えた音空間の再現

システムの流れ

包囲型マイクロホンで部屋の音を まるごと取りこむ ↓

・音源位置推定

部屋のどこで音がなっているのか?

・音源分離

どの種類の音がなっているのか?

 $\downarrow$ 

- より現実感を得るためには...
  - 音の放射特性推定

人であれば顔の向きなど...

- 反射音処理

反射音の分離,呈示方法について...

#### 包囲型マイクロホン - 床以外の天井, 壁の計5面に マイクロホンを格子状に設置



図1包囲型マイクロホン(3面)

今回のテーマ

# **包囲型マイクロホン**で部屋の 音をまるごと取りこむ

# ・音源位置推定

部屋のどこで音がなっているのか?

・音源分離

どの種類の音がなっているのか?

 $\Downarrow$ 

より現実感を得るためには...

- 音の放射特性推定
  - 人であれば顔の向きなど...
- 反射音処理

反射音の分離,呈示方法について...

# 包囲型マイクロホン - 床以外の天井, 壁の計5面に マイクロホンを格子状に設置



図1包囲型マイクロホン(3面)

# MUSIC法による音源位置推定

MUltiple SIgnal Classification(MUSIC)法 各マイクロホンの入力信号  $x(\omega, t)$  から,各マイクロホンと音源位置の伝達関 数 $A(\omega)$ と直交する直交補空間の基底ベクトル $V_n$ を導出

$$P(\theta) = \frac{1}{\parallel \boldsymbol{V}_n^H \boldsymbol{a}(\theta) \parallel^2}$$
(1)

から, $\theta$ 方向の伝達関数 $\mathbf{a}(\theta)$ でサーチして, $\mathbf{a}(\theta)$ が音源と同じ方向の時は $\mathbf{V}_n$ と直交するため $P(\theta)$ はピークをもつ

複数の音が存在する場合の分離機能や雑音耐性に優れている マイクロホン配置が直線ではなく格子状など2次元的な場合, $\theta$ 方向の伝達関 数 $a(\theta)$ はa(x, y, z)となるため,音源を3次元的にサーチすることが可能

# 包囲型マイクロホンの特長 → 3次元的配置

MUSIC法の精度とマイクロホン配置について検討

- シミュレーション,実験の流れ-

虚像法により得られた反射波と直接音から各 マイクロホンの信号を生成

 $\Downarrow$ 

FFT した入力ベクトル  $\boldsymbol{x}(\omega,t)$ より,直交補空間の基底ベクトル  $\boldsymbol{V}_n$ を計算し, $\boldsymbol{a}(x,y,z)$ との

#### 積を計算

 $\Downarrow$ 

各周波数ごとに求めた  $P(\omega)$ を平均して, (x,y,z)における Pとする シミュレーション,実験条件

- ・音源1(音声)の音圧106(dB)
- ・音源2(音声)の音圧100(dB)
- ・サンプリング周波数 16000(Hz)
- ・璧の反射係数  $\beta = 0.91$
- ・虚像音源の次数 n = 12
- ・入力信号の長さ1秒
- ・窓関数 ハミング窓
- ・窓長 512 点
- ・周波数帯域 500~3000(Hz)
   音声は NTT アドバンステクノロジ株式会社の
   親密度別単語了解度試験用音声データベースを使用

*x*, *y*, *z* をそれぞれ 5cm 間隔ずつ走査





 $k = \frac{P \text{ of search position}}{P \text{ of true source position}}$ 

# シミュレーション結果



図4パターン1(1面)



図5パターン2(2面)



図6パターン3(3面)

Ī	表 1: 音源1の探査結果 (パターン1)						
	x(m)	y(m)	z(m)	P	k		
	1.17	1.00	1.28	31.7	1		
	1.17	1.00	1.23	30.1	0.95		
	1.17	1.00	1.33	30.1	0.95		
	1.17	0.95	1.18	29.0	0.92		
	1.17	0.95	1.23	28.9	0.91		

長 3: 音源 1 の探査結果 (バターン 2)					
x(m)	y(m)	z(m)	P	k	
1.17	1.00	1.28	41.9	1	
1.22	1.00	1.28	33.3	0.79	
1.17	1.00	1.23	32.7	0.77	
1.17	1.00	1.33	31.7	0.76	
1.17	1.00	1.28	31.6	0.75	

長 5:					
x(m)	y(m)	z(m)	P	k	
1.17	1.00	1.28	45.4	1	
1.17	1.00	1.23	38.8	0.85	
1.17	1.00	1.33	38.5	0.85	
1.22	1.05	1.23	34.1	0.75	
1.22	1.05	1.28	33.9	0.75	

表 2: 音源 2の探査結果 (パターン 1)

x(m)	y(m)	z(m)	P	k
1.67	2.55	1.62	48.4	1
1.67	2.55	1.67	48.3	0.99
1.67	2.55	1.57	45.2	0.93
1.67	2.55	1.72	42.2	0.87
1.67	2.55	1.77	34.9	0.72

表 4: 音源 2 の探査結果 (パターン 2)

x(m)	y(m)	z(m)	P	k		
1.67	2.55	1.67	46.3	1		
1.67	2.55	1.62	39.4	0.85		
1.67	2.55	1.72	36.7	0.79		
1.67	2.60	1.62	33.1	0.71		
1.62	2.55	1.67	32.1	0.69		

表 6: 音源2の探査結果 (パターン 3)

x(m)	y(m)	z(m)	P	k
1.67	2.55	1.67	50.6	1
1.67	2.55	1.72	39.6	0.78
1.67	2.55	1.62	39.5	0.78
1.67	2.60	1.67	35.7	0.70
1.67	2.60	1.62	34.4	0.68

# シミュレーション結果(音源位置2座標固定)







# 実環境における実験結果



図4パターン1(1面)



図5パターン2(2面)



図6パターン3(3面)

쿡	表 7: 音源1の探査結果 (パターン1)						
	x(m)	y(m)	z(m)	P	k		
	1.27	0.95	1.18	1.49	1.01		
	1.27	0.90	1.18	1.49	1.01		
	1.27	1.00	1.18	1.49	1.01		
	1.27	0.95	1.23	1.49	1.01		
	1.27	1.00	1.23	1.49	1.01		

1	表 9: 音源 1 の探査結果 (バターン 2)					
	x(m)	y(m)	z(m)	P	k	
	1.17	1.00	1.28	1.82	1	
	1.17	1.00	1.23	1.76	0.96	
	1.17	1.05	1.28	1.76	0.96	
	1.17	0.95	1.28	1.75	0.96	
	1.17	1.05	1.20	1.75	0.96	

Ċ	長ⅠⅠ:					
	x(m)	y(m)	z(m)	P	k	
	1.17	1.00	1.28	2.04	1	
	1.17	1.00	1.23	1.99	0.97	
	1.17	1.00	1.33	1.93	0.94	
	1.12	1.00	1.28	1.90	0.93	
	1.22	1.05	1.28	1.88	0.92	

表 8: 音源2の探査結果 (パターン1)

x(m)	y(m)	z(m)	P	k
1.67	2.55	1.62	2.82	1.03
1.67	2.55	1.67	2.73	1
1.67	2.55	1.57	2.72	0.99
1.62	2.55	1.62	2.60	0.95
1.62	2.55	1.57	2.57	0.94

表 10: 音源2の探査結果(パターン2)

x(m)	y(m)	z(m)	P	k
1.67	2.55	1.67	2.81	1
1.67	2.55	1.62	2.64	0.93
1.67	2.55	1.72	2.59	0.92
1.62	2.55	1.67	2.58	0.91
1.62	2.55	1.62	2.48	0.88

表 12: 音源 2の探査結果 (パターン 3)

x(m)	y(m)	z(m)	P	k
1.67	2.55	1.67	2.58	1
1.67	2.55	1.72	2.42	0.93
1.67	2.55	1.62	2.34	0.90
1.72	2.55	1.62	2.31	0.89
1.67	2.50	1.72	2.30	0.89

# 実験結果(音源位置2座標固定)





10



シミュレーションおよび実験結果

- ・正しい推定位置のPが顕著なピークとして現れない
   ⇒ 残響の影響
  - 虚像法におけるn = 0, つまり残響なしでのシミュレーションでは, *P*が顕著なピークとして現われることにより明らか
- ・パターン1⇒他と比べて推定能力が低い

介

マイクロホンを3次元的に配置することにより 1次元的に配置するよりも高精度な推定結果 11

# 伝達関数a(x, y, z)の類似性の検討



# 類似性の検討結果と考察(1)



図 14 パターン 1 で z 方向に+5cm ずらした場合



図 15 パターン 2 で z 方向に+5cm ずらした場合



図 16 パターン 3 で z 方向に+5cm ずらした場合





#### 類似性の検討結果と考察(2)

パターン 1 の z 方向にシフトした時だけ全て同じ符号向きにベクトルの大きさが変化する  $\downarrow$ パターン 1 の場合の z 方向へのシフトが他に比べて一番数  $a_s(x, y, z)$  と近いものになる

これが原因で Pのピークは出にくくなる  $\Rightarrow z$ 方向の推定能力低い

その他のパターン  $\Rightarrow$  天井以外のマイクロホンの存在により  $a_s(x, y, z)$  には近くなりにくい

3次元配置の方が推定能力が高い





- ・シミュレーションおよび実験により包囲型マイクロホンによる音源位置推定では天井の1面だけを用いるよりも,壁のマイクロホンも使用した2面,3面を用いた方が精度がよいことを確認した
- ・その理論的な背景について検討を行った