

# 1—7—12 室内音場伝達関数の極の推定について

●羽田 陽一 牧野 昭二 金田 豊  
(NTT ヒューマンインタフェース研究所)

## 1. まえがき

音響エコーキャンセラなど音源と受信点間の室内音場伝達関数の疑似モデル化を必要とする装置では、伝達関数をMAモデル(FIRフィルタ)で表現すると、音源あるいは受信点の位置の変化に対し全ての係数を適応し直す必要がある。本報告では、室内音場伝達関数の共振周波数とQ値に対応する極(物理的極)が音源と受信点の位置に依らず変化しないという性質に注目し、複数箇所の伝達関数から音場の極を推定する方法を提案する。さらに、音響信号処理では、音場の先見的知識を有効に活かすことで処理効率の向上が期待できる<sup>[1]</sup>。そこで、音場の物理的極を固定量として用いた信号処理を検討し、その有効性をエコーキャンセラを例に取り明らかにする。

## 2. 極の推定方法

室内に置かれた音源と受信点間の入出力関係は、インパルス応答 $h(t)$ を用いて、

$$y(t) = \sum_{n=0}^N h(n)x(t-n) \quad (1)$$

$N$ : インパルス応答次数

$x(t)$ : 入力信号、 $y(t)$ : 出力信号のMAモデルで表すことができる。しかし、MAモデルは極を陽に反映していないので、 $h(t)$ を

$$y(t) = \sum_{n=1}^P a_n y(t-n) + \sum_{n=0}^Q b_n x(t-n) \quad (2)$$

$a_n$ : ARモデル係数  $b_n$ : MAモデル係数

$P$ : ARモデル次数  $Q$ : MAモデル次数

のARMAモデルに当てはめることを考える。(2)式の $z$ 変換及び分母分子の因数分解は

$$H(z) = A_1 \frac{\sum_{n=0}^Q b_n z^{-n}}{1 + \sum_{n=1}^P a_n z^{-n}} = A_2 \frac{\prod_{i=1}^Q (Z_{ei} - Z)}{\prod_{i=1}^P (Z_{pi} - Z)}$$

であり、 $Z_{ei}$ と $Z_{pi}$ はそれぞれ零点と極であるから、 $a_n$ が分かれば極を推定することができる。 $a_n$ 、 $b_n$ の推定は、 $P$ 、 $Q$ を与えれば(1)式と(2)式の式誤差 $e(t)$

$$e(t) = y(t) - \sum_{n=1}^P a_n y(t-n) - \sum_{n=0}^Q b_n x(t-n)$$

の2乗期待値を最小にすることで行なえる<sup>[2]</sup>。

## 3. 複数のインパルス応答からの物理的極の推定

前節の方法を用い室内の任意の1箇所のインパルス応答から音場の極を推定した場合、零点の影響により見えない極が存在する。また、伝達関数の極及び零の数が正確に予測できないため結果的に物理的極ではない極も推定してしまうといった問題も生じる。そこで、複数箇所のインパルス応答から物理的極を推定する。

図1に、直方体の部屋を仮定して鏡像法を用いて作成した、音源と受信点の配置の異なる50箇所のインパルス応答から個々に極を求め重ね書きした例を示す。図の縦軸の $r_p$ は、極を

$z_p = r_p e^{-i\omega_p t}$  で表したときの $r_p$ であり、1に近づくほど共振周波数のQ値が高くなる。図1上部の度数は周波数1 Hz毎に50箇所の伝達関数から推定された極の頻度を示している。図2に、図1において周波数と $r$ 方向に集中度の高い所を抜き出して推定した極を○印で、また、室条件により理論的に予測される極の位置<sup>[3]</sup>を+印で示す。

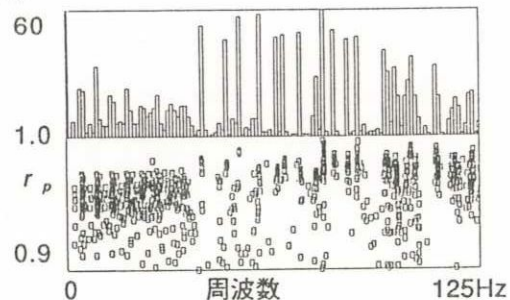


図1 50箇所のインパルス応答から求めた極の重ね書き

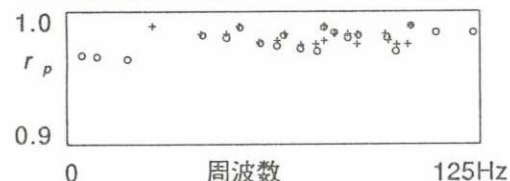


図2 推定した物理的極(○)と理論値(+)

\* Estimation of poles in room acoustic transfer functions. By Yoichi Haneda, Shoji Makino, and Yutaka Kaneda. (NTT Human Interface Laboratories)



図2より、複数箇所測定したインパルス応答をARMAモデル化し、それらが共通に持つ極を物理的極と予測する手法は、周波数のみならず、 $r$ 方向においても理論値とのよい一致をみていることが分かる。

しかし、この極の予測手法は極の数が増大するに伴い、検出される極の位置にばらつきが生じ、物理的極の抜き出しが困難になる。従って、広い周波数帯域に対する音響信号処理を考える場合、検出された極の頻度から推定される極を固定量として用いることは必ずしも得策ではない。

そこで本報告では、物理的な極の情報を大きく反映していると思われる(2)式中のAR係数 $a_n$ の平均的な値をその室内での固定量として信号処理に組み込むことを提案する。平均的なAR係数は複数箇所のインパルス応答から求めたAR係数を平均して算出する。

#### 4. 平均AR係数の音響エコーキャンセラへの応用

音場の極を固定量として用いた信号処理の一例として、複数箇所求めたAR係数の平均値を固定フィルタとして組み込んだ音響エコーキャンセラの計算機シミュレーションを行なった。シミュレーションには室内音場(寸法  $6.7 \times 4.3 \times 3.1 \text{m}^3$ : 残響時間0.6s)にて実測した60~800Hz帯域インパルス応答データを用いた。

図3に固定フィルタを用いる音響エコーキャンセラの構成を示す。まず音源位置は1箇所とし、受音点を10箇所に配置してインパルス応答を測定する。次に、10箇所のインパルス応答に対して算出したAR係数の平均値を求め、その値を固定フィルタに係数として与える。その後、先と異なる場所に受音点を配置して得られたインパルス応答に対し適応シミュレーションを行なった。

図4にエコー消去量(ERLE)の収束特性を示す。(1)の実線は固定フィルタ(ARモデル)次数 $P$ を250次、適応フィルタ(MAモデル)次数 $Q$ を450次とした場合である。(2),(3)は固定フィルタがない場合である。(2)は適応フィルタ次数 $Q$ を(1)に合わせ450次とした場合であり、(1)と(2)を比べると定常消去量は固定フィルタを用いた(1)の方が10dB以上大きい。(3)は定常消去量を(1)に合わせるために適応フィ

ルタ次数 $Q$ を800次にした場合である。(1)と(3)を比べると収束速度は固定フィルタを用いた(1)の方が約1.5倍早い。これらの結果から、極の情報を含む複数箇所求めたAR係数の平均値を固定フィルタとして用いることで、適応性能が向上することが分かった。

#### 5. あとがき

複数箇所のインパルス応答に対しARMAモデル化を行ない、得られたAR係数から部屋の共振周波数と $Q$ 値に対応する極の位置を推定できることを示した。また、室内音場伝達関数の音響的不変量として音場の極を用いることを検討し、複数箇所のインパルス応答から求めた平均的なAR係数を用いることを提案した。音響エコーキャンセラを例に取り本手法の有効性を評価した結果、定常消去量を一致させた場合には、従来のMAモデルに比べ適応フィルタ次数を約1/2、収束速度を約1.5倍向上できることが明らかになった。

#### 参考文献

- [1]S.Makino, Y.kaneda, ICASSP90, pp.1133-1136
- [2]中溝著: "信号解析とシステム同定"  
(コロナ社)
- [3]東山, 吉川: EA-77-12, pp.7-12 (1977)

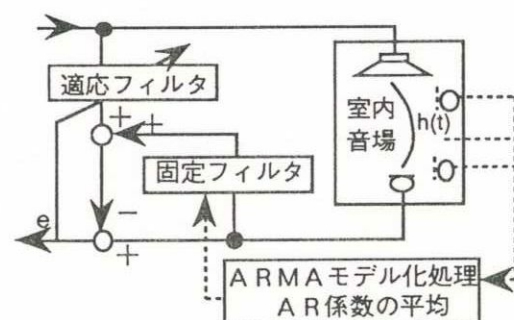


図3 固定フィルタを有する音響エコーキャンセラ

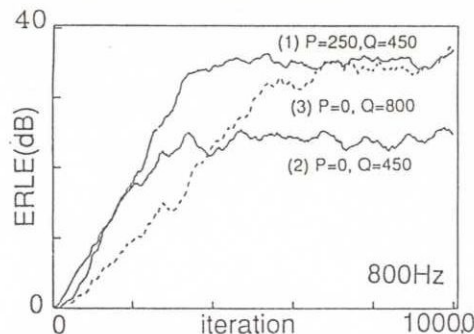


図4 平均AR係数固定フィルタを持った音響エコーキャンセラのエコー消去量 (P:固定フィルタ次数 Q:適応フィルタ次数)