

複数音響インテンシティの測定における最適マイクロホン位置の検討

川野順一 田原俊司 黒岩和治 星野修 (大分大学工学部)

1. まえがき

複数音源場での音響インテンシティの測定法として、3D配列マイクロホンアレイと波長定数マトリクスに基づくフィルタを用いた方法を示し¹⁾、これまで5音源の音響インテンシティの測定が可能であることを示した²⁾。しかし、マイクロホン位置によっては測定できない場合もあった。今回、今まで測定困難である音源位置に応じた、マイクロホンの最適位置を遺伝的アルゴリズム(GA)³⁾を用いて求めることを検討した。

2. 最適マイクロホン位置の推定

GAによる最適マイクロホン位置推定システム図をFig. 1に示す。印で示したN個の音源 S_n (n 番目の音源位置: (r_n, θ_n, ϕ_n))が存在する複数音源場を対象とする。本システムは、印で示した素子数 $N+1$ の3D配列マイクロホンアレイ($M_0 \sim M_M$)、音源信号スペクトル検出部(sound detection)およびGAによるマイクロホン最適位置推定部(Estimation of microphone array arrangement based on GA)で構成されていて、音源方向 $((r_n, \theta_n, \phi_n), n=1 \sim N)$ が既知であることを条件に、擬似音源信号より得られるマイクロホンアレイからの受信信号(m 番目のマイ

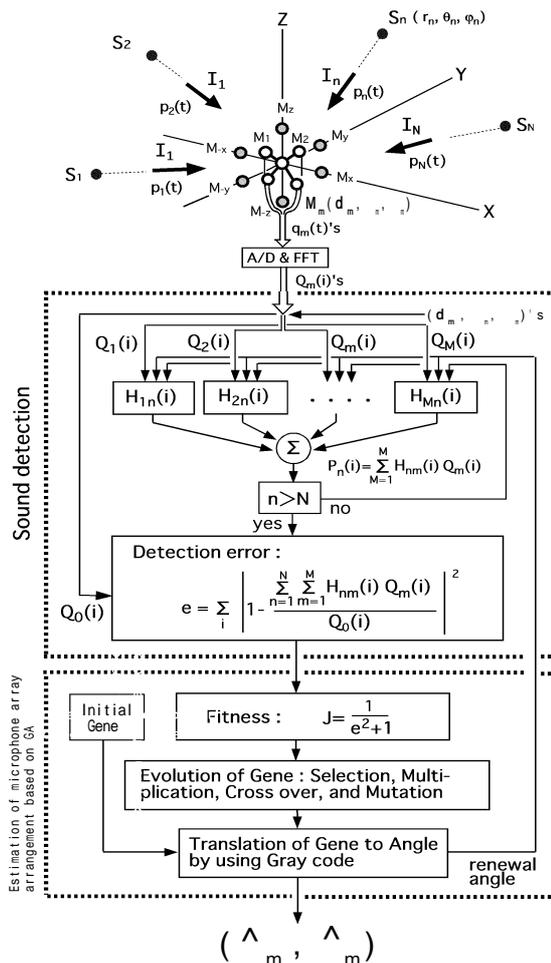


Fig.1 Block diagram of estimation of microphone array arrangement by using GA

クロホン信号のスペクトル: $Q_m(i)$ を処理して、マイクロホン最適位置 ($(\hat{\theta}_m, \hat{\phi}_m)$, $m = 1 \sim M$) を GA を用いて出力する。音源信号スペクトル検出部内のフィルタの伝達関数 $H_{nm}(i)$ ⁴⁾ はマイクロホン位置と音源方向によって決定され、正確な音源スペクトルが出力される。従って、音源とマイクロホンの最適値が入力されないときの推定誤差 e は、

$$e = \sum_{i=I_1}^{I_2} \left| 1 - \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M H_{nm}(i) Q_m(i)}{Q_0(i)} \right| \quad (1)$$

で与えられる。この値は、 $M_1 \sim M_M$ のマイクロホン受信信号のスペクトル $Q_m(i)$ を用いて、任意角度で検出された N 個の音源スペクトルの総和と、 M_0 の参照マイクロホンの受信信号スペクトル $Q_0(i)$ との差を意味し、最適角度が入力されると 0 になる。マイクロホン最適位置推定部では、

$$J = \frac{1}{e^2 + 1} \quad (2)$$

より得られる J を適応度として、GA によりマイクロホン最適位置を推定する。 J は最適なマイクロホン位置が入力されると 1 となり、最適値から遠ざかるほど 0 に近くなる。なお、下限番号 I_1 と上限番号 I_2 は最適化に有効な周波数帯域を意味する。

音源信号スペクトル検出部では、マイクロホン位置に関係なく、複数音響インテンシティ測定に必要な $X Y Z$ 軸上の原点を中心とした仮想 2 点对での各音源信号を推定することができる。この仮想位置は Fig. 1 の ● 印で、 X 軸上の M_x, M_{-x} 、 Y 軸上の M_y, M_{-y} 、そして Z 軸上の M_z, M_{-z} である。

最初にマイクロホン数 M の 2 倍 (方位角 と仰角) の生物集団 (population) に、それぞれ 60 個の個体 (gene) を設定し、初代の個体を発生させる。また、各個体の表現型 (phenotype) を、方位角は $0^\circ \sim 360^\circ$ の範囲に、また仰角は $-90^\circ \sim 90^\circ$ の範囲内に Gray 表現⁵⁾ を用いて変換し、 (θ_m, ϕ_m) とみなす。そして、(2) 式より得られる適応度

(fitness) に基づいて各生物集団毎に淘汰、増殖、交叉、突然変異の進化処理を個体の進化が収束するまで行う。そして、最終世代での各生物集団中の最大適応度を持つ個体の表現型が最適なマイクロホン位置の推定値となる。

複数音響インテンシティは、仮想 2 点对位置の信号を用いてクロススペクトル法により求めることができる⁶⁾。

本実験での諸パラメータは次のとおりで、遺伝子のビット長 = 10 ビット、交叉率 = 0.4、突然変異率 = 0.03 とした。また、音源方向は Fig. 2 に示したように、 $(\theta_1, \phi_1) = (2.5 \text{ m}, 67^\circ, 25^\circ)$ 、 $(\theta_2, \phi_2) = (2.5 \text{ m}, 153^\circ, -64^\circ)$ 、 $(\theta_3, \phi_3) = (2.5 \text{ m}, 257^\circ, -18^\circ)$ 、 $(\theta_4, \phi_4) = (2.5 \text{ m}, 300^\circ, 50^\circ)$ とした。

3. 実験結果

最初に、Fig. 3 に GA によるマイクロホン最適位置推定の初代から 500 世代の個体の進化の様子を示す。生物集団の genotype に対応した各マイクロホンの方向 ($(\hat{\theta}_n, \hat{\phi}_n)$, $n = 1 \sim 4$) の進化過程が横軸を方位角 $\hat{\theta}$ 、縦軸を仰角 $\hat{\phi}$ とした 2D 表示で表されている。上から最初の世代、10 世代、200 世代、500 世代を表している。図の 印がマイクロホン 1 (M_1) の方向 ($\hat{\theta}_1, \hat{\phi}_1$) で、同様に 印、 印と 印はそれぞれマイクロホン 2 (M_2)、3 (M_3)、4 (M_4) の方向である。マークの大きさは各個体の適応度の大きさに比例して表示されている。図から、初世代は適応度が低く各個体は広く分散している。10 世代になると適応度は低いが収束し始めているのが分かる。200 世代になると適応度がさらに高くなり収束もある程度進み、500 世代になるとほぼ 1 点に収束していることが分かる。

次に GA で推定をしたマイクロホン最適位置を用いて信号検出を行った結果を Fig. 4、Fig. 5 に示す。Fig. 4 は、上から順に原点位置での音源 1 の原信号、マイクロホン 1 (M_1) の受信信号 $Q_1(i)$ 、原点位置での音源 1 の検出信号を表している。図に示されているように、検出信号と原信号はほぼ一致している事がわかる。Fig. 5 は、複数音響インテン

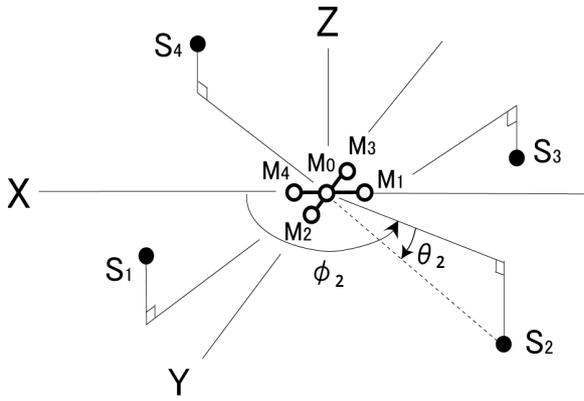


Fig.2 Location of sound sources and microphone array for the four sounds

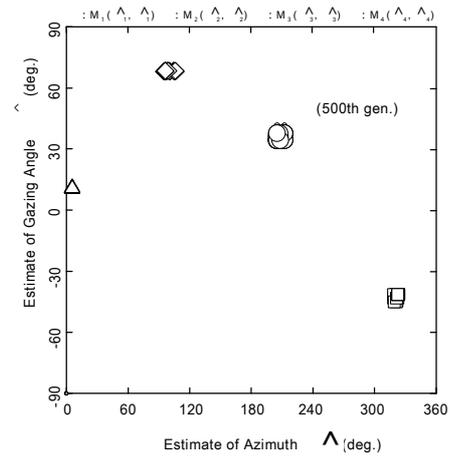


Fig.3 Evolution of genes from M_1 to M_4 with generation. The converged points at 500th gen. imply optimum microphone array.

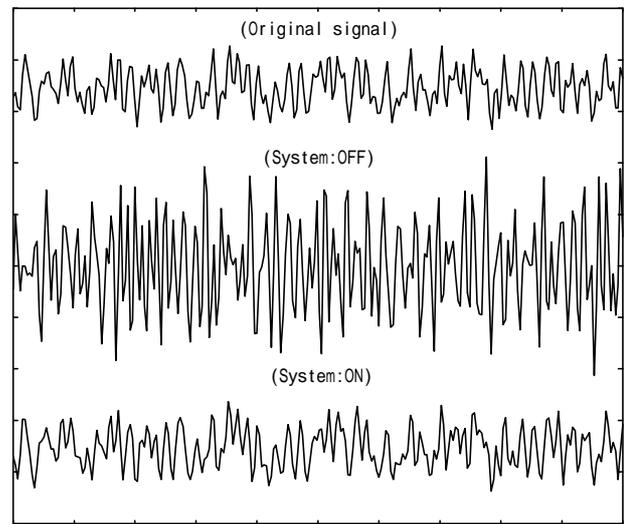
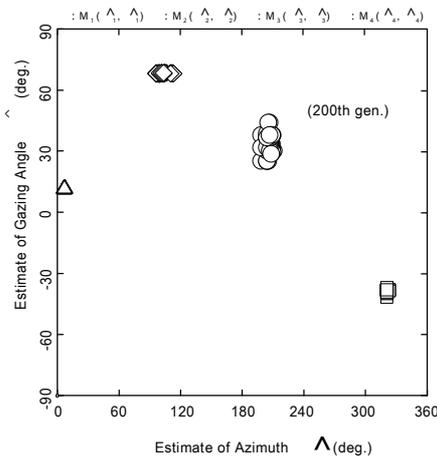
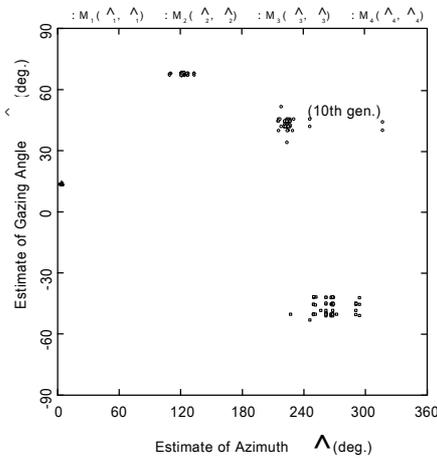
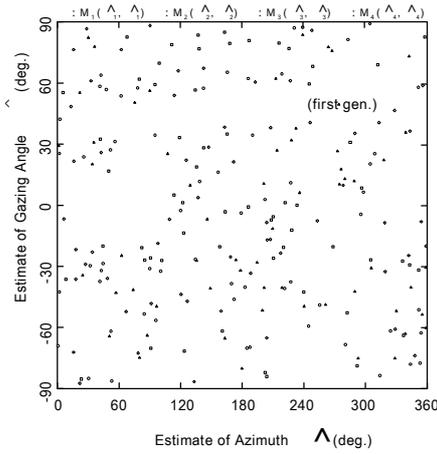


Fig.4 Original sound $p_1(k)$ and microphone output $Q_1(k)$ and detected sound at the original after system being on.

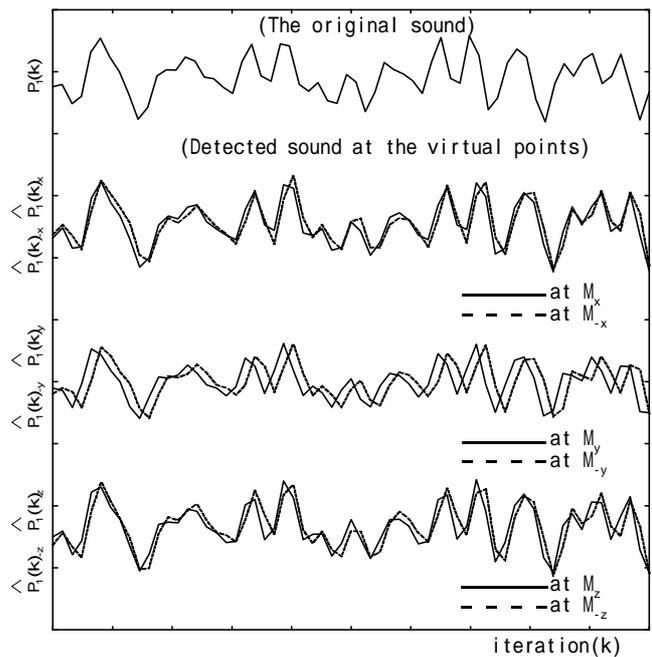


Fig.5 Original sound $p_1(k)$ and the detected sound $\hat{p}_1(k)$ at the virtual points.

シテ測定に必要な仮想2点対 (X軸: M_{-x} , M_x Y軸: M_{-y} , M_y Z軸: M_{-z} , M_z) の位置での音源1の検出信号を時間軸を拡大して示している。上から原信号、X軸上の M_{-x} , M_x 、Y軸上の M_{-y} , M_y 、そしてZ軸上の M_{-z} , M_z 位置での検出信号を表し、実線はそれぞれの軸上の正の位置、破線は負の位置での信号を表す。図より、仮想2点対の位置での推定信号は原信号と振幅はほぼ一致しており、X軸上の M_{-x} , M_x 、Y軸上の M_{-y} , M_y 、そしてZ軸上の M_{-z} , M_z 間で位相差が生じている事がわかる。以上のことから、GAによるマイクロホン最適位置の推定はできるものと考えてよいことが分かる。

最後に、GAで推定したマイクロホン最適位置を用いて複数音響インテンシティの計算を行った。10回計算を行った結果の振幅の最大誤差は1.17%で、平均誤差は1.06%であるが、角度は方位角で最大誤差は21.6°で、平均誤差は11.1°であり、仰角では最大誤差は16.7°で、平均誤差8.0°であった。以上から、GAで推定したマイクロホン最適位置を用いて複数音響インテンシティの測定は推定精度が十分ではないものの、基本的に可能であることが示された。

4. まとめ

複数音響インテンシティの測定に必要な最適マイクロホン位置を、GAを用いて推定する方法を示した。4音源5素子マイクロホンアレイについてシミュレーションを行った結果、基本

的にマイクロホン位置を推定することができた。また、推定したマイクロホン位置を用いて音源信号検出および複数音響インテンシティの測定を行った結果、まだ十分な精度でなかったが、基本的に音響インテンシティの推定ができることが示された。今後は今回用いた方法を発展させ、複数音響インテンシティの測定精度をさらに向上させる検討をしていく予定である。

参考文献

- 1) K.Kuroiwa, "Detection of incident and reflected sound intensity for oblique incident" proc. of Fourth International Congress on Sound and Vibration Vol.3 pp. 1859-1866(1966)
- 2) 川野順一、他 "マイクロホンアレイを用いた多音源音響インテンシティの測定" 2000年度電気関連学会九州支部大会
- 3) 嘉数佑昇、他共訳 "遺伝的アルゴリズムハンドブック"、森北出版社。
- 4) 黒岩和治、他 "マイクロホンアレイを用いた入・反射は音響インテンシティの分離測定" 信学技法 EA94-67(1994-11)
- 5) 田原俊司、他 "多音源場における音源方向の推定精度改善 - Gray表現を用いたGA - "、信学技法 EA2000-79(2000-11)
- 6) F.J.Fahy, "Measurement of acoustic sound intensity using cross-spectral density of two microphone signals", J. Acoust. Soc. Am. 62,1057-1059(1977)