

H-059

位相差スペクトルイメージによるマイクロホンと音源間の距離推定 Distance Estimation to a Sound Source Using Phase Difference Spectrum Images

霜山 竜一[†],
R.Shimoyama

山崎 憲[†]
K.Yamazaki

1. まえがき

視覚障害者でも、聴覚情報だけで音源までの距離を推定できることが知られている。両耳で距離を推定するための音の特徴に関して心理物理学実験による多くの提案がなされている[1]。Bronkhorstらは直接音と反射音のエネルギー比の距離推定における重要な役割について報告している[2]。異なる2箇所における音波の到達時間差あるいは位相差から、三角法で音源までの距離を推定する方法は、反響のある場合に著しく推定精度が低下する。

筆者らはこれまで、メンフロウの聴覚中枢で音源方向が推定されるメカニズムに習い[3]、音圧の位相差スペクトルを用いて音源を可視化した[4-6]。本報告では、室内でスピーカから連続的に発生させた広帯域雑音を1対の無指向性マイクロホンで検出し、音圧のクロスパワースペクトルの位相を求めた。位相差値のばらつきを標準偏差で表した場合に、標準偏差値の平均値がマイクロホンとスピーカ間距離にほぼ比例する特徴を利用して、スピーカまでの距離が推定できることを示す。

2. 推定アルゴリズム

Fig. 1 に示すように、室内の中央部に設置した1対の無指向性マイクロホン正面の、距離 D だけ離れた位置に音源を置く。一般に、室内の音源から広帯域雑音を連続的に発生させた場合に、測定される位相差の周波数特性には連続性がほとんどみられず、位相差値は不規則にばらつく。このばらつきを標準偏差値で評価する。距離を推定するためのアルゴリズムを Fig.2 に示す。周波数帯域幅 Δf に含まれる $2m+1$ 個の位相差値の標準偏差をその中心周波数 f_i を変えながら式(1), (2)から求める。周波数 f_i における標準偏差 ρ_i は、

$$\rho_i = \sqrt{\frac{1}{2m+1} \sum_{j=i-m}^{i+m} (\varphi_j - \bar{\varphi}_i)^2} \quad (1)$$

$$\bar{\varphi}_i = \frac{\sum_{j=i-m}^{i+m} \varphi_j}{2m+1} \quad (2)$$

で与えられる。ここで φ_j は周波数 f_j における位相差、 $\bar{\varphi}_i$ は帯域幅 Δf 内の位相差の平均値である。さらに周波数帯域 ΔF で標準偏差値を平均した値とマイクロホン

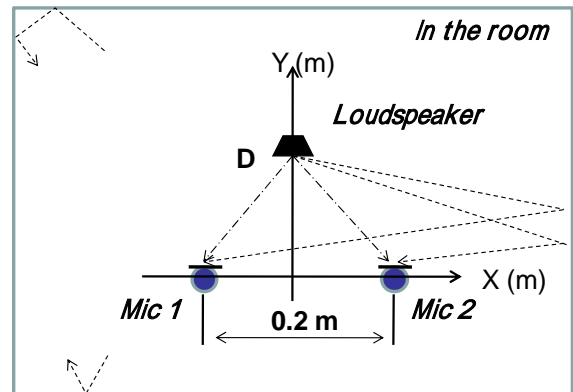


Fig. 1 Configuration of sensors and a source (a plane figure).

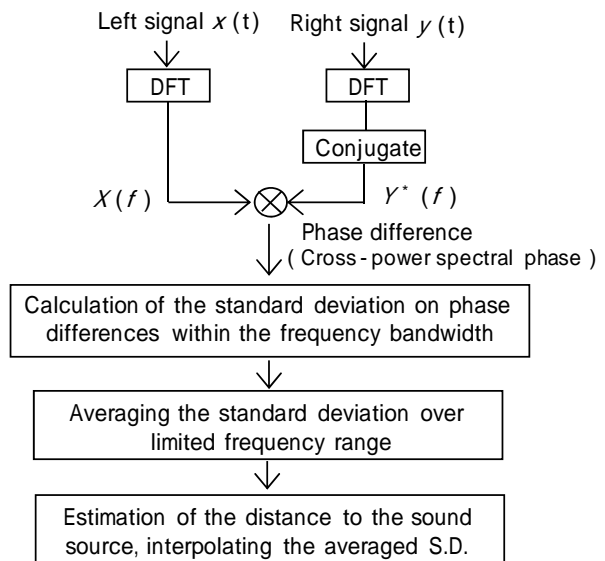


Fig. 2 Proposed algorithm.

と音源間距離の関係を実測する。音源までの距離はこの平均値を線形補間して推定する。

3. 結果

残響時間が 0.4s である室内でマイクロホン(Type 4190 B&K)を水平方向に 20cm (= S)離して配置した。24 ビット分解能の A/D 変換ボード(NI,PCI-4474)を装備した PC (Dell,GX280)で音圧波形を測定した。 Δf は 0.8kHz ($m = 160$)である。サンプリング周波数 24kHz, 1 フレームは

[†] 日本大学生産工学部電気電子工学科
〒275-8575 習志野市泉町 1 - 2 - 1

9600 データでハニング窓を用いた．スピーカまでの距離を 1m に設定して測定された音圧の位相差スペクトルを Fig.3 に示す．位相差値は -180° から $+180^\circ$ まで広く分布しており，特に低い周波数ほど広く分布する傾向がみられた．Fig.1 の Y 軸上に音源があれば，直接到来する音の位相差は理論的には周波数に拘らずゼロとなるはずである．マイクロホンは直接音と反射音の合成された音を検出するため，位相差値の不規則な変動は壁や床面による反射音に起因するものと考えられる．Fig.3 に対応する標準偏差の周波数特性を Fig.4 に示す．同図には距離が 2m, 3m の場合も併せて示してある．多少の変動がみられるが概ね，周波数が高いほど標準偏差値は減少する傾向にある．また距離が離れるほど標準偏差値は高い値を示した．これは，音源が遠方に位置するほど，様々な方向から到来する反響音が位相差値に顕著な影響を与えることを意味する．異なる周波数帯域 ($\Delta F = 2\text{kHz}$) における標準偏差値の平均値と距離の関係性を Fig.5 に示した (Fig.4 に対応)．いずれの周波数帯域で平均しても，標準偏差の平均値は距離にほぼ比例することが分かる．9kHz ~ 11kHz の周波数帯域で標準偏差値を平均した場合は，それより低い周波数帯域で平均するより，より線形な関係が得られた．この帯域のデータを最少二乗法で近似した一次関数は $\sigma = 17.6L - 3.8$ であり，近似関数から求めた距離と実測値との誤差は $\pm 0.06\text{m}$ 以下となった．

4. あとがき

室内でスピーカから連続的に発生させた広帯域雑音を 1 対の無指向性マイクロホンで測定し，音圧のクロスパワースペクトルの位相を求めた．(1)位相差のばらつきを標準偏差で表すと標準偏差の平均値がマイクロホンとスピーカ間の距離にほぼ比例する，(2)この特徴を利用してスピーカまでの距離を $\pm 0.06\text{m}$ 以下の精度で推定できる，ことを示した．本法では反響音を利用して音源までの距離を推定するため，推定結果は室内の反響の状況に依存する．今後は様々な環境で残響時間と推定距離の関係について検討する予定である．

謝辞 実験に協力してくれた本学学部生，臼田拓顕，大木聡史，小倉卓也，高津雅利君らに感謝します．

参考文献

[1] P. Zahorik, "Assessing auditory distance perception using virtual acoustics", J.Acoust.Soc.Am., 111 (4), 2002, p.p. 1832-1846.
 [2] A.W.Bronkhorst, T.Houtgast, "Auditory distance perception in rooms", Natur e, 397 (6719), 1999, p.p. 517-520.
 [3] M. Konishi, "Study of localization by owls and its relevance to humans", Comp. Biochem. Physiol., 126, A, 2000, p.p. 459-469.
 [4] R. Shimoyama, K. Yamazaki, "Acoustic source localization using phase difference spectrum images", Acoust. Sci. & Tech., 24, 4, 2003, p.p. 161-171.
 [5] 霜山, 山崎「多義性を有する位相差から推定された 2 次元音像」第 3 回情報科学技術フォーラム, J-050 (2004.9.8) 317-318
 [6] R. Shimoyama, K. Yamazaki, "Visualization of Tapping Sound on Concrete Wall using Ambiguous Phase Differences", System Modeling and Simulation, Theory and Applications, ASC 2006, 2006, p.p. 332-336.

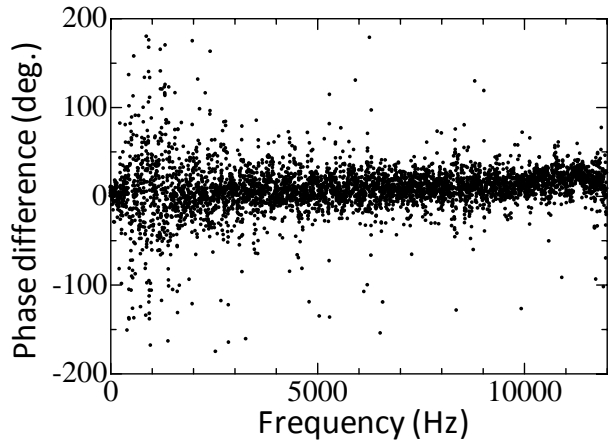


Fig. 3 Phase difference spectrum (D = 1m).

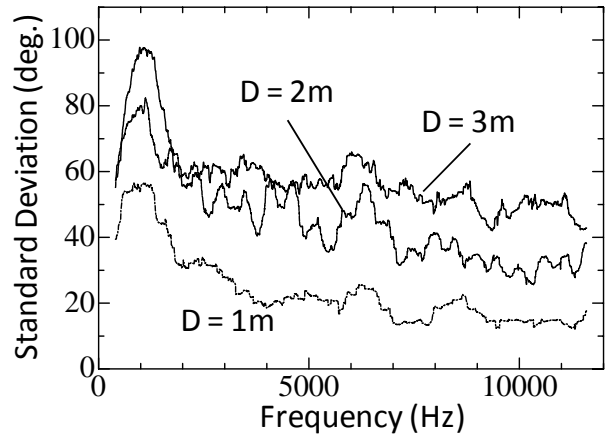


Fig. 4 Frequency spectra of standard deviation of phase difference values, corresponding to Fig.3.

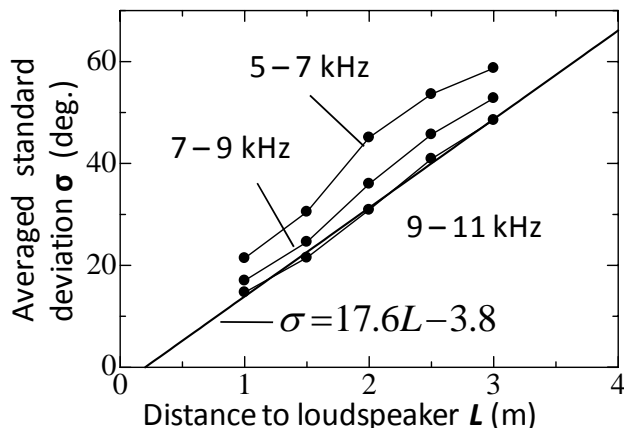


Fig. 5 Relations between the distance and averaged standard deviation, corresponding to Fig.4 (bandwidth of 2kHz).