

H-041

位相差スペクトルによるヘッドトルソを用いた音源の方向推定 計算モデルのマイクロホン間隔を変えた場合の効果

Sound source localization using phase difference spectrum with binaural head and torso
- On the effect of virtual microphone interval

霜山 竜一†
R. Shimoyama

1. まえがき

人の聴覚中枢で音源の方向が知覚される仕組みについて Jeffress は単純であるが本質的なモデル¹⁾を提案している。蝸牛からの神経パルスは聴覚中枢にある一種の遅延線上を伝搬し、左右のパルスの出会う空間的な位置は音源の方向に対応するというものである。Konishi ら²⁾はメンフロウが音源の水平方向を検出する仕組みを生理学実験により明らかにした。音の周波数が高い場合に、周期的に発生する神経パルスは遅延線に沿い、複数の異なる一致検出細胞を発火させる。これは周期的な神経パルスの位相が多義的であることに起因する。メンフロウの聴覚中枢で位相の多義性を解決して音源の方向を検出するメカニズムについても提案している。本報告では、メンフロウの聴覚中枢で音源の水平方向を検出するメカニズムと類似のアルゴリズム³⁾⁴⁾を、ヘッドトルソで測定された両耳聴の音響信号に適用し、1個の小型スピーカ方向を検出した。ヘッドトルソの向きを変えて、固定されたスピーカ方向を推定した結果について報告する。

2. 推定アルゴリズム

ヘッドトルソには両耳部の奥にマイクロホンが内蔵され、ヘッドトルソの本体や外耳によって音は回折することが想定される。音の回折による効果は外耳やヘッドトルソの形状と寸法に依存する。しかし人はそれらを意識することなく音源を定位できることから、ここでは音の回折を無視した幾何学的計算モデルを採用した。

Fig.1 に示すように、2つのセンサを通る x 軸とそれに直交する y 軸からなる座標系において、原点 O から音源をみた角度 θ を算出する。1対のセンサに到来する直接音の行路差 l は位相差を Δt とすると、

$$\Delta t = \frac{c \Delta \phi}{360 f} \quad (1)$$

で与えられる。 c は音速、 f は周波数である。位相差の多義性を考慮すると、整数 m を用いて、

$$\Delta t = \frac{c(\Delta \phi + 360 m)}{360 f} \quad (2)$$

となる。音源と原点 O 間の距離 L が既知で、閾値を ε_0 とすると、式(2)~(4)を $\varepsilon < \varepsilon_0$ の条件下で数値的に解けば、角度 θ を幾何学的に算出できる。

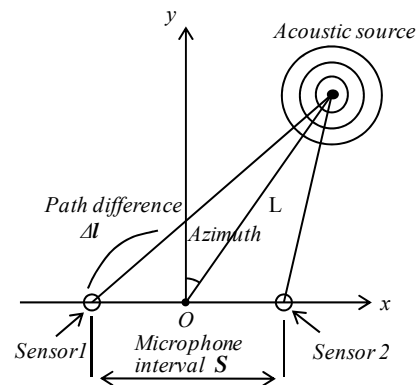


Fig. 1 Configuration of sensors and a source (a plane figure).

$$\Delta l^1 = \sqrt{(L \cos \theta)^2 + (L \sin \theta + S/2)^2} - \sqrt{(L \cos \theta)^2 + (L \sin \theta - S/2)^2} \quad (3)$$

$$\varepsilon = |\Delta l - \Delta l^1| \quad (4)$$

音の波長がマイクロホンの間隔より短い周波数で、とり得る整数値に応じて複数の音源方向が推定されることになる。具体的には、マイクロホンで検出された2系統の音響信号をDFT処理後にクロスパワースペクトルの位相を計算する。得られた位相差値から式(2)~式(4)より幾何学的に音源方向を求める。比較的高い周波数では複数の音源方向が得られる。音源が動かない場合には、得られた音源の方向は周波数に依存せず一定値となるはずである。この特徴を利用して、ハフ変換⁵⁾を用いて複数の音源方向から真の音源方向を推定する。

3. 実験結果

室内の中央部で、電動式回転台の上に固定されたヘッドトルソ(Bruel&Kjaer, 4100-D)の向きを変えて、ゴルフボール大のスピーカ方向を推定した。スピーカはヘッドトルソから1(m)の位置に設置した。ヘッドトルソの両耳部に内蔵されたマイクロホンの間隔は13(cm)である。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2系統の音圧波形を同時測定した。サンプリング周波数24(kHz)、各Chの1フレームは4800データでハニング窓を用いた。

ヘッドトルソの向きを変えて様々な角度で実際の音源方向と推定方向を比較した例をFig.2に示す。音源方向が

† 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

-40(°) ~ +40(°)の範囲で推定方向は実際の方向とほぼ比例する様子が分かる。比例係数は約 1.5 である。方向が 50(°)を越すと繰り返しのよらつきがみられた。ヘッドトルソの回転角が+40(°)である場合に、推定された音源方向の周波数特性を Fig.3 に示す。約 1.5(kHz)以上の周波数で複数の音源方向が推定された。推定方向の中で比較的周波数に依存しない方向は-58(°)であり、18(°)の差が生じた。Fig.2 と Fig.3 に示した方向の推定値に対し、例えば補正係数 0.67 を掛ければ実際の方向と一致させられる。また機械学習により推定値を実際の方向に対応づける方法もあるが、ここではこの差異の物理的な意味について考える。Fig.3 のような音源方向のパターンは音速値やマイクロホン間隔等の物理的なパラメータに依存する。そこでパラメータのひとつであるマイクロホン間隔に着目し、その値と推定方向の関係を調べた。Fig.4 に計算パラメータとしてのマイクロホン間隔を 17(cm)に変更した場合の音源方向の推定値を示す。Fig.3 と比較して、複数ある音源方向の間隔は狭くなることが分かる。周波数に依存しない音源方向は-42(°)で誤差は 2(°)に減少した。さらにマイクロホン間隔を広げ 21(cm)にすると、推定方向は-32(°)で誤差は逆に増大した。マイクロホン間隔を 17(cm)に設定した場合の、推定方向と実際の方向の比較を Fig.5 に示す。音源の方向が-40(°) ~ +40(°)の範囲で推定方向はほぼ実際の方向と一致した。推定値が実際の音源方向と一致するための等価的なマイクロホンの位置は実際より左右とも約 2(cm)外側にある。これは回折によって音の位相差が大きめに検出されたためと考えられる。

4. あとがき

メンフロウの聴覚中枢で音源の水平方向を検出するメカニズムと類似のアルゴリズムを、ヘッドトルソで測定された両耳聴の音響信号に適用し、1 個の小型スピーカの方角を推定した。ヘッドトルソの向きを変えて、様々な角度でスピーカの方角を推定した結果、(1)推定された方向と実際の方向に差異がみられた、(2)幾何学計算に用いるマイクロホン間隔を仮想的に調整すると、推定方向を実際の音源方向と一致させることができた。これは回折によって音の位相差が大きめに検出されたためと考えられる。

参考文献

- [1] L. A. Jeffress, "A place theory of sound localization", J. Com. Physiol., 41, 1947, p.p. 35-39.
- [2] M. Konishi, "Study of sound localization by owls and its relevance to humans", Comp. Biochem. Physiol. A, 126, 2000, p.p.459-469.
- [3] R. shimoyama and K. Yamazaki, "Multiple acoustic source localization using ambiguous phase differences under reverberative conditions", Acoust. Sci. and Tech., 25-6, 2004, p.p.446-456.
- [4] R. shimoyama and K. Yamazaki, "Computational acoustic vision by solving phase ambiguity confusion", Acoust. Sci. and Tech., 30-3, 2009, p.p.199-208.
- [5] R. E. Dura and P. E. Hart., *Pattern Classification and Scene Analysis*, (Wiley, Newyork,1973).

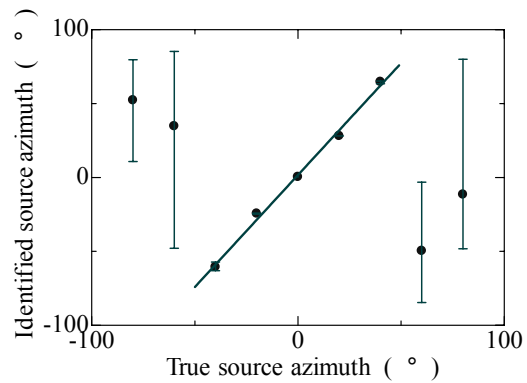


Fig. 2 Comparison of true source azimuth with identified (S = 13cm)

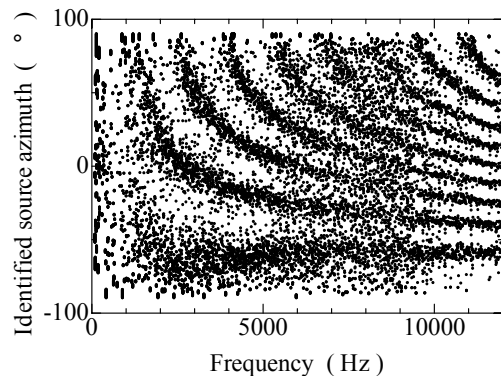


Fig. 3 Frequency spectrum of identified source azimuth (S = 13cm)

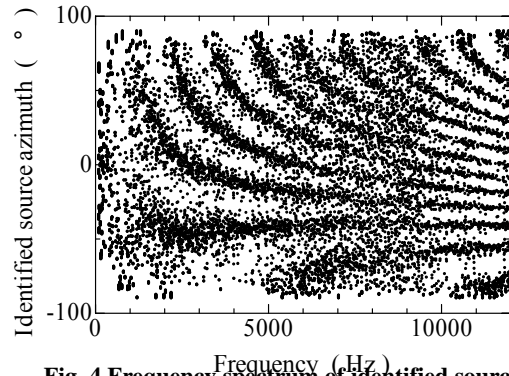


Fig. 4 Frequency spectrum of identified source azimuth (S = 17cm)

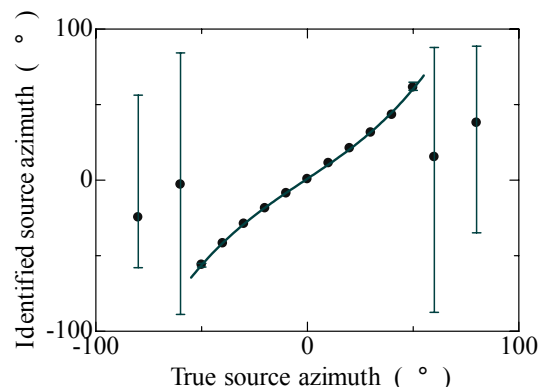


Fig. 5 Comparison of true source azimuth with identified (S = 17cm)