

広帯域音の実時間映像化

Real-time Broadband Sound Visualization

霜山 竜一[†], E.S.Maini^{††}, C.Laschi^{††}, P. Dario^{††}, 山崎 憲[†]
R.Shimoyama K.Yamazaki

1. まえがき

受音点における音圧から音源の方向を推定する問題は一種の逆問題である。音は波動性を有し、伝播経路に存在する物体の形状や、寸法と波長の比に応じて曲がる。音の伝播経路を予測するには周囲の物体に関する様々な情報(位置、形状、寸法、材質など)を予め知る必要があるが、実環境でそれら全てを把握することは難しい。上明戸¹⁾は、音が直進すると仮定した音線法で、5個のマイクロホンを用いて音の位相差から、低周波音源の方向を複数の周波数における点音源の分布として求めている。音線法は低周波音に対して近似度が悪く、大地の反射による影響の大きいこともあって、点音源の分布は必ずしも音源方向を正確に反映していない。マイクロホンの間隔より音の波長が短いと、複数の方向から到来する音の位相差値が等しくなる、いわゆる“位相の多義性”に起因して方向が一義的に定められない。このため通常、マイクロホンの間隔は測定される音の波長より短く設定される。霜山は、メンクロウの聴覚中枢における位相の多義性に起因する音源定位の曖昧さを解消するメカニズム²⁾を周波数領域に適用した音線法のモデルを提案し³⁾、実環境でスピーカから再生した広帯域音を点音源の分布として可視化した⁴⁾。提案法によって、波長がマイクロホンの間隔より短い、高い周波数の点音源に音源の方向がより正確に反映されることを示した。音の可視化はオフラインで行われた。

本報では、3系統の同時集音システムを用いて実時間で広帯域音の映像と音源方向を求めた。室内で発生させたカスタネットの打音とスピーカから再生した連続的な広帯域雑音の映像を示す。マイクロホンの間隔を10cmと4cmに設定した場合を検討し、位相差の多義性の生じる条件と生じない条件で音の映像に現れる定性的な違いについて述べる。

2. 定式化と推定アルゴリズム

音の波長がマイクロホンの間隔より短くなる周波数では、1つの位相差値から複数の音源方向が求められる。2個のマイクロホンで計測された直接音の位相差 $\Delta\phi$ と行路差 Δl は(Fig.1)

$$\Delta\phi = \frac{\Delta l}{c} f \times 360 \quad (\text{deg.}) \quad (1)$$

ここで、 f は周波数、 c は音速である。

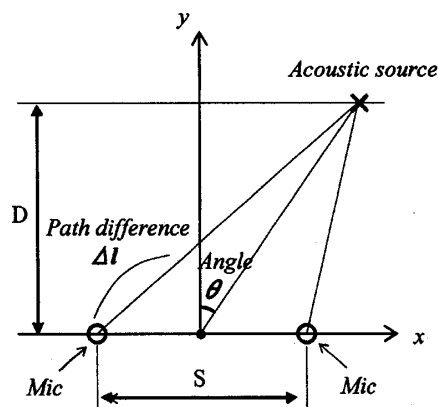


Fig. 1 Ray trace model

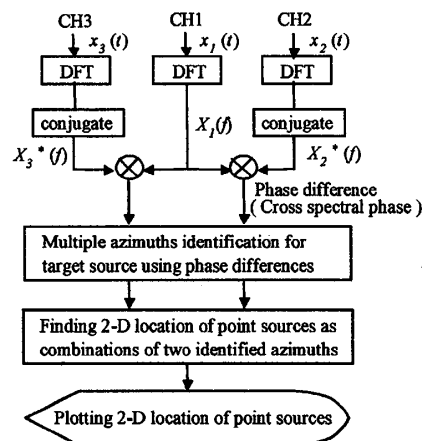


Fig. 2 Algorithm on Broadband Sound Visualization

位相差は多義的に定義される。すなわち

$$\Delta\phi \rightarrow \Delta\phi + 360m \quad (2)$$

ただし m は整数。式(1), (2)より

$$\Delta l = \frac{c(\Delta\phi + 360m)}{360f} \quad (3)$$

である。式(3)は、周波数 f において位相差値 $\Delta\phi$ から、整数 m ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) の値に応じて複数の行路差 Δl が得られることを示す。得られた行路差から点音源の方向は幾何学的に求められる。Fig.2 にアルゴリズムを示す。3系統の信号間で得られた2つのクロススペクトルの位相から、

[†] 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
^{††} ARTS Lab - Scuola Superiore Sant'Anna,
Viale R. Piaggio 34, 56025 Pontedera, Italy

水平角, 仰角それぞれについて複数の点音源の方向を求める。サンプリング周波数は 16kHz, 1 フレームは 400ms である。データの時間平均はせず, フレーム毎に各周波数で得られた点音源の水平角, 仰角方向を 1 組とする方向に点を配置する。自然界で発生する音は比較的広帯域であるため, 空間的に最も多くの点音源の重なる水平角, 仰角を音源方向と見做した。

3 個のマイクロホン(ACO,7146)を水平, 垂直方向に 10cm(=S)間隔で配置し, マイクロホン正面の半球面の音の映像を求めた。このマイクロホン間隔は約 3.3kHz の音の波長に相当する。可視化する周波数範囲は 0.2~6kHz である。A/D 変換ボード(NI,PCI-4474)を使い PC (Dell,GX280) で音を連続的に計測し, 可視化した。

3. 結果

室内の, マイクロホンから 1m(=D)離れた位置でカスタネットを 1 度叩いた。直後のディスプレイの画面を Fig.3 に示す。Fig.3(a), (b), (c)はそれぞれ点音源の分布, 信号の振幅スペクトル, 水平角と仰角に対する点音源の密度分布である。同図(a)ではカスタネットの方向に多くの点が集中する様子が分かる。打音は比較的広帯域であり(同図(b)), 点音源の密度分布(同図(c))にはほぼ音源に相当する方向にピークがある。打音のように継続時間が比較的小さい場合でも, 音の映像と音源の方向がほぼ実時間で得られた。1 個のスピーカから放射される連続音(広帯域雑音)を映像化した。Fig.4 にディスプレイの一画面を示す。連続音の場合も打音と同様に, 音源の方向に点が集中し, 音源を中心に点音源が放射状に分布する様子が分かる。点音源の密度分布にみられるピークは水平, 垂直方向とも鋭い。位相差の多義性が生じない条件である。マイクロホンの間隔を 4cm に変更し, 同様の周波数帯域で音を映像化した。Fig.4 と比較して, 点音源の分布は広がる傾向がみられた(Fig.5)。これは解像度が低下することを意味する。

4. あとがき

3 系統の同時集音システムを用いて, カスタネットの打音およびスピーカから再生した広帯域雑音の, 映像と音源方向を求めた。またマイクロホン間隔を変えて音の映像の違いを調べた。その結果, (1)音源の方向に多くの点音源の集まる映像が得られる, (2)マイクロホン間隔が 4cm では 10cm と比べて点音源の分布は広がる傾向がみられる, (3)打音のような継続時間の短い音でも音の映像と方向をほぼ実時間で表示可能である, ことなどが分かった。(旧文部省ハイテクリサーチ助成(2000-2005)研究)

参考文献

- [1]上明戸, 野上, 山下, 財満, 大脇, 杉山, 和田「音情報と画像を組み込んだ音源探索システムの開発—小型発電機の騒音源位置推定と遮音効果の可視化への適用」日本建築学会計画系論文集, 553(2002) 17-22
- [2]M. Konishi 「Study of localization by owls and its relevance to humans」Comparative Biochemistry & Physiology, A (2000) 459-469
- [3]R. Shimoyama and K. Yamazaki 「Acoustic source localization using phase difference spectrum images」Acoust. Sci. & Tech., 24, 4 (2003) 161-171
- [4]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

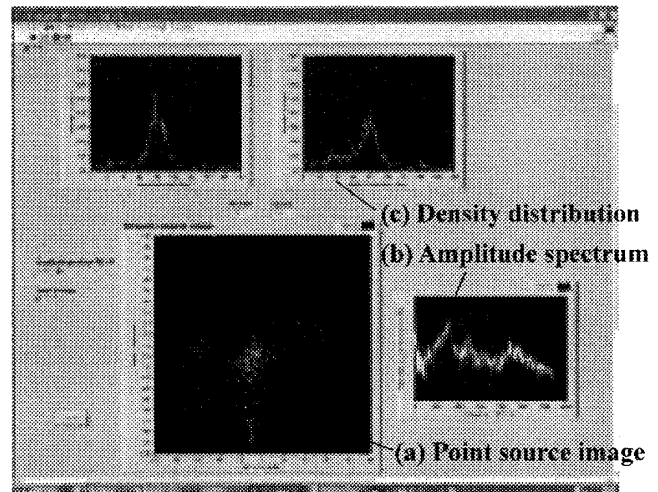


Fig. 3 One shot of the display (Castanet)

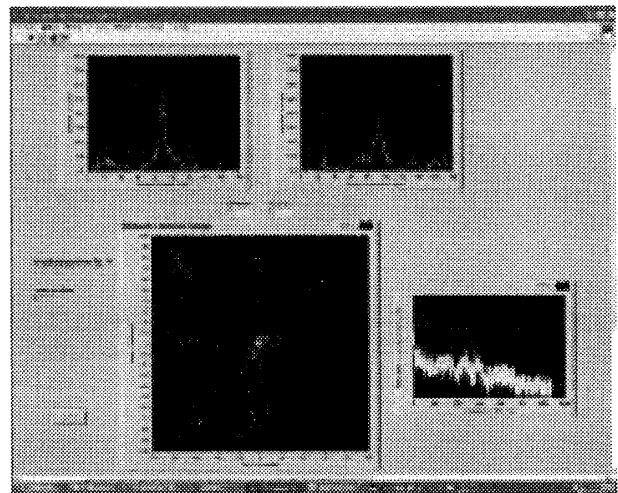


Fig. 4 One shot of the display (Broadband noise, Microphone interval: 10cm)

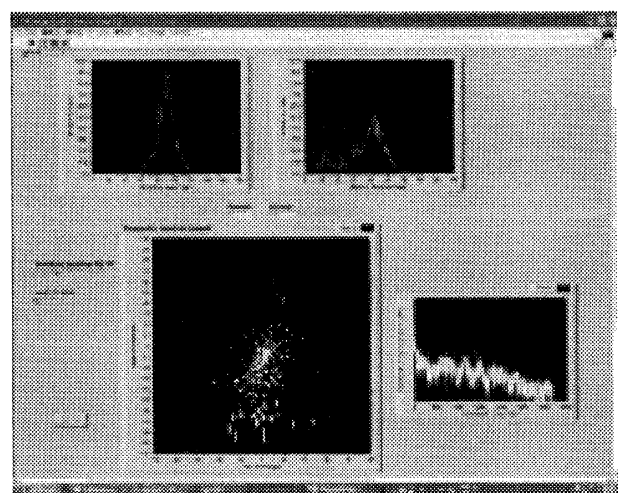


Fig. 5 One shot of the display (Broadband noise, Microphone interval: 4cm)