

パラボラ反射板を用いたアクティブマイクロフォンによる音源方向推定*

高島遼一, 滝口哲也, 有木康雄 (神戸大)

1 はじめに

これまでに提案された音源方向や位置の推定方法は, マイクロフォンアレーにおける各観測信号の時間差を用いた手法が多く, 複数のマイクロフォンが必要であった [1]. 単一マイクロフォンによる音源位置推定の手法として, クリーン音声の音響モデルを用いて位置毎の音響伝達特性を推定し, それらのモデルを用いて音源位置を推定するという手法が提案されている [2].

また, 反射板をマイクロフォンに取り付けてその反射波を利用するという, 生物の聴覚系を模倣したような音源方向や位置の推定法も提案されている [3][4].

そこで本稿では, マイクロフォンにパラボラ型の反射板を装着させ, その反射波を用いることで音源距離や部屋の環境に依存せずに音源方向を検出する手法を提案する.

2 提案手法

2.1 パラボラ反射板

本手法では放物面状の反射板をマイクロフォンに装着することで方向推定を試みる. 平面波を仮定した場合, Fig. 1 で示されるように放物面の軸と平行に入射した波はすべて放物面の焦点に向かって反射される. 一方別の角度から入射した波が反射によって焦点に到達することはない.

2.2 直接波と反射波の合成波

Fig. 2 のように, 焦点距離 d の放物線の正面から波が入射している場合において, 焦点 O での観測波について考える.

正面からの波が点 P を反射して焦点 O へ到達したとき, 点 P から放物線の準線に向かって垂直に線を引いたときの交点を H とすると, 放物線の定義から

$$OP = HP \quad (1)$$

となるので, 観測点までの直接波と反射波の距離差は $2d$ となり, 直接波に対する反射波の時間遅れ τ は音速 a を用いて

$$\tau = \frac{2d}{a} \quad (2)$$

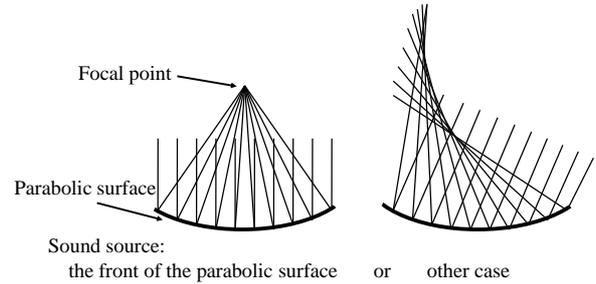


Fig. 1 放物面に到来した波の反射波.

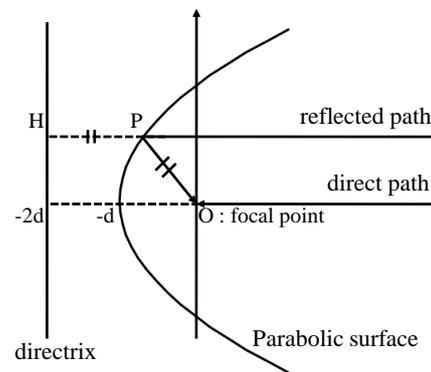


Fig. 2 パラボラ反射板の焦点における観測波.

と表せる.

よって焦点 O での観測波 $x(t)$ のパワースペクトルは直接波 $s(t)$, 反射波 $s(t - \tau)$ を用いて

$$x(t) = s(t) + A \cdot s(t - \tau) \quad (3)$$

$$X(\omega) = S(\omega) + A \cdot e^{-j2\pi\omega\tau} \cdot S(\omega) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} |X(\omega)|^2 &= |S(\omega)|^2 \cdot |1 + Ae^{-j2\pi\omega\tau}|^2 \\ &= |S(\omega)|^2 \cdot H(\omega) \end{aligned} \quad (5)$$

と表せる. ここで A は反射板の反射率と反射される波の量から算出される定数である.

つまり反射板の正面から音波が入射した場合, 焦点では直接波のパワーがフィルター $H(\omega)$ によって増幅されて観測される.

2.3 アクティブマイクロフォン

本手法では Fig. 3 のようにパラボラ反射板の焦点位置にマイクロフォンを装着し, マイクロフォンが回転することにより音源の正面方向を探索する. マイク

* Estimation of sound source direction using active microphone with parabolic reflection board. by Ryoichi Takashima, Tetsuya Takiguchi and Yasuo Arika (Kobe Univ.)

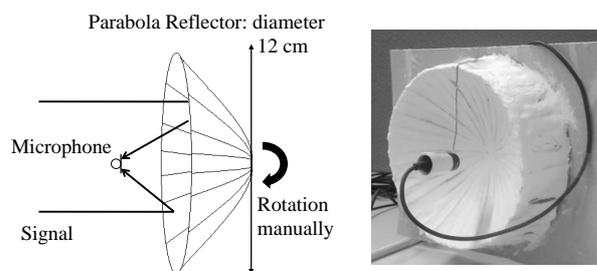


Fig. 3 パラボラ反射板を装着したアクティブマイクロフォン.

ロフォンが回転しながら各角度 i における観測信号のパワーを求め、パワーの値が最大となったときの角度を正面方向 \hat{i} として推定する.

$$\hat{i} = \underset{i}{\operatorname{argmax}} \operatorname{Power}(i). \quad (6)$$

3 評価実験

実験は実環境下で行った. 90°方向でホワイトノイズを再生し、マイクロフォンの向きを 0°から 180°の範囲で 10°ずつ手動で変えながら各角度で 5 秒ほど収録する. 実験条件として、サンプリング周波数は 48 kHz、フレーム幅は 32 msec、フレームシフトは 16 msec で Hamming 窓を用いている.

まず予備実験として、指向性マイクロフォンに反射板を装着させた場合と、反射板なしの場合でそれぞれパワーを測定し、反射板によるパワーの増幅の度を検証した. 本手法では直接波よりも反射波の方が重要であるので、マイクロフォンの指向性は反射板の方向に向けた. 反射板がない場合も同じく指向性は音源方向と逆向きである. 実験結果を Fig. 4 に示す.

反射板がない場合、マイクロフォンの指向性は音源と逆向きであるので平均パワーは若干下がる. 一方反射板がある場合は 90°方向で 11 dB ほど上がっていることが分かる.

次に音源距離を 30 cm, 60 cm, 90 cm と変え、パラボラマイクロフォンを用いて平均パワーを求めた. なお、低周波の信号は反射されにくく反射板の影響が少ないため、11 kHz ~ 21 kHz の範囲で平均のパワーを求めている. 実験結果を Fig. 5 に示す.

距離が遠くなるにつれて 90°方向と他の方向とのパワーの差は小さくなっているが、これは反射板の面積を増やしたり、焦点距離を伸ばしたりすることである程度抑えることができると考えられる.

4 おわりに

パラボラ型の反射板を装着した単一マイクロフォンによる音源方向推定法について述べた. また評価実験

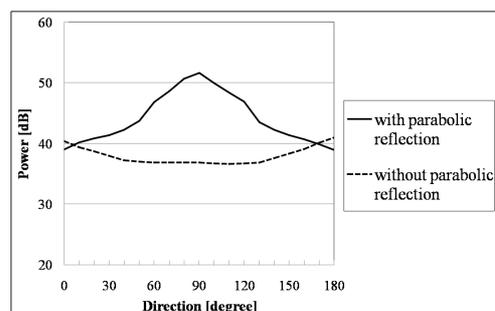


Fig. 4 反射板の有無に対するパワーの変化量.

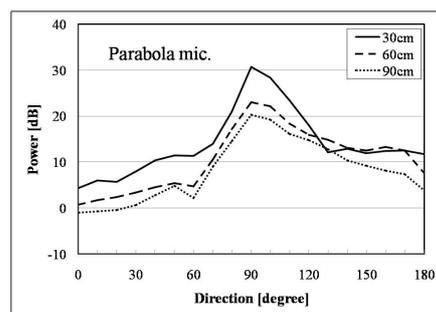


Fig. 5 距離の違いによるパワーの変化量.

より、距離が変化しても方向推定ができることを示した. 今回用いた反射板は焦点距離も短く小型であったので、反射板の設計を調整することでマイクの指向性をさらに鋭くできると予想される.

また今回の実験はホワイトノイズしか使っておらず不十分であったので、音声を用いた実験も行う必要がある. 実際の音声はホワイトノイズと違いパワーやフォルマントが変化するので、反射板による伝達特性を調べるという手法についても検討中である.

参考文献

- [1] C.H.Knapp and G.C.Carter, "The Generalized Correlation Method for Estimation of Time Delay," IEEE Trans. on Acoust., Speech and Signal Proc., ASSP-24, 4, pp.320-327, 1976.
- [2] T. Takiguchi, Y. Sumida, and Y. Ariki, "Estimation of Room Acoustic Transfer Function Using Speech Model," IEEE Statistical Signal Processing Workshop, pp. 336-340, 2007.
- [3] 市川 治, 滝口 哲也, 西村 雅史 "プロファイル・フィッティング法による音源位置推定," 日本音響学会春季研究発表会, Vol.I2-8-18, pp.687-688, 2003.
- [4] 小野 順貴, 財津 義貴, 野見山 隆, 安藤 繁, "聴覚系を模倣した単耳音源定位システム" 電子情報通信学会技術研究報告. EA2000-42, 応用音響, 100(255), pp.25-32, 2000.