…平成22年度助成研究より…

MEMS圧力センサと音響管を用いた小型音源方向定位デバイス

Harvard University
School of Engineering and Applied Sciences
研究員　博士（情報理工学）　岩瀬　英治

東京大学大学院
情報理工学系研究科
修士課程　稲葉　亮

東京大学大学院
情報理工学系研究科
修士課程　グェン ミン ジュン

東京大学大学院
情報理工学系研究科
講師　博士（情報理工学）　髙畑　智之

1．はじめに

人間や動物は、どちらの方向から音が聞こえるかをどのように判断しているでしょうか？人間などの大型の動物では両耳の間にある程度の距離があります。そのため、音源の方向によって両耳間で音波が到達する時間の差や感じる音波の強度差が生じ、音源方向を定位することができると言われています。従来の音源方向定位手法でも、一定の距離を設けて２つのマイクロフォンを配置し、音波の到達時間差、位相差、強度差などを用いることで定位する手法が一般的です。しかし、このような手法を用いる場合には通常２つのマイクロフォンと一定の距離が必要であり、小型化が困難な手法と言えます。

一方、昆虫などの小型の動物は体の左右に聴覚器官を設けても、距離が近いので到達時

間差や強度差による音源定位は難しくなります。例えば、キリギリスの聴覚器官は前脚にありますが、鼓膜と気管という１つの単純な構造のみで音源方向に対する指向性を実現しています。またその指向性は音の周波数によって大きく変化することが知られています。そのため、この指向性の周波数による変化を利用することにより、小型でかつ単一のマイクロフォンのみで音源方向定位ができるのではないかと考えました。

音源定位には、音源の強度・周波数が未知であるかどうかなど様々な場合がありますが、今回は周波数が既知である音源の方向を定位することを目的としています。具体的な活用シーンの一例としては、音源を人が持ちロボットが音源方向定位デバイスを搭載することで、ロボットが人に追従して動くというようなことが考えられます（図１）。このような用途において、音源方向定位デバイスは小型である必要があると言えるでしょう。

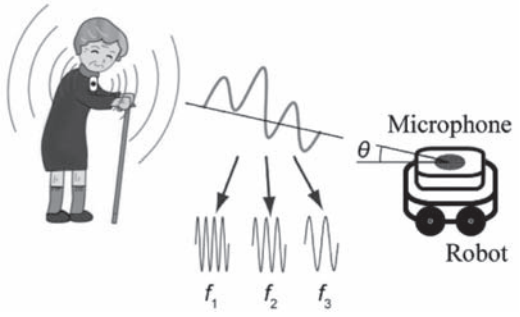

図１　音源方向定位デバイスの活用シーン例

２．構造と原理

我々が提案したデバイスの構造は図２のように、１つのMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）圧力センサと音響管からなります。MEMS圧力センサは、図２のようなカンチレバー（片持ち梁）型をした圧力差を検出するセンサです。その検出原理は、カンチレバー部分

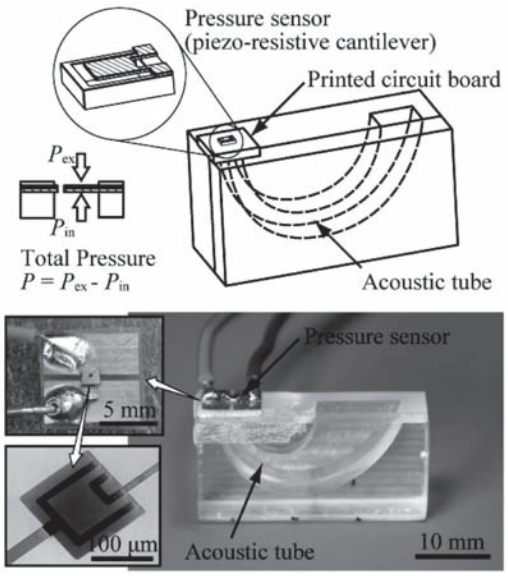

図２　MEMS圧力センサと音響管を備えた音源方向定位デバイス

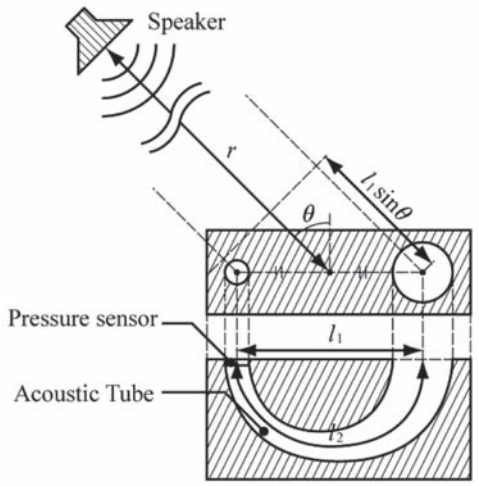

図３　各パラメータの定義

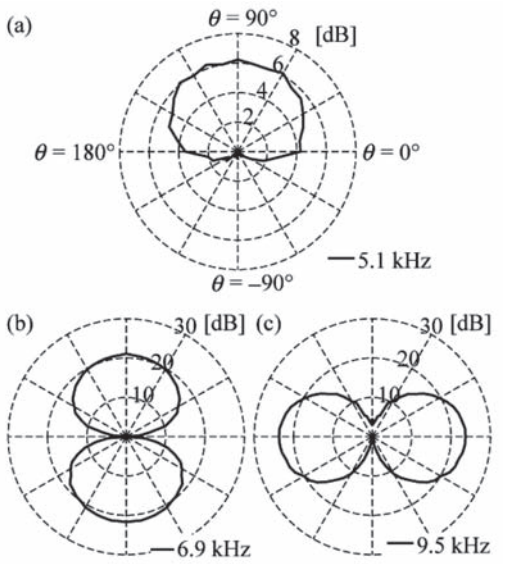

図４　音源周波数の違いによる様々な指向性パターン：(a)単一指向性パターン(5.1 kHz)、(b)前後の双指向性パターン(6.9 kHz)、(c)左右の双指向性パターン(9.5 kHz)

の両面にかかる圧力差によってカンチレバーが変形し、その変形を抵抗変化として計測するというものです[1)]。図３に示すように、MEMS圧力センサは音響管の一端に配置されています。そのためMEMS圧力センサは、音源から直接到達する音波と音響管を通って到達する音波の音圧差を検出することになります。この２つの経路には音波の到達距離に差があるため、２つの経路を通った音波の干渉が計測されます。この距離の差は音源方向θに依存するため、計測される信号はθによって強度が異なる指向性パターンを持ち、その指向性パターンは音源周波数fによって変わります。言い換えると、デバイスの形（図３のl_1, l_2）が決まると、図４のような単一指向性、前後の双指向性、左右の双指向性などの指向性パターンを持つ周波数を理論的に求めることができます。

さらに２種類の周波数f_1、f_2で得られた音圧の比をとることで、音源距離rの影響を排除し、音源距離に依存せず音源方向を定位することが可能となります。２種類の周波数を用いた場合には、音源方向を一意に定められない場合がありますが、その場合にはより多くの種類の周波数を用いることで音源方向を一意に定めることができます[2)]。多数の周波数を音源方向定位に用いることは、誤定位を防ぐことにも有用です。

３．実験

図４が図２に示した音源方向定位デバイスで得られた指向性パターンです。一つのデバイスで、周波数に応じて指向性パターンが変わることが分かると思います。この指向性パターンのグラフは、ある一定距離に周波数fの音源を配置し、音源方向θを変えたときのMEMS圧力センサが検出する音圧の振幅をプロットしたものです。ここでは各周波数の計測において一番小さな振幅の値を０dBとする表示としています。図４から分かるように、このデバイスは5.1 kHzの音源に対しては前方（θ ＝90°）のみで大きな振幅となる単一指向性パターンを、6.9 kHzの音源に対しては前方（θ ＝90°）と後方（θ ＝－90°）で大きな振幅となる前後の

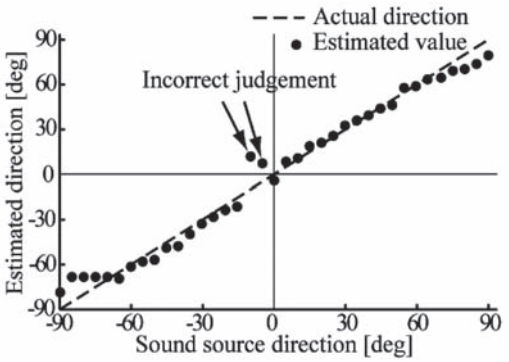

図５　音源方向の推定

双指向性パターンを、9.5kHzの音源に対しては左右（θ ＝０°、180°）で大きな振幅となる左右の双指向性パターンを持っています。

図５が、図４の３つの周波数を用いてθ ＝－90°～90°の範囲で音源方向の推定を行った結果です。平均誤差5.5°で音源方向の推定ができています。０°付近に大きな誤りが見られますが、これは用いた指向性パターンに起因するもので、音源方向θを－θと誤推定したものです。これは、用いる周波数を変えることや、３種類ではなくより多くの種類の周波数を用いることによって解決可能です。

４．おわりに

本稿では、音源強度が分からないとしても音源方向を定位できる方法について述べましたが、音源の強度が分かっている場合などには単一周波数でも音源距離と方向を定位することが可能です。また、音響管の形を変えたり、音源定位デバイスを複数用いたりすることで、３次元の音源方向定位にも拡張可能です。提案したデバイスは、単純な構造で小型化が容易なデバイスであるため、さまざまな場所に埋め込むなど応用範囲は広いと考えています。

最後になりましたが、研究助成のご支援を頂きましたサウンド技術振興財団に心より感謝申し上げます。

参考文献

１）Hidetoshi Takahashi, Yuichiro Aoyama, Kazuharu Ohsawa, Hiroto Tanaka, Eiji Iwase, Kiyoshi Matsumoto, Isao Shimoyama, “Differential pressure measurement using a free-flying insect-like ornithopter with a MEMS sensor,” *Bioinspiration and Biomimetics*, vol. 5, no. 3, 036005, 2010.

２）稲葉亮, グェンミンジュン, 高橋英俊, 岩瀬英治, 松本潔, 下山勲, “単一センサによる音源定位のためのキリギリス規範音響センサ,” *第27回日本ロボット学会学術講演会予稿集*, 2I1-03, 2009.