

信号処理による受聴者位置情報の検出

1125086 金井 宏一郎 【福本研究室】

Detection of the Listener's Position using Signal Processing

1125086 Koichiro Kanai 【Fukumoto Lab.】

1 はじめに

近年、音響の分野では原音場の再現による音場再生が注目されており、信号補正システムを用いた音場再生システムに関する研究が行われている [1]。音場再生は、出力した音を受聴点で正確に再現することを目的としており、出力した音が受聴点に届くまでに受ける影響を補正フィルタを用いて除去する。この信号補正システムでは、対象として指定した点にのみ補正を行うように考慮されているが、受聴者が移動することにより正しく音場再生が行われないという問題がある。その解決策として、受聴者の移動に合わせて補正フィルタの再設定を行うことにより、常に受聴者点で正しく音場再生を行わせるという方法が考えられる。正確な位置情報を取得可能であれば、予め設計しておいたその位置に最適な補正フィルタを適用することができ、音場再現性能のさらなる向上が見込まれる。

過去の研究では、利用する音源信号を限定した状態において、受聴者の移動検出が可能であることが確認されている [2, 3]。そこで、本研究では利用する音源に限定されない受聴者の位置検出方法を提案する。

2 受聴者位置の検出

一般的な信号補正システムでは、受聴点での観測音をフィードバックし、音源から受聴者に伝わる間に受ける影響を打ち消す補正フィルタを構築し、補正フィルタを通した信号をスピーカから再生することにより、受聴点で正しい音場再生を行うことを可能とする。この補正フィルタの構成には適応フィルタを用いており、再生空間の影響を補正する補正フィルタの構成を自動的に行う。このシステムでは、受聴者が移動した場合、補正フィルタの最適化が完了するまでの間、原音再生の性能が劣化する。なぜなら、受聴者が移動するまでの補正フィルタは、移動前の受聴者位置で原音再生を行うように最適化されているためである。

信号補正システムの問題点の解決策として、受聴者の位置情報を得ることでそれぞれの位置に最適なフィルタを適用する方法が考えられる。本研究では、音源から受聴者までの音の伝達時間を検出し、その情報を受聴者位置検出に用いる。よって、相互相関と適応フィルタを用いた受聴者位置検出手法について説明する。

2.1 相互相関

音が音源から受聴者まで到達するまでには、距離に応じて時間がかかる。この時間は、音源信号 f と観測信号 g の相互相関をとった際の相関値のピークから求めることができる。

$$f = \{f_0, f_1, \dots, f_{N-1}\}, g = \{g_0, g_1, \dots, g_{N-1}\} \quad (1)$$

とすると、その相互相関係数 $R_n^{(fg)}$ は、

$$R_n^{(fg)} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} f_i g_{i+n}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} f_i^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} g_i^2}} \quad (2)$$

と定義される。 n を変化させることで一方の信号をずらした際の相関値を順次求めていく。最大の相関値が算出された際の n が、音源から観測点までの到達時間であると推定できる。

2.2 適応フィルタ

空間伝達特性は、適応フィルタにより算出することが可能である。よって、音源から受聴者までの空間伝達特性を推定することにより、音の伝達時間を得ることができる。

本研究では、受聴者の位置情報を取得することが目的であるため、音源から空間に放たれた音が最初に観測されるまでの時間を知る必要がある。フィルタ係数が最大値をとる地点が、音源から受聴者へ最初に到達するまでの時間であると推定することができる。

2.3 位置検出

音源であるスピーカと受聴者の左右それぞれのマイクロフォンを繋いでできる三角形を考える。頂点 K は音源、 M は左マイクロフォン、 L は右マイクロフォンとする。また、辺 k は、受聴者の左右マイクロフォンの間隔を表すものとする。 N は、2つのマイクロフォンを繋いだ直線の延長線と、音源からの垂線を下ろした際に交差した点である。この三角形 KML を考えると、3辺の長さがわかっていることから L の角度を求めることが可能である。この辺 LN は、中心から受聴者の右マイクロフォンまでの距離を表している。しかし、この距離は受聴者の頭の中心を表しているわけではない。 LN の長さから $k/2$ を差し引いた距離、また現段階ではサ

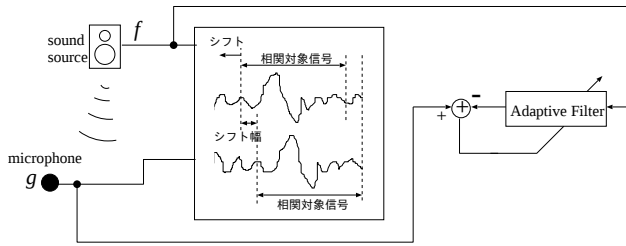


図 1 受聴者位置検出の概要図

ンプル表示であり距離が求まっているわけではないため、サンプリング周波数を $f(\text{Hz})$ で音速を $a(\text{m/s})$ とした場合

$$\left(\frac{a}{f} \left(m \cos L - \frac{1}{2} k \right), \frac{a}{f} h \right) \quad (3)$$

により単位を距離 (m) に変換することができ、受聴者地点の座標を得ることができる。

受聴者が移動中および音源信号が小さい場合においては、音源信号以外の音も受音するため誤った位置検出が行われる可能性がある。この解決策として、相関係数の値によって適応フィルタの更新を行うかどうかを判別するようにする。これにより、誤った学習を防ぐことができる。

3 実験

実験により、提案した受聴者位置検出の性能を評価する。

3.1 実験条件

実験条件について表 1,2 に示す。音源には、サンプリング周波数 44.1kHz の音声信号を用いた。受聴者は右後方から左前方へ斜めに移動させ、その動きを検出する。

移動中の誤検出を考慮した処理として、4,410 サンプル (0.1 秒) の間に 129 サンプル (約 1.0m) 以上の移動があった場合の位置検出結果は信頼しないようにする。また、相関値が定めた値より小さくなった場合は適応フィルタの更新を行わないようにし、移動中の処理を行わない場合との性能を比較する。

表 1 相互相関のパラメータ

相関対象サンプル数	8,820
オーバーラップ	4,410
シフト幅	500

表 2 適応フィルタのパラメータ

フィルタ長	500
ステップゲイン	0.5

3.2 実験結果

シミュレーション結果を図 2,3 に示す。受聴者の移動中を考慮した処理を導入した場合との位置検出結果を

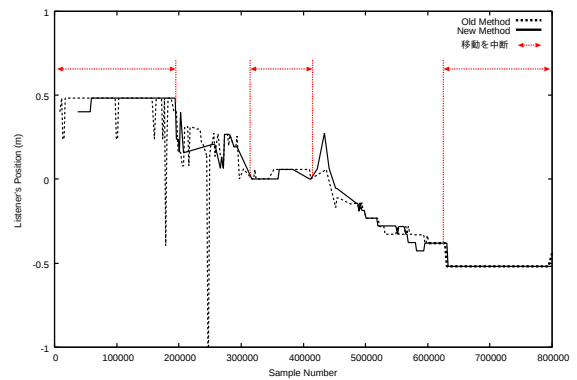


図 2 位置情報検出結果 (x 座標)

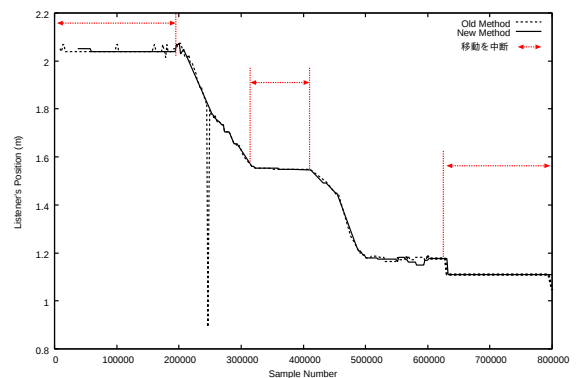


図 3 位置情報検出結果 (y 座標)

比較している。ここでは、最も良い結果が得られた際の条件である、フィルタ係数更新を相関値 0.45 以上とした場合の結果を示している。従来手法では起こっていた突発的な位置検出結果の誤りを削減できていることが確認できる。

4 まとめ

本研究では、信号補正システムへの利用を目的とした受聴者位置検出法を提案した。実験により、受聴者位置検出が可能であることを確認し、受聴者が移動中における誤った位置検出についても削減できることを示した。今後の展開としては、ステレオでの音場再生を考慮した複数音源への対応が挙げられる。

参考文献

- [1] 浜崎真二, 福本昌弘, “クロストーク成分における相互相関係数に着目した音場再生システム,” 信学技報, SIP2004-115, Vol.104, No.559, pp.31-36, Jan. 2005.
- [2] 金井宏一郎, 福本昌弘, 佐伯幸郎, “観測音間の相互相関を用いた受聴者移動の検出,” IEICE SIP Symposium 2008, B6-5, Nov. 2008.
- [3] 金井宏一郎, 佐伯幸郎, 福本昌弘, “観測音を用いた受聴者移動の検出,” IEICE SIP Symposium 2009, A4-1, Nov. 2009.