

長時間の連続運転実験結果に基づく改良により、ピーク利得6dB程度ならばマイクの位置が変化してもハウリング抑圧が可能となりました。（マイク固定ではピーク利得20dBでハウリング抑圧可能）拡散性の良くない狭いダイニング・キッチンで実験をしていますが、ピーク利得6dBで手に持ったマイクを大きく振り回してもハウリングは発生しません。

マイクを持った話者が移動すると、人体からの反射音の変化による伝達特性変動の影響のためにヒューンというかすかな異音が発生しますが、学校の教室程度の室容積の部屋であれば異音は生じないはずで、過去にスタジオや教室でのデモで、ダイニング・キッチンでの実験時よりもハウリング抑圧性能が低下したことは一度もありません。残響時間が長いほど有利な動作条件となる～というのは常識に反するかのような適応ハウリング・キャンセラの驚くべき性質の一つです。

マイク移動時の適応ハウリング・キャンセラの収束特性はマイク固定時とは異なるので、実験結果を以下にまとめました。

1. ピーク利得20dB、マイク固定での適応フィルタの収束特性

ピーク利得20dBでの適応フィルタの収束特性を図1に示します。マイクは固定、ダイニング・キッチンでの実験結果です。原理的には図1は音響系の特性をあらわしていることになりますが、適応ハウリング・キャンセラのプログラム中の各種付加処理による位相回転増大等のため、厳密には音響系の特性との微妙な差異があります。

BPFを用いて帯域制限をしています、通過帯域外の利得は素直に単調減少していて良好な収束特性が得られています。（バイアス蓄積の問題はしばしばDC端、fs/2端の異常なゲイン上昇としてあらわれます）

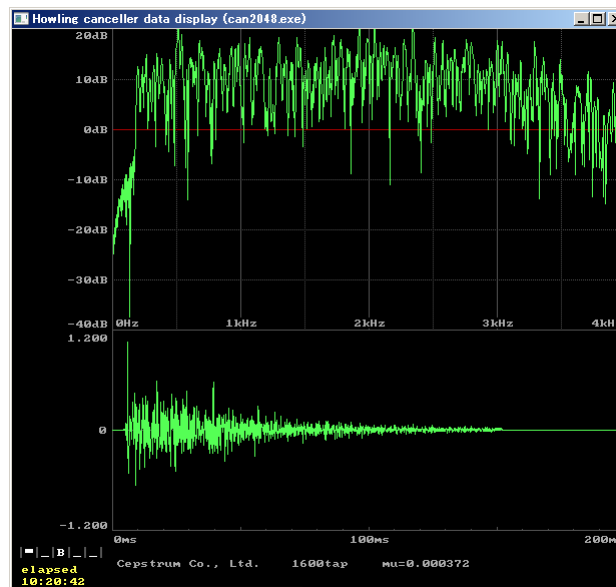


図1 マイク位置固定、ピーク利得20dBでの適応フィルタの収束特性
下段が適応フィルタ係数、上段が適応フィルタ係数をFFTした周波数特性

2. ピーク利得6dB、マイク固定での適応フィルタの収束特性

マイク固定、ピーク利得6dBでの適応フィルタの収束特性を図2に示します。
ピーク利得20dBの時と同様に素直な収束特性が得られています。

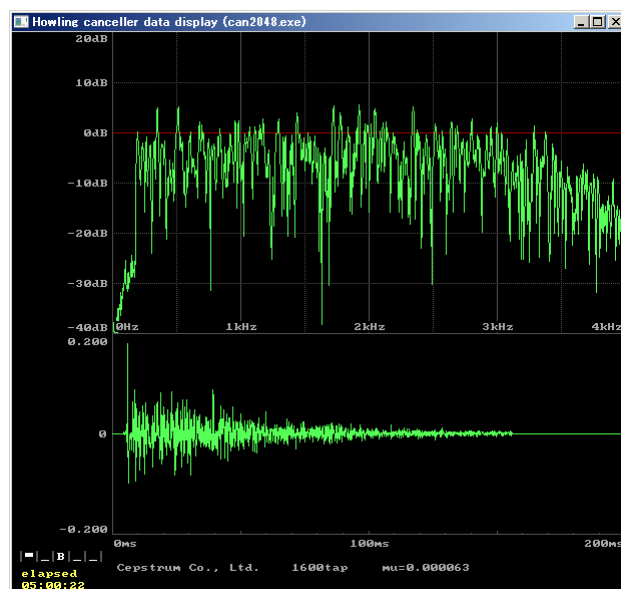


図2 マイク位置固定、ピーク利得6dBでの適応フィルタの収束特性
下段が適応フィルタ係数、上段が適応フィルタ係数をFFTした周波数特性

3. ピーク利得6dB、マイク移動時の適応フィルタの収束特性

ピーク利得6dBでマイクを固定して適応フィルタがいったん収束してから、マイクを移動した時の適応フィルタの収束特性を図3に示します。（手に持ったマイクを前後左右に振り回しています）

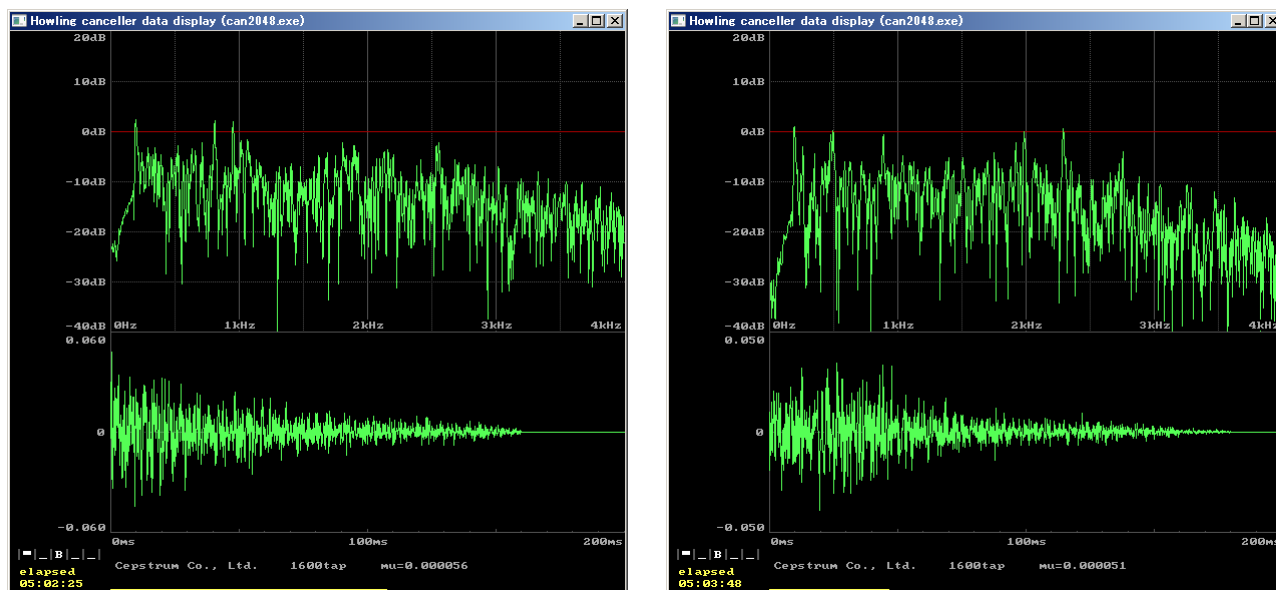


図3 拡声系のピーク利得の初期設定6dB、マイク移動時の適応フィルタの収束特性
下段が適応フィルタ係数、上段が適応フィルタ係数をFFTした周波数特性
適応フィルタ係数は大きく乱れているが、この状態でハウリングは完全に抑圧されている

図3に示した適応フィルタ係数は大きく乱れていますが、それでもハウリングは完全に抑圧されています。音響系の伝達特性の変化に対して、適応フィルタ特性も常に変動しながらトラッキングしている状態です。適応フィルタ係数の乱れにより拡声音には余剰なエコーが付加されているはずですが、利得設定が6dbと小さいこともあり、拡声された暗騒音を聞いている限りではエコーの増大を感じられません。（音声入力時は立ち止まって使用することを想定しています）

4. 音響系のインパルス・レスポンス／伝達特性と適応フィルタの特性との関係

適応ハウリング・キャンセラの基本構成を図4に、フィードバック・ループを切り開いたオープン・ループ・モデルを図5に示します。図5の $h[n]$ は音響系のインパルス・レスポンス、 $w[n]$ は適応フィルタ係数です。

理想的には $h[n]=w[n]$ となればハウリングは完全に抑圧され、エコーが付加されることもありません。しかし拡声システムの安定条件は $h[n]=w[n]$ ではありません。 $h[n]-w[n]$ がフィードバック・システムの安定条件を満たしていればハウリングは発生しません。マイク移動時に、音響系のインパルス・レスポンス $h[n]$ の変動を適応フィルタ ($w[n]$) が追いかけてながら、常に $h[n] \neq w[n]$ であってもハウリングは抑圧されます。

適応ハウリング・キャンセラの適応フィルタのタップ長の最適値は残響時間のほぼ半分です。残響時間は音響エネルギーが60dB減衰するまでの時間と定義されていますが、現実的条件で実測可能なのは-20dB~-30dB程度までの減衰特性で、外挿によって-60dBの残響時間を求めています。残響時間の測定精度から、残響時間の半分の適応フィルタ長の設定は妥当と考えられます。しかしながら、適応フィルタのタップ長が残響時間の半分以下では、ハウリング抑圧が出来なくなるわけではありません。残響時間の1/4程度の適応フィルタ長でも過剰なエコーがつくもののハウリング抑圧が可能です。

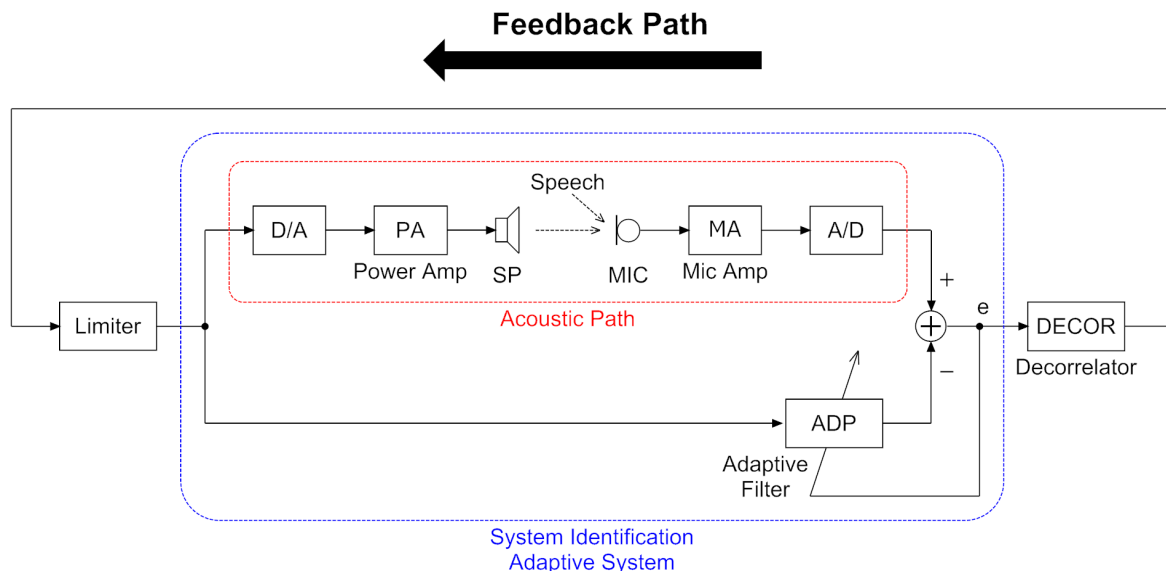


図4 適応ハウリング・キャンセラの基本構成
 拡声対象の音声は加法性雑音としてシステム同定の構成の適応システム内部に注入される
 DECOR (Decorrelator) には遅延、周波数シフト、各種変調回路等を用いる

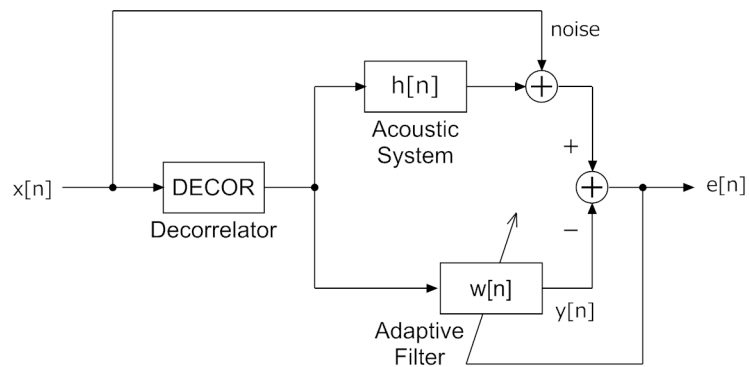


図5 適応ハウリング・キャンセラのオープンループ・モデル

$h[n] = w[n]$ となるように適応フィルタが収束するのが理想的だが、

$h[n] \neq w[n]$ であってもハウリングを抑圧できる。

エコー・キャンセラとは目的が異なるので、ある程度のエコー付加は許容できる。

理論的には音響系 (Acoustic System, $h[n]$) の利得が大きいほど相対的に noise の信号レベルが小さくなり、ハウリング抑圧性能が向上するという常識に反するかの様な性質を有している