

(有) ケプストラム

当社の適応ハウリング・キャンセラでは、バイアス蓄積対策の一つとして適応フィルタの入力にdither信号を付加しています。しかし、適切な特性のditherによりバイアス蓄積を防止出来たものの、適応フィルタの収束特性に与える副作用が生じていました。その後の改良の結果、収束特性の悪化を無視できると考えられる最小限のdither信号付加でバイアス蓄積を防止出来たので、その要点をご紹介します。

(特許出願等の都合のため詳細は非公表とさせていただきます)

最適化した最小のdither信号付加処理の概要を次式に示します。 $x[n]$ にditherを付加した結果が $y[n]$ となります。処理対象の音声はBPFで帯域制限していますが、バイアス蓄積によって発生する帯域外 (DC端・ $f_s/2$ 端) の利得が際限なく上昇するという異常を防止出来ます。

$$y[n] = x[n] + \text{abs}(x[n]) * \text{FLT_EPSILON} * \text{dither3val}()$$

$\text{dither3val}()$ は値-1/0/1の3値のdither信号を生成する関数です。 $\text{abs}()$ は絶対値関数です。dither信号の振幅は入力信号 $x[n]$ の FLT_EPSILON 倍になります。(通常は $\text{FLT_EPSILON} = 1.192092896\text{E}-7$) FLT_EPSILON は単精度浮動小数点演算で $1.0 \neq 1.0 + \text{FLT_EPSILON}$ となる最小の値なので、これ以上dither信号レベルを小さくすることは出来ません。適応フィルタの収束特性に与える悪影響はほぼ無視出来ると考えられます。

振幅 FLT_EPSILON のdither付加でバイアス蓄積特性が改善されるということは、ハウリング・キャンセラの適応フィルタには今まで知られていなかった数値計算上・有限語長演算上の問題点が存在していることを示しています。

当社の適応ハウリング・キャンセラの開発の初期には、適応フィルタの長時間のバイアス蓄積特性のあまりの不可解さから、使用しているプロセッサの浮動小数点演算器の丸めモードの初期設定の誤りを疑ったことがあるほどです。このことから理論的な適応アルゴリズムの改良・改善では対処できない、数値計算上の何らかの問題があることは確実です。(プロセッサの丸めモードは通常の『最近接丸め』となっていることを確認しました)

なお、当社の適応ハウリング・キャンセラのdither付加の効果は、位相特性の最適化(位相補正フィルタ追加)、decorrelatorの変調処理の最適化、各種時変付加処理の歪低減対策等との相乗効果により得られたものです。まだシステム全体の最適化が進んでいなかった開発初期に FLT_EPSILON の数倍程度のレベルのdither付加をいろいろ試したことがあるのですが、その時にはバイアス蓄積特性に関して一貫した実験結果が得られませんでした。既存の他の文献の適応ハウリング・キャンセラの手法に当社のdither信号付加処理を追加しても、それだけでバイアス蓄積を防止することは出来ないと考えられます。

最小値 FLT_EPSILON のdither付加を付加した適応ハウリング・キャンセラの適応フィルタの収束特性を次ページに示します。ピーク利得の設定値20dBでおこなった実験の結果です。最適化前のdither信号レベルが大きかった状態と比較すると、音声帯域外の低域(200Hz以下)の利得が大きくなっていますが、それでも0dB以下を安定して維持しています。ゆるやかな揺らぎはあるものの音響系の伝達特性や暗騒音特性の変動に対しても安定です。

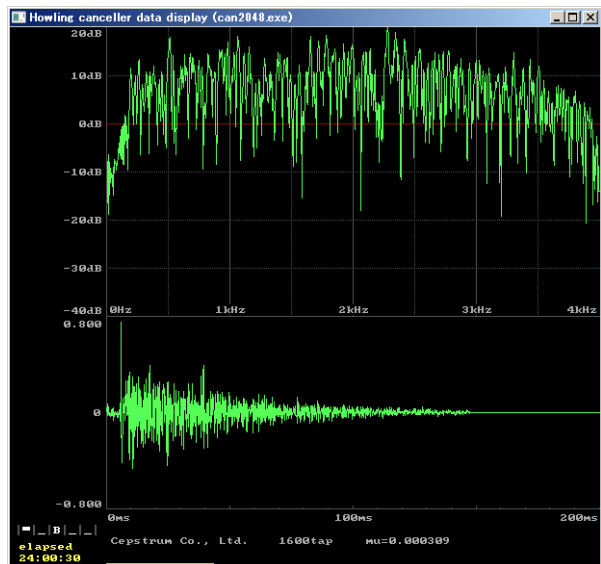
適応フィルタ係数(各グラフの下段)を見ると、直接音到達前の頭の部分が乱れていますが(係数の値が0となるべき部分が、そうっていない)、この状態でハウリング抑圧性能はdither最適化前より向上しています。原理的には拡声音に付加されるエコーが増えているはずですが、聴感上はエコー・レベルに変化は感じられません。

バイアス蓄積が生じておらず、バイアス蓄積によって生じる帯域両端(DC端、 $f_s/2$ 端)の異常な利得上昇が無いことを確認するためには、グラフに示したように最低でも24時間以上の連続運転実験が必要です。

起動後24時間経過

上段：適応フィルタ係数をFFTした周波数特性

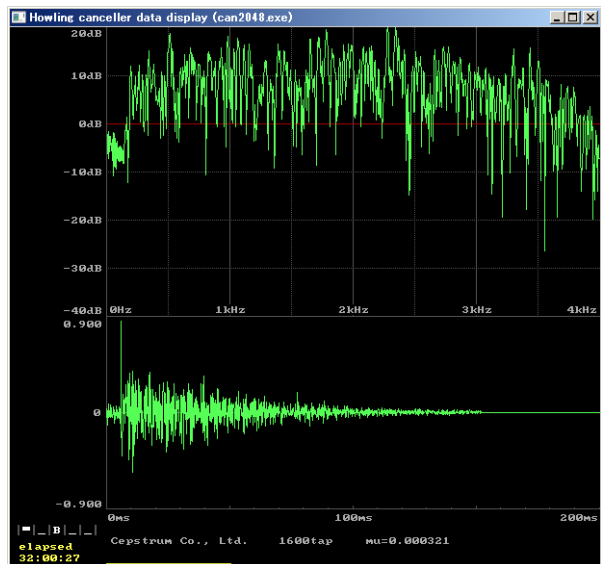
下段：適応フィルタ係数



起動後32時間経過

上段：適応フィルタ係数をFFTした周波数特性

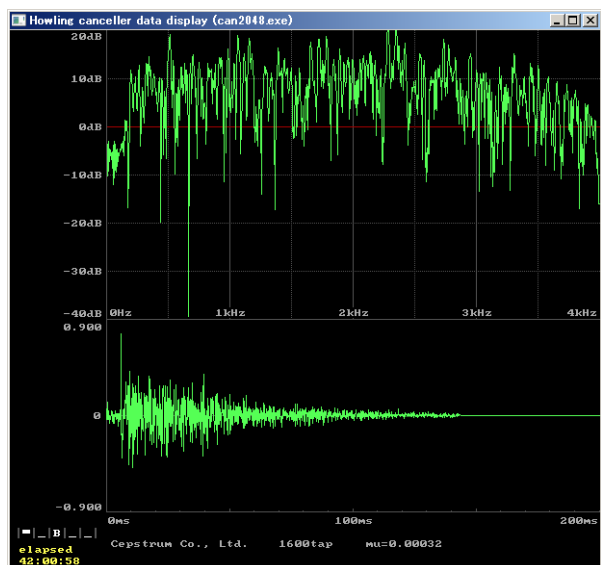
下段：適応フィルタ係数



起動後42時間経過

上段：適応フィルタ係数をFFTした周波数特性

下段：適応フィルタ係数

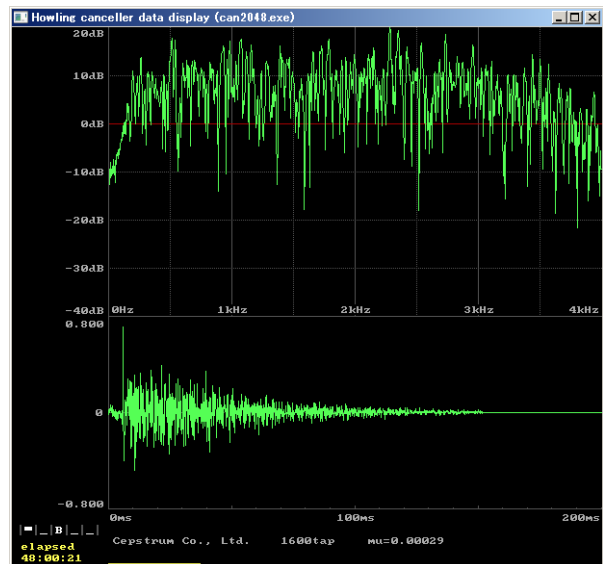


適応フィルタの収束特性

起動後48時間経過

上段：適応フィルタ係数をFFTした周波数特性

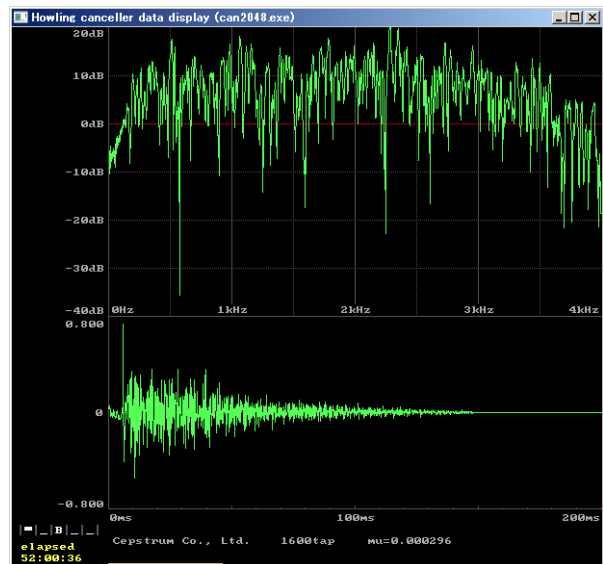
下段：適応フィルタ係数



起動後52時間経過

上段：適応フィルタ係数をFFTした周波数特性

下段：適応フィルタ係数



適応フィルタの収束特性