

■ なぜ適応ハウリング・キャンセラの論文のブロック・ダイアグラムの描き方はヘタなのか？

(有) ケプストラム

適応ハウリング・キャンセラの論文中のブロック・ダイアグラム、図面には少し分かりにくい、やや奇異に感じられるものも多く見受けられます。その一つに、図1のような適応ハウリング・キャンセラの基本構成を示したブロックダイアグラムがあります。誰が見ても不自然、描き方がヘタとしか言いようのない図です。

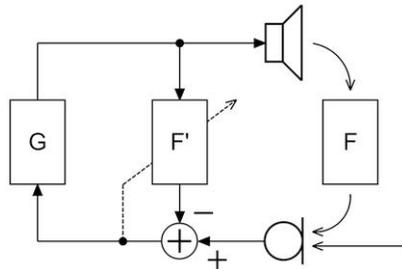


図1 論文によく見られる適応ハウリング・キャンセラのブロック・ダイアグラム

信号処理で使われるブロック・ダイアグラム、シグナルフロー・グラフを描くときの基本原則は左から右に信号の流れを示すことです。図面の左端に信号源 (source)、右端に終端 (sink) を描くのが常識です。(図2)

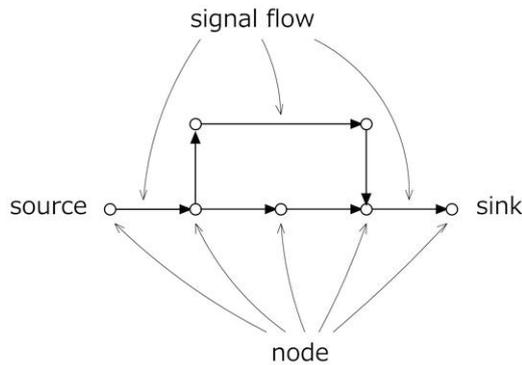


図2 シグナルフロー・グラフの描き方

左から右に描くのは回路図でも同じです。(図3) ディスクリット素子を使ったアンプや高周波回路の回路図では段間にデカップリング回路が入る電源ラインの流れを右から左に描く場合がありますが、信号の流れが逆になったり上下方向になることはありません。

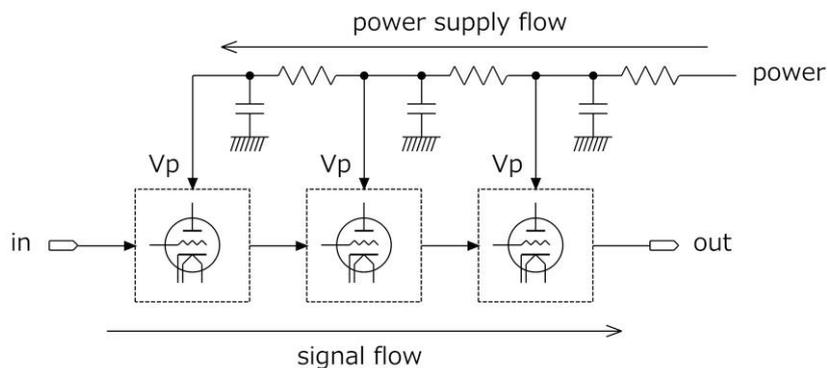


図3 回路図の描き方

ディスクリット素子を用いたアンプ回路や高周波回路ではデカップリング回路が入るために電源ラインは右から左に描くことがある

フィードバックがかかっていて信号経路に閉じたループが形成される場合でも、上下方向に連続した信号の流れが生じないように描くのが常識です。（図4）

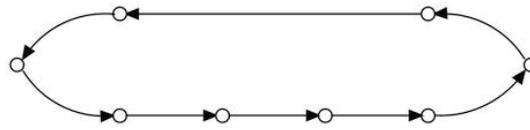


図4 フィードバックのあるシグナルフロー・グラフの常識的な描き方

適応ハウリング・キャンセラの論文に常識に反した描き方のブロック・ダイアグラムが使われているのには、理由があります。実は図1はエコー・キャンセラの説明をする時に使うブロック・ダイアグラムと同じスタイルの描き方なのです。

図5は全二重通信系（電話etc）の音響エコー・キャンセラのブロック・ダイアグラムです。通信系としては左右方向の信号フローですが、音響系と適応フィルタ（ F_1' 、 F_2' ）の部分では信号経路が上下になっています。

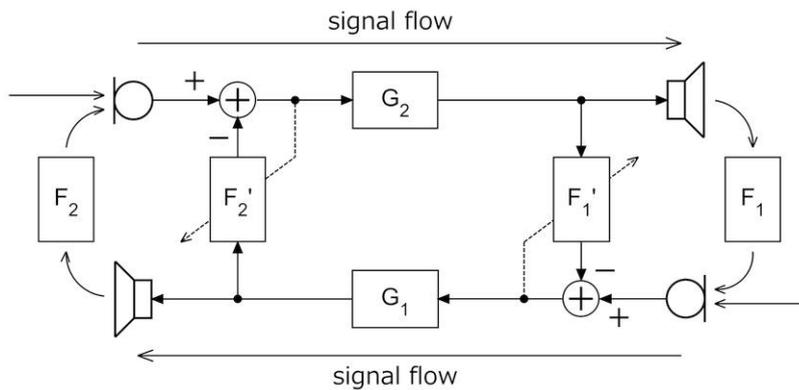


図5 全二重通信系の音響エコー・キャンセラのブロック・ダイアグラム

エコーキャンセラの文献では、エコーキャンセラを半分に分割して開放端をショートさせたものがハウリング・キャンセラに相当すると解説されていることがあります。（図6）結局、適応ハウリング・キャンセラの論文に奇異なブロック・ダイアグラムが載っているのは、エコー・キャンセラの文献やそれを引用した別の論文の図を孫引きしたからにすぎません。

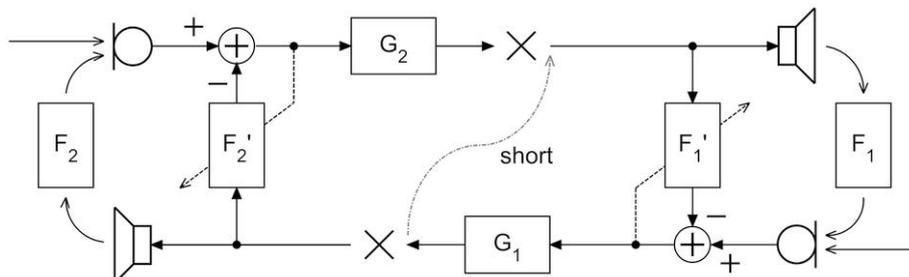


図6 エコー・キャンセラの2分割
右半分の開放端をショートすると図1のハウリング・キャンセラになる

なお、エコー・キャンセラの文献には全体を示さずに図6の右半分のみを抜き出したブロック・ダイアグラムを用いて解説しているものもあります。(図7)

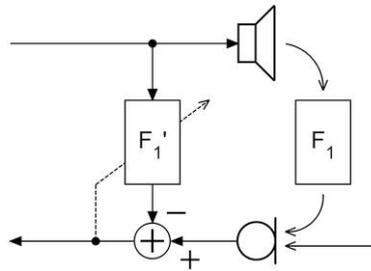


図7 片方の端末のみを描いたエコーキャンセラのブロックダイアグラム

■ 適応ハウリング・キャンセラの正しいブロック・ダイアグラム

適応ハウリング・キャンセラの正しいブロック・ダイアグラムは図8のようになります。システム同定の構成の適応システムにフィードバックがかかった形になります。当たり前の話ですが、フィードバック・パスにゲインはありません。(電子回路のNFB回路の常識を思い出してください)

拡声対象となる音声は音響系の信号経路に加法性雑音として注入されます。Decorrelator には通常は遅延、周波数シフトや各種の変調回路を用います。

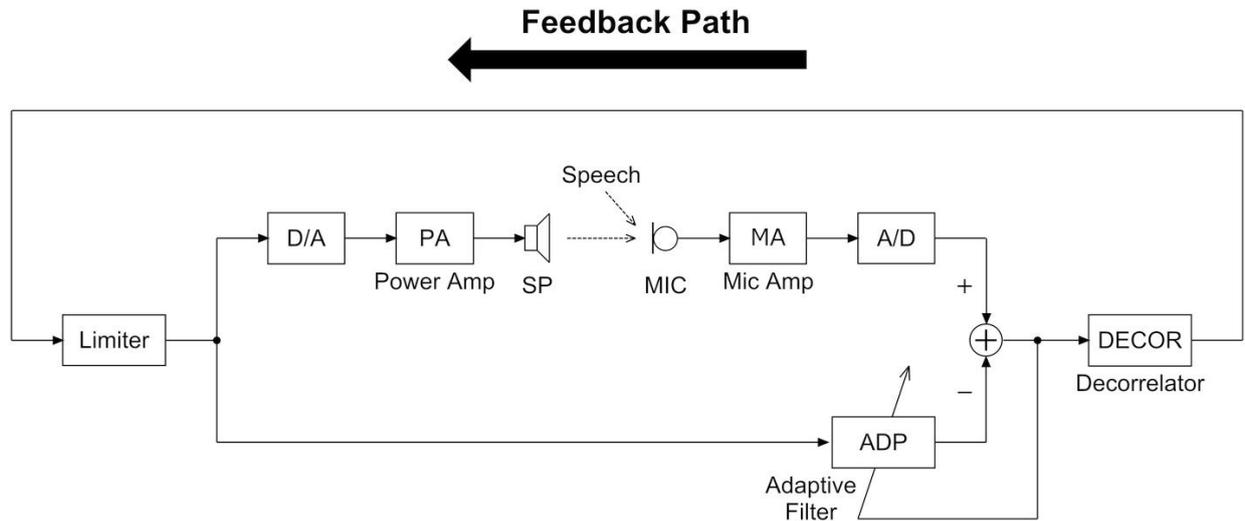


図8 適応ハウリング・キャンセラの正しいブロック・ダイアグラム
 音声は音響系の信号経路の途中に注入される
 音響系はハウリング・キャンセラ付の拡声システムの
 フィードバック・パスでは無い

■ 適応ハウリング・キャンセラのオープンループ・モデル

図8のフィードバック・パスを切り開いた適応ハウリング・キャンセラのオープンループ・モデルは図9のようになります。システム同定の構成の適応システムの入力信号 $x'[n]$ と相関のある信号 $x[n]$ が音響系の信号経路に注入される形になります。

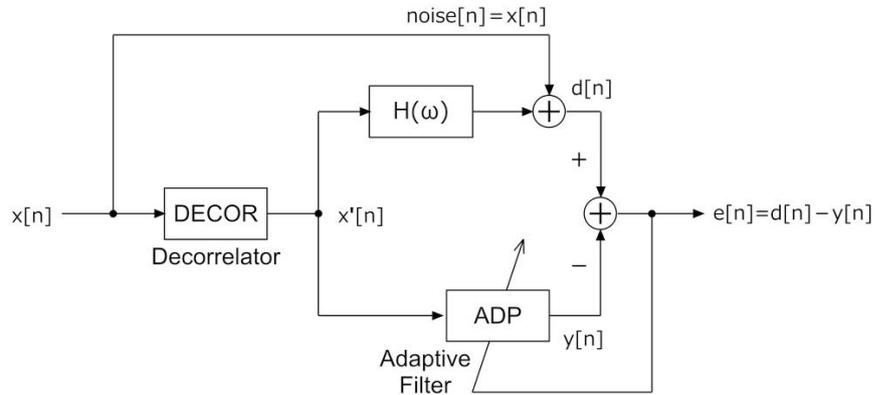


図9 適応ハウリング・キャンセラのオープンループ・モデル
 $H(\omega)$ は音響系の伝達特性

$x[n]$ と $x'[n]$ はいつも同時に入力されるので、ハウリング・キャンセラは常にダブルトーク状態である、だから処理が難しいと記述しているエコーキャンセラの文献がありますが、音声処理の専門家なら別の見方をすはずでず。

Decorrelator には遅延回路（または遅延を有する別の処理）を用いているので、図9を見て音声処理の専門家は「これは線形予測の問題そのものである。 $x'[n]$ から未来の信号 $x[n]$ を予測することが出来ればハウリング・キャンセラの性能向上に役立つ処理が出来るのではないか？」と言うでしょう。

（現実の拡声システムや補聴器では処理遅延の制約が厳しいために、ハウリング・キャンセラに線形予測分析合成処理を組み込むことは困難ですが）

音声の有声音部分で未来の信号を予測する一番簡単な方法は、観測時点の直前の一周期分の波形を繰り返すことです。有声音部分の定常性の仮定から、これでもそれなりの精度の予測になります。処理遅延等の制約が無ければ、ハウリング・キャンセラとより正確な予測のできるピッチ同期の線形予測分析合成処理を組み合わせることは出来るでしょうが、現実の実時間処理システムでハウリング・キャンセラの性能向上の効果を得るのはなかなか難しいと思われます。

■ 回路図の描き方のうまい／ヘタ

電子回路の回路図にはただ一つの決まった描き方があるわけではありませんが、見やすい回路図・動作を理解しやすい回路図とそうでないものの違いはあります。

一例を挙げると、図3に概略ブロック図を示した真空管アンプの実際の回路図は慣習的に図10のような描き方をされることが多いようです。これを回路動作を理解しやすいように書き直すと図11のようになります。

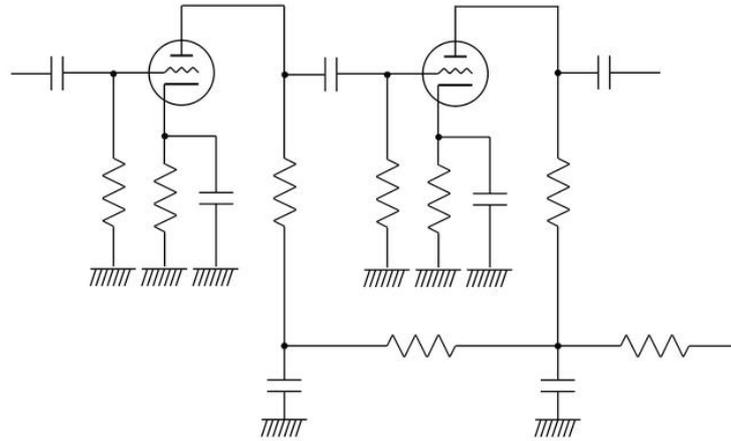


図10 真空管アンプの回路図の慣習的な描き方

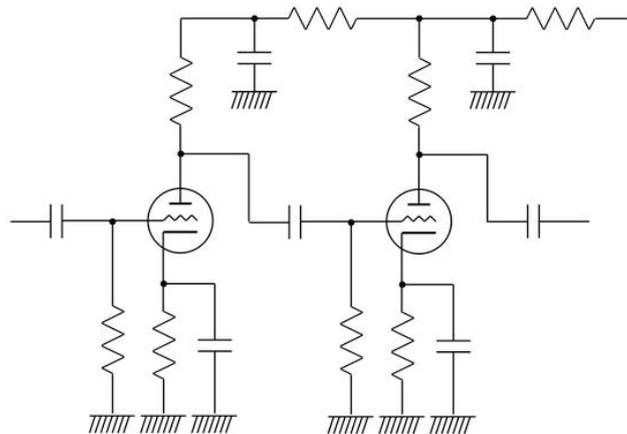


図11 回路動作を理解しやすい真空管アンプの回路図
プレートに負荷抵抗の働きが素直に分かる

回路設計の技量の高い人ほど分かりやすい回路図を書くものです。単に線がつながっていれば良いというような書き方のCADを使った回路図をみかけることもありますが、手書きの回路図など描いたことも無い人が作ったものだとすぐに分かります。

論文のブロック・ダイアグラムも同様で、どれだけ丁寧に図面を描いているかどうかと、論文の中身の質とは比例しているのではないのでしょうか？