

複素べき級数展開に基づく 適応プリディストーションリニアライザ

阪口 啓 荒木 純道 小林 時雄
東京工業大学 ギガテック株式会社

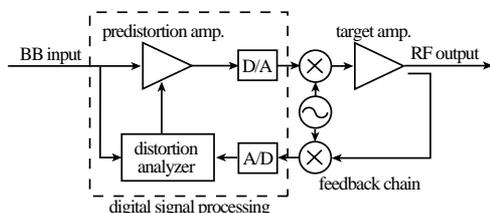
発表内容

- ✓ 研究背景 & 研究目的
- ✓ 提案型リニアライザ
 - 複素べき級数非線形モデル
 - バックオフの制御法
- ✓ 計算機シミュレーション
- ✓ まとめ

デジタルプリディストーション

送信電力増幅器において

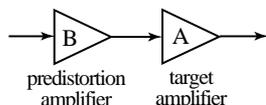
- ✓ 高い電力効率と高い線形性を同時に実現したい
- ✓ デジタル信号処理による適応的な制御を行いたい



研究背景 & 研究目的

- テーブルルックアップ方式における問題点
 - ✓ コールドスタート時の収束特性
 - ✓ ルックアップテーブルの回路規模
 - ➔ 高度な補間回路などが別途必要！
- 複素べき級数展開に基づく方法の導入
 - ✓ 上記問題の解決
 - ✓ 設計および制御法が確立されていない
 - ➔ 隣接チャネル漏洩電力に基づく方法を提案！

複素べき級数非線形モデル



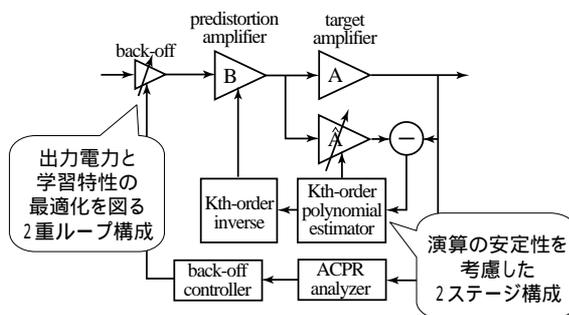
➤ 増幅器の特性をK次複素べき級数で表現 $k = 1, 3, 5, \dots, K$

$$B_{out}(t) = \sum_{k=1}^K B_k |B_{in}(t)|^{k-1} B_{in}(t) \quad A_{out}(t) = \sum_{k=1}^K A_k |A_{in}(t)|^{k-1} A_{in}(t)$$

➤ システム全体の特性

$$A_{out}(t) = \underbrace{A_1 B_1 B_{in}(t)}_{\text{linear}} + \underbrace{(A_1 B_3 + A_1 |B_1|^2 B_1) B_{in}(t)^2 B_{in}(t)}_{\text{3rd order distortion}} + \dots$$

提案型リニアライザ



ターゲットアンプの特性解析

➤ (逐次) 最小二乗法による学習 L : フレーム長

$$\begin{bmatrix} A_{out}(1) \\ \vdots \\ A_{out}(L) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{in}(1) & \cdots & |A_{in}(1)|^{K-1} A_{in}(1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{in}(L) & \cdots & |A_{in}(L)|^{K-1} A_{in}(L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ \vdots \\ A_K \end{bmatrix}$$

$A_{in}(t)$ は $B_{out}(t)$ であるため
プリディストーションアンプの設計パラメタは
ターゲットアンプの学習特性に影響を与える

プリディストーションアンプの設計

$$A_{out}(t) = A_1 B_m(t) + (A_1 B_3 + A_3 |B_1|^2 B_1) |B_m(t)|^2 B_m(t) + \dots$$

➤ 決定論的解法

$$B_1 = B_1$$

$$B_3 = -B_1 |B_1|^2 \frac{A_3}{A_1}$$

$$B_5 = -B_1 |B_1|^4 \frac{A_5}{A_1} - (2|B_1|^2 B_3 + |B_1|^2 B_3^*) \frac{A_3}{A_1}$$

B_1 のみ任意のパラメタとして
設計の自由度が残る

バックオフの制御

➤ B_1 に対して評価対象は収束しない

$$B_1 \nearrow \text{Aの学習精度} \swarrow \text{ACPR} \nearrow E[|A_{out} - B_{in}|^2] \swarrow$$

$$B_1 \swarrow \text{Aの学習精度} \nwarrow \text{ACPR} \swarrow E[|A_{out} - B_{in}|^2] \swarrow$$

➤ 隣接チャネル漏洩電力規定値に基づく評価関数

$$ACPR_{error} = \frac{ACPR}{ACPR_{regulation}}$$

K次べき級数を用いた場合
隣接チャネル漏洩電力は
線形係数のK+2乗に比例

$$B_1(N+1) = B_1(N) \cdot ACPR_{error}^{\frac{1}{K+1}}$$

計算機シミュレーション

ターゲットアンプ	Salah'sモデル(入力飽和電力 0[dB])
プリディストーション	5次べき級数(初期値 [0.1 0 0])
入力信号	W-CDMA 3キャリア
PAPR	約 8 [dB]
ACPR規定値	-45 [dBc] : 5 [MHz] 離調
フレーム長	128 チップ(約 33 [μs])

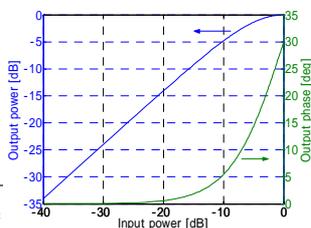
ターゲットアンプ特性

➤ AM/AM特性

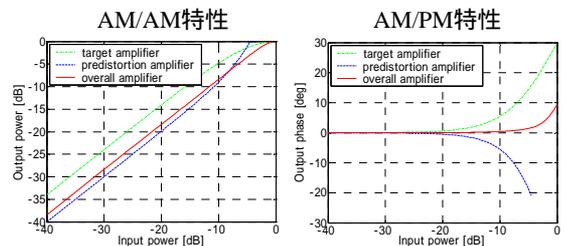
$$\rho_{out} = \frac{2\rho_m}{1 + \rho_m^2}$$

➤ AM/PM特性

$$\phi_{out} = \phi_m + \frac{\pi}{3} \frac{\rho_m^2}{1 + \rho_m^2}$$

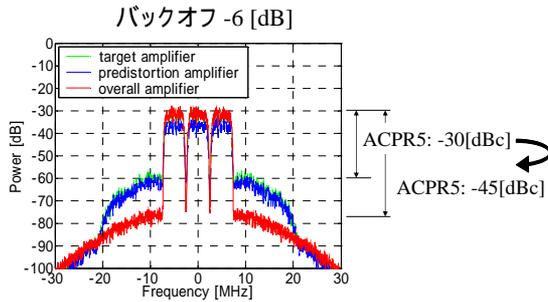


リニアライザAM/AM・AM/PM特性

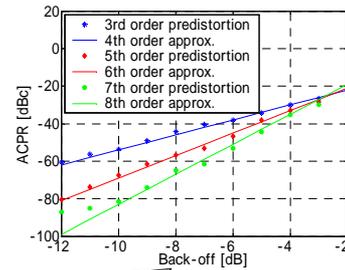


ターゲットアンプとプリディストーションアンプは逆特性を持つ

定常状態におけるスペクトル

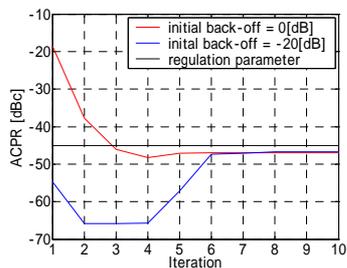


バックオフとACPR



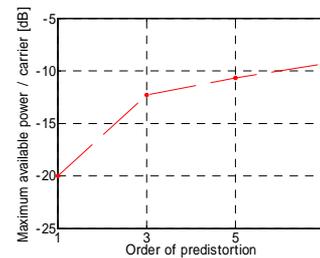
ACPRはバックオフに対してK+1乗のオーダーで変化する

ACPR収束特性



初期値に依存しない安定した収束特性

べき級数次数と最大出力電力



ACPRが規定値を満たす範囲で出力電力の最大化が可能

まとめ

- ✓ 複素べき級数展開に基づくプリディストーションリニアライザの**設計法**と**制御法**を提案
- ✓ 隣接チャンネル漏洩電力に基づく**評価関数**を導入
- ✓ 今後の課題
 - 記憶性非線形歪み補償
 - ドレーン電圧の動的制御